

文章编号: 1007-4619 (2001) 02-0142-07

土地覆被变化对陆地碳循环的影响

——以黄河三角洲河口地区为例

王绍强, 许 琨, 周成虎

(中国科学院 地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101)

摘 要: 土地利用/土地覆被变化是全球变化研究的重点,是影响陆地碳循环的一个重要因子。该文对黄河三角洲河口地区 1992 年和 1996 年 9 月份的 TM 影像进行非监督分类,做出该地区土地覆被类型分布图,以及估算土地覆被类型的变化面积,计算结果显示 1992 年该研究地区植被碳库和土壤碳库分别为 $11.43 \times 10^5 \text{t}$ 和 $7.24 \times 10^6 \text{t}$,而 1996 年林地面积增加了 $146.76 \times 10^2 \text{hm}^2$ 。使用已经公开发表的植被和土壤碳储存数据估算,黄河三角洲河口地区植被碳储量增加 $7.43 \times 10^5 \text{t}$,表明在不考虑土地覆被变化对土壤有机碳的影响下,研究区是一个小净碳汇区。

关键词: 黄河三角洲;土地覆被变化;碳循环

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A

1 引 言

土地利用/土地覆被变化(Land Use/Cover Change,简称LUCC)是造成全球变化和碳循环不平衡的重要原因之一,是全球变化研究的重点^[1]。土地覆被变化包括生物多样性、现实和潜在的植被及土地生产力、土壤质量、地表径流和侵蚀沉积等方面的变化^[2,3],将会影响到地球表层四大圈的物质循环和能量转换过程,包括温室气体CO₂的净释放效应。土地覆被变化特别是森林的破坏、林地开垦为耕地,减少了植被生产力和土壤有机质的输入,破坏了土壤有机质的物理保护,土壤有机质分解速率增加,土壤有机碳储量随之降低,致使碳元素大量释放到大气中,导致陆地生态系统碳循环不平衡。

近年来,中国科学家已经开始对中国生态系统植被碳平衡问题进行研究,特别是对森林吸收大气CO₂的研究^[4]。在有关LUCC和碳循环变化的研究上,许多科学家对锡林郭勒地区草原土壤有机碳分布储量、土地利用方式变更后土壤碳储量的变化、热带森林土壤碳储量等方面进行了研究^[4-8]。然而对

遥感在土地覆被变化与陆地碳循环关系上的应用研究很少,主要是由于LUCC面积的不确定,使得对植被生物量、土壤碳储量变化很难准确地估计^[9]。

估计LUCC对陆地碳循环影响的方法主要有3种,而目前更多的是利用遥感图像和植被指数分析地表植被动态变化和进行植被分类,以及建立模型估算植被生物量和净第一性生产力(NPP)^[10-13]。由遥感数据和图像计算植被生物量和NPP主要是采用光能利用率模型,以及一些用遥感数据来评估NPP的模型,例如SIB2模型^[14-16]、GLO-PEM模型^[17]、CASA生物圈模型^[18]等。遥感可以从多时相、多波段、多分辨率和全天候角度获得全球观测数据,并且能及时更新数据,从更精确的角度获取全球或大尺度环境动态数据,因此在全球环境变化研究中得到了广泛的应用^[19]。通过遥感图像分析,可以了解过去几十年间尺度内土地覆被变化,分析土地覆被的变化机制和影响因素。同时借助于遥感和地理信息系统手段建立土地覆被空间变化模型,使其具有数据实时更新、空间动态模拟等特点,可以与陆地碳循环模型连接,预测未来土地覆被变化对陆地碳循环的影响。黄河三角洲是中国最年轻的湿地生态系统,且处于动态变化之中,研究这一区域的土地

收稿日期: 1999-08-04; 修订日期: 1999-11-16

基金项目: 中国科学院“九五”重大A类项目(KZ95T-03-02-04)及国家重点科技攻关专题(96-911-01-01)。

作者简介: 王绍强(1972—),男,1994年获华中师范大学地理系理学学士学位,1997年获北京师范大学资源与环境科学系理学硕士学位。现为中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室获理学博士学位,研究方向为全球变化、地理信息系统和遥感的应用,已发表文章7篇。

覆被变化对碳循环的影响,对湿地保护与生态农业开发具有重要的实用意义。本文运用遥感和地理信息系统技术,以黄河三角洲河口地区为例,力图通过定量化土地覆被变化对陆地碳循环的影响,揭示影响土地覆被变化和陆地碳循环的因素。

2 研究区域

黄河三角洲位于渤海湾和莱州湾的湾口,是水陆范围变化较大的一片土地。研究区西起挑河,南达甜水沟以南,大致相当于以于洼为顶点的近代黄河三角洲的范围,陆地总面积约为 2500 km² 以上。由于河流泥沙堆积作用和海水侵蚀作用的影响,1992 年与 1996 年的陆地范围变化很大,从 TM 卫星影像(见图版)上可以看出 1996 年与 1992 年相比,北部河口河故道河口受到严重侵蚀,河道缩短约 8 km,而黄河主河道河口则向东延伸约 4 km。并且由于人为作用,如开挖水库等,使得本区内各种植被类型的面积和分布都发生很大变化。

本区属于暖温带半湿润季风性气候区,年平均降水量 594.3 mm,年平均蒸发量 2049.4 mm,历年平均气温 12.4℃,无霜期历年平均 217.8 天。本区植被属于温带落叶阔叶林群落,以草甸景观为主体,自然生长的木本植物仅有怪柳、红皮柳,分布在黄河河道两侧和黄河故道附近,栽培树种有榆、槐、垂柳、旱柳等耐盐树种,草本植物主要有白茅、荻茅、芦苇等^[20]。本区土壤矿化度较高,主要有潮土、盐化潮土和滨海潮盐土三种土壤类型^[21]。潮土呈中性或微碱性,主要沿河道、古河道一线和平原中南部分布,盐土分布在滨海地区,有少量盐土被垦殖。

3 资料和方法

3.1 遥感影像分类及精度评价

用 1992 年 9 月和 1996 年 9 月的两景 TM 影像(图版 I 图 1)分别计算 1992 年和 1996 年各种植被类型的覆盖面积。TM 的可见光波段与近红外波段对绿色植被反映比较明显,适于探测植被类型、生物量,中红外波段区分不同作物类型的能力较高,因此选用 TM 的可见光和近红外、中红外波段进行植被类型分类。由于黄河三角洲地区土地类型复杂,变化较快,因此在影像上的同类植被年龄相差较大,在影像上的特征也不同,不适于选择监督分类所需要

的训练样区,因此采用 K 均值非监督分类方法,用多元统计分析方法按像元间的欧氏距离来进行归类。先用 K 均值法将影像分为 30 类,再根据 TM432 波段的假彩色合成影像和文献[22]的资料,将分类结果归并为 9 种土地利用类型。分类的结果表明,用 K 均值非监督分类法对植被分类效果较好,可区分的植被种类多,与裸地等其它地类区分显著。用 K 均值分类将 1992 年和 1996 年的影像分别分为 9 类(见表 1,图版 I 图 2)。

表 1 各种土地类型面积
Table 1 The area of different land types

类型	1992 年	1996 年
芦苇	90.55	94.62
水体	54.31	99.30
滩涂	544.70	189.65
林地	443.80	473.62
旱土	468.89	458.65
翅碱蓬	120.95	185.71
草地	423.28	469.75
水田	242.03	207.76
裸地	191.58	343.44
合计	2580.09	2522.50

用随机抽样的方法选取样点,并将黄河三角洲土地利用图^[21]与分类结果叠加,随机选取每种土地利用类型的检测样本,根据黄河三角洲土地利用图和目视解译,获得分类的误差矩阵,表 2 为 1992 年影像分类结果的误差矩阵,每一行表示将某种类型的检测样本分为各种类型的数目。

根据误差矩阵计算分类精度的最常用的方法是 Kappa 系数的计算方法。Kappa 系数的计算公式为^[23]:

$$K = \frac{M \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}}{M^2 - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}} \quad (1)$$

其中 r 为误差矩阵的行数, X_{ii} 是 i 行 i 列上的值(即每种类型正确分类的检测样本数目), X_{i+} 和 X_{+i} 分别是 i 行和 i 列上值的总和(即每种类型选取的检测样本总数和实际被分为该种类型检测样本的总数), M 为所有检测样本数的总和。根据公式(1),表 2 误差矩阵的 Kappa 系数为 84.34%。

表 2 1992 年分类误差矩阵

Table 2 The classification confusion matrix of 1992

	芦苇	水体	滩涂	林地	旱地	翅碱蓬	草地	水田	裸地	总和
芦苇	55		1	3	1		3	2		65
水体		86								86
滩涂	4		15			2				21
林地				60			1			61
旱地				3	55		1	7		66
翅碱蓬	4		1			12				17
草地	3			2	2		50	2		59
水田	7		1	2			3	37	5	55
裸地								3	30	33
总合	73	86	18	70	58	14	58	51	35	463

3.2 碳库的估计

黄河三角洲陆地生态系统碳库主要由两大部分组成:植被碳库和土壤碳库。根据多时相遥感信息、资源环境调查资料、定位样点资料与统计资料,本文选取 1992 年和 1996 年两幅图像以及黄河三角洲河口地区土壤分布图^[23]的公共部分,作为本文主要分析区域。

通常,植物生物量转换为碳量是按照一个比率,即植物干有机质中碳占的比重。不同的植被考虑其树种、年龄、组成和种群结构,转换率是不同的。由于获取各种植被类型的转换率很有限,所以在国际上常用的转换率(45% and 50% in Olson et al.^[24]; 50% in Knigge & Schulz^[25])。黄河三角洲河口地区植被碳库可以通过植被生物量来进行估计,本文中植被碳库仅指植被地上部分生物量,碳含量由生物量乘以换算系数(0.5)求得。林地植被碳密度是综合了幼龄林、中龄林、近熟林、成熟林、过熟林得到的平均值^[26]。

黄河三角洲河口地区的植被碳库由公式(2)求得:

$$V_i = S_i \cdot B_i \cdot 0.5 \quad (2)$$

其中, i 为土地覆被植被类型; V_i 为第 i 种植被类型的碳储量; S_i 为第 i 种植被类型面积; B_i 为 i 种植被类型的生物量密度。

本研究中黄河三角洲河口地区土壤类型主要为潮土亚类、盐化潮土亚类、滨海潮盐土亚类、盐渍水稻土亚类。根据第二次土壤普查的实测土壤剖面采样数据^[22,28],分别读取土壤的理化性质,碳含量由有机质含量乘以 Bemmelen 换算碳元素系数(即

0.58g/g)^[29]求得。首先计算各土种每个土层的碳含量,然后以土层厚度作为权重系数,求得各土种的平均理化性质,通过面积加权平均得到各土壤亚类的平均厚度、平均有机质、平均容量、平均碳密度。

黄河三角洲河口地区的土壤碳库由公式(3)求得:

$$C_j = S_j \cdot H_j \cdot O_j \cdot W_j \cdot 0.58 \quad (3)$$

其中, j 为土壤类型; C_j 为第 j 种土壤类型的碳储量; S_j 为第 j 种土壤类型面积; H_j 为第 j 种土壤类型的平均厚度; O_j 为第 j 种土壤类型的平均有机质含量; W_j 为 j 种土壤类型的平均容量。

由公式(2)和公式(3),可得 1992 年黄河三角洲河口地区植被碳库和土壤碳库(见表 3 和表 4)。

表 3 1992 年黄河三角洲植被碳库

Table 3 Vegetation carbon reservoir of Yellow River delta in 1992

植被类型	面积/ $\times 10^2 \text{ hm}^2$	碳密度/ kg/m^2	碳储量/ 10^5 t
林地 ^[26]	207.59	5.14	10.67
芦苇 ^[27]	67.79	0.19	0.13
翅碱蓬 ^[27]	112.04	0.095	0.10
草地 ^[27]	411.29	0.129	0.53
总量	798.71		11.43

本文研究区域总面积为 $2042.54 \times 10^2 \text{ hm}^2$, 经过计算黄河三角洲河口地区 1992 年植被碳储量为 $11.43 \times 10^5 \text{ t}$, 土壤碳库为 $7.24 \times 10^6 \text{ t}$, 植被碳库约占土壤碳库的 15.79%, 一方面说明该地区植被生产力低, 生物量累积慢, 同时植被生产力增长潜力很大; 另一方面说明土壤碳库在陆地碳循环中具有重要的作用。

草地面积为 $411.29 \times 10^2 \text{hm}^2$, 占全部面积的 25.99%, 但碳量仅为 $0.53 \times 10^5 \text{t}$, 说明在植被碳库中, 以森林占绝对优势, 森林是植被碳库的主体, 对碳循环的贡献最大, 保护森林尤为重要。草本植物主要为一年生植物, 由于工业生产利用和作为薪材, 基本上每年的生长量又回到大气中, 对碳循环的影响较小, 所以, 土地覆被变化对碳循环的影响也主要是研究森林面积的变化。

4 结果与讨论

4.1 土地覆被变化

本研究根据黄河三角洲土壤类型图、土地利用图、遥感图像数据以及分类结果, 计算了黄河三角洲河口地区不同土地覆被类型之间的相互转换面积 (见表 5)。

表 4 1992 年黄河三角洲河口地区土壤有机碳库

Table 4 Soil organic carbon reservoir of Yellow River delta in 1992

土壤类型	面积/ 10^2hm^2	土壤厚度/cm	有机质含量/%	容重/ kg/cm^3	碳密度/ kg/m^2	碳储量/ 10^6t
潮土土类	654.96	106.00	0.48	1.36	4.05	2.65
盐化潮土亚类	474.41	127.00	0.48	1.33	4.71	2.23
滨海潮盐土亚类	913.17	100.00	0.32	1.39	2.58	2.36
总计	2042.54				3.54	7.24

表 5 1992-1996 年黄河三角洲河口地区土地覆被变化

Table 5 Land-Cover change of Yellow River Delta from 1992 to 1996

单位: 10^2hm^2

1996 年 \ 1992 年	芦苇	水体	滩涂	林地	旱地	翅碱蓬	草地	水田	裸地	1992 年总计
芦苇	16.09	14.54	0.82	8.27	1.39	5.00	9.25	1.12	11.31	67.79
水体	3.28	19.57	3.62	1.85	0.63	4.80	2.25	0.62	4.75	41.37
滩涂	18.60	13.09	64.75	11.31	4.27	79.73	52.16	7.19	126.68	377.80
林地	5.20	3.37	0.13	131.74	25.43	0.05	26.63	11.24	3.79	207.59
旱地	2.93	3.07	0.39	53.57	248.72	0.10	28.35	45.88	14.67	397.68
翅碱蓬	0.14	1.55	36.85	1.30	1.55	52.38	5.71	1.31	11.25	112.04
草地	19.12	5.74	0.42	108.36	22.93	6.39	182.77	51.30	14.27	411.29
水田	4.21	8.98	0.37	25.42	63.98	1.18	54.58	59.33	21.63	239.69
裸地	3.05	5.02	0.72	12.52	30.19	6.97	18.74	11.66	98.40	187.29
1996 年总计	72.64	74.94	108.07	354.35	399.09	156.61	380.44	189.65	306.75	2042.54

从表 5 可知本研究区 1992 年与 1996 年的公共部分面积为 $2042.54 \times 10^2 \text{hm}^2$ 。在两者不相交的陆地部分, 主要为滩涂和海洋的相互转化部分, 植被和土壤有机质的含量都很少, 因此没有计算。除林地外, 本区其它植被都是农作物或草本植物, 都为一年生植物, 植物所吸收的 CO_2 在一年内返回大气中, 因此假设这些植物的碳循环是平衡的, 因此这些植物之间的相互转变不影响碳循环, 只考虑不同土地覆被类型与林地之间的转变。不同土地覆被类型在 1992 年到 1996 年之间的变化面积以及变化率见表

6, 林地与其它土地覆被类型之间相互转化面积见表 7。

表 6 所示, 林地面积增加最大, 达 $146.76 \times 10^2 \text{hm}^2$, 滩涂面积减少了 $269.73 \times 10^2 \text{hm}^2$, 同时裸地也增加了 $119.46 \times 10^2 \text{hm}^2$ 。由于水库的建设, 1996 年水体的面积增加了 $33.57 \times 10^2 \text{hm}^2$ 。从变化的类型来看, 既有翅碱蓬向草地、林地转变的顺向演替, 又有林地向草地、翅碱蓬、滨海滩涂的逆向演替, 这不仅是人为因素的作用, 也包括植被的自然演替过程。黄河三角洲是不断发展的, 有的地方陆地在不

断向海扩展,原有的滩涂逐渐被人为利用种植植被或是自然生长植被,也有的地方受海水侵蚀而岸线后退,原有植被覆盖的地区变成了滩涂。由于两种演替机制,加上人类活动的影响,造成了本地区植被覆盖变化较大的特点。

表 6 4年中不同土地覆被类型的变化面积

Table 6 Different land-cover type change during 4 years

土地覆被类型	变化面积/ 10^2hm^2	变化率/%
芦苇	4.85	7.15
水体	33.57	81.14
滩涂	-269.73	-71.40
林地	146.76	70.70
旱地	1.41	0.35
翅碱蓬	44.57	39.78
草地	-30.85	-7.50
水田	-50.04	-20.88
裸地	119.46	63.78

表 7 林地与其它土地覆被类型之间的相互转换

Table 7 Mutual conversion between woodland and other

土地覆被类型	林地减少/ 10^2hm^2	林地增加/ 10^2hm^2	林地变化/ 10^2hm^2
芦苇	-5.20	8.27	3.07
水体	-3.37	1.84	-1.53
滩涂	-0.13	11.31	11.18
林地	131.74	131.74	0.00
旱地	-25.43	53.57	28.14
翅碱蓬	-0.05	1.30	1.25
草地	-26.63	108.36	81.73
水田	-11.24	25.42	14.19
裸地	-3.79	12.52	8.73

4.2 土地覆被变化对碳循环的影响

土地利用方式的改变不仅影响土壤有机碳的含

量和分布,而且土地覆被变化影响植被残落物和输入土壤的有机质数量和分布。实际上由于土地覆被的变化,土壤有机质的输入量也同时变化,土壤呼吸速率随之变化,土壤有机碳量的释放和吸收也是不同的。由于缺乏 1996 年土壤有机质含量数据,再者研究的年限较短,土壤有机质含量变化不是很大,本文暂且不讨论土壤碳库的变化,只计算植被碳库的变化。

本文假设草本植物的每年生长量实际就是它的 *NPP*,水体、滩涂、裸地、水田、旱地转变为林地,主要考虑为植被生物量增加了,通过计算不同土地覆被类型之间的相互转换,得到变化的生物量和 *NPP*。分别计算不同土壤类型上的土地覆被的转变,得到不同土壤类型上植被碳库的变化(见表 8)。

从表 8 可见,黄河三角洲河口地区植被碳库 1996 年比 1992 年增加了 $7.43 \times 10^5\text{t}$ 碳量, *NPP* 增加 $66.38 \times 10^3\text{t}$ 碳量,表明在不考虑土壤碳储量变化的情况下,黄河三角洲河口地区是一个小的净碳汇。

由于土壤中所存储的碳大约是植被中的 1.5—2.5 倍^[30](表 9),因此,土壤腐殖质中碳的分布及其转化日益成为全球有机碳研究的热点^[10]。影响土壤碳储量的主要土地利用活动包括砍伐森林、林地变为农田、草原过度放牧和草地开垦、各种公用设施建设,所以,LUCC 对陆地生态系统碳循环的影响主要在于对土壤碳贮量的影响。长期非持续性土地利用导致的碳素从陆地生态系统的释放是大气中 CO_2 浓度不断升高的主要原因之一,精确估计 LUCC 对陆地生态系统碳平衡的影响是当今全球变化和全球碳循环研究的重点内容^[34]。本文的进一步工作应该是估计黄河三角洲河口地区土壤碳储量的变化。

表 8 1992—1996 年不同土地覆被类型与林地之间转变的碳量变化表

Table 8 Carbon storage changes of different land-cover types converting to woodland from 1992 to 1996

类型	潮土面积/ 10^2hm^2	植被碳量/ 10^3t	<i>NPP</i> / 10^3t	盐化潮土面积/ 10^2hm^2	植被碳量/ 10^3t	<i>NPP</i> / 10^3t	滨海潮盐土面积/ 10^2hm^2	植被碳量/ 10^3t	<i>NPP</i> / 10^3t
芦苇	0.15	0.74	0.05	0.41	2.03	0.14	2.52	12.45	0.86
水体	-1.81	-9.30	-0.96	-0.25	-1.29	-0.13	0.53	2.71	0.28
滩涂	1.18	6.07	0.63	2.02	10.38	1.07	7.97	40.97	4.24
林地	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
旱地	18.65	95.86	9.92	12.05	61.94	6.41	-2.56	-13.17	-1.36
翅碱蓬	0.26	1.31	0.11	0.66	3.33	0.29	0.33	1.68	0.15
草地	20.68	103.63	8.33	15.39	77.12	6.20	45.66	228.79	18.40
水田	1.56	8.02	0.83	7.73	39.73	4.11	4.91	25.21	2.61
裸地	3.81	19.58	2.03	3.13	16.09	1.67	1.80	9.23	0.96
	44.48	225.91	20.94	41.14	209.33	19.76	61.16	307.87	26.14

表9 陆地表层碳存储

Table 9 Carbon storage in global terrestrial

	植被	土壤
Post (1982) ^[4]		1395.3
Post(1990) ^[5]	574	1300
Prentice and Fung (1990) ^[31]	748	1143
Foley (1995) ^[32]	800.2	1373.2
King (1995) ^[33]	778.4	1537.9
Houghton ^[8]	583	1440

/Pg = 10¹⁵g

6 结 论

本文采用遥感方法数据来估计黄河三角洲河口地区土地覆被变化及其对陆地碳循环的影响,是一个初步尝试。经过计算,1992年黄河三角洲河口地区植被碳储量为 11.43×10^5 t,土壤碳库 7.62×10^6 t,1996年林地面积增加 146.76×10^2 hm²,植被碳库增加 7.43×10^5 t碳量。这表明在这四年间,黄河三角洲河口地区仍以植被的顺向演替占主导地位,生物量有所增加,是一个小碳汇,通过合理的土地管理和生态环境保护,土地覆被变化可以使陆地碳储量增加。遥感技术和方法为陆地碳循环研究提供了非常重要的数据和工具,显示了遥感技术和方法在全球变化研究中具有广阔的前景。本研究可以进一步利用遥感技术和方法估算树木年龄,同时实地测量有关植被和土壤数据,估算植被生物量及土壤碳储量其变化,提高LUCC对陆地碳循环影响的计算精度。

参 考 文 献 (References)

- [1] Jean-Pierre Contzen, Anver Ghazi. The role of the European Union in global change research [J]. *AMBIO*, 1994, 23(1):101—103.
- [2] Turner II, B. L., Meyer, W. B., Skole, D. L., Sanderson S et al. Land-use and land-cover change science/research plan [R]. IGBP Report No. 35 and HDP Report No. 7. Stockholm: IGBP, 1995.
- [3] Li Xiubin, A Riview of the international researches on land use/land cover change [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1996, 51(6): 553—557. [李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域——土地利用/土地覆被变化的国际研究动向[J]. 地理学报, 1996, 51(6): 553—557.]
- [4] Shi Guangyu, Ding Yihui, Zhang Peng et al. An assessment of China forest CO₂ emission and uptake [A]. *The researches of climate change and climate effects in China* [C]. Beijing: Meteorology publishing house, 1996. [石广玉, 丁一汇, 张鹏等. 中国森林 CO₂ 释放与吸收的评估[A]. 中国的气候变化与气候影响研究[C]. 北京: 气象出版社, 1996.]
- [5] Wang Yanfen, Chen Zuozhong, Larry T. Tieszen. Distribution of soil organic carbon in the major grasslands of Xilinguole, Inner Mongolia, China [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1998, 22(6): 545—551. [王艳芬, 陈佐忠, Larry T. Tieszen. 人类活动对锡林郭勒地区主要草原土壤有机碳分布的影响[J]. 植物生态学报, 1998, 22(6): 545—551.]
- [6] Li Linghao. Effects of land-use change on soil carbon storage in grassland ecosystems [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1998, 22(4): 300—302. [李凌浩. 土地利用变化对草原土壤碳贮量的影响[J]. 植物生态学报, 1998, 22(4): 300—302.]
- [7] Li Zhongpei, Wang Xiaojun. Simulation of soil organic carbon dynamic after changing landuse pattern in hilly red soil region [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1998, 9(4): 365—370. [李忠佩, 王效举. 红壤丘陵区土地利用方式变更后土壤有机碳动态变化的模拟[J]. 应用生态学报, 1998, 9(4): 365—370.]
- [8] Li Yide, Wu Zhongmin, Zeng Qingbo et al. Carbon pool and carbon dioxide dynamics of tropical mountain rain forest ecosystem at Jianfengling, Hainan island [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, 18(4): 371—378. [李懿德, 吴仲民, 曾庆波等. 尖峰岭热带山地雨林生态系统碳平衡的初步研究[J]. 生态学报, 1998, 18(4): 371—378.]
- [9] Xu Deying. The effect of human management activities on the carbon in forest soils [J]. *World Forestry Research*, 1994, 5: 26—31. [徐德应. 人类经营活动对森林土壤碳的影响[J]. 世界林业研究, 1994, 5: 26—31.]
- [10] Prince S D. A model of regional primary production for use with coarse resolution satellite data [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1991, 12(6): 1313—1330.
- [11] Todd S W, Hoffer R M, Milchunas D G. Biomass estimation on grazed and ungrazed rangelands using spectral indices [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1998, 19(3): 427—438.
- [12] Sheng Yongwei, Chen Weiyong, Xiao Qiangang et al. Macro Classification of Vegetation in China Using Meteorological Satellite Vegetation Index [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1995, 40(1): 68—71. [盛永伟, 陈维英, 肖乾广等. 利用气象卫星植被指数进行我国植被的宏观分类[J]. 科学通报, 1995, 40(1): 68—71.]
- [13] Xiao Qiangang, Chen Weiyong, Sheng Yongwei et al. Estimating the net primary productivity in China using meteorological satellite data [J]. *Acta Botanica Sinica*, 1996, 38(1): 35—39. [肖乾广, 陈维英, 盛永伟等. 用 NOAA 气象卫星的 AVHRR 遥感资料估算中国的净第一性生产力[J]. 植物学报, 1996, 38(1): 35—39.]
- [14] Sellers P J, Randall D A, Collatz G J, Berry J A, et al. A revised land surface parameterization (SiB2) for atmospheric GCMs. Part I: Model formulation [J]. *Journal of Climate*, 1996, 9: 676—705.
- [15] Sellers P J, Randall D A, Collatz G J, et al. A revised land surface parameterization (SiB2) for atmospheric GCMs. Part II: The generation of global fields of terrestrial biophysical parameters from satellite data [J]. *Journal of Climate*, 1996, 9: 706—737.
- [16] Sellers P J, Randall D A, Collatz G J, et al. A revised land surface parameterization (SiB2) for atmospheric GCMs. Part III: The greeting of the Colorado State University general circulation model [J].

- Journal of Climate*, 1996, 9:738—763.
- [17] Prince S D, Goward S N. Global primary production: a remote sensing approach [J]. *Journal of Biogeography*, 1995, 22: 815—835.
- [18] Potter C S, Randerson J T. *et al.* Terrestrial Ecosystem production: a process model based on global satellite and surface data [J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 1993, 7(4): 811—841.
- [19] Wang Changyao, Buheoseer, Di Xiaochun. Application of remote sensing to global environment change research in China [J]. *Advance in Earth Sciences*, 1998, 13(3): 278—284. [王长耀, 布和敖斯尔, 狄小春. 遥感技术在全球环境变化研究中的作用[J]. 地球科学进展, 1998, 13(3): 278—284.]
- [20] Chen Shupeng. Research of application of satellite data in country investigation [A]. the 2nd volume [C]. Beijing: Science Press, 1989. [陈述彭. 黄河三角洲地区国土资源与环境调查 [A]. 国土普查卫星资料应用研究第二集 [C]. 北京: 科学出版社, 1989.]
- [21] Liu Gaohuan, Droet, H. J. Atlas of the Yellow River delta [C]. Beijing: The Publishing House of Surveying and Mapping, 1997. [刘高焕, 汉斯·德罗斯特. 黄河三角洲可持续发展图集 [C]. 北京: 测绘出版社, 1997.]
- [22] National soil survey office. *Chinese Soils* [M]. Beijing: Chinese agriculture publishing house, 1998. [全国土壤普查办公室. 中国土壤 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.]
- [23] Li Xia, Anthony Gar-on Yeh. Accuracy improvement of land use change detection using principal components analysis: A case study in the Pearl River Delta [J]. *Journal of Remote Sensing*, 1997, 1(4): 282—289. [黎夏, 叶嘉安. 利用主成分分析改善土地利用变化的遥感监测精度——以珠江三角洲城市用地扩张为例 [J]. 遥感学报, 1997, 1(4): 282—289.]
- [24] Olson J S, Watts J A, Allison L J. *Carbon in live vegetation of Major World Ecosystem* [R]. Rep. ORNL-58620, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, 1983.
- [25] Knigge W, Schulz H. *Grundriss Der Forstbenutzung*. Verlag Paul Parey, Hamburg Und Berlin, 1966.
- [26] Luo Tianxiang. Patterns of net primary productiviti for Chinese major forest types and its mathematical models [D]. 1997. [罗天祥. 中国主要森林类型生物生产力格局及其数学模型 [D]. 中国科学院自然资源综合考察委员会. 1997.]
- [27] Li Jiandong, Zhang Huiying. Solinisation grassland management and biological-ecological mechanism of Song Nen plain [M]. Beijing: Science Press, 1997. [李建东, 郑慧莹. 松嫩平原盐碱化草地治理及其生物生态机理 [M]. 北京: 科学出版社, 1997.]
- [28] National soil survey office. *Chinese soil genus records* [M]. Volume 1—6. Beijing: Chinese agriculture publishing house, 1995. [全国土壤普查办公室. 中国土种志 [M]. 第 1—6 卷. 北京: 中国农业出版社, 1995.]
- [29] Fang, Jingyun., Liu Guohua., Xu Songling. Soil carbon pool in China and its global significance [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 1996, 8(2): 249—254.
- [30] Tom M S, Trumbore S E, Chadwick O A, Vitousek P M, Hendricks D M. Mineral control of soil organic carbon storage and turnover [J]. *Nature*, 1997, 389: 170—173.
- [31] Prentice K C, Fung I Y. The sensitivity of terrestrial carbon storage to climate change [M]. *Nature*, 1990, 346: 48—51.
- [32] Foley J A. An equilibrium model of the terrestrial carbon budget [J]. *Tellus*, 1995, 47B: 310—319.
- [33] King A W, Emanuel W R, Wullschlegel S D, Post W M. A search of the missing carbon sink: a model of terrestrial biospheric response to land-use change and atmospheric CO₂ [J]. *Tellus*, 1995, 47B: 501—519.
- [34] Sampson R N, Apps M, Brown S, *et al.* Terrestrial biosphere carbon fluxes quantification of sinks and sources of CO₂ [J]. *Water, Air and Soil Pollution*, 1993, 70: 3—15.

The Effect of Land Cover Change on Carbon Cycle: A case Study in the Estuary of Yellow River Delta

WANG Shao-qiang, XU Jun, ZHOU Cheng-hu

(LREIS, Institute of Geography, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract Land cover change is a important effect on carbon cycle. In order to estimate changes in carbon pools and fluxes to the atmosphere, we used Landsat TM data of 1992 and 1996 to calculate the extent of different land cover types and their change to each other in the estuary area of Yellow River delta. Image processing and unsupervised classification allowed the production of accurate land cover maps of 1992 and 1996, and then the changes were detected. Estimation of carbon pools and fluxes to the atmosphere was carried out using the results of Landsat image analysis and published data about carbon stocks in vegetation and soil. The results showed that the vegetation carbon reserves was 11.43×10^5 t, the soil carbon reserves was 7.24×10^6 t in 1992, while the area of forest increased 146.76×10^2 hm², and the vegetation carbon reserves increased 7.43×10^5 t during the four years from 1992 to 1996. So the land cover change lead to an increasing in carbon reserves in this area. It is a carbon pools in the global change progress.

Key words: Yellow River delta; land cover change; carbon cycle