

# 基于RS和GIS分析干旱区土地利用/覆盖变化 对陆地植被碳储量的影响 ——以新疆鄯善县绿洲为例

周 绪<sup>1</sup>, 刘志辉<sup>1,2,3</sup>, 菊春燕<sup>1</sup>, 戴 维<sup>1</sup>, 易 莉<sup>1</sup>, 姜 红<sup>1</sup>

(1. 中山大学环境与工程学院, 广东 广州 510275; 2. 干旱半干旱地区可持续发展国际研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830046;

3. 教育部绿洲生态重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830046)

**摘要:** 土地利用/覆被变化是影响陆地碳循环的一个重要因子。依据鄯善平原绿洲群 1990、1999 两年 9 月 TM 与 SPOT 4(P) 的融合影像以及 2004 年 9 月 SPOT 5(XS/XI) 影像数据, 采用混合分类法对研究区土地覆被进行分类, 估算其变化面积以及林地与各土地覆被类型的面积转换。结果显示: 1990~1999 年、1999~2004 年研究区林地面积年变化率分别为 +4.59%、-1.70%, 植被碳库 1999 年比 1990 年增加了  $264.13 \times 10^3 \text{t}$ , 2004 年较之 1999 年减少了  $70.75 \times 10^3 \text{t}$ , 但 2004 年植被碳储量较 1990 年上升  $212.04 \times 10^3 \text{t}$ , 研究区总体上为一小的净碳汇。15a 间天然草地的植被碳储量一直下降, 并在后期呈现更为严峻的态势。说明在极端干旱区, 生态系统的稳定仍面临极大挑战。如何实现丰富矿产资源的开采与人居生存环境相协调, 做好土地、水资源管理与生态环境保护工作, 仍需更为深入、审慎的研究。

**关键词:** RS & GIS; 干旱区; 土地利用/覆被变化; 陆地植被碳储量

**中图分类号:** S 127 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2007)06-0231-06

土地利用模式和土地利用变化对陆地碳库和通量的影响及其反馈是当前研究的难点和热点<sup>[1]</sup>。土地利用变化是目前大气中碳含量增加的第二大来源<sup>[2]</sup>, 每年向大气中排放碳量约占人类活动总排放量的 20%<sup>[3]</sup>, 这源于大量的自然生态系统向人工生态系统的转换, 增加了大气中 CO<sub>2</sub> 的含量。因此, 可以通过减少自然生态系统向人工生态系统的转换, 减少碳排放<sup>[4]</sup>。近年来, 国际上对陆地生态系统植物碳储量的估算研究有较大的进展, 我国的研究主要是全国范围内或气候带范围内的碳储量及动态变化特点<sup>[5~9]</sup>, 而在区域土地覆被变化与陆地植被碳循环关系上的遥感应用研究较少。本文选取近 15a 来植被覆盖动态变化较为剧烈的区域—新疆鄯善平原绿洲群作为重点, 运用遥感和地理信息系统技术, 定量研究覆被变化对陆地碳循环的影响, 期望对维护干旱区绿洲生态环境和可持续发展具有参考意义。

## 1 研究区概况

研究区(图 1)位于东经 89°31'~91°54', 北纬 41°12'~43°33', 在吐鲁番盆地东部, 属典型暖温带

干旱荒漠气候, 多年年平均气温 12.83℃, 极端最高气温 44.8℃, 极端最低气温 -28.7℃, 多年平均降雨量 30.35 mm, 无霜期 224d, 全年 8 级以上大风天数 23.5d, 最多年份可达 76d, 年平均蒸发能力为 2 727 mm。

绿洲群环列于鄯善库姆塔格沙漠西、北方向, 水资源极其匮乏, 生态环境非常脆弱, 是自汉唐以来就有人类聚集活动的古老绿洲, 涉及三镇七乡。区内广布沙壤质灌耕土, 为重要的葡萄、哈密瓜产区及石油开采区。由于影像数据在鄯善库姆塔格沙漠南端有缺失, 研究区总面积确定为 503 735.7 hm<sup>2</sup>。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源

本文采用接受时间分别为 1990 年 9 月、1999 年 9 月 TM 数据、同期全色 SPOT 4 数据以及 2004 年 9 月多光谱 SPOT 5 数据。非遥感信息数据为 1:5 万地形图以及国家基础地理信息中心 1:25 万数据库中的地形数据库, 包括境界、交通、居民点、土壤、植被等地理空间数据及各类地名注记和各种参考文献资料。

收稿日期: 2006-07-03

基金项目: 中日政府合作项目“新疆吐鲁番盆地地下水可持续利用研究”(70361001)

作者简介: 周 绪 (1972-), 女, 重庆长寿人, 在读博士, 研究方向为生态环境监测、评价。E-mail: xuzhou 228@163.com。

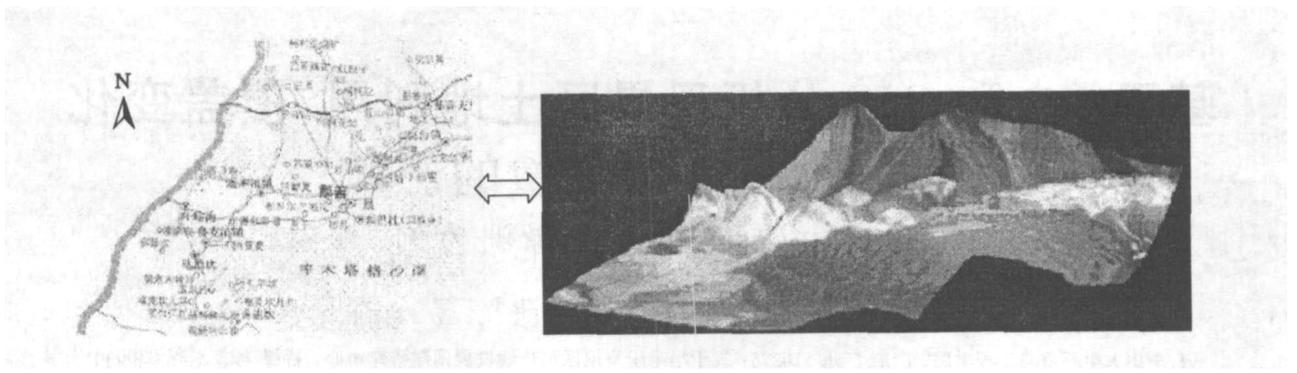


图 1 研究区示意图

Fig. 1 Sketch map of the study area

### 2.2 研究方法

首先对影像进行几何精校正,选择 UTM 投影方式、二元三次多项式拟合法进行影像配准,采用双线性内插法重采样。经检验 RMS 误差小于 0.5 个像元,通过曲线接缝线方法进行影像无缝镶嵌<sup>[7]</sup>;选用乘积方法将 TM B5, 4, 3 与 SPOT 4 全色影像进行分辨率融合处理,形成基础分类影像;在此基础上进行非监督分类,研究中分别选择 30、60、70、100 为初始分类数,尝试比较后,选定初始分类数为 70,分类标准依据国内常用的土地分类系统(源于中科院“八五”“国家资源环境遥感宏观调查与动态分析”一级土地分类系统),将该模板初始分类中的 70 类合并为林地、草地、耕地、城镇及工矿用地、水域和未利用地(半固定风沙土、流动风沙土、盐土、戈壁、砂砾)等分类要素;将各类别进行专题判别、色彩确定、分

类合并等处理,通过色彩聚类形成下一步监督分类的分类模板,在此模板上添加细分所需的多个训练样区,对监督分类模板进行 Contingency 评价,选择精度接近 70% 的分类模板,尔后运用最大似然分类法,对其进行监督分类;然后依据土地利用图、DEM 及坡度图等与目视解译相结合使分类精度接近 90%,随后对分类后细碎斑块采用 3 × 3 的 Majority 函数做滤波平滑处理<sup>[8]</sup>得到分类图。此外运用 NDVI 指数得到 NDVI 图,经二值化处理后提取水体信息,利用 Arcgis 8.3 将不同土地利用类型的分类数据与水体数据实现套合后获取最终分类图(见图 2) 并进行分层提取及空间叠置分析,获得土地利用相互转换数据。以此为基础进行各类型的统计、对比分析。



图 2 研究区 1990~2004 年影像土地覆被分类图

Fig. 2 Land cover classification maps of the study area from 1990 to 2004

### 2.3 植被碳库的估算

通常,植物生物量按照植物干有机物中碳所占的比重转化为碳量。因难以获取各种植被类型的转化率,所以按国际上常用的转化率(45% and 50% in Olson et al.; 50% in Knigge & Schulz)进行植被碳库估算。文中植被碳库仅指植被地上部分生物量,

碳含量计算公式为:

$$V_i = S_i \times B_i \times 0.5 \quad (1)$$

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  $i$  种植被类型的面积;  $B_i$  为第  $i$  种植被类型的生物量密度。林地植被碳密度为落叶阔叶林、混合林、有林地、有林草地的加权平均值。

草地植被碳密度为郁闭灌丛与稀疏灌丛的加权平均值<sup>[5,6,9]</sup>。经计算,研究区 1990 年、1999 年、2004 年植被碳储量分别为  $686.52 \times 10^3 \text{t}$ 、 $979.69 \times 10^3 \text{t}$ 、 $898.56 \times 10^3 \text{t}$ ,可见 1990~1999 年研究区内植被碳储量增加,由于 2000 年后极端气温、蝗灾、地下水超采等因素的影响使幼林及荒漠交错带的天然植被大面积受损,故 1999~2004 年植被碳储量减少,但 2004 年植被碳储量较 1990 年上升  $212.04 \times 10^3 \text{t}$ ,15a 间研究区总体上为一小的净碳汇。

1990 年、1999 年、2004 年耕地面积占总植被面积比例分别为 50.88%、47.71%、56.83%,但碳量占总碳量的比例分别为 14.29%、13.09%、14.41%,同期草地占总植被面积比例分别为 21.25%、23.11%、11.65%,而碳量占总碳量的比例分别为 1.96%、2.08%、0.97%,说明在植被碳库中林地占绝对优势。草本植物主要为一年生植物,每年生长量基本返回大气,因此主要研究林地面积变化对碳循环的影响。

表 1 1990~2004 年研究区各类型植被碳库

Table 1 Vegetation carbon reservoir of the study area from 1990 to 2004

植被类型 Type of vegetation	1990 年		1999 年		2004 年	
	面积(hm <sup>2</sup> ) Area	碳储量(10 <sup>3</sup> t) Carbon storage	面积(hm <sup>2</sup> ) Area	碳储量(10 <sup>3</sup> t) Carbon storage	面积(hm <sup>2</sup> ) Area	碳储量(10 <sup>3</sup> t) Carbon storage
林地 Woodland	9454.57	574.93	13798.18	831.07	12625.05	760.41
耕地 Farmland	17263.73	98.15	22558.11	128.25	22768.60	129.45
草地 Grassland	7209.71	13.44	10928.79	20.37	4667.39	8.70
总量 Total	33928.01	686.52	47285.08	979.69	40061.04	898.56

### 3 分析与讨论

#### 3.1 土地覆被变化分析

3.1.1 土地覆被变化幅度 主要体现在不同土地利用类型的总量变化上,可以反映区域土地利用总态势和土地利用结构变化信息,其表达式为:

$$\Delta U = U_b - U_a \quad (2)$$

式中:  $U_b$ 、 $U_a$  分别表示研究初期及研究末期某一种土地利用类型的数量<sup>[19]</sup>。

3.1.2 土地利用变化速度 本文仅考虑单一土地利用动态度,以此定量描述区域一定时间内某种土地利用类型变化速度及其变化的区域差异并预测其未来变化趋势,其表达式为:

$$R_{\text{单}} = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (3)$$

式中:  $U_a$ 、 $U_b$  分别表示研究初期及研究末期某一种土地利用类型的数量,  $T$  表示研究期时段长。

表 2 1990~2004 年研究区不同土地利用类型的面积变化及其动态度汇总

Table 2 Different land use types change area and the dynamic degree of the study area from 1990 to 2004

土地覆被类型 Type of land cover	1990~1999 年				1999~2004 年			
	1990 面积 Area of 1990 (hm <sup>2</sup> )	1999 面积 Area of 1999 (hm <sup>2</sup> )	10a 变化 Change of 10 years (hm <sup>2</sup> )	年变化率 Rate of annual change (%)	1999 面积 Area of 1999 (hm <sup>2</sup> )	2004 面积 Area of 2004 (hm <sup>2</sup> )	5a 变化 Change of 5 years (hm <sup>2</sup> )	年变化率 Rate of annual change (%)
耕地 Farmland	17263.73	22558.11	+5294.38	+3.07	22558.11	22768.6	+210.46	+0.19
林地 Woodland	9454.57	13798.18	+4343.61	+4.59	13798.18	12625.05	-1173.13	-1.70
草地 Grassland	7209.71	10928.79	+3719.08	+5.16	10928.79	4667.39	-6261.40	-11.46
居民工矿用地 Construction	854.30	3234.94	+2380.64	+27.87	3234.94	3438.63	+203.69	+1.26
水体 Water	33.26	25.36	-7.90	-2.38	25.36	50.20	+24.84	+19.59
戈壁 Gobi	48964.80	35236.69	-13728.11	-2.80	35236.69	26235.90	-9000.79	-5.11
砂砾 Gravel	142907.70	149076.50	+6168.80	+0.43	149076.50	146939.60	-2136.90	-0.29
盐土 Saline soil	100201.61	94865.06	-5336.55	-0.53	94865.06	106578.18	+11713.12	+2.47
半固定风沙土 Semi fixed sand	46623.77	43018.11	-3605.66	-0.77	43018.11	48617.05	+5598.94	+2.60
流动风沙土 Mobile sand	130222.20	130993.9	+771.70	+0.06	130993.90	131815.10	+821.20	+0.13
总面积 Total	503735.70	503735.70	-	-	503735.70	503735.70	-	-

由 1990 年~2004 年间不同土地覆被类型的变化面积以及动态度(表 2) 可知, 研究区内 1990~1999 年居民及工矿用地变化最大, 主要来源于油田开发带来约 2 万余人的机械性人口增加及每年千余风沙区移民, 同时由于油气、石材、铁矿等资源开发活动的不断扩大, 对戈壁、砂砾土覆被的干扰也随之剧烈; 其次, 林地、耕地增加速度也较快。1999~2004 年水体面积变化最大, 主要源于当地增建部分污水灌溉池。此外, 县域内城镇、农村、工业用水量一直有增无减, 尤其工业用水量自 1993 年后不断攀升, 地下水位平均年降幅超过 1 m, 致使幼林及荒漠

交错带的天然草地受损严重, 在鄯善南绿洲平原区表现尤为明显。

3.1.3 土地利用类型之间的相互转换 马尔可夫链是一种具有‘无后效性’的特殊随机过程。土地利用演变具有此随机过程的性质, 故采用马尔可夫转移矩阵模型来描述土地利用类型动态转换。本文除林地外, 均为一年生草本植物或农作物, 因所吸收的 CO<sub>2</sub> 当年返回大气中, 可以假设这些植物的碳循环是平衡的, 它们之间的相互转变不影响碳循环, 因此只考虑不同土地覆被类型与林地之间的转变(见表 3)。

表 3 1990~2004 研究区林地与其他土地覆被类型之间的相互转换状况

Table 3 Mutual conversion between woodland and others of the study area from 1990 to 2004

土地覆被类型 Type of land cover	1990~1999 年			1999~2004 年		
	林地减少(hm <sup>2</sup> ) Decrease of woodland	林地增加(hm <sup>2</sup> ) Increase of woodland	林地年变化(hm <sup>2</sup> ) Annual change of woodland	林地减少(hm <sup>2</sup> ) Decrease of woodland	林地增加(hm <sup>2</sup> ) Increase of woodland	林地年变化(hm <sup>2</sup> ) Annual change of woodland
耕地 Farmland	-3036.60	+5986.20	294.960	-7307.77	+5963.04	-268.950
林地 Woodland	3743.06	+3743.06	0.000	4487.69	+4487.69	0.000
草地 Grassland	-1709.80	+1631.21	-7.859	-981.65	+752.88	-45.750
居民工矿用地 Construction	-209.88	+824.78	61.490	-689.94	+777.48	17.510
水体 Water	-3.34	+9.18	0.584	-5.81	+5.97	0.032
戈壁 Gobi	-96.09	+165.33	6.920	-81.99	+62.18	-3.960
砂砾 Gravel	-68.46	+537.69	46.920	-130.55	+210.88	16.070
半固定风沙土 Semi fixed sand	-69.76	+3.77	-6.600	-7.89	+293.11	57.040
盐土 Saline soil	-517.58	+896.97	37.940	-104.88	+71.83	-6.610

从表 3 变化类型上分析, 林地转变具有顺向及逆向两种演替机制, 即原植被覆盖地向风沙土、盐土、砂砾的转变和风沙土、盐土、砂砾、戈壁逐渐为人利用或自然生长植被。在当地居民频繁活动及植被自然演替过程影响下, 研究区植被覆被变化较大。此外可以从空间分析模型<sup>[19]</sup> 进行分析:

$$CCL_i = \{ (LA_{(i,t_2)} - ULA_i) + (LA_{(i,t_1)} - ULA_i) \} / LA_{(i,t_1)} / (t_2 - t_1) \times 100\%$$

$$= TRL_i + IRL_i \quad (4)$$

式中:  $TRL_i$  为第  $i$  种土地利用类型在监测时期  $t_1 \sim t_2$  期间的转移速率;  $IRL_i$  为其新增速率;  $CCL_i$  为其变化速率;  $ULA_i$  为监测期间第  $i$  种土地利用类型未变化部分的面积;  $LA_{(i,t_1)}$  和  $LA_{(i,t_2)}$  分别为该种土地利用类型在监测初( $t_1$ ) 和监测期末( $t_2$ ) 面积;  $n$  为区域内土地利用类型分类数,  $i \in (1, n)$ 。

1990~1999 年、1999~2004 年的林地的变化速率分别为 16.67%、25.29%。说明 1999 年~2004 年林地受外界的干扰较 1990~1999 年更为剧烈。

### 3.2 土地覆被变化对植被碳循环的影响

文中戈壁、盐土、砂砾、风沙土、水体、耕地、草地、居民及工矿用地转变为林地时, 主要考虑为植被生物量的增加, 通过计算不同土地覆被类型的转变得到不同土壤类型上植被碳库的变化(见表 4)。

从表 4 中可见, 1990~1999 年耕地转变为林地后植被碳量增长最大, 而 1999~2004 年植被碳量增长则主要表现为半固定风沙土上的林地生长。从 1990~2004 年, 居民工矿用地、砂砾上植被碳储量增长渐缓, 半固定风沙土的植被碳储量呈上升趋势。而草地的植被碳储量一直下降, 并在后期呈现更为严峻的态势。

表4 1990~2004年不同土地覆被类型与林地之间转变的碳量变化

Table 4 Carbon storage changes of different land cover types converting to woodland from 1990 to 2004

土地覆被类型 Type of land cover	耕地 Farmland	草地 Grassland	居民工矿用地 Construction	水体 Water	戈壁 Gobi	砂砾 Gravel	半固定风沙土 Semi fixed sand	盐土 Saline soil
1990~1999 植被碳量 (10 <sup>3</sup> ) 1990~1999 vegetation carbon storage	179.36	-4.78	37.39	0.36	4.21	28.53	-4.01	23.07
1999~2004 植被碳量 (10 <sup>3</sup> ) 1999~2004 vegetation carbon storage	-81.77	-13.91	5.32	0.01	-1.21	4.89	17.93	-2.01

## 4 结论

1) 采用 Brovey Transform 方法将 TM5, 4, 3 与 SPOT 4 全色影像进行分辨率融合处理, 凸现植被、土壤信息, 提高影像分辨率至 10 m 使其更适宜于县域范围的研究。同时采用多步骤分类方法以提高影像分类精度。

2) 研究区内 1990~1999 年植被碳储量增加, 而 1999~2004 年植被碳储量减少, 但 2004 年植被碳储量较 1990 年仍有上升, 15a 间研究区总体上为一小的净碳汇。

3) 研究区不同土地覆被类型与林地之间呈双向演替机制, 植被覆被变化较大。1990~1999 年、1999~2004 年的林地的变化速率分别为 16.67%、25.29%, 显示 1999~2004 年林地受外界的干扰更为剧烈。

4) 研究区草地的植被碳储量一直下降, 并在后期呈现更为严峻的态势。主要是因鄯善南部绿洲区地下水严重超采造成其下游天然植被面积锐减所致。

5) 15a 间研究区既有植被的顺向演替阶段, 也出现了逆向演替的趋向, 说明在极端干旱区, 生态系统相当脆弱, 极易受外界影响而处于不断的动态变化之中, 加之水资源十分匮乏, 如何实现丰富矿产资源的开采与人居生存环境相协调, 科学、合理的执行退耕还林还草措施, 提高水资源利用率及其综合调度水平, 做好土地管理与生态环境保护工作, 仍需更

为深入、审慎的研究。

**致谢:** 本文源于中日政府合作项目“新疆吐鲁番盆地地下水可持续利用研究”, SPOT 影像为日方 JICA 株式会社提供, 在此表示感谢。同时, 非常感谢新疆维吾尔自治区水利厅、水文水资源局及吐鲁番地区水利局的大力协助。

### 参考文献:

- [1] 王绍强, 陈育峰. 陆地表层碳循环模型研究及其趋冀[J]. 地理科学进展, 1998, 17(4): 64-72.
- [2] 李晓兵. 国际土地利用—土地覆盖变化的环境影响研究[J]. 地球科学进展, 1999, (4): 395-400.
- [3] Keith Paustian, Vernon Cole C. CO<sub>2</sub> Mitigation by Agriculture: An Overview[J]. Climatic Change, 1998, 40: 135-162.
- [4] 刘慧, 成升魁, 张雷. 人类经济活动影响碳排放的国际研究动态[J]. 地理科学进展, 2002, 21(5): 420-429.
- [5] 李克让, 王绍强, 曹奎明. 中国植被和土壤碳储量[J]. 中国科学(D辑), 2003, 33(1): 72-80.
- [6] 丁圣彦, 梁国付. 近 20 年来洛宁县森林植被碳储量及动态变化[J]. 资源科学, 2003, 26(3): 105-108.
- [7] Keith Paustian, Vernon Cole C. CO<sub>2</sub> Mitigation by Agriculture: An Overview[J]. Climatic Change, 1998, 40: 135-162.
- [8] 衣伟宏, 杨柳, 张正祥. 基于 ETM+ 影像的扎龙湿地遥感分类研究[J]. 湿地科学, 2004, 2(3): 208-212.
- [9] 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, 2004, 43(9): 967-973.
- [10] 高占国, 赵旭阳. 基于 GIS 的土地利用动态变化与预测—以井陘县威州镇为例[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2002, 23(2): 75-80.

## Analysis based on RS & GIS of the effect of land use /cover change on vegetation carbon reserves in arid region

—A case study on oases of Shanshan, Xinjiang

ZHOU Xu<sup>1</sup>, LIU Zhi-hui<sup>1,2,3</sup>, DAI Wei<sup>1</sup>, JU Chun-yan<sup>1</sup>, YI Li<sup>1</sup>, JIANG Hong<sup>1</sup>

(1. College of Environmental Science and Engineering, Sun Yat-Sen University, Guangzhou, Xinjiang 510275;

2. International Center for Desert Research on Sustainable Development in Arid and Semi-arid Lands, Urumqi, Xinjiang 830046;

3. Key Laboratory of Oasis Ecology of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046, China)

**Abstract** : Land use /cover changes have been an important effect on carbon cycle. In this paper, we used multi-temporal Landsat TM/SPOT 4(P) merge data and SPOT 5(XS/XI) data to compute the extent of different land cover types and mutual transformation one another in oases plain. The land-cover maps were made by the hybrid classification (method of combining unsupervised classification and supervised classification), and then the changes were detected. Carbon storages were assessed by using the results of multi-temporal Landsat TM/SPOT 4(P) merge data and SPOT 5(XS/XI) data and the published data about carbon storage in vegetation. Results indicate that the change rates of woodland area increased +4.5% per year from 1990~1999. Whereas, it decreased -1.7% per year from 1999~2004. Carbon storages in vegetation added to  $264.13 \times 10^3$  t from 1990~1999 and it reduced to  $70.75 \times 10^3$  t from 1999~2004. However, carbon storage in vegetation was steady increased by  $212.04 \times 10^3$  t for 15 years. Thus, there has been a little carbon sink in the study area. But carbon storage in natural grassland was dramatically diminished, thus the state of local environment has been extremely frail. So, reasonable and scientific supervision of the land use and environmental protection should be attached special importance.

**Key words** : RS & GIS ; arid region ; land use /cover change ; vegetation carbon storage

(上接第 215 页)

## Advance in Research of effect and mechanism of higher soil compaction on plant growth

ZOU Yang-jun, MA Feng-wang, HAN Ming-yu, WU Ya-wei

(College of Horticulture, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract** : The plant needs suitable soil bulk density for the growth. The soil physical, chemical and biological properties deteriorated when the soil bulk density is higher than normal. At the same time the high soil compaction affects the available nutrient contents, the soil enzyme activities and the number of soil biota. The growth of plant will be inhibited. At present high soil compaction has become one of the principal obstacle factors for sustainable development of Chinese agriculture. In this article we have described the relation of soil bulk density and soil physical, chemical and biological properties, the response of plant to high soil compaction. The research prospect of soil compaction is also discussed.

**Key words** : soil compaction ; soil bulk density ; study progress