

陕北黄土高原土地利用/土地覆被变化中 植被固碳释氧功能价值变化*

谢红霞^{1,2***} 任志远¹ 李锐^{1,2}

(¹ 陕西师范大学旅游与环境学院, 西安 710062; ² 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100)

摘要 利用陕北黄土高原的土地利用、气象等数据, 测算了该区土地利用土地覆被变化 (LUCC) 引起的植被固碳释氧服务功能价值的变化, 结果表明: 1996 年区域固碳释氧功能价值比 1986 年增加了 9.97718 亿元, 2001 年固碳释氧功能价值比 1986 年增加了 13.61481 亿元。这种价值变化反映出实施退耕还林还草政策以及合理控制城镇建设用地的扩张对提高陕北黄土高原生态服务功能有着十分重要的意义。

关键词 陕北黄土高原; 土地利用/土地覆被变化; 固碳释氧; 经济价值

中图分类号 F301.24 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2007)03-0319-04

Economic value of vegetation carbon fixation and oxygen release in Loess Plateau of North Shaanxi Province under land-use and land-cover change. XIE Hong-xia^{1,2}, REN Zhi-yuan¹, LI Rui^{1,2} (¹ College of Tourism and Environment Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China; ² Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Resources, Yangling 712100, Shaanxi, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(3):319–322.

Abstract: By using land-use and meteorological data, estimation was made on the economic value of vegetation carbon fixation and oxygen release in the Loess Plateau of North Shaanxi under land-use and land-cover change. Compared with that in 1986, this economic value in 1996 and 2001 was increased by 9.97718×10^8 yuan and 1.361481×10^9 yuan, respectively. The policies of returning farmland to forest and grassland and of reasonably controlling the increase of urbanization area were of significance in improving the ecological functions of the Loess Plateau in North Shaanxi Province.

Key words: Loess Plateau in North Shaanxi Province; land-use and land-cover change; carbon fixation and oxygen release; economic value.

1 引言

土地利用/土地覆被变化 (LUCC) 是全球环境变化的重要组成部分和重要原因之一, 是可持续发展的核心问题, 与人类的生存和发展息息相关 (刘彦随和陈百明, 2002; 陈百明等, 2003)。LUCC 不仅带来地表结构的巨大变化, 而且会影响其物质循环和能量流动, 影响以土地为载体的生态系统服务功能, 影响区域生态环境和生态过程, 因此研究区域

LUCC 中生态环境效应和 LUCC 对重要生态过程的影响有着十分重要的意义, 同时也是当前 LUCC 研究中的难点和热点问题。植被作为区域生态系统的主要组成部分, 发挥着重要的生态服务功能, 植被固定 CO_2 和释放 O_2 是其中重要的功能之一。对区域 LUCC 中植被固碳释氧的研究, 有利于了解 LUCC 对区域固碳释氧这一生态服务功能过程的影响和生态系统的生态功能过程 (蔡运龙, 2001; 彭建等, 2004)。近年来, 随着人们对生态系统服务功能的重视, 对生态系统服务功能的研究也已经引起众多的关注 (Daily & Ehrlich, 1996; Costanza *et al.*, 1997; Turner *et al.*, 1998)。目前, 国内外生态服务

* 国家自然科学基金 (40371003) 和教育部重点资助项目 (01158)。

** 通讯作者 E-mail: xiehongxia136@sina.com

收稿日期: 2006-07-25 接受日期: 2006-10-11

价值的测算大多数以 Costanza 研究成果为依据,以全球单位面积生态服务价值平均值直接测算区域生态系统服务功能的价值,考虑区域生态系统要素的具体变化情况的研究尚不是很多。本研究在地理信息系统技术的支持下,利用研究区基础数据和区域生态服务价值测算模型方法来测算研究区植被固碳释氧功能价值。

陕北黄土高原南北狭长,自北向南分为风沙过渡区、梁峁丘陵区、低山残塬台塬区等不同地貌类型单元,是中国一个典型的生态环境脆弱区。因此,对本区 LUCC 对生态系统服务功能价值的深入研究,可为本区土地资源的可持续利用以及社会经济的协调发展提供一定的决策依据,对于保护和改善本区的生态环境质量、协调人地关系也有着十分重要的意义。同时,将陕北黄土高原 LUCC 和生态效益的定量测算结合研究,可为脆弱生态区 LUCC 和生态效益研究的定量研究提供一些新的参考。

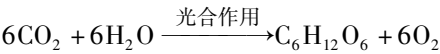
2 研究地区与研究方法

2.1 研究区概况

陕北黄土高原地处陕西省北部,介于 107°20′—111°25′E,34°48′—39°35′N,北、西、东分别与内蒙古自治区、甘肃省和山西省毗邻,南与渭南市、咸阳市相连,包括榆林、延安、铜川 3 个地级市,共 25 个县和 4 个市辖区,9689 个行政村。陕北黄土高原土地面积 $8.4 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占陕西省土地总面积的 40.81%,人口 606 万人,占陕西省总人口的 17.31%。陕北黄土高原地貌形态复杂多样,陡坡沟多,土地利用类型多样,长期以来,水土流失和风沙危害较为严重。

2.2 研究方法

2.2.1 植被单位面积固碳释氧量 生态系统中的各类植被吸收空气中的二氧化碳(CO₂),通过光合作用,生成葡萄糖等碳水化合物、放出氧气(O₂)。其化学反映方程式为:



该测算方法是以净第一性生产力为基础,根据光合作用方程式,每生产 1.00 g 干物质能固定 1.63 g CO₂,同时释放 1.20 g O₂。本研究第一性生产力的测算则根据植被的特点分别采用适合研究区的综合自然植被净第一性生产力测算模型和农业生产力模型(周广胜和张新时,1996;郑元润等,1997),模型

分别如下:

$$NPP = RDI \times \frac{r \times R_n (r^2 + r \times R_n + R_n^2)}{(R_n + r)(R_n^2 + r^2)} \times \text{Exp}(-\sqrt{9.87 + 6.25 \times RDI})$$
$$NPP = \text{Exp} \left(\frac{rR_n (r^2 + R_n^2 + rR_n)}{(R_n + r)(R_n^2 + r^2)} \right) (0.0015RDI + 0.0013)$$

式中: *NPP* 为植被净第一性生产力($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); *RDI* 为辐射干燥度,是辐射能量的年净收入与蒸发年降水所需能量的比值,表示气候干燥程度; *r* 为降水量(mm); *R_n* 是为净辐射($\text{J} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$),它代表热量或温度因子,是植被生态过程强度的度量。其中, *RDI*、*R_n* 和 *I* 计算公式为

$$RDI = \frac{R_n}{L \times r}$$
$$L = 2500 - 2.4t$$
$$R_n = R_a(1 - V') - I$$
$$R_a = R_0(0.248 + 0.725 \times n/N)$$
$$I = (0.39T_a^4 - 0.05\delta e_a^{0.5})(0.10 + 0.9 \frac{n}{N}) \times (s \times \frac{\delta}{4.18})$$

式中, *L* 为水的蒸发潜热($\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$); *R₀* 为天文辐射($\text{J} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); *R_a* 为总辐射量($\text{J} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); *I* 为长波有效辐射($\text{J} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); *V'* 为地表反射率,通常取 0.2; *n/N* 为日照百分率; *T_a* 为月平均气温(绝对温度); *t* 为年平均气温($^{\circ}\text{C}$); *e_a* 为月平均水汽压(Pa); $\delta = 0.95$; $s = 0.567 \times 10^{-4} \text{ e} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

2.2.2 植被单位面积固碳释氧价值量 植被固碳价值的计算方法,主要有温室效应损失法、造林成本法和碳税法等;植被释氧价值的计算方法,目前应用较多的是造林成本法和工业制氧法。本研究中采用造林成本法来计算植被的固碳释氧价值。具体计算过程是:1)根据植物光合作用化学方程式,确定干物质、CO₂、O₂ 间的比例,利用有机物生产计算的成果计算 CO₂、O₂ 物质量。2)确定碳氧分配系数,由于植被的固碳释氧功能是同时存在的,所以用造林成本代替其功能价值,必须将成本在固碳和释氧之间做出分配,这里取氧分配系数为 0.43[12/(12 + 16)],其中按照造林成本法固碳成本为 260.9 元· t^{-1} ,释氧成本为 352.93 元· t^{-1} 。3)利用各种植被的 *NPP* 计算单位面积植被的固碳释氧功能价值(李金昌,1999;欧阳志云等,1999)。

2.2.3 陕北黄土高原植被固碳释氧价值总量测算

利用植被单位面积固碳释氧价值量和陕北黄土高原各植被类型的面积即可测算出植被固碳释氧价值总量,计算公式为:

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i S_i$$

式中, Q 为植被固碳释氧价值总量, i 为植被类型, S_i 植被面积, Q_i 植被单位面积的固碳释氧价值量。

3 结果与分析

3.1 陕北黄土高原植被面积变化

1986—2001 年间,陕北黄土高原粮食播种面积一直在缩小,林地、果园、牧草地面积则呈扩大趋势(表 1)。具体来说,1986—1996 年间,农作物播种面积、园地面积、林地面积、牧草地面积的年变化率分别为 -1.053%、14.049%、0.415% 和 0.197%,而 1996—2001 年间则分别为 -2.927%、13.865%、1.330% 以及 0.073%。

3.2 陕北黄土高原植被单位面积固碳释氧量

利用以上植被固碳释氧量的测算模型,利用陕北黄土高原气候状况等数据,即可测算出陕北黄土高原单位植被净生产力和固碳释氧物质量(表 2,表

3)。由于陕北黄土高原气候年际间变化大,因而植被的净生产力和单位面积固碳释氧量年际间变化显著,在研究选择的 3 年里,1996 年水热条件比其他 2 年好,农作物、果树、森林和牧草的净生产力和固碳释氧量都比较高,分别为 7.501、9.488、13.554 和 5.421 t · hm⁻² · a⁻¹, 12.227、15.465、22.093 和 8.836 t · hm⁻² · a⁻¹ 和 9.001、11.386、16.265 和 6.505 t · hm⁻² · a⁻¹。为了更好体现 LUCC 对研究区固碳释氧服务功能的影响,本研究采用单位面积固碳释氧价值的平均值来测算各年植被的固碳释氧价值总量,农作物、果树、森林和牧草的净生产力和固碳释氧量的平均值分别为 5.519、7.056、10.080 和 4.032 t · hm⁻² · a⁻¹, 8.996、11.501、16.431 和 6.572 t · hm⁻² · a⁻¹ 和 6.623、8.467、12.096 和 4.838 t · hm⁻² · a⁻¹。

3.3 陕北黄土高原植被固碳释氧价值总量

运用陕北黄土高原植被固碳释氧价值总量测算模型,利用陕北黄土高原植被单位面积固碳释氧量和植被面积数据,即可测算出研究区各植被单位面积固碳释氧价值和植被固碳释氧价值总量(表 4,表 5)。1986 年陕北黄土高原植被固碳释氧价值总量

表 1 陕北黄土高原植被面积变化
Tab.1 Area change of the vegetation in Loess Plateau of North Shaanxi Province

植被类型	面积(hm ²)			面积年变化率(%)		
	1986 年	1996 年	2001 年	1986—1996	1996—2001	1986—2001
农作物	2364548. 97	2215670. 47	1806035. 17	- 1. 053	- 2. 927	- 1. 575
果树	68307. 80	164273. 71	278152. 97	14. 049	13. 864	20. 480
森林	2644288. 81	2754093. 97	2937199. 27	0. 415	1. 330	0. 739
牧草	2690611. 36	2743476. 69	2753420. 42	0. 197	0. 073	0. 156

表 2 陕北黄土高原植被净生产力
Tab.2 NPP change of the vegetation in Loess Plateau of North Shaanxi Province

年份	降水量 (mm)	日照率 (%)	净辐射 (J · cm ⁻²)	辐射干燥度	NPP (t · hm ⁻² · a ⁻¹)			
					农作物	果树	森林	牧草
1986	405. 8	0. 540	154062	1. 53	4. 328	5. 291	7. 559	3. 023
1996	798. 6	0. 530	159550	0. 81	7. 501	9. 488	13. 554	5. 421
2001	489. 7	0. 551	150091	1. 24	4. 728	6. 389	9. 128	3. 651
平均值					5. 519	7. 056	10. 080	4. 032

表 3 陕北黄土高原植被单位面积固碳释氧量
Tab.3 Quantity of absorbing CO₂ and giving off O₂ of the unit area by the vegetation

年份	固定 CO ₂ (t · hm ⁻² · a ⁻¹)				释放 O ₂ (t · hm ⁻² · a ⁻¹)			
	农作物	果树	森林	牧草	农作物	果树	森林	牧草
1986	7. 055	8. 624	12. 321	4. 927	5. 194	6. 349	9. 071	3. 628
1996	12. 227	15. 465	22. 093	8. 836	9. 001	11. 386	16. 265	6. 505
2001	7. 707	10. 414	14. 879	5. 951	5. 674	7. 667	10. 954	4. 381
平均值	8. 996	11. 501	16. 431	6. 572	6. 623	8. 467	12. 096	4. 838

表 4 陕北黄土高原植被单位固碳释氧价值量
Tab.4 Value of absorbing CO₂ and giving off O₂ of the unit area by the vegetation in Loess Plateau of North Shaanxi Province

年份	固碳价值(元·hm ⁻²)				释氧价值(元·hm ⁻²)			
	农作物	果树	森林	牧草	农作物	果树	森林	牧草
1986	1841	2250	3215	1285	1833	2241	3201	1280
1996	3190	4035	5764	2305	3177	4018	5740	2296
2001	2011	2717	3882	1553	2003	2706	3866	1546
平均值	2347	3001	4287	1715	2337	2988	4269	1707

表 5 陕北黄土高原植被固碳释氧价值总量
Tab.5 Total value of absorbing CO₂ and giving off O₂ by the vegetation in Loess Plateau of North Shaanxi Province

年份	固碳价值(亿元)				释氧价值(亿元)				总价值 (亿元)
	农作物	果树	森林	牧草	农作物	果树	森林	牧草	
1986	55.49730	2.04970	113.35625	46.13147	55.27028	2.04126	112.88951	45.94153	433.17729
1996	52.00304	4.92933	118.06341	47.03786	51.79031	4.90904	117.57730	46.84419	443.15448
2001	42.38866	8.34649	125.91283	47.20835	42.21527	8.31213	125.39440	47.01397	446.79210

4 结 论

研究表明,研究区 1986—2001 年期间植被固碳释氧价值总量呈增长趋势,1986 年陕北黄土高原植被固碳释氧价值总量为 433.17729 亿元,1996 年陕北黄土高原植被固碳释氧价值总量为 443.15448 亿元,比 1996 年增加了 9.97718 亿元。2001 年陕北黄土高原植被固碳释氧价值总量为 446.79210 亿元,分别比 1986 年和 1996 年分别增加了 13.61481 亿元和 3.63762 亿元。因此,在当前这种 LUCC 过程中,即实施退耕还林还草和合理控制城市化过程中建设用地的的发展等政策导向下,研究区生态服务功能是向着增长方向发展,生态环境质量向着优化的方向变化。

参考文献

蔡运龙. 2001. 土地利用/土地覆被变化研究:寻求新的综合途径. 地理研究, 20(6): 645 – 652.
陈百明,刘新卫,杨 红. 2003. LUCC 研究的最新进展评述. 地理科学进展, 22(1): 22 – 29.
李金昌. 1999. 生态价值论. 重庆:重庆大学出版社. 1 – 156.
刘彦随,陈百明. 2002. 中国可持续发展问题与土地利用/覆

为 433.17729 亿元,1996 年陕北黄土高原植被固碳释氧价值总量为 443.15448 亿元,比 1986 年增加了 9.97718 亿元。2001 年陕北黄土高原植被固碳释氧价值总量为 446.79210 亿元,分别比 1986 年和 1996 年分别增加了 13.61481 亿元和 3.63762 亿元。但从各个植被类型来看,变化则是各有特点,农作物固碳释氧价值总量减少,而果树、森林、牧草的固碳释氧价值总量增加,这主要是陕北黄土高原退耕还林还草和产业结构调整共同作用的结果。

被变化研究. 地理研究, 21(3): 324 – 330.
欧阳志云,王效科,苗 鸿. 1999. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究. 生态学报, 19(5): 607 – 613.
彭 建,王仰麟,张 源,等. 2004. 滇西北生态脆弱区土地利用变化及其效应——以云南省永胜县为例. 地理学报, 59(4): 629 – 638.
郑元润,周广胜,张新时. 1997. 农业生产力模型初探. 植物学报, 39(9): 831 – 836.
周广胜,张新时. 1996. 全球气候变化的中国自然植被净第一性生产力研究. 植物生态学报, 20(1): 11 – 19.
Costanza R, d’Arge R, de Groot R, et al. 1997. The value of the world’s ecosystem services and natural capital. Nature, 387: 253 – 260.
Daily GC, Ehrlich PR. 1996. Development, global change, and the epidemiological environment. Environment and Development Economics, 1: 311 – 346.
Turner RK, Adger WN, Brouwer R. 1998. Ecosystem services value, research needs, and policy relevance: A commentary. Ecological Economics, 25(1): 61 – 65.

作者简介 谢红霞,女,1973 年生,博士研究生,研究方向为城乡国土资源评价、环境遥感与 GIS. E-mail: xiehongxia136@sina.com
责任编辑 李凤芹