

秦巴山区植被固定 CO₂ 释放 O₂ 生态价值测评

任志远, 李 晶

(陕西师范大学旅游与环境学院, 西安 710062)

摘要: 根据陕南秦巴山区植被类型及覆盖度的差异, 利用改进型的自然植被 NPP 测算模型, 结合区域能量平衡、水量平衡和蒸散模式, 测定了植被有机质生产物质量。在此基础上, 根据光合作用方程及造林成本法与工业制氧法测定了秦巴山区植被固定 CO₂ 释放 O₂ 的经济价值。研究结果: ① 秦巴山区植被每年固定 CO₂ 总量为 13.5×10^7 t/a, 释放 O₂ 总量为 9.93×10^7 t/a; ② 利用造林成本法估算出秦巴山区植被固定 CO₂ 总经济价值为 352.24×10^7 元/a; ③ 利用造林成本法与工业制氧法估算出秦巴山区植被释放 O₂ 经济价值为 374.19×10^8 元/a; ④ 本区植被固定 CO₂ 释放 O₂ 物质和价值量中, 温带落叶阔叶林贡献率最高, 其次是亚热带落叶灌丛。本研究可为区域“绿色经济账户”的建立提供基础数据和方法。

关键词: 植被固碳释氧; 经济价值测评; 陕南秦巴山区

中图分类号: Q948.1; P467 文章编号: 1000-0585(2004)06-0769-07

1 引言

CO₂ 是所有大气温室气体中浓度最大、气候效应最显著的一种气体。在自然界生物地化循环中, 陆地生态系统是最活跃的碳库之一。其中植被在固定 CO₂ 贮藏 CO₂ 和大气与陆地生态系统碳循环中起着十分重要的作用, 由于植被生态系统有很强的碳吸收和交换能力, 人们称它为地球的“肺”。陆地表层植被是区域和全球环境变化的主要反馈和调节系统, 具有十分重要的生态调节功能, 为人类的生存和发展提供生态服务, 体现出生态服务价值。对于生态系统服务功能价值的研究成为近年来环境生态学和生态经济学的热点问题^[1~9]。国内外一些学者从不同空间尺度对不同类型的生态系统进行了一定的研究, 推动这一领域研究的发展。随着我国“绿色会计”制度的启动, 区域生态价值测评和环境损失评价工作显得尤为重要和迫切。由于各类生态系统的复杂性, 这一方面研究仍是一个初期阶段, 存在不少困难和问题, 理论与方法仍需不断的探索和结合区域特征进行实证分析^[10~14]。本文以陕南秦巴山区作为典型样区, 进行了植被固定 CO₂ 和释放 O₂ 物质和价值的测评分析。研究中不仅考虑植被类型的不同, 也重视各类植被中的覆盖度差异, 并结合区域特征, 利用环境生态学与生态经济学的方法进行分析, 对生态价值测评方法进行实践论证与完善, 同时为建立区域绿色生态账户提供基础数据, 以促进生态环境管理与建设, 确保区域生态安全和社会经济的协调发展。

2 研究区域

陕南秦巴山区位于陕西省南部, 地处北纬 $31^{\circ}42' \sim 34^{\circ}45'$, 东经 $105^{\circ}46' \sim 111^{\circ}15'$,

收稿日期: 2004-03-08; 修订日期: 2004-06-27

基金项目: 教育部重大项目 (2001DXM700012) 和重点项目 (01158); 国家自然科学基金资助项目 (30070083)

作者简介: 任志远, (1953-), 男, 陕西人, 教授, 博士生导师。主要从事国土资源开发与生态环境评价研究, 发表论文 60 余篇。E-mail: renzhy@snnu.edu.cn

东西长 400~500km, 南北宽 180~380km, 包括秦岭山地、汉江河谷盆地及大巴山山地三个单元。土地总面积 $87.09 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 占全省总面积的 40%。人口 1029.31×10^4 人, 其中农业人口 911.96×10^4 占人口总数 88.6%。

本区年平均气温 $12 \sim 15^\circ\text{C}$, 7 月平均气温 $23.4 \sim 26.7^\circ\text{C}$, 1 月平均气温 $0.0 \sim 3.6^\circ\text{C}$; $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温 $3812 \sim 5537.4^\circ\text{C}$ 。气温随海拔而变化, 形成山地垂直温度带。本区降水量较丰富, 年降水量 $709.5 \sim 1400 \text{ mm}$, 雨季 4~10 月, 占全年降水量的 75% 左右。

由于特殊位置和地貌形态与同纬度地区相比, 陕南秦巴山区植物区系成分多样, 生态条件复杂, 植被类型丰富, 垂直带谱分异较完整而典型, 水平地带特征显著。这里聚集着 6000 多种生物资源, 素有“生物基因库”和“天然药库”之称。

3 数据来源与主要方法

陕南秦巴山区植被固定 CO_2 和释放 O_2 的生态经济价值测评, 以植被生产有机质物质量计算为基础, 以野外调查和观测试验为依据, 通过典型区域测试, 结合陕西省最新出版的 1:100 万《陕西植被图》^[15]、1:50 万《陕西植被类型及覆盖度图》、TM 图像等, 以及秦巴山区 50 个气象台站近 10 年观测资料, 建立本区植被与生态条件统计模型和数据库, 利用改进的 NPP 测算模型测评植被生产有机质物质量。根据光合作用方程, 测算各类植被固定 CO_2 和释放 O_2 的物质量, 利用造林成本方法和工业制氧法, 测算秦巴山区植被每年固 CO_2 释 O_2 生态功能的经济价值。数据处理与分析在 GIS 技术支持下完成。并建立了相关数据库、模型库和图形库。

4 植被生产有机质物质量测评

4.1 有机质物质量测评模型与方法

植被的最基本也是最重要的功能, 是利用太阳能将无机化合物, 如 CO_2 、 H_2O 等合成有机物质, 为人类提供最初的第一性有机物质和能量。它的生产量称之为第一性生产力 (NPP), 是指绿色植物在单位面积、单位时间所能生产的各种有机物质, 包括了枝、叶和根等生物物质生产量, 它反映了植物类型在一定环境条件下的生产能力。本研究利用了一种改进型的自然植被 NPP 测算模型^[16~20]。这一模型是根据植被生态学特点, 并联系能量平衡、水量平衡方程, 依据区域蒸散模式而建立的净第一性生产力模型, 这一模型在应用上适合不同地区的具体生态条件。具体公式如下:

$$NPP = RDI \times \frac{r \times Rn(r^2 + r \times Rn + Rn^2)}{(Rn + r)(Rn^2 + r^2)} \times \exp(-\sqrt{9.87 + 6.25 \times RDI}) \quad (1)$$

式中: NPP 为植被净第一性生产力 ($\text{t}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$); RDI 为辐射干燥度; r 是降水量 (mm); Rn 是净辐射 (kcal/hm^2) (kcal 为千卡, 热量单位)。其中, RDI 、 Rn 和 I 计算公式为:

$$RDI = \frac{Rn}{L} \times r \quad (2)$$

$$Rn = Ra(1 - V') - I \quad (3)$$

$$I = (0.39 \times Ta - 0.05 \times \delta \times e_a 0.5) \times (0.10 + 0.9 \times \frac{n}{N}) \times (s \times \frac{\delta}{4.18}) \quad (4)$$

式中: L 是水的蒸发潜热; Ra 是总辐射量; I 是长波有效辐射; V' 是地表反射率, 通常

取 0.2; n/N 是日照百分率; T_a 是年气温; e_a 是年平均水气压; $\delta = 1353.73w \cdot m^{-2}$; $s = 0.567 \times 10^{-4} e \cdot cm^{-1} \cdot s^{-1} \cdot d^{-1[12]}$ 。

4.2 物质量分析

利用改进的 NPP 模型, 分别测算陕西秦巴山区 20 种植被类型, 1183 块图斑的第一性生产力 (物质量)。在测试过程中, 我们发现改进的 NPP 模型在用于中小区域时要进行修正, 因为它仅以能量平衡方程为基础, 对人工果树林、次生灌丛和草被计算偏高, 与实测值有较大出入, 这主要是不同植被类型和覆盖度差异引起的。对此, 根据实测值与模型测算值相比较的差异, 结合植被覆盖度, 确定其修正系数予以修正, 如人工果树林修正系数为 0.7、次生灌木林为 0.65、次生草被为 0.5 等。最后得到较为客观的区域植被生产有机质物质量。(表 1)

表 1 秦巴山区植被净第一性生产物质量测算表

Tab. 1 Net primary productivity of different vegetation types in Qinling-Daba Mountains

编号	植被类型	面积 (hm ²)	RDI	Rn (kcal/hm ²)	NPP (t/hm ² ·a)	总 NPP (t/a)
1	寒温高山针叶林	77649.3	2.96	87.76	10.73	833176.99
2	温带针叶林	201082	3.33	86.8	9.07	1823813.74
3	亚热带针叶林	516386	2.63	68.82	12.87	6645887.82
4	针阔混交林	226319	3.2	80.63	10.88	2462350.72
5	温带落叶阔叶林	2495999	2.66	78.75	9.42	23512313.22
6	亚热带落叶阔叶林	270067	3.11	80.14	11.1	2997743.72
7	亚热带竹林	49081.1	2.83	73.45	13.1	642962.41
8	温带落叶灌丛	918535	3.2	80.63	8.71	8000439.85
9	亚热带落叶灌丛	1051846	2.89	64.68	9.47	9960981.62
10	亚高山落叶灌丛	11581.8	3.61	79.56	9.65	111764.37
11	草甸草原	12205.8	3.4	80.63	7.25	88492.05
12	温带草丛	517376	3.27	80.15	7.44	3849277.44
13	亚热带草丛	677530	2.89	70.38	8.24	5582847.21
14	禾草草甸	39033.16	3.61	80.15	7.77	303287.61
15	温带黄土地果树	7575.19	3.61	73.45	10.24	77569.95
16	暖温带落叶果树	10284	3.61	65.11	10.27	105616.68
17	秦岭北麓果树	637.52	3.89	67.06	10.55	6725.84
18	暖温带山地果树	355648	3.4	62.95	10.51	3737860.48
19	亚热带平原果树	599854	3.04	51.38	9.41	5644626.14
20	秦巴低山果树	670281	2.83	64.68	9.61	6441400.41
合计		8708971				82829138.27

由表可见, 不同的植被类型 NPP 差别较大, 在本区亚热带竹林 NPP 物质量 13.10t/hm²a 最大, 针叶林物质量 9.1~12.9t/hm²·a, 落叶阔叶林 9.4~11.1t/hm²·a, 人工果树 9.4~10.6t/hm²·a, 次生灌丛在 8.7~9.7t/hm²·a, 次生草被在 7.2~8.3 t/hm²·a。NPP 随植被类型的变化规律是: 天然林和次生林 ≥ 人工果树 ≥ 次生灌丛 ≥ 次生草被。秦巴山区 NPP 的空间分布不仅有水平差异, 也有垂直地带性规律。以秦岭主峰太白山南坡为例, 海拔 1000m 以下的汉江谷地, 次生人工林净第一性生产力 9.6t/hm²·a; 海拔 1000~1300m 的常绿阔叶林带, 净第一性生产力 11.1 t/hm²·a; 海拔 1300~2400m 的针阔混交林, 净第一性生产力 10.8 t/hm²·a; 海拔 2400~3200m 的冷杉针叶, 净第一性生

产力 $10.7 \text{ t/hm}^2 \cdot \text{a}$; 海拔 $3200 \sim 3400\text{m}$ 的高山灌丛, 净第一性生产力 $9.6\text{t/hm}^2 \cdot \text{a}$; $3400 \sim 3700\text{m}$ 的高山草甸, 净第一性生产力 $7.23\text{t/hm}^2 \cdot \text{a}$; 秦巴山地植被第一性生产力垂直变化的总体趋势是, 随山地高度增加先增后减, 一般在海拔 $1000 \sim 1300\text{m}$ 达到最大值。

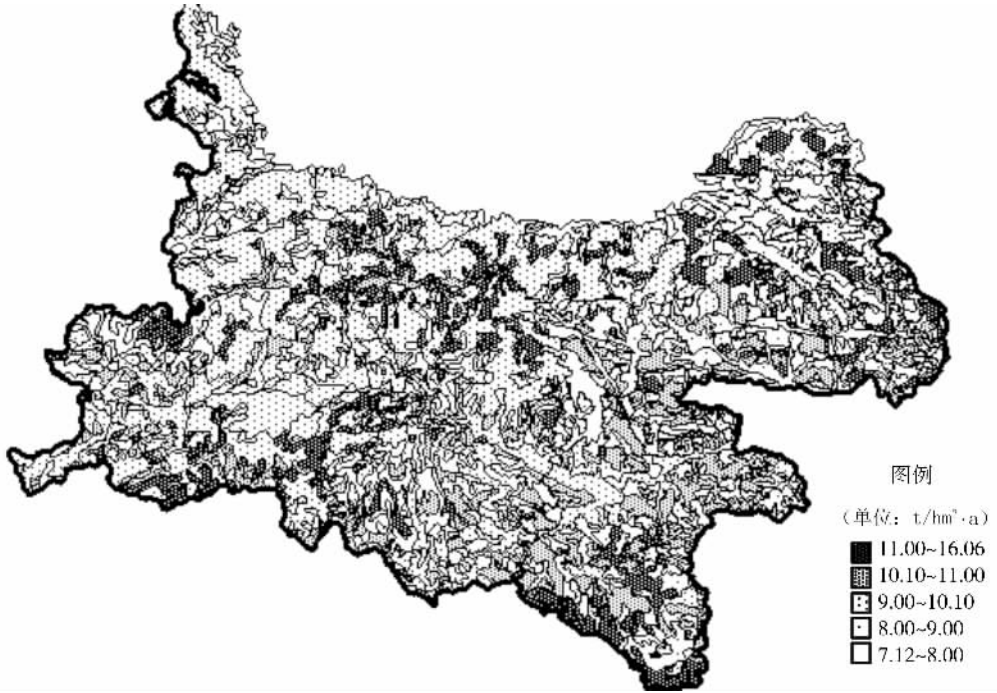


图 1 秦巴山区植被净第一性生产力分布图

Fig. 1 The distribution of NPP in Qinling-Daba Mountains

5 植被固 CO_2 释 O_2 价值测评

5.1 测评模型

植被通过光合作用和呼吸作用与大气进行 CO_2 和 O_2 的交换, 这对维持地球大气中的 CO_2 和 O_2 的动态平衡、减缓温室效应以及提供人类生存的最基本条件具有巨大的不可替代的作用。

本次测算是以秦巴山区植被净第一性生产力为基础, 根据光合作用方程式, 植被生态系统每生产 1.00kg 植物干物质能固定 1.63kg CO_2 , 以此为基础, 从各类植被的净第一性生产力物质质量可以测算出秦巴山区各种植被固定 CO_2 的物质质量。再根据光合作用方程式, 从各类植被每生产 1.00kg 的净第一性生产力物质质量能释放 1.2kg 的 O_2 , 以此为基础, 从各植被的净第一性生产力物质质量可以推算出秦巴山区各种植被类型释放 O_2 的物质质量^[10~12]。

经测算, 秦巴山区植被每年固定 CO_2 的总量为 $13.5 \times 10^7\text{t}$ 。利用造林成本法, 估算秦巴山区陆地植被年固定 CO_2 的总价值为 352.24×10^8 元。植被每年释放 O_2 的总量为 $9.93 \times 10^7\text{t}$, 再使用造林成本法和工业制氧法可估算出秦巴山区各类陆地植被释放 O_2 的价值

量。本研究采用中国造林成本 352.93 元/t O₂ 和工业制氧成本 0.4 元/kg^[10,12,13]。使用造林成本法估算出秦巴山区陆地植被每年释放 O₂ 的总价值为 350.79×10⁸ 元; 使用工业制氧法估算秦巴山区陆地植被每年释放 O₂ 的总价值为 397.58×10⁸ 元, 由于二者比较接近, 因此取其平均值, 则秦巴山区陆地植被每年释放 O₂ 的总价值为 374.19×10⁸ 元 (表 2)。

表 2 秦巴山区植被固碳释氧价值测算表

Tab. 2 The value of fixing CO₂ and releasing O₂ in Qinling-Daba Mountains

编号	植被类型	固定碳量 (t/a)	固碳价值	释放氧量	放氧价值	放氧价值
			(×10 ⁴ 元/a) (造林成本法)	(t/a)	(×10 ⁴ 元/a) (造林成本法)	(×10 ⁴ 元/a) (工业制氧法)
1	寒温高山针叶林	1358078.49	35432.27	999812.39	35286.38	39992.50
2	温带针叶林	2972816.40	77560.78	2188576.49	77241.43	87543.06
3	亚热带针叶林	10832797.15	282627.68	7975065.38	281463.98	319002.62
4	针阔混交林	4013631.67	104715.65	2954820.86	104284.49	118192.83
5	温带落叶阔叶林	38325070.55	999901.09	28214775.86	995784.08	1128591.03
6	亚热带落叶阔叶林	4886322.26	127484.15	3597292.46	126959.24	143891.70
7	亚热带竹林	1048028.73	27343.07	771554.89	27230.49	30862.20
8	温带落叶灌丛	13040716.96	340232.31	9600527.82	338831.43	384021.11
9	亚热带落叶灌丛	16236400.04	423607.68	11953177.94	421863.51	478127.12
10	亚高山落叶灌丛	182175.92	4752.97	134117.24	4733.40	5364.69
11	草甸草原	144242.04	3763.27	106190.46	3747.78	4247.62
12	温带草丛	6274322.23	163697.07	4619132.93	163023.06	184765.32
13	亚热带草丛	9100040.95	237420.07	6699416.65	236442.51	267976.67
14	禾草草甸	494358.80	12897.82	363945.13	12844.72	14557.81
15	温带黄土果	126439.02	3298.79	93083.94	3285.21	3723.36
16	暖温带落叶果树	172155.19	4491.53	126740.02	4473.04	5069.60
17	秦岭北麓果树	10963.12	286.03	8071.01	284.85	322.84
18	暖温带山地果树	6092712.58	158958.87	4485432.58	158304.37	179417.30
19	亚热带平原果树	9200740.61	240047.32	6773551.37	239058.95	270942.05
20	秦巴低山果树	10499482.67	273931.50	7729680.49	272803.61	309187.22
总计及平均值		135011495.38	3522449.91	99394965.92	3507946.53	3975798.64

5.2 结果分析

秦巴山区各类植被每年固定 CO₂ 的总量为 13.5×10⁷ t/a。总价值为 352.24×10⁸ 元/a。各类型植被固定 CO₂ 价值量的大小顺序为: 天然林和次生林≥次生灌丛≥人工果树≥次生草被。其中天然林和次生林固 CO₂ 价值占总价值的 47%; 次生灌木林占 21.8%; 人工果树占 19.3%; 次生草被占 11.9%。在天然林和次生林中, 以温带落叶阔叶林为主, 每年固碳价值占总价值的 28.4%; 次生灌丛以亚热带落叶灌丛为主, 每年固碳价值占总价值的 12%; 人工果树以秦巴低山果树为主, 每年固碳价值占总价值的 8.0%; 次生草被中以亚热带草丛为主, 每年固碳价值占总价值的 6.7%。秦巴山区植被每年释放 O₂ 总量为 9.93×10⁷ t/a, 释氧经济价值为 374.19×10⁸ 元/a。各类型植被释放 O₂ 的价值量大小顺序为: 天然林和次生林≥次生灌丛≥人工果树≥次生草被。各类植被释 O₂ 价值占比与植被固碳价值占比相同。

秦巴山区植被固碳释氧经济价值的空间分布特征与植被类型分布、覆盖率、区域水热条件差异以及人类活动影响密切相关。植被固碳释氧价值总分布特征为山地>丘陵>河谷

盆地, 其中, 秦岭山区以温带落叶林为主, 由于分布面广, 且覆盖度较高, 其固碳释氧价值在总价值中占比较大; 大巴山山区以亚热带阔叶林、竹林等植被为主, 由于水热条件好, 这些植被单位面积生产有机质量较高, 因此, 固碳释氧价值量也较高。秦岭大巴山之间的丘陵与河谷区, 人类活动影响强烈, 植被类型单一, 且多为次生灌丛或人工果树, 生态价值量相对较低^[21~26]。

6 结 论

通过上述分析、研究, 可以得出以下结论:

(1) 植被固 CO₂ 释 O₂ 生态功能经济价值测评, 是以植被 NPP 测评为基础, 在 NPP 测评中利用改进型模型测算适合不同区域的生态条件。同时结合植被在覆盖度上的差异, 使测评结果更趋近于区域实际情况。

(2) 在测评秦巴山区植被 NPP 的基础上, 利用光合作用方程式, 测算出植被固碳释氧的物质质量, 利用中国造林成本法和工业制氧法, 测算出本区植被每年固碳释氧的生态功能服务价值为 726.43×10^8 元/a, 是本区域植被第一生产力价值 (196.24×10^8 元/a) 的 3.7 倍。

(3) 陕南秦巴山区各类植被调节 CO₂、O₂ 物质与价值量的差异较大, 它与植被类型、覆盖度、分布范围、水热条件及人类活动影响强度密切相关。本区内植被固碳释氧生态功能价值, 垂直分布规律明显, 水平分布差异显著。

参考文献:

- [1] Costanza R, R d'Arge, R S de Groot, *et al.* S The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, **387**:253~260.
- [2] Liu Yansui, Deng Xiangzheng. Structural patterns of land types and optimal allocation of land use in Qinling Mountains. *Journal of Geographical Sciences*, 2001, **11**(1):99~109.
- [3] Ehrlich P R *et al.* *Ecoscience: Population, Resources, Environment*. Freeman and Co. San Francisco. 1977.
- [4] Ewel K. Water quality improvement: evaluation of an ecosystem service. In: Daily G, ed. *Nature's Services*. Island Pless, Washington D. C., 1977. 329~344.
- [5] Liu Y S, Gao J, Yang Y F. A holistic approach towards assessment of severity of land degradation along the Great Wall in northern Shaanxi Province, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2003, **82**(2): 187~202.
- [6] Ren Zhiyuan, Zhang Yanfang, Li Jing, *et al.* The value of vegetation ecosystem service: a case of Qinling-Daba Mountains. *Journal of Geographical Sciences*, 2003, **13**(2):238~243.
- [7] 赵景柱, 肖寒. 生态系统服务的物质质量与价值量评价方法的比较分析. *应用生态学报*, 2002, **11**(2): 290~292.
- [8] 徐慧, 彭补拙. 国外生物多样性经济价值评估研究进展. *资源科学*, 2003, **25**(4):101~110.
- [9] 谢高地, 鲁春霞, 成升魁. 全球生态系统服务价值评估研究进展. *资源科学*, 2001, **23**(6):5~10.
- [10] 刘彦随, 陈百明. 中国可持续发展问题与土地利用/覆被变化研究. *地理研究*, 2002, **21**(3):324~341.
- [11] 周冰冰, 李志魁. 北京森林价值. 北京: 中国林业出版社, 2000.
- [12] 陈仲新, 张新时. 中国生态价值. *科学通报*, 2000, **45**(1):17~22.
- [13] 闵庆文, 谢高地, 胡聃, 等. 青海草地生态系统服务功能的价值评估. *资源科学*, 2004, **26**(3):56~61.
- [14] 宋玉祥. 东北地区生态环境保育与绿色社区建设. *地理科学*, 2002, **22**(6):655~659.
- [15] 雷明德. 陕西植被. 北京: 科学出版社, 1999.
- [16] 李金昌. 生态价值论. 重庆: 重庆大学出版社, 1999. 107~120.

- [17] 欧阳志云. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价. 应用生态学报, 1999, **10**(5): 635~640.
- [18] 孙睿, 朱启疆. 中国陆地植被净第一性生产力及季节变化研究. 地理学报, 2000, **55**(1): 36~44.
- [19] 朱志辉. 自然植被净第一性生产力估计模型. 科学通报, 1993, **38**(15): 1422~1426.
- [20] 周广胜, 张新时. 全球气候变化的中国自然植被的净第一性生产力研究. 植物生态学报, 1996, **20**(1): 11~19.
- [21] 刘彦随. 山地土地类型和结构分析与优化利用. 地理学报, 2001, **56**(4): 426~436.
- [22] 任志远. 区域生态环境服务功能经济价值评价的理论与方法. 经济地理, 2003, **23**(1): 1~4.
- [23] 曹军. 最近 20 年海南岛生态系统碳储量变化. 地理研究, 2002, **21**(5): 551~560.
- [24] 傅国斌. 全球变暖与湿地生态系统的研究进展. 地理研究, 2001, **20**(1): 120~125.
- [25] 宗跃光. 区域生态系统服务功能的价值结构分析. 地理研究, 2000, **19**(2): 148~154.
- [26] 任志远, 李晶. 陕南秦巴山区植被生态功能的价值测评. 地理学报, 2003, **58**(4): 503~511.

The values of CO₂ fixation and O₂ release by vegetation ecosystem in Qinling-Daba Mountains of Shaanxi Province

REN Zhi-yuan, LI Jing

(College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: According to different vegetation types and their cover degrees in Qinling-Daba Mountains in Shaanxi, using an improved model of net primary productivity of natural vegetation, regional energy balance, water balance and model of evapo-transpiration, goods produced by different types of vegetation have been calculated. Based on net primary productivity of natural vegetation, using equation of photosynthesis, reforestation cost and industrial method of making O₂, the value of CO₂ fixation and O₂ release by vegetation ecosystem in Qinling-Daba Mountains in Shaanxi can be estimated. The results are as follows: ① the total CO₂ fixation and O₂ release is 13.5×10^7 t/a, 9.93×10^7 t/a, respectively. ② Using reforestation cost, the value of CO₂ fixation is 352.24 billion RMB yuan/a. ③ Using reforestation cost and industrial method of making O₂, the value of O₂ release is 374.19 billion RMB yuan/a. ④ The temperate deciduous broad-leaved forest has the highest contribution rate, the second is subtropical deciduous shrub. This study can provide basic data and methods for setting up regional "green eco-account".

Key words: vegetation CO₂ fixation; O₂ release; economic value; Qinling-Daba Mountains in Shaanxi Province