

# 汉江水源区土地利用碳源/汇效应的空间差异分析 ——以陕南为例

邢海虹

(陕西理工学院 汉水文化研究中心, 陕西 汉中 723001)

**摘要:**梳理了土地利用碳源/汇途径,估算了2010年陕南不同土地利用方式的碳源/汇。结果表明:79%的碳源来自于建设用地;农作物、林业、林地碳汇分别占41.44%、31.12%、24.16%,区域碳吸收大于碳释放,净碳汇1 467 751 t C-eq;农作物碳汇区内差异很大,高值区在河谷地带,向两侧随高度增加递减,大巴山地高于秦岭山地;林业碳汇区内差异相对较小,河谷地带偏低,两侧山区林业碳汇较高;两大盆地是净碳汇负值区,向周边山区碳汇逐渐增加,汉台区碳源密度值最高。

**关键词:**碳源;碳汇;土地利用;陕南

**中图分类号:**S718.5

**文献标志码:**A

**文章编号:**1001-7461(2013)04-0199-05

## Spatial-temporal Differences of Carbon Source/Sink in Hanjiang River Basin Upstream Land Use ——A Case Study of Southern Shaanxi

XING Hai-hong

(Research Center of Hanshui, Shaanxi University of Technology, Hanzhong, Shaanxi 723000, China)

**Abstract:** The carbon source and sink of various land uses in southern Shaannxi in 2010 were estimated. The results were as follows: The construction land was the primary cause of carbon source, while corps, forestry and forest land were the main three types of carbon source; The corp carbon sink which was higher in Daba Mountainous areas than Qinling Mountainous area, and declined from the valley to the sides; The forestry carbon sink varied little form the valley with lower density to the flanks with higher density; The two great basins were the net carbon source, which accumulated gradually in its surroundings; The highest carbon source area was in Hantai district.

**Key words:** carbon source; carbon sink; land use; southern Shaanxi

全球气候变暖是影响人类进程的重大问题,引起气候变暖的主要原因是大气中温室气体(CO<sub>2</sub>占60%)浓度的增加<sup>[1]</sup>。《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC)将碳汇定义为从大气中清除二氧化碳的过程、活动或机制,将碳源定义为向大气中释放二氧化碳的过程、活动或机制。在全球碳循环中,不合理的土地利用导致土壤储存和植被固碳减少,从而加快全球变暖。减缓碳排放的主要途径一是增加碳汇,如减少森林砍伐、都市绿化等<sup>[2]</sup>,二是控制碳源,如固碳技术、清洁能源政策<sup>[3]</sup>等。随着经济的快速发展,中国已成为世界上主要的碳排放国家之

一<sup>[4-5]</sup>,通过土地利用结构调整,减少碳源,增加碳汇,对实现中国承诺的减排任务有重要意义。汉江上游是我国南水北调工程的重要水源区,是中国生态环境质量最好的地区之一,在全国具有重要的生态地位。这一地区也是中国集中连片贫困县分布区之一,经济发展水平落后,发展能力低下。以汉江水源区陕南段为例,估算土地利用的碳源/碳汇效应,为促进区域二氧化碳减排提供一定参考依据,为区域主动参与碳汇交易、拓宽区域发展路径,提升区域发展能力提供数据支撑。

收稿日期:2012-11-22 修回日期:2013-01-31

基金项目:陕西省高校哲学社会科学研究基地项目:SLGH1247。

作者简介:邢海虹,女,硕士,讲师,研究方向:经济地理与区域发展。E-mail:xinghaihong2004@163.com

# 1 研究区概况

汉江水源区地处我国南北过渡、东西交替的秦巴山区,两山夹一谷是基本的地貌特征。汉江谷地地势平坦,土壤肥沃;两侧宽谷浅丘地带,地势起伏较大,土地利用方式多变;浅山和中山地区,地势复杂,森林覆盖率高。纬度介于北纬 31.0~34.5 度之间,海拔在 78~2 951 m,水热组合优异,利于植被生长。虽然地处山区,耕地资源数量少,但良好的水热组合使自汉代以来,此区山间盆地一直是重要的粮食基地。汉江水源区包括陕西南部、湖北西北部、河南西南部等区域,本文仅以陕西南部为例,探讨汉江水源区土地利用碳源汇问题。

# 2 方法与数据

## 2.1 土地利用的碳源/汇途径

在全球碳循环中,土地利用方式不同,其碳循环影响不同。目前政府间气候变化专门委员会 IPCC 采用的计算碳源/汇的理论框架<sup>[6-7]</sup>中,建设用地的主要影响是向大气释放二氧化碳,主要表现为碳源;林地、草地、水域的影响主要是从大气清除二氧化碳,主要表现为碳汇;耕地既有人类活动碳排放,也有植被的碳吸收,因此既是碳源又是碳汇;未利用地也具有一定的碳汇效果,但数量甚微,因此忽略不计。可见在 IPCC 理论框架中只考虑人类活动排放的温室气体,不考虑自然排放源。

## 2.2 碳源量估算方法

2.2.1 建设用地碳源量估算 建设用地碳源量可以通过附着于其上的各种人类活动能源耗费来计算<sup>[8]</sup>。设  $CE_1$  为建设用地碳源总量。

$$CE_1 = \sum M_{ij} \cdot N_j \tag{1}$$

式中: $M_{ij}$  为第  $i$  种行业消耗  $j$  能源的量, $N_j$  为  $j$  种能源的碳源排放系数,采用国家科委公布的能源利用碳源排放系数,煤炭 0.726,石油 0.583,天然气 0.409<sup>[11]</sup>。

2.2.2 耕地碳源量估算 耕地碳源量( $CE_2$ )的估算主要从不同碳排放途径的角度着手<sup>[9]</sup>。

$$CE_2 = E_f + E_m + E_i \tag{2}$$

$$E_f = G_f \times A \tag{3}$$

$$E_m = (A_m \times B) + (W_m \times C) \tag{4}$$

$$E_i = A_i \times D \tag{5}$$

式中: $E_f$ 、 $E_m$  和  $E_i$  分别为农田化肥生产、农业机械生产使用和灌溉过程带来的碳排放; $G_f$  为化肥使用量, $A_m$  为农作物种植面积, $W_m$  为农业机械总动力, $A_i$  为灌溉面积。 $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$  为转换系数<sup>[10]</sup>。分别是:

$$A=857.54 \text{ kg} \cdot \text{mg}^{-1}, B=16.47 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}, C=0.18 \text{ kg} \cdot \text{kW}^{-1}, D=266.48 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}。$$

## 2.3 碳汇量估算方法

鉴于陕南汉江水源区土地利用的特点,主要考虑林木、农作物、土壤、湿地碳汇量的估算,其中土壤分别指林地和耕地土壤,湿地指水域。

2.3.1 林木碳汇量 换算因子( $BEF$ )是林分生物量与木材材积的比值,换算因子连续函数法<sup>[11]</sup>将单一不变的平均换算因子改为分龄级的换算因子,可以更准确地估算森林生物量。

$$BEF = a + b/X \tag{6}$$

$$Y = BEF \times X = aX + b \tag{7}$$

$$CS_1 = Y \times c \tag{8}$$

式中: $BEF$  为生物量换算因子, $X$  为林分材积, $a$ 、 $b$  均为常数,取值结合陕南森林植被类型选定<sup>[12]</sup>, $Y$  为森林生物量, $CS_1$  为森林碳汇量, $c$  为碳汇量转换因子,指单位生物量的含碳量,常取值 0.45<sup>[12]</sup>。

2.3.2 农作物碳汇量( $CS_2$ )<sup>[9]</sup>

$$CS_2 = \sum_i C_i \tag{9}$$

式中: $C_i = C_f C_w = C_f Y_w H$ , $i$  为第  $i$  种农作物类型, $C_i$  为某种作物全生育期对碳的吸收量, $C_f$  为作物合成单位有机质干质量所吸收的碳, $C_w$  为生物产量, $Y_w$  为经济产量, $H$  为经济系数。 $C_f$ 、 $H$  取值结合陕南在农作物主要农作物类型确定<sup>[10]</sup>。

2.3.3 土壤碳汇量 陕南土地利用类型中面积影响最显著的两类是耕地和林地,本文采用碳汇系数法测算这两类土壤的碳汇量。

$$CS_3 = a \times S_1 \tag{10}$$

$$CS_4 = a \times S_2 \tag{11}$$

式中: $CS_3$ 、 $CS_4$  为耕地和林地土壤碳汇量; $a$ 、 $b$  分别为耕地、林地土壤碳汇系数<sup>[3]</sup>(即 0.553、0.50 t·hm<sup>-2</sup>); $S_1$ 、 $S_2$  分别为耕地,林地面积。

2.3.4 湿地碳汇量 陕南区域湿地主要为水域,包括河流水面、湖泊水面、坑塘水面等。

$$CS_5 = c \times S_3 \tag{12}$$

式中  $CS_5$  为湿地碳汇量, $c$  为湿地碳汇系数(陕南降雨丰富,湿地碳汇系数取 0.57 t·hm<sup>-2</sup><sup>[13]</sup>), $S_3$  为水域面积。

2.3.5 净碳汇量 净碳汇量即碳汇量与碳源量之差。计算公式如下:

$$NCS = CS - CE \tag{13}$$

$$CE = CE_1 + CE_2 \tag{14}$$

$$CS = CS_1 + CS_2 + CS_3 + CS_4 + CS_5 \tag{15}$$

式中: $NCS$  为净碳汇量, $CE$  为总碳源量, $CS$  为总碳汇量, $CE_1$  为能耗碳源量, $CE_2$  为耕地碳源量, $CS_1$  为林

木碳汇量,CS<sub>2</sub> 为农作物碳汇量,CS<sub>3</sub> 为耕地土壤碳汇量,CS<sub>4</sub> 为林地土壤碳汇量,CS<sub>5</sub> 为湿地碳汇量。

2.4 数据来源

有关土地利用面积及其变化的数据采用统计数据,数据来源于 CNKI 中国经济社会发展统计数据库、《陕西能源统计年鉴》、《陕西环境统计年鉴》等。各类碳汇转换系数来源于已有研究成果(参考文献)。森林清查资料来自于中国知网《中国林业数据检索》提供的陕南小班调查数据。

3 结果与分析

3.1 陕南汉江水源区土地利用的总碳源/汇效应

在 2010 年陕南汉江水源区土地利用总碳源中,79%来自于建设用地,21%来自于耕地,这主要是因

为建设用地中的居民点和工矿用地、交通用地及水利设施用地上的能源消耗量很大,因而带来了巨大的碳排放;而农业耕作活动中所用的机械、化肥、灌溉所排放的碳则相对较少。在 2010 陕南汉江水源区土地利用总碳汇中,农作物碳汇最高,占41.05%,其次为林木碳汇,占 31.19%,林地碳汇也比较高,占到 24.45%,耕地碳汇小,只占碳汇总量的 3.18%,而水域碳汇最小,只占到总量的 0.14%。净碳汇量为 1 388 049 tC-eq,说明陕南汉江水源区生态环境良好,对于延缓气候变暖具有重要意义。碳交易是为促进全球温室气体减排所采用的市场机制,在碳交易的框架下,碳汇就成为了一种资产。利用陕南汉江水源区拥有的碳汇资产,积极参与世界范围碳交易,是提高区域发展能力的一种新思路。

表 1 2010 年陕南土地利用的碳源/汇总量

Table 1 The carbon source/sink effects of southern Shaanxi in 2010

碳源/汇项目	碳源		碳汇					净碳汇
	建设用地	耕地	林木	农作物	耕地	林地	水域	
碳源/汇总量/t	6 179 678	1 685 365	2 885 673	3 798 354	293 869	2 262 297	12 899	1 388 049
碳源/汇百分比/%	79	21	31.12	41.44	3.14	24.16	0.14	

3.2 陕南汉江水源区土地利用的碳源/汇空间特征

3.2.1 碳源空间特征 各区县建设用地碳源相差很大,最高的汉台区(759 358 tC-eq)和最低宁陕(19 297 tC-eq)相差 39 倍多,反映出各区县城市发展规模,二、三产业之间的差距导致碳排放的巨大差异。各区县耕地碳源之间相差较小,但最高汉滨区(132 365 tC-eq)和最低佛坪县(5 578 tC-eq)之间的差距也近 24 倍。反映出耕地面积的差异以及农业机械、化肥、灌溉等使用的差异。

业机械化程度高,因此耕地碳源高。而其他位于山区的县,则由于坡度的限制,耕地面积小,而且机械化程度低,灌溉条件差,因此耕地碳源量低(图 1)。

建设用地碳源和耕地碳源的低值区均分布在河谷盆地两边的大巴山和秦岭,山越高碳源值越低。反映出随着山势的增加,人类活动的降低。在秦岭和大巴山地的碳源对比中,秦岭碳源值总体上要低于大巴山的碳源值,这应该和其地形特征有关,大巴山山势低于秦岭山势,在对人类活动的影响上,秦岭较高的山势更加限制了人类活动的进行,使得秦岭各类碳源量较低。

3.2.2 碳汇空间特征 农作物是全区碳汇的最大来源,农作物碳汇的区域差异较大,最高的汉台区(3 094 895 tC-eq)是最低的佛坪(70 102 tC-eq)的 44.1 倍。空间表现上河谷盆地高,而两侧山地区低,与耕地分布空间格局一致,距离河道越远,山深林密,农作物碳汇越少。

林业碳汇是全区碳汇的第二大来源,林地土壤碳汇量在全区也比较大。林业碳汇和林地碳汇在全区相对比较均衡,最高的宁陕(189 863 t C-eq)是最低的汉台(16 135 t C-eq)约 12.4 倍。空间表现上林业碳汇和林地碳汇在河谷地带偏低,而两侧山地区较高,反映出山势越高,利用越困难,人类活动越稀疏,自然植被覆盖度越高的特征。在五种碳汇内部比例方面,位于深山区的区县一般林业碳汇和林地碳汇比例非常高,可占到总碳汇的 40%~59%,

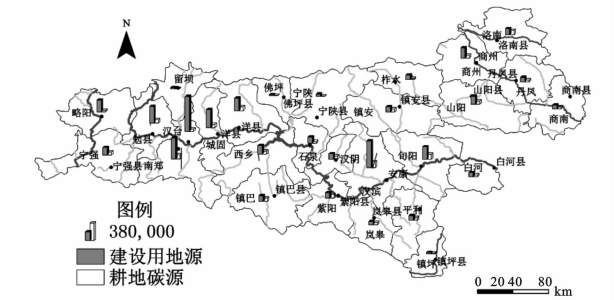


图 1 2010 年陕南碳源分布图

Fig. 1 The space distribution of carbon source in southern Shaanxi

建设用地碳源高值主要有汉中盆地中心的汉台、南郑、勉县和城固以及安康盆地中心的汉滨区,表现出沿含江河谷盆地分布的特征。这一区域集中陕南汉江水源区的城市和二、三产业,碳排放量高,对大气碳库造成的影响较大。耕地碳源的高值区主要有安康的汉滨、旬阳和汉中的洋县、城固、南郑等,空间表现上沿河谷分布特征明显,这里是汉江的一、二、三级阶地,土地平坦,耕地集中,灌溉条件好,农

如秦岭山地的留坝、佛坪、宁陕、柞水,大巴山地的镇巴等(图 2)。



图 2 2010 年陕南碳汇分布图

Fig. 2 The space distribution of carbon sink in southern Shaanxi

3.2.3 净碳汇空间特征 汉中盆地周边及安康盆地是净碳汇的负值区,表现为碳排放多于碳吸收的特征,对于气候变化会产生负面影响。其中汉台区碳排放量最大,其次为汉中的城固、南郑、勉县、略阳和安康的汉滨区。这些区域空间分布上刚好是汉江河谷的汉中盆地、安康盆地,是陕南城市和二、三产业的分布的集中区,这 7 个区县的二、三产业产值占区域总二、三产业产值的 43.4%,正是由于城市和二、三产业的集中造成碳排放的增加。

由此两大盆地向外的不同灰度区是净碳汇区,对于气候变化会产生正面影响。灰度越深表示净碳汇量越大,而越浅表示净碳汇越小。净碳汇量最大的区县是宁陕、镇安、镇巴、紫阳、洛南等山区县,山高林密,耕地稀疏,人类活动稀少,环境状况良好(图 3)。

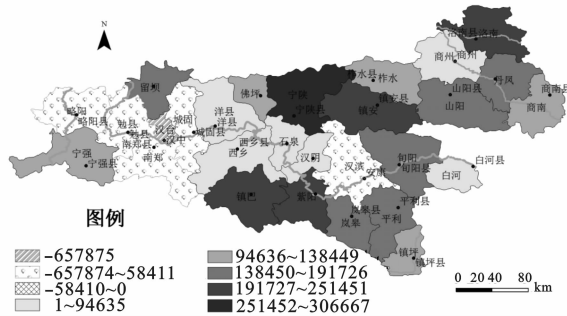


图 3 陕南净碳汇分布图

Fig. 3 The space distribution of net carbon sink in southern Shaanxi

3.2.4 净碳汇密度空间特征 净碳汇密度反映单位面积上的碳源/汇效应,它更能说明一个地方土地利用碳源/汇效应的大小。负值表明碳源汇总效应为碳排放,越小排放密度越大。排放密度最大的为汉台区,其次为汉滨区,再次为南郑和城固县,可见汉中盆地是碳排放密度的高值区,这与汉中盆地是

陕南汉江水源区土地面积最为广阔的盆地有关,历史上即有“西北小江南之称”,农业发展基础条件好,城市起源早,城市二、三产业都是陕南最为发达的地区。灰度较深的两级区域是碳汇密度正值区,表现为碳吸收,颜色越深,净碳汇密度越大,吸收碳的能力越强,而颜色越浅,净碳汇密度越小,吸收碳的能力越弱(图 4)。

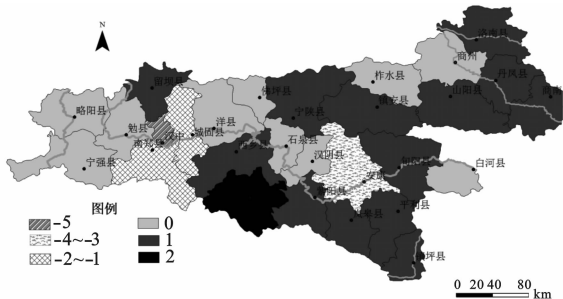


图 4 陕南碳汇密度分布图

Fig. 4 The space distribution of carbon sink density in southern Shaanxi

4 结论与讨论

江水源区总碳源中 79%来自于建设用地,21%来自于耕地,建设用地是释放碳的主要来源。总碳汇中,农作物碳汇最高,占 41.05%,其次为林木碳汇,占31.19%,林地碳汇也较高,占到 24.16%,耕地、水域碳汇碳汇很小。全区总体表现为碳吸收,净碳汇量为 1 388 049 tC-eq。

农作物碳汇最高与最低值相差 44 倍,高值区分布在河谷地带,向两侧山地递减,南部大巴山高于北部秦岭山地,表明南低北高地势对农业生产的影响。

林业碳汇区内最高值和最低值相差 11 倍,河谷地带偏低,两侧山地区林业碳汇较高,反映出山势越高,自然植被覆盖度越高的特征。

汉中盆地、安康盆地城市和二、三产业分布集中,是净碳汇负值区,其中汉台区碳源密度值最高。两大盆地向外是净碳汇区,离盆地中心越远,自然植被覆盖度越高。

结合以上结论,提出以下政策建议:1)陕南土地利用的碳排放明显小于碳吸收,存在大量净碳汇,可以主动参与国际、国内碳交易,提高区域发展能力。2)在碳交易的背景下,碳汇就成为一种资产,就存在投资增值的问题。陕南地区政府可以致力于生态环境建设,减少碳源,提高碳汇,增加碳资产。3)近年城市建设用地的加速扩展使建设用地成为主要的碳排放源。在城市生活成为主流,城市化进程如火如荼的背景下,适当控制建设用地、提高能源使用效率、提高清洁能源比重、加强城市绿化是降低建设用地碳排放的关键<sup>[14]</sup>。4)根据各种土地利用方式的碳源/汇强度,通过规划引导,采取合理的土地利用规模、方式和布局对碳排放进行调节,在区域层面上探索低碳土地利用方式,发展低碳经济、降低碳排放。

参考文献:

[1] 周玉荣,于振良,赵士洞.我国主要森林生态系统碳贮量和碳平衡[J].植物生态学报,2000,24(5):518-522.  
ZHOU Y R,YU Z L,ZHAO S D. Carbon storage and budget of major Chinese forest types [J]. Acta Phytocologica Sinica. ,2000,24(5):518-522. (in Chinese)

[2] 赵荣钦,秦明周.中国沿海地区农田生态系统部分碳源/汇时空差异[J].生态与农村环境学报,2007,23 (2):1-6,11.  
ZHAO R Q,QIN M Z. Temporospatial variation of partial carbon source/sink of farm land ecosystem in Coastal China[J]. Journal of Ecology and Rural Environment,2007,23 (2):1-6, 11. (in Chinese)

[3] 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.  
ZHOU T,SHI P J. Impacts of land use change on soil organic carbon change in China [J]. Advances in Earth Science,2006, 21(2):138-143. (in Chinese)

[4] 方精云,刘国华,徐嵩龄,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.  
FANG J Y,LIU G H,XU S L, *et al.* Biomass and net production of forest vegetation in China [J]. Acta ecologica Sinica, 1996,16(5):497-508. (in Chinese)

[5] 马彩虹.甘肃省化石能源碳足迹动态研究[J].西北林学院学报,2013,28(1):73-76.  
MA C H. Temporal analysis of carbon footprint of fossil energy consumption in Gansu Province[J]. Journal of Northwest

Forestry University,2013,28(1):73-76. (in Chinese)

[6] 方精云,郭兆迪,朴世龙,等.1981-2000年中国陆地植被碳汇的估算[J].中国科学:D辑,2007,37(6):804-812.

[7] 余婷婷,韩春兰,徐广成.辽宁省土地利用的碳源碳汇分析[J].广东农业科学,2012(2):118-122.  
YU T T,HAN C L,XU G C. Analysis on carbon source and carbon sink of different land use types of Liaoning Province [J]. Journal of Guangdong Agri. Sci. ,2012(2):118-122. (in Chinese)

[8] 汪刚,冯霄.基于能量集成的CO<sub>2</sub>减排量的确定[J].化工进展,2006,25(12):1467-1470.  
WANG G,FENG X. CO<sub>2</sub> emission reduction through energy integration[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2006,25(12):1467-1470. (in Chinese)

[9] 刘英,赵荣钦,焦士兴.河南省土地利用碳源/汇及其变化分析[J].水土保持研究,2010,17(5):154-157.  
LIU Y,ZHAO R Q,JIAO S X. Research on carbon sources/ sinks of land use of Henan Province [J]. Research of Soil and Water Conservation,2010,17(5):154-157. (in Chinese)

[10] WEST T O,MARL G. A synthesis of carbon seques 2 tration,carbon emissions,and net carbon fluxinagri 2 culture: comparing tillageprac ticesin the United States[J]. Agriculture,Ecosystems and Environment,2002,91:217-232.

[11] 方精云,陈安平,赵淑清,等.中国森林生物量的估算:对 Fang 等 Science 一文(Science,2001,291:2320-2322)的若干说明[J].植物生态学报,2002,26(2):243-24.  
FANG J Y,CHE N P,ZHAO S Q, *et al.* Estimating biomass carbon of china’s forests;supplementary notes on report published in science(291:2320-2322) by fang *et al.* (2001) [J]. Acta Phytocologica Sinica 2002, 26 (2): 243-249. (in Chinese)

[12] 赵林,殷鸣放,陈晓非,等.森林碳汇研究的计量方法及研究现状综述[J].西北林学院学报,2008,23(1):59-63.  
ZHAO L,YIN M F,CHEN X F, *et al.* Summary of the research methods of forest carbon sink accounting[J]. Journal of Northwest Forestry University,2008, 23 (1): 59-63. (in Chinese)

[13] 崔丽娟,马琼芳,宋洪涛,等.湿地生态系统碳储量估算方法综述[J].生态学杂志,2012,31(10):2673-2681.  
CUI L J,MA Q F,SONG H T, *et al.* Estimation methods of wetland ecosystem carbon storage;a review[J]. Chinese Journal of Ecology,2012,31(10):2673-2680. (in Chinese)

[14] 马彩虹.南水北调中线水源地生态与经济系统动态分析—以汉中市为例[J].生态经济,2011(12):33-36.  
MA C H. Analysis on the dynamic of eco-economy system of water source area of the middle routeof China’s South to North Water Transfer Project;a case study of Hanzhong City [J]. Ecological Economy,2011(12):33-36. (in Chinese)