

# 高速公路建设对土地利用类型的影响及其生态服务价值评估

——以陕西省 5 个典型区域为研究对象

赵晶<sup>1</sup>, 高照良<sup>1,2</sup>, 蔡艳蓉<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:**从土地利用类型改变所导致生态服务价值变化的角度,参照 R. Costanza 的“生态系统服务功能价值计算方法”和“中国陆地生态系统单位面积服务功能价值表”,根据选定区域高速公路建设前后不同土地利用类型的面积,计算生态系统服务功能价值的变化,定量评价高速公路建设对区域生态环境的影响。结果表明:(1)5 个区域的高速公路建设,主要占用沿线的耕地、园地、林地和草地 4 种土地类型,耕地、园地面积均呈减少趋势,林地、草地面积在部分区域有增加,变化幅度为园地>林地>耕地>草地;(2)生态服务总价值,除风沙区子靖高速外,其余 4 个区域均呈下降趋势。风沙区生态服务总价值由建设前的 0.86 万元/km 增加至建设后的 5.02 万元/km,增幅为 484.45%。从其余 4 个区域的减幅看,黄土丘陵区(靖安)>石质山区(蓝商)>低山丘陵区(商丹)>黄土阶地区(机场);(3)生物控制功能在五条高速区域均呈减少趋势。风沙区气候调节和废物处理功能增加显著,黄土丘陵区各功能均减少,减少幅度为 25%~42%。黄土阶地区和低山丘陵区水供应、侵蚀控制功能价值呈增加趋势,增幅分别为 368%、268% 和 170%、162%。

**关键词:**高速公路;土地利用类型;生态系统服务价值

中图分类号:X171.1;U412.1+4

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)03-0226-06

## Impacts of Expressway Construction on Land Use Types and Assessment on the Ecosystem Service Value — A Case Study of Five Typical Areas in Shaanxi Province

ZHAO Jing<sup>1</sup>, GAO Zhao-liang<sup>1,2</sup>, CAI Yan-rong<sup>1</sup>

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Based on the land use and planning, change of ecosystem service value of different periods of expressway construction was evaluated with referring to the table of R. Costanza's calculation method of ecosystem service function value and Chinese land ecosystem services value of unit area and land area. The effect of land use planning of expressway construction on regional ecological environment was assessed quantitatively. The results showed that (1) Farmland, orchard, woodland and grassland were the four main land types occupied by expressway construction of five regions. The areas of farmland and orchard demonstrated decline trend in each region, but the areas of woodland and grassland increased in some regions. The range of changes followed the order of orchard> woodland> farmland> grassland; (2) The total service value of ecosystem had decline trend in four regions except the Zizhou-Jingbian expressway in sand drift areas. The total service value of ecosystem of sand drift areas increased from  $0.86 \times 10^4$  Yuan/km to  $5.02 \times 10^4$  Yuan/km, increased by 484.45%. On the other four regions' decrease side, loess hilly region (Jingbian-Ansai)> rocky mountainous area (Lantian-Shangluo)> low mountain rolling area (Shangluo-Danfeng)> loess terraces area (airport expressway); (3) Biological control function in five areas had a decreasing tendency, climate regulation and

收稿日期:2011-02-21

修回日期:2011-03-22

资助项目:陕西省水土保持局“线状工程建设水土流失防治技术示范推广研究项目”

作者简介:赵晶(1985-),女,辽宁抚顺人,硕士生,主要从事开发建设项目水土保持及高速公路边坡防护研究。E-mail:zhaojing029@126.com

通信作者:高照良(1969-),河南灵宝人,博士,副研究员,主要从事土壤侵蚀及荒漠化研究。E-mail:gzl@ms.isw.ac.cn

waste treatment functions decreased obviously in sand drift areas. Each function reduced by between 25% and 42% in loess hilly region. Water supply and erosion control function values decreased by 368%, 268% and 170%, 162% in loess terraces area and low mountain area, respectively.

**Key words:** expressway; land use type; services value of ecosystem

生态系统服务功能(Ecosystem Services)是指生态系统本身与生态过程中形成的维持人类赖以生存的自然环境条件与效用,它不仅给人类提供生存必需的食物、医药及工农业生产的原料,而且维持了人类赖以生存和发展的生命支持系统<sup>[1]</sup>。

土地利用是人与自然交叉最为密切的环节<sup>[2]</sup>,土地利用以及由此导致的土地覆被的变化必然影响生态系统的结构和功能对区域气候、水文、生物地球化学循环及生物多样性等产生重大影响<sup>[3-7]</sup>。因此研究土地利用/覆盖变化情况下区域生态系统服务功能价值的变化具有重要意义。

公路的建设实施将森林、草地、农田、河流等天然、半天然生态系统转化成交通设施等人工系统,通过改变土地利用类型影响区域生态服务价值。在公路建设环境影响评价中,主要是通过分析公路建设占用土地引起的土地使用功能的变化,进而分析公路规划实施对区域生态服务价值的影响。

随着高速公路的大规模建设,所产生的生态环境破坏也越来越受到重视。本研究以陕西省 5 大类型为研究区域,并在各区域选定一条典型的高速公路作为研究对象,以货币价值作为评价生态系统服务功能的量化指标,应用 R. Costanza、谢高地等的研究成果,研究各类型区高速公路建设前后的土地利用方式变化对生态系统服务功能价值的影响,为促进地区的可持续发展和区域生态平衡、合理利用土地资源、建立科学的土地利用模式提供重要参考依据。

## 1 研究区概况

研究选定陕西省 5 个区域典型的高速公路作为研究对象,具体选定高速公路见表 1。

表 1 选定的研究区域与典型高速公路

地形区	高速公路	建设里程/km	建成时间
风沙区	子洲-靖边高速	37.30	2007-10
黄土丘陵区	靖安高速延安段	53.39	2006-07
黄土阶地区	西安咸阳机场高速	20.58	2009-07
低山丘陵区	商州-丹凤高速	30.62	2008-10
石质山区	蓝田-商州高速	92.79	2008-10

(1) 风沙区。本研究选定子靖高速公路中的风沙区段为研究对象,建设里程 37.30 km,位于毛乌素沙漠南缘地段,区内沙丘连绵,湖泊较多,具有风沙草滩

特征。年均气温 7.8~9.1℃,年降水量 328~451 mm,汛期降水量占年降水量的 65%~75%。土壤以栗钙土为地带性土壤,本区土地沙化严重,土壤以风沙土为主;植物以耐旱、耐寒、耐沙埋、耐风蚀的沙生植物为主。天然植被覆盖度差,草滩地可达到 30%~50%,半固定沙地为 15%~20%,流动沙丘在 5%以下。

(2) 黄土丘陵区。靖安公路延安段工程位于陕西省北部延安市安塞县境内,项目区属典型黄土阶状丘陵区。项目区属温带干旱、半干旱季风气候区,年平均气温 9.3℃,年平均降水量为 472.2 mm,多集中在 7-9 月三个月。项目区地带性土壤主要为黑垆土,由于水土流失,黑垆土侵蚀殆尽,现在主要是在黄土母质上发育起来的黄绵土为主。项目区处于落叶阔叶林带向干草原带的过渡地带,灌丛草原的特色较为明显,公路沿线现有植被主要以农作物和人工林为主,人工林主要有刺槐、柳、榆、杨及少量果园等,人工灌丛主要为柠条、酸刺、紫穗槐、沙柳等。

(3) 黄土阶地区。西安咸阳国际机场专用高速公路项目区地貌属于渭河黄土阶地,平坦,土壤肥沃,开垦指数高。气候属暖温带半湿润大陆性季风气候,四季分明,气候温和,雨量适中,多年平均气温 13.3℃,多年平均降水量 582 mm,本区的地带性土壤为褐土,农业土壤以瘠土为主。地带性植被类型为暖温带落叶阔叶林带,现有植被主要为人工乔木林和少量天然次生乔灌混交林。土地利用类型以水浇地、果园地等农业用地为主。

(4) 低山丘陵区。丹凤至商州高速公路西安至合肥公路的重要组成路段。工程沿走廊带属秦岭山地向河谷地貌过渡区,可划分为两级地貌单元:低山丘陵区 and 河谷川道区。路线所经区域分别属于暖温带南缘半湿润季风型山地气候和北亚热带向暖温带过渡的半湿润山地季风型气候,多年平均气温 12.8~13.8℃,多年平均降水量 725.5~706.1 mm。土壤主要为黄褐土、黄棕壤、水稻土,植被类型属于暖温带落叶阔叶林带的南部地区,公路沿线乡镇植被覆盖状况良好,工程区的植被覆盖度为 58%。

(5) 石质山区。蓝商高速公路是西部大通道西安至合肥公路的重要路段。工程地貌由北而南分布三个地貌单元,即渭河盆地、秦岭中山区和丹江河谷区。

项目区自北向南分属温带半湿润季风气候(渭河盆地段)、温带亚湿润山地气候区(秦岭中低山段)、暖温带南缘半湿润季风型山地气候区(秦岭南丹江河谷段)。秦岭北蓝田县年降水量 620.6~725.5 mm, 全年降水主要集中在 7-9 月。秦岭北段线路, 沿河以水稻土、河淤土为主, 质地沙壤; 沿阶地以黄壤土为主, 质地中壤; 秦岭山区自上而下分别为棕壤、褐土、淤土、潮土和水稻土。项目区植被覆盖率在 80% 以上。

## 2 研究方法

### 2.1 土地利用数据统计

根据笔者参与完成的各段高速公路的水土保持方案和评估报告, 以其中项目占用土地面积及土地利

表 2 土地利用类型合并

编号	土地利用类型	包含的二级土地利用类型
1	耕地	灌溉水田、水浇地、旱地、菜地
2	园地	果园、桑园、茶园等
3	林地	有林地、灌木林地、疏林地、迹地、苗圃
4	草地	天然草地、改良草地、人工牧草、荒草地
5	居民点、城镇建设用地	城市用地、农村居民点、特殊用地、水工建筑用地
6	交通道路	铁路用地、公路用地、农村道路、管道运输用地
7	水域	河流水面、湖泊水面、水库水面、坑塘水面
8	裸地、盐碱地、沙地	裸土地、盐碱地、沙地、裸岩石砾地、其他未利用土地

表 3 不同土地利用类型单位面积生态服务价值

项目	元/(hm <sup>2</sup> ·a)				
	耕地	园地	林地	草地	水域
大气调节	12.39	61.24	82.60	39.87	8.26
气候调节	-	363.85	726.88	0.83	8.26
扰动调节	41.30	344.03	413.00	275.06	-
水分调节	-	19.64	24.78	14.51	44975.70
水供应	-	115.15		230.30	17486.42
侵蚀控制	-	86.62	41.30	131.94	-
土壤形成	4.13	43.52	82.60	4.44	-
营养物循环	4.13	8.67	16.52	0.83	8.26
废物处理	-	683.70	718.62	648.77	5492.90
传粉	115.64	139.46	165.2	113.71	-
生物控制	198.24	68.79	33.04	104.55	-
栖息地	-	91.82	165.2	18.45	-
食物供应	446.04	366.61	413.00	320.22	338.66
原材料	4.13	106.48	206.50	6.47	-
基因资源	4.13	7.85	14.87	0.83	-
娱乐	-	170.61	297.36	43.87	1899.80
文化	-	34.97	16.52	53.43	

注: - 表示缺乏数据或无此项生态服务功能; 由于裸地(包括盐碱地和沙地)等的生态价值很小, 故本文中不考虑其生态服务价值。

### 2.3 生态服务价值计算方法

选取基于货币量的价值量评价法。运用 Costanza 等人的估算方法来分析研究区的生态系统服务价值变化情况, 其计算公式为

用类型划分为基础, 并结合现场的实际调查、量测, 确定高速公路建设前后的各土地利用类型的面积。根据以往土地分类的研究成果, 并参考 Costanza 进行生态价值计算时划分的陆地生态系统类型<sup>[8]</sup>, 土地利用类型划分见表 2。高速公路建设占用河道在后期均恢复、治理, 未影响其生态价值, 故不予以考虑, 此外, 占用的宅基地等其他类型土地的生态服务价值较小, 在此研究中也进行分析。

### 2.2 不同土地利用类型的生态服务价值确定

本文以 Costanza 等的研究为基础, 参考冉圣宏和吕昌河<sup>[8-12]</sup>等对中国陆地生态系统生态服务价值的研究成果, 确定各种土地利用类型单位面积的生态价值, 见表 3。

$$ESV = \sum A_k \times VC_k$$

$$ESV_f = \sum (A_k \times VC_{fk})$$

式中:  $ESV$  ——生态系统服务价值(元);  $A_k$  ——研究区后种土地利用类型的面积(hm<sup>2</sup>);  $VC_k$  ——生态价值系数[元/(hm<sup>2</sup>·a)];  $ESV_f$  ——生态系统单项服务功能价值(元);  $VC_{fk}$  ——单项服务功能价值系数。

## 3 结果分析与讨论

### 3.1 土地利用结构变化

各区域高速公路建设前后沿线的土地利用类型及其变化情况分析见表 4。高速建设占用土地以耕地、园地、林地、草地为主, 建成后由于路基边坡和附属设施区的绿化等措施使得林地和草地面积略有增加, 且部分取土场和弃渣场等进行复垦或植被恢复。

靖安高速占用耕地 44.05 hm<sup>2</sup>, 园地 2.36 hm<sup>2</sup>, 草地 142.11 hm<sup>2</sup>, 分别占总面积的 23%、1%、75%, 由于其位于风沙区, 增设风沙路基防护林带、防风固沙林带使得林地面积增加 541.70 hm<sup>2</sup>, 其他三种土地类型面积均减少。建设前后园地和林地变化幅度最大, 建设后土地类型为耕地、林地、草地, 分别占总面积的 2%、96%、2%。

靖安高速延安段位于黄土丘陵区, 占地类型以耕地为主(40%), 草地次之(35%), 园地最少(1%)。建

成后各土地利用类型的面积均减少,变化幅度为园地 > 耕地 > 林地 > 草地。

咸阳机场高速位于黄土阶地区,以耕地为主,174.73 hm<sup>2</sup>(82%),园地次之,38.51 hm<sup>2</sup>(18%)。由于咸阳机场高速是陕西的重点工程,也是西部标准最高的高速公路——“省门第一路”,在绿化方面投入较大,主线和附属设施区绿化面积加大,草地、林地分别增加92.37 hm<sup>2</sup>、12.48 hm<sup>2</sup>,耕地、园地减幅分别为87%、100.00%。

商丹高速公路位于低山丘陵区,占用土地类型为耕地(85%)、园地(6%)、草地(9%),建成后耕地、园地类型面积为0,林地和草地面积增加,分别占总面积的14%、86%。

蓝商高速公路位于石质山区,占用土地类型为三种,占用面积为耕地(87%) > 草地(11%) > 林地

(2%)。建成后耕地减少390.78 hm<sup>2</sup>,林地、草地有所增加,增幅分别为281%、71%。耕地、林地、草地比例分别为34%、16%、50%。

综上所述,各区域高速公路建设主要占地类型为耕地、林地和草地,园地较少。总体而言,变化幅度为园地 > 林地 > 耕地 > 草地,园地主要是建设期全部占用,建设后消失,林地变化幅度大是因为高速公路边坡、立交和取弃土场的绿化,使其面积相对增加,尤以风沙区和低山丘陵区的项目突出。

从建设前后的对比看出,风沙区和黄土丘陵区的子靖和靖安高速建设后草地面积有所减少,是因为地域因素的影响,林地的防风固沙和水土保持效果更好,多采用种树措施,因此林地相对增加较多,其他三区域的高速公路建设使草地面积增加,以机场高速最为突出。

表4 公路建设前后土地利用类型及其变化

高速公路	建设里程/km	时期	土地利用类型			
			耕地	园地	林地	草地
子州-靖边高速 (风沙区段)	37.30	前/hm <sup>2</sup>	44.05	2.36	0.00	142.11
		后/hm <sup>2</sup>	8.47	0.00	541.70*	12.53
		变化/hm <sup>2</sup>	-35.58	-2.36	541.70	-129.58
		变化率/%	-80.77	-100.00		-91.18
靖安高速延安段	53.39	前/hm <sup>2</sup>	101.43	3.36	62.34	88.96
		后/hm <sup>2</sup>	54.00	0.00	37.19	67.64
		变化/hm <sup>2</sup>	-47.43	-3.36	-25.15	-21.32
		变化率/%	-46.76	-100.00	-40.34	-23.96
咸阳机场高速	20.58	前/hm <sup>2</sup>	174.73	38.51	0.96	0.00
		后/hm <sup>2</sup>	23.46	0.00	13.44	92.37
		变化/hm <sup>2</sup>	-151.27	-38.51	12.48	92.37
		变化率/%	-86.57	-100.00	1300.00	
商州-丹凤高速	30.62	前/hm <sup>2</sup>	125.12	9.27	0.00	13.39
		后/hm <sup>2</sup>	0.00	0.00	7.74	48.62
		变化/hm <sup>2</sup>	-125.12	-9.27	7.74	35.23
		变化率/%	-100.00	-100.00		263.11
蓝田-商州高速	92.79	前/hm <sup>2</sup>	463.41	0.00	8.92	61.17
		后/hm <sup>2</sup>	72.63	0.00	34.04	104.80
		变化/hm <sup>2</sup>	-390.78	0.00	25.12	43.63
		变化率/%	-84.33		281.61	71.33

\* 所注内容属主体工程为固定公路两侧流沙而设置的治理项目,计532.90 hm<sup>2</sup>,不属于该公路防治责任范围。

### 3.2 生态服务价值变化

由于各高速公路建设里程不尽一致,在生态价值评价上为保持各区域高速公路具有可比性,所以以单位公里高速公路建设所造成的土地利用类型生态服务价值变化为参考依据。

3.2.1 各区土地利用类型生态服务价值变化 随着高速公路建设的发展,各生态型用地向建设用地转化,使各区土地利用类型生态服务价值变化整体呈下降趋势,唯有子靖高速呈增长趋势。具体各土地利用

类型的生态服务价值分析见表5。耕地中,以低山丘陵区(商丹高速)耕地转化为建设用地较多,所以造成生态服务价值变化较大,建设前每公里的生态价值为0.34万元/a,降幅为100%。其余依次为黄土阶地区 > 石质山区 > 风沙区 > 黄土丘陵区。园地中,各高速均转化为建设用地,建设后生态价值均为0,以黄土阶地区(机场高速)利用的最多。林地中,靖安高速所在区域林地比例较大,其转化也相对多,价值呈减少趋势,由建设前的每公里0.40万元/a减少至0.24万

元/a, 其余四条高速的林地生态价值均有增加, 主要是由于公路路域及附属设施区的绿化, 增加了林地的面积, 增幅为子靖> 商州> 机场> 蓝商, 风沙区子靖高速增幅最大, 由于布置了防风固沙林, 使得林地面积增加。草地中, 子州和靖安高速生态服务价值均下

降, 说明这两个区域利用草地面积比重大, 转化率高。其他三条高速价值均增加, 增幅为机场> 商州> 蓝商, 机场高速每公里增加 0.88 万元/a, 说明机场高速作为重点工程, 在绿化上投入较大, 大幅增加草地面积, 使得草地生态总价值增加。

表 5 土地利用类型变化引起生态服务价值变化(以 1 km 计算)

土地利用类型	项目	子州- 靖边 高速	靖安高速 延安段	咸阳机场 高速	商州- 丹凤 高速	蓝田- 商州 高速
耕地	前/(万元·a <sup>-1</sup> )	0.10	0.16	0.70	0.34	0.41
	后/(万元·a <sup>-1</sup> )	0.02	0.08	0.09	0.00	0.06
	变化率/%	-80.77	-46.76	-86.57	-100.00	-84.33
园地	前/(万元·a <sup>-1</sup> )	0.02	0.02	0.51	0.08	0.00
	后/(万元·a <sup>-1</sup> )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	变化率/%	-100.00	-100.00	-100.00	-100.00	
林地	前/(万元·a <sup>-1</sup> )	0.00	0.40	0.02	0.00	0.03
	后/(万元·a <sup>-1</sup> )	4.94	0.24	0.22	0.09	0.12
	变化率/%		-0.40	13.00		2.82
草地	前/(万元·a <sup>-1</sup> )	0.74	0.33	0.00	0.09	0.13
	后/(万元·a <sup>-1</sup> )	0.07	0.25	0.88	0.31	0.22
	变化率/%	-91.18	-23.97		263.11	71.33
	前/(万元·a <sup>-1</sup> )	0.86	0.90	1.23	0.51	0.58
	后/(万元·a <sup>-1</sup> )	5.02	0.57	1.19	0.40	0.41
	变化率/%	484.45	-36.65	-3.30	-21.63	-28.75

3.2.2 各区生态服务价值总量变化 从生态服务总价值表(表 5)可以看出, 除风沙区子靖高速外, 其余 4 个区域均呈下降趋势, 但是整体变化幅度不大, 说明高速建设过程中土地类型转化较合理。风沙区生态服务总价值由建设前的 0.86 万元/km 增加至建设后的 5.02 万元/km, 增幅为 484.45%, 由于地理位置及地形地貌因素的限制, 为保障公路运行的安全及生态环境的保护, 设置沙障及防风固沙林等, 耕地、园地、草地面积减少所损失的生态服务价值在绝对数量上小于林地所增加的服务价值, 林地的增加使得生态服务总价值显著提高。黄土阶地区机场高速总价值减少 1.19 万元/km, 降幅最小, 为 3.30%, 由于林地和草地面积的增加量小于耕地和园地面积的减少量, 但是林地和草地的生态价值系数之和大于耕地和园地生态价值系数之和, 价值系数的优势在一定程度上弥补生态型土地面积减少所造成的服务价值的损失, 所以总价值是减少的, 但是减少幅度不大。其余 4 个区域总价值下降幅度为 21.63%~36.65%, 从递减速率看, 黄土丘陵区(靖安)> 石质山区(蓝商)> 低山丘陵区(商丹)> 黄土阶地区(机场)。

3.2.3 各类生态服务功能价值的变化 从表 6 中可以看出, 公路主线、附属设施区的绿化和取、弃土场的

复垦或绿化所带来的林地、草地或耕地面积的增加, 一定程度上可以弥补公路建设占地所造成的各生态功能价值损失。各功能中, 生物控制功能在 5 条高速区域均呈减少趋势, 且减幅为商丹> 蓝商> 机场> 靖安> 子靖。除水供应外, 其余 15 项生态服务价值在风沙区均有增加, 气候调节和废物处理功能增加显著, 分别由 0, 0.25 万元/km 增加至 1.05, 0.81 万元/km, 林地的气候调节、废物处理功能服务价值系数较高, 而且林地面积增加幅度大, 可见风沙区林地对各生态服务功能价值具有较高的贡献率, 气候调节价值在低山丘陵区 and 石质山区增幅也较大, 达 67%、280%, 而在其他两个区域分别减少 0.04 万元/km、0.03 万元/km。各生态服务功能价值在黄土丘陵区均减少, 减少幅度为 25%~42%, 气候调节、营养物循环、基因资源功能减幅最大, 均为 42%。黄土阶地区和低山丘陵区水供应、侵蚀控制功能价值呈增加趋势, 增幅分别为 368%、268% 和 170%、162%, 食物供应功能分别减少 0.23, 0.15 万元/km。扰动调节、水分调节、娱乐和文化功能价值在风沙区、黄土阶地区、低山丘陵区、石质山区均增加, 增幅 16%~2335%。土壤形成功能在黄土丘陵区、黄土阶地区和低山丘陵区分别减少 41%、36%、13%。

表 6 各类生态服务功能价值变化(以 1 km 计算)

万元/a

生态服务 功能类型	子州- 靖边高速		靖安高速延安段		咸阳机场高速		商州- 丹凤高速		蓝田- 商州高速	
	前	后	前	后	前	后	前	后	前	后
大气调节	0.02	0.12	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
气候调节	0.00	1.06	0.09	0.05	0.07	0.05	0.01	0.02	0.01	0.03
扰动调节	0.11	0.61	0.10	0.07	0.10	0.16	0.04	0.05	0.04	0.05
水分调节	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
水供应	0.09	0.01	0.04	0.03	0.02	0.10	0.01	0.04	0.02	0.03
侵蚀控制	0.05	0.06	0.03	0.02	0.02	0.06	0.01	0.02	0.01	0.02
土壤形成	0.00	0.12	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
营养物循环	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
废物处理	0.25	1.07	0.20	0.13	0.13	0.34	0.05	0.12	0.05	0.10
传粉	0.06	0.25	0.06	0.04	0.13	0.08	0.06	0.02	0.07	0.03
生物控制	0.06	0.06	0.06	0.04	0.18	0.07	0.09	0.02	0.11	0.03
栖息地	0.01	0.24	0.02	0.01	0.02	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01
食物供应	0.18	0.62	0.19	0.11	0.45	0.22	0.21	0.06	0.25	0.09
原材料	0.00	0.30	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01
基因资源	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
娱乐	0.02	0.43	0.04	0.03	0.03	0.04	0.01	0.01	0.01	0.02
文化	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	0.03	0.00	0.01	0.00	0.01
总和	0.86	5.02	0.90	0.57	1.23	1.19	0.51	0.40	0.58	0.41

## 4 结论

(1) 5 个区域的高速公路建设, 主要占用沿线的耕地、园地、林地和草地 4 种土地类型, 建成后由于路基边坡和附属设施区的绿化, 部分取土场和弃渣场等进行复垦或植被恢复等措施使得林地和草地面积略有增加, 总体而言, 变化幅度为园地 > 林地 > 耕地 > 草地。耕地均呈减少趋势, 减少量为蓝商 (390.78  $\text{hm}^2$ ) > 机场 (151.27  $\text{hm}^2$ ) > 商丹 (125.12  $\text{hm}^2$ ) > 靖安 (47.43  $\text{hm}^2$ ) > 子靖 (35.58  $\text{hm}^2$ ); 园地土地类型在建设后消失; 林地中, 以靖安高速呈减少趋势, 其余四条高速均呈增加态势, 变化幅度为机场 (+1300%) > 蓝商 (+281.61%) > 子州 = 商丹 (+100%) > 靖安 (-40.34%); 草地中, 子靖和靖安呈减少趋势, 其余三条高速草地面积增加, 变化幅度为商丹 (+263.11%) > 机场 (+100%) > 子靖 (-91.18%) > 蓝商 (+71.33%) > 靖安 (-23.97%)。

(2) 生态服务总价值, 除风沙区子靖高速外, 其余 4 个区域均呈下降趋势, 但是整体变化幅度不大, 说明高速建设过程中土地类型转化较合理。风沙区子靖高速生态服务总价值增幅为 484.45%。黄土阶地区机场高速总价值减少 1.19 万元/km, 降幅最小, 为 3.30%, 其余三个区域总价值下降幅度为 21.63% ~ 36.65%, 从递减速率看, 黄土丘陵区 (靖安) > 石质山区 (蓝商) > 低山丘陵区 (商丹) > 黄土阶地区 (机场)。

(3) 各功能中, 生物控制功能在 5 条高速区域均呈

减少趋势, 且减幅为低山丘陵区 (商丹) > 石质山区 (蓝商) > 黄土阶地区 (机场) > 黄土丘陵区 (靖安) > 风沙区 (子靖)。15 项生态服务功能价值在风沙区均有增加, 且气候调节和废物处理功能增加显著。各生态服务功能价值在黄土丘陵区均减少, 减少幅度为 25% ~ 42%, 气候调节、营养物循环、基因资源功能减幅最大。黄土阶地区和低山丘陵区水供应、侵蚀控制功能价值呈增加趋势, 增幅分别为 368%、268% 和 170%、162%, 食物供应功能分别减少 0.23、0.15 万元/km。扰动调节、水分调节、娱乐和文化功能价值在风沙区、黄土阶地区、低山丘陵区、石质山区均增加。

高速公路的建设实施通过改变土地利用类型, 进而改变生态系统的生态服务功能, 降低生态系统的服务价值, 估算公路规划实施导致的生态系统服务价值损失可以为公路实施过程中的生态补偿提供一定依据。综合研究结果, 5 个区域的高速公路建设对生态服务价值有一定程度的负面影响, 但是公路建设过程中的一系列生态举措, 包括绿化、复垦以及控制占地面积等, 使得生态服务价值损失最小化, 充分体现建设项目的生态保护原则。同时, 高速公路作为陕西省的经济、社会发展的基础设施, 它的建设实施有利于缩小西部区域间的差距, 促进区域合作、资源的开发、投资环境改善等, 为陕西省的发展带来长期的效益。总体而言, 陕西省的高速公路建设实现土地资源的可持续利用, 促进了社会、经济、生态环境协调发展。

(下转第 237 页)

坏;进一步开展土地整理和复垦,增加土地储备资源,加大植树造林力度,保护森林资源;增强环境的化石能源承载力,有效控制生态赤字;(4)调整和优化国民经济产业结构的重点应该是大力发展低能耗、高附加值的高新技术产业,大力发展新兴生产服务业和生活服务业,积极发展环保产业,提高它们在国民经济中所占的比重。

#### 参考文献:

- [1] WWF. Living Planet Report 2006[EB]. <http://www.panda.org/news-facts/publications/living-planet-report/lp-2006/index.cfm>, 2010-11-01.
- [2] WWF. Living Planet Report 2000[EB]. <http://www.panda.org/news-facts/publications/living-planet-report/lp-2000/index.cfm>, 2010-11-01.
- [3] 国际能源机构. 中国 2010 年后或成最大能源消费国 [EB/OL]. <http://www.p5w.net/news/gncj/200711/t1315242.htm>, 2010-11-08.
- [4] Wackernagel M, Niels B, Schulz et al. Calculating national and global ecological footprint time series: Resolving conceptual challenges[J]. *Land Use Policy*, 2004, 21: 274-278.
- [5] Karen T, Manfred L, Thomas W, et al. Examining the global environmental impact of regional consumption ac-

tivities: Part 1. A technical note on combining input-output and ecological footprint analysis[J]. *Ecological Economics*, 2007, 62: 37-44.

- [6] 李智,鞠美庭,刘伟,等. 中国 1996-2005 年能源生态足迹动态测度与分析[J]. *资源科学*, 2007, 29(6): 54-61.
- [7] 高军波. 河南省城市化环境效应研究[D]. 武汉: 华中师范大学, 2007.
- [8] 张志强,徐中民,程国栋,等. 中国西部 12 省(区市)的生态足迹[J]. *地理学报*, 2001, 59(5): 599-610.
- [9] 赵震宇,宋冬林. 中国化石能源使用可持续性评估: 基于 1990-2006 年数据[J]. *地理科学*, 2010, 30(1): 75-80.
- [10] Rees W. Eco footprint analysis: merits and brickbats [J]. *Ecological Economics*, 2000, 32(3): 371-374.
- [11] 张颖. 北京市生态足迹变化和对可持续发展的影响研究[J]. *中国地质大学学报: 社会科学版*, 2006, 6(4): 47-55.
- [12] 张芳,徐伟锋,李光明,等. 上海市 2003 年生态足迹与生态承载力分析[J]. *同济大学学报: 自然科学版*, 2006, 34(1): 80-84.
- [13] 郭秀锐,杨居荣,毛显强. 城市生态足迹计算与分析: 以广州为例[J]. *地理研究*, 2003, 22(5): 54-63.
- [14] 杜加强,王金生,滕彦国,等. 生态足迹研究现状及基于净初级生产力的计算方法初探[J]. *中国人口·资源与环境*, 2008, 18(4): 178-183.

(上接第 231 页)

#### 参考文献:

- [1] Daily G. Nature's services: societal dependence on natural ecosystems[M]. Washington DC: Washington DC's Island Press, 1997.
- [2] Lambin E F, Baulies X, Bockstael N, et al. Land-use and land cover change, implementation strategy[R]. IGBP Report No. 35/HDP Report No. 10. Stockholm: IGBP, 1999.
- [3] Ayres R U. The price value Paradox[J]. *Ecological Economics*, 1998, 25(1): 17-19.
- [4] Serafy S. Pricing the invalueable: the value of the world's ecosystem service and natural capital[J]. *Ecological Economics*, 1998, 25(1): 25-27.
- [5] 欧阳志云,王如松,赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. *应用生态学报*, 1999, 10(5): 635-640.
- [6] 吴钢,肖寒,赵景柱,等. 长白山森林生态系统服务功能

[J]. *中国科学: C 辑*, 2001, 31(5): 471-480.

- [7] Turner B L II, Skole D, Fischer G, et al. Landuse landcover change: science/change plan[C]. IGBP Report No. 35 and HDP Report No. 7. Stockholm and Geneva, 1995: 14-22.
- [8] 冉圣宏,吕昌河,贾克敬,等. 基于生态服务价值的全国土地利用变化环境影响评价[J]. *环境科学*, 2006, 27(10): 2139-2144.
- [9] 白晓飞,陈焕伟. 土地利用的生态服务价值: 以北京市平谷区为例[J]. *北京农学院学报*, 2003, 18(2): 109-111.
- [10] 陈仲新,张新时. 中国生态系统效益的价值[J]. *科学通报*, 2000, 45(1): 17-19.
- [11] 谢高地,张钰铨,鲁春霞. 中国自然草地生态系统服务价值[J]. *自然资源学报*, 2001, 16(1): 47-53.
- [12] 王天伟. 土地利用类型变化对生态服务价值的影响: 以西汉高速公路卢县至勉县段沿线区域为例[J]. *水土保持通报*, 2011, 31(3): 待刊.