

和田河流域土地生态系统服务价值变化及敏感性研究

王希义¹, 徐海量², 潘存德¹, 凌红波², 张广朋¹

(1. 新疆农业大学, 乌鲁木齐 830052; 2. 中国科学院 新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011)

摘要:为了探究和田河流域综合治理项目的生态效益,基于和田河流域1990年、2000年、2010年的遥感解译数据,并选取符合干旱区特点的Constanza价值系数,依据研究区的实际情况进行修正,分析了1990—2010年的土地类型面积变化、生态服务价值变化,探讨了服务价值对系数变动的敏感性。结果表明:(1)1990—2010年林地面积增加29.33%,变化幅度最大;草地、耕地、湿地的面积分别减少7.42%、17.45%、7.1%,变化幅度相对较小;河湖与荒漠面积的减少幅度均在1%以下;(2)和田河流域生态系统服务总价值在1990年、2000年、2010年分别为380.62亿元、341.82亿元、350.83亿元,2000年比1990年减少了10.19%,2010年比1990年减少了7.83%;(3)经敏感性分析验证,估算结果对生态服务价值系数的敏感性指数均在0.35以下,所选价值系数合理,研究结果可信。

关键词:土地利用类型;价值系数;生态服务价值;敏感性;和田河流域

中图分类号:K902

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)06-0334-07

Study on the Service Value of Land Ecosystem and Sensitivity in Hotan River Basin

WANG Xiyi¹, XU Hailiang², PAN Cunde¹, LING Hongbo², ZHANG Guangpeng¹

(1. Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China)

Abstract: In order to explore the ecological benefits of comprehensive reclamation in Hotan river basin, the remote sensing data in 1990, 2000 and 2010 were collected. Then, the Constanza value coefficient, which was conformed to the characteristics of arid region, was amended according to the practical situation of study area. At last, the change of land area and ecological service value from 1990 to 2000 were analyzed, and the sensibility of service value to fluctuating of coefficient was discussed. The results are as follows. (1) From 1990 to 2010, the changes in the area of forest was biggest, and the area of forest increased by 29.33%; the changes of the areas of grassland, cultivated land, wetland were smaller relatively, and areas of grassland, cultivated land, wetland decreased by 7.42%, 17.45%, 7.1%, respectively; what's more, the decrease ranges of river lake and desert area were all below 1%. (2) The values of ecosystem service were 38.062 billion yuan, 34.182 billion yuan, 35.083 billion yuan in 1990, 2000, 2010, respectively; the value of ecosystem service in 2000 was decreased by 7.83% compared to that in 1990, it was decreased 7.83% in 2010 compared to that in 1990. (3) The sensibility of estimated results to ecological service value coefficients was all under 0.35 based on the sensitivity analysis, thus the value coefficients were reasonable and the results were reliable.

Keywords: land-use type; value coefficient; ecological service value; sensitivity; Hotan River Basin

土地利用/覆被变化(LUCC, land use/cover change)是全球环境变化研究的核心内容之一^[1-2],现已成为“全球环境变化的人文因素计划(IHDP)”的重

要组成部分^[3]。土地利用/覆被变化主要受到经济、技术、社会以及政治文化的影响,因而受到国内外研究学者的高度重视^[4-5]。土地利用/覆被变化导致区

域生态系统的结构和功能发生改变,进而对生态系统的服务价值产生影响^[6-7]。因此,研究土地利用/覆被的变化特征,分析区域生态系统服务价值变化过程,可以为合理利用区域的土地资源提供指导意见,对于区域经济的可持续发展具有重要意义。

自20世纪90年代以来,土地利用/覆被研究日益成为国内外学者研究的热点问题^[8-9],并在近几年有了快速发展^[10-11]。在国外,Searchinger等^[12]和Warner等^[13]研究了土地利用变化与温室气体含量之间的关系,Kalnay等^[14]和Dirmeyer等^[15]分析了土地利用变化对气候的影响,Keeler等^[16]探讨了土地利用对地下水资源的影响方式,Mendoza等^[17]和Helin等^[18]探讨了土地变化与系统服务价值间的关系等,其他一些研究也表明土地利用/覆被变化对生态环境和服务价值产生了很大影响^[19-21]。在国内,有关土地利用变化的研究主要有土地与碳排放^[22-23],土地利用与水质变化^[24-25],土地生态服务价值变化^[26-27]等方面。由此可见,国内外针对土地变化与环境间的关系、土地生态服务价值变化等方便的研究都有了一系列的进展。

塔里木河流域是中国最大的内陆河流域,和田河是塔里木河上游的三源流之一。2001年,国家投入107亿开展塔里木河流域综合治理工程,旨在恢复塔里木河下游的生态环境,受到全世界的关注^[28]。和田河是塔里木河的主要源流,目前针对和田河流域的研究主要集中在土地利用动态变化及环境效应^[29-31],流域绿洲特征^[32-33]等方面,针对和田河流域土地生态系统服务价值的研究较为少见。本文利用和田河流域1990年、2000年、2010年的遥感解译数据,结合价值量评价法分析了生态系统服务价值的变化特征,试图为流域的生态经济状况评价提供参考依据。

1 研究区概况

和田河流域位于塔克拉玛干沙漠南缘,东邻克里雅河流域,南以昆仑山和喀喇昆仑山与西藏和克什米尔为界,西与叶尔羌河流域接壤,北接塔里木盆地腹地,位于 $34^{\circ}52' - 40^{\circ}29'N$, $77^{\circ}25' - 81^{\circ}43'E$,总面积约为 $4.89 \times 10^6 \text{ km}^2$ 。流域年均气温为 12.4°C ,是我国典型的干旱地区,干燥度大于60,风沙灾害严重,生态环境比较脆弱。和田河由上游玉龙喀什河和喀拉喀什河两大支流汇合组成,全长1127 km^[34],是塔里木盆地三条(塔河干流、叶尔羌河中下游、和田河中下游)绿色走廊中保存最好的一条自然生态体系^[35]。和田河上、中、下游的划分是以出山口以上为上游区,出山口至两河交汇处阔什拉什为中游,阔什拉什至肖夹克为下游。流域的上游海拔在3500 m以上,终年

积雪;流域下游在1250 m以下,具有广阔的戈壁沙漠,绝大部分为荒漠景观。上游山地与下游荒漠之间通过和田—墨玉—洛浦绿洲相联系。和田河流域绿洲面积仅占流域总面积的8%左右,干旱荒漠景观占主导地位^[36]。近些年来,人类活动对土地的利用强度加大,加之自然条件的变化,土地利用/覆被状况发生改变,对生态系统产生了一些直接或间接、宏观或微观的影响。

2 试验材料与方法

2.1 数据来源与处理

基础数据为和田河流域的Landsat-TM影像数据和中巴资源卫星数据,成像时间均为1990年、2000年与2010年的7—9月份,图像分辨率为30 m,每景覆盖范围为 $185 \text{ km} \times 185 \text{ km}$,影像主要采用2,3,4,5个波段合成。首先,利用Erdas软件对三期遥感影像进行几何校正与配准,在ArcGIS 10软件支持下利用Arcinfo模块分别对和田河流域3期遥感影像进行目视判读和数字化工作;其次,通过实地考察进行校准,对流域的解译结果进行修正,通过精度检验,使3期数据精度均在80%以上以符合研究的需求。第三,根据国家决策以及本次调查需要,将调查区的土地利用方式采用两级分类系统进行分类,一级为6类,主要是依据土地的资源属性和利用属性进行分类,包括:林地、草地、农田、河湖、荒漠;二级为22个类型,主要依据土地资源的利用特点、利用方式和覆盖特征进行分类。在本研究中,着重针对一级分类中的6种土地类型生态服务价值变化方式进行探讨与评价。

2.2 研究方法

2.2.1 土地覆被变化分析方法 本文利用单一土地类型变化率(R_k)以及土地利用总体变化速度(R)来阐述土地覆被变化特征。设研究区内包括 n 种土地利用类型,则第 k 种土地动态度(一定时间范围内某种土地利用类型数量的变化速度)可由公式(1)计算而得。

$$R_k = \frac{|U_{tk} - U_{tk}|}{U_{tk}} \quad (k=1, 2, 3, \dots, n) \quad (1)$$

式中: U_{tk} 、 U_{tk} 分别表示第 k 种土地利用类型在研究初期和研究末期的面积。

2.2.2 生态服务价值评估方法

(1) 价值系数的选择及修正。目前国内外有关的价值系数研究主要有Constanza提出的价值系数^[37],谢高地等^[38]对200位生态学者调查而提出的“中国陆地生态系统服务价值当量因子表”等。师庆三等^[39]在对比分析几种价值系数后,指出Constanza价值体系更符合干旱区的实际情况:(1)能够突显干

旱区水的价值和作用;(2)荒漠系统赋值为0符合干旱区的实际情况。因此,本文将 Constanza 价值系数作为研究区生态服务价值计算的基础。Constanza 价值系数考虑了人的主观价值认知因素,而支付意愿则体现了这种主观价值认知。人们对生态服务价值的认知是随着社会经济的发展在不断变化的,这种认知和社会的发展阶段有关,因此可以运用社会发展阶段系数(l)来反映人们对生态服务价值的支付意愿^[40]。社会发展阶段系数(l)的计算公式为:

$$l = \frac{1}{1 + e^{(3 - 1/E_n)}} \quad (2)$$

式中: l 即为社会发展阶段系数; E_n 为恩格尔系数。在本研究中, E_n 取和田地区的恩格尔系数。

社会发展阶段系数虽然可以反应人们对生态服务价值的总体支付意愿,但不能区分对生产性功能(食物生产和原材料生产)与服务性功能(气体调节、气候调节、水文调节、废物处理、保持土壤、维持生物多样性和提供美学景观)的偏好,在这里引入 Shi 等^[41]的研究成果,定义 T 为基于社会发展阶段系数区分对不同服务功能的偏好的修正系数,计算公式分别为:

$$T_{\text{生产}} = l_{\text{研究区}} \quad (3)$$

$$T_{\text{服务}} = l_{\text{研究区}} / l_{\text{全国}} \quad (4)$$

式中: $T_{\text{生产}}$ 与 $T_{\text{服务}}$ 分别为生产性功能与服务性功能修正系数; $l_{\text{研究区}}$ 和 $l_{\text{全国}}$ 分别为研究区和中国社会发展阶段系数。

综上,提出本研究的生态服务价值系数修正模型:

$$e_{\text{修正}} = eT \quad (5)$$

式中: $e_{\text{修正}}$ 即为修正后的价值系数; e 即为 Constanza 价值系数; T 为修正系数。

(2) 生态服务价值计算。研究区的生态服务价值量运用 Constanza 等的估算方法,其计算公式为:

$$ESV = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^9 e_{ij} S_i V \quad (6)$$

式中:ESV 为研究区生态系统生态服务价值总量; e_{ij} 为修正后第 i 类土地类型的第 j 项生态服务功能价值当量; S_i 为第 i 类土地利用类型的面积; V 为单位农田生态系统提供食物生产服务功能的经济价值。 V 可根据公式(7)^[42]进行计算。

$$V = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^n \frac{m_i p_i q_i}{M} \quad (7)$$

式中: i 为作物种类,和田河流域作物主要为水稻、小麦、玉米和豆类; p_i 为 i 种粮食作物的当年价格(元/t); q_i 为粮食作物的单位面积产量(t/hm²); m_i 为 i 种粮食作物面积(hm²); M 为粮食作物总面积(hm²)。本文通过查阅《新疆统计年鉴》^[43]和《新疆生产建设兵团年鉴》^[44]计算得出,研究区一个生态服务价值当量因子的经济价值量

V 为 1 765.5 元/(hm²·a)。

(3) 敏感性分析。利用敏感性分析检验价值系数的准确性对计算结果的影响程度,通过对相对应的森林、草地、农田、湿地、河流湖泊和荒漠的生态服务价值系数进行调正,运用敏感度进行分析,计算公式为:

$$CS = \left| \frac{(ESV_j - ESV_i) / ESV_i}{(e_{jk} - e_{ik}) / e_{ik}} \right| \quad (8)$$

式中:ESV 为总服务价值量; e 为价值系数; i 和 j 分别为最初的价值系数和调正后的价值系数; k 为土地利用类型;CS 为敏感度,是指 e 变动 1% 引起的 ESV 的变化情况,如果 $CS > 1$,说明 ESV 对 e 富有弹性,如果 $CS < 1$,说明 ESV 对 e 缺乏弹性,比值越大,表明 e 的准确性越关键。

3 结果与分析

在生态服务价值计算的过程中,根据研究区土地分类结果和生态服务价值当量表的特点,本研究将林地作为森林计算,高中低覆盖度草地均归为草地,耕地即为农田,滩涂、沼泽视为湿地,河渠、水库、湖泊为河湖,沙地、盐碱地、裸土地、裸岩石砾地和其他未利用土地视为荒漠计算。

3.1 流域内土地利用方式变化特征

在干旱半干旱区,土地的利用主要是在绿洲内部或绿洲与荒漠的交界处,其利用方式反作用于绿洲发展的方式和规模,并对生态环境产生重要影响。本研究通过分析遥感解译及实地调查数据,得出了和田河流域 6 种不同类型土地面积的变化特征(表 1)。由表 1 得出,1990—2010 年荒漠所占的面积一直在 70% 以上,这也与和田河流域地处塔克拉玛干沙漠区域的状况相一致。总体而言,除了林地面积增加了 29.33% 以外,其余 5 种类型的土地均有所减少。1990—2000 年,耕地、湿地增加显著,分别为 18.14% 和 10.18%,而林地、草地面积有所减少,分别减少 1.61%,3.8%;2000—2010 年,耕地、湿地减少十分显著,减少比例分别为 30.13%,15.68%,而林地面积迅速增加了 31.44%。在整个时期,河湖、荒漠的变化均不明显。

3.2 生态系统单位面积生态服务价值当量

结合公式(2)—(5),借助新疆统计年鉴资料和国家统计局年鉴中的相关资料,可得 1990 年、2000 年和 2010 年和田河流域生态系统单位面积生态服务价值当量(表 2)。

基于 1990 年、2000 年和 2010 年的生态系统单位面积生态服务价值当量,可以分别计算这些年份不同土地类型的生态服务价值。

表 1 和田河流域 1990—2010 年不同土地利用类型面积比重及变化率

土地利用 类型	面积比重/%			1990—2000		2000—2010		1990—2010	
	1990 年	2000 年	2010 年	面积变化/km ²	动态度/%	面积变化/km ²	动态度/%	面积变化/km ²	动态度/%
林地	4.39	4.35	5.72	—48.44	—1.61	932.39	31.44	883.95	29.33
草地	8.41	8.14	7.84	—219.14	—3.8	—209.08	—3.77	—428.22	—7.42
耕地	2.54	3.03	2.12	316.71	18.14	—621.36	—30.13	—304.65	—17.45
湿地	0.41	0.46	0.39	28.96	10.18	—49.15	—15.68	—20.19	—7.10
河湖	12.85	12.85	12.86	—60.06	—0.68	3.19	0.036	—56.87	—0.64
荒漠	70.73	71.17	71.07	—28.62	—0.06	—90.44	—0.19	—119.06	—0.25

表 2 和田河流域不同年份生态系统单位面积生态服务价值当量表

年份	单项服务功能	土地利用类型					
		林地	草地	耕地	湿地	河湖	荒漠
1990	食物生产	0.134317	0.208191	0.167896	0.795827	0.127601	0
	原材料生产	0.429814	0	0	0.329076	0	0
	气体调节	0	0.101883	0	1.927934	0	0
	气候调节	2.076839	0	0	0.062697	0	0
	水文调节	0.070534	0.047023	0	0.2743	0.10972	0
	废物处理	1.261778	1.261778	0	0.062697	9.647507	0
	保持土壤	6.779117	0.438879	0	0	0	0
	维持生物多样性	0.258625	0.697505	0.548599	4.412304	0	0
	提供美学景观	0.987478	0.031349	0	21.11323	3.338617	0
	总计	11.9985	2.786608	0.716495	28.97807	13.22345	0
2000	食物生产	0.158058	0.244991	0.197573	0.936496	0.150155	0
	原材料生产	0.505787	0	0	0.387243	0	0
	气体调节	0	0.093073	0	1.76122	0	0
	气候调节	1.897249	0	0	0.057275	0	0
	水文调节	0.064435	0.042957	0	0.25058	0.100232	0
	废物处理	1.152668	1.152668	0	0.057275	8.813258	0
	保持土壤	6.192907	0.400928	0	0	0	0
	维持生物多样性	0.236261	0.637189	0.50116	4.030759	0	0
	提供美学景观	0.902088	0.028638	0	19.2875	3.049917	0
	总计	11.10945	2.600444	0.698733	26.76835	12.11356	0
2010	食物生产	0.237787	0.36857	0.297234	1.408889	0.225898	0
	原材料生产	0.760919	0	0	0.582579	0	0
	气体调节	0	0.106756	0	2.020154	0	0
	气候调节	2.176183	0	0	0.065696	0	0
	水文调节	0.073908	0.049272	0	0.28742	0.114968	0
	废物处理	1.322134	1.322134	0	0.065696	10.10898	0
	保持土壤	7.103389	0.459873	0	0	0	0
	维持生物多样性	0.270996	0.730869	0.574841	4.623362	0	0
	提供美学景观	1.034713	0.032848	0	22.12315	3.498316	0
	总计	12.98003	3.070322	0.872075	31.17695	13.94816	0

3.3 土地生态服务价值动态变化

3.3.1 生态服务价值对土地利用变化的响应 结合修正后的价值系数以及相应公式计算出和田河流

域的生态服务价值量(表 3)。由表 3 中可以看出,生产性功能(食物生产和原材料生产)价值呈增加趋势,如食物生产增加了 16.78%,原材料生产增加了

50.55%；在服务性功能中，气候调节价值增加 12.77%，保持土壤价值增加 9.28%；然而一些服务型功能如气体调节、水文调节、废物处理、维持生物多样性、提供美学景观等有所减少。和田河流域生态系统服务总价值呈减少趋势，1990—2010 年总价值减少了 7.83%。

表 3 和田河流域生态系统服务价值变化特征

服务功能 年份	服务价值总量/亿元			1990—2000		2000—2010		1990—2010	
	1990 年	2000 年	2010 年	价值变化量/ 10 ⁸ 元	变化率/ %	价值变化量/ 10 ⁸ 元	变化率/ %	价值变化量/ 10 ⁸ 元	变化率/ %
食物生产	8.58	9.01	10.02	0.43	5.01	1.01	11.21	1.44	16.78
原材料生产	3.66	3.8	5.51	0.14	3.83	1.71	45	1.85	50.55
气体调节	2.41	2.23	1.95	-0.18	-7.47	-0.28	-12.56	-0.46	-19.09
气候调节	13.31	11.76	15.01	-1.55	-11.65	3.25	27.64	1.70	12.77
水文调节	3.24	2.89	2.89	-0.35	-10.8	0	0	-0.35	-10.80
废物处理	203.97	181.4	177.98	-22.57	-11.07	-3.42	-1.89	-25.99	-12.74
保持土壤	48.7	42.92	53.22	-5.78	-11.87	10.3	24	4.52	9.28
维持生物多样性	14.88	13.62	12.38	-1.26	-8.45	-1.24	-9.10	-2.5	-16.80
提供美学景观	81.87	74.19	71.87	-7.68	-9.38	-2.32	-3.13	-10	-12.21
总计	380.62	341.82	350.83	-38.80	-10.19	9.01	2.64	-29.79	-7.83

3.3.2 生态服务敏感度分析 根据敏感性指数计算公式，将各种土地利用类型的生态价值系数上下调整 50%，应用调整后的价值系数计算出研究区 1990 年、2000 年与 2010 年的敏感性指数(图 1)。由图 1 可以看出，在 1990 年、2000 年、2010 年，将各种类型土地的价值系数上下调整 50%以后，和田河流域的生态系统服务价值敏感性指数均在 0.35 以下。以河湖和林地价值系数的调整引起的敏感性指数最高，介于 0.201 7~0.326 9；草地和湿地次之，介于 0.04~0.09；耕地与荒漠为最小，均在 0.01 以下。

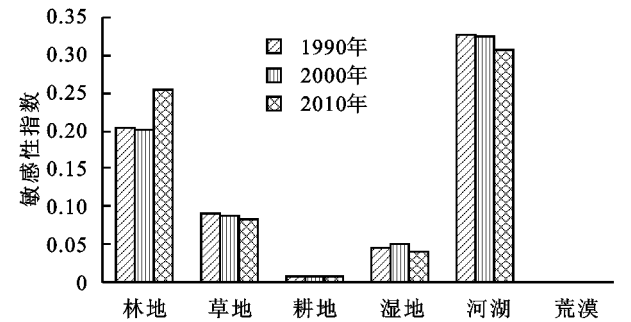


图 1 和田河流域生态服务价值的敏感性指数变化

4 讨论

人类活动的加剧使生态环境问题日益突出，土地利用变化所引起的生态系统服务价值变化日益受到人们的关注^[45]。本文在收集统计年鉴资料的基础上，结合遥感数据，得出在 1990—2000 年耕地与湿地的面积有所增加，林草地面积减少，主要原因是人类活动加剧，对农作物的需求量加大以及滥垦滥伐等现象加剧；2000—2010 年，耕地和湿地面积显著减少，林地面积增加明显，这主要是此时期加大了对森林的

保护工作，坚持以草、灌木为主的自然植被恢复方针，并开展了一系列退耕还林、还草工程，使得自然植被的面积增加。然而，本文只针对 1990—2010 年的土地面积进行了研究，而最近几年土地又发生了变化，面积变化与服务价值变化需要进一步研究，以便连接 1990—2010 年的结果，并为以后的研究做好铺垫。

本研究选取了符合干旱区实际情况的 Constanza 价值系数作为基础，结合研究区实际情况对 Constanza 价值系数进行修正，以使和田河流域生态服务价值的评估结果更加合理。2010 年，和田河流域 GDP 为 103.497 亿元，而生态服务价值总量为 350.83 亿元。和田河流域自然生态系统服务价值是 GDP 的 3 倍多，这与陈仲新等^[46]的研究结果“中国生态服务价值是 GDP 的 1.25 倍”差距较大，但这从另一个方面说明和田河流域人民生活水平低，但是对自然的破坏较少，生态系统生产总值较高，说明自然系统保存较好^[47]，生态价值高。因此，仅用 GDP 单一核算体系会造成不计生态环境赤字、经济虚假的局面，对需要长周期的生态建设和环境恢复项目不利，因此需要启动 GEP(生态系统生态总值)的核算，以提高衡量区域生态价值的科学性。

在 1990 年、2000 年、2010 年，和田河流域生态服务价值敏感性指数均在 0.35 以下，这表明研究区的 ESV 对指数变动的响应不显著，研究结果可信。另外，河湖和林地的单位面积价值当量较高，面积也较大，因此河湖与林地的变动引起的敏感性系数最高；草地的面积较大，湿地单位面积服务价值当量最高，

因此二者的变动所引起的敏感性指数处于中等水平;耕地和荒漠的单位面积服务价值当量都很小,荒漠为0,因此二者价值系数的变动所引起的敏感性指数变化最小。这与李艳超^[48],陈美球^[49]等的研究结果相类似,都表明了生态服务价值的敏感性指数受到各种类型土地单位面积服务价值当量和总面积的双重影响。

5 结论

(1) 1990—2010年林地面积增加29.33%,草地、耕地、湿地分别减少7.42%,17.45%,7.1%,河湖与荒漠面积减少不足1%。

(2) 1990年、2000年、2010年和田河流域生态系统服务总价值分别约为380.62亿元、341.82亿元、350.83亿元;2000年比1990年减少了10.19%,2010年比1990年减少了7.83%。

(3) 和田河流域生态系统服务价值对土地类型价值系数变动的敏感性均在0.35以下,说明前者对于后者缺乏弹性,本文所选生态价值系数比较合理,结果可信。

参考文献:

[1] 傅伯杰,陈利顶,马克明.黄土丘陵区小流域土地利用变化对生态环境的影响:以延安市羊圈沟流域为例[J].地理学报,1999,54(3):241-246.

[2] 刘纪远,张增祥,庄大方,等.20世纪90年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析[J].地理研究,2003,22(1):1-12.

[3] 张新荣,刘林萍,方石,等.土地利用、覆被变化(LUCC)与环境变化关系研究进展[J].生态环境学报,2014,23(12):2013-2021.

[4] 曹茜,于德永,孙云,等.土地利用/覆盖变化与气候变化定量关系研究进展[J].自然资源学报,2015,30(5):880-890.

[5] Ghioca D M, Smith L M. Population Structure of *Ambystoma tigrinum mavortium* in Playa Wetlands: Landuse Influence and Variations in Polymorphism[J]. Copeia, 2008,36(2):286-293.

[6] 李进鹏,王飞,穆兴民,等.延河流域土地利用变化对其生态服务价值的影响[J].水土保持研究,2010,17(3):110-114.

[7] Kok N, Monkkonen P, Quigley J M. Land use regulations and the value of land and housing: An intra-metropolitan analysis[J]. Journal of Urban Economics, 2014, 81(1):136-148.

[8] Walcek C J, Brost R A, Chang J S, et al. SO₂, sulfate and HNO₃, deposition velocities computed using regional landuse and meteorological data [J]. Atmospheric

Environment, 1986,20(5):949-964.

[9] Polasky S, Nelson E, Lonsdorf E, et al. Conserving species in a working landscape: land use with biological and economic objectives [J]. Ecological Applications, 2005,15(4):1387-1401.

[10] Rubin E J, Shaffer C A, Ramakrishnan N, et al. From landscapes to waterscapes: A PSE for landuse change analysis [J]. Engineering with Computers, 2012, 19(1):9-25.

[11] Pathirana A, Deneke H B, Veerbeek W, et al. Impact of urban growth-driven landuse change on microclimate and extreme precipitation: A sensitivity study [J]. Atmospheric Research, 2014,138(3):59-72.

[12] Searchinger T, Heimlich R, Houghton R A, et al. Use of U. S. croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change [J]. Science, 2008,319(5867):1238-1240.

[13] Warner E, Zhang Y, Inman D, et al. Challenges in the estimation of greenhouse gas emissions from biofuel-induced global land-use change [J]. Biofuels Bioproducts & Biorefining, 2014,8(1):114-125.

[14] Kalnay E, Cai M. Impact of urbanization and land-use change on climate [J]. Nature, 2003,423(6939):528-531.

[15] Dirmeyer P A, Dev N, Dickinson R E, et al. Impacts of land use change on climate [J]. International Journal of Climatology, 2010,30(13):1905-1907.

[16] Keeler B L, Polasky S. Land-use change and costs to rural households: A case study in groundwater nitrate contamination [J]. Environmental Research Letters, 2014,9(9):74002-74011.

[17] Mendoza-González G, Martínez M L, Lithgow D, et al. Land use change and its effects on the value of ecosystem services along the coast of the Gulf of Mexico [J]. Ecological Economics, 2012,82(20):23-32.

[18] Helin T, Holma A, Soimakallio S. Is land use impact assessment in LCA applicable for forest biomass value chains? Findings from comparison of use of Scandinavian wood, agro-biomass and peat for energy [J]. International Journal of Life Cycle Assessment, 2014, 19(4):770-785.

[19] Hof C, Araújo M B, Jetz W, et al. Additive threats from pathogens, climate and land-use change for global amphibian diversity [J]. Nature, 2011,480(7378):516-519.

[20] Flysjö A, Cederberg C, Henriksson M, et al. The interaction between milk and beef production and emissions from land use change-critical considerations in life cycle assess-

- ment and carbon footprint studies of milk[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2012, 28(28):134-142.
- [21] Kok N, Monkkonen P, Quigley J M. Land use regulations and the value of land and housing: An intra-metropolitan analysis[J]. *Journal of Urban Economics*, 2014, 81(1):136-148.
- [22] 曲福田, 卢娜, 冯淑怡. 土地利用变化对碳排放的影响[J]. *中国人口·资源与环境*, 2011, 21(10):76-83.
- [23] 俞超, 张丽琴, 唐殿明. 基于清单算法的湖北省土地利用碳排放效应和趋势分析[J]. *水土保持研究*, 2014, 21(4):168-172.
- [24] 黄金良, 李青生, 洪华生, 等. 九龙江流域土地利用/景观格局—水质的初步关联分析[J]. *环境科学*, 2011, 32(1):64-72.
- [25] 张福平, 赵沙, 周正朝, 等. 沔河流域土地利用格局与水质变化的关系[J]. *水土保持通报*, 2014, 34(4):308-312.
- [26] 吴海珍, 阿如早, 郭田保, 等. 基于 RS 和 GIS 的内蒙古多伦县土地利用变化对生态服务价值的影响[J]. *地理科学*, 2011(1):110-116.
- [27] 王亮. 基于不同生态系统类型的江苏盐城海岸带土地利用生态服务价值[J]. *国土资源科技管理*, 2015, 32(5):37-42.
- [28] 徐海量, 陈亚宁, 李卫红. 塔里木河下游环境因子与沙漠化关系多元回归分析[J]. *干旱区研究*, 2003, 20(1):39-43.
- [29] 窦燕, 陈曦, 包安明. 近 40 年和田河流域土地利用动态变化及其生态环境效应[J]. *干旱区地理*, 2008, 31(3):449-455.
- [30] 陈忠升, 陈亚宁, 李卫红. 新疆和田河流域土地利用/覆被变化及其驱动力分析[J]. *中国沙漠*, 2010, 30(2):326-333.
- [31] 杨依天, 郑度, 张雪芹, 等. 1980—2010 年和田绿洲土地利用变化空间耦合及其环境效应[J]. *地理学报*, 2013, 68(6):813-824.
- [32] 李卫红, 黎枫, 陈忠升, 等. 和田河流域平原耗水驱动力与适宜绿洲规模分析[J]. *冰川冻土*, 2011, 33(5):1161-1168.
- [33] 左敏, 陈洪武, 王蕾, 等. 基于 MODIS 的和田河夏季漫流监测分析[J]. *干旱区研究*, 2011, 28(3):438-443.
- [34] 宋郁东, 樊自立, 雷志栋, 等. 中国塔里木河水资源与生态问题研究[M]. 乌鲁木齐:新疆人民出版社, 2000.
- [35] 关洪涛, 杨泽慧, 宋剑鹏, 等. 和田河绿色走廊天然生态需水量估算[J]. *水资源与水工程学报*, 2005, 16(1):71-74.
- [36] 黄钱, 赵智杰, 蒋末文, 等. 塔里木河下游垦区土地利用/覆盖动态变化过程分析[J]. *干旱区地理*, 2006, 29(6):894-901.
- [37] Costanza R, Arge R, Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and nature[J]. *Nature*, 1997, 387:353-260.
- [38] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. *自然资源学报*, 2003, 18(2):189-196.
- [39] 师庆三, 王智, 吴友均, 等. 新疆生态系统服务价值测算与 NPP 的相关性分析[J]. *干旱区地理*, 2010, 33(3):427-433.
- [40] 乔旭宁, 杨永菊, 杨德刚. 渭干河流域生态系统服务的支付意愿及影响因素分析[J]. *中国生态农业学报*, 2012, 20(9):1254-1261.
- [41] Shi X L, Wang W. Modification of Costanza's model of valuing ecosystem services and its application in China[J]. *Ecological Economy*, 2009, 5:341-348.
- [42] 魏雯. 基于生态服务价值的农牧交错区土地利用变化对环境影响的评价:以内蒙古太仆寺旗为例[J]. *草地学报*, 2014, 22(2):249-254.
- [43] 新疆维吾尔自治区统计局. 新疆统计年[M]. 北京:中国统计出版社, 2011.
- [44] 孙法臣. 新疆生产建设兵团统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社, 2011.
- [45] 杜金龙. 土地利用变化及其对生态系统服务价值影响研究[D]. 武汉:华中农业大学, 2010.
- [46] 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):17-22.
- [47] 郑浩. 新疆和田地区于田县湿地保护建设浅析[J]. *资源节约与环保*, 2015, 35(10):176-176.
- [48] 李艳超, 朱胜标, 曹秋平, 等. 基于生态系统服务功能价值理论的土地利用总体规划环境影响评价探讨:以湘乡市为例[J]. *国土资源情报*, 2011(12):56-61.
- [49] 陈美球, 赵宝苹, 罗志军, 等. 基于 RS 与 GIS 的赣江上游流域生态系统服务价值变化[J]. *生态学报*, 2013, 33(9):2761-2767.