

滨海生态脆弱区土地生态系统服务价值动态变化分析

——以黄骅市为例

毛晓曦, 郭云继, 崔江慧, 王树涛

(河北农业大学 国土资源学院, 河北 保定 071000)

摘要:以黄骅市为研究区,运用 ENVI 遥感技术解译出黄骅市 1990 年、2000 年、2014 年三期影像,分析研究区各生态类型的变化特征,采用生态系统服务价值评估方法对该地区生态系统服务价值进行测算并分析其变化情况。结果表明:(1)1990—2014 年,黄骅市园地和建设用地面积增加,耕地、草地、水域、盐碱地和未利用地面积减少;(2)黄骅市 1990 年、2000 年、2014 年土地生态服务价值分别为 418 629.47 万元、415 055.68 万元和 411 372.07 万元,土地生态系统总服务价值共减少 7 257.40 万元。其中,园地和建设用地的生态服务价值增加;耕地、草地、水域、盐碱地和未利用地的生态服务价值减少;(3)1990—2014 年,水源涵养和废物处理服务功能价值在研究区土地生态系统服务价值构成中贡献度最大,原材料最小。此外,研究区只有原材料供给增加,其他均在减少,减少最多的是废物处理。

关键词:土地生态系统服务价值;动态变化;黄骅市

中图分类号:F301.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)02-0249-06

Dynamic Change of Land Ecosystem Service Value Around Coastal Ecological Fragile Area —A Case Study of Huanghua City

MAO Xiaoxi, GUO Yunji, CUI Jianghui, WANG Shutao

(College of Land and Resources, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000, China)

Abstract: We took Huanghua city as the study area, used the ENVI remote sensing to interpret out 1990, 2000, 2014 three period images of Huanghua City, analyzed variation characteristics of various ecological types, used the ecosystem service value evaluation method to calculate the ecosystem service value of the region and analyze its changes. The results showed that: (1) from 1990 to 2014, garden and construction land areas increased, cultivated land, grassland, water, saline alkali land and unused land areas decreased in Huanghua City; (2) the land ecosystem service values in 1990, 2000 and 2014 of Huanghua City respective were 4 186.294 7 million Yuan, 4 150.556 8 million Yuan and 4 113.720 7 million Yuan, respectively, the land ecosystem service value totally reduced 72.574 0 million Yuan, Among them, the ecosystem service values of garden and construction land increased, the ecosystem service values of cultivated land, grassland, water, saline alkali land and unused land decreased; (3) from 1990 to 2014, contribution of water conservation and waste disposal service function value to land ecosystem service value structure was the largest, the raw material was the least. In addition, only raw material supply increased, the others decreased, and waste disposal reduced the most in the study area.

Keywords: land ecosystem services value; dynamic change; Huanghua City

生态系统服务是由自然资本的能流、物流、信息流构成,通过其功能直接或者间接得到的产品和服务,与非自然资本的结合产生人类福利^[1-2],对于人类生存和生活质量有着巨大的贡献。科学评估生态系

统的服务价值,并对其时空演化特征进行量化描述,可为制定合理的生态保护政策提供重要参考。我国最早对生态系统服务价值进行评估是在 20 世纪 80 年代初。研究初期,主要是模仿与介绍国外生态

系统服务功能概念、内涵、评估方法等研究方式与成果。然后转变为逐渐的尝试对生态系统服务进行研究,并取得了诸多成果^[3]。随着科学技术的快速发展,我国在对生态系统价值的评估过程当中引入遥感技术。遥感技术作为先进的对地观测技术,在地物信息提取方面得到广泛的应用,可以实时的、动态的监测生态系统服务的历史及现实变化情况,为生态系统服务价值评估提供由点到面的技术支持^[4]。

本文借助遥感技术,对黄骅市土地生态系统服务价值进行测算研究,分析其变化特征及规律,评估黄骅市生态服务价值状况,为研究区未来的区域发展规划、土地开发利用以及区域的可持续发展提供依据。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区概况

黄骅市位于河北省东南部,是河北省沧州市管辖的县级市,东临渤海、西依沧州、南靠山东、北倚京津。位于 117.08°—117.82°E 和 38.15°—38.65°N,总面积 1 717.50 km²,处在华北冲积平原黑龙港流域的最东端,地势低洼平坦,海拔高程一般为 3~5 m^[5]。地处暖温带半湿润季风气候区,因为靠近渤海而略具有海洋气候特征,季风显著,四季分明。历年平均日照时数为 2 755 h,平均无霜期 194 d,年平均蒸发量 1 908.7 mm,年平均降水量 627 mm,降水年际变化大,时空分布不均。淡水资源严重缺乏,矿化度高,分布不均,含氟量高。处于“环渤海”及“环京津”的枢纽地带,不仅是沧州渤海新区的重要组成部分,也是“现代化沿海经济隆起带”的重要窗口。

1.2 数据来源与处理

(1) 本文所选取的数据包括遥感影像数据:1990

年 4 月 5 日的 TM 影像从美国地质调查局获取,2000 年 4 月 23 日的 ETM+ 和 2014 年 4 月 3 日的 ETM+ 影像从地理空间数据云获取。三期影像信息见表 1。

表 1 遥感影像数据来源

年份	影像传感器	成像时间	轨道号	成像质量
1990	TM	1990 年 4 月 5 日	122/33	平均云量 0%,质量好
2000	ETM+	2000 年 4 月 23 日	122/33	平均云量 0%,质量好
2014	ETM+	2014 年 4 月 3 日	122/33	平均云量 0%,质量好

矢量数据:黄骅市行政边界矢量图、黄骅市 2014 年土地利用现状图、黄骅市国民经济和社会发展统计年鉴等。

(2) 本文使用 ENVI 4.7 软件进行遥感影像的预处理,预处理包括几何校正和影像裁剪。几何校正的目的是纠正系统及非系统性因素对遥感影像造成的影响,达到与标准图像或地图相吻合的目的^[6-8]。影像裁剪的目的是将研究之外的区域去除。

1.3 生态系统服务价值测算方法

Costanza 等^[9]于 1997 年《全球生态系统服务价值和自然资本》一文,提出了生态系统服务价值估算的方法,标志着全球生态系统服务价值评估研究便进入了一个繁荣期。但研究发现,Constanza 生态服务价值评估模式在我国的直接应用存在缺陷,即该生态服务价值体系主要适用于欧美发达国家,在我国应用时生态系统服务价值将被高估^[10]。

因此本文采用谢高地等在参考 Constanza 研究成果的基础上结合中国的实际情况,研究出符合我国实际情况的生态系统服务类型的划分、我国陆地生态系统单位面积生态系统服务价值以及新的生态系统服务评估单价体系^[11]见表 2—4。

表 2 生态系统服务类型划分

项目	谢高地分类	Constanza 分类
供给服务	食物生产	食物生产
	原材料生产	原材料生产
	气体调节	气体调节
调节服务	气候调节	气候调节、干扰调节
	水文调节	水调节、供水
	废物处理	废物处理
支持服务	保持土壤	营养循环、侵蚀控制和保持沉积物、土壤形成
	维持生物多样性	基因资源、授粉、栖息地、生物控制
文化服务	提供美学景观及文化娱乐	休闲娱乐、文化

根据谢高地等的研究成果及河北省的区域修正系数 1.02^[11],得到黄骅市单位面积生态服务价值表(表 5)。其中,耕地与农田对应,园地生态系统的单位面积生态服务价值则取草地与园地的单位面积生

态服务价值的平均值^[12-14],水域与水体相对应,建设用地按荒漠生态系统类型的生态服务价值来估算^[15],盐碱地通过王海星等学者的研究计算得到^[16],未利用地与荒漠对应。在此基础上利用 Costanza 公

式计算黄骅市土地生态系统服务价值,公式如下:

$$ESV = \sum_{i=1}^7 (A_i \times VC_i) \quad (1)$$

式中:ESV——年生态系统服务总价值; A_i ——研究区第 i 种生态类型的分布面积($i=1,2,\dots,7$,为生态类型); VC_i ——第 i 种生态系统类型的生态系统服务价值当量。

各生态类型的贡献率为:

$$ESVC_i = ESV_i / ESV \quad (2)$$

式中:ESVC_{*i*}——第 i 种类型在生态系统服务价值中的贡献率;ESV_{*i*}——第 i 个土地生态类型的年生态服务价值。

表 3 中国生态系统单位面积生态服务价值当量

功能		森林	草地	农田	湿地	河流湖泊	荒漠
一级类	二级类						
供给服务	食物生产	0.33	0.43	1.00	0.36	0.53	0.02
	原材料生产	2.98	0.36	0.39	0.24	0.35	0.04
调节服务	气体调节	4.32	1.50	0.72	2.41	0.51	0.06
	气候调节	4.07	1.56	0.97	13.55	2.06	0.13
	水文调节	4.09	1.52	0.77	13.44	18.77	0.07
支持服务	废物处理	1.72	1.32	1.39	14.40	14.85	0.26
	保持土壤	4.02	2.24	1.47	1.99	0.41	0.17
文化服务	维持生物多样性	4.51	1.87	1.02	3.69	3.43	0.40
	提供美学景观	2.08	0.87	0.17	4.69	4.44	0.24
合计		28.12	11.67	7.90	54.77	45.35	1.39

表 4 中国不同陆地生态系统单位面积生态服务价值

元/(hm²·a)

功能		农田	森林	草地	湿地	水体	荒漠
一级类	二级类						
供给服务	食物生产	884.90	88.50	265.50	265.50	88.50	8.80
	原材料	88.50	2300.60	44.20	61.90	8.80	0.00
调节服务	气体调节	442.40	3097.00	707.90	1592.70	0.00	0.00
	气候调节	787.50	2389.10	796.40	15130.90	407.00	0.00
	水源涵养	530.90	2831.50	707.90	13715.20	18033.20	26.50
支持服务	废物处理	1451.20	1159.20	1159.20	16086.60	16086.60	8.80
	保持土壤	1291.90	3450.90	1725.50	1513.10	8.80	17.70
文化服务	维持生物多样性	628.20	2884.60	964.50	2212.20	2203.30	300.80
	提供美学景观及文化娱乐	8.80	1132.60	35.40	4910.90	3840.20	8.80
合计		6114.30	19334.00	6406.50	55489.00	40676.40	371.40

表 5 黄骅市生态系统单位面积生态系统服务价值

元/(hm²·a)

功能		耕地	园地	草地	水域	建设用地	盐碱地	未利用地
一级类	二级类							
供给服务	食物生产	902.60	180.54	270.81	180.54	8.98	164.92	8.98
	原材料	90.27	1195.85	45.08	36.06	0.00	109.93	0.00
调节服务	气体调节	451.25	1940.5	722.06	812.28	0.00	1103.98	0.00
	气候调节	803.25	1624.61	812.33	7924.33	0.00	6207.01	0.00
	水源涵养	541.52	1805.09	722.06	16191.68	27.03	6156.61	27.03
支持服务	废物处理	1480.22	1182.38	1182.38	16408.33	8.97	6596.39	8.98
	保持土壤	1317.74	2639.96	1760.01	776.17	18.05	911.59	18.05
文化服务	维持生物多样性	640.76	1963.04	983.79	2251.91	306.82	1690.33	306.82
	提供美学景观及文化娱乐	8.98	595.68	36.11	4463.06	8.97	2148.40	8.98
合计		6236.59	13127.66	6534.63	98088.71	378.82	25089.14	378.83

2 结果与分析

2.1 土地利用变化分析

黄骅市土地利用类型多样,结构也较复杂,20 多年来随着外界条件的影响发生了很大变化。本文通过对 1990 年、2000 年和 2014 年黄骅市遥感影像的解译,并利用 GIS 的空间分析功能,得到了这三个时

期的土地利用现状结果,见表 6。

根据表 6 的统计结果,研究区土地利用类型均主要以耕地、建设用地、水域为主,其中未利用地主要是荒地。研究期间地类呈现“二增五减”的变化规律。“二增”是指城乡用地、园地增加,“五减”是指耕地、草地、水域、盐碱地和未利用地减少。

建设用地和园地面积增长。建设用地面积是整

个研究期间面积增加最快的地类,由 1990 年的 47 283.83 hm²,增至 2000 年的 49 927.42 hm²,2014 年达到 52 157.37 hm²,主要原因是随着城市化建设速度的加快和工业的快速发展,交通、居住用地的逐渐增加。园地面积 20 a 来共增长 1 268.95 hm²,这与近些年来,黄骅市大力发展枣树种植有很大关系。耕地面积大幅度持续减少。耕地面积由 1990 年的 78 806.08 hm²,减少至 2000 年的 35 300.72 hm²,最后减少至 2014 年的 76 875.71 hm²,其持续减少的主要原因是农

业结构的调整和建设用地的扩张。此外,草地、水域、盐碱地和未利用地面积均有不同程度的减少。

2.2 土地生态系统服务价值总量变化分析

依据黄骅市单位面积生态系统服务价值和黄骅市生态类型面积,运用生态系统服务价值的估测方法计算得到黄骅市 1990—2014 年土地生态系统服务价值变化(表 7)。结合研究期间黄骅市的经济和人口数据,得到黄骅市 1990—2014 年万元 GDP 和人均生态服务价值(表 8)。

表 6 不同年份黄骅市土地利用类型面积及比例

土地类型	1990 年		2000 年		2014 年	
	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%
耕地	78806.08	32.95	77893.51	32.57	76875.71	32.15
园地	4127.88	1.73	4465.14	1.87	5396.83	2.26
草地	3085.23	1.29	2872.7	1.20	2691.38	1.13
水域	65211.37	27.27	64897.55	27.14	64564.62	27.00
建设用地	47283.83	19.77	49927.42	20.88	52157.37	21.81
盐碱地	35675.28	14.92	34846.39	14.57	33715.33	14.10
未利用地	4946.51	2.07	4233.46	1.77	3734.93	1.56
合计	239136.18	100.00	239136.18	100.00	239136.18	100.00

表 7 1990—2014 年黄骅市生态系统服务经济价值总量

项目	耕地	园地	草地	水域	建设用地	盐碱地	未利用地	合计
1990 年/万元	49148.12	5418.94	2016.08	270561.52	1791.21	89506.21	187.39	418629.47
比重/%	11.74	1.29	0.48	64.63	0.43	21.38	0.04	100.00
2000 年/万元	48578.99	5861.68	1877.20	269259.48	1891.35	87426.60	160.38	415055.68
比重/%	11.70	1.41	0.45	64.87	0.46	21.06	0.04	100.00
2014 年/万元	47944.23	7084.77	1758.72	267878.16	1975.83	84588.87	141.49	411372.07
比重/%	11.65	1.72	0.43	65.12	0.48	20.56	0.03	100.00
1990—2000 年/万元	-569.13	442.74	-138.88	-1302.04	100.15	-2079.61	-27.01	-3573.79
年均变化量/万元	-56.91	44.27	-13.89	-130.20	10.01	-207.96	-2.70	-357.38
年均变化率/%	-0.12	0.82	-0.69	-0.05	0.56	-0.23	-1.44	-0.09
2000—2014 年/万元	-634.76	1223.09	-118.49	-1381.32	84.47	-2837.73	-18.89	-3683.62
年均变化量/万元	-63.48	122.31	-11.85	-138.13	8.44	-283.77	-1.89	-368.36
年均变化率/%	-0.13	2.09	-0.63	-0.05	0.45	-0.32	-1.18	-0.09
1990—2014 年/万元	-1203.89	1665.83	-257.37	-2683.36	184.62	-4917.34	-45.90	-7257.4
年均变化量/万元	-120.39	166.58	-25.74	-268.34	18.46	-491.73	-4.59	-725.74
年均变化率/%	-0.24	3.27	-1.28	-0.10	1.03	-0.55	-2.45	-0.17

表 8 黄骅市 1990—2014 年万元 GDP 和人均生态服务价值

年份	生态服务价值	人口	GDP	人均生态价值	万元生态价值
1990	418629.47	36.1	68	11596.38	6156.32
2000	415055.68	48.31	49.83	8591.51	8329.43
2014	411372.07	45.4	160.22	9061.06	2567.55

由表 7 可以看出:

(1) 土地生态系统服务价值构成中,耕地、水域和盐碱地 3 种土地生态类型的比重是较大的。

(2) 1990—2000 年,生态服务价值减少 3 573.79 万元,平均每年减少 357.38 万元,平均每 1 hm² 土地生态服务价值年净减少量是 14.94 元。园地增加 442.74 万元,建设用地增加 100.15 万元,耕地、草

地、水域、盐碱地和未利用地均减少,分别减少了 569.13 万元、138.88 万元、1 302.04 万元、2 079.61 万元和 27.01 万元。

2000—2014 年生态服务价值减少 3 683.62 万元,平均每年减少 368.36 万元,平均每 1 hm² 土地生态服务价值年净减少量是 15.40 元。园地增加最多,为 1 223.09 万元。盐碱地减少最多,为 2 837.73 万元。

1990—2014 年,黄骅市土地生态系统服务总价值(总 ESV)不断减少,总体上 20 a 间共减少 7 257.40 万元,平均每年减少量为 362.87 万元,平均每 1 hm² 土地生态服务价值年净减少量为 15.18 元。1990—2014 年,园地和建设用地的生态服务价值是增加的,其中园地的生态服务价值增加最多,从 1990 年的

5 418.94 万元增加到 2014 年的 7 084.77 万元,共增加了 1 665.83 万元;耕地、草地、盐碱地、水域和未利用地的生态服务价值都是减少的,耕地的生态服务价值减少 1 203.89 万元、草地减少了 257.37 万元、水域共减少了 2 683.36 万元、盐碱地减少最多,为 4 917.34 万元、未利用地减少最少,为 45.90 万元。

(3) 表 8 表明:研究区的人口经历了先增加又减少的过程,而 GDP 的变化则是先减少再增加,但 1990—2014 年总体上人口和 GDP 均增加,分别增加了 9.30 万人和 92.22 万元,因此人均生态价值和万元生态服务价值量分别呈现先增加后减少和先减少后增加的现象,1990—2000 年人均生态价值减少了 3 000.88 元,2000—2014 年增加了 468.55 元,总体来说,人均生态价值减少了 2 535.33 元;1990—2000 年

万元生态服务价值增加了 2 173.12 元,2000—2014 年减少了 5 761.89 元,总体上万元生态服务价值减少了 3 588.77 元。从生态系统服务价值与经济发展的关系上看,这一阶段区域经济的发展,是以牺牲生态环境为代价的,社会经济的快速发展破坏了生态环境。

2.3 土地生态系统服务价值结构变化分析

生态系统各单项服务功能价值占总价值的百分比即为生态系统服务总价值结构。生态系统功能组成及其多样性对生态系统过程的影响比物种的多样性更为显著^[17]。因此不能仅通过生态系统服务总价值的增减,来衡量生态系统各单项服务功能价值的增减,研究生态系统服务总价值结构的变化情况,对衡量区域生态价值具有重要意义^[18]。结合各类用地数据并结合表 9 得到研究区不同价值的变化情况。

表 9 1990—2014 年黄骅市生态服务价值总构成及比例

项目	1990 年		2000 年		2014 年	
	服务价值/万元	比例/%	服务价值/万元	比例/%	服务价值/万元	比例/%
食物生产	9083.70	1.94	8984.05	1.94	8880.98	1.93
原材料	1846.25	0.39	1867.14	0.40	1954.92	0.42
气体调节	13815.38	2.95	13707.30	2.95	13677.17	2.97
气候调节	81070.66	17.33	80271.71	17.30	79360.72	17.25
水源涵养	132928.62	28.41	131911.52	28.42	130780.75	28.42
废物处理	143098.53	30.58	141918.22	30.58	140565.46	30.55
保持土壤	20425.25	4.37	20260.18	4.37	20214.29	4.39
维持生物多样性	28481.26	6.09	28316.53	6.10	28203.33	6.13
提供美学景观及文化娱乐	37143.36	7.94	36845.45	7.94	36509.34	7.93
服务总价值	467893.01	100.00	464082.08	100.00	460146.95	100.00

表 10 黄骅市生态服务价值结构变化 万元

项目	1990—2000 年	2000—2014 年	1990—2014 年
食物生产	-99.65	-103.07	-202.72
原材料	20.89	87.78	108.67
气体调节	-108.08	-30.13	-138.21
气候调节	-798.95	-910.99	-1709.94
水源涵养	-1017.10	-1130.77	-2147.87
废物处理	-1180.31	-1352.76	-2533.07
保持土壤	-165.07	-45.89	-210.96
维持生物多样性	-164.73	-113.20	-277.93
提供美学景观及文化娱乐	-297.91	-336.11	-634.02
服务总价值	-3810.93	-3935.13	-7746.06

(1) 根据表 9—10 可以看出:在研究区土地生态系统生态服务价值构成中,水源涵养和废物处理服务价值功能贡献度较大,两者占总生态服务价值的 50% 以上,原材料服务功能最小,占总生态服务价值的百分比不到 1%。

(2) 表 10 表明,1990—2000 年期间,原材料生产的生态服务价值增加 20.89 万元,废物处理减少了 1 180.31 万元,减少最多;水源涵养次之,减少了 1 017.10 万元;减少最少的是食物生产,为 99.65 万元;气体调节、气候调节、保持土壤、维持生物多样性和提供美学景观及文化娱乐分别减少了 108.08 万元、798.95 万元、165.07 万元、164.73 万元和 297.91 万元。

2000—2014 年期间原材料生产的生态服务价值增加 87.78 万元,相比较于 1990—2000 年,气体调节、保持土壤、维持生物多样性方面生态服务价值减少的较少,食物生产、气候调节、水源涵养、废物处理和提供美学景观及文化娱乐方面减少的更多。

1990—2014 年黄骅市只有原材料供给增加,从 1990 年的 1 846.25 万元增加到 2014 年的 1 954.92 万元,增加了 108.67 万元。其他均在减少,废物处理减少最多,为 1 180.31 万元,食物生产减少最少,为 99.65 万元。这 20 a 期间生态服务价值共减少 7 746.06 万元。其中水源涵养、食物生产、提供美学景观及文化娱乐减少,因为水域和耕地是这几项功能

的主要影响因素,在研究期间,耕地、水域面积不断减少导致这些功能也在降低,虽然园地面积增加,也抵消了部分损失,但是总的趋势是在减少。在土地开发利用中,研究区要增加水域、耕地等的面积,充分发挥其对区域的大气候和局部小气候的调节作用,在发展的同时注重生态环境的保护。

3 结论与讨论

本文在利用遥感获取 1990 年、2000 年、2014 年三年土地利用信息的基础上,分析了黄骅市生态系统类型的变化特征,测算了土地生态系统的供给服务、调节服务、支持服务和文化服务的价值,从总量和结构两方面对 20 a 土地生态系统服务价值动态变化进行分析。通过以上研究表明:

(1) 1990—2014 年黄骅市土地生态系统类型变化明显。园地和建设用地面积增加,耕地、草地、水域、盐碱地和未利用地面积均减少,土地利用处于发展阶段,生态系统变化受人类活动影响较大,导致自然性减弱。

(2) 1990 年、2000 年和 2014 年黄骅市土地生态服务价值为 418 629.47 万元、415 055.68 万元和 411 372.07 万元。1990—2014 年,园地和建设用地的生态服务价值增加;耕地、草地、水域、盐碱地和未利用地的生态服务价值均减少。土地生态系统总服务价值共减少了 7 257.40 万元。黄骅市土地生态类型变化对生态系统产生负面影响,生态环境质量降低。

(3) 1990—2014 年,在研究区土地生态系统服务价值构成中贡献度较大的是水源涵养和废物处理服务功能,共占总生态服务价值的百分比在 50% 以上,原材料服务功能最小,不到 1%。黄骅市只有原材料供给增加,增加了 108.67 万元。其他均在减少,其中减少最多的是废物处理,减少了 1 180.31 万元。

黄骅市人地关系和环境问题在县域社会经济的快速发展下越来越突出。建设用地的增长,会伴随着大量耕地、园地等的损失,这些无疑将对黄骅市生态环境带来巨大的负面效应。近些年黄骅市水库、河流等水域面积都在不同程度地减少着,黄骅市生态系统服务总价值减少的重要影响因素之一就是水域生态系统服务价值的减少。要采取合理措施严格保护河流、水库等,在确保自然环境不被破坏的前提下,进行科学合理开发利用,并积极开发利用未利用地,土地资源的使用潜力得到充分挖掘,这对提高生态服务价值也具有很大意义。同时,严格对土地进行管理,确保在法律规定范围内和科学的政策指导下进行土地

开发利用,防止盲目地进行土地开发利用。

参考文献:

- [1] Daily G C. Natures Service; Societal Dependence on Natural Ecosystems[M]. Wshington D C: Island Press, 1997.
- [2] 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[J]. 资源科学, 2001, 23(6): 5-9.
- [3] 陈阳, 张建军, 杜国明, 等. 三江平原北部生态系统服务价值的时空演变研究[J]. 生态学报, 2015, 35(18): 1-11.
- [4] 杨红卫, 童小华. 中高分辨率遥感影像在农业中的应用现状[J]. 农业工程学报, 2012, 24(28): 138-149.
- [5] 李楠. 黄骅市水土资源空间优化耦合研究[D]. 石家庄: 河北师范大学, 2012.
- [6] 董翠芳, 梁国付, 丁圣彦, 等. 不同干扰背景下景观指数与物种多样性的多尺度效应: 以巩义市为例. 生态学报, 2014, 34(12): 3444-3451.
- [7] 曹雪, 罗平, 李满春, 等. 基于扩展 CA 模型的土地利用变化时空模拟研究: 以深圳市为例[J]. 资源科学, 2011, 33(1): 127-133.
- [8] 龙腾飞, 焦伟利, 王威. 基于面特征的遥感图像几何校正模型[J]. 测绘学报, 2013, 42(4): 540-545.
- [9] Costanza R, d'Arge R, De Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Ecological Economics, 1998, 25(1): 3-15.
- [10] 张璐璐. 基于 RS 和 GIS 的土地利用变化及生态效应研究: 以怀来县为例[D]. 河北保定: 河北农业大学, 2011.
- [11] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J]. 自然资源学报, 2008, 23(5): 912-919.
- [12] 申建秀, 王秀红, 刘羽, 等. 退耕还林前后甘肃正宁县生态系统服务价值的时空变化特征[J]. 水土保持研究, 2012, 19(4): 59-64.
- [13] 姚成胜, 朱鹤健, 吕晞, 等. 土地利用变化的社会经济驱动因子对福建生态系统服务价值的影响[J]. 自然资源学报, 2009, 24(2): 225-233.
- [14] 罗光杰, 王世杰, 李阳兵, 等. 岩溶地区坡耕地时空动态变化及其生态服务功能评估[J]. 农业工程学报, 2014, 30(11): 233-243.
- [15] 冯应斌, 何春燕, 杨庆媛, 等. 利用生态系统服务价值评估土地利用规划生态效应[J]. 农业工程学报, 2014, 30(9): 201-211.
- [16] 王海星, 张克斌, 王黎黎, 等. 宁夏盐池县不同土地利用类型的生态服务价值预测[J]. 水土保持通报, 2013, 33(3): 246-251.
- [17] 刘兴元, 牟月亭. 草地生态系统服务功能及其价值评估研究进展[J]. 草业学报, 2012, 21(6): 286-295.
- [18] 刘桂林, 张落成, 张倩. 长三角地区土地利用时空变化对生态系统服务价值的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(12): 3311-3319.