

基于 GIS 技术的区域生态系统服务价值 动态评估方法研究

刘旭¹ 赵桂慎² 邓永智¹ 高鹏杰⁴ 陈妍² 刘俊国³ 张振明³ 刘培斌⁴ 赵月芬⁴ 杨毅⁴

- (1. 厦门大学 海洋与地球学院, 福建 厦门 361005;
2. 中国农业大学 资源与环境学院, 北京 100193;
3. 北京林业大学 自然保护区学院, 北京 100083;
4. 北京市水利规划设计研究院, 北京 100048)

摘要: 针对传统评估区域生态系统服务价值空间异质性的问题, 本研究将 TM 遥感影像与价值评估法相结合, 测算出针对研究区域的当量因子表, 并建立了只需遥感影像数据即可快速并较为精准地动态计算区域生态系统服务价值的多元回归模型。文章以北京市永定河、厦门市和青海省不同尺度为例, 对该方法评估区域生态系统服务价值的可行性和准确性进行了讨论, 以期能为生态综合管理提供定量化参考依据。

关键词: 生态系统服务价值; GIS; 永定河; 厦门市; 青海省
中图分类号: X826 **文献标识码:** A

Dynamic Evolution of Regional Ecological Services Based on TM Remote Sensing

LIU Xu¹, ZHAO Guishen², DENG Yongzhi¹, GAO Pengjie⁴, CHEN Yan², LIU Junguo³,
ZHANG Zhenming³, LIU Peibin⁴, ZHAO Yuefen⁴, YANG Yi⁴

- (1. College of Oceano & Earth Sciences, Xiamen University, Xiamen Fujian 361005, China;
2. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China;
3. School of Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;
4. Beijing Institute of Water, Beijing 100048, China)

Abstract: This paper discussed the dynamic evaluating of regional ecological services with remote sensing technique, based on the comprehensive analysis the character of indexes method and currently equivalent method applying to regional ecological services. With the established method in the literature, it discussed the practical possibility for evaluation the temporal and special regional ecological services in Yongding River, Xiamen and Qinghai province. Compared with the traditional static indexes evaluation, our method discussed the possibility of dynamically evolutionary evaluation, in order to provide reference of ecosystem management.

Key words: ecosystem services; GIS; Yongding River; Xiamen; Qinghai

1 引言

针对不同研究尺度的自然资源和社会经济发展程度, 采用 GIS 技术可以在一定程度上解决生态服务功能的空间异质性问题^[1-2], 帮助决策者更好的在区域范围内进行土地利用规划和管理^[3]。GIS 较早应用于大尺度的景观生态评估^[4], 随着生态系统服务价值研究的不断深入, 逐渐将 GIS 技术与价值评价法联用, 主要用于分析生态系统服务价值的空间分布和转移, 动态分析土地利用变化对生态系统服务价值的影响^[5]。

我国学者将 GIS 技术与价值评价法联用, 对区域生态系统服务价值也进行了初步的探索。谢高地等在科斯坦萨 (Costanza) 等人研究的基础上, 通过对全国两百位生态学家进行调查问卷统计, 制定了中国陆地生态系统单位面积生态服务价值当量表^[6], 为我国 GIS 应用于生态系统服务价值评估奠定了基础。此后, 直接应用该当量表对流域尺度^[7]、县市尺度^[8-11]和省级尺度^[12-13]等进行了计算。但是, 直接采用中国陆地生态服务当量表进行评估, 可能由于空间异质性的问题而使核算结果与当地的实际情况偏差较大。

基金项目: 北京市科学技术委员会“永定河生态修复目标体系研究”(D090409004009003); 北京市生态学重点学科项目

致谢: 感谢北京林业大学为本研究提供遥感影像解译数据和永定河生态系统服务价值实地评估数据。

作者简介: 刘旭(1986~), 女, 北京人, 硕士生, 主要研究方向为环境管理与生态系统评价; 赵桂慎(1971~), 男, 山东栖霞人, 博士, 副教授, 主要从事生态经济与区域可持续发展研究。

通讯作者: 赵桂慎

本研究将遥感技术与价值评估法结合，测算出针对研究区域的生态系统单位面积服务价值表，通过建立只需遥感影像数据的区域生态系统服务价值多元回归模型，探讨了建立

快速评估区域生态系统服务价值的动态估算方法。结合已有的研究成果，将该方法在河流尺度、县市尺度和省级尺度上进行了实证分析，对方法的可行性和准确性进行了探讨。

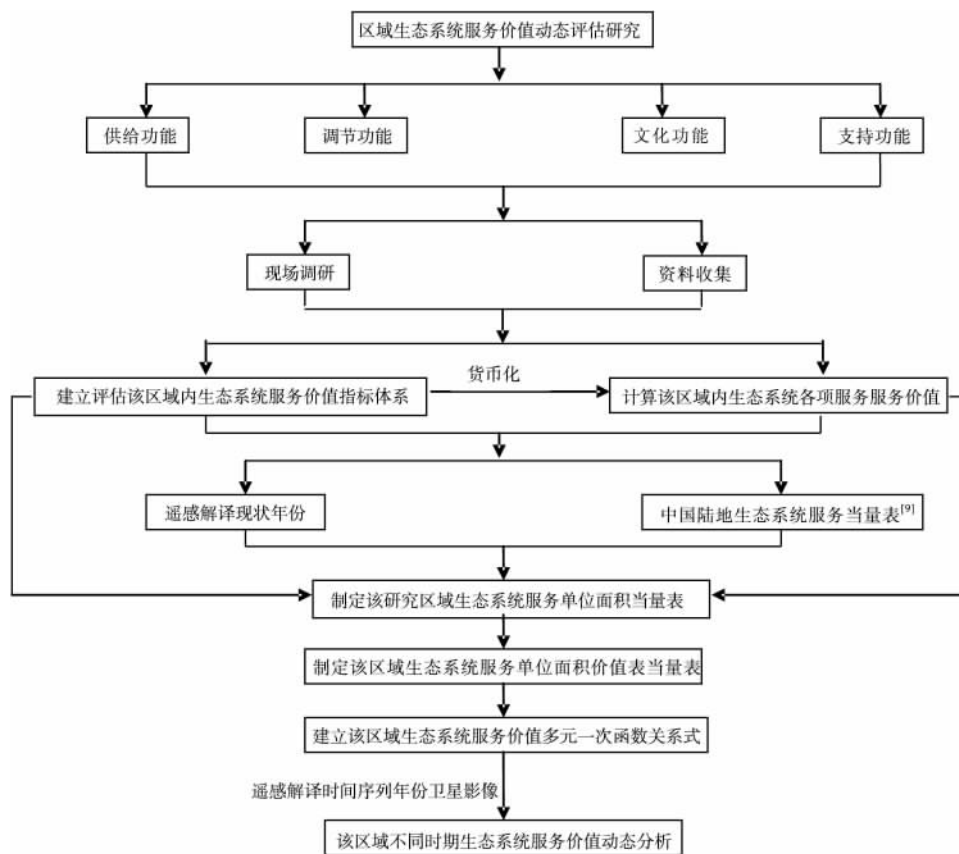


图1 区域生态系统服务价值动态评估研究技术路线

2 技术路线

本研究是在谢高地等人^[6]因子当量表方法的基础上，根据实地调查研究区域生态系统服务功能和价值建立相应的区域因子当量表，具体步骤参见图1。校正中国陆地生态系统服务当量表时，本研究设定了两个假设条件。假设条件一为某一时期内生态系统生态服务总当量保持恒定。假设条件二为某时期内各类生态系统样元的某一项生态系统服务价值间的比例保持恒定。建立区域生态单位面积服务价值当量表的具体步骤如下：首先将区域生态系统服务价值指标体系根据内涵转换为符合中国陆地生态系统服务当量表的分类标准。然后，根据假设条件一按照转换后的各项服务价值占总服务价值的比重将总当量 E 在各项生态系统服务功能间进行重新分配，即进行区域生态服务当量结构的重新分配，计算出各项相关服务功能的当量 E_i 。根据假设条件二，将以上计算结果按照原有的当量比例关系在不同土地利用类型上进行再分配，计算 j 类土地利用类型的 i

类生态服务功能当量 E_{ij} ，即将 E_i 在不同土地利用类型间进行再分配。根据价值评估结果 V 和校正后的该区域生态系统单位面积生态服务价值当量表，将现状调查年份的遥感解译结果 S_j 带入公式 (1)，计算出该区域生态系统服务价值基准 V_0 。

$$V_0 = \frac{V - V_1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m S_j * E_{ij}} \quad (1)$$

公式 (1) 中 V_0 为研究区域生态系统单位面积生态服务价值基准 (元/km²)； V 为研究区域生态系统服务总价值 (元/km²)； V_1 为在指标体系法计算过程中生态服务价值不随时间变化的恒定量； S_j 为 j 类生态系统服务当量； i 为生态系统服务功能类型； j 为生态系统类型； n 为生态系统服务功能类型总数； m 为生态系统类型总数。

将公式 (1) 计算结果带入公式 (2)，计算 j 类生态系统 i 类生态服务功能的单位面积价值 V_{ij} ：

$$V_{ij} = V_0 * E_{ij} \quad (2)$$

公式 (2) 中 V_{ij} 为 j 类生态系统 i 类生态服务功能的单价 (元/ km^2)。

根据公式 (2) 计算结果, 计算永定河 j 类生态系统单位面积总价值, 参见公式 (3)。

$$V_j = \sum_{i=1}^n V_{ij} \quad (3)$$

公式 (3) 中 V_j 为永定河 j 类生态系统单位面积总价值 (元/ km^2)。

$$V = \sum_{j=1}^m V_j * S_j + V_1 \quad (4)$$

设 V_j 作为参数, 遥感解译获得的 j 类生态系统面积 S_j 作为自变量, 即不同类型土地利用面积作为自变量, 研究区域生态系统服务总价值 V 作为因变量, V_1 作为恒定量, 建立多元一次线性回归方程, 参见公式 (4)。将不同时期的卫星影像解译结果 S_j 带入公式 (4) 进行时间序列的生态服务价值回顾性动态评估。

3 结果

3.1 永定河生态系统服务价值动态分析

3.1.1 价值评估法计算永定河生态系统服务价值

张振明等^[14]以河道两侧 500 米为研究对象, 通过对永定河进行现状调查、资料收集、问卷调查、专家会议研讨等多种方式, 识别永定河主要的生态系统服务功能, 建立符合永定河区域特征的生态系统服务价值指标体系, 参见表 1。采用市场评估法、替代市场法和模拟市场法等多种货币化手段, 计算出 2009 年永定河生态系统各项服务价值。

表 1 永定河生态系统服务价值指标体系^[15]

功能	评价指标	评价功能量	计算方法	计算结果 ($\times 10^8$ 元)
供给	供水	工业供水量	市场价值法	2.62
	水产品	渔业生产	市场价值法	0.01
	水力发电	水电站发电量	市场价值法	0.04
调节	水资源存贮	水资源量	替代工程法	41.11
	水质净化	COD	替代工程法	0.69
	调蓄洪水	调蓄总量	替代工程法	206.12
	固碳释氧	初级生产力干重	造林成本法	2.39
工业制氧法			0.86	
文化	游憩	旅游娱乐	直接市场法	0.41
		休闲	旅行费用法	7.09
	水文化遗产	水文化价值	支付意愿法	156.98
支持	生物多样性	一级保护物种	支付意愿法	10
		二级保护物种		4.5

3.1.2 建立永定河区域生态系统服务价值当量表

根据中国陆地生态系统单位面积生态服务价值当量

表, 将永定河生态系统服务价值指标体系和土地利用类型进行再分类。按照生态系统服务功能的定义, 本研究将永定河生态系统服务价值指标体系归为 5 项指标: 气候调节、水源涵养、废物处理、娱乐文化和生物多样性。其中, 气候调节指吸收 CO_2 的能力; 水源涵养表示供水、水资源存贮、调蓄洪水、水力发电 4 项与水量相关的服务价值之和; 废物处理指水质净化的能力; 娱乐文化表示旅游娱乐、休闲功能和文化遗产 3 项服务功能之和; 生物多样性指珍稀濒危动物的价值。本研究将 TM 遥感影像土地利用类型分为 5 类: 林地、草地、耕地、水面和其他。需要指出的是, 由于永定河目前处于断流状态, 因此将水面和湿地归为一类进行人机互译。因此, 将原当量表中水面和湿地生态系统当量加和统一为本研究当量表中的水面生态系统。

将原当量表中气候调节、水源涵养、废物处理、娱乐文化和生物多样性的当量加和, 总当量 E 为 124.91。根据假设条件一将 E 在以上 5 项生态服务功能按照各自占总价的比重进行重新分配计算出 E_i 。根据假设条件二将 E_i 在 j 类生态系统样元上按照原有比例再分配计算出 E_{ij} 。需要指出的是, 永定河上游水库调蓄洪水服务功能采用水库库容量进行计算, 价值不随时间变化。因此校正当量表过程中, 将此部分价值扣除后计算, 并将调蓄洪水的服务价值作为常数项, 参见公式 (5)。将 2009 年永定河生态系统服务总价值 V 、2009 年各个生态系统面积 S_j 和表 1 中当量因子 E_{ij} 代入公式 (1), 确定永定河生态系统单位面积生态服务价值基准 V_0 为 $2\ 001.54 \times 10^4$ 元/ km^2 。根据公式 (2), 将 $2\ 001.54 \times 10^4$ 元/ km^2 与各个当量因子 E_{ij} 相乘, 制定永定河生态系统单位面积生态服务价值表, 参见表 2。

表 2 永定河生态系统单位面积生态服务价值表
(单位: $\times 10^4$ 元/ km^2)

	林地	草地	耕地	水面	其他
气候调节	304.5	101.5	100.4	1 980.6	0.0
水源涵养	4 144.8	1 036.2	777.2	46 474.0	36.5
废物处理	17.0	17.0	21.3	472.5	0.1
娱乐文化	20 932.4	654.1	163.5	161 735.1	166.1
生物多样性	3 426.0	1 145.5	746.1	5 244.1	363.1
总价值	28 824.7	2 954.4	1 808.5	215 906.3	565.8

3.1.3 建立永定河生态系统服务价值计算模型

将各类生态系统单位面积服务总价值 V_j 代入公式 (4), 得到永定河生态系统服务价值计算模型, 参见公式

(5), 其中 V 的单位为万元, S_j 的单位为 km^2 。

$$V = 28\,824.7S_1 + 2\,954.4S_2 + 1\,808.5S_3 + 215\,906.3S_4 + 565.8S_5 + 2\,061\,100 \quad (5)$$

其中, S_1 为林地面积, S_2 为草地面积, S_3 为耕地面积, S_4 为湿地和水面面积, S_5 为建筑面积。

3.2 厦门市生态系统服务价值动态分析

3.2.1 价值评估法计算厦门市生态系统服务价值

石龙宇等人以厦门市为研究对象, 采用物质量与价值量相结合的方法构建厦门市生态系统服务价值评估模型, 选取食物产品供给、非食物产品供给、气候调节、维护空气质量、涵养水源、控制侵蚀、净化水质、处理废弃物、消遣旅游、初级生产、营养物质循环和提供庇护所 12 项评价指标, 按照市场价值法、成本避免法、重置成本法和或然价值法等价值量评价方法, 估算厦门市 1987~2007 年生态系统服务价值^[16]。本研究按照谢高地等人的分类标准和内涵, 将净化水质、处理废弃物和营养物质循环合并为废物处理, 将光合作用和气候调节合并后共为 9 项生态系统服务功能, 参见表 3。

表 3 厦门市 1978~2007 年生态系统服务价值^[15] (单位: $\times 10^4$ 元)

	1987 年	1992 年	1997 年	2002 年	2007 年
食物生产	37 004	70 817	169 338	233 433	94 937
原材料	45 431	49 683	55 572	56 583	54 349
气体调节	51 566	44 223	46 374	51 366	50 948
气候调节	92 631	85 563	78 914	77 570	51 549
调节水分	42 250	37 056	37 525	39 298	35 992
调节侵蚀	27 503	25 952	22 342	19 817	9 592
废物处理	23 978	28 318	27 153	28 673	22 884
娱乐文化	25 606	28 041	31 544	42 509	67 864
提供庇护所	1 744	1 837	1 930	2 055	2 355

3.2.2 建立厦门市生态系统服务价值当量表

石龙宇等人^[15] 将厦门市土地利用情况分为农田、林地、湿地和城市生态系统。其中湿地包括淡水水域、近海水域和滩涂; 城市生态系统包括建设用地和裸地。本研究将原当量表中水面和湿地生态系统当量加和统一为本研究当量表中的湿地生态系统, 城市生态系统对应原当量表中的其他类。将原当量表中农田、林地、湿地、水域和其他当量汇总, 总当量 E 为 137.86。根据假设条件一, 以 2007 年为标准年份将 E 在表 3 中的 9 项生态服务功能按照各自

占总价的比重进行重新分配计算出 E_i 。根据假设条件二将 E_i 在 j 类生态系统样元上按照原有比例再分配计算出 E_{ij} 。将 2007 厦门市生态系统服务总价值 V 、2007 年各个生态系统面积 S_j 和当量因子 E_{ij} 代入公式 (1), 确定厦门市生态系统单位面积生态服务价值基准 V_0 为 6.23×10^4 元/ km^2 。根据公式 (2), 将 6.23×10^4 元/ km^2 与各个当量因子 E_{ij} 相乘, 测算出厦门市生态系统单位面积生态服务价值, 参见表 4。

表 4 厦门市生态系统单位面积生态服务价值表 (单位: $\times 10^4$ 元/ km^2)

	林地	农田	湿地	其他
食物生产	13.84	138.36	55.34	1.38
原材料	111.86	4.30	3.44	0.00
气体调节	67.66	9.67	34.80	0.00
气候调节	14.48	4.77	94.18	0.00
水源涵养	6.38	1.20	71.57	0.06
土壤形成	11.59	4.34	5.11	0.06
废物处理	1.68	2.10	46.57	0.01
娱乐文化	17.08	0.13	131.99	0.13
生物多样性	1.82	0.40	2.78	0.19
总价值	246.39	165.27	445.79	1.84

3.2.3 建立厦门市生态系统服务价值计算模型

将各类生态系统单位面积服务总价值 V_j 代入公式 (4), 得到厦门市生态系统服务价值计算模型, 参见公式 (6), 其中 V 的单位为万元, S_j 的单位为 km^2 。

$$V = 246.39S_1 + 165.27S_2 + 445.79S_3 + 1.84S_4 \quad (\text{公式 } 6)$$

其中, S_1 为林地面积, S_2 为农田面积, S_3 为湿地面积, S_4 为建筑面积和裸地面积。

3.3 青海省生态系统服务价值分析

3.3.1 计算青海省生态系统服务价值

李勇和刘亚州^[16] 以青海省为研究对象, 采用物质量与价值评估法相结合的方法、能值分析法等多种方法对青海省森林、草地、耕地、湿地、水体和荒漠 6 类生态系统分别进行了生态服务价值评估^[16]。本研究按照谢高地等人当量因子表中各类生态系统服务功能内涵和分类特点, 对青海省生态系统服务价值实地调查结果进行总结, 参见表 5。

3.3.2 建立青海省生态系统服务价值当量表

各类生态系统服务总价值为 13 849.8 亿元, 将 6 类生态系统的 i 项生态系统服务价值合并分析青海省生态系统服务价值结构。将原当量表中与表 5 中相关的生态系统服务功能当量加和, 总当量为 138.5。根据假设条件一, 以 2008 年为标准年份将 E 在表 7 中的 8 项生态服务功能按照各自占总价的比重进行重新分配计算出 E_i 。根据假设条件二将 E_i 在 j 类

生态系统样元上按照原有比例再分配计算出 E_{ij} 。将 2008 青海省生态系统服务总价值 V 、各类生态系统面积 S_j 和当量因子 E_{ij} 代入公式 (1)，确定青海省生态系统单位面积生态服务价值基准 V_0 为 15.27×10^4 元/ km^2 。根据公式 (2)，将 15.27×10^4 元/ km^2 与各个当量因子 E_{ij} 相乘，测算出青海省生态系统单位面积生态服务价值，参见表 6。

表 5 青海省 2008 年生态服务价值评估^[16] (单位: $\times 10^8$ 元)

	森林	草地	农田	湿地	水体	荒漠
食物生产	—	—	40.3	19.5	32	1.24
原材料	23.1	—	—	4.5	—	0
气候调节	430.5	4 469.91	137.7	1 225.8	26	0
水源涵养	259	773.58	1.9	1 005.3	1084	3.72
土壤形成	82.6	—	1.2	110.9	—	2.48
废物处理	—	—	8.6	1 179.1	—	1.24
娱乐文化	0.05	—	8.9	359.8	19	1.24
生物多样性	618	—	—	162.1	—	42.18

注：“—”为实地调查结果中没有进行评估的生态系统服务功能。

表 6 青海省生态系统单位面积生态服务价值表 (单位: $\times 10^8$ 元/ km^2)

	林地	草地	农田	湿地	水体	荒漠
食物生产	0.90	2.69	8.96	2.69	0.90	0.09
原材料	4.48	0.09	0.17	0.12	0.02	0.00
气候调节	134.26	44.75	44.26	850.30	22.87	0.00
水源涵养	43.07	10.77	8.08	208.63	274.31	0.40
土壤形成	14.80	7.40	5.54	6.49	0.04	0.08
废物处理	6.68	6.68	8.37	92.74	92.74	0.05
娱乐文化	7.73	0.24	0.06	33.51	26.21	0.06
生物多样性	44.96	15.03	9.79	34.48	34.34	4.69
总价值	256.88	87.65	85.22	1228.95	451.42	5.37

3.3.3 建立青海省生态系统服务价值计算模型

将各类生态系统单位面积服务总价值 V_j 代入公式 (4)，得到青海省生态系统服务价值计算模型，参见公式 (7)， V 的单位为亿元， S_j 的单位为 km^2 。

$$V = 256.88S_1 + 87.65S_2 + 85.22S_3 + 1\,228.95S_4 + 451.42S_5 + 5.37S_6 \quad (7)$$

其中， S_1 为林地面积， S_2 为草地面积， S_3 为农田面积， S_4 为湿地面积， S_5 为水面面积， S_6 为荒漠面积。

4 讨论

4.1 对比当量因子表生态系统服务价值结构分布的变化

将中国陆地生态系统单位面积生态服务价值当量表^[6]按照供给功能、调节功能、文化功能和支持功能进行分类，计算各类服务功能占总服务功能的百分比，与北京市永定河和厦门市的实地调查结构进行比较，参见图 2。

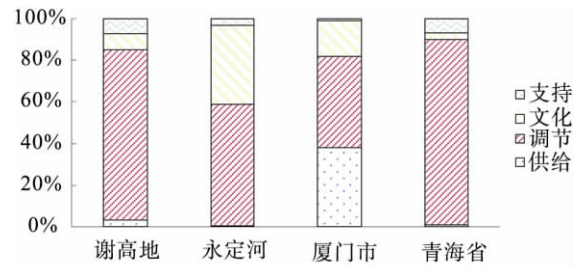


图2 生态系统服务价值结构分布图

中国陆地生态系统单位面积生态系统当量表中，调节功能占总当量比重为 81.9%，文化功能占总当量比重为 7.7%。永定河生态系统服务价值评估中，调节功能占总服务价值比重为 58.03%，文化价值大于当量表，比重为 38%。厦门市生态系统服务价值评估中，调节功能占总服务价值比重为 44%，文化功能比重为 17%，供给功能与原当量表差别较大，比重为 38%。青海省生态系统服务价值结构与谢高地等人的研究成果较为接近。生态系统服务的主要功能与研究尺度有关^[17]，同时还与区域生态特点和社会经济发展情况相关^[18-19]。如果将中国陆地生态系统因子当量表直接应用于 TM 遥感影像解译评估区域生态服务价值，计算结果在生态服务价值量和生态服务价值结构上均与指标体系法的偏差较大。

4.2 验证区域生态系统服务价值多元回归模型的准确性

直接采用实物量与价值评估法对永定河生态系统服务价值进行动态评价，将 1978 年、1988 年、1999 年和 2004 年土地利用类型遥感数据代入公式 (5)，对比结果参见图 3 (a)。石龙宇等人^[15]对 1987 年、1992 年、1997 年、2002 年进行了回顾性厦门生态系统服务价值动态评估 (表 3)，并分析了对应年份的土地利用结构变化^[15]，本研究将对应年份的土地利用面积带入公式 (6)，对比结构参见图 3 (b)。

结果表明，永定河生态系统服务价值动态评估模型计算结构与实地调查评估结构最大偏差为 13.09%，平均相对偏差绝对值为 6.38%。对比两种方法计算厦门市生态系统服务价值动态评估结果，最大偏差为 27.07%，平均相对偏差绝对值为 25.08%。采用校正后的当量因子表计算区域生

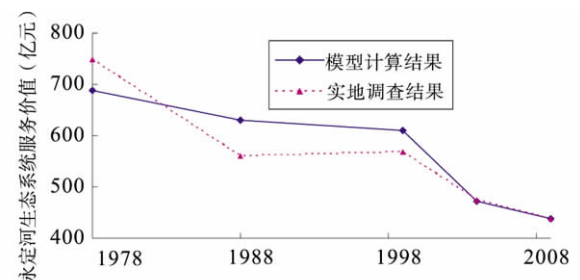


图3 (a) 永定河生态系统服务价值动态分析对比图

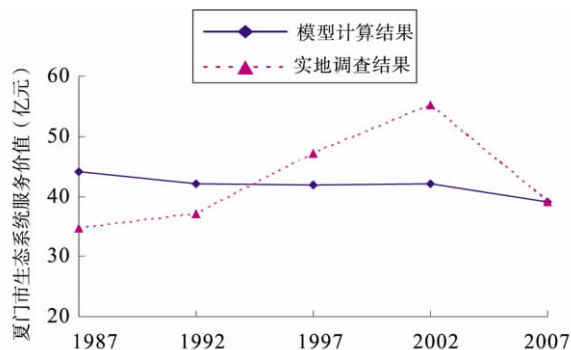


图3 (b) 厦门市生态系统服务价值动态分析对比图

态服务价值，与基于实地调查法的评估结构具有较好的可比性。

4.3 验证生态系统类型单价的准确性

李勇和刘亚州对青海省6类生态系统进行了分类评估(表5)^[16]，将实地调查的各类生态服务单位面积服务价值与通过本研究提出的校正方法进行对比，参见表7。

表7 青海省生态系统单位面积服务总价值对比表
(单位: $\times 10^8$ 元/ km^2)

	森林	草地	农田	湿地	水体	荒漠
实地调查	445.82	144.05	361.09	554.84	725.63	4.25
本研究	256.88	87.65	85.22	1 228.95	451.42	5.37

从表7可以看出，湿地生态系统单位面积服务价值偏差最大，且明显高于实地调查的评估结果。其他生态系统单位面积服务价值除荒漠外，均小于实地调查的评估结果。其中，农田生态系统单位面积仅为实地调查结果的23%。与实地调查结果产生较大偏差，可能与研究尺度有关，也可能与中国陆地生态系统单位面积生态服务价值当量表^[6]中给予湿地较大的权重有关。

5 结论

将TM遥感影像与价值评估法相结合，建立了针对研究区域的生态系统单位面积因子当量表的评估方法，用于测算出只需遥感影像数据即可快速动态评估土地利用变化下的生态系统服务价值变化。采用多元回归模型对永定河生态系统服务价值进行回顾性评估，与实地调研评估结果平均偏差为6.38%，厦门市评估结果平均偏差为25.08%。实地调查的生态系统单位面积服务总价值与模型计算结果进行对比，湿地生态系统的绝对偏差最大，农田生态系统的相对偏差最大。

基于生态系统的时空动态异质性，对生态系统服务功能和价值的多时空尺度的观测研究是生态服务价值的一个难点。如何在评估过程中解决空间异质性问题以及如何

评估不同研究尺度的生态服务价值是评估生态系统服务真实价值的基础，也是将生态系统服务价值应用于生态系统综合管理的科学基础。^[2]

参考文献:

- [1] Syrbe R U, Bastian O, Roder M, et al. A Framework for Monitoring Landscape Functions: The Saxon Academy Landscape Monitoring Approach (SALMA), Exemplified by Soil Investigations in the Kleine Spree Floodplain (Saxony, Germany) [J]. *Landsc Urban Plann*, 2007, 79: 190-199.
- [2] Willemsen L, Verburg P H, Hein L, et al. Spatial Characterization of Landscape Functions [J]. *Landscape Urban Plann*, 2008, 88: 34-43.
- [3] Meyer B C, Grabaum R. MULBO - Model Framework for Multi Criteria Landscape Assessment and Optimization. A Support System for Spatial Landuse Decisions [J]. *Landsc Res*, 2008, 33: 155-179.
- [4] Turner M G. Spatial and Temporal Analysis of Landscape Pattern [J]. *Landscape Ecology*, 1990, 4 (1): 21-30.
- [5] 陈能汪, 张潇尹, 卢晓梅. 基于GIS的生态系统服务直接利用价值评估方法 [J]. *中国环境科学*, 2008, 28 (7): 661-666.
- [6] 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.
- [7] 陈克龙, 李双成, 周巧富, 等. 近25年来青海湖流域景观结构动态变化及其对生态系统服务功能的影响 [J]. *资源科学*, 2008, 30 (2): 274-280.
- [8] 刘庆, 王静, 史衍玺, 等. 经济发达区土地利用变化与生态服务价值损益研究——以浙江省慈溪市为例 [J]. *中国土地科学*, 2007, 21 (2): 18-24.
- [9] 张晶. 基于生态系统服务价值的土地利用结构优化研究 [D]. 西安: 西北大学, 2008.
- [10] 郑晶. 基于生态系统服务价值的长汀县土地利用结构优化研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2009.
- [11] 霍金炜. 生态视角下醴陵市土地资源可持续利用研究 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2010.
- [12] 熊鹰. 湖南省生态安全综合评价研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2008.
- [13] 张玉玲. 湖北省可持续发展定量分析与对策研究 [D]. 上海: 华中师范大学, 2008.
- [14] 张振明, 刘俊国, 申碧峰, 等. 永定河(北京段)河流生态系统服务价值评估 [J]. *环境科学学报*, 2011 (9): 1851-1857.
- [15] 石龙宇, 崔胜辉, 尹锴, 等. 厦门市土地利用/覆被变化对生态系统服务的影响 [J]. *地理学报*, 2010, 54 (6): 708-714.
- [16] 李勇, 刘亚州. 青海生态系统服务功能价值量评价 [J]. *干旱区资源与环境*, 2010, 24 (5): 1-10.
- [17] 王其翔. 黄海海洋生态系统服务评估 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
- [18] 赵军, 杨凯, 郜俊, 等. 上海城市河流生态系统服务的支付意愿 [J]. *环境科学*, 2005, 3 (2): 5-10.
- [19] Millennium Ecosystem Assessment: Biodiversity Synthesis Report [Z]. Washington D C: World Resources Institute, 2005.