

鄂西北地区生态系统服务价值变化特征分析

——以湖北省随县厉山镇为例

张茂茂^{1,2} 张雪松^{1,2} 王全喜³ 侯瑞⁴ 何炬^{1,2} 李德寿^{1,21}

(1. 华中师范大学地理过程分析与模拟湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430079;

2. 华中师范大学城市与环境科学学院, 湖北 武汉 430079;

3. 甘肃农业大学管理学院, 甘肃 兰州 730070;

4. 长安大学地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054)

【摘要】: 以随县厉山镇 2009—2015 年的土地利用变化数据为基础, 基于修正后的生态系统服务价值当量, 估算并分析了厉山镇生态系统服务价值及其变化特征。结果表明, 研究期间厉山镇土地利用变化显著, 其中: 耕地面积减少 486.80hm², 建设用地面积增加 628.30hm²; 土地利用结构的信息熵和均衡度呈上升趋势, 优势度略有下降, 土地利用结构更加合理; 生态系统服务总价值由 2009 年的 11.3066 亿元下降到 2015 年的 11.0970 亿元, 年变化率达 -3.40%; 单项生态服务功能价值持续下降, 但气体调节、气候调节、水文调节、废物处理、保持土壤和维持生物多样性生态服务功能价值为 9.2588 亿~9.4338 亿元, 其价值总和约占生态服务功能总价值比例的 83%; 各种用地类型的生态系统服务价值的敏感性指数明显小于 1, 生态系统服务价值弹性不足, 估算结果较为准确。能为鄂西北地区土地利用结构优化和乡村振兴战略的实施提供参考。

【关键词】: 乡镇尺度 土地利用变化 生态系统服务价值 乡村振兴 厉山镇

【中图分类号】: F205 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1671-4407(2019)07-184-07

党的十九大报告明确要求“实行最严格的生态环境保护制度”, 为人民群众创造良好的生产、生活环境, 实现中华民族的永续发展。生态系统服务作为连接生态环境与人类福祉的重要纽带, 为人类的生存与发展提供了重要保障, 其主要由维系人类生存的生态产品和保证生活质量需求的生态功能两个部分组成^[1], 其价值评估是制定生态功能区划与环境保护政策、生态补偿决策的重要参考依据^[2]。随着国内外学者对生态系统服务价值研究的不断深入, 评估方法与研究方向也越来越深入和广泛。1997 年 Costanza 等^[3]率先对全球生态系统服务价值进行了估算, 随后 Bjorklund 等^[4]、Holmund & Hammer^[5]分别对城市生态系统服务价值和鱼类生态系统服务价值进行了评估和分析。谢高地等^[6-7]参考了 Costanza 等^[3]的研究成果, 并对国内 200 位行业内专家进行

作者简介: 张茂茂(1991-), 男, 湖北京山人, 硕士研究生, 研究方向为土地利用与规划, E-mail:star_mzhang@126.com; 张雪松(1971-), 男, 湖北广水人, 博士, 教授, 研究方向为土地利用与规划、景观生态学等。E-mail:zxsgis@263.net。

基金项目: 国家自然科学基金面上项目“江汉平原农村公共服务可达性与空间均等化研究”(41371183); 地理国情监测国家测绘信息地理局重点实验室开放基金项目“村落景观格局演变及其预测研究——以湖北省随县为例”(2014NGCM03)。

了问卷调查,最终经多次修正后确定了适合我国国情的生态系统服务价值当量系数。欧阳志云等^[8]、傅伯杰等^[9]对我国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值进行了初步研究。毛德华等^[10]、王宗明等^[11]、李正等^[12]、涂小松和龙花楼^[13]分别对洞庭湖湿地、松嫩平原、贵州省全域、鄱阳湖流域的生态系统服务价值进行了实证研究。李惠梅和张安录^[14]、王智等^[15]、唐秀美等^[16]、冉凤维等^[17]对生态服务价值变化的驱动因素进行了研究。

从研究单元来看,国内大多数研究主要围绕大尺度的国家、省级、市级和县级研究区展开,部分学者以区域内典型地形、地貌为研究单元^[15,18],对于微观尺度(乡镇、村)的生态系统服务价值研究相对较少。湖北省随县厉山镇作为鄂西北地区低山丘陵地形的典型代表,多种土地利用类型兼有分布,同时研究期间受“武汉城市圈”辐射驱动以及国家“美丽乡村”政策影响,各种土地利用地类变化较为显著。鉴于此,本研究以湖北省随县厉山镇2009年、2012年和2015年的土地利用变更数据为基础,通过对厉山镇土地利用变化的多角度分析,探索土地利用变化与生态系统服务价值之间的关系,为微观尺度生态服务价值的研究提供参考和借鉴,同时为促进鄂西北地区土地节约集约利用、城乡融合^[19]和乡村振兴战略^[20]的实施提供理论支持。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

厉山镇位于湖北省西北部,隶属于随州市随县。2009年国务院批准随县重新设立,成为全国最年轻的县,厉山镇为县政府所在地,全境地跨东经113°12′~113°29′,北纬31°46′~32°06′,镇区面积23709.61hm²,下辖25个行政村(含村委会),耕地面积8961.15hm²。北接桐柏山,南邻大洪山,东望信阳,西瞰荆州、襄阳,汉丹、西宁铁路和316国道穿境而过,是鄂西北地区重要的交通要地。境内地貌众多,地形复杂,具有典型的鄂西北地域特征,北部以低山丘陵为主,南部主要为冲积平原,兼有山地,海拔高度为70~1140米。境内河流众多,灩水、封江口河、杜家河、贯通全境。为亚热带季风气候,光照水热充足,年平均气温15.41℃,全年无霜期220~240天,年均降水量约960mm,农耕文化历史悠久。

1.2 数据来源

厉山镇2009年、2012年、2015年的土地利用数据来源于随州市土地利用变更调查数据库,由随州市国土资源局信息中心提供。社会经济数据主要来源于2009—2015年的《随县统计年鉴》《随州市统计年鉴》《湖北省统计年鉴》。

本研究以自然资源部组织修订的国家标准《土地利用现状分类》(GB/T21010-2017)为土地利用分类的依据,结合厉山镇土地利用特点,将该区域土地利用现状类型归纳整理为耕地、园地、林地、草地、水域、建设用地以及未利用地7种土地利用类型。

2 研究方法

2.1 土地利用动态度

土地利用动态度^[21]是研究区域土地利用变化情况和预测未来土地利用变化趋势的重要手段,多用于定量地评价一定范围内土地利用类型变化的速度。公式如下:

$$Lc = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中:Lc表示研究期间某一土地利用类型变化的动态度指数;U_a、U_b分别为研究初期和末期研究区的某一土地利用类型数量;T

为研究期间的时间长度(年)。

2.2 信息熵、均衡度、优势度

本研究主要通过计算厉山镇土地利用现状结构的信息熵、均衡度和优势度,来推测其土地利用结构的变化情况^[22-23]。信息熵(H)主要用来反映一定区域内土地利用结构的合理性情况。熵值愈大,则土地利用趋于多样化、无序性高,结构理想;反之,结构变化越强烈,土地利用越不全面。均衡度(J)主要用来测度区域内土地利用结构的均质化程度,均衡度值越小,则土地用地结构越不平衡;反之,土地利用结构越均衡、越合理。优势度(I)主要用来反映某一土地利用类型在该区用地结构中的支配程度。公式如下:

$$H = -\sum_{i=1}^n P_i \ln \frac{A_i}{A} \quad (2)$$

$$J = \frac{H}{H_m} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \ln P_i}{\ln n} \quad (3)$$

$$I = 1 - J \quad (4)$$

式中: P_i 表示第*i*种土地利用类型的面积与研究区土地总面积的比例值; A_i 表示第*i*种土地利用类型面积; A 表示研究区土地总面积; H_m 为最大熵值; n 表示研究区土地类型的数量。

2.3 生态服务价值系数的修正

谢高地等^[6]结合我国国情,借鉴 Costanza^[3]的研究成果,最终经多次问卷调查后确定了具有中国特色的生态系统服务价值当量表,并确定以研究区1个标准的生态系统服务价值当量因子经济价值相当于当年全国平均粮食单产1/7的市场价值量作为估算依据。结合生态系统服务价值的区域修正系数,本研究以厉山镇2009—2015年的平均粮食单产6863.05kg/hm²与2015年粮食平均单价2.37元/kg为参考,计算出厉山镇1个标准的生态系统服务价值当量因子的经济价值约为2323.63元/hm²。参考已有研究成果,根据公式(5)可计算出厉山镇不同土地利用类型单位面积的生态服务价值(表1),本研究未考虑建设用地的生态系统服务价值。

$$E_n = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^n \frac{P_i q_i}{M} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

式中: E_n 表示厉山镇每公顷农田生态系统提供食物生产服务功能的 market 价值(元); n 表示研究区粮食作物种类; p_i 表示研究区每千克第*i*类粮食作物的市场价格(元); q_i 表示研究区第*i*类粮食作物总产量(kg); M 表示研究区粮食作物的总面积(hm²)。

2.4 生态系统服务价值的估算

本研究主要以 Costanza 等^[3]确定的生态系统服务价值估算方法为理论参考,来有效估算和分析厉山镇的生态系统服务价值(ESV),公式如下:

$$ESV = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_{ij} \times VC_{ij} \quad (6)$$

式中: A_i 表示研究区 i 类型土地的用地面积 (hm^2); VC_{ij} 表示研究区单位面积上 i 类型土地利用的第 j 种生态系统服务功能对应的价值系数, 单位为元/ ($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$)。

2.5 生态系统服务价值变异系数

变异系数是衡量一个地区某种数据的各观测值变异程度的重要指标^[24]。利用变异系数能够有效反映出厉山镇生态系统服务价值在 2009—2015 年时空分布的离散程度。方式如下:

表 1 厉山镇不同土地利用类型单位面积生态服务功能价值系数

生态服务功能	生态系统服务价值/(元/ hm^2)					
	耕地	园地	林地	草地	水域	未利用地
食物生产	2323.63	882.98	766.80	999.16	1034.02	46.47
原材料生产	906.22	3880.46	6924.42	836.51	685.47	92.95
气体调节	1673.01	6761.76	10038.08	3485.45	3392.50	139.42
气候调节	2253.92	6541.02	9457.17	3624.86	18135.93	302.07
水文调节	1789.20	6517.78	9503.65	3531.92	37422.06	162.65
废物处理	3229.85	3531.92	3996.64	3067.19	33983.09	604.14
保持土壤	3415.74	7272.96	9340.99	5204.93	2788.36	395.02
维持生物多样性	2370.10	7412.38	10479.57	4345.19	8272.12	929.45
提供美学景观	395.02	3427.35	4833.15	2021.56	10607.37	557.67
合计	18356.68	46228.62	65340.48	27116.76	116320.92	3229.85

$$CV = \frac{1}{K} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^m (K_i - \bar{K})^2} \times 100\% \quad (7)$$

式中: CV 表示变异系数; n 表示研究区生态系统服务价值的样本个数; K_i 表示样本生态系统服务价值; \bar{K} 表示样本生态系统服务价值的平均值。

2.6 生态系统敏感性指数

研究区各种土地利用类型的生态系统服务价值系数经过修正, 但其价值系数的客观性仍存在一定的不确定性^[25-26]。因此, 本研究引入生态系统敏感性指数 (CS), 通过对研究区某一土地利用类型的价值系数上下调整 50% 来衡量生态系统服务总价值的变化情况, 从而验证各类型生态系统当量因子的合理性。若 $CS > 1$, 则研究区生态系统服务价值对生态服务功能价值系数富有弹性; 若 $CS < 1$, 则不具有弹性, 生态系统敏感性指数绝对值越大, 说明其价值系数越合理、越准确。公式如下:

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

式中: ESV_i 、 ESV_j 分别表示研究区某一用地类型价值系数调整前后的生态系统服务价值; VC_{ik} 、 VC_{jk} 分别表示研究区第 K 类土地利用类型调整前后的价值系数。

3 结果与分析

3.1 土地利用数量变化分析

由表 2 可知, 2009—2015 年耕地和林地是厉山镇最主要的土地利用类型, 分别占研究区总面积的 36%和 38%以上, 对应的土地利用动态度为-0.88%和-0.18%。其次是水域用地, 占全区总面积的 12%以上, 土地利用动态度为-0.33%。面积变化量最大的土地利用类型为耕地和建设用地。2009—2015 年, 耕地面积减少 486.8 hm^2 , 土地利用动态度为-0.88%, 其中, 2009—2012 年耕地减少 250.49 hm^2 , 土地利用动态度为-0.91%, 2012—2015 年耕地面积减少 236.31 hm^2 , 土地利用动态度为-0.88%, 该期间耕地规模整体呈下降的趋势, 土地利用动态度略有下降, 耕地减少态势有所减弱。而 2009—2015 年厉山镇建设用地面积增加 628.30 hm^2 , 土地利用动态度为 5.20%, 2009—2012 年和 2012—2015 年两个时间段增加的建设用地面积基本保持一致, 增加的面积均约为 300 hm^2 , 土地利用动态度均在 4.80%左右, 这主要是由于 2009 年随县设立后厉山镇作为县政府驻地, 社会经济发展加快推进, 建设用地不断向耕地和局部水域用地扩张, 土地利用发生了较大变化。研究期间林地面积减少了 74.10 hm^2 , 土地利用变化动态度为-0.14%, 其中, 2009—2012 年减少了 27.20 hm^2 , 土地利用动态度为-0.10%, 2012—2015 年减少了 46.90 hm^2 , 土地利用动态度为-0.17%, 主要是因为研究期间进行了土地整治工程建设, 对宜耕的缓坡林地或开发潜力较大的林地进行了适度开发, 土地利用动态度略有上升。水域用地面积减少了 59.51 hm^2 , 土地利用动态度为-0.33%, 其中, 2009—2012 年减少了 15.37 hm^2 , 土地利用动态度为-0.17%, 2012—2015 年减少了 44.14 hm^2 , 土地利用变化动态度为-0.49%, 水域面积减少趋势有所加强, 前期主要是由于厉山镇不合理的围湖(塘)造田, 后期主要受政府政策导向影响, 进行了产业结构的调整和优化, 导致了水域面积减少, 土地利用动态度有所增强。其他类型土地面积变化相对较小, 2009—2015 年园地、草地和未利用地面积分别减少了 2.65 hm^2 、5.13 hm^2 和 0.22 hm^2 , 对应土地利用动态度分别为-0.18%、-1.77%和-0.12%。

表 2 2009—2015 年厉山镇不同土地利用类型面积变化情况

年份	项目	耕地	园地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
2009 年	面积 / hm^2	9211.93	248.98	9128.03	48.42	3027.92	2012.76	31.48
	比例 / %	38.85	1.05	38.50	0.20	12.77	8.49	0.13
2012 年	面积 / hm^2	8961.44	247.96	9100.83	45.21	3012.55	2310.22	31.26
	比例 / %	37.80	1.05	38.38	0.19	12.71	9.74	0.13
2015 年	面积 / hm^2	8725.13	246.33	9053.93	43.29	2968.41	2641.06	31.26
	比例 / %	36.80	1.04	38.19	0.18	12.52	11.14	0.13
2009— 2012 年	面积变化量 / hm^2	-250.49	-1.02	-27.2	-3.21	-15.37	297.46	-0.22
	动态度 / %	-0.91	-0.14	-0.10	-2.21	-0.17	4.93	-0.23
2012— 2015 年	面积变化量 / hm^2	-236.31	-1.63	-46.9	-1.92	-44.14	330.84	0
	动态度 / %	-0.88	-0.22	-0.17	-1.42	-0.49	4.77	0
2009— 2015 年	面积变化量 / hm^2	-486.8	-2.65	-74.1	-5.13	-59.51	628.3	-0.22
	动态度 / %	-0.88	-0.18	-0.14	-1.77	-0.33	5.20	-0.12

3.2 土地利用结构变化分析

根据公式(2)~公式(4), 可以分别计算出厉山镇三期土地利用结构的信息熵、均衡度和优势度, 结果见表 3。整体来看, 厉山

镇土地利用结构的信息熵和均衡度呈上升趋势, 优势度略有下降, 说明研究期间土地利用结构的无序化和不确定性有所加强, 土地利用类型中占绝对地位的耕地和林地的优势降低, 土地利用趋于多样化, 利用结构更加合理。具体来看, 2009—2012 年厉山镇的土地利用结构信息熵增加了 0.0164, 均衡度增加了 0.0084, 优势度下降了 0.3441。2012—2015 年其信息熵和均衡度进一步增加, 分别增加了 0.0151 和 0.0078, 优势度也下降了 0.0078, 说明研究期间厉山镇土地利用结构在城镇化建设和产业结构调整、优化的政策导向下, 土地利用结构更加多元化, 土地利用类型趋向均质化发展, 主要表现在耕地和林地比例的下降, 城镇建设用地规模的扩张以及其他土地利用类型面积的小幅下降。

表 3 2009—2015 年厉山镇土地利用结构指数变化情况

年份	信息熵/Nat	均衡度	优势度
2009 年	1.2763	0.6559	0.3441
2012 年	1.2927	0.6643	0.3357
2015 年	1.3078	0.6721	0.3279
2009—2012 年变化量	0.0164	0.0084	-0.0084
2012—2015 年变化量	0.0151	0.0078	-0.0078
2009—2015 年变化量	0.0315	0.0162	-0.0162

3.3 生态系统服务价值变化分析

根据公式(6)可计算出研究期间厉山镇不同用地类型的生态系统服务价值及其变化情况, 见表 4。整体看出, 2009—2015 年厉山镇生态系统服务价值呈下降趋势, 生态系统服务价值总体下降了 0.2096 亿元, 年变化率达 3.40%。具体来看, 2009—2012 年厉山镇生态系统服务价值由 11.3066 亿元下降到 11.2236 亿元, 年变化率为 3.76%, 到 2015 年生态系统服务价值持续下降到 11.097 亿元, 年变化率为 3.18%, 生态系统服务价值下降趋势稍有减弱, 主要是由于该期间除建设用地面积上升外, 其他各土地利用类型面积均呈不同程度的减少趋势。研究期间生态系统服务价值总量的变化主要是由于厉山镇土地利用结构变化的影响, 按其生态系统服务价值大小排序依次为: 林地>水域>耕地>园地>草地>未利用地, 其中林地和水域对研究区生态系统服务价值总量有重要影响, 两者的贡献率为 52.75%~53.31%和 32.12%~32.22%, 其次为耕地和园地, 贡献率分别为 14.43%~14.96%和 1.02%~1.32%, 草地和未利用地的贡献率较低, 均低于 1.20%。

根据公式(7), 可以计算出研究期间厉山镇不同用地类型生态系统服务价值的变异系数, 结果见表 4。2009—2015 年厉山镇各种土地利用类型生态系统服务价值的变异系数差异显著, 按变异系数从大到小依次排序: 草地>耕地>水域>园地>林地>未利用地。生态系统服务价值变异系数较大的土地类型为草地和耕地, 其中草地的生态系统服务价值变异系数为 4.64%, 草地面积占总土地利用面积为 0.18%~0.20%, 2009—2015 年草地面积减少了 5.13hm², 生态系统服务价值降低了 0.0014 亿元, 生态系统服务价值变化率达-10.59%。耕地的生态系统服务价值变异系数为 2.22%, 2009—2015 年草地面积减少了 486.80hm², 生态系统系统服务价值降低了 0.0894 亿元, 生态系统服务价值变化率达-5.28%, 说明草地和耕地面积变化率较强烈, 其生态系统服务价值在时间和空间尺度上具有较为明显的离散分布特征。园地、林地、水域和未利用地的生态系统服务价值变异系数相对较小, 分别为 0.44%、0.34%、0.84%和 0.33%, 说明 2009—2015 年厉山镇这 4 种土地利用类型面积变化较小, 生态系统服务价值相对较稳定。

表 4 厉山镇不同土地利用类型的生态系统服务价值变化及变异系数

年份	项目	耕地	园地	林地	草地	水域	未利用地	合计
2009 年	ESV/亿元	1.6910	0.1151	5.9643	0.0131	3.5221	0.0010	11.3066
	比例/%	14.96	1.02	52.75	0.12	31.15	0.01	100.00

2012 年	ESV/亿元	1.6450	0.1146	5.9465	0.0123	3.5042	0.0010	11.2236
	比例/%	14.66	1.02	52.98	0.11	31.22	0.01	100.00
2015 年	ESV/亿元	1.6016	0.1139	5.9159	0.0117	3.4529	0.0010	11.0970
	比例/%	14.43	1.30	53.31	0.11	31.12	0.01	100.00
2009-2012 年	ESV 变化量/亿元	-0.0460	-0.0005	-0.0178	-0.0009	-0.0179	0	-0.0831
	变化率/%	-2.72	-0.41	-0.30	-6.63	-0.51	-0.70	-11.27
2012-2015 年	ESV 变化量/亿元	-0.0434	-0.0008	-0.0306	-0.0005	-0.0513	0	-0.1266
	变化率/%	-2.64	-0.66	-0.52	-4.25	-1.47	0	-9.54
2009-2015 年	ESV 变化量/亿元	-0.0894	-0.0012	-0.0484	-0.0014	-0.0692	0	-0.2096
	变化率/%	-5.28	-1.06	-0.81	-10.59	-1.97	-0.70	-20.41
2009-2015 年	CV/%	2.22	0.44	0.34	4.64	0.84	0.33	17.62

3.4 生态系统单项服务价值变化分析

从表 5 来看,研究期间厉山镇生态系统单项服务功能价值的变化幅度不大,但整体上各项生态系统功能价值所占生态系统服务总价值的比例有较大差异。按生态系统单项服务功能价值大小依次排序为:水文调节>废物处理>维持生物多样性>气候调节>保持土壤>气体调节>提供美学景观>原材料生产>食物生产;具体来看,食物生产和废物处理的生态系统服务价值占生态系统服务功能总价值的比例均有所下降,且呈持续下降趋势;2009—2012 年厉山镇气候调节、水文调节和保持土壤的生态系统服务价值占生态系统服务功能总价值的比例呈下降趋势,到 2015 年又呈现出回升或保持不变的态势。原材料生产、气体调节、气候调节、维持生物多样性和提供美学景观生态系统服务价值占生态系统服务功能总价值的比例均出现了小幅度的上升,在时间尺度呈持续上升趋势。从各项生态系统服务功能价值结构来看,气体调节、气候调节、水文调节、废物处理、保持土壤和维持生物多样性生态系统服务功能价值为 9.2588 亿~9.4338 亿元,占研究区生态系统服务功能总价值比例的 83%以上,食物生产、原材料生产和提供美学景观生态服务功能价值为 1.8382 亿~1.8729 亿元,仅占生态服务功能总价值的 17%左右。这主要是由于生态系统单项功能价值系数自身存在较大的差异,原材料生产和提供美学价值的生态系统功能的价值系数较低,而其他几项生态系统服务功能的价值系数相对较高,同时受研究区不同时期土地利用类型面积变化的影响较大。

表 5 厉山镇生态系统单项服务功能价值变化

生态服务功能	2009 年 ESV/亿元	百分比/%	2012 年 ESV/亿元	百分比/%	2015 年 ESV/亿元	百分比/%
食物生产	0.3181	2.81	0.3118	2.78	0.3055	2.75
原材料生产	0.7464	6.60	0.7421	6.61	0.7363	6.64
气体调节	1.1917	10.54	1.1841	10.55	1.1737	10.58
气候调节	1.6382	14.49	1.6270	14.50	1.6090	14.50
水文调节	2.1834	19.31	2.1704	19.34	2.1450	19.33
废物处理	1.7018	15.05	1.6873	15.03	1.6626	14.98
保持土壤	1.2725	11.25	1.2607	11.23	1.2468	11.24
维持生物多样性	1.4462	12.79	1.4360	12.79	1.4216	12.81
提供美学景观	0.8084	7.15	0.8044	7.17	0.7964	7.18
合计	11.3067	100.00	11.2237	100.00	11.0970	100.00

3.5 敏感性指数变化分析

本研究通过对厉山镇各种土地利用类型的生态服务功能的价值系数进行上下 50% 的调整,并据此计算各个年份各生态系统服务价值系数 (VC) 的敏感性指数 (CS),见表 6。由表 6 可知,研究期间厉山镇各种土地利用类型的生态系统服务价值对其价值系数的敏感性指数均明显小于 1,说明研究区各种土地利用类型的生态系统服务价值对价值系数的弹性很小,研究中所确定的生态系统服务功能价值系数具有较强的合理性,从而有效提高了厉山镇生态系统服务价值估算结果的准确性。从敏感性指数的高低排列来看:林地>水域>耕地>园地>草地>未利用地,说明各种土地利用类型的生态系统服务价值的高低,很大程度上决定了厉山镇生态系统服务总价值的高低。表 6 中可明显看出,敏感性指数最大的土地利用类型是林地,其敏感性指数最大值为 0.2666,说明该用地类型的生态系统服务价值系数在上升 1% 的情况下,研究区生态系统服务总价值约能增加 0.27%,这主要是由于研究期间林地面积所占比例较大,土地利用面积达 9053.93~9128.03hm²,面积变化率不超过 0.18%,同时,林地是除水域外生态系统服务价值系数最大的土地利用类型。敏感性指数次大的为水域,其指数为 0.1561,说明在水域的生态系统服务价值的系数增加 1% 情况下,生态系统服务总价值约增加 0.16%,主要是因为水域的生态服务功能价值系数最大,其价值系数高达 116320.92 元/hm²,研究期间水域用地面积占总地类面积的 13% 左右,且其土地利用变化动态度较小,水域面积减少量相对较低。从不同时期各种土地利用类型的敏感性指数来看,敏感性指数持续上升的用地类型为林地,而敏感性指数相对稳定为园地和未利用地,水域的敏感性指数在 2012 年先上升,到 2015 年又开始下降,而耕地和草地的敏感性指数在逐年减小,说明厉山镇林地和耕地、草地对生态系统服务价值具有放大和缩小作用,园地和未利用对生态系统服务价值的作用比较稳定,而水域用地对生态系统服务价值具有先放大后缩小的动态影响。

表 6 厉山镇不同土地利用类型生态敏感性指数

土地利用类型	VC 下调 50%	2009 年 CS	VC 下调 50%	2012 年 CS	VC 下调 50%	2015 年 CS
耕地	0.8455	0.0748	0.8225	0.0733	0.8008	0.0722
园地	0.0576	0.0051	0.0573	0.0051	0.0569	0.0051
林地	2.9821	0.2638	2.9733	0.2649	2.9579	0.2666
草地	0.0066	0.0006	0.0061	0.0005	0.0059	0.0005
水域	1.7611	0.1558	1.7521	0.1561	1.7264	0.1556
未利用地	0.0005	0.0001	0.0005	0.0001	0.0005	0.0001

4 结论与讨论

(1) 2009—2015 年厉山镇土地利用类型的数量与结构发生了较大变化。数量上来看,除了建设用地外,其他各种用地类型面积均有不同程度的减少。其中,耕地面积减少最为显著,耕地面积减少达 486.80hm²,建设用地面积增加 628.30hm²,说明研究期间由于随县新成立,且厉山镇为县政府所在地,致使建设用地大幅度增加以满足新县城社会经济的发展需求。结构上来看,厉山镇土地利用结构的信息熵和均衡度呈上升趋势,优势度略有下降,说明研究期间土地利用结构的无序化和不确定性有所加强,土地利用类型中占绝对支配地位的耕地和林地的优势降低,土地利用趋于多样化,用地结构更加合理。

(2) 2009—2015 年研究区生态系统服务总价值持续下降了 0.2096 亿元,年变化率达 3.40%。其中,林地和水域对研究区生态系统服务价值总量有重要影响,两者的贡献率分别为 52%和 32%左右;各土地利用类型的生态系统服务价值变异系数差异显著,按变异系数从大到小依次排序为:草地>耕地>水域>园地>林地>未利用地。生态系统服务价值变异系数较大的土地类型为草地和耕地,其生态系统服务价值变异系数分别为 4.64%和 2.22%。

(3) 研究区单项生态系统服务功能价值持续下降,气体调节、气候调节、水文调节、废物处理、保持土壤和维持生物多样性

占生态服务功能总价值的比例均超过 10%, 6 项生态服务功能价值之和占生态服务功能总价值的 83%左右。

(4) 研究期间, 厉山镇的生态系统服务总价值对于各用地类型生态价值系数的敏感性指数都明显小于 1, 生态系统服务价值的弹性不足, 研究中确定的生态系统服务价值系数合理, 说明厉山镇生态系统服务价值的估算结果较为准确, 能为鄂西北地区土地利用结构的优化布局、城乡融合和乡村振兴战略的实施提供参考。

本文利用厉山镇三期土地利用变更数据, 对研究区生态系统服务价值进行了初步估算, 但不同估算方法得出的生态系统服务价值差异较大, 因此估算结果可能与研究区实际情况存在一定的偏差。首先, 研究中采用了运算简单、操作方便的“基于单位面积价值当量因子法”, 该法输入的参数不多, 当量因子的准确性不高, 如本文参考前人研究成果^[27-28]将园地的价值系数确定为草地和森林的平均值, 水域的价值系数确定为水体和湿地的平均值, 修订方法的选取将对评估结果的不确定性产生重大影响。其次, 生态系统服务价值系数确定过程中, 对同一种土地利用类型下的几种不同生态系统类型采用了相同的生态服务功能价值系数, 如研究中水田、旱地和水浇地均采用了耕地生态系统服务价值系数, 各种土地利用类型生态系统服务价值系数的确定过于粗略, 若能将其分类进行细化, 并赋予与之相符的生态服务功能价值系数, 将会更加有效地提高估算结果的准确性。最后, 本研究仅从时间尺度分析了各种土地利用类型数量和结构变化对鄂西北低山丘陵地区生态系统服务价值的影响, 但未考虑研究区各种土地利用类型的空间分布及图斑内部异质性的影响, 因此, 在后续的生态系统服务价值的研究中要加强对这方面的补充和完善。

参考文献:

- [1] 谢高地, 张彩霞, 张昌顺, 等. 中国生态系统服务的价值[J]. 资源科学, 2015(9):1740-1746.
- [2] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 等. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J]. 自然资源学报, 2015(8):1243-1254.
- [3] Costanza R, D'Arge R, De Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387 (6630):253-260.
- [4] Björklund J, Limbrug K, Rydberg T. Impact of production intensity on the ability of the agricultural landscape to generate ecosystem services: an example from Sweden[J]. Ecological Economics, 1999, 29 (2):269-291.
- [5] Holmud C, Hammer M. Ecosystem services generated by fish populations[J]. Ecological Economics, 1999, 29 (2):253-268.
- [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(2):189-196.
- [7] 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(5):911-919.
- [8] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究[J]. 生态学报, 1999(5):19-25.
- [9] 傅伯杰, 周国逸, 白永飞, 等. 中国主要陆地生态系统服务功能与生态安全[J]. 地球科学进展, 2009(6):571-576.
- [10] 毛德华, 吴峰, 李景保, 等. 洞庭湖湿地生态系统服务价值评估与生态恢复对策[J]. 湿地科学, 2007(1):39-44.

-
- [11]王宗明,张树清,张柏.土地利用变化对三江平原生态系统服务价值的影响[J].中国环境科学,2004(1):125-128.
- [12]李正,王军,白中科,等.贵州省土地利用及其生态系统服务价值与灰色预测[J].地理科学进展,2012(5):577-583.
- [13]涂小松,龙花楼.2000-2010年鄱阳湖地区生态系统服务价值空间格局及其动态演化[J].资源科学,2015(12):2451-2460.
- [14]李惠梅,张安录.生态环境保护与福祉[J].生态学报,2013(3):825-833.
- [15]王智,师庆三,王涛,等.1982-2006年新疆山地-绿洲-荒漠系统植被覆盖变化时空特征[J].自然资源学报,2011(4):609-618.
- [16]唐秀美,郝星耀,刘玉,等.生态系统服务价值驱动因素与空间异质性分析[J].农业机械学报,2016(5):336-342.
- [17]冉凤维,罗志军,曹丽萍,等.南昌市生态服务价值变化及其驱动因素分析[J].水土保持研究,2018(3):177-183.
- [18]刘永杰,王世畅,彭皓,等.神农架自然保护区森林生态系统服务价值评估[J].应用生态学报,2014(5):1431-1438.
- [19]万婷,张淼.基于乡村振兴战略的土地整治综述及发展趋势研究[J].中国农业资源与区划,2018(5):1-6.
- [20]林火灿.以乡村振兴战略带动城乡融合发展——访中国城镇化促进会党委书记、副会长兼理事长陈炎兵[N].经济日报,2017-12-28(5).
- [21]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.
- [22]周子英,段建南,梁春风.长沙市土地利用结构信息熵时空变化研究[J].经济地理,2012(4):124-129.
- [23]张群,张雯,李飞雪,等.基于信息熵和数据包络分析的区域土地利用结构评价——以常州市武进区为例[J].长江流域资源与环境,2013(9):1149-1155.
- [24]杨凤海,赵焯荣,宋佳佳,等.齐齐哈尔市土地生态系统服务价值时空变化研究[J].中国农业大学学报,2018(2):105-114.
- [25]管青春,郝晋珉,石雪洁,等.中国生态用地及生态系统服务价值变化研究[J].自然资源学报,2018(2):195-207.
- [26]王鹏,王亚娟,刘小鹏,等.基于RS与GIS的沙坡头区生态系统服务价值研究[J].水土保持研究,2018(4):250-256.
- [27]顾泽贤,赵筱青,高翔宇,等.澜沧县景观格局变化及其生态系统服务价值评价[J].生态科学,2016(5):143-153.
- [28]刘亚茹,王聪,严力蛟.华北平原农区土地利用变化对生态系统服务的影响——以河南省商丘市为例[J].应用生态学报,2018(5):1597-1606.