

汉中市土地利用时空变化及其对 生态系统服务价值的影响

封建民, 郭玲霞, 李晓华

(咸阳师范学院 资源环境与历史文化学院, 陕西 咸阳 712000)

摘 要:汉中市地处气候南北分界线的秦岭—巴山两大山系之间,是国家级重点生态功能区,同时也是“南水北调”中线引水工程的主要水源保护地。对汉中市土地利用变化及其生态服务功能价值影响的研究可为水源保护以及环境质量的改善提供重要理论依据和决策支持。利用遥感和 GIS 技术分析了汉中市 1990—2015 年的土地利用变化特征及其对区域生态服务价值的影响。结果表明:1990—2015 年汉中市林地和建设用地面积呈增加,而草地、耕地、水域和未利用地则呈减少的趋势。2010 年以来土地利用变化速率明显加快,地类之间的转化更为频繁,人类活动对土地利用的影响明显加强。土地转移主要发生在略阳县、勉县、宁强县、西乡县和镇巴县。1990—2015 年汉中市土地利用的年总生态服务价值持续增加,特别是林地的生态服务价值增加幅度较大。林地面积增加使得 1990—2015 年汉中市的原材料生产、气候调节、气体调节、生物多样性保护土壤形成与保护和提供娱乐文化生态功能占年总价值的比值增加。林地、耕地和水域是汉中市生态服务的主要贡献者,也是生态服务价值变化的敏感因子。

关键词:土地利用变化;生态系统服务价值;汉中市

中图分类号:F301.24; X24

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2020)01-0275-08

Temporal and Spatial Variations of Land Uses and Their Influences on Ecosystem Service Function Values in Hanzhong City

FENG Jianmin, GUO Lingxia, LI Xiaohua

(School of Resources & Environment and Historical Culture, Xianyang Normal University, Xianyang, Shaanxi 712000, China)

Abstract: Hanzhong City is located between the Qinling and Bashan Mountains where the climate presents the north-south transition feature, and is an important national key ecological function zone and water conservation site for south-to-north water diversion central line project. A study of land use changes and their influences on ecosystem service-function values of the study area can provide important theories for effective decision-making regarding water resource protection and environmental quality improvement. GIS and RS technology were used to analyze land-use changes that occurred within the Hanzhong City from 1990 to 2015, and ecosystem service-function values of the lands were estimated. The results showed that forest and building lands increased, whereas grasslands, farmlands, water areas and unused areas decreased during the study period. Based on dynamic degree of land use, land use change rates have accelerated significantly since 2010. Furthermore, land use types converted more frequently, and land-use changes were more greatly affected by human activities in 2010—2015 than in 1990—2010. Land conversion mainly occurred in Lueyang, Mian, Ningqiang, Xixiang, and Zhenba Counties. The annual value of total ecosystem service functions of the lands continued to increase during the period 1990—2015. Service function values of grasslands, water areas, farmlands and unused areas decreased, whereas that of forestland significantly increased during the period 1990—2015. Due to increase of forestland, percentages of values of raw material production, air conditioning, climate regulation, biodiversity conservation, soil formation and protection and entertainment culture increased

收稿日期:2019-01-21

修回日期:2019-03-12

资助项目:国家自然科学基金(41661042,41261040);陕西省普通高等学校优势学科专项资金建设项目(0602)

第一作者:封建民(1972—),男,陕西省凤翔县人,博士,教授,主要从事环境遥感与土地利用研究。E-mail:feng_jianmin@aliyun.com

during the study period. Forestlands, grasslands, and farmlands were not only the main contributors but also sensitive factors to ecosystem service function values of the lands within Hanzhong City from 1990 to 2015.

Keywords: land use change; ecosystem service value; Hanzhong City

土地是人类赖以生产和生活的物质基础,是一个自然、经济的综合体。土地利用状态及变化是人类根据土地的自然特点,基于一定的经济、社会目的,对土地进行长期性或周期性的经营管理和治理改造^[1-2],可以在一定程度上反映区域生态环境质量和优劣程度,同时也是全球变化的重要组成部分^[3-5]。土地利用/覆被变化影响区域生态系统的结构和功能,对生态系统向人类社会提供各项服务价值和功能的能力起决定性作用^[6-7]。近年来随着遥感和地信技术的发展,利用 GIS 技术评估区域土地利用变化对生态系统服务价值的影响研究日益增多,逐渐成为生态学和生态经济学研究的一个热点^[8-12]。利用土地利用/覆被变化情况下的生态系统服务价值评估结果,科学制定生态补偿方案及环境保护政策,可为区域生态建设规划和可持续发展提供决策依据^[13-14]。

汉中地处气候南北分界线的秦岭巴山两大山系之间,区内降雨充沛,水资源丰富,植被多样,高山原始林木茂盛,森林覆盖率 70% 以上,是国家级重点生态功能区和水源涵养地,同时也是“南水北调”中线引水和陕西“引汉济渭”工程的主要水源保护地。近年来随着南水北调工程和退耕还林政策的实施以及社会经济的发展,汉中市土地利用结构发生了深刻的变化,这必然会引起生态服务功能的变化。本研究利用 RS 和 GIS 技术,分析近 25 a 来汉中市土地利用变化特征,并根据当地实际情况修正各生态系统的生态服务价值当量,计算区域生态服务价值及变化特征,旨在为政府部门制定生态安全前提下的土地利用规划提供科学依据,对区域环境保护和可持续发展等提供决策参考。

1 研究区概况

汉中市位于陕西省西南部,地处川陕甘 3 省毗邻地区,北依秦岭,与陕西省宝鸡市、西安市为邻,南靠巴山,与四川省广元市、巴中市毗连,东与陕西省安康市相接,西与甘肃省陇南市接壤。范围界于东经 105°30′50″—108°16′45″,北纬 32°08′54″—33°53′16″,度东西长 258.6 km,南北宽 192.9 km,总面积 27 246 km²,处于暖温带与亚热带气候的过渡带,气候特点是温暖潮湿,夏无酷暑,冬无严寒,四季分明。年平均气温 11℃—14.9℃;多年平均降雨量 700~900 mm;年平均日照时数 1590.5 h;无霜期 200~250 d。地

貌类型以山地为主,占总面积的 75.2%,次为丘陵,占 14.6%,平坝仅占 10.2%。区内河谷盆地区土壤肥沃,是著名的粮食产区;丘陵地山区植被丰富多样;高山区原始林木茂盛,森林覆盖率 80% 以上,是国家级重点生态功能区和水源涵养地,同时也是“南水北调”中线引水和陕西“引汉济渭”工程的主要水源保护地。全市 11 个县区,人口 374 万。汉中市矿产资源富集,生物资源丰富,其生物、矿产、水能、旅游、军工企业五大资源在全省具有一定位置,经济开发潜力大。2018 年全市生产总值 1 471.88 亿元,农业精耕细作程度高,粮油生产、生猪养殖、茶产业在全省占有重要位置,工业经济是国民经济的支柱,主要已装备制造、烟酒食品、有色冶金、医药化工为主。

2 数据与方法

2.1 数据源及土地利用信息提取

以研究区 1990 年、2000 年、2010 年、2015 年的四期 Landsat TM/ETM 遥感影像为数据源,运用 ERDAS 9.3 软件对四期遥感影像进行波段组合、几何校正、投影转换、图像镶嵌、区域裁剪等预处理的基础上,按照 2007 年 8 月颁布的《土地利用现状分类》国家标准,结合研究区土地利用特征及遥感影像特点,将研究区土地利用类型分为 6 个一级类型:耕地、林地、草地、水域、建设用地(城镇用地、工矿用地)、未利用地。利用监督分类和人工目视判读相结合的方法进行遥感影像的解译,生成四期土地利用数据(图 1)。为保证解译质量和数据一致性,利用汉中市 1:5 万地形图以及 Google Earth 高分辨率影像对土地利用解译结果进行了选点验证,评价结果显示各土地利用类型的解译精度均超过 85%。最后应用 GIS 技术对 4 期数据进行空间叠置,最终得出 3 个时段土地利用类型变化数据。

2.2 研究方法

2.2.1 单一土地利用动态度 单一土地利用动态度表达一定时间范围内某种土地利用类型的数量变化,它可以直观反映不同土地利用类型变化的速度与幅度,对于理解和预测土地利用格局有很重要的作用^[15]。其计算公式为:

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

式中:K 为某一土地利用类型动态度;U_a 和 U_b 分别

为研究期初和研究期末某土地利用类型的面积; T 为研究时段长。

2.2.2 综合土地利用动态度 综合土地利用动态度用来描述区域土地利用的变化率,表示一个区域内土地利用类型发生变化的强烈程度^[16]。其计算公式可表示为:

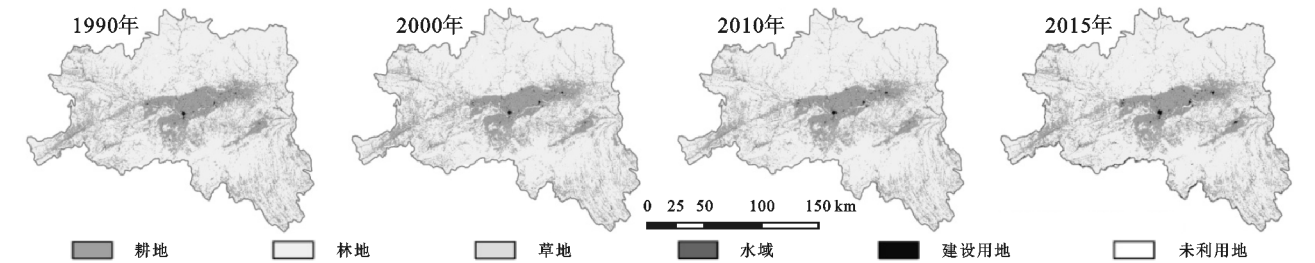


图 1 汉中市不同年份土地利用状况

2.2.3 生态服务价值评估 1997 年 Costanza 等提出了生态系统服务价值估算的原理和方法,为区域土地利用变化与生态服务价值估算搭建了定量评价的桥梁。计算公式如下:

$$ESV=\sum_{i=1}^m\sum_{j=1}^nA_iE_{ij}$$
 (3)

式中:ESV 为区域生态系统服务总价值; A_i 为第 i 类生态系统的面积; E_{ij} 为第 i 类生态系统第 j 项服务功能的价值; m 为生态系统类型数; n 为生态系统服务类别数。

2003 年谢高地等^[17],根据中国实情提出了中国不同陆地生态系统单位面积服务价值当量表。以汉中市多年平均粮食产量 3 550 kg/hm² 为基准单产,按陕西省多年粮食平均单价 1.47 元/kg,考虑到自然生态系统缺乏人力投入,其产生的服务价值低,一般用平均粮食产量与平均单价相乘的 1/7 来核算单位面积耕地提供的食物生产服务价值,得出汉中市农田自然粮食产量的经济价值为 745.5 元/hm²/a。根据以上数据测算出汉中市不同生态系统单位面积生态系统服务价值表(表 1)。

表 1 研究区不同生态系统单位面积生态服务价值
元/hm²

| 类型 | 林地 | 草地 | 耕地 | 水域 | 未利用地 |
|---------|----------|---------|---------|----------|--------|
| 气体调节 | 2609.26 | 596.41 | 372.76 | 0.00 | 0.00 |
| 气候调节 | 2012.85 | 670.94 | 663.50 | 342.93 | 0.00 |
| 水源涵养 | 2385.59 | 596.41 | 447.30 | 15193.29 | 22.36 |
| 土壤形成与保护 | 2907.44 | 1453.72 | 1088.43 | 7.45 | 14.91 |
| 废物处理 | 976.60 | 976.60 | 1222.63 | 13553.20 | 7.45 |
| 生物多样性保护 | 2430.34 | 812.59 | 529.30 | 1863.76 | 253.48 |
| 食物生产 | 74.56 | 223.65 | 745.50 | 223.65 | 7.45 |
| 原材料生产 | 1938.30 | 37.28 | 74.56 | 52.19 | 0.00 |
| 娱乐文化 | 954.23 | 29.81 | 7.45 | 4137.52 | 7.45 |
| 合计 | 16289.02 | 5397.42 | 5151.41 | 35373.98 | 313.12 |

$$LC=\left[\frac{\sum_{i=1}^n\Delta LU_{i-j}}{2\sum_{i=1}^nLU_i}\right]\times\frac{1}{T}\times100\%$$
 (2)

式中:LU_{*i*} 为研究期初第 i 类土地利用类型面积; ΔLU_{i-j} 为监测时段内第 i 类土地利用类型转为非 i 类土地利用类型的面积; T 为监测时段长度。

2.2.4 生态贡献率 生态贡献率表示某一时间段不同土地利用类型产生的生态服务价值变化量对区域总服务价值变化量的影响大小,可用来揭示影响区域生态服务价值变化的主要贡献因子和敏感因子。其计算公式如下:

$$S_{KT}=\frac{|\Delta ESV_{KT}|}{\sum_{K=1}^5|\Delta ESV_{KT}|}\times100\%$$
 (4)

式中: S_{KT} 为 K 类生态系统在时间段 T 的生态服务贡献率; ΔESV_{KT} 为 K 类生态系统在时间段 T 内的生态服务价值变化量。

2.2.5 敏感性分析 为了揭示生态系统服务价值随着时间的变化对于价值指数的依赖程度,选取弹性系数来计算研究区价值系数对生态系统服务价值的敏感性指数(coefficient of sensitive, CS)^[18-19],敏感性指数是指生态服务价值系数变动 1%引起生态系统服务价值的变化情况。所用公式如下:

$$CS=\frac{(ESV_j-ESV_i)/ESV_i}{(VC_{jk}-VC_{ik}/VC_{ik})}$$
 (5)

式中:VC_{*ik*} 和 VC_{*jk*} 代表调整前后的第 K 类生态系统单位面积生态服务价值系数;ESV_{*i*} 和 ESV_{*j*} 分别代表调整前后的生态服务总价值。CS 为研究区各生态系统服务价值系数的敏感度,如果 CS<1,表明 ESV 相对于 VC 是缺乏弹性的,即生态服务价值对价值系数不敏感;反之,如果 CS>1,表明 ESV 相对于 VC 是富有弹性的,即生态服务价值对价值系数敏感。CS 越大,说明 VC 对 ESV 的影响越大,其取值的准确性也越重要,表明生态服务功能价值指数的准确性越关键。

3 结果与分析

3.1 汉中市土地利用时空演变

汉中市土地利用以林地和耕地为主,分别占总面

积的 73%和 22%以上(表 2)。1990—2015 年汉中市土地利用变化总体趋势表现为草地、耕地、水域和未利用地减少,而林地和建设用地面积增加,其中耕地减少面积最多,达 54 769.24 hm²,由 1990 年的 24.19%下降到 2015 年的 22.18%,草地面积减少了 3 069.95 hm²,减幅为 23.82%,水域面积减少了 5 253.75 hm²,减幅为 23.32%,未利用地减少 97.61 hm²,减幅为 11.29%;面积增加最多的为林地,25 a 间增加了 60 308.86 hm²,增幅 3.02%,建设用地面积增加 3 757.30 hm²,增幅 16.26%。1990—2000 年,林地、建设用地和未利用地面积增加,草地、耕地、水域面积减少,建设用地增幅最大达 8.38%,水域减幅最大达 22.33%。2000—2010 年耕地和未利用地分别减少了 4.44%和 6.40%,其他地类面积均增加,增幅最大的为建设用地 7.65%。2010—2015 年,除林地面积增加外,其他地类面积均减少,减幅最大的为草地和未利用地,分别减少了 9.27%和 7.29%。这与城镇化进程中,耕地被大量建设成住宅和公共设施有关,另外,退耕还林还草政策是导致汉中市耕地减少,林地增加的主要原因。

1990—2015 年汉中市各县区土地利用类型面积的变化见表 3,每个县区的林地面积都在增加,耕地面积均在减少,林地面积增加和耕地面积减少最多的是位于山区的镇巴县、宁强县、略阳县和勉县,位于盆地中心的汉台区增减幅度不大,这与退耕还林主要在坡度较大的山区实施有关。所有县区的草地面积均在减少,其中减少较多的为勉县和西乡县,略阳县、佛坪县和洋县面积变化不大,其他县区减少均在 200 hm²左右,从时间序列来看,位于山区的镇巴县、宁强县、西乡县、勉县和留坝县草地面积减少主要发生在 1990—2000 年,而位于盆地中心的南镇县、汉台区和城固县则主要发生在 2010—2015 年,总体上所有县区在 2000—2010 年草地面积变化不大。城固县、勉县、洋县、西乡县、南镇县、宁强县水域面积减少较多,其他县区减少不明显。每个县区的建设用地面积都在增加,增加最快的是汉台区,其次是勉县、洋县、城固县、西乡县和南镇县,其他县略有增加。城固县和佛坪县未利用地面积有所增加,其他县区均在减少,面积变化主要集中在镇巴县、城固县、西乡县和勉县。

3.2 汉中市土地利用类型变化的速度

在 3 个研究时段内,2010—2015 年汉中市土地利用类型变化最为强烈(0.426),而 1990—2000 年和 2000—2010 年分别仅为 0.144,0.103(表 4),说明 2010 年以来大多数土地类型受人类活动影响明显加强。1990—2015 年各土地利用类型变化的速度由大到小的顺序为:草地>水域>建设用地>未利用

地>耕地>林地,增加幅度最大的为建设用地,减少幅度最大的为草地和水域。

表 2 1990—2015 年汉中市土地利用类型面积变化

| 类型 | 参数 | 1990 年 | 2000 年 | 2010 年 | 2015 年 |
|------|--------------------|------------|------------|------------|------------|
| 林地 | 面积/hm ² | 1998337.93 | 2023662.38 | 2049960.53 | 2058646.79 |
| | 比例/% | 73.34 | 74.27 | 75.24 | 75.56 |
| 草地 | 面积/hm ² | 12885.90 | 10610.13 | 10819.33 | 9815.94 |
| | 比例/% | 0.47 | 0.39 | 0.40 | 0.36 |
| 耕地 | 面积/hm ² | 659114.48 | 638969.95 | 610577.91 | 604345.23 |
| | 比例/% | 24.19 | 23.45 | 22.41 | 22.18 |
| 水域 | 面积/hm ² | 22526.62 | 17495.54 | 18028.52 | 17272.87 |
| | 比例/% | 0.83 | 0.64 | 0.66 | 0.63 |
| 建设用地 | 面积/hm ² | 23114.93 | 25051.00 | 26872.63 | 26966.19 |
| | 比例/% | 0.85 | 0.92 | 0.99 | 0.99 |
| 未利用地 | 面积/hm ² | 8620.15 | 8811.00 | 8247.52 | 7646.54 |
| | 比例/% | 0.32 | 0.32 | 0.30 | 0.28 |

3.3 生态敏感性分析

运用 CS 计算模型,按 50%的幅度上下调整各土地利用类型的价值指数,计算了汉中市不同年份的生态系统服务价值敏感性指数(表 5)。结果显示,各地类的敏感性指数均小于 1;ESV 相对于 VC 是缺乏弹性的,说明所采用的生态服务价值系数适合研究区的情况,计算的生态服务价值是可信的。1990 年以来,林地的敏感性指数呈增长的趋势,草地和耕地的敏感性指数呈减小的趋势,说明林地生态服务价值变化对汉中市生态系统服务总价值具有放大作用,而草地和耕地则产生了缩小作用。未利用地的敏感性指数接近于 0,表明未利用地生态系统服务价值变化对汉中市生态系统服务总价值的变化影响不大。水域敏感性指数呈现减小—增大—减小的变化,表明水域的生态系统服务价值变化对汉中市生态系统服务总价值的变化产生先缩小,后放大,再缩小的变化。敏感性指数最高的为林地,在 0.884 2~0.898 7,说明林地对服务价值的贡献率最大,其次为耕地和水域,分别在 0.083 4~0.092 2;0.016 4~0.021 6,草地和未利用地均在 0.002 以下。

3.4 汉中市土地利用类型生态服务价值变化

汉中市 1990 年、2000 年、2010 年和 2015 年的生态服务价值分别为 368.15 亿元、369.34 亿元、372.36 亿元和 373.13 亿元,总体上呈现逐年增加的趋势,25 a 间增加了 4.98 亿元(表 6)。林地的生态价值增加了 9.82 亿元,耕地和水域生态价值减少较多,分别减少了 2.82 亿元和 1.86 亿元;草地和未利用土地生态价值略有减少,林地生态服务价值的增加足以弥补其他地类生态价值的减少。在各种土地利用类型中

林地产生的生态价值最大,占总价值的 88%以上,其次是耕地,占总价值的 8.34%~9.22%,最少的为未利用地仅占总价值的 0.01%左右。水域面积约占总面积的 0.7%左右,但其产生的生态价值却占总价值的 1.6%以上。可见,水域的生态效应与景观效应是十分明显的。

表 3 1990—2015 年汉中市各县区不同土地类型面积变化 hm²

| 县(区) | 时段 | 林地 | 草地 | 耕地 | 水域 | 建设用地 | 未利用地 |
|------|-----------|----------|----------|-----------|----------|---------|---------|
| 镇巴县 | 1990—2000 | 4944.71 | —260.80 | —4488.83 | 24.27 | 14.15 | —233.51 |
| | 2000—2010 | 556.99 | 0.00 | —577.21 | 26.28 | 9.10 | —15.16 |
| | 2010—2015 | 1708.73 | —0.94 | —1368.93 | —297.67 | 32.47 | —73.67 |
| 南郑县 | 1990—2015 | 7210.43 | —261.74 | —6434.97 | —247.11 | 55.72 | —322.33 |
| | 1990—2000 | 872.28 | —62.43 | —171.22 | —711.29 | 123.82 | —51.17 |
| | 2000—2010 | 2086.05 | 40.93 | —2590.58 | 55.26 | 475.88 | —67.55 |
| 宁强县 | 2010—2015 | —277.22 | —188.80 | 719.28 | —16.51 | —206.41 | —30.35 |
| | 1990—2015 | 2681.12 | —210.30 | —2042.51 | —672.53 | 393.30 | —149.07 |
| | 1990—2000 | 4013.35 | —298.96 | —3338.89 | —415.29 | 66.32 | —26.53 |
| 西乡县 | 2000—2010 | 7965.86 | 34.69 | —7967.90 | —279.58 | 36.73 | 210.19 |
| | 2010—2015 | 1235.82 | —6.03 | —1149.48 | 162.01 | —10.72 | —231.59 |
| | 1990—2015 | 13215.04 | —270.30 | —12456.27 | —532.86 | 92.33 | —47.93 |
| 汉台区 | 1990—2000 | 2379.08 | —425.16 | —1445.34 | —915.65 | 271.38 | 135.69 |
| | 2000—2010 | 1689.58 | 0.02 | —1766.29 | 394.56 | 9.49 | —327.36 |
| | 2010—2015 | 564.02 | —23.13 | —552.53 | —79.59 | 165.73 | —74.48 |
| 略阳县 | 1990—2015 | 4632.67 | —448.26 | —3764.17 | —600.68 | 446.59 | —266.16 |
| | 1990—2000 | 263.07 | 25.10 | —340.38 | —375.53 | 534.17 | —106.43 |
| | 2000—2010 | 121.49 | 22.09 | —276.12 | —22.09 | 156.64 | —2.01 |
| 勉县 | 2010—2015 | 56.24 | —240.00 | 34.51 | 6.97 | 110.17 | 32.11 |
| | 1990—2015 | 440.80 | —192.81 | —581.99 | —390.64 | 800.98 | —76.33 |
| | 1990—2000 | 3794.23 | —14.14 | —3722.51 | —82.83 | 52.53 | —27.27 |
| 城固县 | 2000—2010 | 4088.19 | 0.00 | —4105.37 | 6.06 | 25.25 | —14.14 |
| | 2010—2015 | 2421.33 | —2.01 | —2323.59 | —45.27 | —13.08 | —37.37 |
| | 1990—2015 | 10303.75 | —16.16 | —10151.46 | —122.05 | 64.71 | —78.79 |
| 洋县 | 1990—2000 | 3235.02 | —1097.76 | —1591.90 | —631.74 | 250.08 | —163.71 |
| | 2000—2010 | 6049.21 | 2.01 | —6516.23 | 52.23 | 458.99 | —46.20 |
| | 2010—2015 | 649.04 | —49.14 | —345.02 | —161.66 | —80.19 | —13.02 |
| 佛坪县 | 1990—2015 | 9933.26 | —1144.89 | —8453.15 | —741.17 | 628.88 | —222.93 |
| | 1990—2000 | 1114.65 | —11.05 | —715.99 | —994.15 | 295.23 | 311.30 |
| | 2000—2010 | 1275.32 | 44.18 | —1737.25 | 37.16 | 430.80 | —50.21 |
| 留坝县 | 2010—2015 | 551.05 | —203.81 | —126.58 | —99.37 | —171.55 | 50.26 |
| | 1990—2015 | 2941.03 | —170.67 | —2579.82 | —1056.36 | 554.48 | 311.35 |
| | 1990—2000 | 1504.29 | 118.50 | —1297.42 | —907.80 | 270.13 | 312.31 |
| 佛坪县 | 2000—2010 | 1436.00 | 56.24 | —1722.20 | 257.07 | 281.18 | —308.29 |
| | 2010—2015 | 505.30 | —273.43 | —144.77 | —63.83 | 75.00 | —98.26 |
| | 1990—2015 | 3445.59 | —98.70 | —3164.40 | —714.55 | 626.31 | —94.24 |
| 留坝县 | 1990—2000 | 968.28 | —49.22 | —991.38 | —11.05 | 36.16 | 47.21 |
| | 2000—2010 | 395.75 | 0.00 | —486.15 | 6.03 | 20.09 | 64.28 |
| | 2010—2015 | 504.74 | —5.03 | —343.91 | —71.35 | 10.04 | —94.48 |
| 留坝县 | 1990—2015 | 1868.77 | —54.25 | —1821.44 | —76.38 | 66.29 | 17.01 |
| | 1990—2000 | 2235.49 | —199.85 | —2040.67 | —10.04 | 22.09 | —7.03 |
| | 2000—2010 | 633.69 | 9.04 | —646.75 | 0.00 | 11.05 | —7.03 |
| 留坝县 | 2010—2015 | 767.22 | —11.05 | —631.65 | —89.38 | —5.02 | —30.12 |
| | 1990—2015 | 3636.40 | —201.86 | —3319.06 | —99.42 | 28.12 | —44.18 |

表 4 1990—2015 年汉中市土地利用类型的动态度

| 时间 | 单一土地利用动态度 | | | | | | 综合土地 利用动态度 |
|-----------|-----------|--------|--------|--------|-------|--------|---------------|
| | 林地 | 草地 | 耕地 | 水域 | 建设用地 | 未利用地 | |
| 1990—2000 | 0.127 | −1.766 | −0.306 | −2.233 | 0.838 | 0.221 | 0.144 |
| 2000—2010 | 0.130 | 0.197 | −0.444 | 0.305 | 0.765 | −0.640 | 0.103 |
| 2010—2015 | 0.085 | −1.855 | −0.204 | −0.838 | 0.069 | −1.457 | 0.426 |
| 1990—2015 | 0.121 | −0.953 | −0.332 | −0.933 | 0.650 | −0.452 | 0.138 |

| 年份 | 林地 | 草地 | 耕地 | 水域 | 未利用 |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1990 | 0.8842 | 0.0019 | 0.0922 | 0.0216 | 0.0001 |
| 2000 | 0.8925 | 0.0016 | 0.0891 | 0.0168 | 0.0001 |
| 2010 | 0.8968 | 0.0016 | 0.0845 | 0.0171 | 0.0001 |
| 2015 | 0.8987 | 0.0014 | 0.0834 | 0.0164 | 0.0001 |

1990—2015 年汉中市各县区土地的生态服务价值见表 7,生态服务价值较大的为西乡县、洋县、宁强县、略阳县和南郑县,均在 40 亿元以上,其次是勉县、留坝县和城固县,均在 30 亿元以上,汉台区最小,仅

有 5.6 亿元。镇巴县生态服务价值呈先增加后减少的变化,南镇县、汉台区、城固县和洋县则相反,其他县呈持续增加的趋势。总体上生态服务价值增加最快的为西部的宁强县、勉县和略阳县,增幅均在 2.8% 以上,其次为北部的留坝县和佛坪县,增幅在 1% 左右,东、南部普遍增幅较小,均在 0.5% 以下,处于盆地中部的汉台区和城固县则有减小趋势,特别是汉台区减少幅度较大,达 2.03%,主要是耕地和水域大面积减少,而建设用地大幅增加所致。

表 6 1990—2015 年汉中市土地利用类型生态服务价值及其变化

| 时间 | 价值 | 林地 | 草地 | 耕地 | 水域 | 未利用地 | 合计 |
|-----------|------------------------|----------|--------|---------|---------|--------|----------|
| 1990 | 价值/10 ⁶ 元 | 32550.96 | 69.55 | 3395.37 | 796.86 | 2.70 | 36815.44 |
| 2000 | 价值/10 ⁶ 元 | 32963.47 | 57.27 | 3291.60 | 618.89 | 2.76 | 36933.98 |
| 2010 | 价值/10 ⁶ 元 | 33391.84 | 58.40 | 3145.34 | 637.74 | 2.58 | 37235.90 |
| 2015 | 价值/10 ⁶ 元 | 33533.34 | 52.98 | 3113.23 | 611.01 | 2.39 | 37312.95 |
| 1990—2000 | 价值变化/10 ⁶ 元 | 412.51 | −12.28 | −103.77 | −177.97 | 0.06 | 118.54 |
| | 增减比例/% | 1.27 | −17.66 | −3.06 | −22.33 | 2.21 | 0.32 |
| 2000—2010 | 价值变化/10 ⁶ 元 | 428.37 | 1.13 | −146.26 | 18.85 | −0.18 | 301.92 |
| | 增减比例/% | 1.30 | 1.97 | −4.44 | 3.05 | −6.40 | 0.82 |
| 2010—2015 | 价值变化/10 ⁶ 元 | 141.49 | −5.42 | −32.11 | −26.73 | −0.19 | 77.05 |
| | 增减比例/% | 0.42 | −9.27 | −1.02 | −4.19 | −7.29 | 0.21 |
| 1990—2015 | 价值变化/10 ⁶ 元 | 982.37 | −16.57 | −282.14 | −185.85 | −0.30 | 497.51 |
| | 增减比例/% | 3.02 | −23.82 | −8.31 | −23.32 | −11.29 | 1.35 |

表 7 1990—2015 年汉中市各县区生态服务价值及其变化

| 县(区) | 1990 | 2000 | 2010 | 2015 | 1990—2000 | 2000—2010 | 2010—2015 | 1990—2015 |
|------|---------|---------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 镇巴县 | 1416.72 | 1430.60 | 1420.54 | 1420.75 | 13.87 | −10.06 | 0.21 | 4.03 |
| 南郑县 | 4081.05 | 4071.80 | 4095.40 | 4093.08 | −9.25 | 23.60 | −2.32 | 12.02 |
| 宁强县 | 4694.12 | 4734.14 | 4819.62 | 4841.93 | 40.02 | 85.48 | 22.31 | 147.81 |
| 西乡县 | 4822.03 | 4823.32 | 4857.11 | 4861.25 | 1.29 | 33.79 | 4.14 | 39.22 |
| 汉台区 | 560.92 | 549.74 | 549.41 | 549.52 | −11.18 | −0.33 | 0.11 | −11.40 |
| 略阳县 | 4415.26 | 4463.56 | 4512.25 | 4541.17 | 48.30 | 48.69 | 28.92 | 125.91 |
| 勉县 | 3373.29 | 3394.63 | 3467.09 | 3470.48 | 21.33 | 72.46 | 3.40 | 97.19 |
| 城固县 | 3094.86 | 3075.23 | 3088.81 | 3093.18 | −19.63 | 13.58 | 4.38 | −1.68 |
| 洋县 | 4702.00 | 4691.88 | 4716.38 | 4720.89 | −10.12 | 24.50 | 4.51 | 18.89 |
| 佛坪县 | 2199.22 | 2212.56 | 2216.32 | 2220.79 | 13.34 | 3.76 | 4.46 | 21.56 |
| 留坝县 | 3455.95 | 3486.53 | 3492.97 | 3499.90 | 30.58 | 6.44 | 6.94 | 43.95 |

3.5 汉中市各生态服务功能价值及其变化

汉中市生态系统各项服务功能产生的价值由大到小依次为:土壤形成与保护、气体调节、水源涵养、

生物多样性保护、气候调节、原材料生产、废物处理、娱乐文化、食物生产(表 8),其中价值最大的 4 项服务功能始终占总价值的 61%以上,这恰好反映了汉中市生态系统类型的分布格局和服务功能的构成情况,汉中市以林地生态系统为主,而林地的土壤形成与保护、气体调节和生物多样性保护价值远大于其他生态系统。近 25 a 来,废物处理和食物生产 2 项服务功能价值减少,其他 7 项服务功能价值均有不同程

度的增加,其中增加较多的为土壤形成与保护、气体调节、原材料生产和生物多样性保护等 4 项功能,主要原因是产生较大土壤形成与保护、气体调节、原材料生产和生物多样性保护服务功能的林地面积不断扩大,而产生最大食物生产、废物处理服务价值的耕地和水域面积持续减少。汉中市各生态服务功能价值构成及其变化趋势与陕西省其他地区不同^[20],这与研究区所处的地理位置和生态条件等有关。

表 8 1990—2015 年汉中市生态系统各类服务价值构成及其变化 10⁶ 元

| 类型 | 1990 年 | 2000 年 | 2010 年 | 2015 年 | 1990—2000 年 | 2000—2010 年 | 2010—2015 年 | 1990—2015 年 |
|---------|---------|---------|---------|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 气体调节 | 5467.56 | 5524.77 | 5582.93 | 5602.67 | 57.21 | 58.16 | 19.74 | 135.11 |
| 气候调节 | 4476.05 | 4510.41 | 4544.82 | 4557.24 | 34.36 | 34.42 | 12.42 | 81.19 |
| 水源涵养 | 5412.17 | 5385.78 | 5444.03 | 5449.87 | −26.39 | 58.25 | 5.84 | 37.70 |
| 土壤形成与保护 | 6546.49 | 6594.85 | 6640.70 | 6657.70 | 48.36 | 45.86 | 17.00 | 111.22 |
| 废物处理 | 3075.38 | 3005.07 | 3003.46 | 2993.10 | −70.31 | −1.61 | −10.36 | −82.28 |
| 生物多样性保护 | 5260.14 | 5299.85 | 5349.76 | 5365.19 | 39.71 | 49.91 | 15.44 | 105.05 |
| 食物生产 | 648.34 | 633.58 | 614.53 | 610.14 | −14.76 | −19.04 | −4.40 | −38.20 |
| 原材料生产 | 3924.17 | 3971.40 | 4020.30 | 4036.59 | 47.24 | 48.89 | 16.30 | 112.42 |
| 娱乐文化 | 2005.44 | 2008.58 | 2035.67 | 2040.75 | 3.13 | 27.09 | 5.08 | 35.30 |

3.6 汉中市不同土地利用类型对生态服务价值变化的贡献率

1990—2000 年、2000—2010 年、2010—2015 年 3 个时段,林地对生态服务价值变化的贡献率最大(72.02%),其次为耕地(24.59%)和水域(25.19%)(表 9)。1990—2015 年林地、耕地和的生态贡献率分别为 66.95%,12.67%和 19.23%,三者之和超过 98%。3 个时期,林地、耕地、水域的生态贡献率变化较大,最大变化分别为 13.64%,9.9%和 22.02%,说明林地、耕地和水域产生的生态服务价值变化量对区域总服务价值变化影响较大,因而是主要贡献因子和敏感因子。

表 9 1990—2015 年汉中市不同土地利用类型生态服务价值变化的贡献率 %

| 时间 | 林地 | 草地 | 耕地 | 水域 | 未利用地 |
|-----------|-------|------|-------|-------|------|
| 1990—2000 | 58.38 | 1.74 | 14.69 | 25.19 | 0.01 |
| 2000—2010 | 72.02 | 0.19 | 24.59 | 3.17 | 0.03 |
| 2010—2015 | 68.71 | 2.63 | 15.59 | 12.98 | 0.09 |
| 1990—2015 | 66.95 | 1.13 | 19.23 | 12.67 | 0.02 |

4 结 论

(1) 汉中市的主要土地利用类型是林地和耕地,两者占全市总面积的 97%以上,在研究时段内草地、耕地、水域和未利用地面积减少,其中耕地减少最大,林地和建设用地面积增加,建设用地增幅达 16.26%。林地增加和耕地减少最多的是位于山区的镇巴县、宁

强县、略阳县和勉县,这与退耕还林主要在坡度较大的山区实施有关。除未利用地和草地外,2010—2015 年其他地类单一土地利用类型变化的速度低于前两个时期,但综合土地利用动态度却明显高于前两个时期,说明 2010 年以来不同地类间的转化更为频繁,人类活动对土地利用的影响明显加强。

(2) 1990—2015 年汉中市生态服务价值呈增加趋势,林地面积扩大是生态服务价值的增加的主要原因。生态服务价值增加最多的为西部的宁强县、勉县和略阳县,因为三县境内的林地面积增加最多。林地和耕地对生态服务价值变化有明显的放大和缩小效应,是主要的贡献因子和敏感因子。

(3) 1990—2015 年除废物处理和食物生产外,其他各项生态服务功能价值均呈增加趋势。各项生态服务功能价值由大到小依次为:土壤形成与保护、气体调节、水源涵养、生物多样性保护、气候调节、原材料生产、废物处理、娱乐文化、食物生产。

(4) 在所有地类中,水域及草地的总生态服务价值减少幅度较大,而水域的生态效应与景观效应最为明显,因此在制定生态补偿政策时,应强调对水域和草地的补偿强度;在调整土地利用规划时,应注重对湿地、水域及草地的保护。

参考文献:

[1] 杜金龙,朱记伟,解建仓,等.近 25 a 关中地区土地利用及其景观格局变化[J].干旱区研究,2018,35(1):217-226.

- [2] 李慧燕,常庆瑞,马廷刚,等.铜川市土地利用/土地覆被动态变化研究[J].水土保持通报,2011,31(2):211-214.
- [3] 周秋文,杨胜天,罗亚,等.2001—2009 年中国及周边国家土地利用/覆被变化分析[J].世界地理研究,2012,21(2):64-71.
- [4] 封建民,王黎,文琦.榆神府矿区土地利用变化及合理性分析[J].水土保持研究,2015,22(1):188-193.
- [5] Denis Ruelland, Antoine Tribotte, Christian Puech, et al. Comparison of methods for LUCC monitoring over 50 years from aerial photograph and satellite images in a Sahelian catchment [J]. International Journal of Remote Sensing, 2011,3232(6):1747-1777.
- [6] 陈海燕,邵全琴,安如.1980s—2005 年内蒙古地区生态系统服务功能价值的时空变化分析[J].地球信息科学学报,2014,16(4):582-591.
- [7] 元媛,靳占忠,刘宏娟,等.河北省 38°N 生态样带生态系统服务功能时空变化[J].自然资源学报,2011,26(7):1166-1179.
- [8] 张杨,刘艳芳,顾渐萍,等.武汉市土地利用覆被变化与生态环境效应研究[J].地理科学,2011,3131(10):1280-1285.
- [9] 封建民,郭玲霞.陕西省神木县土地利用格局和生态服务价值和生态服务价值变化[J].水土保持通报,2014,34(6):293-298.
- [10] 高练,周勇.武汉市土地利用/土地覆盖变化的生态环境效应分析[J].农业工程学报,2008,2424(1):73-77.
- [11] 贡璐,吕光辉,丁建丽,等.塔里木河上游土地利用变化中的生态价值损益分析[J].生态学杂志,2006,2525(5):526-530.
- [12] 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,2011,31(1):110-116.
- [13] 罗维,易海杰,李红举,等.洋河流域土地利用时空变异及其对生态服务功能价值的影响[J].生态学报,2017,37(16):5342-5351.
- [14] 吴琳娜,杨胜天,刘晓燕,等.1976 年以来北洛河流域土地利用变化对人类活动程度的响应[J].地理学报,2014,69(1):54-63.
- [15] 史培军.深圳市土地利用变化机制分析[J].地理学报,2000,55(2):151-159.
- [16] 封建民,李晓华.基于遥感和 GIS 的五陵原土地利用动态变化研究[J].安徽农业科学,2011,39(7):4241-4243.
- [17] 谢高地,鲁春霞.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.
- [18] 周厚侠,望勇.基于 RS 和 GIS 的黑河中游生态服务价值对土地利用变化的影响[J].生态经济,2016,32(4):183-188.
- [19] 祖皮艳木·买买提,玉米提·哈力克,肉孜·阿基,等.基于生态系统服务价值变化的焉耆盆地环境与经济协调发展[J].应用生态学报,2015,26(3):875-883.
- [20] 封建民,文琦,郭玲霞.风沙过渡区土地利用变化对生态系统服务价值的影响:以榆林市为例[J].水土保持研究,2018,25(4):304-308.

(上接第 274 页)

- [23] 杨佳,王会霞,谢滨泽,等.北京 9 个树种叶片滞尘量及叶面微形态解释[J].环境科学研究,2015,28(3):384-392.
- [24] 肖红叶,张曼胤,崔丽娟,等.北京汉石桥湿地水质分析与净化价值评价[J].防护林科技,2016(9):4-7.
- [25] 张彪,高吉喜,谢高地,等.北京城市绿地的蒸腾降温功能及其经济价值评估[J].生态学报,2012,32(24):7698-7705.
- [26] Council D P. Technical support document: Technical update of the social cost of carbon for regulatory impact analysis under executive order 12866[R]. Environmental Protection Agency, 2013.
- [27] 国家林业局.中华人民共和国林业行业标准:自然资源(森林)资产评价技术规范[S]. LY/T2735-2016,2017.
- [28] 曹先磊,刘高慧,张颖,等.城市生态系统休闲娱乐服务支付意愿及价值评估:以成都市温江区为例[J].生态学报,2017,37(9):2970-2981.
- [29] 孙宝娣,崔丽娟,李伟,等.基于费用区间法的辽宁省滨海湿地休闲旅游价值评估[J].资源科学,2017,39(6):1160-1170.
- [30] Haines-Young R, Potschin M. Proposal for a common international classification of ecosystem goods and services(CICES)for integrated environmental and economic accounting[R]. European Environment Agency, 2010.