

# 基于遥感的生态服务价值测算与土地利用动态变化

王世东, 贾 策

(河南理工大学 测绘与国土信息工程学院, 河南 焦作 454000)

**摘 要:**生态服务价值是反映一个区域生态环境状况的优劣和整体生态效益大小的重要概念与指标。根据研究区土地利用特点和生态系统类型特征,选取适合研究区的植被净初级生产力、植被覆盖度等生态参数,利用 Landsat TM 遥感影像、地面观测、气象数据、统计资料等数据,建立了基于遥感定量测算的生态服务价值评估指标与评估模型,对研究区单项和单位面积生态服务价值进行了定量计算。结果表明:研究区在 2000—2010 年 10 年间,随着不同土地利用类型之间的相互转换,研究区生态服务价值总量呈逐渐减少的趋势。其中,耕地生态服务价值减少了 11.92%,湿地减少了 11.75%,总价值减少了 5.74%,虽然林地、水域和滩涂的生态服务价值有一定程度的增加,但是未能改变研究区总体生态服务价值不断减少的趋势。在此基础上分析了研究区生态服务价值时空变化规律,揭示了其土地利用与生态服务价值变化之间的内在关系。

**关键词:**遥感;生态服务价值;评估;土地利用;动态变化

中图分类号:F301.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)03-0258-07

## Land Use and Dynamic Change and Evaluation of Regional Ecosystem Service Values Based on RS

WANG Shidong, JIA Ce

(School of Surveying and Land Information Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454000, China)

**Abstract:** Ecosystem services are the conditions and processes that support the role of natural ecosystems and constituent species in supporting human survival and development. Ecosystem services include all natural resources and ecological environments that provide services and benefits to mankind. Their value forms include both tangible and physical forms of direct value, such as raw materials, food, medicine, minerals, water, etc. Intangible, non-physical form of indirect value, such as soil and water conservation, conservation of water, climate regulation, landscape enjoyment. Among them, the evaluation on direct value is easier by using some mature asset measurement methods such as earnings present value method, reset cost method. No ideal method is available for the evaluation of indirect value mainly because the evaluation standards of the ecosystem service function are not unified. Value of ecosystem service is an important concept and an index that reflects the quality of the regional ecological environment status and the measurement of the total ecological benefits. In this study, the Dawa County in Liaoning Province with typical coastal ecological characteristics was taken as an example. Based on the characteristics of land use and the types of ecosystem in the studied area, the ecological indicators including the primary productivity of the vegetation and the vegetation cover were selected and Landsat TM remote sensing image, ground-based observation, meteorological data and statistical data etc. were applied to establish the remote sensing-based assessment criteria and assessment model for quantitative estimation of the value of ecosystem service. The established assessment criteria and model were applied to conduct the quantitative calculation on the value of the single ecosystem service and the value of ecosystem service per unit area. The results indicated that during the decade of 2000—2010, with

收稿日期:2017-07-17

修回日期:2017-08-17

**资助项目:**国家自然科学基金“生态约束条件下的区域土地利用结构与空间格局优化研究”(41301617);中国博士后科学基金“基于遥感的矿区土地复垦质量评价与监测研究”(2016M590679);河南省高等学校重点科研项目“典型煤矿区土地生态质量时空变化规律与机理研究”(17A420001,16A420003);河南省高校基本科研业务费专项资金资助“焦作北部山前地带生态安全评判与治理调控研究”(NSFRF1630);河南理工大学创新性科研团队资助“矿区土地整治与生态修复”(B2017-16);河南省高校科技创新团队支持计划“煤矿区土地整治与生态修复”(18IRTSTHN008);河南理工大学青年骨干教师资助计划项目

**第一作者:**王世东(1978—),男,河南清丰县人,副教授,博士,主要从事土地利用变化与土地复垦研究。E-mail:wsd0908@163.com

the inter-conversion of different types of land use, the total value of the ecological service in the studied area displayed the gradual decreasing trend, among which the values of ecological service of the cultivation land, wetland and the total ecological service reduced by 11.92%, 11.75% and 5.74%, respectively. The values of ecological services of forest land, water bodies and intertidal zone increased to certain extend, these increased values did not change the continuous decreasing trend of the total value of ecosystem service in the studied area. Based on these assessments, the spatial and temporal changing patterns of the values of ecosystem service in the studied area were analyzed to reveal their intrinsic relationship between the land use and the changes in values of ecosystem service. This study can provide the new idea for regional ecosystem service values evaluation. The research results can provide the important scientific basis for revealing the mechanism of maintaining ecosystem security in the study area, promoting regional environmental protection, sustainable land use and sustainable development of social economy, and providing important scientific basis for prevention and control of soil erosion in the study area.

**Keywords:** RS; ecosystem service values; evaluation; land use; dynamic change

生态系统服务是指自然生态系统及其组成物种产生的对人类生存和发展有支持作用的状况和过程<sup>[1-3]</sup>。生态系统服务功能包括一切能为人类提供服务与福利的自然资源和生态环境,其价值表现形式既包括有形的、实物形态的直接价值,如原材料、食物、药品、矿产、水资源等;也包括无形的、非实物形态的间接价值,如水土保持、涵养水源、气候调节、景观享受等<sup>[4-6]</sup>。其中,直接价值的测算较为容易,可以采用一些比较成熟的资产测算方法,如收益现值法、重置成本法等,将直接价值商品化;间接价值的测算还没有理想的方法<sup>[7]</sup>,主要是由于生态系统服务功能的计量标准和测算标准不统一,同时,生态系统服务功能是动态过程,测算受时间和空间尺度的影响<sup>[8-10]</sup>。

从20世纪70年代开始,随着世界各国人口、资源、环境等问题的日益加剧,生态系统服务功能价值逐渐引起世界各国的关注,国外许多专家、学者和政府部门开始研究,并试图将其纳入国民经济的核算体系<sup>[11]</sup>。首次使用了生态系统服务一词,并列出了生态系统对人类的服务功能<sup>[12]</sup>;随后,Ehrlich等<sup>[13]</sup>探讨了自然生态系统在土壤肥力与基因库维持中的作用。1997年,Daily<sup>[14]</sup>指出,生态系统服务是指生态系统及其所属物种支撑与维持人类生存的条件和过程,进行了系统研究。此后,许多国外专家和学者从不同角度对生态服务价值评估方法进行了大量研究<sup>[15-18]</sup>。

从1997年开始,我国学者从模仿计算、参数修正到测算方法与对象等多方面进行了一系列的生态服务价值研究,并取得了不错的效果。例如,2000年,陈仲新等<sup>[19]</sup>以1994年为基准测算了中国生态系统的总价值、中国陆地生态系统价值和海洋生态系统价值。欧阳志云等<sup>[20]</sup>对水生生态系统的生态服务价值进行测算。最近几年,遥感技术的快速发展使生态服务价值测算进入了一个新的阶段,它克服了以往传统测算方法数据难

获取的问题,避免了“以点代面”的情况,有利于进行大尺度动态生态服务价值测算。李京等<sup>[21]</sup>探讨了基于遥感的生态服务价值定量测算模型和技术方法。刘庆等<sup>[22]</sup>利用遥感与GIS技术对黄河三角洲生态服务价值进行了评估。于智强等<sup>[23]</sup>利用遥感技术研究了抚州市土地利用变化与生态服务价值的关系。王爽等<sup>[24]</sup>利用遥感手段研究了艾比湖流域近20a生态服务价值对土地利用变化的响应。尹占娥等<sup>[25]</sup>基于遥感手段系统研究了上海市湿地资源与生态服务价值。

总的来说,国内生态服务价值测算的研究基本还处于模仿阶段,主要是根据国外一些研究成果,对中国地区生态服务价值测算过程中的一些参数进行修正,这未能很好的反映我国生态系统的状况和准确测算其生态服务价值。而且,国内有关生态服务价值测算方面的研究还基本上限于利用单位面积价值对总量的静态估算;虽然,近几年我国有不少学者利用遥感和GIS技术对生态服务价值进行了测算,并对生态服务价值的变化进行了分析,但这些研究还基本处于初步阶段,还需要根据中国的实际情况,综合利用遥感、GIS技术和野外测定数据,并在生态服务价值测算过程中考虑生态系统类型、质量状况的时空差异,从而使生态服务价值测算结果能真实反映它在一定区域内的时间与空间分布上的状况。

本文以具有典型滨海生态特色的辽宁省大洼县为例,利用遥感手段对研究区生态服务价值进行定量测算,并对其生态服务价值进行动态变化分析,在此基础上,深入研究土地利用变化与生态服务价值变化之间的内在联系。本研究为区域生态服务价值测算提供了一种新的思路。研究结果对揭示维持研究区生态安全的机理,促进区域环境保护、土地可持续利用与社会经济可持续发展提供参考,并为研究区水土流失防治提供重要科学依据。

# 1 研究区概况与资料来源

## 1.1 研究区概况

大洼县地处辽宁省西南部、盘锦市南部、辽东湾北岸。东南及南部为大辽河所环抱,西濒渤海辽东湾,具有典型的滨海生态县域特色<sup>[26-27]</sup>。地处 121°48′—122°21′E, 40°41′—41°09′N,全区土地总面积 1 387 km<sup>2</sup>。大洼县地势平坦,低洼多水,是由大辽河、辽河淤积退海滩涂发育而形成的滨海平原。全区属温带大陆性半湿润季风气候,具有暖温带和中温带过度性特征。年平均气温 9.3 ℃,年平均降雨量 647.3 mm。区内有大辽河、辽河、新开河及双台子河流经境内,注入渤海,流域面积 1 527 km<sup>2</sup>,海岸线长 68 km,河岸线近 100 km。土壤属温带半湿润地区黑褐色土地带,以水稻土、草甸土、沼泽土为主<sup>[26-27]</sup>。

## 1.2 数据来源与处理

本研究所用数据主要有:Landsat TM 遥感影像、土壤、植被、气象、统计等资料<sup>[26-27]</sup>。其中,选取 2000 年 9 月 3 日、2005 年 8 月 22 日和 2010 年 9 月 20 日三期 TM 影像,以 1:10 万土地利用现状图为准对影像进行几何纠正和配准,利用 ENVI 5.3 软件进行图像镶嵌与裁剪,采用以非监督分类为主,目视解译为辅的方法进行分类。首先用 ISODATA 非监督分类方法把影像自动分为 15 类,然后合并成需要的 6 种土地利用类型(耕地、林地、建设用地、湿地、水体、滩涂),得到初步分类结果;然后进行分类后处理;根据野外调查、GPS 数据、土地利用现状图及其他相关资料,采用目视解译法修改混分和错分像元,最终得到研究区土地利用分类结果;最后根据同期的地面资料和野外调查数据,随机选取若干样本区,计算其分类混淆矩阵和 Kappa 系数。结果显示,土地利用分类总体精度为 87.4%,Kappa 系数为 0.81,达到较好效果<sup>[26-27]</sup>。此外,利用 ArcGIS 10.3 软件对研究区的气象、土壤等资料进行栅格化处理,用于后续生态服务价值测算<sup>[26-27]</sup>。

# 2 研究方法

## 2.1 基于遥感手段的生态服务价值评估指标

本研究从宏观生态学角度出发,依据基于遥感的区域生态服务价值估算的特点,确定基于遥感技术的生态服务价值评估指标为,具体见表 1。

## 2.2 生态系统遥感分类

不同的生态系统类型包含的直接价值和间接价值是不同的,因此基于遥感的生态服务价值测算的首要任务就是建立适于采用遥感技术进行生态服务价值测算的生态系统分类体系,然后再利用多源与多尺度遥感技

术与方法获取这些生态类型的空间分布状况。

表 1 基于遥感手段的生态服务价值评估指标

序号	生态系统服务功能	价值体现
1	食品生产与太阳能固定	有机物质生产
2	促进营养元素循环	营养物质循环和贮存
3	供水与水调节	涵养水源
4	保持沉积物与控制侵蚀	保持水土
5	气候调节	吸纳二氧化碳与释放氧气
6	为生物提供繁衍生息的场所,控制有害生物数量	维持生物多样性

根据我国《土地利用现状分类》(中华人民共和国国家标准 GB/T21010—2007)和全国土地利用/覆盖分类体系,并参考研究区土地利用特征和 TM 遥感图像的空间分辨率(30 m×30 m),本研究共划分出 6 种土地利用类型,即:耕地、林地、建设用地、湿地、水域、滩涂。

## 2.3 生态参数遥感测算

同一生态系统类型分布在不同的空间位置,其质量状况是不同的,并随时间不断变化;同时,生态系统的生态服务价值随着生态系统的质量状况在不断变化<sup>[1,4]</sup>。生态系统的质量状况可以通过一系列的生态参数来反映,而这些生态参数随时间与空间变化的全覆盖数据只有通过遥感方法才能够获取<sup>[1,4]</sup>。根据研究区特点,本文选取植被净初级生产力和植被覆盖度两个生态参数来反映生态系统的质量状况。

(1) 植被净初级生产力。也称作植被净第一性生产力(Net Primary Production,NPP),是指绿色植物在单位时间和单位面积内所生产的有机物质数量,表现为植物通过光合作用固定的有机碳中扣除自身呼吸消耗掉的部分<sup>[1,4]</sup>。本文借助遥感技术,采用基于资源平衡观点的光能利用率概念模型来计算植被净初级生产力。

(2) 植被覆盖度。植被覆盖度(*f*)是指植被投影面积在单位面积上所占的比例,反映植被的茂密程度和植物进行光合作用面积的大小,与植被指数存在关系,由 NDVI 求得。

## 2.4 生态服务价值遥感定量测算模型

一定区域内的生态服务价值的总量是该区域内各种生态系统提供的直接价值和间接价值的总和,并随时间和区域内所包含的各种生态系统的类型、面积、质量的不同而变化。某一区域内的生态服务价值总量(*V*)可以用式(1)表示:

$$V=\sum_{c=1}^nV_c \tag{1}$$

式中:*c*=1,2,⋯,*n* 为生态系统的类型;*V<sub>c</sub>* 为第 *c* 类生态系统的生态服务价值。

$$V_c=\sum_{i=1}^n\sum_{j=1}^mR_{ij}\times V_{ci}\times S_{ij} \tag{2}$$

式中:  $i=1,2,\dots,n$  为第  $c$  类生态系统的第  $i$  种生态服务功能;  $V_{ci}$  表示第  $c$  类生态系统的第  $i$  种生态服务类型的单位面积价值;  $j=1,2,\dots,m$  为某一区域内  $V_{ci}$  在空间上的像元数量;  $S_{ij}$  为像元的面积大小(本研究中取  $30\text{m}\times 30\text{m}$ );  $R_{ij}$  为像元的调整系数,由生态系统的质量状况来决定。

$$R_{ij}=F(A_1,A_2,\dots,A_n) \quad (3)$$

式中:  $A_1,A_2,\dots,A_n$  为表示生态系统质量状况的生态参数,不同质量状况的相同生态系统类型的  $V_{ci}$  是不一样的,其差别通过  $R_{ij}$  来调整<sup>[22]</sup>。本研究选取植被净初级生产力(NPP)和植被覆盖度( $f_j$ )作为描述当年生态系统质量状况的生态参数,对于某一像元,调整系数  $R_{ij}$  可以由使式(4)表示:

$$R_{ij}=\frac{\left(\frac{\text{NPP}_j}{\text{NPP}_{\text{mean}}}+\frac{f_j}{f_{\text{mean}}}\right)}{2} \quad (4)$$

式中:  $\text{NPP}_{\text{mean}}$  和  $f_{\text{mean}}$  为一定区域内第  $c$  类生态系统的 NPP 和  $f$  的均值;  $\text{NPP}_j$  和  $f_j$  为第  $j$  个像元的 NPP 和  $f$  的值。

计算植被净初级生产力(NPP)时采用改进的光能利用率模型,具体的计算方法将在后面给出。

植被覆盖度( $f_v$ )是指植被投影面积在单位面积上所占的比例用来衡量地表植被数量,每个像元的 NDVI 数据和  $f_v$  有如下关系:

$$\text{NDVI}_i=\sum_{j=1}^Q \text{NDVI}_{ij}f_j+e_i \quad (5)$$

式中:  $\text{NDVI}_i$  是第  $i$  月的 NDVI 数据,  $\text{NDVI}_{ij}$  是第  $j$  种覆盖类型在第  $i$  月的值,  $f_j$  是第  $j$  种土地覆盖类型在像元中的所占比率,  $e_i$  是误差,模型的约束条件为:

$$\sum_{j=1}^Q f_j=1 \quad (6)$$

考虑到模型的实际应用,根据线形混合模型的假设,可以认为每个像元的 NDVI 值由植被覆盖部分( $f_v$ )和裸土部分( $1-f_v$ )的 NDVI 值合成,即:

$$\text{NDVI}=\text{NDVI}_v f_v+\text{NDVI}_s(1-f_v) \quad (7)$$

式中:  $\text{NDVI}_v$  是植被覆盖部分的 NDVI 值;  $\text{NDVI}_s$  是裸土覆盖部分的 NDVI 值,年最大 NDVI 可以较好反映该年度植被长势最好季节地表的植被覆盖度,在实际计算中,取 NDVI 最大值代替  $\text{NDVI}_v$  和最小值代替  $\text{NDVI}_s$ ,则植被覆盖度( $f_v$ )计算公式如(8)所示:

$$f_v=\frac{\text{NDVI}-\text{NDVI}_{\min}}{\text{NDVI}_{\max}-\text{NDVI}_{\min}} \quad (8)$$

根据研究区生态服务价值计算要求,区域生态服务价值评估的遥感模型主要包括:生态系统遥感分类、生态参数遥感测算、单项和单位面积生态服务价值计算三部分内容。

## 3 结果与分析

### 3.1 生态服务价值数量变化分析

根据前述生态服务价值遥感定量测算方法,在 ArcGIS 软件环境下,计算得出研究区 2000 年、2005 年和 2010 年各种生态系统类型的生态服务价值(表 2)。

(1) 研究区生态服务价值构成及变化分析。从表 2 可以看出,2000—2005 年,研究区年均生态服务价值总量从 2000 年的 9.59 亿元/a 减少到 2005 年的 9.42 亿元/a,减少比例为 1.75%。其中,耕地和湿地减少较为明显,耕地减少了 7.02%,湿地减少了 3.22%;耕地生态服务价值减少的原因主要是由于近年来研究区社会经济的快速发展导致建设用地不断侵占农田,使耕地面积大幅减少;另外,由于自然环境变化以及人为因素的干扰导致研究区湿地面积在不断减少,这些都是耕地和湿地生态服务价值减少的主要原因。在 2000—2005 年期间,林地生态服务价值增加了 24.00%,水域生态服务价值增加了 13.12%,滩涂生态服务价值增加了 3.23%,三者生态服务价值的增加主要是由于其土地面积的增加;林地面积的增加是由于近年来研究区开展生态县建设,不断植树造林,使林地面积不断增加,水域面积的增加是由于研究区水产养殖业的不断发展致使养殖水面的不断增加,而滩涂面积的增加主要是因为湿地退化为滩涂所致。虽然,2000—2005 年,林地、水域和滩涂的生态服务价值在增加,但是由于它们在总价值中所占比重较小,所以三者生态服务价值的增加也未能改变研究区生态服务价值总量不断减少的趋势。

2005—2010 年,研究区年均生态服务价值总量从 2005 年的 9.42 亿元/a 减少到 2010 年的 9.04 亿元/a,减少比例为 4.05%。其中,耕地减少了 5.27%,林地减少了 19.22%,湿地减少了 8.82%,滩涂减少了 0.76%。研究区生态服务价值的减少主要是因为发挥生态服务功能土地面积的不断减少所致,耕地面积的减少主要是因为建设用地的不断侵占,林地面积的大幅减少是因为近几年研究区城乡建设用地的不断扩张与农村拆村并点等活动的实施,湿地和滩涂面积的减少是自然因素与人为因素共同作用的结果。这些都是研究区生态服务价值减少的主要原因。2000—2005 年,只有水域的生态服务价值在增加,增加了 9.13%,主要原因是由于研究区水产养殖业的不断发展致使养殖水面的不断增加所致。总的来说,2005—2010 年,研究区生态服务价值总量在不断减少,而且其减少的速度大大超过 2000—2005 年。综合 2000—2010 年研究区生态服务价值变化情况可以看出,10 a 间,随

着不同土地利用类型之间的相互转换,研究区生态服务价值总量呈逐渐减少的趋势。其中,耕地生态服务价值减少了 11.92%,湿地减少了 11.75%,总价值减

少了 5.74%,虽然,林地、水域和滩涂的生态服务价值有一定程度的增加,但是未能改变研究区总体生态服务价值不断减少的趋势。

表 2 研究区 2000 年、2005 年、2010 年生态服务价值及比例

土地 类型	2000 年		2005 年		2010 年		2000—2005 年 变化率/%	2005—2010 年 变化率/%	2000—2010 年 变化率/%
	生态服务价值/ (亿元·a <sup>-1</sup> )	比例/ %	生态服务价值/ (亿元·a <sup>-1</sup> )	比例/ %	生态服务价值/ (亿元·a <sup>-1</sup> )	比例/ %			
耕地	4.93	51.42	4.59	48.67	4.34	48.05	-7.02	-5.27	-11.92
林地	0.27	2.83	0.34	3.57	0.27	3.01	24.00	-19.22	0.17
水域	0.88	9.21	1.00	10.61	1.09	12.07	13.12	9.13	23.45
湿地	1.80	18.79	1.74	18.51	1.59	17.59	-3.22	-8.82	-11.75
滩涂	1.70	17.75	1.76	18.65	1.74	19.29	3.23	-0.76	2.44
建设用地	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
总计	9.59	100.00	9.42	100.00	9.04	100.00	-1.75	-4.05	-5.74

3.2 生态服务价值空间格局变化分析

根据前面介绍的基于遥感的生态服务价值测算方法,在 ArcGIS 软件环境下,得到研究区 2000 年、2005 年和 2010 年生态服务价值空间分布图(附图 14)。

从研究区三期生态服务价值空间分布图可以看出,研究区生态服务价值空间分异特征基本呈现从西南部沿海地带向东北部内陆递减的趋势。从图中可以看出,大片的湿地在研究区生态服务功能中起着重要的作用,湿地 3 个年份平均单位面积生态服务价值为 1.064 万元/hm<sup>2</sup>,单位面积生态服务价值仅次于林地,但是湿地的生态服务总价值却仅次于耕地,位居第二位,紧随其后的是西南部沿海滩涂,在研究区生态系统服务功能中也起着重要作用。另外,在生态系统服务功能中起着重要作用的水域也主要分布在西部沿海地带,例如三角洲水库和荣兴水库都位于西部。由此可以看出,研究区生态服务价值西南部明显高于东北部。此外,从三期生态服务价值空间分布特征可以看出,单项生态服务总价值位于第一位的耕地的单位面积生态服务价值的变化趋势也呈现由西南向东北递减的趋势。这些生态服务价值的变化趋势与研究区年均温度图和年均降水量分布图趋势基本一致,由此可以看出,生态服务价值的变化受温度和降水的影响相当明显,靠近海边气温和降水都较适宜植被生长。所以研究区生态服务价值呈现从西南部沿海地带向东北部内陆递减的趋势,这种分布趋势基本与研究区植被覆盖度和植被净第一性生产力(NPP)的空间分布相近。此外,从 2000 年、2005 年和 2010 年三期生态服务价值空间分布图看出,2005 年研究区各土地类型的单位面积生态服务价值稍高于 2000 年和 2010 年,主要原因是因为 2005 年的平均温度偏高而且降水量大于其他两个年份,水温的变

化将直接影响生态服务价值的变化。

总的来说,2000—2010 年,研究区域内的生态服务价值分布未发生较大变化,空间分布结构与格局较为稳定,不同土地利用类型的生态服务价值界限明显,并呈西南部沿海地带向东北部内陆递减的趋势。

3.3 生态服务价值与土地利用变化相关分析

表 2 是研究区生态服务价值与土地利用变化对比分析表,从中可以看出,近十年来,研究区虽然土地总面积没有变化,但是其生态服务总价值却在不断减少,主要原因是由于土地利用类型中发挥重要生态服务功能的生态用地在不断减少,而不具有生态服务价值的建设用地在不断增加,最终导致区域生态服务总价值在不断减少。另外,各种土地利用类型的单项生态服务价值变化与其相应土地面积的变化呈一定的正相关关系,例如,2000 年、2005 年和 2010 年 3 个年份耕地的面积所占比例分别为 51.59%,46.96%和 45.25%,其生态服务价值所占比例分别为 51.42%,48.67%和 48.05%;林地的面积所占比例分别为 1.65%,2.02%和 1.64%,其生态服务价值所占比例分别为 2.83%,3.57%和 3.01%;水域的面积所占比例分别为 9.82%,13.23%和 15.69%,其生态服务价值所占比例分别为 9.21%,10.61%和 12.07%;湿地的面积所占比例分别为 8.34%,9.41%和 10.30%,其生态服务价值所占比例分别为 18.79%,18.51%和 17.59%;滩涂的面积所占比例分别为 12.46%,11.77%和 10.60%,其生态服务价值所占比例分别为 17.75%,18.65%和 19.29%;建设用地虽然土地面积所占比例不小,但是其生态服务价值为零。

从以上研究区生态服务价值与土地利用变化对比分析可以看出,单项生态服务价值虽然与相应土地类型面积有一定的正相关关系,但是单位面积生态服

务价值较高的土地类型以较小的用地比例却占了较高的生态服务价值比例,例如,湿地在3个年份占土地总面积平均比例为9.35%,但是其生态服务价值所占平均比例为18.30%,林地和滩涂也以较小的土地面积占居了较大的生态服务价值比例。这些都说明,要想建设较好的生态环境以及取得较大的生态效益,应该保障区域内具有重要生态服务功能的土地类型,例如湿地、林地、水域以及滩涂等土地类型的最低用地数量和合理空间布局;这将在一定生态安全水平上最大限度地避免可能发生的区域生态环境问题。

## 4 结论

本文以辽宁省大洼县2000—2010年的3期Landsat TM系列多光谱遥感影像为基础数据源,分析了大洼县土地利用变化情况,在此基础上,根据大洼县土地利用特点和生态系统类型特征,选取植被净初级生产力、植被覆盖度等生态参数,利用Landsat TM遥感影像、地面观测、气象数据、统计资料等数据,从宏观生态学角度出发,依据基于遥感的区域生态服务价值估算的特点,从有机物质生产、营养物质循环和贮存、涵养水源、保持水土、吸纳二氧化碳与释放氧气和维持生物多样性共6个方面构建了基于遥感技术的生态服务价值评估指标体系,然后建立了生态服务价值遥感定量测算模型,并利用该模型对研究区单项、单位面积以及总生态服务价值进行了定量计算。

研究表明,10 a间年,从数量上看,研究区年均生态服务价值总量从2005年的9.42亿元/a减少到2010年的9.04亿元/a,减少比例为4.05%。其中,耕地减少了5.27%,林地减少了19.22%,湿地减少了8.82%,滩涂减少了0.76%。研究区生态服务价值的减少主要是因为发挥生态服务功能土地面积的不断减少所致,耕地面积的减少主要是因为建设用地的不断侵占,林地面积的大幅减少是因为近几年研究区城乡建设用地的不断扩张与农村拆村并点等活动的实施,湿地和滩涂面积的减少是自然因素与人为因素共同作用的结果。随着不同土地利用类型之间的相互转换,研究区生态服务价值总量呈逐渐减少的趋势。其中,耕地生态服务价值减少了11.92%,湿地减少了11.75%,总价值减少了5.74%,虽然,林地、水域和滩涂的生态服务价值有一定程度的增加,但是未能改变研究区总体生态服务价值不断减少的趋势。从空间格局上看,2000—2010年,研究区域内的生态服务价值分布未发生较大变化,空间分布结构与格局

较为稳定,不同土地利用类型的生态服务价值界限明显,并呈西南部沿海地带向东北部内陆递减的趋势。

从研究区生态服务价值与土地利用变化对比分析中可以看出,近10 a来,研究区虽然土地总面积没有变化,但是其生态服务总价值却在不断减少,主要原因是由于土地利用类型中发挥重要生态服务功能的生态用地在不断减少,而不具有生态服务价值的建设用地在不断增加,最终导致区域生态服务总价值在不断减少。研究结果说明,要想建设较好的生态环境以及取得较大的生态效益,应该保障区域内具有重要生态服务功能的土地类型,例如湿地、林地、水域以及滩涂等土地类型的最低用地数量和合理空间布局;这将在一定生态安全水平上最大限度地避免可能发生的区域生态环境问题。

本研究为区域生态服务价值测算提供了一种新的思路。研究结果对揭示维持研究区生态安全的机理,促进区域环境保护、土地可持续利用与社会经济可持续发展提供参考,并为研究区水土流失防治提供重要科学依据。

### 参考文献:

- [1] 赵志刚,余德,韩成云,等. 2008—2016年鄱阳湖生态经济区生态系统服务价值的时空变化研究[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(2): 198-208.
- [2] 张广朋,徐海量,杜清,等. 近20a叶尔羌河流域生态服务价值对土地利用/覆被变化的响应[J]. 干旱区研究, 2016, 33(6): 1303-1310.
- [3] 顾剑红,王玉杰,王云琦,等. 土地利用变化对生态服务价值的影响:以广西隆林县和西林县为例[J]. 中国水土保持科学, 2016, 14(5): 100-109.
- [4] 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.
- [5] 穆松林. 1982—2014年内蒙古自治区温带草原生态系统服务价值及其空间分布[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(10): 76-81.
- [6] 樊敏,李富程,郭亚琳,等. 退耕还林对岷江上游高山聚落区生态服务价值变化的影响[J]. 山地学报, 2016, 34(3): 356-365.
- [7] 杨昆,贺磊,许乃中,等. 柳江流域生态系统服务价值的影响研究[J]. 生态科学, 2016, 35(4): 148-156.
- [8] Costanza R, D'Arge R, Groot R D, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital 1[J]. World Environment, 1997, 25(1): 3-15.
- [9] Ehrlich P R, Holdren J P. Human population and the global environment[J]. Population Debate, 1975: 92-104.
- [10] Potter C S, Randerson J T, Field C B, et al. Terrestrial ecosystem production: A process model based on

- global satellite and surface data[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 1993,7(4):811-841.
- [11] 哈丽旦·司地克,玉素甫江·如素力,麦麦提吐尔逊·艾则孜.焉耆盆地气候变化和人类活动对生态系统服务价值的影响研究[J]. *中国生态农业学报*, 2016,24(5):684-694.
- [12] Wilson C L, Matthews W H. *Mans impact on the global environment: assessment and recommendations for action* [R]. Cambridge Massachusetts Mit Press, 1970.
- [13] Ehrlich P R, Ehrlich A H. *Extinction* [M]. New York: Ballantine, 1981.
- [14] Daily G. *Nature's service: societal dependence on natural ecosystem* [M]. Washington DC: Island Press, 1997.
- [15] Sellers P J, Tucker C J, Collatz G J, et al. A global 1° by 1° NDVI data set for climate studies. Part 2: The generation of global fields of terrestrial biophysical parameters from the NDVI[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1994,15(17):3519-3545.
- [16] Field C B, Randerson J T, Malmström C M. Global net primary production: Combining ecology and remote sensing☆[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1995, 51(1):74-88.
- [17] Prince S D, Goward S N. Global primary production: A remote sensing approach[J]. *Journal of Biogeography*, 1995,22(4/5):815-835.
- [18] Daily G C, Söderqvist T, Aniyar S, et al. The value of nature and the nature of value[J]. *Science*, 2000,289(5478):395-396.
- [19] 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.
- [20] 欧阳志云,赵同谦,王效科,等.水生生态服务功能分析及间接价值评价[J]. *生态学报*, 2004,24(10):2091-2099.
- [21] 李京,陈云浩,潘耀忠,等.生态资产定量遥感测量技术体系研究:生态资产定量遥感评估模型[J]. *遥感信息*, 2003(3):8-11.
- [22] 刘庆,李伟,陆兆华.基于遥感与 GIS 的黄河三角洲绿色空间生态服务价值评估[J]. *生态环境学报*, 2010,19(8):1838-1843.
- [23] 于智强,臧德彦,陈龙乾,等.基于遥感的抚州市土地利用变化及生态系统服务功能价值变化研究[J]. *西北农业学报*, 2010,19(5):202-206.
- [24] 王爽,丁建丽,王璐,等.基于遥感的艾比湖流域近 20 年生态服务价值对土地利用变化的响应[J]. *水土保持研究*, 2014,21(5):144-149.
- [25] 尹占娥,田娜,殷杰,等.基于遥感的上海市湿地资源与生态服务价值研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2015,24(6):925-930.
- [26] 王世东,慎利,王新闯.基于 RS 与 GIS 的生态用地评价:以辽宁省大洼县为例[J]. *中国生态农业学报*, 2013,21(5):628-637.
- [27] 张合兵,王世东.典型生态县域土地利用时空与景观格局变化[J]. *水土保持研究*, 2015,22(2):246-252.

~~~~~

(上接第 257 页)

- [13] Doherty L, Zhao Y, Zhao X, et al. A review of a recently emerged technology: Constructed wetland-Microbial fuel cells[J]. *Water Research*, 2015,85:38-45.
- [14] Vymazal J, Kröpfelová L. Multistage hybrid constructed wetland for enhanced removal of nitrogen[J]. *Ecological Engineering*, 2015,84:202-208.
- [15] 吴振斌,成水平,贺锋,等.垂直流人工湿地的设计及净化功能初探[J]. *应用生态学报*, 2002,13(6):715-718.
- [16] 吴振斌,陈辉蓉,贺锋,等.人工湿地系统对污水磷的净化效果[J]. *水生生物学报*, 2001,25(1):28-35.
- [17] 吴振斌,梁威,成水平,等.人工湿地植物根区土壤酶活性与污水净化效果及其相关分析[J]. *环境科学学报*, 2001,21(5):622-624.
- [18] 梁继东,周启星,孙铁珩.人工湿地污水处理系统研究及性能改进分析[J]. *生态学杂志*, 2003(2):49-55.
- [19] 蒋跃平,葛滢,岳春雷,等.人工湿地植物对观赏水中氮磷去除的贡献[J]. *生态学报*, 2004,24(8):1720-1725.
- [20] 廖新伟,骆世明.香根草和风车草人工湿地对猪场废水氮磷处理效果的研究[J]. *应用生态学报*, 2002,13(6):719-722.
- [21] 廖新伟,骆世明.人工湿地对猪场废水有机物处理效果的研究[J]. *应用生态学报*, 2002(1):113-117.
- [22] 朱夕珍,崔理华,温晓露,等.不同基质垂直流人工湿地对城市污水的净化效果[J]. *农业环境科学学报*, 2003, 22(4):454-457.
- [23] 陈进军,郑翀,郑少奎.表面流人工湿地中水生植被的净化效应与组合系统净化效果[J]. *环境科学学报*, 2008,28(10):2029-2035.