DOI:10.19789/j.1004-9398.2023.04.009
文献引用:吕乐婷,白少杰,姜俊超,等.下辽河平原生态系统服务正负价值测算研究[J].首都师范大学学报(自然科学版),2023,44(4):49-58.
LYU L T,BAI S J,JIANG J C,et al. Measurement of positive and negative value of ecosystem services in Xialiaohe Plain[J]. Journal of Capital Normal University(Natural Science Edition),2023,44(4):49-58.

下辽河平原生态系统服务正负价值测算研究*

吕乐婷,白少杰,姜俊超**,杨 勇
(辽宁师范大学地理科学学院,辽宁 大连 116000)

摘要:土地覆被变化对区域生态系统服务价值(ESV)产生影响,进而对区域生态环境和经济高质量发展产生影响。本研究以辽宁省下辽河平原为例,基于1990、2000、2010和2019年4期土地利用数据和修正后的ESV系数对下辽河平原不同土地利用类型的ESV进行测算。结论如下:(1)下辽河平原1990—2019年综合土地利用动态度呈现上升趋势,变化率为0.68%;单一土地利用动态度中,旱地、林地和沼泽总体上呈现下降趋势,水田、草地、水域、建设用地和未利用地总体上呈现上升趋势。(2)下辽河平原ESV减少了134.05亿元,变化率为-22.88%;生态系统损害(EDS)增加了39.56亿元,变化率为55.29%;净ESV减少了173.62亿元,变化率为-33.75%。(3)土地利用变化导致下辽河平原生态系统服务价值减少了54.26亿元,主要原因是水域转化为其他用地类型。

关键词:土地利用变化;敏感性指数;生态系统服务价值;下辽河平原
中图分类号:X826 **文献标识码**:A

Measurement of positive and negative value of ecosystem services in Xialiaohe Plain*

LYU Leting, BAI Shaojie, JIANG Junchao**, YANG Yong
(College of Geographical Sciences, Liaoning Normal University, Dalian Liaoning 116000)

Abstract: The change of land use mode has an impact on the value of regional ecosystem services (ESV), and then on the regional ecological environment and sustainable economic development. Taking the Xialiaohe Plain in Liaoning Province as an example, this study calculates the ESV of different land use types in the Xialiaohe Plain based on the land use data of four periods in 1990, 2000, 2010 and 2019 and the revised ESV coefficient. The results show that: (1) the dynamic degree of comprehensive land use in Xialiaohe Plain showed an upward trend from 1990 to 2019, with a change rate of 0.68%; in the single dynamic degree of land use, dry land, forest land and swamp show a downward trend on the whole, while paddy field, grassland, water area, construction land and unused land show an upward trend on the whole.(2) The ecosystem disservices(EVS) of the Xialiaohe Plain decreased by 13.405 billion yuan, and the rate of change was -22.88%; EDS increased by 3.956 billion yuan, with a change rate of 55.29%; net ESV decreased by 17.362 billion yuan, with a change rate of -33.75%.(3) The value of ecosystem services in Xialiaohe Plain decreased by 5.426 billion yuan due

收稿日期:2022-05-07
* 辽宁省教育厅面上项目(203070132115);辽宁经济社会发展合作课题(LJKZ0975);辽宁省社科基金重点项目(L22AJI010)
** 通信作者:jiangjunchao@lnnu.edu.cn

to land use change, mainly due to the conversion of water areas to other land types.

Keywords: land use change; sensitivity index; ecosystem service value; Xialiaohe Plain

CLC: X826 **DC**: A

0 引 言

党的十九大报告指出,我国当前经济逐步向高质量发展转变,生态文明建设是社会主义现代化建设的重要组成部分。作为生态文明建设的重要载体,生态系统是经济高质量发展的重要关键资源,通过生态系统结构、过程和功能向人类提供产品和服务,对生态系统服务能力进行量化评估,生态系统服务(ecosystem service, ES)的正向影响包括供给服务、调节服务、支持服务和文化服务4个方面,即生态系统服务价值(ecosystem service value, ESV)[1-2],而生态系统产生的对人类福祉造成负面影响的功能、过程和属性被称为生态系统损害(ecosystem disservices, EDS)[3]。城市化和工业化加快也影响土地利用格局和土地利用方式,会对ES产生影响[4-5]。因此研究土地覆被变化及其对ES的影响,可为区域高质量发展提供参考依据。

ES具有特殊性,给人类带来难以评估的价值[6]。1997年Costanza等[2]首次对全球ESV进行了评估,为ESV的定量化研究提供了依据;2015年谢高地等[7]提出了中国陆地ESV的评估方法。ES评估对人类生存非常重要,ESV研究已成为全球学术热点。国内外专家基于文献[2,6]提出的评价体系在不同区域对ESV进行测算:Camacho-Valdez等[8]研究了墨西哥沿海湿地变化对ESV的影响,表明2001—2010年ESV增加了9%,原因是全球盐沼价值较高;Shiferaw等[9]从生物入侵角度研究埃塞俄比亚阿法尔地区的ESV变化,结果表明1986—2017年生物入侵引起土地覆被变化导致ESV平均损失6.02亿美元;Wang等[10]将ESV引入生态风险评估,试图构建一个ESV供需模型,优化生态管理;傅伯杰和于丹丹[11]探索了生态系统服务权衡及区域集成方法,并以黄土高原地区为例进行了应用,结果表明ES之间的消长和权衡具有尺度依赖性;丘海红等[12]基于土地利用的变化对广西省近20年的ESV进行了研究,结果表明ESV呈波动下降趋势;刘礼群等[13]对雄安新区ESV进行测算,研究结果表明ESV呈上升趋势;王永琪和马姜明[14]基于县域尺度对珠江-西江流域的ESV进行测算,并分析土地覆被与ESV之间的关系。

伴随社会进步,人类对自然界干预加剧,使生态系统为人类提供正向服务的同时也会产生负向服务。如李梦桃和周忠学[15]对西安市城市景观提供的生态系统服务进行测算,认为EDS占主导地位;夏鑫鑫等[16]对新疆省玛纳斯河流域的EDS进行测算,研究表明产生EDS的主要是温室气体排放和化肥流失。大量农产品从农业系统进入社会的同时,又有大量的农用物资包括化肥、农药和地膜等进入农业系统,这些物质在增加农业系统产品和服务的同时也会造成土壤、地下水和大气等的污染;且不科学的土地利用方式也会对区域ES产生巨大影响[17]。因此,通过定量研究ESV和EDS变化,为区域发展提供理论支撑。

下辽河平原区地处辽宁省中部,是重要的商品粮基地。近年来,随着人类活动影响加剧,土地利用变化明显,林地草地面积减少和沼泽退化等产生一系列生态问题。因此,研究土地覆被变化背景下,下辽河平原ESV和EDS的变化,对促进辽宁省合理规划土地及推进经济高质量发展具有重要意义。

1 研究区概况

下辽河平原地处辽宁省中部,东临千山山脉,西抵医巫闾山,北与松嫩平原相隔,南邻渤海,地理位置为120°42′~123°40′E,40°30′~42°20′N,地势呈东北-西南走向。下辽河平原总面积为247万hm^2,占辽宁省总面积的16.78%;总人口约为1 037.84万人,占辽宁省人口的24.76%;行政区划包括营口市、盘锦市、锦州市、鞍山市、辽阳市、沈阳市、抚顺市、铁岭市和阜新市的部分;下辽河平原属于温带季风气候区。

2 数据来源与方法

2.1 数据处理

本文利用的土地利用数据通过1990、2000、2010和2019年专题绘图仪(thematic mapper, TM)和增强型专题制图仪(enhanced thematic mapper, ETM+)遥感影像解译而得。参照中国科学院资源环境数据中心土地分类系统,在ENVI软件支持下,

对遥感影像数据进行了几何校正、去云,并进行大气校正和辐射定标,统一分辨率为30 m。本文共选取8类样本,分别为旱地、水田、林地、草地、水域、沼泽、建设用地和未利用地,并计算样本可分离性,根据Jeffries-Matusira距离和转换分离度(transformed divergence)2个指标判断样本质量,不断修正样本,使得2个参数的值>1.9,得到合格样本,且具有良好的分离性。采用人机交互目视解译对目标影像进行监督分类,获得下辽河平原4期土地利用图。分类结果依据Google Earth随机采样进行人机交互验证,总体精度为0.83,验证结果达到了$\kappa \geqslant 0.70$的最低允许判别精度[18]。

本文选取了1990—2019年下辽河平原人口数量,化肥、农药、地膜和水资源的使用量,以及煤、石油和天然气的消耗量进行计算。数据主要来源于国家统计局(https://data.stats.gov.cn),辽宁省统计局(http://tjj.ln.gov.cn),沈阳市统计局(http://tjj.shenyang.gov.cn)和《全国农产品成本收益资料汇编》等。

2.2　土地利用类型变化分析

单一土地利用动态度的计算公式[19]为

$$k = \frac{A_a - A_b}{A_a} \times \frac{1}{T} \times 100\%, \tag{1}$$

式中:k为研究期内区域某种土地利用类型的动态度;A_a、A_b分别表示研究初期和末期某种土地利用方式的面积(hm^2);T为研究时间长度,单位是a。

综合土地利用动态度(K)反映了研究区土地利用数量的综合变化状况,可以表示[20-21]为

$$K = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left| A_{ai} - A_{bi} \right|}{A} \times \frac{1}{T} \times 100\%, \tag{2}$$

式中:A_{ai}、A_{bi}分别表示研究初期和末期区域土地利用类型i的面积;A为研究区总面积。

2.3　下辽河平原生态系统服务价值测算

2.3.1　正向价值计算

本研究参照当量因子表[6],并根据下辽河平原实际情况做出修正计算供给服务、调节服务、支持服务和文化服务4类ESV及其下分的食物生产、原料生产、水资源供给,气体调节、气候调节、净化环境、水文调节,土壤保持、维持养分循环、生物多样性,美学景观共11个亚类的ESV。其中,旱地和水田参照农田的二级分类,林地采取森林对应的4种二级分类的平均值,草地对照3种二级分类的平均值,沼泽参照湿地的取值,水域按照水系来计算,建设用地的当量按照已有的当量确定[22],未利用地取值对应荒漠。ESV计算公式[23-24]为

$$V_{ES} = \sum \left(A_i \times V_i \right), \tag{3}$$

式中:A_i为第i种地类面积(hm^2);V_i为第i种地类的每年单位面积ESV(元·hm^{-2}·a^{-1})。

单位面积ESV当量是指生态系统产生生态服务相对贡献大小的潜在能力,1个ESV当量因子的经济价值是指当地平均粮食单产价值的1/7。每年单位面积农田生态系统可提供的粮食价值量公式[25]为:

$$V = \frac{1}{7\sum_{j=1}^{n} \frac{A_j p_j q_j}{A_C}}, \left(j = 1, 2, \cdots, n \right), \tag{4}$$

$$p_j = \frac{P_j}{Q_j}, \tag{5}$$

式中:V为每年单位面积农田生态系统提供的经济价值(元·hm^{-2}·a^{-1});j为研究区内主要粮食作物类型,n为作物种类;A_j为研究区内j种粮食作物面积;p_j为研究区内j种作物价格(元/t);q_j为研究区内j种作物每年单位面积产量(单产量),单位是t·hm^{-2}·a^{-1};A_C为作物总面积(hm^2);P_j为研究区内j种作物总产值(元);Q_j为研究区内j种粮食作物总产量(t)。

2015—2019年研究区的主要粮食作物是小麦、稻谷和玉米,总结各种作物对应的种植面积、单产量、总产值和总产量。对单位面积农田产生的经济价值当量做了本地化修正[6]。种植面积和单产量均采用5年均值,得出下辽河平原单位面积农田粮食产量的经济价值为1 989元/hm^2。

2.3.2　负向价值计算

负向价值的计算以耕地和建设用地作为评价指标[16],其中耕地的EDS主要选取农业生产中化肥、农药和地膜产生的污染以及消耗水资源和排放温室气体为评价指标,建设用地的EDS主要选取人类使用煤、石油和天然气等燃烧排放的温室气体作为评价指标,通过以上指标对下辽河平原EDS进行测算。

(1)化肥流失。在农业生产中,为了保持土壤肥力,保证农产品产量,会通过施用化肥提高农业产出。本文计算化肥施用所产生的EDS来代替化肥流失的价值。计算公式[16]为

$$V_1 = Q_F \times (1 - r) \times p_F, \tag{6}$$

式中:V_1表示化肥流失负价值(元);Q_F为化肥使用量(t),来自辽宁省统计年鉴;r为化肥利用率(%),本文取值34.2%[26];p_F为化肥价格,本文取2 935元/t[16]。

(2)农药污染。在农药施用中,有40%~60%的农药施用后不能被充分利用,本文取均值50%作为农药利用率[27],计算农药施用带来的EDS[16],计算公式为

$$V_2 = Q_P \times (1 - n) \times p_P, \quad (7)$$

式中:V_2表示农药污染负价值(元);Q_P表示农药使用量(t);n为农药利用率;p_P为农药价格,本文取值20 797元/t[28]。

(3)地膜污染。废弃地膜产生的EDS计算公式[16]为

$$V_3 = V_M \times I \times A_M, \quad (8)$$

式中:V_3表示地膜污染负价值(元);V_M表示处理地膜所需价格,本文取42元/hm^2;I表示地膜残留率,本文取值41.07%[28];A_M表示地膜覆盖面积(hm^2)。

(4)水资源消耗。消耗水资源产生的EDS计算公式[16]为

$$V_4 = Q_W \times R \times p_W, \quad (9)$$

式中:V_4表示水资源消耗产生的负价值(元);Q_W为农业灌溉用水量(m^3),来源于辽宁省统计年鉴;R为农业耗水率,本文取值56.64%[29];p_W为水库蓄水成本,取值为1.17元/m^3[30]。

(5)温室气体排放。温室气体排放产生的EDS为V_5,计算公式[16]为

$$V_5 = V_{51} + V_{52}, \quad (10)$$

式中:V_{51}为耕地温室气体排放价值;V_{52}为建设用地温室气体排放价值。

V_{51}计算如下:农田排放的温室气体的主要成分N_2O和CO_2,1 kgN_2O的增温效应是1 kgCO_2的298倍。参照已有研究,辽宁省耕地CO_2排放量为0.372 t/(hm^2·a)[31],N_2O的排放量为0.011 t/(hm^2·a)[32]。本研究采用全增温趋势(G)估算2种温室气体排放产生的EDS,CO_2排放成本采用造林成本法(中国标准)260.9元/t[16]。农田温室气体排放负向价值计算公式[16]为:

$$G = Q_{N_2O} \times 298, \quad (11)$$

$$V_{N_2O} = A_{CL} \times P_{CO_2} \times I_{GWP}, \quad (12)$$

$$V_{CO_2} = A_{CL} \times P_{CO_2}, \quad (13)$$

$$V_{51} = V_{N_2O} + V_{CO_2}, \quad (14)$$

式中:G为温室气体的综合增温趋势;Q_{N_2O}为N_2O的排放量;V_{N_2O}为N_2O的排放价值;A_{CL}为耕地面积;P_{CO_2}为碳交易成本;I_{GWP}为全球升温潜能值;V_{CO_2}是CO_2的排放价值。

V_{52}计算公式[16]为:

$$D_g = a_g \times (1 - L_g) \times M_g, \quad (15)$$

$$V_{52} = D_g \times p, \quad (16)$$

式中:D_g表示g种物质(煤、石油、天然气)产生CO_2量;a_g为CO_2排放系数,煤、石油和天然气的碳排放系数分别为0.651、0.543和0.404[34];L_g为化石燃料用作生产原料的比例系数,煤、石油和天然气用作生产原料的百分比分别为3%、22%和26%[34];M_g表示g种物质使用量(表1);p表示治理单位化石燃料排放CO_2的价格[33]。

表1 下辽河平原1990—2019年化石燃料使用量

年份	煤/亿t	石油/亿t	天然气/亿m^3
1990	0.19	0.05	4.58
2000	0.23	0.10	4.88
2010	0.41	0.16	18.27
2019	0.47	0.25	18.66

2.3.3 人均价值计算

将人口数量与生态系统服务净价值相结合,能够直观地反映区域环境压力,计算公式[16]为

$$v_t = \frac{V_t}{R_t}, \quad (17)$$

$$\Delta v = v_b - v_a, \quad (18)$$

式中:v_t指某区域t年的人均净ESV,V_t指该地区t年净ESV(即ESV与EDS的差值),R_t指该地区t年的人口数量;Δv为人均净ESV变化量,v_a和v_b分别指研究初期和末期的人均净ESV。若Δv>0,说明该地区的人均净ESV在增加,表明研究区的生态向好,反之则说明该地区生态压力大。

2.3.4 敏感性指数

ESV系数指单位土地面积提供的ESV,为准确衡量ESV对ESV系数的依赖程度,本文采用敏感性指数(coefficient of sensitive, CS)进行计算,将ESV系数上下调整50%,计算公式[35-36]为

$$C_s = \left| \frac{(V_b - V_a)/V_a}{(C_{bi} - C_{ai})/C_{ai}} \right|, \quad (19)$$

式中:C_s为ESV系数的敏感性指数;V_a和V_b分别表示调整前和调整后的价值;C_{ai}和C_{bi}分别表示调整前和调整后i种土地利用类型的ESV系数。若C_s>1,表明结果不可信;反之,若C_s<1,则说明结果可信。

2.4 ESV流向计算

本文利用研究区土地利用转移矩阵,分析ESV流向,计算得到地类转化造成的ESV损益矩阵,进

一步探索土地覆被变化对ESV产生的影响,计算公式[37]为

$$V_{ab} = \left(C_b - C_a\right) \times A_{ab}, \quad (20)$$

式中:V_{ab}为第a类用地转化为第b类用地导致的ESV;C_a和C_b分别表示第a类用地和第b类用地的ESV系数;A_{ab}为第a类土地类型转化为第b类土地类型的面积。

3　结果与分析

3.1　下辽河平原土地利用变化分析

1990—2019年下辽河平原土地利用变化见图1、表2,总体特征呈现为旱地、草地、沼泽和建设用地面积增加,而水田、林地、水域和未利用地面积减少趋势。由于改革开放后城镇化加速,建设用地在研究期内增加最多,增加11.85万hm^2,增加幅度为39.66%;草地面积增加了1.06万hm^2,增加幅度为100.00%,增加幅度最大;旱地面积增加较少,增幅为5.32%;沼泽面积增加0.41万hm^2,增幅为3.30%;与之相比,水田面积锐减,30年间减少了13.19万hm^2,减少幅度为19.32%;林地面积减少了4.33万hm^2,减少幅度为27.11%;水域面积呈现波动下降趋势,在2010年达到峰值16.45万hm^2,到2019年面积减少率为20.58%;未利用地所占百分比较小,面积变化不明显。

利用综合土地利用度计算公式,得到研究区不同时段的各类用地动态度(表3),不同时期土地利用类型综合动态度排序由低到高为1990—2000年(0.30%)、2001—2010年(0.86%)、2011—2019年(0.98%),可以看出,下辽河平原的土地利用类型变化速率加快。从1990—2019年研究区的单一土地利用动态度来看,旱地呈减少趋势;水域和建设用地呈增加趋势;沼泽呈先减少后增加的趋势;水田、林地、草地和未利用地均先增加后减少,尽管未利用地的单一土地利用动态度非常高,但其面积小,所占比例低,变化不明显。

3.2　下辽河平原生态系统服务价值时空变化

3.2.1　ESV时间变化分析

利用当量因子法计算得到1990—2019年下辽河平原各类用地ESV变化(图2)。结果表明1990—2019年下辽河平原ESV总体上呈现下降趋势,共减少了134.05亿元,减幅为22.88%。1990—2000年减少了23.52亿元,减幅4.01%;2001—2010年,增幅6.42亿元,增加了1.1%;2011—2019年,减少了116.95亿元,减

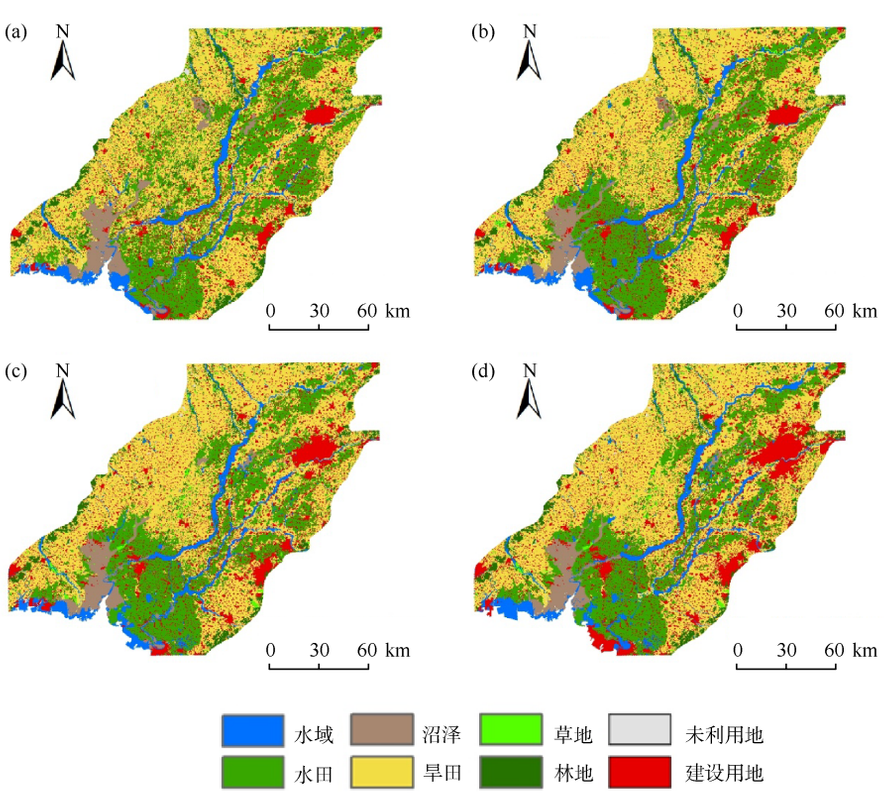


图1　下辽河平原1990—2019年土地利用

(a)1990年;(b)2000年;(c)2010年;(d)2019年

表2 下辽河平原1990—2019年各类用地面积及百分比

年份	旱地		水田		林地		草地	
	面积/万 hm^2	百分比/%	面积/万 hm^2	百分比/%	面积/万 hm^2	百分比/%	面积/万 hm^2	百分比/%
1990	104.92	42.40	68.28	27.60	15.97	6.46	1.06	0.43
2000	107.09	43.28	67.95	27.46	13.89	5.61	1.22	0.49
2010	109.29	44.04	60.97	24.57	11.51	4.64	2.16	0.87
2019	110.50	44.96	55.09	22.42	11.64	4.73	2.12	0.86
年份	沼泽		水域		建设用地		未利用地	
	面积/万 hm^2	百分比/%	面积/万 hm^2	百分比/%	面积/万 hm^2	百分比/%	面积/万 hm^2	百分比/%
1990	12.44	5.03	14.58	5.89	29.88	12.07	0.30	0.12
2000	11.36	4.59	14.55	5.88	31.27	12.64	0.12	0.05
2010	10.43	4.20	16.45	6.63	37.00	14.91	0.37	0.15
2019	12.85	5.23	11.58	4.71	41.73	16.98	0.27	0.11

表3 下辽河平原1990—2019年不同时期各类用地动态度

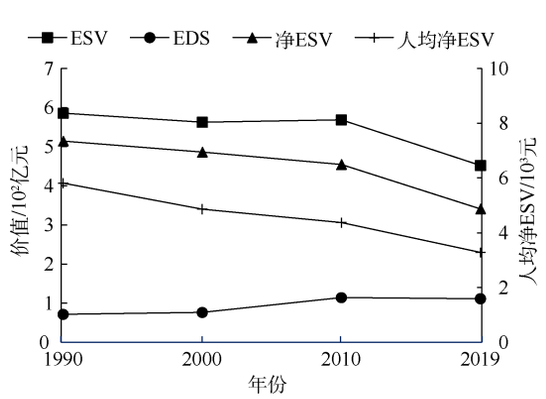
单位:%

土地利用类型	年份			
	1990—2000	2001—2010	2011—2019	1990—2019
旱地	−0.21	−0.21	−0.11	−0.18
水田	0.05	1.03	0.96	0.67
林地	1.31	1.71	−0.11	0.94
草地	−1.53	−7.70	0.18	−3.47
沼泽	0.87	0.82	−2.32	−0.11
水域	0.02	−1.31	2.96	0.71
建设用地	−0.46	−1.83	−1.28	−1.37
未利用地	5.91	−20.66	2.81	0.34
综合	0.30	0.86	0.98	0.55

幅为20.56%。

1990—2019年下辽河平原各用地类型ESV变化见表4,旱地、草地和沼泽的ESV呈现上升趋势,其中增加最多的是旱地,增加了4.45亿元,增幅为5.3%;水田、林地、水域、建设用地和未利用地的ESV呈现下降趋势,其中减少最多的是水域,减少了74.86亿元,减幅为20.55%。

1990—2019年下辽河平原耕地和建设用地的EDS见表5和图2,EDS呈现增长趋势,共增加了39.56亿元,增幅55.28%。化肥流失、农药污染、地膜污染和温室气体排放产生的EDS呈现增加趋势,而水资源消耗产生的EDS呈现减少趋势。在构成上,水资源消耗和温室气体排放二者之和所占比例最大,各时期占比均达到84.00%以上,其中温室气体排放产生的EDS逐年增加,所占比例也逐年增加,主要原因是随着社会经济发展和人口增加,建设用地面积不断增加,温室气体排放量也随之增加。



注:ESV为生态系统服务价值;EDS为生态系统损害。

图2 1990—2019年下辽河平原各类用地ESV变化

1990—2019年下辽河平原净ESV呈现持续减少趋势,共减少了173.62亿元,减幅33.75%。1990—2000年减少了28.40亿元,减幅5.52%;2001—2010年减少了31.58亿元,减幅6.50%;2011—2019年减少最多,达113.63亿元,减幅25.01%,原因是这一阶段内,经济发展较快,煤炭、石油和天然气等化石燃料消耗量大,温室气体排放量多,负价值快速增长,而正向价值呈现迅速下降趋势,故净价值下降较快。

1990—2019年下辽河平原人口数量从884.90万人增加到1 037.84万人,增加了152.94万人,增幅17.28%;人均净ESV呈下降趋势(图2),共减少了2 529.46元,减幅43.52%。1990—2000年减少了955.96元,减幅16.45%;2001—2010年减少了482.38元,减幅9.93%;2011—2019年减少了1 091.12元,减幅为24.94%。总体来看,在研究期内下辽河平原人口数量增加,建设用地面积也随之增加,净ESV总量减少,人均净ESV减少,研究区环境压力呈现逐渐加大趋势。

3.2.2 ESV空间变化分析

为进一步分析下辽河平原各类用地ESV空间

表4　下辽河平原1990—2019年各类用地ESV变化　　单位:亿元

年份	旱地	水田	林地	草地	沼泽	水域	建设用地	未利用地	合计
1990	83.68	52.83	62.58	2.54	128.75	364.28	−108.81	0.07	585.93
2000	85.41	52.57	54.41	2.92	117.54	363.40	−113.87	0.03	562.41
2010	87.17	47.17	45.10	5.18	107.87	411.01	−134.75	0.08	568.83
2019	88.13	42.63	45.59	5.08	132.92	289.42	−151.96	0.06	451.88

表5　下辽河平原1990—2019年耕地和建设用地各评价指标EDS变化　　单位:亿元

年份	化肥流失	农药污染	地膜污染	水资源消耗	温室气体排放	合计
1990	7.52	0.93	0.01	32.51	30.59	71.56
2000	10.21	1.77	0.01	32.36	32.10	76.45
2010	11.66	2.95	0.01	29.03	70.78	114.44
2019	10.61	2.09	0.01	26.23	72.19	111.12

变化,利用ArcGIS中的渔网工具,创建5 km×5 km正方形网格,计算每个网格的ESV,制作1990、2000、2010和2019年的ESV空间分布图,采用自然间断点法划分为由低到高(I~V级)5个等级(图3)。

从ESV空间分布来看,其高值区主要分布在盘锦市东部和辽河流经区,分布范围在研究期内变化幅度小,主要用地类型为沼泽和水域;ESV低值区在研究期内呈增加趋势,主要分布在下辽河平原东部沈阳市,辽阳市和鞍山市,主要用地类型为建设用地。

3.2.3　CS分析

1990—2019年下辽河平原CS计算结果见表6,水域的CS最高,为0.78~0.88,说明水域对生态系统服务价值的贡献度最高;未利用地的CS=0,这表明当未利用地的生态系统服务价值系数上下调整50%,对下辽河平原的生态系统服务价值几乎没有影响;草地的CS<0.20,说明草地对生态系统服务价值的贡献度较低。1990—2019年,下辽河平

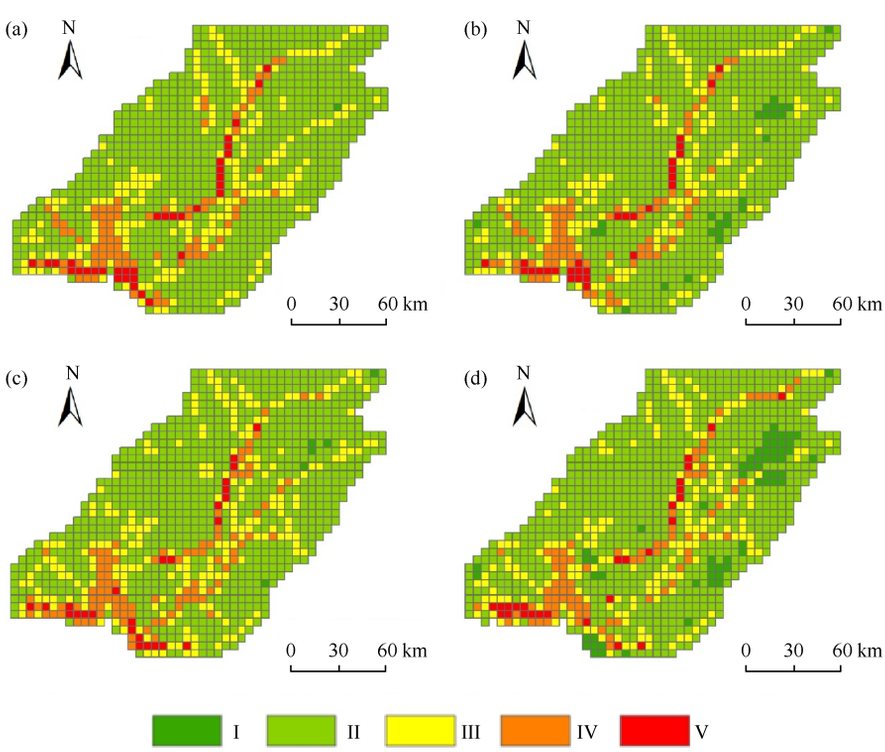


图3　1990—2019年下辽河平原不同等级ESV空间分布
(a)1990年;(b)2000年;(c)2010年;(d)2019年

原的各土地利用类型CS均<1,可见下辽河平原所采用的价值系数缺乏弹性,符合下辽河平原实际情况,生态系统服务价值计算结果可信。

表6 1990—2019年下辽河平原不同土地利用类型的敏感性指数(CS)

土地利用类型	年份			
	1990	2000	2010	2019
旱地	0.22	0.24	0.24	0.32
水田	0.14	0.15	0.14	0.16
林地	0.17	0.16	0.13	0.17
草地	0.01	0.01	0.02	0.02
沼泽	0.33	0.32	0.29	0.45
水域	0.78	0.81	0.88	0.84
建设用地	0.35	0.39	0.47	0.77
未利用地	0.00	0.00	0.00	0.00

3.3 土地利用变化对下辽河各类用地ESV的影响

下辽河平原不同土地利用类型ESV损益矩阵(表7)表明,研究期内下辽河平原土地利用变化导致的ESV呈现减少趋势,合计减少量为54.26亿元。总体来看,ESV减少的主要原因是水域、沼泽和林地向其他用地类型转化,其中水域的减少量最大,为98.33亿元,其次是沼泽18.76亿元。带来ESV增加的地类转化是建设用地、水田、旱地、草地和未利用地向其他地类转化,其中建设用地向所有地类转化都导致ESV的增加,增加总量为40.89亿元。另外,所有地类向建设用地转化都导致了ESV负增长,合计111.48亿元,其中由于旱地、水域向建设用地转化的面积大,带来的负向增加量也大。水域的ESV系数最高,各地类转化为水域都带来ESV总量的正向增长,共132.52亿元,其中旱地向水域转化的ESV最大,为51.10亿元,比例为38.56%。

从下辽河平原ESV变化见表8。从一级分类看,供给服务、支持服务、调节服务和文化服务都呈现下降趋势,这与正ESV变化趋势一致;从二级分类看,原料生产和水资源供给呈现上升趋势,其他各项均呈现下降趋势。从变化程度看,水文调节减少最多,为104.92亿元,减幅为32.82%;水资源供给变化最为明显,尤其是2010年,提供的ESV为

表7 下辽河平原1990—2019年不同土地利用类型ESV损益矩阵 单位:亿元

土地利用类型	草地	建设用地	旱地	林地	水田	水域	未利用地	沼泽	合计
草地	0.00	−0.78	−0.54	0.31	−0.16	2.68	0.00	0.18	1.68
建设用地	0.45	0.00	16.68	0.94	6.45	14.64	0.02	17.11	40.89
旱地	0.97	−45.29	0.00	6.83	−0.29	51.10	−0.09	22.65	15.49
林地	−0.91	−7.80	−14.23	0.00	−2.32	11.28	−0.17	6.14	−13.55
水田	0.20	−23.76	0.55	0.70	0.00	37.67	0.00	28.64	18.22
水域	−3.31	−27.92	−28.87	−7.55	−22.75	0.00	−0.38	−75.39	−98.33
未利用地	0.00	−0.14	0.08	0.08	0.01	0.06	0.00	0.00	0.10
沼泽	−1.06	−5.79	−8.11	−0.73	−18.16	15.11	−0.02	0.00	−18.76
合计	−3.66	−111.48	−34.45	0.59	−37.23	132.52	−0.65	0.91	−54.26

表8 下辽河平原1990—2019年ESV变化 单位:亿元

分类	亚类	年份			
		1990	2000	2010	2019
供给服务	食物生产	40.64	40.71	39.32	37.41
	原料生产	15.47	15.39	15.63	15.98
	水资源供给	−3.85	−4.41	1.81	−1.88
调节服务	气体调节	42.31	41.36	39.38	38.45
	气候调节	49.62	46.67	44.14	43.19
	净化环境	15.76	13.41	10.39	3.57
	水文调节	319.73	307.98	319.65	214.81
支持服务	土壤保持	37.74	36.76	36.30	36.79
	维持养分循环	6.32	6.25	5.97	5.80
	生物多样性	39.45	36.93	35.46	36.61
文化服务	美学景观	22.74	21.36	20.77	21.14

1.81亿元,其他阶段均为负值,原因是这一阶段内当量较高的水域和沼泽的用地面积最大。

4 讨 论

从ESV时间变化角度看,1990—2019年下辽河平原的ESV整体呈现下降趋势。这与丁梦婷等[38]对江苏省ESV时间变化研究结果一致,而与夏鑫鑫等[16]对新疆玛纳斯河流域ESV变化研究结果不一致,原因是下辽河平原在研究期内人口快速增加,建设用地面积扩张加速,导致下辽河平原的ESV下降,而玛纳斯河流域人口增幅慢,建设用地在研究期内变化幅度小。从ESV空间变化角度看,研究期内下辽河平原的ESV高值区变化不明显,主要用地类型是水域和沼泽,主要是水域和沼泽的ESV当量较高,这与高星等[39]对白洋淀流域的研究结果一致;ESV低值区呈现扩张趋势,主要用地类型是提供负价值的建设用地,且建设用地在研究期内不断扩张。从研究方法角度来看,当前使用的当量因子表是基于全国尺度进行的本地化修正,今后的研究应逐步发掘适用于小范围小流域适用的评估方法,特别是EDS的计算方法,本文只计算了受人类干扰较多的耕地和建设用地的负价值,其他受人类干扰较少的用地类型负价值计算方式需要逐步完善;同时,对ESV变化的影响因子探索要进一步深化,以期为未来区域土地利用规划,提升ESV做更好的储备[39]。

5 结 论

本文以中国陆地生态系统ESV评估模型为基础,结合下辽河平原实际情况改进方法,对各时段不同土地利用类型的ESV和EDS进行定量估算,主要结论如下:

(1)下辽河平原1990—2019年综合土地利用动态度呈现上升趋势,变化率为0.68%;单一土地利用动态度中,旱地、林地和沼泽总体上呈现下降趋势,水田、草地、水域、建设用地和未利用地总体上呈现上升趋势。

(2)下辽河平原1990—2019年的生态系统服务正向价值整体上呈现下降趋势。29年间ESV减少了134.05亿元,变化率为-22.88%;EDS增加了39.56亿元,变化率为55.29%;净ESV减少了173.62亿元,变化率为-33.75%。从ESV的组成方面看,水域ESV最大,其次是林地,而建设用地ESV为负值。

(3)下辽河平原正ESV空间分布上,高值区主要分布在盘锦市东部和辽河流经区,低值区主要分布在下辽河平原东部沈阳市,辽阳市和鞍山市。下辽河平原1990—2019年由于土地利用变化导致的ESV呈现减少趋势,总计减少量为54.26亿元,主要是水域向其他地类的转化。

参 考 文 献

[1] DAILY G C. Natures services: societal dependence on natural ecosystems[M]. Washington D C: Island Press, 1998.

[2] COSTANZA R, D'ARGE R, DE GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Nature (International Weekly Journal of Science), 1997, 387: 253-260.

[3] SHACKLETON C M, RUWANZA S, SINASSON SANNI G K, et al. Unpacking pandora's box: understanding and categorising ecosystem disservices for environmental management and human wellbeing [J]. Ecosystems, 2016, 19: 587-600.

[4] 张晓瑶,张潇,李冬花,等.城市土地利用变化对生态系统服务价值影响的多情景模拟:以深圳市为例[J].生态学报,2022(6):2086-2097.

[5] 刘志涛,王少剑,方创琳.粤港澳大湾区生态系统服务价值的时空演化及其影响机制[J].地理学报,2021,76(11):2797-2813.

[6] 谢高地,鲁春霞,肖玉,等.青藏高原高寒草地生态系统服务价值评估[J].山地学报,2003(1):50-55.

[7] 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,2015,30(8):1243-1254.

[8] CAMACHO-VALDEZ V, RUIZ-LUNA A, GHERMANDI A, et al. Effects of land use changes on the ecosystem service values of coastal wetlands[J]. Environmental Management, 2014, 54(4): 852-864.

[9] SHIFERAW H, BEWKET W, ALAMIREW T, et al. Implications of land use/land cover dynamics and prosopis invasion on ecosystem service values in Afar Region, Ethiopia[J]. Science of the Total Environment, 2019, 675: 354-366.

[10] WANG Z Z, ZHANG L W, LI X P, et al. Integrating ecosystem service supply and demand into ecological risk assessment: a comprehensive framework and case study[J]. Landscape Ecology, 2021, 36(10): 2977-2995.

[11] 傅伯杰,于丹丹.生态系统服务权衡与集成方法[J].资源科学,2016,38(1):1-9.

[12] 丘海红,胡宝清,张泽.基于土地利用变化的广西近20

年生态系统服务价值研究[J].环境工程技术学报,2022,12(5):1455-1465.
[13] 刘礼群,江坤,胡智,等.雄安新区国土空间开发的生态系统服务价值响应特征[J].生态学报,2022(6):2098-2111.
[14] 王永琪,马姜明.基于县域尺度珠江-西江经济带广西段土地利用变化对生态系统服务价值的影响研究[J].生态学报,2020,40(21):7826-7839.
[15] 李梦桃,周忠学.西安市城市景观的正负生态系统服务测算及空间格局[J].地理学报,2016,71(7):1215-1230.
[16] 夏鑫鑫,朱磊,杨爱民,等.基于山地-绿洲-荒漠系统的生态系统服务正负价值测算:以新疆玛纳斯河流域为例[J].生态学报,2020,40(12):3921-3934.
[17] 张天海,田野,徐舒,等.滨海城市土地利用格局演变及对生态系统服务价值的影响[J].生态学报,2018,38(21):7572-7581.
[18] 胡碧松,张涵玥.基于CA-Markov模型的鄱阳湖区土地利用变化模拟研究[J].长江流域资源与环境,2018,27(6):1207-1219.
[19] 孙霜梅.哈尔滨市土地利用变化对碳排放的影响及对策研究[D].哈尔滨:哈尔滨师范大学,2020.
[20] 郭亚红,阿布都热合曼·哈力克,魏天宝,等.基于土地利用变化的和田地区生态系统服务价值分析[J].生态学报,2021,41(16):6363-6372.
[21] 蒋茜.基于土地利用变化的湖州市生态系统服务价值评估[D].南京:南京信息工程大学,2020.
[22] 李敏.基于土地利用变化的生态系统服务价值研究[D].合肥:合肥工业大学,2015.
[23] 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.
[24] 郑博福,黄琼瑶,陶林,等.赣南地区景观格局变化及其对生态系统服务价值的影响[J].生态学报,2021,41(15):5940-5949.
[25] 王璐,杨洁,胡月明,等.广州市土地利用生态服务价值测算研究[J].水土保持通报,2009,29(4):229-234.
[26] 陈同斌,曾希柏,胡清秀.中国化肥利用率的区域分异[J].地理学报,2002,57(5):531-538.
[27] 刘鹏举,马云倩,郭燕枝.中国农产品农药残留现状及其对出口贸易的影响[J].中国农业科技导报,2017,19(11):8-14.
[28] 付静尘.丹江口库区农田生态系统服务价值核算及影响因素的情景模拟研究[D].北京:北京林业大学,2010.
[29] 刘浩然.辽宁省农田灌溉水有效利用系数测算分析研究[D].大连:大连理工大学,2020.
[30] 祁兴芬.区域农田生态系统正、负服务价值时空变化及影响因素分析:以山东省为例[J].农业现代化研究,2013,34(5):622-626.
[31] 刘仕佳.辽宁省土地利用变化碳排放效应研究[D].沈阳:沈阳师范大学,2017.
[32] 张玉铭,胡春胜,董文旭,等.农田土壤N_2O生成与排放影响因素及N_2O总量估算的研究[J].中国生态农业学报,2004,12(3):119-123.
[33] 陈蔚.宜昌市猇亭区生态系统服务价值估算研究[D].武汉:华中师范大学,2007.
[34] 高树婷,张慧琴,杨礼荣,等.我国温室气体排放量估测初探[J].环境科学研究,1994(6):56-59.
[35] KREUTER U P, HARRIS H G, MATLOCK M D, et al. Change in ecosystem service values in the San Antonio area, Texas[J]. Ecological Economics, 2001, 39(3): 333-346.
[36] 郑义刚,杨兴柱,朱跃.基于土地利用变化的大别山区生态系统服务价值研究[J].云南地理环境研究,2020,32(4):57-65.
[37] 胡赛.基于土地利用变化的生态系统服务价值及生态补偿标准研究[D].徐州:中国矿业大学,2020.
[38] 丁梦婷,裴凤松,胡引翠,等.基于LUCC的江苏省生态系统服务价值时空变化特征研究[J].生态学报,2020,40(19):6801-6811.
[39] 高星,杨刘婉青,李晨曦,等.模拟多情景下白洋淀流域土地利用变化及生态系统服务价值的空间响应[J].生态学报,2021,41(20):7974-7988.
[40] 许旭,任斐鹏,韩念龙.2000—2009年河北省生态系统服务价值时空动态遥感监测[J].国土资源遥感,2015,27(1):187-193.
[41] 韩念龙,张亦清,张伟璇.海南岛土地利用及产水量时空变化模拟[J].水资源保护,2022,38(2):119-127.

(责任编辑:李拓宇)