

doi: 10.6046/zrzyyg.2020305

引用格式: 汪清川,奚砚涛,刘欣然,等.生态服务价值对土地利用变化的时空响应研究——以徐州市为例[J].自然资源遥感,2021,33(3):219–228. (Wang Q C,Xi Y T,Liu X R,et al. Spatial-temporal response of ecological service value to land use change: A case study of Xuzhou City[J]. Remote Sensing for Natural Resources,2021,33(3):219–228.)

生态服务价值对土地利用变化的时空响应研究
——以徐州市为例

汪清川,奚砚涛,刘欣然,周 文,徐欣冉
(中国矿业大学资源与地球科学学院,徐州 221000)

摘要: 徐州市是淮海经济区的中心城市,生态环境保护工作任重而道远。通过 2005—2015 年间徐州市的遥感影像数据制作徐州市土地利用变化图,再结合相关统计年鉴数据,利用 GIS 空间统计的方法,计算出研究期间徐州市的土地利用动态度和土地利用转移矩阵。在此基础上以当量因子法的研究为基础,以研究区域的具体情况确定相关修正系数,定量研究了徐州市的生态系统服务价值在时间及空间上的变化。从土地利用变化和生态系统服务价值变化之间,研究其变化关系。研究结果表明:①徐州市主要用地类型以耕地为主,2005—2015 年间,耕地、林地、水域和草地面积减少,未利用地小幅度增加,建设用地增加面积较大,同时不同土地利用类型之间转化剧烈,耕地大面积向林地、草地和建设用地转出,增加的建设用地面积主要是由耕地转化而来;②在二级生态系统服务类型中,水文调节和废物处理服务价值最高,原料生产服务价值较低,研究期各单项生态系统服务价值均呈现出不断下降的趋势,进而导致徐州市总生态系统服务价值不断减少,10 a 间共减少了 2.9×10^9 元,在一级生态系统服务类型中,耕地生态系统服务价值减少了 1×10^9 元,林地生态系统服务价值减少了 1.43×10^9 元,二者生态服务价值减少量占总生态服务价值减少量的 80% 以上;③不同时期各地类的生态系统敏感性指数均小于 1,说明研究期间徐州市各地类生态价值系数和生态系统服务价值是一种缺乏弹性的关系,因此采用生态价值系数的计算方法是合理可靠的,计算结果具有可信度。

关键词: 土地利用变化;生态系统服务价值;土地利用转移矩阵;徐州市

中图法分类号: P 237 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-034X(2021)03-0219-10

0 引言

生态系统服务是指通过生态系统的结构、过程和功能直接或间接得到的生命支持产品和服务,其价值评估是生态环境保护、生态功能区划、环境经济核算和生态补偿决策的重要依据和基础^[1],人类的生产生活离不开对生态系统服务的依赖,它与人

类的发展密切相关。Costanza^[2]在 1997 年就对生态系统的功能进行了相关研究,并在全球范围内进行了相关划分和价值评估,一经发表便成为当时研究生态系统服务价值(ecosystem service value,ESV)的基础。谢高地等^[3-5]在此基础上,经过充分的实地调查,根据我国的具体国情改进了该评估模型,并发表了“中国陆地生态系统单位面积生态服务价值当量表”,此后,该研究成果被我国学者广泛用于生态系

统服务功能的研究。

土地利用变化是全球生态环境变化的重要因素^[6-8],随着经济和人口快速增长,城市基础建设不断扩张,建设用地需求越来越大,导致各用地类型转换剧烈,尤其是耕地和建设用地的转换,并最终导致区域 ESV 和功能发生变化,近年来越来越多的专家学者将研究重点放在土地利用变化对生态系统服务功能和价值的影响上,相关研究俨然已经成为生态学和地理学的研究重点。Carpenter 等^[9]认为土地利用类型的改变会导致生态系统的结构和过程发生变化,从而影响生态系统服务功能,Radford 等^[10]研究发现,土地利用格局会影响单项 ESV 从而影响其总值。国内学者在借鉴了国外的研究成果,对国内的 ESV 进行了相关研究^[11-13]。胡和兵等^[14]发现,土地利用程度与服务价值存在明显的负相关关系;李涛等^[15]以洞庭湖

收稿日期: 2020-09-23; 修订日期: 2021-03-18

基金项目: 高分辨率对地观测系统重大专项项目(编号: GFZX0404130302)资助。

第一作者: 汪清川(1994-),男,硕士研究生,主要从事遥感与 GIS 应用研究。Email: 1551994459@qq.com。

通信作者: 奚砚涛(1973-),男,副教授,从事遥感与地理信息系统应用等研究。Email: xyt556@cumt.edu.cn。

为研究区域,探讨了土地利用变化与 ESV 的时空演变,发现其 ESV 变化表现出了很强的空间自相关现象。

近年来,随着徐州正式确立为淮海经济区中心城市,其未来城市的发展必然导致土地利用方式的剧变,因此,急需对徐州市的生态服务功能和土地利用变化的关系进行分析研究,探讨各类土地利用类型的生态服务功能的价值,从而为徐州市未来生态环境保护 and 城市健康发展提供保障,因此,本文以 Costanza 和谢高地等人的研究成果为基础,利用 3 期遥感影像,结合 GIS (geo - information system) 的空间分析功能,研究 2005—2015 年间徐州市的土地利用变化,进而计算其 ESV 并掌握其空间变化情况,为徐州市的可持续化发展及未来土地利用和生态环境保护提供数据保障。

1 研究区概况与数据源

1.1 研究区概况

徐州,作为江苏省地级市,淮海经济区中心城市,地处江苏省西北部,地理坐标为 E116 °22 ' ~118 °40 ', N33 °43 ' ~34 °58 ' 之间,总面积为 11 258 km²,除中部和东部少数丘陵外,大部分为平原,受温带季风气候影响,全年平均气温为 14 °C,年降水量为 800 ~ 930 mm。截至 2017 年底,全市总人口为 836.35 万人,国内生产总值为 6 605.95 亿元,人均生产总值为 75 611 元。徐州市下辖 5 个区,2 个县级市,3 个县(图 1)。

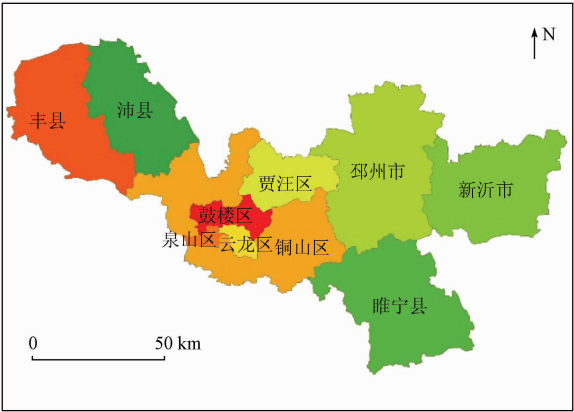


图 1 研究区域
Fig. 1 Study area

1.2 数据源

本文使用到的数据主要为 Landsat 系列遥感影像数据、统计年鉴数据和行政边界数据。通过对遥感影像进行相关预处理,经过人工解译,将土地利用类型分为 6 类,从统计年鉴数据中获取徐州市的粮

食产量和价格数据,进行相关修正系数的计算,通过行政边界数据获取徐州市的县区级别的边界范围。数据具体信息如表 1 所示。

表 1 基本数据信息汇总
Tab. 1 Summary of basic data information

数据名称	获取时间	获取来源	分辨率/m	数据格式
Landsat5 TM 影像	2005 年和 2010 年	地理空间数据云	30	栅格
Landsat8 OLI/TIRS 影像	2015 年	地理空间数据云	30	栅格
统计年鉴	2005—2015 年	徐州市统计局	—	表格
行政边界	2015 年	中科院资源科学数据中心	—	矢量

2 研究方法

2.1 单一土地利用类型动态度

单一土地利用类型动态度 K 表示的是某单一土地利用类型在一定时间范围内的面积变化量^[16],表达式为:

$$K = \frac{S_j - S_i}{S_i} \frac{1}{t} \times 100\% \quad , \quad (1)$$

式中: S_j 和 S_i 分别为研究区域在末期和初期的某种土地利用类型的面积; t 为研究时间范围,当 t 的单位是年时, K 的值即为年变化率。

2.2 土地利用转移矩阵

土地利用类型转移矩阵可以计算出土地利用类型之间的相互转移的数量和方向,可以对某一时期内各种土地利用类型的演变方向与程度进行描述^[17],其表达式为:

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & \cdots & S_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{n1} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \quad (2) \quad ,$$

式中: S 为土地面积; n 为土地利用的类型数; i, j 分别为研究期间开始和结束时的土地利用的类型。

2.3 ESV

Finlayson 等^[18]的研究为 ESV 研究提供了基本的指导理论和研究方向。当国内学者将其引入我国的一些区域进行相关研究时发现其方法存在一些不足,对我国的 ESV 估算不太合理。谢高地等^[19]通过对 200 多位专家学者问卷调查的形式,对该方法进行改进,经过 2 次修订,制定了如表 2 所示的中国 ESV 当量表。

表 2 中国生态系统单位面积生态服务价值当量表(2007 年)

Tab.2 Ecological service value equivalent per unit area of China’s ecosystem (2007)

一级类型	二级类型	森林	草地	农田	湿地	河流/湖泊	荒漠
供给服务	食物生产	0.33	0.43	1	0.36	0.53	0.02
	原材料生产	2.98	0.36	0.39	0.24	0.35	0.04
调节服务	气体调节	4.32	1.50	0.72	2.41	0.51	0.06
	气候调节	4.07	1.56	0.97	13.55	2.06	0.13
	水文调节	4.09	1.52	0.77	13.44	18.77	0.07
支持服务	废物处理	1.72	1.32	1.39	14.40	14.85	0.26
	保持土壤	4.02	2.24	1.47	1.99	0.41	0.17
	维持生物多样性	4.51	1.87	1.02	3.69	3.43	0.40
文化服务	娱乐文化	2.08	0.87	0.17	4.69	4.44	0.24
合计		28.12	11.67	7.9	54.77	45.35	1.39

谢高地等认为 1 hm² 农田食物生产的 ESV 当量为 1,单位面积农田食物生产的 ESV 相当于当年研究区域的平均粮食市场价格的 1/7^[19-21]。该方法在国内得到了众多学者的广泛应用。由于该当量表是基于全国大尺度的研究,直接使用该方法肯定会造成较大偏差,因此本文根据徐州市的区位因素和研究期间徐州市的粮食产量和价格等因素,对徐州市 ESV 当量进行修正计算。具体有以下几个方面:①谢高地等的研究中,对我国不同省份的农田生态系统生物量因子继续计算,得到江苏省的生物量因子为 1.74^[22];②将土地利用类型与最接近的生态系统相对应,森林、草地、农田、河流湖泊和荒漠

分别对应林地、草地、耕地、水域和未利用地;由于目前对建设用地的理论研究尚少,未形成一些公认的研究方法,因此本文研究 ESV 时,建设用地没有参与相关计算;③根据徐州市的统计年鉴数据和江苏省粮油交易中心粮食价格统计数据,得到徐州市 2005—2015 年间平均粮食产量为 6 068 kg/hm²,2015 年徐州市的粮食收购价格为 2.71 元/kg,以 2015 年徐州市的粮食收购价格为基础,消除年与年间价格的波动,计算得到徐州市单位农田食物生产的 ESV 为 2 349.18 元/hm²。进而得到徐州市单位面积 ESV 系数表,如表 3 所示,该表经过一系列修正,比较符合研究区域的实际情况。

表 3 徐州市生态系统单位面积生态服务价值系数表

Tab.3 Ecological service value coefficient per unit area of Xuzhou ecosystem

一级类型	二级类型	林地	草地	耕地	水域	未利用地
供给服务	食物生产	1 348.90	1 757.66	4 087.58	2 166.41	81.75
	原材料生产	12 180.97	1 471.53	1 594.15	1 430.65	163.5
调节服务	气体调节	17 658.32	6 131.36	2 943.05	2 084.66	245.25
	气候调节	16 636.42	6 376.61	3 964.95	8 420.40	531.38
	水文调节	16 718.17	6 213.11	3 147.43	76 723.75	286.13
支持服务	废物处理	7 030.63	5 395.60	5 681.73	60 700.46	1 062.77
	保持土壤	16 432.04	9 156.16	6 008.73	1 675.91	694.89
	维持生物多样性	18 434.96	7 643.73	4 169.32	14 020.38	1 635.03
文化服务	娱乐文化	8 502.15	3 556.19	694.89	18 148.38	981.02
合计		114 942.56	47 701.98	32 291.83	185 371.44	5 681.73

以修正过的 *ESV* 表为计算基础,徐州市的生态系统服务功能价值的计算公式为:

$$ESV = \sum_{i=1}^n V_i A_i \quad , \quad (3)$$

$$ESV_k = \sum_{i=1}^n A_i V_{ki} \quad , \quad (4)$$

式中:*ESV* 为研究区内生态系统服务总价值;*V_i* 为某单一土地利用类型 *i* 的 *ESV* 系数;*A_i* 为某单一土地利用类型 *i* 的面积;*ESV_k* 为第 *k* 项 *ESV*; *V_{ki}* 为第 *i* 种土地利用类型的第 *k* 项 *ESV*。

2.4 生态系统敏感性

ESV 敏感性指数(CS)可以很好地验证生态系

统类型对各土地利用类型的代表性和价值系数的准确性^[23-25]。CS 值越大,说明单项服务功能价值系数 *V* 对 *ESV* 的影响程度大,*ESV* 易受 *V* 的影响产生大的波动。当 CS > 1 时,表明当 1% 的自变量发生变化时,其引起的因变量的变化将大于 1%,这种情况下我们认为结果可信度低,不予采纳;反之,当 CS < 1 时,表明 *V* 和 *ESV* 的关系是缺乏弹性的,即 1% 的自变量发生变化时,其引起的因变量的变化将小于 1%,这种情况是可信的。

本文分别将徐州市各土地利用类型的 *V* 值各调整 50%,以此来计算 CS 值,从而探究 *V* 对 *ESV* 的影响程度,其具体的计算公式如下:

$$CS = \left| \frac{\frac{ESV_n - ESV_m}{ESV_m}}{\frac{V_{nl} - V_{ml}}{V_{ml}}} \right|, \quad (5)$$

式中： CS 为敏感性指数； m, n 分别为初始时的价值和调整生态价值系数后的价值； l 为某单一土地利用类型。

3 结果与分析

3.1 徐州市土地利用变化分析

徐州市 2005—2015 年间土地利用变化情况如图 2 和表 4 所示,结合图 2 和表 4 可知,研究期间徐州市的主要用地类型为耕地,占总面积约 69.3%,

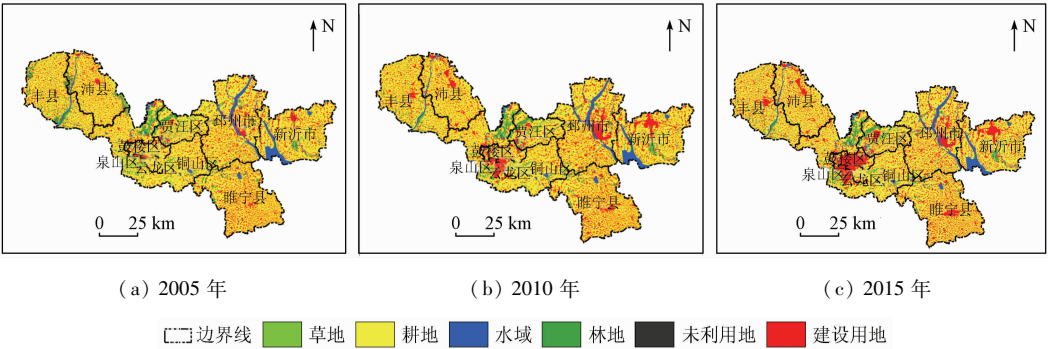


图 2 徐州市土地利用变化
Fig.2 Land use changes in Xuzhou City

表 4 2005—2015 年徐州市土地利用变化

Tab.4 Xuzhou City land use change from 2005 to 2015

土地利用类型	2005 年		2010 年		2015 年		动态度/%	
	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%	2005—2010 年	2010—2015 年
耕地	783 793.35	70.66	761 754.33	68.68	752 671.62	67.85	-0.56	-0.24
林地	55 430.73	5.00	43 227.27	3.9	42 974.73	3.87	-4.40	-0.12
草地	8 300.97	0.75	2 797.92	0.25	3 114.36	0.28	-13.26	2.26
建设用地	210 492.00	18.98	251 549.19	22.68	260 455.05	23.48	3.90	0.71
水域	50 829.03	4.58	49 404.42	4.45	49 488.21	4.46	-0.56	0.03
未利用地	342.18	0.03	469.44	0.04	600.3	0.05	7.44	5.58

其次为建设用地,占总面积约 21.3%,接着是林地和水域,占总面积分别为 5%和 3.96%,草地占总面积约为 0.4%,面积最小的是未利用地,仅占总面积约 0.04%。从总体变化来看,研究期间徐州市的土地利用变化呈现出两增四减的变化趋势,具体表现为建设用地和未利用地面积增加,耕地、林地、草地和水域面积减少,其中建设用地和耕地分别是增加面积最多和减少面积最多的用地类型,同时也是增长速度最快和减少速度最快的土地利用类型,在此

期间建设用地共增加了 499 630.5 hm²,占比增加了 4.5%,耕地共减少了 311 217.3 hm²,占比减少了 2.81%。研究期间耕地和林地面积逐年下降,建设用地和未利用地逐年上升,而草地和水域面积在 2005—2010 年间都单调递减,在 2010—2015 年间又有少量增加。2005—2015 年间,徐州市各土地利用类型相互转化如表 5 所示,其中草地向其他土地转移的规模很小,转移面积最大的为向耕地转移了 4 977 hm²,耕地主要转移向建设用地、林地和草地,

表 5 徐州市 2005—2015 年土地利用转移矩阵

Tab.5 Land use transfer matrix in Xuzhou from 2005 to 2015

(hm²)

土地利用类型	2005 年						
	草地	耕地	建设用地	林地	水域	未利用地	总计
2015 年	草地	2 688	293	65	34	33	3 115
	耕地	4 977	727 369	8 123	10 855	1 350	752 676
	建设用地	568	54 276	200 790	2 669	2 122	260 458
	林地	34	875	222	41 813	28	42 980
	水域	12	1 757	529	36	47 165	49 498
	未利用地	20	109	38	9	129	600
	总计	8 299	784 679	209 766	55 416	50 828	1 109 327

占转出总面积 90% 以上,说明徐州的建设用地面积的增加主要是占用周边耕地形成。林地和水域的转出土地利用类型均为耕地和建设用地,占总的转出面积均达到了 90% 以上。

3.2 徐州市 *ESV* 变化

3.2.1 *ESV* 总体变化

2005—2015 年徐州市各类土地利用类型 *ESV* 变化如表 6 所示,从表 6 中可以发现,徐州市的 *ESV* 总量一直在不断减少,从 2005 年的 4.15×10^{10} 元,到 2015 年的 3.86×10^{10} 元,10 a 间共减少了 2.9×10^9 元,变化率为 -6.9%,其中 2005—2010 年间的变化比较剧烈。2005—2010 年,除了未利用地,其他各土地利用类型的 *ESV* 均出现大幅度的下降,2010—2015 年耕地仍处于大幅下降的趋势,林地的下降幅度减小,草地、水域和未利用地的 *ESV* 出现

小幅度的上升。总体上看,除了未利用地,其他各土地利用类型的 *ESV* 均处于下降趋势,其中林地的 *ESV* 下降量最大,共减少了 1.43×10^9 元,变化率为 -22.45%,其次是耕地,共减少了 1×10^9 元,变化率为 -3.95%,接下来是草地和水域,分别减少了 2.47×10^8 元和 2.5×10^8 元,变化率分别为 -62.3% 和 2.65%,最后是未利用地,其 *ESV* 增加了 1.47×10^6 元,变化率为 75.77%,但其对 *ESV* 总量影响最小。从历年土地利用类型的 *ESV* 所占比例来看,徐州市的 *ESV* 组成结构相对稳定,依次为耕地、水域、林地、草地、未利用地,与此同时水域、林地和耕地的 *ESV* 之和占比超过 95% 以上。耕地所占比重一直是最大的,这是因为其面积所占比例始终最大,水域虽然面积占比小,仅为 4.5% 左右,但其产生的 *ESV* 比较大,故而所占比例也比较大。

表 6 徐州市各用地类型 *ESV* 变化
Tab. 6 Changes in *ESV* of various land types in Xuzhou City

土地利用类型	<i>ESV</i> 及其比例						<i>ESV</i> 变化量/(10^6 元)		
	2005 年		2010 年		2015 年		2005—2010 年	2010—2015 年	2005—2015 年
	<i>ESV</i> /(10^6 元)	比例/%	<i>ESV</i> /(10^6 元)	比例/%	<i>ESV</i> /(10^6 元)	比例/%			
耕地	25 300	60.99	24 600	63.30	24 300	63.01	-700	-300	-1 000
林地	6 370	15.35	4 970	12.79	4 940	12.81	-1 400	-30	-1 430
草地	396	0.95	133	0.34	149	0.39	-263	16	-247
水域	9 420	22.70	9 160	23.57	9 170	23.78	-260	10	-250
未利用地	19.4	0.01	26.7	0.01	34.1	0.01	7.3	7.4	14.7
合计	41 500	100	38 900	100	38 600	100	-2 600	-300	-2 900

3.2.2 单项 *ESV* 变化

徐州市单项 *ESV* 及其变化如表 7 所示,从表 7

中可以看出,2005—2015 年间徐州市各单项生态系统服务功能均呈现下降趋势。这是因为研究期间除

表 7 徐州市单项 *ESV* 及其变化
Tab. 7 Xuzhou City's single ecosystem service value and its change (10^6 元)

生态系统服务类型	<i>ESV</i>			<i>ESV</i> 变化量		
	2005 年	2010 年	2015 年	2005—2010 年	2010—2015 年	2005—2015 年
食物生产	3 400	3 280	3 250	-120	-30	-150
原材料生产	2 010	1 820	1 800	-190	-20	-210
气体调节	3 440	3 130	3 100	-310	-30	-340
气候调节	4 510	4 170	4 140	-340	-30	-340
水文调节	7 350	6 930	6 900	-420	-30	-450
废物处理	7 970	7 650	7 600	-320	-50	-370
保持土壤	5 780	5 400	5 340	-380	-60	-440
维持生物多样性	5 070	4 690	4 650	-380	-40	-420
娱乐文化	1 970	1 800	1 800	-170	0	-170

了建设用地和未利用地,其他地类面积均处于明显的下降趋势。各单项 *ESV* 中减少量最多的是水文调节的功能,价值共减少了 4.5×10^8 元,这主要是因为研究期间,水域面积的减少所造成的。变化最小的是娱乐文化功能,共减少了 1.7×10^8 元。从一级类型来看,对 *ESV* 贡献最大的是调节服务功能,贡献率约为 56.35%,其次是支持服务功能,贡献率约为 25.88%,供给服务功能,贡献

率约为 13.08%,最后是文化服务功能,贡献率约为 4.69%。从二级类型来看,徐州市提供的废物处理功能价值最大,其次是水文调节功能,且这两个功能价值主要由水域面积提供。

3.2.3 *ESV* 空间变化

2005—2015 年,徐州市总的 *ESV* 持续下降,由于总量的变化无法反映出其在空间上的差异,因此在 ArcGIS 软件中计算各县域的 *ESV* 总量及

其单位面积 *ESV*。计算结果如表 8 和图 3—4 所示,从空间变化上来看,研究期间,徐州市 *ESV* 低

表 8 徐州市 *ESV* 空间变化

Tab.8 Spatial changes of ecosystem service value in Xuzhou

行政区域	<i>ESV</i> (10^8 元)			<i>ESV</i> 变化量(10^8 元)			单位面积 <i>ESV</i> (10^4 元/hm ²)		
	2005 年	2010 年	2015 年	2005—2010 年	2010—2015 年	2005—2015 年	2005 年	2010 年	2015 年
贾汪区	27.5	26.6	26.8	-0.9	0.2	-0.7	4.45	4.31	4.35
泉山区	2.9	0.48	0.47	-2.42	-0.01	-2.43	5.04	0.83	0.81
铜山区	77.3	75.0	74.6	-2.3	-0.4	-2.7	4.02	3.90	3.88
新沂市	69.2	67.1	66.3	-2.1	-0.8	-2.9	4.35	4.22	4.17
云龙区	3.87	2.55	2.36	-1.32	-0.19	-1.41	3.41	2.25	2.08
邳州市	83.5	80.2	80.1	-3.3	-0.1	-3.4	4.02	3.87	3.86
睢宁县	49.5	47.7	47.4	-2.2	-0.3	-2.5	2.80	2.70	2.69
鼓楼区	10.4	8.23	7.75	-2.17	-0.48	-2.65	3.71	2.94	2.77
丰县	52.6	45.7	45.0	-6.9	-0.7	-7.6	3.66	3.18	3.13
沛县	38.4	35.1	34.9	-3.3	-0.2	-3.5	3.10	2.84	2.82

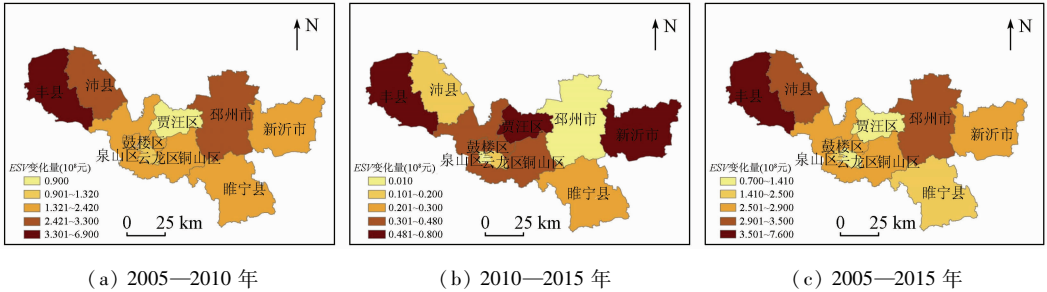


图 3 徐州市 *ESV* 变化量空间分布

Fig.3 Spatial distribution of *ESV* changes in Xuzhou

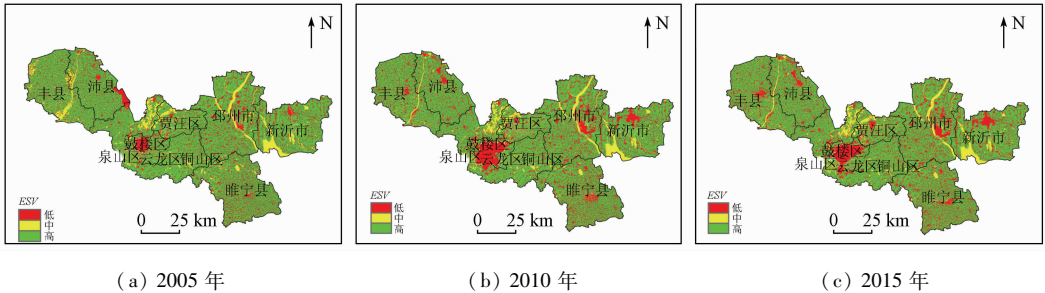


图 4 徐州市 *ESV* 时空变换

Fig.4 Time - space transformation diagram of Xuzhou *ESV*

值区域由城区向周边扩散,尤其在泉山区、鼓楼区、云龙区,变化最为明显,这是由于城市发展,建设用地不断扩张,占用了很多的耕地、林地和水域资源,而本文中鉴于建设用地对 *ESV* 的研究尚不明确,故其并没有参与相关计算,从而导致徐州市 *ESV* 降低。2005—2010 年间, *ESV* 变化量较大的区域有丰县、沛县和邳州市,较小的有贾汪区,2010—2015 年 *ESV* 变化量较大的有丰县、贾汪区和新沂市,较小的有邳州市。各县级行政区域除了贾汪区以外,均呈现出持续下降的趋势,其中下降总量最多的是丰县,共减少了 7.6×10^8 元,下降总量最小的是贾汪区,共减少了 0.7×10^8 元,在县级行政区域中, *ESV* 最高的是邳州市,这主要是因为其行政区面积较大,耕地面积多,比较高的有铜山区、新沂市和丰县,较低的区域有泉山区和云龙

区。贾汪区在 2005—2015 年间先减少后增加,增加的主要原因是在 2010—2015 年间,水域和草地面积的大幅度增加。由于各县域土地面积不同,直接比较存在一定的差异性,因此采用单位面积 *ESV* 进行比较,在 2005 年,单位面积 *ESV* 最高的是泉山区,达到了 5.04×10^4 元/hm²,但在此之后,泉山区内水域面积和林地面积大幅度减少,导致其 *ESV* 总量锐减,在 2010—2015 年间,单位面积 *ESV* 最高的均为新沂市,这是因为新沂市建设用地占比和增长较小,耕地、林地、水域面积占比较高,因此其 *ESV* 较高。研究期间,单位面积 *ESV* 变化最大的是泉山区,下降了 4.23×10^4 元/hm²,变化最小的是贾汪区,减少了 0.1×10^4 元/hm²,同时可以看出,单位面积 *ESV* 较高的区域有贾汪区和铜山区,较低的有睢宁县、云龙区、鼓楼区和沛县。

3.3 生态系统服务敏感性分析

敏感性指数变化如表 9 所示,徐州市 *ESV* 的敏感性从低到高依次为未利用地、草地、水域、林地和耕地,最高为耕地的 0.633 0,说明徐州市的耕地生态价值系数变化 1% 时,耕地的 *ESV* 增加 0.633%,最低为未利用地的 0.000 47。不同时期各用地类型的敏感性系数均小于 1,这表明 *ESV* 和 *ESV* 系数是缺乏弹性的,即这种研究结果是可信的,符合徐州市的实际情况。

表 9 敏感性指数变化
Tab.9 Changes in sensitivity index

年份	耕地	林地	草地	水域	未利用地
2005 年	0.609 9	0.153 5	0.009 5	0.113 5	0.000 47
2010 年	0.633 0	0.127 9	0.003 4	0.117 8	0.000 69
2015 年	0.632 9	0.127 1	0.003 8	0.118 0	0.000 88

3.4 土地利用变化对 *ESV* 的影响

各土地利用类型面积的变化趋势与 *ESV* 的变化趋势情况如图 5 所示,从图 5 中可以发现,在

2000—2015 年间,耕地和林地的变化趋势与 *ESV* 的变化呈现完全的正相关关系,这是因为本身研究区域内的耕地和林地面积所占比例较大,故而其变化趋势呈现出相同的趋势,而草地和水域面积变化则是在 2005—2010 与 *ESV* 的变化趋势保持相同,在 2010—2015 年间与 *ESV* 变化趋势保持相反,这是因为 2005—2010 年间虽然水域面积和草地面积是增加的,但与 2000—2005 年相比,其增加的面积量较小,故而其 *ESV* 增加值被耕地和林地减少的 *ESV* 所抵消,所以整体上呈现出下降的趋势,而未利用地面积的变化与 *ESV* 的变化趋势一直呈现相反的趋势,这是因为未利用地面积所占比例极小,对 *ESV* 变化的影响也很小,更多的是其他 4 种地类影响着 *ESV* 的变化。结合表 9 看,各土地利用类型对 *ESV* 的敏感性是不同的,且在研究期间,林地、耕地和水域的敏感系数较高,说明其对 *ESV* 的贡献较大,是未来生态环境发展与保护的重点对象。

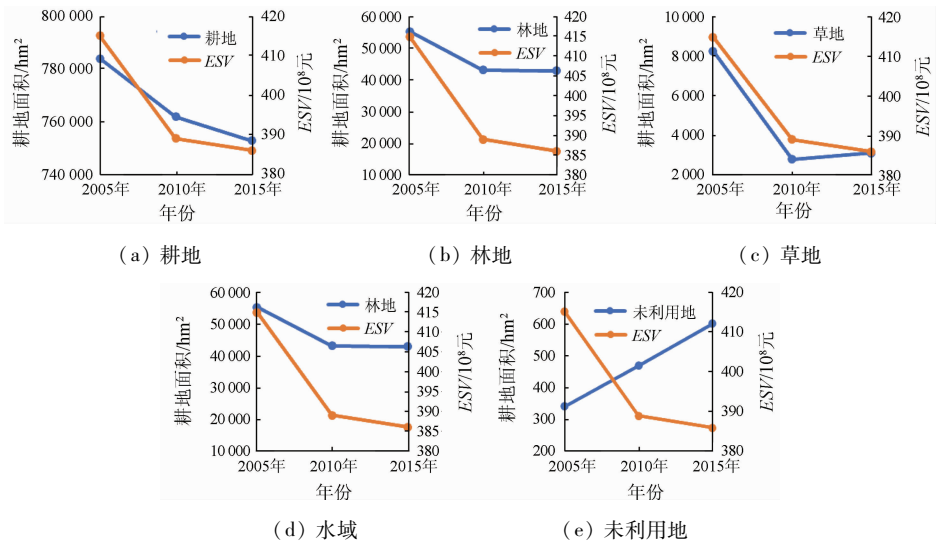


图 5 耕地、林地、草地、水域和未利用地面积与 *ESV* 变化趋势

Fig.5 Change trend of cultivated land, forest, grassland, water and unused land area and *ESV*

4 结论

ESV 的评估本身是一个很复杂的过程,其影响因素众多,评估方法也不尽相同。不同的评估方法计算出来的 *ESV* 价值可能不太相同,但是其时空变化特征相差不会太大。本文以谢高地等人的研究为基础,根据研究区域的实际情况修正了相关计算系数,得到了徐州市生态系统单位面积生态服务价值系数表,并通过 3 期遥感影像数据对徐州市土地利用类型进行分类,在 GIS 中进行相关叠加运算,统计出各土地利用类型的面积及其时空变化,研究得到

了近 10 a 来徐州市 *ESV* 随土地利用变化的时空变化。主要结论如下:

- 1) 2005—2015 年间徐州市耕地、林地、草地和水域面积均不同程度的减少,未利用地面积小幅度上升,建设用地大幅增加。同时各用地类型相互转换,建设用地增加的面积主要由耕地贡献,水域和林地也贡献了较小的一部分,耕地同时也向林地和草地转移了部分面积,但转出面积远远大于转入面积,这使得研究期间,徐州市的耕地面积大幅减少,建设用地面积不断增加,各土地利用类型相互之间转换频繁。
- 2) 研究期间徐州市 *ESV* 随土地利用变化而变

化。从时间上看,研究期间徐州市 *ESV* 处于逐年下降的趋势,尤其是 2005—2010 年这一阶段,*ESV* 锐减。就不同地类生态服务价值来说,水域和耕地的生态服务价值较高,未利用地对 *ESV* 贡献率最小,这主要是由于耕地面积所占比例高,而水域 *ESV* 系数较高,因此对 *ESV* 贡献率高。从单项 *ESV* 来看,水文调节和废物处理对 *ESV* 贡献率较高,这是因为水域面积对这 2 项生态系统服务功能影响较大,未来徐州市应加强对水域面积的管理,同时加强未利用地向林地和草地的转换,避免 *ESV* 继续下降。从空间上看,徐州市 *ESV* 差异比较明显,高生态服务价值区域主要分布在林地,水域面积大的区域如贾汪区、铜山区,低 *ESV* 区主要分布在建设用地区集中的地区,占比高的区域如睢宁县云龙区等。

3) 本文最后计算所得敏感性系数均小于 1,说明研究结果是可靠的,对于徐州市未来的土地利用和规划,本文可提供数据上的支撑,确保经济和生态的协调发展。

4) 各土地利用类型面积之间的相互转化对徐州市 *ESV* 影响较大。尤其是耕地和建设用地的转换,林地、草地向耕地的转换,这些转换都是由高 *ESV* 系数向低 *ESV* 系数的转换,打破了原有的平衡性,所以会导致研究区域内 *ESV* 总量的流失。因此,徐州市应该合理调整土地利用结构,加强耕地、林地和水域用地的保护。

参考文献 (References):

- [1] Harvey A. Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems[J]. *Corporate Environmental Strategy*, 1999, 6(2): 219 – 219.
- [2] Costanza R, D Arge R, De Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *World Environment*, 1997, 387(6630): 253 – 260.
- [3] 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.
Xie G D, Zhang C X, Zhang L M, et al. Improvement of the evaluation method for ecosystem service value based on per unit area[J]. *Journal of Natural Resources*, 2015(8): 1243 – 1254.
- [4] 于 格, 鲁春霞, 谢高地. 草地生态系统服务功能的研究进展[J]. *资源科学*, 2005(6): 172 – 179.
Yu G, Lu C X, Xie G D. Progress in ecosystem services of grassland[J]. *Resources Science*, 2005(6): 172 – 179.
- [5] 于 格, 鲁春霞, 谢高地. 青藏高原草地生态系统服务功能的季节动态变化[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(1): 47 – 51.
Yu G, Lu C X, Xie G D. Seasonal dynamics of ecosystem services of grassland in Qinghai – Tibetan Plateau[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(1): 47 – 51.
- [6] Mooney H A, Duraipappah A, Larigauderie A. Evolution of natural and social science interactions in global change research programs[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2013, 110(s1): 3665 – 3672.
- [7] 魏 慧, 赵文武, 张 骁, 等. 基于土地利用变化的区域生态系统服务价值评价——以山东省德州市为例[J]. *生态学报*, 2017, 37(11): 3830 – 3839.
Zhao H, Zhao W W, Zhang Y. Regional ecosystem service value evaluation based on land use changes: A case study in Dezhou, Shandoong Province, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(11): 3830 – 3839.
- [8] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域: 土地利用/土地覆被变化的国际研究动向[J]. *地理学报*, 1996, 63(6): 553.
Li X B. Core areas of global environmental change research: International research trends of land use/land cover change[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1996, 63(6): 553.
- [9] Carpenter S R, Mooney H A, Agard J, et al. Science for managing ecosystem services: Beyond the millennium ecosystem assessment[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2009, 106: 1305 – 1312.
- [10] Radford K G, James P. Changes in the value of ecosystem services along a rural – urban gradient: A case study of greater manchester, UK[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2013, 109(1): 117 – 127.
- [11] 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.
Ouyang Z Y, Wang X K, Miao H. A primary study on Chinese terrestrial ecosystem services and their ecological – economic values[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1999(5): 19 – 25.
- [12] 石 珪, 王如松, 黄锦楼, 等. 中国陆地生态系统服务功能的时空变化分析[J]. *科学通报*, 2012(9): 42 – 53.
Shi Y, Wang R S, Huang J L, et al. Analysis on the spatio – temporal changes of China's terrestrial ecosystem service function[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2012(9): 42 – 53.
- [13] 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.
Xie G D, Zhang C X, Zhang L M, et al. Improvement of the evaluation method for ecosystem service value based on per unit area[J]. *Journal of Natural Resources*, 2015(8): 1243 – 1254.
- [14] 胡和兵, 刘红玉, 郝敬峰, 等. 城市化对流域生态系统服务价值空间异质性的影响: 以南京市九乡河流域为例[J]. *自然资源学报*, 2011, 26(10): 1715 – 1725.
Hu H B, Liu H Y, Hao J F, et al. Effects of urbanization on the spatial heterogeneity of watershed ecosystem services value: A case study of Jiuxiang River Watershed in Nanjing City[J]. *Journal of Natural Resources*, 2011, 26(10): 1715 – 1725.
- [15] 李 涛, 甘德欣, 杨知建, 等. 土地利用变化影响下洞庭湖地区生态系统服务价值的时空演变[J]. *应用生态学报*, 2016, 27(12): 3787 – 3796.
Li T, Gan D X, Yang Z J, et al. Spatial – temporal evolvement of ecosystem service value of Dongting Lake area influenced by changes of land use[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2016, 27(12): 3787 – 3796.
- [16] 王秀兰, 包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨[J]. *地理科学进展*, 1999, 18(1): 81 – 87.

Wang X L,Bao Y H. Study on the methods of land use dynamic change research[J]. Progress in Geography,1999,18(1):81-87.

[17] 乔伟峰,盛业华,方 斌,等. 基于转移矩阵的高度城市化区域土地利用演变信息挖掘:以江苏省苏州市为例[J]. 地理研究,2013(8):123-133.

Qiao W F,Sheng Y H,Fang B,et al. Land use change information mining in highly urbanized area based on transfer matrix: A case study of Suzhou, Jiangsu Province [J]. Geographical Research,2013(8):123-133.

[18] Finlayson M,Cruz R D,et al. Millennium ecosystem assessment:ecosystems and human well-being:Wetlands and water synthesis [J]. Data Fusion Concepts & Ideas,2005,656(1):87-98.

[19] 谢高地,肖 玉,甄 霖,等. 我国粮食生产的生态服务价值研究[J]. 中国生态农业学报,2005(3):17-20.

Xie G D,Xiao Y,Zhen L,et al. Study on ecosystem services value of food production in China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture,2005(3):17-20.

[20] 周德成,罗格平,许文强,等. 1960—2008 年阿克苏河流域生态系统服务价值动态[J]. 应用生态学报,2010,21(2):399-408.

Zhou D C,Luo G P,Xu W Q,et al. Dynamics of ecosystem services value in Aksu River watershed in 1960—2008 [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2010,21(2):399-408.

[21] 虎陈霞,郭旭东,连 纲,等. 长三角快速城市化地区土地利用变化对生态系统服务价值的影响:以嘉兴市为例[J]. 长江流域资源与环境,2017,26(3):12-19.

Hu C X,Guo X D,Lian G,et al. Effects of land use change on ecosystem service value in rapid urbanization areas in yangtze river delta——A case study of Jiading City[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin,2017,26(3):12-19.

[22] 谢高地,肖 玉,甄 霖,等. 我国粮食生产的生态服务价值研究[J]. 中国生态农业学报,2005,13(3):10-13.

Xie G D,Xiao Y,Zhen L,et al. Study on ecosystem services value of food production in China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture,2005,13(3):10-13.

[23] 普拉提·莫合塔尔,海米提·依米提. 土地利用变化下的生态系统服务敏感性研究:以克里雅绿洲为例[J]. 自然资源学报,2014,29(11):1849-1858.

Polat M,Hamid Y. Ecosystem services sensitivity to land-use change:A case study of the Keriya Oasis [J]. Journal of Natural Resources,2014,29(11):1849-1858.

[24] 马 骅,安裕伦. 基于 GIS 的喀斯特地区生态敏感性及其生态系统服务功能价值分析评价:以贵州省毕节地区为例[J]. 安徽农业科学,2010,38(21):310-314.

Ma H,An Y L. Analysis on ecological sensitivity and value of ecosystem service of Karst areas based on GIS [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences,2010,38(21):310-314.

[25] 刘玉卿,彭 俊,宋晓谕. 张掖市甘临高地区生态系统服务价值变化及其敏感性分析[J]. 西北师范大学学报(自然科学版),2014(3):106-111.

Liu Y Q,Peng J,Song X Y. Study on change of ecosystem service value and sensitivity analysis in Gan-Lin-Gao district in Zhangye City[J]. Journal of Northwest Normal University(Natural Science),2014(3):106-111.

Spatial-temporal response of ecological service value to land use change: A case study of Xuzhou City

WANG Qingchuan, XI Yantao, LIU Xinran, ZHOU Wen, XU Xinran
(School of Resources and Geosciences, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221000, China)

Abstract: As a central city in the Huaihai Economic Zone, Xuzhou has a long way to go in terms of environmental protection. A map of land use change during 2005—2015 in Xuzhou was prepared according to the remote sensing images of this period. Based on this as well as relevant statistic yearbooks, the land use dynamic degree and land use transfer matrix of Xuzhou during 2005—2015 were calculated using the method of GIS spatial statistics. Then relevant correction coefficients were determined according to the specific conditions of the study area using the equivalent factor method, and the spatial-temporal changes in the ecosystem service values in Xuzhou were quantitatively analyzed. Meanwhile, the relationship between the land use change and ecosystem service value change was investigated. The results are as follows. ① The land use types in Xuzhou are dominated by cultivated land. During 2005—2015, the area of the cultivated land, forest land, water areas, and grassland decreased, the unused land slightly increased, and the construction land considerably increased. Meanwhile, different land use types were drastically converted. In detail, a large area of cultivated land was converted into forest land, grassland, and construction land, and the increased area of the construction land was mainly converted from the cultivated land. ② Among the second-order ecosystem services, the hydrological regulation and waste treatment services possessed the highest values, while the raw material production service showed a low value. During the study period, the value of each individual ecosystem service showed a downward trend, which led to a continuous

decrease in the overall ecosystem service value of Xuzhou City. Specifically, the values of the second – order ecosystem services decreased by 2.9×10^9 yuan in total in the ten years. For the first – order ecosystem service types, the values of cultivated land and forest land ecosystem services decreased by 1×10^9 yuan and 1.43×10^9 yuan, respectively, the sum of which accounted for more than 80% of the total reduced value of first – order ecosystem services. ③ The sensitivity index values of the ecosystem services to various land use types were all less than 1 in different stages, indicating an inelastic relationship between the ecosystem value coefficients and the ecosystem service values of various land use types during the study period. Therefore, the ecological value coefficients and calculation method used in this paper are reasonable and reliable, and thus the calculation results are credible.

Keywords: land use change; ecosystem service value; land use transfer matrix; Xuzhou City
(责任编辑: 李 瑜)