

中国土地利用与生态服务价值空间动态研究

——以地级及以上城市为例

危小建^{1,2}, 赵莉¹, 程朋根^{1,2}, 谢亚娟¹, 王慧敏³

(1.东华理工大学 测绘工程学院, 南昌 330013; 2.自然资源部

环鄱阳湖区域矿山环境监测与治理重点实验室, 南昌 330013; 3.仲恺农业工程学院 城乡建设学院, 广州 510225)

摘要:为了研究土地利用对生态服务价值(ESV)的影响,基于中国地级及以上城市 1990—2018 年土地利用和社会经济数据,采用土地利用动态度、ESV 评估模型、敏感性指数和空间自相关等方法,对研究区土地利用和 ESV 的时空分异特征进行了研究,分析了 ESV 与综合土地利用动态度、社会经济指标的空间相关性。结果表明:整体而言,除草地面积减少外,其他用地类型均有增加,各用地类型的动态度存在明显差异,综合土地利用动态度随年份有所增加;研究期内,ESV 总体上呈减少趋势,不同土地类型生态服务价值敏感性指数均 <1 ;研究期内生态服务价值变动与综合土地利用动态度呈负相关,各年份生态服务价值与社会经济指标综合值的双变量 LISA 图空间特征较为一致,低—高型主要分布于经济发展较快的中、东部地区,高一低型则主要分布于草地面积广泛、经济发展较为落后的西部地区。不同用地类型和社会经济因素对不同区域 ESV 影响具有一定差异,可为实现中国促进区域环境保护和经济可持续发展提供更加科学的决策服务。

关键词:土地利用;生态服务价值;社会经济;空间自相关

中图分类号:F301.24; X171

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2022)04-0370-07

Research on the Spatial Dynamics of Land Use and Ecological Service Value in China

—Taking Prefecture-Level Cities and Beyond as an Example

WEI Xiaojian^{1,2}, ZHAO Li¹, CHENG Penggen^{1,2}, XIE Yajuan¹, WANG Huimin³

(1.School of Geomatics, East China University of Technology, Nanchang 330013,

China; 2.Key Laboratory of Mine Environmental Monitoring and Improving Around Poyang

Lake, Ministry of Natural Resources, Nanchang 330013, China; 3.School of Urban and Rural

Construction, Zhongkai University of Agricultural Engineering, Guangzhou 510225, China)

Abstract: In order to study the impact of land use on ecological service value (ESV), based on the land use and socioeconomic data of Chinese prefecture level cities from 1990 to 2018, the temporal and spatial differentiation characteristics of land use and ESV in the study area were studied by using the methods of land use dynamics, ESV evaluation model, sensitivity index and spatial autocorrelation, and the relationship between ESV and comprehensive land use dynamics spatial correlation of socio-economic indicators were analyzed. The results showed that: on the whole, except for the decrease of grassland area, other land use types increased, the dynamic degree of each land use type was significantly different, and the dynamic degree of comprehensive land use increased over the years; during the study period, ESV generally showed a decreasing trend, and the sensitivity indexes of ecological service values of different land types had been shown as <1 ; during the study period, the change of ecological service value was negatively correlated with the dynamic degree of comprehensive land use; the spatial characteristics of bivariate LISA map of ecological

收稿日期:2021-08-01

修回日期:2021-09-06

资助项目:国家自然科学基金(52168010,41861052);教育厅科技计划项目(GJJ180383);广州市基础科学计划基础与应用基础研究项目(202102020338);仲恺农业工程学院大学生创新创业训练计划项目(202011347293)

第一作者:危小建(1988—),男,江西南昌人,博士,副教授,主要从事土地利用规划、评价和土地资源可持续发展研究。E-mail:631000872@qq.com

service value and comprehensive value of socio-economic indicators in each year were relatively consistent; the low—high type mainly distributed in the middle and eastern regions with rapid economic development, while the high—low type mainly distributed in the western regions with extensive grassland area and relatively backward economic development. Different land types and socioeconomic factors have different effects on ESV in different regions, which can provide more scientific decision-making services for promoting regional environmental protection and sustainable economic development in China.

Keywords: land use; ecological service value; social economy; spatial autocorrelation

土地利用是人与自然进行紧密交流的重要纽带,土地利用/土地覆被变化影响着生态系统的结构和功能^[1],带来了生态系统服务价值的变化。生态系统服务(Ecosystem Services,ES)是指生态系统与生态过程直接或间接产生的,保证人类赖以生存的不可缺少的生命支撑产品和服务^[2],它是人类生存与现代社会发展的重要保障,同时也是科学技术无法取代的产物^[3]。土地利用与生态系统相互作用、密不可分,分析土地利用与生态服务价值两者的相互关系,对合理规划土地资源,保证生态系统的协调发展具有重要意义。

近年来,国内外不少学者从多方面对土地利用与生态服务价值的关系开展了一系列研究^[4-9],已然成为生态学、地理学等领域的研究热点之一^[10-11]。从研究驱动因素来看,茆长宝^[12]、韩蕊^[13]等基于土地利用数据和相关社会经济统计数据分别深入探究了促使江苏省和川东地区土地利用及生态服务价值产生变化的驱动因素;从研究方法和手段来看,张鹏岩等^[14]采用热点分析、重心模型以及地理探测器模型研究了黄河流域生态服务价值的空间分异特征;姚小微等^[15]应用空间自相关理论分析了人口、空间、经济、生活4个不同层面城镇化水平对生态系统服务价值的影响。从研究尺度来看,目前开展的研究中主要是以单个省市县^[16-18]、流域^[19]或生态经济区^[20]为研究对象,而针对中观尺度研究鲜少,以地级城市为研究单元也更为少见。同时,研究不同地级城市土地利用、社会经济发展与ESV的空间相关性,能够进一步揭示人类活动与社会经济发展对不同地区生态环境的影响,而当前从土地利用与社会经济两方面共同出发,对二者与生态服务价值的空间相关性方面也少有研究。因此,本文基于1990—2018年中国地级及以上城市土地利用数据和社会经济数据,分析土地利用与生态系统服务价值的动态变化情况,同时对生态服务价值进行敏感性分析,最后再通过研究生态服务价值与土地利用动态度、社会经济指标综合值的空间相关性,为优化土地利用结构、保证中国土地资源可持续利用以及促进生态文明社会协调发展提供一定的决策支持。

1 数据与方法

1.1 数据来源

本研究采用的中国地级及以上城市1990年、2000年、2010年、2018年的4期空间分辨率为1 km×1 km的土地利用数据由资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>)整理而得,土地利用类型主要通过耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用土地6种一级地类的形式呈现。相应年份的社会经济数据主要来源于中国统计年鉴和中国城市统计年鉴。本文研究对象是中国地级及以上城市单元,包括除香港、澳门和台湾地区以外的地级及以上城市和省直辖区县级行政单元。西藏自治区无各个地级市GDP、城镇及农村人口指标等详细数据,本文以整个西藏地区的各项社会经济指标的平均值替代。另外,部分研究单元如镇江市、淮阴市及宿迁市等社会经济数据缺失,新疆维吾尔自治区无1990年城市统计年鉴等情况,使得部分数据难以获取,本文以相邻年份统计年鉴或同省周边相邻市县的数据插值替代。

1.2 研究方法

1.2.1 土地利用动态研究方法 土地利用动态度是分析土地利用结构变化动态的重要指标,主要包括单一土地利用动态度和综合土地利用动态度^[14,21]。

(1) 单一土地利用动态度。单一土地利用动态度(K)是指在一定时间范围内某种土地利用类型的数量变化情况。其公式为:

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

式中: U_a 、 U_b 分别为研究初期、末期某种土地利用类型的面积(km²); T 为研究时段。

(2) 综合土地利用动态度。综合土地利用动态度(LC)是指在某一时段所在研究区内,结合所有土地利用类型的变化情况而计算的综合土地利用变化的年变化率。其公式为:

$$LC = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta U_{i-j}}{2 \sum_{i=1}^n U_i} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (2)$$

式中: U_i 为研究初期第*i*类土地利用类型的面积; ΔU_{i-j} 为研究时段第*i*类土地利用类型向其他非*i*类土地利用类型转化的面积的绝对值; n 为土地利用类型的种类。

1.2.2 生态系统服务价值评估模型构建 Costanza 等^[22]在效用价值理论和均衡价值理论的基础上,首先对全球生态系统服务价值进行了评估,随后谢高地等^[23-25]通过分析 Costanza 等^[22]得出的全球生态系统服务价值,结合中国生态系统结构特点,进一步制定了中国生态系统单位面积的生态服务价值当量。本文借助谢高地等^[24]的“中国陆地生态系统单位面积生态服务价值当量表”测算中国地级及以上城市的生态服务价值。其中,生态服务价值当量因子的经济价值约为全国平均粮食单产价值的 1/7。参照前人研究^[6,15,22],建设用地的生态系统服务价值评估过程中需要考虑因素众多,测算较为复杂,本研究对其将

不作估算。未利用地的生态服务价值估算时,其当量因子参数以草地与荒漠当量因子的平均值为基础进行估算^[26]。因此,根据中国各省、自治区、直辖市不同粮食单产的实际情况计算当地单位面积粮食产量的经济价值,计算公式如下:

$$E_a=\frac{1}{7}PQ$$

(3)

式中: E_a 为研究区单位面积粮食产量的经济价值(元/hm²); P 为 2018 年全国粮食平均价值(元/kg),本研究以国家发改委价格监测中心 2018 年的全国早中晚籼稻最低收购价格平均值与小麦最低收购价格的平均值作为 2018 年的粮食平均价格,取值为 2.403 元/kg; Q 为根据 1990 年、2000 年、2010 年、2018 年中国统计年鉴中 31 个省、自治区、直辖市粮食产量数据计算得到的 1990—2018 年各研究区域平均粮食单产(kg/hm²)(表 1)。

表 1 1990—2018 年各地区粮食平均单产 kg/hm²

地区	1990—2018 年 粮食平均单产	地区	1990—2018 年 粮食平均单产	地区	1990—2018 年 粮食平均单产	地区	1990—2018 年 粮食平均单产
北京	5497.64	上海	6491.62	湖北	5655.65	云南	3953.27
天津	4867.92	江苏	6116.74	湖南	6003.43	西藏	4668.72
河北	4788.63	浙江	6077.69	广东	5437.98	陕西	3449.46
山西	3419.26	安徽	5035.62	广西	4708.75	甘肃	3352.80
内蒙古	3948.88	福建	5332.20	海南	4155.37	青海	3288.11
辽宁	5272.28	江西	5310.57	重庆	5386.97	宁夏	4404.30
吉林	6290.21	山东	5447.66	四川	5520.88	新疆	5699.57
黑龙江	4685.64	河南	5303.36	贵州	3948.57		

然而,随着社会不断发展,不同时间各研究区域社会发展程度有所不同,生态系统服务价值也会随之产生变化。为提高评价模型的精确性,本研究将以 2018 年为基准年,引入与社会发展相关的支付意愿系数(D_i),构建适用于中国地级及以上城市的生态系统服务价值评估模型^[27],其公式如下:

$$ESV=\sum_{i=1}^m\sum_{j=1}^nA_i\times M_{ij}\times E_a\times D_i$$

(4)

式中:ESV 为研究区生态系统服务总价值(亿元); A_i 为第*i*类生态系统的面积(km²); M_{ij} 为第*i*类土地第*j*种生态系统服务功能所对应当量因子表数值; m 为生态系统类型数; n 为生态系统服务类功能项数; E_a 表示单位面积粮食产量的经济价值(元/hm²); D_i 为引入恩格尔系数通过 Logistic 回归模型修正后的社会发展阶段系数,详见参考文献^[27]。

1.2.3 生态系统敏感性指数 敏感性指数(Coefficient of Sensitive,CS)是指当生态服务价值系数变动 1%时所引起的生态系统服务价值的变化情况^[28]。其公式如下:

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

(5)

式中:ESV_{*i*}和ESV_{*j*}分别为调整 1%前、调整 1%后的生态服务价值;VC_{*ik*}和VC_{*jk*}则分别为调整前后的生态服务价值系数。

1.2.4 空间自相关分析 空间自相关主要是用来研究某一变量在一定研究范围内是否成相关特征的空间分析方法,主要包括全局空间自相关(Moran's *I* 指数)和局部空间自相关(Local Moran's *I* 指数)^[15]。

全局 Moran's *I* 指数计算公式如下:

$$I=\frac{\sum_{i=1}^n\sum_{j=1}^nW_{ij}(Y_i-\bar{Y})(Y_j-\bar{Y})}{S^2\sum_{i=1}^n\sum_{j=1}^nW_{ij}}\quad(j\neq i)$$

(6)

对于局部空间单元*i*,其 Local Moran's *I* 指数计算公式为:

$$I_i=\frac{Y_i-\bar{Y}}{S_i^2}\cdot\sum_{i=1,j=1}^nW_{ij}(Y_i-\bar{Y})\quad(j\neq i)$$

(7)

式中： $S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2$, $\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$; Y_i 和 Y_j 分别为单元 i 和单元 j 的属性值; n 为所研究的空间单元数量(本文主要对 360 个评价单元进行研究); W_{ij} 为基于空间邻接关系建立的权重矩阵。

为了揭示多个要素的空间相关性,相关学者在 Moran's I 指数的基础上进一步拓展了双变量全局自相关和局部自相关,其公式为:

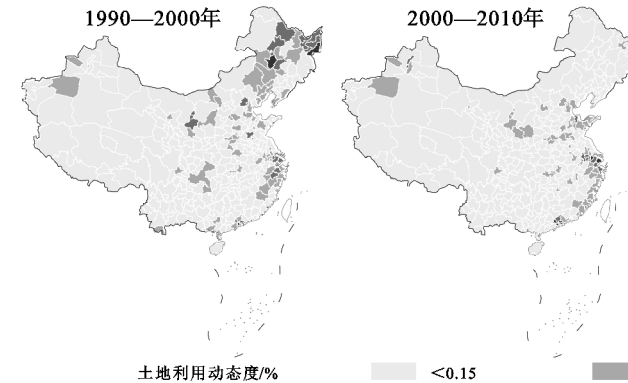
$$I_{lm}^p = z_l^p \cdot \sum_{q=1}^n W_{pq} z_m^q \tag{8}$$

式中: $z_l^p = \frac{X_l^p - \bar{X}_l}{\sigma_l}$; $z_m^q = \frac{X_m^q - \bar{X}_m}{\sigma_m}$; X_l^p 为空间单元 p 的属性 l 的值; X_m^q 为空间单元 q 的属性 m 的值; \bar{X}_l 和 \bar{X}_m 分别为属性 l 和 m 的平均值; σ_l 和 σ_m 分别为属性 l 和 m 的方差。

2 结果与分析

2.1 土地利用变化分析

根据各年份土地利用数据,利用公式(1)和公式(2)分别计算 1990—2000 年、2000—2010 年、2010—2018 年以及 1990—2018 年的单一土地利用动态度和综合土地利用动态度。如图 1—2 和表 2 所示,中



注:基于标准地图服务系统下载的审图号 GS(2016)1585 号的标准地图制作,底图未做修改,下同。

图 2 研究区 1990—2018 年综合土地利用动态度变化

从单个时间段跨度来看,草地的土地利用动态度一直为负值,其减少幅度在 2010—2018 年最明显,为 -1.17% ;1990—2000 年,耕地的土地利用动态度主要表现为增加的趋势,在 2000—2010 年、2010—2018 年两个时段内均以较小的幅度减少,减少幅度不断增加;林地的土地利用动态度在 1990—2000 年为负值,在 2000—2018 年为正值,且在各个时间段始终小于 0.1% ,变化幅度较不明显;水域一直保持增加的趋势,尤其是 2000—2010 年期间变化最为强烈;未利用地在 1990—2010 年时段内以减少的趋势变化,变化幅度很小,在 2010—2018 年土地利用的变化幅度略微增大,呈增加趋势;建设用地面积则在研究时段内一直保持增加的趋势,

国地级及以上城市不同土地利用类型在空间上存在着明显的区域分异特征,林地、草地分布面积较大。从整个时间跨度来看,除草地呈减少的趋势外,其他土地利用类型均呈增加的趋势。其中,建设用地在研究区内变化速率最大,达 2.50% ,整个研究期共增加 10.72 万 km^2 ;水域和未利用地次之,整个研究期内土地利用动态度为 0.29% , 0.40% ;耕地和林地变化速率则相对较小,整体上呈增加趋势,分别增加了 1.50 万 km^2 , 2.33 万 km^2 ;同时,整个研究时段内综合土地利用动态度大于 0.15% 的区域主要集中于东北、西北和西部方向。

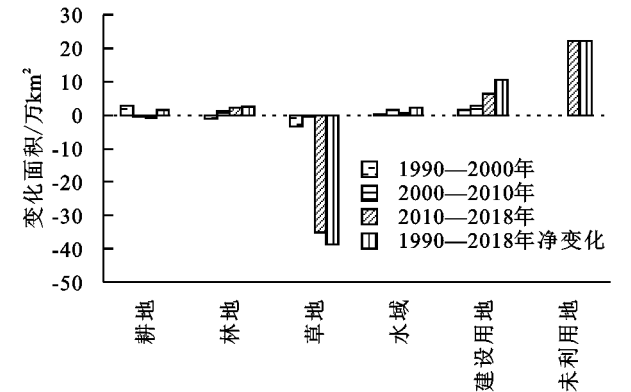
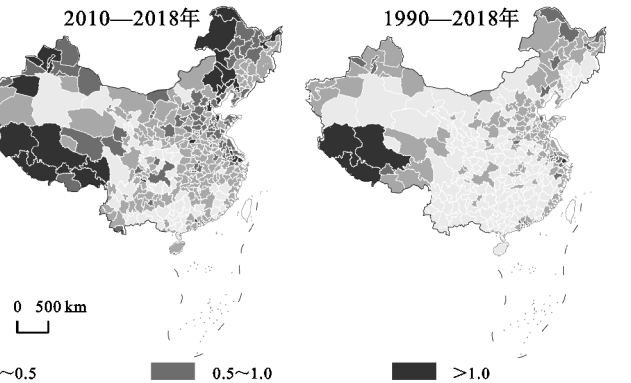


图 1 1990—2018 年中国地级及以上城市土地利用类型变化情况



变化幅度逐渐强烈,这主要是由于人口增加、城市扩张等原因,造成建设用地面积也随之逐渐增加;同时,综合土地利用动态度在 2010—2018 年变化最为明显,相对于其他类型土地而言,草地变化面积占总变化面积比重较大,且主要分布于西部地区,使得综合土地利用动态度变化明显区域主要集中于西部地区。

表 2 研究区 1990—2018 年单一土地利用变化年动态度 %

时段	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
1990—2000 年	0.16	-0.05	-0.11	0.11	0.90	-0.002
2000—2010 年	-0.03	0.06	-0.01	0.53	1.69	-0.003
2010—2018 年	-0.05	0.10	-1.17	0.16	3.33	1.110
1990—2018 年	0.03	0.04	-0.46	0.29	2.50	0.400

2.2 生态系统服务价值变化分析

从时间尺度来看,研究区在 1990 年、2000 年、2010 年、2018 年的生态服务价值 ESV 分别为: 2.354×10^{13} , 2.253×10^{13} , 2.264×10^{13} , 2.197×10^{13} 元,整体呈减少的趋势。由表 3 可知,整个研究期内,生态服务总价值减少了 1.57×10^{12} 元。1990—2010 年期间,耕地的生态服务价值增加幅度逐渐减小,在 2010—2018 年则呈减少的趋势。林地和草地是我国最主要的两种土地利用类型,是构成生态系统服务总价值的重要组成部分,林地的生态服务价值在生态服务总价值中占比最大,在 1990—2018 年整个研究时段内,林地和草地两者的生态服务价值均呈减少特征,其中,林地减少 2.8×10^{11} 元,草地减少了 1.47×10^{12} 元。与生态服务总价值相比,由于水域占总面积比例小、未利用地产生的生态效用较小,使得两者产生的生态服务价值较小,变化幅度较为稳定。

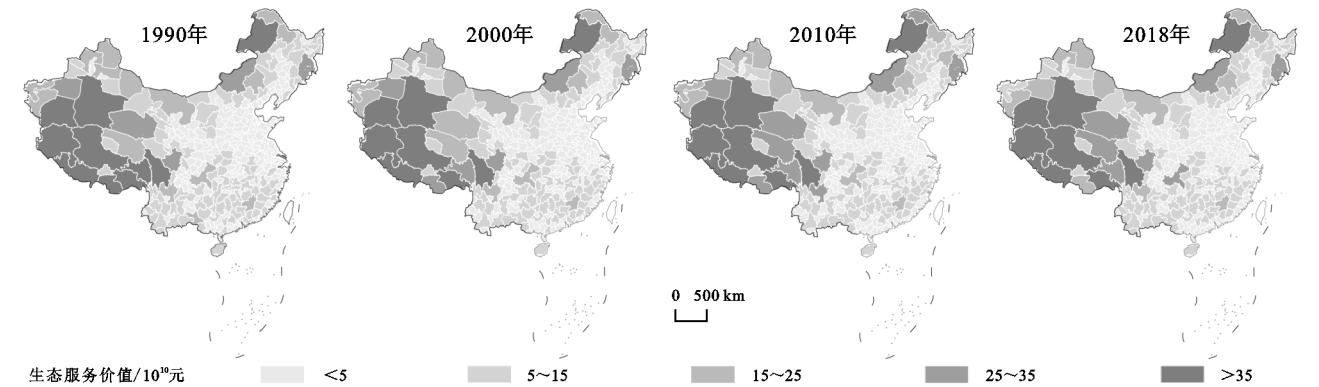


图 3 1990—2018 年研究区土地利用类型生态服务价值在空间上的变化

2.3 敏感性分析

通过公式(5),将整个研究区域的各项生态服务价值系数分别变动 1%,计算不同研究时期各土地利用类型的生态服务价值敏感性指数(表 4)。整个研究期内,不同土地利用类型的敏感性指数一直处于稳定状态,且均小于 1,说明生态服务价值系数在研究区内存在合理。另外,研究区内各土地利用类型敏感性指数从高到低依次为林地>草地>耕地>未利用地>水域。以上结果表明,林地对生态系统服务价值的贡献最大,未利用地和水域贡献最小。因此,为了保证生态系统服务价值的稳定协调,应加大对林地的保护。

表 4 生态系统服务价值的敏感性指数

年份	耕地	林地	草地	水域	未利用地
1990	0.10	0.46	0.26	0.09	0.09
2000	0.10	0.46	0.25	0.09	0.09
2010	0.11	0.46	0.25	0.09	0.09
2018	0.11	0.48	0.21	0.10	0.11

2.4 空间相关分析

2.4.1 生态服务价值变动与土地利用变化动态度的相关性分析 采用 Geoda 软件,构建空间权重矩阵,

从空间尺度来看(图 3),生态服务总价值超过 1.5×10^{11} 元的区域主要分布于西藏、新疆和内蒙古等西北地区一带,这些地区海拔较高,草地分布较为广泛。生态服务价值在 $5\times 10^{10}\sim 1.5\times 10^{11}$ 元的区域主要集中于东北、东南和南方一带,这是由于所处地区气候和地理条件原因,使得林地面积分布范围广泛,产生生态服务价值较高。中东部则主要以耕地为主,该地带生态服务价值普遍低于 5×10^{10} 元。

表 3 1990—2018 年研究区土地利用类型

时段	生态服务价值的变化					总计
	耕地	林地	草地	水域	未利用地	
1990—2000 年	6.37	-37.56	-52.85	-9.41	-7.55	-101.00
2000—2010 年	3.20	-0.91	5.11	1.82	1.89	11.11
2010—2018 年	-1.57	10.73	-99.23	1.30	22.04	-66.73
1990—2018 年	8.00	-27.74	-146.98	-6.29	16.38	-156.62

得到 1990—2000 年、2000—2010 年、2010—2018 年以及 1990—2018 年 4 个时间段内生态服务价值变化量与综合土地利用动态度的全局 Moran's *I* 值,其结果为 0.11, -0.08, -0.27, -0.18。结果表明,除 1990—2000 年,其余几个时间段内生态服务价值变化量与综合土地利用动态度均呈负相关。同时根据 *z* 检验结果,绘制 1990—2018 年整个研究期间内生态服务价值与综合土地利用变化动态度的双变量局部空间自相关 LISA 聚集图。由图 4 可知(高一高型表示生态服务价值与综合土地利用动态度均表现为较高值;高一低型表示生态服务价值较高,综合土地利用动态度表现为较低值;低一高型表示生态服务价值较低,综合土地利用动态度表现为较高值;低一低型表示生态服务价值与综合土地利用动态度均表现为较低值),高一低型主要分布在中部地区,低一高型主要分布于西藏地区,低一低型主要分布于南部,高一高型则零星分布。

2.4.2 生态服务价值与社会经济的相关性分析 通过收集 1990 年、2000 年、2010 年、2018 年的中国地级及以上城市总人口数、城镇人口数、城镇化率以及

GDP 这 4 个指标,利用归一化和熵值法求取社会经济指标综合值,再结合生态服务价值进行空间自相关分析,得到 4 个时期研究区生态服务价值与社会经济指标综合值的全局 Moran's I 值,其结果分别为 $-0.14, -0.09, -0.10, -0.13$ 。结果可知,生态服务价值与社会经济之间存在显著的空间负相关性,且两者在研究期内 z 检验值均 < -1.96 。根据生态服务价值与社会经济指标综合值的双变量空间自相关 LISA 聚集图(图 5),1990—2018 年研究区生态服务价值与社会经济的局部空间特点总体上较为统一。其中,高一高型主要分布于中部和东部偏北地区,该区域经济较为发达,且林地所占面积较大,其生态价值较高;低一高型主要分布于中、东部地区,这部分地区经济发展较快,对生态资源占用现象严重;低一低型主要分布于西南地区,该区域山多地少、交通相对闭塞、地理条件较差,其经济和生态条件均处于落后阶段;高一低型则主要分布于昌都、噶尔县、拉萨和喀什市等西部地区,这是因为西部地区草地面积

分布范围广泛,生态服务价值较高,但其经济发展较为落后。

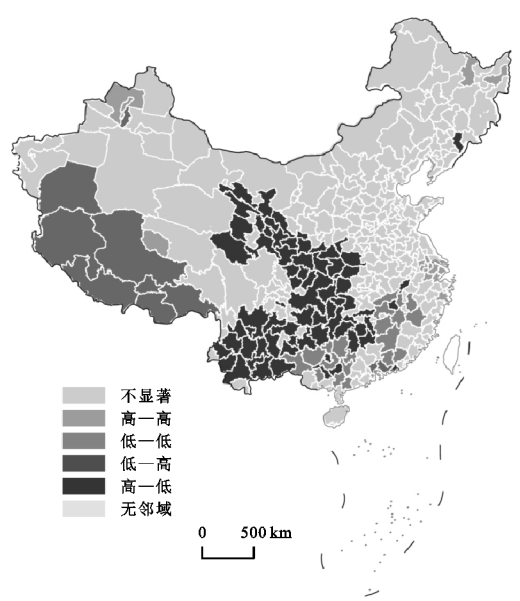


图 4 1990—2018 年生态服务价值与土地利用变化动态的双变量空间自相关 LISA 集聚图

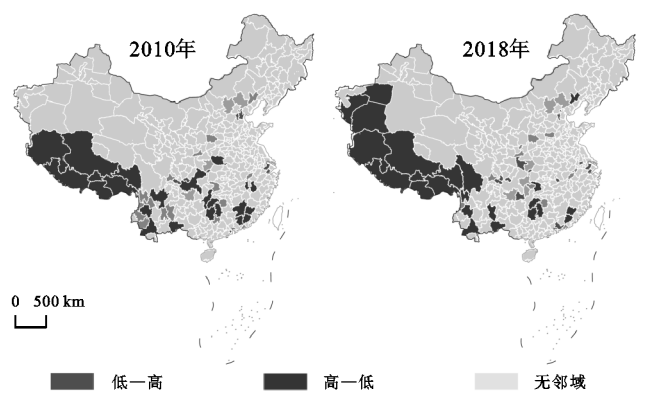
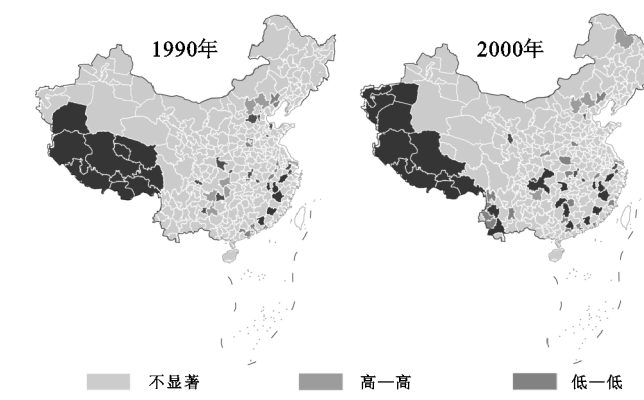


图 5 1990—2018 年生态服务价值与社会经济的双变量空间自相关 LISA 集聚图

3 讨论与结论

(1) 1990—2018 年,草地在整个研究期内一直呈减少的趋势,共减少了 38.74 万 km^2 ;耕地在 1990—2000 年表现为增加的趋势,在 2000—2018 年呈减少的趋势,减少幅度略微增大,但整个研究期内仍保持增加趋势,净面积共增加了 1.50 万 km^2 ;林地各个研究阶段变化幅度不明显;水域的土地利用动态度一直为正值,整个研究期内增加了 2.06 万 km^2 ;未利用地在 1990—2010 年以减少的趋势变化,2010—2018 年有所增加,整体仍呈增加的趋势;建设用地在整个研究期内变化最为强烈,土地利用动态度始终为正值,增加了 10.72 万 km^2 ;综合土地利用动态度随着时间变化也有所增加,在 2010—2018 年变化尤为明显。

(2) 1990—2018 年,中国地级及以上城市生态

服务价值较高的区域主要集中于西北地区,总体上呈减少的趋势,28 a 间共减少了 1.57×10^{12} 元,而林地和草地产生的生态服务价值是构成研究区生态系统服务总价值的主要部分,其在研究期内分别减少了 2.8×10^{11} 元、 1.47×10^{12} 元。

(3) 1990—2018 年,各土地利用类型的生态服务价值敏感性指数在研究区内均表现为 < 1 ,研究期内不同土地利用类型敏感性指数由高到低依次为林地、草地、耕地、未利用地以及水域。其中,林地敏感性指数最高,产生的生态服务价值最大。

(4) 1990—2018 年,生态服务价值与综合土地利用动态度整体上呈负相关,各年份生态服务价值与社会经济指标综合值呈负相关,且双变量 LISA 图空间特点较为一致。低一高型主要分布于经济发展较快的中、东部地区;高一低型则主要分布于草地面积广泛经济发展较为落后的西部地区。这表明社

会经济的发展、土地利用格局的变化一定程度上影响着生态系统结构和功能的转变。当地政府部门应结合实际情况,通过加大对生态系统的保护力度,采取有效措施保证土地合理规划,促进社会—经济—生态和谐发展。

与此同时,文中仍存在一些缺陷。本文仅根据谢高地等^[23-25]制作的中国陆地生态系统单位面积生态服务价值表测算中国各地级城市生态服务价值,未根据各地区实际情况制定出适用于各地区的陆地生态系统单位面积生态服务价值表,导致测算有所偏差,在今后需要加强这一方面的研究。

参考文献:

- [1] 姚成胜,朱鹤健,吕晞,等.土地利用变化的社会经济驱动因子对福建生态系统服务价值的影响[J].自然资源学报,2009,24(2):225-233.
- [2] Dally G C, Power M. Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems[J].Nature,1997,388(6642):529-530.
- [3] 刘英英,石培基,刘玲,等.长江上游生态脆弱区土地利用结构及生态服务价值变化响应:以甘肃省陇南市为例[J].土壤,2011,43(4):644-649.
- [4] 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,2004,24(1):125-128.
- [5] 蔡邦成,陆根法,宋莉娟,等.土地利用变化对昆山生态系统服务价值的影响[J].生态学报,2006,26(9):3005-3010.
- [6] 刘桂林,张落成,张倩.长三角地区土地利用时空变化对生态系统服务价值的影响[J].生态学报,2014,34(12):3311-3319.
- [7] 宋戈,王越.松嫩高平原土地利用格局变化时空分异[J].农业工程学报,2016,32(18):225-233.
- [8] 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.
- [9] 丁丽莲,王奇,陈欣,等.近30年淀山湖地区生态系统服务价值对土地利用变化的响应[J].生态学报,2019,39(8):2973-2985.
- [10] 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,2015,37(12):2451-2460.
- [11] 曹跃群,赵世宽,杨玉玲,等.重庆市生态系统服务价值与区域经济增长的时空动态关系研究[J].长江流域资源与环境,2020,29(11):2354-2365.
- [12] 茆长宝,陈勇.土地利用及其生态服务价值演变的驱动力与预测研究:以江苏省为例[J].水土保持研究,2010,17(4):269-275.
- [13] 韩蕊,孙思琦,郭砾,等.川东地区生态系统服务价值时空演变及其驱动力分析[J].生态与农村环境学报,2019,35(9):1136-1143.
- [14] 张鹏岩,耿文亮,杨丹,等.黄河下游地区土地利用和生态系统服务价值的时空演变[J].农业工程学报,2020,36(11):277-288.
- [15] 姚小微,曾杰,李旺君.武汉城市圈城镇化与土地生态系统服务价值空间相关特征[J].农业工程学报,2015,31(9):249-256.
- [16] 尹登玉,张全景,翟腾腾.山东省土地利用变化及其对生态系统服务价值的影响[J].水土保持通报,2018,38(5):134-143.
- [17] 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.
- [18] 徐忆楠,李志军,王东,等.灵丘县土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J].中国农业大学学报,2019,24(6):175-183.
- [19] 伍星,沈珍瑶,刘瑞民,等.土地利用变化对长江上游生态系统服务价值的影响[J].农业工程学报,2009,25(8):236-241.
- [20] 胡毅,乔伟峰,何天祺.江淮生态经济区土地利用格局及生态系统服务价值变化[J].长江流域资源与环境,2020,29(11):2450-2461.
- [21] 肖建设,乔斌,陈国茜,等.黄河源区玛多县土地利用和生态系统服务价值的演变[J].生态学报,2020,40(2):510-521.
- [22] 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.
- [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] 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,2008,23(5):911-919.
- [25] 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.
- [26] 董美娜,杨琳,栗练灵,等.基于土地利用变化的生态系统服务价值及敏感性研究:以大庆市为例[J].安全与环境学报,2014,14(4):330-333.
- [27] 岳代筱,薛亮.陕西省土地利用与生态系统服务价值动态研究[J].中国农业大学学报,2020,25(10):20-30.
- [28] 肖红克,李洪忠,王莉,等.粤港澳大湾区土地利用及生态系统服务价值的变化:以广佛肇为例[J].水土保持研究,2020,27(1):290-297.