

基于分区的环京津土地生态服务价值及灰色预测

李恒哲¹, 李超³, 陈召亚¹, 郭年冬¹, 许 皞^{1,2}, 王树涛²

(1. 河北农业大学 资源与环境科学学院, 河北 保定 071000; 2. 河北农业大学 国土资源学院, 河北 保定 071000; 3. 中国农业大学 资源与环境学院, 北京 100193)

摘 要:为了推进环京津地区的协调发展和生态环境建设,以环京津地区 73 个县(市)1996—2011 年土地利用变更调查数据为基础,采用段瑞娟、蒋晶的分区研究理念,将环京津地区分成 4 个区域,同时采用生态系统服务价值评估模型计算了各分区 1996—2011 年的土地生态服务价值,并运用敏感性指数验证了结果的可信度;引入生态服务价值动态度模型,对环京津地区不同土地利用类型进行时间分异特征分析,最后利用灰色 GM(1,1)模型,对各分区 2018 年、2022 年的生态系统服务价值进行了灰色预测。结果表明:环京津地区近 16 年来,价值总量减少了约 4.88 亿元。远山地丘陵区 and 近山地丘陵区价值量有所增加,远平原区和近平原区的价值量降低。预测到 2018 年和 2022 年,环京津地区的耕地、水域和未利用地的生态服务价值将继续减少,林地、园地、草地生态服务价值继续增加;总价值量将分别减少到 624.75 亿元和 622.30 亿元。远、近山地丘陵区价值总量继续增加;远、近平原区价值总量继续减少。

关键词:生态服务价值; 环京津地区; 灰色预测

中图分类号: F301; F062

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2016)01-0221-07

Land Ecosystem Service Values and Their Grey Forecast Based on Partition Surrounding Beijing and Tianjin

LI Hengzhe¹, LI Chao³, CHEN Zhaoya¹, GUO Niandong¹, XU Hao^{1,2}, WANG Shutao²

(1. College of Resources and Environment Science, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000, China; 2. College of Land and Resources, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000, China; 3. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: In order to promote the coordinated development and ecological construction around Beijing and Tianjin areas, based on the land use change data of the area with 73 counties or cities of surrounding Beijing and Tianjin from 1996 to 2011, and the partition idea of DUAN Ruijuan and JIANG Jing, we divided this area into four regions. By the evaluation of ecosystem service values, calculation of the value of land ecosystem service from 1996 to 2011 in the district, we used the sensitivity parameter to verify the reliability of the calculated ecosystem services value. The dynamic degree model of ecosystem services value was introduced to analyze the temporal variation features of different types of land use areas, and the ecosystem services values in 2018, 2022 were predicted. The results are shown as follows. During 1996 and 2011, the total value decreased by about 488 million yuan in the area surrounding Beijing and Tianjin. The value of far and near mountain areas showed the increasing trend, and the value of far and near plain areas showed the decreasing trend. Forecast of the ecosystem service values of cultivated land, water and unused land surrounding Beijing and Tianjin will decrease during the period from 2018 to 2022, and the ecosystem service values of forest land, garden land, and grass will increase. The total value will be reduced to 62 475 million yuan and 62 230 million yuan, respectively. The value of far and near mountain areas will continue to increase, and the value of far and near plain areas will continue to decrease.

Keywords: ecosystem service value; areas surrounding Beijing and Tianjin; grey forecast

生态系统是人类社会的支持系统,不当的利用方式会对生态系统产生重大影响,如使生物多样性维持能力下降,影响生态系统对大气和气候的调节过程,改变营养物质贮存与循环过程,损害生态系统净化环境的能力等^[1]。生态系统为人类提供产品以及直接和间接的服务,由于这些服务多数是公益性的,容易被人忽略,所以生态系统提供产品和服务的价值不能被全面核算和反映。为了生态系统所提供产品和服务的可持续发展,对生态系统给人类带来的产品和服务进行系统核算,提出了生态服务价值这一概念。定量地描述环京津地区生态系统服务价值的时空变化过程,有利于理顺环京津地区的生态经济关系,可为京津冀地区协同发展、区域生态保护与土地利用决策的制定提供重要依据,对环京津地区的土地持续利用与生态文明建设均有一定的意义。

近年来,国内外学者已经开展了全球尺度、国家尺度、区域尺度以及单个生态系统服务价值的评估研究^[2-4]。目前,生态系统服务价值研究已成为生态系统可持续研究的热点^[5]。由于组成土地综合体的各种要素相对复杂,特别是在自然要素地域分异上,因此考虑土地利用现状特点及其历史发展,从最大限度发挥土地生产潜力及改善土地生态系统的结构与功能出发,对土地的合理利用方向,包括确定国民经济各部门用地的合理分配、结构和布局形式等在空间上进行分区研究是必不可少的。段瑞娟等^[6]对北京区位生态服务价值研究中,根据不同地貌、距离城市远近将北京市进行了分区,唐秀美^[7]、蒋晶^[8]等也将研究区进行划分。本文采用几位学者的分区理念,将环京津地区73个县(市)根据不同地貌、距离城市远近进行分区,在测算环京津地区4个区域不同土地类型1996—2011年生态服务价值的基础上,采用生态服务价值动态指数,定量分析环京津地区不同时段、各土地利用类型的生态服务价值的时间分异特征,并运用敏感性指数验证所计算的生态服务价值可信度,最后采用灰色预测模型对未来的生态服务价值进行预测,以期为促进京津冀一体化协同发展和生态环境建设提供参考。

1 研究区现状及研究方法

1.1 研究区概况

本文选取河北环京津地区为研究区,包括与北京、天津接壤的承德、张家口、保定、廊坊、沧州、唐山6个区市及所辖的73个县(市),总面积达1.33万km²,总人口约3854.2万人。研究区处于中纬度欧亚大陆东岸,属北温带大陆性季风型气候,基本特点

是春季干燥多风,夏季炎热多雨,秋季昼暖夜凉,冬季寒冷少雪。年平均气温-0.3~14.0℃。气温由东南到西北逐渐降低,长城以北年平均气温低于6℃,长城以南地区为10~14℃。平均降水量为350~800mm,多年平均降水量541mm,燕山山前一带降雨量最多,年降水在750mm以上。张家口坝上康保、怀安和涿鹿等地,降水量最少,年降水量在400mm以下。该区域有效积温为2100~5200℃。燕山、太行山部分丘陵地带是热量较好的地区。无霜期为100~200d。陆海空交通便利,工农业发展门类齐全,已具备相当规模。农业基础地位不断加强,综合生产能力不断提高。工业结构调整步伐加快,交通通信、商贸、旅游、信息咨询等服务业得到长足发展。

1.2 研究区分区

参考段瑞娟等^[6]的分区理念,不同地貌类型影响不同地区光、热、水和土壤类型分布,根据距离城市中心的远近,结合行政区县的地貌特征,将环京津区域分为4个研究区域组:第1组为近山地丘陵区,包括涿鹿县、怀来县、赤城县等10个县(市)。该区域为靠近京津的山地丘陵区,主要位于北京以北,中山下部低山丘陵间形成一串大小不等的盆地和谷地。地形地貌以低山、丘陵、盆地、谷地相间分布为特色。本区域土地利用以农、林、牧为主,牧草地比重较高,但林地偏低,未利用地的比重大,土地利用不够充分,水资源较丰富,水土条件较好;第2组为近平原区,包括涿州市、玉田县、香河县等16个县(市)。该区域为靠近京津的平原区,部分为滨海平原,本区域内盐碱危害严重,土地质差。该区土壤大部分为盐碱土或盐化潮土,土壤含盐高,严重影响作物生长。盐碱地多呈光板状态,或只能生长盐箕、碱茅等耐盐植被,已不能适宜作物生长;第3组为远山地丘陵区,包括涞源县、蔚县、阳原县等25个县(市)。该区域为远离京津的山地丘陵区,主要位于河北省的东北部、西北部,本区域内草场退化,面积减少,牧业生产受到严重影响,耕地质量也相对较差,降水较少。本区域土地利用的主导方向是按自然条件合理调整农业用地结构,发展林业、牧业用地;第4组为远平原区,包括安新县、高阳县等18个县(市)。该区域为远离京津的平原区,多部分集中在河北省中部地区,土壤质量较高,农业用地以种植业为主,大力发展小麦商品生产,在南部地区适当兼顾棉花,在沙土地地区适当发展花生。在京广线两侧利用交通便利,靠近大中城市的优势。分组示意图如图1所示。

1.3 研究方法

1.3.1 土地生态服务价值评价方法 20世纪90年代后,国际上的一些学者对不同生态服务功能及其价

值评估进行了有益的探索,其中 Costanza^[9]做出了积极的贡献,构建了生态服务价值当量表,同时创建了生态服务功能价值模型。国内学者中,欧阳志云等^[10]结合中国实情,在 Costanza 研究的基础上,对中国陆地生态系统服务功能价值进行评估,并制定了中国陆地生态系统单位面积生态服务价值当量表。现在国际国内基本采用 3 种方法对生态服务价值进行计算研究,分别是价值量评价法、物质质量评价法、能值分析法。本文采用价值量评价法,通过对 Costanza 的结果利用协调修正系数法进行修正,约算某地区生态服务价值,其计算公式如下:

$$ESV = \sum (VC_k \times A_k) \quad (1)$$

式中:ESV——土地生态服务价值(元); VC_k ——第 k 类土地的生态服务价值系数(元/hm²); A_k ——第 k 类土地的面积(hm²)。

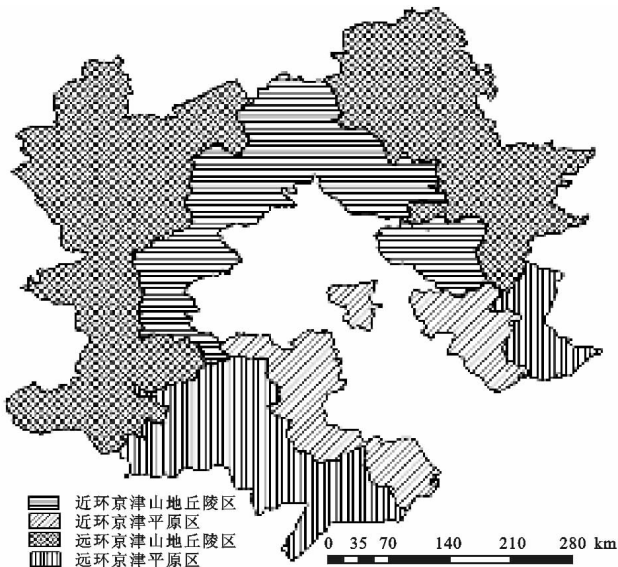


图 1 环京津不同区位划分

根据学者谢高地等^[11]的研究成果,引用其当量对应表中的农田生态系统,并参考其制定的我国陆地不同省份的农田生态系统生物量因子表,对环京津地区的生态系统服务价值当量系数进行修正(河北省的修正系数为 1.02),1 个当量因子的经济量为全国平均粮食单产的市场价格的 1/7,中国 2005 年单个生态系统价值当量的经济价值为 449.1 元/hm²,结合 2006 年《河北省经济年鉴》的相关数据,计算得出 2005 年河北省平均粮食产量为 4 683.35 kg/hm²。又因为全国耕地平均粮食产量为 5 896.50 kg/hm²,据此对全国的生态系统服务价值当量价值进行系数修正,确定环京津地区单个生态当量的价值为 356.70 元/hm²^[12],陆地生态系统单位面积生态服务价值系数为单位当量价值与当量的乘积,故可计算得到环京津地区单位面积耕地生态服务价值系数(VC)。

1.3.2 生态服务价值动态度计算 为了研究生态服务价值(ESV)的时间变化特征,借鉴土地利用变化动态度指标^[13],根据前人研究^[14],引入单一土地利用类型的生态服务价值动态度(EV)模型,来衡量研究区各土地利用类型的生态服务价值年变化率。模型计算公式如下:

$$EV = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (2)$$

式中: U_a, U_b ——研究初期、末期某类土地的生态服务价值量; T ——研究时段长,当 T 设为年时,EV 即为某类土地的生态服务价值年变化率。

1.3.3 生态价值敏感性指数计算 本文选取经济学的弹性系数概念,通过计算生态服务价值系数(VC)的敏感性指数(CS)来分析生态服务价值(ESV)随时间的变异对生态服务价值系数(VC)的依赖程度,以检验所计算的生态服务价值(ESV)的可靠性。CS 的含义是指 VC 变动 1% 引起 ESV 的变化情况,当 $CS < 1$ 时,表明 ESV 对 VC 的弹性较弱;当 $CS > 1$ 时,表明 ESV 对 VC 的弹性较强。比值越大,说明生态服务价值系数(VC)的准确度越重要^[15]。本文通过将各土地利用类型的价值系数(VC)分别上调、下调 50%,并计算土地生态服务总价值(ESV)的变化的方式,分析生态服务价值的敏感性。敏感性指数的计算公式如下:

$$CS = \frac{(ESV_j - ESV_i) / ESV_i}{(VC_{jk} - VC_{ik}) / VC_{ik}} \quad (3)$$

式中:CS——敏感性指数;ESV——土地生态服务价值总量;VC——生态服务价值系数; i, j ——最初、调整后的价值; k ——土地利用类型。

1.3.4 灰色预测模型 灰色预测模型就是将原始信息数据序列通过一定的数学方法处理后,将其转化为动态微分方程来描述原系统的内在特征,建立抽象系统的动态演变预测模型(Grey Dynamic Model, GM)^[15-16]。

本文采用灰色 GM(1,1)模型对环京津地区 2018 年和 2022 年的土地利用结构进行预测。将 $x_i^{(0)}(i)$ 定义为原始数据序列, $x_i^{(1)}(i)$ 为一次累加生成数据序列,则 GM(1,1)模型的一阶线性常系数微分方程标准型公式为:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = u \quad (4)$$

GM(1,1)模型对应的标准型解为:

$$x^{(1)} = \left[x^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right] e^{-at} + \frac{u}{a} \quad (5)$$

式中: a, u ——待确定的未知参数; t ——时间。

为提高 GM(1,1)模型预测值的精度和可靠性,采用后验差检验方法进行模型精度检验。后验差比值 C 与小误差频率 P 定义为:

$$C=\frac{S_2}{S_1},p=P\{|\epsilon_k-\bar{\epsilon}|<0.6745S_1\}\tag{6}$$

式中： S_1 ——原始数据标准差； S_2 ——预测数据标准

差； ϵ_k ——预测数据误差； $\bar{\epsilon}$ ——预测误差的均值。 C 的大小表明模型预测值与实际值之差的离散程度，越小越好。

表 1 环京津地区单位面积土地生态服务价值当量表 元/hm²

生态系统服务类型	耕地	林地	园地	草地	水域	建设用地	未利用地
气体调节	1.2444	3.57	2.4072	0.816	0	0	0
气候调节	2.2134	2.754	2.4837	0.918	0.4692	0	0
水源涵养	1.4892	3.264	2.3766	0.816	20.7876	-9.59	0.0306
土壤形成与保护	3.6312	3.978	3.8046	1.989	0.0102	0	0.0204
废物处理	4.08	1.3362	2.7081	1.3362	18.5436	-3.12	0.0102
生物多样性保护	1.7646	3.3252	2.5449	1.1118	2.5398	0	0.3468
食物生产	2.4888	0.1020	1.2954	0.3060	0.1020	0	0.0102
原材料	0.2448	2.6520	1.4484	0.0510	0.0102	0	0
娱乐文化	0.0204	1.3056	0.6630	0.0408	4.4268	0	0.0102
合计	17.1972	22.287	19.7421	7.3848	46.8894	-12.71	0.4284

2 结果与分析

2.1 环京津地区土地生态服务总价值变化分析

从空间数据库中导出各时期解译后的土地利用数据,进行归一化处理,结合《河北省农村统计年鉴》、《河北省经济年鉴》、《河北省统计年鉴》的数据,并根据表 1 计算出相应年份各组的土地生态服务价值。

如表 2 所示,1996 年环京津地区土地生态服务总价值为 630.97 亿元,2011 年环京津地区土地生态服务总价值为 626.09 亿元,1996—2011 年价值总量减少了约 4.88 亿元。比较 4 个分区,1996—2011 年远山地丘陵区、近山地丘陵区总价值量增加,但近山地丘陵区增加幅度较小,变化不显著;近平原区和远平原区总价值减少。2011 年价值总量最高的为远山地丘陵区,土地生态服务价值总量高达 284.05 亿元,占环京津地区总价值的 45.37%;价值总量最低的是近平原区,土地生态服务价值为 77.81 亿元,占环京津地区总价值的 12.43%。环京津地区土地生态服务价值总量的空间分布主要特点是:山地丘陵区价值量大于平原区,并且山地丘陵区呈现增加趋势,平原区表现为递减趋势。

表 2 1996 年、2011 年环京津地区生态系统服务总价值变化情况

地区	1996 年		2011 年	
	价值/亿元	比例/%	价值/亿元	比例/%
远山地丘陵区	258.37	40.95	284.05	45.37
近山地丘陵区	139.45	22.1	139.51	22.28
远平原区	133.53	21.16	124.72	19.92
近平原区	99.62	15.79	77.81	12.43
环京津地区	630.97	100	626.09	100

如图 2—3 所示,1996—2011 年远平原区的单位面积生态服务价值量最大,1996—2001 年单位价值出现一定量的增加,2001 年以后开始下滑并最终趋

于相对稳定;近山地丘陵区单位价值基本保持稳定,16 年间价值量变动很小,一般维持在 0.5 元/m²;远山地丘陵区一直呈现增加趋势,2010 年以后变化缓慢;近平原区在前 6 年呈现相对稳定,变化不显著,2001 年以后开始下滑。环京津地区的生态服务价值总量在 2001 年前呈现增加趋势,2001 年之后呈现下降趋势,2001 年价值量达到最高值 646.66 亿元。

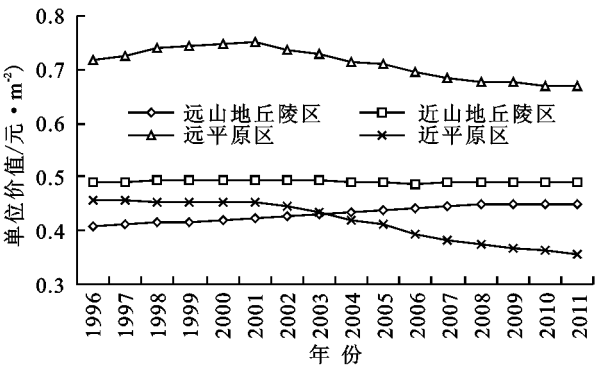


图 2 1996—2011 年环京津地区单位生态系统服务价值变化情况

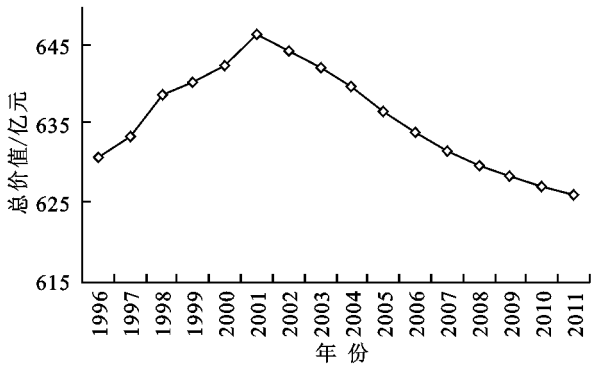


图 3 1996—2011 年环京津地区生态系统服务总价值变化情况

如表 3 所示,比较分析各生态服务类型,1996—2011 年土壤形成与保护价值、气候调节价值、气体调节价值、原材料价值在远、近山地丘陵区,远平原区 3

个区域中都呈现增加趋势,在近平原区呈现下降趋势;水源涵养价值、生物多样性保护价值、娱乐文化价值在远、近山地丘陵区呈现增加趋势,在远、近平原区呈现降低趋势;废物处理价值在 4 个区域都呈现下降趋势;食物生产价值在远、近山地丘陵区呈现下降趋势,在远、近平原区呈现增加趋势;对于环京津地区,气体调节价值、气候调节价值、土壤形成与保护价值、生物多样性保护价值、食物生产价值、原材料价值都呈现增加趋势,其他价值降低。其中远山地丘陵区在

气候调节、气体调节、生物多样性保护、涵养水源、土壤形成与保护、废物处理几个方面贡献最大。2011 年土壤形成与保护价值达到了 55.52 亿元。价值最小的是近平原区的原材料价值,仅有 1.19 亿元;4 个区域对文化娱乐价值的贡献相对较小。

2.2 环京津地区土地生态服务价值的时间分异特征

根据表 1 计算出相应年份环京津地区各土地类型的生态服务价值。通过公式(2)计算得出环京津地区 1996—2011 年各土地类型生态服务价值动态度(表 4)。

表 3 1996 年和 2011 年环京津地区各服务类型生态系统服务价值 亿元

生态系统 服务类型	远山地丘陵区		近山地丘陵区		远平原区		近平原区		环京津地区	
	1996 年	2011 年	1996 年	2011 年	1996 年	2011 年	1996 年	2011 年	1996 年	2011 年
气体调节	31.65	38.03	19.83	21.27	11.84	10.41	5.26	5.65	68.58	75.36
气候调节	32.78	36.42	17.67	18.79	16.73	15.90	8.32	8.64	75.50	79.75
水源涵养	24.33	29.24	17.70	18.06	9.39	-3.14	8.88	1.72	60.30	45.88
土壤形成与保护	50.58	55.52	25.99	27.74	25.54	24.66	12.32	13.00	114.43	120.92
废物处理	41.26	38.28	15.93	15.78	36.72	30.01	23.99	19.21	117.90	103.28
生物多样性保护	37.02	42.29	21.06	22.32	17.63	15.07	8.88	7.97	84.59	87.65
食物生产	15.75	13.60	4.44	4.50	14.71	16.63	7.64	7.88	42.54	42.61
原材料	18.64	24.06	13.67	14.66	5.31	4.02	1.19	1.40	38.81	44.14
娱乐文化	11.46	12.78	7.13	7.35	5.86	3.67	3.87	2.70	28.32	26.50
合计	263.47	290.22	143.42	150.47	143.73	117.23	80.35	68.17	630.97	626.09

表 4 环京津地区 1996—2011 年各土地利用类型的生态服务价值动态度 %

土地利用类型	1996—2001 年	2001—2006 年	2006—2011 年	1996—2011 年
耕地	-0.73	0.46	-0.91	-0.39
林地	0.56	2.92	0.38	1.33
园地	1.59	2.34	5.82	3.62
草地	1.30	-0.22	-0.32	0.24
水域	2.96	-8.34	-1.04	-2.38
建设用地	1.92	1.62	1.30	1.72
未利用地	-0.55	-2.50	-0.47	-1.14
合计	0.18	-0.52	-0.16	-0.17

环京津地区不同的土地利用类型有着不同的变化趋势和变化规律,从表 4 可以看出,1996—2001 年环京津地区的生态系统服务价值呈现增加趋势,但 2001 年以后则呈现下滑趋势;林地、草地、园地、建设用地在 1996—2011 年期间的生态系统服务价值增加,耕地、水域、未利用地的生态系统服务价值减少;其中水域、园地的动态度绝对值远大于总动态度,表明两种类型土地的生态服务价值变化量较大,园地的增加量较多,水域的减少量较多;耕地、草地两种类型土地的动态度最小,说明两者的生态服务价值变化量较小,基本上呈现相对稳定平衡的状态。

根据表 5,对 4 个分区 1996 年、2011 年不同土地利用类型的生态价值进行分析。环京津地区的生态服务总价值呈现降低趋势,园地、林地、草地的生态服务价值增加,其他土地类型价值量降低。远山地丘陵

区,1996—2011 年总价值降低,其中园地、林地、未利用地生态价值增加;近山地丘陵区,1996—2011 年总价值增加,其中园地、林地、草地、建设用地价值量增加;远平原区,总价值量从 1996 年的 133.53 亿元减少到 2011 年的 124.72 亿元,其中耕地、园地价值量增加,草地变化量较小;近平原区,总价值量从 1996 年的 99.62 亿元下降到 2011 年的 77.81 亿元,其中耕地、园地、林地的价值量增加,草地减少量较少。

2.3 环京津地区土地生态服务价值敏感性分析

根据 CS 计算公式(3),将 7 种土地类型的生态价值系数(VC)分别上下调整 50%,并分别计算 1996 年、2001 年、2006 年、2011 年的生态服务总价值的敏感性指数。根据结果,ESV 对 VC 的敏感性指数都小于 1,最低值为 0,即当园地或者未利用地的 VC 增加 1%时,对应的 ESV 增加 0~0.01%,对研究区的

ESV 影响很小,即 ESV 对 VC 的弹性较弱;最高值为 0.76,即当林地的 VC 增加 1%时,对应的 ESV 增加 0.76%,对研究区的 ESV 影响最大。这都说明研究区的 ESV 相对于 VC 是缺乏弹性的,即研究区采用的 VC 没有影响到 ESV 随时间变化的真实性。

2.4 生态系统服务价值的灰色预测

基于环京津 1996—2011 年土地利用变更调查数据,构建适用于研究区各土地利用类型的灰色 GM(1,1)模型,预测 2018 年和 2022 年各土地利用类型的生态系统服务价值(运算过程采用 Matlab 软件)。

表 5 1996 年和 2011 年环京津地区生态系统服务价值 亿元

土地利用 类型	远山地丘陵区		近山地丘陵区		远平原区		近平原区		环京津地区	
	1996 年	2011 年	1996 年	2011 年	1996 年	2011 年	1996 年	2011 年	1996 年	2011 年
耕地	95.77	78.21	23.06	18.89	83.18	95.13	59.83	62.09	261.84	254.33
园地	5.29	7.50	6.63	6.85	5.38	11.28	2.97	3.65	20.27	29.28
林地	127.81	173.55	99.00	104.12	25.38	15.29	3.28	4.50	255.47	297.47
牧草地	16.14	15.70	3.90	4.94	0.02	0.01	0.02	0.01	20.07	20.66
建设用地	-11.26	-11.34	-3.92	-3.44	-16.34	-22.69	-14.19	-19.45	-45.70	-56.92
水域	22.35	17.92	9.66	7.10	34.90	25.43	47.47	26.81	114.37	77.25
未利用地	2.29	2.51	1.11	1.04	1.01	0.27	0.25	0.20	4.66	4.02
合计	258.37	284.05	139.45	139.51	133.53	124.72	99.62	77.81	630.97	626.09

表 6 2018 年和 2022 年环京津地区生态系统服务价值预测值 亿元

土地利用 类型	远山地丘陵区		近山地丘陵区		远平原区		近平原区		环京津地区	
	2018 年	2022 年	2018 年	2022 年	2018 年	2022 年	2018 年	2022 年	2018 年	2022 年
耕地	69.32	64.14	17.65	17.21	99.32	102.11	64.34	65.58	250.63	249.04
园地	8.21	8.98	6.91	6.99	13.37	14.21	3.88	3.95	32.37	34.13
林地	185.43	192.77	108.32	109.65	13.56	11.77	4.71	4.89	312.02	319.08
牧草地	15.23	14.98	5.02	5.11	0.01	0.01	0.01	0.01	20.27	20.11
建设用地	-11.41	-11.47	-3.24	-3.12	-24.65	-25.66	-22.43	-26.11	-61.73	-66.36
水域	16.54	16.24	7.03	6.91	23.54	22.76	20.12	16.54	67.23	62.45
未利用地	2.61	2.64	0.98	0.92	0.21	0.18	0.16	0.11	3.96	3.85
总计	285.93	288.28	142.67	143.67	125.36	125.38	70.79	64.97	624.75	622.30

表 7 2018 年和 2022 年环京津地区生态系统服务价值预测值精度检验

土地利用 类型	远山地丘陵区		近山地丘陵区		远平原区		近平原区		环京津地区	
	<i>P</i>	<i>C</i>	<i>P</i>	<i>C</i>	<i>P</i>	<i>C</i>	<i>P</i>	<i>C</i>	<i>P</i>	<i>C</i>
耕地	1	0.14	1	0.15	1	0.15	1	0.09	1	0.11
园地	1	0.16	1	0.21	1	0.18	1	0.21	1	0.17
林地	1	0.21	1	0.17	1	0.09	1	0.15	1	0.13
牧草地	1	0.05	1	0.07	1	0.11	1	0.09	1	0.08
建设用地	1	0.08	1	0.08	1	0.09	1	0.06	1	0.07
水域	1	0.23	1	0.19	1	0.13	1	0.22	1	0.19
未利用地	1	0.11	1	0.15	1	0.14	1	0.21	1	0.17

如表 6 所示,到 2018 年和 2022 年,环京津地区的生态服务总价值继续降低,2018 年、2022 年的总价值量分别是 624.75,622.30 亿元。耕地、水域、未利用地生态服务价值减少,林地、草地、园地、生态服务价值增加,建设用地继续保持负值,绝对值增大。远、近山地丘陵区价值总量增加;远、近平原区价值总量减少。比较 1996 年、2011 年、2018 年、2022 年 4 个时间点,远山地丘陵区的耕地、草地、水域价值量持续减少,建设用地绝对值增加,园地、林地、未利用地的价值量相应增加;近山地丘陵区的耕地、水域、未利

用地价值量减少,建设用地绝对值降低,其他土地类型价值量相应增加;远平原地区的林地、水域、未利用地价值量减少,草地价值量相对较低且基本保持稳定,建设用地绝对值增加,其他土地类型价值量相应增加;近平原地区的水域、未利用地价值减少,草地价值量相对较低且基本保持稳定,建设用地绝对值增加,其他土地类型价值量相应增加。

对灰色 GM(1,1)预测模型进行精度评定,根据模型预测精度等级评定标准^[15-16],当 $C<0.35$ 且 $P\geq 0.95$ 时,模型精度为 1 级(好);当 $C\geq 0.65$ 且 $P\leq$

0.75 时,模型精度为 4 级(不合格)。根据表 7,该模型后验差比值 $C < 0.35$, $P = 1 > 0.95$,模型预测精度为好,预测值具有较高可信度。

3 结论与讨论

(1) 通过对 1996—2011 年环京津地区各土地类型生态服务价值和动态度的计算,得出 1996—2001 年环京津地区的生态系统服务价值呈现增加趋势,但 2001 年以后则呈现下滑趋势,从 1996 年的 630.97 亿元减少到 2011 年的 626.09 亿元,价值总量减少了约 4.88 亿元。对环京津地区分区比较,远山地丘陵区 and 近山地丘陵区的价值量增加,远平原区和近平原区的价值量降低。说明对于生态功能方面,山地丘陵区承担着环京津地区的重任,但总量的减少又反映了环京津地区近十几年来在生态环境建设和土地管理中的不足和缺陷。

(2) 灰色预测模型能充分利用时间序列数据信息进行分析预测,在保持人类影响或政策等因素不变的情况下,预测到 2018 年和 2022 年,环京津地区的耕地、水域和未利用地的生态服务价值继续减少,林地、园地、草地生态服务价值继续增加;总价值量将分别减少到 624.75 亿元和 622.30 亿元。远、近山地丘陵区的价值总量增加;远、近平原区价值总量减少。说明环京津地区生态重心有偏向山地丘陵区的趋势,这与环京津地区的发展规划相符合。但总量仍然在降低,今后应注重对森林生态系统的保护,加大对未利用地的整理开发和生态重建^[17]。通过后验差检验方法对模型精度进行检验,灰色预测模型精度评定为好,表明灰色预测结果具有较高的可信度。

(3) 土地利用结构状态及其生态系统服务价值预测是一个复杂的系统工程,有很多随机和无序的影响因素。灰色预测模型的特点是在较少的数据样本情况下进行预测,与马尔柯夫链、元胞自动机、CLUE-S 模型等^[17-19]土地利用模拟预测方法相比,不需要土地利用结构的分布格局及土地利用类型的转移概率,在计算便捷方面具有独特优势且预测精度较高。但用灰色模拟预测的年限不宜过长,否则预测结果与实际发展情况将不相符合。尽管目前预测方法很多,RS, GIS 等地理信息技术飞速发展,但各自的建模机理、应用条件各异,都有各自的优缺点。在实际应用中,利用各预测方法的优点,综合考虑土地利用类型、土地利用分布格局、土地管理措施和土地利用政策等因素对土地利用变化的影响^[20],对土地利

用结构趋势进行组合预测,进行多方案比较分析,会得出较为满意的预测结果。

参考文献:

- [1] 郑华,欧阳志云,赵同谦,等. 人类活动对生态系统服务功能的影响[J]. 自然资源学报,2003,18(1):118-126.
- [2] 谢高地,鲁春霞,成升魁. 全球生态系统服务价值评估研究进展[J]. 资源科学,2001,23(6):5-9.
- [3] 谢高地,张懿铨,鲁春霞,等. 中国自然草地生态系统服务价值[J]. 自然资源学报,2001,19(1):47-53.
- [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] 吴大千,刘建,贺同利,等. 基于土地利用变化的黄河三角洲生态服务价值损益分析[J]. 农业工程学报,2009,25(8):256-261.
- [6] 段瑞娟,郝晋珉,张洁瑕. 北京区位土地利用与生态服务价值变化研究[J]. 农业工程学报,2006,22(9):21-28.
- [7] 唐秀美,陈百明,陆庆斌,等. 生态系统服务价值的生态区位修正方法:以北京市为例[J]. 生态学报,2010,30(13):3526-3535.
- [8] 蒋晶,田光进. 1988—2005 年北京生态服务价值对土地利用变化的响应[J]. 资源科学,2010,32(7):1407-1416.
- [9] Costanza R. Introduction special section: from on valuation of ecosystem services the value of ecosystem services[J]. Ecological Values,1998,7(4):423-441.
- [10] 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,1999,19(5):607-613.
- [11] 谢高地,肖玉,甄霖,等. 我国粮食生产的生态服务价值研究[J]. 中国生态农业报,2005,13(3):10-13.
- [12] 曾杰,李江凤,姚小薇. 武汉城市圈生态系统服务价值时空变化特征[J]. 应用生态学报,2014,25(3):883-891.
- [13] 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.
- [14] 赵永华,张玲玲,王晓峰. 陕西省生态系统服务价值评估及时空差异[J]. 应用生态学报,2011,22(10):1662-2672.
- [15] 傅立. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京:科学技术出版社,1992.
- [16] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1987.
- [17] 吕明辉,王红亚,蔡运龙. 西南喀斯特地区土壤侵蚀研究综述[J]. 地理科学进展,2007,26(2):87-96.
- [18] 赵庚星,李强,李玉环,等. GIS 支持下的马尔柯夫链模型模拟垦利县土地利用空间格局变化[J]. 山东农业大学学报,1999,30(4):345-349.
- [19] 彭建,蔡运龙,Verburg P H. 喀斯特山区土地利用/覆被变化情景模拟[J]. 农业工程学报,2007,23(7):64-70.
- [20] 赵文武,傅伯杰,吕一河,等. 多尺度土地利用与土壤侵蚀[J]. 地理科学进展,2006,25(1):24-33.