

山东省生态系统服务价值时空特征研究

邱向红^{1,2}, 侯西勇^{1*}, 徐新良³, 吴莉^{1,2}

(1. 中国科学院烟台海岸带研究所, 山东 烟台 264003; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要:基于遥感技术获取山东省 2000 年、2005 年和 2010 年土地利用数据,并运用 GIS 空间分析技术生成 1 km 格网土地利用类型面积结构数据以支持生态系统服务价值时空动态特征及其区划研究。结果表明:1)生态系统服务价值空间差异显著,10 年间土地利用变化总体上不利于生态系统服务功能及价值量的维持。2)生态系统服务价值空间格局总体稳定,但总量下降明显,土地利用空间格局决定了大部分区域具有较高的供给服务价值,而文化服务价值则普遍较低。3)过去 10 年,除水源涵养和娱乐文化服务价值加速增长外,其他的单项服务价值均持续降低,土壤形成与保护功能的价值损失量和损失率最突出。4)对生态服务价值格局与动态特征进行区划,得到 6 个类型区和 14 个亚区。

关键词:生态系统服务价值;空间格局特征;土地利用变化;1 km 格网;区划

中图分类号:F301;F062.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-0504(2013)06-0116-05

0 引言

生态系统服务是指生态系统与生态过程形成及其维持的人类生存和发展所必需的环境条件与效益^[1],对其价值进行评估是将人类对自然环境与生态系统的研究成果应用于合理配置环境资源的基础^[2]。自 1997 年 Costanza 等^[3]明确提出生态系统服务价值定量估算的原理与方法以来,生态系统服务及其价值研究已成为国际上生态系统可持续发展研究的热点之一^[4-6]。土地是各种陆地生态系统的载体,土地利用是人类作用于自然的最基本环节^[7],土地利用/覆被变化(LUCC)强烈改变生态系统的结构和功能^[8],并直接影响生态系统所提供服务的种类和强度^[9]。LUCC 对于生态系统服务功能的维持具有决定性的影响作用^[10,11],因此,近年来,国内外学者围绕 LUCC 所导致的生态系统服务价值变化问题开展了广泛的研究^[12-15],但多数侧重于分析 LUCC 过程驱动下区域生态系统服务价值在时间维度的变化特征,所采取的直接基于土地利用类型数据计算生态服务价值的处理方式,未能充分发挥土地利用空间数据在生态系统服务价值时空动态特征研究方面的优势。因此,本文以山东省为例,基于遥感技术获得 2000 年、2005 年和 2010 年土地利用分类数据,并在 1 km 格网尺度建立土地利用类型面积结构数据,进而计算生态系统服务价值。该方法既

保持了土地利用数据的精度,又便于刻画和分析生态系统服务价值的空间格局特征;通过区划研究进一步揭示了生态系统服务价值的“格局—过程”特征。本研究可为山东省土地可持续利用、自然资源合理开发及生态系统保护等提供数据支持和决策依据。

1 研究方法

1.1 多时相土地利用数据获取

山东省 2000 年土地利用数据来自中国科学院地理科学与资源研究所 1:10 万土地利用现状数据库^[16,17],考虑研究区土地利用的历史与现状特征,将分类系统归并为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地 6 类;进而,基于 2005 年和 2010 年 Landsat 影像更新土地利用数据,并结合大量的野外考察以及植被图、地形图和 Google Map 等信息检验和修正遥感分类数据,最终得到山东省 2000 年、2005 年和 2010 年土地利用数据,分类精度在 95% 以上。

1.2 基于 1 km 格网土地利用结构数据计算生态服务价值

在 GIS 中建立 1 km 格网,将某年的土地利用矢量数据与其叠加,统计每一格网单元中各种土地类型的分布面积,得到该年份 1 km 格网土地利用类型面积结构数据,从而满足在 1 km 格网中计算生态服务价值。Costanza 等的估算是基于全球尺度,未充

收稿日期:2012-12-29; 修回日期:2013-03-19

基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向项目(kzcx2-yw-224);中国科学院战略性先导科技专项“应对气候变化的碳收支认证及相关问题”(XDA05130703)

作者简介:邱向红(1982-),女,博士研究生,主要从事海岸带土地利用变化方面的研究。*通讯作者 E-mail:xyhou@yic.ac.cn

分考虑生态系统及其服务类型的空间异质性^[18,19];谢高地等参考其研究成果,结合中国实际情况,建立了中国陆地生态系统单位面积服务价值表^[20]。本文

借鉴相关研究成果^[21-23],基于表 1 所示的土地利用类型单位面积生态价值指数计算出不同土地利用类型单位面积生态服务价值。

表 1 不同土地利用类型单位面积生态服务价值
Table 1 Ecosystem service value per unit area of different land use types (元/hm²)

一级类型	二级类型	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
调节服务	气体调节	442.4	3 097	707.9	407	0	0
	气候调节	787.5	2 389.1	796.4	407	0	0
	水源涵养	530.9	2 831.5	707.9	18 033.2	260.3	26.5
	废物处理	1 451.2	1 159.2	1 159.2	16 086.6	86.8	8.8
支持服务	土壤形成与保护	1 291.9	3 450.9	1 725.5	8.8	0	17.7
	生物多样性保护	628.2	2 884.6	964.5	2 203.3	0	300.8
供给服务	食物生产	884.9	88.5	265.5	88.5	82.6	8.8
	原材料	88.5	2 300.6	44.2	8.8	0	0
文化服务	娱乐文化	8.8	1 132.6	35.4	3 840.2	82.6	8.8
总计		6 114.3	19 334	6 406.5	41 083.4	512.3	371.4

1.3 生态系统服务价值区划

区划原则:以生态服务价值量差异最大化为主要标准;一级区划单元反映宏观的地貌类型格局;以生态服务价值的结构差异为主要标准,兼顾次一级的地貌类型单元格局,在一级区划单元内部划分二级区划单元;区划结果同时反映生态服务价值量的时间变化特征。

按如下步骤进行区划:计算 3 个年份生态服务价值(各类型之和)的平均值以及 2 个 5 年间隔的变化量;基于 3 年的平均值,利用空间分析技术进行空间格局概化处理,以去除小尺度上较为细碎的信息,保留下来的宏观格局特征总体上与大的地貌类型及主要的地域单元具有较高的一致性;结合地貌图、高程数据、水系图和植被图等,判断生态服务价值等级划分的特征值(阈值),并基于概化后的数据提取特征值等值线;参照地貌、高程、水体、植被等要素的格局特征,对局部予以必要的修饰以平滑等值线,依次得到一级和二级区划单元的边界线;对各个区划单元进行系统命名,分析各个单元内部生态服务价值的结构特征和时间变化特征。

2 结果与分析

2.1 土地利用变化特征

山东省是传统的农业大省,耕地广泛分布,比重超过 60%;建设用地和草地分别居第二位和第三位;未利用地比重最小。2000—2010 年土地利用变化的主导特征是耕地持续减少(达 3 499.19 km²)和建设用地持续增加(达 5 468.38 km²),草地和未利用地持续小幅减少,水域先减后增,林地变化平稳。2000—2005 年建设用地面积变化率最高,未利用地次之,林地最小;2005—2010 年未利用地变化最迅速,其次是建设用地,林地最小;后 5 年土地面积变

化量及变化速度明显超过前 5 年。类型间的转换方面,减少的耕地大部分转化为建设用地,小部分转向水域;而草地和未利用土地等转化为建设用地的现象也较显著。多种来源促进了建设用地分布范围的迅速扩张。

2.2 生态服务价值总量的时空变化特征

2.2.1 生态服务价值总量的时间变化特征 在 1 km 尺度计算生态系统服务价值,结果表明:耕地、水域和林地是支撑区域生态系统服务的主体,三者生态服务价值占总量的 91% 以上;10 年间,耕地、草地和未利用地的生态服务价值量持续减少;各土地利用类型的生态服务价值变化趋势与该类型分布面积变化趋势一致,水域只占总面积的 8% 左右,其生态服务价值贡献率却达到 22% 以上,10 年间水域面积净增加,一定程度上弥补了耕地和草地面积锐减所造成的生态服务价值减损;其他各土地利用类型面积变化及相互间的转换总体上不利于生态系统服务功能及价值量的维持。

2.2.2 生态服务价值总量的空间格局特征 2000 年、2005 年和 2010 年生态系统服务价值空间格局总体稳定、变化不大,表现出较为明显的地域性(图 1):湖泊、水库及沿海滩涂区域为高值区;鲁中南泰沂山脉、胶东半岛低山丘陵区是林地、草地的密集分布区,生态服务价值量较高;在 1 km 分辨率,河流系统因径流量不大、河渠水面宽度较窄等特征而使得其生态服务价值呈现中等水平的脉络状格局;耕地大面积连片分布,服务价值略低;而城市居民点、港口码头及盐田养殖等建设用地是明显的低值区。10 年间,建设用地面积的增加伴随耕地和林草地等的大量流失,导致生态系统服务价值低值区扩张态势显著;在莱州湾近岸,滩涂开垦为盐田和养殖池,也导致大片高值区转变为低值区。

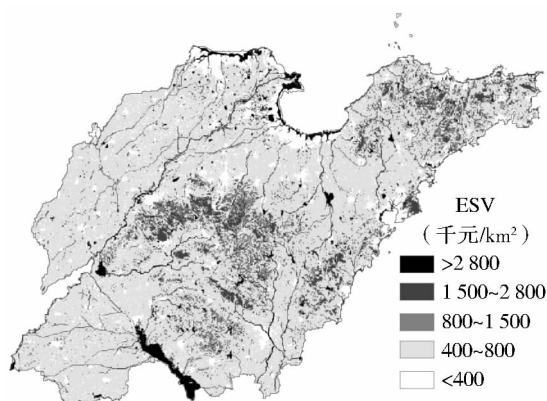


图 1 2010 年山东省生态系统服务价值格局
Fig. 1 Spatial patterns of ecosystem service value in Shandong Province in 2010

2.2.3 生态服务价值总量变化的热点区域 比较 3 个年份的生态服务价值,分析其时空变化特征,可知:虽然耕地大量转化为其他地类,但其基数大,使得在 1 km 尺度多数格网单元的生态服务价值量变化不大。2000—2005 年,莱州湾沿岸生态服务价值量明显降低,2005—2010 年,生态服务价值量增长的区域较前 5 年有了明显的增加,尤其在滨州、东营的海岸带地区和河口区增长显著,这主要得益于滩涂水域的保护;同时,全省河道整治改善了水系,因此水系的生态服务价值普遍增长;山地丘陵区部分草地转化为林地,形成较为密集的价值量增长区域。但全省生态服务价值总体呈现持续加速下降的趋势,10 年间净损失 19.96 亿元,损失率为 1.67%,其中前 5 年损失率为 0.82%,后 5 年为 0.86%。

2.3 不同类别生态系统服务功能价值的时空变化特征

2.3.1 二级类型服务价值量的时间变化特征 从二级类型的生态系统单项服务功能价值构成看,废物处理、土壤形成与保护和水源涵养是最主要的生态系统服务功能,三者比重之和达 58%;原材料和娱乐文化贡献率最小,不足 6.3%。2000—2010 年,除水源涵养和娱乐文化服务功能价值表现为加速增长外,其他单项服务功能价值量持续减少,其中除废物

处理呈减速减少外,其他服务功能价值均为加速减少趋势。土壤形成与保护损失量最大,损失率也最高,这主要是由于对土壤形成与保护功能贡献较高的耕地和草地面积大幅下降,而对其贡献最低的水域和建设用地面积大幅增长,无法有效补充此项功能的价值损失。区域生态系统的服务性功能价值总体大于生产性功能价值,且生产性功能价值量呈明显加速下降趋势。

2.3.2 生态系统一级服务功能价值量的空间格局特征 如图 2,生态系统服务功能价值量在不同类型间差异较大,调节服务具有最大的单位面积生态服务功能价值,水域对此项服务功能贡献最高,林地次之;而建设用地的扩张导致调节服务价值的低值区不断扩展。林、草地对支持服务功能价值的贡献突出,建设用地分布较为集中的区域是支持服务价值的低值区。林地分布区供给服务价值最高,而耕地的广泛分布也使得大部分区域表现出较高的供给服务价值。文化服务功能价值普遍偏低,只有水域和林地对该项服务的贡献较为突出,因此,水域面积的增长有助于文化服务价值高值区的扩张。

2.4 生态服务价值格局与动态特征区划

区划结果如图 3,包含有 6 个类型区和 14 个亚区。I 区为生态服务价值低值区,10 年间价值量变化较小。II 区为生态服务价值中、低值相间分布区,2005 年后,该区域生态服务价值量增长明显。III 区各亚区的价值量都比较稳定,仅在 III₃ 亚区南部的胶州湾沿岸区域价值量明显减少。黄河口与莱州湾沿岸的 3 个亚区差异明显:IV₁ 亚区价值量总体保持稳定,但沿黄河河道区域价值量略有增长;IV₂ 亚区在 2005 年后,靠海一侧生态服务价值增长显著,而内陆一侧价值量大幅下降;IV₃ 亚区价值量变化剧烈,莱州湾沿岸价值量大幅降低,而黄河入海口处则大幅增长。V 区多种单项生态服务功能作用均比较突出,而且 10 年间价值量较稳定。VI 区为生态服务价值高值区,且价值量保持稳定。

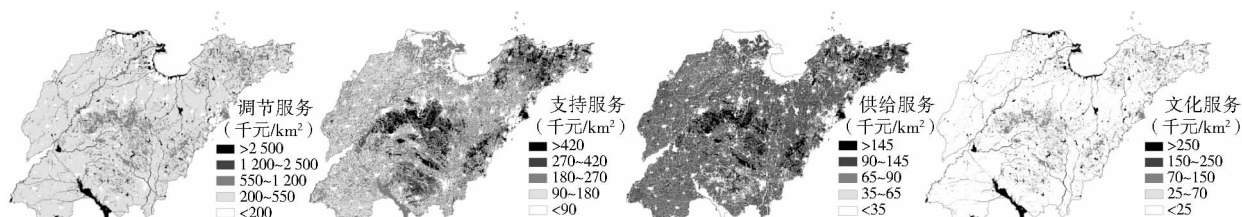


图 2 2010 年山东省生态系统一级服务功能价值的空间格局特征
Fig. 2 Spatial patterns of ecosystem service value among the primary subtypes in Shandong Province in 2010

3 结论与讨论

本研究基于 1 km 格网土地利用类型面积结构

数据和地图代数工具,在 1 km 尺度计算生态系统服务价值,不仅保持了土地利用矢量数据中各个土地利用类型的面积精度,而且计算结果是一组 1 km 分

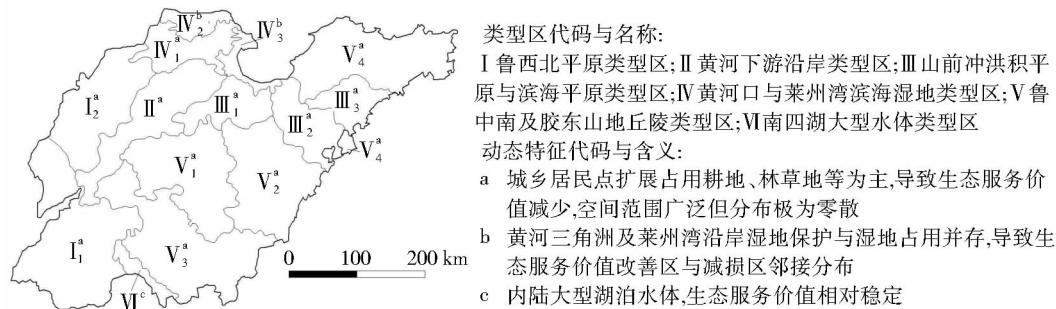


图 3 生态服务价值格局与动态特征区划
 Fig. 3 Zoning map for spatial-temporal dynamics of ecosystem service value

分辨率的空间数据,每一层代表一种生态服务类型。这种技术方法大大方便了对生态服务价值“格局—过程”特征的研究。研究表明:1) 山东省生态系统服务价值的空间差异性显著,但其空间格局基本稳定。10 年间生态服务价值总量呈明显的下降态势,耕地面积锐减是主要原因。各个地类生态服务价值量的变化都表现出对土地类型面积变化趋势的响应。水域生态服务价值增长在一定程度上弥补了生态服务总价值量的损失,河道整治、水工建筑等人为水利措施的生态服务功能改善初见成效。2) 从生态系统一级服务功能价值的格局看,调节服务的单位面积生态服务价值最高,同时大部分研究区表现出较高的供给服务价值,而文化服务功能价值普遍偏低。从二级类型生态系统单项服务功能价值构成看,废物处理、水源涵养和土壤形成与保护是最主要的生态系统服务功能。3) 对山东省生态服务价值格局与动态特征进行区划,得到 6 个类型区、14 个亚区以及 3 种动态特征,比较系统地反映了 2000—2010 年生态服务价值的格局与过程特征。

参考文献:

- [1] DAILY G C. Nature's Service: Societal Dependence on Natural Ecosystems[M]. Washington DC: Island Press, 1997.
- [2] 郑伟,王宗灵,石洪华. 典型人类活动对海洋生态系统服务影响评估与生态补偿研究[M]. 北京: 海洋出版社, 2011.
- [3] COSTANZA R, D'ARCE R, DE GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387: 253—260.
- [4] 李晋昌,王文丽,胡光印,等. 若尔盖高原土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(12): 3451—3459.
- [5] 孙慧兰,李卫红,陈亚鹏,等. 新疆伊犁河流域生态服务价值对土地利用变化的响应[J]. 生态学报, 2010, 30(4): 887—894.
- [6] O'FARRELL P J, DE LANGE W J, LE MAITRE D C, et al. The possibilities and pitfalls presented by a pragmatic approach to ecosystem service valuation in an arid biodiversity hotspot[J]. Arid Environments, 2011, 75: 612—623.
- [7] 王成,魏朝富,邵景安,等. 区域生态服务价值对土地利用变化的响应——以重庆市沙坪坝区为例[J]. 应用生态学报, 2006, 17(8): 1485—1489.
- [8] 郝慧梅,任志远. 基于生态服务价值的土地利用/覆盖变化生态效应测评[J]. 资源科学, 2007, 29(6): 92—97.
- [9] POLASKY S, NELSON E, PENNINGTON D, et al. The impact of land-use change on ecosystem services, biodiversity and returns to landowners: A case study in the state of Minnesota[J]. Environmental and Resource Economics, 2011, 48(2): 219—242.
- [10] TURNER B L II, SKOLE D L, SANDERSON S, et al. Land-use and land cover change science/research plan[R]. IHDP Report No 7, 1995.
- [11] 李冰,毕军,田颖. 太湖流域重污染区土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J]. 地理科学, 2012, 32(4): 471—476.
- [12] LAUTENBACH S, KUGEL C, LAUSCH A, et al. Analysis of historic changes in regional ecosystem service provisioning using land use data[J]. Ecological Indicators, 2011, 11: 676—687.
- [13] 岳书平,张树文,闫业超. 东北样带土地利用变化对生态服务价值的影响[J]. 地理学报, 2007, 62(8): 879—886.
- [14] 蒋晶,田光进. 1988 年至 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.
- [15] 徐丽芬,徐学工,罗涛,等. 基于土地利用的生态系统服务价值当量修订方法——以渤海湾沿岸为例[J]. 地理研究, 2012, 31(10): 1775—1784.
- [16] LIU J Y, LIU M L, ZHUANG D F, et al. Study on spatial pattern of land-use change in China during 1995—2000[J]. Science in China (Series D), 2003, 46(4): 373—384.
- [17] 刘纪远,张增祥,庄大方,等. 20 世纪 90 年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析[J]. 地理研究, 2003, 22(1): 1—12.
- [18] SERAFY S E. Pricing the invaluable: The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Ecological Economics, 1998, 25: 25—27.
- [19] WILSON M A, HOWARTH R. Discourse-based valuation of ecosystem services: Establishing fair outcomes through group deliberation[J]. Ecological Economics, 2002, 41: 431—443.
- [20] 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.
- [21] 冉圣宏,吕昌河,贾克敬,等. 基于生态服务价值的全国土地利用变化环境影响评价[J]. 环境科学, 2006, 27(10): 2139—2144.

- [22] 陈忠升,陈亚宁,李卫红,等. 基于生态服务价值的伊犁河谷土地利用变化环境影响评价[J]. 中国沙漠, 2010, 30(4): 870—877.
- [23] LIU Y, LI J, ZHANG H. An ecosystem service valuation of land use change in Taiyuan City, China[J]. Ecological Modelling, 2012, 225: 127—132.

Study on Spatial-Temporal Characteristics of Ecosystem Service Value in Shandong Province

DI Xiang—hong^{1,2}, HOU Xi—yong¹, XU Xin—liang³, WU Li^{1,2}

(1. Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049;

3. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: Land use data of 2000, 2005 and 2010 in Shandong Province, China were obtained based on remote sensing technology. Then, based on the spatial analysis techniques in GIS, land use maps were transformed into multiple raster maps at 1 km scale, each of which records the area of a land use type in 1 km scale pixels. And then, ecosystem services in three years were calculated based on these raster maps and map algebra techniques, and the spatial-temporal dynamics of ecosystem service value (ESV) were explored. The results show that: 1) Closely related to the spatial patterns of land use, the spatial differences of ESV were notable. 2) At macro spatial scale, the spatial pattern of ESV was stable relatively, although the ESV for the whole province decreased from $1\ 191.83 \times 10^8$ yuan in 2000 to $1\ 171.87 \times 10^8$ yuan in 2010 (19.96×10^8 yuan had lost). 3) The acute decrease of farmland had caused remarkable loss of ESV. Most of the conversions among land use were unfavorable to the maintenance of ecosystem service function and value besides the expansion of water body. 4) For the per unit area value, the regulating services was the highest one among all kinds of the ESV, and the spatial patterns of land use determined that most area had much higher provisioning services and much lower cultural services. For the sub-levels of ESV, most kinds of them decreased notably, especially the soil formation and retention. 5) Based on the spatial-temporal dynamics of ESV, six regions and fourteen sub-regions are delineated in Shandong Province.

Key words: ecosystem service value; spatial pattern feature; land use change; 1 km grid; regionalization

(上接第 115 页)

- [10] 王金南,李勇,曹东. 关于地区绿色距离和绿色贡献的变迁分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2005, 15(6): 3—7.
- [11] 孙建卫,赵荣钦,黄贤金,等. 1995—2005 年中国碳排放核算及其因素分解研究[J]. 自然资源学报, 2010, 25(8): 1284—1295.
- [12] 邱灵,申玉铭,任旺兵,等. 中国能源利用效率的区域分异与影响因素分析[J]. 自然资源学报, 2008, 23(5): 920—928.
- [13] 赵宇明,孙根年. 河北火电企业吨煤烟气排放量测定及污染动态预测[J]. 中国环境监测, 2013, 29(4): 142—146.

Research on Interprovincial Spatial Migration of Environmental Pollution: A Case Study of Beijing to Hebei

SUN Gen—nian, ZHAO Yu—ming

(College of Tourism & Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China)

Abstract: The spatial migration of environmental pollution refers to a phenomenon which high energy-consumption and polluting enterprises or companies with relatively backward technology migrating from developed regions to developing regions. Nowadays studies in China are mostly focused on the migration of environmental pollution from urban to rural areas, however, migration of environmental pollution between two larger provinces are rarely investigated. This paper elaborates the law of space migration of environmental pollution, based on which Beijing and Hebei province are taken for instances to compare their socio-economic development, aggregation of industrial enterprises as well as water consumption, energy consumption and pollution emissions per unit of economic output. The preconditions and essential causes of the law of spatial migration are further demonstrated. Finally, two different forms of spatial migration of environmental pollution are proposed. This paper makes guiding significance in providing basis for areas in transfer of industry, transformation of economic growth pattern and improvement of industry level.

Key words: environmental pollution; space migration; industry; Beijing; Hebei