

基于生态需求评价的北京市生态区位划分研究

唐秀美^{1,2} 郝星耀^{1,2} 潘瑜春^{1,2} 郜允兵^{1,2}

(1. 北京农业信息技术研究中心, 北京 100097; 2. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100097)

摘要: 从生态需求角度出发, 选择生态经济协调度、生态稀缺程度、人文发展水平作为评价指标, 在对分指标进行评价的基础上, 采用多指标条件判定法进行北京市生态需求程度评价, 并据此划分了3个生态分区。结果显示, 北京人均生态系统服务价值差距较大, 从中心城区到远郊区, 生态资源愈来愈稀缺; 生态经济协调度中, 轻度协调的区域大多位于北京北部的生态涵养区, 而首都核心功能区和城市发展新区的经济协调程度多属于轻度冲突; 人文发展水平从中心城区到远郊区逐渐降低; 生态需求程度从中心城区到远郊区逐步降低。根据生态分区的生态需求不同, 针对不同区位的特点提出了生态环境建设的建议, 研究可以为区域土地资源合理规划布局与调整、生态用地配置和生态环境保护提供参考和依据。

关键词: 北京市; 生态需求; 生态分区; 评价; 生态系统服务价值

中图分类号: F062.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)01-0170-07

Ecological Regionalization Based on Ecological Demanding Evaluation in Beijing City

Tang Xiumei^{1,2} Hao Xingyao^{1,2} Pan Yuchun^{1,2} Gao Yunbing^{1,2}

(1. Beijing Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China

2. National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China)

Abstract: Understanding of ecological demanding condition is conducive to analyze the supply and demanding relationship of ecosystem services and optimize land resource layout and ecological land configuration. The research was carried out from the perspective of ecosystem services demanding. Three factors were selected as evaluation indicators, including ecology economy harmony, ecological scarcity and human development. Based on the evaluation of these three separated indicators, the overall ecological demanding in Beijing City was evaluated by multi-condition evaluation method, and the Beijing City was divided in to three eco-regions. The results of each indicator show that there are significant differences in ecosystem services value per capita between different districts of Beijing City. Moreover, the ecological resources become increasingly scarce from central districts to suburban districts. In the aspect of ecology economy harmony, most mild coordinated regions distribute in the ecological conservation areas which locate in the north of Beijing City, the capital core functional areas and new urban development areas are mostly on the mild conflicting level. Human development and ecological demanding gradually reduces from the downtown to the outer suburbs. The overall evaluation result presents that the ecological demanding gradually reduces from city center to outer suburbs. More specifically, the Dongcheng District, Xicheng District, Chaoyang District and Fengtai District are at high levels, Yanqing District, Miyun District and Pinggu District are at low levels, and other districts are at moderate levels. According to the characteristics of different eco-regions, the suggestions about ecological

收稿日期: 2015-07-14 修回日期: 2015-08-31

基金项目: 国家自然科学基金项目(41301093, 41201173)

作者简介: 唐秀美(1982—), 女, 助理研究员, 主要从事土地生态化利用研究, E-mail: Tangxm@nrcita.org.cn

通信作者: 郝星耀(1982—), 男, 助理研究员, 博士, 主要从事地理信息与土地信息技术研究, E-mail: Haoxy@nrcita.org.cn

environment construction were proposed. The study of this paper can provide references for the planning and adjustment of regional land resource, deployment of ecological land and environmental protection.

Key words: Beijing City; ecological demanding; eco-region; evaluation; ecosystem services value

引言

生态系统服务是指生态系统为人类社会的生产、消费、流通、还原和调控活动提供有形或无形的自然产品、环境资源和生态损益的能力,是人类直接或间接从生态系统得到的利益,主要包括向经济社会系统输入有用物质和能量、接受和转化来自经济社会系统的废弃物、以及直接向人类社会成员提供服务^[1]。生态系统服务具有巨大的间接和直接经济价值,是生态资产的重要组成部分^[2-3]。人与生态系统是一个互惠互利、相互依存的有机整体,而社会经济的快速发展导致人们过度索取自然资源,极大地削弱了生态系统提供服务功能的能力^[4]。联合国千年评估报告指出,由于人类需求量不断增加,全球生态系统服务功能已经供不应求^[5]。资源的有限性导致既要了解生态系统提供服务的数量,更需要明确生态系统服务的需求与供给的关系。但目前国内外对生态系统服务的研究多集中于供给方面,从全球^[3,6]、国家^[7-8]、城市^[9-10]、生态系统^[11-13]等尺度进行了深入的研究。目前生态系统服务价值评估中,测算的项目有限^[14-15],大部分是在对生态系统服务进行初步定义的基础上,依据土地变化、植被覆盖类型等信息进行生态系统供应能力静态价值的估算^[16-19],从人类需求的角度来考虑自然生态系统所提供的服务与需求的关系方面的研究较少^[1,4,20],且大多属于理论方面的定性分析与探讨^[21]。不同区域生态需求程度差距较大,影响因素较多,包括区域本底生态资源条件、人口经济发展状况、人文发展水平等,评价区域的生态需求状况有利于分析区域生态系统服务的供给和需求关系,从而为将来生态用地配置和区域土地资源合理规划布局服务。基于以上分析,本研究从生态需求的角度出发,从生态稀缺程度、生态经济协调度和人文发展水平等方面评价北京市的生态需求程度,并据此进行区域生态区位划分,从而为有目标地进行土地利用调整、促进区域生态环境提供参考和依据。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

北京市位于华北平原的西北部,地理坐标为北纬 39°28' ~ 41°25',东经 115°25' ~ 117°30',南北长约

176 km,东西宽约 160 km,总面积 16 410.54 km²,北京市傍山面海,腹地辽阔,自然条件优越,地理位置极为重要,其土地利用呈现明显的圈层分布特点,已经划分了明确的城市主体功能区划,划分为首都功能核心区、城市功能拓展区、城市发展新区和生态涵养发展区 4 个区域。作为我国的首都和国际化大都市,北京市人类活动与生态系统的相互作用尤为突出,研究不同区域的生态需求对区域生态资源保护有重要意义。

1.2 数据来源

研究数据来源于北京市 1993、2001、2007 年土地利用现状图及北京市区域统计年鉴数据。

2 研究方法

2.1 技术路线

本研究从生态需求的角度出发,选择生态经济协调度、生态稀缺程度、人文发展水平作为评价指标,在对区域分指标进行评价的基础上,采用多指标条件判定法,进行生态区位的划分,并分析不同分区的资源条件及土地利用调整措施。

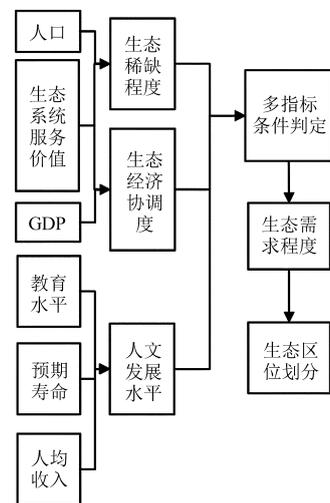


图 1 技术路线

Fig. 1 Research technology roadmap

2.2 土地利用类型生态系统服务价值确定

对北京市的土地利用现状类型进行综合分析,确定了 9 个土地利用现状用地类型,并确定各个类型的生态系统服务基准价值。本研究在中国陆地生态系统单位面积生态系统服务价值当量表^[16]的基础上,对该表进行了空间尺度和时间尺度上的修正,使之适合于北京的实际情况:时间尺度上,采用 2013 年的全国平均粮食价格将其修正到 2013 年的

价值水平上;空间尺度上,采用 NPP 校正方法将生态系统服务价值由全国校正到北京市。最终得到了

北京市各土地利用类型单位面积生态系统服务基准价值(表 1)。

表 1 北京市各土地利用类型的单位面积生态系统服务价值

Tab.1 Ecosystem services value per unit area of each land use type in Beijing City

元/hm²

用地类型	气体调节	气候调节	水源涵养	土壤形成与保护	废物处理	生物多样性保护	食物生产	原材料	娱乐文化	总价值
耕地	976.39	1862.36	643.26	2923.01	2369.92	694.77	1768.85	139.75	2790.84	14169.16
园地	2507.13	2507.58	2214.31	4204.73	2348.56	2243.59	964.75	1507.48	2149.67	20647.78
林地	3201.46	2519.69	3004.11	3470.22	1081.86	2981.92	99.38	2587.35	1201.46	20147.45
草地	1927.95	1965.55	1435.16	4129.70	2556.21	2040.43	828.86	120.50	98.23	15102.60
水域	0	828.57	36709.38	18.01	32746.64	4485.10	180.12	18.01	7817.40	82803.23
湿地	3242.24	30801.30	27919.30	3080.13	32746.64	4503.11	540.37	126.09	9996.91	112956.10
城市绿地	1836.85	1887.65	13987.36	2739.69	12337.01	3471.67	250.34	992.09	3126.88	40629.53
未利用地	0	0	105.90	70.60	35.30	1200.23	35.30	0	35.30	1482.63
建设用地	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3 生态需求评价

3.1 生态稀缺程度

结合北京市各土地利用类型的单位面积生态系统服务价值表,根据 2007 年土地利用现状数据与人口数据,计算各区县人均生态系统服务价值(ESV),如表 2 所示,并据此判定区域的生态稀缺程度。

表 2 北京市 2007 年人均生态系统服务价值

Tab.2 Ecosystem services value per capita of Beijing City in 2007

区县名称	ESV/亿元	常住人口/万人	人均 ESV/元
东城区	1.8	85.1	21.15
西城区	0.07	121.8	5.75
朝阳区	5.26	300.1	175.27
丰台区	2.89	169.3	170.70
石景山区	1.00	54.6	183.15
海淀区	5.29	281.4	187.99
门头沟区	26.35	27	9759.26
房山区	30.78	88.7	3470.12
通州区	15.77	96.5	1634.20
顺义区	16.68	73.6	2266.30
昌平区	21.66	89.6	2417.41
大兴区	15.28	97.8	1562.37
怀柔区	40.97	31.6	12965.19
平谷区	18.62	42.4	4391.51
密云县	52.35	44.9	11659.24
延庆县	38.98	28.6	13629.37
合计	292.12	292.12	1788.85

3.2 生态经济协调度

生态系统提供的服务功能不仅受区域自然、资源与环境条件的影响,其功能价值的变化也受社会经济发展的影响。为了评价北京市经济发展与自然生态环境的协调水平,本文采用生态经济协调度

(Ecology economy harmony, V_{EEH}) 指数来衡量^[22], V_{EEH} 指研究期内单位面积生态系统服务价值的变化率(V_{ESpr})与单位面积 GDP 变化率(V_{GDPpr})之比。其计算公式为

$$V_{EEH} = \frac{V_{ESpr}}{V_{GDPpr}} \quad (1)$$

其中

$$V_{ESpr} = \frac{V_{ESpj} - V_{ESpi}}{V_{ESpi}} \quad (2)$$

$$V_{GDPpr} = \frac{V_{GDPpj} - V_{GDPpi}}{V_{GDPpi}} \quad (3)$$

式中 V_{ESpi} ——研究区某时期初始年份的单位面积生态系统服务价值,元/hm²

V_{ESpj} ——研究区某时期结束年份的单位面积生态系统服务价值,元/hm²

V_{GDPpi} ——研究区某时期初始年份的单位面积 GDP,元/hm²

V_{GDPpj} ——研究区某时期结束年份的单位面积 GDP,元/hm²

计算结果见表 3。

3.3 人文发展水平

世界各国和地区社会发展的长期实践表明,人文发展与经济发展密切相关,但并不相同^[23]。预期寿命越高、教育素养越高以及经济发展水平越高的地区,其生态环境保护需求也就越高,即人文发展水平反映了区域的生态需求。人文发展水平采用人文发展指数(Human development index, P_{HDI})^[24]作为指标。人文发展指数从 3 方面衡量社会发展所取得的成就:一是健康长寿,用出生人口预期寿命来衡量;二是教育获得,用成人识字率(2/3 权重)及小学、中学、大学综合入学率(1/3 权重)共同衡量;三是生活水平,用人均实际 GDP 来衡量。本研究中人文发展指数数据来

源主要包括北京市各区县的相关统计数据,包括受教育程度、入学率、GDP 等数据,见表 4。

表 3 北京市 1993、2007 年生态经济协调度
Tab.3 Ecological economy harmony of Beijing City in 1993 and 2007

区县名称	ESV/亿元		GDP/亿元		V_{EEH}
	1993 年	2007 年	1993 年	2007 年	
东城区	0.22	0.18	18.172 4	807.045 3	-0.004 2
西城区	0.22	0.07	34.411 1	1 497.996 7	-0.016 0
朝阳区	5.90	5.26	31.349 8	1 697.412 5	-0.002 0
丰台区	3.40	2.89	15.583 0	463.230 1	-0.005 2
石景山区	0.99	1.00	4.227 7	226.398 6	0.000 2
海淀区	5.03	5.29	44.665 6	1 828.753 9	0.001 3
门头沟区	26.33	26.35	5.983 5	56.567 0	0.000 1
房山区	34.16	30.78	29.800 2	210.782 3	-0.016 3
通州区	16.06	15.77	42.997 6	186.756 6	-0.005 4
顺义区	17.38	16.68	37.073 6	355.130 2	-0.004 7
昌平区	23.74	21.66	26.470 6	269.823 2	-0.009 5
大兴区	15.89	15.28	21.424 6	194.298 4	-0.004 8
怀柔区	40.98	40.97	12.805 4	121.533 2	0.000 0
平谷区	17.77	18.62	17.827 7	72.084 9	0.015 7
密云县	52.08	52.35	15.420 2	94.637 8	0.001 0
延庆县	37.53	38.98	12.303 0	51.081 0	0.012 3
合计	297.69	292.12	370.515 9	8 133.531 7	-0.000 9

表 5 北京市各区县人文发展指数

Tab.5 Human development index of Beijing City

区县名称	人文发展指数	区县名称	人文发展指数
东城区	0.83	通州区	0.65
西城区	0.90	顺义区	0.72
朝阳区	0.86	昌平区	0.71
丰台区	0.74	大兴区	0.66
石景山区	0.80	怀柔区	0.70
海淀区	0.75	平谷区	0.59
门头沟区	0.63	密云县	0.58
房山区	0.73	延庆县	0.59

3.4 生态区位划分

划分生态区位的主要目的是评价不同区域的生态需求程度,生态需求程度主要与区域的生态资源状况、生态经济协调程度与人文发展水平有关,结合生态经济协调度、资源稀缺度及人文发展水平的计算结果,通过多指标条件判断方法进行生态区位划分。

3.4.1 确定各评价指标阈值

根据北京市人均生态系统服务价值的计算结果,采用拐点突变法将北京市人均生态系统服务价值(V_{PE})划分为 3 个等级:当 $0 \leq V_{PE} < 1 500$ 时,表示资源稀缺程度为高度;当 $1 500 \leq V_{PE} < 4 000$ 时,表示为中度;当 $V_{PE} \geq 4 000$ 时,表示为低度;根据生态经济协调度(V_{EEH})的计算结果,结合已有的划分方法^[22]确定生态经济协调度的阈值:将 0 作为 V_{EEH} 的临界值,当 $V_{EEH} < 0$ 时,表示生态经济不协调;当 $V_{EEH} \geq 0$ 时,表示生态经济协调。当 $-0.5 \leq V_{EEH} < 0$ 时,表示生态经济轻度冲突;当 $0 \leq V_{EEH} < 0.5$ 时,表示生态经济轻度协调;当 $0.5 \leq V_{EEH} < 1$ 时,表示生态经济中度协调;当 $V_{EEH} \geq 1$ 时,表示生态经济高度协调。根据北京市人文发展水平的计算结果,采用拐点突变法将北京市人文发展水平(V_{PD})划分为 3 个等级:当 $0 \leq V_{PD} < 0.60$ 时,表示人文发展水平为低水平,当 $0.6 \leq V_{PD} < 0.75$ 时,表示为中水平;当 $V_{PD} \geq 0.75$ 时,表示为高水平。

3.4.2 确定生态区位划分方法

生态区位的划分基于区域的生态需求程度不同,而不同评价指标对区域生态需求的表征不同,具体关系为:人均生态系统服务价值越低,生态需求程度越高;生态经济协调度越低,生态需求程度越高;人文发展水平越高,生态需求程度越高。划分生态区位需要综合 3 个指标进行判断,常用的方法有综合指标法和聚类法。综合指标是通过加权平均多个指标来获得总体评价指标,该方法计算简单,但权重对结果影响较大,确定单个指标的权重非常关键,而且在均值计算影响下,单个指标对结果的限定作用

表 4 计算 HDI 的最大值和最小值(阈值)
Tab.4 Maximum and minimum (threshold) value of HDI

指标	最大值	最小值
出生人口预期寿命/岁	85	25
成人识字率/%	100	0
综合入学率/%	100	0
人均 GDP/美元	40 000	0

注:资料来源于 2002 年人类发展报告,联合国开发计划署。

人文发展指数包括:预期寿命指数、教育指数和 GDP 指数 3 个分项指数,分项指数 T_f 计算公式为

$$T_f = (T_a - T_{\min}) / (T_{\max} - T_{\min}) \quad (4)$$

式中 T_a ——指数实际值

T_{\min} ——指数最小值

T_{\max} ——指数最大值

P_{HDI} 值为 3 个分项指数的算术平均值,其计算公式为

$$P_{HDI} = \frac{1}{3}Y_a + \frac{1}{3}Y_e + \frac{1}{3}Y_{GDP} \quad (5)$$

式中 Y_a ——预期寿命指数

Y_e ——教育指数

Y_{GDP} ——GDP 指数

根据式(4)、(5),对北京市各区县的人文发展指数进行了计算,结果见表 5。

被降低;聚类法是根据对象属性之间的相似性将其分为多个类的过程,本质上是一种无监督分类过程,虽然能保证类别中对象的内聚性,但类别划分与指标的现实意义之间关系不紧密,因此分类结果对相关工作的参考价值有一定的限制性。基于以上分析,本文采用多指标条件判定法进行生态区位划分,即通过条件判断函数来确定生态需求的区位类型,该方法在充分表达了单个指标意义的同时,通过多指标条件判断将多个指标进行了综合,同时由于单个指标条件意义的确定性,其区位划分结果也容易应用。根据各评价指标的意义和阈值划分结果,进行生态区位划分的条件判断函数表示为

$$f(V_{PE}, V_{EEH}, V_{PD}) = \begin{cases} X_H & (V_{PE} < 1\,500, V_{EEH} < 0, V_{PD} > 0.6) \\ X_L & (V_{PE} > 1\,500, 0 < V_{EEH} < 0.5, 0 < V_{PD} < 0.6) \\ X_M & (\text{其他}) \end{cases} \quad (6)$$

式中 X_H ——高度需求值 X_L ——低度需求值
 X_M ——中度需求值

根据式(6),当 $V_{PE} < 1\,500, V_{EEH} < 0, V_{PD} > 0.6$ 时,生态需求程度为高度需求;当 $V_{PE} > 1\,500, 0 < V_{EEH} < 0.5, 0 < V_{PD} < 0.6$ 时,生态需求程度为低度需求;其他情况为中度需求。

4 结果分析

表6和图2为北京市生态需求程度及生态区位划分结果。

表6 北京市生态需求程度评价划分结果

Tab.6 Ecological demanding evaluation result of Beijing City

区县名称	V_{PE}	V_{EEH}	V_{PD}	需求程度
东城区	21.15	-0.0042	0.83	高度
西城区	5.75	-0.0160	0.90	高度
朝阳区	175.27	-0.0020	0.86	高度
丰台区	170.70	-0.0052	0.74	高度
石景山区	183.15	0.0002	0.80	中度
海淀区	187.99	0.0013	0.75	中度
门头沟区	9759.26	0.0001	0.63	中度
房山区	3470.12	-0.0163	0.73	中度
通州区	1634.20	-0.0054	0.65	中度
顺义区	2266.30	-0.0047	0.72	中度
昌平区	2417.41	-0.0095	0.71	中度
大兴区	1562.37	-0.0048	0.66	中度
怀柔区	12965.19	0	0.70	中度
平谷区	4391.51	0.0157	0.59	低度
密云县	11659.24	0.0010	0.58	低度
延庆县	13629.37	0.0123	0.59	低度

结果显示,北京人均生态系统服务价值差距较大,从中心城区到远郊区,生态资源愈来愈稀缺,东城区、西城区的人均生态系统服务价值仅有21.15、5.75元/人,为高度稀缺;而城市功能扩展区的朝阳区、海淀区、丰台区、石景山区的人均生态系统服务价值也较低,在180元/人左右,为高度稀缺;城市发展新区的生态系统服务价值相对高,特别是顺义区、昌平区,超过2000元/人,为中度稀缺;而生态涵养区的生态系统服务价值有了较大的提升,延庆县达到了13629.37元/人,最低的平谷区也达到了4391.51元/人,为低度稀缺。

北京的生态经济协调度划分为2个等级,其中轻度协调的区域大多位于北京北部的生态涵养区,包括延庆县、怀柔区、密云县和平谷区,门头沟区、石景山区和海淀区也属于轻度协调区域,首都核心区昌平区、顺义区及南部的大兴区、通州区、房山区等区都属于轻度冲突。

北京市的人文发展水平呈现了明显的从中心城区到远郊区逐渐降低的特点,西城区的人文发展指数最高,达到了0.90,而朝阳区、东城区、石景山区和海淀区也在0.75以上,人文发展水平较高;昌平区、顺义区、门头沟区、房山区、大兴区和通州区等区域的人文发展水平在0.70左右,处于中等水平;延庆县、密云县和平谷区的人文发展水平较低,都处于0.6以下,为低度水平。

北京市生态需求程度评价结果显示,北京市的生态需求程度总体呈现从中心城区到远郊区逐步降低的特征,东城区、西城区、朝阳区和丰台区的生态需求程度最高,为高度需求;海淀区、石景山区、门头沟区、房山区、大兴区、通州区、顺义区、昌平区和怀柔区等区域的生态需求程度为中等,而延庆县、密云县和平谷区的生态需求程度为低度。

5 结束语

在对区域生态需求评价的基础上进行了北京市生态区位的划分,将北京市划分为生态需求程度低、中、高3个区,结果表明,北京市的生态需求程度差距较大,从远郊区到中心城区,生态需求程度逐步增高。根据结果,提出不同分区的土地利用调整策略:①生态需求程度高的区域:该区域主要为中心城区,区域人口密度大,绿地面积有限,人均生态系统服务价值低,生态经济协调度差,但人文发展水平高,对生态需求程度高,该区域应控制人口数量增加,提高人口素质,采用立体绿化、加强小区域绿地建设等各种措施增加绿地面积,提高区域生态系统服务总价

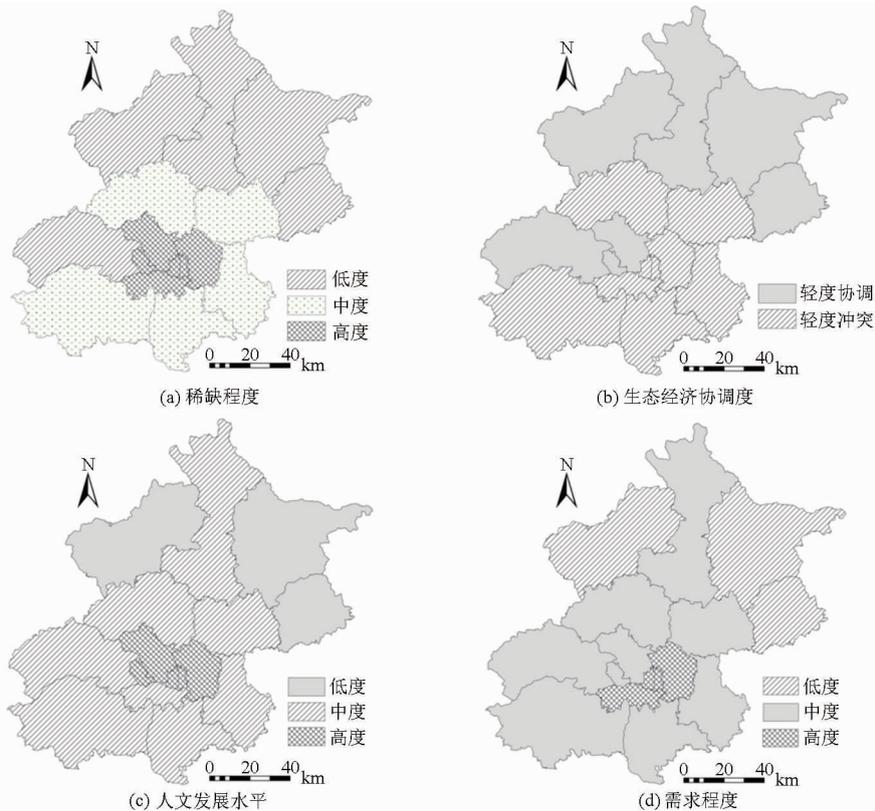


图 2 北京市生态需求程度评价结果及生态区位划分

Fig. 2 Evaluation result of ecological requirements degree evaluation and ecological location of Beijing City

值。②生态需求程度中的区域：该区域主要位于城市拓展区及城市发展新区，是面积最大的一个区域，也是近年来北京市的城市发展重点区，城市建设速度大，占用了大量土地面积，造成了区域人均生态系统服务价值较低，生态经济协调程度不高，同时，该区域人文发展水平较为良好，对生态的需求也较高，该区域应控制城市建设速度，严格控制人口无序增长，避免摊大饼似的城市发展，保留具有重要生态功能的土地，提高区域生态服务质量。③生态需求程度低的区域：该区域主要位于北京北部的生态发展涵养区，区域绿地面积较大，人口相对较少，人均生态系统服务价值高，经济发展速度不高，生态经济协调程度相对良好，该区域是北京市的

生态涵养区，对北京的生态环境保护有重要意义，区域在保障生态环境的同时，应适当增加提供服务功能的土地类型面积，特别是湿地等单位生态系统服务价值较高的土地利用类型的面积，大力建设不同的生态系统类型配置模式。生态系统会产生多种生态系统服务，生态需求及其量化是一个新的研究课题。生态需求的情况与区域需求人口的数量、空间分布、区域经济发展状况等各种因素有关，本研究从生态稀缺性、生态经济协调度和人文发展水平 3 个方面对生态需求进行了初步探索，更丰富涵义的生态需求评价是将来研究的重点，另外，还应关注生态需求的长时间动态变化，以更好地指导区域的生态建设。

参 考 文 献

- 1 赵庆建,温作民,张敏新. 识别森林生态系统服务的供应与需求——基于生态系统服务流的视角[J]. 林业经济,2014(10):3-7.
Zhao Qingjian, Wen Zuomin, Zhang Minxin. Identifying forest ecosystem services supplies and demands—insights from ecosystem services flows[J]. Forestry Economics, 2014(10):3-7. (in Chinese)
- 2 Costanza R, DA'rge R, de GrootR, et al. The value of the worlds' ecosystem services and natural capital [J]. Nature, 1997, 387: 253-260.
- 3 Contanza R, Voinov A, Boumans R, et al. Integrated ecological e-conomic modeling of the Patuxent River Watershed, Maryland [J]. Ecological Monographs, 2002, 72(2): 203-231.
- 4 王文美,吴璇,李洪远. 滨海新区生态系统服务功能供需量化研究[J]. 生态科学,2013, 32(3): 379-385.
Wang Wenmei, Wu Xuan, Li Hongyuan. Quantitative research on the supply and demand of ecosystem service function of Tianjin Binhai New Area[J]. Ecological Science, 2013, 32(3): 379-385. (in Chinese)
- 5 李文华. 生态系统服务功能价值评估的理论、方法与应用[M]. 北京:中国人民大学出版社,2008:15-23.

- 6 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.
Xie Gaodi, Lu Chunxia, Cheng Shengkui. Progress in evaluating the global ecosystem services [J]. Resources Science, 2001, 23(6): 5-9. (in Chinese)
- 7 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.
Xie Gaodi, Zhen Lin, Lu Chunxia, et al. Expert knowledge based valuation method of ecosystem services in China [J]. Journal of Natural Resources, 2008,23(5):911-919. (in Chinese)
- 8 毕晓丽,葛剑平. 基于 IGBP 土地覆盖类型的中国陆地生态系统服务功能价值评估[J]. 山地学报,2004,22(1):48-53.
Bi Xiaoli, Ge Jianping. Evaluating ecosystem service valuation in China based on the IGBP land cover datasets [J]. Journal of Mountain Science, 2004,22(1):48-53. (in Chinese)
- 9 郑建伟,田庆久,郑光,等. 海南省自然保护区生态服务价值评估[J]. 安徽农业科学,2009,37(31):15512-15515,15517.
- 10 李锋,叶亚平,宋博文,等. 城市生态用地的空间结构及其生态系统服务动态演变——以常州市为例[J]. 生态学报,2011,31(19):5623-5631.
Li Feng, Ye Yaping, Song Bowen, et al. Spatial structure of urban ecological land and its dynamic development of ecosystem services:a case study in Changzhou City, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011,31(19):5623-5631. (in Chinese)
- 11 张晓云,吕宪国,沈松平. 若尔盖高原湿地生态系统服务价值动态[J]. 应用生态学报,2009,20(5):1147-1152.
Zhang Xiaoyun, Lü Xianguo, Shen Songping. Dynamic changes of Ruoergai Plateau wetland ecosystem service value [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009,20(5):1147-1152. (in Chinese)
- 12 闵庆文,谢高地,胡聃,等. 青海草地生态系统的价值评估[J]. 资源科学,2004,26(3):56-60.
Min Qingwen, Xie Gaodi, Hu Dan, et al. Service valuation of grassland ecosystem in Qinghai Province[J]. Resources Science, 2004,26(3):56-60. (in Chinese)
- 13 Zhang Z M, Gao J F, Gao Y N. The influences of land use changes on the value of ecosystem services in Chaohu Lake Basin, China[J]. Environmental Earth Sciences, 2015, 74(1):385-395.
- 14 白杨,欧阳志云,郑华,等. 海河流域森林生态系统服务功能评估[J]. 生态学报,2011,31(7):2029-2039.
Bai Yang, Ouyang Zhiyun, Zheng Hua, et al. Evaluation of the forest ecosystem services in Haihe River Basin, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011,31(7):2029-2039. (in Chinese)
- 15 张彪,谢高地,肖玉,等. 基于人类需求的生态系统服务分类[J]. 中国人口·资源与环境,2010,20(6):64-69
- 16 谢高地,张钰铨,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,2001,16(1):47-53.
Xie Gaodi, Zhang Yili, Lu Chunxia, et al. Study on valuation of rangeland ecosystem services of China [J]. Journal of Natural Resources, 2001,16(1):47-53. (in Chinese)
- 17 郑江坤,余新晓,夏兵,等. 基于生态服务价值的潮白河上游土地利用优化[J]. 农业工程学报,2010,26(12):337-344.
Zheng Jiangkun, Yu Xinxiao, Xia Bing, et al. Land use pattern optimization based on eco-service value in the upper Chaobai River Basin [J]. Transactions of the CSAE, 2010,26(12):337-344. (in Chinese)
- 18 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.
Li Jinchang, Wang Wenli, Hu Guangyin, et al. Impacts of land use and cover changes on ecosystem service value in Zoige Plateau [J]. Acta Ecologica Sinica, 2011,31(12):3451-3459. (in Chinese)
- 19 谢高地,甄霖,鲁春霞,等. 生态系统服务的供给、消费和价值化[J]. 资源科学,2008,30(1):93-99.
Xie Gaodi, Zhen Lin, Lu Chunxia, et al. Supply, consumption and valuation of ecosystem services in China [J]. Resources Science, 2008,30(1):93-99. (in Chinese)
- 20 Wolff S, Schulp C J E, Verburg P H. Mapping ecosystem services demand: a review of current research and future perspectives [J]. Ecological Indicators, 2015, 55(8):159-171.
- 21 张永民. 生态系统服务研究的几个基本问题[J]. 资源科学,2012,34(4):725-733.
Zhang Yongmin. Some basic issues in ecosystem services research [J]. Resources Science, 2012,34(4):725-733. (in Chinese)
- 22 吴建寨,李波,张新时. 生态系统服务价值变化在生态经济协调发展评价中的应用[J]. 应用生态学报,2007,18(11):2554-2558.
Wu Jianzhai, Li Bo, Zhang Xinshi. Ecosystem service value and its application in evaluation of eco-economic harmonious development [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(11):2554-2558. (in Chinese)
- 23 封志明,吴映梅,杨艳昭. 基于不同尺度的中国人文发展水平研究:由分县、分省到全国[J]. 资源科学,2009,31(2):178-184.
Feng Zhiming, Wu Yingmei, Yang Yanzhao. Analysis on human development of China at multi-levels [J]. Resources Science, 2009,31(2):178-184. (in Chinese)
- 24 杨永恒,胡鞍钢,张宁. 基于主成分分析法的人类发展指数替代技术[J]. 经济研究,2005(7):4-16.
Yang Yongheng, Hu An'gang, Zhang Ning. An alternative to human development index with principal component analysis [J]. Economic Research Journal, 2005(7):4-16. (in Chinese)