

# 生态文明视角下环首都区域土地利用结构优化研究

杜胜男 郭爱清\* (河北地质大学土地科学与空间规划学院, 河北石家庄 050031)

**摘要** 以土地生态承载力评价为基础,以环首都县域层面为研究主体,运用多目标规划模型,综合考虑经济社会和生态效益,对环首都区域土地利用结构进行优化。结果表明,2018年环首都区域13县(市、区)的土地生态承载力综合指数介于0.2~0.5,土地生态承载力水平较低,需要分区域进行土地利用结构优化;优化过程中,I区、II区以生态效益优先为目标构建优化模型,III区、IV区以经济和生态效益并重为目标构建优化模型,最终得到环首都4个区域的优化方案。该方案可实现环首都区域的经济与生态协调发展,对京津冀地区生态文明建设和可持续发展具有指导意义。

**关键词** 生态文明;土地生态承载力;土地利用结构优化;多目标规划模型;环首都区域

中图分类号 F301.24 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2023)01-0072-07

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2023.01.016



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

**Research on the Optimization of Land Use Structure in the Region Around the Capital from the Perspective of Ecological Civilization**  
DU Sheng-nan, GUO Ai-qing (College of Land Science and Spatial Planning, Hebei GEO University, Shijiazhuang, Hebei 050031)

**Abstract** Based on the evaluation of land ecological carrying capacity, the land use structure of the region around the capital was optimized by taking the county level around the capital as the research subject, using the multi-objective planning model, and comprehensively considering the economic, social and ecological benefits. The results showed that in 2018, the comprehensive index of land ecological carrying capacity of 13 counties (cities, districts) in the region around capital was 0.2 - 0.5, the level of land ecological carrying capacity was relatively low, which was necessary to optimize the land use structure according to different regions. In the optimization process, areas I and II built optimization models of land use structure with the goal of giving priority to ecological benefits, and areas III and IV built optimization models land use structures with equal emphasis on economic and ecological benefits. In the end, the optimization schemes of the four areas around the capital were obtained. These schemes can realize the coordinated economic and ecological development of the region around the capital, and have guiding significance for the construction of ecological civilization and sustainable development in the Beijing-Tianjin-Hebei region.

**Key words** Ecological civilization; Land ecological carrying capacity; Optimization of land use structure; Multi-objective planning model; Region around the capital

生态文明是人类社会经历了农业文明和工业文明后进入的更高水平的发展阶段<sup>[1]</sup>,它追求人与自然和谐相处,强调资源节约和环境保护。中共十九届四中全会提出建立高度协调的生态文明体系,开辟经济与生态环境协调发展的新道路,实现建设美丽中国的新目标<sup>[2]</sup>。环首都区域城市化进程的加快和经济的飞速发展对生态环境造成了巨大的压力,成为制约京津冀地区可持续发展进程的“短板”<sup>[3]</sup>。然而生态文明建设是应对目前我国资源环境生态约束、实现经济社会可持续发展的必然选择<sup>[4]</sup>。因此,解决该区域人地矛盾、进行土地利用结构优化对统筹区域协调发展、推进生态文明建设具有重要意义和实用价值。

土地利用结构优化是以一个地区土地利用的综合效益最大化为目标,在数量上调整各类用地的比例,在空间上保持良性的土地系统循环,从而实现土地供需平衡<sup>[5]</sup>。国内外研究学者多从生态绿当量<sup>[6-7]</sup>、生态足迹<sup>[8-9]</sup>、土壤生态指数<sup>[10]</sup>、碳排放<sup>[11-12]</sup>、土地生态安全<sup>[13]</sup>以及建立多目标规划模型<sup>[14-15]</sup>等视角进行土地利用结构优化,而对于协调人地关系的有效理论——土地生态承载力研究较少。因此该研究从生态文明角度出发,构建具有生态文明内涵及特征的土地生态承载力指标体系,对2018年环首都区域13个县(市、区)的土地生态承载力进行评价,分析该区域的生态环境状

况,再按其综合指数大小和地区概况进行区域划分;在此基础上,运用多目标规划模型,制定符合该区域经济与生态协调发展的优化目标,对环首都区域进行土地利用结构优化,以期环首都区域土地资源的合理开发利用提供科学依据,也为类似地区的土地利用结构优化提供参考。

## 1 资料与方法

**1.1 研究区概况** 环首都区域是指北京周边的隶属于河北省4个地级市的部分县区所组成的区域,包括廊坊、保定、张家口和承德的13个县(市、区),其各县(市、区)的地形地貌存在着较大的差异(图1)。涿州市、固安县、廊坊市区(包含安次区和广阳区)分布在南部地区,地势起伏较小,地处华北平原;涞水县、赤城县、涿鹿县和怀来县分布在西部海拔较高地区,地形大部分是山地、丘陵和沟壑等,地势起伏较大;兴隆县、滦平县和丰宁满族自治县分布在北部坝上地区,森林面积较多,但是生态环境状况比较严峻,地理条件也较恶劣;香河县、大厂回族自治县和三河市分布在东部地区,地形平坦,多为平原,发展较好。以新兴产业为主导的环首都区域总土地面积为30 251.69 km<sup>2</sup>,占河北省面积的16.02%,是北京市的1.84倍。

截至2018年底,环首都区域的国内生产总值为2 987.95亿元,占河北省国内生产总值的9.20%。除了涞水县、涿鹿县和赤城县外的10个县(市、区)的国内生产总值均超过了100亿元,涿州市、三河市和廊坊市区的国内生产总值均超过了300亿元,廊坊市区甚至达700亿元,可见环首都各县(市、区)经济发展相差悬殊。除此之外,环首都区域的农民人均

基金项目 国家重点研发计划项目(2019YFC0507805)。

作者简介 杜胜男(1998—),女,河北张家口人,硕士研究生,研究方向:土地经济与管理。\*通信作者,教授,硕士,硕士生导师,从事可持续发展、土地评估等方面的教学与科研工作。

收稿日期 2022-03-06;修回日期 2022-04-06

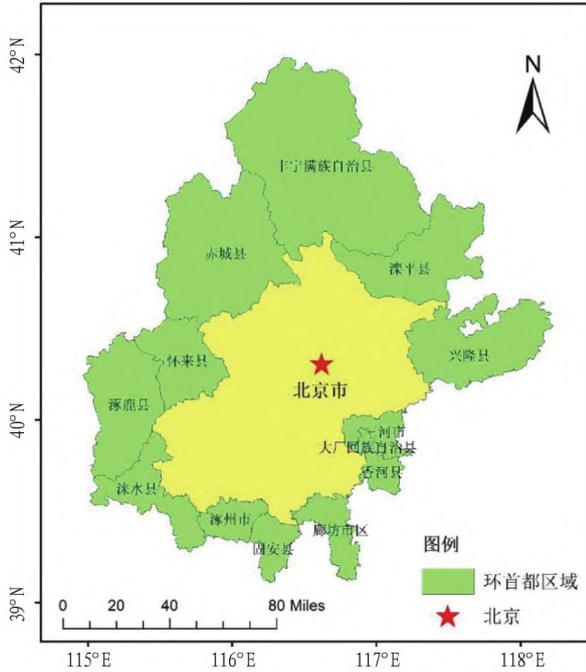


图 1 环首都区域地理位置

Fig.1 Geographical location of the region around the capital

可支配收入也呈两极分化的态势。三河市、涿州市

和香河县的农民人均可支配收入在 13 个县(市、区)中位列前 3 名,分别为 19 122、18 398 和 180 042 元,其中三河市的农民人均可支配收入是丰宁满族自治县的 2 倍以上。

1.2 数据来源 土地生态承载力指标数据主要来自 2015—2019 年的《中国县域统计年鉴》《中国城市建设统计年鉴》《河北经济年鉴》《廊坊经济统计年鉴》《保定经济统计年鉴》《张家口经济年鉴》《承德统计年鉴》和各个地级市统计局中的年报,通过直接或间接换算可得,部分指标数据不同来源存在差异以年鉴为准。各类土地面积数据主要从各市地图的遥感影像中提取得到。

1.3 研究方法

1.3.1 环首都区域土地生态承载力评价。

1.3.1.1 评价指标体系的建立。该研究基于相关研究成果<sup>[16]</sup>并结合环首都区域的实际情况,紧扣生态文明特征及内涵从生态负荷、生态保护、生态功能和生态经济等方面共选取 17 个评价指标。由于各指标对于土地生态承载力的影响效果不同,所以将指标分为正向指标和负向指标;正向指标数值越大,说明评价区域土地生态承载力水平越高;负向指标数值越大,说明评价区域土地生态承载力水平越低<sup>[17]</sup>,最后设计出环首都区域土地生态承载力评价指标体系,见表 1。

表 1 环首都区域土地生态承载力评价指标体系

Table 1 Evaluation index system of land ecological carrying capacity in the region around the capital

准则层 Criterion layer	指标层 Index layer	指标计算 Index calculation	指标代码 Index code	指标性质 Index nature
生态负荷 Ecological load	人口密度//元/km <sup>2</sup>	常住人口/土地总面积	Y <sub>1</sub>	-
	人均耕地面积//hm <sup>2</sup>	耕地面积/总人口	Y <sub>2</sub>	+
	单位播种面积化肥负荷//kg/hm <sup>2</sup>	化肥施用总量/粮食播种面积	Y <sub>3</sub>	-
	污水排放量//t		Y <sub>4</sub>	-
生态保护 Ecological protection	城镇化率//%	城镇人口/总人口×100%	Y <sub>5</sub>	+
	城镇建设用地面积//hm <sup>2</sup>		Y <sub>6</sub>	+
	人均绿地面积//m <sup>2</sup>	绿地面积/城市人口	Y <sub>7</sub>	+
	造林面积//hm <sup>2</sup>		Y <sub>8</sub>	+
生态功能 Ecological function	林地面积比重//%	林地面积/土地总面积×100%	Y <sub>9</sub>	+
	园地面积比重//%	园地面积/土地总面积×100%	Y <sub>10</sub>	+
	草地面积比重//%	草地面积/土地总面积×100%	Y <sub>11</sub>	+
	水域面积比重//%	水域面积/土地总面积×100%	Y <sub>12</sub>	+
	绿化覆盖率//%	城市绿地面积/城市用地总面积×100%	Y <sub>13</sub>	+
生态经济 Ecological economy	土地经济密度//万元/km <sup>2</sup>	国内生产总值/土地总面积	Y <sub>14</sub>	+
	人均 GDP//元	地区 GDP/总人口	Y <sub>15</sub>	+
	单位面积林业产值//元/hm <sup>2</sup>	林业总产值/林地面积	Y <sub>16</sub>	+
	第三产业比重//%	第三产业 GDP/地区 GDP×100%	Y <sub>17</sub>	+

1.3.1.2 指标标准化处理。该研究采用极差标准化法<sup>[18]</sup>对指标进行标准化处理,确定了环首都区域 13 个县(市、区)各个指标的标准化值,即运用公式(1)和公式(2)来确定正负向指标的标准化值。

$$\text{正向指标: } Y_j = \frac{X_{ij} - \min(X_j)}{\max(X_j) - \min(X_j)} \quad (1)$$

$$\text{负向指标: } Y_j = \frac{\max(X_j) - X_{ij}}{\max(X_j) - \min(X_j)} \quad (2)$$

式中, X<sub>j</sub> 为第 j 个指标标准化值(j=1, 2, …, 17); X<sub>ij</sub> 为第 i(i=

1, 2, …, 5) 年第 j 个指标的数值; max(X<sub>j</sub>) 为实测最大值; min(X<sub>j</sub>) 为实测最小值。

1.3.1.3 指标权重的确定。为指标设定权重是指标体系评估过程中的关键步骤,指标的权重表明指标在评估体系中的重要性和贡献性,这直接影响评估的最终结果。设定权重的方法有很多,该研究采用 AHP 层次分析法<sup>[19]</sup>来确定各指标的权重,此法是专家在主观上对权重进行设定的方法,其原理是依据专家对此方面研究的经验,判断出两项因素之间谁比较重要,从而进行打分。打分过程中,为了排除可能存在

的权威干扰以及集中专家们的智慧,专家之间不得相互讨论<sup>[20]</sup>。运用 AHP 层次分析法,最终得到 17 个土地生态承载力评价指标的权重(表 2)。

表 2 土地生态承载力评价各指标权重

Table 2 The weight of each index in the evaluation of land ecological carrying capacity

准则层 Criterion layer	准则层权重 Criterion layer weight	指标层 Index layer	权重 Weight
生态负荷 Ecological load	0.246 4	人口密度	0.067 7
		人均耕地面积	0.095 5
		单位播种面积化肥负荷	0.034 4
		污水排放量	0.048 8
生态保护 Ecological protection	0.210 6	城镇化率	0.035 6
		城市建设用地面积	0.043 1
		人均绿地面积	0.060 7
		造林面积	0.071 2
生态功能 Ecological function	0.296 5	林地面积比重	0.072 7
		园地面积比重	0.047 9
		草地面积比重	0.032 2
		水域面积比重	0.047 9
		绿化覆盖率	0.095 8
生态经济 Ecological economy	0.246 5	土地经济密度	0.040 6
		人均 GDP	0.040 6
		单位面积林业产值	0.096 5
		第三产业比重	0.068 8

1.3.1.4 土地生态承载力测算。采用综合指数法构建指数公式和评价标准,利用公式(3)得出 2018 年环首都区域 13 县(市、区)的土地生态承载力综合指数。

$$A_j = \sum_{i=1}^n (Y_j \times W_j) \quad (3)$$

式中  $A_j$  为土地生态承载力;  $Y_j$  为第  $j$  个指标标准化值( $j = 1, 2, \dots, 17$ );  $W_j$  为第  $j$  个指标的权重。

表 3 我国陆地生态系统服务价值当量因子

Table 3 China's terrestrial ecosystem service value equivalent factor

生态系统服务类型 Ecosystem services	森林 Forest	农田 Farmland	草地 Grassland	水域 Waters	荒漠 Desert
食物生产 Food production	0.10	1.00	0.30	0.10	0.01
原材料 Raw materials	2.60	0.10	0.30	0.01	0.00
气体调节 Gas regulation	3.50	0.50	0.80	0.00	0.00
气候调节 Climate regulation	2.70	0.89	0.90	0.46	0.00
水文调节 Hydrological regulation	3.20	0.60	0.80	20.38	0.03
废物处理 Waste disposal	1.31	1.64	1.31	18.18	0.01
土壤保护 Soil protection	3.90	1.46	1.95	0.01	0.02
生物多样性 Biodiversity	3.26	0.71	1.09	2.49	0.01
娱乐文化 Entertainment culture	1.28	0.01	0.04	4.34	0.01

## 2 结果与分析

2.1 环首都区域土地生态承载力分析 从表 4 可以看出,2018 年环首都区域 13 县(市、区)的土地生态承载力综合指数整体处于 0.2~0.5,土地生态承载力较低,需要通过土地利用结构优化来提高土地生态承载力。

将环首都区域按照生态承载力大小以及经济发展状况和所处的地理位置、地形地貌等进行区域划分,能更具有针

### 1.3.2 环首都区域土地利用结构优化模型构建。

(1) 土地经济效益目标函数。在土地利用结构优化过程中,经济效益对土地利用具有重要的作用。具体函数如下<sup>[21]</sup>:

$$F_1(x) = \sum_{i=1}^8 (e_i \times x_i) \rightarrow \text{Max} \quad (i = 1, 2, \dots, 8) \quad (4)$$

式中  $F_1(x)$  为土地经济效益(万元);  $e_i$  为目标年某类用地单位面积的经济产出(万元/hm<sup>2</sup>);  $x_i$  为某类用地的面积(hm<sup>2</sup>)。

(2) 土地生态效益目标函数。该研究的土地生态效益测算是基于生态系统服务价值理论<sup>[22]</sup>进行的。我国在评估生态系统服务功能时,主要以谢高地等<sup>[23]</sup>的研究成果为准则,谢高地等参考 Costanza 等<sup>[24]</sup>和其他生态学相关学者对这项成果评估方法的大量实证研究<sup>[25-27]</sup>,制定出适合我国的生态系统服务价值当量因子表(表 3)。将林地与草地生态系统服务价值因子的平均值定位园地的生态系统服务价值因子,未利用地由于不具有生产能力,所以按照荒漠的生态系统服务价值因子进行确定。然后根据区域的主要粮食产量及市场价格对该表生态服务价值系数进行修正,其修正公式<sup>[23]</sup>如下:

$$E_a = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^n \frac{m_i \times p_i \times q_i}{M} \quad (5)$$

$$V_c = \sum (f_{ij} \times E_a) \quad (6)$$

式中  $E_a$  为农田生态系统提供食物生产服务功能的经济价值(元/hm<sup>2</sup>);  $i$  为该地区主要的粮食种类;  $p_i$  为  $i$  类粮食作物的平均价格(元/kg);  $q_i$  为  $i$  类粮食作物单产(kg/hm<sup>2</sup>);  $m_i$  为  $i$  类粮食作物面积(hm<sup>2</sup>);  $M$  为粮食作物的总面积(hm<sup>2</sup>)。  $V_c$  为各项生态用地生态系统服务价值系数;  $f_{ij}$  为第  $j$  类生态系统中  $i$  类生态服务所提供的生态服务因子当量。

对性地对区域进行土地利用结构优化,分区结果见图 2。从图 2 可以看出,Ⅰ区包括涞水县、涿州市和固安县,Ⅱ区包括大厂回族自治县、香河县、三河市和廊坊市区,Ⅲ区包括丰宁满族自治县、滦平县和兴隆县,Ⅳ区包括涿鹿县、怀来县和赤城县。

涞水县、涿州市和固安县位于北京西南部,主要发展农业,经济发展参差不齐,土地生态承载力综合指数相对较高。

这 3 个县市的单位面积林业产值、土地经济密度和第三产业所占比重逐年提高,经济发展稳步增长。化肥用量、污水排放量也相对较低,不仅可以保护土壤的生物多样性和有机质含量,还可防止农产品质量由于化肥的过量使用而下降。但是该地区造林面积、林地面积比重、园地面积比重、绿化覆盖

率都不是很高,园林与绿化不仅可以美化环境,对于改善生态环境也有显著作用,所以政府对于该地区绿化工作的开展还有待提高。因此,这 3 个县市的经济发展与生态保护没有实现协调可持续发展。

表 4 2018 年环首都区域 13 县(市、区)的土地生态承载力综合指数

Table 4 Comprehensive index of land ecological carrying capacity of 13 counties(cities and districts) around the capital in 2018

县域名称 County name	综合指数 Composite index	县域名称 County name	综合指数 Composite index
涿水县 Laishui County	0.468 2	丰宁满族自治县 Fengning Manchu Autonomy County	0.427 7
涿州市 Zhuozhou City	0.467 8	滦平县 Luanping County	0.380 5
固安县 Gu'an County	0.455 6	兴隆县 Xinglong County	0.376 3
大厂回族自治县 Dachang Hui Autonomy County	0.453 2	涿鹿县 Zhuolu County	0.352 4
香河县 Xianghe County	0.452 8	怀来县 Huailai County	0.307 7
三河市 Sanhe City	0.444 1	赤城县 Chicheng County	0.257 8
廊坊市 Langfang Municipal District	0.441 8		

大厂回族自治县、香河县、三河市和廊坊市地处平原地区,地形起伏较小,交通网络较发达,该地区的土地生态承载力综合指数相对处于中等水平。该地区经济发展迅速,第三产业较为发达,人均 GDP 均高于 4 万元,廊坊市甚至高达 10 万元。但是人均绿地面积、造林面积、林地面积比重、草地面积比重相对来说较低,城镇建设用地面积占较大比例。该地区单位播种面积的农药施用量以及污水排放量较大,对土壤污染较严重,破坏土壤中的生物多样性,给生态环境造成一定的压力,严重影响了土壤健康状况和作物品质,其中还有一部分会挥发到空气中造成大气污染,危害人类健康。因此,优先保护生态环境应是该地区的未来发展目标。

丰宁满族自治县、滦平县和兴隆县分布于北部海拔较高的坝上地区,高山深谷,土地生态承载力综合指数处于中下等水平。该县域的森林覆盖率在整个环首都区域中居于首位,对生态环境有改善作用的林地、园地和草地的面积比重较高,并且化肥施用量和污水排放量相对来说较低,这均有利于提高该地区的生态承载力水平。但是该地区的经济发展水平不高,土地经济密度和人均 GDP 处于低等水平,第三产业在总地区生产总值中的比重较小,城镇建设用地面积较少。因此,应注重该地区的经济发展与生态环境保护的协同。

涿鹿县、怀来县和赤城县的平均海拔均大于 400 m,地形以山地、丘陵为主,其土地生态承载力综合指数较低,经济水平落后。这 3 个县的土地经济密度、人均 GDP、单位面积林业产值和城镇化率相对较低,经济发展和城市化进程较为缓慢。由于该区域处于首都生态保护的重要区域,近几年来生态环境有所好转,化肥施用量和污水排放量在近几年都有所减少,该区域的绿化覆盖率和林地面积比重有所增加,可见政府对于该区域的生态环境治理的重视程度,这就对生态环境的保护产生了积极作用。因此该区域应该在注重生态环境治理工作的过程中,努力发展经济,才能实现区域的可持续发展。

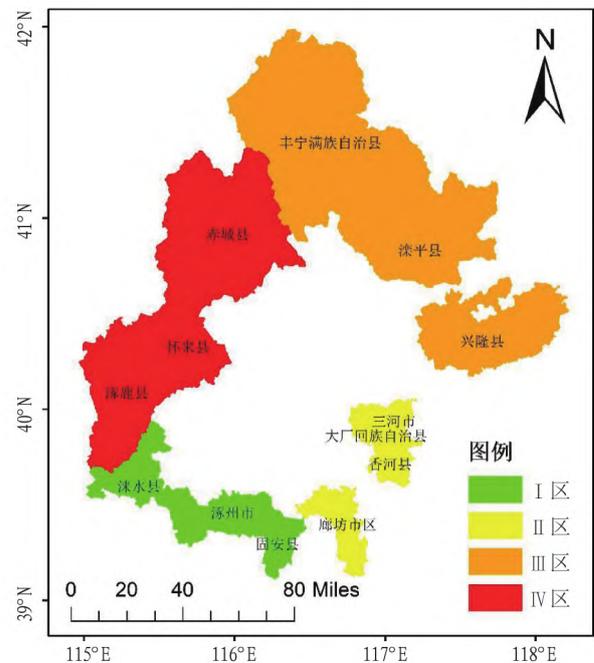


图 2 环首都区域分区

Fig.2 Regional division in the region around capital

2.2 环首都区域土地利用结构优化 土地资源具有稀缺性和有限性,为实现生态和经济效益最大化,有必要优化其土地利用结构,这有利于合理安排土地资源利用类型的数量和空间布局,并寻求优化土地利用方式分配的途径。这不仅可以为首都圈的规划建设提供科学依据,还可以促进区域发展,实现人与自然的协同<sup>[28]</sup>。因此,参照以上研究成果,以环首都区域的分区结果为前提,对环首都区域进行土地利用结构优化。由于每个区域有不同的特点,所以根据实际情况来确定不同的土地利用结构优化目标,从而建立不同的土地利用结构优化目标函数。

2.2.1 环首都区域土地利用结构优化模型构建。由环首都 4 个区域的分析可知,Ⅰ区、Ⅱ区的经济发展较好,但是生态环境情况相对严峻,因此这个区域应以生态效益优先为优化目

标,优化时要优先考虑林地、水域、草地等土地生态承载力较高的土地;Ⅲ区和Ⅳ区经济发展相对落后,生态环境情况相对较好,但也存在生态问题,因此为了实现经济与生态协同发展,应以经济效益和生态效益并重为优化目标,在提高土地生态效益的同时也要考虑到土地经济效益。

**2.2.1.1 研究变量设置。**通过对环首都区域土地类型的分析,并且考虑到设置变量的合理性、易操作性和易获得性,依据各县(市、区)《土地利用总体规划》的用地类型的划分准则以及土地利用的分类原则,进行地类的对照,便于界定各地类的优化条件,最终设置林地、耕地、草地、园地、水域、交通运输用地、居民点及工矿用地、未利用地共 8 个变量,其中居民点及工矿用地包括城镇和农村建设用地、工矿及仓储用地和特殊用地。

**2.2.1.2 目标函数建立。**

(1) 土地经济效益目标函数。该研究运用相对权益系数法来预测某种地类的单位面积经济产出,用该用地类型所对应的 GDP 来进行估算。其中用林业、农业、畜牧业和渔业的产值来表征林地、耕地、草地和水域的经济产出;用园林水果和茶叶的产值来表征园地的经济产出;交通运输用地和居民

点及工矿用地等建设用地用第二三产业的产值来表征。由于未利用地经济效益较低,按照前人的研究<sup>[21]</sup>将相对权益系数定为 0.000 4。因此根据 2014—2018 年 4 个区域的相对权益系数,采用线性回归预测法,估算得出 2025 年的相对权益系数。4 个区域的经济效益目标函数按顺序排列如下:

$$F_{11}(x) = 0.990 9X_1 + 10.870 4X_2 + 28.824 8X_3 + 37.459 8X_4 + 123 9X_5 + 250.104 2(X_6 + X_7) + 0.000 4X_8$$

$$F_{12}(x) = 7.388 6X_1 + 2.158 2X_2 + 20.605 7X_3 + 3.121 1X_4 + 730 5X_5 + 244.207 4(X_6 + X_7) + 0.000 4X_8$$

$$F_{13}(x) = 0.121 9X_1 + 7.032 4X_2 + 0.853 8X_3 + 11.321 4X_4 + 041 5X_5 + 75.165 6(X_6 + X_7) + 0.000 4X_8$$

$$F_{14}(x) = 4.941 5X_1 + 1.197 9X_2 + 0.357 1X_3 + 1.290 3X_4 + 0.046 9X_5 + 64.185 5(X_6 + X_7) + 0.000 4X_8$$

(2) 土地生态效益目标函数。由于环首都区域 13 县(市、区)的粮食种植结构较为复杂,所以该研究将各个县(市、区)的每年农业总产值及农作物总播种面积带入公式(5)进行计算。确定各区域 2009—2018 年每年的农业总产值及农作物播种面积,然后对 10 年间的对应指标取平均值进行计算,最后均值结果见表 5。

表 5 环首都 4 个区域农作物种植情况均值

Table 5 Average value of crop planting situation in the four regions around the capital

区域 Region	农业总产值 Agricultural output value 万元	农作物总播种面积 Total sown area of crops//hm <sup>2</sup>	单产 Yield per unit area 元/hm <sup>2</sup>	修正后单产 Yield per unit area after revision//元/hm <sup>2</sup>
I 区 Grade I	241 511.67	40 165.21	59 367.53	8 481.08
II 区 Grade II	180 797.20	25 596.73	71 058.92	10 151.27
III 区 Grade III	154 747.18	28 084.58	130 643.86	18 663.41
IV 区 Grade IV	164 684.73	25 498.03	116 856.91	16 693.84

再根据公式(6)计算出各区域的各项生态用地生态系统服务价值系数。其中将为提高该地区城市环境水准而投资的年均值作为建设用地的生态系统服务价值系数<sup>[29]</sup>。环首都 4 个区域的土地生态效益目标函数按顺序排列如下:

$$F_{21}(x) = 18.531 2X_1 + 5.860 4X_2 + 6.352 3X_3 + 12.441 7X_4 + 38.978 5X_5 + 2.368 6(X_6 + X_7) + 0.076 3X_8$$

$$F_{22}(x) = 22.180 5X_1 + 7.014 5X_2 + 7.603 3X_3 + 14.891 9X_4 + 46.665 4X_5 + 4.308 0(X_6 + X_7) + 0.091 4X_8$$

$$F_{23}(x) = 40.779 6X_1 + 12.896 4X_2 + 13.978 9X_3 + 27.379 2X_4 + 85.795 7X_5 + 4.127 5(X_6 + X_7) + 0.168 0X_8$$

$$F_{24}(x) = 36.476 0X_1 + 11.535 4X_2 + 12.503 7X_3 + 24.489 9X_4 + 76.741 6X_5 + 4.333 6(X_6 + X_7) + 0.150 2X_8$$

**2.2.1.3 约束条件设置。**在确定多目标函数的值时,要利用不同的约束条件来对变量进行设定,以得到可行且具有参考性的优化结果。其主要约束条件如下:

(1) 土地总面积约束条件。根据总面积的均衡原理,优化前和优化后的区域土地总面积要保持一致。

(2) 林地面积约束条件。林地拥有很高的生态系统功能价值,是不可或缺的生态用地之一,根据《土地利用总体规划》以及保护政策,未来规划的面积不得低于现有的林地面积。

(3) 耕地面积约束条件。农业是重要的资源产业之一,我国较为重视农业的发展,所以在我国耕地保护政策中明确规定,未来的耕地面积不得减少,不得低于现状面积。

(4) 草地、园地面积约束条件。根据研究区域 2009—2018 年的数据变化趋势,对 2025 年草地、园地面积进行多项式曲线预测并对其进行分析,从而设置约束条件。

(5) 水域面积约束条件。水域面积的增减与水资源对耕地的供应有关,水域对生态环境的改善有一定的积极作用。环首都区域《土地利用总体规划》关于水土保持生态修复的相关政策中提到,要维持水土资源数量的稳定性,不应该对其进行滥用。因此采用上述预测方法对 2025 年的水域面积进行预测,并结合 2018 年的现状数据设置约束条件。

(6) 交通运输用地面积约束条件。随着社会经济的快速发展,交通运输条件需要得到进一步的改善,并且提高交通运输用地的比例还可以更好地完善城镇交通系统,因此交通运输用地要大于 2018 年的现状用地。结合对目标年交通运输用地面积的预测来设置约束条件。

(7) 居民点及工矿用地面积约束条件。其中农村居民点随着闲置、废弃土地的整理和复垦,以及城乡建设用地上升的联结政策的实施,农村居民点在未来会呈现出下降的趋势;城镇工矿用地会随着未来经济发展需求的增加而增加。

因此要结合近 5 年(2014—2018 年)的土地利用类型数量的研究来确定居民点及工矿用地面积的走势,从而设定约束条件。

(8) 未利用地面积约束条件。未利用地是地区发展的储备资源,依据规划未利用地的总量会伴随城市化进程的发展而缩减,这样未利用地能够得到充分的利用,从而有利于提高土地的经济和社会效益。

2.2.2 环首都区域土地利用结构优化方案。该研究选取多目标规划法,使用运筹学 LINGO 软件,将目标函数和约束条件二者结合起来,对 I 区、II 区构建以生态效益优先的土地利用结构优化模型,对 III 区和 IV 区构建以经济和生态并重的优化模型,最终得到 2025 年环首都 4 个区域的优化方案,并与 2018 年各地区土地利用情况进行对比,如表 6 所示。

表 6 环首都区域土地利用结构优化方案

Table 6 Optimization plan for land use structure in the region around capital

区域 Area	林地 Forest		耕地 Cultivated land		草地 Grassland		园地 Garden		水域 Waters		交通运输用地 Land for transportation		居民点及 工矿用地 Residential area and industrial and mining land		未利用地 Unused land	
	面积	变化率	面积	变化率	面积	变化率	面积	变化率								
	Area hm <sup>2</sup>	Change rate//%	Area hm <sup>2</sup>	Change rate//%	Area hm <sup>2</sup>	Change rate//%	Area hm <sup>2</sup>	Change rate//%								
I 区 Area I	40.69	7.34	171.45	0.00	27.85	-2.60	10.72	-4.91	13.98	0.00	5.87	1.58	63.15	0.00	133.81	-1.16
II 区 Area II	28.57	15.17	170.21	0.00	4.58	-21.97	8.77	-18.73	15.99	0.00	9.24	0.23	90.62	0.00	5.02	-8.59
III 区 Area III	1347.46	0.49	202.05	0.00	467.15	-1.97	100.93	-1.81	28.67	0.00	8.31	11.71	53.09	10.96	19.68	-6.79
IV 区 Area IV	600.42	0.57	179.24	0.00	490.34	-0.66	116.16	-0.49	30.71	0.00	6.81	8.54	45.31	0.19	9.99	-1.93

由表 6 可知,环首都区域的土地利用结构优化方案主要有以下特征:

(1) 林地面积增加。I 区、II 区的绿化覆盖率、林地面积比重、造林面积相对较低,对土地生态承载力产生一定的消极作用,因此其优化结果以林地面积的增长为主,增长率分别为 7.34%、15.17%。而 III 区和 IV 区的地形多以山地丘陵为主,森林覆盖率较高,因此其优化结果中林地面积的增长不是很大,增长率分别为 0.49%、0.57%。森林可以吸收工业产生的二氧化碳和有害气体,起到净化空气、保护人体健康的作用。所以林地面积需求量的增加,不仅体现在碳氧调节等生态功能的发挥上,还体现在该地区生态景观的丰富度上,变相地促进了旅游业发展,实现经济繁荣。

(2) 耕地面积保持不变。在颁布的国家耕地保护政策中规定,耕地面积不应低于现状面积,因此在优化过程中,耕地面积维持不变,2018 年环首都 4 个区域的耕地保有量分别为 2 571.75 万、2 553.15 万、3 030.75 万和 2 688.60 万 hm<sup>2</sup>。因此,在保证耕地安全的前提下,环首都区域的耕地对整个生态用地结构的调整有一定的促进作用。然而近几年环首都区域的人均耕地面积处于下降的趋势,对该地生态承载力具有一定的负影响。因此,应该在合理推行计划生育政策的基础之上,大力加强对耕地的保护措施。

(3) 草地和园地面积减少。这主要是因为将草地和园地转化为林地可以获得更高的生态系统服务价值,从而在增加森林覆盖率和改善区域生态环境方面发挥有益作用。

(4) 水域面积保持不变。水域具有发挥涵养水源的生态功能,对生态系统产生积极作用,有助于提高生态系统的生态效益。保持水域面积的稳定,其渔业产值也会在其影响下保持相应的稳定,从而保证该地区渔业的经济效益不下降。

(5) 交通运输用地、居民点及工矿用地在各区的优化过

程中有不同程度的增加。在以生态效益优先为目标优化的 I 区、II 区,经济发展较好,由于建设用地对生态系统服务价值产生负效应,所以在确保城市化进程向前推动的情况下,对建设用地的肆意扩张应当进行合理的调控,并且集约利用城市用地将有利于缓解建设用地的扩张对生态环境所造成的压力,因此,保持建设用地面积不变或略微的增加有利于提高该区域的生态效益。在以经济效益和生态效益并重为优化目标的 III 区、IV 区,交通运输用地、居民点及工矿用地面积都相应的增加,这主要是由于经济的快速发展,扩大了对交通运输用地、居民点及工矿用地等建设用地的需求量,从而提高该区域的经济效益,实现经济水平的上升,推动区域的经济与生态共同发展。

(6) 未利用地均进行了优化配置。相比较 2018 年环首都区域的土地现状,4 个区域未利用地面积分别降低了 1.16%、8.59%、6.79% 和 1.93%。未利用地作为区域发展的储备资源,会随着社会的发展出现减少的现象。集约利用和优化配置未利用地有利于该区域土地资源的可持续发展,并且提高生态、经济效益,推动社会的快速发展。

### 3 讨论与结论

该研究以环首都区域 13 个县(市、区)为研究区域,梳理国内外关于土地利用结构优化研究相关文献,基于生态文明视角,从生态负荷、生态保护、生态功能和生态经济 4 个方面对 2018 年环首都区域 13 个县(市、区)进行土地生态承载力评价,分析各区域所存在的经济和生态问题,从而确定该区域未来的发展方向。在此基础上按照不同区域发展方向设定适合的土地利用结构优化目标,从而得到相应的优化方案,该方案有利于推进生态文明建设,促进环首都区域的经济与生态协调发展。具体结果如下:

(1) 通过对 2018 年环首都区域 13 县(市、区)的土地生

态承载力评价分析可得出这13个县(市、区)的土地生态承载力综合指数之所以较低,主要是因为化肥的过度施用和污水的过度排放,导致土壤遭受严重污染,农产品质量下降,最终危及人类自身。林地面积比重、人均绿地面积和造林面积的不足也是造成土地生态承载力较低的主要原因,因为绿化率不足容易造成区域的防风固沙功能减弱,从而产生风沙天气,影响生态环境以及人类的正常生活。除此之外,区域社会经济的发展情况也是影响土地生态承载力的主要原因之一。

(2)在优化过程中,要根据区域的实际情况选择适合该区域的优化目标,即对经济欠发达的地区不能一味地以提高生态效益为唯一发展目标,而应该在保障当地居民生活水平的基础上再进行生态环境的改善。然而发展经济的同时也不能一味地以破坏生态环境为代价,要做到社会经济与生态保护协调发展,实现人地协同的良好局面。

(3)由优化方案可知,适当增加林地的面积,不仅能够充分发挥涵养水源、碳氧调节等生态系统的功能,还有利于该区域生态景观丰富度的提高,从而大力发展该区域的旅游业,促进经济的快速发展与繁荣。对于耕地,根据我国现有的耕地保护政策以及目前我国存在的粮食安全问题,应该保障耕地面积不低于现状面积。但是随着当地经济和社会的发展,城市建设用地不断增加,造成了建设用地占用耕地等一系列问题。这就要求应当遵守“占补平衡”政策,合理控制建设用地的无序扩张,在满足社会发展对交通运输用地、居民点及工矿用地的需求的同时提升耕地质量,积极进行土地整理、复垦等工作。对于未利用地,要合理地进行集约利用,使之发挥出最大的潜力,从而提升生态系统服务价值。

#### 参考文献

- [1] 申曙光.生态文明构想[J].科学与科学技术管理,1994,15(7):5-8.
- [2] 邵光学.系统把握中国生态文明建设的贡献[J].系统科学学报,2019,27(4):70-76.
- [3] 陈玲玲.环首都经济圈:环境保护问题分析与对策选择[J].山西师大学报(社会科学版),2013,40(S1):28-31.
- [4] 谷树忠,胡咏君,周洪.生态文明建设的科学内涵与基本路径[J].资源科学,2013,35(1):2-13.
- [5] 罗改改.基于生态视角的广州市白云区土地利用结构优化研究[D].广州:华南理工大学,2016.
- [6] LIU Y F, MING D P, YANG J Y. Optimization of land use structure based on ecological GREEN equivalent [J]. Geo-spatial information science, 2002, 5(4): 60-67.
- [7] 李雪明,张永福,顾峰.基于生态绿当量的城市土地利用结构优化:以阿克苏市为例[J].黑龙江大学学报,2019,40(4):57-63.
- [8] 李桃桃,耿红,赵筱青.基于生态足迹的孟连县土地利用结构优化研究[J].测绘与空间地理信息,2018,41(3):205-209.
- [9] 刘美.基于生态足迹法的武汉城市圈土地利用结构优化配置研究[D].武汉:华中农业大学,2014.
- [10] CHIBILEV A A, PETRISHCHEV V P, LEVYKIN S V et al. The soil-ecological index as an integral indicator for the optimization of the land-use structure [J]. Geography and natural resources, 2016, 37(4): 348-354.
- [11] 杨晓东,邵妮,程文仕.以低碳为目标的华池县土地利用结构优化[J].中国集体经济,2021(9):21-23.
- [12] HAN D, QIAO R L, MA X M. Optimization of land-use structure based on the trade-off between carbon emission targets and economic development in Shenzhen, China [J]. Sustainability, 2018, 11(1): 1-17.
- [13] 杜志鹏,焦云腾,薛会蓉.基于生态安全的华池县土地利用结构优化[J].中国集体经济,2019(14):19-21.
- [14] 雷艳旭.基于多目标规划的开封市土地利用结构优化研究[D].开封:河南大学,2012.
- [15] 韩帅,甄江红.基于灰色多目标线性规划的土地利用结构优化研究:以呼和浩特市区为例[J].湖南工业职业技术学院学报,2019,19(5):33-37.
- [16] 郝艳敏.基于主体功能区的环首都绿色经济圈生态补偿机制研究[D].北京:北京理工大学,2015.
- [17] 于贵思.人地协调视角下山东省水土资源综合承载力评价研究[D].济南:山东师范大学,2019.
- [18] 魏媛,李静静.喀斯特山区土地资源生态承载力评价与障碍因素诊断:以贵州省为例[J].生态经济,2020,36(10):195-199.
- [19] 谭映宇.海洋资源、生态和环境承载力研究及其在渤海湾的应用[D].青岛:中国海洋大学,2010.
- [20] 武丽志,吴甜甜.教师远程培训效果评估指标体系构建:基于德尔菲法的研究[J].开放教育研究,2014,20(5):91-101.
- [21] 陈艳.基于生态承载力的陇川县土地资源优化配置研究[D].昆明:云南大学,2019.
- [22] WAINGER L A, KING D M, MACK R N et al. Can the concept of ecosystem services be practically applied to improve natural resource management decisions? [J]. Ecological economics, 2009, 69(5): 978-987.
- [23] 谢高地,鲁春霞,冷允法.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] 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(6630): 253-260.
- [25] 高金龙,陈雯.转型期中国城市用地结构动态演变及其机理:基于长三角51个样本城市的实证研究[J].长江流域资源与环境,2017,26(4):540-551.
- [26] 吴健生,黄乔,曹祺文.深圳市基本生态控制线划定对生态系统服务价值的影响[J].生态学报,2018,38(11):3756-3765.
- [27] 熊佰英,师学义.黄土山丘区土地利用变化对生态系统服务价值的影响:以长河流域为例[J].水土保持研究,2018,25(2):335-340,389.
- [28] 钟华.基于生态承载力的土地利用优化研究:以怀来县为例[D].北京:北京林业大学,2014.
- [29] 梁庆恒.基于生态系统服务价值的铁力市土地利用结构优化研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2019.