

# 松嫩平原肇源县土地利用结构低碳优化研究

路 昌<sup>1</sup>, 雷国平<sup>1</sup>, 周 浩<sup>1</sup>, 宋嘉艺<sup>2</sup>, 苏成信<sup>1</sup>

(1. 东北大学 土地管理研究所, 沈阳 110169; 2. 东北大学 工商管理学院, 沈阳 110169)

**摘 要:**土地利用结构调整是实现低碳经济型发展模式的关键途径之一,以松嫩平原区肇源县为研究对象,从经济效益最大化和土地碳排放量最小化两方面出发,基于多目标规划方法,得到了 2020 年肇源县土地利用结构低碳优化方案并进行对比分析。结果显示:低碳优化方案中,农用地、建设用地和未利用土地相对面积比例依次为 65.60%, 7.24% 和 27.16%,与规划方案相比,碳排放量共减少 2.62 万 t,对应经济效益增加量 2.45 亿元,与 2005 年相比,单位 GDP 碳排放强度下降 46%,有效实现了碳减排目标。优化方案中,建设用地是最主要的碳源,其碳排放量占总量的 98% 以上;最主要的碳汇是林地和水域,二者碳吸收量之和为 89% 以上。以上结果表明以经济效益最大化和土地利用碳排放最小化为目标的土地利用结构低碳优化方案可以较好地兼顾经济效益和生态效益,并有效减少城市碳排放量。研究为该地区未来低碳经济发展提供指导意义。

**关键词:**低碳; 土地利用; 结构优化; 松嫩平原; 肇源县

**中图分类号:**F301.24

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2016)05-0310-06

## Study on Optimization of Low Carbon-Based Land Use Structure in Zhaoyuan County of Songnen Plain

LU Chang<sup>1</sup>, LEI Guoping<sup>1</sup>, ZHOU Hao<sup>1</sup>, SONG Jiayi<sup>2</sup>, SU Chengxin<sup>1</sup>

(1. *Institute of Land Management, Northeast University, Shenyang 110169, China*; 2. *School of Business Administration, Northeast University, Shenyang 110169, China*)

**Abstract:** Land use structure adjustment is one of the key ways to realize low carbon economic development model. In this study, we used the multi-objective linear programming method to establish two objective functions, the maximum economic benefits of land use and carbon emissions minimization of land use, to pick out the low carbon optimization scheme of land use structure optimization of Zhaoyuan County in 2020, and performed the comparison analysis. The results are as follows: according to 2020 low carbon optimization scheme, areas of farm land, construction land and unused land account for 65.60%, 7.24%, and 27.16% of the total land area respectively. Compared with the planning scheme, carbon emissions can be reduced by 26 200 t, the economic benefits increase 245 million Yuan. Compared with 2005, the per unit GDP carbon emission intensity decreased by 46%, the carbon reduction target had be realized effectively. In the optimization scheme, construction land is the main source of carbon emissions accounting for more than 98%; the most important carbon sinks are woodland and water, both of which the sum of carbon sequestration account for more than 89%. The results show that establishing the maximize economic benefits of land use and carbon emissions minimization as the objective function, and the low carbon optimization scheme can be very good in both economic and ecological benefits of land use structure of the city, reduce carbon emissions, and provide guidance for the future economic development of this region.

**Keywords:** low carbon; land use; structure optimization; Songnen Plain; Zhaoyuan County

土地利用/覆盖变化作为全球气候变暖的重要原因之一<sup>[1]</sup>,其通过影响碳源/汇格局<sup>[2]</sup>改变生态系统

的碳循环过程,是仅次于化石燃料燃烧的第二大因素。研究土地利用格局变化及其引起的碳平衡效应,

收稿日期:2015-11-06

修回日期:2015-11-17

资助项目:黑国土科研“基于二调成果的黑龙江省耕地及后备资源调查评价与开发利用研究”(201411);黑国土科研“两大平原现代农业综合配套改革试验区土地管理制度创新研究”(201414)

第一作者:路昌(1990—),男,山东临沂人,博士研究生,研究方向为土地利用与规划。E-mail:chang20081990@126.com

通信作者:雷国平(1963—),男,黑龙江青冈人,教授,博士生导师,主要从事土地利用与规划研究。E-mail:guopinglei@126.com

从优化土地利用结构角度来实现“低排放”、“高效率”和“高效益”的低碳经济型土地利用模式<sup>[3]</sup>具有重要意义。土地利用类型变化与碳排放之间相互影响关系已成为土地学科领域研究的重要课题,对土地利用结构如何实现低碳优化的相关研究也逐渐深入。如何通过土地利用结构的优化调整降低碳排放,实现社会经济的可持续发展已成为学者关注的焦点,而在研究尺度上,学者多从国家、省市和县域尺度上进行研究<sup>[4-6]</sup>,在研究区域上,多集中于江苏<sup>[2,7]</sup>、江西<sup>[8]</sup>、河南<sup>[9]</sup>、甘肃<sup>[10]</sup>、湖北<sup>[11]</sup>等中南部发达地区,而围绕东北高纬度地区土地利用结构低碳优化研究较少,在低碳优化的方法上,多为线性规划法<sup>[2,9]</sup>、粒子群算法<sup>[3]</sup>、模糊线性规划法<sup>[10]</sup>、多目标线性规划法<sup>[12]</sup>等方法。

松嫩平原黑土面积占我国国土面积的 0.67%,有机碳储量却占陆地土壤总有机碳储量的 1.53%,松嫩平原是比较大的土壤有机碳库<sup>[13]</sup>。作为我国重要的商品粮基地,自建国以来,由于自然因素和人为因素的影响,该地区土地利用结构变化剧烈,已经出现如湿地减少、湖泊萎缩、土壤退化、沙化和盐碱化等一系列生态环境问题<sup>[14]</sup>,并造成陆地生态系统碳吸收能力的迅速下降,严重制约着区域社会经济的可持续发展。而土地利用结构调整是实现该地区陆地生态系统碳储量增加和碳排放量减少的关键途径之一<sup>[15]</sup>。黑龙江省肇源县位于松嫩平原中部地带,产业结构以农业种植和加工为主,具有较强的地区代表性,研究尝试从经济效益最大化和碳排放量最小化两方面出发,通过构建多目标线性规划模型,研究未来该地区低碳优化的最佳方案,对于下一轮土地利用总体规划的制定,改善生态环境,实现地区土地资源的可持续发展有着重要的指导意义和参考价值。

## 1 研究区概况

松嫩平原位于我国东北部,黑龙江省西南部,属于松辽平原一部分,南部属冲积平原,北部为小兴安岭向松嫩平原过渡地带,是我国重要的商品粮基地之一。位于其西南部的肇源县是我国重要的农业大县,其隶属于黑龙江省大庆市,共辖 8 个镇、8 个乡以及隶属于绥化农垦的部分地区(包括立陡山良种场、新立良种场等农林牧渔场),地理位置为 45°23′—45°59′N,123°47′—125°45′E,位于松花江和嫩江左岸。肇源县属温带大陆性季风气候,土壤肥沃,适宜水稻种植。2010 年,全县人口约为 47.7 万,土地总面积 41.15 万 hm<sup>2</sup>,地区生产总值 88.6 亿元,整体产业结构以第一和第二产业为主,三次产业结构比为

31 : 47 : 22。土地利用结构上以农用地为主,面积为 26.74 万 hm<sup>2</sup>,占土地总面积的 65.18%,其中耕地比重最大,相对面积比例达 63.66%,而由于地势低洼、水流不畅和气候等原因,肇源县形成了面积较广的未利用地和湿地,其中,盐碱地和沼泽地分别占土地总面积的 8.92%和 3.47%。

## 2 数据与方法

### 2.1 数据来源

本文数据主要为相关文本和统计数据,其中土地利用结构数据主要来自于《肇源县土地利用总体规划(2006—2020 年)》(以下简称“总体规划”)和肇源县土地利用变更数据。人口、粮食单产、人均建设用地、化石能源消耗量等社会经济类数据主要来源于《大庆统计年鉴》、《大庆市国民经济和社会发展统计公报》、《肇源县国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》(以下简称“十二五规划”)、《大庆市城市总体规划 2002—2020 年》(以下简称“城市规划”)。

### 2.2 研究方法

在土地利用结构低碳优化研究中,目标函数需综合考虑生态、经济和社会 3 方面影响,一般线性规划模型难以很好地解决多个目标之间的相互冲突,而多目标线性规划模型应用更为成熟并且弥补了一般线性规划模型的不足,具有很强地解决多个目标问题的能力和良好的适用性、灵活性。多目标线性规划模型最突出的优点就是首先对各个目标进行分级然后再逐级进行优化,符合解决问题最基本的思路,具有很好的逻辑性和合理性。因此,针对肇源县的土地利用结构的特点,本文采用模型法中的多目标线性规划模型对土地利用系统进行低碳优化建模<sup>[16]</sup>。

模型的基本表达式为:

$$f(x) = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

$$\text{约束条件为: } \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = (\geq, \leq) b_i \\ i = 1, 2, \dots, m$$

(1)

式中: $f(x)$ 为目标函数; $x_j$ 为各种类型土地面积; $c_j$ 为系数; $a_{ij}$ 为约束系数; $b_i$ 为约束常数; $m$ 为阶数,表示约束条件个数; $n$ 为维数,表示决策变量个数。

## 3 土地利用结构低碳优化模型建立

### 3.1 模型变量的确定

根据研究区土地利用方式及本研究需要,以 2005 年为基期年,2020 年为规划目标年,共设 7 个变量:耕地、园地、林地、草地、建设用地、水域、其他土地,根据“总体规划”得到土地利用结构变化情况(表 1)。

表 1 2006—2020 年肇源县土地利用总体规划方案

变量	地类	2005 年		2010 年		2020 年		规划期间面积 变化/hm <sup>2</sup>
		面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	
X <sub>1</sub>	耕地	121809	29.60	129232	31.41	129518	31.47	7709
X <sub>2</sub>	园地	1600	0.39	1646	0.40	1906	0.46	306
X <sub>3</sub>	林地	23475	5.70	28393	6.90	32259	7.84	8784
X <sub>4</sub>	牧草地	99326	24.14	98816	24.01	95245	23.15	−4081
X <sub>5</sub>	建设用地	28714	6.98	29055	7.06	29964	7.28	1250
X <sub>6</sub>	水域	78070	18.97	50047	12.16	50047	12.16	−28023
X <sub>7</sub>	其他土地	58505	14.22	74310	18.06	72560	17.64	14055
	土地总面积	411499	100	411499	100	411499	100	0

3.2 目标函数的确定

土地利用结构低碳优化的目标,应是兼顾经济效益、生态效益和社会效益的综合性目标。因此,选择经济效益最大化和碳排放量最小化作为目标函数,碳排放效益目标反映的是生态效益,而社会效益通过构建约束条件进行体现。

(1) 经济效益目标。经济效益目标是通过调整土地利用结构达到经济效益最大化,据此设计目标函数。依据地区实际情形,应用专家打分法和综合平衡法,确定肇源县各类用地对 GDP 的贡献率,即相对权益系数,其中其他土地的用地效益很低,视为 0 参与评判<sup>[17-18]</sup>。根据 2005 年和 2010 年该地区主要粮食作物(玉米、水稻和大豆)的单产和价格,确定耕地总效益,进而计算得出对应年份的耕地效益,分别为 7 532,10 047 元/hm<sup>2</sup>,选取 GM(1,1)模型进行预测,得到 2020 年肇源县耕地的产出效益为 17 258 元/hm<sup>2</sup>, $K \times 0.1207 = 17258$ ,确定常数 K 为 142 983 元/hm<sup>2</sup>,将其与各地类的相对权益系数相乘得到相应的单位面积产出效益,且将其他土地的权益系数设为 1(表 2),最终求得目标函数如下:

$$\max f_1(x) = 17258x_1 + 7320x_2 + 9108x_3 + 1616x_4 + 104177x_5 + 3503x_6 + x_7 \quad (2)$$

表 2 肇源县各土地利用类型的权益系数和经济效益系数

变量	地类	权益 系数	经济效益系数/(元·hm <sup>-2</sup> )		
			2005 年	2010 年	2020 年
X <sub>1</sub>	耕地	0.1207	7532	10047	17258
X <sub>2</sub>	园地	0.0512	3195	4262	7320
X <sub>3</sub>	林地	0.0637	3975	5302	9108
X <sub>4</sub>	草地	0.0113	705	941	1616
X <sub>5</sub>	建设用地	0.7286	45467	60649	104177
X <sub>6</sub>	水域	0.0245	1528	2038	3503
X <sub>7</sub>	其他土地	0.0000	1	1	1

(2) 碳排放效益目标。碳排放效益目标是通过调整土地利用结构达到碳排放量最小化,据此设计目标函数。由于耕地、园地、林地、草地、水域和其他土地的本身特性,在一定时期内,碳排放率和吸收率变

化较小,为便于研究,设定研究期间内其数值为定值。依据相关学者研究成果和本文前期工作基础<sup>[19-21]</sup>,确定各土地利用类型碳排放率和吸收率[耕地碳排放率为 0.497 t/(hm<sup>2</sup>·a),园地碳吸收率为 0.581 t/(hm<sup>2</sup>·a),林地碳吸收率为 0.581 t/(hm<sup>2</sup>·a),草地碳吸收率为 0.021 t/(hm<sup>2</sup>·a),水域碳吸收率为 0.248 t/(hm<sup>2</sup>·a),其他土地的碳吸收率为 0.005 t/(hm<sup>2</sup>·a)]。建设用地碳排放量的计算采取间接估算法,通过其利用过程中各种化石能源消耗的碳排放系数进行间接估算而得到,其中标准煤转换系数来自于《中国能源统计年鉴》,碳排放系数来自于 IPCC《国家温室气体排放清单指南》(2006 年)(表 3)。研究区在土地利用过程中消耗的化石能源量是动态变化的,建设用地碳排放强度也势必会发生变化,因此,需要对肇源县 2020 年建设用地的碳排放强度进行预测。依据 2001—2010 年肇源县化石能源消耗量计算出建设用地碳排放量,用建设用地碳排放量除以建设用地面积得到建设用地碳排放强度(表 4)。根据 2001—2010 年的变化情况,采用最小二乘法进行预测,最终得到 2020 年建设用地碳排放强度预测值,为 154.44 t/hm<sup>2</sup>。根据上述计算,最终得出 2005 年、2010 年和 2020 年研究区各土地利用类型碳排放强度系数(表 5),求得碳排放量最小化目标函数如下:

$$\min f_2(x) = 0.497x_1 - 0.581x_2 - 0.581x_3 - 0.021x_4 + 154.44x_5 - 0.248x_6 - 0.005x_7 \quad (3)$$

表 3 各种能源的标准煤转换系数和碳排放系数

能源类型	标准煤转换系数	碳排放系数
原煤	0.7143 kg/kg	0.7559
焦炭	0.9714 kg/kg	0.8550
汽油	1.4714 kg/kg	0.5538
原油	1.4286 kg/kg	0.5857
煤油	1.4714 kg/kg	0.5714
柴油	1.4571 kg/kg	0.5921
燃料油	1.4286 kg/kg	0.6185
天然气	1.33 kg/m <sup>3</sup>	0.4483

表 4 2001—2010 年肇源县建设用地碳排放强度变化情况

年份	建设用地 面积/hm <sup>2</sup>	建设用地碳 排放量/t	建设用地碳排放 强度/(t·hm <sup>-2</sup> )
2001	27795	2972835	106.96
2002	28335	3040692	107.31
2003	28260	3138549	111.06
2004	28510	3206406	112.47
2005	28714	3284776	114.40
2006	28783	3353145	116.50
2007	28850	3471514	120.33
2008	28830	3514751	121.91
2009	28987	3567988	123.09
2010	29055	3601225	123.95

表 5 肇源县各土地利用类型碳排放强度系数

变量	地类	碳排放强度系数 t/hm <sup>2</sup>		
		2005 年	2010 年	2020 年
X <sub>1</sub>	耕地	0.497	0.497	0.497
X <sub>2</sub>	园地	-0.581	-0.581	-0.581
X <sub>3</sub>	林地	-0.581	-0.581	-0.581
X <sub>4</sub>	草地	-0.021	-0.021	-0.021
X <sub>5</sub>	建设用地	114.400	123.950	145.910
X <sub>6</sub>	水域	-0.248	-0.248	-0.248
X <sub>7</sub>	其他土地	-0.005	-0.005	-0.005

3.3 约束条件的确定

研究根据肇源县社会经济未来的发展趋势、土地利用实际情况,综合考虑多目标线性规划模型的相关要求,共设 9 个约束条件,结合“总体规划”确定约束目标年为 2020 年。约束系数  $a_{ij}$  和约束常数  $b_i$  采用趋势预测和灰色预测 GM(1,1) 等多种方法进行预测,预测途中综合考虑“总体规划”、“十二五规划”和“城市规划”。

(1) 土地总面积约束。各地类面积之和应等于土地总面积,地类面积应为正数。即:

$$\sum_{i=1}^7 x_i = 411499 \text{ hm}^2 \quad x_i \geq 0 \quad (4)$$

(2) 人口总量约束。人口是影响土地利用结构的主要因素,人口数量的变化决定了未来各类用地需求量。农用地和城镇用地承载的人口应控制在 2020 年预测人口之内,根据“城市规划”,肇源县 2020 年城镇化水平预测值为 25%;总人口预测值为 52 万人,其中城镇人口 13 万人,农村人口 39 万人;农用地的平均人口密度预测值为 0.15 人/hm<sup>2</sup>,建设用地平均人口密度预测值为 12.5 人/hm<sup>2</sup>。即:

$$0.15(x_1 + x_2 + x_3 + x_4) + 12.5x_5 \leq 520000 \quad (5)$$

(3) 耕地面积约束。根据“总体规划”的约束性指标,到 2020 年耕地保有量不得低于 129 518 hm<sup>2</sup>,肇源县作为全国商品粮基地县之一,农业种植业是支

柱产业,土地开发整理补充耕地,耕地将呈现增加趋势。根据 2005—2010 年耕地变化趋势得到 2020 年预测值为 144 108 hm<sup>2</sup>,将其设为上限,规划目标值设为下限,建立耕地保护约束方程。即:

$$129518 \text{ hm}^2 \leq x_1 \leq 144108 \text{ hm}^2 \quad (6)$$

(4) 园地面积约束。根据“十二五规划”,肇源县未来将逐渐扩大园地面积,推广种植一定规模的耐盐碱瘠薄的果树品种,园地将呈现增长趋势。因此将“总体规划”中 2020 年园地面积规划目标值 1 906 hm<sup>2</sup> 设为上限,2010 年现状面积 1 646 hm<sup>2</sup> 设为下限,即:

$$1646 \text{ hm}^2 \leq x_2 \leq 1906 \text{ hm}^2 \quad (7)$$

(5) 林地面积约束。根据“十二五规划”,肇源县森林覆盖率将由 2010 年的 6.9% 提高到 2015 年的 10%,规划期内将加大生态廊道防护林建设力度,研究区林地面积会持续增长。通过趋势预测得出林地面积 2020 年为 53 495 hm<sup>2</sup>,高于“总体规划”中 2020 年规划目标值 32 259 hm<sup>2</sup>。因此将林地 2020 年预测值设为上限,规划目标值设为下限,即:

$$32259 \text{ hm}^2 \leq x_3 \leq 53495 \text{ hm}^2 \quad (8)$$

(6) 草地面积约束。肇源县地处干旱区地带,水土流失土壤荒漠化严重,根据 2005—2010 年草地变化趋势,预测草地面积在规划期内将呈现持续下降趋势,2010 年草地面积 98 816 hm<sup>2</sup> 设为上限,2020 年草地规划目标值 95 245 hm<sup>2</sup> 设为下限,即:

$$95245 \text{ hm}^2 \leq x_4 \leq 98816 \text{ hm}^2 \quad (9)$$

(7) 建设用地约束。根据“城市规划”,2020 年建设用地总面积增长 5% 以内,随着肇源县城市化进程的加快,总人口及城镇人口不断增加,建设用地面积将不断增加,2020 年建设用地预测值为 30 508 hm<sup>2</sup>,设为上限。“总体规划”中 2010 年建设用地现状值 29 055 hm<sup>2</sup> 设为下限,即:

$$29055 \text{ hm}^2 \leq x_5 \leq 30508 \text{ hm}^2 \quad (10)$$

(8) 水域面积约束。根据 2001—2010 年水域的变化情况,预测 2010—2020 年,水域面积将持续减少,减少幅度为 5%~10%,即:

$$45042 \text{ hm}^2 \leq x_6 \leq 47545 \text{ hm}^2 \quad (11)$$

(9) 其他土地约束。在肇源县的其他土地中,大部分为盐碱地、荒草地、沙地等。随着社会的不断发展,土地利用率先不断提高,城市的建设会占用一部分的未利用土地,其他土地面积会逐渐减少。根据 2001—2010 年其他土地的变化情况,通过线性回归预测,到 2020 年肇源县其他土地面积约为 66 719 hm<sup>2</sup>,设为下限,2010 年现状值 74 310 hm<sup>2</sup> 设为上限,即:

$$66719 \text{ hm}^2 \leq x_7 \leq 74310 \text{ hm}^2 \quad (12)$$

4 结果与分析

4.1 优化结果与分析

在多目标线性规划问题求解方法中,理想点法能

够把多目标问题转化为多个单目标问题然后用相对简单的决策方法进行求解<sup>[22]</sup>,本研究采用理想点法,借助 LINGO 11.0 软件进行肇源县未来土地利用结构低碳优化,优化结果见表 6。

表 6 肇源县土地利用总体规划方案与优化方案的地类结构对比

变量	地类	2020 年规划	比重/%	2020 年优化	比重/%	优化方案与规划方案相比	
		方案/hm <sup>2</sup>		方案/hm <sup>2</sup>		面积变化/hm <sup>2</sup>	比重变化/%
X <sub>1</sub>	耕地	129518	31.47	134799	32.76	5281	1.29
X <sub>2</sub>	园地	1906	0.46	1646	0.40	−260	−0.06
X <sub>3</sub>	林地	32259	7.84	38267	9.30	6008	1.46
X <sub>4</sub>	草地	95245	23.15	95245	23.15	0	0.00
X <sub>5</sub>	建设用地	29964	7.28	29781	7.24	−183	−0.04
X <sub>6</sub>	水域	50047	12.16	45042	10.94	−5005	−1.22
X <sub>7</sub>	其他土地	72560	17.64	66719	16.21	−5841	−1.43
	合计	411499	100.00	411499	100.00	0	0.00

与“总体规划”中制定的 2020 年规划方案相比,2020 年低碳优化方案差异较为明显,具体为耕地和林地面积将会高于规划方案中的对应地类面积,其中耕地面积将达到 134 799 hm<sup>2</sup>,相对于规划方案增加 5 281 hm<sup>2</sup>,而林地面积将会变为 38 267 hm<sup>2</sup>,增加幅度达到最大的 6 008 hm<sup>2</sup>,相对面积变化比例为 1.46%;在低碳优化方案中,未来园地、建设用地、水域和其他土地面积将会小于规划方案,尤以其他土地最为明显,低碳优化方案中,其面积将会由 2020 年的规划方案的 72 560 hm<sup>2</sup> 下降至 66 719 hm<sup>2</sup>,变化幅度为 5 841 hm<sup>2</sup>,其次为水域用地,在规划方案中,其用地面积为 50 047 hm<sup>2</sup>,而在低碳优化方案其面积将会为 45 042 hm<sup>2</sup>,园地和建设用地由于基期面积小,与规划方案面积相比,二者在低碳优化方案中下降幅度较小,分别为 260, 183 hm<sup>2</sup>;规划方案中的草地面积和低碳优化方案中的面积相等,均为 95 245 hm<sup>2</sup>。

4.2 优化方案分析

结合表 4 和表 5 确定的各年份经济效益和碳排放相关系数,计算得到肇源县土地利用总体规划方案和低碳优化方案各地类的经济效益和碳排放结果(表 7—8)。

表 7 肇源县土地利用总体规划方案与优化方案的经济效益对比

地类	经济效益			
	2005 年	2010 年	2020 年	优化方案
耕地	91746.54	129839.39	223522.16	232636.11
园地	511.20	701.53	1395.19	1204.87
林地	9331.31	15053.97	29381.50	34853.58
草地	7002.48	9298.59	15391.59	15391.59
建设用地	130553.94	176215.67	312155.96	310249.52
水域	11929.10	10199.58	17531.46	15778.21
其他土地	5.85	7.43	7.26	6.67
合计	251080.42	341316.15	599385.13	610120.57

表 8 肇源县土地利用总体规划方案与优化方案的碳排放量对比

地类	碳排放量			优化方案
	2005 年	2010 年	2020 年	
耕地	6.05	6.42	6.44	6.70
园地	−0.09	−0.10	−0.11	−0.10
林地	−1.36	−1.65	−1.87	−2.22
草地	−0.21	−0.21	−0.20	−0.20
建设用地	328.49	360.14	437.20	434.53
水域	−1.94	−1.24	−1.24	−1.12
其他土地	−0.03	−0.04	−0.04	−0.03
合计	330.91	363.33	440.18	437.56

在经济效益结构方面,规划方案与优化方案结构基本一致,具体表现为:建设用地是效益贡献率最大的地类,占比均超过 50%;其次是耕地,为 35%以上,建设用地和耕地之和占比超过 88%;其余地类占比较小。经济效益总量方面,2020 年优化方案的经济效益 61.01 亿元,相比于规划方案的 59.94 亿元,增加幅度 2.45 亿元,但比现状中的 34.13 亿元增加 26.88 亿元,经济效益增加的主要来源途径为耕地面积的增加,表明在保障经济效益方面,优化方案不仅优于规划方案,而且优于现状方案,优化方案可以很好的实现经济效益目标。

在碳排放结构方面,规划方案与优化方案结构基本一致,具体表现为,碳排放量远远高于碳吸收量,其中建设用地是最主要的碳源,占比均高于 98%;林地和水域是最主要的碳汇,两者之和占碳吸收总量均高于 89%,林地占碳吸收总量的比例逐年提高,而水域则逐年下降。碳排放总量方面,优化方案碳排放量为 437.56 万 t,比规划方案的 440.18 万 t 减少 2.62 万 t,表明在低碳排放方面,优化方案优于规划方案,优化方案可以更好地实现低碳效益目标。优化方案和规划方案碳排放量均远高于现状方案,原因在于研究期间内肇源县建设用地面积的增加,以及地均建设用

地碳排放强度的大幅增长。

单位 GDP 碳排放强度方面,在《国家应对气候变化规划(2014—2020 年)》中,我国承诺到 2020 年,中国单位 GDP 二氧化碳排放量比 2005 年下降 40%~45%。肇源县 2005 年单位 GDP 碳排放强度为 13.18 t/万元,而 2020 年规划方案为 7.34 t/万元,2020 年优化方案为 7.17 t/万元,与 2005 年相比分别下降了 44%和 46%,两方案均可以实现碳减排目标,但优化方案下降幅度更大,碳减排能力更强(图 1)。

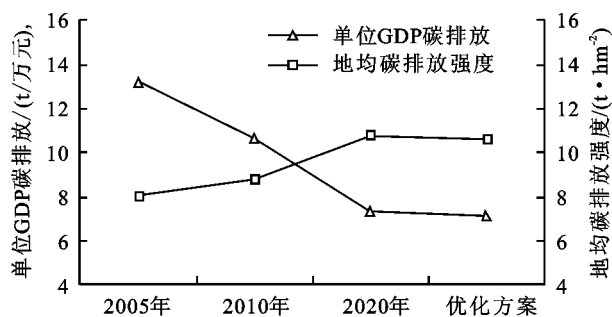


图 1 肇源县土地利用总体规划方案与优化方案的碳排放强度对比

综上所述,优化方案比“总体规划”方案更能有效地实现耕地保护、生态环境保护和控制建设用地等各项土地可持续利用目标。

## 5 结论

(1) 2020 年土地利用结构低碳优化方案中,农用地、建设用地和未利用土地面积分别为 269 957,29 781,111 761  $\text{hm}^2$ ,相对面积比例 65.60%,7.24%,27.16%。与 2020 年肇源县土地利用结构规划方案相比,优化方案中增加最多的是林地,增加的面积占土地总面积的 1.46%;其次是耕地,增加了 1.29%;减少最多的是其他土地,减少 1.43%。

(2) 低碳优化方案与 2020 年规划方案相比,低碳优化方案碳排放量可减少 2.62 万 t,经济效益可增加 2.45 亿元,单位 GDP 碳排放强度比 2005 年下降 46%,有效地实现碳减排目标。表明研究构建出的多目标线性规划模型所得到的优化方案既能取得良好的经济效益目标,也能实现低碳效益目标。

(3) 对规划方案和优化方案碳排放量构成的综合分析,肇源县最主要的碳源是建设用地,碳排放量占比均高于 98%;最主要的碳汇是林地和水域,两者之和的碳吸收量占比均高于 89%。在未来的城市发展中,应严格控制建设用地增长速度,转变城市未来发展方向,充分发掘城市内部发展潜力,由现阶段无序盲目扩张转向高效有序发展,减少新增建设用地。在保护湿地的前提下,提高森林覆盖率,改善生态环

境,建立立体复合生态系统。

研究结果表明,以经济效益最大化和土地利用碳排放最小化作为目标函数,建立多目标线性规划模型,得到的土地利用结构低碳优化方案可以很好地兼顾经济效益和生态效益,对今后肇源县的土地利用及规划具有一定的指导意义和参考价值。但由于研究只是在县域尺度上对土地利用结构进行低碳优化分析,缺乏更大范围和更深层次的优化模型设计研究,因此,综合考虑多个尺度,对区域低碳优化进行全面的分析,将是下一步研究的方向和重点。

## 参考文献:

- [1] 余德贵,吴群.基于碳排放约束的土地利用结构优化模型研究及其应用[J].长江流域资源与环境,2011,20(8):911-917.
- [2] 赵荣钦,黄贤金,钟太洋,等.区域土地利用结构的碳效应评估及低碳优化[J].农业工程学报,2013,29(17):220-229.
- [3] 黄海.基于改进粒子群算法的低碳型土地利用结构优化:以重庆市为例[J].土壤通报,2014,45(2):303-306.
- [4] 葛全胜,戴君虎,何凡能,等.过去 300 年中国土地利用、土地覆被变化与碳循环研究[J].中国科学:D 辑,2008,38(2):197-210.
- [5] 张秀梅,李升峰,黄贤金,等.江苏省 1996 年至 2007 年碳排放效应及时空格局分析[J].资源科学,2010,32(4):768-775.
- [6] 肖红艳,袁兴中,李波,等.土地利用变化碳排放效应研究:以重庆市为例[J].重庆师范大学学报:自然科学版,2012,29(1):38-42.
- [7] 赵荣钦,黄贤金,钟太洋,等.南京市不同土地利用方式的碳储量与碳通量[J].水土保持学报,2012,26(6):164-170.
- [8] 张婷,蔡海生,钟根佐.南昌市土地利用碳排放效应及其低碳优化对策[J].江西农业大学学报:社会科学版,2013,12(2):170-177.
- [9] 毋晓蕾,王婧,汪应宏,等.淅川县土地利用结构低碳优化研究[J].地域研究与开发,2013,32(2):160-165.
- [10] 刘海猛,石培基,王录仓,等.低碳目标导向的兰州市土地利用结构优化研究[J].中国土地科学,2012,26(6):55-61.
- [11] 张俊峰,张安录,董捷.武汉城市圈土地利用碳排放效应分析及因素分解研究[J].长江流域资源与环境,2014,23(5):595-602.
- [12] 严金明.简论土地利用结构优化与模型设计[J].中国土地科学,2002,16(4):20-25.
- [13] 王金达,刘景双,刘淑霞,等.松嫩平原黑土土壤有机碳库的估算及其影响因素[J].农业环境科学学报,2004,23(4):687-690.

和田块规整度指标,使得空间聚类的基本农田划定结果更为科学。从团风县基本农田划定实证分析以及相关景观指数的计算结果看,本文提出的方法相较于多因素加权求和模型的方法更为优秀,划定的基本农田集中连片和形状规则程度都比较高,以此为基础编制的基本农田保护规划和确定的基本农田布局更具有现实意义。

(2) 本文所采取的  $K$  均值空间聚类法首先要确定分类数,分类数的不同直接影响空间聚类的结果,也就影响基本农田划定的结果。同时使用  $K$  均值聚类法划定基本农田时定义的空间距离的不同也会导致基本农田划定结果的不同。如何更加科学合理地定义分类数和空间距离,以便科学划定基本农田,还需要进一步研究。

(3) 本文在构建耕地质量综合评价指标体系时由于难以量化等原因并没有考虑生态安全,城镇规划等对基本农田分布和生产的影响。耕地周边生态系统稳定性和地质灾害等生态问题对耕地可耕作性具有很大的影响;经济发展,城镇化扩张则容易大量占用耕地,有可能导致基本农田布局和规划频繁调整,影响基本农田规划的严谨性。如何量化考虑生态安全和城镇发展对基本农田划定的影响还需要进一步研究。

参考文献：

[1] 国土资源部,基本农田保护条例[M]. 北京:法律出版社,2003.

[2] 董秀茹,尤明英,王秋兵. 基于土地评价的基本农田划定方法[J]. 农业工程学报,2011,27(4):336-339.

[3] 周尚意,朱阿兴,邱维理,等. 基于 GIS 的农用地连片性分析及其在基本农田保护规划中的应用[J]. 农业工程学报,2008,24(7):72-77.

[4] 钱凤魁. 基于耕地质量及其立地条件评价体系的基本农田划定研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2011.

[5] 孙祥龙,涂建军,黄九松,等. 基于 ArcGIS 空间分析技术和农用地分等成果划定基本农田:以重庆市秀山县为例[J]. 西南大学学报:自然科学版,2014,36(8):130-135.

[6] 钱凤魁,王秋兵. 基于农用地分等和 LESA 方法的基本农田划定[J]. 水土保持研究,2011,18(2):251-255.

[7] 孔祥斌,靳京,刘怡,等. 基于农用地利用等别的基本农田保护区划定[J]. 农业工程学报,2008,24(10):46-51.

[8] 聂艳,吴学敏,何颖,等. 基于产能核算和空间聚类的县级基本农田划定研究[J]. 长江流域资源与环境,2014,23(6):809-815.

[9] 郭贝贝,金晓斌,杨绪红,等. 基于农业自然风险综合评价的高标准基本农田建设区划定方法研究[J]. 自然资源学报,2014,29(3):377-386.

[10] 傅伯杰,陈利顶,马克明,等. 景观生态学原理及应用[M]. 北京:科学出版社,2001.

[11] FAO. An international framework for evaluating sustainable land management[R]. Rome:FAO,1993.

[12] 奉婷,张凤荣,李灿,等. 基于耕地质量综合评价的县域基本农田空间布局[J]. 农业工程学报,2014,30(1):200-210.



(上接第 315 页)

[14] 汤洁,毛子龙,王晨野,等. 基于碳平衡的区域土地利用结构优化:以吉林省通榆县为例[J]. 资源科学,2009,31(1):130-135.

[15] 陈溪,王子彦,匡文慧. 土地利用对气候变化影响研究进展与图谱分析[J]. 地理科学进展,2011,30(7):930-937.

[16] 刘荣霞,薛安,韩鹏,等. 土地利用结构优化方法述评[J]. 北京大学学报:自然科学版,2005,41(4):655-662.

[17] 孙丕苓,杨海娟. 商洛市土地利用结构优化的情景分析[J]. 水土保持通报,2012,32(2):200-205.

[18] 李超,张凤荣,宋乃平,等. 土地利用结构优化的若干问

题研究[J]. 地理与地理信息科学,2003,19(2):52-55.

[19] 赖力. 中国土地利用的碳排放效应研究[D]. 南京:南京大学,2010.

[20] 方精云,郭兆迪,朴世龙,等. 1981—2000 年中国陆地植被碳汇的估算[J]. 中国科学:D 辑,2007,37(6):804-812.

[21] 路昌,雷国平,张慧,等. 黑龙江省哈尔滨市不同土地利用类型的碳排放效应分析[J]. 水土保持研究,2014,21(6):245-250.

[22] 吴有平,刘杰,何杰. 多目标规划的 LINGO 求解法[J]. 湖南工业大学学报,2012,26(3):9-12.