

## 基于人群搜索算法的低碳目标约束下土地结构优化

张哲

西北大学 城市与环境学院, 陕西 西安 710127

**摘要:** 为实现低碳约束下土地利用结构优化, 本文结合不同土地利用类型碳排放系数和碳密度, 以碳蓄积量最大化和碳排放量最小化为目标函数, 建立约束条件下的土地利用结构优化数学模型。利用人群搜索算法的快速寻优能力对土地利用结构优化模型进行求解。结果表明: 碳蓄积量比规划方案有较大提高, 碳排放总量减少 0.141 万吨, 与 DE、PSO 和 GA 法相比较, SOA 算法具有更快的收敛速度和最优解。

**关键词:** 人群搜索算法; 土地结构优化; 低碳约束

**中图分类号:** TP391.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-2324(2017)02-0215-04

## The Optimization for Land Structure with the Low Carbon Target Constraint Based on Seeker Optimization Algorithm

ZHANG Zhe

College of Urban and Environmental Science/Northwest University, Xi'an 710127, China

**Abstract:** To realize the optimization for land use structure with a low carbon constraint, this paper combined with different types of land use coefficient of carbon emissions and density to maximize carbon storage and carbon emissions minimization as the objective function to establish the mathematical model of land use structure optimization with constraint to use the fast searching ability of Seeker Optimization Algorithm (SOP) to solve the optimization model of land use structure. The experimental results showed that the carbon storage was much higher than the planning scheme, carbon emissions reduced 1 thousand and 410 tons, compared with DE, PSO and GA method, the SOA algorithm had faster convergence speed and optimal solution.

**Keywords:** Seeker Optimization Algorithm; land structure optimization; low carbon constraint

全球气候变暖趋势日益严重, 低碳发展成为当前世界重点关注的热点问题, 土地结构的合理利用与否直接影响低碳经济的发展和选择。土地结构的不合理利用或者转化, 容易导致土地资源调控的失控, 使得土地资源无法达到预期要求。因此, 研究在低碳目标约束条件下的土地结构优化, 有利于土地资源的合理利用, 同时可以减少温室气体的排放, 实现“低碳”和“效益”的兼顾, 为土地结构利用和规划提供决策依据和参考。

### 1 人群搜索算法

人群搜索算法 (Seeker Optimization Algorithm, SOA) 是模拟人的随机搜索行为而提出的群智能搜索算法, 其通过社会学习和认知学习, 结合人群的自组织聚集行为、利己主义行为和人的预动行为实现最优解的搜索, SOA 算法的流程如下<sup>[1]</sup>:

(1)  $t \rightarrow 0$

(2) 初始化初始解位置;

$$\{\bar{x}_i(t) | \bar{x}_i(t) = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iM})\} \quad (1)$$

(3) 计算每个位置的适应度函数值;

(4) 搜寻策略, 计算每个个体  $i$  在每一维  $j$  的搜索方向  $d_{ij}(t)$  和步长  $\alpha_{ij}(t)$ ;

搜索方向  $d_{ij}(t)$  由人的利己行为、利他行为和预动行为三种行为决定, 任意第  $i$  个搜索个体的利己方向、利他方向以及预动方向分别为  $\vec{d}_{i,ego}$ 、 $\vec{d}_{i,alt}$  和  $\vec{d}_{i,pro}$ , 表达式如下所示:

$$\vec{d}_{i,ego}(t) = \vec{p}_{i,best} - x_i(t) \quad (2)$$

$$\vec{d}_{i,alt}(t) = \vec{g}_{i,best} - \bar{x}_i(t) \quad (3)$$

收稿日期: 2016-08-08

修回日期: 2016-10-13

作者简介: 张哲(1983-),男,硕士研究生,助理实验师.主要研究方向为自然地理学. E-mail:woaiwodezuqiu@163.com

$$\vec{d}_{i,pro}(t) = \vec{x}_i(t_1) - \vec{x}_i(t_2) \tag{4}$$

其中，SOA 算法的搜索方向由三个方向的随机加权几何平均决定，搜索方向如公式（5）所示：

$$\vec{d}_{ij}(t) = \text{sign}(\omega \vec{d}_{ij,pro} + \varphi_1 \vec{d}_{ij,ego} + \varphi_2 \vec{d}_{ij,alt}) \tag{5}$$

式（2）~（5）， $\vec{x}_i(t_1), \vec{x}_i(t_2)$  分别表示  $\vec{x}_i(t-2), \vec{x}_i(t-1), \vec{x}_i(t)$  中的最佳位置； $\vec{g}_{i,best}$  表示第  $i$  个搜索个体的历史最佳位置， $\vec{p}_{i,best}, \vec{g}_{i,best}$  表示第  $i$  个搜索个体当前历史的最佳位置； $\varphi_1, \varphi_2$  表示服从[0 1]均匀分布的常数； $\omega$ 表示惯性权重。

（5）按公式（6）和公式（7）更新搜寻个体位置：

$$\Delta x_{ij}(t+1) = \alpha_{ij}(t) d_{ij}(t) \tag{6}$$

$$x_{ij}(t+1) = x_{ij}(t) + \Delta x_{ij}(t+1) \tag{7}$$

（6） $t \rightarrow t+1$ ；

（7）若满足停止条件，算法终止；反之，转（3）。

$$\alpha_{ij}(t) \geq 0 \quad d_{ij}(t) \in \{-1, 0, 1\} \tag{8}$$

## 2 土地结构优化数学模型

### 2.1 土地结构利用模型

建立生态经济效益目标函数<sup>[2]</sup>： $\max f(x) = \sum_{i=1}^n k_i X_i$  (9)

其中， $f(x)$ 表示生态经济效益（万元）， $k_i$ 表示生态经济效益系数， $x_i$ 表示不同土地类型。

建立碳排放目标函数<sup>[3]</sup>： $\min g(x) = \sum_{i=1}^n T_i f_i$  (10)

其中， $g(x)$ 表示碳排放量（ $t$ ）， $T_i$ 表示第  $i$  种土地利用方式的面积（ $hm^2$ ）， $f_i$ 表示第  $i$  种土地利用方式的碳排放/吸收系数。

### 2.2 碳排放和碳蓄积模型

结合不同土地类别的碳排放系数和碳密度，碳蓄积量  $Z$  最大化目标函数<sup>[4]</sup>： $\max(Z) = \sum_{i=1}^n a_i X_i$  (11)

碳排放量  $Q$  最小化目标函数<sup>[5]</sup>： $\min(Q) = \sum_{i=1}^n b_i X_i$  (12)

式（11）~（12）中， $a_i, b_i$ 分别表示碳密度和碳排放系数， $X_i$ 表示不同土地类型。

### 2.3 碳蓄积量模型

陆地系统碳库主要包括土壤碳库和植被碳库，碳蓄积量估算公式如下<sup>[6,7]</sup>： $T = \sum_{i=1}^n K_i(V_i + S_i)$  (13)

其中， $T$ 表示区域土地生态系统总的碳储量， $K_i$ 表示第  $i$  种土地类型的面积； $V_i$ 表示第  $i$  种土地类型上植被的平均碳密度； $S_i$ 表示第  $i$  种土地类型上土壤的平均碳密度。

## 3 实证分析

### 3.1 数据来源

选择武汉市土地结构数据为研究对象，结合武汉市当前土地利用现状和城市规划方案，决策变量选择如表 1 所示：

表 1 决策变量表

Table 1 Decision variables

地类 Lands	变量 Variable	面积 (hm <sup>2</sup> ) Area	比重 (%) Proportion
耕地	$X_1$	338344.27	39.58
林地	$X_2$	87971.71	10.29
草地	$X_3$	285.23	0.02
建设用地	$X_4$	148273.7	17.34

### 3.2 数学模型

结合不同学者的研究结果，土地结构优化的目标函数建立如下：

$$\max f(x) = 10069.7 X_1 + 14202.2 X_2 + 11500.1 X_3 + 101255.6 X_4$$

$$\min g(x) = 0.422 X_1 - 0.644 X_2 - 0.020 X_3 + 55.800 X_4$$

$$\max(Z) = 42.6 X_1 + 74.90 X_2 + 37.80 X_3 + 39.33 X_4$$

$$\min(Q) = 0.0497 X_1 - 0.0581 X_2 - 0.0021 X_3 + 120.4 X_4$$

约束条件：

$$\begin{cases} X_1 \geq 338000 \\ X_2 \geq 103100 \\ X_3 \geq 280 \\ 148252.2 \leq X_4 \leq 221677.8 \end{cases}$$

### 3.3 结果分析

为实现土地结构优化，设定种群规模  $sizepop = 100$ ，最大迭代次数  $Iteration = 100$ ，最大隶属度值  $U_{max} = 0.9500$ ，最小隶属度值  $U_{min} = 0.0111$ ，权重最大值  $W_{max} = 0.9$ ，权重最小值  $W_{min} = 0.1$ ，优化结果如图 1-图 2 所示。



图 1 优化前结果  
Fig.1 Results before optimization

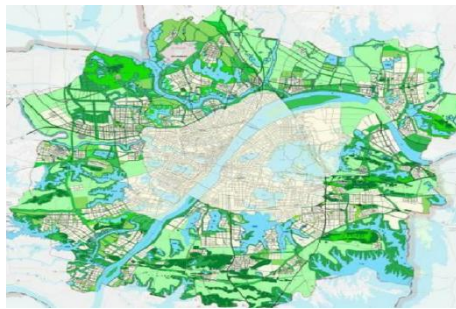


图 2 优化后结果  
Fig.2 Results after optimization

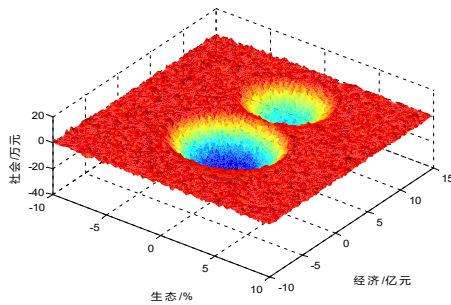


图 3 Pareto 解  
Fig.3 Pareto solution

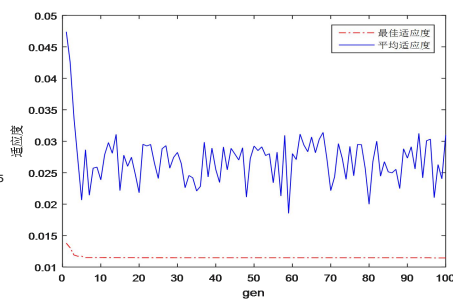


图 4 适应度曲线  
Fig.4 Fitness curve

表 2 优化前后的碳蓄积量对比结果

Table 2 Comparison of carbon accumulation before and after optimization

地类 Lands	碳密度 (t/hm <sup>2</sup> ) Carbon density		碳蓄积量 (10 <sup>4</sup> t) Carbon amount			
	植被 Vegetation	土壤 Soil	总计 Total	2016 年 2016年	规划方案 Programe	优化方案 Optimal proposal
耕地	8.3	34.40	42.70	1441.34	1439.88	1439.93
林地	41.0	33.90	74.90	658.90	772.22	772.29
草地	3.4	34.40	37.80	1.08	1.06	1.06
建设用地	5.0	34.33	39.33	585.16	727.61	726.62

表 3 优化前后的碳排放对比结果

Table 3 Comparison of carbon emissions before and after optimization

地类 Lands	碳排放系数 (kg/m <sup>2</sup> .a) Carbon emission coefficient	碳蓄积量 (10 <sup>4</sup> t)		
		2016 年	规划方案 Programme	优化方案 Optimal proposal
耕地	0.0497	1.6815	1.6799	1.6798
林地	-0.0581	-0.5111	-0.5990	-0.59991
草地	-0.0021	-0.0001	-0.0001	-0.0001
建设用地	120.4	1785.57	2227.4	2224.3

通过表 2 和表 3 优化结果可知, 武汉市 2016 年碳蓄积总量为 2684.48 万吨, 与其 2020 年土地利用规划的碳蓄积总量为 2941.23 万吨, 优化之后的碳蓄积总量为 2939.9 万吨, 虽然比总体规划的碳蓄积总量略少, 但较 2016 年有较大幅度提高, 说明优化的碳蓄积能力有很大提升空间。

根据武汉市 2020 年土地利用规划方案, 其年度综合碳排放总量约为 20.095 万吨, SOA 算法优化之后, 其年度综合碳排放总量减少到 19.954 万吨, 碳排放总量减少 0.141 万吨, 优化效果较好。

为了对比 SOA、DE<sup>[8]</sup>、PSO<sup>[9]</sup>和 GA<sup>[10]</sup>的收敛速度, 运行 4 次的收敛结果如图 5 所示。与 DE、PSO 和 GA 法相比较, SOA 算法具有更快的收敛速度和最优解。

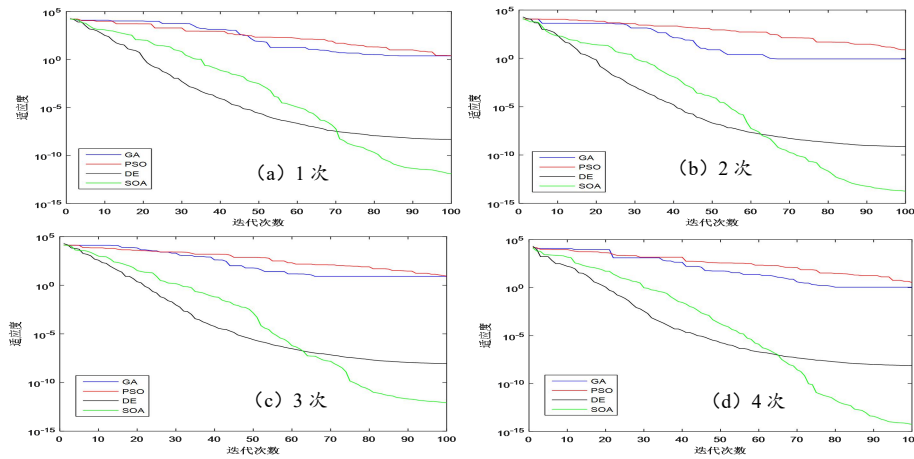


图 5 收敛性对比图

Fig.5 Comparison of convergences

### 4 结论

本文研究了低碳约束条件下的土地利用优化结构模型, 在综合考虑碳蓄积量和碳排放的基础上, 以碳蓄积最大化和碳排放量最小化为目标函数, 建立了带约束的土地利用结构优化数学模型, 运用 SOA 算法实现土地利用结构优化求解。研究表明, 与 DE、PSO 和 GA 法相比较, SOA 算法具有更快的收敛速度和更好的最优解。同时, 实现碳排放和碳蓄积的最优化规划, 为城市土地利用规划提供决策参考。

### 参考文献

[1] Dai C, Chen W, Zhu Y, et al. Seeker Optimization Algorithm for Optimal Reactive Power Dispatch[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2009,24(3):1218-1231

[2] 黄迎春,杨伯钢,张飞舟,等.基于同类城市建设目标的北京市土地利用结构优化[J].农业工程学报,2016,32(4):217-227

[3] 曾永年,王慧敏.以低碳为目标的海东市土地利用结构优化方案[J].资源科学,2015,37(10):2010-2017

[4] 陈宇,单玉红,陈银蓉.碳氧平衡约束下武汉市土地利用结构优化情景模型研究[J].长江流域资源与环境,2015,24(12):2030-2037

[5] 王观湧,张乐,于化龙,等.基于生态安全的土地利用结构优化研究[J].土壤通报,2015,46(6):1321-1327

[6] 陈影,张利,何玲,等.基于多模型结合的土地利用结构多情景优化模拟[J].生态学报,2016,36(17):5391-5400

[7] 许小亮,李鑫,肖长江,等.基于 CLUE-S 模型的不同情景下区域土地利用布局优化[J].生态学报,2016,36(17):5401-5410

[8] 房飞,李滨勇,唐海萍.基于土地利用结构优化的土壤有机碳储量预测分析——以内蒙古多伦县为例[J].干旱区研究,2016,33(1):67-73

[9] 徐磊,董捷,张安录.湖北省土地利用减碳增效系统仿真及结构优化研究[J].长江流域资源与环境,2016,25(10):1528-1536

[10] 任国平,刘黎明,付永虎,等.环境约束下大都市城郊土地利用结构评价——基于信息熵和非期望产出模型分析[J].长江流域资源与环境,2016,25(6):913-924