

基于低碳经济导向的土地利用结构优化研究

——以福建省福州市为例

刘慧灵¹, 伍世代^{1,2}, 韦素琼¹, 林蕙灵¹, 王强¹

(1. 福建师范大学地理科学学院, 福建福州 350007; 2. 福建师范大学旅游学院, 福建福州 350007)

摘要: [目的] 研究基于低碳经济导向的福州市土地利用结构优化方案, 为相关部门进行土地利用规划及其调整提供参考。[方法] 采用灰色多目标线性规划法, 建立目标函数, 获得土地利用结构优化方案。[结果] 通过与土地规划方案对比发现, 中碳排放型的优化方案最佳。在该方案下, 预计到 2020 年福州市土地碳排放量达 1.30×10^7 t, 土地经济效益为 7 701.24 亿元, 土地生态效益为 785.33 亿元。[结论] 低碳经济导向的土地利用结构优化方案有利于该区域经济效益的发挥和生态环境的改善, 实现碳减排目标。

关键词: 低碳经济; 土地利用结构优化; 灰色多目标线性规划; 福建省福州市

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)06-0202-07

中图分类号: F301.23

文献参数: 刘慧灵, 伍世代, 韦素琼, 等. 基于低碳经济导向的土地利用结构优化研究[J]. 水土保持通报, 2017, 37(6):202-208. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.06.034; Liu Huiling, Wu Shidai, Wei Suqiong, et al. Optimization research of low-carbon economy oriented land use structure[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(6):202-208. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.06.034

Optimization Research of Low-carbon Economy Oriented Land Use Structure — A Case Study in Fuzhou City of Fujian Province

LIU Huiling¹, WU Shidai^{1,2}, WEI Suqiong¹, LIN Huiling¹, WANG Qiang¹

(1. College of Geographical Science, Fujian Normal University, Fuzhou, Fujian 350007, China; 2. College of Tourism, Fujian Normal University, Fuzhou, Fujian 350007, China)

Abstract: [Objective] Exploring the optimization of low-carbon economy oriented land use structure to provide support for government land use planning and adjustment. [Methods] The best land use structure program was carried out by adopting gray multi-objective linear programming method to establish an objective function. [Results] In reference with land use planning scheme, we found that the medium carbon emission scheme in Fuzhou City is the best land use structure program. This medium carbon emission scheme was predicted that can decrease carbon emissions as much as 1.30×10^7 t, increase economic benefits as high as 7.70×10^{11} yuan and increase ecological benefits as high as 7.85×10^{10} yuan by 2020. [Conclusion] The low-carbon economy oriented land use structure would be in favour of the regional economic benefits and ecological environment improvement, which can reach the carbon reduction target.

Keywords: low-carbon economy; land use structure optimization; gray multi-objective linear programming; Fuzhou City of Fujian Province

随着全球气候变暖, 发展低投入、低耗能、低排放、高效益的低碳经济作为应对全球气候变化的全新经济发展模式被提出^[1-2]。土地利用作为影响陆地表层的主要人类活动, 其格局、过程的变化对陆地生态

系统碳循环有着不可忽视的作用^[3-4]。低碳经济的发展及其给土地利用带来的影响也越来越受到学者们的关注。目前, 国内外学者在土地利用变化的碳排放机理^[5-7], 土地利用变化对碳排放的影响^[8-9], 低碳导

收稿日期: 2016-05-18

修回日期: 2017-06-30

资助项目: 国家基础科学人才培养基金项目“福建师范大学地理学基地科研训练及科研能力提高项目”(J1210067); 国家自然科学基金项目(41671126)

第一作者: 刘慧灵(1993—), 女(汉族), 福建省三明市人, 硕士研究生, 研究方向为土地利用管理。E-mail: lhl2016@sina.cn。

通讯作者: 伍世代(1962—), 男(汉族), 福建省南平市人, 硕士, 教授, 博士生导师, 主要从事城市与区域空间规划方向研究。E-mail: fj dili209@163.com。

向的土地利用结构优化^[10-12]以及低碳经济与土地集约利用的脱钩关系^[13-14]等方面已开展了较多的研究。多数研究内容集中在土地利用的低碳优化方面^[15-16],在保护生态环境的同时实现土地利用碳减排目标的研究不多。国外的土地利用规划中,如何使经济发展和生态环境保护协调运行已逐渐成为规划的主题^[17]。制定土地利用规划及对土地利用结构优化能在一定程度上提高全球生态系统总体碳储量,有效制约土地利用碳排放^[18-19]。因此,加强低碳经济发展和生态效益导向的土地利用规划之间的研究,探索基于低碳经济的土地利用结构优化,有利于明晰土地利用变化的原因和机制,实现在土地利用过程中减少碳排放量的目标。福州市作为推动海西经济区发展的中心城市和海上丝绸之路的重要门户,在国家和该省发展局势中的战略地位日益凸显,对区域经济增长逐渐起推动作用,但经济快速发展的同时,土地利用有往不合理方向变化趋势,对城市生态环境产生了威胁。为达到福州市“十三五”规划中“提升经济发展效益质量”,“生态文明先行示范区”的目标,以低碳经济为导向,探索福州市土地利用结构优化配置,在实现土地资源可持续利用,土地社会效益最大化,保护生态环境的基础上,提出福州市 2020 年土地利用结构优化方案,以期能为相关部门进行土地利用规划及其调整提供有效支持。

1 研究区域和数据来源

1.1 研究区概况

福州市地处福建省东部的闽江口,东濒台湾海峡,介于东经 110°08′—120°31′,北纬 25°15′—26°29′,居于亚太经济圈中的黄金海岸。福州地属河口盆地,市区常出现热岛效应,最明显的气候特征属亚热带季风气候,温暖湿润。福州市现辖 5 区 2 市 6 县,即:鼓楼、台江、仓山、马尾、晋安五区;福清、长乐两市;闽侯、罗源、连江、平潭、闽清、永泰 6 县。全市市域总面积为 12 251 km²,常住总人口 743 万人,到 2014 年,福州市地区生产总值达到 5 169.16 亿元,人口城镇化率 67%。随着经济社会的快速发展,福州市也面临着城镇地域迅速扩张、土地资源利用粗放浪费、生态环境遭破坏、土地利用结构不合理以及人地关系紧张等问题。

1.2 数据来源

数据来源于福州市 2010—2014 年土地利用变更数据、《福州市土地利用总体规划(2006—2020 年)》《福州市城市总体规划(2011—2020 年)》和《福州统计年鉴 2015》。

2 研究方法

由于灰色多目标线性规划模型能提供较大的信息量,在决策时给予决策者可供选择的方案较多,具有多目标性、多方案、动态性的特点,能弥补一般线性规划的不足,因此本文运用灰色多目标线性规划模型探索区域土地利用结构优化方案,以保证方案的科学性、可行性和现实性。其数学模型为:

$$f_1(x) = E = \sum_{i=1}^n p_i x_i \rightarrow \min \quad (1)$$

式中: $f_1(x)$ ——土地利用碳排放函数; E ——碳排放量(t); x_i ——对应土地利用类型; P_i ——各土地利用类型的碳排放系数[t/(hm²·a)]。

$$f_2(x) = \sum_{i=1}^n d_i x_i + \sum_{i=4}^n q_i x_i \rightarrow \max \quad (2)$$

式中: $f_2(x)$ ——土地利用经济效益函数; x_i ——对应土地利用类型; d_i ——目标年农用地单位面积的经济产出[元/(hm²·a)]; q_i ——目标年建设用地单位面积经济产出[元/(hm²·a)]。

$$f_3(x) = \sum_{i=1}^n b_i x_i \rightarrow \max \quad (3)$$

式中: $f_3(x)$ ——土地利用生态效益函数; x_i ——对应土地利用类型; b_i ——各土地利用类型的生态效益系数[元/(hm²·a)]。

$$s. t. \begin{cases} \sum_{i=1}^n a_{ji} x_i = (\geq, \leq) e_j & (j=1, 2, \dots, m) \\ x_i \geq 0 & (i=1, 2, \dots, n) \end{cases} \quad (4)$$

约束性条件(S. t.)中: a_{ji} ——第 j 个约束条件的 i 变量对应的系数; e_j ——约束条件 j 的常数值; x_i ——对应土地利用类型。

3 土地利用结构优化模型构建

3.1 优化原则

土地利用结构优化的主要目标是将土地资源合理配置到国民经济各用地部门,形成合理的空间组合和布局,实现土地经济效益、社会效益、生态效益、综合效益最大化。

3.2 变量设置

根据福州市土地利用情况、综合考虑土地资源特点、资料数据的可得性以及未来的发展趋势,共设置 9 种土地利用类型作为变量:耕地(x_1)、园地(x_2)、林地(x_3)、其他农用地(x_4)、城镇工矿用地(x_5)、村庄用地(x_6)、交通水利用地(x_7)、其他建设用地(x_8)、其他土地(x_9)。其中其他土地指暂未被人类利用并且对 GDP 贡献极小的地类。以 2014 年为基期年,2020 年为目标年。

3.3 目标函数构建

3.3.1 碳排放函数 土地利用过程中产生的碳排放主要由建设用地、园地、耕地等产生^[20]。参考国内外学者研究的土地利用碳排放系数^[21-30]，根据福州的实际情况得出的各类用地的碳排放系数，耕地、园地、林地、其他农用地、城镇工矿用地、村庄用地、交通水利用地、其他土地的碳排放系数分别为 1.79, 0.96, 0.025, 3.809 5, 217.21, 13.14, 32.65, 0.000 5 t/(hm²·a)。碳排放目标函数为：

$$f_1(x) = 1.79x_1 + 0.96x_2 + 0.025x_3 + 3.8095x_4 + 217.21x_5 + 13.14x_6 + 32.65x_7 + 6.75x_8 + 0.0005x_9 \quad (5)$$

3.3.2 经济效益函数 本文研究的经济效益主要以农用地和建设用地经济产值来计算，参考方斌等^[31]的研究方法，农用地的经济产值由第一产业产值作为参考，建设用地的经济产值由二三产业产值作为参考，以福州市 2010—2014 年农用地和建设用地的单位经济产出为基础数据，运用 GM(1,1) 模型预测出目标年农用地和建设用地的单位经济产出值，计算得出农用地(耕地、园地、林地、其他农用地)的经济效益系数分别为 7 元/(hm²·a)，建设用地(城镇工矿用地、村庄用地、交通水利用地、其他建设用地)的经济效益系数分别为 560.45 元/(hm²·a)，为模型计算所需，其他土地的经济效益系数取 0，不会对结果产生明显的影响。经济效益目标函数为：

$$f_2(x) = 7x_1 + 7x_2 + 7x_3 + 7x_4 + 560.45x_5 + 560.45x_6 + 560.45x_7 + 560.45x_8 \quad (6)$$

3.3.3 生态效益函数 本文以单位面积上各土地利用类型的生态服务价值作为变量系数，建立基于生态系统服务价值的生态效益函数。农用地、建设用地生态效益系数参考胡喜生等^[32]的研究成果，根据福州市土地利用的实际情况，得出福州市不同生态系统单位面积的生态服务价值。耕地、园地、林地、其他土地、建设用地(城镇工矿用地、村庄用地、交通水利用地、其他建设用地)的生态效益系数分别为 4.219 1, 7.653 5, 9.590 6, 0.072 4, -0.655 5 元/(hm²·a)，因计算所需，其他农用地的生态服务价值取 0，建设用地在土地利用过程中会对生态环境产生负面影响，将建设用地的单位面积生态服务价值设为负值。生态效益目标函数为：

$$f_3(x) = 4.2191x_1 + 7.6535x_2 + 9.5906x_3 - 0.6555x_{43} - 0.6555x_{53} - 0.6555x_{63} - 0.6555x_3 - 0.6555x_8 + 0.0724x_9 \quad (7)$$

3.4 约束条件构建

约束条件反映的是目标函数实现的限制因素，需要考虑与土地利用结构关系密切的土地资源条件、宏观计划、市场经济、社会需求等方面^[15]。根据《福州市土地利用总体规划(2006—2020 年)》、《福州市城市总体规划(2011—2020 年)》和《福州统计年鉴 2015》等资料，结合福州市实际情况，对各个变量设置约束条件，遵循的规则主要包括：(1) 人口总量约束；(2) 土地总面积约束；(3) 宏观规划约束；(4) 社会经济约束；(6) 数学模型要求约束^[12]。据此确立 5 个方面的约束条件(表 1)。

表 1 福州市土地利用结构优化约束因素、因子及表达式

约束因素	约束因子表达式
人口总量约束	根据统计年鉴人口数据，运用 GM(1,1) 预测 2020 年人口为 712 万人，预测农用地人口密度和城镇人口密度分别为 2.2, 54.1 人/hm ² ； $2.2 \cdot (x_1 + x_2 + x_3 + x_4) + 54.1 \cdot (x_5 + x_6) \leq 7.12 \times 10^6$
土地总面积约束	$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 = 1.23 \times 10^6$
宏观规划约束	耕地保护约束： $x_1 \geq 1.58 \times 10^5$ ；人均耕地约束： $x_1 / 7.12 \times 10^6 \geq 0.024 4$ ；园地约束： $x_2 \geq 5.47 \times 10^4$ ；林地约束： $x_3 \geq 6.98 \times 10^5$ ；其他农用地约束： $6.64 \times 10^4 \leq x_4 \leq 6.34 \times 10^4$ ；建设用地约束： $x_5 + x_6 + x_7 + x_8 \geq 9.51 \times 10^4$ ， $4.64 \times 10^4 \leq x_5 \leq 7.01 \times 10^4$ ， $x_6 \leq 4.87 \times 10^4$ ， $x_7 \geq 2.47 \times 10^4$ ， $x_8 \leq 7 167.15$ ；其他土地约束： $1.18 \times 10^5 \leq x_9 \leq 1.20 \times 10^5$
社会经济约束	根据历年 GDP 数据，运用 GM(1,1) 预测 2020 年福州市 GDP 为 9.85×10^{11} 元，据《规划》2020 年福州市土地经济密度提高到 38.67 万元/hm ² ； $9.85 \times 10^{11} / (x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9) \geq 38.67$
≤ 数学模型约束	$x_i \geq 0 (i=1, 2, \dots, 9)$

3.5 规划目标模型求解

为使优化方案具有实践性，将 3 个目标函数整理成一个组合函数，即首先求解各目标函数 2020 年解，根据各目标函数方向，分别用目标函数除以求解值，

然后将处理后的目标函数进行组合，运用 LINGO 软件进行求解。考虑到土地碳减排是一个复杂多变的动态过程，为保障方案的可行性，根据实际土地利用情况，参考一些学者的研究^[22-33]，设置碳排放函数系

数 Z_1 , 得到目标函数:

$$f_4(x) = -Z_1 \frac{f_1(x)}{1380.84} + Z_2 \frac{f_2(x)}{5499.85} + Z_3 \frac{f_3(x)}{747.08} \quad (Z_1 + Z_2 + Z_3 = 1) \quad (8)$$

当 Z_1 的取值为 0.7 时, 设为低碳排放型方案, 该方案对碳排放量的制约最大, 优化过程中将增加具有碳汇效果的地类面积, 整体降低碳排放的可能性较大。当 Z_1 的取值为 0.5 时, 设为中碳排放型方案, 该方案对碳排放量的制约适中, 地类面积的变化取决于碳排放目标、经济效益目标、生态效益目标的共同作用。当 Z_1 的取值为 0.3 时, 设为高碳排放型方案, 该方案对碳排放量的制约最小, 相应的经济效益取得较大值, 优化过程中增加具有较高经济效益的地类面积, 整体降低碳排放量的可能性较低。

4 结果与分析

根据上述目标函数和约束条件, 在 LINGO 中对此多目标规划进行优化, 得到 3 个优化方案, 将《福州市土地利用总体规划(2006—2020 年)》中的土地利用结构调整目标与低碳经济导向的优化方案相比较(表 2), 选出最优方案并说明调整的方向。

4.1 高碳排放型的优化方案

高碳排放型的土地利用结构优化结果如表 2 和图 1 所示。高碳排放方案中, 2020 年碳排放量为 1.39×10^7 t, 比规划方案增加 7.99×10^4 t, 碳减排效果不理想; 经济效益为 2 286.11 亿元, 比规划方案增加

7 701.24 亿元, 获得最大经济效益; 生态效益为 773.97 亿元, 比规划方案增加 26.89 亿元。在此方案中, 耕地面积与规划方案一致, 林地面积相对于规划方案增加 3.14×10^4 hm^2 , 有利于森林覆盖率的提高。建设用地面积相对于规划方案增加 0.48×10^4 hm^2 , 适应城市化和工业化的需求。其中城镇工矿用地面积、村庄用地面积比规划方案分别减少 800 hm^2 , 2 100 hm^2 , 有利于缓解城镇建设用地扩张的趋势, 减少非农建设占用耕地量; 交通水利用地面积相较规划方案增 9 000 hm^2 , 满足福州城市化水平不断提高对交通设施的要求。其他土地面积相对于规划方案大幅度减少 3.70×10^4 hm^2 , 土地利用率提高。在 3 个优化方案中, 该方案建设用地规模最大, 达到经济效益最高, 但建设用地的增加必然会加大生态环境自身的压力, 导致该方案生态效益最低, 且碳排放量远超规划方案, 不符合生态环境保护和低碳经济发展的要求。

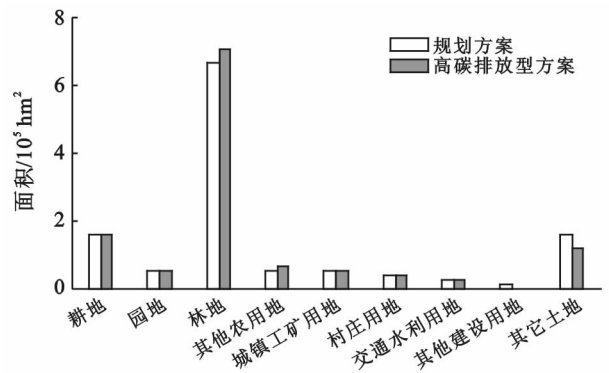


图 1 高碳排放型土地利用结构方案

表 2 福州市不同土地利用方案对比分析

用地类型/ 10 ⁴ hm ²	规划方案		高碳排放型方案		中碳排放型方案		低碳排放型方案	
	2020 年	2020 年	2020 年	增减	2020 年	增减	2020 年	增减
农用地	93.87	98.05	98.05	4.17	98.20	4.33	98.57	4.69
耕地	15.82	15.82	15.82	0.00	15.82	0.00	15.82	0.00
园地	5.66	5.47	5.47	-0.20	5.41	-0.26	5.47	-0.20
林地	66.97	70.12	70.12	3.14	71.36	4.38	71.66	4.69
其他农用地	5.42	6.64	6.64	1.23	5.62	0.20	5.62	0.20
建设用地	12.19	12.67	12.67	0.48	12.51	0.33	12.15	-0.04
城镇工矿用地	5.54	5.46	5.46	-0.08	5.01	-0.53	4.64	-0.90
村庄用地	3.55	3.34	3.34	-0.21	3.92	0.37	3.92	0.37
交通水利用地	2.38	3.28	3.28	0.90	3.28	0.90	3.28	0.90
其他建设用地	0.71	0.58	0.58	-0.13	0.30	-0.41	0.30	-0.41
其他土地	15.49	11.79	11.79	-3.70	11.79	-3.70	11.79	-3.70
碳排放量/10 ⁴ t	1 380.84	1 388.83	1 388.83	7.99	1 298.37	-82.47	1 218.85	-161.99
经济效益/亿元	5 499.85	7 785.96	7 785.96	2 286.11	7 701.24	2 201.39	7 498.02	1 998.17
生态效益/亿元	747.08	773.97	773.97	26.89	785.33	38.25	788.97	41.89

4.2 低碳排放型的优化方案

低碳排放型的土地利用结构优化结果如表 2 和图 2 所示。在低碳排放型方案中,2020 年碳排放量为 1.22×10^7 t,比规划方案减少 1.62×10^6 t,碳减排效果显著;经济效益为 7 498.02 亿元,比规划方案增加 2 201.39 亿元,经济效益较低;生态效益为 788.97 亿元,比规划方案增加 41.89 亿元,达到生态效益最大。在此方案中,林地面积相对于规划方案增加 4.69×10^4 hm^2 ,有效提高了土地的生态效益。建设用地面积相对于规划方案减少 400 hm^2 ,能有效遏制大量化石能源燃烧和工业活动造成的碳排放。其中城镇工矿用地面积、其他建设用地面积比规划方案分别减少 9 000,4 100 hm^2 。在 3 个优化方案中,该方案林地规模最大,建设用地面积最小,但以福州市目前经济发展水平来看,还需增加建设用地面积来推动经济的发展,且该方案侧重考虑碳减排效果和生态效益最大化,增加经济效益较低的林地,导致其他经济效益较大的用地分配相对较少,不符合经济发展的需求。

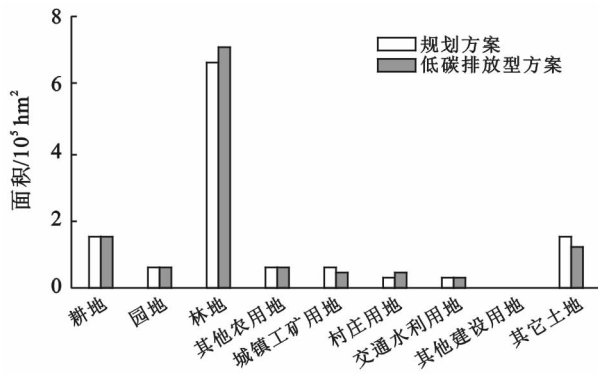


图 2 低碳排放型土地利用结构方案

4.3 中碳排放型的优化方案

中碳排放型的土地利用结构优化结果如表 2 和图 3 所示。在中碳排放型方案中,2020 年碳排放量为 1.30×10^7 t,比规划方案减少 8.25×10^5 t,碳减排效果较明显;经济效益为 7 701.24 亿元,比规划方案增加 1 998.17 亿元,经济效益较高;生态效益为 785.33 亿元,比规划方案增加 38.25 亿元,生态效益较高。在该方案中,林地面积相对于规划方案增加 4.38×10^4 hm^2 ,介于高碳排放方案和低碳排放方案之间。建设用地面积相对于规划方案增加 3 300 hm^2 ,其中村庄用地、交通水利用地面积比规划方案分别增加 3 700,9 000 hm^2 ,随着生产的发展,社会的进步和人民水平的提高,村庄用地和交通水利用地的增加可提高人民的居住生活水平。该方案通过林地

面积的增加来改善生态环境,提高生态效益,同时建设用地的适当扩张符合社会经济的发展要求,土地利用结构趋于合理。该方案具有理想的碳减排效果,接近低碳排放方案的生态效益值,高于低碳排放方案的经济效益,能在保障生态效益的同时,实现最优的土地碳减排和最大的土地经济效益,因此中碳排放型土地利用结构方案为最优方案。

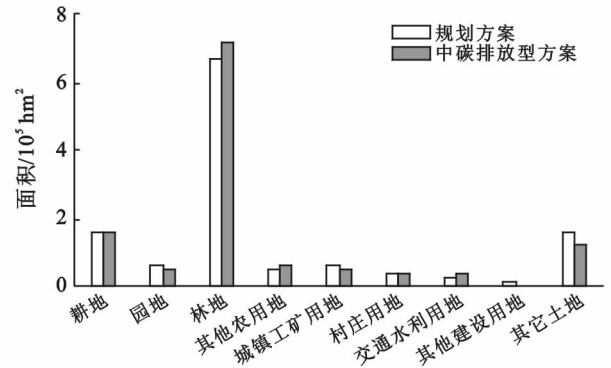


图 3 中碳排放型土地利用结构方案

4.4 土地利用结构优化结果分析

将最优方案与土地利用现状进行对比(表 3),土地利用结构发生如下变化:① 农用地面积比重达 80.16%,增加 4 000 hm^2 ,其中耕地面积、园地面积和其他农用地面积分别减少 9 000,600 hm^2 , 1.03×10^4 hm^2 ,林地面积增加 1.58×10^4 hm^2 。耕地比现状面积精减 0.08%,但严守 1.58×10^5 hm^2 耕地保有量,在一定程度上制约建设非法占用耕地的现象。园地面积为 5.41×10^4 hm^2 ,基本与现状面积保持一致,林地面积最大,增加到 7.14×10^5 hm^2 ,比现状面积提高 1.3%,林地规模的增加为福州市的生态环境保护提供了很好的保证,符合建设国家森林城市的要求。其他农用地的面积为 5.62×10^4 hm^2 ,相较现状面积减少 0.84%。② 建设用地面积比重为 10.22%,减少 1 800 hm^2 ,其中城镇工矿用地面积、交通水利用地面积增加 3 700 hm^2 ,8 200 hm^2 ,村庄用地面积、其他建设用地面积减少 9 500 hm^2 ,4 100 hm^2 。城镇工矿用地面积为 5.01×10^4 hm^2 ,比现状面积的增加 0.3%,交通水利用地扩大到 3.28×10^4 hm^2 ,比现状面积提高 0.67%,满足福州快速城市化进程和社会经济发展的需求。村庄用地面积比现状面积精减 0.78%,提高村庄用地的集约化水平。其他建设用地面积 3 000 hm^2 ,比现状面积减少 0.34%,开发利用程度提高。③ 其他土地面积减少 2 200 hm^2 。其他土地面积为 1.18×10^5 hm^2 ,比现状面积减少 0.18%,在维持生态系统稳定的基础上,以可持续发展理念对其他土地进行适度开发,如利用滩涂海域围填海造地等。

表3 福州市土地利用现状结构与优化结构比较

地类	2014年		2020年		变化值/ 10 ⁴ hm ²	变化幅度/ %
	现状面积/10 ⁴ hm ²	比重/%	优化方案/10 ⁴ hm ²	比重/%		
农用地	97.80	79.83	98.20	80.16	0.40	0.33
耕地	15.91	12.99	15.82	12.91	-0.09	-0.08
园地	5.47	4.46	5.41	4.41	-0.06	-0.05
林地	69.77	56.95	71.36	58.25	1.58	1.30
其他农用地	6.65	5.42	5.62	4.58	-1.03	-0.84
建设用地	12.70	10.36	12.51	10.22	-0.18	-0.14
城镇工矿用地	4.64	3.79	5.01	4.09	0.37	0.30
村庄用地	4.87	3.97	3.92	3.20	-0.95	-0.77
交通水利用地	2.47	2.01	3.28	2.68	0.82	0.67
其他建设用地	0.72	0.59	0.30	0.25	-0.41	-0.34
其他土地	12.02	9.81	11.79	9.63	-0.22	-0.18
土地总面积	122.51	100.00	122.51	100.00	0.00	0.00

5 讨论与结论

(1) 采用灰色多目标线性规划法,建立碳排放、经济效益、生态效益目标函数,获得土地利用结构优化方案。高碳排放型方案碳排放量较高,不符合低碳经济发展的要求,中、低碳排放型方案都有较为理想的碳减排效果和较高的生态效益,但中碳排放型方案经济效益更高,能在在保障生态效益的同时,实现最优的土地碳减排和最大的土地经济效益,因此选择中碳排放型方案为最优方案。

(2) 优化方案相较于现状面积,严守 15.82×10⁴ hm² 耕地保有量,增加林地面积,减缓了建设用地快速扩张的趋势。通过退耕还林,大幅度增加区域灌木、乔木林地,增加植被覆盖,增强了区域固碳能力,减少了水土流失,有利于生态环境的建设;建设用地的调整,保留了优质耕地,提高土地集约利用水平,降低化石能源燃烧的碳排放。

(3) 低碳经济导向的土地利用结构优化方案符合当地实际,有利于该区域经济效益的发挥和生态环境的改善,实现碳减排目标,说明利用多目标优化模型能够较好地协调利益相互竞争的多种目标。

(4) 本文主要考虑了土地利用数量结构及土地面积的优化,没有考虑空间格局优化。而土地利用的空间格局对很多生态过程都会产生影响,在对数量结构及土地面积优化的基础上,还应该研究其空间结构的优化。另一方面,线性规划方法的灰色多目标优化求解存在一定的局限性,因此,寻求具有弹性的优化模型来辅助情景分析,探索具有一定普适性的区域土地利用结构优化配置情景是今后研究的一个方向。

[参 考 文 献]

- [1] 杨雪梅,石培基,潘竟虎,等. 甘肃省城市经济低碳度综合评价及其空间差异分析[J]. 水土保持研究,2011,18(5):52-58.
- [2] 庄贵阳. 低碳经济:气候变化背景下中国的发展之路[M]. 北京:气象出版社,2007.
- [3] 杨庆媛. 土地利用变化与碳循环[J]. 中国土地科学,2010,24(10):7-12.
- [4] 王义祥,翁伯琦,黄毅斌. 土地利用和覆被变化对土壤碳库和碳循环的影响[J]. 亚热带农业研究,2005,1(3):44-51.
- [5] 高志强,刘纪远,曹明奎,等. 土地利用和气候变化对农牧过渡区生态系统生产力和碳循环的影响[J]. 中国科学:地球科学,2004,34(10):946-957.
- [6] Campbell C A, Zentner R P, Liang B C, et al. Organic C accumulation in soil over30 years in semiarid southwestern Saskatchewan-effect of crop rotations and fertilizers. [J]. Canadian Journal of Soil Science, 2000,80(1):179-192.
- [7] Houghton R A. Magnitude, distribution and causes of terrestrial carbon sinks and some implications for policy [J]. Climate Policy, 2002,2(1):71-88.
- [8] Houghton R A. Releases of carbon to the atmosphere from degradation of forests in tr. [J]. Canadian Journal of Forest Research, 2011,21(1):132-142.
- [9] 曲福田,卢娜,冯淑怡. 土地利用变化对碳排放的影响[J]. 中国人口·资源与环境,2011,21(10):76-83.
- [10] 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.
- [11] 赵荣钦,黄贤金,钟大洋,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.

- [12] 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.
- [13] 孙雯雯,梅昀,陈银蓉,等.郑州市低碳经济发展与土地集约利用之间的脱钩关系[J].水土保持通报,2015,35(4):172-175.
- [14] 王莉,陈浮,陈海燕,等.低碳经济和土地集约利用的脱钩分析体系研究:以江苏省昆山经济开发区为例[J].水土保持研究,2012,19(4):218-222.
- [15] 毋晓蕾,王婧,汪应宏,等.浙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.
- [16] 王慧敏,曾永年.青海高原东部土地利用的低碳优化模拟:以海东市为例[J].地理研究,2015,34(7):1270-1284.
- [17] 王玉波,唐莹.国外土地利用规划发展与借鉴[J].人文地理,2010(3):24-28.
- [18] 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.
- [19] Chuluun T, Ojima D. Land use change and carbon cycle in arid and semi-arid lands of east and central Asia [J]. Science in China, 2002,45(S1):48-54.
- [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,2007,37(6):804-812.
- [21] 孙贤斌.安徽省会经济圈土地利用变化的碳排放效益[J].自然资源学报,2012,27(3):394-401.
- [22] 单福征,於家,赵军,等.上海郊区快速工业化的土地利用及碳排放响应:以张江高科技园区为例[J].资源科学,2011,33(8):1600-1607.
- [23] 赖力.中国土地利用的碳排放效应研究[M].江苏南京:南京大学出版社,2011:40-60.
- [24] 揣小伟,黄贤金,赖力,等.基于GIS的土壤有机碳储量核算及其对土地利用变化的响应[J].农业工程学报,2011,27(9):1-6.
- [25] 白宏涛,王会芝,徐鹤.我国省域碳排放差异性及其转型发展模式研究[J].经济地理,2012,32(12):21-26.
- [26] 张润森,濮励杰,文继群,等.建设用地扩张与碳排放效应的库兹涅茨曲线假说及验证[J].自然资源学报,2012(5):723-733.
- [27] 石洪昕,穆兴民,张应龙,等.四川省广元市不同土地利用类型的碳排放效应研究[J].水土保持通报,2012,32(3):101-106.
- [28] 赵荣钦,黄贤金,钟大洋,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,2013,25(17):220-229.
- [29] 郑欣,程久苗,郑硕.基于土地利用结构变化的芜湖市碳排放及其影响因素研究[J].水土保持研究,2012,19(3):259-262.
- [30] 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):38-42,115.
- [31] 方斌,吴金凤,孟颖.江苏省土地经济密度的时空变异分析[J].农业现代化研究,2010,31(6):716-719.
- [32] 胡喜生,洪伟,吴承祯.土地生态系统服务功能价值动态估算模型的改进与应用:以福州市为例[J].资源科学,2013,35(1):30-41.
- [33] 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.

(上接第 201 页)

- [9] 王宏涛.丘陵区城市河流生态修复研究[D].河南 郑州:郑州大学,2011.
- [10] 夏继红,严忠明.生态河岸带综合评价理论与修复技术[M].北京:中国水利水电出版社,2009.
- [11] 荣冰凌,陈春娣,邓红兵.城市绿色空间综合评价指标体系构建及应用[J].城市环境与城市生态,2009,22(1):33-37.
- [12] 张臻,王龙昌,杨松,孙凡,等.基于 AHP 法的四川省水资源可持续利用综合评价[J].干旱地区农业研究,2009,27(4):213-218.
- [13] 刘荣增,耿纯.基于 AHP 的城市景观生态评价与优化:以开封市为例[J].国土与自然资源研究,2012(3):57-59.
- [14] 杜栋,庞庆华,吴炎.现代综合评价方法与案例精选[M].北京:清华大学出版社,2015.
- [15] 马云倩.基于熵权法和比法的马铃薯营养价值评价研究[J].中国农业科技导报,2016,18(6):175-180.
- [16] 毛玮.几种典型综合评价方法的比较及 SAS 软件实现[D].北京:中国人民解放军军事医学科学院,2011.
- [17] 胡斌,章仁俊.基于秩和比法的区域科技发展水平比较研究[J].工业技术经济,2004,23(6):55-57.