

## 基于灰色模型的土地利用与碳排放关系研究

黄锐

江苏苏地仁合土地房地产评估咨询有限公司, 江苏 南京 210000

**摘要:**“十三五”时期要全面建成小康社会, 经济发展方式转变将取得实质性进展。研究土地利用与碳排放二者的关系, 有助于优化用地结构、实现节能减排的目标, 对“十三五”规划的编制、转变发展方式、推动科学发展具有重要的指导意义。本文采用灰色模型, 对某市土地利用结构和碳排放相关指标进行关联度分析。研究结果表明, 2007~2012年期间, 某市碳排放量、人均碳排放量、碳排放强度与七类典型用地均有较强的关联度。通过灰色预测模型发现, 某市要完成2020年的低碳经济目标, 需严格控制农用地转用, 增加园地和林地的地类面积, 以增加碳汇用地; 减少城镇村及工矿用地和交通运输用地的地类面积。

**关键词:** 土地利用; 碳排放; 灰色模型

**中图分类号:** F302.4

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-2324(2016)06-0856-06

## The Research on the Relationship between Land Use and Carbon Emissions Based on the Grey Model

HUANG Rui

Jiangsu Sudirenhe Real Estate Appraisal & Consultation Co., Ltd., Nanjing 210029, China

**Abstract:** During the 13<sup>th</sup> Five Year Plan Period, economic development pattern will achieve substantive progress. The research about association degree between Land use and Carbon emissions will be help to optimize land use structure and achieve energy saving targets, which will be useful for the Thirteen Five-year Plan. The paper research about association degree between Land use and Carbon emissions based on Grey Model. The results show that during 2007 - 2012 period, carbon emissions, per capita carbon emissions and carbon intensity have a strong association with seven typical land Class. By gray prediction model, to complete the 2020 goal of a low carbon economy, the city need to strictly control the conversion of agricultural land mark, increasing the planning of garden and woodland ground class area, in order to increase land carbon sinks to class; to reduce class area of town village and industrial land and transportation land, in order to reduce carbon emissions from land use to carry class.

**Keywords:** Land use; carbon emissions; Gray Model

从 IPCC 第四次气候变化评估报告和《斯特恩气候变化报告》发表之后, 低碳经济 (Low-Carbon Economy, LCE) 已成为国内外学者和政府关注的重点。土地利用变化是引起区域“自然—社会”碳排放的重要因素, 不同用地结构将产生不同的碳排放效应。“十三五”时期要全面建成小康社会, 经济发展方式转变将取得实质性进展。开展用地结构和碳排放关系的研究, 有助于从土地利用规划、产业结构调整、土地整治等领域引导经济社会的发展, 实现节能减排的目标, 对“十三五”规划的编制、转变发展方式、推动科学发展具有重要的指导意义。

目前国内外学者逐渐开展了土地利用与碳排放之间的相关研究, 如低碳化土地利用模式、用地结构<sup>[1-3]</sup>、土地利用变化的土壤碳量研究<sup>[4-5]</sup>、土地利用、能源消费与碳排放关系<sup>[6-8]</sup>等。本文尝试采用灰色关联度模型对某市土地利用结构和碳排放相关指标的关系进行拟合分析, 应用灰色预测模型对关联度水平较高的因素指标进行预测, 并与土地利用规划该指标的远期目标比较分析, 引导低碳经济的发展。

### 1 研究区概况

研究区位于江苏省北部, 介于北纬 33°8'~34°25', 东经 117°56'~119°10'之间, 属于长三角经济圈 (带)、东陇海产业带、沿海经济带、沿江经济带的交叉辐射区, 总人口约 560 万。某市地势总体呈西北高, 东南低的格局, 最高点海拔高度 71.2 m, 最低点海拔高度 2.8 m。属暖温带季风性气候, 年均气温 14.2 °C, 年均降水量 910 mm, 年均日照总时数 2291 h。在新型城镇化规划建设中, 该市将

**收稿日期:** 2015-04-22

**修回日期:** 2015-09-25

**作者简介:** 黄锐(1982-),男,注册土地估价师、房地产估价师,主要从事地价评估与土地利用规划研究. E-mail:8103657@qq.com

数字优先出版:2017-01-01 <http://www.cnki.net>

着重于在生态文明建设和可持续发展方面做出创新,并在未来的城市空间土地开发利用中更注重低碳环保的因素。

### 2 研究方法

考虑到样本数据量有限,并且对样本数据的概率分布典型性、各因素数据与系统特征数据之间的线性关系难以确定,为了避免出现量化结果与定性分析结果不符的现象,本文采用灰色系统模型对某市土地利用结构和碳排放相关指标进行关联度分析及灰色预测<sup>[9]</sup>。

#### 2.1 灰色关联度模型

设  $X_0=\{x_0(1), x_0(2), \dots x_0(n)\}$  为系统行为序列(系统特征数据序列),而

$$X_1=\{x_1(1), x_1(2), \dots x_1(n)\}$$

.....

$$X_i=\{x_i(1), x_i(2), \dots x_i(n)\}$$

.....

$X_m=\{x_m(1), x_m(2), \dots x_m(n)\}$ 为系统相关因素序列, $X_i^{(1)}$ 为  $X_i^{(0)}$  的 1-AGO 序列( $i=1, 2, \dots n$ ),系统内部因素之间的关联度计算公式如下:

$$\gamma(x_0(k), x_i(k)) = \frac{\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| + \xi \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)}{|x_0(k) - x_i(k)| + \xi \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)} \dots \dots \dots (1)$$

其中,  $\xi \in (0,1)$ , 为分辨系数,本文取值 0.5;  $\gamma(x_0(k), x_i(k))$  简记为  $\gamma_{0i}(k)$ ,为  $k$  点关联系数;  $\gamma(X_0, X_i)$  简记为  $\gamma_{0i}$ , 为灰色关联度。

#### 2.2 灰色预测 GM(1, N)模型

系统特征数列与相关因素序列的GM(1, N)模型及其近似时间响应模型

$$\left. \begin{aligned} \frac{d_x^{(1)}}{d_t} + ax^{(1)} &= b_2x_2^{(1)} + b_3x_3^{(1)} + \dots + b_nx_n^{(1)} \dots \dots \dots (2) \\ X_1^{(1)}(k) &= \left( X_1^{(0)}(1) - \frac{b}{a} X_2^{(1)}(k+1) \right) e^{ak} + \frac{b}{a} X_2^{(1)}(k+1) \end{aligned} \right\}$$

其中  $X_1^{(0)}$  是累加前的土地利用指标时间序列;  $X_1^{(1)}$  是累加后的土地利用指标时间序列,  $X_2^{(1)}$  是累加后的碳排放指标时间序列。

#### 2.3 数据处理

采用均值化方式,对数据进行无量纲化处理,避免指标之间对比的不可比性,既可以反映原始数据中各指标变异程度上的差异,也包含各指标相互影响程度差异的信息。具体数据参照如下公式处理:

$$X_k(i) = \frac{X_k(i)}{x_k} \dots \dots \dots (3)$$

其中  $\bar{x}_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_k(i)$ ,  $k=1, 2, \dots m$ , 得标准化序列:

$$\begin{aligned} &\{x_1(i)\}, i=1, 2, \dots, n \\ &\{x_2(i)\}, i=1, 2, \dots, n \\ &\dots \dots \dots \\ &\{x_m(i)\}, i=1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

#### 2.4 碳排放量测算模型

国内外对于化石能源燃烧造成的碳排放计算有许多成果，总的来说可以分为两类方法，一类是基于质量守恒的排放系数法，根据燃料的详细程度，数据类型不同而衍生出各种测算公式，如 IPCC 各燃料碳排放系数法<sup>[10]</sup>、标准煤消耗系数法、ORNL 碳排放消耗系数法<sup>[11]</sup>等，第二类是基于长期碳量变化监测的实测法和遥感地图碳储量估算法<sup>[12]</sup>。本文参照国家科技部气候变化项目的标准煤消耗数值 (0.67 t(碳)/t)，采用标准煤消耗系数法估算某市年度碳排放量，公式如下：

$$T_i = E_i * C \tag{4}$$

其中， $T_i$  表示第  $i$  年度的碳排放量， $E_i$  表示第  $i$  年度的综合能源消耗量 (万吨标准煤)， $C$  表示标准煤消耗碳排放系数。

### 3 结果与分析

#### 3.1 土地利用结构

本文选取某市耕地、园地、林地、其它农用地、城镇村及工矿用地、交通运输用地、水利设施用地等七种典型性地类进行分析，数据来源于 2007~2012 年某市土地利用数据，用地基本情况如图一所示。2007 年到 2012 年期间，某市耕地面积总体处于减少的趋势，园地、林地、其他农用地、城镇村及工矿用地、交通运输用地、水利设施用地面积总体处于平稳增长的状态。某市在城市建设、经济快速增长的过程中，第二产业生产总值贡献显著，不仅与第二产业生产要素的投入产出效率有关，而且与产业用地的扩张发展也有关。非农建设用地的不断扩大，导致某市耕地面积的逐渐减少。采用公式 (3)，对各年份用地数据进行无量纲化处理，如表 1 所示。

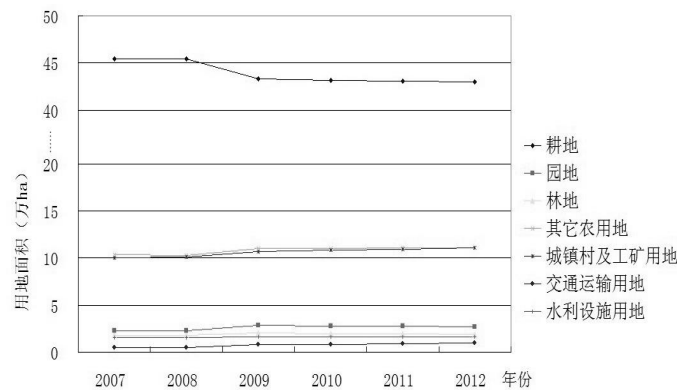


图 1 某市 2007~2012 年土地利用变化动态

Fig.1 The dynamic changes of land use in a city from 2007 to 2012

表 1 7 类典型用地标准化数值

Table 1 The standardized values of 7 typical lands

地类 Types	年份 Year	2007	2008	2009	2010	2011	2012
耕地		1.0345	1.0353	0.9862	0.9837	0.9815	0.9788
园地		0.8777	0.8743	1.0840	1.0701	1.0551	1.0388
林地		0.9515	0.9492	1.0515	1.0331	1.0143	1.0004
其它农用地		0.9597	0.9528	1.0187	1.0200	1.0234	1.0254
城镇村及工矿用地		0.9447	0.9550	1.0054	1.0210	1.0298	1.0442
交通运输用地		0.6646	0.6663	1.0969	1.1223	1.1991	1.2507
水利设施用地		0.9756	0.9688	1.0143	1.0142	1.0133	1.0138

#### 3.2 碳排放测算

根据某市统计年鉴 (2013) 获取 2007~2012 年综合能源消耗量 (万吨标准煤)、总人口数 (万人)、GDP (亿元) 等指标数值，采用公式 (3) 测算出全市碳排放量。用全市碳排放量与总人口数、GDP 计算，测算出人均碳排放量、单位 GDP 碳排放量等指标值，如表 2 所示。全市碳排放量和人均碳排放量呈逐年上升水平，单位 GDP 碳排放量呈逐年下降水平，这既体现了某市作为发展中城市，在面对气候变化时“发展优先”的原则，又积极推进经济和产业结构调整、提高能效的政策措施，并取得

了一定的成效。采用公式(3)对三类指标的数值进行无量纲化处理后如表3所示。

表2 碳排放指标值

Table 2 The indexes of Carbon emission

年份 Year 指标 Indexes	2007	2008	2009	2010	2011	2012
全市碳排放量 (万t)	275.04	303.85	327.99	332.84	394.23	439.32
人均碳排放量 (t/人·a)	0.57	0.60	0.63	0.61	0.71	0.78
单位GDP碳排放量 (t/万元)	0.47	0.42	0.40	0.31	0.30	0.29

表3 碳排放指标标准化值

Table 3 The standardized values of carbon emission indexes

年份 Year 指标 Indexes	2007	2008	2009	2010	2011	2012
全市碳排放量	0.7960	0.8793	0.9492	0.9632	1.1409	1.2714
人均碳排放量	0.8800	0.9186	0.9620	0.9373	1.0927	1.2064
单位GDP碳排放量	1.2868	1.1545	1.0868	0.8570	0.8177	0.7908

### 3.3 关联度测算及分析

3.3.1 测算 为了较好的分析用地结构与碳排放的关系,对耕地、园地、林地、其它农用地、城镇村及工矿用地、交通运输用地、水利设施用地等七种典型性地类和全市碳排放量、人均碳排放量、单位GDP碳排放量采用公式(1)得出二者之间的关联度,如表4所示。测算结果表明,七种典型性地类与全市碳排放量、人均碳排放量、单位GDP碳排放量等指标均处于关联度较高的水平。

表4 土地利用与碳排放指标关联度水平

Table 4 The relationship between land use and carbon emission indexes

地类 Types 指标 Indexes	耕地	园地	林地	其它 农用地	城镇村及 工矿用地	交通运 输用地	水利设 施用地
全市碳排放量	0.630	0.787	0.784	0.785	0.787	0.787	0.784
人均碳排放量	0.801	0.815	0.836	0.835	0.836	0.834	0.834
碳排放强度	0.855	0.878	0.869	0.870	0.888	0.887	0.883

3.3.2 分析 全市碳排放量与园地、林地、其他农用地、城镇村及工矿用地、交通运输用地和水利设施用地的关联度水平都较高(关联度接近0.8)。园地、林地和其他农用地作为最主要的碳汇,是吸收碳排放最主要的途径,而城镇村及工矿用地、交通运输用地和水利设施用地,承载了城市大部分的能源消费,产生了巨大的碳排放量,所以这六类土地与能源消费碳排放量有着很高的关联度。

2007~2012年期间,该市园地、林地和其他农用地总量略有减少,而城镇村及工矿用地、交通运输用地和水利设施用地总量逐年增加,所以全市碳排放量不断增加。人均碳排放量可以在一定程度上反映区域内能源平均消费水平和对环境的影响强度,七类典型用地与人们生活息息相关,所以七类典型用地与人均能源碳排放量也有很紧密的关系(关联度均大于0.8)。碳排放强度是单位GDP所带来的碳排放量,七类典型用地与碳排放强度有着较高的关联度水平(关联度远大于0.8),这和该市近年来不断提高土地集约利用水平、降低碳排放强度的变化趋势相吻合。

### 3.4 灰色预测

国家在哥本哈根气候大会上承诺到2020年我国单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降40%~45%,作为约束性指标纳入国民经济和社会发展中长期规划。本文选取比2005年下降“45%”、即年均下降“4%”的水平作为某市2020年的碳排放强度目标,测算出2020年某市2020年碳排放强度为0.2032 t/万元。

以城镇村及工矿用地为例,建立二者的GM(1,2)模型,将碳排放强度指标值与城镇村及工矿用地

指标值代入公式 (2) 得出二者的灰色模型为和近似时间响应函数为:

$$\frac{d_x^{(1)}}{d_t} + 0.5639 x^{(1)} = 19.8165 x_2^{(1)}$$

$$X_1^{(1)}(k) = (10.0085 - 35.14X_2^{(1)}(k+1))2.72^{0.56k} + 35.14X_2^{(1)}(k+1)$$

通过时间响应函数可以推算出2007~2012年城镇村及工矿用地面积的模拟数据, 如表5所示。从检验可以看出, 模拟数据序列值离散性较小, 预测置信度较高。代入时间响应函数, 测算出2020年城镇村及工矿用地指标值为10.0986万ha。同理, 采用公式 (2), 测算出2020年其它类用地的用地指标值, 如表6所示。

**表 5 城镇村及工矿用地面积预测误差检验表** (单位:万ha)

**Table 5 The Checklist of prediction errors for areas in urban-village-industrial lands (Ten thousand hectares)**

年份 Years	模拟数据 Simulation data	相对误差 RE	检 验 Test
2008	10.1824	0.0064	$\Delta_{\max} = 0.1055 \leq 3 \bar{\Delta} = 0.2164$ 通过检验
2009	11.2515	0.0563	
2010	11.8849	0.0988	
2011	12.0603	0.1055	
2012	12.1008	0.0938	

**表 6 2020年七类典型用地面积预测表** (单位:万ha)

**Table 6 the area prediction of 7 typical land Class in 2020 (Ten thousand hectares)**

地类 Types	灰色预测值 Grey prediction	土地规划控制值 Control for land project	差值 Distance
耕地	4.5326	4.5291	0.0035
园地	2.4503	2.3012	0.1491
林地	2.7291	2.5585	0.1706
其它农用地	9.0526	9.0653	-0.0127
城镇村及工矿用地	10.0986	10.3766	-0.2780
交通运输用地	0.7039	0.8227	-0.1188
水利设施用地	1.9557	1.9586	-0.0029

根据《某市土地利用总体规划(2006~2020年)》相关指标值, 2020年七类典型用地面积分别是: 耕地 4.5291 万  $hm^2$ , 园地 2.3012 万  $hm^2$ , 林地 2.5585 万  $hm^2$ , 其它农用地 9.0653 万  $hm^2$ , 城镇村及工矿用地 10.3766 万  $hm^2$ , 交通用地 0.8227 万  $hm^2$ , 水利设施用地 1.9586 万  $hm^2$ 。表 6 可以看出, 本文预测的七类用地中, 耕地、其他农用地和水利设施用地与土地利用总体规划的指标控制值相差较小, 园地、林地、城镇村及工矿用地和水利设施用地与土地利用总体规划的指标控制值相差较大, 其中园地比规划控制值大 0.1491 万  $hm^2$ , 林地比规划控制值大 0.1706  $hm^2$ , 而城镇村及工矿用地比规划控制值小 0.2780 万  $hm^2$ , 交通运输用地比规划控制值小 0.1188 万  $hm^2$ 。以上四类用地中, 两类农用地的预测值大于规划控制值, 而两类建设用地的预测值小于规划控制值, 说明该市应加强对农用地的保护, 严格控制农用地转用。

#### 4 结论与建议

研究表明, 2007~2012年期间, 某市碳排放量、人均碳排放量、碳排放强度与七类典型用地均有较强的关联度, 说明土地利用与碳排放有着密切的联系。随着经济社会的不断发展、工业化和城市化水平的不断提高, 能源消费不断增大, 居民点及工矿用地、交通运输用地及水利设施用地等建设用地承载了大部分的基础设施及房地产建设, 这一过程中必然伴随着高能耗、高碳排放; 耕地、园地、林地和其他农用地发挥着重要的碳汇功能, 大量有效吸收碳排放。通过灰色预测模型发现, 某市要完成 2020 年的低碳经济目标, 需严格控制农用地转用, 增加园地和林地的地类面积, 以

增加碳汇用地;减少城镇村及工矿用地和交通运输用地的地类面积,以减少承载碳排放用地地类。

某市正处于城市化快速发展时期,同时也是转变经济发展方式、实现“两型社会”的跨越式发展时期,因此调整土地利用结构布局,优化土地资源配量,使土地利用过程中的能源效率提高,实现低碳经济发展模式至关重要。针对以上问题,可以尝试从以下几方面着手构建低碳排放的土地利用体系:

(1) 调整土地利用结构。优化产业用地结构<sup>[13]</sup>,严格控制建设用地规模,严禁无节制地以牺牲耕地、林地、园地为代价扩张建设用地,坚守耕地红线,严禁建设用地无序扩张,加强植树造林力度,增加公共绿地面积及森林覆盖率以提高城市的生态功能,增加碳汇。

(2) 转变土地利用方式。对农用地加大技术投入,通过减少农药的使用、循环利用农业废弃物、提高复种指数、节约农业投入等提高农用地的利用效率,减少其能源消耗,大力发展低碳农业、循环农业。通过对建设用地的合理布局、挖掘建设用地内部潜力达到建设用地的集约化利用。

(3) 建立严格的产业准入机制。一方面大力调整产业结构,发展能源消耗低的现代服务、装备制造以及新材料、软件等高新技术产业;另一方面则要严格控制煤矿等高耗能产业发展,建立严格的耗能行业准入制度,严格落实固定资产投资项目的用地审批制度。

本文采用灰色模型,对土地利用结构和碳排放的关系进行实证研究,具有一定的借鉴价值。基于数据获取方面的原因,如若能从焦炭、燃油、燃气等各类能源角度统计测算碳排放相关指标,并且增加时间维度数据(本文无法获取2007年及以前的综合能源消耗等数据),从主要的碳源地类、碳汇地类分别建立土地利用与碳排放的多因素灰色预测模型,测算结果将具有更高的可靠性。另外,研究区域有待扩展,研究方法的深度和精度有待提升。

## 参考文献

- [1] 余德贵,吴群.基于碳排放约束的土地利用的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] 游和远,吴次芳.土地利用的碳排放效率及其低碳优化--基于能源消费的视角[J].自然资源学报,2010,25(11):1875-886
- [3] 潘海啸.面向低碳的城市空间结构--城市交通与土地使用的新模式[J].城市发展研究,2010,17(1):40-45
- [4] 张俊华,李国栋,南忠仁,等.黑河中游不同土地利用类型下土壤碳储量及其空间变化[J].地理科学,2011,31(8):982-988
- [5] Houghton RA, Hackler JL. Sources and sinks of carbon from land-use change in China[J]. Global Biogeochemical Cycles, 2003,17(2):1034-1047
- [6] 赖力.中国土地利用的碳排放效应研究[D].南京:南京大学,2010
- [7] Ali G, Nitivattananon V. Exercising multidisciplinary approach to assess interrelationship between energy use, carbon emission and land use change in a metropolitan city of Pakistan[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2012,16(1):775-786
- [8] 赵荣钦,黄贤金.基于能源消费的江苏省土地利用碳排放与碳足迹[J].地理研究,2010,29(9):1639-1649
- [9] 刘思峰,谢乃明.灰色系统理论及其应用[M].第4版.北京:科学出版社,2008
- [10] IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories[R].2006
- [11] 中华人民共和国国家统计局.中国能源统计年鉴 2008[M].北京:中国统计出版社,2006
- [12] 王莉雯,卫亚星.基于RS和GIS的沈阳碳排放空间分布模拟[J].资源科学,2012,34(2):328-336
- [13] 樊纲,马蔚华.低碳城市在行动:政策与实践[M].北京:中国经济出版社,2011:152-158