

基于灰色关联的盐城市城市建设用地 碳排放协调发展研究

王 亮^{1,2,3}

(1. 中国矿业大学 环境与测绘学院, 江苏 徐州 220082;

2. 盐城师范学院, 江苏 盐城 224051; 3. 江苏沿海开发研究院, 江苏 盐城 224051)

摘 要:随着新型工业化、信息化、城镇化、农业现代化深入推进发展,城市建设用地开发利用呈现出膨胀式的扩展,特别是在“高消耗、高排放、高污染”的城市发展模式下,不仅造成碳排放量快速增长,而且造成城市土地的“碳汇”功能减弱,致使气候变暖、人居环境日益恶化。论文以灰色关联度为研究手段对盐城市 2002—2012 年的城市建设用地及各分项用地的碳排放进行评价,并采用系统之间的耦合协调度公式测度了各分项用地之间协调发展等级。结果表明:盐城市城市土地利用各构成要素之间存在着不同于简单因果关系的非线性联系,即具有相关性、非均匀性、不可逆性等特征;盐城市 2003—2012 年城市建设用地各分项用地的协调发展程度呈逐年下降趋势,而且系统间存在着严重的不平衡性。盐城市在城市建设用地的发展过程中,用地之间的矛盾越来越突出,在各分项用地协调发展等级研究中,各系统间发展差异也较大。总体为优良等级,优质协调、良好协调占总评价的 50% 左右。其中工业—交通用地协调发展较好,这也为其他系统间的协调发展提供决策参考依据。

关键词:建设用地; 碳排放; 灰色关联; 协调发展; 盐城市

中图分类号:F061.3

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)02-0253-05

Research for Coordinative Development About Carbon Emission from Construction Land in Yancheng City Based on Grey Correlation Method

WANG Liang^{1,2,3}

(1. School of Environment and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology,
Xuzhou, Jiangsu 221008, China; 2. Yancheng Teachers University, Yancheng, Jiangsu 224051, China;
3. Research Institute of Jiangsu Coastal Development, Yancheng, Jiangsu 224051, China)

Abstract: Land use change is an important factor on carbon emission. With the new-type urbanization, industrialization, informatization and agricultural modernization process accelerating, there appears the fast expansion in urban construction land use and development, especially in the urban development pattern of high consumption, high emission and high pollution, which resulted not only in the rapid growth of social carbon emissions, but also in the weakening of carbon sinks function of urban land, leading to the global warming, and the deterioration of the living environment. Therefore, the low-carbon use of urban construction land will be the new hot spot of the study in the fields of the urban science and environmental science. The purpose of this paper is to analyze the characteristics of changes in urban construction land use in Yancheng City from 2002 to 2012, calculate and analyze the carbon emissions influenced by different urban construction land use types from 2002 to 2012 according to the assessment model of carbon emission and grey relationship method, describe the coordinative degrees of different urban construction land use types in Yancheng City from 2002 to 2012, keep the harmonious relationship between human beings and environment, and reach the goal of sustainable development of society. The results show that the transportation land and industrial land accounted for a major proportion of the total carbon emission from urban construction land use types in Yancheng City from 2002 to 2012. Carbon emissions increased most quickly in the residential land and the commercial service land city, from 5.607×10^5 tons in 2002 to 1.4713×10^6 tons with an average annual growth rate of

14.76% and from 6.55×10^4 tons in 2002 to 2.762×10^5 tons with an average annual growth rate of 29.24% during the study periods, respectively. The results also show the decrease tendency of coordinative degree between different urban construction land use types in the years of 2002 and 2012. The good and very good degrees accounted for 50% of the total analyzed samples. Some further policy options should be proposed to mitigate problems more thoroughly, including reducing carbon emissions and increasing carbon sinks, protecting wetland and forestland, practicing the scientific concept of development, enhancing the efficiency of land use and energy consumption, coordinating the development of the economy and the land utility, and strengthening the control functions of land use planning to reduce carbon emissions.

Keywords: Construction land; Carbon emission; Grey relationship; coordinative development; Yancheng City

随着中国特色的新型工业化、信息化、城镇化、农业现代化深入推进发展,中国进入了新一轮的经济转型发展阶段。人口城镇化和工业化进程导致了全球 CO_2 排放量水平处于稳定增长状态,且目前有加快趋势^[1]。研究表明,新型城镇化和工业化推动了城市建设用地的大幅扩张,城市建设用地是区域人口、建筑、交通、工业和公共服务的集中地,也是高能耗和高碳排放的集中地,是碳排放的主要源头^[2]。碳排放是引起全球气候变化的最重要原因。而碳排放强度与土地利用及覆盖变化关联度较高^[3-4]。

城市建设用地利用变化导致温室气体排放和局地气候变化的作用机理更加复杂,不确定性因素更多,因此其作用机理与影响因素成为全球气候变化研究的热点和难点之一。已有多人就建设用地扩张与碳排放效应及对碳排放的影响进行了系统研究^[5-7],但对城市建设用地的进一步分化和其协同关系研究尚不多见,因此,本文以江苏沿海大开发背景下的城市化快速发展的典型城市——盐城市为例,探讨建设用地总体及各分项用地对碳排放的影响,利用灰度关联分析的方法研究各分项用地碳排放间的关系,将系统耦合、协同发展的概念引入到碳排放问题探讨中,从而为合理进行城市土地利用规划、实现土地资源的可持续利用提供参考依据。

1 研究区概况

盐城市位于北纬 $32^\circ 34' - 34^\circ 28'$,东经 $119^\circ 27' - 120^\circ 54'$ 。盐城是江苏省土地面积最大、海岸线最长的地级市,全市土地总面积 $16\,972\text{ km}^2$ 。盐城市近些年过快的人口增长,较大的人口总量和近几年年均 5% 增速的城镇化率给本区域的土地利用带来了较大的压力,生态环境受到了一定程度的损害,对区域社会经济的可持续发展产生了一定的负面影响。城市建设用地由 2002 年的 213.77 km^2 增加到 2012 年的 279.81 km^2 ,累积扩大了 66.04 km^2 ,增加幅度为 30.89%,由此产生的碳排放也在飞速增加,城市土地利用问题十

分突出,本区域工业化、城市化高速发展,城市土地生态系统受到人类活动影响较大,从而城市土地利用对于全球变化的影响也较为显著,因此,分析该区域城市土地利用变化的碳排放效应具有一定的典型性。

2 研究方法

本文所使用的社会、经济和人口数据来源于《中国能源统计年鉴》有关盐城市相关年份能源消费数据,江苏统计局网站公布的分区县统计年鉴和盐城市 2003—2013 年《统计年鉴》,盐城市 2003—2013 年国民经济和社会发展统计公报,部分实地调查和问卷数据。并用相关年份的遥感影像数据加以校正。

$$E_c = \sum E_i \times f_i \quad (1)$$

式中: E_c ——建设用地的碳排放量(t); E_i ——各种化石能源的消耗量(吨标准煤); f_i ——各种能源的碳排放系数。本文主要考虑了 21 类具体的能源类型,其碳排放系数主要参考 IPCC 公布的数值^[8](表 1)。根据《城市用地分类与规划建设用地标准》(GB50137—2011),城市建设用地可以分为居住用地、公共管理与公共服务用地、商业服务业设施用地、工业用地、物流仓储用地、交通设施用地、公用设施用地与城市公共绿地。本文将研究区域的城市建设用地归结为居住用地、工业用地、商服用地和交通用地 4 大类型^[9]。居住用地、工业用地、商服用地和交通用地的碳排放数计算参考汪友结提出的计算方法^[9]。

灰色关联分析是通过定量化的方法寻找出系统各要素之间的联系情况,从而初步确定系统运行的性质^[10],为了深刻揭示城市土地系统各要素之间的关联程度,需要找到表征系统各要素行为特征的序列。由于城市土地利用系统各要素的内部结构复杂,很难将其行为特征直接量化,为简化计算程序,本文采用的是表征各子系统行为特征的间接量,即映射量进行分析的方法。具体来说,就是以城市各分项用地的年度序列碳排放量为基础数据,通过采用一定的计算方法来求取各系统要素的历年映射量。

表 1 各种能源碳排放系数						tC/t
能源种类	碳排放系数	能源种类	碳排放系数	能源种类	碳排放系数	
原煤	0.7559	洗精煤	0.7559	炼厂干气	0.4602	
焦炭	0.8550	其他煤气	0.3548	其他洗煤	0.2155	
原油	0.5857	其他焦化产品	0.6449	煤制品	0.4691	
煤油	0.5714	汽油	0.5538	电力	2.5255	
燃料油	0.6185	柴油	0.5921	热力	0.2601	
液化石油气	0.5042	其他石油制品	0.5877	高炉煤气	0.3548	
焦炉煤气	0.3548	天然气	0.4483	其他燃料	0.7559	

$M_i(k)=T_i(k)/T_0(k)$ (2)

式中： $M_i(k)$ ——城市建设用地某一具体 i 类分项用地第 k 年的映射量； $T_i(k)$ ——城市建设用地某一具体 i 类分项用地第 k 年的碳排放量（吨标准煤）； $T_0(k)$ ——城市建设用地某一具体 i 类分项用地起始年（本文是 2002 年）的碳排放量（吨标准煤）。设城市建设用地某一具体 i 类分项用地的历年映射量 $\{M_0(k) \text{—} M_i(k)\}$ 构成初向量 $\{V_0(k) \text{—} V_i(k)\}$ ，考虑到映射量为系统要素相应的发展指数，所以不需进行量纲化就可直接求出其他分项用地的相应初向量 $\{V_0(k) \text{—} V_j(k)\}$ 与 i 类分项用地初向量 $\{V_0(k) \text{—} V_i(k)\}$ 的绝对值差向量 $\Delta_{ij}(k)$ ，并把 $\Delta_{ij}(k)$ 作为序列差。

在分列求出 $\Delta_{ij}(K)$ 的最大值 $\Delta\max_{ij}$ 和最小值 $\Delta\min_{ij}$ 的基础上，继续求出最大值 $\Delta\max_{ij}$ 系列中的最大值和最小值 $\Delta\min_{ij}$ 系列中的最小值，即分别为极大值 $\Delta\max_i$ 和 $\Delta\min_i$ 。令 $r_{ij}(k)$ 为城市建设用地某一具体系统 j 类分项用地要素对另一具体系统 i 类分项用地要素关联度系数，建立如下的关系式：

$$r_{ij}(k)=(\Delta\min_i+\alpha\cdot\Delta\max_i)/(\Delta_{ij}(K)+\alpha\cdot\Delta\max_i)$$

(3)

式中： α ——分辨系数， α 越小，分辨力越大，一般 α 的取值区间在 (0,1) 之间，具体取值可根据情况而定，当 $\alpha\leqslant 0.563$ 时，分辨力最好，通常取 $\alpha=0.5$ 。

采用平均值法即可求出城市建设用地某一具体系统 j 类分项用地要素对另一具体系统 i 类分项用地要素的关联度，即：

$$r_{ij}=\frac{1}{n}\sum_{k=1}^nr_{ij}(k)$$

(4)

上述系统之间的关联度并不能反映二者耦合程度，为从整体上判别城市建设用地各分项用地的匹配协调发展态势，本文进一步引入耦合度模型。因此，在式(4)的基础上进一步构造城市建设用地各分项用地相互匹配的系统耦合度模型^[10]，以衡量城市建设用地各分项用地的匹配协调发展程度。其计算公式为：

$$C(k)=\frac{1}{m\times n}\sum_{i=1}^m\sum_{j=1}^nr_{ij}(k)$$

(5)

3 结果与分析

2002—2012 年盐城市的建设用地和各分项用地的碳排放量均呈现出上升趋势(表 2)，其中建设用地总排放量由 2002 年的 571.98 万 t 增加到 2012 年的 1 196.94 万 t，增加了 624.96 万 t，年均增长率为 9.93%；居住用地总排放量由 2002 年的 56.07 万 t 增加到 2012 年的 147.13 万 t，增加了 91.06 万 t，年均增长率为 14.76%；工业用地总排放量由 2002 年的 275.89 万 t 增加到 2012 年的 564.96 万 t，增加了 289.07 万 t，年均增长率为 9.53%；商服用地总排放量由 2002 年的 6.55 万 t 增加到 2012 年的 27.62 万 t，增加了 21.07 万 t，年均增长率为 29.24%，增速最快；交通用地总排放量由 2002 年的 233.47 万 t 增加到 2012 年的 457.23 万 t，增加了 289.07 万 t，年均增长率为 8.71%，增速较慢，工业用地的碳排放占建设用地总排放量超过 50%，是第一大排放源，交通用地的碳排放占建设用地总排放量为 30%~40%，是第二大排放源，两者之和超过 80%，虽然居住用地和商服用地碳排放量占比例较小，但近年来增长迅速，其引发的环境效应不容忽视。

根据表 2 中提供的数据结合公式(2)，以 2002 年为起始年，计算城市建设用地各分项用地的历年映射量，再求出各行各列的极大值和极小值后，结合公式(3)和(4)，计算城市建设用地关联度系数(表 3 和表 4)。

从表 4 可以看出，盐城市城市建设用地中的居住用地低碳利用、工业用地低碳利用、商服用地低碳利用以及交通用地低碳利用这四大构成要素之间的灰色关联度全都大于设定区分度 0.5（最小值为 0.585 6），这说明在低碳经济视角下，盐城市城市土地利用各构成要素之间存在着不同于简单因果关系的非线性联系，即具有相关性、非均匀性、不可逆性等特征。从表 4 还可以发现，工业用地—交通用地、居住用地—工业用地构成要素之间的灰色交互关联度相对较大，这说明三者之间的互相促进和互为保障的作用机制最为明显。

表 2 2002—2012 年盐城市建设用地及各项用地碳排放量

年份	建设用地/ km ²	建设用地碳 排放/10 ⁴ t	居住用地/ 10 ⁴ t	工业用地/ 10 ⁴ t	商服用地/ 10 ⁴ t	交通用地/ 10 ⁴ t
2002	213.77	571.98	56.07	275.89	6.55	233.47
2003	219.81	581.28	58.19	279.51	7.70	235.88
2004	224.36	587.32	60.85	280.71	9.43	236.33
2005	231.09	617.73	69.65	281.68	9.77	256.63
2006	235.44	749.29	72.89	342.43	10.71	323.26
2007	239.08	872.27	77.81	409.09	12.93	372.44
2008	247.64	917.59	95.81	445.03	16.02	360.73
2009	251.67	1034.85	102.12	498.80	19.27	414.66
2010	263.81	1104.42	128.67	535.64	21.29	418.82
2011	272.33	1119.11	135.69	527.10	22.18	434.14
2012	279.81	1196.94	147.13	564.96	27.62	457.23

表 3 2002—2012 年盐城市分项用地灰色关联度

年份	居住用地			工业用地			商服用地			交通用地		
	r ₁₂	r ₁₃	r ₁₄	r ₂₁	r ₂₃	r ₂₄	r ₃₁	r ₃₂	r ₃₄	r ₄₁	r ₄₂	r ₄₃
2003	0.9861	0.8667	0.9828	0.9803	0.8720	1.0000	1.0000	0.9809	0.9788	0.9787	1.0000	0.8745
2004	0.9369	0.7035	0.9313	0.9436	0.7217	0.9978	0.8540	0.8167	0.8140	0.9416	0.9979	0.7272
2005	0.7957	0.7747	0.8619	0.8328	0.6996	0.9352	0.9196	0.7924	0.8331	0.8898	0.9376	0.7444
2006	0.9468	0.7151	0.9190	0.9510	0.7351	0.8855	0.8649	0.8315	0.9179	0.9326	0.8895	0.8201
2007	0.9082	0.5858	0.8065	0.9218	0.6904	0.9084	0.7389	0.7823	0.8406	0.8469	0.9117	0.7511
2008	0.9076	0.5280	0.8433	0.9213	0.5672	0.9434	0.6790	0.6459	0.6243	0.8756	0.9456	0.5578
2009	1.0000	0.4222	0.9621	0.9904	0.4901	0.9740	0.5631	0.5598	0.5520	0.9639	0.9750	0.4932
2010	0.7042	0.4622	0.6241	0.7563	0.4545	0.8825	0.6080	0.5198	0.4902	0.6945	0.8866	0.4379
2011	0.6200	0.4593	0.5967	0.6822	0.4248	0.9575	0.6047	0.4865	0.4771	0.6700	0.9591	0.4263
2012	0.5898	0.3388	0.5537	0.6547	0.3342	0.9263	0.4654	0.3841	0.3740	0.6308	0.9290	0.3342
平均值	0.8395	0.5856	0.8081	0.8634	0.5989	0.9411	0.7298	0.6800	0.6902	0.8424	0.9432	0.6166

表 4 2002—2012 年盐城市分项用地之间关联度分析

不同用地	居住用地	工业用地	商服用地	交通用地
居住用地	1.0000	0.8395	0.5856	0.8081
工业用地	0.8634	1.0000	0.5989	0.9411
商服用地	0.7298	0.6800	1.0000	0.6902
交通用地	0.8424	0.9432	0.6166	1.0000

利用公式(5)计算得到盐城市 2003—2012 年城市建设用地各分项用地的协调发展程度(图 1),各分项用地之间的协调发展程度呈逐年下降趋势,其中居住—工业用地的协调度由 2003 年的 0.983 2 下降到 2012 年的 0.622 3,减少了 0.360 9,变化幅度为 36.7%;居住—商服用地的协调度由 2003 年的 0.933 4 减少到 2012 年的 0.402 1,减少了 0.531 3,变化幅度为 56.9%;居住—交通用地的协调度由 2003 年的 0.980 7 变化到 2012 年的 0.592 2,减少了 0.388 5,变化幅度为 39.6%;工业—商服用地的协调度由 2003 年的 0.926 5 跌到 2012 年的 0.359 2,减少了 0.567 3,变化幅度为 61.2%;工业—交通用地的协调度由 2003 年的 1.000 微调到 2012 年的 0.927 6,变化幅度较小,减少了 0.072 4,变化幅度为

7.2%;商服—交通用地的协调度由 2003 年的 0.926 7 下降到 2012 年的 0.354 1,减少了 0.572 6,变化幅度为 61.8%。说明盐城市在城市建设用地的发展过程中,用地之间的矛盾越来越凸显。

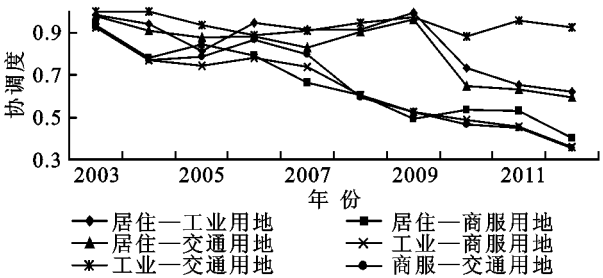
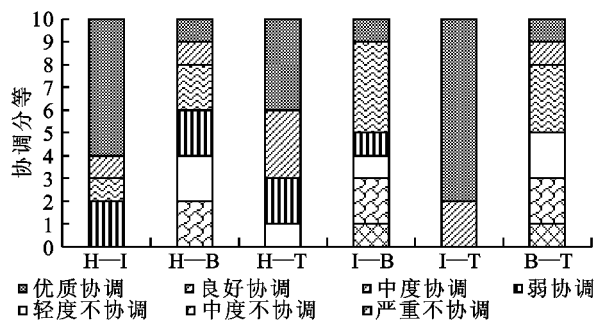


图 1 2002—2012 年盐城市分项用地之间协调度分析

目前系统之间的耦合协调度等级划分尚无统一的标准,参考前人的研究成果^[11],采用目前国际性组织普遍采纳的系统协调度评价标准(即:严重不协调,0≤C≤0.4;中度不协调,0.4≤C≤0.5;轻度不协调,0.5≤C≤0.6;弱协调,0.6≤C≤0.7;中度协调,0.7≤C≤0.8;良好协调,0.8≤C≤0.9;优质协调,0.9≤C≤1.0)。根据前面的计算结果,对盐城市分项用地的协调度进行分等(图 2)。



注: H 为居住用地; I 为工业用地; B 为商服用地; T 为交通用地

图2 2002—2012年盐城市分项用地之间协调分等

居住—工业用地协调发展程度中,优质协调、良好协调、中度协调和弱协调等级分别占60%,10%,10%和20%;居住—商服用地协调发展程度中,优质协调、良好协调、中度协调、弱协调、轻度不协调和中度不协调等级分别占10%,10%,20%,20%,20%和20%;居住—交通用地协调发展程度中,优质协调、良好协调、弱协调、轻度不协调等级分别占40%,30%,20%和10%;工业—商服用地协调发展程度中,优质协调、中度协调、弱协调、轻度不协调、中度不协调和严重不协调等级分别占10%,40%,10%,10%,20%和10%;工业—交通用地协调发展程度中,优质协调、良好协调等级分别占80%和20%;商服—交通用地协调发展程度中,优质协调、良好协调、中度协调、轻度不协调、中度不协调和严重不协调等级分别占10%,10%,30%,20%,20%和10%。整体来说,优质协调、良好协调、中度协调、弱协调、轻度不协调、中度不协调和严重不协调等级分别占35.0%,13.3%,16.7%,11.7%,10.0%和10.0%,优质协调、良好协调占50%左右。工业—交通用地协调发展较好,这与盐城市最近几年大力发展公共交通(如BRT),工业功能分区逐渐科学化密不可分。

4 结论与建议

4.1 结论

本文以灰色关联度为研究手段对盐城市2002—2012年的城市建设用地及各分项用地的碳排放进行评价,并采用系统之间的耦合协调度公式测度了各分项用地之间协调发展等级,结果表明,盐城市城市土地利用各构成要素之间存在着不同于简单因果关系的非线性联系,即具有相关性、非均匀性、不可逆性等特征;盐城市2003—2012年城市建设用地各分项用地的协调发展程度呈逐年下降趋势,而且系统间存在着严重的不平衡性,说明盐城市在城市建设用地的发展过程中,用地之间的矛盾越来越突出,在各分项用地协调发展等级研究中,各系统间发展差异也较大。

总体呈优良等级,优质协调、良好协调占总评价50%左右。其中工业—交通用地协调发展较好,这也为其他系统间的协调发展提供决策参考依据。

4.2 建议

在城市未来发展中,应注重低碳经济发展、节约型城市与产业结构调整相结合,运用协调发展理念大力发展新能源、高新技术产业;限制建设用地过度盲目扩展,集约节约利用建设用地,盘活存量用地,走现有建设用地效率提高的有效途径(如立体化用地、提高建筑容积率、功能科学规划和合理分区等);合理规划商业服务用地,分流盐城市老城区商业服务设施的用地,在城南和城东新建商业中心综合体,利用立体空间发展地下商业设施,不断提高能源利用技术,提高能源利用效率,优化能源结构,减少单位建设用地的碳排放量,居住用地实行高层集中居住,交通用地走智能化、网络化的立体体系发展道路,实行公共交通便利发展的方法,按照低碳经济理念,优化和调整土地利用结构,确保获得社会、经济和生态综合效益;探索碳排放的补偿标准,实施碳排放生态补偿制度,以实现区域碳减排目标。

参考文献:

- [1] 顾朝林,谭纵波,韩春强.气候变化与低碳城市规划[M].南京:东南大学出版社,2009.
- [2] 顾朝林,谭纵波,刘宛,等.气候变化、碳排放与低碳城市规划研究进展[J].城市规划学刊,2009(3):38-45.
- [3] Treffers D J, Faaij A P C, Parkman S J, et al. Exploring the possibilities for setting up sustainable energy systems for the long term: two visions for the Dutch energy system in 2050[J]. Energy Policy, 2005, 33(13): 1723-1743.
- [4] 汪明霞,朱志锋,刘凡,等.江汉平原不同土地利用方式下农田土壤有机碳组成特点[J].水土保持研究,2012, 19(6):24-28.
- [5] 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, 27(5):723-734.
- [6] 杜官印.建设用地对碳排放的影响关系研究[J].中国土地科学,2010,24(5):32-36.
- [7] 刘伟玲,张林波,龚斌,等.深圳市土地利用碳排放环境库兹涅茨曲线协整分析[J].水土保持研究,2013, 20(4):172-178.
- [8] Pachauri P K. IPCC Fourth Assessment Report[R]// Intergovernmental Panel on Climate Change. Spain: Valencia, 2007.
- [9] 汪友结.城市土地低碳利用的外部现状描述、内部静态测度及动态协调控制[D].杭州:浙江大学,2011.
- [10] 刘耀彬,宋学锋.区域城市化与生态环境耦合性分析:以江苏省为例[J].中国矿业大学学报,2006,3(2):182-187.