

DOI: 10.5846/stxb201812152736

曹威威, 孙才志, 杨璇业, 崔莹. 基于能值生态足迹的长山群岛人地关系分析. 生态学报, 2020, 40(1): 89-99.

Cao W W, Sun C Z, Yang X Y, Cui Y. Analysis of man-land relationship in Changshan Archipelago based on emergy ecological footprint. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(1): 89-99.

基于能值生态足迹的长山群岛人地关系分析

曹威威^{1,2}, 孙才志^{1,3,*}, 杨璇业¹, 崔莹⁴

1 辽宁师范大学城市与环境学院, 大连 116029

2 海南大学应用科技学院, 儋州 571737

3 辽宁师范大学海洋经济与可持续发展研究中心, 大连 116029

4 大连海洋大学马克思主义学院, 大连 116023

摘要:为探究长山群岛人地关系变化特征以及人类活动对海岛资源环境的影响,利用改进能值生态足迹模型,分析了1996—2016年长山群岛人地关系供需平衡变化情况,并利用脱钩效应模型探讨了海岛经济发展与能值生态足迹之间的关系。结果表明:(1)经济发展速度和海岛居民生活水平的提高使长山群岛能值生态足迹增长,经济发展和城镇扩张导致能值生态承载力不断下降;(2)长山群岛人地关系始终处于生态赤字状态并呈扩大趋势,但各账户生态赤字表征涵义不同,应区别对待;(3)长山群岛能值生态足迹与GDP之间经历了“扩张连接-弱脱钩-扩张连接-弱脱钩-强脱钩”的转变过程,经济发展速度、产业结构和增长方式是脱钩状态变化的重要因素。(4)随着产业重心的转移,长山群岛能值生态足迹的影响从海洋转向岛陆。

关键词:海岛人地关系;能值生态足迹;脱钩效应;长山群岛

Analysis of man-land relationship in Changshan Archipelago based on emergy ecological footprint

CAO Weiwei^{1,2}, SUN Caizhi^{1,3,*}, YANG Xuanye¹, CUI Ying⁴

1 College of Urban and Environment, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China

2 College of Applied Science and Technology, Hainan University, Danzhou 571737, China

3 Center for Studies of Marine Economy and Sustainable Development, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China

4 School of Marxism, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China

Abstract: The purpose of this study is to investigate the modification characteristics of the island man-land relationship and the influences of human activities on the island resources and environments in 1996—2016 of Changshan Archipelago. We analyzed the changes of balance between supply of resource environment and demand of human by the improved emergy ecological footprint model. We also examined the relationship between the development of coastal economy and emergy ecological footprint by the decoupling elasticity equation utilizing available statistical data of Changshan Archipelago from 1996 to 2016. The results showed that: (1) the rapid development of economy and the improvement of living standards promoted the swift growth of emergy ecological footprint in Changshan Archipelago. The economic development and urban expansion led to the occupation of land resources and destruction of environment, which reduced the ecological carrying capacity. (2) The overexploitation of marine fishery resources and the growth of fossil energy consumption made the relationship between human and environment in Changshan Archipelago to remain in the state of ecological deficit and show a trend of expansion. Various ecological footprint accounts denoted different meanings that required differential treatments in

基金项目:教育部人文社科重点研究基地重大课题(16JJD790021);2016年度辽宁省马克思主义学院重大研究方向课题

收稿日期:2018-12-15; 网络出版日期:2019-10-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: suncaizhi1970@163.com

accordance with specific conditions. (3) The decoupling effect between energy ecological footprint and GDP in Changshan Archipelago mainly went through the transition process successively by expansion connection, weak decoupling, expansion connection, weak decoupling, and strong decoupling. The speed of economic development, industrial structure, and economic growth pattern were important factors influencing shift of the decoupling between economic development and energy ecological footprint. (4) The energy ecological footprint transferred its influence to the island from the ocean.

Key Words: island man-land relationship; energy ecological footprint; decoupling effect; Changshan Archipelago

从人类社会初期一直到后工业化社会时期,人地关系在人类对资源环境要素开发利用方式转变过程中不断演进,使区域可持续发展及人地关系机理调控研究被社会各界高度关注^[1-5]。海岛作为独立的自然、社会综合体,脆弱的生态环境和独特的生态系统,使其成为人地关系研究的典型代表^[6-7]。国外学者早在 20 世纪 60 年代就已经开始关注和研究海岛人地关系^[8],研究内容主要集中在人类活动对海岛生态系统的影响^[9]、人类活动干预下的海岛可持续发展^[10]、海岛资源环境承载力^[11]、人类与海岛资源环境的交互作用^[12]等方面。国内海岛人地关系理论研究在 20 世纪 80 年代中后期逐步展开,研究内容包括人类对海岛资源开发利用^[13-14]、海岛环境保护^[15]、海岛生态系统服务价值与生态安全评价^[16]、海岛生态整治修复与管理^[17]等。从国内外研究来看,海岛人地关系研究注重人类社会系统与海岛资源环境系统关系的探讨,但对海岛人地关系演化机制、人地关系系统要素及其相互关系、作用机制等方面的研究不够系统。此外,多数研究侧重点在于人类与海洋的地域关系。在海岛型人地关系地域系统中,人类与海洋、人类与陆地和海洋与陆地之间构成了生态系统最基本的相互关系^[18]。因此,海岛型人地关系地域系统不能简单以陆域或海域视角研究,而应综合考虑“人-陆-海”三者之间关系。

长山群岛自 2009 年实施对外开放政策以后,经济持续快速发展,尤其是以渔业为主的第一产业和以旅游业为主的第三产业发展速度明显加快。由于岛陆资源不足和海洋渔业资源过度开发,海岛生态环境日趋脆弱,资源环境压力持续增加^[19]。因此,有必要对长山群岛人地关系展开系统评价。

在人地关系研究方法中,能值生态足迹模型将能值分析和生态足迹模型结合,克服了传统生态足迹模型存在的缺陷,能够更全面、准确地评价人类经济发展的资源消耗和环境影响^[20]。20 世纪 90 年代“脱钩”概念的提出为以经济发展与资源环境之间的关联性为主要内容的人地关系研究提供了理论方法^[21]。因此,本文针对长山群岛资源环境特点,改进能值生态足迹模型,并利用脱钩效应模型,分析 1996—2016 年长山群岛人地关系的变化特征,探究人类活动对海岛资源环境的影响规律,以期为系统研究海岛型人地关系演化机制和海岛型人地关系地域系统要素的交互影响机制提供理论依据,并为长山群岛人地关系可持续发展提供理论指导。

1 研究区与数据

1.1 研究区概况

长山群岛地处辽东半岛东侧、黄海北部海域,是我国地理分布最北的群岛。长山群岛分外长山群岛、里长山群岛和石城群岛三部分(图 1),岛陆面积 153 km²,海域面积 7720 km²^[22]。外长山群岛和里长山群岛行政归属辽宁省大连市长海县管辖,辖大长山岛镇、獐子岛镇、广鹿岛镇、小长山岛镇、海洋岛镇等五镇;石城群岛归属大连市庄河市(县级)管辖,辖王家镇、石城乡等两个乡镇^[23]。考虑数据可得性,本研究区为外长山群岛和里长山群岛所在的长海县。近年来,长海县经济快速发展,产业结构有所优化,地区生产总值从 1996 年 6.58 亿元增长到 2016 年 84.2 亿元(以 1990 年不变价计算),三次产业构成比例由 2006 年最高 75:10:14,调整到 2016 年 55:6:39;但受海岛区位影响,人口数量呈倒“V”形变化趋势,1996—2002 年基本保持增长态势,到 2002 年达到历史最高水平,为 8.95 万人,其后开始持续下降,2016 年降至 7.19 万人(图 2)。

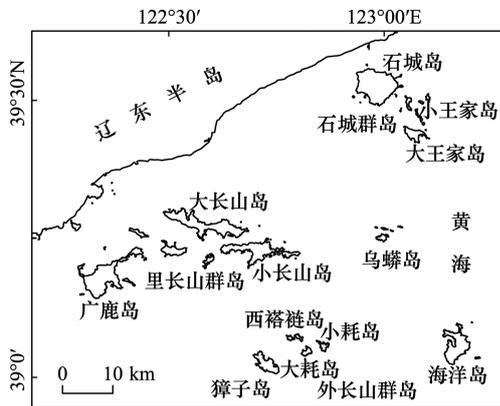


图1 长山群岛区位图

Fig.1 Changshan Archipelago

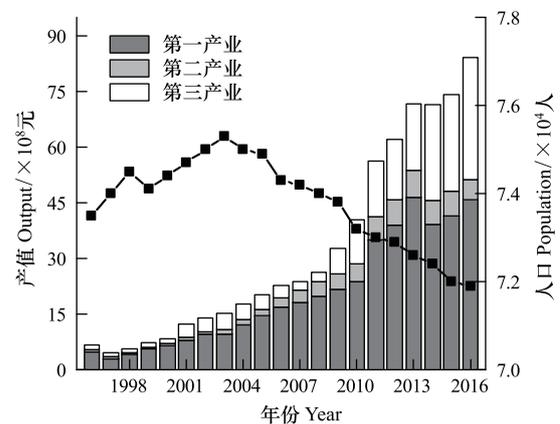


图2 1996—2016年长山群岛产业和人口变化

Fig. 2 Industrial and population change in Changshan Archipelago from 1996 to 2016

1.2 数据来源与处理

研究数据来自《长海县史志资料》(1996—2002年)和《长海统计年鉴》(2003—2016年)。其中,1996—2016年GDP数据均以1990年不变价换算。长山群岛海域初级生产力数据源于2009年国家海洋环境监测中心《长海县海域养殖容量与增殖潜力调查研究报告》^[24]。各项目能量由项目实际数量×能量折算系数计算得来,能量折算系数参考文献^[25-27]。次级加工产品数据为生产数据,表征工业生产对生物原料的消费,通过转换因子将次级加工产品量转换为生产该产品所需要的主要原材料数量之后,再计算其能值和生态足迹,转换因子参考文献^[26-27]。各消费项目能值由项目能量×能值转化率计算得来。水产品由人类通过捕捞和养殖活动从自然界获取,因此用水产品产量数据表示人类对渔业资源的消费量。

2 研究方法

2.1 账户构建

长山群岛产业结构以第一、三产业为主,第二产业较为薄弱。在第一产业中,渔业占主导地位,2017年农林牧渔业产值118.8亿元,其中渔业达101.8亿元。长山群岛能源短缺,电力、煤炭、石油、天然气消费,主要依赖岛外输入。受海岛区位条件限制,海岛居民生活消费结构较为单一,粮食、蔬菜、水果、肉、蛋、奶类等初级农业产品主要由岛内农业生产和岛外市场调入,食用油、糕点、酒类、糖类等次级加工产品主要由岛外供给。因此,为清晰反映海岛人地关系地域系统要素间的作用关系,从人类活动消费和资源环境供给两个端口构建包含生物产品账户、能源账户、海洋账户在内的生态足迹账户体系(图3)。根据生态足迹理论,结合长山群岛实际情况,将其生物生产性土地分为耕地、林地、园地和水域四类。长山群岛生物产品账户中,肉、蛋、奶等畜牧产品以农畜结合和工业化饲养方式生产,饲料主要来自粮食类作物,因此将其归为耕地;生态足迹中并没有为吸收化石能源燃烧所排放CO₂的专门用地^[27],根据生态足迹理论有关化石能源用地的定义和生物生产用地的“空间互斥假设”^[28],本研究将化石能源消费用地归为林地,与资源环境供给端的林地对应;长山群岛园地主要为水果种植用地,林地生态保护用地,二者有明显界线,故将园地作为独立生物生产性土地。在生态足迹账户体系中,生物产品账户主要为生活性消费,能源账户和海洋账户虽然也为居民生活提供所需能源产品和水产品,但为经济发展提供的生产性原材料所占比重更高,因此将二者归为生产性消费。

2.2 能值生态足迹模型

(1)基于传统生态足迹理论中生态承载力计算方法,对能值生态承载力方法进行改进^[27,29]。海洋账户能值生态承载力由海域渔业资源最大可持续供给量决定,公式为:

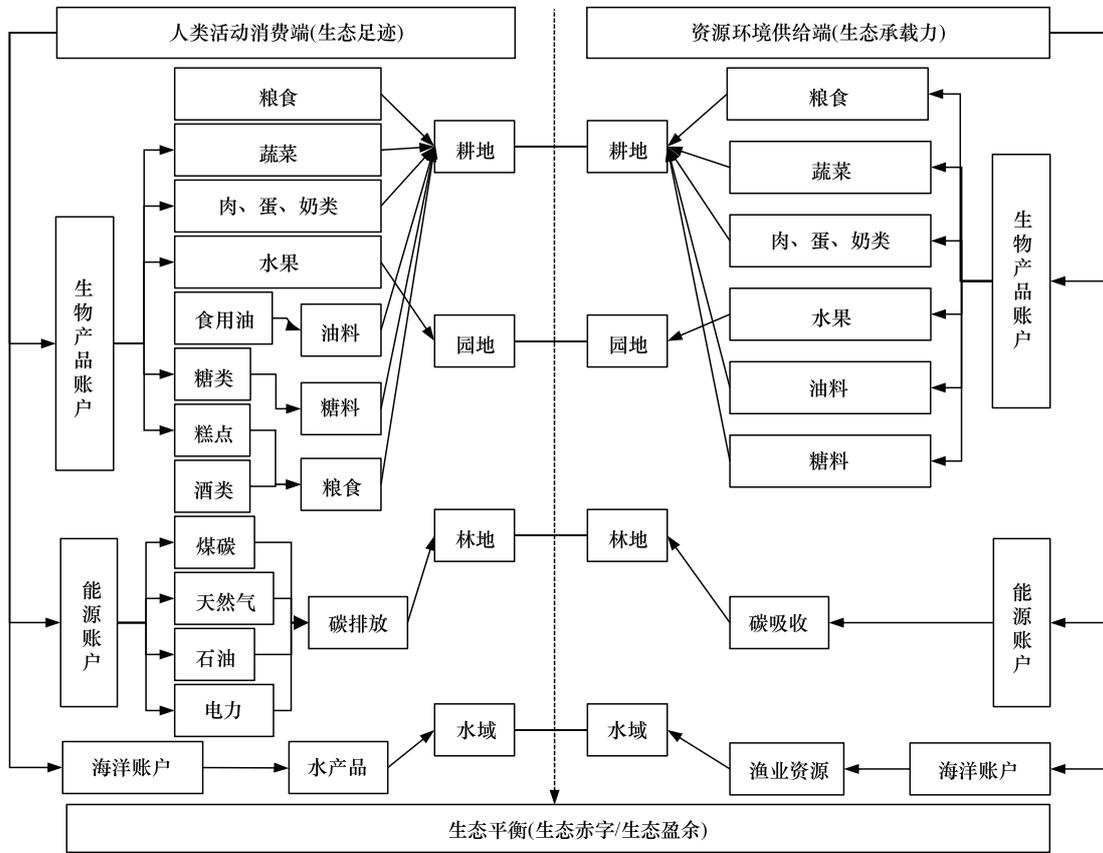


图3 人地关系地域系统账户体系

Fig.3 Account system of man-land relationship

$$EEC_{\text{海洋}} = \frac{EP}{D_1} = \frac{MSY \times Tr}{D_1} \tag{1}$$

式中, $EEC_{\text{海洋}}$ 表示海洋账户能值生态承载力; EP 为区域所能提供的海域渔业资源能值; D_1 为全球能值密度, 基于 9.44×10^{24} sej/a 的全球能值基准计算 D_1 为 3.10×10^{14} sej/hm²; Tr 为能值转化率(单位为 sej/J); MSY 为最大可持续开发量, 采用营养动态模型估算, 计算公式:

$$MSY = 0.5 \times BP = 0.5 \times B \times E^{TL} \tag{2}$$

式中, BP 为渔业资源年生产力, 即生物生产量; B 为初级生产量(湿重)(初级生产量湿重 = 干重 ÷ 0.35, 100g 干重相当于 35 g 有机碳^[30]), 根据国家海洋环境监测中心调查数据, 长山群岛海域初级生产力为 78605.46 kg km⁻² a⁻¹, 由此计算初级产量为 4.95×10^6 t/a^[24]; E 为生态效率, 取 15%, TL 为海域渔获物营养级, 取 $TL = 3.0$ ^[30-31]。

能源账户能值生态承载力表示林地吸收化石能源燃烧排放的 CO₂ 能力。但是, 在能值分析方法中碳足迹的承载力不能简单以林地面积计算, 需要根据能源的碳排放系数和单位面积林地碳吸收量, 转化为单位面积林地能够承载的能源消费量。具体公式为:

$$EEC_{\text{林地}} = \frac{A_{\text{林地}} \times \alpha \times Tr}{D_1} \tag{3}$$

式中, $EEC_{\text{林地}}$ 为林地承载力; $A_{\text{林地}}$ 为林地面积; α 为单位面积林地承载的能源消费量(折标煤), 按照原煤碳排放因子 26 tC/TJ, 1 t 原煤能量为 0.0293 TJ, 根据相关研究, 中国森林植被碳吸收量为 1.04 tC hm⁻² a⁻¹, 则长山群岛 1 hm² 林地能够吸收 $1.04 / (26 \times 0.0293) = 1.3652$ t 标煤产生的 CO₂^[32]。

生物产品账户承载力由区域所能提供的相应土地面积决定,公式为:

$$EEC_{\text{生物}} = \sum_{i=1}^n A_i \times \frac{D_2}{D_1} \times 0.88 \quad (4)$$

式中, A_i 为*i*类项目的实际土地面积; D_2 为研究区能值密度,其计算公式为:

$$D_2 = \frac{Em_{\max(a,b,c,d,e)} + Em_f + Em_g}{S} \quad (5)$$

式中, a, b, c, d, e, f, g 分别代表太阳辐射能、风能、雨水化学能、雨水势能、波浪能、地球旋转能和潮汐能(表1)。太阳辐射能、风能、雨水化学能、雨水势能、波浪能由太阳辐射作用产生,为了避免重复计算,取其中最大值。地球旋转能和潮汐能分别由地球内能和地月日引力引起,需加总计算。

(2)能值生态足迹计算公式为:

$$EEF = \sum_{i=1}^n \frac{EMc_i}{D_1} \quad (6)$$

式中,EEF 为能值生态足迹; EMc_i 为第*i*类消费项目能值。

表 1 长山群岛 1996—2016 年平均可更新资源能值

Table 1 Average renewable resource energy of Changshan Archipelago 1996—2016

项目 Item	能值转化率/(sej/J) Transformity	长山群岛 Changshan Archipelago	
		能量 Energy/J	太阳能值 Solar energy/sej
太阳辐射能 Solar radiation energy	1	1.09×10^{18}	1.09×10^{18}
风能 Wind energy	1.50×10^3	5.28×10^{13}	7.92×10^{16}
雨水化学能 Rain chemical energy	1.54×10^4	7.04×10^{16}	1.08×10^{21}
雨水势能 Rain potential energy	8.89×10^3	3.31×10^{16}	2.95×10^{20}
波浪能 Wave energy	2.59×10^4	3.48×10^{15}	9.01×10^{19}
地球旋转势能 Geo-potential energy	2.90×10^4	1.72×10^{14}	4.99×10^{18}
潮汐能 Tidal energy	2.36×10^4	1.20×10^{14}	2.83×10^{18}
合计 Total	—	—	1.09×10^{21}
土地面积 Land area/hm ²	—	—	11864
能值密度 Energy density/(sej/hm ²)	—	—	9.20×10^{16}

“—”代表无数据

(3)能值生态盈余公式为:

$$EER = EEC - EEF \quad (7)$$

式中, EER 为能值生态盈余。当 $EEC > EEF$ 时, EER 为正数,表示人地关系地域系统处于可持续状态;当 $EEC < EEF$ 时, EER 为负数,亦称能值生态赤字。表示人地关系地域系统处于不可持续状态;当 $EEC = EEF$ 时,称为生态平衡,表示人地关系地域系统处于弱可持续状态。能值生态盈余的大小可用来表示生态压力的大小,赤字越大,生态压力越大。

2.3 人地关系脱钩模型

能值生态足迹模型仅衡量了人类活动对资源环境占用与生态系统供给能力间的平衡关系,但难以衡量“人”与“地”之间的复杂关系^[33]。因此,运用脱钩理论^[34],构建长山群岛经济发展与能值生态足迹脱钩模型,对其二者关系进行定量评价,公式为:

$$D_i = \frac{\Delta E}{\Delta G} = \frac{(E_{\text{end}} - E_{\text{start}})/E_{\text{start}}}{G_{\text{end}} - G_{\text{start}}/G_{\text{start}}} \quad (8)$$

式中, D_i 为第*i*时期的脱钩指数; ΔE 为能值生态足迹变化率,表征资源环境压力; E_{start} 、 E_{end} 分别为第*i*时期始年和末年能值生态足迹, ΔG 为 GDP 的变化率, G_{start} 、 G_{end} 分别表示第*i*时期始年和末年 GDP 值。脱钩状态及其含义见表 2^[35-36]。

表 2 弹性脱钩指数划分标准
Table 2 Standards of decoupling degrees

项目 Item	ΔE	ΔG	D_i	脱钩状态 Decoupling	含义 Meaning
负脱钩 Negative decoupling	>0	>0	$D_i > 1.2$	扩张负脱钩	能值生态足迹增长速度大于经济增长速度
	>0	<0	$D_i < 0$	强负脱钩	经济衰退, 能值生态足迹依然增加
	<0	<0	$0.8 \geq D_i > 0$	弱负脱钩	经济衰退, 能值生态足迹缓慢下降
脱钩 Decoupling	>0	>0	$0.8 \geq D_i > 0$	弱脱钩	经济增长速度大于能值生态足迹增长速度
	<0	>0	$D_i < 0$	强脱钩	经济增长, 能值生态足迹下降
	<0	<0	$D_i > 1.2$	衰退脱钩	经济衰退, 能值生态足迹大幅下降
连接 Connection	>0	>0	$1.2 \geq D_i > 0.8$	扩张连接	经济与能值生态足迹同步增长
	<0	<0	$1.2 \geq D_i > 0.8$	衰退连接	经济与能值生态足迹同步下降

ΔE 为能值生态足迹变化率 Change rate of energy ecological footprint; ΔG 为 GDP 的变化率 Change rate Gross Domestic Product; D_i 为第 i 时期的脱钩指数 Decoupling index of period i ;

3 结果

3.1 能值生态足迹模型计算结果

长山群岛能值生态承载力呈下降趋势, 2008 年最低, 较 1996 年下降了 22.03%; 2009—2016 年基本保持稳定, 平均为 $8.31 \times 10^5 \text{ hm}^2$ (图 4)。1996—2016 年长山群岛能值生态足迹大幅增长, 尤其是 2009 年以后, 增长速度明显加快, 2013 年达到最高, 较 1996 年增长了 256.46%, 其后有所下降, 2016 年降到 $2.78 \times 10^7 \text{ hm}^2$ (图 4)。长山群岛能值生态赤字不断扩大, 1996 年生态赤字为 $8.33 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 2016 年增加到 $2.70 \times 10^7 \text{ hm}^2$, 增幅达到 224.13% (图 4)。图 5 反映了耕地、园地、林地、水域等四类生物生产性土地的能值生态承载力、能值生态足迹和能值生态盈余及其人均指标变化状况, 结合图 2 可知, 长山群岛近年来人口出现缓慢下降, 但总体保持平稳, 因此其人均指标变化趋势和总量变化基本保持一致。

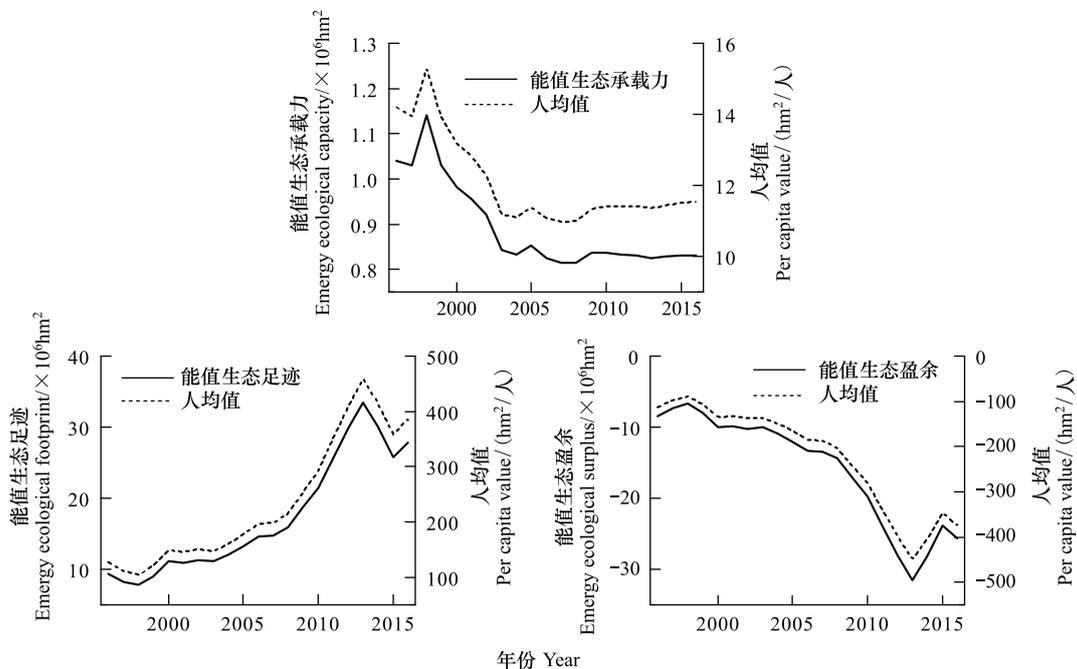


图 4 长山群岛能值生态承载力、生态足迹、生态赤字/盈余动态变化

Fig.4 Change of energy ecological capacity, ecological footprint and ecological reserve in Changshan Archipelago

3.2 海岛人地关系脱钩效应

长山群岛人地关系脱钩效应表示一时间段内始年和末年之间的海岛生态占用(以能值生态足迹表征)与海岛经济发展(以 GDP 表征)之间的弹性关系,为保证研究期内各时间段脱钩效应测度的连续性,根据公式(8),以三年为期、以第 $i-1$ 期的末年为第 i 期始年,将研究期划分为 10 期(T_1-T_{10}),计算得到长山群岛能值生态足迹与 GDP 的脱钩指数和各时间段脱钩状态以及各类型的生物生产性土地占用与 GDP 之间脱钩状态(表 3、4)。

表 3 1996—2016 年长山群岛能值生态足迹与 GDP 脱钩效应

Table 3 Decoupling effect between energy ecological footprint and GDP for Changshan Archipelago

序号 Period	时段/年 Time/Year	ΔE	ΔG	D_i	脱钩状态 Decoupling
T_1	1996—1998	-0.17	-0.19	0.87	衰退连接
T_2	1998—2000	0.42	0.46	0.91	扩张连接
T_3	2000—2002	0.02	0.23	0.07	弱脱钩
T_4	2002—2004	0.07	0.37	0.20	弱脱钩
T_5	2004—2006	0.21	0.37	0.58	弱脱钩
T_6	2006—2008	0.09	0.50	0.17	弱脱钩
T_7	2008—2010	0.35	0.40	0.86	扩张连接
T_8	2010—2012	0.40	0.45	0.88	扩张连接
T_9	2012—2014	0.01	0.16	0.05	弱脱钩
T_{10}	2014—2016	-0.08	0.02	-3.41	强脱钩

T 为时间段 Time

表 4 1996—2016 年不同土地能值生态足迹与 GDP 脱钩状态

Table 4 Decoupling index between Bio-productive Lands and GDP for Changshan Archipelago

序号 Period	时段/年 Time/Year	耕地 Cropland	园地 Garden plot	林地 Forest area	水域 Fishing grounds
T_1	1996—1998	强负脱钩	强负脱钩	强负脱钩	衰退连接
T_2	1998—2000	强脱钩	弱脱钩	弱脱钩	扩张连接
T_3	2000—2002	强脱钩	强脱钩	扩张负脱钩	弱脱钩
T_4	2002—2004	弱脱钩	强脱钩	弱脱钩	弱脱钩
T_5	2004—2006	强脱钩	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩
T_6	2006—2008	强脱钩	弱脱钩	扩张连接	弱脱钩
T_7	2008—2010	强脱钩	强脱钩	弱脱钩	扩张连接
T_8	2010—2012	强脱钩	强脱钩	弱脱钩	扩张连接
T_9	2012—2014	扩张连接	扩张负脱钩	弱脱钩	弱脱钩
T_{10}	2014—2016	扩张负脱钩	扩张负脱钩	扩张负脱钩	强脱钩

4 讨论

4.1 长山群岛人地关系供需平衡变化

一般而言,人口增长以及经济发展带来的生活性资料消费和能源消耗是生态足迹增加的主要原因^[37]。但长山群岛作为海岛型人地关系地域系统,产业结构较为单一,岛内居民生活消费以粮食、蔬菜、肉蛋奶类等基础性产品为主,且近年来人口数量持续下降。随着长山群岛经济的发展,居民的生活消费结构发生较大变化,发展性物质消费总量和人均消费水平均有较大幅度提高,粮食、蔬菜等基本性物质消费总量和人均消费数量呈下降趋势,总体上耕地和园地足迹总量和人均足迹水平在 2009 年后出现上升趋势。作为经济发展的动力基础和物质条件,能源账户和海洋账户足迹变化显著。尤其是长山群岛对外开放以后,渔业资源和能源的

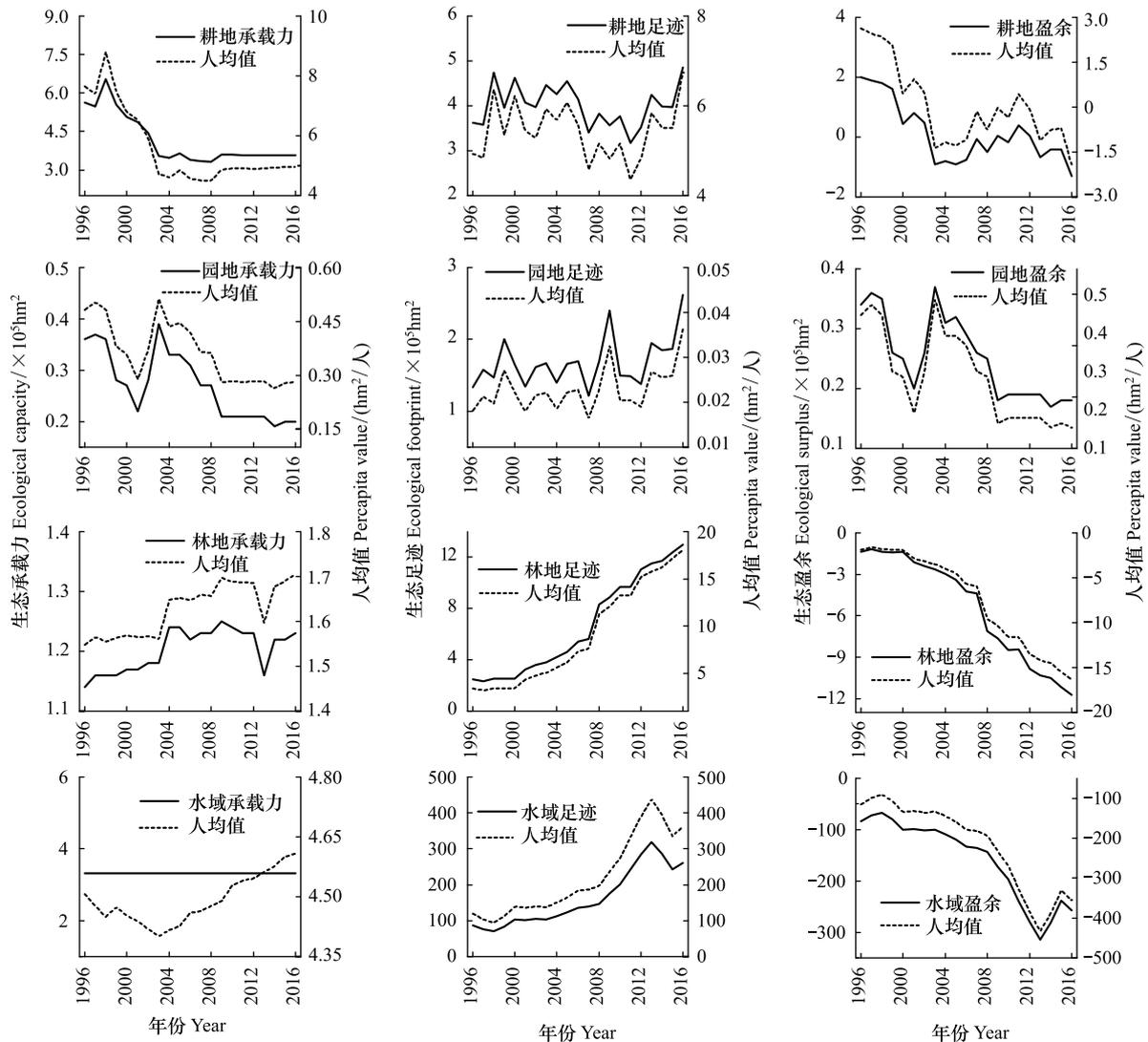


图5 长山群岛各类生物生产性土地能值生态承载力、生态足迹、生态盈余变化

Fig.5 Emergy ecological capacity, footprint and reserve of various biological productive areas in Changshan Archipelago

消费快速增长。自然环境系统在供给人类消费需求方面具有有限性^[38],过度捕捞使渔业资源环境受到破坏,限制了海洋渔业发展,使得海洋账户足迹在2013年以后呈现下降趋势。

生态系统为人类提供了赖以生存的物质基础,其承载能力受到自身属性和外部环境的双重影响。学者认为,经济发展和城市扩张侵占了生态系统资源,使生态承载力下降^[39]。近年来,长山群岛经济快速发展和产业结构调整,海岛城镇化加快推进,使大量耕地资源被占用,园地面积缩减,导致岛陆系统生态承载力下降。根据图5分析,耕地承载力变化是造成1996—2003年能值总生态承载力下降的主要原因。2004年以后随着生态环境保护的加强和产业结构调整,土地资源被占用的态势得到有效遏制,同时由于退耕还林和封山育林政策的实施,林地有一定幅度增长,长山群岛整体生态环境得到恢复,能值生态承载力得以保持稳定。

生态盈余反映了人地关系地域系统中人类活动需求与资源环境供给的平衡关系。由于对土地、能源、海洋渔业资源的过度依赖,尤其是对海洋渔业资源的长期过度开发^[40],导致长山群岛长期处于生态赤字,并呈扩大趋势。但各账户生态赤字涵义不尽相同^[41-43]。首先,生物产品账户赤字表示人口消费超过了本地生物产品供给能力,可通过贸易弥补资源短缺。长山群岛所属岛屿中,大长山岛、广鹿岛、小长山岛面积较大,耕地资源相对较多,但其他岛屿耕地资源有限,生物产品无法满足居民生活需求。因此,粮食、蔬菜、肉蛋奶类等岛

内短缺的初级农产品和酒类、食用油等岛内无法生产的次级加工产品,需要通过市场从大陆地区补给。其次,能源账户的生态赤字表示化石能源燃烧产生的 CO_2 超出本区生态系统吸收能力,其反映了地区应承担的碳排放责任。近年来,随着经济的快速发展,长山群岛能源需求加大,加上能源基础设施建设的增强,能源供给能力显著增加,使化石能源足迹大幅增加。再次,海洋账户生态赤字表示人类开发海洋渔业资源的强度超出了海域生态系统生产能力,表明渔业资源系统已经处于过度开发状态。1996—2013 年随着海洋渔业资源开发力度不断加大,海洋账户生态赤字逐步加剧;2013 年以后,由于渔业资源保护力度加强,渔业资源的捕捞强度有所下降,生态赤字缩小。

4.2 长山群岛人地关系脱钩效应变化

根据脱钩效应分析,长山群岛能值生态足迹与 GDP 之间经历了“扩张连接-弱脱钩-扩张连接-弱脱钩-强脱钩”的转变,反映了海岛经济发展从以资源环境消耗为基础的粗放型增长向以提高生产效率为动力的集约型增长的转变历程。1996—2000 年,脱钩指数表现为介于脱钩与负脱钩之间的连接状态,GDP 受第一产业变化影响出现小幅波动,与能值生态足迹同步变化。2000—2008 年,随着外部经济社会环境的快速变化,第一产业持续增长,第二、三产业有一定程度发展,能值生态足迹也相应增加,脱钩指数增大,但总体处于弱脱钩状态。这一时期主要得益于技术进步使生产效率提升,对资源依赖一定程度减弱。2008—2012 年,第一产业和第三产业快速发展,第二产业也有一定增幅,使海洋渔业资源和能源消耗增加,GDP 与能值生态足迹同步增长。2012—2014 年,以旅游业主的第三产业加速发展,海水养殖业和水产品加工业快速提升,产业结构升级,资源和能源消耗降低,能值生态足迹一定程度降低,经济对资源环境依赖减弱。2014—2016 年,由于海洋账户能值生态足迹降低,GDP 与能值生态足迹之间出现强脱钩。

从能值生态足迹与 GDP 间的脱钩效应变化来看,经济发展的速度、产业结构和增长方式对能值生态足迹强度产生影响,使各类型的生物生产性土地占用与经济增长之间表现出不同的脱钩关系。1996—2008 年,长山群岛产业体系以第一产业为主导,对化石能源和海洋渔业资源依赖较强,GDP 与林地和水域足迹表现为弱脱钩关系,而与耕地和园地足迹表现为强脱钩关系。2009 年开始第一产业持续增长,第二产业规模缩减,第三产业发展速度明显加快,第一、二产业比重下降,对化石能源和渔业资源的需求的降低使 GDP 与林地和水域足迹分别出现弱脱钩和扩张连接。2012—2016 年,由于渔业资源的衰退,促使第一产业转变增长方式,GDP 与水域由弱脱钩向强脱钩转变;以旅游业为核心的第三产业转型升级使经济发展重心从海洋转向岛陆,GDP 与耕地、园地、林地足迹出现了扩张连接、弱脱钩向扩张负脱钩的转变。

5 结论

本文通过改进能值生态足迹模型,计算了 1996—2016 年长山群岛能值生态足迹和能值生态承载力,分析了海岛人地关系供需平衡变化情况,并利用脱钩模型探讨了海岛经济发展与能值生态足迹之间的关系。结论如下:(1)1996—2016 年,经济发展速度和海岛居民生活水平的提高,加大了资源和能源的需求,使长山群岛能值生态足迹快速增长。其中,海洋渔业资源开发和化石能源利用对能值生态足迹影响最大。(2)长山群岛经济发展和城镇扩张,导致耕地和园地资源供给减少,能值生态承载力从 1996—2003 年持续下降。2004 年以后随着耕地资源和生态环境保护的加强,能值生态承载力得以保持稳定。耕地资源的减少是造成生态承载力下降的主要原因。(3)长山群岛人地关系始终处于生态赤字状态并呈扩大趋势,渔业资源过度开发是能值生态赤字的主导因素。各账户生态赤字应区别对待:生物产品账户赤字表示海岛对生物产品外部依赖的程度;能源账户赤字表示海岛应当承担的碳排放责任;海洋账户赤字表示人类过度开发海洋渔业资源的强度。(4)长山群岛 GDP 与能值生态足迹的关联性经历了“扩张连接-弱脱钩-扩张连接-弱脱钩-强脱钩”的转变过程。经济发展速度、产业结构和增长方式是影响其脱钩状态的重要因素,随着经济重心由第一产业向第三产业转移,经济增长与耕地、园地、林地间的脱钩效应转向扩张性负脱钩状态,表明产业转移使人类生态足迹的影响从海洋转向岛陆。

基于能值生态足迹模型的长山群岛人地关系供需平衡和脱钩效应变化,反映了海岛人类生产和生活活动与资源环境的关联性、海岛发展过程中人地关系的变化特征以及海岛人类活动对资源环境的影响规律,为进一步深入研究海岛型人地关系演化机制和海岛型人地关系地域系统要素交互影响机制提供了参考依据,也可作为长山群岛在科学引导海岛人类生产活动、保护海岛和海洋资源提供理论依据。但是由于缺乏污染物排放数据,污染足迹未能计入计算范畴,因此在能值生态足迹指标选取的全面性方面仍需进一步完善。此外,“海洋初级生产力不变”的假设对海洋渔业资源承载力的精确性造成一定影响,有待深化研究。

致谢: 辽宁师范大学城市与环境学院李悦铮教授为本研究提供基础资料,特此致谢。

参考文献 (References):

- [1] 郑度. 21 世纪人地关系研究前瞻. 地理研究, 2002, 21(1): 9-13.
- [2] 李小云, 杨宇, 刘毅. 中国人地关系的历史演变过程及影响机制. 地理研究, 2018, 37(8): 1495-1514.
- [3] Janssen M A, Schoon M L, Ke W M, Börner K. Scholarly networks on resilience, vulnerability and adaptation within the human dimensions of global environmental change. *Global Environmental Change*, 2006, 16(3): 240-252.
- [4] Peterson A, Mcalpine C A, Ward D, Rayner S. New regionalism and nature conservation: lessons from South East Queensland, Australia. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 82(3): 132-144.
- [5] Luo X L, Shen J F. The making of new regionalism in the cross-boundary metropolis of Hong Kong-Shenzhen, China. *Habitat International*, 2012, 36(1): 126-135.
- [6] 张耀光, 刘锴, 王圣云. 关于我国海洋经济地域系统时空特征研究. 地理科学进展, 2006, 25(5): 47-56.
- [7] 韩增林, 刘桂春. 人海关系地域系统探讨. 地理科学, 2007, 27(6): 761-767.
- [8] Elkin A P. Man's place in the island ecosystem: a symposium by F. R. Fosberg. *Oceania*, 1963, (4): 307-308.
- [9] Parsons J J. Human influences on the pine and laurel forests of the Canary Islands. *Geographical Review*, 1981, 71(3): 253-271.
- [10] Newton K, Côté I M, Pilling G M, Jennings S, Dulvy N K. Current and future sustainability of island coral reef fisheries. *Current Biology*, 2007, 17(7): 655-658.
- [11] Rees W E. Revisiting carrying capacity: area-based indicators of sustainability. *Population and Environment*, 1996, 17(3): 195-215.
- [12] Lagabrielle E, Allibert A, Kiszka J J, Loiseau N, Kilfoil J P, Lemahieu A. Environmental and anthropogenic factors affecting the increasing occurrence of shark-human interactions around a fast-developing Indian Ocean island. *Scientific Reports*, 2018, 8: 3676.
- [13] 夏东兴, 曲锦旭, 林金祥, 路应贤. 浅论我国海岛开发. 海洋开发, 1986, (4): 1-3.
- [14] 顾朝林. 论海岛经济开发系统设计. 地域研究与开发, 1989, 8(2): 1-4, 62-62.
- [15] 乐忠奎. 海岛水环境污染现状及水资源保护对策探讨. 水资源保护, 1996, (2): 24-28.
- [16] 赵江, 沈刚, 严力蛟, 黄璐, 金爱民, 霍思高. 海岛生态系统服务价值评估及其时空变化—以浙江舟山金塘岛为例. 生态学报, 2016, 36(23): 7768-7777.
- [17] 徐凯, 李悦铮. 长海县生态文明建设探析. 国土与自然资源研究, 2015, (2): 10-12.
- [18] 刘天宝, 韩增林, 彭飞. 人海关系地域系统的构成及其研究重点探讨. 地理科学, 2017, 37(10): 1527-1534.
- [19] 陈东景, 郑伟, 郭惠丽, 付元宾. 基于物质流分析方法的生态海岛建设研究—以长海县为例. 生态学报, 2014, 34(1): 154-162.
- [20] 马赫, 张天海, 罗宏森, 唐明方, 石龙宇. 沿海快速城市化地区能值生态足迹变化分析. 生态学报, 2018, 38(18): 6465-6472.
- [21] Gupta S. Decoupling: a step toward sustainable development with reference to OECD countries. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2015, 22(6): 510-519.
- [22] 王颖. 中国海洋地理. 北京: 科学出版社, 2013: 558-568.
- [23] 大连市统计局, 国家统计局大连调查队. 大连统计年鉴. 2018. 北京: 中国统计出版社, 2018: 14.
- [24] 国家海洋环境监测中心. 长海县海域养殖容量与增殖潜力调查研究报告. 大连: 国家海洋环境监测中心, 2009.
- [25] 中国技术经济研究会. 技术经济手册·农业卷. 沈阳: 辽宁人民出版社, 1986: 1007-1065.
- [26] 刘某承. 中国生态足迹的时间动态与空间格局. 北京: 化学工业出版社, 2014: 36-58.
- [27] 谢高地, 曹淑艳, 鲁春霞. 中国生态资源承载力研究. 北京: 科学出版社, 2011: 80-86.
- [28] Rees W, Wackernagel M. Urban ecological footprints: why cities cannot be sustainable and why they are a key to sustainability. *Environmental Impact Assessment Review*, 1996, 16(4/6): 223-248.
- [29] 曹威威, 孙才志. 能值生态足迹模型的改进—以海南为例. 生态学报, 2019, 39(1): 216-227.

- [30] 宁修仁, 刘子琳, 史君贤. 渤、黄、东海初级生产力和潜在渔业生产量的评估. 海洋学报, 1995, 17(3): 72-84.
- [31] 孙才志, 曹威威, 肖春柳. 长山群岛海洋渔业资源的平均营养级变化特征. 海洋通报, 2019, 38(1): 87-95.
- [32] 肖兴威. 中国森林生物量与生产力的研究. 哈尔滨: 东北林业大学, 2005.
- [33] 李扬, 汤青. 中国人地关系及人地关系地域系统研究方法述评. 地理研究, 2018, 37(8): 1655-1670.
- [34] Tapio P. Towards a theory of decoupling: degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001. Transport Policy, 2005, 12(2): 137-151.
- [35] 何则, 杨宇, 宋周莺, 刘毅. 中国能源消费与经济增长的相互演进态势及驱动因素. 地理研究, 2018, 37(8): 1528-1540.
- [36] 梁涵玮, 倪玥琦, 董亮, 戴铭, 刘天宏, 文一朵. 经济增长与资源消费的脱钩关系—基于演化视角的中日韩美比较研究. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(5): 8-16.
- [37] 杨屹, 朱彦臻, 张景乾. 关中-天水经济区生态足迹变化驱动因素. 生态学报, 2017, 37(21): 7061-7067.
- [38] 陈静生, 蔡运龙, 王学军. 人类-环境系统及其可持续性. 北京: 商务印书馆, 2001: 105-110.
- [39] 魏黎灵, 李岚彬, 林月, 吴仪, 祁新华. 基于生态足迹法的闽三角城市群生态安全评价. 生态学报, 2018, 38(12): 4317-4326.
- [40] 孙才志, 曹威威, 肖春柳. 长山群岛海洋渔业资源的平均营养级变化特征. 海洋通报, 2019, 38(01): 87-95.
- [41] Moran D D, Wackernagel M, Kitzes J A, Goldfinger S H, Boutaud A. Measuring sustainable development—Nation by nation. Ecological Economics, 2008, 64(3): 470-474.
- [42] Moran D D, Wackernagel M C, Kitzes J A, Heumann B W, Phan D, Goldfinger S H. Trading spaces: calculating embodied Ecological Footprints in international trade using a Product Land Use Matrix (PLUM). Ecological Economics, 2009, 68(7): 1938-1951.
- [43] Rees W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out. Environment and Urbanization, 1992, 4(2): 121-130.