

基于生态足迹的土地资源可持续发展容量 与潜在转换关系

王兴华, 门明新, 王树涛, 陈亚恒*, 霍习良, 周亚鹏, 许 峰

(河北农业大学资源与环境科学学院, 河北 保定 071001)

摘要: 耕地保护和建设用地扩张之间的矛盾愈来愈严重, 严重威胁着社会经济的可持续发展。基于生态足迹理论, 测算了卢龙县耕地和建设用地可持续发展容量和负荷系数, 用以表征区域经济可持续发展所能容纳的耕地和建设用地规模, 并以可供转用量为基准探讨了卢龙县耕地与建设用地潜在转换关系, 结果表明: (1) 1997—2008 年卢龙县人均生态足迹、承载力和生态赤字分别为 1.7667、0.5381 hm^2 和 1.2285 hm^2 , 平均每年增长 3.40%、1.73% 和 4.29%; (2) 耕地与建设用地足迹 1997—2008 年都处于增加趋势, 耕地足迹多年平均为 0.4621 hm^2 /人, 占总足迹的 26.16%, 建设用地足迹为 0.0134 hm^2 /人, 其需求量较耕地明显下降。耕地承载力为 0.3831 hm^2 /人, 占总承载力的 71.20%; 建设用地承载力 0.1447 hm^2 /人, 占总承载力的 26.89%, 平均每年增长 0.63%; (3) 耕地可持续发展容量逐渐小于现有实际耕地面积, 出现耕地利用负荷现象, 不再满足可持续发展要求; 建设用地可持续发展容量具有一定的波动性, 负荷系数多年平均大于 2.20。 (4) 1997—2003 年, 耕地需求未曾超出可持续发展的要求, 可供转用量锐减到 1889.46 hm^2 ; 2004—2005 年, 耕地维持可供转用量已出现负值, 建设用地整理供应满足耕地可持续发展要求; 2006—2008 年, 即使将所有建设用地超额全部整理为耕地也不能满足其需求。

关键词: 耕地; 建设用地; 可持续发展容量; 潜在转换关系

Calculation on land resources sustainable development capacity and analysis on potential transferring relationship based on ecological footprint method

WANG Xinghua, MEN Mingxin, WANG Shutao, CHEN Yaheng*, HUO Xiliang, ZHOU Yapeng, XU Hao

College of Resource and Environmental Science, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China

Abstract: Land resources, as part of important natural resources, are the basis of existence and development of human society, which is also a key to the sustainable development of society. Increasing human population associated with decreasing land resources is the basic situation of China, which will consequently lead a fast conversion from farmland to construction land due to the speeding up industrialization and urbanization process in China. In this case, a full understanding of the reasonableness of regional land use structure can promote effective allocation of resources and development of regional economy, which may result in a positive impact on the regional population bearing capacity and sustainability, in addition, a profound impact on the coordination relationship between human being-arable land resources, human being-environment with the economic development can be anticipated. How to reasonably allocate the limited land resources according to the sustainable development of regional socio-economic conditions, ensure the land supply to meet the requirements of human production and live sustainable develop, ease the contradiction between people and land, is an important task in front of us.

Sustainable development has been considered the most suitable strategy of human development, which requires that the regional population bearing capacity must be within the range of earth's ecological carrying capacity (most appropriate standard). Therefore, assessing sustainable development is a hotspot and foreland of sustainable development research.

基金项目: 河北省自然科学基金(D2010000795); 河北省教育厅项目(2009451); 国家重点基础研究发展规划资助项目(2005CB121107)

收稿日期: 2010-01-21; **修订日期:** 2010-04-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: chengyaheng@126.com

Eco-footprint analysis method based on quantitatively measuring natural resources utilization is such a new approach to evaluate sustainable development. This method mainly includes two aspects: first, the development sustainability primarily depends on the status of ecological resources usage and consumption and the life-supporting capacity of ecosystem resources; second, all human beings have the equal right of using ecosystem resources, thus the quantitative assessment and comparison of different regional development sustainability and the specification of corresponding responsibility can fulfill the realization of eco-ethics fair.

This paper calculated the sustainable capacity and load factor in Lulong country to show the scale of crop land and building area that the regional society and economy sustainable development can hold. It also explored the potential transferring relationship between crop land and building area based on the standards of available transformational quantity. The results showed that: (1) the ecological footprint, capacity and ecological deficit per capita in Lulong county are 1.7667 hm^2 , 0.5381 hm^2 and 1.2285 hm^2 respectively, which are associated with an average annual growth rate of 3.40%, 1.73% and 4.29%; (2) from 1997 to 2008, ecological footprints of crop land and building area are growing, where the annual ecological footprints of farmland and building area are 0.4621 hm^2 and 0.0134 hm^2 per capita, and the former accounts 26.16% of the total ecological footprint; in comparison with ecological footprint of farmland, a lower requirement by the ecological footprint of build area is found. The capacity of farmland and building area are 0.3831 hm^2 and 0.1447 hm^2 per capita, accounting 71.20% and 26.89% of the total capacity, respectively, and the later is associated with an annual increasing rate of 0.63%; (3) the gradual declining capacity of crop land sustainable development is lower than the current practical area, and a negative load factor of crop land is identified, which indicates that the requirement of sustainable development cannot be met; The capacity of building area is with certain variability and the average value of load factor is greater than 2.20; (4) from 1997 to 2003, the requirement of crop land was still lower than the sustainable development need, but the available transformational quantity had dropped sharply to 1889.46 hm^2 ; from 2004 to 2005, although this quantity had exceeded the sustainable development requirement, it still can be met through restoring aborted building areas; from 2006 to 2008, the requirement cannot be met even if all aborted building areas have been restored to arable land.

Key Words: crop land; building area; sustainable development capacity; potential transferring relationship

土地是一切资源和环境要素的载体,是人类生存、繁衍和发展的物质基础,由于自然和社会经济等条件的地区差异性以及人们对其利用目的和方式不同,形成了不同的土地利用结构,体现了土地利用类型在质量和数量上的对比关系以及组合形成的一定格局或图式^[1],反映了人类与自然界相互影响、相互作用最直接、最密切的关系^[2-4]。只有充分认识到一个地区土地利用结构的合理性,才能促进资源的有效配置和地区经济的健康发展,从而对区域的人口承载量和可持续发展能力产生积极作用,也对经济发展中形成的人与资源、人与环境的协调关系产生深远的影响^[5]。随着社会经济的发展,城市化进程的不断加快,土地利用结构调整不可避免,如何在保持区域社会经济可持续发展的条件下合理配置有限的土地资源,保证人类生产、生活所需土地供应符合可持续发展要求,使土地资源得到永续利用,缓解人地矛盾,成为摆在人们面前的重大课题。

目前,有关土地利用结构变化与土地可持续利用方面的研究主要着眼于土地利用变化的过程^[6-9]、潜力及对策^[10-12]、影响土地利用结构变化的驱动力^[11,13-15]、情景预测和优化^[13,16-17]等,国内外研究受全球变化研究影响深刻且更多侧重于建设用地^[13,18-20]。有关土地利用结构调整对景观特征、土地空间格局演变、生态系统结构及服务功能^[21-23]等的影响与绩效分析也较为常见。在研究尺度上涵盖了各个层次,构成了较为完整的多尺度下土地利用变化与可持续利用方法与理论体系。基于生态足迹评价区域可持续发展状况的相关研究近年来成果显著,如:刘云南^[24]利用生态足迹理论分析了海口市生态市建设规划,并针对各土地类型提出减少生态足迹、提高可持续发展能力的规划途径;董泽琴^[25]等对辽宁省 1999—2001 年 3a 的生态足迹进行了

实证计算和研究,从纵向比较并分析了辽宁省生态足迹的变化规律及其原因;赵万羽^[26]等应用生态足迹法剖析位于天山北坡的新疆阜康市近 20 多年来承载力变化及对可持续发展的影响,对各土地类型的生态足迹和承载力进行了详细分析。在研究区域上包括 3 种尺度:全球尺度、全国尺度和区域尺度,然而,综合以上研究成果可以发现,现阶段的研究主要集中在土地利用结构变化与土地可持续利用之间的定性关系以及对区域社会经济可持续发展的影响,土地可持续利用量化研究方法研究和探讨并不多见。因此,探讨在保持区域社会经济可持续发展下各用地类型的最佳容量与潜在的数量转换关系有着重要的现实和研究意义。

本文基于生态足迹理论与研究方法,以河北省卢龙县为例,设计测算区域可持续发展所能承受的耕地和建设用地的新思路,提出可持续容量和过度利用系数概念。在具体研究中,对生态足迹计算方法进行了延伸,采用第一产业增加值、二三产业增加值指标计算耕地和建设用地可持续发展容量,并通过研究分析耕地、建设用地、后备资源(未利用地)之间的转化关系,探讨土地利用结构的合理配置规模和潜在的数量转换关系。

1 研究区概况

卢龙县位于秦皇岛中部偏西,东经 118°45'54"—119°08'06"、北纬 39°43'00"—40°08'42"之间,土地总面积 955.8 km²。东距秦皇岛市 65 km,西距首都北京 225 km,西南距省会石家庄 432 km,距天津市 165 km,是沟通东北与华北交通联系的咽喉要道,地理位置十分重要。县域内北部为低山区,中部为丘陵区,南部为山麓平原区,丘陵区面积最大,占全县总面积的 71.63%。近年来,卢龙县经济发展显示出更加旺盛的活力,2008 年全县可实现生产总值 60.9 亿元,同比增长 8.5%,城镇居民收入快速增长,人民生活质量进一步提高。相应的,随着社会经济的快速发展,卢龙县土地利用结构变化较大,建设用地面积扩张迅速,1997—2008 年间,卢龙县建设用地面积共增加了 1088.33 hm²,所占比例由 1997 年的 11.25% 上升到 2008 年的 12.39%,达到 11843.15 hm²。建设用地的扩张占用大量农用地,使农用地的数量总量下降。后备资源开发利用在一定程度上弥补了农用地消耗量,但封山育林,开垦荒地等工作又使未利用地数量缩减,预计未来几年内卢龙县的农用地仍会有所减少,建设用地将持续增长,未利用地会随着开发利用的加强进一步减少。

2 研究方法

2.1 生态足迹计算模型

生态足迹是指能够持续地向一定人口提供他们所消耗的所有资源和吸纳他们所产生的所有废物的土地和水体的总面积,它从具体的生物物理量角度研究自然资本消费的空间^[27-30]。生态足迹模型主要通过构造土地利用消费矩阵来解释人类消费活动与赖以生存的土地资源之间的关系,按照生产力大小的差异将地球表面的土地分为 6 大类:耕地、草地、林地、建成地、化石燃料用地和水域,总称为生态生产性土地,各类生态生产性土地在空间上是互斥的,一块地不可能同时是森林、可耕地、牧草地等,使得人们能够对各类生态生产性土地进行加总^[31]。生态承载力表达区域范围内实际所能提供的各类生态生产性土地总面积,并通过与生态足迹比较,计算生态盈亏来衡量区域可持续发展状况,当一个地区的生态承载力小于生态足迹时,即出现“生态赤字”;当其大于生态足迹时,则产生“生态盈余”。生态赤字表明该地区的环境负荷超过了其生态承载力,要满足现有水平的消费需求,该地区或是从地区之外进口所欠缺的资源以平衡生态足迹,或是通过消耗自身的自然资本来弥补供给流量的不足。

$$EF = \sum_{j=1}^6 (r_j \times \sum_{i=1}^n aa_i) = \sum_{j=1}^6 (r_j \times \sum_{i=1}^n (c_i/p_i)) = N \times ef$$

$$BC = \sum_{j=1}^6 (a_j \times r_j \times y_j) = N \times bc$$

式中, EF 为总生态足迹; i 为消费品和投入的类型; p_i 为第 i 种消费品的平均生产能力; c_i 为第 i 种消费品的消费量; aa_i 为第 i 种交易商品折算的生物生产地域面积; j 为生物生产性土地类型; N 为人口; ef 为人均生态足迹; r_j 为等量因子。 BC 为生态承载力; a_j 为 j 种土地类型的实际面积; y_j 为产量因子; bc 为人均承载力。其中,等量因子是指使各生态生产性土地类型转换为具有同一量纲从而具有可比性的转换系数;产量因子为区

域粮食产量与世界平均产量的比值。

2.2 可持续发展支撑能力计算

为了保证区域生态可持续发展,区域生态足迹极值应该小于等于生态承载力,即以生态承载力来约束生态足迹^[32],此时,生态承载力所对应的耕地和建设用地面积即为区域可持续发展容量。为了寻求生态承载力与这种容量之间的关系,需要测算两者之间的转换系数,计算公式为:

$$Q_{(\text{耕地})} = BC_i / \alpha_{(\text{耕地})}$$

$$Q_{(\text{建设用地})} = BC_i / \alpha_{(\text{建设用地})}$$

式中, BC_i 为区域历年生态承载力; α_i 为生态承载力与可持续耕地或建设用地之间的转换系数,其代表的含义为单位用地面积增加对资源消耗的程度, α 越大,资源消耗越小,反之越大,计算公式为:

$$\alpha_{i(\text{耕地})} = J_{i(\text{耕地})} / E_i; \alpha_{i(\text{建设用地})} = J_{i(\text{建设用地})} / E_i$$

式中, E_i 为历年单位生态足迹产出; J_i 为历年单位用地产出。 $J_{i(\text{建设用地})}$ 采用产业计算评价法计算,此方法能科学准确的突出衡量一个区域建设用地的产出率,指区域二三产业增加值与其建设用地面积的比值,相应地, $J_{i(\text{耕地})}$ 采用区域第一产业增加值与耕地面积的比值确定。计算公式为:

$$E_i = G_i / EF_i; J_{i(\text{耕地})} = g_{i(\text{第一产业})} / M_{i(\text{耕地})}; J_{i(\text{建设用地})} = g_{i(\text{二、三产业})} / M_{i(\text{建设用地})}$$

式中, G_i 为区域地区生产总值; EF_i 为历年生态足迹总值; g_i 为区域产业增加值; M_i 为区域历年耕地或建设用地面积。

Q_i 虽然能表现出区域可持续发展对建设用地的承受能力,但并不能说明建设用地扩张的程度与趋势,故此,引入负荷系数的概念,指现状用地面积与可持续发展容量的比值,其计算公式为:

$$K_{i(\text{耕地})} = M_{i(\text{耕地})} / Q_{i(\text{耕地})}; K_{i(\text{建设用地})} = M_{i(\text{建设用地})} / Q_{i(\text{建设用地})}$$

式中, K_i 为区域耕地或建设用地负荷系数。

2.3 建设用地与耕地数量增量配置关系分析

按照新一轮规划分类,土地可分为农用地、建设用地和未利用地,作为承载社会、经济活动最重要的资源,土地在我国最为稀缺,是社会、经济发展的瓶颈。经济的发展必然造成建设用地的不断增加,但是这种增加受到基本恒定的土地资源总量的限制^[28],因此,充分利用建设用地,合理保护耕地,优化土地资源各类型间数量和结构配置,是促进社会经济发展的重要课题。根据本文提出的思路,协调耕地与建设用地之间的数量配置,使其统一达到符合经济可持续发展的要求,就是消除生态赤字,使负荷系数尽量接近于 1。

利用各土地类型实际面积 M_i 与可持续发展用地容量 Q_i 之间的差值确定各类用地的可供转用数量 ΔQ_i ,并结合未利用地提供的后备资源数量 H ,补充其它地类用地的不足,提出合理的土地资源数量结构配置规模。理论上,耕地和建设用地的可供转用量会出现正负值现象,正值表示耕地或建设用地可以提供多余的地类面积来补充其它地类,反之,负值表示现有的耕地或建设用地面积已经超出社会经济可持续发展的要求,需要借助后备资源的开发利用进行补充,但是这并不意味着单凭后备资源数量就可以满足其需求,大多数情况下,即使区域内后备资源完全开发利用或者转化为建设用地亦不能满足耕地和建设用地的要求。实际上,结合中国实际情况,耕地的可供转用量在时序上会出现正值,即区域在满足经济可持续发展的要求下有多余的数量供给建设用地,但近年来随着城市化进程的快速发展,大量的耕地被占用,可供转用量出现正值的机率将逐渐缩小;而建设用地经历了盲目扩展时期后已大大超出了可持续发展的要求,可供转用量出现正值的情况微乎其微,所以,在以下分析中,取建设用地可供转用量的绝对值用来表示过度扩张量。综上所述,依本文计算思路,可出现几种结果:

$$\textcircled{1} \Delta Q_{\text{耕}} \geq 0, |\Delta Q_{\text{建设用地}}| > 0$$

在此情况下耕地和建设用地规模在保证社会经济可持续发展的前提下得到充分保证;

$$\textcircled{2} Q_{\text{耕}} < 0, |\Delta Q_{\text{建设用地}}| \geq |\Delta Q_{\text{耕}}|$$

耕地不再满足可持续发展的要求,但通过建设用地整理复垦可使耕地得到完全补充;

③ $Q_{耕} < 0, |\Delta Q_{建设用地}| < |\Delta Q_{耕}|$

建设用地整理复垦不能满足耕地可持续发展的要求;

④考虑后备资源 H 的开发利用,耕地能得到有效的补充以缓解区域耕地不足情况。

3 结果分析

3.1 卢龙县耕地与建设用地足迹时序分析

以 2008 年为例,卢龙县生态足迹的计算由两部分组成:其一是生物资源的消费,其二是能源的消费。生物资源的消费分为农产品、动物产品以及木材等几大类。生物资源生物生产面积的折算,直接采用联合国粮农组织 1993 年计算的有关生物资源的世界平均产量资料,用卢龙县不同物品的消费量除以该消费品生物生产土地的全球平均产量,即能得到相应的生态足迹及类型,进一步可以得到卢龙县不同消费品的人均生态足迹(表 1)。能源部分账户根据资料处理了如下几种能源:煤炭、焦炭、汽油、柴油、液化石油气和电力。采用世

表 1 卢龙县生态足迹计算中的生物资源账户
Table 1 The ecological footprints of the biotic resources in Lolong County

项目分类 Item of biotic resources	全球平均产量 Global average output /(kg/hm ²)	生物量 Outbal of biotic resources /t	人均足迹 Ecological footprint per cap. /(hm ² /人)	生产面积类型 Types of ecologically productive area
农产品 Products				
小麦 Wheat	2744	4629	0.004012	耕地
玉米 Maize	2744	128963.5	0.111787	耕地
稻谷 Paddy	2744	3981	0.003451	耕地
谷子 Millet	2744	2077	0.001800	耕地
高粱 Broomcorn	2744	733	0.000635	耕地
其他 Others	2744	80	0.000069	耕地
薯类 Yam	12607	66919.5	0.012625	耕地
豆类 Legume	1856	3857	0.004943	耕地
油料 Oil plants	1856	16899	0.021657	耕地
棉花 Cotton	1000	1343	0.003194	耕地
蔬菜 Vegetable	18000	296175	0.039137	耕地
水果 Fruit				
苹果 Apple	18000	19989	0.002641	林地
梨 Pear	18000	2878	0.000380	林地
桃 Peach	18000	12206	0.001613	林地
葡萄 Grape	18000	111821	0.014776	林地
枣 Chinese date	18000	259	0.000034	林地
柿子 Persimmon	18000	648	0.000086	林地
杏 Apricot	18000	429	0.000057	林地
红果 Crataegus	18000	690	0.000091	林地
其他 Others	18000	4166	0.000550	林地
肉类 Meat				
牛羊肉 beef and mutton	33	9501	0.684820	草地
猪肉 Pig	457	31840	0.165715	草地
禽肉 Beef and mutton	457	7326	0.038130	草地
奶类 Milk	502	23659	0.112099	草地
山羊毛 Wool of goat	15	10	0.001586	草地
绵羊毛 Wool of jumbuck	15	509	0.080711	草地
蜂蜜 Honey	50	40	0.001903	草地
禽蛋 Egg	400	37483	0.222885	草地
水产品 Aquatic product	29	1680	0.137790	水域
木材 Timber	1.99 *	5436 **	0.003970	林地

* 单位为 m³/km², ** 单位为 m³

界上单位化石燃料生产土地面积的平均发热量为标准,将当地能源消费所消耗的热量折算成一定的化石燃料土地面积(表2)。此外,贸易调整是生态足迹模型的一个有机组成部分,就市场经济的实际情况而言,区域越小,和外界的贸易越多,惟有全球经济是与外界没有贸易往来的^[33]。本研究没有讨论贸易调整部分,主要是因为卢龙县作为一个内陆县域经济单元,其贸易量相对较小,并且其进出口部分在一定程度上可以相互抵消,将贸易对于生态足迹计算的影响降低到很小的程度。

表2 卢龙县生态足迹计算中的能源部分账户
Table 2 The ecological footprint's ledger of energy consumption in Lulong County

能源类型(1)	全球平均能源生态足迹(2)	折算系数(3)	总消费量(4)	总生态足迹(5)	人均生态足迹(6)	生产面积类型(7)
煤炭 Raw coal	55	20.93	273158	237246.06	0.564295	化石能源用地(8)
焦炭 Coking coal	55	28.47	101547	64851.04	0.154250	化石能源用地
汽油 Gasoline	93	43.12	1847	460.48	0.001095	化石能源用地
柴油 Diesel oil	93	42.71	2543	640.30	0.001523	化石能源用地
液化石油气 Liquefied Petroleum gas	71	50.20	42	11.78	0.000028	化石能源用地
电力 Electricity	1000	11.84	36121	3050.75	0.007256	建设用地(9)

(1) Types of energy sources;(2) Global average energy footprint/(GJ/hm²);(3) Conversion coefficient/(GJ/t);(4) Consumption amount/t;(5) Total ecological footprint/hm²;(6) Per capita footprint /hm²;(7) Type of ecologically productivity area;(8) Fossil fuel land;(9) Building area

从2008年卢龙县人均生态足迹的供需情况看(表3),卢龙县的人均生态足迹需求为2.0910hm²,而当年实际上可以提供的人均生态空间面积为0.6370hm²,生态赤字为1.4540hm²。生态赤字的存在,表明人类对区域生态经济系统的影响超出了其生态承载力的阈值。供需矛盾尖锐,更进一步揭示了当前生态形势的严峻性,生态足迹的赤字部分主要靠进口和枯竭自然资源获得。从卢龙县实际情况看,由于进出口贸易量不大,只能通过消耗自然资本存量来弥补生态承载力的不足。因此,当前卢龙县区域生态经济系统处于一种不可可持续发展的状态。

表3 卢龙县2008年生态足迹计算结果汇总
Table 3 The ecological footprint's summary of Lolung County in 2008

土地类型 Land types	生态足迹需求 Requirement of ecological footprint			土地类型 Land types	生态足迹供给 Supplies of ecological footprint		
	总面积(1)	等量因子(2)	均衡面积(3)		总面积(1)	等量因子(2)	均衡面积(3)
耕地 Crop land	0.2033	2.8	0.5693	耕地 Crop land	0.0973	1.84	0.4929
林地 Forest area	0.0242	1.1	0.0266	林地 Forest area	0.0713	0.91	0.0714
草地 Grass land	1.3078	0.5	0.6539	草地 Grass land	0.0465	0.19	0.0044
水域 Water area	0.1378	0.2	0.0276	水域 Water area	0.0118	1	0.0024
建筑用地 Building area	0.0073	2.8	0.0203	建筑用地 Building area	0.0329	1.66	0.1528
化石能源用地 Fossil fuel	0.7212	1.1	0.7933	CO ₂ 吸收 Absorption of CO ₂	0.0973	0	0.0000
				总供给 Total supply area			0.7239
				生物多样性保护 Conservation of biodiversity (12%)			0.0869
总生态足迹 Total ecological footprint			2.0910	总生态承载力 Total ecological capacity			0.6370

(1) Total area /hm²;(2) Equivalence factor;(3) Balanced area /hm²;(4) Yield factor

通过以上计算过程,计算卢龙县1997—2007年生态足迹(表4)。可以看出:卢龙县人均生态足迹逐年增加,由1997年的1.4502hm²/人上升到2008年的2.0910hm²/人,12a间增长0.6408hm²/人,增长率达3.40%;平均人均承载力为0.5381hm²,每年增长1.73%;人均生态赤字为1.2285hm²,增长率为4.29%。可以看出,生态足迹是生态承载力的2.91倍,初步判断卢龙县这12a间一直处于不可持续的发展状态中,生态足迹增长速度明显高于承载力的增长,生态经济系统和谐发展压力形势非常严峻。

表 4 1997—2008 年卢龙县耕地与建设用地生态足迹

Table 4 The ecological footprint of crop land and building area in Lulong from 1997 to 2008

年份 Year	土地 Land/(hm ² /人)			耕地 Crop land/(hm ² /人)			建设用地 Building area/(hm ² /人)		
	生态 足迹(1)	生态承载 力(2)	生态 赤字(3)	生态 足迹(1)	生态承载 力(2)	生态 赤字(3)	生态 足迹(1)	生态承载 力(2)	生态 赤字(3)
1997	1.4502	0.5115	-0.9387	0.3659	0.3560	-0.0098	0.0085	0.1428	0.1343
1998	1.5085	0.4956	-1.0129	0.4265	0.3450	-0.0815	0.0103	0.1430	0.1327
1999	1.5784	0.4930	-1.0854	0.4147	0.3414	-0.0733	0.0103	0.1431	0.1328
2000	1.6125	0.4834	-1.1291	0.4236	0.3563	-0.0673	0.0115	0.1432	0.1317
2001	1.6762	0.5032	-1.1730	0.4563	0.3614	-0.0949	0.0125	0.1430	0.1305
2002	1.7378	0.5220	-1.2158	0.4565	0.3676	-0.0889	0.0123	0.1438	0.1315
2003	1.7955	0.5414	-1.2541	0.4588	0.3869	-0.0720	0.0136	0.1447	0.1311
2004	1.8541	0.5457	-1.3084	0.4678	0.3799	-0.0879	0.0142	0.1448	0.1305
2005	1.9370	0.5576	-1.3794	0.4802	0.3861	-0.0940	0.0146	0.1444	0.1298
2006	1.9934	0.5701	-1.4233	0.5094	0.4106	-0.0988	0.0152	0.1452	0.1300
2007	1.9657	0.5973	-1.3684	0.5164	0.4136	-0.1028	0.0174	0.1456	0.1282
2008	2.0910	0.6370	-1.4540	0.5693	0.4929	-0.0764	0.0203	0.1528	0.1325
平均	1.7667	0.5381	-1.2285	0.4621	0.3831	-0.0790	0.0134	0.1447	0.1313

(1) Ecological footprint;(2) Ecological capacity;(3) Ecological deficit

生态足迹和生态承载力反映了区域土地各类型的供需情况,生态足迹表征土地的需求,而生态承载力则反映了土地类型的供应状况。从图 1a、图 1b 可以看出,卢龙县耕地与建设用地足迹 1997—2008 年都处于增加趋势,其中,耕地足迹多年平均为 0.4621hm²/人,占总足迹的 26.16%,近年来,卢龙县经济发展迅速,耕地

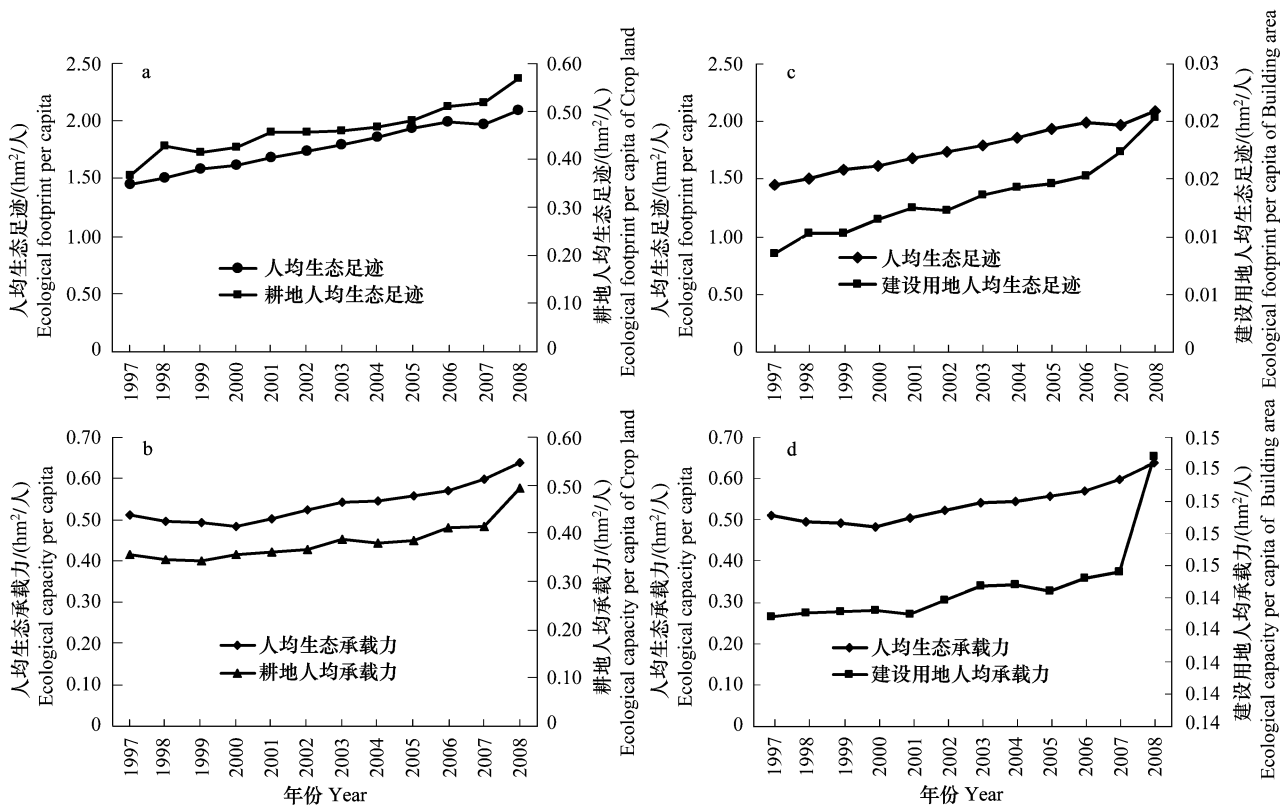


图 1 卢龙县耕地和建设用地生态足迹、承载力变化趋势对比

Fig. 1 The trend comparison between Ecological Footprint and capacity of crop land and building area

足迹已不再占据首位,但耕地依然是卢龙县人民生活消费的主要土地类型之一;建设用地足迹占总足迹的比重较小,为 0.76%,多年平均人均建设用地足迹为 $0.0134\text{hm}^2/\text{人}$,建设用地需求量较耕地明显下降。

1997—2008 年,卢龙县平均人均耕地和建设用地生态承载力同样呈现上升趋势(图 1c、图 1d),其中,耕地承载力为 $0.3831\text{hm}^2/\text{人}$,占总承载力的 71.20%,供给量最大,平均每年增长 3.15%,造成卢龙县耕地承载力增加趋势的原因有:(1)卢龙县后被资源的开发致使耕地年增加,2008 年耕地面积较 2002 年增加 600hm^2 ;(2)计算过程中产量因子的确定是采用历年卢龙县粮食产量单产除以全球平均粮食单产来计算的,由于几年来卢龙县科技水平的提高和对农业产业化工作的重视,农田管理水平大大提高,作物单产逐年增加且速度高于全球平均增加速度,致使产量因子呈逐年增加。建设用地承载力 $0.1447\text{hm}^2/\text{人}$,占总承载力的 26.89%,平均每年增长 0.63%。

卢龙县人均生态赤字为 $1.2285\text{hm}^2/\text{人}$ 。生态承载力需求与生态承载力供给呈反方向发展趋势,随着经济的发展和人口的增加,自然资源的利用逐年增加,目前已超出了自然生态系统的生态承载能力的范围,使生态足迹与生态承载力之间的矛盾加剧,致使人地关系紧张状态加剧。耕地和建设用地不合理利用的具体生态足迹表现为(图 2):耕地生态赤字为 $0.0790\text{hm}^2/\text{人}$,表明耕地的需求已经超出了供给能力,并且有逐渐加剧的趋势,虽然 1997—2008 年耕地供给能力因土地整治工作有所增加,但尚不能满足人们对耕地的消费,随着未来城镇化的快速发展,耕地数量将不可避免的处于减少状态,耕地生态赤字将进一步加大;建设用地则出现较大的生态盈余,历年平均为 $0.1313\text{hm}^2/\text{人}$,说明建设用地供给大大超过了建设用地需求,卢龙县建设用地存在较为严重的过渡扩张现象。

3.2 可持续发展容量计算

卢龙县近年来经济飞速发展,地区生产总值连续快速增长。2008 年达到 609000 万元,是 1997 年的 2.5 倍,平均每年增长 8.84%,尤其是 2004—2008 年间,卢龙县地区生产总值增长 248665 万元,年均增长 14.73%;第一产业增加值 2008 年达到 146000 万元,平均每年增长 5.42%;二三产业增加值由 1997 年的 148979 万元增长到 2008 年的 463000 万元,年均增长 11.06%,2003—2008 年增长幅度最大,达 15.83%。单位产出受人口的增长、县域土地利用结构的调整以及社会大环境等因素影响,增长趋势存在一定的波动。

卢龙县耕地可持续发展容量处于上升趋势,即区域若保证社会经济的可持续发展所需的耕地面积在不断加大,由表 5 可以看出,2003 年后,卢龙县耕地面积可持续发展容量逐渐小于现有实际耕地面积,出现耕地利用负荷现象,不再满足可持续发展要求,且近年来,这种现象有越演越烈的趋势。总体上看,卢龙县 1997—2008 年耕地净减少 934.49hm^2 ,人均耕地面积由 $0.1005\text{hm}^2/\text{人}$ 下降到 $0.0972\text{hm}^2/\text{人}$ 。随着社会经济的快速发展,卢龙县在发展传统农业的基础上大力发展区域特色优势产业,建设用地规模大幅度增加,人地关系日益紧张,在未来的发展阶段卢龙县如何改善现有的耕地和社会经济发展之间的关系状态,以及如何调整耕地保护和经济发展之间的关系,为耕地资源的充分利用和保持经济持续发展成为亟待解决的重大问题。

建设用地方面,卢龙县历年建设用地可持续容量具有一定的波动性(图 3),1997—2004 年一直处于下降状态,平均容量为 6002hm^2 ,每年下降幅度达 5.52%;2004 年后有逐年上升趋势,平均容量为 5155hm^2 ,每年上升 0.87%,主要原因在于期间社会经济结构的变化,导致土地利用结构发生较大改变,与卢龙县经济发展方向的变化、国家政策的推动及自然气候、灾害等因素密切相关;负荷系数 1997—2005 年连续上升,之后有一定的下降,变化不大,但多年平均大于 2.20,也就是说实际建设用地面积超出可持续发展建设用地容量两倍以

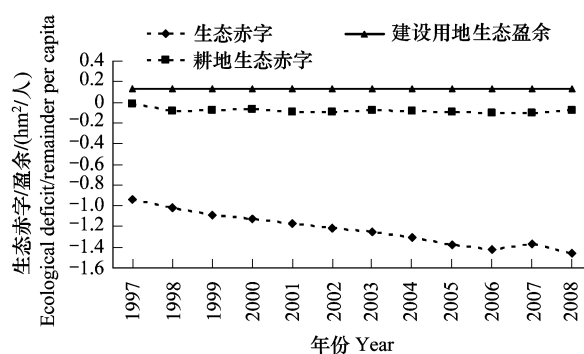


图 2 卢龙县 1997—2008 年生态赤字变化趋势

Fig. 2 The change tendency of ecological deficit in Lulong county from 1997 to 2008

上,卢龙县建设用地利用与扩张处于严重的不合理状态,建设用地可持续发展存在重大压力,如何缓解该压力,改变这种不合理态势值得深思。

表 5 1997—2008 年卢龙县耕地与建设用地可持续容量

Table 5 The sustainable development capacity of crop land and building area in Lulong county from 1997 to 2008

年份 Year	单位生态 足迹产出(1)	生态承 载力(2)	单位耕地 产出(3)	单位建设 用地产出(4)	耕地可持续 发展容量(5)	建设用地可持续 发展容量(6)	耕地负荷 系数(7)	建设用地 负荷系数(8)
1997	0.4053	212307.94	2.2787	11.6830	37765.46	7365.82	0.9056	1.7312
1998	0.4112	205772.33	2.3806	12.3925	35547.12	6828.51	0.8529	1.8713
1999	0.4175	204848.29	2.4357	13.4562	35111.48	6355.39	0.8410	2.0129
2000	0.3946	201611.84	2.2261	13.5787	35739.70	5859.15	0.8753	2.1930
2001	0.3949	210265.79	2.3702	13.9862	35030.35	5936.61	0.8577	2.1651
2002	0.3971	218397.40	2.3599	14.9076	36748.32	5817.45	0.9064	2.2257
2003	0.4092	225981.17	1.6157	18.6411	57231.31	4960.44	1.4347	2.6196
2004	0.4657	227711.78	1.9642	21.6414	53991.61	4900.42	1.3421	2.6526
2005	0.4945	233410.79	2.5217	23.0199	45774.33	5014.42	1.1351	2.5930
2006	0.5387	238935.21	2.5966	26.3079	49573.67	4892.89	1.2194	2.6766
2007	0.6306	250573.58	2.8945	30.6114	54589.88	5161.83	1.3391	2.5463
2008	0.6912	268408.83	3.3687	33.4268	55074.27	5550.29	1.2707	2.4956

(1) Unit output of Ecological footprint/(万元/hm²); (2) Ecological capacity/hm²; (3) Unit output of Crop land/(万元/hm²); (4) Unit output of Building area/(万元/hm²); (5) Sustainable development capacity of Crop land/hm²; (6) Sustainable development capacity of Building area/hm²; (7) Load factor of Crop land; (8) Load factor of Building area

3.3 维持可持续发展的土地潜在转换量测算

2004 年后,卢龙县耕地余量开始出现负值(表 6),即耕地面积已不再满足可持续发展的要求,且这种趋势随着时间的推移逐渐趋于明显,到 2008 年,卢龙县耕地差额达到 14104.39hm²,严重超支,县域粮食安全面临严峻的考验;建设用地过度利用面积一直处于上升状态,2008 年达到 8300.36hm²,扩张现象导致的土地利用结构不合理状况愈演愈烈。

只就耕地和建设用地两种地类来看,卢龙县土地利用结构变化可大致分为 3 个阶段:

①1997—2003 年处于第一阶段,此时期耕地未曾超出可持续发展的要求,虽然建设用地超额也在不断增加,但尚未对耕地维持可持续发展构成实际影响。到时期末的 2003 年,耕地维持可持续发展余量已锐减到 1889.46hm²,由此可见,即使建设用地的扩张未对耕地的需求造成阻碍,但这种潜在的威胁不容忽视。

②2004—2005 年处于第二阶段,耕地维持可持续发展余量已出现负值,但若通过建设用地整理,将除供可持续发展需求外的建设用地面积全部转化为耕地,可以弥补耕地需求的不足。

③第三阶段为 2006—2008 年,即使将所有建设用地超额全部整理为耕地也不能满足其需求。

以上讨论寻求的是耕地和建设用地同时满足区域可持续发展的理想状态,实际上,以中国城市化进程的发展来看,建设用地差额完全转化为耕地是不可能的,而建设用地扩张占用耕地和未利用地的比例也不能单单以科学的方法计算,目前随着新一轮土地利用总体规划的开展,农村居民点整理使一部分农村建设

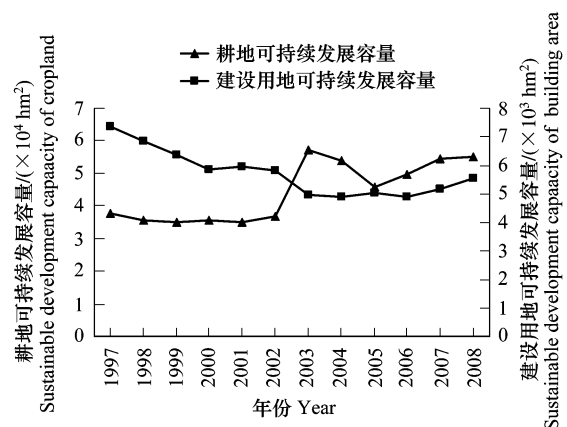


图 3 1997—2008 年耕地与建设用地可持续发展容量变化趋势

Fig. 3 Sustainable development capacity of crop land and building area from 1997 to 2008

用地转化为耕地变为可能,但更多的注重城镇建设用地增加与农村居民点减少之间的关系上,从某种意义上讲,农村居民点整理是为城镇的发展扩张服务的,卢龙县耕地资源的补充主要来自于后备资源开发利用和少量建设用地复垦。

表 6 耕地和建设用地超额统计表

Table 6 The Table of excess statistics of crop land and building area

时间 Time	年份 Year	耕地面积 Area of Crop land/hm ²	建设用地面积 Area of Building area/hm ²	耕地可供转用量 The amount of Crop land available for transferring/hm ²	建设用地扩张量 The amount of Building area expansion/hm ²
第一阶段 The first phase	1997	41701.31	12751.82	3935.86	5386.00
	1998	41676.17	12777.96	6129.05	5949.45
	1999	41749.39	12792.56	6637.92	6437.17
	2000	40830.77	12848.93	5091.08	6989.77
	2001	40840.17	12853.49	5809.82	6916.89
	2002	40544.97	12947.92	3796.65	7130.47
	2003	39890.05	12994.14	1889.46	8033.70
第二阶段 The second phase	2004	40230.10	12998.90	-2361.84	8098.48
	2005	40325.57	13002.46	-5448.75	7988.04
第三阶段 The third phase	2006	40652.79	13096.10	-8920.89	8203.21
	2007	40766.82	13143.81	-13823.06	7981.98
	2008	43340.17	13851.15	-14104.39	8300.86

4 结论与讨论

(1)建立了基于生态足迹的耕地与建设用地可持续发展计量关系,提出耕地和建设用地可持续发展容量;利用各土地类型实际面积与可持续发展用地容量之间的差值确定可供转用数量,表征耕地和建设用地调整数量计量关系,并结合未利用地提供的后备资源数量,分析了耕地和建设用地资源结构合理配置规模。

(2)卢龙县人均生态足迹逐年增加,1997—2008 年间增长了 0.6408hm²/人,增长率达 3.40%;平均人均承载力为 0.5381hm²,每年增长 4.29%;人均生态赤字为 1.2285hm²,增长率为 4.29%。生态足迹是生态承载力的 2.91 倍,卢龙县 12a 期间一直处于不可持续的发展状态中。耕地与建设用地足迹 1997—2008 年都处于增加趋势,其中,耕地足迹多年平均为 0.4621hm²/人,占总足迹的 26.16%;建设用地足迹为 0.0134hm²/人,其需求量较耕地明显下降。耕地承载力为 0.3831hm²/人,占总承载力的 71.20%,供给量最大;建设用地承载力 0.1447hm²/人,占总承载力的 26.89%,平均每年增长 0.63%。

(3)耕地可持续发展容量逐渐小于现有实际耕地面积,出现耕地利用负荷现象,不再满足可持续发展要求,且近年来,这种现象有越演越烈的趋势。建设用地可持续容量具有一定的波动性,近年来逐年上升,负荷系数多年平均大于 2.20。在未来的规划上应提倡的内涵式开发,不主张耕地和建设用地的外延式开发。

(4)2004 年后,卢龙县耕地余量开始出现负值并逐渐趋于明显,2008 年为 14104.39hm²;建设用地过度利用面积一直处于上升状态,2008 年达到 8300.36hm²。耕地和建设用地数量结构经历了 3 个阶段:1997—2003 年、2004—2005 年、2006—2008 年。第一阶段,耕地需求未曾超出可持续发展的要求,可供转用量锐减到 1889.46hm²;第二阶段,耕地维持可供转用量已出现负值,建设用地整理供应满足耕地可持续发展要求;第三阶段,即使将所有建设用地超额全部整理为耕地也不能满足其需求。

(5)后备资源开发利用对耕地和建设用地规模的影响由于当地社会经济条件限制,各年开发利用状况不同,是一个较为复杂的过程,由于篇幅所限,本文未深入考虑。建设用地扩张是多个因素综合作用地结果,本文只是基于建设用地可持续容量计算思路考虑,未考虑其它如产业结构调整、基础设施与工业的发展以及相关政策法规对建设用地扩张的影响,使计算结果存在一定的误差。

References:

- [1] Yang X L. Research on spatial structure of Land use combined GIS in Baoying country. Nanjing: Nanjing Normal University, 2003.
- [2] Guo L Y, Liu Y S, Ren Z Y. Analysis on the land landscape changes and its driving mechanism in vulnerable ecological area: a case study of Yulin City. Resources Science, 2005, 27 (2): 128-133.
- [3] Zhang F Y, Xing T Z, Pu L J, Peng B Z. Research on the effect on land use change on eco-environment in Suzhou City. Research of Soil and Water Conservation, 2009, 16(5): 98-103.
- [4] Turner B L, Meyer W B, Skole D. Global land-use/land-cover change: towards an integrated study. Ambio, 1994, 23 (1): 91295.
- [5] Zhou L, Song G. Quantitative analysis and forecast on urban land use structure change-take harbin as an example. Journal of Harbin University of Commerce (Social Science Edition), 2008, (6): 14-20.
- [6] Liu J Y, Liu M L, Zhuang D F, Zhang Z X, Zheng X Z. Analysis on spatial pattern of land use change in china recently. Science in China (Series D: Earth Sciences), 2002, 32(12): 1031-1043.
- [7] Fu B J, Chen L X, Ma K M. The effect on land use change on the regional environment in the yangjuangou catchment in the Loess Plateau of China. Acta Geographica Sinica, 1999, 54(3): 241-246.
- [8] Yu K J, Yuan H, Li D H, Wang S S, Qiao Q. Dilemma and Outlets on land sustainable use in mountainous areas of Beijing. China Land Science, 2009, 23(11): 3-8.
- [9] Chen Q C, Lu C W, Li B C, Quan B. Quantitative analysis of land use structure characteristics at county scale. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(1): 223-231.
- [10] Hang Y, Liao T J, Fu W L. Potentialities in exploitation and use as well as continued development on land in the three-gorges reservoir area-taking Wanzhou in Chongqing as case. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 22(4): 385-388.
- [11] Ma J G. Evaluation and countermeasures of intensive land use potential in Shanxi Province. China Land Science, 2008, 22(10): 39-49.
- [12] Tang X, Liu Y L, Zhao X, Yang Z H, Hu C R. Study on methods of evaluation on urban land use potentials. China Land Science, 2009, 23(2): 64-69.
- [13] Lu Y G, Cai Y L, Xu Y Q. Towards land change science-the progress of LUCC. China Land Science, 2006, 20(1): 55-61.
- [14] Cai Y L. A study on land use/cover change: the need for a new integrated. Approach Geographical Research, 2001, 20(6): 645-652.
- [15] Wang X L, Bao Y M. Study on the methods of land use dynamic change research. Progress in Geography, 1999, 18(1): 81-87.
- [16] Hu Y C, Liu Y S, Deng X S. Relativity analysis on land use and land cover change and optimal allocation of land resources. Progress in Geography, 2004, 23(2): 51-57.
- [17] Luo D, Xu Y Q, Shao X M, Wang J. The progress and prospect on spatial optimization allocation of land use research. Progress in Geography, 2009, 28(5): 791-796.
- [18] Turner B L, Skole D, Sanderson S. Land use and land cover change, science / research plan. IGBP report No. 35 / HDP report No. 7. Stockholm: IGBP, 1995.
- [19] Chen B M, Liu X W, Yang H. Review of most recent progresses of study on land use and land cover change. Progress in Geography, 2003, 22(1): 22-29.
- [20] Li X B. The corefields of global environment change research — the tendency of LUCC research on international staple. Acta Geographica Sinica, 1996, 51(6): 553-558.
- [21] Bao Y, Huang C H, Tao L J. Landscape characteristic analysis of land-use structure: a case of farmland. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2008, 28(3): 518-521.
- [22] Ju L H, Shi P J. Study on dynamic evolution and driving force of land use structure in Gansu Province. Guangdong Land Science, 2008, 7(5): 38-44.
- [23] Chen J B, Zheng D X, Chen S L, Li H. Effects of land use/land cover changes on regional ecological environment of Fujian Province. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2009, 25(6): 98-105.
- [24] Liu Y N. Application of ecological footprint theory in eco-city planning: a case study in Haikou City. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(5): 2012-2020.
- [25] Dong Z Q, Sun T H. Ecological footprints: Calculation and analysis of ecological footprints from 1999 to 2001 in Liaoning Province. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(12): 2735-2739.
- [26] Zhao W Y, Li J L, Chen Y N. Changes of eco-capacity and ecological sustainability in the north Tianshan Mountain region: taking Fukang County as a case of study. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(9): 4363-4371.

- [27] Wackernagel M, Rees W E. Perceptual and structural barriers to investing in natural capital: economics from an ecological footprint perspective. *Ecological Economics*, 1997, 20: 3-24.
- [28] Rees W E. Revisiting carrying-capacity: area-based indicators of sustainability[access date]. <http://www.dieoff.com/page/110.hem>, 1997.
- [29] Zhang F Y, Pu L Q, Zhang J. A Modified model of ecological footprint calculation based on the theory of emergy analysis-taking Jiangsu Province as an example. *Journal of Natural Resources*, 2006, 21(4): 653-660.
- [30] Lai L, Huang X J. Assessment of ecological footprint of national general land use planning in China. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2005, 21(2): 66-71.
- [31] Luo Y M, Zhu M C. Optimization of construction land increase supply. *Journal of Sichuan Normal University(social sciences edition)*, 2007, 34(1): 51-55.
- [32] Liu S P, Zhang W K, Zhang J. Construction land area prediction of the sustainable development based on ecological footprint method-taking Fujian Province as a study case. *Research of Soil And Water Conservation*, 2008, 15(2): 196-203.
- [33] Jeroen C G, Bergh V D, Verbruggen H. Spatial sustainability, trade and indicators: an evaluation of the ecological footprint. *Ecological Economics*, 1999, 29: 61-72.

参考文献:

- [1] 杨肖丽. GIS 支持的宝应县土地利用结构研究. 南京: 南京师范大学, 2003.
- [2] 郭丽英, 刘彦随, 任志远. 生态脆弱区土地利用格局变化及其驱动机制分析——以陕西榆林市为例. *资源科学*, 2005, 27(2): 128-133.
- [3] 张芳怡, 邢元志, 濮励杰, 彭补拙. 苏州市土地利用变化的生态环境效应研究. *水土保持研究*, 2009, 16(5): 98-103.
- [5] 周雷, 宋戈. 土地利用结构变化定量分析及预测——以哈尔滨市为例. *哈尔滨商业大学学报(社会科学版)*, 2008, (6): 14-20.
- [6] 刘纪远, 刘明亮, 庄大方, 邓祥征, 张增祥. 中国近期土地利用变化的空间格局分析. *中国科学 D 辑*, 2002, 32(12): 1031-1043.
- [7] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明. 黄土丘陵区小流域土地利用变化对生态环境的影响——以延安市羊圈沟流域为例. *地理学报*, 1999, 54(3): 241-246.
- [8] 俞孔坚, 袁弘, 李迪华, 王思思, 乔青. 北京市浅山区土地可持续利用的困境与出路. *中国土地科学*, 2009, 23(11): 3-8.
- [9] 陈其春, 吕成文, 李壁成, 全斌. 县级尺度土地利用结构特征定量分析. *农业工程学报*, 2009, 25(1): 223-231.
- [10] 黄云, 廖铁军, 傅瓦利. 三峡库区土地开发利用潜力与可持续发展——以重庆市万州区为例. *中国农学通报*, 2006, 22(4): 385-388.
- [11] 马巨革. 山西土地节约集约利用潜力评价与对策. *中国土地科学*, 2008, 22(10): 39-49.
- [12] 唐旭, 刘耀林, 赵翔, 扈传荣. 城镇土地利用潜力评价方法研究. *中国土地科学*, 2009, 23(2): 64-69.
- [13] 路云阁, 蔡运龙, 许月卿. 走向土地变化科学——土地利用/覆被变化研究的新进展. *中国土地科学*, 2006, 20(1): 55-61.
- [14] 蔡运龙. 土地利用/土地覆被变化研究: 寻求新的综合途径. *地理研究*, 2001, 20(6): 645-652.
- [15] 王秀兰, 包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨. *地理科学进展*, 1999, 18(1): 81-87.
- [16] 胡业翠, 刘彦随, 邓旭升. 土地利用/覆被变化与土地资源优化配置的相关分析. *地理科学进展*, 2004, 23(2): 51-57.
- [17] 罗鼎, 许月卿, 邵晓梅, 王静. 土地利用空间优化配置研究进展与展望. *地理科学进展*, 2009, 28(5): 791-796.
- [19] 陈百明, 刘新卫, 杨红. LUC 研究的最新进展评述. *地理科学进展*, 2003, 22(1): 22-29.
- [20] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域-土地利用/土地覆被变化的国际研究动向. *地理学报*, 1996, 51(6): 553-558.
- [21] 鲍艳, 黄潮华, 陶连金. 土地利用结构的景观特征分析——以耕地为例. *西安科技大学学报*, 2008, 28(3): 518-521.
- [22] 居玲华, 石培基. 甘肃省土地利用结构动态演变及驱动力分析. *广东土地科学*, 2008, 7(5): 38-44.
- [23] 陈加兵, 郑达贤, 陈松林, 李慧. 土地利用变化对福建省生态系统结构及服务功能的影响探讨. *福建大学学报(自然科学版)*, 2009, 25(6): 98-105.
- [24] 刘云南. 生态足迹理论在生态市建设规划中的应用——以海口市为例. *生态学报*, 2007, 27(5): 2012-2020.
- [25] 董泽琴, 孙铁珩. 生态足迹研究——辽宁省生态足迹计算与分析. *生态学报*, 2004, 24(12): 2735-2739.
- [26] 赵万羽, 李建龙, 陈亚宁. 天山北坡区域生态承载力与可持续发展——以阜康市为例. *生态学报*, 2008, 28(9): 4363-4371.
- [29] 张芳怡, 濮励杰, 张健. 基于能值分析理论的生态足迹模型及应用——以江苏省为例. *自然资源学报*, 2006, 21(4): 653-660.
- [30] 赖力, 黄贤金. 全国土地利用总体规划目标的生态足迹评价研究. *农业工程学报*, 2005, 21(2): 66-71.
- [31] 罗永明, 朱明仓. 优化建设用地增量配置 保障区域社会经济协调发展. *四川师范大学学报(社会科学版)*, 2007, 34(1): 51-55.
- [32] 刘淑苹, 张文开, 张军. 基于生态足迹的可持续建设用地面积预测——以福建省为例. *水土保持研究*, 2008, 15(2): 196-203.