

文章编号:1000-5471(2011)02-0163-06

基于生态足迹法的开县土地承载力研究^①

蒲 鹏, 傅瓦利

西南大学 地理科学院, 重庆 400715

摘要: 本文基于生态足迹计算模型, 以 2003 年开县生态足迹和生态承载力的计算为基础, 计算并分析了开县 2003—2006 年的生态足迹和生态承载力, 对开县的土地承载力和社会经济发展的可持续性作出了评价。从 2003 年的数据计算结果来看, 消费和产业结构单一是造成开县生态赤字的主要原因。从时间序列上看, 开县的生态足迹连续多年高于生态承载力, 人均生态承载力基本保持稳定在 0.426 538~0.434 438 hm² 之间, 但生态足迹却呈现较大的波动且与耕地的生产性土地面积的波动以及生态赤字的波动趋于一致。开县生态赤字严重, 处于不可持续的发展状态, 主要原因是开县经济对农业的依赖过强。

关键词: 生态足迹; 生态承载力; 生态赤字; 可持续发展; 开县

中图分类号: F062.2

文献标志码: A

环境与发展问题是当今人类社会所共同面临的重大挑战。土地资源作为人类赖以生存发展的基础条件, 深刻地影响着人类社会的发展^[1-2]。土地承载力的研究始于 1812 年马尔萨斯的《人口原理》指出的人口再生产和粮食再生产的对比。自 20 世纪 80 年代以后, 以土地—粮食—人口关系为主的土地承载力研究对区域乃至全球的经济、社会的可持续发展作出了积极贡献, 以计算土地食物生产力和人口限度为主题的土地承载力研究体系日趋完善^[1-6]。在承载主体、对象和研究尺度等方面进一步细化了研究内容: 一方面, 研究主体扩展到草地承载力、地下水承载力、生态环境承载力、城市土地承载力等领域^[7-9]; 另一方面, 把土地资源与水、矿产等其他资源相联系, 更加趋向于综合性的资源承载力, 评价指标也从单一的粮食生产力向更加综合性的指标转变^[3,10]。许多学者相继提出基于系统学和经济学的生态环境评价方法和模型, 其中, 由加拿大学者 Rees 和 Wackernagel 于 1992 年提出的生态足迹模型已在世界范围内得到广泛的应用^[5]。该模型通过比较区域内人类发展对自然资源的需求和区域内自然生态资源所能提供的服务之间的供需关系, 以此来评估人类活动对自然系统的影响, 为更有效合理的配置规划资源利用以及正确处理人地矛盾提供指引。可以说, 生态足迹法是对可持续发展的一种定量评价方法。笔者对三峡库区开县 2003—2006 年社会经济可持续发展状况进行研究, 首先运用生态足迹模型确定开县在该时期发展所形成的生态盈余或生态赤字, 通过对其变化趋势的分析, 评价开县的土地承载力, 以为开县区域经济的发展 and 移民安置工作提供一定的参考和建议。

1 数据与方法

开县地处东经 107°55′~108°54′, 北纬 30°54′~31°41′, 位于重庆市东北部, 大巴山南麓, 长江三峡水库小江支流回水末端, 地势北高南低, 海拔在 134~2 626 m 之间。东与云阳县、巫溪县接壤, 西接开江县、宣汉县, 南与万州毗邻, 北与城口县相连, 是重庆市的一个人口和资源大县。县境东西最大距离 50 km, 南北最大距离 120 km, 总面积 3 959 km²。开县是三峡库区的最大淹没县。受三峡水库建设影响, 大量移民后

① 收稿日期: 2010-05-21

基金项目: 重庆移民局课题, 三峡库区职业教育移民研究(200909)。

作者简介: 蒲 鹏(1986-), 男, 重庆潼南人, 硕士研究生, 主要从事土地利用和土壤环境的研究。

靠, 上靠, 对县内的资源状况, 生态环境状况造成不利影响. 因此, 对该地区的经济社会发展的可持续性进行评价有重要意义. 本文基于 2003—2007 年的《开县统计年鉴》和《重庆统计年鉴》, 采用生态足迹的方法评估了开县在这一时期的土地承载力状况.

生态足迹法将人类的各种消费, 量化为提供生产该消费的原始物质与能量的生物生产性土地面积, 从需求角度计算占用生物生产性土地面积的大小. 该方法是在两个假设前提下展开的: 第一, 人类自身消费的绝大部分资源及其所产生的废弃物数量是可确定的; 第二, 区域产生的资源和废弃物能够用生物生产性土地面积来表示^[11].

生态足迹(EF)是指区域能够持续地向一定规模的人口提供资源和消纳废物的生物生产性土地. 它表示研究区域居民消费对生态系统的基本需求, 通过下面的公式进行计算^[11]:

$$EF = N \cdot ef = N \cdot r_j \sum_{i=1}^n (aa_i) = N \cdot r_j \sum_{i=1}^n (C_i / P_i)$$

式中: EF 为该区域内生态足迹总量, hm^2 ; N 为人口数; ef 为人均生态足迹, $\text{hm}^2/\text{人}$; r_j 为第 j 类生物生产性土地的均衡因子; aa_i 为第 i 种消费项目折算成的生物生产性土地面积; C_i 为第 i 种消费品的人均消费量; P_i 为第 i 种消费品的全球平均产量.

生态承载力(EC)是指一个区域实际提供给人类的资源和产品折合为所有生物生产性土地面积的总和, 表示自然生态系统所能够提供给人类的消费品总量. 其计算公式为:

$$EC = N \sum_{j=1}^n a_j r_j y_j (j=1, 2, 3 \cdots 6)$$

式中: EC 为区域总的生态承载力; a_j 为实际人均占有的第 j 类生物生产性土地的面积; r_j 为均衡因子; y_j 为产量因子; N 为总人口数.

根据 WCED 报告《我们共同的未来》的建议, 在区域生态承载力中应该留出 12% 的生物生产性土地面积, 用以保护区域内的生态环境.

如前所述, 生态足迹表示人类对自然资源的需求, 而生态承载力体现的则是区域满足人类需求的能力, 因此, 如果用来表示生态足迹的生物生产性土地面积大于生态承载力的面积, 就说明社会经济发展超过了自然生态系统供给资源和消纳废物的能力, 不利于区域的可持续发展, 那么这种情况我们称为生态赤字, 这就是所谓的生态赤字/盈余模型, 用公式表示为:

$$ED = EF - EC (ED > 0)$$

反之, 若生态足迹的生物生产性土地面积小于生态承载力的面积, 则说明社会经济的发展对资源的消耗和废弃物的排放没有超出生态环境的负荷, 这种情况, 称为生态盈余, 同样, 用公式可表示为:

$$ED = EC - EF (ED > 0)$$

这也正是实现区域可持续发展所要求的理想模式.

2 开县生态足迹与生态承载力

2.1 开县生态足迹的计算

以下计算的数据来源于 2003—2007 年的《开县统计年鉴》和《重庆统计年鉴》, 各类消费项目的全球平均产量取自 FAO 于 1993 年公布的全球主要生物资源的世界平均产量.

区域生态足迹的计算主要包括生物资源消费和能源消费两大部分, 生物资源消费部分通常包括农产品、动物产品、林产品和水产品等, 其明细分类项目与年鉴保持一致.

本文以 2003 年开县的数据为基础, 计算出当年开县的均衡前的生态足迹的生物足迹账户(表 1)和能源足迹账户(表 2). 需要特别说明的是, 由于生物资源的消费数据通常不易取得, 因此, 国内大多数学者在计算生态足迹时都采用区域内该项生物资源的年产量代替其消费量.

2.2 开县生态承载力的计算

根据《2003 年开县统计年鉴》, 将生物生产性土地类型的各明细类的土地面积加总得到表 3, 即开县 2003 年各类生物生产性土地面积的总量、结构和人均值.

表 1 开县 2003 年生态足迹计算中的生物资源账户

| 消费项目 | 生物生产性 | 全球平均产量 | 开县年产量 | 生态足迹总量 | 人均生态足迹 | 合计 |
|------|-------|-----------------------|---------|------------|--------------------------|-----------|
| | 土地类型 | $/(kg \cdot hm^{-1})$ | $/t$ | $/hm^2$ | $/(hm^2 \cdot cap^{-1})$ | |
| 粮食 | 耕地 | 2 744 | 592 248 | 215 833.82 | 0.141 987 | |
| 蔬菜 | 耕地 | 18 000 | 236 428 | 13 134.89 | 0.008 641 | |
| 油料 | 耕地 | 1 856 | 18 785 | 10 121.28 | 0.006 658 | |
| 麻类 | 耕地 | 1 500 | 17 | 11.34 | 0.000 007 | |
| 糖料 | 耕地 | 18 000 | 2 516 | 139.78 | 0.000 009 | |
| 烟叶 | 耕地 | 1 548 | 775 | 500.65 | 0.000 329 | |
| 薯类 | 耕地 | 12 607 | 216 054 | 17 137.62 | 0.011 274 | |
| 豆类 | 耕地 | 1 856 | 10 407 | 5 607.22 | 0.003 688 | |
| 棉花 | 耕地 | 1 000 | 5 | 5 | 0.000 003 | 0.172 598 |
| 茶叶 | 林地 | 566 | 678 | 1 197.88 | 0.000 788 | |
| 水果 | 林地 | 18 000 | 141 210 | 7 845 | 0.005 161 | 0.005 949 |
| 猪肉 | 草地 | 74 | 73 743 | 996 527.03 | 0.655 567 | |
| 羊肉 | 草地 | 33 | 4 712 | 142 787.89 | 0.093 933 | |
| 牛肉 | 草地 | 33 | 2 816 | 85 333.33 | 0.056 137 | |
| 奶类 | 草地 | 502 | 939 | 1 870.52 | 0.001 231 | 0.805 637 |
| 水产品 | 水域 | 29 | 7 300 | 251 724.14 | 0.165 597 | 0.165 597 |

表 2 2003 年开县生态足迹计算中的能源足迹账户

| 能源类型 | 生物生产性 | 全球平均能源足 | 折算系数 | 消费量 | 能源足迹 | 人均能源足迹 |
|-------|--------|-------------------------|----------------------|-------------|---------------|--------------------------|
| | 土地类型 | 迹 $/(GJ \cdot hm^{-2})$ | $/(GJ \cdot t^{-1})$ | $/t$ | $/hm^2$ | $/(hm^2 \cdot cap^{-1})$ |
| 电力 | 建筑用地 | 1 000 | 11.840 | 109 520.00* | 360.199 111 | 0.000 237 |
| 液化石油气 | 化石能源用地 | 71 | 50.200 | 3 370.00 | 2 382.732 394 | 0.001 567 |
| 天然气 | 化石能源用地 | 93 | 38.978 | 7 746.75 | 3 246.804 532 | 0.002 136 |

注: 表中*的单位为 kW。

表 3 开县 2003 年生物生产性土地面积

| 生物生产性土地类型 | 土地面积/ hm^2 | 占全县土地总面积/% | 人均面积/ $(hm^2 \cdot cap^{-1})$ |
|-----------|--------------|------------|-------------------------------|
| 耕地 | 151 175 | 38.19 | 0.099 451 |
| 林地 | 172 645.7 | 43.61 | 0.113 575 |
| 草地 | 16 111.5 | 4.07 | 0.010 599 |
| 化石能源用地 | 0 | 0 | 0 |
| 建筑用地 | 3 700 | 0.93 | 0.002 434 |
| 水域 | 5 800 | 1.47 | 0.003 816 |

2.3 生态赤字/盈余的计算

由于不同类型的土地的生物生产力存在较大的差异, 因此, 在计算其生态赤字之前, 还需要在上述计算的人均生态足迹和人均生态承载力的基础上分别乘以一个与土地类型相对应的均衡因子, 以将其转化为统一的, 具有可比性的生物生产均衡面积(见表 4)。生态承载力还需要通过产量因子予以调整, 均衡因子选自国际统一标准, 产量因子沿用 Wackernagel 计算中国生态足迹时所采用的产量因子^[3]。前已述及, 出于保护区域的生态环境的考虑, 还应预留出 12% 的生物生产性土地, 最后经过调节后的生态足迹和生态承载力见表 5、表 6。

2.4 2003 年开县生态足迹计算结果分析

根据土地详查资料, 开县是重庆地区的农业大县, 农业人口比例高, 农业产值比重大。农作物主要以水稻、小麦、玉米、高粱、马铃薯为主; 经济作物主要有烟叶、花生、芝麻等; 经济林有苹果、柑橘、梨、茶叶等, 水果总产量居全市第一; 猪肉、牛肉、羊肉等是畜牧业的主要产品。

通过表 5 的计算结果可知, 开县 2003 年的人均生态足迹 $0.932\ 217\ hm^2$, 扣除 12% 生物多样性保护面积 $0.031\ 253\ hm^2$ 后, 可利用的人均生态承载力为 $0.426\ 538\ hm^2$ 。首先, 比较生态足迹和生态承载力的总量可以看出, 开县 2003 年的生态赤字为 $0.505\ 679\ hm^2$ 。从单项来看, 产生生态赤字的原因主要来自耕地、

草地、水域、化石能源用地,这几类土地的需求明显大于供给.其中,草地的生态足迹是其生态承载力的近 400 倍,水域的生态足迹是其生态承载力的 43.4 倍,而化石能源用地的供给量为零,这是因为以目前的情况来看,并没有哪个国家或地区预留出一定的土地来吸收人类活动所产生的 CO_2 ^[3].由此,可以看出,2003 年开县用于人类消费的可供给的生态空间类型结构极为单一,且严重失衡,食品消费在消费结构中的比重很大,特别是由草地所支持的畜牧业的发展,大大超出了其生态环境的承载能力,而建筑用地和林地还存在着较大的生态盈余,这表明二、三产业发展不够.根据开县经济指标计算得出第一产业占开县地区生产总值的 53.8%也说明了这一点.因此,调整县内的产业结构,促进产业高级化,消费多元化,是缓解其生态赤字扩大和改善生态环境恶化的途径之一.

表 4 开县库区生态足迹与生态承载力计算结果

| 生物生产性 土地类型 | 人均生态足迹 | | | 生物生产性 土地类型 | 人均生态承载力 | | | |
|---------------|--|----------|--|------------------|--|----------|----------|--|
| | 人均面积 /($\text{hm}^2 \cdot \text{cap}^{-1}$) | 均衡 因子 | 均衡面积 /($\text{hm}^2 \cdot \text{cap}^{-1}$) | | 人均面积 /($\text{hm}^2 \cdot \text{cap}^{-1}$) | 均衡 因子 | 产量 因子 | 均衡面积 /($\text{hm}^2 \cdot \text{cap}^{-1}$) |
| 耕地 | 0.172 597 | 2.8 | 0.483 274 | 耕地 | 0.099 451 | 2.8 | 1.20 | 0.334 154 |
| 林地 | 0.005 949 | 1.1 | 0.006 544 | 林地 | 0.113 575 | 1.1 | 0.91 | 0.113 689 |
| 草地 | 0.805 637 | 0.5 | 0.402 818 | 草地 | 0.010 599 | 0.5 | 0.19 | 0.001 007 |
| 水域 | 0.165 597 | 0.2 | 0.033 119 | 水域 | 0.003 816 | 0.2 | 1.00 | 0.000 763 |
| 建筑用地 | 0.000 237 | 2.8 | 0.000 663 | 建筑用地 | 0.002 434 | 2.8 | 1.20 | 0.008 178 |
| 化石能源用地 | 0.003 703 | 1.1 | 0.004 073 | 化石能源用地 | 0 | 1.1 | 0 | 0 |
| | | | | 生物多样性 保护(12%) | | | | -0.031 253 |
| 合计 | | | 0.932 217 | 合计 | | | | 0.426 538 |

3 2003—2006 年人均生态足迹计算结果分析

3.1 2003—2006 年生态足迹计算结果

按照与计算 2003 年相同的方法计算 2004—2006 年开县的人均生态足迹,生态承载力以及生态赤字得到表 5、表 6,可以从宏观动态的角度分析开县的人类社会经济发展与环境之间的关系.

表 5 开县 2003—2006 年人均生态足迹计算结果

| 生物生产性土地类型 | 人均生态足迹/($\text{hm}^2 \cdot \text{cap}^{-1}$) | | | |
|-----------|--|-----------|-----------|-----------|
| | 2003 年 | 2004 年 | 2005 年 | 2006 年 |
| 耕地 | 0.483 273 | 0.422 263 | 0.478 746 | 0.417 536 |
| 林地 | 0.006 544 | 0.007 252 | 0.007 979 | 0.007 606 |
| 草地 | 0.402 818 | 0.405 332 | 0.423 212 | 0.424 178 |
| 水域 | 0.033 119 | 0.030 283 | 0.035 999 | 0.029 603 |
| 建筑用地 | 0.000 663 | 0.000 781 | 0.000 603 | 0.000 642 |
| 化石能源用地 | 0.004 073 | 0.004 187 | 0.004 817 | 0.005 466 |
| 人均生态足迹 | 0.930 491 | 0.870 098 | 0.951 356 | 0.885 031 |

表 6 开县 2003—2006 年生态承载力计算结果

| 生物生产性土地类型 | 各年的生态承载力/ hm^2 | | | |
|---|-------------------------|------------|------------|------------|
| | 2003 年 | 2004 年 | 2005 年 | 2006 年 |
| 耕地 | 507 948.00 | 512 591.50 | 523 357 | 520 517.80 |
| 林地 | 172 818.30 | 172 773.60 | 18 844.83 | 172 834.70 |
| 草地 | 1 530.59 | 1 366.40 | 15 661.15 | 1 127.00 |
| 化石能源用地 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 建筑用地 | 12 432.00 | 13 776.00 | 14 112 | 14 112 |
| 水域 | 5 800 | 5 800 | 5 800 | 5 800 |
| 12%的生物生产性土地面积 | -47 508 | -47 508 | -47 508 | -47 508 |
| 合计 | 648 380.90 | 658 573.10 | 670 815.70 | 666 657.00 |
| 人均生态足迹($\text{hm}^2 \cdot \text{人}^{-1}$) | 0.426 538 | 0.430 581 | 0.434 438 | 0.427 098 |

3.2 开县生态足迹变化的原因分析

用 Excel 绘出趋势图(见图 1),从表 5 和图 1 不难看出,2003、2004 年的人均生态足迹分别为 0.930 491,0.870 098 hm^2 ; 2005、2006 年则变为 0.951 356,0.885 031 hm^2 。2003—2006 年期间,开县的生态承载力呈现波动,但总体仍然略有上升,在这个时间序列中,代表农作物产量的耕地的生态足迹分别占该区域总生态足迹的 48.3%,42.2%,47.9%,41.8%,而代表肉产品的草地分别占到了 40.28%,40.53%,42.32%,42.41%,两者一共占到了全县生态足迹的 85%左右,而耕地的面积波动趋势与生态足

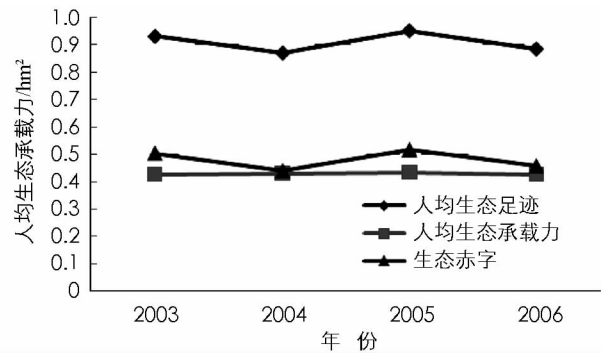


图 1 开县 2003—2006 年人均生态足迹和生态承载力变化趋势

迹的波动基本一致,因此,生态足迹的波动可能是由 2003—2006 年间的农作物产量的变化造成的,并且,这一变化抵消了人口增加等因素所带来的生态足迹的变化。同时,开县在这一期间内的人均生态承载力却呈现相对稳定的状况,各年相比差异较小,2003—2005 年略有上升(表 6),分别为 0.426 538,0.430 581,0.434 438 hm^2 ,而 2006 年略微下降至 0.427 098 hm^2 ,这可能源自外迁移民工作的展开对该区域人口压力的缓解,也可能是在这一期间内,县内土地利用结构变化以及政策性环保措施(如封山育林,人工造林等)的结果,而 2006 年西南地区的大旱,显然也降低了该年的生态足迹和生态承载力。所以,在这 4 年间,生态足迹的波动是多种因素共同作用的结果,但从总体来看,该县的生态赤字仍然较为严重,数据显示,2003—2006 年开县的人均生态赤字分别是 0.503 953,0.439 517,0.516 918,0.457 933 hm^2 。由于生态承载力的变化较小,生态赤字与生态足迹曲线呈现同步的趋势,其最终仍然在很大程度上受到农作物产量的变化的影响,这也进一步说明县内生产消费模式的单一,对农业的过于依赖,加深了区域生态的脆弱性。因此,该地区生态承载力无法满足人类社会经济发展对该地区资源的消费需求。

此外,三峡水库的建设征用了大量的优质耕地,移民的上靠和后靠,又使得耕地随之上靠、后靠,位于平缓河谷的肥沃良田转变成具有季节性淹水特征的消落带,耕地生产力下降,同时后靠又占用了高处的林地,限制了林业的发展,造成一系列的生态环境效应,区域的可持续发展得不到保证。采取有效的措施降低县内生态压力,刻不容缓。

4 结 论

通过计算和分析得出,开县处于不可可持续发展的状态。结论如下:

从 2003 年的生态足迹计算结果可以看出,开县的土地利用结构中,耕地和草地是主要利用方式,且两者的比例远大于其他生物生产性土地类型,其生态赤字占据了生态赤字总量的绝大部分,说明开县人类对资源的消费模式与自然可以提供的生物生产性土地极不协调。

根据 2003—2006 年开县生态承载力、生态足迹及生态赤字的变化曲线还可知,造成开县生态承载力和生态赤字变化的主要驱动力是耕地面积的变化。这更进一步说明,开县作为一个农业大县,三峡水库的建成对农业土地资源的占用,对其生态环境和经济发展造成了深远影响。这一矛盾正是开县生态足迹呈现赤字的主要原因。

参考文献:

- [1] FAO. A Framework for land Evaluation [R]. Rome: Draft edition, 1973.
- [2] FAO. A Framework for land Evaluation [R]. Rome: FAO Soil bulletins 32, 1986.
- [3] WACKERNAGEL M, ONISTO L, BELLO P, et al. National natural capital accounting with ecological footprints concept [J]. Ecological Economics, 1999, 29: 375—390.
- [4] 谢鸿宇,叶慧珊. 中国主要农产品全球平均产量的更新计算 [J]. 广州大学学报:自然科学版, 2008, 7(1): 76—80.
- [5] WACKERNAGEL M, REES W. Our Ecological Foot Print: Reducing Human Impact on the Earth [M]. Gabriola Is-

land: New society Publishers, 1996.

- [6] WACKERNAGEL M, DAVID Y J. The Ecological Foot Print: An Indicator of Process Toward Regional Sustainability [J]. Environ-meet Monitoring and Assessment, 1998, 51: 511—529.
- [7] 苏 筠, 成升魁, 谢高地. 大城市居民生活消费的生态占用初探——对北京、上海的案例研究 [J]. 资源科学, 2001, 23(6): 24—28.
- [8] 王书华, 毛汉英, 王忠静. 生态足迹研究的国内外近期进展 [J]. 自然资源学报, 2002, 17(6): 776—782.
- [9] 尤 飞, 钟肯丽, 王传胜. 生态经济持续性的度量和趋势预测——以甘肃武威市为例 [J]. 自然资源学报, 2002, 17(6): 743—749.
- [10] 黄万常, 周 兴. 土地承载力研究的理论与方法综述 [J]. 江西农业学报, 2008, 20(10): 100—103.
- [11] 刘富刚. 基于生态足迹的德州市土地承载力评价 [J]. 节水灌溉, 2008, 8: 26—28.

Study of Land Carrying Capacity of Kaixian County Based on the Ecological Footprint Model

PU Peng, FU Wa-li

College of Geography and Science, Southwet University, Chongqing 400715

Abstract: This study calculated and analyzed the ecological footprint of Kaixian county from 2003 to 2006 based on ecological footprint model. According to analysis of the data in 2003, it is concluded that the oneness of the consumption structure and industry structure was the main cause of ecological deficit in Kaixian county. In addition that, although the ecological footprint fluctuated drastically, it appeared that eco-capacity of this district stayed stable between $0.426\ 538\ \text{hm}^2 \cdot \text{cap}^{-1}$ to $0.434\ 438\ \text{hm}^2 \cdot \text{cap}^{-1}$. Development of society and economy in this area was generally in an unsustainable condition, which can be attributed to its excessive dependent on the agriculture.

Key words: ecological footprint; eco-capacity; eco-deficit; sustainable development; Kaixian county

责任编辑 陈绍兰