

基于改进的生态足迹模型对循环经济发展水平的测度研究

陈薇, 孙静 (河北科技大学经济与管理学院, 河北石家庄 050000)

摘要 通过对传统的生态足迹模型进行改进, 计算了2014年威县各消费项目的生态足迹、生态承载力。并以生态足迹度作为循环经济发展水平的判定依据, 对其进行客观、科学的量化分析。结果表明: 首先, 威县的人均生态足迹是 $1.0015 \text{ hm}^2/\text{人}$, 人均承载力是 $0.3031 \text{ hm}^2/\text{人}$, 最终人均生态赤字为 $0.6984 \text{ hm}^2/\text{人}$, 赤字的主要原因是耕地、化石燃料地和草地的生态足迹超出了其生态承载力的范围。其次, 威县循环经济发展水平的生态足迹度测度结果(EFD)为3.3, 表明威县的循环经济处于劣性循环阶段, 对于威县发展农牧结合循环经济而言, 如何在满足现有水平的消费需求情况下保持生态的可持续发展是当前需要解决的重要问题。

关键词 生态足迹; 循环经济; 生态足迹度; 生态承载力; 威县

中图分类号 S-9 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2017)24-0236-03

Research on the Development Level of Circular Economy Based on Improved Ecological Footprint Model

CHEN Wei, SUN Jing (School of Economics and Management, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang, Hebei 050000)

Abstract On the basis of improving the traditional ecological footprint model, this paper calculated the ecological footprint and ecological carrying capacity of Weixian County in 2014. It made an objective and quantitative analysis of the development level for circular economy by Ecological Footprint Degree (EFD). The result indicated that Weixian County's ecological footprint per capita was $1.0015 \text{ hm}^2/\text{people}$, ecological capability per capita was $0.3031 \text{ hm}^2/\text{people}$, ecological deficit per capita was $0.6984 \text{ hm}^2/\text{people}$. The main reason for the deficit was that the ecological footprint of arable land, fossil fuel and grassland was beyond the scope of its ecological carrying capacity. Secondly, the measurement results of the Ecological Footprint Degree of Weixian County circular economy development level was 3.3. It showed that the Weixian County circular economy was in a inferior circulation stage. How to meet the current level of consumer demand, and maintain the sustainable development of ecology is an important problem to be solved for the development of circular economy in Weixian County.

Key words Ecological footprint; Circular economy; Ecological footprint degree; Ecological carrying capacity; Weixian County

生态足迹法最初是由 William Rees 和他的学生 Wackernagel 在 20 世纪 90 年代提出的一种依据人类对土地的不断依赖性来定量测度可持续发展状态的方法^[1]。该研究在传统的生态足迹模型上作了两点改进, 首先是把传统模型中的“全球公顷”改进为“国家公顷”, 主要因为各国的自然资源和经济水平差别较大, 所以来源于 WWF(世界自然基金会)的数据并不能反映我国的实际情况, 因此根据我国实际情况计算国家平均生产力和基于国家生产力均衡因子, 更能真实反映我国对自然资源的利用情况和可持续发展状态^[1-2]。其次是在计算生物资源账户生态足迹时, 选择其生产量而不是消费量, 主要因为一个区域土地上的生态足迹并不仅仅是由发生在本区域内的消费产生的, 其中也有其他地方的消费。所以选择区域生产量更能体现本地生态足迹的概念。

1 生态足迹法的计算模型与方法

1.1 生态足迹计算 生态足迹作为一个国家或地区在发展中对环境占用是否处于生态承载力范围内的判断依据, 它是一种资源利用分析工具, 通过精确的计算和分析来比较国家或区域范围内自然资源的产出与人类的消费情况。由于不同生物生产性土地的生产能力不同, 必须通过均衡因子转化为相同生态生产能力的面积, 进而比较^[3]。各种消费项目人均生态足迹的计算公式:

$$EF = N \times (ef) = N \times \sum \gamma_j \times A_i = N \times \sum \gamma_j \times \left[\frac{C_i}{P_i} \right] \quad (1)$$

式中, EF 为总生态足迹; N 为区域总人口数量; ef 为人均生态足迹; γ_j 为均衡因子; A_i 为第 i 种消费项目的生产性土地面积; C_i 为第 i 项的人均年消费量; P_i 为相应的生态生产性土地生产第 i 项消费项目的年平均生产力。

1.2 生态承载力计算 生态承载力是指以不损害区域的生产力为前提, 一个区域有限的资源能供养的最大人口数量。由于不同国家或地区的同类型生物生产土地的生产能力也不同, 因此在计算生态承载力时, 不仅要通过均衡因子转化为相同生态生产能力的面积, 还需乘以产量因子来调节, 产量因子指一个区域某类土地的平均生产力与全国同类土地的平均生产力的比值^[4], 将现有的 6 种生态生产性土地乘以相应的均衡因子和当地的产量因子, 就可以得到生态承载力 (EC), 计算公式如下:

$$EC = \sum_{i=1}^n A_i E Q_i Y_i, ec = EC/N \quad (2)$$

式中, EC 为生态承载力; $E Q_i$ 为均衡因子; Y_i 为第 i 种消费项目产量系数; N 为总人口数; ec 为人均生态承载力。

2 循环经济发展水平的生态测度

2.1 循环经济发展水平的生态账户测度 区域的可持续发展状况可通过生态足迹与生态承载力进行比较获得。如果一个地区的生态足迹超过了生态承载力, 则为生态赤字, 表明该区域人类活动对生态环境的压力超过其承载力, 生态足迹的供给不足, 这种情况就说明该区域是不可持续发展的。反之, 则为生态盈余, 区域是可持续发展的^[5]。其计算公式为:

$$EA = EF - EC \quad (3)$$

2.2 循环经济发展水平的生态足迹度测度 参考张杰等^[6]提出的生态足迹度 (Ecological Footprint Degree, EFD) 的测度方法, 通过把地区的各种资源消耗量与该地区的环境承载力

基金项目 河北省科技厅专项基金-11; 河北省渤海粮仓科技示范项目。

作者简介 陈薇(1967—), 女, 辽宁沈阳人, 教授, 博士, 从事农业经济管理研究。

收稿日期 2017-05-31

联系起来,既不受生态账户余额的绝对量影响,又能比较准确地测度循环经济的发展水平^[6],就可以对地区的循环经济发展阶段做出相对准确的测评。所谓生态足迹就是一个区域的生态足迹与生态承载能力的比值,即:

$$EFD = EF/EC \quad (4)$$

3 生态足迹分析——以威县为例

3.1 生物国家平均产量和均衡因子 由于各国的自然资源和经济水平差别较大,该研究把传统模型中的“全球公顷”改进为“国家公顷”,与传统的全球生物平均产量的主要区别是,它计算的是本国范围内的产量和面积数据,因此所得计算结果相比全球的更符合本国实际情况,也更适合本国区域生态足迹的计算^[1-2]。为了便于加总,将各类生物产品转化为热值单位,并将属于相同土地类型的热值加总与全国水平比较得出均衡因子。公式为:

$$q_j = \frac{\bar{P}_j}{p} = \frac{Q_j / \sum S_j}{\sum P_j / \sum S_j} = \frac{\sum p_k^j \times \gamma_k^j / \sum S_j}{\sum P_j / \sum S_j} \quad (5)$$

式中, q_j 为全国第 j 类土地的均衡因子; P_j 为第 j 类土地的平均

均生产力; p 为全国全部土地的平均生产力; Q_j 为第 j 类土地的总生物产量; S_j 为第 j 类土地的生态生产性土地面积; p_k^j 为第 j 类土地的第 k 种生物产品产量; γ_k^j 为第 j 类土地上第 k 种生物产品的单位热值。

全国平均产量和均衡因子两个参数上直接引用了张宇鹏^[1]的计算结果,各类土地的均衡因子分别为耕地 3.908,林地 0.671,水域 0.095,草地 0.048,化石能源地 0.191,建设用地 3.908。

3.2 威县产量因子计算 威县各类型土地的产量因子是各类生态生产性土地相对于全国各类生态生产性土地的产出能力。在耕地计算中,除了农作物和猪肉、禽肉、禽蛋属于消耗耕地之外,相关研究表明,我国的牛肉、羊肉和牛奶也有部分是消耗耕地,比例分别为 86%、57% 和 72%,为避免重复计算,在产量因子的计算中不计入在内。在林地的计算中,生物产品主要包括苹果、梨、葡萄。在草地产品的计算中,只考虑产自草地的牛肉、羊肉和牛奶的产量,即计算时减去来自耕地的产量(表 1)。

表 1 2014 年威县生物资源生产情况

Table 1 The production of biological resources in Weixian County in 2014

类型 Type	总面积 Total area hm ²	品种 Varieties	面积 Area hm ²	产量 Yield t	单位热值 Unit calorific value// × 10 ³ J/kg	总热值 Calorific value × 10 ¹⁰ J	热值合计 Total calorific value// × 10 ¹⁰ J
耕地 Arable land	90 808.00	小麦	12 933.00	73 681	16 066.03	118 376.12	428 081.48
		玉米	9 112.00	48 979	16 485.21	80 742.91	
		谷子	6 452.00	44 600	15 100.00	67 346.00	
		豆类	826.00	3 110	21 072.93	6 553.68	
		薯类	790.00	27 010	5 721.04	15 452.53	
		花生	1 553.00	7 574	25 917.48	19 629.90	
		棉花	52 060.00	68 402	16 700.00	114 231.34	
		蔬菜	7 082.00	39 296	1 463.00	5 749.00	
林地 Woodland	11 680.00	苹果	3 910.00	8 175	2 760.59	2 256.78	18 392.30
		梨	2 250.00	5 000	2 068.87	1 034.44	
		桃	520.00	12 120	2 106.30	2 552.84	
		葡萄	5 000.00	56 810	2 208.81	12 548.25	
水域 Waters	1 539.06	水产类	1 539.06	345	38 389.96	1 324.45	1 324.45
草地 Grassland	1 282.67	牛肉(14%)	1 282.67	3 041	8 775.12	373.59	2 205.50
		牛奶(43%)		420	3 225.86	37.94	
		羊肉(28%)		2 957	14 109.02	1 793.98	

根据各类生产性土地的面积以及总热值计算出威县各类型土地的生产力,通过与全国相对应类型土地的比值即可得出威县各类型土地的产量因子。从计算结果可得出威县耕地的产量因子为 0.677 7,林地 为 2.426 8,水域 为 10.261 9,草地 为 19.327 7,化石能源地的生产力等于全国平均生产力,产量因子取 1。建设用地 等于耕地的产量因子为 0.677 7。

3.3 威县生态足迹计算

3.3.1 生物资源账户生态足迹计算。生物资源生态足迹反映了经济对生态系统资源供给能力的需求。结合威县的生物资源消费情况,该县的生物资源消费主要包括农产品、动物产品、林产品和水产品,2015 年《威县年鉴》中统计的 2014

年威县总人口为 628 936 人,根据上文对应的土地均衡因子,利用公式(1)计算出对应的均衡人均生态足迹分别为耕地 0.740 23 hm²/人,林地 0.005 77 hm²/人,草地 0.036 46 hm²/人,水域 0.000 02 hm²/人。

3.3.2 能源账户生态足迹计算。在化石能源足迹的计算中,生产力按照前面计算的森林和草地的总热值和面积,化石能源地的产出采用森林和草地吸收温室气体的实际面积^[2],根据《邢台统计年鉴 2015》中威县 2014 年化石能源的消耗量,计算出威县化石能源生态总足迹为 709 889.342 hm²,其中分别包括原煤、焦炭、汽油、煤油、柴油、燃料油、液化天然气。能源账户另外一个土地类型是建筑用地,据谢鸿宇等^[7]的研究,全国水电占总电力的百分比

为 14.79%,单位水电占用的建筑用地为 $0.021 \text{ m}^2/\text{kW} \cdot \text{h}$, 威县 2014 年电力消费量为 180 107.392 万 $\text{kW} \cdot \text{h}$, 计算得出威县建筑用地的生态足迹为 548.740 hm^2 。

根据以上计算结果,可以得出威县总的消费项目生态足迹。2014 年威县消费项目总的人均生态足迹为 $1.001 5 \text{ hm}^2/\text{人}$ 。其中耕地的生态足迹占整个消费项目生态足迹的 73.912%,约为 $0.740 23 \text{ hm}^2/\text{人}$,其次是化石燃料地,其生态足迹为 $0.215 58 \text{ hm}^2/\text{人}$,占整个消费项目生态足迹的

21.526%,草地为 $0.036 463 \text{ hm}^2/\text{人}$,林地为 $0.005 773 \text{ hm}^2/\text{人}$,建设用地为 $0.003 413 \text{ hm}^2/\text{人}$,水域为 $0.000 023 \text{ hm}^2/\text{人}$ 。

3.3.3 威县生态承载力计算。按世界环境与发展委员会(WCED)的报告建议,应留出 12%的生物生产性土地面积来保护生物多样性。利用公式(2)求出威县人均生态承载力,在扣除了 12%的生物多样性保护地后,实际可供利用的面积为 $0.303 1 \text{ hm}^2/\text{人}$ (表 2),人均承载力大小依次为耕地、林地、建设用地、草地、水域、化石能源地。

表 2 2014 年威县人均生态承载力

Table 2 Per capita ecological carrying capacity in Weixian County in 2014

土地类型 Type	现有面积 Existing area hm^2	产量因子 Yield factor	均衡因子 Equilibrium factor	生态承载力 (国家公顷) Ecological carrying capacity (National ha)	人均承载力 (国家公顷) Per capita carrying capacity (National ha)
耕地 Arable land	76 142.000	0.678	3.908	201 664.907 6	0.320 6
林地 Woodland	3 416.500	2.427	0.671	5 563.132 8	0.008 8
水域 Waters	1 539.060	10.262	0.095	1 500.394 6	0.002 4
草地 Grassland	3 416.500	19.328	0.048	3 169.586 7	0.005 0
化石能源地 Fossil energy	6 833.000	1.000	0.191	1 305.103 0	0.002 1
建设用地 Construction land	1 278.770	0.678	3.908	3 386.869 7	0.005 4
小计 Subtotal					0.344 4
生物多样性保护 Biodiversity conservation					0.041 3
总生态承载力 Total ecological carrying capacity					0.303 1

4 威县循环经济发展水平的生态测度分析

4.1 生态赤字的测度 计算结果表明(表 3),威县的人均生态足迹是 $1.001 5 \text{ hm}^2/\text{人}$,人均承载力是 $0.303 1 \text{ hm}^2/\text{人}$,其生态足迹是生态承载能力的 3.3 倍,生态账户余额 $EA = 0.698 4$, $EA > 0$ 。由上文可知,威县表现为生态赤字,其中林地、水域和建设用地的生态足迹均小于生态承载力,表现为生态盈余;耕地、草地和化石能源地生态足迹大于生态承载力,表现为生态亏损,最终人均生态赤字为 $0.698 4 \text{ hm}^2/\text{人}$,

赤字的最主要原因是耕地的生态足迹远远超出了生态承载力的范围,说明 2014 年威县农产品加工业不断发展,人们对粮食食品类消费增加,耕地足迹的占用加大。其次是化石燃料地,造成其生态赤字的原因主要来源于生产生活对化石能源的消耗,近年来威县坚持走新型工业化之路,规模以上工业产值增速全市第二,因此对化石能源的需求和消耗都在不断增多,产生的温室气体量也随之增大,对环境的影响也越来越大。

表 3 2014 年威县总体生态总体盈亏情况

Table 3 Overall ecological profit and loss of Weixian County in 2014

土地类型 Type	人均生态足迹 Ecological footprint per capita $\text{hm}^2/\text{people}$	均衡因子 Equilibrium factor	均衡人均生态足迹 Balanced per capita ecological footprint// $\text{hm}^2/\text{people}$	人均承载力 Per capita carrying capacity $\text{hm}^2/\text{people}$	生态账户余额 Balance of ecological accounts $\text{hm}^2/\text{people}$
耕地 Arable land	0.189 4	3.908 0	0.740 2	0.320 6	0.419 6
林地 Woodland	0.008 6	0.671 0	0.005 8	0.008 8	-0.003 1
草地 Waters	0.383 8	0.095 0	0.036 5	0.002 4	0.034 1
水域 Grassland	0.000 4	0.048 0	0.000 0	0.005 0	-0.005 0
化石燃料地 Fossil energy	1.128 7	0.191 0	0.215 6	0.002 1	0.213 5
建设用地 Construction land	0.000 9	3.908 0	0.003 4	0.005 4	-0.002 0
生物多样性保护 Biodiversity conservation				0.041 3	
总计 Subtotal			1.001 5	0.303 1	0.698 4

4.2 生态足迹度测度 利用公式(4)计算出生态足迹度为 $EFD = 3.3$,根据张杰等人提出的循环经济发展水平生态指数等级测度表,可以看出威县的循环经济处于劣性循环阶段,这说明威县的资源开发不合理,废弃物处理效率低,经济欠

发展,循环经济发展方向有进一步恶化的风险。

5 结论与建议

发展循环经济是人类实现经济可持续发展的重要途径,
(下转第 250 页)

究,尤其是在顶层制度设计完善、三地内部关系的厘定、跨区域公共管理模式以及政府间行为方面加强研究^[23-24];实践方面,要多从长三角、珠三角区域一体化案例中吸收优秀经验,如从共赢方式入手,由点及面、由易到难逐层次进行,形成地方政府、社会组织和企业多层次良性互动的合作网络,还应该率先在关键领域实现突破,如加快建设京津冀的交通网络体系等^[2,25]。

随着国家领导人的重视,《京津冀协同发展规划纲要》的正式颁布实施,未来京津冀一体化的成功将会促使北京非首都功能疏解,“大城市病”得到治理^[26],使河北地区享受到发展的红利,达到规划纲要中的目标,而京津冀地区的协同发展也会成为中国乃至世界的创新示范区,各行各业应该抓住这个机遇,为京津冀协同发展贡献力量。

参考文献

- [1] 张可云,蔡之兵. 京津冀协同发展历程、制约因素及未来方向[J]. 河北学刊,2014,34(6):101-105.
- [2] 张亚明,张心怡,唐朝生. 京津冀区域经济一体化的困境与选择:与“长三角”对比研究[J]. 北京行政学院学报,2012(6):70-76.
- [3] 王海涛,徐刚,恽晓方. 区域经济一体化视阈下京津冀产业结构分析[J]. 东北大学学报(社会科学版),2013,15(4):367-374.
- [4] 郭腾云,董冠鹏. 京津冀都市区经济分布演化及作用机制模拟研究[J]. 地理科学,2012,32(5):550-556.
- [5] 孙久文,丁鸿君. 京津冀区域经济一体化进程研究[J]. 经济与管理研究,2012(7):52-58.
- [6] 崔冬初,宋之杰. 京津冀区域经济一体化中存在的问题及对策[J]. 经济纵横,2012(5):228.
- [7] 郑贞,周祝平. 京津冀地区人口经济状况评价及空间分布模式分析[J]. 人口学刊,2014,36(2):19-28.
- [8] 邢珊. 京津冀区域经济差异及影响因素研究[D]. 秦皇岛:燕山大学,2013.

- [9] 张丹,孙铁山,李国平. 中国首都圈区域空间结构特征:基于分行业就业人口分布的实证研究[J]. 地理研究,2012,31(5):899-908.
- [10] 赵渺希,魏冀明,吴康. 京津冀城市群的功能联系及其复杂网络演化[J]. 城市规划学刊,2014(1):46-52.
- [11] 陆大道. 京津冀城市群功能定位及协同发展[J]. 地理科学进展,2015,34(3):265-270.
- [12] 徐新良,通拉嘎,郑凯迪,等. 京津冀都市圈城镇扩展时空过程及其未来情景预测[J]. 中国人口·资源与环境,2012,22(S2):256-261.
- [13] 牛方曲,刘卫东,宋涛,等. 城市群多层次空间结构分析算法及其应用:以京津冀城市群为例[J]. 地理研究,2015,34(8):1447-1460.
- [14] 王少剑,方创琳,王洋. 京津冀地区城市化与生态环境交互耦合关系定量测度[J]. 生态学报,2015,35(7):2244-2254.
- [15] 张予,刘承承,白艳莹,等. 京津冀生态合作的现状、问题与机制建设[J]. 资源科学,2015,37(8):1529-1535.
- [16] 母爱英,何恬. 京津冀循环农业生态产业链的构建与思考[J]. 河北经贸大学学报,2014,35(6):120-123.
- [17] 韩劲. 基于生态功能的京津冀山区一体化治理研究[J]. 当代经济管理,2015,37(5):55-59.
- [18] 把增强,王连芳. 京津冀生态环境建设:现状、问题与应对[J]. 石家庄铁道大学学报(社会科学版),2015,9(4):1-5.
- [19] 程恩富,王新建. 京津冀协同发展:演进、现状与对策[J]. 管理科学,2015,28(1):1-9.
- [20] 魏进平,刘鑫洋,魏娜. 京津冀协同发展的历程回顾、现实困境与突破路径[J]. 河北工业大学学报(社会科学版),2014,6(2):1-6.
- [21] 薄文广,陈飞. 京津冀协同发展:挑战与困境[J]. 南开学报(哲学社会科学版),2015(1):110-118.
- [22] 《天津经济》课题组. 京津冀一体化的综述与借鉴[J]. 天津经济,2014(4):22-29.
- [23] 宋迎昌. 京津冀协同发展相关研究文献综述[J]. 城市,2016(2):21-25.
- [24] 涂英柯,司林波,孟卫东. 京津冀区域经济一体化研究综述[J]. 商业时代,2013(26):136-138.
- [25] 薄文广,周立群. 长三角区域一体化的经验借鉴及对京津冀协同发展的启示[J]. 城市,2014(5):8-11.
- [26] 赵弘. 北京大城市病治理与京津冀协同发展[J]. 经济与管理,2014,28(3):5-9.

(上接第238页)

该研究运用改进后的生态足迹模型对威县循环经济现状进行初步研究,探寻了导致其生态赤字的成因,并在此基础上引用了生态足迹度法,进一步评价了威县经济的可持续发展能力和循环经济发展水平,并给出如下建议:第一,威县要减少生态赤字,首先要合理规划和开发土地资源,发挥土地的相对优势,提高土地的利用率,提高生产性土地的生产能力,减少耕地污染,并且要合理利用自然资源。第二,减少化石能源使用,提高能源的使用率。大力发展新能源、可再生能源,实现能源的安全和节约发展。建设生态文明,转变发展方式,提高发展质量,促进绿色增长和建立资源节约型环境

友好型社会。

参考文献

- [1] 张宇鹏. 我国生态足迹区域差异比较研究[D]. 长春:吉林大学,2010.
- [2] 王洪波. 基于改进型生态足迹模型的北京市生态足迹分析与评价[D]. 北京:首都经济贸易大学,2013.
- [3] 刘希宋,李果. 哈尔滨市可持续发展的生态足迹测度与分析[J]. 商业研究,2006(9):90-93.
- [4] 张可云,傅帅雄,张文彬. 基于改进生态足迹模型的中国31个省级区域生态承载力实证研究[J]. 地理科学,2011(9):1084-1089.
- [5] 武于非,张贵祥. 基于生态足迹的延庆县可持续发展水平测度研究[J]. 山西师范大学学报(自然科学版),2011,25(4):77-82.
- [6] 张杰,赵峰,刘希宋. 基于生态足迹的循环经济发展水平的测度研究[J]. 干旱区资源与环境,2007,21(8):81-85.
- [7] 谢鸿宇,陈贤生,林凯荣,等. 基于碳循环的化石能源及电力生态足迹[J]. 生态学报,2008,28(4):1729-1735.

科技论文写作规范——工作单位

在圆括号内书写作者的工作单位(用全称)、城市名及邮政编码。若为外国的工作单位,则加国名。多个作者不同工作单位时,在名字的右上角分别加注“1”“2”,和地址前注“1.”“2.”。