

江苏省可持续发展和生态安全的生态足迹评价

范晓秋 姜翠玲 章亦兵

(河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室 江苏 南京 210098)

摘要 应用 Wackernagel 等提出的生态足迹评价方法对江苏省 2003 年的生态足迹和生态承载力进行分析和计算.利用生态足迹分析方法从宏观上度量了江苏省社会经济发展的可持续性以及生态状况.评价结果表明,江苏省可持续发展面临较大的困难,生态安全受到胁迫,生态赤字高达 2.271 3 hm²/人.

关键词 生态足迹 可持续发展 生态安全 生态承载力 江苏省

中图分类号 X826 **文献标识码** A **文章编号** 1000-1980(2005)03-0255-05

1 生态足迹评价的基本概念

生态足迹分析法是由加拿大生态经济学家 William 和他的学生 Wackernagel 于 20 世纪 90 年代初期提出的,是用于度量可持续发展程度的方法^[1,2].生态足迹是“一只承载着人类和人类所创造的城市、工厂……的巨脚踏在地球上留下的脚印”,可定义为“维持一个地区、国家内人类生存所需资源和吸纳人类排放废弃物所需的具有生物生产性的土地面积”.该方法将人类需求的生态足迹与可供给的生态承载力进行比较,衡量研究区域的可持续发展和生态安全状况.因此,生态足迹分析的实质就是衡量人类现在究竟消耗了多少资源,还剩多少资源可以用于延续人类发展.

Wackernagel 负责的“加拿大生态足迹小组”和“发展重定义组织”已经使用该方法测算了世界不同国家和地区的生态足迹^[3].基于科学的理论基础和统一的指标体系,生态足迹计算方法具有全球的通用性.近年来,国内有些学者采用该法测算了少数地区的生态足迹,较好地评价了地区的可持续性和生态安全.

1.1 生态足迹模型

人类在任何时候都需要消耗自然提供的资源,在消耗资源的过程中对地球生态系统产生了影响.生态足迹法通过测度人类对自然生态资源的需求和自然生态资源所能提供的生态服务之间的差距来度量人类活动对自然生态系统的胁迫.当人类对资源的消耗处于自然生态系统的承载范围之内时,自然生态系统即为安全的,人类社会的发展也是可持续的,反之则不然.生态足迹通过对上述问题的量化,计算一定人口和经济规模条件下维持资源消费和废物消纳所需要的生物生产性土地面积,告诉人们已经消耗了多少自然生态资源,还剩多少自然生态资源可供人类利用.

生态足迹计算基于下列两个事实:一是人类可以确定消费的绝大多数资源以及产生的废物的数量;二是所有这些资源和废物均可以转换成生物生产性土地面积.生态足迹的计算公式为^[4]

$$E_F = Ne_f = \sum_{i=1}^n \frac{\gamma_i (P_i + I_i - E_i)}{p_i} \tag{1}$$

式中: E_F ——总生态足迹; N ——人口数; e_f ——人均生态足迹; i ——所消费的商品与投入的类型; P_i ——第 i 种消费项目的年产量; I_i ——第 i 种消费项目的年进口量; E_i ——第 i 种消费项目的年出口量; γ_i ——第 i 种生物资源的均衡因子; p_i ——第 i 种消费商品的世界平均生产能力.

由于各类生物生产性土地单位面积生产力差异较大,为了使计算结果转化为一个可比较的标准,有必要

给每种生物生产面积乘以一个均衡因子,以转化为生物生产性面积.某种生物生产性土地的均衡因子为全球该类生物生产性土地的平均生物生产力除以全球所有各类生物生产面积的平均生物生产力.

$$E_C = Ne_c = N \sum_{i=1}^n \frac{\gamma_i \varphi_i a_i}{N}$$

(2)

式中: E_C ——总生态承载力; e_c ——人均生态承载力; γ_i ——第*i*种生物资源的均衡因子; φ_i ——第*i*种生物资源的产量因子; a_i ——第*i*种生物生产性土地的总面积; N ——人口数.

由于同类生物生产性土地的生产力在不同地区之间存在差异,因而各地区同类生物生产性土地的实际面积不能直接对比.产量因子就是一个将各地区同类生物生产性土地转换成可比面积的参数,是一个地区某类土地的平均生产力与世界同类平均生产力的比率.

1.2 生态足迹对可持续性和生态安全的衡量

生态足迹对可持续性的衡量,主要依据生态足迹和生态承载力差值.

当一个地区的生态承载力小于生态足迹时,将出现“生态赤字”.生态赤字表明,该地区人类对自然资源的消耗超过了生态承载力,生态安全受到胁迫.该地区将通过输入匮乏的资源平衡对自然生态资源的需求,或过度消耗自身的资源以降低需求的短缺.这两种情况均说明发展处于相对不可持续状态,其程度由生态赤字衡量,其大小等于生态承载力减去生态足迹.

当生态承载力大于生态足迹时,会出现“生态盈余”,此时认为生态是安全的.生态盈余表明地区自然生态资源可以满足人类对资源的需求,地区内自然生态资源在一定的保护措施下可以得到增加,使得生态承载力供给扩大,自然生态资源发展具有相对可持续性,而可持续程度用生态盈余衡量.

2 江苏省生态足迹和生态承载力计算

根据江苏省自然资源和生产消费的特点,确定了2003年生态足迹计算的主要内容:(a)生物资源消费,包括农产品、动物产品、林产品、水果和木材等的消费(表1)(b)工业和能源消费,包括煤、焦炭、燃料油、原油、汽油、柴油和电力等几种能源以及钢材、玻璃、化纤等几种工业产品的消费(表2)(c)服务资源消费,包括邮电、运输、房建等服务产业的消费(表3).

表1 2003年江苏省生物资源消费生态足迹

Table 1 Calculation of ecological footprint of biotic resources consumption in Jiangsu Province for 2003

生物资源	全球平均 年产量/ (kg·hm ⁻²)	产量/t	人均生态 足迹/ (hm ² ·人 ⁻¹)	生物生产 性土地 类型	生物资源	全球平均 年产量/ (kg·hm ⁻²)	产量/t	人均生态 足迹/ (hm ² ·人 ⁻¹)	生物生产 性土地 类型
小麦	2744	6971964	0.034308	耕地	猪肉	33	2211600	0.000090	牧草地
水稻	2744	14046388	0.069121	耕地	牛肉	33	55800	0.000002	牧草地
蚕豌豆	852	320918	0.005086	耕地	羊肉	33	176500	0.000007	牧草地
薯类	12607	742797	0.000796	耕地	禽肉	764	1036400	0.000002	牧草地
玉米	2744	1972543	0.009707	耕地	牛奶	502	497810	0.013390	牧草地
大豆	1856	567465	0.004128	耕地	羊奶	502	1698	0.000046	牧草地
高粱	3200	1142	0.000005	耕地	绵羊毛	15	646	0.000582	牧草地
谷子	2415	51	0	耕地	山羊毛	15	10	0.000015	牧草地
棉花	1000	290981	0.003929	耕地	蜂蜜	50	6349	0.001922	牧草地
油料	1856	1994508	0.014511	耕地	鲜蛋	400	1881900	0.061229	牧草地
麻类	1500	5278	0.000048	耕地	油桐籽	3000	195	0.000001	林地
糖类	4893	344023	0.000949	耕地	油茶籽	3000	16	0	林地
烤烟	1548	1709	0.000015	耕地	竹笋干	3500	1001	0.000004	林地
茶叶	566	11900	0.000284	耕地	白果	3500	13024	0.000050	林地
蔬菜	18000	37227881	0.027927	耕地	瓜果	18000	4190395	0.003143	林地
其他	2744	95192	0.000468	耕地	板栗	3000	17717	0.000080	林地
					原木	1.99 ^①	796000 ^②	0.005401	林地
					水产品				
					淡水产品	29	2447600	1.139644	水域
					海水产品	29	981700	0.457096	水域

注:数据摘自《江苏统计年鉴——2004》.①单位为m³/hm²;②单位为m³.

表 2 2003 年江苏省工业和能源消费生态足迹

Table 2 Calculation of ecological footprint of industry and power consumption in Jiangsu Province for 2003					
消费项目	消费量	折算系数/ (GJ·t ⁻¹)	全球平均能源足迹	人均生态足迹/ (hm ² ·人 ⁻¹)	生物生产性 土地类型
原 煤	11 542.66 万 t	20.934	55 GJ/hm ⁻²	0.593 229	化石能源用地
焦 炭	618.15 万 t	28.470	55 GJ/hm ⁻²	0.043 206	化石能源用地
原 油	1 705.02 万 t	41.868	93 GJ/hm ⁻²	0.103 647	化石能源用地
汽 油	34.11 万 t	43.124	93 GJ/hm ⁻²	0.002 136	化石能源用地
煤 油	5.80 万 t	43.124	93 GJ/hm ⁻²	0.000 363	化石能源用地
柴 油	90.48 万 t	42.705	93 GJ/hm ⁻²	0.005 610	化石能源用地
燃料油	199.74 万 t	50.200	71 GJ/hm ⁻²	0.019 069	化石能源用地
液化石油气	48.97 万 t	50.200	71 GJ/hm ⁻²	0.004 675	化石能源用地
其他石油制品	697.47 万 t	41.868	93 GJ/hm ⁻²	0.042 399	化石能源用地
电 力	150 512 GW·h	3.360	1 000 GJ/hm ⁻²	0.007 316	建筑用地
钢 材	5 382.91 万 t	30.000	71 GJ/hm ⁻²	0.307 119	化石能源用地
玻 璃	190.31 万 t	20.000	71 GJ/hm ⁻²	0.007 240	化石能源用地
水 泥	7 225.14 万 t	3.500	71 GJ/hm ⁻²	0.048 093	化石能源用地
化 纤	303.76 万 t		1 000 kg/hm ⁻²	0.041 016	耕 地

注：数据摘自《江苏统计年鉴——2004》，计算中的折算系数采用世界上单位化石能源土地面积的平均发热量^[5]。

表 3 2003 年江苏省服务资源消费生态足迹

Table 3 Calculation of ecological footprint of service resources consumption in Jiangsu Province for 2003					
消费项目	消费总量	转化系数	全球平均	化石能源土地/ (hm ² ·人 ⁻¹)	建筑用地/ (hm ² ·人 ⁻¹)
邮 电	5 262 413 918 美元	7.2MJ/美元	71GJ/hm	0.007 206	0
政府支出	16 938 987 560 美元	3.6MJ/美元	71GJ/hm	0.023 195	0
公 路	59 448 000 000 人·km		0.14 m ² /(人·km)	0.014 634	0.000 209
铁 路	16 587 000 000 人·km		0.07 m ² /(人·km)	0.001 729	0.000 049
水 路	145 000 000 人·km		0.07 m ² /(人·km)	0.000 005	0
航 空	1 445 000 000 人·km		0.07 m ² /(人·km)	0.000 194	0.000 006
房屋建筑 施工面积	33 949.95 hm ²	360 hm ² / (10 ⁴ t·SCE)		0.004 847	0.000 458

注：数据摘自《江苏统计年鉴——2004》，建筑土地面积按照 Wackernagel 计算中所采用的估算系数(0.002 m²/(人·km))进行计算，化石能源土地按 Wackernagel 确定的全球平均值折算，房屋建筑施工面积转换系数的单位为 hm²/(10⁴t·SCE)，SCE 为标准炭能源，房屋建筑施工面积折算成煤炭计算。

在生物资源、工业产品和能源的生态足迹计算中考虑贸易调整，计算净消费额(表 4)。由于不同的时期人类对资源的利用是动态变化的，因此生态足迹是随时间变化的一个动态指标。依据各类土地的“空间互斥性”，对各类生态生产性土地进行汇总，从而可以从宏观上量化人类对自然生态系统的需求。

根据式(1)和式(2)，可归类汇总得出江苏省 2003 年生态足迹的需求及供给的最终结果(表 5)，其中生态承载力数据采用 2000 年统计值^[5]。生态足迹的供给反映了江苏省的生态承载能力，即资源有效供给。生态承载力供给计算时的产量因子，参考文献[4][6]中计算中国生态足迹时的产量因子取值。据《中国统计年鉴》，中国粮食的平均产量为 4 231 kg/hm²，江苏地区平均产量为 5 857 kg/hm²。文献[4]研究中国耕地时所采用的平均产量因子为 1.66，因此江苏地区耕地的产量因子根据下式确定为 2.30。

$$\frac{P}{1} = \frac{P_C}{1.66} = \frac{P_{JS}}{p}$$

(3)

式中： P ——全球粮食的平均产量； P_C ——中国粮食的平均产量； P_{JS} ——江苏省粮食的平均产量； p ——江苏省耕地的产量因子。

均衡因子选取于文献[2][3]中对世界各国生态足迹估算的结果。按世界环境与发展委员会(WCED)的报告——《我们共同的未来》中的建议，应留出 12% 的生物生产性土地面积来保护生物多样性。

表 4 2003 年江苏省贸易调整生态足迹

Table 4 Calculation of ecological footprint of trade adjustment in Jiangsu Province for 2003

消费项目	进 口/t	出口/t	人均生态 足迹/ (hm ² ·人 ⁻¹)	生物生产 性土地 类型	消费项目	进 口	出口/t	人均生态 足迹/ (hm ² ·人 ⁻¹)	生物生产 性土地 类型		
谷物类	0	340000	-0.001673	耕地	工业生产	化 纤	186197 t	77260	0.014710	耕 地	
干 豆	2750000	20000	0.019861	耕 地		钢 材	5519710 t	621667	0.027946	化石能源用地	
禽 肉	0	955	-0.000017	牧草地		水 泥	0	800000	-0.000533	化石能源用地	
猪 肉	0	2081	-0.000852	牧草地		平板玻璃	0	16820000	-0.159943	化石能源用地	
水产品	0	40000	-0.018625	水 域		日用陶瓷	0	118026	-0.000073	化石能源用地	
蔬 菜	0	194853	-0.000146	耕 地		橡 胶	187427 t	0	0.002528	耕 地	
植物油	380000	169	0.003909	耕 地		林 木	原木	1950000 m ³	0	0.013231	林 地
油 料	620000	10000	0.004438	耕 地			锯材	188551 m ³	8666	0.001697	林 地
蜂 蜜	0	7513	-0.002029	耕 地	纸张产品		260000 t	570000	-0.000004	林 地	
茶 叶	0	1894	-0.000045	耕 地	纸 浆		1520000 t	0	0.000226	林 地	
药 材	0	2692	-0.000168	耕 地							
羊 毛	52550	5113	0.042702	牧草地							
皮 革	17444	0	0.007361	牧草地							

表 5 2003 年江苏省生态足迹计算总结

Table 5 Summary of ecological footprint of Jiangsu Province for 2003

用地类型	需求面积/ (hm ² ·人 ⁻¹)	均衡因子	均衡面积/ (hm ² ·人 ⁻¹)	用 地 类 型	供给面积/ hm ²	均衡因子	产量因子	调整面积/ (hm ² ·人 ⁻¹)
化石能源用地	1.1033	1.1	1.2136	CO ₂ 吸收地	0			0
耕 地	0.2148	2.8	0.6015	耕 地	4858340	2.8	2.30	0.4225
牧草地	1.1468	0.5	0.5734	牧草地	22000	0.5	0.39	0.0001
林 地	0.0238	1.1	0.0262	林 地	610667	1.1	0.91	0.0083
建筑用地	0.0080	2.8	0.0225	建筑用地	1716667	2.8	1.66	0.1077
水 域	1.5781	0.2	0.3156	水 域	3230667	0.2	1.00	0.0087
				生物多样性保护				0.0657
总生态足迹			2.7529	生态承载力				0.4816

注:生物多样性保护指留出 12% 的生物生产性土地面积以保护生物的多样性。

3 江苏省 2003 年可持续发展状况和生态安全分析

2003 年江苏省的生态足迹为 2.7529 hm²/人,生态承载力为 0.4816 hm²/人,存在 2.2713 hm²/人的生态赤字.这和 Wacknagel 等引用此模型对世界上 52 个国家和地区 1993 年的生态足迹测算的结果是一致的^[3],即经济较发达的国家或地区均存在较大的生态赤字.

巨大的生态赤字表明江苏地区对自然生态资源的消耗远远超出了其生态承载力供给的范围.从江苏省 2003 年生态足迹的计算过程来看,由于国际进出口贸易量在总生态足迹中所占份额甚小,对生态足迹的影响不大.因此,江苏省目前的发展是通过过度消耗自然生态资源的存量和输入国内其他地区的自然生态资源来弥补江苏生态承载力供给的不足,可见江苏省的发展模式目前处于一种不可持续的状态,生态安全受到严重的胁迫.

从 6 种生物生产性土地类型来看,生态赤字由大到小依次为:化石能源用地 1.2136 hm²/人,牧草地 0.5733 hm²/人,水域 0.3069 hm²/人,耕地 0.1790 hm²/人,林地 0.0180 hm²/人.上述生态赤字显示,江苏能源的需求日益增强,生活需要的生物资源量日益提高,江苏社会经济压力的压力日益显著,人口与耕地的矛盾日益突出,仅靠江苏省自身的供给已经不能满足发展的需求.2003 年江苏省建筑用地尚处于盈余状态,生态盈余为 0.0852 hm²/人,但是在江苏城市不断扩大的同时,破坏了自然生态资源的再生和供给.因此可以认为,目前江苏省的城市化进程实际上是对生物生产性土地的侵占.

中国人均生态足迹和人均生态承载力分别为 1.848 hm²/人和 0.65 hm²/人^[7],江苏省和全国相比,人均生态足迹是全国的 1.46 倍,而人均生态承载力仅仅为全国的 0.74 倍.这与江苏省较为发达的经济现状是一致的.这也进一步证明了江苏省自然生态资源已不能满足江苏省经济发展的需要,亟须外来的输入以弥补巨大的需求.

4 可持续发展和生态安全的对策探讨

综上所述,在城市的现代化进程中,江苏省社会经济的高速发展是以过度消耗资源和牺牲生态环境为代价的.针对资源短缺与经济迅速发展对资源需求不断增加的状况,笔者认为:(a)建设生态型城市,发展知识经济,通过技术革新和技术升级,以最小的资源谋求最大的经济社会效益;(b)保护和重建自然生态资源环境,对处于失衡的自然生态系统进行保护,对已经破坏的地区进行必要的生态修复和重建,可使自然资源得以再生;(c)控制人口数量和过度的城市化进程,人口的增加将给资源环境带来巨大的压力,过快的城市化进程将大量占用生物生产性土地从而增大对生态安全的胁迫;(d)发展外向型经济和集约型经济,进行区域互补,缓解江苏省较大的生态赤字.

参考文献:

[1] WILLIAM E R. Ecological footprints and appropriated carrying capacity :what urban economics leaves out[J]. Environ Urban ,1992 (4) : 121—130.

[2] WACKENAGEL M ,WILLIAM E R. Our ecological footprint :reducing human impact on the earth[M]. Philadelphia :New Society Publishers ,1996.2—17.

[3] WACKENAGEL M. An evaluation of the ecological footprint[J]. Ecol Econom ,1999 ,31 315—320.

[4] WACKENAGEL M ,ONISTO L ,BELLO P ,et al. National natural capital accounting with the ecological footprint concep[J]. Ecol Econom , 1999 ,29 375—390.

[5] 索丽生.江苏人口资源环境与可持续发展[M].南京 :江苏人民出版社 ,2002.79—80.

[6] WACKENAGEL M ,ONISTO L ,BELLO P ,et al. Ecological footprint of nations com-missioned by the earth council for the Rio + 5 Forum [A]. In :Rio + 5 Forum. International Council for Local Environmental Initiatives Toront[C]. Rio de Janeiro :The Earth Council for the Rio + 5 Forum ,1997.3—17.

[7] 谢高地 ,鲁春霞 ,成升魁 ,等.中国的生态空间占用研究[J].资源科学 ,2001 ,23(6) 20—23.

Assessment of ecological footprint of sustainable development and ecological safety for Jiangsu Province

FAN Xiao-qiu , JIANG Cui-ling , ZHANG Yi-bing

(State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources
and Hydraulic Engineering , Hohai Univ . , Nanjing 210098 , China)

Abstract :By use of the ecological footprint assessment and calculation method , the ecological footprint and ecological bearing capacity of Jiangsu Province for 2003 were analyzed and calculated , and the sustainability of social ecological development and ecological state of Jiangsu Province were quantitatively evaluated from the angle of macroscopy . The result shows that , with serious difficulties in sustainable development and serious threat to ecological safety , the ecological deficit of Jiangsu Province reaches 2.271 3 hm² per capita .

Key words : ecological footprint ; sustainable development ; ecological safety ; ecological bearing capacity ; Jiangsu Province