

绿色大学建设中的生态足迹

顾晓薇,李广军*,王青,刘建兴,丁一,刘敬智

(东北大学资源与生态经济研究中心,沈阳 110004)

摘要:生态足迹分析法是评价绿色大学建设水平最好的指标之一.生态足迹分析法有综合法和成分法 2 种.本文简要介绍了生态足迹成分法的基本原理和算法,并以东北大学为例将该方法应用大学校园的研究.结果表明,东北大学 2003 年的生态足迹为 $24\,787\text{hm}^2$,即需要约 $25\,000\text{hm}^2$ 的生态生产性土地支持学校的各类消费并吸纳所产生的废弃物.其生态效率(即单位生态生产性土地可支持的学生数)为 $0.94\text{人}\cdot\text{hm}^{-2}$.生态足迹中,能源消费的足迹最大,占总足迹的 $2/3$ 多;食物消费和固态垃圾次之,分别占总足迹的 21.9% 和 5.7% .

关键词:生态足迹;绿色大学;成分法;大学校园

中图分类号:X171.1;F061.3 文献标识码:A 文章编号:0250-3301(2005)04-0200-05

Ecological Footprint in Building Green University

GU Xiao-wei, LI Guang-jun, WANG Qing, LIU Jian-xing, DING Yi, LIU Jing-zhi

(Resources and Ecological Economics Research Center of Northeastern University, Shenyang 110004, China)

Abstract: Ecological footprint is one of the best indexes to evaluate the level of green university. The approaches of ecological footprint are made up of compound approach and component approach. This paper introduces the basic principle and algorithm of the component approach of ecological footprint, taking Northeastern University as an example and using this approach in the research of campus. Result show that the ecological footprint of Northeastern University 2003 was $24\,787\text{hm}^2$, needing the productive land of ecology about $25\,000\text{hm}^2$ support all kinds of consumption of the school and absorb the offal. The ecological efficiency of the school was $0.94\text{cap}/\text{hm}^2$. In the ecological footprints, the energy's footprints is the largest, it accounted for more than $2/3$ of the total footprints, the next are food consumption and solid rubbish.

Key words: ecological footprint; green university; component approach; campus

生态足迹的理论方法和计算模型在逐步完善的同时,应用也在迅速普及^[1~8].自 2000 年起 WWF (World Wide Fund for Nature) 和 RP (Redefining Progress) 两大世界非政府机构分别每年和每 2 年公布 1 次部分国家的生态足迹资料.此外主要工业国家已把生态足迹指标纳入官方指标体系,其经验也正在向发展中国家扩展.

生态足迹的现有计算方法有综合法和成分法 2 种.综合法由 Rees 和 Wackernagel 于 1992 年提出并作了改善^[9,10],它把研究对象的消费物质进行分类,以各类物质的宏观统计量为计算基础,适合于全球、国家和区域层次的生态足迹研究.成分法是在综合法之后由 Simmons 和 Chambers 于 1998 年提出并由 Lewis 和 Barrett 进一步改善^[11],它以构成消费成分的单体测量为基础,适合于小单元对象的生态足迹计算,如城镇、村庄、公司、学校、个人或单项活动等.英国的 Best Foot Forward (BFF) 环境顾问公司和英国政府机构合作,应用成分法先后完成了怀特岛 (Isle of Wight) 和伦敦 (London) 的生态足迹计算;斯德哥尔摩环境研究所 (Stockholm Environment

Institute, SEI) 应用该方法计算了利物浦 (Liverpool) 1 个社区的生态足迹;美国、澳大利亚等将该方法的应用扩展到大学校园的生态足迹研究.

我国自 2000 年开展生态足迹研究以来,实证研究多集中于国家和省、市层面,用的均是综合法^[12~14].本文首次将成分法应用于我国大学校园的生态足迹研究,以东北大学 NEU (Northeastern University) 为例进行了详细的计算和分析,得出其生态效率.这一研究定量地揭示了高等学校的生态现状,为减小这种需求创建“绿色”校园提供了科学的方法和定量指标.

1 生态足迹成分法与生态效率

1.1 生态足迹成分法

在成分法中,生态足迹是从研究对象的衣食住行等活动出发,通过收集和实测相关消费与排放成

收稿日期:2004-09-30;修订日期:2004-12-23

基金项目:教育部优秀中青年骨干教师基金资助项目(1711)

作者简介:顾晓薇(1971~),女,辽宁抚顺人,博士研究生,主要从事生态经济方向的研究.

* 通讯联系人, sylgj@mail.china.com

分的量计算得到,成分划分的种类及其粗细程度与研究对象的消费与排放特点及数据的可获取(可测)性有关,应尽可能全面地覆盖研究对象的全部消费与排放,并具有足够的分辨率,能分离出相对独立的主要成分作为降低生态足迹的依据。

生态足迹成分法对生态生产性土地的分类与综合法相同,仍旧分为 6 类:农耕地、牧草地、建用地、林地、化石能源间接用地以及水域。成分法的基本原理是:①把每一成分的量根据其土地占用特点转换为提供(或吸纳)该成分所需的相应种类的生态生产性土地的面积,如谷物食品消费量可转换为耕地面积,能源消费可转换为吸收所排放的 CO_2 需要的化石能源用地面积、牛羊肉消费量可转换为牧草地面积等等,转换中使用的土地生产力一般采用世界平均生产力(6 类土地各年份的世界平均生产力可从世界粮农组织的统计数据库中查得);②将各成分的土地占用根据土地类别汇总得出 6 类土地中每一类的占用总量;③用各类土地的等量因子乘以相应类别土地的占用面积后求和,得出一个以全球公顷(global hectare)为度量单位的土地占用总面积,即生态足迹。对于小研究对象(如校园和个人),一般不做换算,而是直接把 6 类土地的面积相加。

就大类而言,成分法主要考虑能源、食物、垃圾、水、交通工具和纸张等方面。

(1) 能源的生态足迹 能源主要有煤炭、石油、天然气和电力,能源消费对生态环境的冲击主要表现为 CO_2 排放导致的温室效应,要抵消这一冲击就需要有足够的林地来吸收 CO_2 ,所以能源消费的土地占用是林地。由于这类土地专门用于吸收 CO_2 ,不为生产林产品为目的,故将其独立列出,称之为“化石能源地”。上述 4 种能源消费所需的化石能源地面积为:

$$A_c = Q_c \eta C_c \beta / P_a \quad (1)$$

$$A_o = Q_o O_c \beta / P_a \quad (2)$$

$$A_g = Q_g \rho G_c \beta / P_a \quad (3)$$

$$A_e = Q_e E_{\text{CO}_2} / P_a \quad (4)$$

式中, A_c 、 A_o 、 A_g 、 A_e 分别为计算年内煤炭、石油、天然气、电力消费所需的化石能源地面积; Q_c 、 Q_o 、 Q_g 、 Q_e 分别为计算年内煤炭、石油、天然气、电力的消费量; η 为燃煤锅炉的平均燃烧率; C_c 、 O_c 、 G_c 分别为煤、石油、天然气的 C 排放因子; β 为 C 与 CO_2 的转化因子; ρ 为天然气的密度; E_{CO_2} 为普通火电厂单位发电量的 CO_2 排放量; P_a 为平均每公顷林地 1 a 内可吸收的 CO_2 量(即化石能源地平均生产力)。

(2) 食物的生态足迹 某类食物消费的土地占用面积一般计算见(5)式: $A_f = Q_f / P_f$ (5)

式中, A_f 为计算年内某类食物消费的土地占用面积; Q_f 为计算年内该类食物的消费量; P_f 为生产该类食物的土地的平均生产力。主要食物分类中,牛羊肉(奶)类产品的土地占用类别为牧草地;猪、家禽、蛋、谷物、糖类和蔬菜等的土地占用类别为耕地;鱼类的土地占用类别为水域。

(3) 垃圾的生态足迹 垃圾的土地占用一般由 2 部分组成:①吸收垃圾降解所产生的 CO_2 的化石能源地,即间接用地;②垃圾堆放直接占用的土地(一般为耕地)。垃圾场中的废物经细菌作用后产生所谓的垃圾瓦斯。一般而言,垃圾瓦斯以体积计大约一半为 CO_2 ,一半为 CH_4 (Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories)。全球暖化不仅与 CO_2 有关也与 CH_4 有关, CH_4 量可折算成相当温室效应的全球暖化潜热 GWP,即产生同等温室效应的 CO_2 量。计算垃圾的间接用地要根据垃圾的构成物分别计算,一般计算公式为(6)式:

$$A_w = \frac{1}{P_a} \sum_{i=1}^{N_w} Q_i (q_i^{\text{CO}_2} + q_i^{\text{CH}_4} \chi) \quad (6)$$

式中, A_w 为计算年垃圾排放间接土地占用面积; Q_i 为计算年内第 i 种垃圾成分排放量; $q_i^{\text{CO}_2}$ 为第 i 种垃圾成分 CO_2 产生率; $q_i^{\text{CH}_4}$ 为第 i 种垃圾成分 CH_4 产生率; χ 为 CH_4 的 GWP 当量系数; P_a 同公式(1)。

(4) 纸张的生态足迹 纸张消耗的占地类别主要是林地,计算公式为: $A_p = Q_p q_w / P_w$ (7)

式中, A_p 为计算年内纸张消费的土地占用面积; Q_p 为计算年内纸张消费量; q_w 为单位纸张产量的木材消耗; P_w 为林地的平均木材生产力。

(5) 水的生态足迹 水的生态足迹主要是由输送水和处理污水消耗的能量产生,这 2 种作业消耗的能源为电力,因此首先需要计算出计算年内输送水和处理污水的电力消耗量,然后利用公式(4)计算其土地占用面积,土地类别为化石能源地。

(6) 交通的生态足迹 交通的生态足迹由直接土地占用和间接土地占用组成。直接土地占用包括道路、车站、机场、停车场等。由于交通工具的活动性及道路等交通设施的共用性,直接土地占用的计算比较复杂,需要依据区域性的相关交通设施拥有量及其利用程度、交通工具的拥有量及其行驶里程等统计数据,将相关设施的面积分摊到研究对象。交通的间接土地占用指吸收各种交通工具温室气体排放

所需的化石能源地.尾气排放中的主要温室气体有 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 等, CH_4 和 N_2O 可依据其 GWP 转化为 CO_2 当量.交通间接用地的一般公式为(8)式:

$$A_t = \frac{D_t}{P_a} \sum_{i=1}^n q_i x_i \tag{8}$$

式中, A_t 为计算年内某类交通工具的间接土地占用面积; D_t 为计算年内该类交通工具的行驶里程; q_i 为单位里程第 i 种温室气体的排放量; x_i 为第 i 种温室气体的 GWP 当量系数; P_a 同公式(1).

1.2 生态效率

生态效率一般定义为使用单位生态资源能够获得的产出.应用生态足迹指标构建研究对象的生态效率时,生态资源的使用量即为生态足迹的大小,而产出一般为经济产出.例如,一个国家的生态效率可定义为单位足迹的 GDP.生态效率的倒数称为“生态消耗强度”,即单位产出需要使用的生态资源量.

一个大学的生态效率可定义为单位生态足迹的在校生人数,它定量地表述了单位生态资源可以支持的人才培养量.大学的生态消耗强度是培养单位

人才需要消耗的生态资源量.

2 东北大学 2003 年生态足迹计算与分析

2.1 东北大学2003 年生态足迹计算

在东北大学生态足迹计算中,考虑了能源(煤炭,电力,天然气)、食物、垃圾、纸张、水和交通.电力、天然气、煤炭和水的数据来自学校能源管理科;食物数据来自学校餐饮中心;交通车辆数据由东北大学公安处提供;垃圾量通过抽样调查估算;纸张量一部分由学校办公室提供,一部分从对个人的抽样调查得到.数据收集和调查范围为校园教学区和学生生活区,未包括家属居住区.计算中各相关因子、排放参数和当量系数等取自世界自然保护基金会相关报告、北京可持续发展中心网(<http://www.bsdc.net.cn>)和中国新能源网(<http://www.newenergy.org.cn>);各类土地的世界平均生产力取自世界粮农组织的统计数据(<http://www.fao.org>).

东北大学能源足迹计算的相关数据和结果见表 1.

食物生态足迹计算的相关数据和结果见表 2.

表 1 东北大学能源的生态足迹

Table 1 Ecological footprint of NEU's energy sources

成分	消费量	C 排放因子	C- CO_2 转化因子 β	单位 CO_2 释放量/t	$P_a/\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$	总足迹/ hm^2	土地类型
煤炭/t	32 925	0.725	3.67	2.13	5.2	13 477.7	化石能源地
天然气 ¹⁾ $\times 10^3/\text{m}^3$	129	0.409	3.67	1.12	5.2	27.9	化石能源地
电力/ $\text{GW}\cdot\text{h}$	18.04			964	5.2	3 343.6	化石能源地
合计						168 499.2	

1) 天然气密度取 $0.75 \times 10^{-3} \text{t}/\text{m}^3$

表 2 东北大学食物的生态足迹

Table 2 Ecological footprint of NEU's food

成分	世界平均生产力/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$	消费量/kg	足迹/ hm^2	土地类型
猪肉	74	111 606	1508.2	耕地
粮食	3 077	1 288 487	418.7	耕地
水果	9 562	276 901	29.0	耕地
糖类	18 000	37 541	2.1	耕地
蔬菜	16 846	1 690 542	100.4	耕地
蛋类	400	207 016	517.5	耕地
豆类	1 856	162 713	87.7	耕地
牛羊肉	33	55 913	1 694.3	牧草地
牛奶	502	7 075	14.1	牧草地
鱼	44	45 483	1 033.7	水域
总计			5 405.7	

经调查,东北大学校园平均每天产生约 15t 垃圾,一年(除去假期 60d)总共产生垃圾约为4 500t,垃圾的大致成分见图 1.由于垃圾的直接用地数值小且缺乏详细数据,在本文计算中忽略不计.垃圾间接用地的相关数据和计算结果见表 3.

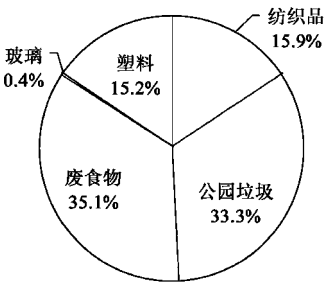


图 1 东北大学垃圾成分

Fig.1 Components of NEU's waste

东北大学 2003 年用纸量为 244t,其中个人用纸量 229.1t,占 93.9%;办公用纸量 14.9t,占 6.1%.平均每 t 纸需要木材 4m^3 (<http://www.papercn.net/>),共需要木材 976m^3 .林地世界平均木材生产力为 1.99m^3 .得出 2003 年东北大学纸张的生态足迹为 490.5hm^2 .东北大学 2003 年自来水用量为 $3\,300\,000 \text{m}^3$.同期沈阳市自来水价为 $1.6 \text{元}/\text{m}^3$,工

表 3 东北大学垃圾的生态足迹

Table 3 Ecological footprint of NEU's waste									
成分	排放量	单位垃圾	单位垃圾	CH ₄ 的	CH ₄ 的	单位垃圾 CO ₂	P _a	足迹	土地类型
	/t	CO ₂ 释放量/t	CH ₄ 释放量/t	GWP 系数	GWP 当量/t	总量/t	/t·hm ⁻²	/hm ²	
纸 纺织品	714	0.152 4	0.055 4	23	1.274 2	1.426 5	5.2	195.8	化石能源地
公园垃圾	1 500	0.064 9	0.023 6	23	0.542 8	0.607 7	5.2	175.3	化石能源地
食物	1 582	0.057 2	0.020 8	23	0.478 4	0.535 6	5.2	162.9	化石能源地
玻璃	19					9.88	5.2	35.5	化石能源地
塑料	6 856					6.47	5.2	853.4	化石能源地
合计	4 500							1 422.9	

业电价 0.496 元/(kW·h),自来水中电力成本占 1/4,折算成电耗约为 0.8 kW·h/m³.因此供水总共用电量为 2.64GW·h,相应 CO₂ 排放量为 2 545t,除以化石能源地平均 CO₂ 吸纳能力 5.2t/hm²,得供水的生态足迹为 489.4hm².由于缺乏数据,污水处理的生态足迹没有计算.东北大学校园交通污染主要是汽车.在汽车的生态足迹计算中,由于 CH₄ 和 N₂O 排量小且详细数据难以获得,只考虑了 CO₂.交通生态足迹计算的相关数据和结果见表 4.

表 4 东北大学交通的生态足迹

Table 4 Ecological footprint of NEU's traffic					
成分	全年里程	CO ₂ 释放	P _a	生态足迹	土地类型
	/km	量/kg·km	/t·hm ⁻²	/hm ²	
汽油车	349 197	0.205	5.2	13.8	化石能源地
柴油车	40 138	0.720	5.2	5.6	化石能源地
总足迹				19.3	

2.2 东北大学 2003 年生态足迹结果分析

以上各成分的足迹计算结果汇总于表 5 和图 2.东北大学 2003 年总足迹约为 25 000hm²,也就是说,需要 25 000hm² 的各类土地来支持发生在东北大学教学和学生生活区的各项消费并吸纳所产生的废物.需要说明的是,在煤炭足迹计算中,一方面由于没有考虑锅炉的 CO₂ 净化,使二者的 CO₂ 吸收用地(化石能源地)偏高,另一方面,由于煤炭生产的上游足迹未计入,又使它们的总足迹偏低;食物足迹的计算结果比实际值低,这是因为部分食物消费发生

表 5 东北大学 2003 年的生态足迹汇总

Table 5 Total Ecological footprint of NEU 2003		
成分	足迹/hm ²	所占比例/%
能源	16 849.2	67.98
煤炭	13 477.7	54.37
电力	3 343.6	13.49
天然气	27.9	0.11
食物	5 405.7	21.81
垃圾	1 422.6	5.74
纸张	490.5	1.98
水	489.4	1.97
校园面积	110	0.44
交通	19.3	0.08
合计	24 786.9	100

在校园以外,没有统计;垃圾足迹因为没有计算直接占地面积也比实际值低.总体上讲,本文的计算结果应是实际生态足迹的保守估计.

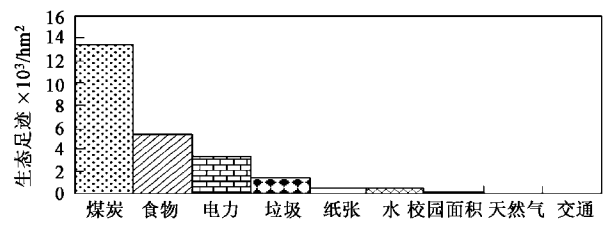


图 2 东北大学 2003 年各成分生态足迹

Fig.2 Ecological footprint of different components of NEU 2003

东北大学 2003 年校本部在校生为 23 345 人,由此计算得其生态效率为 0.94 人·hm⁻².生态消耗强度为 1.06hm²/人.可见,1hm² 生态生产性土地不足以支持培养 1 个学生的消费和吸纳所产生的废弃物.构成东北大学生态足迹的主要成分是煤炭、食物、电力和垃圾,分别占总足迹的 54.37%、21.81%、13.49%和 5.74%,四者总和占了总足迹的 95%.因此,降低生态足迹的措施应针对这 4 种成分来制定,改善能源结构,采取有效的节能措施和减少垃圾排放是东北大学提高生态效率,建设“绿色”校园的主要途径.

表 6 是东北大学、美国 Colorado College 和澳大利亚 Redlands University 生态足迹的对比.3 校的最大足迹成分均为能源,但 2 所国外大学在校园里不直接使用煤炭(一次能源),而是以电力(二次能源)为主,尤其是美国 Colorado College,其电力足迹占总足迹的比例高达 80%.国外 2 所大学的交通足迹所占比例均比东北大学高,尤其是 Redlands University,其交通足迹占了总足迹的约 1/3.另外,国外两所大学的食物足迹比例比东北大学低得多.可见经济的发达程度对校园生态足迹的构成有重要影响.从生态效率看,东北大学与澳大利亚 Redlands University 相当;美国 Colorado College 的生态效率比前二者低得多.

表 6 东北大学生态足迹与国外大学的比较

成分	东北大学		美国 Colorado College		澳大利亚 Redlands University	
	生态足迹/ h m ²	比例/ %	生态足迹/ h m ²	比例/ %	生态足迹/ h m ²	比例/ %
煤炭	13 477. 7	54. 37				
加热(未注类型)			395	7		
电力	3 343. 6	13. 49	4463	80	724. 7	31. 4
天然气	27. 9	0. 11			431. 2	18. 68
食物	5 405. 7	21. 81	574. 1	10	113. 4	5
垃圾	1 422. 9	5. 74			289. 5	12. 46
纸张	490. 5	1. 98				
水	489. 4	1. 97	56. 5	1		
校园面积	110	0. 44	36	0. 6		
交通	19. 3	0. 08	78	1. 4	749. 0	32. 46
总计	24 786. 9	100	5 602. 6	100	2 307. 7	100
生态效率/ 人·h m ⁻²	0. 94		0. 45		1. 18	

3 结论

(1)东北大学 2003 年总足迹约为25 000h m²,生态效率为 0. 94 人·h m⁻²,即 1 h m² 生态生产性土地不足以支持培养 1 个学生的消费和吸纳所产生的废弃物.该学校的生态足迹主要来自煤炭,食物,电力消耗和垃圾排放,四者总和占了总足迹的 95 %.因此,改善能源结构,采取有效的节能措施和减少垃圾排放是提高该学校生态效率,建设“绿色”校园的主要途径.

(2)这一研究的意义不仅在于它定量地揭示了大学校园的生态效率及影响生态效率的主要因素,而且为创建“绿色”校园提供了科学的依据.

(3)本文的计算中,存在一些缺项,使计算结果偏低.有待于使学校生态足迹的计算标准化,使计算结果达到更高的精度,促进生态足迹在全国大学校园的推广.

致谢:研究工作得到东北大学副校长王宛山教授,校长助理王义秋教授及公安处齐海楼处长的悉心指导和帮助,同时得到校机关各部门及各学院的大力支持,在此一并表示衷心的感谢!

参考文献:

[1] Wackernagel M, Lewan L, Hansson C B. Evaluating the use of natural capital with the ecological footprint: application in Sweden and sub regions [J]. AMBIO, 1999, 28(7) : 604 ~ 612 .
[2] York R, Rosa E A, Dietz T. Footprint on the Earth: The Environmental Consequences of Modernity [J]. American Sociologi-

cal Review, 2003, 68(2) : 279 ~ 300 .
[3] Helmut Haberl, Karl Heinz, et al. How to calculate and interpret ecological footprints for long periods of time: the case of Austria 1926 ~ 1995[J]. Ecological Economics, 2001, 38(1) : 25 ~ 45 .
[4] Van Vuuren, Smeets E. Ecological Footprint: reply to A. R. B Ferguson [J]. Ecological Economics, 2001, 37(5) : 1 ~ 3 .
[5] Gernot Stoglehner. Ecological Footprint- A Tool for Assessing Sustainable Energy Supplies [J]. Journal of Cleaner Production, 2003, 11(4) : 267 ~ 277 .
[6] 徐中民,张志强,程国栋,陈东景.中国 1999 年生态足迹计算与发展能力分析[J].应用生态学报,2003,14(2) : 280 ~ 285 .
[7] 王青,刘建兴,顾晓薇,等.中国 2001 年生态足迹计算与分析[J].生态经济学报,2004, 2(2) : 115 ~ 122 .
[8] 陶在朴(奥).生态包袱和生态足迹[M].北京:经济科学出版社,2003,161 ~ 168 .
[9] Wackernagel M, et al. Our ecological footprint: Reducing human impact on the earth [M]. Gabriola Island: New Society publishers, 1996 .
[10] Wackernagel M, Onisto L, Bello P, et al. National natural capital accounting with the ecological footprint concept [J]. Ecological Economics, 1999, 29(3) : 375 ~ 390 .
[11] Simmons, Lewis and Barrett. Two feet-two approaches: a component-based model of ecological footprinting [J]. Ecological Economics, 2000, 32(3) : 375 ~ 380 .
[12] 徐中民,陈东景,张治强,等.中国 1999 年生态足迹地计算与分析[J].土壤学报,2002,39(3) : 441 ~ 445 .
[13] Wang Qing, Gu xiaowei, et al. Geographical distribution of ecological footprint and sustainability analysis for Liaoning Province [J]. Journal Geographical Sciences, 2004, 14(3) : 303 ~ 312 .
[14] 张志强,等.中国西部 12 省(区市) 的生态足迹[J].地理学报, 2001, 56(5) : 601 ~ 610 .