

近年来生态足迹研究进展

吴隆杰^{1,2} 杨林¹ 苏昕¹ 徐建明²

(1. 中国海洋大学 生命科学与技术学部水产学院, 山东 青岛 266003; 2. 山东纺织职业学院, 山东 潍坊 261053)

摘要 本研究对国内外生态足迹的理论假设、计算方法、贸易赤字、生态超载和基于生态足迹分析的可持续发展静态和动态评估进行了简要介绍,详细讨论了生态足迹的理论假设、计算方法等;回顾了近年来国内外的进展,其研究应用范围从省级行政区进一步扩展到乡镇级行政区和能源、旅游、种养殖业、交通、贸易、大学等产业领域的研究,动态研究也大量增加;对生态足迹理论和应用研究在流动人口、地区生态足迹分析的理论假设、基于生态足迹分析的可持续状况横向比较、各类土地互斥假设、生态足迹分析理论在用于城市型国家或城市等人口密集地区或不发达地区的可持续性测度时的限制等方面存在问题,提出了相应的改进意见和建议。文章的最后指出了国内围绕生态足迹研究应尽快开展的工作:积极开展生态足迹理论和方法的改进与完善研究、开展上年结转和本年结余资源对生态足迹计算的影响研究、开展国家公顷和省公顷等地方公顷研究,以及积极开展水产养殖渔业、圈养畜牧业均衡因子研究等。

关键词 生态足迹; 生物承载力; 理论假设; 计算方法; 可持续发展测度; 改进建议

中图分类号 X24; F301; F323.2

文章编号 1007-4333(2006)03-0001-08

文献标识码 A

Advances in ecological footprint

Wu Longjie^{1,2}, Yang Lin¹, Su Xin¹, Xu Jianming²

(1. Life Sciences and Technology College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. Shandong Textile Vocational College, Weifang 261053, China)

Abstract As a biophysical method used to compare the utility degree of natural resource with the life-supporting service function, ecological footprint, since it brought forward, has been a useful and powerful indicator of measuring the regional developmental sustainability. It has been applied in different fields: regions, tourism, resource, fish farm, paddy field, greenhouse gas emissions, transportation, etc. This paper firstly introduces concisely the assumption, ecological trade deficit, ecological overshoot of ecological footprint, and measures the regional development sustainability based on ecological footprint analysis. Particularly, this paper has discussed its assumptions, methods; and has reviewed in details the latest achievement and frontiers of ecological footprint. This paper put forward the improving suggestion for the floating population affecting, assumptions of sub-nation and other problems of ecological footprint. According to the above, the further research work as the paper concluded the following theory, methods, influence of resources of carry forward/ balance, study in national hectare or provincial hectare, equivalence factors of aquiculture, aquaculture and stock farming in shed.

Key words ecological footprint; biocapacity; assumption; methodology; measurement of sustainable development; suggestions

自然资源的可持续利用,在我们整个人类发展史上都是至关重要的。在不同时期,新的生产方法和技术已经逐渐允许资源被高效利用。可是,人口

增长和消费模式变化正在增加对自然资源的需求。另外,地区资源供应能力的变化、大规模贸易的发展也允许人类社会超越地域限制实现发达国家或地区

收稿日期: 2006-01-16

基金项目: 山东省软科学研究计划项目(A200524-6)

作者简介: 吴隆杰,中国海洋大学生命科学与技术学部博士研究生,山东纺织职业学院副教授,主要从事可持续发展测度研究, E-mail: wu. longjie @yahoo. com. cn

的掠夺性消费,当然,这要转移损耗其他地区的资源。为了更清晰地表述人类社会消费与地球的生物承载力的可能的关系,加拿大生态学家 Rees 教授和 Wackernagel 博士于 20 世纪 90 年代初期提出了生态足迹 (Ecological Footprint, EF) 概念^[172]。此后,由于其简单易懂等特性并且直接与全球可持续发展状况相关联,因而受到有关国际机构、政府部门、非政府组织和大学等研究机构的广泛关注,成为国际可持续发展测度的重要方法。其应用范围遍及全球的国家 and 地区,有针对某一年的静态研究,也有研究了时间序列上不同年份生态足迹的变化,也有针对产业的生态足迹分析。

生态足迹概念 1999 年引入我国,2000 年已有研究成果^[374],继而范围逐步扩大到包括香港、澳门和台湾在内的全国所有省级行政区和部分市、县和镇等。

本文旨在回顾近几年生态足迹理论、计算方法、应用范围的研究发展动态,提出改进意见和建议,以促进我国的生态足迹研究。

1 生态足迹分析方法

生态足迹测度某一特定人口的区域的所有资源的消费和消纳所产生废弃物的生物生产性空间占用。将其生态足迹与其所拥有的生物承载力进行比较,能够考察其对生态系统的依赖性、人与自然的和谐性和生态系统的承受能力,并据此判断其发展状态的可持续性^[2,56]。生态足迹分析方法主要由理论假设、生物生产性土地分类和计算方法与步骤等组成。现主要介绍理论假设、贸易赤字、生态超载和基于生态足迹分析的可持续发展静态评估和动态评估。

1.1 理论假设

Wackernagel 博士等 2002 年明确了计算全球生态足迹的 6 个假设^[7]: 1) 跟踪人类社会消费的大部分资源和产生的废弃物是可能的; 2) 这些资源和废弃物流量的大部分可根据支持这些流量的必需的生物生产性面积进行测度; 3) 各类可用生物生产能力不同的土地,可以折算成标准公顷——全球公顷,1 全球公顷的生物生产能力等于当年全球土地的平均生产力; 4) 由于这些土地的用途是互相排斥的,所以,它们可以相加成为人类的消费需求; 5) 自然的生态服务的供应也可以用以全球公顷表示的生物生产空间表达; 6) 生态足迹可以超越生物承载力。

2004、2005 年, Wackernagel 博士等学者进一步提出计算国家生态足迹的 6 个假设^[6,8],其表述与上述全球生态足迹的 6 个假设的表述相近。

根据上述假设,人类社会对生态的影响就可以根据特定年份的科学技术创新、资源管理、土地利用变化、生产实践和累积的土地损害等情况下,用生产所消费的资源和消纳废弃物的生物生产性土地(含渔业水域)面积来测度。

1.2 计算方法

生态足迹的现有计算方法有综合法、成分法和投入产出法等。其中综合法由 Wackernagel 博士等于 20 世纪 90 年代中期提出^[9710],适用于全球、国家和区域层次的生态足迹研究;成分法在综合法之后,由 Simmons 等学者于 1998 年提出^[11],适用于城镇、村庄、学校、公司、个人或单项活动的生态足迹研究;投入产出法由 Bicknell 等学者于 1998 年提出^[12],并由台北大学冯君君教授于 2001 年改进^[13]。近期, Wackernagel 博士也参与了投入产出法的研究,并于 2006 年 1 月发表了研究成果^[14]。

1.2.1 计算生态足迹、生物承载力 生态足迹通过生物生产性土地的全球平均生产量将特定区域人口消费的资源 and 排放的废弃物折算为土地面积,并通过均衡因子把不同种类的土地转化为标准土地;生物承载力 (Biocapacity, BC) 是特定区域的生物生产性面积。二者计算单位相同,为人均全球公顷 (global hectare/person, gha/person) 或全球公顷 (global hectare, gha),分别表示人均生态足迹/生物承载力或总生态足迹/生物承载力。

1.2.2 计算生态赤字和生态超载 1) 生态赤字 (Ecological Deficit, ED) 等于生态足迹减生物承载力^[6],计算单位为人均全球公顷或全球公顷。2) 贸易生态赤字 (Ecological Trade Deficit, ETD) 等于消费生态足迹 (EFc) 减生产生态足迹 (EFp),或者等于进口的生态足迹 (EFi) 减出口的生态足迹 (EFe)^[6],计算单位为人均全球公顷或全球公顷。3) 生态超载 (Ecological Overshoot, EO) 等于生产生态足迹 (EFp) 减生物承载力^[6],计算单位为人均全球公顷或全球公顷。

1.3 基于生态足迹分析的可持续发展评估

生态足迹分析方法通过研究区域生态足迹与生物承载力之间的关系,测度其可持续发展状态。如果生态足迹大于生物承载力,形成生态赤字,则区域处于不可持续发展状态;反之,形成生态盈余,区域

处于可持续发展状态。

1) 静态测度。当以年度或月度生态足迹分析对可持续发展状况进行测度时,称为静态测度。

2) 动态测度。当以时间序列上不同年份或不同月份生态足迹分析对可持续发展状况进行测度时,称为动态测度。通过动态测度,可以回顾可持续发展状况的变动情况和进行趋势预测。

2 国内外生态足迹应用研究

经过多年的理论研究和应用研究,近年来,国内外生态足迹方法已广泛应用于不同尺度区域的可持续发展测度及进行能源、旅游、种养殖业和其他相关领域生态足迹研究,并且已经逐步成为政府决策和战略制定的重要依据。

2.1 区域生态足迹研究

2.1.1 全球尺度生态足迹研究 自2000年起世界自然基金会(World Wide Fund for Nature, WWF)等国际组织和 Global Footprint Network 分别对全球生态足迹进行了计算分析。其中,WWF 分别在《生命行星报告 2002》^[15]和《生命行星报告 2004》^[16]、Global Footprint Network 在《国家生态足迹和生物承载力帐户 2005 版》^[17]公布的 1999、2001、2002 年全球生态足迹和生物承载力数据为:1999 年全球生态足迹和生物承载力分别为 2.28 和 1.90 人均全球公顷,2001 年分别为 2.2 和 1.8 人均全球公顷,2002 年的结果同 2001 年。从当年的情况看,由于生态足迹大于生物承载力,全球处于生态赤字状态。全球依赖化石能源、矿藏等自然资本存量,在可持续发展状态下运行。从动态看,2001、2002 年全球生态足迹虽有下降,但下降幅度少于生物承载力的下降幅度,说明经济社会发展的不可持续状态正在进一步恶化。

在生态足迹的动态测度方面,《生命行星报告 2002》对 1961—1999 年生态足迹和生物承载力进行了长时间序列的计算,《生命行星报告 2004》对《生命行星报告 2002》中 1961—1999 年生态足迹和生物承载力进行了重新计算,并给出了 2000—2001 年的生态足迹和生物承载力的计算结果。按照《生命行星报告 2002》的计算结果:全球在 1978 年以前生态足迹均少于生物承载力,全球在可持续发展状态下运行;其后,生态足迹均大于生物承载力,转入不可持续发展状态。而按照《生命行星报告 2004》对《生命行星报告 2002》中 1961—1999 年生态足迹和

生物承载力进行的重新计算结果表明,全球在 1986 年以前生态足迹均少于生物承载力,全球长期在可持续发展状态下运行;其后,生态足迹均大于生物承载力,转入不可持续发展状态。

2.1.2 地区尺度生态足迹研究 地区尺度的生态足迹研究报告主要有《国家生态足迹和生物承载力帐户 2005 版》、《生命行星报告 2004》、《生命行星报告 2002》、《欧洲生态足迹报告 2005》^[18]和《亚太地区生态足迹与自然财富报告 2005》^[19]等。其中 Global Footprint Network 在《国家生态足迹和生物承载力帐户 2005 版》中把全球按照收入和地区分别分类,计算了不同分组的生态足迹和生物承载力:

按收入分类,2002 年,高收入国家、中等收入国家和低收入国家的生态足迹分别为 6.4、1.9 和 0.8 人均全球公顷,高收入国家和低收入国家的生态足迹分别大于其生物承载力 3 和 0.1 人均全球公顷,出现生态赤字,处于不可持续发展状态;中等收入国家的生态足迹少于其生物承载力 0.2 人均全球公顷,出现生态盈余,处于可持续发展状态。

按地区分类,2002 年,北美、欧盟 25 国及瑞士、中东及中亚、亚洲及太平洋地区、非洲等 5 个地区生态赤字分别为 -3.7、-2.4、-1.1、-0.6 和 -0.2 人均全球公顷,处于不可持续发展状态;拉美及加勒比地区和其他欧洲国家 2 个地区生态盈余分别 3.6 和 1.2 人均全球公顷,处于可持续发展状态。

2.1.3 国家尺度生态足迹研究 上述全球、地区生态足迹研究报告也对国家尺度生态足迹进行了研究,此外还有学者对个别国家进行了研究。其中《国家生态足迹和生物承载力帐户 2005 版》对全球 100 万人口以上的 150 个国家 2002 年的生态足迹和生物承载力都进行了计算:2002 年,生态足迹最大的前 3 位的国家依次是阿拉伯联合酋长国、美国和加拿大,分别是 10.5、9.7 和 7.5 人均全球公顷;生态赤字最大的前 3 位的国家是阿拉伯联合酋长国、科威特和美国,分别是 9.6、7.0 和 4.9 人均全球公顷。这说明阿拉伯联合酋长国和科威特等石油输出国和美国等西方发达国家的高消费和提前消费的过度消费模式,是建立在转移消费别国生物承载力和自然资本存量的基础上的,处于不可持续发展状态。

国内学者对我国 1999 年的生态足迹和生物承载力进行了计算^[20],其主要结论为:就全球的平均生产能力来看,1999 年,中国生态足迹为 1.326 人均全球公顷,而生物承载力为 0.681 人均全球公顷,

生态赤字为 0.645 人均全球公顷,中国的生态足迹已经超出其生态承载力的 94%。与世界 1997 年人均全球公顷的生物承载力(已扣除 12% 的生物多样性保护面积)相比,中国的生态足迹占全球生态承载力的 66%。1999 年中国的生物承载力仅相当于其足迹的 51%。从资源利用的角度来看,能源用地占整个足迹的 48%,生态足迹分析中的能源用地代表了在可持续方式下支持当前的能源消费所需要的土地面积,反映中国的经济结构中,工业的生产已经占据较高的比例。由于目前还没有证据表明有哪个国家专门拿出土地用于 CO₂ 的吸收,因此,高的能源消费通常意味着高的生态赤字,这也是中国高生态赤字的原因之一。尽管中国人均生态足迹比较小,但由于人口总量大,因而总的足迹很大,对环境的影响也大。中国人均生态足迹增加的原因可以归结为:1)人口的增加;2)可利用土地资源的减少;3)人们消费商品数量的增加。

除上述静态研究外,在国家生态足迹的动态测度方面,近年来也有相当多的研究成果,如对我国 1961—2001 年生态足迹研究结果表明^[21],1961—1977 年,生物承载力大于生态足迹,处于可持续发展状态;1978—2001 年,生物承载力少于生态足迹,出现生态赤字,处于不可持续发展状态。

2.1.4 地方尺度生态足迹研究 生态足迹指标比较适合用于国家之间的可持续发展状况评估,近年来,借用国家生态足迹的理论假设,对地方生态足迹的应用研究也得到较快发展。前几年,国内研究主要集中在省级行政区和城市,近年来逐步发展到从省级行政区、城市、县域,甚至到镇^[22-25]的各级行政区。其大部分是静态研究,也有少量动态研究,研究区域类型包括城市、城郊区、干旱区、农牧交错带、山区等不同类型的生态脆弱区,研究结论表明,这些生态脆弱区的发展模式都是不可持续的。

2.2 产业生态足迹及相关研究

生态足迹分析除可用于上述区域可持续发展测度外,还可单独用于测度某一项或几项消费与对应的生物生产性土地的关系,进而评估该项或几项消费的可持续性。这可称为产业生态足迹研究。近年来,这方面的研究主要有能源、旅游、种养殖业、交通、贸易、大学等方面。

2.2.1 基于生态足迹研究的能源消费安全分析 在能源消费安全分析方面,有学者对可持续能源供应和能源、燃料消费与对应的吸收能源生产中排放

出的 CO₂ 的林地的对应关系及对全球气候变暖的影响进行了研究^[26-27],其中还有学者对以石油代用燃料为动力的环境友好型汽车的生态足迹进行的研究,认为这种汽车可减少 75% 的运输足迹^[27]。值得指出的是,除个别学者在计算能源足迹时把防护林作为吸收能源生产中排放出的 CO₂ 的林地^[28]外,其他研究一般均把吸收能源生产中排放出的 CO₂ 的林地计为 0。

2.2.2 旅游生态足迹研究 旅游生态足迹主要研究旅游的生态消费及结构特征。研究内容包括旅游交通、住宿、餐饮、购物、娱乐和游览等方面。研究表明,旅游生态足迹的区际转移导致旅游生态责任的区际转移与生态影响的区际扩散,旅游业发展具有全球性生态影响的特征。这方面的研究主要有对九寨沟的研究^[29]、对旅游环境承载力的研究^[30]、对鼎湖山自然保护区旅游者生态足迹的分析^[31]和对北京市海外入境旅游者旅游消费生态足迹的研究^[32]。也有学者则主要从旅游产业、旅游产品、旅游目的地、企业生态、旅游者及大众旅游 6 个方面探讨了旅游生态足迹在旅游可持续发展中的测度功能^[33]。

2.2.3 种植、养殖业生态足迹研究 在种植、养殖业生态足迹研究方面,瑞典学者从养殖场、地方近岸海域、包括多个地方近岸海域的地区近岸海域和包括多个地区近岸海域的国际海域共 4 个尺度对波罗地海海水养鱼对环境的影响进行了研究^[34];也有分别对动物饲养、稻米、苜蓿种植等产业的生态足迹进行的研究^[35-37]。

此外,还有学者对交通^[38-39]、贸易^[40-41]、大学^[42]、绿色建筑^[43]、人类占用净初级生产^[44]等方面的生态足迹研究,还有学者对基于生态足迹的项目生态环境影响^[45]、城市形式与生态足迹的关系、基于生态足迹方法讨论温室气体排放责任问题^[46]、全国土地利用总体规划目标的生态足迹评价^[47]、生态足迹分析法及其在持续性规划中应用^[48]、城市家户的生态足迹^[49]和根据生态、经济等多指标对城市可持续政策进行多标准评估^[50]等方面进行了研究。

3 生态足迹理论和应用研究存在的问题及相应的改进意见和建议

3.1 流动人口对生态足迹分析的影响

除旅游生态足迹外,一般都忽略了流动人口的影响。事实上,在当今社会,人员流动性特别大,特别是对于一些城市及东部沿海地区和西欧、北美等

发达国家及旅游国家,在一年内的不同时期,流动人口最高时可达当地常住人口的30%~60%,这些流动人口在流入地的消费均被计入流入地的生态足迹,而在进行人均计算时人口则以年末人口为基准,这是造成城市及发达地区等人口净流入地区生态足迹虚假偏大的一个重要原因。相反地,一些人口净流出地区,也忽略了净流出人口在生态足迹分析中的影响。今后可能的改进措施是对全年流动人口在流入地/流出地居住时间进行调查,并折合计入计算人口总数,作为生态足迹分析的人口基准。

3.2 地区生态足迹分析的假设

目前只有进行全球和国家生态足迹分析的假设,而没有进行地区生态足迹分析的假设。因此,可以说,目前进行的地方生态足迹分析都是借用前者的假设,这样就可能出现较大的偏差:1)对于一个国家而言,其以国界或关税区界为边界的流动人口占常住人口的比例显著少于以地方行政区为边界的流动人口占常住人口的比例,在未考虑流动人口影响的情况下,地方生态足迹分析的精度显然低于国家生态足迹分析。2)除欧盟外,世界各国都实行严格的边境、海关和进出口贸易管理,统计数据是准确的,而世界各国一般均无地方行政区之间的贸易统计,这样在进行贸易调整时,就会因调查统计方法的不同,而造成贸易调整数据偏差较大,进而影响生态足迹计算准确性。

事实上,基于全球公顷的地方生态足迹分析并进行国际比较的意义非常有限;相反,有的学者提出的基于“国家公顷”计算地方生态足迹的方法^[28]对国家内可持续发展状况进行比较则更有意义。

3.3 基于生态足迹分析的可持续状况横向比较存在限制及改进研究

在进行基于生态足迹分析的可持续状况横向比较时,可供比较的指标有生态足迹、生物承载力和生态赤字/盈余,但无法根据这3个指标进行可持续发展状况排序。为了克服生态足迹的这一系统缺陷,许多学者提出了生态足迹指数(Ecological Footprint Index, EFI)^[51]、区域经济生态效率^[52]、综合发展度^[53]和生态承载力^[54]等对区域可持续发展情况进行比较。

3.4 生态足迹分析方法对废弃物污染关注不够

生态足迹分析方法只对CO₂吸收所需林地进行了计算分析,而对《联合国气候变化公约京都议定书》规定的6种管制的人为温室气体排放中的其他

5种:甲烷(CH₄)、氧化亚氮(N₂O)、氢氟碳化物(HFCs)、全氟化碳(PFCs)、六氟化硫(SF₆),及其他废弃、有毒、有害、污染物质的吸收,却没有考虑在内。

3.5 各类土地互斥假设与科学事实有明显差异

有的学者认为^[55]，“空间互斥性”使得我们能够对各类生物生产性土地进行加总,从宏观上认识自然系统的总供给能力和人类社会对自然系统的总需求。但此假设对各类土地功能单一化的处理使土地的功能多样性和一定程度的功能替代被完全忽略,导致生物承载力计算结果偏低。例如,对CO₂的吸收只考虑了林地,这与科学事实有明显差异:有相当多的研究成果证实^[56],所有陆地生态系统和海洋生态系统均吸收CO₂等温室气体。同样,在计算林地生物承载力时,只是基于其木材产出功能。但实质上,林地还具有涵养水源、调节气候、维持大气水分循环、防止土壤流失等诸多生态功能,其巨大的吸收CO₂的能力更不容忽视。可见,“空间互斥性”假设忽略了区域所实际具有的可观的综合的生物承载力,造成生物承载力被严重低估。

3.6 应用于人口密集地区或不发达地区可持续性测度时的局限

在用于城市型国家或城市等人口高密度地区的可持续性评估时的限制研究显示,城市的生态足迹都远大于其生物承载力,仅从生态和封闭的视角看,城市处于不可持续发展状态,这显然与城市具有巨大的活力和发展潜力的客观事实相悖。事实上,城市与城市以外的农村、国内外其他城市、农村等,共同组成一个巨大的开放系统,系统内外的物质流、能源流、人员流相互关联、相互作用、相互影响,而且城市在土地、道路、水资源等基础设施等方面有着比农村高得多的资源利用效率。

在用于经济不发达、生活水平低的国家、地区的可持续性评估时的限制方面,有的学者认为^[57],如果用于这类国家或地区时,常常出现“地区越不发达、生活水平越低,可持续发展情况越强”的情况,这与可持续发展理论所阐述的基本原则是不相符的。可持续发展理论认为,贫穷是最大的不可持续,可持续发展首先强调“发展”。事实上,大多数贫困地区都处在贫困和严重的生态压力的双重困境之中。因此不能因为贫困地区的消费水平低而造成的生态足迹相应较小就认为那里的发展是可持续的。

3.7 生态足迹应用研究中应注意的几个细节

1) 生态足迹、生物承载力、生态赤字/盈余的计算单位,应当用人均全球公顷(global hectare/person),这是生态足迹理论创建时的用法。国内个别应用研究有的仅用“公顷(hm²)”,这不能反映是经过标准化处理的面积。

2) 关于“biological capacity, biocapacity”的翻译,目前国内一般译为“生物承载力”,也有译为“生态承载力”的。但根据生态足迹理论创建时的本意,译为“生物承载力”较好。特别是不能写成“生态承载力(ecological capacity)”。

4 结论

生态足迹的理论与方法是近年来测度和比较区域可持续发展状态的一个直观的、综合的指标。自20世纪90年代首创以来,在有关国际机构、政府部门、非政府组织和相关研究机构的广泛关注和参与下,其理论和方法不断完善,应用范围不断扩大,并且具有广泛的应用前景。当然,对其关注研究越多,相应地,对其发展建议和批评也就越多。如生态足迹计算方法(综合法、成分法和投入产出法)的改进,地方生态足迹研究的理论假设,国家公顷及地方公顷、区域产量因子研究,水产养殖渔业均衡因子、圈养畜牧业均衡因子的选取,水电、核电占用土地形式与生态足迹计算的关系研究,生态足迹与人口发展、消费模式的关系研究,基于生态足迹模型的进一步研究将得到加强等。

国内生态足迹研究自1999年开始后,理论和方法研究进展缓慢,应用研究却迅速发展了。通过追踪国际研究动态、前沿和热点,今后一段时间国内生态足迹及相关研究应包括以下几个方面:

1) 积极开展生态足迹理论和方法的改进与完善研究。生态足迹的应用研究已经取得相当大的进展,应用范围已扩大到多个产业领域。在此基础上,应加强3种计算方法的比较研究,找出影响因素,并对不同计算方法在不同层次区域应用予以适当规范。

2) 开展上年结转和本年结余资源对生态足迹计算的影响研究。现有的生态足迹计算方法,把当年生产量加上进口量,减去出口量,作为总消费量。事实上,总消费量的更准确和合乎实际的计算,还应加上上年结转,并减去本年结余。例如,我国累计粮食结余已达2000亿kg以上^[58],约占年产量的40%,

这对耕地的生态足迹计算的影响巨大。因此建议,对各类消费的计算,除应进行贸易调整外,还应进行结转/结余调整。

3) 开展国家公顷和省公顷等地方公顷研究。生态足迹理论对国家可持续发展状况比较或对世界可持续发展动态比较时用全球公顷,而对省级行政区可持续发展状况比较时,用国家公顷更有意义;相应地,进行市、县等较低层次行政区可持续发展状况研究时也可用省公顷等。为了进行国家公顷、省公顷等研究,必须进行相应的产量因子研究。

4) 积极开展水产养殖渔业、圈养畜牧业均衡因子研究。由于生态足迹理论首创时,水产养殖渔业、圈养畜牧业尚不发达,所占比例很低,所以,生态足迹理论与方法未对捕捞渔业与水产养殖渔业、放养畜牧业与圈养畜牧业加以区分,事实上他们之间存在着很大的区别,单位产量、资源利用效率和对环境的影响相差均很大,因而其产量因子、均衡因子相差悬殊。例如,在计算渔业水域生态足迹时,内陆水域捕捞与养殖、海洋捕捞与养殖这4部分渔业水域具有不同的特征,分4部分计算渔业水域生态足迹更能准确地反映实际情况,但由于缺乏内陆水域养殖和海水养殖渔业的均衡因子的研究成果,只能分别借用内陆水域和海洋捕捞渔业的均衡因子,故而造成计算偏差。

参 考 文 献

- [1] Rees W E. Ecological footprint and appropriated carrying capacity: what urban economics leave out [J]. *Environment and Urbanization*, 1992, 4 (2): 120-130
- [2] Wackernagel M, Rees W E. *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth* [M]. New Society, Gabriola, B C, Canada, 1996
- [3] 徐中民, 张志强, 程国栋. 甘肃省1998年生态足迹计算与分析[J]. *地理学报*, 2000, 55(5): 607-616
- [4] 张志强, 徐中民, 程国栋. 生态足迹的概念及计算模型[J]. *生态经济*, 2000, (8): 8-10
- [5] Wackernagel M, Rees W E. Perceptual and structural barriers to investing in natural capital: Economics from an ecological footprint perspective [J]. *Ecological Economics*, 1997, 20(1): 3-24
- [6] Wackernagel M, Monfreda C, Moran D, et al. National Footprint and Biocapacity Accounts 2005: The underlying calculation method [R]. Global Footprint Network. Oakland, CA, USA. 2005

- [7] Wackernagel M, Schulz N B, Deumling D, et al. Tracking the ecological overshoot of the human economy [J]. PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America), Washington, DC, USA, 2002, 99(14): 9266-9267
- [8] Wackernagel M, Monfreda C, Moran D, et al. National Footprint and Biocapacity Accounts 2004: The underlying calculation method [R]. Global Footprint Network. Oakland, CA, USA. 2004
- [9] Wackernagel M, Onisto L, Callejas L, et al. Ecological footprints of nations: How much nature do they use? How much nature do they have? [R/OL] 1997. <http://www.ecouncil.ac.cr/rio/focus/report/english/footprint/>
- [10] Wackernagel M, Onisto L, Bello P, et al. 1999. National natural capital accounting with the ecological footprint concept [J]. Ecological Economics, 1999, 29(3): 375-390
- [11] Simmons C, Lewis K, Barrett J. Two feet-two approaches: a component-based model of ecological footprinting [J]. Ecological Economics, 2000, 32(3): 375-380
- [12] Bicknell KB, Ball RJ, Cullen R, et al. New methodology for the ecological footprint with an application to New Zealand economy [J]. Ecological Economics, 1998, 27(2): 149-160
- [13] 冯君君. 从生态足迹观点探讨台湾地区环境资源负荷——应用投入产出分析方法[J/OL]. (台湾)公共事务评论第3期, 2001, 2(2): 123-158. http://www.pam.org.tw/pam.org/journal/review_3rd/3_6.doc
- [14] Wiedmann T, Minx J, Barrett J, Wackernagel M. Allocating ecological footprints to final consumption categories with input-output analysis [J]. Ecological Economics, 2006, 56(1): 28-48
- [15] Wackernagel M, Monfreda C, Deumling D. The Living Planet Report 2002 [R]. World Wild Fund for Nature International (WWF), Grand, Switzerland, 2002
- [16] Loh J, Wackernagel M. The Living Planet Report 2004 [R]. World Wild Fund for Nature International (WWF), Grand, Switzerland, 2004
- [17] Global Footprint Network, 2005. National Footprint and Biocapacity Accounts [EB/OL]. 2005-12-10. <http://www.footprintnetwork.org>
- [18] Wackernagel M, Moran D, Goldfinger S, et al. EU-ROPE 2005——The Ecological Footprint [R]. WWF, et al, Grand, Switzerland, 2005
- [19] Wackernagel M, Kitzes J, Cheng D, et al. ASIA-PACIFIC 2005——The Ecological Footprint and Natural Wealth [R]. WWF, et al, Grand, Switzerland, 2005
- [20] 徐中民, 张志强, 程国栋, 等. 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
- [21] 刘宇辉. 中国 1961—2001 年人地协调度演变分析——基于生态足迹模型的研究 [J]. 经济地理, 2005, 25(2): 219-222, 235
- [22] 高长波, 张世喜, 莫创荣, 等. 广东省生态可持续发展定量研究: 生态足迹时间维动态分析 [J]. 生态环境, 2005, 14(1): 57-62
- [23] 闵庆文, 余卫东, 成升魁. 商丘市居民生活消费生态足迹的时间序列分析 [J]. 资源科学, 2004, 26(5): 125-131
- [24] 紫檀, 潘志华. 内蒙古武川县生态足迹分析 [J]. 中国农业大学学报, 2005, 10(1): 64-68
- [25] 杨海林, 宁丰收, 游霞. 小城镇发展可持续性定量测度的生态足迹方法 [J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2006, 22(6): 253-256
- [26] Stögllehner, G. Ecological footprint - a tool for assessing sustainable energy supplies [J]. Journal of Cleaner Production, 2003, 11(3): 267-277
- [27] Holden E, Høyer G. The ecological footprints of fuels [J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2005, 10(5): 395-403
- [28] 顾晓薇, 王青, 刘建兴, 等. 基于“国家公顷”计算城市生态足迹的新方法 [J]. 东北大学学报(自然科学版), 2005, 26(4): 295-298
- [29] 章锦河, 张捷, 梁琳, 等. 九寨沟旅游生态足迹与生态补偿分析 [J]. 自然资源学报, 2005, 20(5): 735-743
- [30] 王辉, 姜斌. 生态足迹模型对旅游环境承载力计算的应用 [J]. 辽宁师范大学学报(自然科学版), 2005, 28(3): 358-360
- [31] 罗艳菊, 吴章文. 鼎湖山自然保护区旅游者生态足迹分析 [J]. 浙江林学院学报, 2005, 22(3): 330-334
- [32] 席建超, 葛全胜, 成升魁, 等. 旅游消费生态占用初探——以北京市海外入境旅游者为例 [J]. 自然资源学报, 2004, 19(2): 224-229
- [33] 杨桂华, 李鹏. 旅游生态足迹: 测度旅游可持续发展的新方法 [J]. 生态学报, 2005, 25(6): 1475-1480
- [34] Gyllenhammar A, Hakanson L. Environmental consequence analyses of fish farm emissions related to different scales and exemplified by data from the Baltic——a review [J]. Marine Environmental Research, 2005, 60(2): 211-243
- [35] Thomassen M A, de Boer I J M. Evaluation of indicators to assess the environmental impact of dairy production

- systems[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2005, 111(1-4):185-199
- [36] Ferng J J. Local sustainable yield and embodied resources in ecological footprint analysis—a case study on the required paddy field in Taiwan[J]. *Ecological Economics*, 2005, 53(3): 415-430
- [37] 孙兆敏,贾志宽,尚爱军,等. 西部地区生态足迹与苜蓿草产业发展战略研究[J]. *中国生态农业学报*, 2005, 13(1): 160-163
- [38] Federici M, Ulgiati S, Verdesca D, et al. Efficiency and sustainability indicators for passenger and commodities transportation systems: The case of Siena, Italy [J]. *Ecological Indicators*, 2003, 3(3): 155-169
- [39] 梁勇,成升魁,闵庆文. 生态足迹方法及其在城市交通环境影响评价中的应用[J]. *武汉理工大学学报(交通科学与工程版)*, 2004, 28(6):821-824
- [40] Hubacek K, Giljum S. Applying physical input-output analysis to estimate land appropriation (ecological footprints) of international trade activities[J]. *Ecological Economics*, 2003, 44: 137-151
- [41] Biophysical dimensions of North-South trade-material flows and land use[EB/OL]. PDF. <http://www.seri.at/Data/personendaten/sg/Giljum%20Biophysical%20dimensions%20of%20North-South%20trade.pdf/2006-01-04>
- [42] 顾晓薇,李广军,王青,等. 高等教育的生态效率——大学校园生态足迹[J]. *冰川冻土*, 2005, 27(3):418-425
- [43] Olgyay V, Herdt J. The application of ecosystems services criteria for green building assessment [J]. *Solar Energy*, 2004, 77(4): 389-398
- [44] Haberl H, Wackernagel M, Krausmann F. Ecological footprints and human appropriation of net primary production: a comparison[J]. *Land Use Policy*, 2004, 21(3): 279-288
- [45] 谢鸿宇. 基于空间综合生态足迹分析的项目环境影响评价方法研究[D]. 武昌:武汉大学, 2004
- [46] Bastianoni S, Pulselli F M, Tiezzi E. The problem of assigning responsibility for greenhouse gas emissions[J]. *Ecological Economics*, 2004, 49(3): 253-257
- [47] 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[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(2): 66-71
- [48] 王万茂,李俊梅. 生态足迹分析法及其在持续性规划中应用研究[J]. *中国生态农业学报*, 2003, 11(2): 153-155
- [49] The Influence of Development Characteristics on the Ecological Footprint of an Urban Household [EB/OL]. <http://www.ci.seattle.wa.us/environment/OSE%20Footprint%20Report%203-19-04.pdf>
- [50] Munda G. Social multi-criteria evaluation for urban sustainability policies [J]. *Land Use Policy*, 2006, 23(1): 86-94.
- [51] 吴隆杰. 基于生态足迹指数的中国可持续发展动态评估[J]. *中国农业大学学报*, 2005, 10(6): 94-99
- [52] 顾晓薇,王青,刘建兴,等. 辽宁省自然资源可持续发展的生态足迹分析[J]. *资源科学*, 2005, 27(4):118-124
- [53] 秦耀辰,牛树海. 生态占用法在区域可持续发展评价中的运用与改进[J]. *资源科学*, 2003, 25(1):1-8
- [54] 赵秀勇,缪旭波,孙勤劳,等. 生态足迹分析法在生态持续发展定量研究中的应用——以南京市1998年的生态足迹计算为例[J]. *农村生态环境*, 2003, 19(2): 58-60
- [55] 李明月,江华. 生态足迹分析模型的假设条件缺陷及应用偏差[J]. *农业现代化*, 2005, 26(1):6-9
- [56] 黄耀. 中国陆地和近海生态系统碳收支研究[J]. *中国科学院院刊*, 2002, 17(2): 104-107
- [57] 熊德国,鲜学福,姜永东. 生态足迹理论在区域可持续发展中的应用与改进[J]. *地理科学进展*, 2003, 22(6):618-626.
- [58] 北京青年报社,中国社会科学院青年人文社会科学研究中心编. 中国百姓蓝皮书[M]. 北京:解放军文艺出版社, 2002