

净初级生产力的人类占用：一种衡量区域可持续发展的新方法

彭建^{1,2}, 王仰麟², 吴健生^{1,2}

(1.北京大学 深圳研究生院 数字城市与城市景观研究中心, 广东 深圳 518055;

2.北京大学 环境学院, 北京 100871)

摘要: 可持续发展的生态评估是当前国际生态经济学与可持续发展研究的前沿问题之一, 净初级生产力的人类占用从生态系统初级生产力的角度可以定量评估一个国家或地区发展的生态持续性程度, 是近年来国际上一种重要的生物物理量衡量方法。论文简要介绍了净初级生产力人类占用的基本理论与核算方法, 分析了该方法应用于区域可持续发展生态评估的基本原理。综合国外相关研究的最新进展, 研究认为, 定量表征区域可持续发展的生态上限是净初级生产力人类占用方法的最大优点, 而该方法应用于区域可持续发展生态评估的不足之处则主要表现在关键参数的不确定性、可持续性的评价阈值、研究数据的缺乏和生物量进出口问题等4方面。

关键词: 净初级生产力的人类占用; 生态评估; 区域可持续发展

中图分类号: Q146

文献标识码: A

文章编号: 1000-3037(2007)01-0153-06

作为区域可持续发展成功与否的最终评判标准^[1]和唯一的实现途径^[2], 生态持续性一直以来都是国际社会关注的焦点与可持续发展研究的重要内容。而绿色植物的生物生产是地球上所有异养生命的营养基础与物质能量来源, 将人与自然有机地联系在了一起。因此, 以植物生产力为单位, 定量评估人类活动对绿色植物生产力的影响与占用情况, 探讨植物生产对人类生态系统的支撑能力及其自我维持能力, 与生态足迹、能值分析和物质流分析等方法一样, 是区域可持续发展生态评估的又一重要的生物物理量衡量方法与途径, 受到国际社会普遍关注, 近年来发展迅速。但与之形成鲜明对比的是, 到目前为止, 尚未有国内学者应用该方法进行相关研究的报道。因此, 本文旨在阐述净初级生产力人类占用的基本理论与核算方法, 以及该方法应用于区域可持续发展生态评估的基本原理, 并根据国外相关研究的最新进展, 系统分析该方法的不足之处, 以期推动净初级生产力人类占用研究在我国的迅速开展。

1 相关概念

净初级生产力(Net primary production, NPP), 或称净初级生产量, 是度量植物生物生产能力的重要指标之一, 被定义为单位面积、单位时间内, 绿色植物在太阳能光合作用下的生物物质年生产总量扣除自身因呼吸作用的消耗而剩下的有机物质。净初级生产力一般受水分、土壤、温度等因素影响, 但植物特性与人类活动对其也有显著影响。

净初级生产力的人类占用(Human appropriation of net primary production, HANPP), 或称净初级生产力的人类占有, 则指潜在的天然植被的净初级生产力(NPP_0 , 即没有人类干扰时的盛行植被的净初级生产力)和当前生态循环中现有生物量总量(NPP_1)之差^[3,4], 表征人类

收稿日期: 2006-07-17; 修订日期: 2006-10-31。

基金项目: 国家自然科学基金项目(40635028, 40471002), 国家重点基础研究项目(G2000046807)。

第一作者简介: 彭建(1976-), 男, 四川成都人, 博士研究生, 主要从事景观生态与土地利用的学习与研究。E-mail: jianpeng@hotmail.com

社会对自然生态系统的占用程度。一般而言,有两方面因素对净初级生产力的人类占用具有重要影响^[3]:生态系统平均生产力(每单位面积每年的NPP)的变化,如森林生态系统中道路的建设等;收获量。

如果实际植被的净初级生产力表示为 NPP_{act} ,收获量为 NPP_h ,则 $NPP_i=NPP_{act}-NPP_h$,而总的净初级生产力的人类占用可表示为 $HANPP=NPP_0-NPP_i=NPP_0-NPP_{act}+NPP_h$ 。其中,天然植被的净初级生产力(NPP_0)一般应用迈阿密模型,或通过对年平均温度、降水与净初级生产力的回归分析进行估算;实际植被的净初级生产力(NPP_{act})大多依植被类型假设平均生产力;收获量(NPP_h)则根据农林牧业部门的统计资料计算而得。

总体而言, $HANPP$ 以焦耳(J)、干物质量(kg)或碳(kg)为计量单位,主要用于度量现有土地覆被模式和土地利用实践下,特定区域还能存留多大比例的净初级生产力用于自然生态系统的维持与再生,其基本假设是人类占用净初级生产力的比例能够度量人类对生态系统的控制程度,并且较高的 $HANPP$ 会危及生物多样性^[9]。因此, $HANPP$ 与生态足迹一样,都强调地球表面对生态过程的重要性,将土地利用与社会经济代谢机制联系起来,其目的是提供有关社会-自然相互作用可持续发展的认识^[5]。

2 基本理论

随着人类文明的进步,人口与消费水平的增加使人类对绿色植物生物量的占用越来越高,而越来越多的土地被用于道路、房屋建筑等非生物性生产,则使全球生态系统的平均初级生产力趋向于降低,尽管农业生态系统能在单位面积上收获较多的生物量^[9]。但是,NPP并非人类独享的,人类只是地球生命系统的一个重要组成部分而已,还有野生动物等更多的生命成分需要占用NPP以维持其生存与发展。而在人类世代尺度下,全球气候条件及其空间分异的基本稳定,决定了全球潜在净初级生产力的有限性,一旦人类社会对全球净初级生产力的占用超过了某一域值,必然危及全球自然生态系统的维持与再生。因此,正如Vitousek等所指出的,净初级生产力是未来人类发展的一种重要限制资源,如果人口过度增长,地球的生物资源极限必将给人类带来前所未有的灾难^[6],并由此引起了人们对生物资源耗竭性问题的广泛讨论^[3],在关于可持续发展的讨论中受到广泛关注^[7]。

一般认为, $HANPP$ 越高,留给其他生物的NPP越低,危及绿色植物NPP再生能力的可能性越大,而可持续发展又是以生物多样性保护为基础的,因此,越不利于生物多样性的维持,越远离于可持续发展的目标。而通过政策管理措施与工程技术方法,提高半自然生态系统、人工生态系统的净初级生产力和对单位净初级生产力的利用效率,从而相对降低人类社会对净初级生产力的占用,是目前一条可行的途径。

人类社会对净初级生产力的占用显著地改变了大气的构成^[8]、生物多样性的程度^[3]、食物网的能量流动^[3,9]和重要生态系统服务的供应^[10]。 $HANPP$ 可以用来评价人类对特定地域的生态系统的占用程度,可以揭示人类利用土地的程度和效率(一般认为, NPP_{act} 持续下降预示环境恶化, NPP_{act} 小于 NPP_0 则表明土地生产率低),或者分析某国对生态系统的利用随时间变化的规律,并分析这些变化对于碳存储、生物多样性和景观生态系统的影响,这些都有助于分析可持续发展问题^[9]。因此,从人类本身的角度研究人类社会对NPP的占用,实际上是可持续发展的重大问题^[11],对于可持续发展战略、环境压力指示因子以及增加生物量利用的环境效应等方面都具有潜在的意义^[3]。并且,由于天然生态系统中的净初级生产力似乎是一个不可克服的限制因子(全球和局部水平上),所以这种指示因子更应该被看作是可持续发展的核心参数^[3,12]。

不少学者的研究均表明,当前人类社会对净初级生产力的占用量已相当可观。在全球尺度上, HANPP 约占潜在净初级生产力的 20%~40%^[6,13,14],并将在今后的 50 年内达到全球 NPP 的 50%,而且这一比例在许多工业化国家已高于 40%^[15];而全球对陆地 NPP 的人类占用为 14%~26%,甚至在西欧与中南亚高达 70%^[16];不少学者因此对人类净初级生产力占用的可能后果表现出担忧^[17]。

目前,国际上对 HANPP 的研究尚处于理论框架的完善与发展阶段,主要包括 6 个方面:对潜在 NPP 和实际 NPP 计算模型的改进,提高其评估精度^[4,18]; HANPP 与其他生物物理量评估方法适用范围与优劣比较,如与生态足迹的对比^[9];对 HANPP 导致物种损失假说的验证,对奥地利东部农业景观的研究表明, HANPP 和 NPP_{at} 与物种多样性呈负相关,而与 NPP 则呈正相关^[15]; HANPP 与土地利用相互关系的分析, Wrbka 等探讨了 HANPP 将社会-经济活动和代谢机制与特定地区的土地利用强度相联系的能力,研究表明,当 HANPP 具有中等水平时景观差异最大,因此,基于生物多样性保护的土地利用政策应当是通过保存混合土地利用方式以使 HANPP 达到中等水平^[19]; HANPP 与能源可持续发展的冲突问题,能源可持续发展的策略之一就是提倡用生物质来代替化石燃料,以减少 CO_2 的释放,但这必然增加净初级生产力的人类占用量,从而对生物多样性造成威胁,结果在替代能源、 CO_2 减少和生物多样性保护之间产生冲突,而这些都是可持续发展的重要方面,研究表明,生物质能多用途利用,与节约能源是可行的解决办法^[3]; HANPP 的实证评估,目前尚未广泛开展,已有的研究也均集中于全球与国家尺度^[3,4,6,16,18,20]。

3 讨论

生态系统为人类社会提供资源供给、废弃物吸收和人类生存空间占用三项主要功能^[21],净初级生产力的人类占用方法研究因人类对生态系统上述三项功能的利用所产生的特定土地面积上生态能流的变化,并可确定人类在特定地域内的土地利用强度,可以清晰地绘制出生态系统社会-经济利用强度空间分布图^[22]。此外,净初级生产力的人类占用方法还能与景观生态学结合,进行明确的空间分析,从而将社会经济系统与土地利用及其对生态系统过程的影响联系起来^[5,19]。现有的 GIS 技术也已可使计算净初级生产力人类占用的分辨率达到卫星和航空图片的水平^[23]。

作为一种区域可持续发展生态评估的生物物理量衡量方法,净初级生产力的人类占用方法与区域可持续发展综合指标评价法相比,其评估结果以人类占用净初级生产力比例的形式定量表征更加直观明了、易于理解,能有效避免传统可持续发展综合指标评价中各指标量纲不一、难以计算和比较的缺陷,同时,评估方法也由于不需要人为确定各评估指标之间的权重而更为客观、科学。另一方面,与目前较为常用的区域可持续发展生态评估的生物物理量衡量方法,如生态足迹、能值分析和物质流分析等方法相比,上述各方法均是以某一生物物理量为研究视角,各不相同。其中,物质流分析方法探讨区域物质流动特征和转化效率,能值分析方法强调社会经济活动中能量流动的效率,二者在本质上分别从物质循环、能量流动的效率角度间接评估了区域发展模式的生态可持续性,而难以直接回应区域本底特征的生态可持续性,而生态足迹方法关注支撑人类生存与发展的生物生产性土地面积,净初级生产力的人类占用方法着重研究自然生态系统净初级生产力的生产与人类占用,二者在本质上说是对区域生态持续性的直接评估,更能体现区域可持续发展生态评估生物物理量衡量方法的本质。此外,净初级生产力的人类占用方法从全球生态系统净初级生产力在人与自然

之间分配的角度,能有效回答人类可持续发展的上限问题,从而可较好地补充生态足迹衡量模型在解释可持续方面信息缺乏的不足^[5],因此,净初级生产力的人类占用方法被认为是对生态足迹方法的有效补充,可以把物质流分析或工业生态学方法与景观生态学或环境变化的生物地球物理学分析结合起来,具有较好的发展前景^[6]。

尽管如此,区域可持续发展生态评估的净初级生产力的人类占用方法尚有一些技术问题需要突破,正是这些问题限制了该方法的普遍应用:

(1) 关键参数的不确定性问题。由于数据获取的困难,已有的 HANPP 的全球评估主要依靠地点尺度上测量的外推^[16],关键参数的不确定性使得 HANPP 评估结果往往出现较大的变动范围。尽管有学者指出, HANPP 模型最大的不确定性在于农业土地的生产力,应用 FAO 的数据有助于降低这种不确定性^[4],但由于 FAO 数据仅在工业化国家具有较高质量,而在部分国家,农业数据往往受政治影响而变更,并不能真正提高模型的精度^[16]。

(2) 可持续性的评价阈值问题。虽然 100% 的 HANPP 预示着地球的毁灭,但对于其他比例的 HANPP 的生态效应及其指示意义,目前仍然一无所知。尽管有学者提出用 20% 来作为可持续性的阈值^[24],但却毫无科学依据。因此, HANPP 只能通过对生态系统净初级生产力人类占用比例的计算来度量系统距离可持续性目标的远近,而难以确切评判可持续与否。不能明确定义可持续与否的阈值,正是 HANPP 方法应用于可持续发展评估最大的理论瓶颈,也是其发展 20 余年来一直难以广泛推广的原因所在。但如果能在 HANPP 和生物多样性之间建立明确的因果关系,则将会成为指示人类对生物多样性压力的一项重要指标,并将发挥重要的作用^[6],因此,这也是当前 HANPP 理论研究的重点所在。

(3) 生物量进出口问题。HANPP 只是针对特定地域的土地利用,研究区域人口对该地区以外生态系统的生物量需求被忽略不计,同时对于研究区域以外的人口对该地区生态系统的生物量占用也没有加以区分^[5],尽管这对于评估区域生态系统净初级生产力的人类占用比例没有影响,但将这些生物量的人类需求(或占用)细分开来,将有助于制定科学有效的可持续发展策略。

(4) 研究数据的缺乏问题。理论上,全球或区域潜在 NPP 的计算,应包括研究区域空间内所有净第一性生产力。但已有的研究往往因为研究数据的缺乏,而只能评估人类对陆地生态系统地上部分植物净初级生产力的占用,对海洋等水生生态系统的 NPP 和陆地生态系统地下部分的 NPP 计算尚无有效办法,精度难以达到要求。

参考文献 (References):

- [1] Linehan J R, Gross M. Back to the future, back to basis: The social ecology of landscapes and the future of landscape planning[J]. *Landscape and Urban Planning*, 1998, 42: 207-223.
- [2] Franke T T. Making future landscapes: Defining a path to qualified sustainability[J]. *Landscape and Urban Planning*, 1996, 35: 241-246.
- [3] Haberl H. Human appropriation of net primary production as an environmental indicator: Implications for sustainable development[J]. *Ambio*, 1997, 26: 143-146.
- [4] Haberl H, Krausmann F, Erb K H, et al. Human appropriation of net primary production[J]. *Science*, 2002, 296: 1968-1969.
- [5] Haberl H, Wackernagel M, Krausmann F, et al. Ecological footprints and human appropriation of net primary production: A comparison[J]. *Land Use Policy*, 2004, 21: 279-288.
- [6] Vitousek P M, Ehrlich P R, Ehrlich A H, et al. Human appropriation of the products of photosynthesis[J]. *BioScience*, 1986, 36: 368-373.
- [7] Gore A. *Earth in the balance: Ecology and the human spirit*[M]. New York: Plume Books, 1992.

- [8] Schimel D, Melillo J, Tian H, et al. Contribution of increasing CO₂ and climate to carbon storage by ecosystems in the United States[J]. *Science*, 2000, 287: 2004- 2006.
- [9] Field C B. Global change: Enhanced: Sharing the garden[J]. *Science*, 2001, 294: 2490- 2491.
- [10] Daily G C, Alexander S, Ehrlich P R, et al. Ecosystem services: Benefits supplied to human societies by natural ecosystems[J]. *Issues in Ecology*, 1997, 2: 1- 16.
- [11] Krausmann F, Haberl H. The process of industrialization from the perspective of energetic metabolism: socio economic energy flows in Austria 1830- 1995[J]. *Ecological Economics*, 2002, 41: 177- 201.
- [12] Munasinghe M, Shearer W. Defining and Measuring Sustainability, the Biogeophysical Foundations [M]. Tokyo: The United Nations University Press and the World Bank Press, 1995.
- [13] Wright D H. Human impacts on energy flow through natural ecosystems, and implications for species endangerment[J]. *Ambio*, 1990, 19: 189- 194.
- [14] Vitousek P M, Mooney H A, Lubchenko J, et al. Human domination of earth 's ecosystems[J]. *Science*, 1997, 277: 494- 499.
- [15] Haberl H, Schulz N B, Plutzer C, et al. Human appropriation of net primary production and species diversity in agricultural landscapes[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2004, 102: 213- 218.
- [16] Imhoff M, Bounoua L, Ricketts T, et al. Global patterns in human consumption of net primary production[J]. *Nature*, 2004, 429: 870- 873.
- [17] Meadows D, Meadows D, Randers J. Beyond the Limits, Global Collaps or a Sustainable Future[M]. London: Earthscan, 1992.
- [18] Rojstaczer S, Sterling S M, Moore N J. Human appropriation of photosynthesis products[J]. *Science*, 2001, 294: 2549- 2552.
- [19] Wrbrka T, Erb K H, Schulz N B, et al. Linking pattern and process in cultural landscapes: An empirical study based on spatially explicit indicators[J]. *Land Use Policy*, 2004, 21: 289- 306.
- [20] Haberl H, Erb K H, Krausmann F, et al. Changes in ecosystem processes induced by land use: Human appropriation of net primary production and its influence on standing crop in Austria [J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2001, 15: 929- 942.
- [21] Dunlap R E, Catton W R. Which function (s) of the environment do we study? A comparison of environmental and natural resource sociology[J]. *Society and Natural Resources*, 2002, 15: 239- 249.
- [22] Haberl H, Wackernagel M, Wrbrka T. Land use and sustainability indicators[J]. *Land Use Policy*, 2004, 21: 193- 198.
- [23] Haberl H, Fischer-Kowalskia M, Krausmann F. Progress towards sustainability? What the conceptual framework of material and energy flow accounting (MEFA) can offer [J]. *Land Use Policy*, 2004, 21: 199- 213.
- [24] Weterings R A P M, Opschoo J B. The ecocapacity as a challenge to technological development [R]. Advisory Council for Research on Nature and Environment. Rijswijk, 1992.

Human Appropriation of Net Primary Production: An Approach for Ecological Assessment of Regional Sustainable Development

PENG Jian^{1,2}, WANG Yang-lin², WU Jian-sheng^{1,2}

(1. Center of Digital City and Urban Landscape, Shenzhen Graduate School, Peking University, Shenzhen 518057, China;

2. College of Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Ecological assessment of sustainable development is one of the superiority fields of international ecological economy and researches on sustainable development. The approach of human appropriation of net primary production (HANPP) can assess the ecological sustainability of human ecological-economic systems through measuring how much the net primary production is appropriated by human beings, which is a newly while important research area. In this paper, we briefly introduced the basic concept, theories of human appropriation of net primary production and its approaches to measure sustainable development. Then to sum up all the latest researches on human appropriation of net primary production, the following four prime issues can

be summarized for applying HANPP on ecological assessment of regional sustainable development, that is, the uncertainty of key factors, the threshold of sustainability, the restriction in data collection, and the imports and exports of biological production.

Key words: human appropriation of net primary production; ecological assessment; regional sustainable development

中国自然资源学会 2006 年学术年会学术交流活动综述

中国自然资源学会 2006 年学术年会是继 2004 南京学术年会、2005 济南学术年会之后,我国资源科技界的又一次盛会,这次学术年会具有几下特点:

1 学术水平高,资深专家高瞻远瞩引领科学发展方向

大会特邀报告和各分会会场报告的学术水平普遍提高,既展示了我国学者在国际科技前沿领域研究中的最新成果,也体现了我国资源工作者将资源科学的前沿研究与国家战略需求紧密结合起来的聪明智慧。大会特邀报告中,有蒋承崧副部长的“坚持自然资源行政管理的宪法原则”、王浩院士的“基于二元水循环模式的水资源评价理论与方法”、牛文元研究员的“全面落实科学发展观,建设资源节约型社会”和朱鹤健教授的“农业资源系统耦合利用”,专家们高瞻远瞩,深刻揭示了现阶段前沿研究领域的热点问题,对今后资源科学以及相关学科的发展必将产生深远的影响。

2 内容丰富,各学科交叉融合,显示协同发展的学科研究特点

(1) 可持续土地资源战略与区域协调发展”专题 有 8 位代表就“土地资源安全战略”、“土地资源优化配置”、“土地研究新技术与方法”、“典型区域土地资源利用问题研究”以及我国土地资源安全及其优化利用等战略问题进行了深入探讨,提出了发挥国家和政府的调控功能与引领作用的相关措施,特别是实行城镇用地增加和农村居民点用地减少的“增减挂”措施,这些报告引起了代表们的热烈讨论。代表认为,“围绕‘可持续土地资源战略与区域协调发展’”,今后要着重从加强土地资源安全、土地利用战略、土地价值核算、土地变化驱动机制、土地整理工程、土地休息技术、土地制度创新和土地利用规划等方面的研究。

(2) 水资源与河流健康”专题 有 18 位与会代表从“生态需水研究”、“分布式水文模型的构建”、“径流特征分析”、“水库、泥沙的冲淤研究”等不同区域、不同角度对水资源与河流健康问题等方面进行了学术交流。与会代表达成以下共识:“河流是人类文明的摇篮。人类利用并改造着河流,同时也面临着来自大自然和人类自身行为的挑战。当前,受气候变化与人类活动影响的河流健康与水资源可持续利用问题,是人类生存与发展所必须面对的重大问题。河流生态系统是以水为核心的复杂生物多样性系统。人类活动对河流生态系统的影响主要通过改变系统特征,包括水文、物理化学等,进而影响或改变河流生态系统的生物环境,导致生态系统结构和功能退化。维系河流健康是每位中华儿女应尽的责任和义务。河流的健康涉及到河流功能与生态多样性评价。当前需要强调以河流系统为对象的气候变化与人类活动影响的生态水文学基础研究,尤其要加强环境变化对河流水文过程、水质以及生态系统的影响,为认识和评价河流健康提供科学依据。需要强调中国的决策者和每个公民从自我做起,节约水资源,善待河流,保护环境。”

(3) 自然资源信息系统与重要资源安全”专题 有 11 位专家围绕两个主题作了学术报告:一是基于基础研究,侧重各种模型、算法的研究;二是基于自然资源安全应用研究,侧重区域生态安全、遥感估测、人口空间数据、土壤砷污染、植物修复、基本农田遥感动态监测、中国内陆干旱区土地荒漠化动态分析等的研究。与会代表对包括遥感参数的提取与反演、全球网格模型理论及其相关的基础理论研究进行了深入的探讨,同时对环境污染监测、农业遥感估测、生态安全影响等方面的应用研究也进行了讨论。体现出以 3S 技术为龙头的空间信息技术已经深入到了自然资源各学科当中,空间信息与自然资源环境由此及彼、相互渗透、相辅相成的发展特点。

(4) 世界资源与南海研究”专题 有 11 位专家就世界资源和南海等问题作了学术交流。分会场分为科学报告、专题讨论两个部分进行。并且就发展我国对世界资源的科学研究、高等教育以及学术交流等问题,