

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

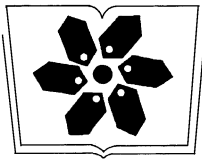
Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 9 期 Vol.32 No.9 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 9 期

2012 年 5 月 (半月刊)

目 次

不同土地覆被格局情景下多种生态系统服务的响应与权衡——以雅砻江二滩水利枢纽为例·····	葛 菁, 吴 楠, 高吉喜, 等 (2629)
放牧对小嵩草甸生物量及不同植物类群生长率和补偿效应的影响·····	董全民, 赵新全, 马玉寿, 等 (2640)
象山港日本对虾增殖放流的效果评价·····	姜亚洲, 凌建忠, 林 楠, 等 (2651)
城市景观破碎化格局与城市化及社会经济发展水平的关系——以北京城区为例·····	仇江啸, 王效科, 逯 非, 等 (2659)
江河源区高寒草甸退化序列上“秃斑”连通效应的元胞自动机模拟·····	李学玲, 林慧龙 (2670)
铁西区城市改造过程中建筑景观的演变规律·····	张培峰, 胡远满, 熊在平, 等 (2681)
商洛低山丘陵区农林复合生态系统光能竞争与生产力·····	彭晓邦, 张硕新 (2692)
基于生物量因子的山西省森林生态系统服务功能评估·····	刘 勇, 李晋昌, 杨永刚 (2699)
不同沙源供给条件下柽柳灌丛与沙堆形态的互馈关系——以策勒绿洲沙漠过渡带为例·····	杨 帆, 王雪芹, 杨东亮, 等 (2707)
桂西北喀斯特区原生林与次生林凋落叶降解和养分释放·····	曾昭霞, 王克林, 曾馥平, 等 (2720)
江西九连山亚热带常绿阔叶林优势种空间分布格局·····	范 娟, 赵秀海, 汪金松, 等 (2729)
秦岭山地锐齿栎次生林幼苗更新特征·····	康 冰, 王得祥, 李 刚, 等 (2738)
极端干旱环境下的胡杨木质部水力特征·····	木巴热克·阿尤普, 陈亚宁, 等 (2748)
红池坝草地常见物种叶片性状沿海拔梯度的响应特征·····	宋璐璐, 樊江文, 吴绍洪, 等 (2759)
改变 C 源输入对油松人工林土壤呼吸的影响·····	汪金松, 赵秀海, 张春雨, 等 (2768)
啮齿动物捕食压力下生境类型和覆盖处理对辽东栎种子命运的影响·····	闫兴富, 周立彪, 刘建利 (2778)
上海闵行区园林鸟类群落嵌套结构·····	王本耀, 王小明, 王天厚, 等 (2788)
胜利河连续系统中蜉蝣优势种的生产量动态和营养基础·····	邓 山, 叶才伟, 王利肖, 等 (2796)
虾池清塘排出物沉积厚度对老鼠簕幼苗的影响·····	李 婷, 叶 勇 (2810)
澳大利亚亚热带不同森林土壤微生物群落对碳源的利用·····	鲁顺保, 郭晓敏, 芮亦超, 等 (2819)
镜泊湖岩溶台地不同植被类型土壤微生物群落特征·····	黄元元, 曲来叶, 曲秀春, 等 (2827)
浮床空心菜对氮循环细菌数量与分布和氮素净化效果的影响·····	唐莹莹, 李秀珍, 周元清, 等 (2837)
促分解菌剂对还田玉米秸秆的分解效果及土壤微生物的影响·····	李培培, 张冬冬, 王小娟, 等 (2847)
秸秆还田与全膜双垄集雨沟播耦合对半干旱黄土高原玉米产量和土壤有机碳库的影响·····	吴荣美, 王永鹏, 李凤民, 等 (2855)
赣江流域底泥中有机氯农药残留特征及空间分布·····	刘小真, 赵 慈, 梁 越, 等 (2863)
2009 年徽州稻区白背飞虱种群消长及虫源性质·····	刁永刚, 杨海博, 瞿钰锋, 等 (2872)
木鳖子提取物对朱砂叶螨的触杀活性·····	郭辉力, 师光禄, 贾良曦, 等 (2883)
冬小麦气孔臭氧通量拟合及通量产量关系的比较·····	佟 磊, 冯宗炜, 苏德·毕力格, 等 (2890)
专论与综述	
基于全球净初级生产力的能源足迹计算方法·····	方 恺, 董德明, 林 卓, 等 (2900)
灵长类社会玩耍的行为模式、影响因素及其功能风险·····	王晓卫, 赵海涛, 齐晓光, 等 (2910)
问题讨论	
中国伐木制品碳储量时空差异分析·····	伦 飞, 李文华, 王 震, 等 (2918)
研究简报	
森林自然更新过程中地上氮贮量与生物量异速生长的关系·····	程栋梁, 钟全林, 林茂兹, 等 (2929)
连作对芝麻根际土壤微生物群落的影响·····	华菊玲, 刘光荣, 黄劲松 (2936)
刈割对外来入侵植物黄顶菊的生长、气体交换和荧光的影响·····	王楠楠, 皇甫超河, 陈冬青, 等 (2943)
不同蔬菜种植方式对土壤固碳速率的影响·····	刘 杨, 于东升, 史学正, 等 (2953)
巢湖崩岸湖滨基质-水文-生物一体化修复·····	陈云峰, 张彦辉, 郑西强 (2960)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 336 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 36 * 2012-05



封面图说: 在交配的雨蛙——雨蛙为两栖动物, 世界上种类达 250 种之多, 分布极广。中国的雨蛙仅有 9 种, 除西部一些省份外, 其他各省(区)均有分布。雨蛙体形较小背面皮肤光滑, 往往雄性绿色, 雌性褐色, 其指、趾末端多膨大成吸盘, 便于吸附攀爬。多生活在灌丛、芦苇、高秆作物上, 或塘边、稻田及其附近的杂草上。白天匍匐在叶片上, 黄昏或黎明频繁活动, 捕食能力极强, 主要以昆虫为食。特别是在下雨以后, 常常 1 只雨蛙先叫几声, 然后众蛙齐鸣, 声音响亮, 每年在四、五月份夜间发情交配。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201103280399

方恺,董德明,林卓,沈万斌. 基于全球净初级生产力的能源足迹计算方法. 生态学报, 2012, 32(9): 2900-2909.

Fang K, Dong D M, Lin Z, Shen W B. Calculation method of energy ecological footprint based on global net primary productivity. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(9): 2900-2909.

基于全球净初级生产力的能源足迹计算方法

方 恺^{1,2}, 董德明², 林 卓², 沈万斌^{2,*}

(1. 荷兰莱顿大学环境科学系, 莱顿 2300 RA; 2. 吉林大学环境与资源学院, 长春 130012)

摘要:净初级生产力是当前生态足迹改进研究的重要突破口。针对传统能源足迹存在着忽略多数土地的碳吸收贡献、碳吸收能力界定不清等不足,提出了基于全球平均净初级生产力的能源足迹计算方法。结果表明:单位质量能源的生态足迹空间构成中,前3位依次为海洋、林地和草地,分别占28.32%、27.25%、21.77%。单位空间占用面积的能源热值由高至低依次为电力、气态、液态和固态能源,分别达 2.11×10^6 — 9.76×10^7 、108—116、88—99、68—72 GJ/hm²。对各类能源生态影响的判断均较传统方法乐观,这是综合考虑全球各类土地和水体碳吸收贡献的结果。基于全球净初级生产力的能源足迹反映了能源消费的空间占用平均水平,有助于提高评价结果的真实性与准确性。

关键词:生态足迹;能源足迹;净初级生产力;空间占用

Calculation method of energy ecological footprint based on global net primary productivity

FANG Kai^{1,2}, DONG Deming², LIN Zhuo², SHEN Wanbin^{2,*}

1 Institute of Environmental Sciences (CML), Leiden University, Leiden 2300 RA, Netherlands

2 College of Environment and Resources, Jilin University, Changchun 130012, China

Abstract: Net primary productivity (NPP) is a conceptual breakthrough in improving ecological footprint (EF) analysis. Three common features shared by the two assessment methods are the following: (1) an overlapping of space occupied. EF converts all consumption into land most of which also participates in global carbon cycle and is involved in net primary production; (2) the same basic measurement units adopted in them. EF that uses biological productivity as the basic measurement unit converts physical hectares into global hectares equal to the global average productivity, and NPP is employed as a common indicator of biological productivity. Therefore, both methods measure ecological sustainability directly based on biological productivity in essence; and (3) the complementary to each other for further information. They both emphasize the desirability of reducing the demand for nonrenewable resources. NPP can provide some missing information on analyzing sustainability when combined with EF. On the other hand, EF is able to compensate NPP for the lack of straightforwardness when tracking the maintenance of the biosphere's capacity. As a matter of fact, more and more studies attempt to include ocean, grassland and cropland's capacity for carbon sequestration into energy ecological footprint (EEF) assessment. However, EEF, the most important and disputed subject of EF, has rarely been applied in combination with NPP as modified methodologies. Of particular concern is how EEF is defined and what it actually measures, exclusion of a majority of land and water and failure to capture their actual capacity for carbon sequestration. Moreover, it illustrates the hypothetical land appropriation of energy consumption, which is inevitably in conflict with the actual appropriated land for biological production in one aggregation of EFs calculation. In this paper, a modified method for assessing EEF is

基金项目:国家发改委专项(气候司[2008-07]);国家公派留学基金项目(20113005)

收稿日期:2011-03-28; 修订日期:2011-09-28

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shenwanbin@jlu.edu.cn

developed based on global NPP, thereby primarily focusing on the interaction between CO₂ emissions and land carbon sequestration. The results demonstrate the followings: (1) ocean, forest and grassland are the principal spatial components of EEF equivalents that measure EEF per unit mass of energy, accounting for 28.32%, 27.25% and 21.77% of the total, respectively; (2) the EEF factors that represent the calorific values per area of land appropriation for each group of energy decrease from 9.76×10^7 to 68 GJ/hm² corresponding to electricity, gaseous energy, liquid energy and solid energy; and (3) all the energy sources would produce less ecological impact when using the modified method compared with the traditional method, as a result of considering the contribution of carbon sequestration from all types of land and water on the globe. It is indicated as follows: (1) the EEF based on NPP reflects the world-average land appropriation of energy consumption; (2) linking biological productivity and carbon sequestration rate through NPP is able to reduce the disparity in spatial composition between EEF and the biological EF and hereby enhances their logic consistency; (3) changing the basis for EEF calculation from forest's carbon sequestration rate to NPP, is a useful tool for assessing the world-average land appropriation of energy consumption; and (4) the modified method can be used to improve the validity and accuracy of the calculation results and make more meaningful assessment of energy consumption for sustainable development.

Key Words: ecological footprint; energy ecological footprint; net primary productivity; land appropriation

定量评价区域可持续发展状态一直是生态学研究的前沿和热点领域^[1]。在全球生态系统净初级生产力核算、净初级生产力的人类占用等^[2-3]一系列研究成果的基础上,生态经济学家 Rees 和 Wackernagel^[4]提出了生态足迹(ecological footprint, EF)理论。生态足迹从资源消费及其废弃物消纳的空间占用角度表征人类活动对自然资源的需求,是颇受关注和极具发展潜力的可持续性评价方法之一^[5]。与此同时,用于表征植物支撑和维持生态系统能力的净初级生产力(net primary productivity, NPP),也逐渐成为一种重要的可持续发展生物物理衡量方法^[6-7]。通过比对生态足迹与净初级生产力的内涵,可知两者存在诸多共通之处:① 空间范围重合。生态足迹以资源消费及其废弃物消纳发生的地表空间为研究范围,该范围内绝大部分土地都因参与地球碳循环而具有净初级生产力;② 测度基础一致。生态足迹以生物生产力为测度基础,将区域资源消费量最终折算成具有全球平均生产力的土地面积,而净初级生产力恰为一种常用的生物生产力指标。可见,两者本质上都基于生物生产力直接评价区域的生态可持续性;③ 信息互为补充。两者都强调减少不可再生资源消费的必要性^[8],同时净初级生产力可较好解释生态足迹在可持续性方面的缺失信息^[6-7],生态足迹则有助于净初级生产力摆脱评价结果不直观的不足。

由于两者紧密的内生联系特征,近年来净初级生产力开始被应用于生态足迹改进研究,如 Venetoulis 等^[9]采用全球净初级生产力计算各类土地的均衡因子;刘某承等^[10]采用中国净初级生产力计算各类土地的国家产量因子;杨海波等^[11]采用区域净初级生产力计算本地生态承载力;谢高地等^[12]分别采用全球和区域净初级生产力计算生态足迹和生态承载力;Siche 等^[13]将净初级生产力与能值分析相结合计算生态足迹。然而,作为生态足迹最主要构成部分①的能源足迹(energy ecological footprint, EEF)^[14],却鲜见引入净初级生产力进行改进的专项研究报道^[15]。为此,本文在综合考虑能源、大气、植物和土地相互作用关系的基础上,探寻基于全球净初级生产力的能源足迹计算方法,以期为更合理反映能源消费的空间占用水平提供依据。

1 传统能源足迹的计算方法

传统能源足迹基于碳吸收替代原理,用吸收能源燃烧排放 CO₂ 所需的林地面积表征^[4],其计算方法为:

① 根据抽样调查得到林地的全球平均碳吸收能力为 $1.420 \text{ tC} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^②^[16];② 按物理性质将能源分为固态、液态、气态和电力四大类,每一类由 1.420 除以碳排放系数得到单位空间占用面积的能源热值(以下简称能源

① 按消费要素不同,生态足迹可分为生物资源足迹和能源足迹两大类

② 该单位的含义是:在 1 公顷土地上 1 年所积累的碳吨数

足迹因子, energy ecological footprint factor, EEFF); ③ 由每一类能源的燃烧热值系数除以能源因子得到单位质量的能源足迹(以下简称能源足迹当量, energy ecological footprint equivalent, EEFE)。

该方法存在两点明显不足: ① 大量研究证实^[17-18], 全球地表吸收 CO₂ 的份额林地约占 1/3、海洋约占 1/3、其他土地约占 1/3, 可见只考虑某一类土地的碳吸收势必造成较大误差; ② 碳吸收能力是一个相对宽泛的概念, 可由总初级生产力(GPP)、净初级生产力(NPP)和净生态系统生产力(NEP)等多种指标表征, 但无论采用何种指标, 1.420 tC·hm⁻²·a⁻¹ 都是一个明显偏低的数值。对此, Kitzes 等全球 29 位生态学专家^[5] 近来就能源足迹改进研究提出两点构想: ① 若增加考虑除林地外其他土地的碳吸收贡献, 将能更全面地反映全球平均碳吸收的真实能力; ② 若采用整个生态系统的实际生物生产力进行计算, 将能更精确、及时地反映人类活动的生态效应。本文在构建基于全球净初级生产力的能源足迹计算方法时, 将充分考虑以上两点意见。

2 研究方法

2.1 基本概念

NPP 指绿色植物在单位时间和单位面积上扣除自养呼吸部分后的有机干物质生产量, 它是地球碳循环的原动力和生态系统物质与能量运转的基本环节, 可以真实反映各类土地的生物生产和碳吸收能力^[10, 19-20]。因此, 采用 NPP 将生物生产力和碳吸收能力相统一。

土地不仅是资源和环境要素的有效载体^[21], 也是最具表现力和权威性的空间概念^[22], 同时, 考虑到碳循环的全球性和资源消费占用的空间性特征^[22], 本文将参与吸收 CO₂ 的土地类型由林地扩大至全球绝大部分地表空间。

为保证结果全球可比这一生态足迹的最大优点, 各类土地和水体的面积和 NPP 均采用全球范围内的测算值。据此, 将基于全球 NPP 的能源足迹定义为: 在全球地表平均净初级生产力条件下, 吸收能源消费过程中所排碳量需要占用的各类土地和水体面积。根据该定义, 全球平均 NPP 计算将是本研究的关键。基于净初级生产力的能源足迹概念可由图 1 表示。

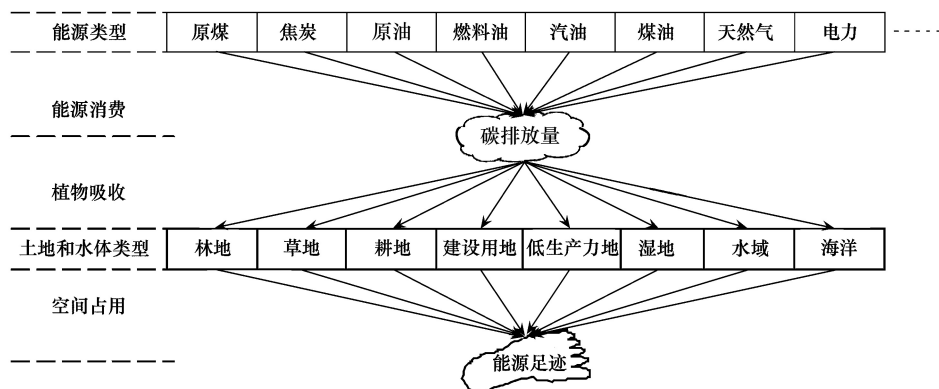


图1 基于净初级生产力的能源足迹概念

Fig. 1 Concept of EEF based on NPP

2.2 数据来源与参数计算

2.2.1 土地和水体的面积与净初级生产力

表1 分别列出了 Atjay、Mooney、USDE(美国能源部)和 Venetoulis^[9, 23-25] 公布的全球各类土地和水体的面积和 NPP。可见, 4 组数据均存在差异, 且有不同程度缺失, 难以比较相互间的优劣。现将它们进行综合, 以确定本研究所需的面积和 NPP 参数。

(1) 计算各类土地的面积

每一类土地面积为以上各组该类土地面积的算术平均值(无数据组不予考虑), 若某组数据包含若干分类型, 则先组内加和各分类型数据, 再进行组间加和;

$$A_k = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m A_{ij} \tag{1}$$

式中, A_k 为第 k 类土地面积(hm^2); n, m 分别为有数据组数和分类数($2 \leq n \leq 4, 0 \leq m \leq 3, m=0$ 时, $\sum_{i=1}^m A_{ij} = A_j$); A_{ij} 为第 j 组 i 分类土地面积(hm^2)。

表 1 已有研究公布的全球各土地和水体类型的面积与净初级生产力

Table 1 Area and NPP of global different land and water types of former researches

土地和水体 Land and water		Atjay ^[26]		Mooney		USDE ^[27]		Venetoulis	
类型 Type	分类型 Subtype	面积 Area /(10 ⁹ hm ²)	NPP /(tC·hm ⁻² ·a ⁻¹)	面积 Area /(10 ⁹ hm ²)	NPP /(tC·hm ⁻² ·a ⁻¹)	面积 Area /(10 ⁹ hm ²)	NPP /(tC·hm ⁻² ·a ⁻¹)	面积 Area /(10 ⁹ hm ²)	NPP /(tC·hm ⁻² ·a ⁻¹)
林地 Forest	热带林地 Tropical	1.76	7.784	1.75	12.514	1.48	9.250		
	温带林地 Temperate	1.04	6.250	1.04	7.788	0.95	6.763		
	寒带林地 Boreal	1.37	2.336	1.37	1.898	0.90	3.550	3.61	6.583
草地 Grassland	热带草地 Tropical	2.25	7.867	2.76	5.399	2.50	7.470		
	温带草地 Temperate	1.25	4.240	1.78	3.933	1.25	3.500	2.98	4.835
耕地 Cropland		1.60	4.250	1.35	3.037	1.48	4.250	1.48	4.243
建设用地 Built land		—	—	—	—	0.20	1.000	0.20	0.997
低生产力地 Low productive land	荒漠 Deserts	4.55	0.308	2.77	1.264	3.00	0.502		
	苔原冻土 Tundra	0.95	1.053	0.56	0.893	0.95	1.050	6.61	2.080
湿地 Wetland		0.35	12.286	—	—	0.28	11.800	—	—
水域 Water body		—	—	—	—	0.20	2.000	2.13	5.344
海洋 Ocean		—	—	—	—	36.14	0.570	34.36	0.959

低生产力地数据包含荒漠、苔原和冻土,林地数据包含热带、温带和寒带林地,草地数据包含热带和温带草地,水域数据包含内陆水域和大陆架渔场。上述湿地数据均偏小,主要是因为未包含淡水和近海等部分广义湿地类型;Kitzes 等^[5]特别指出,应考虑地球上所有土地在提供资源和消纳废弃物方面的生态服务,理由是某些土地(如湿地),生产力很高,但分布少,对全球范围内的生态承载力可能没有多少贡献,但对局部范围可能影响很大;而某些生产力低但分布广的土地(如苔原)可能在全球和局部范围都有较大的影响

(2) 计算各类土地的 NPP

每一类土地的 NPP 为各组该类土地的净初级生产量(土地的面积与 NPP 的乘积)之和除以上一步的计算结果:

$$NPP_k = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m A_{ij} \cdot NPP_{ij}}{A_k} \tag{2}$$

式中, NPP_k 为第 k 类土地的净初级生产力($\text{tC} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); NPP_{ij} 为第 j 组 i 分类土地的净初级生产力($\text{tC} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)。

(3) 计算全球平均 NPP。由前两步的计算结果相乘得到各类土地的净初级生产量,加和后除以各类土地的面积之和即得到全球平均 NPP:

$$NPP_{\text{glo}} = \frac{\sum_{k=1}^8 A_k \cdot NPP_k}{\sum_{k=1}^8 A_k} \tag{3}$$

式中, NPP_{glo} 为全球平均净初级生产力 ($\text{tC} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); 数字 8 代表土地和水体类型数, 包括林地、草地、耕地、建设用地、低生产力地、湿地、水域和海洋。

由以上 3 步得到本研究所需的各类土地和水体的面积和 NPP 值(表 2)。

表 2 全球各土地和水体类型的面积、净初级生产力与净初级生产量
Table 2 Area, NPP and total NPP of global different land and water types

项目 Item	林地 Forest	草地 Grassland	耕地 Cropland	建设用地 Built land	低生产力地 Low productive land	湿地 Wetland	水域 Water body	海洋 Ocean	全球 Global/ World-average
面积 Area/(10^9hm^2)	3.82	3.69	1.48	0.20	4.85	0.32	1.17	35.25	50.78
NPP/($\text{tC} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	6.750	5.576	3.971	0.999	1.168	12.070	5.057	0.760	1.863
净初级生产量 Total NPP/($10^9 \text{tC} \cdot \text{a}^{-1}$)	25.8	20.6	5.9	0.2	5.7	3.8	5.9	26.8	94.6

2.2.2 土地和水体的净初级生产量及其构成

各类土地和水体的净初级生产量由其面积和 NPP 计算:

$$NPP_{\text{tot},k} = A_k \cdot NPP_k \tag{4}$$

式中, $NPP_{\text{tot},k}$ 为第 k 类土地的净初级生产量 ($10^9 \text{tC} \cdot \text{a}^{-1}$)。

8 类土地和水体的净初级生产量构成比例均由各自的净初级生产量与全球总净初级生产量的比值确定:

$$w_k = NPP_{\text{tot},k} / \sum_{k=1}^8 NPP_{\text{tot},k} \tag{5}$$

式中, w_k 为第 k 类土地的净初级生产量构成比例 (%)。

各类土地和水体的净初级生产量如表 2 所示。在全球范围内, 净初级生产量构成(图 2)与面积构成(图 3)存在明显差别, 净初级生产量构成比例由高至低依次为: 海洋、林地、草地、水域、耕地、低生产力地、湿地和建设用地; 面积构成比例由高至低依次为: 海洋、低生产力地、林地、草地、耕地、水域、湿地和建设用地。其中, 海洋的 NPP 最低, 面积最大, 导致其净初级生产量占全球总净初级生产量的近 1/3, 为各类土地和水体中最高; 湿地的 NPP 远高于其他各类土地和水体, 但因面积仅占全球总面积的 0.63%, 导致其净初级生产量占全球的 4.02%; 建设用地因绿化而具有少量 NPP(略高于海洋), 加之面积最小, 导致其净初级生产量仅占全球的 0.21%, 为各类土地和水体中最低。值得注意的是, 林地的净初级生产量占全球的 27.25%, 不仅略低于海洋, 且未比处于第三位的草地有明显优势。

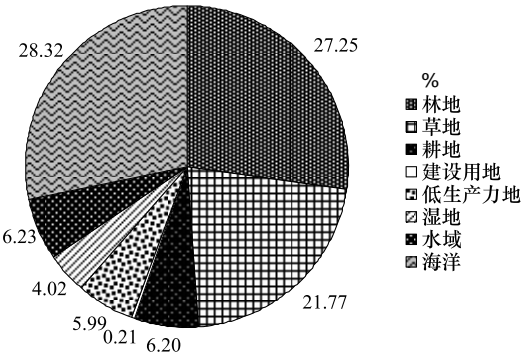


图 2 全球各土地和水体类型的净初级生产量构成比例/%

Fig. 2 Total NPP proportion of global different land and water types

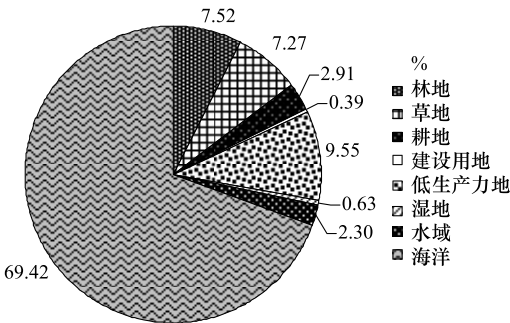


图 3 全球各土地和水体类型的面积构成比例/%

Fig. 3 Area proportion of global different land and water types

2.2.3 能源碳排放当量

由各类能源的燃烧热值系数和碳排放系数计算其单位质量的碳排放量(以下简称碳排放当量, carbon

emission equivalent, CEE), 结果如表 3 所示:

$$CEE = CVF \cdot CEF \quad (6)$$

式中, CEE 为能源碳排放当量(tC/t); CVF 为能源燃烧热值系数(TJ/t), 指单位质量能源燃烧时所产生的热值; CEF 为能源碳排放系数(tC/TJ), 指产生单位热值所需要消耗的碳吨数。CVF 和 CEF 均取自 IPCC 报告^[28]。

需要特别指出, 电力因来源的多样性而使所消耗的资源类型不尽相同。根据 BP (英国石油公司) 的统计, 火电、水电和核电是全球主要的发电方式, 2008 年的发电量之比约为 16:1.2:1^[29]。故本文只计算火电、水电和核电的足迹。其中, 水电和核电的碳排放当量分别约为 0.058×10^{-3} 、 $0.053 \times 10^{-4} \text{tC} \cdot \text{kW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ^[30]。火电的燃料来源主要有煤、石油和天然气, 三者的碳排放当量中值分别为 0.293×10^{-3} 、 0.215×10^{-3} 、 $0.231 \times 10^{-3} \text{tC} \cdot \text{kW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ^[30], 再结合它们在全球发电量中的比例^[29], 得到火电的加权平均碳排放当量为 $0.245 \times 10^{-3} \text{tC} \cdot \text{kW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

表 3 各能源类型的碳排放当量
Table 3 CEE of different energy sources

能源类型 Energy sources	燃烧热值系数 CVF/(TJ/t)	碳排放系数 CEF/(tC/TJ)	碳排放当量 CEE/(tC/t)
原煤 Crude coal	0.021	27.2	0.571
焦炭 Charcoal	0.028	25.8	0.722
原油 Crude oil	0.042	20.0	0.840
燃料油 Fuel oil	0.040	21.1	0.844
汽油 Gasoline	0.045	18.9	0.851
煤油 Kerosene	0.045	19.6	0.882
柴油 Diesel oil	0.043	20.2	0.869
天然气 Natural gas	0.029	16.1	0.467
液化石油气 LPG	0.047	17.2	0.808
火电 Fossil electricity *	—	—	0.245×10^{-3}
水电 Hydroelectricity *	—	—	0.058×10^{-3}
核电 Nuclear electricity *	—	—	0.053×10^{-4}

* IPCC 报告中缺电力数据, 电力碳排放量的单位为 $\text{tC} \cdot \text{kW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$

2.3 能源足迹当量及其空间构成

由各类能源的碳排放当量和全球平均 NPP 计算能源足迹当量:

$$EEFE = CEE / NPP_{\text{glo}} \quad (7)$$

式中, EEFE 为能源足迹当量(hm^2/t)。

能源足迹当量的空间构成大小由对应土地或水体的净初级生产量构成比例确定:

$$EEFE_k = EEFE \cdot w_k \quad (8)$$

式中, $EEFE_k$ 为能源足迹当量的第 k 类空间构成(hm^2/t)。

由此构成能源足迹当量的空间矩阵:

$$EEFE_{p \times k} = \begin{bmatrix} m_{1k} & \cdots & m_{1k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{pk} & \cdots & m_{pk} \end{bmatrix} \quad (9)$$

式中, m_{pk} 为第 p 类能源足迹当量的第 k 类空间构成(hm^2/t)。

由表 4 可知, 电力的足迹当量在 2.8449×10^{-6} — $1.3151 \times 10^{-6} \text{hm}^2 \cdot \text{kW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, 其中, 核电最小, 水电居中, 火电最大。其他各类能源的足迹当量在 0.2506 — $0.4734 \text{hm}^2/\text{t}$, 最低为天然气, 最高为煤油。总体上, 煤炭类固态能源当量较小, 燃气类气态能源居中, 石油类液态能源较大。空间构成上, 海洋、林地和草地合计占能源足

迹当量的 77.34%,说明三者提供了强大的碳吸收生态服务,不致使人类所排 CO₂ 全部滞留于大气,是消纳能源废弃物的功能主体;水域、耕地、低生产力地和湿地各占 5% 左右,较为接近,这是由于它们之间的面积和 NPP 差异在相乘后得以部分消除;建设用地所占比例最低,但其对能源足迹当量的增量作用不容小觑。

表 4 各能源类型的足迹当量及其空间构成矩阵
Table 4 EEFE and its spatial composition matrix of different energy sources

能源类型 Energy sources	能源 足迹当量 EEFE	空间构成 Spatial composition							
		林地 Forest	草地 Grassland	耕地 Cropland	建设用地 Built land	低生产力地 Low productive land	湿地 Wetland	水域 Water body	海洋 Ocean
原煤 Crude coal/(hm ² /t)	0.3066	0.0836	0.0668	0.0190	0.0006	0.0184	0.0123	0.0191	0.0868
焦炭 Charcoal/(hm ² /t)	0.3878	0.1057	0.0844	0.0241	0.0008	0.0232	0.0156	0.0242	0.1098
原油 Crude oil/(hm ² /t)	0.4509	0.1229	0.0982	0.0280	0.0010	0.0270	0.0181	0.0281	0.1277
燃料油 Fuel oil/(hm ² /t)	0.4530	0.1235	0.0986	0.0281	0.0010	0.0271	0.0182	0.0282	0.1283
汽油 Gasoline/(hm ² /t)	0.4565	0.1244	0.0994	0.0283	0.0010	0.0273	0.0184	0.0284	0.1293
煤油 Kerosene/(hm ² /t)	0.4734	0.1290	0.1031	0.0294	0.0010	0.0284	0.0190	0.0295	0.1341
柴油 Diesel oil/(hm ² /t)	0.4662	0.1271	0.1015	0.0289	0.0010	0.0279	0.0187	0.0290	0.1320
天然气 Natural gas/(hm ² /t)	0.2506	0.0683	0.0546	0.0155	0.0005	0.0150	0.0101	0.0156	0.0710
液化石油气 LPG/(hm ² /t)	0.4339	0.1182	0.0945	0.0269	0.0009	0.0260	0.0174	0.0270	0.1229
火电/(hm ² ·kW ⁻¹ ·h ⁻¹) Fossil electricity	1.3151×10 ⁻⁴	3.5837×10 ⁻⁵	2.8636×10 ⁻⁵	8.1596×10 ⁻⁶	2.7815×10 ⁻⁷	7.8773×10 ⁻⁶	5.2877×10 ⁻⁶	8.1930×10 ⁻⁶	3.7239×10 ⁻⁵
水电/(hm ² ·kW ⁻¹ ·h ⁻¹) Hydroelectricity	3.1133×10 ⁻⁵	8.4839×10 ⁻⁶	6.7791×10 ⁻⁶	1.9317×10 ⁻⁶	6.5849×10 ⁻⁸	1.8648×10 ⁻⁶	1.2518×10 ⁻⁶	1.9396×10 ⁻⁶	8.8158×10 ⁻⁶
核电/(hm ² ·kW ⁻¹ ·h ⁻¹) Nuclear electricity	2.8449×10 ⁻⁶	7.7526×10 ⁻⁷	6.1947×10 ⁻⁷	1.7651×10 ⁻⁷	6.0172×10 ⁻⁹	1.7041×10 ⁻⁷	1.1439×10 ⁻⁷	1.7724×10 ⁻⁷	8.0558×10 ⁻⁷

2.4 能源足迹因子

通过能源足迹当量可将能源消费量直接折算成能源足迹,但却无法直观判断各类能源的生态影响高低。计算能源足迹因子可较好地弥补这一不足:

EEFF = NPP_{glo}/CEF = CVF/EEFE (10)

式中,EEFF 为能源足迹因子(GJ/hm²)。

本研究计算的能源足迹因子如表 5 所示。总体上,能源足迹因子呈固态、液态、气态、电力能源递增的趋势。其中,煤炭类最低,为 68—72 GJ/hm²;石油类再次,为 88—99 GJ/hm²;燃气类其次,为 108—116 GJ/hm²;电力最高,为 2.11×10⁶—9.76×10⁷ GJ/hm²。表明在占用相同面积土地时,四大类能源所提供的热值之比约为 1:1.2:1.5:6.2×10⁵。可见,在不考虑其他因素的情况下,采用电力(特别是核电)逐步取代煤炭资源,将显著降低能源足迹。

3 讨论及展望

3.1 与传统方法的结果比较

本研究在综合国际上 4 组测算结果的基础上,得到全球平均 NPP 为 1.863 tC·hm⁻²·a⁻¹,该值已包含建设用地、海洋、荒漠、苔原和冻土等多项低生产力土地和水体,即便如此,仍明显高于传统方法采用的林地碳吸收速率 1.420 tC·hm⁻²·a⁻¹,这可能是传统方法在测算方法或样本抽样等方面的误差所致。

两种方法的能源足迹因子和能源足迹当量比较如表 5 所示。能源足迹因子中,传统方法仅按物态类型将所有能源分为四大类,未保证参数与能源类型之间一一对应。本研究的计算结果普遍高于传统方法,表明对能源生态影响的判断相对乐观。特别是用电力取代煤炭资源后,能源足迹将显著降低。能源足迹当量中,本研究均明显低于传统方法,这是综合考虑全球各类土地和水体碳吸收贡献的结果。需要指出,在计算电力足迹时,本研究按发电方式不同,将其分为火电、水电和核电三类,先根据消耗的能源类型比例计算碳排放当量,

再计算足迹当量和足迹因子,从而避免了传统方法不考虑电力来源差异的不足。

表 5 能源足迹因子和当量及其与传统方法的比较

Table 5 EEFF and EEFE and their comparison with the traditional method

能源类型 Energy sources	本研究 Modified method		传统方法 Traditional method	
	能源足迹因子 EEFF/(GJ/hm ²)	能源足迹当量 EEFE/(hm ² /t)	能源足迹因子 ^[31] EEFF/(GJ/hm ²)	能源足迹当量(林地) EEFE(Forest)/(hm ² /t)
原煤 Crude coal	68	0.3066	55	0.3806
焦炭 Charcoal	72	0.3878	55	0.5176
原油 Crude oil	93	0.4509	71	0.5897
燃料油 Fuel oil	88	0.4530	71	0.7070
汽油 Gasoline	99	0.4565	71	0.6074
煤油 Kerosene	95	0.4734	71	0.6074
柴油 Diesel oil	92	0.4662	71	0.6015
天然气 Natural gas	116	0.2506	93	0.4191
液化石油气 LPG	108	0.4339	93	0.5398
火电 Fossil electricity	2.11×10^6 *	1.3151×10^{-4}	1000	0.2778 **
水电 Hydroelectricity	8.92×10^6 *	3.1133×10^{-5}	1000	0.2778 **
核电 Nuclear electricity	9.76×10^7 *	2.8449×10^{-6}	71	3.9124 **

* 本研究的电力足迹因子由 $1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^{-3} \text{ GJ}$ 的关系得到; * 传统方法的电力足迹当量也由该等式得到,单位为 $\text{hm}^2 \cdot \text{kW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$

3.2 研究方法 with 参数选取的合理性分析

能源足迹一直是生态足迹理论中备受争议与质疑的部分,一个主要原因是:它表征的是用于碳吸收的虚拟土地占用,不应与表征真实土地占用的生物资源足迹并列于同一体系计算中^[32]。本研究通过 NPP 将生物生产力与碳吸收能力相统一,并把碳吸收落实在具体的土地利用类型上,既体现了生态系统实际的碳吸收功能,也能缩小能源足迹与生物资源足迹在空间构成上的巨大差别,增强了两者的逻辑一致性。

需要特别指出,虽然有观点认为,除林地外的其他生物生产性土地(如耕地)不具有持久固碳功能,部分 CO₂ 会因人类活动(如粮食消费)重返大气,但事实上,越来越多的研究开始尝试把海洋、草地、耕地等不同土地的碳吸收能力纳入能源足迹计算^[9,32,33-35],这是因为:① 由于地球碳循环的复杂性以及人类活动的随意性,即便是林地碳吸收也存在诸多不确定因素,而在一定时间内,各类土地和水体的净初级生产总量仍可近似代表全球碳吸收水平;② 能源足迹更多地表征了能源消费及其 CO₂ 排放对生态环境的年际冲击,况且如粮食消费等非能源类碳素排放已在生物资源足迹账户中体现,若再纳入能源足迹账户会造成重复计算;③ 生物资源足迹和能源足迹反映了土地的两个基本生态功能——生物生产和碳吸收,两者并行不悖,交集甚广,如通过能源消费排放到大气中的 CO₂ 可能被植物吸收,并作为生物产品再次被人类消费。

参数选取方面,考虑到数据的可获得性,选取 NPP 而不是 GPP 或 NEP 表征碳吸收能力。这样一来,土地的面积和 NPP 都会直接影响评价结果的真实性与准确性。由于不同学者测算的数据之间往往存在出入,将具有一定可比性的 4 组数据进行综合,有助于降低单一数据源产生的结果偏差,能较好地反映全球平均生物生产和碳吸收水平。严格来说,土地面积和 NPP 始终处于动态变化,但由于测算方法和人力财力等因素限制,这些数据尚无法实时更新,故收集若干组同时相数据进行综合比对的可能性微乎其微。此外,本研究将能源足迹当量和能源足迹因子并列,是因为前者便于实际计算,后者有助于判断能源消费的生态影响,并可与传统方法进行比较。

3.3 研究展望

以净初级生产力为切入点研究能源消费的空间占用水平,是丰富和完善生态足迹理论的一个重要视角。基于全球 NPP 的能源足迹反映了能源的空间占用平均水平,在保证全球可比性的同时提高了计算结果的真实性与准确性,一定程度上克服了传统方法存在的不足,为更合理评价能源消费的可持续性提供了可能。数

据收集是本研究的主要限制因素,探索准确、实时、标准的数据(特别是 NPP)测算方法,是提高结果指示意义的关键途径。此外,能源足迹仅从消费端表征了能源利用过程中碳的空间占用需求,还应通过生态承载力计算,从供给端反映区域实际所能提供的 CO_2 乃至 CH_4 、 N_2O 等其他温室气体的排放空间,最终根据两者的对比关系判断能源消费的可持续性,使能源足迹在理论和方法上进一步完善。

References:

- [1] Zhang J P, Qin Y C, Zhang E X. Quantitative study methods of regional sustainable development in China: a review. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(12): 6702-6711.
- [2] Lieth H, Whittaker R H. Primary Productivity of the Biosphere. New York: Springer-Verlag Press, 1975: 251-300.
- [3] Rojstaczer S, Sterling S M, Moore N J. Human appropriation of photosynthesis products. *Science*, 2001, 294(5551): 2549-2552.
- [4] Wackernagel M, Rees W E. Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth. Gabriola Island: New Society Publishers, 1996: 61-83.
- [5] Kitzes J, Galli A, Bagliani M, Barrett J, Dige G, Ede S, Erb K, Giljum S, Haberl H, Hails C, Jolia-Ferrier L, Jungwirth S, Lenzen M, Lewis K, Loh J, Marchettini N, Messinger H, Milne K, Moles R, Monfreda C, Moran D, Nakano K, Pyhälä A, Rees W, Simmons C, Wackernagel M, Wada Y, Walsh C, Wiedmann T. A research agenda for improving national Ecological Footprint accounts. *Ecological Economics*, 2009, 68(7): 1991-2007.
- [6] Peng J, Wang Y L, Wu J S. Human appropriation of net primary production: an approach for ecological assessment of regional sustainable development. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(1): 153-158.
- [7] Haberl H, Wackernagel M, Krausmann F, Erb K H, Monfreda C. Ecological footprints and human appropriation of net primary production: a comparison. *Land Use Policy*, 2004, 21(3): 279-288.
- [8] Hanley N, Moffatt I, Faichney R, Wilson M. Measuring sustainability: a time series of alternative indicators for Scotland. *Ecological Economics*, 1999, 28(1): 55-73.
- [9] Venetoulis J, Talberth J. Refining the ecological footprint. *Environment Development and Sustainability*, 2008, 10(4): 441-469.
- [10] Liu M C, Li W H, Xie G D. Estimation of China ecological footprint production coefficient based on net primary productivity. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(3): 592-597.
- [11] Yang H B, Wang Z M, Zhao H L, Li J R. Dynamic analysis of ecological footprint of Dongying City based on a modified model. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(7): 1753-1758.
- [12] Xie G D, Cao S Y, Lu C X, Xiao Y, Zhang Y S. Human's consumption of ecosystem services and ecological debt in China. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(1): 43-51.
- [13] Siche R, Agostinho F, Ortega E. Energy Net Primary Production (ENPP) as basis for calculation of Ecological Footprint. *Ecological Indicators*, 2010, 10(2): 475-483.
- [14] Yang Z Y, Zhao Y, Fu W M. Influencing factors' analysis of Jiangsu's energy ecological footprint upon coefficient elasticity. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(24): 6741-6748.
- [15] Fang K, Dong D M, Shen W B. Discussion on shortcomings and improvement of ecological footprint theory in energy consumption assessment. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(6): 1013-1021.
- [16] Xu Z M, Cheng G D, Zhang Z Q. A resolution to the conception of ecological footprint. *China Population Resources and Environment*, 2006, 16(6): 69-78.
- [17] Falkowski P, Scholes R J, Boyle E, Canadell J, Canfield D, Elser J, Gruber N, Hibbard K, Höglberg P, Linder S, Mackenzie F T, Moore B III, Pedersen T, Rosenthal Y, Seitzinger S, Smetacek V, Steffen W. The global carbon cycle: a test of our knowledge of earth as a system. *Science*, 2000, 290(5490): 291-296.
- [18] Houghton R A. The annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use 1850—1990. *Tellus B*, 1999, 51(2): 298-313.
- [19] Chang S L, Yang H X, Ge J P. Advance and questions in net ecosystem production. *Journal of Beijing Normal University: Natural Science*, 2005, 41(5): 517-521.
- [20] Xu L F, Yang X L, Wang K L, Li X Q, Zhang M Y. Research progress in ecological carrying capacity. *Ecology and Environment*, 2006, 15(5): 1111-1116.
- [21] Wang X H, Men M X, Wang S T, Chen Y H, Huo X L, Zhou Y P, Hu H. Calculation on land resources sustainable development capacity and analysis on potential transferring relationship based on ecological footprint method. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(14): 3772-3783.
- [22] Zhang L. A resource-environmental foundation for modern urbanization. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(4): 696-704.

- [23] Atjay G L, Ketner P, Duvigneaud P. Terrestrial primary production and phytomass // Bolin B, Degens E T, Kempe S, Ketner P, eds. The Global Carbon Cycle. Chichester: John Wiley and Sons, 1979: 129-181.
- [24] Mooney H, Roy J, Saugier B. Terrestrial Global Productivity: Past, Present and Future. San Diego: Academic Press, 2001.
- [25] USDE (US Department of Energy). Terrestrial ecosystem responses to global change: a research strategy. Ecosystems Working Groups. (1998-09-01) [2010-04-15]. <http://www.ornl.gov/~webworks/cpt/rpt/1001.pdf>.
- [26] Dixon R K, Solomon A M, Brown S, Houghton R A, Trexler M C, Wisniewski J. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. Science, 1994, 263(5144): 185-190.
- [27] Thom R M, Blanton S L, Woodruff D L, Williams G D, Borde A B. Carbon sinks in nearshore marine vegetated ecosystems. The National Energy Technology Laboratory (NETL), USA, 2001. [2010-04-15]. http://www.netl.doe.gov/publications/proceedings/01/carbon_seq/5c5.pdf.
- [28] IPCC. Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: workbook, module 1: energy. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, Organization for Economic Co-operation and Development and the International Energy Agency, 1997: 6-6.
- [29] BP. Statistical review of world energy. (2009-06-01) [2010-04-15]. http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2008/STAGING/local_assets/2009_downloads/statistical_review_of_world_energy_full_report_2009.xls.
- [30] Ma Z H. The Comparison Study on Greenhouse Gas Emission Coefficient of Main Fossil Energy in China [D]. Beijing: China Institute of Atomic Energy, 2002.
- [31] Wackernagel M, Onisto L, Bello P, Linares A C, Falfán I S L, García J M, Guerrero A I S, Guerrero C S. National natural capital accounting with the ecological footprint concept. Ecological Economics, 1999, 29(3): 375-390.
- [32] van den Bergh J C J M, Verbruggen H. Spatial sustainability, trade and indicators: an evaluation of the 'ecological footprint'. Ecological Economics, 1999, 29(1): 61-72.
- [33] Monfreda C, Wackernagel M, Deumling D. Establishing national natural capital accounts based on detailed ecological footprint and biological capacity assessments. Land Use Policy, 2004, 21(3): 231-246.
- [34] Xie H Y, Chen X S, Lin K R, Hu A Y. The ecological footprint analysis of fossil energy and electricity. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(4): 1729-1735.
- [35] Zhao R Q, Huang X J, Zhong T Y. Research on carbon emission intensity and carbon footprint of different industrial spaces in china. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(9): 1048-1057.

参考文献:

- [1] 张金萍, 秦耀辰, 张二勋. 中国区域可持续发展定量研究进展. 生态学报, 2009, 29(12): 6702-6711.
- [6] 彭建, 王仰麟, 吴健生. 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. 自然资源学报, 2007, 22(1): 153-158.
- [10] 刘某承, 李文华, 谢高地. 基于净初级生产力的中国生态足迹产量因子测算. 生态学报, 2010, 29(3): 592-597.
- [11] 杨海波, 王宗敏, 赵红领, 李纪人. 基于改进模型的东营市生态足迹动态分析. 应用生态学报, 2009, 20(7): 1753-1758.
- [12] 谢高地, 曹淑艳, 鲁春霞, 肖玉, 章予舒. 中国的生态服务消费与生态债务研究. 自然资源学报, 2010, 25(1): 43-51.
- [14] 杨足膺, 赵媛, 付伍明. 基于弹性系数的江苏省能源生态足迹影响因素分析. 生态学报, 2010, 30(24): 6741-6748.
- [15] 方恺, 董德明, 沈万斌. 生态足迹理论在能源消费评价中的缺陷与改进探讨. 自然资源学报, 2010, 25(6): 1013-1021.
- [16] 徐中民, 程国栋, 张志强. 生态足迹方法的理论解析. 中国人口·资源与环境, 2006, 16(6): 69-78.
- [19] 常顺利, 杨洪晓, 葛剑平. 净生态系统生产力研究进展与问题. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2005, 41(5): 517-521.
- [20] 许联芳, 杨勋林, 王克林, 李晓青, 张明阳. 生态承载力研究进展. 生态环境, 2006, 15(5): 1111-1116.
- [21] 王兴华, 门明新, 王树涛, 陈亚恒, 霍习良, 周亚鹏, 许皞. 基于生态足迹的土地资源可持续发展容量与潜在转换关系. 生态学报, 2010, 30(14): 3772-3783.
- [22] 张雷. 现代城镇化的资源环境基础. 自然资源学报, 2010, 25(4): 696-704.
- [30] 马忠海. 中国几种主要能源温室气体排放系数的比较评价研究 [D]. 北京: 中国原子能科学研究院, 2002.
- [34] 谢鸿宇, 陈贤生, 林凯荣, 胡安焱. 基于碳循环的化石能源及电力生态足迹. 生态学报, 2008, 28(4): 1729-1735.
- [35] 赵荣钦, 黄贤金, 钟太洋. 中国不同产业空间的碳排放强度与碳足迹分析. 地理学报, 2010, 65(9): 1048-1057.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 9 May, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Responses and weigh of multi-ecosystem services and its economic value under different land cover scenarios: a case study from Ertan water control pivot in Yalong River	GE Jing, WU Nan, GAO Jixi, et al (2629)
Influence of grazing on biomass, growth ratio and compensatory effect of different plant groups in <i>Kobresia parva</i> meadow	DONG Quanmin, ZHAO Xinquan, MA Yushou, et al (2640)
Stocking effectiveness of hatchery-released kuruma prawn <i>Penaeus japonicus</i> in the Xiangshan Bay, China	JIANG Yazhou, LING Jianzhong, LIN Nan, et al (2651)
The spatial pattern of landscape fragmentation and its relations with urbanization and socio-economic developments: a case study of Beijing	QIU Jiangxiao, WANG Xiaoke, LU Fei, et al (2659)
Cellular automata simulation of barren patch connectivity effect in degradation sequence on alpine meadow in the source region of the Yangtze and Yellow rivers, Qinghai-Tibetan Plateau, China	LI Xueling, LIN Huilong (2670)
Evolution law of architectural landscape during the urban renewal process in Tiexi District	ZHANG Peifeng, HU Yuanman, XIONG Zaiping, et al (2681)
Competition for light and crop productivity in an agro-forestry system in the Hilly Region, Shangluo, China	PENG Xiaobang, ZHANG Shuoxin (2692)
Evaluation of forest ecosystem services based on biomass in Shanxi Province	LIU Yong, LI Jinchang, YANG Yonggang (2699)
Research on the morphological interactions between <i>Tamarix ramosissima</i> thickets and Nebkhas under different sand supply conditions; a case study in Cele oasis-desert ecotone	YANG Fan, WANG Xueqin, YANG Dongliang, et al (2707)
Litter decomposition and nutrient release in typical secondary and primary forests in karst region, Northwest of Guangxi	ZENG Zhaoxia, WANG Kelin, ZENG Fuping, et al (2720)
Spatial patterns of dominant species in a subtropical evergreen broad-leaved forest in Jiulian Mountain Jiangxi Province, China	FAN Juan, ZHAO Xiuhai, WANG Jinsong, et al (2729)
Characteristics of seedlings regeneration in <i>Quercus aliena</i> var. <i>acuteserrata</i> secondary forests in Qinling Mountains	KANG Bing, WANG Dexiang, LI Gang, et al (2738)
Xylem hydraulic traits of <i>Populus euphratica</i> Oliv. in extremely drought environment	AYOUPU Mubareke, CHEN Yaning, HAO Xingming, et al (2748)
Response characteristics of leaf traits of common species along an altitudinal gradient in Hongchiba Grassland, Chongqing	SONG Lulu, FAN Jiangwen, WU Shaohong, et al (2759)
Changes of carbon input influence soil respiration in a <i>Pinus tabulaeformis</i> plantation	WANG Jinsong, ZHAO Xiuhai, ZHANG Chunyu, et al (2768)
Effects of different habitats and coverage treatments on the fates of <i>Quercus wutaishanica</i> seeds under the predation pressure of rodents	YAN Xingfu, ZHOU Libiao, LIU Jianli (2778)
Nested analysis of urban woodlot bird communities in Minhang District of Shanghai	WANG Benyao, WANG Xiaoming, WANG Tianhou, et al (2788)
Production dynamics and trophic basis of three dominant mayflies in the continuum of Shenglihe Stream in the Bahe River Basin	DENG Shan, YE Caiwei, WANG Lixiao, et al (2796)
Effects of sedimentation thickness of shrimp pond cleaning discharges on <i>Acanthus ilicifolius</i> seedlings	LI Ting, YE Yong (2810)
Utilization of carbon sources by the soil microbial communities of different forest types in subtropical Australia	LU Shunbao, GUO Xiaomin, RUI Yichao, et al (2819)
Soil microbial community characteristics under different vegetation types at the Holocene-basalt Platform, Jingpo Lake area, Northeast China	HUANG Yuanyuan, QU Laiye, QU Xiuchun, et al (2827)
Effect of <i>Ipomoea aquatica</i> Floating-bed on the quantity and distribution of nitrogen cycling bacteria and nitrogen removal	TANG Yingying, LI Xiuzhen, ZHOU Yuanqing, et al (2837)
Effects of microbial inoculants on soil microbial diversity and degrading process of corn straw returned to field	LI Peipei, ZHANG Dongdong, WANG Xiaojuan, et al (2847)

Effects of coupling film-mulched furrow-ridge cropping with maize straw soil-incorporation on maize yields and soil organic carbon pool at a semiarid loess site of China	WU Rongmei, WANG Yongpeng, LI Fengmin, et al (2855)
Residues and spatial distribution of OCPs in the sediments of Gan River Basin ...	LIU Xiaozhen, ZHAO Ci, LIANG Yu, et al (2863)
Analysis on population fluctuation and properties of the white-backed planthopper in Huizhou in 2009 .....	..... DIAO Yonggang, YANG Haibo, QU Yufeng, et al (2872)
Evaluation acaricidal activities of <i>Momordica cochinchinensis</i> extracts against <i>Tetranychus cinnabarinus</i> .....	..... GUO Huili, SHI Guanglu, JIA Liangxi, et al (2883)
Stomatal ozone uptake modeling and comparative analysis of flux-response relationships of winter wheat .....	..... TONG Lei, FENG Zongwei, Sudebilige, et al (2890)

Review and Monograph

Calculation method of energy ecological footprint based on global net primary productivity .....	..... FANG Kai, DONG Deming, LIN Zhuo, et al (2900)
Behavioral patterns, influencing factors, functions and risks of social play in primates .....	..... WANG Xiaowei, ZHAO Haitao, QI Xiaoguang, et al (2910)

Discussion

Spatio-Temporal changing analysis on carbon storage of harvested wood products in China LUN Fei, LI Wenhua, WANG Zhen, et al (2918)
---	---

Scientific Note

Variations in allometrical relationship between stand nitrogen storage and biomass as stand development .....	..... CHENG Dongliang, ZHONG Quanlin, LIN Maozi, et al (2929)
Effect of continuous cropping of sesame on rhizospheric microbial communities .....	..... HUA Juling, LIU Guangrong, HUANG Jinsong (2936)
Effects of clipping on the growth, gas exchange and chlorophyll fluorescence of invasive plant, <i>Flaveria bidentis</i> .....	..... WANG Nannan, HUANGFU Chaohe, CHEN Dongqing, et al (2943)
Influence of vegetable cultivation methods on soil organic carbon sequestration rate .....	..... LIU Yang, YU Dongsheng, SHI Xuezheng, et al (2953)
Integrated matrix-hydrology-biological remediation technology for bank collapse lakeside zone of Chaohu Lake .....	..... CHEN Yunfeng, ZHANG Yanhui, ZHENG Xiqiang (2960)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 9 期 (2012 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 9 (May, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元