

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

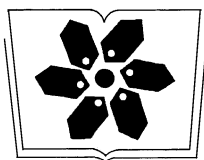
Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 22 期 Vol.32 No.22 **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 22 期 2012 年 11 月 (半月刊)

目 次

CO ₂ 浓度和温度升高对噬藻体 PP 增殖的联合作用	牛晓莹,程 凯,荣茜茜,等 (6917)
1956—2009 年内蒙古苏尼特左旗荒漠草原的降水格局	陈 军,王玉辉 (6925)
两个污水处理系统的能值与经济综合分析	李 敏,张小洪,李远伟,等 (6936)
退化草地阿尔泰针茅种群个体空间格局及关联性	赵成章,任 珩 (6946)
地表覆盖栽培对雷竹林凋落物养分及其化学计量特征的影响	刘亚迪,范少辉,蔡春菊,等 (6955)
福州酸雨区次生林中台湾相思与银合欢叶片的 12 种元素含量	郝兴华,洪 伟,吴承祯,等 (6964)
“雨花露”水蜜桃主要害虫与其捕食性天敌的关系	柯 磊,施晓丽,邹运鼎,等 (6972)
大兴安岭林区 10 小时时滞可燃物湿度的模拟	胡天宇,周广胜,贾丙瑞 (6984)
陕北风沙区不同植被覆盖下的土壤养分特征	李文斌,李新平 (6991)
南方型杨树人工林土壤呼吸及其组分分析	唐罗忠,葛晓敏,吴 麟,等 (7000)
黑河下游土壤水盐对生态输水的响应及其与植被生长的关系	鱼腾飞,冯 起,刘 蔚,等 (7009)
树木胸径大小对树干液流变化格局的偏度和时滞效应	梅婷婷,赵 平,倪广艳,等 (7018)
外来植物紫茎泽兰入侵对土壤理化性质及丛枝菌根真菌(AMF)群落的影响	于文清,刘万学,桂富荣,等 (7027)
基于 Landsat TM 的热带精细地物信息提取的模型与方法——以海南岛为例	王树东,张立福,陈小平,等 (7036)
雪被去除对川西高山冷杉林冬季土壤水解酶活性的影响	杨玉莲,吴福忠,杨万勤,等 (7045)
不同土壤水分处理对水稻光合特性及产量的影响	王唯逍,刘小军,田永超,等 (7053)
木蹄层孔菌不同居群间生长特性、木质素降解酶与 SRAP 标记遗传多样性	曹 宇,徐 晔,王秋玉 (7061)
加拿大一枝黄花入侵对土壤动物群落结构的影响	陈 雯,李 涛,郑荣泉,等 (7072)
间作对玉米品质、产量及土壤微生物数量和酶活性的影响	张向前,黄国勤,卞新民,等 (7082)
接种 AM 真菌对玉米和油菜种间竞争及土壤无机磷组分的影响	张宇亭,朱 敏,钱岩相注,等 (7091)
大亚湾冬季不同粒级浮游生物的氮稳定同位素特征及其与生物量的关系	柯志新,黄良民,徐 军,等 (7102)
太湖水华期间有毒和无毒微囊藻种群丰度的动态变化	李大命,叶琳琳,于 洋,等 (7109)
锌胁迫对小球藻抗氧化酶和类金属硫蛋白的影响	杨 洪,黄志勇 (7117)
基于国家生态足迹账户计算方法的福建省生态足迹研究	邱寿丰,朱 远 (7124)
能源活动 CO ₂ 排放不同核算方法比较和减排策略选择	杨喜爱,崔胜辉,林剑艺,等 (7135)
基于生境等价分析法的胶州湾围填海造地生态损害评估	李京梅,刘铁鹰 (7146)
县级生态资产价值评估——以河北丰宁县为例	王红岩,高志海,李增元,等 (7156)
专论与综述	
丛枝菌根提高宿主植物抗旱性分子机制研究进展	李 涛,杜 娟,郝志鹏,等 (7169)
城市土壤碳循环与碳固持研究综述	罗上华,毛齐正,马克明,等 (7177)
基于遥感的光合有效辐射吸收比率(FPAR)估算方法综述	董泰锋,蒙继华,吴炳方 (7190)
光衰减及其相关环境因子对沉水植物生长影响研究进展	吴明丽,李叙勇 (7202)
浮游动物化学计量学稳态性特征研究进展	苏 强 (7213)
研究简报	
2010 年两个航次獐子岛海域浮游纤毛虫丰度和生物量	于 莹,张武昌,张光涛,等 (7220)
基于熵值法的我国野生动物资源可持续发展研究	杨锡涛,周学红,张 伟 (7230)
残落物添加对农林复合系统土壤有机碳矿化和土壤微生物量的影响	王意锟,方升佐,田 野,等 (7239)
人工湿地不同季节与单元之间根际微生物多样性	陈永华,吴晓芙,张珍妮,等 (7247)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 338 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 36 * 2012-11

封面图说:水杉农田防护林中的小麦熟了——水杉曾广泛分布于北半球,第四纪冰期以后,水杉属的其他种类全部灭绝,水杉却在中国川、鄂、湘边境地带得以幸存,成为旷世奇珍,野生的水杉是国家一级保护植物。由于水杉耐水,适应力强,生长极为迅速,其树干通直挺拔,高大秀颀,树冠呈圆锥形,姿态优美,自发现后被人们在中国南方广泛种植,不仅成为了湖边、道路两旁的绿化观赏植物,更成为了农田防护林的重要树种。此图中整齐划一的水杉防护林像忠实的哨兵一样,为苏北农村即将成熟的麦田站岗。

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

DOI: 10.5846/stxb201110251577

邱寿丰, 朱远. 基于国家生态足迹账户计算方法的福建省生态足迹研究. 生态学报, 2012, 32(22): 7124-7134.

Qiu S F, Zhu Y. Ecological footprint in fujian based on calculation methodology for the national footprint accounts. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(22): 7124-7134.

基于国家生态足迹账户计算方法的 福建省生态足迹研究

邱寿丰^{1,*}, 朱 远²

(1. 闽江学院新华都商学院, 福州 350108; 2. 中国浦东干部学院, 上海 201204)

摘要: 运用国家生态足迹账户计算方法(2010 版), 计算并分析 2000—2009 年福建省的生态足迹和生态承载力, 旨在展示国外生态足迹计算方法研究的最新进展, 更准确地揭示近年来福建省的生态足迹和生态承载力状况。结果表明: 2000—2009 年福建省人均生态足迹由 1.2902 gha 快速增长至 2.4925 gha; 人均生态承载力由 0.9772 gha 轻微下降为 0.9363 gha; 生态赤字持续快速扩大, 支撑经济发展由需要 1.32 倍的福建生态承载力变为需要 2.66 倍; 碳吸收地在生态足迹结构中始终占据首位且呈快速扩大趋势, 是福建生态赤字的主导因素; 生态效率年均增长率大大低于地区生产总值年均增长率, 目前福建生态效率还远低于主要发达国家。

关键词: 生态足迹; 生态承载力; 福建省

Ecological footprint in fujian based on calculation methodology for the national footprint accounts

QIU Shoufeng^{1,*}, ZHU Yuan²

1 New Huadu Business School of Minjiang University, Fuzhou 350108, China

2 China Executive Leadership Academy Pudong, Shanghai 201204, China

Abstract: Calculation Methodology for the National Footprint Accounts (the 2010 Edition) is adopted to calculate and analyze the ecological footprint and biological capacity of Fujian Province over 2000—2009. This study presents the latest improvements in calculation methodology for ecological footprint and manifests more precisely the evolution of ecological footprint and biological capacity in Fujian during the recent years. First, the calculation methodology is described in brief and the yield factors are calculated based on the province's characteristics of biological resources. Then, each component of ecological footprint and biocapacity in Fujian is calculated. Furthermore, the results are summed up and Fujian is compared with China, the world, and three country groups (divided by income levels) or some developed countries from four perspectives including ecological footprint, biocapacity, ecological balance, and eco-efficiency. Finally, having discussed the contributions and weaknesses of this study, some conclusions are reached: (1) during the period from 2000 to 2009 in Fujian, per capita footprint grew rapidly from 1.2902 gha to 2.4925 gha, and now the figure is equivalent to the average level of China but lower than that of the world average; (2) per capita biocapacity declined slightly from 0.9772 gha to 0.9363 gha, and it is now a bit higher than the average of China but lower than that of most other countries; (3) as ecological deficit expanded quickly, instead of 1.32 times of Fujian's biocapacity, 2.66 times of Fujian's biocapacity was

基金项目: 福建省社会科学规划项目(2009B067); 福建省科技计划重点项目(2008R0055); 福建省高校服务海西建设重点项目(闽教高[2009]8号)

收稿日期: 2011-10-25; 修订日期: 2012-05-31

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: qsf9137@163.com

required to support the province's economic development; (4) as carbon uptake land was the largest contributor to total ecological footprint among the footprint components and its magnificence rose quickly, it was a dominant factor resulting in ecological deficit; (5) annual growth rate of eco-efficiency in Fujian calculated based on ecological footprint was much lower than that of the province's GDP, and eco-efficiency there is now much lower than that of the developed countries. The policy implications include that: (1) since ecological deficit will continue in the medium to long term in Fujian, the province's economic development will have to rely on international or regional trade to overcome its shortage in biological resources; (2) the key to slowing down ecological deficit growth is to restrain the rapid growth of carbon emissions, and the major countermeasures are to improve energy productivity and to enlarge the share of clean energy in energy structure; (3) greater efforts should be made by the government to optimize land use and improve land productivity to slow down biocapacity decrease in that province.

Key Words: ecological footprint; biocapacity; Fujian

生态足迹概念及其主流计算方法——综合法,由 Rees 和 Wackernagel 在 1990 年代初期提出^[1]。之后,生态足迹理论和方法得到世界上社会各界的研究、运用和推广。其中,世界自然基金会自 2000 年起已连续 6 次发布《Living Planet Report》^①,公布了世界各国的生态足迹,引起关注地球资源环境承载力人士的强大反响。Wackernagel 长期致力于生态足迹理论和方法的完善和推广,2003 年在其倡导下建立了全球生态足迹网站 (Global Footprint Network)。生态足迹综合计算方法也在其推动下不断改进和完善^[2-9],目前已形成一套标准^[10]。在国内,2000 年徐中民、张志强等首先引进生态足迹理论^[11-13]。此后,我国关于生态足迹的研究逐渐增多,但直至 2011 年,如魏媛和吴长勇、宋宝莉和何东以及汪瑛、邱尔发、王成等研究采用的生态足迹主流计算方法仍是徐中民、张志强等引进的国外 1990 年代方法^[14-16]。针对目前我国生态足迹主流计算方法陈旧的问题,本文运用国外生态足迹计算方法研究的新成果——国家生态足迹账户计算方法(2010 版)^[9],计算并分析 2000—2009 年福建省的生态足迹和生态承载力,旨在展示国外生态足迹计算方法研究的最新进展,更准确地揭示近年福建省的生态足迹和生态承载力状况。但由于福建省是一个区域,统计资料又具有自身特征,故本研究对国家生态足迹账户计算方法略作调整,同时对数据作适度处理。

1 生态足迹和生态承载力计算方法要点

1.1 计算公式

生态足迹包括 6 种土地使用类型:农地、牧草地、水域(渔场)、林地、碳吸收地和建成地。由于碳吸收地没有分配生态承载力,因此生态承载力实际上仅包括 5 种土地使用类型。

对任何一种土地使用类型,一个国家或地区以全球公顷(global hectares, gha)计算的生态足迹为^②:

$$EF = \frac{P}{Y_N} \cdot YF \cdot EQF \quad (1)$$

这里, P 是所收获的某种产品或所排放的某种废物的数量, Y_N 是产品 P 在该国家或地区的平均产量, YF 和 EQF 分别是所研究土地使用类型的产量因子和均衡因子。由于不同土地使用类型之间以及给定土地使用类型在不同国家或地区之间的平均生物生产力不同,故引进产量因子和均衡因子,这样生态足迹和生态承载力变成用世界平均生物生产力土地面积的数量来表示,从而使得不同国家或地区之间和不同土地使用类型之间具有可比性。

① World Wide Fund For Nature (WWF). Living Planet Report (2000, 2002, 2004, 2006, 2008, 2010). http://wwf.panda.org/about_our_earth/all_publications/living_planet_report/.

② 与国家生态足迹账户计算方法(2010 版)相一致,本研究中也采用 wha, gha 作为土地面积单位,wha 表示经过产量因子调整后的各种土地使用类型的世界公顷,gha 表示经过产量因子和均衡因子调整过的全球公顷

对只产出一种产品的土地类型,该土地使用类型以全球公顷计的生态足迹简化公式为:

$$EF = \frac{P}{Y_w} \cdot EQF \quad (2)$$

这里, Y_w 是该产品的世界平均产量^[8]。

其中,碳吸收地生态足迹(carbon Footprint, EF_c)主要由消费化石能源所致,计算公式为:

$$EF_c = \frac{P_c \cdot (1 - S_{OCEAN})}{Y_c} \cdot EQF \quad (3)$$

这里, P_c 为该国家或地区每年 CO_2 排放量, S_{OCEAN} 是给定年份海洋吸收 CO_2 的百分比,取 21.74%, Y_c 为每年世界平均林地的碳吸收率,取 3.5926 t CO_2 /wha^[17]。

一个国家或地区任何一种土地使用类型的生态承载力为:

$$BC = A \cdot YF \cdot EQF \quad (4)$$

这里, A 是一种给定土地使用类型可得面积^[9]。

1.2 产量因子

产量因子是对各国家或地区特定土地使用类型的不同生产力水平作出解释,具有国家或地区特征,并因土地使用类型和年份变化而变化。它可以反映出降水量或土壤质量等自然因素差异,也可以反映出管理水平等人为差异。

产量因子是国家或地区产量与世界平均产量的比率。一个国家或地区任何给定土地使用类型 L 的产量因子 YF_L 为:

$$YF_L = \frac{\sum_{i \in U} A_{w,i}}{\sum_{i \in U} A_{n,i}} \quad (5)$$

这里, U 是一种给定土地使用类型产出的所有可用初级产品集,而 $A_{w,i}$ 和 $A_{n,i}$ 分别是以世界产量与国家或地区产量提供该国家或地区每年可得数量产品 i 需要的土地面积。这些土地计算公式为:

$$A_{n,i} = \frac{P_i}{Y_n} \text{ 与 } A_{w,i} = \frac{P_i}{Y_w} \quad (6)$$

这里, P_i 是该国家或地区产品 i 每年总产量,而 Y_n 和 Y_w 分别是国家或地区产量和世界产量。因此, $A_{n,i}$ 是一个给定国家或地区内生产产品 i 的土地面积,而 $A_{w,i}$ 表示世界土地平均生产产品 i 对应的土地面积。

除农地之外,所有其他土地使用类型在生态足迹账户中仅提供单一的初级产品,如来自林地的木材或来自牧场的草。对这些土地使用类型,产量因子公式简化为:

$$YF_L = \frac{Y_n}{Y_w} \quad (7)$$

由于配置产量因子给建成地极为困难,建成地的产量因子假设与农地相同(即假设都市区往往位于高产的农地上面或附近)。由于缺乏详细的全球水电水库数据,假定其淹没的区域以前拥有世界平均产量。由于林地之外的其他土地使用类型的碳吸收相关数据难以获得,碳吸收地的产量因子假设与林地相同。又由于缺乏全球淡水生态系统产量数据,所有内陆水域的产量因子设为 1 wha/hm²^[9]。

根据公式(5)和(6),基于《福建统计年鉴(2001—2010)》中福建农作物总产量、播种或实有面积以及联合国粮农组织数据库中世界农作物平均产量可得数据^①,计算 2000—2009 年福建农地产量因子的可用初级产品集 U 包括稻谷、大麦、小麦、甘薯、马铃薯、大豆、花生、甘蔗、蔬菜、油菜籽、芝麻、烟叶、西瓜、柑桔、香蕉、菠萝、橄榄、柿、桃、李、梨、苹果、葡萄、茶叶等 24 种产品。其中,由于福建的一些农作物普遍存在复种现象,因

① <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>.

此对稻谷、大麦、小麦、甘薯、马铃薯、大豆、花生、甘蔗、蔬菜、油菜籽、芝麻、烟叶、西瓜等 13 种作物引进复种系数,把其播种面积转化成土地使用面积;《福建统计年鉴》中薯类为干重,依据《福建统计年鉴(2001—2008)》农业主要统计指标解释,甘薯和马铃薯按 1 kg 干重薯类等于 5 kg 鲜薯换算成鲜薯。

根据公式(7),福建牧草地产量因子为福建牧草地净初级生产量 NPP 与世界牧草地 NPP 之比。由于获知福建建瓯、尤溪、南靖三地 1960—2000 年自然植被 NPP 平均为 18 t/hm^2 ^[18],而福建各地生态条件比较类似,因此 2000—2009 年福建牧草地 NPP 以此数据代替。又由于历年世界牧草地 NPP 变化微小,因此 2000—2009 年世界牧草地 NPP 均取 2007 年值,为 6.19 t/wha ^[17]。据此可算得 2000—2009 年福建牧草地产量因子为 2.9079 wha/hm^2 。

由于福建沿海专属经济区和内陆水域平均 NPP 数据无法获得,因此假设 2000—2009 年福建海域和内陆水域产量因子与世界相同,即 1 wha/hm^2 。

根据公式(7),福建林地产量因子应为福建林地木材产量与世界林地木材产量之比,考虑到福建拥有竹林面积位居全国首位,约占全国竹林面积的 1/5,其竹林面积占有林地面积的 11.5%^①,因此,本研究中福建林地产量因子改为福建林地木材和竹材产量与世界林地木材产量之比。福建林地木材和竹材产量为福建林地木材和竹材总产量与福建林地面积之比,其中,福建林地木材和竹材总产量数据来自《福建统计年鉴(2006—2010)》,竹材总产量包括毛竹采伐量和篙竹采伐量,每根毛竹以 0.015 m^3 木材计^[19],每根篙竹体积设为毛竹的 1/3;福建林地面积数据来自《中国统计年鉴(2006—2010)》。但由于 2005 年之前的木材产量数据与 2005—2009 年数据差异甚大,可能存在统计差异,因此假设 2000—2004 年林地产量因子等于 2005 年林地产量因子。由于缺乏数据,本研究中 2005—2009 年世界林地木材产量均取 2007 年值,为 $1.8054 \text{ m}^3/\text{wha}$ ^[17]。2000—2009 年福建产量因子计算结果整理归纳如表 1 所示。

表 1 2000—2009 年福建省产量因子/(wha/hm²)
Table 1 Yield factors for Fujian(2000—2009)/(wha/hm²)

年份 Year	农地 Cropland	牧草地 Grazing land	海域 Marine	内陆水域 Inland water	林地 Forest land	基础设施 Infrastructure	水电水库 Hydroelectric reservoir
2000	2.5369	2.9079	1.0000	1.0000	1.0548	2.5369	1.0000
2001	2.4768	2.9079	1.0000	1.0000	1.0548	2.4768	1.0000
2002	2.5088	2.9079	1.0000	1.0000	1.0548	2.5088	1.0000
2003	2.4409	2.9079	1.0000	1.0000	1.0548	2.4409	1.0000
2004	2.5038	2.9079	1.0000	1.0000	1.0548	2.5038	1.0000
2005	2.3837	2.9079	1.0000	1.0000	1.0548	2.3837	1.0000
2006	2.4933	2.9079	1.0000	1.0000	1.0602	2.4933	1.0000
2007	2.5302	2.9079	1.0000	1.0000	1.1105	2.5302	1.0000
2008	2.5015	2.9079	1.0000	1.0000	1.1688	2.5015	1.0000
2009	2.6107	2.9079	1.0000	1.0000	0.9373	2.6107	1.0000

1.3 均衡因子

均衡因子是把某种特定土地使用类型供给或需求的面积转变成世界平均生物生产力面积的单位数,即全球公顷数。均衡因子需要每年计算,给定年份每个国家或地区的均衡因子都相同。由于均衡因子变化微小,本研究中 2000—2009 年均衡因子均以 2007 年值代替,农地、林地、牧草地、海域与水电水库的均衡因子值分别为 2.51,1.26,0.46,0.37,1.00,基础设施、内陆水域和碳吸收地的均衡因子分别假设等于农地、海域与林地的均衡因子,均衡因子单位为 gha/wha^[17]。

① 福建省林业厅,福建林业概况. www.fjforestry.gov.cn/Index.aspx?NodeID=13&LanMuType=13.

2 福建省生态足迹和生态承载力计算

2.1 生态足迹计算

生态足迹评估多数着眼于度量最终需求的生态承载力占用,即消费生态足迹。当只能获得一国或地区生产、进口和出口产品数据而无法获得消费产品数据时,可根据公式“消费=生产+进口-出口”计算消费生态足迹。所幸福建农地、牧草地、水域和碳吸收地生态足迹计算可直接获得主要消费产品数据,即《福建统计年鉴(2001—2010)》中的城镇居民人均日常消费品购买量和农民人均食品消费量数据与《中国能源统计年鉴(2000—2002,2004—2010)》中福建能源平衡表(实物量)的可供本地区消费的能源量数据。然而,城镇居民人均日常消费品购买量和农民人均食品消费量数据必须结合福建城乡人口数据加以计算,方可获得福建食品消费数据。目前仅能从《福建统计年鉴 2010》获得 2000—2009 年福建城乡人口数据,因此,本研究只计算 2000—2009 年福建生态足迹和生态承载力。

2.1.1 农地和牧草地

由于获取福建农产品消费对应的农作物产量数据受限,本研究直接根据公式(2)计算福建农地和牧草地生态足迹。原则上如前所述获得福建各种食品消费数据,所需的世界产量数据来源于联合国粮农组织数据库。然而,由于部分食品消费数据为综合类,部分食品消费数据不完整或个别年份空缺,部分食品数据并非初级产品数据,因此只得运用一些方法进行数据处理(见附录)。其中,猪肉、家禽、蛋类根据动物饲料构成计算其农地生态足迹,牛肉、羊肉、奶类根据动物饲料构成分别计算其农地和牧草地生态足迹^[20]。

2.1.2 水域和林地

水域生态足迹根据公式(2)计算。水产品包括城镇人口消费的鱼和虾与乡村人口消费鱼类和虾、贝、蟹类。各年世界水产品平均捕捞产量据 2007 年世界海水产品总产量与大陆架面积计算获得,为 0.0372 t/wha,附加捕获的丢弃率取 1.27^[17]。

林地生态足迹根据公式(2)计算。缺乏 2000—2009 年福建省人均原木消费量数据以各年我国人均原木消费量计,数据来自《林业发展报告(或摘要)(2000,2002—2010)》。由于《中国能源统计年鉴》中给出的福建薪柴消费量数据变化异常之大,可靠性值得怀疑,因此,本研究以《中国能源统计年鉴(1991—2008)》给出的福建与全国薪柴消费数比例以及全国薪柴消费数推算 2000—2007 年福建薪柴消费数,缺乏 2008 年和 2009 年福建薪柴消费数据以 2007 年值代替。各年原木和薪柴世界产量分别取 1.0854 m³/wha 和 3.3220 m³/wha^[17]。

2.1.3 碳吸收地和建成地

碳吸收地生态足迹根据公式(3)计算。化石能源消费的 CO₂ 排放量为每年各种化石能源消费量与其单位能源消费 CO₂ 排放量之积^[20]。福建消费的化石能源包括原煤、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、液化石油气、其他石油制品和天然气,数据来自《中国能源统计年鉴(2000—2002,2004—2010)》。其中,以体积计的天然气消费量取密度值 0.7174 kg/Nm³^① 转化成重量;原煤中需扣除火电净调出量折合的原煤,它等于各年电力净调出量占电力生产量比例与火力发电耗煤量之积。

建成地生态足迹根据人类基础设施(交通、住宅、工业建筑和水电水库)覆盖的土地面积计算,它等于自身的生态承载力,因此,建成地生态足迹根据公式(4)计算。福建基础设施用地(除水电水库外)包括居民点及工矿用地、交通用地与水利设施用地,数据来自《中国统计年鉴(2004—2010)》和《福建省土地利用总体规划(1997—2010)》。其中,缺乏 2000—2002 年基础设施用地数据根据 2003 年数据以及 2003—2008 年年均增量推算;缺乏 2009 年基础设施用地数据根据 2008 年数据以及 2008 年相对于 2007 年的增量推算。水电水库用地为水电最大发电量与世界单位面积水电水库发电量之比,其中,水电最大发电量由水电装机容量换算^②,

① ① Nm³ 为标准立方米,即在我国为 20℃,1 个标准大气压下的气体体积单位。

② 福建水电装机容量数据来自福建省电力有限公司、福州电监办以及福建省电力行业协会原常务副会长杨光宇所提供材料。

世界单位面积水电水库发电量取 $77 \text{ MWh} \cdot \text{wha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ [17]。

2.2 生态承载力计算

生态承载力根据公式(4)计算。农地包括耕地和园地,林地指林业用地,包括森林用地和其他林地,海域数据为近海渔场面积数。福建耕地、园地、牧草地、林业用地和内陆水域数据来自《中国统计年鉴(2004—2010)》和《福建省土地利用总体规划(1997—2010)》。其中,缺乏2000—2006年耕地数据根据1996—2007年年均减少量推算;缺乏2000—2002年园地、牧草地数据分别根据其1996—2003年年均增长量推算;缺乏2009年耕地、园地、牧草地数据根据2008年数据以及2008年相对于2007年的减少量分别推算;缺乏各年内陆水域数据以1996年数据代替。福建近海渔场面积数据来源于《福建统计年鉴(2000—2007)》。基础设施用地生态承载力等于建成地生态足迹。

3 结果和分析

3.1 结果

采用上述方法计算获得的2000—2009年福建生态足迹和生态承载力结果分别见表2和表3。

表2 2000—2009年福建省生态足迹/(10^4 gha)

Table 2 Ecological footprint in Fujian(2000—2009)

年份 Year	农地 Cropland	牧草地 Grazing land	水域 Fishing grounds	林地 Forest land	建成地 Built-up land	碳吸收地 Carbon footprint	合计 Total
2000	946.07	129.54	576.78	669.14	388.53	1689.65	4399.72
2001	910.93	152.74	611.75	794.60	397.71	1640.00	4507.73
2002	889.92	173.53	628.08	889.49	419.05	2040.54	5040.61
2003	932.55	199.98	670.46	992.50	426.50	2460.03	5682.02
2004	891.35	201.66	673.79	1117.26	449.52	2981.40	6314.97
2005	859.34	218.69	699.84	1029.29	446.38	3693.61	6947.15
2006	835.55	233.05	711.57	1087.17	485.63	4025.96	7378.93
2007	801.86	246.80	730.44	1132.41	512.72	4573.53	7997.77
2008	789.19	200.29	757.13	1122.46	530.09	4797.45	8196.63
2009	806.73	225.55	811.27	1215.66	560.36	5420.64	9040.20

表3 2000—2009年福建省生态承载力/(10^4 gha)

Table 3 Biological capacity in Fujian(2000—2009)

年份 Year	农地 Cropland	牧草地 Grazing land	水域 Fishing grounds	林地 Forestland	建成地 Built-up land	合计 Total
2000	1275.43	0.36	469.09	1198.89	388.53	3332.30
2001	1241.91	0.36	469.09	1198.89	397.71	3307.96
2002	1254.57	0.36	469.09	1198.89	419.05	3341.95
2003	1217.36	0.36	469.09	1207.19	426.50	3320.49
2004	1244.64	0.35	469.09	1207.19	449.52	3370.79
2005	1180.81	0.35	469.09	1207.19	446.38	3303.82
2006	1237.04	0.35	469.09	1213.41	485.63	3405.52
2007	1249.01	0.35	469.09	1270.95	512.72	3502.13
2008	1231.62	0.35	469.09	1337.68	530.09	3568.83
2009	1285.36	0.35	469.09	1080.66	560.36	3395.81

3.2 分析

2000—2009年福建生态足迹总量总体上持续增长,共增长105%,年均增长8.33%。同期福建人均生态足迹也呈持续增长趋势(图1),由2000年的1.2902 gha增长到2009年的2.4925 gha,共增长93%,年均增长7.59%。从人均生态足迹各成分看,除农地呈下降趋势之外,其他5个成分都呈现出不同程度的增长趋势。

其中,碳吸收地增长最快,共增长 202%,年均增长 13.05%,所占比例总体上不断扩大,由 38.4% 扩大到 60.0%,主导着生态足迹的总体增长态势,这是由于该期间福建生产和生活消费的煤炭、石油和天然气等化石能源快速增长所致。林地增速次之,共增长 71%,年均增长 6.13%,这主要是由于该期间福建工业和建筑用材快速增长所致。牧草地和水域分别共增长 64% 和 32%,年均分别增长 5.63% 和 3.16%,但如果把牧草地、水域和农地合计来看,该期间福建居民食品消费导致的生态足迹几乎维持不变,这是由于该期间福建居民消费的肉、奶和水产品等动物性食品增加,而同时粮食、蔬菜等植物性食品减少所致。建成地共增长 36%,年均增长 3.45%,这主要是由于该期间居民点和工矿用地快速增长所致。2007 年福建人均生态足迹与我国平均水平相当(表 4),低于世界平均水平,约相当于高收入国家的 1/3,低收入国家的 2 倍,略高于中收入国家。

2000—2009 年福建生态承载力总量总体上变化不大,2009 年仅相当于 2000 年的 102%,其中 2008 年出现一个小高峰,这主要是由于当年木材采伐量较大导致林地产量因子较大所致。同期福建人均生态承载力呈轻微下降趋势(图 2),由 2000 年的 0.9772 gha 降为 2009 年的 0.9363 gha,年均下降 0.5%。导致福建人均生态承载力呈下降趋势的原因,首先是这期间人口有一定增长,其次是农产品和林产品产量没有明显提高,最后是建成地的较快增长伴随着农地尤其是耕地的较快减少,而林地几乎维持不变。2007 年福建人均生态承载力与我国平均水平相当(表 4),略低于低收入国家,较大幅度低于中收入国家和世界平均水平,约相当于高收入国家的 1/3。

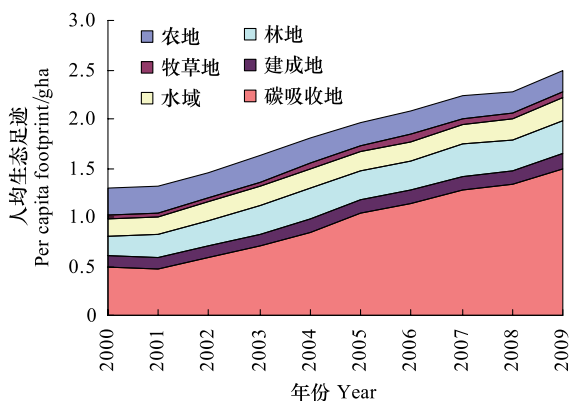


图 1 2000—2009 年福建省人均生态足迹

Fig. 1 Per capita ecological footprint in Fujian (2000—2009)

农地 Cropland; 牧草地 Grazing land; 水域 Fishing grounds; 林地 Forest land; 建成地 Built-up land; 碳吸收地 Carbon footprint

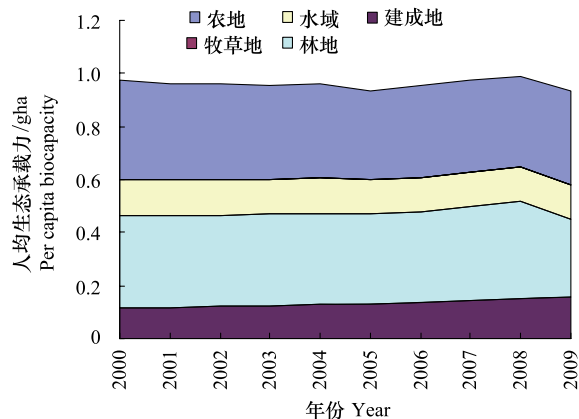


图 2 2000—2009 年福建省人均生态承载力

Fig. 2 Per capita biological capacity in Fujian (2000—2009)

农地 Cropland; 牧草地 Grazing land; 水域 Fishing grounds; 林地 Forest land; 建成地 Built-up land

表 4 2007 年人均生态足迹、人均生态承载力、人均生态平衡比较/gha

Table 4 Comparisons of per capita eco-footprint, biocapacity and ecological balance in 2007

项目 Item	福建省 Fujian Province	中国 China	世界 World	高收入国家 High income countries	中收入国家 Middle income countries	低收入国家 Low income countries
人均生态足迹 Per capita eco-footprint	2.2334	2.2141	2.6974	6.0916	1.9552	1.1897
人均生态承载力 Per capita biocapacity	0.9780	0.9781	1.7831	3.0593	1.7128	1.0814
人均生态盈余(+)或赤字(-) Per capita ecological reserve(+) or deficit(-)	-1.2554	-1.2360	-0.9143	-3.0322	-0.2425	-0.1082

数据来源:Global Footprint Network, (2011-2-11)[2011-3-07], http://www.footprintnetwork.org/images/uploads/2010_NFA_data_tables.xls.

2000—2009 年福建均属于生态赤字,且呈持续快速扩大趋势(图 3)。2000 年支撑福建经济发展需要 1.32 倍的福建生态承载力,2009 年已需要 2.66 倍的福建生态承载力。2009 年生态赤字比 2000 年增长 429%,年均增长 20.3%。2000—2009 年福建人均生态赤字也呈持续快速扩大趋势,由 2000 年的 -0.3130 gha

增长到2009年的-1.5562 gha,共增长397%,年均增长19.5%。从各成分看,在福建生态赤字构成上,2000—2009年起主导作用的都是碳吸收地。2007年福建人均生态赤字程度与我国平均水平相当(表4),大于世界平均水平,远大于中低收入国家,约相当于高收入国家的2/5。

以国家或地区生态足迹作为分母,以其生产总值作为分子,可以生成一种生态效率指标。2000—2009年福建生态效率总体上呈增长趋势(图4),由2000年的9951元/gha增长到2009年的13536元/gha,年均增长3.5%。但是,同期地区生产总值年均增长率达到12.08%,生态效率年均增长率大大小于地区生产总值年均增长率。2007年福建生态效率高于我国平均水平,与世界平均水平还有较大差距,远低于主要发达国家(表5)。

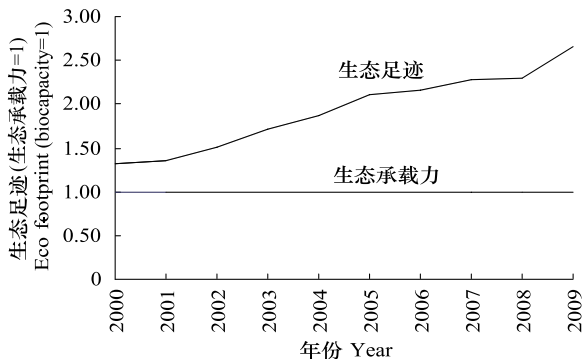


图3 2000—2009年福建省生态足迹和生态承载力比较

Fig.3 Comparison between eco-footprint and biocapacity in Fujian (2000—2009)

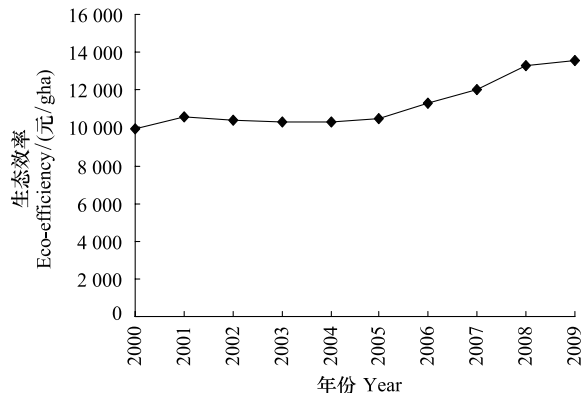


图4 2000—2009年福建省生态效率

Fig.4 Eco-efficiency in Fujian (2000—2009)

数据来源:福建统计年鉴2010

地区生产总值根据其指数转换成2009年价

表5 2007年福建省、中国与主要发达国家生态效率的比较

Table 5 Comparisons of eco-efficiency among Fujian Province, China and the main developed countries in 2007

国家或地区 Country or area	生态足迹总量/(10^8 gha) Eco-footprint/(10^8 gha)	生产总值/(10^8 美元) GDP/(10^8 USD)	生态效率/(美元/gha) Eco-efficiency/(USD/gha)	生态效率指数/(福建=100) Eco-efficiency index /(Fujian=100)
福建省 Fujian Province	0.80	1321	1651	100
中国 China	29.59	32508	1099	67
世界 World	179.96	543116	3018	183
日本 Japan	6.02	43838	7277	441
加拿大 Canada	2.31	14321	6198	375
美国 USA	24.68	138438	5609	340
法国 France	3.09	25603	8274	501
德国 Germany	4.18	33221	7939	481
意大利 Italy	2.96	21047	7110	431
英国 United Kingdom	2.99	27726	9271	562

数据来源:(1)福建统计年鉴2010;中国统计年鉴2008;Global Footprint Network, (2011-2-11)[2011-3-07], http://www.footprintnetwork.org/images/uploads/2010_NFA_data_tables.xls.

福建地区生产总值转换成美元计时采取的2007年12月31日汇率:1美元=7.3元,数据来源:中国银行(2008-01-01)[2011-03-07] <http://www.bankofchina.com/sourcedb/lswbj/>; (2)中国数据未计入香港、澳门和台湾地区

4 讨论

本研究基于国家生态足迹账户计算方法(2010版)而展开,这与目前我国众多生态足迹研究仍采用的国外1990年代方法的原理一致,但在许多方面有较大改进。(1)本研究中福建的产量因子根据福建生态资源的产量、结构等实际状况计算而来,比我国众多生态足迹研究直接采用Wackernagel等1990年代计算的中国产量因子更具针对性和准确性。(2)本研究中,牛肉、羊肉、奶类根据动物饲料构成分别计算其农地和牧草地生态足迹,比1990年代方法把这些产品消费都计算为牧草地更符合实际。(3)本研究中运用的碳吸收地计

算公式对排放的 CO_2 扣除其中海洋吸收部分,比 1990 年代方法的完全不扣除更为科学,而公式中 S_{OCEAN} 取值也历经多次改进后更为准确。(4) 本研究中引用的均衡因子已历经十多年改进,比当前我国许多生态足迹研究直接采用 Wackernagel 等 1990 年代计算的均衡因子也更为准确。

本研究计算结果与采用国外 1990 年代方法获得的结果相比,有证据表明更为准确。陈余珍、聂华采用国外 1990 年代方法计算的 2007 年福建人均生态足迹为 1.9484 gha^[21],而本研究计算的 2007 年福建人均生态足迹为 2.2334 gha。最为权威的国家生态足迹账户(2010 版)报告,2007 年中国人均生态足迹为 2.2141 gha,人均碳吸收地生态足迹为 1.2065 gha^①。2007 年福建非化石能源消费占 13.3%,比全国高 6.5%。如果假设 2007 年全国的能源消费结构与福建相同,即我国人均生态足迹扣除碳吸收地的 6.5%,则为 2.1357 gha。由于上述福建和我国的人均生态足迹均是消费生态足迹,因此与经济发展水平高度相关,即经济发展水平较高国家或地区,则其人均生态足迹往往较高,对发展中国家或地区尤其如此。2007 年福建人均国内生产总值为 25582 元,全国平均为 20168 元,福建比全国平均高 26.8%,因此,2007 年福建人均生态足迹不可能低于 2.1357 gha。可见,本研究计算结果确实更准确地反映出福建省的生态压力和生态承载力状况。不过,与国家生态足迹账户相比,福建作为一个地区,统计资料更为缺乏,数据覆盖面略显不足,对计算结果有所影响。

5 结论

归纳以上计算和分析,可以得出如下有关 2000—2009 年福建生态足迹和生态承载力结论:(1) 人均生态足迹持续快速增长,目前与我国平均水平相当,但低于世界平均水平;(2) 人均生态承载力略有下降,目前略高于我国平均水平,但低于大多数国家;(3) 生态赤字持续快速扩大,2009 年支撑经济发展需要 2.66 倍的福建生态承载力;(4) 碳吸收地在生态足迹结构中始终占据首位且呈快速扩大趋势,是福建生态赤字的主导因素;(5) 生态效率年均增长率大大低于地区生产总值年均增长率,目前福建生态效率还远低于主要发达国家。这些结论的政策含义是:(1) 福建未来中长期都将是生态赤字,经济发展应主要通过对外贸易弥补其生态资源不足;(2) 福建减缓生态赤字增加的关键是控制碳排放量过快增长,主要手段是提高能源产出率并增加清洁能源份额;(3) 福建要努力改进土地使用和提高土地生产力,以减缓生态承载力的下降趋势。

致谢:感谢林伯强教授对本研究的帮助。

References:

- [1] Wackernagel M, Rees W E. Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth. Gabriola Island: New Society Publishers, 1996: 9-9, 61-79.
- [2] Wackernagel M, Onisto L, Callejas Linares A, López Falfán I S, Méndez García J, Suárez Guerrero A I, Suárez Guerrero M G. Ecological footprints of nations: how much nature do they use? how much nature do they have? Commissioned by the Earth Council for the Rio+5 Forum. Toronto: International Council for Local Environmental Initiatives, 1997 [2010-02-10]. http://www.ucl.ac.uk/dpu-projects/drivers_urb_change/urb_environment/pdf_Sustainability/CES_footprint_of_nations.pdf.
- [3] Wackernagel M, Onisto L, Bello P, Callejas Linares A, López Falfán I S, Méndez García J, Suárez Guerrero A I, Suárez Guerrero M G. National natural capital accounting with the ecological footprint concept. *Ecological Economics*, 1999, 29(3): 375-390.
- [4] Wackernagel M, Lewan L, Hansson C B. Evaluating the use of natural capital with the ecological footprint: applications in Sweden and subregions. *Ambio*, 1999, 28(7): 604-612.
- [5] 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.
- [6] Wackernagel M, Monfreda C, Moran D, Werner P, Goldfinger S, Deumling D, Murray M. National footprint and biocapacity accounts 2005: the underlying calculation method. Oakland: Global Footprint Network, 2005 [2008-08-08]. <http://www.footprintnetwork.org/download.php?id=5>.
- [7] Kitzes J, Peller A, Goldfinger S, Wackernagel M. Current methods for calculating national ecological footprint accounts. Oakland: Global Footprint

① 数据来源:Global Footprint Network, (2011-2-11)[2011-3-07], http://www.footprintnetwork.org/images/uploads/2010_NFA_data_tables.xls.

- Network, 2007[2010-02-10]. <http://libdspace.biwako.shiga-u.ac.jp/dspace/bitstream/10441/1395/2/4-1.pdf>.
- [8] Ewing B, Reed A, Rizk S M, Galli A, Wackernagel M, Kitzes J. Calculation Methodology for the National Footprint Accounts, 2008 Edition. Oakland: Global Footprint Network, 2008 [2010-02-10]. <http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/methodology/>.
- [9] Ewing B, Reed A, Galli A, Kitzes A, Wackernagel M. Calculation Methodology for the National Footprint Accounts, 2010 Edition. Oakland: Global Footprint Network, 2010[2011-02-15]. http://www.footprintnetwork.org/images/Uploads/National_Footprint_Accounts_Method_Paper_2010.pdf.
- [10] Global Footprint Network. Ecological footprint standards 2009. Oakland: Global Footprint Network, 2009 [2011-04-01]. http://www.footprintnetwork.org/images/uploads/Ecological_Footprint_Standards_2009.pdf.
- [11] Xu Z M, Zhang Z Q, Cheng G D. The calculation and analysis of ecological footprints of Gansu Province. Acta Geographica Sinica, 2000, 55(5): 607-616.
- [12] Xu Z M, Zhang Z Q. Classification and assessment on indicators of measuring sustainable development. Journal of Northwest Normal University: Natural Science, 2000, 36(4): 82-87.
- [13] Zhang Z Q, Xu Z M, Cheng G D. The concept of ecological footprints and computing model. Ecological Economy, 2000, (10): 8-10.
- [14] Wei Y, Wu C Y. Dynamic analysis of ecological sustainability based on ecological footprint model in Guizhou Province. Ecology and Environment, 2011, 20(1): 102-108.
- [15] Song B L, He D. Research on the sustainable development of regional economics based on the ecological footprint: a case of Chengdu City. Science and Technology Progress and Policy, 2011, 28(3): 34-37.
- [16] Wang Y, Qiu E F, Wang C, Jia B Q, Qie G F. Dynamics of ecological capacity of Sanmenxia City. Journal of Fujian College of Forestry, 2011, 31(1): 18-23.
- [17] Global Footprint Network. National Footprint Accounts, 2010 Edition. Oakland: Global Footprint Network, 2010[2011-01-19]. http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/national_Footprint_accounts_license_academic_edition/.
- [18] Yan S J, Hong W, Wu C Z, Bi X L. Impact of climatic variation on net primary productivity of natural vegetation in Fujian in recent 41 years. Journal of Mountain Science, 2001, 19(6): 522-526.
- [19] Zhang Q L, Zhou X Y, Zeng Z G, Que Z L. Current situation and prospect of bamboo flooring production in China. China Forestry Science and Technology, 2002, 16(2): 3-5.
- [20] Xie H Y, Wang L L, Chen X S, et al. Improvement on Ecological Footprint Assessment Model and Its Application. Beijing: Chemical Industry Press, 2008: 44-44, 52-53.
- [21] Chen Y Z, Nie H. Dynamic analysis on ecological footprint and biocapacity in Fujian Province. Science and Technology Information, 2010, (9): 171-172.

参考文献:

- [11] 徐中民, 张志强, 程国栋. 甘肃省 1998 年生态足迹计算与分析. 地理学报, 2000, 55(5): 607-616.
- [12] 徐中民, 张志强. 可持续发展定量指标体系的分类和评价. 西北师范大学学报: 自然科学版, 2000, 36(4): 82-87.
- [13] 张志强, 徐中民, 程国栋. 生态足迹的概念及计算模型. 生态经济, 2000, (10): 8-10.
- [14] 魏媛, 吴长勇. 基于生态足迹模型的贵州省生态可持续性动态分析. 生态环境学报, 2011, 20(1): 102-108.
- [15] 宋宝莉, 何东. 基于生态足迹的区域经济可持续发展研究——以成都市为例. 科技进步与对策, 2011, 28(3): 34-37.
- [16] 汪瑛, 邱尔发, 王成, 贾宝全, 鄯光发. 三门峡市生态足迹动态分析. 福建林学院学报, 2011, 31(1): 18-23.
- [18] 闫淑君, 洪伟, 吴承祯, 毕晓丽. 福建近 41 年气候变化对自然植被净第一性生产力的影响. 山地学报, 2001, 19(6): 522-526.
- [19] 张勤丽, 周晓燕, 曾志高, 阙泽利. 我国竹地板产业的基本情况与展望. 林业科技开发, 2002, 16(2): 3-5.
- [20] 谢鸿宇, 王羚娜, 陈贤生, 等. 生态足迹评价模型的改进与应用. 北京: 化学工业出版社, 2008: 44-44, 52-53.
- [21] 陈余珍, 聂华. 福建省生态足迹与生态承载力的动态分析. 科技信息, 2010, (9): 171-172.

附录: 福建食品消费数据处理方法

(1) 粮食为综合类, 主要包括小麦、稻谷、玉米与薯类。缺乏 2007—2009 年城镇居民人均日常粮食购买量数据以 2006 年值代替。由于福建省消费的粮食中稻谷占 90% 以上, 因此计算粮食生态足迹所需的世界产量以稻谷世界产量代替, 其中大米的提出率取 0.69^[17]。

(2) 缺乏城镇人口消费的大豆和杂豆数据按乡村人口消费量计。计算杂豆生态足迹所需的世界产量以干豌豆、干蚕豆等 11 种豆类产品的世界产量计。

(3) 城镇人口消费的蔬菜以鲜菜计, 乡村人口消费的蔬菜以蔬菜及菜制品计。计算蔬菜生态足迹所需的世界产量以卷心菜、西红柿、南瓜、西瓜等 27 种蔬菜和瓜产品的世界产量计。

(4) 鲜果包括城镇人口消费的鲜果和乡村人口消费的水果及水果制品。计算鲜果生态足迹所需的世界产量以苹果、柑桔等 37 种水果(各种瓜除外)的世界产量计。

(5) 缺乏乡村人口消费的鲜瓜数据按城镇人口消费量计。计算鲜瓜生态足迹所需的世界产量也以卷心菜、西红柿、南瓜、西瓜等 27 种蔬菜和瓜产品的世界产量计。

(6) 缺乏 2000—2005 年和 2006—2009 年福建城镇人口消费的坚果及果制品数据分别按各年中国城镇居民和 2006 年中国东部地区城镇居民人均购买的坚果及果仁类计, 数据来自《中国统计年鉴(2001—2007)》。计算坚果及果制品生态足迹所需的世界产量以腰果、栗子等 8 种树生坚果产品的世界产量计。

(7) 缺乏乡村人口消费的茶叶数据按城镇人口消费量计。

(8) 缺乏乡村人口消费的酒数据以我国东部地区农村居民人均购买量计, 数据来自《中国统计年鉴(2001—2010)》, 缺乏 2007—2009 年城镇人口消费的酒数据以 2006 年值代替。各年酒的世界产量均取 $5.23 \text{ t/wha}^{[17]}$ 。

(9) 缺乏 2002—2009 年城镇人口消费的食糖数据按乡村人口消费量计。计算食糖生态足迹所需的食糖世界产量以精制糖世界产量计, 各年均取 $10.67 \text{ t/wha}^{[17]}$ 。

(10) 缺乏 2003—2009 年乡村人口消费的糕点数据按城镇人口消费量计。由于缺乏糕点的具体成分数据, 本研究完全按小麦面粉计, 各年小麦面粉的世界产量均取 $1.88 \text{ t/wha}^{[17]}$ 。

(11) 缺乏城镇人口消费的动物油数据按乡村人口消费量计。缺乏 2007—2009 年城镇人口消费的油脂类数据以 2006 年值代替。城镇人口消费的植物油为油脂类与动物油之差。计算植物油生态足迹所需的各年世界产量均以 2007 年世界大豆油、油菜籽油和花生油的平均产量计^[17]。在计算植物油世界平均产量时, 假设所有大豆、油菜籽和花生都用于提取油, 算得 2007 年植物油世界平均产量为 1.0424 t/wha 。动物油生态足迹以猪肉单位质量的生态足迹计, 而从猪肉提取猪油的提取率取 0.85。由于猪饲料原料类型的不同, 导致猪肉有两种生态足迹^[20], 本研究取其平均值。

(12) 缺乏 2007—2009 年城镇人口消费的家禽和肉禽制品数据分别以 2006 年禽类和肉制品计。由于缺乏城镇人口消费的肉制品和乡村人口消费的肉禽制品成分数据, 本研究假设猪肉和禽肉各占 50%, 并将其分别合计到猪肉和禽肉数据。

(13) 蛋类包括城镇人口消费的鲜蛋和乡村人口消费的蛋类及蛋制品。计算猪肉、家禽、蛋类农地生态足迹所需的猪肉、家禽和禽蛋世界产量数据均来自文献^[20]。

(14) 奶类包括城镇人口消费的鲜乳品和乡村人口消费的奶和奶制品。计算牛肉、羊肉、奶类农地生态足迹所需的牛肉、羊肉和牛奶世界产量数据均来自文献^[20]。

CONTENTS

The combined effects of elevated CO ₂ and elevated temperature on proliferation of cyanophage PP	NIU Xiaoying, CHENG Kai, RONG Qianqian, et al (6917)
Precipitation pattern of desert steppe in Inner Mongolia, Sunite Left Banner: 1956—2009	CHEN Jun, WANG Yuhui (6925)
Emergy and economic evaluations of two sewage treatment systems	LI Min, ZHANG Xiaohong, LI Yuanwei, et al (6936)
Individual spatial pattern and spatial association of <i>Stipa krylovii</i> population in Alpine Degraded Grassland	ZHAO Chengzhang, REN Heng (6946)
Litter characteristics of nutrient and stoichiometry for <i>Phyllostachys praecox</i> over soil-surface mulching	LIU Yadi, FAN Shaohui, CAI Chunju, et al (6955)
Characteristics of leaf element concentrations of twelve nutrients in <i>Acacia confusa</i> and <i>Leucaena glauca</i> in secondary forests of acid rain region in Fuzhou	HAO Xinghua, HONG Wei, WU Chengzhen, et al (6964)
Relationships between main insect pests and their predatory natural enemies in “Yuhualu” juicy peach orchard	KE Lei, SHI Xiaoli, ZOU Yunding, et al (6972)
Simulating 10-hour time-lag fuel moisture in Daxinganling	HU Tianyu, ZHOU Guangsheng, JIA Bingrui (6984)
Soil nutrient characteristics under different vegetations in the windy and sandy region of northern Shaanxi	LI Wenbin, LI Xinpeng (6991)
Partitioning of autotrophic and heterotrophic soil respiration in southern type poplar plantations	TANG Luozhong, GE Xiaomin, WU Lin, et al (7000)
Soil water and salinity in response to water deliveries and the relationship with plant growth at the lower reaches of Heihe River, Northwestern China	YU Tengfei, FENG Qi, LIU Wei, et al (7009)
Effect of stem diameter at breast height on skewness of sap flow pattern and time lag	MEI Tingting, ZHAO Ping, NI Guangyan, et al (7018)
Invasion of exotic <i>Ageratina adenophora</i> Sprengel. alters soil physical and chemical characteristics and arbuscular mycorrhizal fungus community	YU Wenqing, LIU Wanxue, GUI Furong, et al (7027)
Models and methods for information extraction of complex ground objects based on LandSat TM images of Hainan Island, China	WANG Shudong, ZHANG Lifu, CHEN Xiaoping, et al (7036)
Effects of snow pack removal on soil hydrolase enzyme activities in an alpine <i>Abies faxoniana</i> forest of western Sichuan	YANG Yulian, WU Fuzhong, YANG Wanqin, et al (7045)
Effects of different soil water treatments on photosynthetic characteristics and grain yield in rice	WANG Weixiao, LIU Xiaojun, TIAN Yongchao, et al (7053)
Growth characteristics, lignin degradation enzyme and genetic diversity of <i>Fomes fomentarius</i> by SRAP marker among populations	CAO Yu, XU Ye, WANG Qiuyu (7061)
Effects of the invasion by <i>Solidago canadensis</i> L. on the community structure of soil animals	CHEN Wen, LI Tao, ZHENG Rongquan, et al (7072)
Effects of intercropping on quality and yield of maize grain, microorganism quantity, and enzyme activities in soils	ZHANG Xiangqian, HUANG Guoqin, BIAN Xinmin, et al (7082)
Influence of mycorrhizal inoculation on competition between plant species and inorganic phosphate forms	ZHANG Yuting, ZHU Min, XIAN Yanxiangwa, et al (7091)
The stable nitrogen isotope of size-fractionated plankton and its relationship with biomass during winter in Daya Bay	KE Zhixin, HUNG Liangmin, XU Jun, et al (7102)
Dynamics of toxic and non-toxic <i>Microcystis</i> spp. during bloom in the large shallow hypereutrophic Lake Taihu	LI Daming, YE Linlin, YU Yang, et al (7109)
Activities of antioxidant enzymes and Zn-MT-like proteins induced in <i>Chlorella vulgaris</i> exposed to Zn ²⁺	YANG Hong, HUANG Zhiyong (7117)
Ecological footprint in Fujian based on calculation methodology for the national footprint accounts	QIU Shoufeng, ZHU Yuan (7124)
The comparison of CO ₂ emission accounting methods for energy use and mitigation strategy: a case study of China	YANG Xiai, CUI Shenghui, LIN Jianyi, et al (7135)
Ecological damage assessment of Jiaozhou Bay reclamation based on habitat equivalency analysis	LI Jingmei, LIU Tieying (7146)
The value assessment of county-level ecological assets: a case in Fengning County, Hebei Province	WANG Hongyan, GAO Zhihai, LI Zengyuan, et al (7156)
Review and Monograph	
Molecular basis for enhancement of plant drought tolerance by arbuscular mycorrhizal symbiosis: a mini-review	LI Tao, DU Juan, HAO Zhipeng, et al (7169)
A review of carbon cycling and sequestration in urban soils	LUO Shanghua, MAO Qizheng, MA Keming, et al (7177)
Overview on methods of deriving fraction of absorbed photosynthetically active radiation (FPAR) using remote sensing	DONG Taifeng, MENG Jihua, WU Bingfang (7190)
Research progress on influencing of light attenuation and the associated environmental factors on the growth of submersed aquatic vegetation	WU Mingli, LI Xuyong (7202)
The framework of stoichiometry homeostasis in zooplankton elemental composition	SU Qiang (7213)
Scientific Note	
Abundance and biomass of planktonic ciliates in the sea area around Zhangzi Island, Northern Yellow Sea in July and August 2010	YU Ying, ZHANG Wuchang, ZHANG Guangtao, et al (7220)
Research of wildlife resources sustainable development based on entropy method in China	YANG Xitao, ZHOU Xuehong, ZHANG Wei (7230)
Influence of residue composition and addition frequencies on carbon mineralization and microbial biomass in the soils of agroforestry systems	WANG Yikun, FANG Shengzuo, TIAN Ye, et al (7239)
Seasonal changes in microbial diversity in different cells of a wetland system constructed for municipal sewage treatment	CHEN Yonghua, WU Xiaofu, ZHANG Zhenni, et al (7247)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,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,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 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 22 期 (2012 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 22 (November, 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