

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

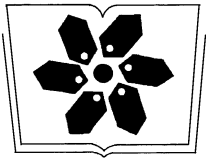
(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 5 期
Vol.31 No.5
2011



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 31 卷 第 5 期 2011 年 3 月 (半月刊)

目 次

| | |
|---|------------------------------------|
| 盐胁迫下 3 种滨海盐生植物的根系生长和分布····· | 弋良朋,王祖伟 (1195) |
| 蕙兰病株根部内生细菌种群变化····· | 杨 娜,杨 波 (1203) |
| 森林不同土壤层全氮空间变异特征····· | 张振明,余新晓,王友生,等 (1213) |
| 基于生态位模型的秦岭山系林麝生境预测····· | 罗 翀,徐卫华,周志翔,等 (1221) |
| 黑河胜山自然保护区红松和红皮云杉生长释放判定及解释····· | 王晓春,赵玉芳 (1230) |
| 两种大型真菌菌丝体对重金属的耐受和富集特性····· | 李维焕,于兰兰,程显好,等 (1240) |
| 2005—2009 年浙江省不同土地类型上空对流层 NO ₂ 变化特征 ····· | 程苗苗,江 洪,陈 健,等 (1249) |
| 关帝山天然次生针叶林林隙径高比 ····· | 符利勇,唐守正,刘应安 (1260) |
| 鄱阳湖湿地水位变化的景观响应····· | 谢冬明,郑 鹏,邓红兵,等 (1269) |
| 模拟氮沉降对华西雨屏区撑绿杂交竹凋落物分解的影响····· | 涂利华,戴洪忠,胡庭兴,等 (1277) |
| 喷施芳香植物源营养液对梨树生长、果实品质及病害的影响 ····· | 耿 健,崔楠楠,张 杰,等 (1285) |
| 不同覆膜方式对旱砂田土壤水热效应及西瓜生长的影响 ····· | 马忠明,杜少平,薛 亮 (1295) |
| 干旱胁迫对玉米苗期叶片光合作用和保护酶的影响 ····· | 张仁和,郑友军,马国胜,等 (1303) |
| 不同供水条件下冬小麦叶与非叶绿色器官光合日变化特征 ····· | 张永平,张英华,王志敏 (1312) |
| 水分亏缺下紫花苜蓿和高粱根系水力学导度与水分利用效率的关系 ··· | 李文娆,李小利,张岁岐,等 (1323) |
| 美洲森林群落 Beta 多样性的纬度梯度性 ····· | 陈圣宾,欧阳志云,郑 华,等 (1334) |
| 水体泥沙对菖蒲和石菖蒲生长发育的影响····· | 李 强,朱启红,丁武泉,等 (1341) |
| 蚯蚓在植物修复芫污染土壤中的作用····· | 潘声旺,魏世强,袁 馨,等 (1349) |
| 石榴园西花蓟马种群动态及其与气象因素的关系····· | 刘 凌,陈 斌,李正跃,等 (1356) |
| 黄山短尾猴食土行为····· | 尹华宝,韩德民,谢继峰,等 (1364) |
| 扎龙湿地昆虫群落结构及动态····· | 马 玲,顾 伟,丁新华,等 (1371) |
| 浙江双栉蝠蛾发生与土壤关系的层次递进判别分析····· | 杜瑞卿,陈顺立,张征田,等 (1378) |
| 低温导致中华蜜蜂后翅翅脉的新变异 ····· | 周冰峰,朱翔杰,李 月 (1387) |
| 双壳纲贝类 18S rRNA 基因序列变异及系统发生 ····· | 孟学平,申 欣,程汉良,等 (1393) |
| 基于物理模型实验的光倒刺鲃生态行为学研究 ····· | 李卫明,陈求稳,黄应平 (1404) |
| 中国铁路机车牵引能耗的生态足迹变化 ····· | 何吉成 (1412) |
| 城市承载力空间差异分析方法——以常州市为例····· | 王 丹,陈 爽,高 群,等 (1419) |
| 水资源短缺的社会适应能力理论及实证——以黑河流域为例 ····· | 程怀文,李玉文,徐中民 (1430) |
| 寄主植物叶片物理性状对潜叶昆虫的影响····· | 戴小华,朱朝东,徐家生,等 (1440) |
| 专论与综述 | |
| C ₄ 作物 FACE (free-air CO ₂ enrichment) 研究进展 ····· | 王云霞,杨连新,Remy Manderscheid,等 (1450) |
| 研究简报 | |
| 石灰石粉施用剂量对重庆酸雨区受害马尾松林细根生长的影响····· | 李志勇,王彦辉,于澎涛,等 (1460) |
| 女贞和珊瑚树叶片表面特征的 AFM 观察 ····· | 石 辉,王会霞,李秧秧,刘 肖 (1471) |

中国铁路机车牵引能耗的生态足迹变化

何吉成*

(交通运输部规划研究院环境资源所,北京 100028)

摘要:基于我国机车能耗统计资料、电力年度统计数据,首次计算了1975—2007年我国铁路机车牵引能耗的生态足迹及其强度变化。结果表明:(1)从1975年至2001年,我国铁路蒸汽机车牵引能耗生态足迹年均减少9.59万 hm^2 ,年均降低3.6%。从1975年至2007年,内燃机车牵引能耗生态足迹年均增加3.41万 hm^2 ;电力机车的火电生态足迹年均增加3.99万 hm^2 ,电力机车的水电生态足迹年均增加215.14 hm^2 可耕地。我国铁路机车牵引能耗生态足迹总量呈波动态势。(2)从1975年到2007年,我国铁路机车牵引能耗的生态足迹强度呈逐年降低态势,其值从1975年的528.79 m^2 /万换算吨公里降至2007年的85.54 m^2 /万换算吨公里,年均降低13.85 m^2 /万换算吨公里。(3)我国铁路机车牵引能耗的生态足迹强度远远低于民航飞机的能耗生态足迹强度,1991—2007年前者的均值只有后者的12.3%。

关键词:中国铁路;机车能耗;CO₂排放量;生态足迹

Dynamic change in ecological footprint of energy consumption for traction of locomotives in China

HE Jicheng*

Division of Environment and Resources Research, Transport Planning and Research Institute, Ministry of Transport, Beijing 100028, China

Abstract: Although railway has played a great role in transportation in China, there has been no any study on ecological footprint of railway transportation industry until now. In this study, the ecological footprint of energy consumption for traction of locomotives during 1975—2007 was calculated and its intensity and dynamic characteristics were analyzed for the first time, based on the annual locomotives energy consumption data and state power statistic reports. The results show that (1) the ecological footprint of energy consumption for traction of steam locomotives decreased at an average rate of 959 km^2 per year (3.6%) during 1975—2001 while that of diesel locomotives increased at an average rate of 341 km^2 per year during 1975—2007, and the ecological footprint of energy consumption for coal-fired power and hydropower of electric locomotives increased at an average rate of 399 km^2 and 215.14 hm^2 arable land per year, respectively during 1975—2007. All in all, the total ecological footprint of energy consumption for traction of all the locomotives in China railways fluctuated during 1975—2007. (2) The intensity of ecological footprint of energy consumption for traction of locomotives in China railways decreased from 52.88 m^2 per kilo converted ton-km in 1975 to 8.55 m^2 per kilo converted ton-km in 2007 at an average rate of 1.39 m^2 per kilo converted ton-km per year. (3) The intensity of ecological footprint of energy consumption for traction of locomotives in China railways was far less than that of airplanes, and the averaged value of the former accounted for only 12.3% of that of the latter during 1991—2007.

Key Words: China railways; locomotive energy consumption; CO₂ emission; ecological footprint

生态足迹是指能够持续地提供资源或吸纳废物的、具有生物生产力的土地面积。生物生产力土地包括化

基金项目:国家自然科学基金(40701008)

收稿日期:2010-09-11; 修订日期:2011-01-28

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jichenghe@gmail.com

石能源用地、耕地、森林、草地、建筑用地和水域 6 种类型^[1]。在生态足迹分析中,可以以吸收化石能源燃烧排放的温室气体 CO₂所需要的森林来定量表征化石能源的使用对生态环境造成的影响。我国学者从国家^[2]、省市^[3-4]、地区^[5]等不同空间尺度上探讨了生态足迹的状况或变化,也研究了旅游^[6]、餐饮^[7]、水泥^[8]、纸张^[9]、畜产品^[10]等行业的生态足迹现状。但已有的研究工作多数集中在某个时间断面,尤其是在行业研究上,缺少基于纵向时间序列的生态足迹变化研究工作。交通运输业是资源占用型和能源消耗型行业,随着全球客货运输量的逐年增长,交通运输业的化石能源消耗量逐年上升。不同交通运输方式的能耗及其效率^[11-12]、CO₂排放及其影响因素受到人们的关注^[12-15],但对铁路运输中的机车耗能关注较少^[16]。铁路是我国国民经济的大动脉和大众化交通工具,承担了我国中长途主要客货运输任务,目前我国正处于铁路建设运营大发展时期。在铁路运输中,蒸汽机车燃烧原煤、内燃机车耗用柴油均会排放 CO₂,电力机车耗电也会间接导致火电厂排放 CO₂。本研究基于机车能耗统计资料、电力年度统计数据,分析 33 年来我国铁路机车牵引能耗的生态足迹及其强度变化特点,为我国铁路行业减少生态足迹和节能降耗工作提供参考。

1 数据来源及分析方法

1.1 数据来源与说明

本研究的统计数据来自铁道部统计部门逐年的《全国铁路统计资料汇编》和《铁路简明统计资料》^[17],主要利用下列统计数据:蒸汽机车、内燃机车和电力机车逐年的耗煤量、耗油量和耗电量,3 种机车逐年承担的牵引工作量,全路逐年的货物周转量、旅客周转量和全部周转量。蒸汽机车燃煤、内燃机车燃油会直接排放 CO₂,电力机车本身不排放 CO₂,但电力机车牵引用电来自发电厂,由于发电方式的不同,发电厂所消耗的资源也不同,相应占用的生态生产性土地也不同,所以电力机车耗用电力的生态足迹需要根据发电方式的不同分别进行计算,由于核电、风电占我国电力比例很小,本文只计算火电和水电的生态足迹。1975—2007 年我国火电和水电平均比重分别为 80.3% 和 18.9%^[18],我国火电厂绝大多数是燃煤发电,因而电力机车用电会间接导致火电厂排放 CO₂。水电属于清洁能源,其电力生产过程不排放 CO₂,但电站建设过程中会占用土地,在生态足迹分析中,将水电的生态足迹归于水电站蓄水发电所淹没的可耕地^[19]。我国逐年发电量中的火电、水电比重和火电厂发电标准煤耗数据来自国家电网的电力生产统计年报^[18]。

1.2 铁路机车牵引能耗生态足迹的计算方法

我国铁路蒸汽机车和内燃机车的牵引能耗生态足迹计算公式如下:

$$EF_i = \frac{H_i \times F_i}{B} \quad (1)$$

式中, EF_i 为机车牵引耗用 i 类化石能源产生的生态足迹(10^4 hm^2); H_i 为 i 类化石能源年消耗总量(10^4 t); F_i 为 i 类化石能源的 CO₂排放因子,柴油和原煤的 CO₂排放因子^[20]分别为 3.16 和 1.98; B 为森林 CO₂平均吸收因子($\text{t CO}_2 \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$),通过森林的 NEP(生态系统碳净积累量)可以算得 B 值。NEP 表征的是单位面积植被 1 年所固定的碳的数量,根据谢鸿宇等人的研究^[19],世界森林 NEP 均值为 3.81 t/hm^2 ,即森林 CO₂吸收能力为 $13.97 \text{ t CO}_2 \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

我国电力机车牵引耗用火电产生的间接生态足迹计算公式为:

$$EF_{dh} = \frac{D \times C_h \times S \times 1.4 \times F_d}{B \times 10^4} \quad (2)$$

式中, EF_{dh} 为电力机车牵引耗用火电产生的间接生态足迹(10^4 hm^2); D 为我国电力机车年耗电量($10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$); C_h 为我国发电量中的火电比重(%); S 为火电厂单位发电量的标准煤耗($\text{g} \cdot \text{kW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$);1.4 为标准煤与原煤的折算系数; F_d 为原煤的 CO₂排放因子; B 同式(1)。

我国电力机车牵引耗用水电产生的间接生态足迹计算公式为:

$$EF_{ds} = D \times C_s \times A \times 10^6 \quad (3)$$

式中, EF_{ds} 为电力机车牵引耗用水电产生的间接生态足迹(hm^2); D 为我国电力机车年耗电量

($10^8 \text{ kW}\cdot\text{h}$); C_s 为我国发电量中的水电比重(%) ; A 为我国单位水电的生态足迹, 根据谢鸿宇等人的研究^[19], 我国 $1 \text{ kW}\cdot\text{h}$ 水电的生态足迹是 $2.1448 \times 10^{-6} \text{ hm}^2$ 可耕地。

1.3 机车牵引能耗生态足迹强度的计算方法

铁路运输工作包括货物运输和旅客运输, 铁路货物周转量是指一定时期内使用铁路货车完成的货物运量与运送距离的乘积之和, 单位为吨公里。铁路旅客周转量是指一定时期内使用铁路客车运送的旅客人数与运输距离的乘积之和, 其单位为人公里。铁路运输的全部周转量包括货物周转量和旅客周转量, 铁路行业采用换算吨公里作为计量全部周转量的单位, 并规定: 全部周转量 = 货物周转量 + 旅客周转量^[21]。机车牵引工作量表示各类机车牵引列车完成的工作量, 它是反映机车运用情况的重要数量指标, 一般用牵引总重吨公里来表示, 其计算方法是: 牵引总重吨公里 = 牵引总重 \times 牵引机车实际走行公里^[21]。由于铁路机车牵引能耗统计没有将货运能耗和客运能耗分开进行统计, 在这里, 设定机车能耗生态足迹强度为单位全部周转量的生态足迹。铁路的全部周转量也没有按蒸汽机车、内燃机车和电力机车分开统计, 可根据上述 3 类机车逐年承担的牵引工作量比重来估算这 3 类机车各自完成的全部周转量, 从而获得各自的能耗生态足迹强度。其计算公式为:

$$EI_i = \frac{EF_i \times 10^4}{T_i} \quad (4)$$

式中, EI_i 为 i 类机车牵引能耗的生态足迹强度 ($\text{m}^2/\text{万换算吨公里}$); EF_i 为 i 类机车牵引能耗的生态足迹 (10^4 hm^2); T_i 为 i 类机车完成的全部周转量 (亿换算吨公里)。

2 我国铁路机车牵引能耗的生态足迹及强度

2.1 蒸汽机车的牵引能耗生态足迹及强度

蒸汽机车是通过蒸汽机把原煤的热能转换成机械能, 用来牵引列车的一种机车。1975—1986 年我国蒸汽机车的生态足迹一直较大, 逐年生态足迹均在 250 万 hm^2 以上, 1984 年达到最高, 为 277 万 hm^2 , 12a 平均值为 266 万 hm^2 。自 1986 年以后, 由于蒸汽机车承担的牵引工作量逐步减少, 其生态足迹逐年大幅降低, 1990 年降至 200 万 hm^2 以下, 1996 年不到 100 万 hm^2 , 2001 年已不到 10 万 hm^2 (图 1a)。从 1975 年到 2001 年, 平均每年生态足迹减少 9.59 万 hm^2 , 年均降低 3.6%。就生态足迹强度来说 (图 1a), 1975—1985 年处于缓慢下降期, 由 576.12 $\text{m}^2/\text{万换算吨公里}$ 降至 426.10 $\text{m}^2/\text{万换算吨公里}$, 生态足迹强度在 1986—1991 年期间缓慢上升, 1992—2001 年则进入快速上升期, 由 491.53 $\text{m}^2/\text{万换算吨公里}$ 增至 908.61 $\text{m}^2/\text{万换算吨公里}$, 年均增长 46.34 $\text{m}^2/\text{万换算吨公里}$ 。

2.2 内燃机车的牵引能耗生态足迹及强度

内燃机车消耗的能源为柴油, 从 1975 年到 2007 年, 我国内燃机车不断增多, 它承担的牵引工作量逐年增多, 因此其生态足迹逐年上升 (图 1b)。1975—1988 年逐年生态足迹均不到 50 万 hm^2 , 1995 年超过 80 万 hm^2 , 2000 年超过 100 万 hm^2 , 2007 年达到 117.06 万 hm^2 , 相当于 1975 年生态足迹的 14.7 倍, 平均每年增加 3.41 万 hm^2 , 年均增长 42.8%。就生态足迹强度而言, 1975—1989 年的生态足迹强度逐年降低, 其值由 157.84 $\text{m}^2/\text{万换算吨公里}$ 降至 78.38 $\text{m}^2/\text{万换算吨公里}$, 1990—2007 年的生态足迹强度基本在 82.26 $\text{m}^2/\text{万换算吨公里}$ 上下波动, 这期间虽然生态足迹不断增长, 但其生态足迹强度一直保持在较低水平。

2.3 电力机车的牵引能耗生态足迹及强度

电力机车以电力作为能源来牵引列车, 1975 年到 2007 年, 我国电力机车不断增多, 其生态足迹也逐年上升。就火电来说 (图 1c), 1975 年的生态足迹只有 1.28 万 hm^2 , 1986 年超过 10 万 hm^2 , 2005 年已超过 100 万 hm^2 , 2007 年的生态足迹则达到 128.88 万 hm^2 , 相当于 1975 年生态足迹的 100.6 倍, 从 1975 年到 2007 年电力机车火电年均生态足迹增加 3.99 万 hm^2 。就电力机车的火电生态足迹强度来说, 1975—1988 年的生态足迹强度持续降低, 其值由 153.85 $\text{m}^2/\text{万换算吨公里}$ 降至 96.96 $\text{m}^2/\text{万换算吨公里}$, 1989—2007 年的生态足迹强度基本在 97.02 $\text{m}^2/\text{万换算吨公里}$ 上下波动。

与火电相比,电力机车的水电生态足迹很小,33a 的均值不到火电均值的 1%。33a 来,水电也在逐年上升(图 1d)。1975 年的生态足迹只有 99.03 hm²可耕地,1988 年超过 1000 hm²可耕地,2004 年已超过 5000 hm²可耕地,2007 年的生态足迹则达到 6983.47 hm²可耕地,相当于 1975 年生态足迹的 70.5 倍,从 1975 年到 2007 年电力机车水电年均生态足迹增加 215.14 hm²。就电力机车的水电生态足迹强度来说,1975—1994 年的生态足迹强度呈波动降低态势,其值由 1.19 m²/万换算吨公里降至 0.6 m²/万换算吨公里,1995—2007 年的生态足迹强度基本在 0.57 m²/万换算吨公里左右,其生态足迹强度维持在较低水平。

2.4 我国铁路机车牵引总能耗生态足迹及强度变化

如不考虑到电力机车的水电生态足迹(与火电相比,其值很小,基本可以忽略),将 3 类机车的生态足迹汇总后即可得到我国铁路机车的年生态足迹总量。从 1975 年到 2007 年,我国铁路机车生态足迹呈波动变化趋势(图 2),1975—1985 年属于波动上升期,年均生态足迹为 285.88 万 hm²,1985 年达到最高值,其值高达 312.35 万 hm²;1986—2000 年属于快速下降期,由 1986 年的 303.61 万 hm²降至 2000 年的 170.03 万 hm²,年均降低 9.54 万 hm²;2001—2007 年则进入快速上升期,由 2001 年的 174.55 万 hm²上升到 2007 年的 245.94 万 hm²,年均增加 11.90 万 hm²。

从 1975 年到 2007 年,我国铁路客货运输量不断增大,但生态足迹强度呈逐年降低态势(图 2),其值由 1975 年的 528.79 m²/万换算吨公里降至 2007 年的 85.54 m²/万换算吨公里,降幅达 83.8%,年均降低 13.85 m²/万换算吨公里,其中,1984 年以前的生态足迹强度均在 300 m²/万换算吨公里以上,1991 和 2000 年的生态足迹强度分别降至 200 m²/万换算吨公里和 100 m²/万换算吨公里以下。

3 讨论与结论

我国铁路机车和民航飞机由国家相应部门统一管理,其能耗统计数据完整规范,根据《中国交通年鉴》^[22]提供的民航飞机耗油数据,我们将铁路机车牵引能耗的生态足迹与民航飞机的能耗生态足迹进行了比较(表 1)。与民航飞机能耗生态足迹相比,2000 年以前,我国铁路机车牵引能耗生态足迹较大,是前者的数倍。但 2000 年以后,民航飞机能耗生态足迹上升较快,逐步接近并与铁路机车相当。就能耗生态足迹强度而言,铁路机车的生态足迹强度远远低于民航飞机,1991—2007 年民航飞机能耗的平均生态足迹强度为 950.55 m²/万换算吨公里,而铁路机车能耗的平均生态足迹强度只

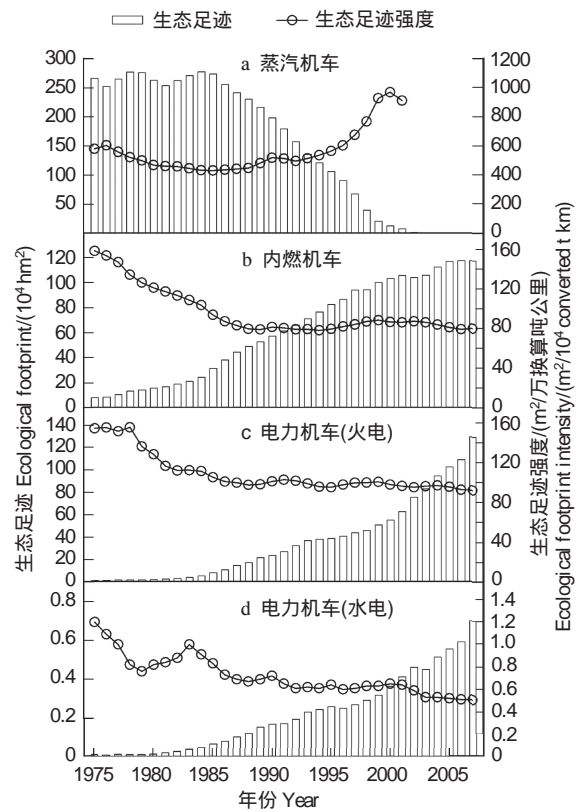


图 1 我国 3 种机车逐年牵引能耗生态足迹及其强度
Fig. 1 Annual specific ecological footprint and their intensities of three kinds of locomotive

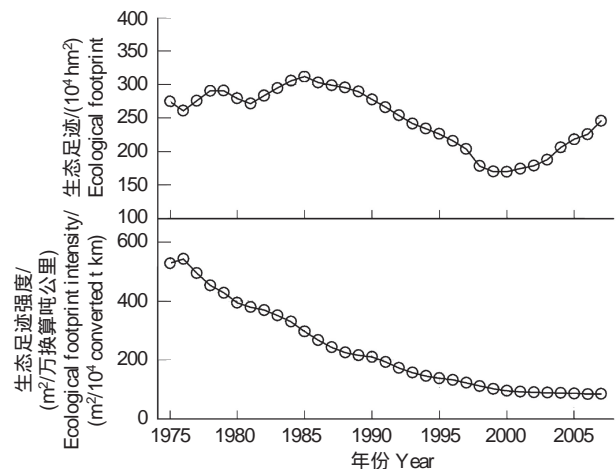


图 2 我国机车牵引生态足迹总量及其强度
Fig. 2 Total ecological footprint and its intensity of China railways locomotives

有 117.24 m²/万换算吨公里,只有前者的 12.3% (表 1)。

表 1 我国铁路机车与民航飞机的能耗生态足迹比较

Table 1 Comparison of the ecological footprints of locomotives and airplanes

| 年份 Year | 飞机能耗生态 足迹/(10 ⁴ hm ²) Ecological footprint of airplanes | 机车牵引能耗生态 足迹/(10 ⁴ hm ²) Ecological footprint of locomotives | 民航飞机能耗生态足 迹强度/(m ² /万换算吨公里) Ecological footprint intensity of airplanes | 机车牵引能耗生态 足迹强度/(m ² /万换算吨公里) Ecological footprint intensity of locomotives |
|------------|---|---|---|---|
| 1991 | 29.86 | 266.56 | 958.83 | 193.54 |
| 1992 | 38.27 | 254.40 | 912.23 | 173.10 |
| 1993 | 47.68 | 242.16 | 964.79 | 157.63 |
| 1994 | 53.02 | 234.54 | 929.88 | 146.05 |
| 1995 | 61.20 | 226.53 | 869.81 | 138.31 |
| 1996 | 67.95 | 216.20 | 879.34 | 133.10 |
| 1997 | 73.85 | 204.05 | 920.11 | 123.00 |
| 1998 | 85.14 | 178.45 | 1021.18 | 111.86 |
| 1999 | 87.35 | 170.25 | 971.01 | 102.41 |
| 2000 | 94.76 | 170.03 | 928.29 | 95.79 |
| 2001 | 120.76 | 174.55 | 1063.92 | 92.42 |
| 2002 | 135.31 | 179.23 | 1024.84 | 90.15 |
| 2003 | 136.39 | 188.09 | 1032.41 | 89.80 |
| 2004 | 177.85 | 206.38 | 959.24 | 88.87 |
| 2005 | 197.99 | 218.51 | 932.23 | 86.78 |
| 2006 | 225.6 | 226.01 | 915.23 | 84.73 |
| 2007 | 254.77 | 245.94 | 876.06 | 85.54 |

从生态足迹来源上看,蒸汽机车牵引耗用原煤、内燃机车牵引耗用柴油造成的 CO₂ 排放属于直接排放,其能耗生态足迹属于直接生态足迹。电力机车牵引耗电导致了电力生产行业的 CO₂ 排放,这属于 CO₂ 的间接排放,其能耗生态足迹属于间接生态足迹。从图 1 可以看出,电力机车的火电间接生态足迹强度比内燃机车的生态足迹强度还大,其原因与我国电力结构长期不合理有关。在我国电力构成中,火电比例太高,水电、风电、核电等清洁能源比例太低,如果火电在我国发电量中低于 50% 的话,则电力牵引所导致的间接生态足迹将大为降低。因此,大力发展水电、核电、风电等清洁能源,对我国电力行业本身和其它相关能源利用行业的节能减排工作都具有重要的意义。

电气化铁路里程占全部铁路营运里程的比例称为电气化率,从 1975 年到 2007 年,我国铁路电气化率逐步升高,20 世纪 80 年代初期以前不到 5%,80 年代末期超过 10%,90 年代末期超过 20%,2007 年的达到 37.8%。我国铁路 33 年来铁路电气化率和总生态足迹强度之间的关系可用非线性方程来拟合(图 3),根据我国中长期铁路网调整规划,到 2020 年我国铁路电气化率要达到 60% 以上^[23],可以推算到 2020 年,我国铁路机车牵引能耗生态足迹将降低为 124.7 m²/万换算吨公里。

本研究根据我国铁路部门多年的统计数据,计算了 1975—2007 年我国铁路蒸汽、内燃和电力机车逐年牵引能耗生态足迹,并分析了我国铁路运输行业的机车牵

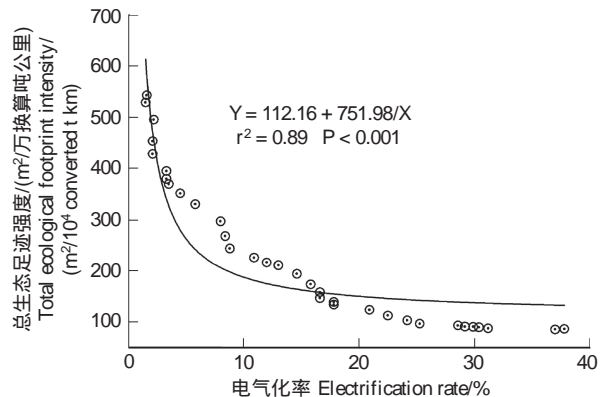


图 3 铁路电气化率与总牵引能耗生态足迹强度的关系
Fig. 3 The correlation of electrification rate with total ecological footprint intensity

引能耗生态足迹强度及其变化特点。获得的主要结论有:

(1)1975—2001年,我国铁路蒸汽机车牵引能耗生态足迹年均减少9.59万 hm^2 ,年均降低3.6%。从1975—2007年,内燃机车牵引能耗生态足迹年均增加3.41万 hm^2 ,电力机车的火电生态足迹年均增加3.99万 hm^2 ,电力机车的水电生态足迹年均增加215.14 hm^2 可耕地,我国铁路机车生态足迹总量呈波动态势。

(2)从1975—2007年,我国铁路机车牵引能耗的生态足迹强度呈逐年降低态势,其值从1975年的528.79 m^2 /万换算吨公里降至2007年的85.54 m^2 /万换算吨公里,年均降低13.85 m^2 /万换算吨公里。

References:

- [1] 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.
- [2] Cao S Y, Xie G D. Applying input-output analysis for calculation of ecological footprint of China. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(4):1449-1507.
- [3] Dong Z Q, Sun T H. Ecological footprints: calculation and analysis of ecological footprints from 1999 to 2001 in Liaoning province. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(12):2735-2739.
- [4] Yang Y D, Wang D R. Dynamic calculation and analysis of ecological footprint of Chongqing after establishing municipality status. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(6):2382-2390.
- [5] Xu Z M, Chen G D, Zhang Z Q. Measuring sustainable development with the ecological footprint method—take Zhangye prefecture as an example. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(9):1484-1493.
- [6] Cao H, Chen Q H. The dynamic change on tourist ecological footprint of Fuzhou city, Fujian province. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(11):4686-4695.
- [7] Xie H Y, Lin M Z, Chen F D, Zhao M C, Zhao H Q. The ecological impact analysis of tableware in college canteen based on ecological footprint. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(5):2669-2674.
- [8] He C L, Wu J H, Liu W L. Calculation method of cement ecological footprint. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(7):3549-3558.
- [9] Xie H Y, Tan Y J, Hu A Y, Lin K R. The analysis of paper ecological footprint. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(5):2232-2236.
- [10] Xie H Y, Chen X S, Yang M Z, Zhao H Q, Zhao M C. The ecological footprint analysis of 1kg livestock product of China. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(6):3264-3270.
- [11] Saidur R, Sattar M A, Masjuki H H, Ahmed S, Hashim U. An estimation of the energy and energy efficiencies for the energy resources consumption in the transportation sector in Malaysia. *Energy Policy*, 2007, 35(8):4018-4026.
- [12] Lenzen M. Total requirements of energy and greenhouse gases for Australian transport. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 1999, 4(4):265-290.
- [13] Liao C H, Tseng P H, Lu C S. Comparing carbon dioxide emissions of trucking and intermodal container transport in Taiwan. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2009, 14(7):493-496.
- [14] Poudenx P. The effect of transportation policies on energy consumption and greenhouse gas emission from urban passenger transportation. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2008, 42(6):901-909.
- [15] Lakshmanan T R. Factors underlying transportation CO_2 emissions in the U. S. A.: a decomposition analysis. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 1997, 2(1):1-15.
- [16] Jong J C, Chang E F. Models for estimating energy consumption of electric trains. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 2005, 6:278-291.
- [17] Chinese Railway Statistics Center. *Concise Railway Statistics*. Beijing: China Railway Publishing House, 2009.
- [18] State grid information & telecommunication Co., Ltd. Annual statistic report of power generation. State power information network, 2008. <http://www.sp.com.cn/dlsc/dltj/>.
- [19] 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.
- [20] Wang W G, Zheng G G. *Annual Report on Climate Change Actions (green book of climate change) (2009)*. Beijing: Social Sciences Academic Press, 2009.
- [21] Tong L B. *Railway Introduction*. Beijing: China Railway Publishing House, 2006.
- [22] Compilation Committee of Yearbook of China Transportation&Communications. *Yearbook of China Transportation&Communications (1992—2008)*.

Beijing: Yearbook House of China Transportation&Communications, 1992-2008.

[23] Li J. New Understanding of China Railway. Beijing: China Railway Publishing House, 2009.

参考文献:

- [2] 曹淑艳, 谢高地. 基于投入产出分析的中国生态足迹模型. 生态学报, 2007, 27(4):1449-1507.
- [3] 董泽琴, 孙铁珩. 生态足迹研究——辽宁省生态足迹计算与分析. 生态学报, 2004, 24(12):2735-2739.
- [4] 杨永奎, 王定勇. 重庆市直辖以来生态足迹的动态测度与分析. 生态学报, 2007, 27(6):2382-2390.
- [5] 徐中民, 程国栋, 张志强. 生态足迹方法:可持续性定量研究的新方法——以张掖地区 1995 年的生态足迹计算为例. 生态学报, 2001, 21(9):1484-1493.
- [6] 曹辉, 陈秋华. 福州市旅游生态足迹动态. 生态学报, 2007, 27(11):4686-4695.
- [7] 谢鸿宇, 林媚珍, 陈妃端, 赵美婵, 招华庆. 基于生态足迹的食堂餐具生态影响分析. 生态学报, 2009, 29(5):2669-2674.
- [8] 贺成龙, 吴建华, 刘文莉. 水泥生态足迹计算方法. 生态学报, 2009, 29(7):3549-3558.
- [9] 谢鸿宇, 谭韵静, 胡安焱, 林凯荣. 纸张生态足迹. 生态学报, 2008, 28(5):2232-2236.
- [10] 谢鸿宇, 陈贤生, 杨木壮, 招华庆, 赵美婵. 中国单位畜牧产品生态足迹分析. 生态学报, 2009, 29(6):3264-3270.
- [17] 铁道部统计中心. 铁路简明统计资料. 北京:中国铁道出版社, 2009.
- [18] 国网信息通信有限公司. 电力生产统计年报. 国家电力信息网, 2008. <http://www.sp.com.cn/dlsc/dltj/>.
- [19] 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.
- [20] 王伟光, 郑国光. 应对气候变化报告(2009):通向哥本哈根(气候变化绿皮书). 北京:社会科学文献出版社, 2009.
- [21] 佟立本. 铁道概论. 北京:中国铁道出版社, 2006.
- [22] 《中国交通年鉴》编辑委员会. 中国交通年鉴(1992—2008). 北京:中国交通年鉴社, 1992-2008.
- [23] 李军. 中国铁路新读. 北京:中国铁道出版社, 2009.

CONTENTS

Root system characters in growth and distribution among three littoral halophytes YI Liangpeng, WANG Zuwei (1195)

Population dynamics of endophytic bacteria isolated from the roots of infected *Cymbidium faberi* YANG Na, YANG Bo (1203)

Spatial variability of forest soil total nitrogen of different soil layers ZHANG Zhenming, YU Xinxiao, WANG Yousheng, et al (1213)

Habitat prediction for forest musk deer (*Moschus berezovskii*) in Qinling mountain range based on niche model LUO Chong, XU Weihua, ZHOU Zhixiang, et al (1221)

Growth release determination and interpretation of Korean pine and Koyama spruce in Shengshan National Nature Reserve, Heilongjiang Province, China WANG Xiaochun, ZHAO Yufang (1230)

Growth tolerance and accumulation characteristics of the mycelia of two macrofungi species to heavy metals LI Weihuan, YU Lanlan, CHENG Xianhao, et al (1240)

Characters of the OMI NO₂ column densities over different ecosystems in Zhejiang Province during 2005—2009 CHENG Miaomiao, JIANG Hong, CHEN Jian, et al (1249)

The forest gap diameter height ratio in a secondary coniferous forest of Guan Di Mountain FU Liyong, TANG Shouzheng, LIU Yingan (1260)

Landscape responses to changes in water levels at Poyang Lake wetlands XIE Dongming, ZHENG Peng, DENG Hongbing, et al (1269)

Effect of simulated nitrogen deposition on litter decomposition in a *Bambusa pervariabilis* × *Dendrocala mopsi* plantation, Rainy Area of West China TU Lihua, DAI Hongzhong, HU Tingxing, et al (1277)

Effect of aromatic plant-derived nutrient solution on the growth, fruit quality and disease prevention of pear trees GENG Jian, CUI Nannan, ZHANG Jie, et al (1285)

Influences of different plastic film mulches on temperature and moisture of soil and growth of watermelon in gravel-mulched land MA Zhongming, DU Shaoping, XUE Liang (1295)

Effects of drought stress on photosynthetic traits and protective enzyme activity in maize seedling ZHANG Renhe, ZHENG Youjun, MA Guosheng, et al (1303)

Photosynthetic diurnal variation characteristics of leaf and non-leaf organs in winter wheat under different irrigation regimes ZHANG Yongping, ZHANG Yinghua, WANG Zhimin (1312)

The root system hydraulic conductivity and water use efficiency of alfalfa and sorghum under water deficit LI Wenrao, LI Xiaoli, ZHANG Suiqi, et al (1323)

Latitudinal gradient in beta diversity of forest communities in America CHEN Shengbin, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (1334)

Influence of silts on growth and development of *Acorus calamus* and *Acorus tatarinowii* in turbid water LI Qiang, ZHU Qihong, DING Wuquan, et al (1341)

Roles of earthworm in phytoremediation of pyrene contaminated soil PAN Shengwang, WEI Shiqiang, YUAN Xin, et al (1349)

Population dynamics of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) along with analysis on the meteorological factors influencing the population in pomegranate orchards LIU Ling, CHEN Bin, LI Zhengyue, et al (1356)

Geophagy of *Macaca Thibetana* at Mt. Huangshan, China YIN Huabao, HAN Demin, XIE Jifeng, et al (1364)

The structure and dynamic of insect community in Zhalong Wetland MA Ling, GU Wei, DING Xinhua, et al (1371)

Analysis of layer progressive discriminant relations between the occurrence of *Bipectilus zhejiangensis* and soil DU Ruiqing, CHEN Shunli, ZHANG Zhengtian, et al (1378)

New mutations in hind wing vein of *Apis cerana cerana* (Hymenoptera: Apidae) induced by lower developmental temperature ZHOU Bingfeng, ZHU Xiangjie, LI Yue (1387)

18S rRNA gene variation and phylogenetic analysis among 6 orders of Bivalvia class MENG Xueping, SHEN Xin, CHENG Hanliang, et al (1393)

Laboratory study on ethology of *Spinibarbus hollandi* LI Weiming, CHEN Qiuwen, HUANG Yingping (1404)

Dynamic change in ecological footprint of energy consumption for traction of locomotives in China HE Jicheng (1412)

Approach to spatial differences analysis of urban carrying capacity: a case study of Changzhou City WANG Dan, CHEN Shuang, GAO Qun, et al (1419)

Social adaptive capacity for water resource scarcity in human systems and case study on its measuring CHENG Huaiwen, LI Yuwen, XU Zhongmin (1430)

Effects of physical leaf features of host plants on leaf-mining insects DAI Xiaohua, ZHU Chaodong, XU Jiasheng, et al (1440)

Review and Monograph

Progresses of free-air CO₂ enrichment (FACE) researches on C₄ crops: a review WANG Yunxia, YANG Lianxin, Remy Manderscheid, et al (1450)

Scientific Note

Influence of limestone powder doses on fine root growth of seriously damaged forests of *Pinus massoniana* in the acid rain region of Chongqing, China LI Zhiyong, WANG Yanhui, YU Pengtao, et al (1460)

Leaf surface microstructure of *Ligustrum lucidum* and *Viburnum odoratissimum* observed by Atomic force microscopy (AFM) SHI Hui, WANG Huixia, LI Yangyang, LIU Xiao (1471)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

| 排序 Order | 期刊 Journal | 总被引频次 Total citation | 排序 Order | 期刊 Journal | 影响因子 Impact factor |
|-------------|---|-------------------------|-------------|---------------|-----------------------|
| 1 | 生态学报 | 11764 | 1 | 生态学报 | 1.812 |
| 2 | 应用生态学报 | 9430 | 2 | 植物生态学报 | 1.771 |
| 3 | 植物生态学报 | 4384 | 3 | 应用生态学报 | 1.733 |
| 4 | 西北植物学报 | 4177 | 4 | 生物多样性 | 1.553 |
| 5 | 生态学杂志 | 4048 | 5 | 生态学杂志 | 1.396 |
| 6 | 植物生理学通讯 | 3362 | 6 | 西北植物学报 | 0.986 |
| 7 | JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY | 3327 | 7 | 兽类学报 | 0.894 |
| 8 | MOLECULAR PLANT | 1788 | 8 | CELL RESEARCH | 0.873 |
| 9 | 水生生物学报 | 1773 | 9 | 植物学报 | 0.841 |
| 10 | 遗传学报 | 1667 | 10 | 植物研究 | 0.809 |

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 5 期 (2011 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 5 2011

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

主 编 冯宗炜
主 管 中国科学技术协会
主 办 中国生态学会
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

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂
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

订 购 全国各地邮局
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

广告经营 京海工商广字第 8013 号
许 可 证

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

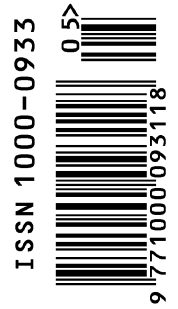
Editor-in-chief FENG Zong-Wei
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel:(010)64034563
E-mail:journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China



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