

福建省化石能源地生态承载力研究

薛若吟 (闽江学院, 福建福州 350108)

摘要 [目的]研究福建省化石能源地生态承载力。[方法]针对当前研究中忽略化石能源地生态承载力的不足,运用生态足迹法与净初级生产力相结合的计算模型,对福建省进行实证研究。[结果]福建省各市 2016 年的化石能源地生态承载力存在显著的区域差异,人均化石能源地生态承载力以厦门最低,南平最高;各市人均化石能源地生态承载力的总构成中,林地和水域近海是构成主体,大部分城市这两项之和占到了 80% 以上。[结论]该化石能源地生态承载力模型能够更合理评价能源消费的可持续性,在一定程度上完善生态足迹法。

关键词 生态足迹;化石能源地;生态承载力;净初级生产力;福建省
中图分类号 X 171 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)28-0076-03

Study on Ecological Carrying Capacity of Fossil Energy Land of Fujian Province
XUE Ruo-han (Minjiang University, Fuzhou, Fujian 350108)

Abstract [Objective] The research aimed to study the ecological carrying capacity of fossil energy land of Fujian Province. [Method] To overcome the defect of current studies of ignoring ecological carrying capacity of fossil energy land, this paper used the model which was established by combining ecological footprint analysis and net primary productivity, taking Fujian Province as a case study. [Result] In 2016, ecological carrying capacity of fossil energy land of Fujian Province showed significant regional difference, ecological carrying capacity per capita of fossil energy land of Xiamen City and Nanping City were lowest and highest respectively. In most cities of Fujian Province, forests and waters inshore account for more than 80% of the ecological carrying capacity per capita of fossil energy land. [Conclusion] The model can evaluate the sustainability of energy consumption more roundly and improve ecological footprint theory to a certain extent.

Key words Ecological footprint; Fossil energy land; Ecological carrying capacity; Net primary productivity; Fujian Province

可持续发展,就是生态环境可接受限度以内的发展,即以生态系统可承受的阈值作为人类活动的限制范围^[1]。Wakckernagel 等^[2]提出生态足迹法,用以计算区域生态承载力,作为判定区域可持续发展能力的重要指标之一。生态足迹假设土地生态功能具有单一性,只承认土地提供生物产品的功能,而否认其对 CO₂ 的吸收能力,明显低估了区域综合生态承载力^[3]。为了弥补这一不足,有学者提出将区域内吸收 CO₂ 能力较高的林地和海洋的面积相加,用于估算化石能源地生态承载力^[4],但由于世界上大部分土地实际上都参与了碳循环,此估算值会低于该区域对能源消耗的实际生态承载能力。而后,一些学者在生态足迹法中引入净初级生产力(net primary productivity, NPP),构建基于净初级生产力的化石能源地生态承载力改进模型(以下简称基于 NPP 的模型)进行计算^[1,3,5],如方恺等^[6-7]对东北地区化石能源地生态承载力进行的实证研究,朱利欣^[8]对京津冀地的生态承载力时空分布研究,魏黎灵等^[9]对闽三角城市群生态安全评价。在现有研究的基础上,笔者利用基于净初级生产力的改进模型,对福建省各市 2016 年化石能源地生态承载力进行比较分析,为促进相关研究不断深化,也为社会经济发展规划提供参考。

1 资料与方法

1.1 研究区域与数据来源 福建省位于我国东南沿海,简称“闽”,土地面积 12.4 万 km²,陆地海岸线长 3751.5 km,2016 年人口 3 874 万人,辖福州(包括平潭综合实验区)、莆田、泉州、厦门、漳州、龙岩、三明、南平和宁德,共 9 个地级市和 1

个综合实验区^[10]。

此次研究所涉及的福建省各个城市的生态生产性土地资源的数据主要来源于福建省和省域内各个城市 2016 年统计年鉴,以及第二次全国土地调查主要数据成果公报中福建及所辖地区的数据成果^[11]。

1.2 基于净初级生产力的化石能源地生态承载力模型

1.2.1 基本原理。化石能源地生态承载力是指区域可提供的吸收 CO₂ 的生态生产性土地总面积^[6]。从目前研究结果可知,不仅不同类型土地的 CO₂ 吸收能力有很大差别,即便是同类型土地的 CO₂ 吸收能力也会随着具体区域和时间的不同而各有高低。因此,在使用基于 NPP 的模型计算时,可借鉴生态足迹法^[12],将研究区域内各类生态生产性土地面积经过均衡因子和转换因子的调整,换算成具有全球平均 NPP 的面积数值,此计算结果可以更好地在不同区域间进行直接比较。

1.2.2 区域平均净初级生产力计算。将研究区域内各类生态生产性土地的 NPP 和相对应的土地面积相乘后加和,计算区域总 NPP。区域平均 NPP 是区域总 NPP 与区域生态生产性土地总面积相比较的结果^[6],计算公式如下:

$$\overline{\text{NPP}} = \frac{\sum_{j=1}^m A_j \times \text{NPP}_j}{\sum_{j=1}^m A_j} \quad (1)$$

式中, $\overline{\text{NPP}}$ 为区域平均净初级生产力; NPP_j 为第 j 类生态生产性土地净初级生产力; A_j 为第 j 类生态生产性土地面积。为使计算结果更便于进行区域间比较,各类生态生产性土地的 NPP 取全球平均值(表 1)。

1.2.3 均衡因子和转换因子计算。将表 1 中各类生态生产性土地的平均 NPP 及该类土地全球总面积代入公式(1)计算全球 NPP。均衡因子是分别将各类生态生产性土地的平均

基金项目 福建省中青年教育科研项目(JAT170465)。
作者简介 薛若吟(1978—),女,福建福州人,讲师,硕士,从事生态环境研究。
收稿日期 2018-08-04

均 NPP 与全球 NPP 相比而得出^[6],结果如表 1 所示,计算公式如下:

$$r_j = \text{NPP}_{j, \text{glo}} / \text{NPP}_{\text{glo}} \tag{2}$$

表 1 各类生态生产性土地的全球平均净初级生产力及其均衡因子^[4]
Table 1 Global average of net primary productivity and equivalence factor of each type of ecological productive land

土地类型 Type of land	净初级 生产 力 Net primary productivity tC/(hm ² ·a)	生态生 产面积 Ecological productive area//×10 ⁸ hm ²	均衡因子 Equiv- alence factor
耕地 Cultivated Land	4.243	14.8	2.121
林地 Forest Land	6.583	36.1	3.292
草地 Grazing Land	4.835	29.8	2.418
建设用地 Construction land	0.997	2.0	0.498
水域和近海 Waters and inshore	5.344	21.3	2.672
低生产力地 Low productivity land	2.080	66.1	1.040
远海 High seas	0.959	343.6	0.480

注:低生产力地指除上述土地类型外的陆地面积;近海指大陆架渔场面积;远海指除近海外的区域所属海域
Note: Low productivity refers to the land area except the above land types; offshore refers to the area of the continental shelf fishery; open sea refers to the sea area except offshore

式中, r_j 为第 j 类生态生产性土地的均衡因子; $\text{NPP}_{j, \text{glo}}$ 为第 j 类生态生产性土地全球平均净初级生产力; NPP_{glo} 为全球净初级生产力。

转换因子 cf_{fel} 来自区域平均 NPP 与全球 NPP 的比较^[6],计算公式如下:

$$\text{cf}_{\text{fel}} = \frac{\overline{\text{NPP}}}{\text{NPP}_{\text{glo}}} \tag{3}$$

1.2.4 基于 NPP 的化石能源地生态承载力计算。运用均衡因子和转换因子对研究区域内各类生态生产土地面积进行调整,将其转换成具有全球平均 NPP 的土地面积^[6],计算公式如下:

$$\text{ECC}_{\text{fel}} = N \times \text{ecc}_{\text{fel}} = \text{cf}_{\text{fel}} \times \sum_{j=1}^m A_j \times r_j \tag{4}$$

式中, ECC_{fel} 为研究区域化石能源地生态承载力; ecc_{fel} 为区域人均化石能源地生态承载力; N 为研究区域人口数; A_j 为研究区域内第 j 类生态生产性土地面积。

2 结果与分析

2.1 区域净初级生产力和转换因子 将福建省各个城市的生态生产性土地资源的数据和表 1 数据,代入公式(2)和公式(3),计算福建省各市 2016 年的区域 NPP 和转换因子,计算结果见表 2。

由表 2 可知,福建省各市 2016 年区域 NPP 相差较大,其中最高的是三明,为 5.993 tC/(hm²·a);其次是龙岩,为 5.990 tC/(hm²·a);再次是南平,为 5.967 tC/(hm²·a);而后依次为福州、莆田、泉州、漳州、厦门;最低的是宁德,其区域 NPP 远低于省内其他城市。转换因子呈现同样的排序,三明最高,为 2.997;宁德最低,为 1.331。总体而言,福建省各市的区域 NPP 呈现内陆城市高于沿海城市的趋势。这是因为区域 NPP 受该区域内各类生态生产性土地面积比例的影响大,若研究区域内林地、草地等高 NPP 生态生产土地面积所

占比例较大,则区域 NPP 值较高,反之区域 NPP 值较低。此外,若该年份当地的水热等气象条件较好,区域 NPP 也会相应的较高。福建省是全国森林覆盖率最高的省份之一,林地是高 NPP 的生态系统,而福建省的林地主要分布于龙岩、三明和南平 3 个内陆城市,因此,它们的区域 NPP 计算结果较高;而宁德的林地面积占其区域面积比例相比省内其他城市明显偏低,则宁德的区域 NPP 计算结果也就最低。

表 2 2016 年福建省各市区 NPP 和转换因子
Table 2 Regional NPP and conversion factor of cities in Fujian Province in 2016

地区 Area	区域 NPP Regional NPP tC/(hm ² ·a)	转换因子 Conversion factor
福州 Fuzhou	5.337	2.668
莆田 Putian	5.238	2.619
泉州 Quanzhou	4.986	2.493
厦门 Xiamen	4.223	2.111
漳州 Zhangzhou	4.891	2.446
龙岩 Longyan	5.990	2.995
三明 Sanming	5.993	2.997
南平 Nanping	5.967	2.983
宁德 Ningde	2.663	1.331

2.2 福建省各市人均化石能源地生态承载力 将福建省各市的生态生产性土地的相关数据和表 2 计算结果代入公式(4),计算 2016 年福建省各市区化石能源地生态承载力,计算结果见表 3。由表 3 可知,2016 年福建省化石能源地生态承载力总量为 13 804.89 万 hm²,其中生态承载力总量最大的是南平,占全省生态承载力总量的 16.94%,第二、三位的分别是福州和三明,生态承载力总量最小的是厦门。对全省化石能源地生态承载力贡献最大的土地类型为林地,达 7 506.62 万 hm²,占全省总量的 54.38%,即 2016 年福建省一半以上的生态承载力来自林地;其次为水域和近海,共 4 454.47 万 hm²,占全省总量的 32.27%;再次为耕地,共 1 163.38 万 hm²,占比为 8.43%;最少的是建设用地,仅为 93.59 万 hm²,占比仅为 0.68%。

根据 2016 年福建省人口数据以及表 3 数据,计算 2016 年福建省各市人均化石能源地生态承载力,计算结果见表 4。表 4 显示,2016 年福建省各市人均化石能源地生态承载力由高到低依次为南平、三明、龙岩、莆田、漳州、宁德、福州、泉州、厦门,其中南平最高,为 8.79 hm²;厦门最低,为 0.24 hm²,前者是后者的 36.63 倍,比两市的总化石能源地生态承载力间的差距更大。南平、三明、龙岩、莆田、漳州这 5 个城市的人均生态承载力都高于全省平均水平 3.56 hm²,其中最高的南平的人均生态承载力是全省平均水平的 2.47 倍;宁德的与全省平均水平持平;而厦门的仅为全省平均水平的 6.74%。表明在福建省内,就缓冲和调节能源消费而言,各市的能力不均衡,南平最强,厦门则最弱。这不仅与各市的区域 NPP 有关,也明显受到经济发展和人口集聚等其他因素的影响。如虽然宁德的区域 NPP 是全省最低的,但由于经济实力在省内相对较弱,人口密度低,人均化石能源地生态承载力居

于全省中游水平。反观福建省经济实力较强的厦门、泉州、福州三市,其经济发展带来土地类型结构变化,不断向以建设用地等低 NPP 土地类型为主的结构发展。另一方面,由于经济发展吸引的人口不断增加,这 3 个城市也是福建省内人口密度最大的 3 个城市。这两方面的影响共同作用下,福州、泉州、厦门的人均化石能源生态承载力明显低于省内其他城市。

表 3 2016 年福建省各市区域化石能源地生态承载力

Table 3 Ecological carrying capacity of fossil energy land of cities in Fujian Province in 2016

×10⁴ hm²

地区 Area	耕地 Cultivated land	林地 Forest land	草地 Grazing land	建设用地 Construction land	水域和近海 Waters and inshore	低生产力地 Low productivity land	远海 High seas	合计 Total
福州 Fuzhou	125.53	616.75	6.78	14.79	1 301.01	13.46	0.00	2 078.32
莆田 Putian	58.49	206.06	62.06	4.44	779.24	13.05	0.00	1 123.34
泉州 Quanzhou	140.51	465.15	21.83	19.93	799.07	43.75	0.00	1 490.24
厦门 Xiamen	16.75	34.27	0.61	5.79	34.75	0.94	0.00	93.11
漳州 Zhangzhou	221.77	481.18	17.09	11.82	1 108.86	13.38	29.08	1 883.18
龙岩 Longyan	121.96	1 510.16	23.25	11.07	28.97	11.37	0.00	1 706.78
三明 Sanming	168.05	1 808.53	25.07	11.49	36.03	13.15	0.00	2 062.32
南平 Nanping	236.41	2 008.48	24.31	11.01	44.96	13.99	0.00	2 339.16
宁德 Ningde	73.91	376.04	14.68	3.25	321.58	6.83	232.15	1 028.44
合计 Total	1 163.38	7 506.62	195.68	93.59	4 454.47	129.92	261.23	13 804.89

表 4 2016 年福建省各市人均化石能源地生态承载力

Table 4 Ecological carrying capacity per capita of fossil energy land of cities in Fujian Province in 2016

hm²

地区 Area	耕地 Cultivated land	林地 Forest land	草地 Grazing land	建设用地 Construction land	水域和近海 Waters and inshore	低生产力地 Low productivity land	远海 High seas	合计 Total
福州 Fuzhou	0.17	0.81	0.01	0.02	1.72	0.02	0.00	2.75
莆田 Putian	0.20	0.71	0.21	0.02	2.70	0.05	0.00	3.89
泉州 Quanzhou	0.17	0.54	0.03	0.02	0.93	0.05	0.00	1.74
厦门 Xiamen	0.04	0.09	0.00	0.02	0.09	0.00	0.00	0.24
漳州 Zhangzhou	0.44	0.95	0.03	0.02	2.20	0.03	0.06	3.73
龙岩 Longyan	0.47	5.74	0.09	0.04	0.11	0.04	0.00	6.49
三明 Sanming	0.66	7.09	0.10	0.05	0.14	0.05	0.00	8.09
南平 Nanping	0.89	7.55	0.09	0.04	0.17	0.05	0.00	8.79
宁德 Ningde	0.26	1.30	0.05	0.01	1.11	0.03	0.80	3.56

根据表 4 数据,计算 2016 年福建省各市不同土地类型人均化石能源地生态承载力结构比例,计算结果见表 5。福建省各市的人均化石能源地生态承载力构成百分比最高的两类土地是林地和水域近海。除厦门和宁德外,其余各市的林地和水域近海两项之和都超过当地承载力的 80%,其中,福州这两项数值之和更是高达 90%以上。除宁德以外,各市构成比例居第三位的皆为耕地,后几位构成顺序有所不同,但是大多数城市都呈现草地>低生产力地>建设用地的趋势。

宁德和漳州比省内其他城市多出远海一项,且宁德的此项数值占到当地人均化石能源地生态承载力的22.57%。这种构成比例与福建省的区域资源禀赋有很大关系,闽北山区分布着丰富的林地资源,而闽南东南沿海有着大面积天然的大陆架渔场,这些就成了吸收碳排放的主力。所以,福建省各市的人均化石能源地生态承载力形成了内陆城市以林地为主、沿海城市以水域近海为主的结构。

表 5 2016 年福建省各市人均化石能源地生态承载力结构

Table 5 Composition of ecological carrying capacity per capita of fossil energy land of cities in Fujian in 2016

%

地区 Area	耕地 Cultivated land	林地 Forest land	草地 Grazing land	建设用地 Construction land	水域和近海 Waters and inshore	低生产力地 Low productivity land	远海 High seas
福州 Fuzhou	6.04	29.67	0.33	0.71	62.60	0.65	0.00
莆田 Putian	5.21	18.34	5.52	0.40	69.37	1.16	0.00
泉州 Quanzhou	9.43	31.21	1.46	1.34	53.62	2.94	0.00
厦门 Xiamen	17.99	36.80	0.66	6.22	37.32	1.01	0.00
漳州 Zhangzhou	11.78	25.55	0.91	0.63	58.88	0.71	1.54
龙岩 Longyan	7.15	88.48	1.36	0.65	1.70	0.66	0.00
三明 Sanming	8.15	87.69	1.21	0.56	1.75	0.64	0.00
南平 Nanping	10.11	85.86	1.04	0.47	1.92	0.60	0.00
宁德 Ningde	7.19	36.56	1.43	0.32	31.27	0.66	22.57

促进秸秆应收尽收,建立完善的秸秆收集服务组织和网络,积极扶持秸秆收储运服务组织发展,建立规范的秸秆收储运场所,促进秸秆后续利用,鼓励社会资本参与秸秆收集和利用工作,逐步实现秸秆收储的专业化和市场化。

4.2.4 拓宽秸秆利用渠道。推广“秸秆-家畜养殖-沼气工程-沼气集中供气”“秸秆-沼气工程-沼渣-高效肥料-特色种植”“秸秆-沼气工程-沼液-果蔬灌溉”等循环利用模式;积极探索代料栽培,利用农作物秸秆部分代替木料栽培木腐类食用菌的新路子;推广秸秆“三贮一化”(青贮、黄贮、微贮、氨化)技术,鼓励养殖户利用秸秆发展牛羊等草食畜牧业生产;围绕农村改厨行动,推广生物质灶具代替传统燃具,鼓励村民使用生物质固体燃料;支持秸秆代木、纤维原料、清洁制浆、生物质能、商品有机肥等渠道的发展,完善配套产业及下游产品开发,延伸秸秆综合利用产业链。

4.2.5 开展全域试点示范。积极开展全域综合利用试点示范,开展全产业链政策补贴,实现区域资源有机整合、产业深度发展和社会共同参与的良好态势,拓展秸秆综合利用领域,推动秸秆转化及增值产品开发,实现全域秸秆全量综合利用,形成典型案例,并在全市复制推广。

4.3 完善奖补政策,引导社会参与 通过财政奖补政策,实行适度的财政补贴,各地要按照属地管理原则,将秸秆禁烧

和综合利用纳入财政专项预算,设立财政奖补资金。对各类利用秸秆的工业企业及收储运项目,优先出台政策扶持;对纳入四川省农机购置补贴机具种类范围的秸秆综合利用机械应补尽补;对利用秸秆进行工业化生产的企业落实增值税即征即退优惠、企业所得税优惠政策;积极引导金融资源向秸秆综合利用企业倾斜;加大土地、电力、科技等支持政策;鼓励和引导社会资本积极投向秸秆综合利用产业,逐步建立起政府引导、社会投入、市场运作的产业发展机制。

参考文献

- [1] 李金红.新时期推动农作物秸秆综合利用方式转变的思考[J].天津农业科学,2013,19(12):80-83.
- [2] 方放,李想,石祖梁,等.黄淮海地区农作物秸秆资源分布及利用结构分析[J].农业工程学报,2015,31(2):228-234.
- [3] 董照锋,张乐,林娟,等.商洛市农作物秸秆资源现状调查及利用潜力分析[J].陕西农业科学,2010,56(2):126-128.
- [4] 张文.汉中市秸秆禁烧现状与利用对策[J].南方农业,2014,8(15):70-71.
- [5] 李良玉,李兰,蔡良俊,等.成都市农作物秸秆综合利用实践[J].安徽农业科学,2014,42(4):1132-1133.
- [6] 石祖梁,杨四军,常志州,等.秸秆产生利用现状调查与禁烧面临难点分析:以江苏省某乡镇为例[J].农业资源与环境学报,2014,31(2):103-109.
- [7] 高翔.江苏省农作物秸秆综合利用技术分析[J].江西农业学报,2010,22(12):130-133.
- [8] 王红彦,王飞,孙仁华,等.国外农作物秸秆利用政策法规综述及其经验启示[J].农业工程学报,2016,32(16):216-222.

(上接第78页)

3 结论与讨论

研究表明,福建省各市2016年区域NPP相差较大,林地等高NPP生态生产性土地面积占比高的城市区域NPP也高。2016年,福建省各市人均化石能源地生态承载力也存在显著差异,南平最高,厦门最低。除了因为福建省各市区域资源禀赋不同之外,建设用地等低NPP土地类型的扩张和人口集聚也是影响人均化石能源地生态承载力的主要原因。对生态承载力结构的分析表明,林地、水域近海和耕地是福建省大部分城市人均化石能源地生态承载力的主要组成部分。

现阶段,闽东南经济发达区域的城市人均生态承载力较低,生态脆弱。因此,建议福建省采取相应措施,提高区域对能源消费的承载能力。首先,抓住“一带一路”的契机,继续发展低碳循环产业。其次,尽可能提高用地效率,杜绝自然资源的粗放型利用,使得土地利用结构更加合理化,以提升生态承载力。再次,对于已经过度开发的资源,必须加强生态保护修复。尤其是对林地、水域近海和耕地等福建省化石能源地生态承载力的构成主体,更要以立法、加强管理、积极鼓励等各种手段严守生态保护底线,切实保护好各类生态系统。

该研究运用基于NPP的模型来计算时,考虑了各种土地类型的碳吸收作用,可以认为是结合实际区域资源禀赋情况对现有生态足迹法进行改进,计算结果能更有效地在区域间进行比较。

该研究仍存在一些不足,如区域内各类型生态生产性土地的NPP尚无统一的计算模型,由于世界范围内同一土地类型的NPP相差不多,故暂以表1所列的全球平均值代入计算。此外,此次研究着重对研究区域自然因素的影响进行研究,未对当地的科技、管理等人为因素的影响进行估算,更完善的方法有待进一步研究。

参考文献

- [1] 谢高地,周海林,鲁春霞,等.我国自然资源的承载力分析[J].中国人口·资源与环境,2005,15(5):93-98.
- [2] WACKERNAGEL M, REES W E. Perceptual and structural barriers to investing in natural capital: Economics from an ecological footprint perspective [J]. Ecological economics, 1997, 20(1): 3-24.
- [3] 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[J].自然资源学报,2010,25(6):1013-1021.
- [4] VENETOULIS J, TALBERTH J. Refining the ecological footprint [J]. Environment development and sustainability, 2008, 10(4): 441-469.
- [5] 符国基,徐恒力,陈文婷.海南省自然生态承载力研究[J].自然资源学报,2008,23(3):412-421.
- [6] 方恺,沈万斌.CO₂排放承载力计算模型的构建与应用[J].生态科学,2010,29(6):558-562.
- [7] 方恺,沈万斌,郑沁敏,等.化石能源地生态承载力研究[J].环境科学与技术,2011,34(12):201-205.
- [8] 朱利欣.基于MODIS数据的京津冀地区NPP及生态足迹和生态承载力时空分布研究[D].石家庄:河北师范大学,2018.
- [9] 魏黎灵,李岚彬,林月,等.基于生态足迹法的闽三角城市群生态安全评价[J].生态学报,2018,38(12):4317-4326.
- [10] 福建省统计局.福建统计年鉴2017[M].北京:中国统计出版社,2017.
- [11] 福建省国土资源厅.福建省第二次全国土地调查主要数据成果公报[EB/OL].(2014-07-04)[2018-07-20].http://www.mlr.gov.cn/tdzt/tdgl/decdc/dccg/gscg/201407/t20140704_1322754.htm.
- [12] FIALA N. Measuring sustainability: Why the ecological footprint is bad economics and bad environmental science [J]. Ecological economics, 2008, 67(4): 519-525.