

中国省域生态环境风险评估与污染产业布局优化

李创^{1, 2} 夏文静¹ 王丽萍³¹

(1. 河南理工大学 能源经济研究中心, 中国河南 焦作 454000;

2. 集美大学 工商管理学院, 中国福建 厦门 361021;

3. 集美大学 财经学院, 中国福建 厦门 361021)

【摘要】: 文章基于生态足迹理论量化分析了中国 30 个省份 2000—2015 年的生态环境状况, 实证检验污染产业转移对生态环境的影响, 并对 2035、2050 年的生态可持续性指数进行预测分析, 在此基础上设计中国污染产业发展的空间布局。研究表明: (1) 中国各省区的生态环境面临严峻挑战, 生态足迹在 2000—2015 年快速增长, 基本形成三大梯度区间, 即以山东—河北—江苏为代表的环渤海湾到长三角的高位足迹带, 以湖南—湖北为代表的长江中游的中位足迹带, 以广西—贵州—青海为代表的低位足迹带。(2) 生态承载力呈现整体稳中有升, 北部沿边省区有较快增长, 而京沪和东南部沿海省区有不同程度的降低。(3) 全国 30 个省区的生态压力呈快速增长态势, 处于非常安全的省区数量不断减少, 处于极度不安全状态的省区 2015 年已达 24 个。(4) 从产业类型看, 重度和中度污染产业转入对生态环境的负面影响比较明显; 从产业转移方式看, 结构转移不利于承接地的生态环境保护, 竞争力转移则有利于减少资源消耗。(5) 根据生态可持续性指数, 将中国 30 个省区划分为重点引入区、优化引入区、限制引入区和禁止引入区四大区域, 为未来我国污染产业的空间布局提供参考。

【关键词】: 生态环境 空间布局 生态足迹 产业转移

【中图分类号】: F121.3 **【文献标志码】:** A **【文章编号】:** 1000-8462 (2021) 07-0183-10

经济全球化趋势下, 发达国家迫于环境管制强度不断增加的压力, 把目光投向环境管制较松且急于发展经济的发展中国家, 把一些技术含量低、环境污染重的产业转向经济欠发达地区。污染产业的转入带来经济增长的同时也伴随着严重的环境污染问题, 由此引发了“污染避难所假说”^[1]。一部分学者认为, 环境管制是污染产业转移的主要影响因素^[2], 也有人提出, 外商投资是带动污染产业跨区域转移的主要原因^[3]; 还有学者认为“污染避难所假说”不存在或只是短期现象^[4]。在中国, 由于区域经济水平差异化明显, 率先发展起来的东部地区在经济体制改革和产业结构转型升级中需要将污染产业转出, 而经济落后的中西部地区为了发展经济, 抛出各种优惠政策吸引污染产业入驻^[5]。因此, 中国污染产业在跨区域转移过程中如何避免出现“污染避难所”现象, 实现经济增长与环境保护的双赢是各级政府必须考虑的问题。在此背景下, 高度重视污染产业与生态环境的交互影响, 科学研判未来我国各地生态环境的可持续性, 谋划我国污染产业的空间布局, 对于指导各地合理有序推进产业结构调整和实现经济高质量发展具有重要的理论和现实意义。

作者简介: 李创(1975-), 男, 辽宁辽阳人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为环境经济。E-mail:lich607@sina.com

王丽萍(1977-), 女, 山西昔阳人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为环境经济。E-mail:wangliping18@sina.com

基金项目: 国家社会科学基金一般项目(19BJY086);福建省社会科学规划一般项目(FJ2020B112);福建省中青年骨干教师教育科研项目(社科类, JAS20151);河南省高等学校重点科研项目(21A790010);河南省高校人文社会科学研究一般项目(2021-ZZJH-135)

1 文献综述

随着污染产业转移研究的不断深入,学术界除了关注产业转移带来的经济增长、产业结构变化、劳动力就业、城镇化建设等诸多红利之外,围绕承接地的污染物排放以及环境退化问题也进行了大量研究。在国际研究中,学者们多从国际贸易、外商投资视角研究产业转移与环境污染的关系,如 Bakhsh 等运用最小二乘法分析了巴基斯坦外商投资、环境退化与经济增长之间的关系,研究发现外商投资促进巴基斯坦经济增长的同时也造成了环境退化^[6];Liu 等研究发现,FDI 的流入会对不同环境污染物产生负面影响^[7]。在国内,随着西部大开发战略和中部崛起战略的实施,中国新一轮产业结构调整步伐持续加快,中西部地区在产业结构调整方面是否存在污染产业转入问题引起了政界和学术界的高度重视^[8]。如胡静寅、豆建民、惠炜等在西部地区、中部地区和中国省级层面的研究成果都得出“污染避难所”在中国存在的结论^[9-11],甚至有学者认为,污染产业省际转移不仅会导致承接地环境污染加剧,还会对邻地环境造成破坏^[12]。但也有学者认为,高污染产业转移与环境污染之间并非线性增长关系,这与环境管制强度的高低有关^[13]。不同于以上研究,朱东波、欧阳艳艳等则认为,中国企业的对外直接投资可以降低母国污染物的排放,进而改善本地环境^[14-15]。

学者们关于污染产业转移经济效应的看法比较统一,但得出的环境效应的结论并不一致,这与衡量环境污染的标准不一有关。有不少学者用各类污染物排放量作为衡量环境质量的指标;也有研究从污染治理视角来测度环境污染程度,如采用污染治理投资额或环境管制强度等指标。鉴于环境污染涉及大气、水域、土壤、植被等诸多方面,生态环境又是一个复杂的有机系统,单一的研究指标可能会导致研究结果存在某种片面性,不能全面衡量生态环境的整体状况。因此,非常有必要采用一种综合、可靠的方法来衡量环境污染情况。而生态足迹理论作为一种综合评估人类活动对生态环境造成的压力的方法自提出以来被广泛应用^[16]。研究内容既涵盖了全球尺度^[17]、国家尺度^[18]、区域尺度^[19]等宏观层面,又包括旅游^[20]、校园^[21]、交通^[22]和食物消费^[23]等微观层面。遗憾的是,将生态足迹理论用于污染产业转移对环境的影响的研究却很少。此外,在研究污染产业转移的动因时,现有文献普遍认为,污染产业从严厉环境管制地区向宽松环境管制地区转移,就意味着“污染避难所”假说成立。虽然环境治理越严环境质量趋好的可能性越大,但环境管制力度不能直接等同于环境质量。环境质量好坏除了与人为的环境管制有关之外,还有一个非常重要的因素即当地的自然环境容量。因此,生态承载力是污染产业转移必须考虑的重要因素。

通过梳理相关文献发现,关于污染产业转移和生态足迹的研究内容都很丰富,但现有研究主要关注污染产业转移之后的生态环境效应,尤其是以污染避难所假说的检验研究为代表,对污染产业转移前的空间布局关注不足,且前者属于事后治理的环境管理理念,与我国环保法强调“预防为主、防治结合”的绿色发展理念不符。另外,鲜有文献将生态承载力与污染产业转移结合起来研究区域产业布局。鉴于此,本文以我国生态文明建设理念为指导,充分利用生态足迹理论在生态环境评估方面的独特优势,在污染产业转移前对承接地的生态环境进行综合评估,并根据各地的生态环境可持续性指数对中国各省区进行区域规划,以期污染产业的科学合理布局提供决策参考。

2 研究方法 with 数据来源

2.1 研究方法

(1)生态足迹 (Ecological Footprint, EF)。1990 年代由加拿大学者 Rees 和 Wackernagel 提出的生态足迹理论,是一种基于可比的土地面积来定量评价生态系统可持续性的方法^[16]。本文旨在评价省级层面的整体生态环境可持续性,因此采用的是综合性生态足迹的计算模型,计算公式如下:

$$EF = N \times ef = N \times \sum(aa_i) = N \times r_i \times \sum\left(\frac{c_i}{p_i}\right) \quad (1)$$

式中：EF 为地区生态足迹；N 为人口总数；ef 为人均生态足迹；i 为消费项目的类型； r_i 为 i 种消费品对应土地类型的均衡因子； aa_i 为 i 种消费品折算的人均生物生产性土地面积； c_i 为 i 种消费品的人均生产量； p_i 为 i 种消费品的全球平均单位面积产量。

计算生态足迹时选取了六类生态生产性土地上的主要产品。生态足迹由两部分组成：生物资源账户和能源消费账户。在计算能源消费项目的生态足迹中，需先将这些能源消费数据乘上相应的能源折算系数，再代入公式（1）中计算，本文中用到的能源折算系数以及全球能源足迹账户采用的是世界粮农组织 1993 年计算的结果。

(2) 生态承载力 (Ecological Carrying capacity, EC)。生态足迹反映的是人类活动所消耗的生物生产性土地面积，而生态系统自身的生物生产性土地供给能力则需通过生态承载力指标来表示，生态承载力的大小反映出该地区所能提供的自然资源以及吸收人类所产生的废物的能力^[24]。计算公式如下：

$$EC = N \times ec = N \times \sum a_j \times r_j \times y_j \quad (2)$$

式中：EC 为生态承载力；ec 为人均生态承载力； a_j 为人均实际占有的 j 类生物生产性土地面积； r_j 为均衡因子^[25]，即耕地和建筑用地 2.21、林地 1.34、草地 0.49、水域 0.2、化石燃料地 1.34； y_j 为产量因子^[26]，即耕地 1.66、林地 0.91、草地 0.19、水域 1.0、建设用地 1.66。在此基础上，扣除 12% 的生物生产性土地面积用于生物多样性保护。

(3) 生态压力指数 (Ecological Tension Index, ETI)。为了进一步反映各地的生态供需关系，本文基于生态足迹和生态承载力测算了生态压力指数，计算公式如下：

$$ETI = (EF - EC) / EC \quad (3)$$

2.2 研究区域与数据说明

(1) 研究区域。本文将中国 30 个省份（除去数据缺失严重的中国港澳台和西藏地区）划分为东、中、西和东北四大区域，其中东部地区包括北京、天津、河北、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、海南共 10 个省区；中部地区包括山西、河南、江西、安徽、湖南、湖北共 6 个省份；西部地区包括内蒙古、广西、重庆、四川、贵州、云南、陕西、青海、甘肃、宁夏、新疆共 11 个省区；东北地区包括辽宁、吉林、黑龙江共 3 个省区。

(2) 数据说明。世界联合国粮农组织的数据显示，中国主要的粮食（稻谷、小麦和玉米等）很少出口，大部分用于本国自销，且近几年的自销率基本维持在 98%，因此，产量和消费量的数据差异可忽略不计，本文在计算生态足迹时使用各项生物资源的产量数据代替消费量。全球平均单位面积产量以世界粮农组织统计库 2000 年的数据为准，但木材、油料、糖类、蔬菜、水果的全球平均单位面积产量依然采用 1993 年的统计数据。本文所需原始数据来自联合国粮农组织数据库、中国社会与经济发展统计数据库、《中国人口和就业统计年鉴》《中国能源统计年鉴》、各省区各年份的统计年鉴、国家林业局网站、中华人民共和国统计局网站等；计算污染产业转移量所需原始数据来自《中国工业统计年鉴》《中国环境统计年鉴》。除个别数据缺失外（已采用插值法处理），数据整体上连贯性较好。

3 中国省域生态环境风险评估

3.1 生态足迹时空格局演变

从总体看, 2000—2015 年各省区的生态足迹快速增长, 基本形成了三大梯度区间, 即以山东—河北—江苏为代表的环渤海湾到长三角的高位生态足迹带, 以湖南—湖北为代表的长江中游的中位生态足迹带, 以广西—贵州—青海为代表的低位生态足迹带 (图 1)。2000 年, 生态足迹处于高位的地区以北京为中心向四周扩散, 到 2005 年, 该区域迅速向中部和东北扩大, 说明中部崛起和振兴东北老工业基地战略的实施带动地区经济快速发展的同时也消耗了大量自然资源。生态足迹处于中位的地区在中西部地区集聚明显, 生态足迹处于低位的省份在逐渐减少, 生态足迹在 $1.0 \times 10^8 \text{ghm}^2$ 以下的省区数量从 2000 年的 25 个减少到 2015 年的 10 个。值得注意的是, 在 2000—2015 年生态足迹增长最快的是宁夏 (493.5%), 而同期宁夏的 GDP 增速为 101.68%, 反映出宁夏对生态环境的重视不够, 存在盲目索取、资源浪费和效率低下等问题; 与之形成鲜明对比的是, 在此期间北京市用 3.49% 的生态足迹增量推动了 68.77% 的经济增长, 这充分说明高质量、高附加值经济发展模式可以显著减少资源消耗。综合其他省区的实际 GDP 增速来看, 2000—2015 年全国 29 个省区的生态足迹增速都显著超过了实际经济增速, 这一现象说明中国经济发展存在“资源换增长”的问题。

3.2 生态承载力时空格局演变

从图 2 看出, 中国 30 个省份的生态承载力呈现整体稳中有升, 北部沿边省区 (新疆、内蒙古和黑龙江) 有较快增长, 而京沪和南部沿海省区 (浙江、福建和广东) 有不同程度的降低。首先, 2000—2015 年, 北京、上海、浙江、天津、福建、陕西和广东 7 个省区的生态承载力有所减少, 尤其是前 3 个省区降幅分别达到了 27%、24% 和 18%, 其他 4 个省区的降幅在 10% 以内。有 23 个省区的生态承载力表现为增长态势, 新疆的增幅最大 (58%), 可能与该地区近些年持续的土地沙漠化治理、人工林种植等有很大关系。其次, 从省区间的差异来看, 内蒙古地区生态承载力在研究期内一直是全国最大的且呈增长态势, 2015 年为 7811.67 万 ghm^2 , 与 2000 年相比增幅为 7.3%; 黑龙江、四川、云南和河南的生态承载力次之, 总量也都超过了 5000 万 ghm^2 。相比之下, 上海市的生态承载力一直是全国最小的, 2015 年仅为 130.92 万 ghm^2 , 是内蒙古的 1.67%, 省际生态承载力的悬殊较大。最后, 从全国平均水平来看, 2015 年的生态承载力为 2908.59 万 ghm^2 , 较 2000 年有小幅增长, 增幅为 8%, 因此, 我国整体生态容量有所增加但省区间呈差异化发展。

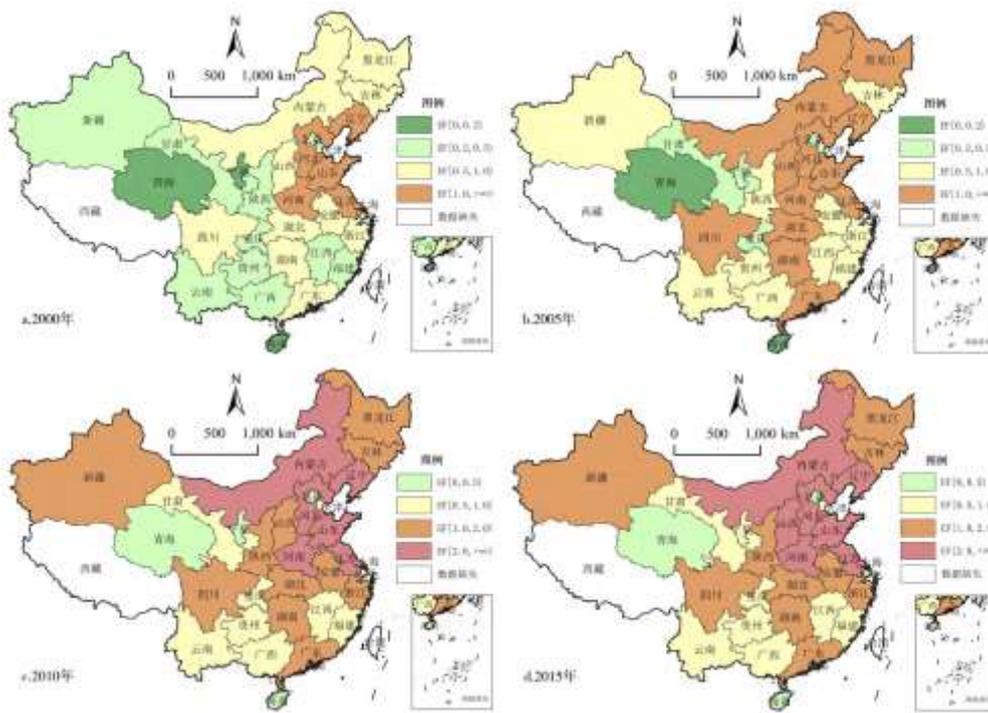


图 1 中国 30 个省区 2000、2005、2010 和 2015 年的生态足迹 (单位: 10^8ghm^2)

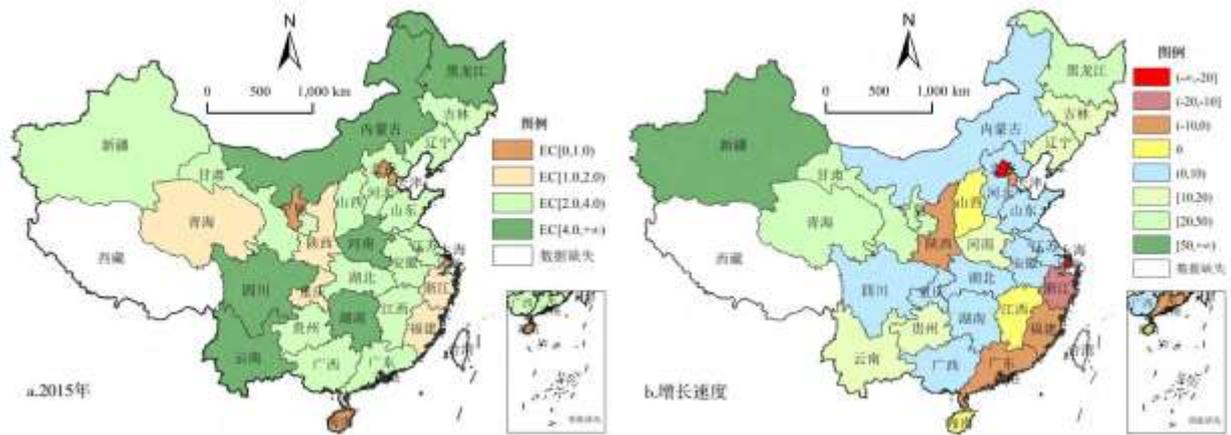


图2 2015年中国30个省区生态承载力及其增长速度(单位: $10^7 \text{ghm}^2, \%$)

3.3 生态压力状况分析

为了更加明确各省区的生态安全状况,本文采用世界自然基金会(WWF)2004年对生态压力的划分标准,即根据生态压力指数将生态安全评价等级划分为6个,依次为非常安全($ETI < 0.5$)、相对安全($0.5 \leq ETI < 0.8$)、相对不安全($0.8 \leq ETI < 1.0$)、十分不安全($1.0 \leq ETI < 1.5$)、非常不安全($1.5 \leq ETI < 2.0$)和极度不安全($ETI \geq 2.0$)。

由图3可知,中国30个省区生态压力呈现快速增加态势,处于非常安全的省份不断减少,2010年和2015年仅有青海1省;而处于极度不安全状态的省份在持续增多,从2000的10个增加到2005年的15个、再到2010年的22个,到2015年全国已经有24个省区的生态安全评价结果为极度不安全,占比高达80%。尤其是随着中部崛起、西部大开发和振兴东北老工业基地等战略的实施,中西部和东北地区的经济飞速发展,生态压力指数不断增加,生态超载强度不断加深。如内蒙古、江西、广西的生态压力指数一直呈增加趋势,在2010年时分别是1.81、1.56、1.22,到2015年已增长到2.48、2.04、1.70。从生态安全的区域分布来看,东部和中部省区不仅较早进入不安全状态,且数量明显多于西部和东北地区。

4 污染产业转移对生态环境的影响检验

4.1 模型构建

为了检验污染产业转移与生态环境的关系需先对污染产业转移量进行测度。首先,以2006—2015年的工业三废和工业 SO_2 数据为基础,通过测算各行业的污染排放强度系数,将中国38个工业行业划分为重度污染产业、中度污染产业、轻度污染产业和清洁产业四类(清洁产业在此不考虑)。其次,从界定的重度、中度和轻度污染产业中选取9种代表性产业作为本文的研究对象,运用偏离份额法对这些产业的转移量进行测度,将各省区各产业工业产值变化量分解为相对净变化量(NRC)、结构转移增量(STR)和竞争力转移增量(DIF),具体计算见王丽萍等的研究^[27]。最后,构建污染产业转移对生态环境影响的计量模型,分别将NRC、STR和DIF加入检验。由于污染产业转移可能通过影响经济发展进而影响生态压力状况,因此在模型中加入GDP和污染产业转移量的交乘项,同时考虑到其他影响生态环境的因素,构建如下计量模型:

$$\ln EF_{it} = a_0 + b_j \sum_{j=1}^3 NRC_{jit} + c_k \sum \ln x_{kit} + d_j \ln GDP_{it} \cdot \sum_{j=1}^3 NRC_{jit} + \mu_{it} \quad (4)$$

式中：生态足迹（EF）作为被解释变量；污染产业转移量指标（NRC可以替换为STR和DIF，在此不赘述）作为核心解释变量；x为一系列控制变量，包括：环境管制强度（ERI，用地区单位治污成本占全国单位治污成本的比重来衡量）、各省区行政区划下的国土面积（LA）、经济发展（GDP）、常住人口规模（RP）；i代表省份；j表示污染产业类型（取值为1、2、3分别代表重度、中度和轻度污染产业）； a_0 表示公共截距； b_j 、 c_k 、 d_j 为各变量的回归系数；k表示控制变量个数；t代表年份； μ_{it} 为随机扰动项。样本数据为中国30个省区2000—2015年的面板数据。为了消除异方差的影响，除污染产业产值偏离份额外的所有指标进行取对数处理。

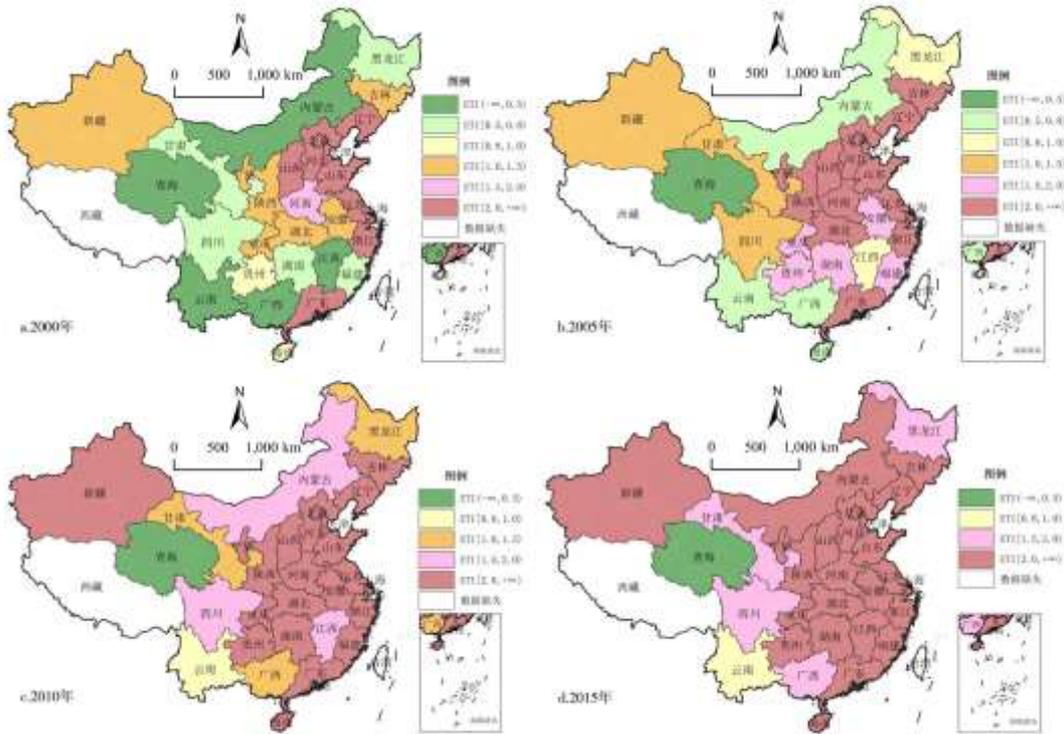


图3 2000—2015年中国30个省市生态压力指数

4.2 实证分析

首先对各变量开展描述性统计分析，然后基于Stata15软件进行回归分析，通过Hausman检验确定应建立固定效应回归模型。

(1)模型1~3是分别加入了NRC、STR、DIF的回归结果，由此看出：从产业类型看，重度和中度污染产业的相对净变化量指标与生态足迹之间正相关，这说明污染产业的转入会增加当地的生态足迹总量。因此，各地应严格控制重度污染产业的转入。结合模型2和3来看，如果是由于产业结构变化引起的污染产业净转移则会导致生态足迹增加，但如果是由于竞争力变化带来

的产业转移则有利于降低生态足迹。尽管这一结果不显著，但仍启示我们，各地在承接产业转移时要以技术创新和产业升级为目标，避免低水平重复建设，坚决杜绝通过产业转移转嫁环境污染。相比之下，轻度污染产业由于其环境危害小，结构转移量和竞争力转移量都有利于减少地区生态资源的消耗，并通过了 5%显著性检验。综合三种产业类型的检验结果得出，污染程度越重，越会导致地区生态足迹明显增长，清洁产业转入有利于地区生态足迹减少。

(2)为了进一步分析污染产业转移对生态足迹影响的作用机制，本文在模型 1~3 的基础上加入了污染产业转移量与 GDP 的交乘项，得到模型 4~6。从交乘项的回归结果来看：污染产业的净转移量通过 GDP 进而影响生态足迹通过了显著性检验，即 GDP 的调节作用比较明显。这也从侧面说明，经济发展是各地在承接产业转移时优先考虑的因素。从交乘项的系数来看，重度污染产业的结构转移增量与 GDP 的交乘项系数为正、重度污染产业的竞争力转移增量与 GDP 的交乘项系数为负，即调整产业结构可以通过增加地区经济总量进而增加生态足迹，而提升产业竞争力则通过增加地区经济总量而减少生态足迹。这一结果说明，今后发展应提高产业竞争力，倒逼企业进行绿色技术创新，减少能源消耗和污染排放，从而降低生态足迹。综合对比模型 4~6 和模型 1~3，说明污染产业转移与 GDP 之间有强关联关系，污染产业转入会通过地区 GDP 变化影响该地的生态足迹，尤其是承接大量的重度污染产业会显著影响当地的生态环境安全状况。为此，有必要将重度污染产业转移和生态足迹结合起来衡量一个地区的生态环境可持续性，对未来污染产业布局提供空间规划。

4.3 污染产业发展的空间布局

在科学评估各省区的生态可持续性指数 (Ecological sustainability index, ESI) 时，除了考虑自然生态环境 (EF、EC)、经济发展 (GDP)、常住人口规模 (RP) 的影响之外，本文还将污染产业转移因素 (NRC, 污染产业的净转移量) 纳入，对各指标进行综合加权计算。由于各指标单位不一，计算 ESI 前需先将各指标数据进行标准化处理。其次，为预测各地的生态环境变化趋势以及评估未来各省的污染产业承接潜力，本文借鉴已有学者的做法^[28]，运用最小二乘法 (OLS) 预测 2035 和 2050 年各省区的 ESI 指标值。

从表看出，(1)全国整体的生态可持续性越来越好，集中表现为：全国生态可持续指数平均水平不断提升，ESI 平均值从 2015 年 0.266 增加至 2035 年 0.313，进一步增加至 2050 年的 0.350；生态优势领跑的省区，生态可持续指数进一步提升，如全国前 2 名的山东和广东省，其 ESI 分别从 2015 年的 0.571、0.485 提升至 2035 年的 0.719、0.616，并继续增加至 2050 年的 0.834、0.711，反映出生态优势明显的省区确实能将“绿水青山”转化为金山银山，绿色发展理念在经济社会发展中真正贯彻落实。(2)东部和东北地区的生态可持续性整体大于中部和西部地区，ESI 排名位居全国倒数 10 名的省区中，中西部地区分别占比 50%、70%和 80%，反映出中西部地区在生态环境保护与经济协调可持续发展方面还存在较多的短板和弱项，应及时遏制并尽快采取强有力的措施修复生态环境。(3)青海、海南、宁夏的生态可持续性较差，在 2035 和 2050 年都排在最后三名，未来发展面临的生态形势严峻。尤其是海南，本身生态可持续性指数就较小，还不断降低，因此，海南省必须提高警惕，提早制定严格的产业转移方案和生态修复措施，尽快改善生态环境。此外，河南省的生态可持续性指数下降趋势明显，2015 年为 0.4694，到 2035 年下降到 0.3079，2050 年进一步降为 0.2120，排名从 2015 年的第 3 名跌到 2050 年的第 24 名，预示着河南省未来的生态风险会非常高，因此，河南省必须积极响应国家生态文明建设号召，切实采取有效政策措施，防患于未然。

为引导产业布局与资源环境承载力相适应，促进区域均衡发展，从源头上减缓生态环境恶化趋势，本文根据 2015、2035、2050 年生态可持续性指数大小，参考历年的 ESI 平均水平等，按照 $ESI \geq 0.35$ 、 $0.25 \leq ESI < 0.35$ 、 $0.10 \leq ESI < 0.25$ 、 $ESI < 0.10$ 的标准，将中国 30 个省区分别划分为重点引入区、优化引入区、限制引入区和禁止引入区四大区域，如图 4。

(1)重点引入区：从图 4 看出 (绿色区域)，重点引入区的省区数量呈扩大态势，2015 年主要位于环渤海湾与长三角这一区间，以及西南地区的四川和南方的广东，随后向东北方向 (黑龙江、辽宁和内蒙古) 和长江经济带中部 (湖北和湖南) 扩展，到 2050 年时中部地区的山西和华东区的安徽生态可持续指数进一步提升，说明这些地区的生态承载能力和污染净化能力较强，生态环境的整体供需关系比较和谐。为了响应国家可持续发展和实现宏观战略的目标，必要时可以适当引进一些重点产业，但

必须控制引入强度，同时制定严格的产业引进方案和环境管制政策。这类地区生态环境变化较大的主要有两个，一是河南的生态可持续性恶化趋势明显，2015 年为重点引入区，2035 年就跌为优化引入区，2050 年进一步退化为限制引入区；二是上海的生态状况有较大改善，不仅 ESI 得分增长了 70%，而且生态类型从 2015 年的优化引入区晋级为 2035 和 2050 年的重点引入区，反映出上海市在产业结构优化调整以及产业升级方面取得了喜人成绩。

(2) 优化引入区：此类省区早期主要位于中部和东北地区（蓝色区域），随着这些省区生态环境的不断改善，到 2035 年有 5 个优化区的省区晋升为重点引入区、1 个重点区的省区（河南）退至优化区；到 2050 年时 3 个优化区的省区晋升为重点区、1 个省区（河南）退至限制引入区。2050 年全国 30 个省区中有 6 个省区处于优化区，分布在华北、华东、西北、西南和东北，地域上呈零散分布。整体来看，这些省区生态环境压力相对较小，为了发展经济，建议在承接污染产业转移的同时必须注重产业的转型升级，加快技术创新，减少污染排放。可喜的是，部分省区的生态可持续性得到较大提高，如山西和新疆在 ESI 得分、全国排名和区域类型等方面都实现了晋级，这反映出这两省区在以能源经济为特色的重工业产业结构转型升级方面正在走向清洁生产、绿色能源的可持续发展之路。综合重点区和优化区的动态发展反映出，在党中央全面加强生态文明建设的大背景下，绝大多数省区在经济发展中确实将生态文明建设摆在了更加突出地位，从整体性、系统性和长久性的战略高度出发，将生态文明建设与经济建设、城乡发展、产业结构、民生工程等有机结合，在全过程、全方位中满足人民群众日益增长的优美生态环境需求，并取得了丰硕成果。

(3) 限制引入区：从图 4 中看东中西和东北地区均有涵盖（黄色区域）。此区域的省区波动明显，既有生态环境改善的省区，如天津和陕西 2015 年为限制引入区，2035、2050 年均均为优化引入区，ESI 指数增长率为 86%、56%；吉林从 2015、2035 年均均为限制引入区，2050 年跃升为优化引入区，ESI 指数增长率为 46%；同时北京、重庆、甘肃的生态可持续性指数以及全国排名水平几乎维持不动，鉴于这类省区的生态环境整体已经比较脆弱，生态可持续性较差，因此，建议这些省区应坚持以生态保护为主、强化绿色生产，建立分类引导和产业发展目录，积极采取措施转移污染产业，尤其是北京作为首都功能核心区，要努力建设蓝天白云、碧水青山的生态面貌。

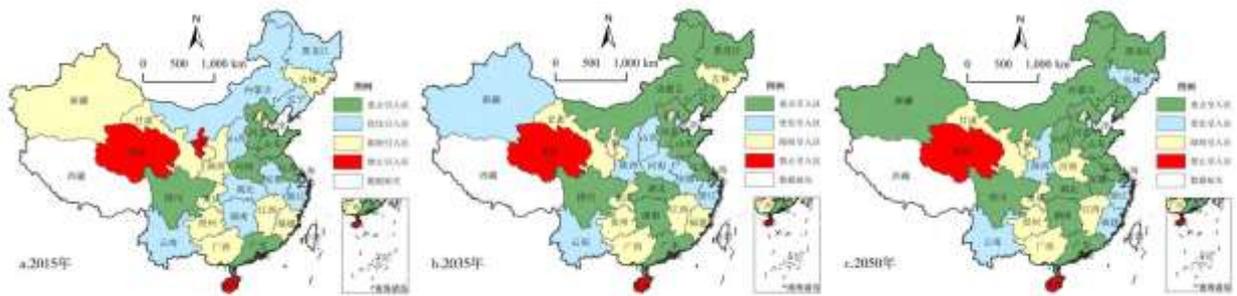


图 4 污染产业发展的空间布局

(4) 禁止引入区：此类省区主要集中在西部地区（红色区域），2015 年为宁夏、海南和青海，2035 和 2050 年均均为海南和青海。由于这类区域的生态系统已遭到严重破坏，很难再继续承受污染产业转入的压力，因此，工作重点是加快恢复生态承载能力，提高生态可持续性，严禁承接污染产业，政府应切实承担起生态环境监管与统筹协调治理的重任，从长远战略出发，统筹处理好经济发展、民生工程与生态环境保护之间的关系，采取多种措施处理好产业转型和环境保护的社会层次矛盾。

5 结论与建议

5.1 结论

本文基于生态足迹理论计算并分析了中国 30 个省份 2000—2015 年的生态环境状况，通过构建计量模型验证了污染产业转移对生态环境风险的重要影响，进而根据综合测算的生态可持续性指数，将中国 30 个省区划分为四大功能区，为生态环境约束下我国产业空间布局提供了重要参考。本研究主要得出以下结论：中国生态供需整体不平衡，省区间生态压力差异化明显，个别省份生态环境超载严重，环境风险较大。2000—2015 年生态足迹快速增长，基本形成了三大梯度区间，即以山东—河北—江苏为代表的环渤海湾到长三角的高位足迹带，以湖南—湖北为代表的长江中游的中位足迹带，以广西—贵州—青海为代表的低位足迹带。生态承载力除个别省份较大波动外，整体基本稳定，北部沿边省区（新疆、内蒙古和黑龙江）有较快增长，而京沪和南部沿海省区（浙江、福建和广东）有不同程度的降低。综合生态环境的供需关系得出，各地的生态压力持续加大，且东中部的环境压力高于西部省区，更为严重的是，到 2015 年，全国已经有 24 个省区处于极度不安全状态，因此，加强产业布局与生态保护的协调发展迫在眉睫。进一步分析显示，污染产业转移是影响生态环境的重要因素，尤其是重度污染产业的结构性转入，会加剧承接地的资源消耗，进而影响地区的生态环境安全。如果能以竞争力提升带来产业净转移量的增加，则不仅有利于经济发展，同时也能减少地区生态足迹总量，进而降低生态环境风险。因此，污染产业发展的空间格局必须与地区生态环境安全性相结合，在生态安全的前提下适度承接产业转入，并将产业转型升级与产业转移相结合，而不能为了追求经济数量去承接大量污染产业。

5.2 政策建议

根据本文的研究结果，提出以下政策建议：第一，建立生态环境可持续评估方案和早期预警机制。处于重点引入区和优化引入区的省区要未雨绸缪，建立科学的预警机制；对限制引入区和禁止引入区内的省区，如福建、北京、海南等地进行严格监控，制定生态修复方案，防止生态环境恶化。第二，科学制定污染产业发展方案。污染产业是造成生态供需矛盾日趋尖锐的重要原因，各地政府在承接产业转移时应综合各地的经济发展目标和生态环境承载能力，差异化对待。一方面，应完善重点引入区和优化引入区的产业引进政策、控制引入强度、规范引入秩序，增加限制引入区和禁止引入区用于生态补偿的财政转移支付，加快生态建设和环境保护。另一方面，从清洁生产的发展趋势出发，做好产业布局和承接产业的转型升级，为生态环境改善和绿色发展提供重要的产业支撑。同时把握国家宏观政策逆周期调节力度，科学制定“一业一策”“一域一策”，甚至“一域多策”的污染产业转移方案。第三，加快构建环境信息共享机制。由于各地生态环境整体评估方法不统一，各地的环境容量和生态安全情况不明确，企业无法准确剖析各地的生态环境压力状况，这会影响污染产业转移方案的制定。因此，要加快构建环境信息公开机制，使各地的生态环境数据客观准确、公开透明，为我国污染产业科学合理布局提供数据支撑。

参考文献：

- [1]Walter I,Ugelow J L.Environmental policies in developing countries[J].Ambio,1979,8(2/3):102-109.
- [2]D' Agostino L M.How MNES respond to environmental regulation:Integrating the porter hypothesis and the pollution haven hypothesis[J].Economi Politica,2015,32:245-269.
- [3]Hu J F,Wang Z,Lian Y H,et al.Environmental regulation,foreign direct investment and green technological progress—evidence from Chinese manufacturing industries[J].International Journal of Environmental Research and Public Health,2018,15:1-14.
- [4]Wang X Y,Zhang C T,Zhang Z J.Pollution haven or porter?The impact of environmental regulation on location choices of pollution-intensive firms in China[J].Journal of Environmental Management,2019,248,109248.
- [5]胡志强，苗长虹.中国污染产业转移的时空格局及其与污染转移的关系[J].软科学，2018,32(7):39-43.

-
- [6]Bakhsh K,Rose S,Ali M F, et al.Economic growth,CO2emissions,renewable waste and FDI relation in Pakistan:New evidences from 3SLS[J]. Journal of Environmental Management,2017,196:627-632.
- [7]Liu Q Q,Wang S J,Zhang W Z, et al.Does foreign direct investment affect environmental pollution in China' s cities? A spatial econometric perspective[J].Science of the Total Environment,2018,613-614:521-529.
- [8]刘友金, 曾小明, 刘京星. 污染产业转移、区域环境损害与管控政策设计[J]. 经济地理, 2015, 35(6) :87-95.
- [9]胡静寅. 欠发达地区承接国际产业转移中的政府职能让渡问题——以中国西部为例[J]. 甘肃社会科学, 2013(1) : 206-209.
- [10]豆建民, 沈艳兵. 产业转移对中国中部地区的环境影响研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(11) :96-102.
- [11]惠炜, 赵国庆. 环境规制与污染避难所效应——基于中国省际数据的面板门槛回归分析[J]. 经济理论与经济管理, 2017(2) :23-33.
- [12]冉启英, 徐丽娜. 环境规制、省际产业转移与污染溢出效应——基于空间杜宾模型和动态门限面板模型[J]. 华东经济管理, 2019, 33(7) :5-13.
- [13]秦炳涛, 葛力铭. 中国高污染产业转移与整体环境污染——基于区域间相对环境规制门槛模型的实证[J]. 中国环境科学, 2019, 39(8) :3572-3584.
- [14]朱东波, 张月君. 中国对外直接投资影响母国环境的理论机理与实证研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(1) : 83-90.
- [15]欧阳艳艳, 黄新飞, 钟林明. 企业对外直接投资对母国环境污染的影响: 本地效应与空间溢出[J]. 中国工业经济, 2020(2) : 98-116.
- [16]Wackernagel M, Onisto L, Bello P, et al.National natural capital accounting with the ecological footprint concept[J]. Ecological Economics, 1999, 29:375-390.
- [17]Szigeti C, Toth G, Szabo D R. Decoupling-shifts in ecological footprint intensity of nations in the last decade[J]. Ecological Indicators, 2017, 72:111-117.
- [18]Gao J X, Tian M R. Analysis of over-consumption of natural resources and the ecological trade deficit in China based on ecological footprints[J]. Ecological Indicators, 2016, 61:899-904.
- [19]Baabou W, Grunewald N, Ouellet-Plamondon C, et al.The ecological footprint of Mediterranean cities:awareness and policy implications[J]. Environmental Science&Policy, 2017, 69:94-104.
- [20]Lin W P, Li Y, Li X D, et al.The dynamic analysis and evaluation on tourist ecological footprint of city:Take Shanghai as an instance[J]. Sustainable Cities and Society, 2018, 37:541-549.

[21]Liu H B,Wang X H,Yang J Y,et al.The ecological footprint evaluation of low carbon campuses based on life cycle assessment:A case study of Tianjin,China[J]. Journal of Cleaner Production,2017,144:266-278.

[22]Doulabi Z H G,Hejazi R.Ecological study of transportation footprint in Pardis citizens[J].Open Journal of Ecology,2018,8(1):15-24.

[23]Li Y Y,Wang L E,Cheng S K.Spatiotemporal variability in urban HORECA food consumption and its ecological footprint in China[J]. Science of the Total Environment,2019,687:1232-1244.

[24]Lane M,Dawes L,Grace P.The essential parameters of a resource-based carrying capacity assessment model:An Australian case study[J].Ecological Modelling,2014,272:220-231.

[25]World Wide Fund for Nature(WWF).Living planet report(2016) [R/OL].<https://www.worldwildlife.org/pages/livingplanet-report-2016>.

[26]郑晖,石培基,何娟娟.甘肃省生态足迹与生态承载力动态分析[J].干旱区资源与环境,2013,27(10):13-18.

[27]王丽萍,夏文静.中国污染产业强度划分与区际转移路径[J].经济地理,2019,39(3):152-161.

[28]Wu M Y,Wei Y G,Lam P T I,et al.Is urban development ecologically sustainable?Ecological footprint analysis and prediction based on a modified artificial neural network model:A case study of Tianjin in China[J]. Journal of Cleaner Production,2019,237:117795.