

基于投入产出模型的甘肃省生态足迹分析

乔磊, 马忠* (西北师范大学, 甘肃兰州 730100)

摘要 基于投入产出模型分析甘肃省生态足迹有利于把握甘肃省社会经济发展进程中土地资源利用的深层次规律。以 2012 年中国 30 省(市、自治区)区域间投入产出表为基础, 全面分析了甘肃省与全国各经济区之间不同产业生态足迹互相占用情况以及甘肃省生态足迹。结果表明: 甘肃省主要占用沿海地区、西北、中部、地区生态足迹, 其中工业间接占用生态足迹是各地区生态足迹经济区域间差异的主要成因; 中部地区与沿海地区占用甘肃省生态足迹最高, 主要以直接占用甘肃省农业为主; 甘肃省人均生态足迹高达 30.1 hm², 是甘肃省土地面积的 17.8 倍, 生态承载能力堪忧; 甘肃省 8 部门中批发零售业与住宿餐饮业人均生态足迹较低, 分别为 0.17 hm² 与 0.07 hm², 万元 GDP 生态足迹较低, 土地利用效率更高。

关键词 生态足迹; 投入产出; 多区域投入产出分析; 甘肃省

中图分类号 X22 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)22-0081-06

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.22.022



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Ecological Footprint Analysis of Gansu Province Based on Input-output Model

QIAO Lei, MA Zhong (Northwest Normal University, Lanzhou, Gansu 730100)

Abstract Based on the input-output model, the analysis of ecological footprint in Gansu Province is beneficial to grasp the underlying law of land resource utilization in the process of socio-economic development in Gansu Province. Based on the inter-regional input-output table of 3 provinces (city, autonomous region) in China in 2012, this paper comprehensively analyzes the mutual occupation of ecological footprints of different industries and the ecological footprints of Gansu Province and the national economic zones. The results showed that: the ecological footprint of Gansu Province is mainly occupied by coastal areas, northwest, central and regional areas, among which the indirect industrial footprint is the main cause of the difference between the economic areas of the ecological footprint. The ecological footprint of Gansu Province is highest in the central region and the coastal region, mainly directly occupying the agriculture of Gansu Province. The per capita ecological footprint of Gansu Province is as high as 30.1 hm², 17.8 times of the land area of Gansu Province, and the ecological carrying capacity is worrying. Among the 8 departments of Gansu Province, the per capita ecological footprint of wholesale, retail and accommodation and catering industry is relatively low, which is 0.17 hm² and 0.07 hm² respectively, and the per capita ecological footprint of ten thousand yuan GDP is relatively low, and the land use efficiency is higher.

Key words Ecological footprint; Input and output; Multi-region input-output analysis; Gansu Province

生态足迹的概念最早是由 William Rees 提出, 进而由 Wackernagel 等进一步完善^[1,2]。该方法通过将区域的资源和能源消费转化为提供这种物质流所必须的各种生物生产型土地的面积(生态足迹需求), 并同区域能提供的生物生产型土地面积(生态承载力或生态足迹供给)进行比较^[3]。用具体明确的数字呈现了人类消费对自然资源的需求, 使可持续发展概念的具体化和可操作性方面前进了一大步, 是评价人类活动对环境影响程度的主要指标^[4-5]。随着我国生态足迹模型应用研究的增多, 如采用投入产出分析方法, 补充丰富土地划分类型, 可以全面分析生产对环境的影响, 并精确的计算出影响范围, 以及不同产业部门对生态的需求^[6]。其中多地区投入产出模型(MRIO)被认为是处理国际贸易以及多边贸易的理想模型, 能够被用来评价国家进出口以及区域进出口的生态足迹, 进而追根溯源^[7]。因此投入产出分析生态足迹已经被广泛运用于解决能源消费^[8]、地区消费^[9-10]、城市^[11-12]、国家^[13-14]、国际贸易^[15]的生态足迹核算及其结构分析的问题。目前我国学者运用投入产出方法研究生态足迹主要有, 黄贤金等^[16]在 2002 年对江苏经济的需求、进口、出口以及积累各项的生态足迹做出估算, 以评估江苏开放型经济区域的可持续发展能力。曹淑艳等^[17]引入土地利用差

异转化系数改进模型, 核算中国 1997 年的生态足迹。刘建兴等^[18]在 2007 年对我国 3 大产业的生态足迹做了详细的计算和分析。裴厦等^[19]运用京津冀 3 省市之间的投入产出矩阵来分析北京与津冀之间隐性的土地资源流通情况, 计算生态足迹转入和转出量。宋辉等^[20]测算了 2012 年河北省山区县 9 部门的生态足迹, 通过生态足迹供需状况得到的产业生态赤字结构, 提出山区经济发展与生态相协调的对策建议。苑清敏等^[21]核算京津冀 3 地虚拟碳足迹和虚拟固废足迹, 进而明确区域间土地资源面积合作补偿和量化补偿额度关系, 进行区域补偿方式差异性的合作生态补偿研究。

综上, 学者们在运用投入产出方法研究生态足迹的应用中取得了一系列成果, 但大多数都是对研究方法的改进^[15,22]以及研究国家、区域的生态足迹与生态承载力, 而针对区域间生态足迹的流动研究以及各部门生态足迹的占用研究较少, 鉴于此, 该研究运用投入产出模型, 通过 2012 年区域间投入产出表比较全面地分析甘肃省占用各区间生态足迹、其他地区占用甘肃省生态足迹以及甘肃省内各产业生态足迹的占用情况, 为甘肃省土地资源优化配置和生态经济协调发展提供一定的参考依据。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究区概况 甘肃省位于中国西北地区, 地处黄河中上游, 地域面积辽阔。全省面积 45.37 万 km², 占中国陆地总面积的 4.72%。2012 年末, 全省人口为 2 577.55 万, 人均国土面积为 1.69 hm²。多年来甘肃省以工、农业大省自居, 工业

基金项目 国家自然科学基金项目(41461115, 41061050)。

作者简介 乔磊(1994—), 男, 甘肃兰州人, 硕士研究生, 研究方向: 生态经济学。*通信作者, 副教授, 博士, 从事投入产出与生态环境研究。

收稿日期 2020-04-27

化的加剧使甘肃省每年需要消耗大量的能源,而自身资源匮乏,绝大部分主要进口。2012年,甘肃省进口能源达6 234.62万t标准煤,占能源消费的90%。能源大量的使用造成了严重的环境问题。现在急需产业结构的调整与利用方式的转型,致力于减轻环境压力,创造更好的生存环境。

1.2 研究方法 Bicknell等^[23]提出利用投入产出技术,以土地乘数来计算区域生态足迹的贸易流动。Bicknell等采用投入产出模型来估计新西兰的足迹时,他们使用土地乘数来直接和间接地获得生产供国内最终消费的产出所需的生产土地面积,并根据3个土地类别提出了估计数。但是部门生产用地的面积需求是通过部门土地乘数与国内最终消费产出相乘得到。其结果不仅包括该部门本身的生产用地,而且还包括该部门将其产出用作投入的其他部门的生产用地。因此,对部门生产用地的估计数不能按土地类别提出。之后Feng利用土地乘子分解矩阵对该方法进行了改善,以便计算出的面积可以用土地类别表示,可以分别计算一个地区的生产用地与能源用地两项生态足迹^[24-25]。

该研究利用中国2012年30省市区区域间投入产出表(不包含西藏自治区)、2012年甘肃省42部门投入产出表(整合为8部门)以及能源需求表。分别计算土地、能源投入系数,进而计算出最终消费者各省区土地、能源足迹。将最终需求与调入省内的直接、间接生态足迹相加得到最终的生态足迹^[19-20]。计算步骤如下。

1.2.1 计算直接利用的生态足迹。

(1)计算直接消耗系数矩阵直接消耗系数矩阵 a_{ij} 表示生产单位 j 部门产品所消耗的部门产品数额。即用各部门的投入除以总投入,用 A 来表示。公式为

$$A = a_{ij} = \frac{x_{ij}}{aX_{ij}}$$

(2)计算完全消耗系数矩阵完全消耗系数矩阵即里昂惕夫逆矩阵,用单位矩阵减去直接消耗矩阵,然后求其逆矩阵,指第 j 部门每提供一个单位最终使用时,需要完全消耗第 i 部门产品或服务的数量。公式为

$$B = (I - A)^{-1}$$

(3)计算各部门的土地投入系数矩阵土地投入系数矩阵表示 j 部门单位价值量产出的土地占用的面积,即用该部门投入的土地除以该部门的总产值,用 D 表示。公式为

$$D = H^T \times \text{diag}(M)^{-1}$$

式中, H 表示各产业部门的土地投入面积; M 表示各部门的总产值。

(4)复合土地利用乘数矩阵复合土地利用乘数矩阵表示各部门对各种生产性土地的总需求构成的矩阵,用 L 表示。公式为

$$L = D(1 - B)^{-1}$$

(5)引入改进的调整因子^[16]调整因子表示区域外的投入直接用于各产业最终需求的比例,用 R 表示。

(6)计算最终需求中各部门的土地足迹用各部门的复合土地利用乘数矩阵 (L) 乘以改进的调整因子组成的矩阵 (R)

再乘以对应产业的国内需求 (D) 、固定资产投资 (F) 、出口 (E) 、流入 (I) 和流出 (O) 组成的矩阵。

$$FP = L \times R \times Y$$

式中, Y 表示最终使用部分的对角矩阵。

(7)计算各省区最终消费占用生态足迹用各部门的复合土地利用乘数矩阵 (L) 乘以各省区最终消费的对角矩阵:

$$FM = L \times Y_i^T$$

1.2.2 计算间接利用的生态足迹(能源消费足迹)。首先利用能源需求表计算各类一次能源消费量,然后利用标准煤系数将各类一次能源消费量转换为标准煤,最后得到各产业的煤炭消费量。

(1)计算各部门能源投入系数矩阵能源投入系数矩阵表示 j 部门单位价值量产出所消耗的能源,即用该部门投入的能源除以该部门的总产值,用 N 表示。公式如下:

$$N = Q^T \times \text{diag}(M)^{-1}$$

式中, Q 表示各产业部门能源消耗量; M 表示各部门的总产值。

(2)计算复合能源乘数矩阵用各部门能源投入系数矩阵左乘完全需求系数矩阵,用 Z 表示,公式为

$$Z = N(I - A)^{-1}$$

(3)计算各部门的间接土地占用用各部门的能源复合能源乘数矩阵 (Z) 乘以各省区对应的最终消费对角矩阵,各产业的国内需求、固定资产投资、出口、流入和流出组成的矩阵。

$$FPU = Z \times Y$$

式中, Y 表示最终使用各部门的对角矩阵。

(4)将能量值转化为土地面积(间接生态足迹)利用“能量-土地因子($\gamma = 100 \text{ GJ/hm}^2$)”将能量输出量转化为土地面积^[19],即:

$$J = \frac{1}{\gamma} \times FPU$$

式中, J 表示能源用地面积。

(5)计算各产业总的生态足迹等于各产业直接占用的矩阵加间接占用的矩阵^[20]。

1.2.3 计算甘肃省最终消费、出口占用各地区生态足迹。计算过程与省内各部门计算过程类似。

1.3 数据来源 采用中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室发布的《中国2012年31省市区区域间投入产出表》(不包含西藏自治区),以及《2012年甘肃省投入产出表》计算甘肃省、出口占用各省区生态足迹以及甘肃省省内生态足迹。各省区、部门的土地数据来源于《全国土地利用变更调查报告》以及各省区的统计年鉴。能源消费量来源于《中国能源统计年鉴》,甘肃省能源消费数据来源于《甘肃统计年鉴》,将各类一次能源消费量转换为标准煤系数时采用GB 2589-81《综合能耗计算通则》。

1.4 区域和产业划分 结合我国区域经济特点,参照已有划分方法^[26],将中国30个省、自治区、直辖市(由于西藏尚未统计土地利用数据,以及部分能源消耗数据不全,该研究区

域不包括西藏)划分为 8 个经济区域,划分结果如图 1 所示。因为区域间投入产出表与土地利用的数据部门不一致(前者 42 部门、后者 8 部门),区域间投入产出表的 42 个部门包括 1 个农业部门(包括农林牧渔业),煤炭开采业、石油和天然气开采业等 23 个工业部门以及批发零售业等 6 个服务业部

门^[27]。依据《国民经济行业分类》(GB/T 4754—2017)与区域间投入产出表将国家统计局投入产出表中 42 个经济部门整合农业、工业、建筑业、批发和零售业、交通运输仓储和邮政、住宿和餐饮业、信息传输、软件和信息技术、其他服务业 8 个部门。

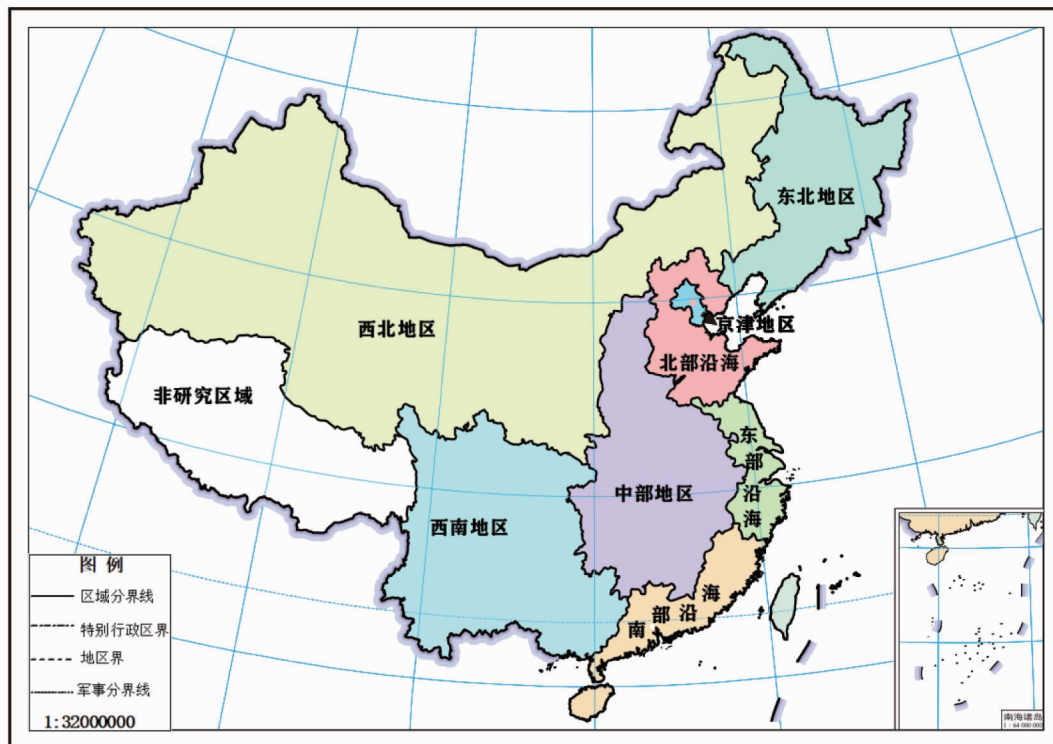


图 1 研究区八大区域划分

Fig.1 Division of eight regions in China

2 结果与分析

2.1 甘肃省占用各经济区生态足迹总量分析 从图 2 可以看出,甘肃省消费占用的生态足迹为中部地区最高,京津地区最低,占用中部区域生态足迹是京津地区的 8.3 倍。由于地理位置的关系,甘肃省占用西北地区的生态足迹高于西南地区。分省区而言,甘肃省占用山东省生态足迹最高(占甘肃省占用全国其他地区生态足迹的 13.9%),江苏省次之,而北京、海南最低。甘肃省占用 29 个省份生态足迹差距较大,其中占用山东省生态足迹是北京的约 15 倍。在西北地区中甘肃省占用陕西省的生态足迹最多。

2.2 甘肃省占用各经济区生态足迹分产业分析

2.2.1 第一产业。如图 3 所示,甘肃省最终消费占用各经济区第一产业的生态足迹主要来源于中部地区以及西北地区(除甘肃省),其中中部地区最高京津地区最低(中部地区是京津地区的 10 倍)。分省区而言,甘肃省占用内蒙古自治区生态足迹最高,其次是河南、湖南、山东等地,青海、广西、宁夏等地则最少。第一产业占用类型主要以直接占用为主,其中东北地区与西北地区最为明显(分别是 5.1 倍与 4.9 倍)。直接占用生态足迹主要集中在西南地区西北地区以及中部地区,其中山东省最高,与甘肃毗邻的内蒙古自治区以及陕西省也较高,西南地区主要集中在四川、重庆等地。间接占

用生态足迹主要集中在中部地区与沿海地区,其中内蒙古自治区最高,其次是河南省、江苏省等地区。通过对占用类型对比分析可以看出,甘肃省第一产业直接占用生态足迹主要集中在相邻地区以及主要的粮食产区,而间接占用主要集中在经济发展水平较高与甘肃省距离相对较远的地区。

2.2.2 第二产业。如图 2 所示,甘肃省占各经济区生态足迹主要为第二产业。主要集中区域为中部地区、沿海地区与东北地区,中部地区主要集中于河南、山西等省份,东北地区内 3 个省份差距不大,沿海地区主要集中于山东、广东、河北等地区,西南与西北地区较少。整体占用类型分析可以看出,甘肃省第二产业占用各经济区生态足迹以间接占用为主,沿海地区最为突出(上海市为 1 500 多倍,广东省 500 多倍)。甘肃省第二产业占用各经济区生态足迹主要集中还与资源丰富的地区与出口贸易发达的沿海地区。

2.2.3 第三产业。对甘肃省占用各经济区区域第三产业生态足迹进行比较分析,交通运输、仓储和邮政部门除了在西北地区位居第三位(占 8.2%)外,在其他经济区域排序中均排第二,交通运输与仓储邮政生态足迹在区域第三生态足迹中所占的比重均比较高,其中南部沿海地区与西南地区比重最高(分别为 87.9%和 79.7%)。此外,住房餐饮与批发零售业生态足迹在北部沿海地区与西南地区占比较大。京津地区、

东部沿海地区、西北地区是第三产业生态足迹的重要组成部分。从占用类型可以看出,间接占用明显高于直接占用。

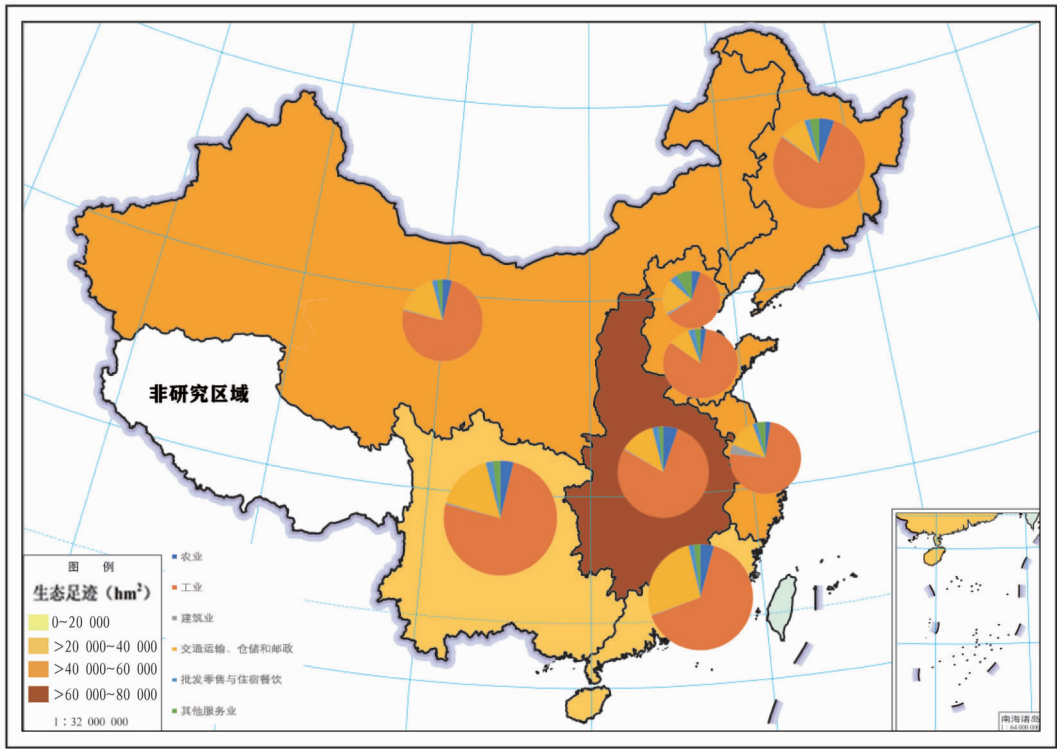


图 2 2012 年甘肃省占用各经济区生态足迹及主要部门构成

Fig.2 Ecological footprint of each economic zone occupied by Gansu Province and composition of main sectors in 2012

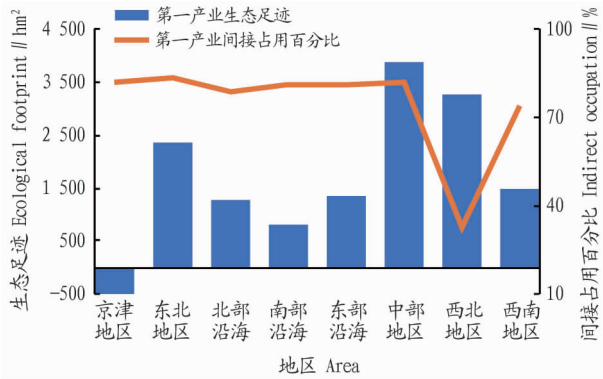


图 3 甘肃省第一产业占用各经济区生态足迹

Fig.3 The ecological footprint of each economic zone occupied by the primary industry in Gansu Province

2.3 各经济区占用甘肃省生态足迹分析

2.3.1 总量分析。我国八大经济区最终消费对甘肃省生态足迹占用如图 4 所示,主要集中在中部地区与沿海地区,中部地区最高东北地区最低(中部地区是东北地区的 3.2 倍)。西北地区主要是内蒙古自治区(占西北地区 55.4%),西南地区则重庆市位居首位(占西南地区 39.0%),京津地区北京市占用甘肃省生态足迹是天津市 2 倍,明显高于天津市。分省区分析可以看出,山东省占用甘肃省生态足迹最高,其次是广东省与江苏省上海市等经济发展较好的地区,而宁夏回族自治区与青海省占用甘肃省生态足迹最少。

2.3.2 第一产业。我国各经济区占用甘肃省生态足迹主要集中于第一产业(占总量 89%),主要的占用类型为直接占

用。甘肃省第一产业占用各经济区生态足迹所占比例也有较大差异,主要集中于东部沿海地区(18%)、南部沿海地区(15%)、北部沿海地区(15%)以及中部地区(17%),西北地区(6.7%)与东北地区(6.7%)最少。分省区而言,山东省占用甘肃省生态足迹最高,其次是广东、江苏、上海、北京等地,青海、广西、宁夏等地则最少。

2.3.3 第二、三产业。从图 5 可以看出,我国各经济区占用甘肃省第二产业生态足迹以间接占用为主(占 62%),第 3 产业则以直接占用为主(占 69%),且占用第二产业生态足迹是第三产业的 4.67 倍。各经济区中,东部沿海地区、中部地区、西南地区占用甘肃省第二、三产业生态足迹均位居各经济区前三位,分省区而言,上海、江苏、浙江、山西等地位居全国前列,其余各省区间差异不大。各经济区第三产业占用的生态足迹主要集中在中部地区(占 34%),其次是西南地区(15%)与东部沿海地区(14%),京津地区最少。分省区分析可以看出,山西省最多,其次是广东、河南、江苏等地区,西北地区中内蒙古自治区最高,其次是陕西省。除此之外,海南、天津、黑龙江等省区最少。通过对第三产业占用类型分析可以看出,各地区交通运输、仓储和邮政业主要以直接占用为主、其他服务业以间接占用为主。

2.4 占用对比分析 从图 6 可以看出,甘肃省占用各经济区生态足迹要高于各经济区占用甘肃省生态足迹,两者比较可以发现,京津地区、南部沿海地区差距略少,西北的地区、东北地区差距较大。分省区分析可以看出,除北京市之外,其他各省区均为甘肃省占用各省生态足迹要高于各省占用甘

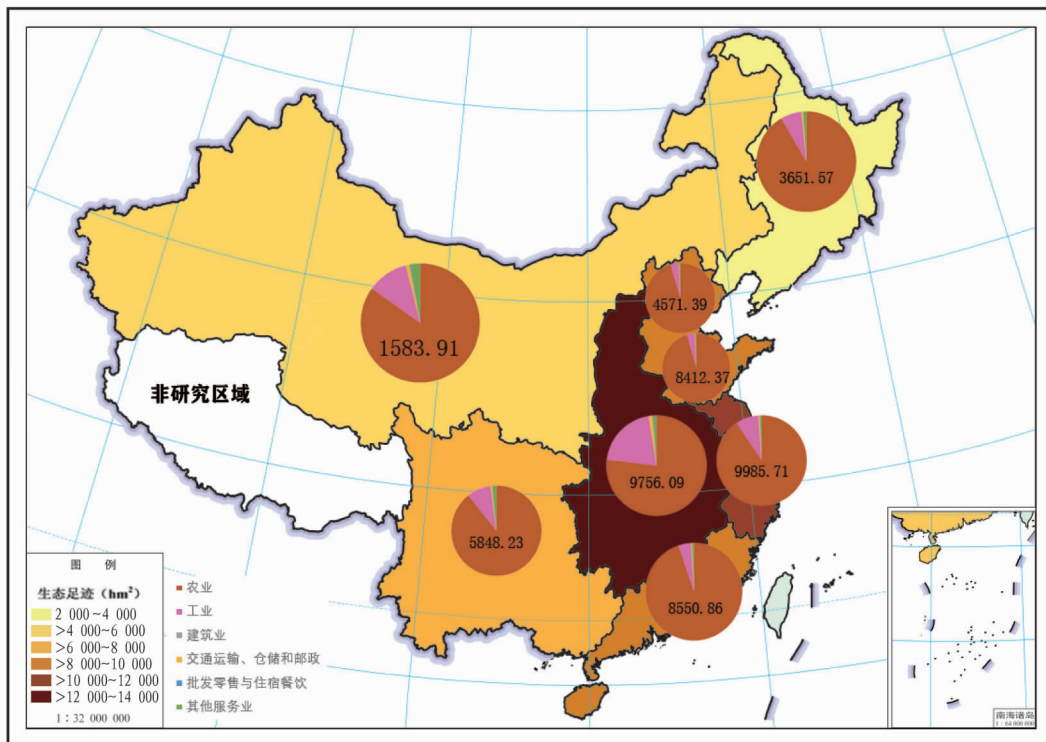


图 4 2012 年各经济区占用甘肃省生态足迹及主要部门构成

Fig.4 Ecological footprint occupied by each economic zone in Gansu Province and composition of main sectors in 2012

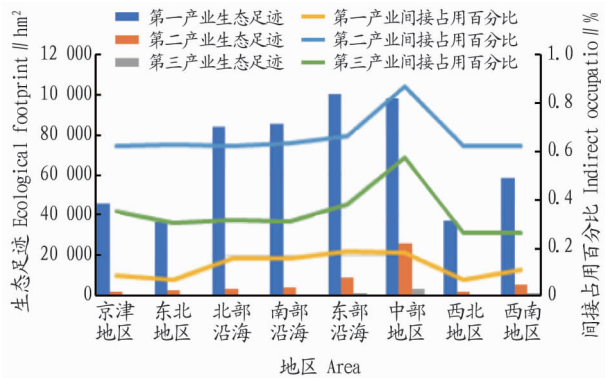


图 5 其他经济区占用甘肃省不同产业生态足迹

Fig.5 Ecological footprints of different industries occupied by other economic zones in Gansu Province

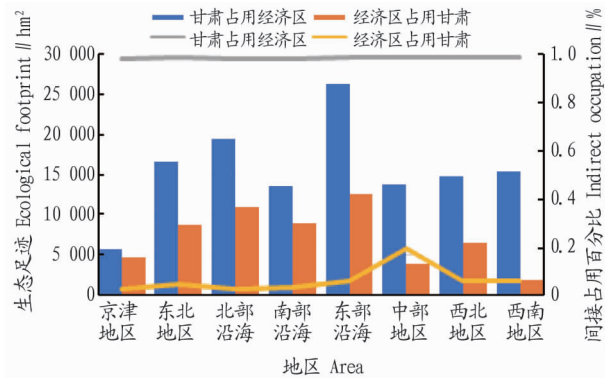


图 6 甘肃省与经济区占用生态足迹对比

Fig.6 Comparison of ecological footprint occupied by Gansu Province and economic zone

肃省生态足迹,以宁夏(17.7倍)、青海(8.66倍)、黑龙江(6.59倍)最为明显。其他大部分省份该比例均在1~3倍。从不同产业类型可以看出,甘肃省占用各经济区生态足迹主要集中在第二产业,而其他经济区占用甘肃省生态足迹主要集中于第一产业。

2.5 甘肃省各部门生态效率分析 通过计算甘肃省万元产值生态足迹来评价生态效率。得到结果如下:甘肃省万元GDP生态足迹为13.7 hm²/万元,工业与建筑业万元GDP生态足迹高于均值,表明工业和建筑业的资源利用效益低于平均水平,而其他产业资源利用效益相对较高。甘肃省生态足迹占用类型以间接占有为主(6.74倍)。间接占用的生态足迹中,工业、建筑业、交通运输业每万元产值所占用的土地都比较高,分别为7.21、5.13、6.29 hm²/万元,服务类的产业如批

发零售业、信息传输业、住宿和餐饮等行业较低,分别为0.67、0.58、0.09 hm²/万元。说明第三产业间接土地利用效率较高。在直接利用的土地中,农业每万元产值所占的土地达3.01 hm²/万元,土地利用的效率最低。农业土地利用间接利用土效率明显高于直接利用效率。对于整体部门而言,农业、工业、建筑业以及交通运输业万元产值生态足迹分别为4.07、7.25、5.14、6.33 hm²,万元产值生态足迹比较高,土地利用效率比较低。批发零售与住宿餐饮等服务业万元产值生态足迹分别为0.67、0.58 hm²,土地利用效率比较高。表明甘肃省在服务业方面资源利用效益明显高于农业、工业建筑业与交通运输业,表明甘肃省经济发展方式粗放、产业结构应该由耗能型向节约、集约型发展。

2.6 甘肃省生态足迹地域特点分析 如图7所示,甘肃省

2012 直接利用的生态足迹中除批发零售业,其余各部门均进口大于出口,在间接利用的生态足迹中各部门均进口大于出口,以农业最为明显。总体比较,甘肃省各部门生态足迹出口大于进口,工业、交通运输业(分别为-65.97 和-92.04)最为典型。第三产业中,信息传输、软件与信息服务部门出口略大于进口(为-1.44)。对甘肃省人均生态足迹计算可以看出甘肃省人均生态足迹高达 30.1 hm²,是甘肃省土地面积的 17.8 倍。占用类型主要为间接占用(9.97 倍)。

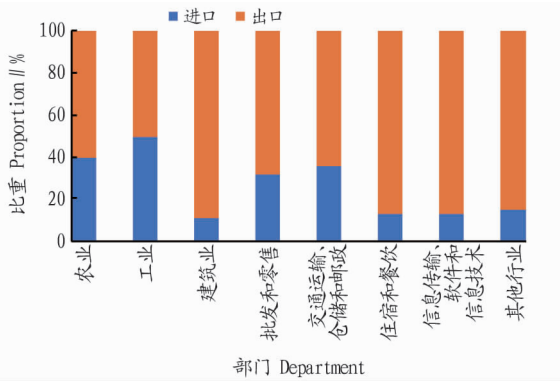


图7 甘肃省进、出口占用比重

Fig.7 Proportion of import and export occupation in Gansu Province

3 结论与讨论

3.1 结论 该研究运用投入产出方法对甘肃省与经济区之间生态足迹占用做了详细的计算和分析,得出如下结论:

(1) 甘肃省占用各省区生态足迹总体比较中,占用山东省最高而北京最低,经济区域间差异和区域内省区间差异对全国生态足迹总体空间差异的贡献相差甚微^[28]。

(2) 甘肃省占用西北、中部、北部与东部沿海区域占用生态足迹最高,其差异主要源于间接占用部分。占用各区域生态足迹按产业分类,第二产业生态足迹最高,其次是第三产业,且交通运输、仓储与邮政、住宿和餐饮业生态足迹分别是各区域第二、三产业生态足迹的重要组成部分。

(3) 各经济区占用甘肃省生态足迹主要以直接占用为主。其中中部地区最高,东北地区最低。从产业角度可以看出,各经济区占用甘肃省生态足迹主要为第一产业,其次是第二、三产业,第二产业以间接占用为主,第三产业中,交通运输、仓储与邮政占主要部分,所以直接占用略高于间接占用部分。

(4) 省际之间的调出与调入对于调节区域间的能源资源不平衡具有重要意义,可以通过调入来减小人们活动对本区域的影响^[29]。通过分析可以看出,甘肃省占用其他经济区生态足迹明显高于其他经济区占用甘肃省生态足迹。表明甘肃省生态足迹以输入为主,尤其是对周边地区。

(5) 出口占用各地区生态足迹经济区域间比较中,东部、南部沿海地区最高,其中广东省、上海市间接占用生态足迹明显高于其他地区。因为地理位置的限制,西北西南地区出口占用生态足迹较少,这与我国大环境背景相一致。

(6) 甘肃省省内生态足迹分析中人均生态足迹间接利用

土地面积远大于直接利用的土地面积,工业占绝大比例,第三产业也是能源消费的主要组成部分。对甘肃省生态效率分析可以看出,直接利用的效率高于间接利用效率,说明甘肃省能源利用方式太过粗放,产业效率中,第三产业利用效率最高^[30]。

3.2 讨论 通过对生态足迹的计算,从可更新和不可更新资源利用效益角度来看,应该在全国的可持续性尺度范围内增加区域间的交流,例如南水北调等项目说明了社会资源在缓解和减轻环境影响方面的作用^[31]。在对环境可持续性的评价基础上,增加对社会发展质量的评价,将可调用的社会资源的利用效率提高,环境问题也会得到相应的改善。对区域与国家生态足迹的计算,并不是因为生态足迹高于生态承载力而去降低生态足迹,而是通过生态足迹的测算,提出有利社会发展的举措,社会发展才是使人们采取措施减少足迹的直接驱动力^[5]。

对于区域间的生态足迹的研究可以反映人地关系供需平衡空间变化、人类活动与资源环境的关联性,为进一步深入研究地区间人地关系变化和不同产业影响资源环境提供了参考依据^[32]。由于区域之间的贸易缺乏可持续性以及忽视国家和区域间空间地理情况的差异,对于研究生态承载力以及可持续发展上存在不足。

在研究方法上,利用投入产出模型研究生态足迹的数学模型构建相对完善,但同时也缺乏创新性突破,由于数据获得与产业的动态发展之间仍存有滞后性,如何实现研究方法突破创新,将会是今后研究中应当重点思考的问题之一^[33]。此外,对生态足迹地区间差异进行随时间演变的趋势分析,有利于更准确地体现生态足迹地区间差异特点,提高预测能力,有待进一步研究。

参考文献

- [1] REES W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out[J]. *Environment and urbanization*, 1992, 4(2): 121-130.
- [2] WACKERNAGEL M, REES W. Our ecological footprint[J]. *Green teacher*, 1997, 45: 5-14.
- [3] 徐中民, 张志强, 程国栋. 甘肃省 1998 年生态足迹计算与分析[J]. *地理学报*, 2000, 55(5): 607-616.
- [4] 张志强, 徐中民, 程国栋, 等. 中国西部 12 省(区市)的生态足迹[J]. *地理学报*, 2001, 56(5): 598-609.
- [5] 徐中民, 程国栋, 张志强. 生态足迹方法的理论解析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2006, 16(6): 69-78.
- [6] 蒋依依, 王仰麟, 卜心国, 等. 国内外生态足迹模型应用的回顾与展望[J]. *地理科学进展*, 2005, 24(2): 13-23.
- [7] 尹科, 王如松, 姚亮, 等. 生态足迹核算方法及其应用研究进展[J]. *生态环境学报*, 2012, 21(3): 584-589.
- [8] PENELA A C, VILLASANTE C S. Applying physical input-output tables of energy to estimate the energy ecological footprint (EEF) of Galicia (NW Spain)[J]. *Energy policy*, 2008, 36(3): 1148-1163.
- [9] TURNER K, LENZEN M, WIEDMANN T, et al. Examining the global environmental impact of regional consumption activities-Part 1: A technical note on combining input-output and ecological footprint analysis[J]. *Ecological economics*, 2007, 62(1): 37-44.
- [10] WIEDMANN T, MINX J, BARRETT J, et al. Allocating ecological footprints to final consumption categories with input-output analysis[J]. *Ecological economics*, 2006, 56(1): 28-48.
- [11] BEGUM R A, PEREIRA J J, JAAFAR A H, et al. An empirical assessment of ecological footprint calculations for Malaysia[J]. *Resources conservation & recycling*, 2009, 53(10): 582-587.

3.2 观赏草适应性和观赏性评价 成活率是评价一种观赏草能否推广应用的关键指标^[18]。该研究结果表明,Ⅰ级和Ⅱ级观赏草耐寒性和耐热性较强,在上海不易死亡,可作多年生植物在上海地区栽培。Ⅲ级观赏草不耐寒,在上海无法露地越冬,常作一年生植物栽培。Ⅳ级观赏草中,香茅在春天修剪,且留茬高度在 15 cm 左右,可勉强在上海露地越冬,“金叶”藁草和“晨光”藁草不耐寒,不耐极端高温,在上海夏季和冬季长势欠佳。藁草类植物是一类耐阴性较强的种类,其返青较早、根茎发达且耐践踏,可作林下地被或建筑背阴处的地被植物。Ⅴ级观赏草“埃丽”蓝羊茅和海滨羊茅,耐热性差,在上海夏季极易死亡,但在北京地区夏季能保持较好的观赏性^[19]。

花序美感和叶色是评价观赏草观赏价值大小的重要因素^[18]。该研究中,Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级观赏草的花序观赏价值较大,有些花序经冬不落,其中以蒲苇类、芒类、狼尾草类花序的观赏价值最高;Ⅳ级和Ⅴ级观赏草基本没有花序或花序观赏价值小,以观叶为主。上海地区大部分观赏草的叶色是绿色,少部分是花叶或金叶,蓝色系和红色系叶片的观赏草观赏价值高,种类非常少。“火焰”狼尾草和“紫叶”绒毛狼尾草叶色属于红色系,但耐寒性较差,“埃丽”蓝羊茅和海滨羊茅叶色属于蓝色系,但耐热性较差,因此若想更好地丰富上海地区观赏草的景观效果,还需要进一步研究观赏草在寒冷高温天气下的防护措施以及培育抗性强的新品种。

4 结论

综上所述,评价为Ⅰ级的观赏草具有极高的抗性和观赏性,是上海市观赏草的首选种类;评价为Ⅱ级的观赏草可在绿化上尽可能选择和应用,丰富上海观赏草种类;评价为Ⅲ级和Ⅳ级的观赏草应用价值较低,只能在特定环境和需求下

应用;评价为Ⅴ级的观赏草夏季极易死亡,可用于冬季造景。

参考文献

- [1] RICK DARKE. The color encyclopedia of ornamental grasses: Sedges, rushes, restios, cat-tails, and selected bamboos [M]. Portland, Oregon: Timber Press, 1999: 29-48.
- [2] 张朝斌, 蒋倩, 吴志, 等. 4种观赏草的耐阴特性研究及评价[J]. 草业学报, 2019, 28(7): 60-72.
- [3] 苏醒. 观赏草资源、配植及其在园林中应用前景的调查研究: 以华北、华东地区为例[D]. 北京: 北京林业大学, 2009.
- [4] 高鹤, 宗俊勤, 陈静波, 等. 7种优良观赏草光合生理日变化及光响应特征研究[J]. 草业学报, 2010, 19(4): 87-93.
- [5] 高鹤, 刘建秀. 南京地区观赏草的种类、观赏价值及其造景配置[J]. 草原与草坪, 2005(3): 13-16.
- [6] 高鹤, 刘建秀, 郭爱柱. 南京地区观赏草的适应性和利用价值初步评价[J]. 草业科学, 2008, 25(8): 131-138.
- [7] 刘宝贤, 申宏伟, 徐峰, 等. 鲁东南滨海地区观赏草的观赏适应性评价[J]. 草业科学, 2014, 31(12): 2221-2229.
- [8] 刘杰, 杨恒友, 孙双君. 层次分析法在城镇行道树选择评价中的应用[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(6): 3257-3258.
- [9] 张瑜, 赵峰, 吴永华, 等. 兰州市园林主要适生观赏树种选择及综合指标数量化评价[J]. 西北林学院学报, 2009, 34(4): 255-261.
- [10] 曹茂林. 层次分析法确定评价指标权重及 Excel 计算[J]. 江苏科技信息, 2012(2): 39-40.
- [11] 张智. 观赏草耐旱性研究与景观配置应用[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
- [12] 李秀玲, 刘君, 杨志民. 九种观赏草在南京地区的适应性评价[J]. 中国草地学报, 2010, 32(3): 76-81.
- [13] 胡静, 张延龙. 陕西省主要观赏草资源及其评价[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008, 36(6): 105-112.
- [14] 梁芳, 董爱香. 北京地区藁草属植物资源调查、综合性状评价及园林应用[J]. 园林科技, 2015(2): 1-6.
- [15] 孟晓蕊. 引进观赏草在东南沿海地区的生态适应性研究及评价[D]. 福州: 福建农林大学, 2018.
- [16] 郭晓红, 刘素清, 郝喜龙, 等. 利用模糊综合评判模型对观赏草景观的评价[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2014, 35(4): 40-45.
- [17] 郭亚军. 综合评价理论、方法及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [18] 李秀玲, 刘君, 宋海鹏, 等. 13种观赏草在南京地区夏秋两季观赏价值的灰色关联分析[J]. 草业科学, 2010, 27(2): 39-44.
- [19] 武菊英, 滕文军, 王庆海, 等. 多年生观赏草在北京地区的生长状况与观赏价值评价[J]. 园艺学报, 2006, 33(5): 1145-1148.
- [12] MCDONALD G W, PATTERSON M G. Ecological footprints and interdependencies of New Zealand regions[J]. Ecological economics, 2004, 50(1/2): 49-67.
- [13] LENZEN M, MURRAY S A. A modified ecological footprint method and its application to Australia[J]. Ecological economics, 2001, 37(2): 229-255.
- [14] MATTILA T. Any sustainable decoupling in the Finnish economy? A comparison of the pathways and sensitivities of GDP and ecological footprint 2002-2005[J]. Ecological indicators, 2012, 16(6): 128-134.
- [15] HUBACEK K, GILJUM S. Applying physical input-output analysis to estimate land appropriation (ecological footprints) of international trade activities[J]. Ecological economics, 2003, 44(1): 137-151.
- [16] 赖力, 黄贤金, 刘伟良, 等. 基于投入产出技术的区域生态足迹调整分析: 以 2002 年江苏省经济为例[J]. 生态学报, 2006, 26(4): 1285-1292.
- [17] 曹淑艳, 谢高地. 基于投入产出分析的中国生态足迹模型[J]. 生态学报, 2007, 27(4): 1499-1507.
- [18] 刘建兴, 王青, 顾晓薇, 等. 投入产出法在我国生态足迹研究中的应用[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2007, 28(4): 592-595.
- [19] 裴夏, 刘春兰, 谢高地, 等. 北京与津冀之间隐性土地资源流动研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(1): 97-104.
- [20] 宋辉, 谢庐乐. 河北省山区县生态足迹投入产出模型构建与应用[J]. 统计与管理, 2015(5): 37-38.
- [21] 苑清敏, 张泉, 李健. 基于投入产出表京津冀虚拟生态补偿机制研究[J]. 统计与决策, 2018, 34(18): 107-110.
- [22] 陈冬冬, 高旺盛, 陈源泉. 生态足迹分析方法研究进展[J]. 应用生态学
- [23] BICKNELL K B, BALL R J, CULLEN R, et al. New methodology for the ecological footprint with an application to the New Zealand economy[J]. Ecological economics, 1998, 27(2): 149-160.
- [24] FERNG J J. Using composition of land multiplier to estimate ecological footprint associated with production activity [J]. Ecological economics, 2001, 37(2): 159-172.
- [25] FERNG J J. Toward a scenario analysis framework for energy footprints [J]. Ecological economics, 2002, 40(1): 53-69.
- [26] 张亚雄, 齐舒畅. 2002-2007 年中国区域间投入产出表[M]. 北京: 中国统计出版社, 2012.
- [27] 孙思奥, 郑翊益, 刘海猛. 京津冀城市群虚拟水贸易的近远程分析[J]. 地理学报, 2019, 74(12): 2631-2645.
- [28] 王亚菲, 陈长. 北京市生态足迹的投入产出分析[J]. 城市发展研究, 2009, 16(4): 129-134, 148.
- [29] 庞军, 高笑默, 石媛昌, 等. 基于 MRIO 模型的中国省级区域碳足迹及碳转移研究[J]. 环境科学学报, 2017, 37(5): 2012-2020.
- [30] 郑德凤, 郝帅, 孙才志. 基于 DEA-ESDA 的农业生态效率评价及时空分异研究[J]. 地理科学, 2018, 38(3): 419-427.
- [31] 徐中民, 程国栋, 邱国玉. 可持续性评价的 ImPACTS 等式[J]. 地理学报, 2005, 60(2): 198-208.
- [32] 曹威威, 孙才志, 杨璇业, 等. 基于能值生态足迹的长山群岛人地关系分析[J]. 生态学报, 2020, 40(1): 89-99.
- [33] 吴兆丹, 吴兆磊, 张长征. 多区域投入产出分析下中国水足迹地区间比较: 基于经济区域分析层次[J]. 冰川冻土, 2017, 39(1): 207-219.

(上接第 86 页)