

基于改进三维生态足迹模型的安徽省 土地生态承载力评价

苏子龙^{1,2}, 袁国华^{1,2}, 周 伟^{1,2}

(1.中国自然资源经济研究院, 北京 101149; 2.自然资源部资源环境承载力评价重点实验室, 北京 101149)

摘 要:三维生态足迹模型作为生态足迹模型最新发展,可在土地承载力评价中发挥重要作用。通过调整账户类型对经典三维生态足迹模型进行了改进,并以安徽省为例,计算了 2009—2016 年生产性土地生态足迹、土地生态承载力及足迹深度,在判别土地生态承载状态的基础上,对自然资本占用情况进行了分析。结果表明:安徽省土地生态足迹在 2009—2016 年呈现先增大后减小趋势,其中,耕地和受污染账户影响的林地足迹占比较大,且远高于草地足迹。土地足迹及其所属的各地类足迹均高于土地承载力,处于超载状态。足迹深度变化于 2.1~2.6,表明土地自然资本流量不足导致资本存量大量消耗已成为安徽省当前经济社会发展的常态,并根据分析结果提出土地承载力提升建议。

关键词:三维生态足迹模型; 土地承载力; 自然资本

中图分类号:F301.24

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2020)03-0256-07

Evaluation of Land Carrying Capacity in Anhui Province Based on Revised Three-Dimensional Ecological Footprint Model

SU Zilong^{1,2}, YUAN Guohua^{1,2}, ZHOU Wei^{1,2}

(1.Chinese Academy of Natural Resource Economics, Beijing 101149, China; 2.Key Laboratory of Carrying Capacity Assessment for Resources and Environment, ministry of Land and Resources, Beijing 101149, China)

Abstract: As the latest development of ecological footprint model, three-dimensional ecological footprint model can play an important role in the evaluation of land carrying capacity. The classical three-dimensional ecological footprint model was revised by adjusting the account type. Anhui Province was taken as an example. We calculated the productive land footprint, the land carrying capacity and footprint depth in the period from 2009 to 2016 by using the improved model, and analyzed the natural capital occupancy and its driving forces on the basis of the discriminant of land carrying state. The results showed that the land footprint in Anhui Province from 2009 to 2016 presented the trend of first increase and then decrease, among them, the cultivated land and forest land footprint affected by pollution accounted for larger proportion, and was far above the grass footprint. The footprint of the land and all the types of footprints were higher than the land carrying capacity. The footprint depth varied between 2.1 and 2.6, indicating that the insufficient natural capital flow led to the consumption of capital stock and had become the normal state of economic and social development in Anhui Province. The suggestions of land carrying capacity promotion were proposed according to the results of the analysis.

Keywords: three-dimensional ecological model; land carrying capacity; natural capital

土地承载力能够科学衡量人地关系,长期以来受到学术界广泛关注。经过近百年的研究,土地承载力已发展至在充分考虑土地投入、社会经济条件以及人类需求下,以粮食为单一限制因素^[1-2]或综合多个限

制因素^[3-4]开展评价。但是,这些研究中土地承载力的分析方向均是由地至人,在面对部分土地资源少、人口数量高但经济和开放较好的区域(如中国香港)时存在一定的局限性^[5]。而最早由 Rees^[6]提出的生态

收稿日期:2019-07-18

修回日期:2019-08-26

资助项目:国家重点研发专项“土地资产负债表与资源承载力评价技术与应用”(2016YFC0503501);自然资源部部门预算项目“国土空间生态修复补偿制度与机制研究”

第一作者:苏子龙(1988—),男,河南省濮阳市人,博士,助理研究员,主要研究方向为土地资源管理。E-mail:suzl@mail.bnu.edu.cn

足迹概念则从人至地,强调需要多少生产性土地来满足人类需求。后经 Wackernagel 等^[7]将其发展为二维生态足迹模型,通过比较表征区域内人类对自然资本占用的生态足迹与该区域实际拥有的生物生产性土地面积,以反映土地承载状况。但二维生态足迹模型并未对自然资本加以区分,不能体现生态赤字在时间维度上的累积效应,其评估结构信息量存在不足^[8]。因此,Niccolucci 等^[9]提出三维生态足迹模型,引入足迹广度和足迹深度,分别表征人类活动对流量资本和存量资本的占用,使生态足迹研究向纵深扩展^[8]。

当前,三维生态足迹在对自然资本分析得到广泛应用。对 Niccolucci 版三维生态足迹模型进行改进,克服生态赤字转移风险,并利用改进模型分析 11 个国家在 1999 至 2008 年自然资本利用的时空变化特征^[10];杜悦悦等^[11]从城市群尺度出发,分析了京津冀地区 13 个城市足迹深度、广度的差异和影响因素,并探讨了其自然资本可持续利用现状。虽然利用二维生态足迹参与土地承载力评价的研究已见诸多报道,但目前将三维生态足迹模型用于土地承载力评价的研究较少,相关报道有学者分别以温州市^[12]和河北省^[13]为例,将对自然资源流量的消费也由足迹深度来表征,并在改进基础上进行土地承载力评价。但上述研究是在封闭系统下,以消费量计算生态足迹,考虑到资源能源的输入输出,以区域内实际获取来计算生态足迹,即生产性生态足迹则更能客观反映对自然资本的占用情况^[14]。同时,以往三维生态足迹研究较少考虑污染。因此,本文对 Niccolucci 版三维生态足迹模型进行改进,从生产性土地足迹出发,引入污染账户,以安徽省为例进行土地生态承载力评价,并对其自然资本消耗进行驱动分析。

1 研究区概况

安徽省(114°54′—119°37′E,29°41′—34°38′N)位于华东地区,国土面积 14.01 万 km²,地处长江、淮河中下游。全省下辖 16 个省辖市,8 个县级市,53 个县,44 个市辖区。2015 年底,安徽省生产总值达到 22 005.63 亿元,三次产业占比为 11.2 : 51.5 : 37.3。全省户籍人口约为 6 949 万人,常住人口约为 6 144 万人,城镇人口比重为 50.50%。安徽省是我国重要的农产品生产基地,2015 年耕地面积为 5.88 万 km²,约占全省总面积的 42%,但人均耕地面积仅为 845.68 m²,低于当年全国平均水平(982.57 m²);森林总面积约 4 万 km²,森林覆盖率达到 29%;水资源总量约 680 亿 m³,居全国第 20 位。安徽省主要农作物包括水稻、小麦、玉米、大豆、花生、油菜、棉花等;水果主要为苹果、梨、葡萄等;禽类产品主要是猪、牛、羊肉、牛奶等;水产品主要是淡水水产品,

来源于河湖、池塘及水库。此外,安徽省是板栗、茶叶重要产地,也是我国烟叶传统产区。

2 研究方法与数据来源

2.1 研究方法

2.1.1 三维生态足迹模型 Niccolucci 等提出的三维生态足迹模型由传统二维生态足迹模型演化而来,后者将生态足迹视为平面上的封闭曲线(圆),由生态承载力(内圆)和生态赤字(圆环)相加得到;而前者则将生态足迹拉伸至一个圆柱体,圆柱体的底面表示足迹广度,圆柱体的高表示足迹深度,三维生态足迹由足迹广度和足迹深度相乘得到^[8-9,15],其计算公式为:

$$EF = BC + ED = EF_{\text{size}} \times EF_{\text{depth}} \quad (1)$$

式中:EF 为生态足迹;BC 为生态承载力;ED 为生态赤字;EF_{size} 为足迹广度;EF_{depth} 为足迹深度。其中,足迹广度表示一年内人类活动对区域自然资本流量的占用大小,即在生态承载力限度内实际占用的生物生产性土地面积,具有空间属性^[16],故其取值范围为 0 < EF_{size} ≤ BC。

足迹深度表示在自然资本的消耗超过自然资本流量时,自然资本存量透支程度,即人类对超出生态承载力部分资源在时间上的累积,具有时间属性^[15],可以理解为当一个地区自然资本存量开始被透支时,其透支量需要多少年才能被该地区的生态生产性土地生产完成,足迹深度计算公式为:

$$EF_{\text{depth}} = \frac{EF}{BC} = \frac{BC + ED}{BC} = 1 + \frac{ED}{BC} \quad (2)$$

由式 2 可知,当 EF ≤ BC 时,ED = 0,有 EF_{depth} = 1,此时自然资本流量即可满足人类需求;当 EF > BC 时,ED > 0,有 EF_{depth} > 1,此时自然资本流量已不能满足人类需求,需要动用自然资本存量^[9]。

2.1.2 改进三维生态足迹模型 本文对 Niccolucci 版三维生态足迹账户进行调整:不考虑传统生态足迹中作为“虚态”足迹化石能源用地,其没有对应的承载力,并且与实态(土地)足迹存在本质差异,计入后会抬高足迹深度,不能够反映研究区真身的承载情况^[17]。同时,添加污染账户,包括废气(CO₂, SO₂ 和粉尘)和固体废弃物,并将最终得到的包含生物资源账户、建设用地账户、水域账户和污染账户的生态足迹称为土地生态足迹,其各账户类型见表 1。需要注意的是,在污染账户中废气主要由林地消纳,而固体废弃物堆积占用耕地,故两者的足迹分别折算为林地和耕地面积,并在足迹广度和足迹深度的计算中,纳入林地和耕地生态足迹中。其中,因林地可以同时吸收 CO₂, SO₂ 并阻滞粉尘,故在计算废气生态足迹时,取三者生态足迹的最大值为废气生态足迹。同时,对生态承

承载力进行调整,将调整后的土地生态足迹对应的生态承载力称为土地生态承载力,并将其定义为区域内实际可提供的用于生物生产和污染消纳的土地面积。

土地生态足迹(LF)和土地生态承载力(LC)核算方法与二维生态足迹相同^[7,14]。其中,均衡因子采用 GFN(Global Footprint Network)发布的 2016 年《Working Guidebook to the National Footprint Accounts》中所提供的最新数据,耕地、林地、草地、水域和建设用地的均衡因子分别为 2.52,1.28,0.43,0.35,2.52^[18];产量因子采用刘某承等^[19]的研究成果,通过计算安徽省与全球的净初级生产力之比,得到耕

地、林地、草地、水域和建设用地的产量因子分别为 1.78,0.82,0.85,1.24,1.78。相应的,本研究中足迹广度和足迹深度的计算公式分别为:

$$\begin{cases} \text{当 } ED \geqslant 0 \text{ 时, } EF_{\text{size}} = LC, EF_{\text{depth}} = 1 + \frac{ED}{LC} \\ \text{当 } ED < 0 \text{ 时, } EF_{\text{size}} = LF, EF_{\text{depth}} = 1 \end{cases} \quad (3)$$

需要注意的是,由于林地同时具备生物生产和消纳废气的功能,故取林地生物生产性足迹和废气生态足迹的最大值作为林业生态足迹;而耕地不能兼顾生物生产和固体废弃物堆积,故需将两者生态足迹叠加得到耕地生态足迹。

表 1 土地生态足迹账户类型

账户类型	产品类型	土地利用类型
生物资源账户	稻谷、小麦、玉米、豆类、薯类、花生、油菜籽、芝麻、棉花、烟叶、蔬菜、禽蛋、猪肉、牛肉(86%)、羊肉(57%)、牛奶(72%)	耕地
	茶叶、苹果、梨、葡萄、油桐籽、油茶籽、板栗、竹材、木材	林地
	牛肉(14%)、羊肉(43%)、牛奶(28%)*	草地
	水产品	水域
建设用地账户	建设用地:居民工矿用地、交通用地、水电路地等	建设用地
污染账户	废气:CO ₂ , SO ₂ 和粉尘	林地
	固体废弃物:工业固体废弃物	耕地

注:安徽主要采取农牧结合饲养牛羊的方式,故草地主要承担着部分牛肉、羊肉和牛奶的生产。

2.2 数据来源

生物资源账户计算中,产品产量数据来源于《安徽省统计年鉴》(2010—2017),FAO 的数据库 FAOSTAT。特别的,FAOSTAT 中未统计竹材全球平均产量,但鉴于我国竹林面积和产量远超其他国家^[20],故将我国竹材平均产量代替全球平均产量参与计算。其中,竹材全国产量由《中国统计年鉴》(2009—2017)得到,竹林面积由“第八次全国森林资源清查”结果得到。

建设用地账户计算中,所需数据来源于建筑设施面积。由于建设用地生态足迹和承载力均指建筑设施已经实际占用的生物生产性土地面积,故两者总是相等^[21-22]。

污染账户计算中,SO₂,粉尘以及固体废弃物的排放量来源于《安徽省统计年鉴》(2010—2017),三者的平均消纳或堆积量采用前人研究成果,SO₂和粉尘单位面积林地的平均消纳量分别为 88.65 kg/hm²和 1.011 万 kg/hm²^[23-24],固体废弃物的单位面积耕地可堆积量为 1.09 亿 kg/hm²^[25]。CO₂排放量利用发改委颁布的《省级温室气体清单编制指南(试行)》中的参考方法(IPCC 方法一)进行计算,所需的能源消费数据来源于《中国能源统计年鉴》(2010—2017),根据 2016 年《Working Guidebook to the National Footprint Accounts》,CO₂的单位面积林地平均吸收量为 3.59×10³ kg/hm²^[18]。

3 结果与分析

3.1 土地生态足迹变化分析

安徽省各土地利用类型人均生态足迹变化趋势如图 1 所示。其中,在生物资源账户上,生产性耕地人均生态足迹在 0.48~0.52 hm²/人小幅波动,无明显变化趋势。生产性林地人均生态足迹呈现先增后减趋势,由 2009 年的 0.066 hm²/人增至 2014 年最高的 0.096 hm²/人,随后小幅下降至 2016 年的 0.091 hm²/人。另外,随着城乡居民对牛羊肉、牛奶等产品需求的增多,其产量有所增加,故草地人均生态足迹由 2011 年的 0.017 hm²/人增至 2016 年的 0.019 hm²/人,增长幅度较小。水域人均生态足迹呈现小幅减少趋势,由 2009 年最高的 0.078 hm²/人小幅减少到 0.068 hm²/人。建设用地人均生态足迹出现小幅增加,由 2009 年的 0.123 hm²/人增长至 2016 年的 0.128 hm²/人。

污染人均生态足迹呈先增后减的变化趋势,在 2014 年达到最高(0.694 hm²/人)后出现下降,并在 2016 年降至 2013 年水平。在污染账户各产品中,鉴于“十二五”期间安徽省固体废物管理体系的完善(如省级固体废物管理中心的建立等)和监管能力的增强,其固体废弃物人均生态足迹较低;而在废气中,CO₂人均生态足迹远高于其他废气,其变化也呈现出先增后减的趋势,但降幅较低,这也表明了安徽省对

可再生能源和清洁能源的广泛使用以及废气排放治理取得了一定效果。

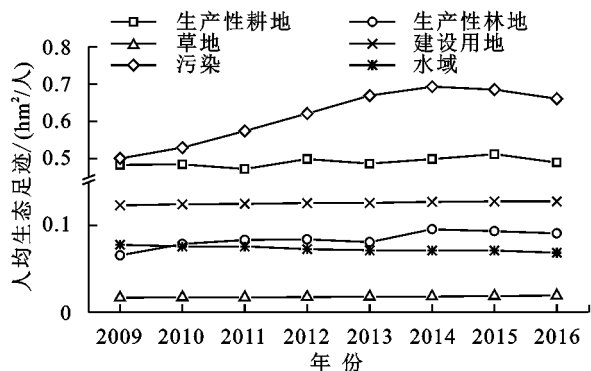


图 1 安徽省各账户人均生态足迹变化趋势

从整体上来看,2009—2016 年,安徽省人均土地生态足迹呈现先增后减趋势,由 2009 年最低的 1.202 $\text{hm}^2/\text{人}$ 增长至 2015 年最高的 1.415 $\text{hm}^2/\text{人}$,其中,2009—2014 年年平均涨幅为 3.234%,2015 年相较于 2014 年虽然仍在增长,但涨幅已降至 0.413%。涨幅放缓后,土地生态足迹在 2016 年降至 1.366 $\text{hm}^2/\text{人}$,降幅达到 3.439%,略高于 2009—2014 年平均涨幅。各地类生态足迹占比方面,人均林地生态足迹占比历年最大,这也与其他学者在安徽的研究结果相类似^[26],其占比由 2009 年最低的 41.667% 增至 2014 年最高的 49.238%,随后小幅下降至 48.394%,由于林地取 CO_2 、 SO_2 和生物生产人均生态足迹中最大者为人均林地生态足迹,故此时人均林地生态足迹实际为 CO_2 足迹。人均耕地生态足迹的占比呈现与人均林地生态足迹相反的趋势,由 2009 年最高的 40.224% 降至 2014 年最低的 35.411%,随后两年出现小幅上升,但仍在 36% 左右浮动。人均耕地生态足迹与人均林地生态足迹的占比差距从 2009 年的 1.443% 迅速拉大至 2014 年的 13.828%,但在随后两年小幅降低,这也从侧面显示出安徽省工业特别是能源消耗较高的重工业得到了迅速发展。相比之下,草地和建设用地人均生态足迹占比虽均呈现先减后增的趋势,但变化幅度较小,且所占份额较低(两者总份额低于 13%)。人均水域生态足迹占比呈现逐年降低趋势,同样变化幅度较小,所占份额也较低(图 2)。

3.2 土地生态承载力分析

安徽省土地生态承载力变化如图 3 所示,从总体来看,安徽省人均土地生态承载力在研究时序相对稳定,呈小幅下降趋势,由 2009 年的 0.531 $\text{hm}^2/\text{人}$ 小幅降至 2016 年的 0.518 $\text{hm}^2/\text{人}$,但远低于人均土地生态足迹,整体呈现超载状态。

相较于多个地类人均生态足迹的大幅变化,各地类人均生态承载力变化较为平缓。人均耕地生态承

载力从 2009 年的 0.344 $\text{hm}^2/\text{人}$ 降至 2016 年的 0.330 $\text{hm}^2/\text{人}$,降幅较小,与耕地面积变化基本对应,这是由于近年来安徽省退耕还林、建设用地占用与耕地保护力度加强共同作用的结果,但由于低于同期人均耕地生态足迹,属于超载状态。林地总面积在研究时序内变化较小,随着人口的增加,人均林地面积呈小幅减小趋势,导致人均林地生态承载力呈现相似趋势,但远低于人均林地生态足迹,处于超载状态,其中,由于生产性人均林地生态足迹相对较低(但在研究时序内仍高于人均林地生态承载力),故其超载的主要压力来源于废气污染足迹。安徽省草地面积较少,且人均草地面积远低于全国平均水平(根据 2016 年全国人口及牧草地面积计算约为 0.051 $\text{hm}^2/\text{人}$,安徽仅为 0.001 $\text{hm}^2/\text{人}$),在人类对畜牧业需求逐渐增大的形势下,草地面临巨大的生产压力,人均草地生态承载力远低于人均草地生态足迹,处于超载状态,并且与耕地类似,人均草地生态承载力有小幅下降趋势。水域面积在研究时序内相对稳定,但随着人口的增加,人均水域面积逐年小幅减少,导致人均水域生态承载力呈现相似变化,同时,虽然人均水域生态足迹也呈小幅下降趋势,但仍远高于人均水域生态承载力,故处于超载状态。

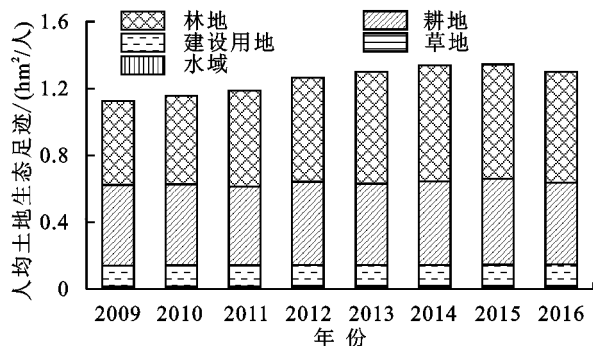


图 2 安徽省人均土地生态足迹变化趋势

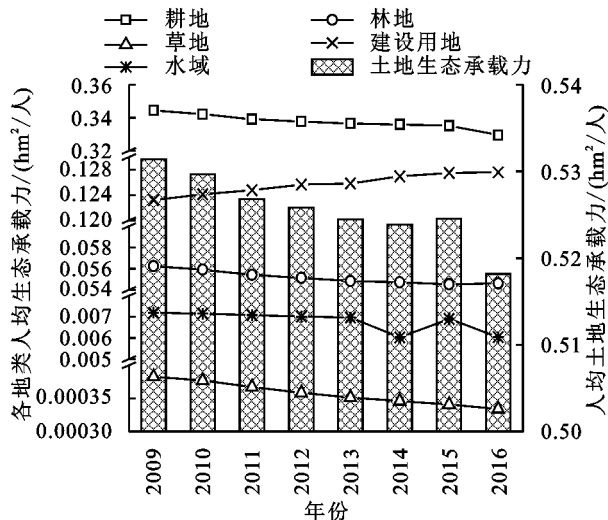


图 3 安徽省各地类生态承载力变化趋势

3.3 自然资本利用情况分析

自然资本能够提供资源流和生态系统服务,是人类生存和发展所必须的物质基础^[27]。在研究时序中,安徽省土地承载状态及各地类承载状态均为超载,该结论为定性分析,需要明确自然资本具体利用情况,从而为土地生态承载力评价结果的运用提供量化支持。本文根据三维生态足迹模型计算得到土地足迹深度和土地自然资本存量—流量比例。

从整体来看(图 4),安徽省人均土地生态承载状态为超载,需要消耗自然资本存量来维持生产和污染消纳(主要为林地对废气的消纳)。安徽省土地足迹深度由 2009 年的 2.262 升至 2015 年最高的 2.697,后在 2016 年降至 2.636。土地自然资本存量—流量比例也出现相同变化规律,在 2015 年达到最高的 1.697 后,降至 2016 年的 1.636,这表明在安徽省所利用的土地自然资本中存量资本的比例正在逐年上升,在 2016 年出现缓和,但仍有超过 60% 的消耗由土地存量资本提供,而这一消耗量已相当于约 1.6 倍土地自然资本流量,即土地自然资本流量不足导致资本存量大量消耗已成为安徽省当前经济社会发展的常态。

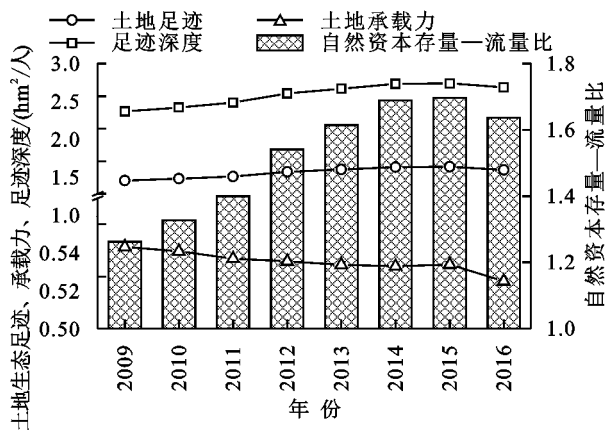


图 4 安徽省土地生态足迹、土地生态承载力与自然资本利用变化趋势

对于各地类足迹深度和自然资本存量—流量比例如图 5 所示。耕地承载状态为超载,其自然资本流量被完全占用,且资本存量开始消耗。耕地足迹深度在研究时序内呈现波动增长趋势,长期在 1.4~1.5 变化,即要维持当前耕地产品生产需要 1.4~1.5 倍的耕地面积。而根据耕地自然资本存量—流量利用比的变化情况,耕地自然资本存量的消耗相当于 0.4~0.5 倍的土地自然资本流量,表明当前通过透支耕地自然资本存量维持生产已成为农业发展常态。

林地承载状态为超载,其足迹深度呈现先增后减趋势,在 2014 年达到最高的 12.682,后降至 2016 年的 12.107。需要注意的是,若不考虑 CO₂ 等废气的消纳,仅生产性林地的足迹深度在研究时序内在 1.1~1.7 波动,

即维持林地生产最多需要约 1.7 倍的林地面积,这远低于吸纳 CO₂ 所需的林地面积,后者在至少需要约 9 倍于现在林地面积。该结果也表明研究时序内安徽省生产生活方式的能耗较高,降低传统化石能源消费尚需时日,未来仍面临较大的温室气体减排压力。

草地承载状态为超载,且由于牛羊肉、牛奶等产量的扩大,草地足迹深度由 2009 年的 43.949 增至 2016 年的 57.553,自然资本存量—流量利用比也由 42.949 增至 56.553,即若仅以安徽省草地资源予以支持,则草地自然资本存量已被严重消耗,维持当前草地生产需要约 58 倍的当前草地面积。未来随着肉、奶类产品需求的增大,草地自然资本存量的消耗仍将加剧,亟需多元化饲料、饲草进口渠道来支持安徽省畜牧业发展。

水域承载状态为超载,但由于人均水域足迹降幅要高于水域承载力,导致水域足迹深度整体呈现小幅下降趋势,由 2009 年的 10.784 下降至 2016 年的 10.032,自然资本存量—流量利用比也由 9.784 降至 9.032,即安徽省淡水产品的生产,已开始透支水域自然资本存量,处于不可持续状态。

特别的,由于建设用地本质上是对生物生产性土地的实际占用,故建设用地的生态足迹总是等于其生态承载力^[22]。因此,本文中,建设用地的足迹深度始终为 1,自然资本存量—流量利用比始终为 0。

4 讨论

综上所述,安徽省土地处于超载状态,通过土地生态足迹和自然资本利用分析,发现由废气、固废排放引起的污染足迹占用了大量的存量自然资本,而这其中又以 CO₂ 人均生态足迹为最高(在污染足迹中占比为 81.276%~91.877%),即在研究时序内,安徽省面临着严重的碳排放压力。而自 2016 年进入“十三五”后,安徽省工业高速发展对能源的高依赖性、城市化进程的加快以及以煤为主的能源消费结构带来的“高碳”特征,都会继续加大安徽省的碳排放压力,但同时受节能减排政策影响,安徽省碳排放单耗指标已处于国内行业领先水平,减排空间有限^[28]。因此,安徽省未来应从两方面来控制碳排放:一方面转变能源消费结构,推广清洁能源,在承接产业转移过程中加强排放方面的审核和要求,适当调整产业结构,减少低端高耗重工业;另一方面通过提升森林资源数量和质量来提高森林碳汇功能^[29],在这方面,安徽省已于 2017 年启动实施林业增绿增效行动(《安徽省人民政府关于实施林业增绿增效行动的意见》皖政〔2017〕62 号)。

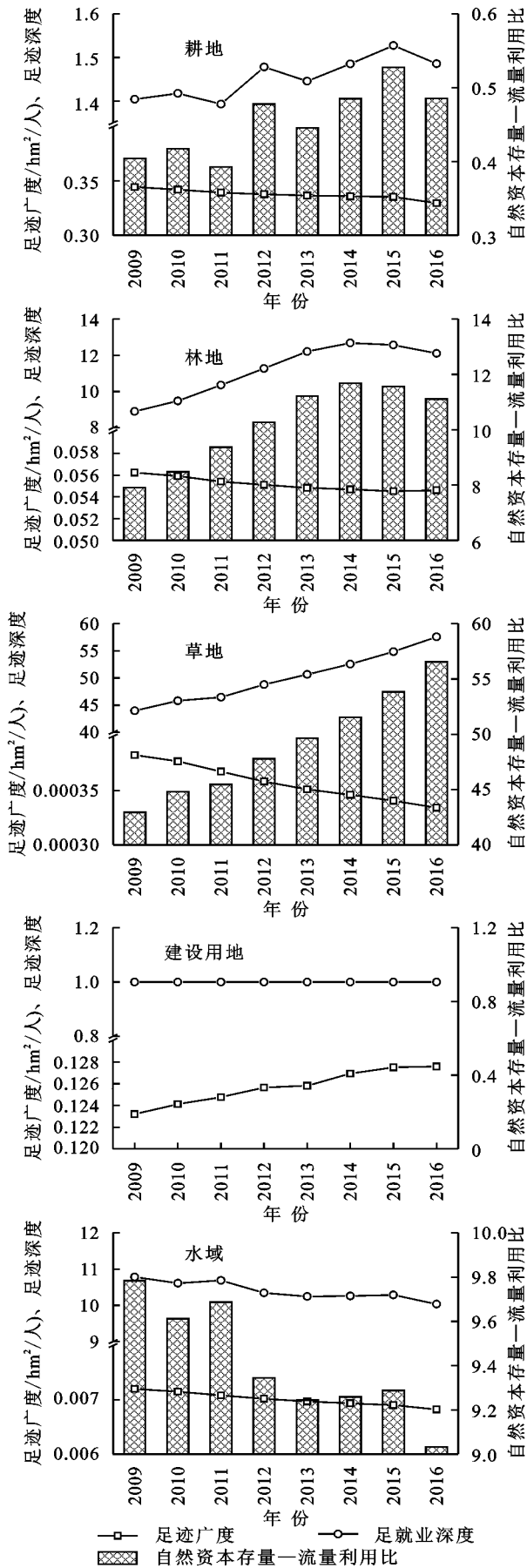


图 5 各地类足迹广度、足迹深度和自然资本存量—流量利用比变化趋势

除污染足迹外,各地类生产性生态足迹在研究时序内也均高于对应的土地生态承载力,即即使不考虑污染足迹的影响,安徽省土地承载状态仍为超载。而土地生态承载力的超载致使自然资本存量消耗,有学者指出,随着足迹深度逐渐增大,资本存量消耗加快,还会反作用于生态承载力,导致其降低^[8,30],这将对安徽省的可持续发展带来严重压力。而通过合理的保护或经营可提升土地生态承载力,使自然资本得到不同程度的增值^[31],具体可从两方面开展:一方面是提高土地单位面积产量以促进土地生态承载力提升,具体可表现为加大种养殖科技投入,改良种植、畜牧、渔业养殖方式和模式,提高单位生产性土地产出;另一方面是调整土地利用结构,研究时序内,安徽省常住人口城镇化率自 2009 年的 42.10% 增长至 2016 年的 51.99%,相应的对建设用地的需求也在逐渐增加,表现为研究时序内建设用地承载力呈逐年上升趋势,耕地、林地、草地、水域生态承载力呈逐年下降趋势,未来城镇化进程仍将持续背景下,应划定城市开发边界,推进提高土地节约集约利用,并在加强保护的基础上适时补充耕地,增加林地、草地等生态用地面积。

5 结论

(1) 安徽省土地生态足迹呈现先增大后减小的趋势,于 2015 年达到最高后在 2016 年出现下降,且降幅相对较大。在各地类生态足迹中,林地生态足迹受污染账户影响占比最高,耕地次之,建设用地和草地生态足迹占比较低。

(2) 安徽省土地承载状态为超载,其中,各地类生态承载力在研究时序内保持相对稳定,除建设用地外,其他地类生态承载力呈逐年小幅下降趋势,但在研究时序内均低于对应的土地生态足迹,即各地类承载状态均为超载状态。

(3) 安徽省在研究时序内已开始消耗自然资本存量,且其比例逐年上升,在 2016 年出现缓和,但仍有超过 60% 的消耗由土地存量资本提供,土地自然资本流量不足导致资本存量大量消耗已成为当前经济社会发展的常态。未来应从控制碳排放、提高土地单产、调整土地利用结构等方面减轻自然资本存量消耗,提升土地承载力。

此外,本文受数据所限,并未对土地自然资本消耗的驱动因素进行分析,在下一步的研究中可利用适宜的回归模型,分析主要驱动因素,并以此为依据,提出针对性的土地生态承载力提升建议。

参考文献:

- [1] FAO. Potential population supporting capacities of lands in developing world [R]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1982.
- [2] 郑振源. 中国土地的人口承载潜力研究[J]. 中国土地科学, 1996, 10(4): 33-38.
- [3] Australia UNESCO Seminar, Committee for Man and the Biosphere. Energy and how we live; Flinders university of South Australia [M]. Canberra: Australian-Unesco Committee, 1973.
- [4] 王书华, 毛汉英. 土地综合承载力指标体系设计及评价: 中国东部沿海地区案例研究[J]. 自然资源学报, 2001, 16(3): 248-254.
- [5] 靳相木, 李陈. 土地承载力研究范式的变迁、分化及综论[J]. 自然资源学报, 2018, 33(3): 526-540.
- [6] Rees W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out [J]. Environment and Urbanization, 1992, 4(2): 121-130.
- [7] Wackernagel M, Rees W E. Our ecological footprint: Reducing human impact on the earth [M]. British Columbia: New Society Publishers, 1996.
- [8] 方恺. 生态足迹深度和广度: 构建三维模型的新指标[J]. 生态学报, 2013, 33(1): 267-274.
- [9] Niccolucci V, Bastianoni S, Tiezzi E B P, et al. How deep is the footprint? A 3 D representation[J]. Ecological Modelling, 2009, 220(20): 2819-2823.
- [10] 方恺. 基于改进生态足迹三维模型的自然资本利用特征分析: 选取 11 个国家为数据源[J]. 生态学报, 2015, 35(11): 3766-3777.
- [11] 杜悦悦, 彭建, 高阳, 等. 基于三维生态足迹的京津冀城市群自然资本可持续利用分析[J]. 地理科学进展, 2016, 35(10): 1186-1196.
- [12] 靳相木, 柳乾坤. 基于三维生态足迹模型扩展的土地承载力指数研究: 以温州市为例[J]. 生态学报, 2017, 37(9): 2982-2993.
- [13] 沈文东, 许峰. 基于三维生态足迹模型扩展的土地承载力指数研究: 以河北省为例[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(4): 505-515.
- [14] 张可云, 傅师雄, 张文彬. 基于改进生态足迹模型的中国 31 个省级区域生态承载力实证研究[J]. 地理科学, 2011, 31(9): 1084-1089.
- [15] 胡美娟, 周年兴, 李在军, 等. 南京市三维生态足迹测算及驱动因子[J]. 地理与地理信息科学, 2015, 31(1): 91-95.
- [16] 张星星, 曾辉. 珠江三角洲城市群三维生态足迹动态变化及驱动力分析[J]. 环境科学学报, 2017, 37(2): 771-778.
- [17] 方恺, 吴次芳, 董亮. 城市化进程中的土地自然资本利用动态分析[J]. 自然资源学报, 2018, 33(1): 1-13.
- [18] Lin D, Hanscom L, Martindill J, et al. Working guidebook to the national footprint accounts; 2016 [M]. Oakland, USA: Global Footprint Network, 2016.
- [19] 刘某承, 李文华, 谢高地. 基于净初级生产力的中国生态足迹产量因子测算[J]. 生态学杂志, 2010, 29(3): 592-597.
- [20] 谢鸿宇, 叶慧珊. 中国主要农产品全球平均产量的更新计算[J]. 广州大学学报: 自然科学版, 2008, 7(1): 76-80.
- [21] 卞子浩, 赵永华, 王晓峰, 等. 陕西省生态足迹及其驱动力[J]. 生态学杂志, 2016, 35(5): 1316-1322.
- [22] 周涛, 王云鹏, 龚健周, 等. 生态足迹的模型修正与方法改进[J]. 生态学报, 2015, 35(14): 4592-4603.
- [23] 段锦, 康慕谊, 江源. 基于淡水资源账户和污染账户的生态足迹改进模型[J]. 自然资源学报, 2012, 27(6): 253-263.
- [24] 赵同谦, 欧阳志云, 郑华, 等. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价[J]. 自然资源学报, 2004, 19(4): 480-491.
- [25] 白珏, 曾辉, 魏建兵, 等. 基于环境污染账户核算的生态足迹模型优化: 以珠江三角洲城市区为例[J]. 应用生态学报, 2008, 19(8): 1789-1796.
- [26] 王俊杰. 中国省级生态压力与生态效率综合评价: 基于生态足迹方法[J]. 当代经济, 2016(8): 3-15.
- [27] 郑德凤, 刘晓星, 王燕燕, 等. 基于三维生态足迹的中国自然资本利用时空演变及驱动力分析[J]. 地理科学进展, 2018, 37(10): 1328-1339.
- [28] 汤丽洁, 蒋旭东, 杨庆, 等. 安徽碳排放特征及“十三五”碳排放对策[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(20): 204-206, 211.
- [29] 程会强, 陈豹. 基于脱钩理论的安徽经济增长与碳排放动态分析[J]. 西部论坛, 2013, 23(4): 91-97.
- [30] 杨屹, 朱彦臻, 张景乾. 关中一天水经济区生态足迹变化驱动因素[J]. 生态学报, 2017, 37(21): 7061-7067.
- [31] 刘洋, 王爱国. 自然资本核算研究的理论与方法综述[J]. 会计之友, 2019(3): 26-31.