

薛选登,白茹冰. 基于生态足迹模型的耕地资源可持续利用研究——以河南省为例[J]. 江苏农业科学,2020,48(21):274-281.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.21.052

基于生态足迹模型的耕地资源可持续利用研究

——以河南省为例

薛选登,白茹冰

(河南科技大学经济学院,河南洛阳 471000)

摘要:运用改进的生态足迹模型,使用“区域公顷”生态足迹计算方法,对河南省及其18个地(市)近10年的耕地资源消费水平和耕地资源生产能力进行计算,动态分析河南省耕地生态足迹及生态承载力发展现状,并通过耕地可持续利用系数,研判河南省耕地资源发展阶段,提出河南省耕地可持续发展的政策建议。

关键词:河南省耕地资源;生态足迹;可持续利用;区域公顷;生态承载力

中图分类号:F323.211 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2020)21-0274-08

耕地是人类得以存在和进步的基石。我国作为人口大国、农业大国,用仅占世界7%的耕地面积养育着18%的人口,河南省是我国的农业大省,更是国家粮食生产核心区,肩负着国家粮食安全重任;同时河南省也是全国人口最多的省份。河南省耕地资源的可持续利用对河南地区乃至我国粮食安全具有重要意义。

生态足迹(ecological footprint,简称EF)是指特定人口其所占用的用于生产其所消耗的资源 and 容纳其所产生的废弃物的生物生产性土地或海洋面积。对生态足迹大小的测量代表了人类对自然资源消耗的范围和程度。生态足迹方法的出现,将可持续发展以人类对资源的消耗能否维持现阶段及未来的发展通过生产性土地面积表现出来,有效地测度了人类活动是否处于生态环境可承载的范围内,这一方法也在许多领域得到广泛应用和创新。

1 研究现状

生态足迹一词在20世纪90年代由加拿大经济学家William最早提出^[1],便很快在世界范围内被广泛使用和研究,1999年其学生Wackernage等拓展并延伸了这个定量研究方法^[2],随后,该方法便被

国际机构及各研究者采纳使用,世界自然基金会采用此方法于1998年发布《Living Planet Report》。同时,生态足迹的研究范围、空间、研究方法也在不断扩展,研究范围从全球向国家、区域和个人扩展,空间从土地向旅游、债务等方面延伸^[3];研究方法不断完善,主要有用国家平均产量因子取代全球平均产量因子,运用投入产出法^[4]、区域土地覆盖变化法^[5]改进生态足迹模型计算方法。

自1999年生态足迹方法引入我国以来,生态足迹模型迅速在国内引起广泛关注,众多学者开始对各个区域进行进一步研究,进而延伸到各个行业领域。从生态足迹的领域拓展方向来看,生态足迹模型由对土地资源的利用逐渐向旅游生态足迹^[6]、有色金属生态足迹^[7]、城市交通生态足迹^[8]、水足迹和碳足迹^[9]各个方向延伸。由于土地是广泛的概念,随着领域范围的拓展和细化,土地这一宽泛的概念不能有效解决不同类型土地各自所产生的生态足迹,随后有学者针对土地功能的不同进行了不同的区域划分,如耕地、草地、林地等。在对耕地资源可持续利用的探索中,学者们也提出了能值-拓展生态足迹模型^[10],除加入能值这一新元素的改进方法外,学者尝试通过对原始模型中均衡因子及产量因子的改进而产生“国家公顷”“省公顷”等区域性质的生态足迹计算方法,吴开亚等将“全球公顷”与“国家公顷”进行比较差异分析,证明“国家公顷”更符合国内研究需要^[11-12]。于此同时,研究方法也在不断创新,从模型中均衡因子、产量因子的改变,到动态预测、时间序列的引入,为生态足迹模型的

收稿日期:2019-11-16

基金项目:国家社会科学基金(编号:18BGL165)。

作者简介:薛选登(1971—),男,河南洛阳人,博士,教授,硕士生导师,研究方向为农业经济,E-mail:xue69519@163.com;白茹冰(1994—),女,河南洛阳人,硕士研究生,研究方向为农业经济,E-mail:bairubing332@163.com。

发展提供更坚实的研究基础。

国内外学者为生态足迹的研究提供了重要的理论基础和经验借鉴,但生态足迹在发展过程中仍旧会遇到许多问题,如生态足迹在对土地利用的研究中并未充分考虑到水资源、能源资源产生的影响,现有对水资源生态足迹的研究所涉及的内容并不全面;对土地类型的划分应用在实证研究中难以做到完整地分离,这本身与土地的性质紧密相关,仍需在今后的研究中找到更好的解决方法。同时现有生态承载力(ecological capacity,简称EC)的研究集中在生物资源自身的再生能力上,社会、经济及科学技术等诸多因素并未充分考虑在内,比如忽略了其他因素对生态承载力产生的积极或消极影响。

目前,在计算耕地承载力上,国内大部分研究都是基于传统的生态足迹模型而使用全球平均生产力(全球公顷,gha)来进行计算,然而这一方法适用于国际之间的比较。由于各国国情差异较大,在用于国内省际区域比较时,使用全球平均生产力会使计算存在一定误差。本研究运用改进后的“区域公顷”生态足迹模型,即“区域公顷”(国家公顷与省公顷)生态足迹模型对河南省及其18个地市近10年的耕地资源消费水平和耕地资源生产能力进行计算,并引入可持续发展指数等指标体系,对河南省耕地资源可持续发展状况作出评价,在此基础上以期为河南省耕地资源的可持续发展提供政策依据。

2 研究区概况与数据来源

2.1 河南省耕地资源利用情况

河南省是我国重要的粮食产区,承担着保障国家粮食安全的战略任务,近年来,随着经济的飞速发展,人口的快速增长,对河南省的耕地资源需求越来越高;基础设施建设需要、环境污染等问题使河南省耕地面积不断受到威胁,耕地产出能力下降。作为全国粮食大省,耕地资源能否可持续利用,能否保证河南省乃至全国的粮食供给,也成为当前河南省一个需要高度关注的问题。

2.1.1 总耕地面积基本保持稳定,人均耕地面积变化较大 近10年来,河南省耕地面积保持总体稳定并有小幅增长趋势,从2008年的720.22万 hm^2 增长为2017年的811.23万 hm^2 ,河南省人均耕地面积的变化特征与总耕地面积变化特征基本一致,但其波动下降趋势较耕地面积变化更为明显,表明人口对耕地的影响自2009年后更为明显(表1)。

表1 河南省总耕地面积及人均耕地面积变化情况

| 年份 | 总耕地面积 (万 hm^2) | 人均耕地面积 (hm^2) |
|------|-----------------------------|-----------------------------|
| 2008 | 720.22 | 0.072 6 |
| 2009 | 819.20 | 0.082 0 |
| 2010 | 817.70 | 0.078 0 |
| 2011 | 816.19 | 0.077 8 |
| 2012 | 815.68 | 0.077 4 |
| 2013 | 814.07 | 0.076 8 |
| 2014 | 812.61 | 0.076 2 |
| 2015 | 810.59 | 0.075 6 |
| 2016 | 811.10 | 0.075 2 |
| 2017 | 811.22 | 0.074 7 |

注:资料来源于《2008—2017 中国统计年鉴》,中国统计年鉴出版社。

2.1.2 主要粮食作物与经济作物播种面积变化差异较大 2008—2017年河南省主要农产品播种面积变化主要分为2种情况:即粮食作物的上升趋势与经济作物的下降趋势。粮食作物中如稻谷、小麦、玉米及花生同2008年相比,10年间分别增长1.7%、8.6%、41.8%和20.4%;经济作物中如棉花、麻类、甘蔗及烟叶同2008年相比,10年间分别下降93.4%、71.1%、33.8%和7.1%。其中棉花的播种面积在进口棉花价格优势冲击下逐年快速下降,从2008年的60.6万 hm^2 下降至2017年的4.0万 hm^2 ,下降率达93.4%(表2)。河南省粮食类农作物的持续增长与该省作为全国产粮大省息息相关,河南省肩负着全国粮食供给的重任,因而应对河南省耕地的产出能力保持高度关注。

2.2 模型数据来源

研究区间内的河南省生物生产性资源数据、河南省总人口、河南省耕地面积以及主要农作物生产面积分别来自《河南省统计年鉴2008—2017年》,主要农产品全国平均产量计算原始数据来源于国家统计局,各类生物生产资料的单位热值来自《农业技术经济手册(修订版)》及相关文献。

3 研究方法 with 计算

3.1 “区域公顷”生态足迹模型

通过生态足迹的特点可知,其计算是基于土地、空间基础上的研究,国外学者在研究的过程中多采用“全球公顷”进行全球范围的、国家之间的大范围研究。随着研究区域、范围的不断深入,生态足

表2 2008—2017年河南省主要农产品播种面积变化

| 作物种类 | 播种面积(×10 ³ hm ²) | | | | | | | | | |
|------|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 2008年 | 2009年 | 2010年 | 2011年 | 2012年 | 2013年 | 2014年 | 2015年 | 2016年 | 2017年 |
| 稻谷 | 604.67 | 611.30 | 610.84 | 616.28 | 621.77 | 610.97 | 614.64 | 616.35 | 614.09 | 615.03 |
| 小麦 | 5 260.00 | 5 263.30 | 5 364.56 | 5 430.10 | 5 468.79 | 5 517.97 | 5 581.24 | 5 623.13 | 5 704.90 | 5 714.64 |
| 玉米 | 2 820.00 | 2 895.42 | 3 233.50 | 3 398.40 | 3 564.69 | 3 823.60 | 4 009.41 | 4 189.91 | 4 210.46 | 3 998.94 |
| 花生 | 956.73 | 975.35 | 992.135 | 1005.80 | 999.67 | 1 016.70 | 1 023.56 | 1 023.96 | 1 051.02 | 1 151.92 |
| 豆类 | 551.00 | 529.29 | 487.56 | 475.38 | 487.79 | 460.80 | 413.25 | 370.35 | 366.40 | 389.85 |
| 薯类 | 307.90 | 315.35 | 265.19 | 257.18 | 229.09 | 221.86 | 261.34 | 257.02 | 245.03 | 112.67 |
| 棉花 | 606.00 | 537.33 | 354.23 | 280.57 | 169.40 | 114.96 | 88.11 | 64.34 | 50.03 | 40.00 |
| 麻类 | 11.39 | 7.48 | 7.44 | 8.13 | 6.61 | 6.54 | 4.68 | 4.56 | 4.11 | 3.29 |
| 甘蔗 | 3.49 | 5.00 | 3.42 | 3.34 | 3.23 | 3.11 | 2.94 | 2.60 | 2.42 | 2.31 |
| 烟叶 | 111.89 | 127.03 | 122.15 | 124.70 | 125.42 | 137.15 | 123.80 | 114.27 | 109.21 | 103.95 |
| 蔬菜 | 1 713.7 | 1 692.21 | 1 720.13 | 1 725.50 | 1 676.77 | 1 682.95 | 1 654.83 | 1 671.02 | 1 682.11 | 1 736.14 |
| 西瓜 | 259.98 | 280.48 | 270.72 | 249.68 | 256.67 | 258.45 | 248.15 | 241.45 | 257.03 | 260.86 |
| 甜瓜 | 51.10 | 46.10 | 47.60 | 55.84 | 46.28 | 45.89 | 43.51 | 44.78 | 47.63 | 48.12 |
| 草莓 | 4.68 | 4.23 | 4.76 | 4.76 | 4.94 | 5.23 | 5.20 | 6.40 | 7.71 | 9.25 |

注:资料来源于《2008—2017 中国统计年鉴》。

迹模型的适用性开始降低,“全球公顷”对于省级层面的比较就显得过于宽泛。因此“国家公顷”的出现适应了范围缩小带来的影响,利用“全国平均生产力”代替“全球平均生产力”,大大提升了对省级层面研究的精确度,突显区域特性。同理,在研究区域进一步缩小时,仍需对生态足迹模型中的平均生产力进行调整。如研究市级层面时,则用“省公顷”代替“国家公顷”,即用“全省平均生产力”代替“国家平均生产力”,以适应市级层面的研究。

3.1.1 全国平均生产力 生态足迹模型以土地面积为基础,将生物资源主要划分为六大土地类型:耕地、林地、草地、渔业用地、建设用地及化石燃料用地^[13],本研究仅针对耕地这一土地类型进行计算分析。全国平均生产力计算公式如下:

$$EP_i = P_i/A_i \quad (1)$$

式中:EP_i为第i种作物的全国平均产量(kg/hm²);i为作物的类型;P_i是第i种生产性作物的全国产量(kg);A_i为第i种生产性作物的土地面积(hm²)。

依据河南省耕地情况所选取的耕地生产性作物主要包括稻谷、小麦、玉米、花生、豆类、薯类、棉花、麻类、甘蔗、烟叶、蔬菜、西瓜、甜瓜、草莓共14种农作物,河南省主要农作物的全国平均产量见表3。在计算河南省18个地市时所需的河南省平均产量计算方法,即河南省平均生产力同理公式(1)可得。

3.1.2 均衡因子及产量因子的调整 均衡因子的

计算主要涉及不同类型的土地,本研究只针对河南省的耕地进行可持续利用研究,生物生产性土地属于同类型,不需要再对生产性作物进行均衡化处理,因而均衡因子为1。

由于不同的区域受人为因素如地形、生态环境及社会因素等的影响,同类型的土地其生产力也各不相同,为了方便不同区域间的比较(如省际之间的比较),通过使各区域同类型土地的平均生产力与全国同类型土地的平均生产力相除,得到产量因子。产量因子计算公式如下:

$$Y_i^z = \frac{\overline{P_i^z}}{P_i} = \frac{Q_i^z}{S_i^z} = \frac{\sum_k (P_k^i)^z \gamma_k^i}{\sum_k P_k^j \gamma_k^i} \quad (2)$$

式中:Y_i^z指z区域内第i类土地的产量因子;P_i^z指z区域内第i类土地的平均生产力(×10⁹ J/hm²);P_i指全国第i类土地的平均生产力(×10⁹ J/hm²);Q_i^z指z区域内第i类土地的总产出(×10⁹ J);S_i^z指z区域内第i类土地的总面积(hm²);Q_i指全国所有第i类土地的总产出(×10⁹ J),S_i指全国所有第i类土地的总面积(hm²);(P_kⁱ)^z指z区域内第i类土地的第k种产品的年产量(kg);r_kⁱ指的是第i类土地的第k种产品的均衡因子。

3.1.3 河南省耕地生态足迹的计算 生态足迹模型的计算主要包括3个方面:生态足迹的计算、生态

表3 2008—2017年河南省主要农产品产量及全国平均产量

| 项目 | 河南省主要农产品产量(kg/hm ²) | | | | | | | | | | 全国平均产量 (kg/hm ²) |
|----|---------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------------------------------|
| | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | |
| 稻谷 | 6 562.5 | 6 585.3 | 6 553.0 | 6 687.3 | 6 776.9 | 6 717.3 | 6 813.2 | 6 891.3 | 6 861.7 | 6 916.9 | 7 379.8 |
| 小麦 | 4 762.0 | 4 739.1 | 4 748.4 | 4 837.2 | 4 986.2 | 5 055.6 | 5 243.5 | 5 392.6 | 5 327.1 | 5 481.2 | 5 518.3 |
| 玉米 | 5 555.7 | 5 258.5 | 5 453.7 | 5 747.5 | 5 869.7 | 6 015.9 | 5 808.9 | 5 892.9 | 5 971.3 | 6 110.3 | 6 285.4 |
| 花生 | 3 364.8 | 3 360.6 | 3 455.5 | 3 502.5 | 3 598.5 | 3 663.3 | 3 580.0 | 3 561.7 | 3 657.3 | 3 709.6 | 3 875.6 |
| 豆类 | 1 686.2 | 1 615.5 | 1 682.0 | 1 791.7 | 1 782.3 | 1 729.5 | 1 770.9 | 1 792.7 | 1 784.3 | 1 832.2 | 1 892.7 |
| 薯类 | 3 536.6 | 3 468.7 | 3 559.1 | 3 675.2 | 3 705.6 | 3 714.4 | 3 731.9 | 3 763.0 | 3 753.8 | 3 901.5 | 4 028.4 |
| 棉花 | 1 302.0 | 1 288.6 | 1 229.4 | 1 310.0 | 1 458.2 | 1 449.5 | 1 463.3 | 1 475.9 | 1 584.4 | 1 769.5 | 1 709.8 |
| 麻类 | 2 821.5 | 2 429.5 | 2 393.1 | 2 498.0 | 2 580.7 | 2 506.5 | 2 673.0 | 2 594.1 | 2 990.4 | 3 728.0 | 2 850.1 |
| 甘蔗 | 71 210.0 | 68 093.0 | 65 700.0 | 66 485.0 | 68 600.0 | 70 577.0 | 71 351.0 | 73 121.0 | 74 550.0 | 76 132.0 | 77 705.0 |
| 烟叶 | 2 140.4 | 2 203.2 | 2 233.9 | 2 143.4 | 2 133.7 | 2 078.8 | 2 046.7 | 2 155.6 | 2 140.7 | 2 115.2 | 2 345.0 |
| 蔬菜 | 33 140.0 | 33 618.0 | 34 263.0 | 34 589.0 | 34 828.0 | 35 174.0 | 35 509.0 | 35 694.0 | 35 730.0 | 81 141.0 | 42 626.0 |
| 西瓜 | 36 244.0 | 36 729.0 | 37 617.0 | 38 207.0 | 39 251.0 | 39 898.0 | 40 406.0 | 41 458.0 | 41 877.0 | 42 295.0 | 42 974.0 |
| 甜瓜 | 32 997.0 | 31 184.0 | 31 194.0 | 32 168.0 | 32 448.0 | 33 889.0 | 33 624.0 | 33 133.0 | 33 601.0 | 34 273.0 | 35 748.0 |
| 草莓 | 24 021.0 | 24 482.0 | 25 545.0 | 25 974.0 | 27 461.0 | 27 265.0 | 27 469.0 | 26 906.0 | 25 685.0 | 25 171.0 | 28 357.0 |

注:资料来源于《2008—2017 中国统计年鉴》,中国统计年鉴出版社。

承载力的计算和生态赤字(盈余)的计算。相关学者指出,对于缺少的区域间贸易调整数据,使用河南省生物资源生产量数据替代生物资源消费量数据,可能会造成耕地、草地生态足迹计算结果比实际值略高^[14]。生态足迹计算公式如下:

$$EF = N \cdot ef = N \cdot \sum_{i=1}^n (aa_i) = N \cdot \sum_{i=1}^n C_i / P_i \quad (3)$$

式中:EF为总的生态足迹(hm²);N为人口数;ef为人均生态足迹(hm²/人);aa_i为人均*i*种商品折算的生物生产面积(hm²/人);C_i为第*i*种商品的人均年消费量;P_i为第*i*种商品的(全国)年平均土地生产力;*i*为消费商品和投入的类型。

生态承载力指一个地区的自然资源所能够承载的人类消耗和容纳废弃物的生物生产性土地面积,其计算公式如下^[15]:

$$EC = N \cdot ec = N \cdot \sum_{j=1}^n a_j \cdot y_j \quad (4)$$

式中:EC为总生态承载力(hm²);ec为人均生态承载力(hm²/人);a_j为第*j*类生态生产性土地的实际人均面积(hm²/人);y_j为第*j*类生态生产性土地的产量因子,由于均衡因子为1,故不参与计算。同时出于生物保护考虑,在生态承载力计算时要扣除12%的生态面积用于生物多样性保护。

生态赤字/盈余(ecological deficit/remainder,简称ED/ER)通过生态足迹与生态承载力之间的比较反映一个地区的现有自然资源能否提供人类的消

费情况^[16]。生态赤字/盈余的计算公式为

$$ED/ER = EF - EC \quad (5)$$

式中:ED/ER为总生态赤字/盈余(hm²)。

3.2 河南省耕地生态可持续评价

传统的生态可持续发展评价将人均生态足迹与人均生态承载力进行比较。相关学者认为,该方法不便于进行区域间的比较,不能真正反映一个地区耕地资源的利用状态,认为生态赤字和生态盈余是个绝对数字,因而提出了可持续发展指数(SDI)这一评价方法。该方法通过区域总生态承载力与区域总生态承载力和区域总生态足迹之和的比值来反映区域耕地可持续发展指数^[17]。但该方法在计算的过程中没有考虑到人口规模的问题,因而有学者将可持续发展指数进行了进一步的完善,将区域总生态承载力和总生态足迹改为人均生态承载力和人均生态足迹,提出可持续利用系数(SUI)以便对区域耕地可持续利用状况进行定量评估^[18]。

耕地可持续利用评价SUI的范围为0~1,当SUI=0.5时,耕地生态足迹等于耕地生态承载力,即人类活动对耕地产出的消费等于耕地资源的供给,达到平衡状态。当SUI向0发展时说明耕地资源已逐渐无法满足人类对耕地的需求,耕地利用不可持续;相反,当SUI向1发展时表明耕地产出大于人类需求,耕地处于可持续状态^[19]。其计算公式为

$$SUI = \frac{ec}{ec + ef} \quad (6)$$

式中: SUI 为区域耕地资源的可持续利用系数; ef 为区域人均耕地生态足迹; ec 为区域人均耕地生态承载力。对于耕地可持续利用状态评价标准,本研究采用刘钦普等的评价标准^[20](表4)。

表4 区域耕地可持续利用评价等级

| 耕地可持续利用强度 | 等级 |
|-----------|-------------|
| 强不可持续 | <0.20 |
| 中等不可持续 | 0.20 ~ 0.34 |
| 弱不可持续 | 0.35 ~ 0.49 |
| 弱可持续 | 0.50 ~ 0.64 |
| 中等可持续 | 0.65 ~ 0.80 |
| 强可持续 | >0.80 |

表5 计算河南省耕地生态足迹指标体系

| 项目 | 年产量 (万 t) | 全国平均产量 (kg/hm ²) | 总生态足迹 | 均衡因子 | 总人口 (人) | 人均生态足迹 (hm ² /人) |
|----|--------------|---------------------------------|---------------|------|-------------|--------------------------------|
| 稻谷 | 485.248 2 | 7 379.844 | 657 531.80 | 1 | 108 530 000 | 0.006 058 5 |
| 小麦 | 3 705.210 0 | 5 518.292 | 6 714 415.00 | 1 | 108 530 000 | 0.061 866 9 |
| 玉米 | 2 170.144 3 | 6 285.437 2 | 3 452 654.00 | 1 | 108 530 000 | 0.031 812 9 |
| 花生 | 529.813 9 | 3 875.602 0 | 1 367 049.00 | 1 | 108 530 000 | 0.012 596 1 |
| 豆类 | 53.357 2 | 1 892.717 3 | 281 907.70 | 1 | 108 530 000 | 0.002 597 5 |
| 薯类 | 88.000 0 | 4 028.388 9 | 218 449.60 | 1 | 108 530 000 | 0.002 012 8 |
| 棉花 | 4.400 0 | 1 709.815 0 | 25 733.78 | 1 | 108 530 000 | 0.000 237 1 |
| 麻类 | 2.244 9 | 2 850.123 3 | 7 876.50 | 1 | 108 530 000 | 7.257×10^{-5} |
| 甘蔗 | 16.236 9 | 77 704.776 0 | 2 089.59 | 1 | 108 530 000 | 1.925×10^{-5} |
| 烟叶 | 26.696 0 | 2 344.984 0 | 113 843.00 | 1 | 108 530 000 | 0.001 049 0 |
| 蔬菜 | 7 530.217 2 | 42 626.322 0 | 1 766 565.00 | 1 | 108 530 000 | 0.016 277 2 |
| 西瓜 | 1 447.005 6 | 42 974.450 5 | 336 713.00 | 1 | 108 530 000 | 0.003 102 5 |
| 甜瓜 | 201.375 9 | 35 747.871 2 | 56 332.27 | 1 | 108 530 000 | 0.000 519 0 |
| 草莓 | 22.075 1 | 28 356.636 0 | 7 784.80 | 1 | 108 530 000 | 7.173×10^{-5} |
| 合计 | | | 15 008 945.04 | | | 0.138 293 1 |

注:资料数据由《2017年河南省统计年鉴》整理得出。

表6 河南省2008—2017年人均耕地生态足迹

| 年份 | 人均生态足迹 (hm ² /人) | 年份 | 人均生态足迹 (hm ² /人) |
|------|--------------------------------|------|--------------------------------|
| 2008 | 0.130 130 | 2013 | 0.131 279 |
| 2009 | 0.1297 71 | 2014 | 0.1312 66 |
| 2010 | 0.126 843 | 2015 | 0.136 118 |
| 2011 | 0.128 540 | 2016 | 0.136 930 |
| 2012 | 0.130 270 | 2017 | 0.138 290 |

最低值0.126 843 hm²/人,降幅为2.5%;随后2010—2014年有小幅下降,随后2014—2017年迅速增长,其中2014—2015年有大幅增长,增长率为3.7%;2015年后增速放缓,增长率为1.6%。

通过人均生态足迹的变化趋势来看,人们对耕

4 分析与结论

4.1 河南省耕地资源可持续利用分析

4.1.1 人均生态足迹 本研究中的计算只涉及河南省区域内的耕地,没有其他类型土地的参与故不需均衡化处理,即均衡因子为1。具体数据指标以2017年为例(表5)。

由公式(3)计算得出河南省2007—2016年人均耕地生态足迹。从表6、图1可以看出,近10年来河南省耕地资源的人均生态足迹呈现波动上升趋势,整体处在人均0.126 ~ 0.139 hm²/人之间。2008—2010年有连续下降,2010年达到近10年来

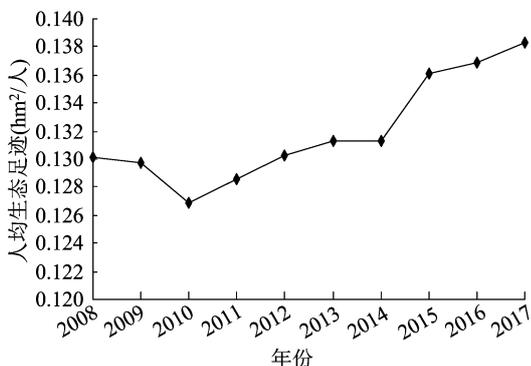


图1 河南省2008—2017年人均耕地生态足迹动态变化

地产出的消费与经济快速发展、物质精神生活的丰富以及人民生活水平的提高息息相关。人均生态足迹数值的不断增长,表明人对耕地资源的需求量

和消费量持续增加,从而会对耕地生态平衡造成较大压力。

4.1.2 2008—2017年河南省人均耕地生态承载力

由公式(4)计算得出2008—2017年河南省人均耕地生态承载力。从表7、图2可以看出,2008—2017年,河南省生态承载力呈现波动变化的趋势。2008—2009年生态承载力较为平稳,2009年至2011年生态承载力大幅下降,降幅为5.7%,并在2011年达到近10年最低点,为0.109 849 89 hm²/人,受到2008年冬季大旱灾和国际国内经济形势的严重影响,耕地产出能力迅速下降。2011—2012年生态承载力快速回升,增幅达9.1%,2012—2016年波动范围较小,并在2016年达到10年间最高点,为0.122 405 07 hm²/人,耕地产出能力的提升使耕地生态压力减小,生态承载力提高;2017年出现大幅下降,降幅为7.1%。

表7 2008—2017年河南省人均耕地生态承载力

| 年份 | 人均生态承载力 (hm ² /人) | 年份 | 人均生态承载力 (hm ² /人) |
|------|------------------------------|------|------------------------------|
| 2008 | 0.116 314 97 | 2013 | 0.119 022 66 |
| 2009 | 0.116 511 12 | 2014 | 0.118 828 75 |
| 2010 | 0.112 709 81 | 2015 | 0.121 324 88 |
| 2011 | 0.109 849 89 | 2016 | 0.122 405 07 |
| 2012 | 0.119 903 00 | 2017 | 0.115 191 29 |

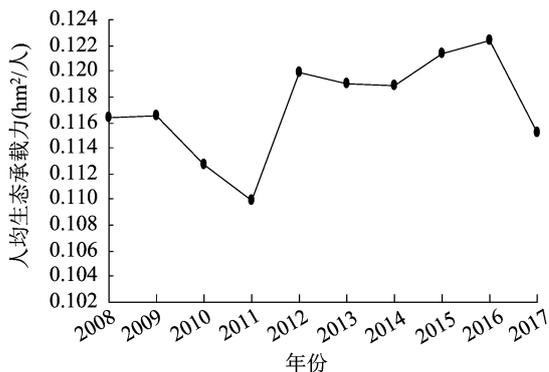


图2 河南省2008—2017年人均耕地生态承载力动态变化

4.1.3 河南省耕地资源可持续利用动态评价

通过人均生态足迹与人均生态承载力之间的对比(图3)发现,在2008—2017年研究区间内,河南省人均生态足迹整体高于人均生态承载力,河南省耕地资源可持续利用总体处在弱不可持续状态。人均生态足迹自2008年后开始出现下降趋势,而人均生态承载力从2009年开始出现下降趋势,说明市场的调节具有滞后性。受国际国内整体经济形势的消极

影响,导致2008—2010年期间,人均生态足迹与人均生态承载力均呈下降趋势。通过对生态足迹模型分析数据的观察发现,2009—2012年期间内,由于人均生态承载力有较大幅度波动,因而使得生态赤字在2011年前后的发展状态有较大差异。

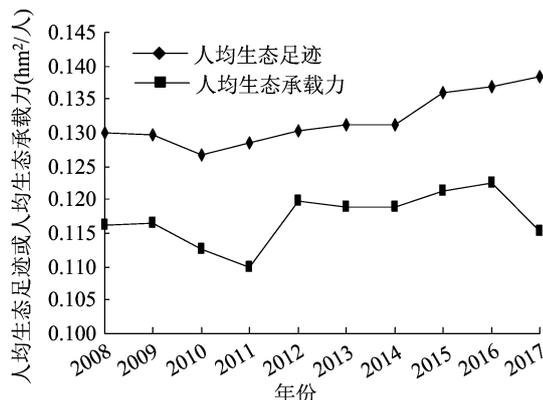


图3 河南省2008—2017年人均生态足迹与人均生态承载力比较

由表8、图4可以得出,尽管人们对农产品的需求不断增加,人均生态足迹整体上升,但耕地可持续利用系数始终没有较大波动,说明耕地的生物资源也在不断增加,为河南粮食大省和人口大省提供充足的粮食供给。但需要注意的是,河南省耕地资源可持续利用系数仍处在弱不可持续阶段,且有向中等不可持续过渡的趋势,粮食安全问题必须得到重视。

结合表6、表8的数据及图4可以通过公式(5)计算出河南省2008—2017年耕地生态赤字(盈余)。通过分析可以看出,人均生态赤字呈波动上升趋势,2010—2012年波动幅度较大,2012年之后处于持续增长状态。人均生态赤字表明人们对耕地资源的需求超过了耕地生产力。河南省作为产粮大省,肩负着承担全国粮食的重任,但就目前来看,持续供给的任务愈加难以完成。尽管这表示人们生活质量的提高,但对耕地资源的高要求更使得耕地压力与日俱增,耕地可持续利用举步维艰。

4 结论与政策建议

4.1 基本结论

本研究通过改进的生态足迹模型构建河南省耕地资源可持续利用系数指标,采用土地面积法,即实际人均占有土地面积来计算,改进了传统模型中使用“全球平均生产力”来计算产量因子的方法,采用“国家公顷”代替“全球公顷”,通过全国平均生产力来计算产量因子,使模型数据更准确、更贴合

表8 河南省2008—2017年人均耕地资源可持续利用情况

| 年份 | 耕地资源(hm ² /人) | | | |
|------|--------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | 人均生态足迹 | 人均生态承载力 | 人均生态赤字 | SUL |
| 2008 | 0.130 137 22 | 0.116 314 97 | 0.013 822 25 | 0.471 957 54 |
| 2009 | 0.129 771 08 | 0.116 511 12 | 0.013 259 97 | 0.473 079 73 |
| 2010 | 0.126 843 06 | 0.112 709 81 | 0.014 133 26 | 0.470 500 76 |
| 2011 | 0.128 539 14 | 0.109 849 89 | 0.018 689 26 | 0.460 800 93 |
| 2012 | 0.130 196 78 | 0.119 902 52 | 0.010 294 27 | 0.479 419 64 |
| 2013 | 0.131 279 32 | 0.119 022 66 | 0.012 256 66 | 0.475 516 25 |
| 2014 | 0.131 265 61 | 0.118 828 75 | 0.012 436 86 | 0.475 135 67 |
| 2015 | 0.136 117 77 | 0.121 324 88 | 0.014 792 89 | 0.471 269 55 |
| 2016 | 0.136 931 87 | 0.122 405 07 | 0.014 526 80 | 0.471 992 41 |
| 2017 | 0.138 293 06 | 0.115 191 29 | 0.023 101 77 | 0.454 431 57 |

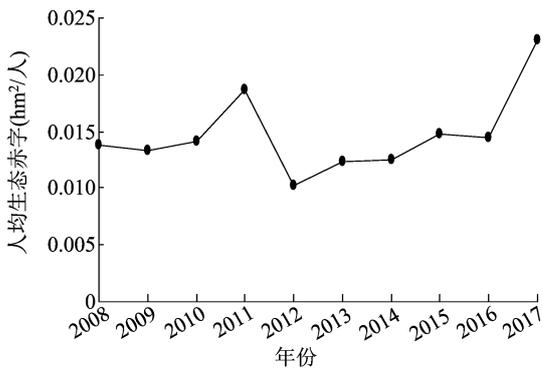


图4 河南省2008—2017年人均生态赤字动态变化

实际,以便于对河南省耕地资源可持续利用状况进行观察并得出结论。同时对河南省18个地级市采用“省公顷”的计算方法来代替“国家公顷”,用河南省平均生产力取代全国平均生产力,更新产量因子数据,使各地市的生态足迹数据更为准确。

在2008—2017年研究区间内,河南省人均生态足迹整体呈波动上升态势,人均生态承载力呈波动下降态势,且人均生态足迹整体高于人均生态承载力,河南省耕地资源可持续利用总体处在弱不可持续状态。本研究得出,尽管人们对农产品的需求不断增加,人均生态足迹整体上升,但耕地可持续利用系数始终没有较大波动,说明耕地的生物资源也在不断增加,为河南这一粮食大省和人口大省提供充足的粮食供给。但需要注意的是,河南省耕地资源可持续利用系数仍处在弱不可持续阶段,且有向中等不可持续过渡的趋势,粮食安全必须得到重视。人均生态赤字呈波动增长态势,2008—2009年有小幅下降;2009—2011年持续增长,2011年达到研究区间最高点0.018 689 26 hm²/人。生态赤字的持续存在说明当前人们对耕地资源产出的需求越

来越高,耕地资源的生产力不能及时跟上人们对耕地资源的消费。河南省作为产粮大省,肩负着承担全国粮食的重任,但就目前来看,持续供给的任务愈加难以完成。尽管这表示人们生活质量的提高,但对耕地资源的高要求更使得耕地可持续发展举步维艰。

4.2 政策建议

4.2.1 推动农业高质量发展,提升农业现代化水平

要实现农业高质量发展,首先要从耕地产出入手,提升农副产品质量。鼓励、支持、引导一批“育繁推一体化”种业企业,一方面鼓励农业科技人员积极参与到企业当中,为企业提供育种的技术支持,另一方面加强政策引导,为“育繁推一体化”种业企业提供良好的发育环境,建设一批良种创新培育示范基地,给予政策和资金的支持。同时强化品牌战略,形成品牌规模,由龙头农产品品牌带头,推动优质农产品产业联动,形成集聚效应;并加强与物流的联合,减少运损,在运输环节保证质量。其次,加强农业技术投入,以技兴业,从生产、流通到消费各环节提高科技含量。在加大良种培育力度的同时高效利用农业资源,在农用设备中充分运用人工智能,通过分析实际数据设计出节能减排的最佳方案,从灌溉到施肥、从大棚到农用机械,节约水资源和各项能耗、减少废水废气的排放,并将生产成本控制在合理水平。

4.2.2 加强农业利用精准化,提高耕地资源利用率

大力发展精准农业,充分利用信息技术进行管理。精准农业是农业发展的趋势,也是学者的主要研究方向。面对人口的迅速增长对耕地产出的巨大需求以及耕地自身承载能力不足的压力,必须提

高耕地资源的利用效率:首先将3S技术(遥感技术、地理信息技术和全球定位系统的统称)运用到对土地可持续耕作能力的评价中,运用遥感技术(RS)精准确定可利用土地范围,区别农用地与非农用地;用地理信息系统(GIS)对监测中的各项数据进行整理分析,统一集中管理;最后用卫星导航系统(GPS)进行精准定位,确定各项耕地产出的种植、面积变化等。最后建立数据库,对数据进行统计分析,以实现耕地资源可持续发展以及经济效益的最大化。同时运用3S技术可以对各类自然灾害进行监测并分析数据,通过建立3S数据库对旱灾、水灾等自然灾害的出现进行规律总结和一定程度上的预判行为,最终从抵御自然灾害能力的提升角度来增强河南省耕地的可持续发展能力。

4.2.3 发展绿色循环农业,减少过度消耗,提升耕地生态环境 提高绿色意识,减少污染物排放,充分利用现有生产资源完成再循环。首要任务是提升人们对绿色循环农业的认识,不仅要强化绿色农业在农民心中的影响,使农民在种植过程中减少对化肥、农膜及农药的过度使用;例如充分利用秸秆粉碎还田技术,将秸秆用做肥料或切碎储存用做牲畜饲料以及培养食用菌等,不仅充分利用了现有资源,还减少了环境污染。其次政府应建立健全相关制度,提供政策和科技的支持,对农户开展绿色农产品种植给予政策优惠,并向农户积极提供技术信息和优质良种以及更为环保的农用基础设施,农户从农作物种植到培育加强监管,并积极反馈农作物状态,与农业专业技术人员建立联系,与其他农户合作经营,保证农作物生产过程的高效、高质与资源节约。

4.2.4 人才兴农,强化耕地与人力的联系 积极推动农业专业人才的引入,加强技术人员与农户、耕地的联系。强化人才战略,从农户入手培养新型职业农民,提高农民的职业水平,种植技术和培育能力,鼓励支持农村青壮年劳动力返乡创业;要充分发挥地方政府在高层次规划设计人才队伍建设中的引导作用,对现有高等院校、研究机构的农业专业技术人员,通过项目资金的扶持,吸纳他们的创新性成果,为农业可持续发展服务。建立合理引导激励机制,不断提高乡村管理干部的综合素质,提升乡村管理干部的学历层次,不断为农村发展培育管理技术人才。

参考文献:

- [1] William E R. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out [J]. *Environment and Urbanization*, 1992, 4(2): 121 - 130.
- [2] Wackernagel M, Lewan L. Evaluating the use of natural capital with the ecological footprint applications in Sweden and subregions [J]. *Ambio*, 1999, 28(7): 604 - 612.
- [3] 杨莉, 余倩倩. 海南省城乡居民消费的环境影响评估和环境公平性分析 [J]. *江苏农业学报*, 2019, 35(5): 1232 - 1239.
- [4] Lenzen M, Shauna A M. A modified ecological footprint method and its application to Australia [J]. *Ecological Economics*, 2001, 37(2): 229 - 255.
- [5] Wood R, Lenzen M. An application of a modified ecological footprint method and structural path analysis in a comparative institutional study [J]. *Local Environment*, 2003, 8(4): 365 - 386.
- [6] 章锦河, 张捷. 旅游生态足迹模型及黄山市实证分析 [J]. *地理学报*, 2004, 59(5): 763 - 771.
- [7] 王淑新, 何红, 李双, 等. 中国旅游足迹家族研究进展 [J]. *自然资源学报*, 2019, 34(2): 424 - 436.
- [8] 梁勇, 成升魁, 闵庆文. 生态足迹方法及其在城市交通环境影响评价中的应用 [J]. *武汉理工大学学报(交通科学与工程版)*, 2004, 28(6): 821 - 824.
- [9] 黄林楠, 张伟新, 姜翠玲, 等. 水资源生态足迹计算方法 [J]. *生态学报*, 2008, 28(3): 1279 - 1286.
- [10] 王时东. 基于能值-扩展生态足迹模型的宿州市耕地可持续利用动态分析 [D]. 南京: 南京农业大学, 2009: 33 - 42.
- [11] 吴开亚, 王玲杰. 基于全球公顷和国家公顷的生态足迹核算差异分析 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2007, 17(5): 80 - 83.
- [12] 张桂宾, 王安周. 中国中部六省生态足迹实证分析 [J]. *生态环境*, 2007, 16(2): 598 - 601.
- [13] 李江, 王冬雁, 刘晓东, 等. 中国有色金属行业的生态足迹浅析 [J]. *世界有色金属*, 2018, 513(21): 246, 249.
- [14] 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.
- [15] 高中良, 郑钦玉, 谭秀娟, 等. “国家公顷”生态足迹模型中均衡因子及产量因子的计算及应用——以重庆市为例 [J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(15): 7868 - 7871.
- [16] 朱金亮, 李玉平, 蔡运龙. 基于灰色预测模型的河北省生态足迹动态分析与预测 [J]. *干旱区资源与环境*, 2011, 25(2): 24 - 28.
- [17] 刘秀丽, 张勃, 鲁国江, 等. 基于生态足迹的甘肃省耕地资源可持续利用与情景预测 [J]. *干旱区地理*, 2013, 36(1): 84 - 91.
- [18] 杨凤海, 赵焯荣, 赫轩, 等. 黑龙江省耕地利用生态可持续性研究 [J]. *东北农业大学学报*, 2016, 47(9): 77 - 84.
- [19] 程超. 基于生态足迹改进模型的云南省耕地利用可持续性研究 [D]. 昆明: 云南财经大学, 2017.
- [20] 刘钦普, 林振山, 冯年华. 生态足迹改进模型及在江苏省耕地利用评价中的应用 [J]. *生态学杂志*, 2007, 26(10): 1685 - 1689.