

2009—2015 年中国耕地资源利用时空格局变化研究 ——基于粮食安全与生态安全双重视角

陈先鹏¹, 方 恺¹, 吴次芳^{1,2}, 王田雨¹, 龙 吟³

(1. 浙江大学 公共管理学院, 浙江 杭州 310058; 2. 浙江大学 土地与国家发展研究院, 浙江 杭州 310058; 3. 日本东京大学 新领域创成科学研究科, 千叶 柏市 277-8563)

摘 要: [目的] 研究 2009—2015 年中国及其 31 个省(不含港澳台地区)耕地资源利用的时空格局变化, 为优化和完善中国耕地保护政策, 促进区域可持续发展提供科学参考。[方法] 基于粮食安全和生态安全双重视角, 利用粮食供需平衡法和生态足迹法, 分析耕地资源的供需盈亏和生态盈亏, 并结合耕地保护红线和行星边界框架, 探讨中国耕地资源利用的安全区间。[结果] 从粮食供需盈亏来看, 中国耕地利用处于供需不平衡状态, 省际差异明显, 盈余省份主要分布在中部和东北地区, 东南沿海省份赤字系数较高; 从生态足迹盈亏来看, 中国耕地利用总体处于生态赤字状态, 赤字系数较高的省份主要位于中东部人口集聚和经济发达地区及西北地区, 少数盈余省份分布在南部和西南地区; 行星边界框架提出的耕地转化率不超过 15%, 具有一定合理性。结合耕地保护红线讨论中国耕地规模的安全区间, 认为 $1.20 \times 10^8 \sim 1.44 \times 10^8$ hm^2 是相对合理的设定。[结论] 今后在完善区域差别化耕地保护政策的过程中, 应当关注耕地规模区间的设定和变动, 遵循粮食安全与生态安全协调并举的可持续发展原则。

关键词: 粮食安全; 生态安全; 粮食供需平衡; 生态足迹; 行星边界; 耕地利用

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2019)03-0291-06

中图分类号: F301.21

文献参数: 陈先鹏, 方恺, 吴次芳, 等. 2009—2015 年中国耕地资源利用时空格局变化研究[J]. 水土保持通报, 2019, 39(3): 291-296. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2019.03.047; Chen Xianpeng, Fang Kai, Wu Cifang, et al. A study on spatio-temporal changes in patterns of China's cultivated land use from 2009 to 2015[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(3): 291-296.

A Study on Spatio-temporal Changes in Patterns of China's Cultivated Land Use from 2009 to 2015 —Insights from Food Safety and Ecological Security

Chen Xianpeng¹, Fang Kai¹, Wu Cifang^{1,2}, Wang Tianyu¹, Long Yin³

(1. School of Public Affairs, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310058, China;

2. Land Academy for National Development, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310058,

China; 3. Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo, Kashiwa 277-8563, Japan)

Abstract: [Objective] This paper aims to investigate the spatio-temporal changes in the patterns of cultivated land use in China and its 31 provinces (excluding Hong Kong, Macao and Taiwan) from 2009 to 2015 so as to provide a scientific reference for promoting China's cultivated land protection policy and regional sustainable development. [Methods] The methods of grain supply-demand balance and ecological footprint analysis were employed to account for the cultivated land budget based on food safety and ecological security. In addition, the safe operating space for cultivated land utilization in China was discussed based on the China's ecological redline policy and the planetary boundaries framework. [Results] The budget of supply and demand of China's cultivated land was generally in disequilibrium, with surplus in central and northeast of China and deficit in southeast of China. From the perspective of ecological footprint, the cultivated land use in China

收稿日期: 2019-03-27

修回日期: 2019-04-04

资助项目: 中国科学院战略性先导科技专项“泛第三极环境变化与绿色丝绸之路建设”课题(XDA20040400)

第一作者: 陈先鹏(1987—), 男(汉族), 浙江省长兴县人, 博士研究生, 研究方向为资源环境承载力。E-mail: chenxp@zju.edu.cn。

通讯作者: 方恺(1986—), 男(汉族), 浙江省杭州市人, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事资源环境管理研究。E-mail: fangk@zju.edu.cn。

was in deficit. The provinces with high deficit coefficient were mainly located in the central and eastern regions of densely populated and economically developed provinces, while a few surplus provinces were mainly distributed in south and southwest of China. Following the planetary boundaries framework arguing that the maximum permissible percentage of global land cover converted to cropland was estimated at 15%, together with China's redline of cultivated land protection, the safe operating space for cultivated land use in China could be ranging from $1.20 \times 10^8 \text{ hm}^2$ to $1.44 \times 10^8 \text{ hm}^2$. [Conclusion] More attentions need to be paid on the determination and variation of safe range for cultivated land at multiple scales. The food safety and ecological security could assist decision makers in developing regional-specific policies for sustainable use of cultivated land.

Keywords: grain safety; ecological security; grain supply-demand balance; ecological footprint; planetary boundaries; cultivated land use

耕地资源以生物生产为基础功能^[1],其中又以在国计民生中起战略保障作用的粮食生产^[2]为首要功能。中国耕地总量虽居世界前列,然人均耕地占有量远不及世界平均水平,且水土空间分布不均衡,耕地质量总体上不高,耕地后备资源严重不足,同时承担着养育庞大人口的压力。随着工业化、城镇化的持续推进,建设用地规模呈现不断扩张之势^[3],占用了大量耕地,同时又受生态退耕、农业结构调整等因素的影响,中国粮食安全形势受到了广泛关注。若考虑国际粮食贸易,根据有关研究,中国虚拟耕地净进口量从1978年的 $4.16 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 增加到了2010年的 $3.68 \times 10^7 \text{ hm}^2$,相当于中国耕地面积的27%左右^[4]。中国从保障粮食安全的战略高度提出了守住 $1.20 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 耕地保护红线的目标,制定了耕地占补平衡、划定永久基本农田等一系列耕地保护制度。近年来,众多学者从多种视角研究了耕地利用与粮食生产之间的关系^[5-9],为深入理解耕地对维护粮食安全的特殊意义提供了科学依据。

第二次土地调查成果公报显示,中国耕地面积较之前增加 $1.38 \times 10^7 \text{ hm}^2$,增长率高达11.34%^[10]。这里面固然存在调查技术和调查标准调整的因素,但需要看到的是,随着农作物播种面积不断扩大,势必会导致能耗和废弃物排放相应增加,并挤占其他生态用地空间,导致部分生态服务功能丧失,进而对生态安全造成负面影响^[11]。根据统计数据^[12],2006—2016年中国农作物总播种面积处于持续上升态势。其中,2003—2015年中国粮食作物播种面积一直保持增长,并实现了粮食产量“十二连增”,但近两年略有回落。粮食增产的背后,除了粮食播种面积扩大、科技进步、进口等原因,也源于大量化肥和农药的使用,而这也导致了水污染、土壤肥力下降、大气污染等生态环境问题的出现。因此,本文认为不仅需要从保障“谷物基本自给、口粮绝对安全”的战略高度研究中国耕地资源供需盈亏状况,还有必要从生态安全视角出发探讨耕地资源利用的生态盈亏状况,进而通过两种不同视角来揭示中国耕地资源利用的时空分异规律。

当前地球已经进入了由人类活动主导的人类世时代,人类正以前所未有的规模和强度深刻影响着全球的自然环境变化^[13]。土地利用作为人类主要活动形式之一,与气候变化、水资源消耗、氮磷循环等地球生物物理过程密切相关^[14-16]。因此,耕地保护政策除了要关注粮食安全外,还应考虑其可能导致的生态安全问题。一些学者对耕地的生态安全状况进行了评价^[17-18],也有学者从粮食安全和生态安全双重视角来探讨区域耕地保护经济分区补偿或耕地资源安全时空特征等问题^[19-21]。然而,国内学者大多关注如何确保 $1.20 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 耕地保护红线不被突破,以及耕地利用过程中可能引起的生态环境问题,鲜有研究基于双重视角探讨全国范围内耕地资源利用的时空分异规律及其适宜规模,对于中国耕地资源利用应处于何种安全区间也缺乏探讨。鉴于此,本文试从粮食安全和生态安全双重视角分析中国及31个省份(不含港澳台地区)2009—2015年的耕地资源利用供需和生态盈亏状况及其时空分异特征,并结合行星边界框架探讨中国耕地资源利用的安全区间,以期为优化和完善中国耕地保护政策,促进区域可持续发展提供科学参考。

1 方法与数据

1.1 研究方法

1.1.1 基于粮食安全测度中国耕地资源供需盈亏
在耕地资源供需变化研究方面,蔡运龙等提出了最小人均耕地面积和耕地压力指数的计算方法^[5],周小平等提出了人均耕地阈值及耕地赤字(盈余)的计算方法^[6],李孝顺等引入了耕地稀缺/盈余系数^[7]。这些研究从本质上说都是从粮食供需平衡的角度来揭示耕地资源的供需盈亏状况。鉴于粮食供需平衡分析方法在学界具有较高的认可度,本文从粮食安全的战略目标出发,分析耕地需求量,对比耕地供给量,得出耕地供需的盈亏状况。计算步骤如下:

(1) 粮食安全耕地需求量。

$$d = \alpha \times c / (p \times q \times k) \quad (1)$$

$$q = r / S \quad (2)$$

$$Y = p \times r \times k \quad (3)$$

由式(1)~(3)推导可得以下公式:

$$D = N \times d = N \times \alpha \times c \times (S / Y) \quad (4)$$

式中: d ——区域最小人均耕地需求量; α ——粮食自给率; c ——人均粮食消费量; p ——粮食产量; q ——粮食作物播种面积占总播种面积的比例; k ——复种指数; r ——粮食播种面积; S ——耕地总面积; Y ——耕地粮食总产量; D ——区域最小耕地需求总量; N ——人口数量。

(2) 耕地供给量。

$$s = S / N \quad (5)$$

式中: s ——人均耕地供给量。

(3) 耕地供需盈亏量。

$$U = N \times u = N \times (s - d) \quad (6)$$

$$\lambda = u / s \times 100\% \quad (7)$$

式中: u ——人均耕地供需盈亏量; U ——耕地供需盈亏总量; λ ——耕地供需盈亏系数。当 $u > 0$ 时,耕地为供大于求状态;当 $u = 0$ 时,耕地处于供需平衡状态;当 $u < 0$ 时,耕地为供小于求状态。 λ 的绝对值越大,表明耕地供需盈亏程度越高。

1.1.2 基于生态安全测度中国耕地资源生态盈亏
生态足迹法假设人类可以确定自身消费的绝大多数生物资源及其所产生的废弃物,且这些资源和废弃物能够转换成相应的生物生产性土地面积^[22]。通过测算生态足迹及其对应的生物承载力,可以清楚地测度区域生态盈亏状况,因而在实际研究中有着十分广泛的应用,成为当前可持续性发展量化领域最为重要的方法范式之一^[23-24]。本文采用生态足迹法测度中国耕地生态盈亏状况,通过计算所需和实际占用的生物生产性耕地面积,得到耕地生态足迹和生物承载力,进而评估耕地生态盈亏状况。计算步骤如下:

(1) 耕地生态足迹。

$$EF = N \times ef = N \sum (r_j \times c_i / p_i) \quad (8)$$

式中: EF ——耕地生态足迹; ef ——人均耕地生态足迹; i ——消费项目的类别; r_j ——将不同的土地利用类型转化为统一的潜在生产力标准的均衡因子(本文只测算耕地一种生物生产性土地,不涉及多种土地利用类型,因此均衡因子取1); c_i ——第 i 种消费项目的人均消费量; p_i ——第 i 种消费项目的全国平均生产能力。

(2) 耕地生物承载力。

$$EC = N \times ec = N \times a \times r \times y \quad (9)$$

式中: EC ——耕地生物承载力; ec ——人均耕地生物

承载力; a ——人均生物生产性耕地面积; r ——均衡因子; y ——耕地产量因子。

(3) 耕地生态盈亏量。

$$ED = N \times ed = N \times (ec - ef) \quad (10)$$

$$\gamma = ed / ec \times 100\% \quad (11)$$

式中: ed ——人均耕地生态盈亏量; ED ——耕地生态盈亏总量; γ ——耕地生态盈亏系数。当 $ed > 0$ 时,耕地为生态盈余状态;当 $ed = 0$ 时,耕地生态收支相抵;当 $ed < 0$ 时,耕地为生态赤字状态。 γ 的绝对值越大,表明耕地生态盈亏程度越高。

1.2 数据来源

(1) 国家统计局数据,网址为 <http://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01>。其中,2009—2015年中国年末总人口、主要农作物(稻谷、小麦、玉米等)产品产量和播种面积数据来自国家统计局官网中的国家数据—年度数据;全国和31个省(不含港澳台地区)的耕地面积数据来自中国统计年鉴“资源和环境”指标中的“分地区耕地面积”;31个省(不含港澳台地区)的人口、主要农作物产品产量数据来自国家数据—地区数据—分省年度数据。全国“主要农作物单位面积产量”指标在2009—2015年间变化幅度较小,因此本文将2009年耕地各项产品的全国平均生产力作为整个研究时段的全国平均生产力,对计算结果的影响不大。

(2) 已有学术或政策文献。2009—2015年中国31个省(不含港澳台地区)的产量因子取自刘某承等的《基于净初级生产力的中国生态足迹产量因子测算》^[25];粮食自给率、人均粮食消费量参考根据《国家粮食安全中长期规划纲要(2008—2020年)》^[26]。粮食自给率取95%,假定各年份人均粮食消费量呈一定的速率增长,按2010年389 kg/(人·年),2020年395 kg/(人·年)线性推算。

(3) 世界银行数据库,网址为: <https://data.worldbank.org.cn/?year=2015>。包括世界及不同收入水平经济体耕地占土地面积的百分比数据。

2 结果与分析

2.1 基于粮食安全的中国耕地资源供需盈亏时空格局变化

2009—2015年全国31个省(不含港澳台地区)的人均耕地供需盈亏量、盈亏总量及盈亏系数如附图16所示。从粮食安全视角来看,过去7a中国人均耕地供需盈余量从2009年的0.01 hm²递增至2015年的0.02 hm²/人,相应的盈余总量从9.80 × 10⁶ hm²递增至2.38 × 10⁷ hm²,盈余系数从7.24%递增至

17.63%。2015年有18个省份呈现盈余,包括河北、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、江苏、安徽、江西、山东、河南、湖北、湖南、重庆、四川、云南、甘肃、宁夏、新疆。内蒙古、吉林、黑龙江3省(区)的人均耕地供需盈余量、盈余总量、盈余系数均较高,其中黑龙江省最高,其人均盈余量从2009年的 $0.28\text{ hm}^2/\text{人}$ 递增至2015年的 $0.32\text{ hm}^2/\text{人}$,盈余总量从 $1.07\times 10^7\text{ hm}^2$ 增至 $1.23\times 10^7\text{ hm}^2$,盈余系数从67.57%增至77.55%。

2009—2015年,共有13个省(市区)一直处于耕地供需赤字状态,包括北京、天津、山西、上海、浙江、福建、广东、广西、海南、贵州、西藏、陕西、青海省(市区)。人均耕地供需赤字量历年均超过 0.03 hm^2 的省份包括北京、天津、上海、浙江、福建、广东、海南、青海。耕地供需赤字总量历年均超过 $1.00\times 10^6\text{ hm}^2$ 的省份包括北京、上海、浙江、福建、广东,其中,广东省最高,从2009年的 $4.67\times 10^6\text{ hm}^2$ 增长至2015年的 $5.17\times 10^6\text{ hm}^2$ 。耕地供需赤字系数历年均超过100%的省份包括北京、天津、上海、浙江、福建、广东、青海,除青海省外均位于东部地区。其中,北京市的赤字系数最高,从2009年的450.05%增长至2015年的1190.68%,上海市次之,从570.16%增长至702.41%。耕地供需赤字系数低于100%的省份包括山西、广西、海南、贵州、西藏、陕西,主要分布在中国的西部地区。

2.2 基于生态安全的中国耕地资源生态盈亏时空格局变化

2009—2015年全国31个省(不含港澳台地区)的人均耕地生态盈亏量、盈亏总量及盈亏系数如附图17所示。从生态安全视角来看,7年间中国耕地利用总体上处于生态赤字状态,人均耕地生态赤字量从2009年的 $0.02\text{ hm}^2/\text{人}$ 递增至2015年的 $0.03\text{ hm}^2/\text{人}$,相应的赤字总量从 $2.04\times 10^7\text{ hm}^2$ 增至 $4.29\times 10^7\text{ hm}^2$,赤字系数从16.94%增至35.68%。多数省份处于耕地生态赤字状态,至2015年,人均耕地生态赤字量超过 $0.02\text{ hm}^2/\text{人}$ 的省份包括河北、山西、内蒙古、吉林、黑龙江、江苏、安徽、山东、河南、湖北、湖南、重庆、四川、贵州、陕西、甘肃、青海、宁夏,其中以黑龙江省为最高,从2009年的 $0.04\text{ hm}^2/\text{人}$ 增至2015年的 $0.11\text{ hm}^2/\text{人}$ 。耕地生态赤字总量超过 $1.00\times 10^6\text{ hm}^2$ 的省份包括河北、山西、内蒙古、吉林、黑龙江、江苏、安徽、山东、河南、湖北、湖南、重庆、四川、贵州、陕西、甘肃,其中以河南省为最高,从2009年的 $4.41\times 10^6\text{ hm}^2$ 递增至2015年的 $6.30\times 10^6\text{ hm}^2$ 。耕地生态赤字系数超过50%的省份包括天津、河北、山西、上海、福建、山东、河南、贵州、陕西、

甘肃、青海,主要位于中东部的经济发展活跃地区,以及北方干旱半干旱地区,其中以上海市为最高,从2009年的116.36%降至2015年的91.40%。值得注意的是,北京耕地生态承载力近年来呈现明显改善趋势,生态赤字系数已由2009年的87.40%降至2015年的3.36%。

少数生态盈余省份分布在中国南部和西南地区,包括广东、广西、海南、云南、西藏、新疆5省(区)以及某些省份的个别年份。其中,海南省的人均耕地生态盈余量历年均为最高,基本维持在 $0.05\sim 0.06\text{ hm}^2/\text{人}$ 之间。广西壮族自治区的耕地生态盈余总量历年均为最高,但从2009年的 $1.68\times 10^6\text{ hm}^2$ 降至2015年的 $1.21\times 10^6\text{ hm}^2$ 。海南、西藏的耕地生态盈余系数处于较高水平,历年均在40%~50%之间。

2.3 基于粮食安全与生态安全双重视角的中国耕地资源利用安全区间探讨

根据粮食供需平衡法测算得到中国耕地处于供需不平衡状态,全国总体盈余系数保持在7.24%~17.63%,耕地最小需求约为 $1.11\times 10^8\sim 1.25\times 10^8\text{ hm}^2$ 。然而,这一测算结果未考虑蔬菜、水果、肉类等其他食品类型的消费需求,而后者也直接或间接依赖于耕地供给(如禽畜养殖需要大量饲料用粮),以及轮作休耕、抛荒、自然灾害等因素的影响,因此真实情况不容乐观。近几年中国每年进口相当于 $5.33\times 10^7\text{ hm}^2$ 耕地产出的谷物、大豆和棉花,粮食供需紧平衡是长期态势。为确保“谷物基本自给、口粮绝对安全”的粮食安全目标,本文认为实行最严格的耕地保护制度、坚守 $1.20\times 10^8\text{ hm}^2$ 耕地保护红线有其内在必要性。

与此同时,根据生态足迹法测算得到中国耕地资源总体上处于生态赤字状态,多数省份的耕地利用规模和方式正接近或超过生态安全边界,若超载情况不能得到有效遏制,则可能引发耕地生态系统不可逆的变化。这从一定程度上反映出粮食供给以生态安全受到威胁为代价,可能引发土地退化、水资源短缺、富营养化、大气氮污染等各种生态环境问题,进而可能威胁国家粮食安全。因此,当前耕地资源利用的可持续性需引起高度重视。在守住耕地保护红线和保障粮食安全的同时,有必要兼顾生态安全,抓紧划定中国耕地资源利用的生态保护红线,并注意与永久基本农田保护红线相协调。

粮食供需平衡视角下的耕地数量供求关系,意在量化耕地对人类粮食需求的满足程度,体现了耕地资源为人类创造的福祉。而生态足迹视角下的耕地利用盈亏状况,则旨在判断耕地在为人类提供各种惠益的过程中是否超越了其生物生产能力,是针对耕地生物承载力进行的讨论。实际上,耕地利用的生态盈亏

直接影响耕地对人类粮食需求的可持续供给,而人类对耕地的利用方式反过来也直接影响耕地的生态可持续性。因此,粮食安全和生态安全是评估耕地可持续性利用的两个方面,在耕地利用管理实践中应予以统筹兼顾。

在运用生态足迹法测算中国耕地利用生态盈亏状况时,没有涉及与耕地密切相关的园地、林地、牧草地等其他农用地类型,所得结果无法全面反映土地利用的生态安全状况,因而相应的生物承载力不宜作为中国耕地利用的生态安全边界。为此,从粮食安全和生态安全双重视角出发,结合行星边界框架^[27],将占国土面积的 15% 作为耕地保有量的上限值,1.20×10⁸ hm² 耕地保护红线作为耕地保有量的下限值,这样既保证了粮食安全,同时又能保证中国耕地利用不会对区域乃至全球生态系统产生显著负面影响。据此,将中国耕地利用的安全区间初步设定为 1.20×10⁸~1.44×10⁸ hm²。如表 1 所示,2009—2015 年中国耕地面积比例稳定在 14% 以上,2015 年底中国实有耕地规模为 1.35×10⁸ hm²,尚有 0.94% 的生态盈余比例空间。

行星边界框架通过设置耕地比例来表征土地利用变化安全边界存在固有缺陷,国际上关于如何将其应用于估算国家尺度耕地安全边界尚存在争议。已有研究主要分为两类:①将全球耕地安全边界除以全球总人口得到国家尺度的人均耕地安全边界^[28-29],人口规模对耕地规模具有较大影响,未考虑土地利用空间异质性问题;②从本国耕地资源禀赋出发,如将适

宜农业生产的可耕地(如雨养耕地)比例作为国家尺度耕地边界值^[30],未能在全球与国家耕地资源可持续利用之间建立联系。为讨论耕地资源利用上限设定的合理性,本文进一步观察全球不同收入水平国家的耕地利用比例情况(表 2),可以看出,世界耕地的平均比例接近 11%,小于 15%,表明全球尺度上耕地利用尚处于安全范围;除了中等偏下收入国家耕地比例的平均水平超过 15% 以外,其他各类收入水平国家的耕地比例平均水平均未超过行星边界。根据世界银行对不同收入水平经济体的分组,中国已跻身中等偏上收入经济体行列^[31]。根据国家统计局相关数据和世界银行数据计算得到的中国 2015 年耕地比例分别约为 14%,13%,数据差异较小,且两者均远超过同等收入水平国家 9% 左右的平均水平,因此认为将 15% 作为国家尺度的生态安全边界,能够兼顾粮食安全和生态安全的需要,是一个相对合理的设定。

表 1 2009—2015 年中国耕地比例及相较于行星边界的盈余比例

年份	耕地总量/ 10 ⁴ hm ²	耕地在国土面积 中的比例/%	耕地利用假定 边界/10 ⁴ hm ²	盈余 比例/%
2009	13 538.46	14.10	14 400	0.90
2010	13 526.83	14.09	14 400	0.91
2011	13 523.86	14.09	14 400	0.91
2012	13 515.84	14.08	14 400	0.92
2013	13 516.34	14.08	14 400	0.92
2014	13 505.73	14.07	14 400	0.93
2015	13 499.87	14.06	14 400	0.94

表 2 2009—2015 年全球不同收入水平国家耕地所占比例

国家组别	不同年份耕地所占比例/%						
	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年
高收入国家	10.43	10.34	10.38	10.49	10.38	10.45	10.37
中等偏上收入国家	8.65	8.59	8.61	8.62	8.74	8.83	9.07
中等偏下收入国家	17.69	17.69	17.82	17.89	17.86	17.87	17.91
低收入国家	8.90	9.05	9.21	9.39	9.44	9.42	9.42
全球平均	10.74	10.70	10.76	10.83	10.85	10.91	10.99

注:耕地比例数据来自世界银行数据库,网址为:https://data.worldbank.org.cn/? year=2015。根据世界银行对不同收入经济体的分组标准,人均国民总收入(GNI)低于 995 美元为低收入经济体,996~3 895 美元为中等偏下收入经济体,3 896~12 055 美元为中等偏上收入经济体,12 056 美元及以上为高收入经济体,网址为:https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/906519# High_income。

3 结论

本文基于粮食安全和生态安全视角分别测度了中国及 31 个省(不含港澳台地区)2009—2015 年的耕地资源供需盈亏和生态盈亏状况,在此基础上结合耕地保护红线和行星边界框架初步探讨了中国耕地利用的安全区间。本研究将中国耕地保护制度及其实际运行情况与国际前沿理论相结合,为双向识别合理区间范

围、科学预警耕地面积异常变动提供了一种尝试。

①从粮食安全视角来看,中国耕地利用处于供需不平衡状态,省际差异明显。盈余省份主要分布在中部和东北地区,其中以黑龙江省为最高。耕地供需赤字系数较高的省份大多位于东部地区,其中以北京市为最高;②从生态安全视角来看,中国耕地利用总体上处于生态赤字状态,且赤字程度呈现递增态势。少数盈余省份主要分布在南部和西南地区。耕地生态

赤字系数较高的省份主要位于中东部人口集聚和经济发达地区以及西北干旱半干旱地区,其中以上海市为最高;③基于粮食安全和生态安全双重视角讨论中国耕地规模的安全区间,认为 $1.20 \times 10^8 \sim 1.44 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 是一种相对合理的设置,而 2015 年底中国实有耕地 $1.35 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 。由于各省份的耕地资源禀赋和粮食生产能力存在差异,社会经济发展水平和主导功能定位不同,加之受区域间粮食贸易及其虚拟耕地资源流动的影响,今后在完善区域耕地保护政策及分配耕地保有量指标时,应根据各地区的不同情况动态划定安全区间,制定差别化的管理策略,以实现粮食安全与生态安全协调并举的可持续发展目标。

将粮食安全与生态安全视角相结合,突破了以往单纯强调粮食安全或生态安全的一元思维,有助于更加全面、客观地揭示耕地资源利用的可持续性,也为进一步进行权衡分析打下基础。下一步应重点关注区域间粮食贸易隐含的虚拟耕地资源流动,在此基础上对不同尺度区域的耕地盈亏状况和安全区间进行动态研究。

同时需要指出的是,本文虽然在一定程度上弥补了国内在行星边界实证研究方面的不足,但计算得出的 $1.20 \times 10^8 \sim 1.44 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 其实是对中国耕地安全区间的一种推断,并非严密的科学模拟计算结果。未来随着各类影响要素的变化以及相关理论的成熟,安全区间也应动态地进行优化调整。特别需要强调的是,本文讨论耕地安全区间的初衷,是希望最大限度实现耕地资源的合理利用,实现粮食安全和生态安全的有机统一。而在中国城镇化进程中,建设用地占用耕地的情况经常发生,讨论中国耕地利用的安全区间,绝不是为了挤占耕地找理由。倘若耕地规模逼近或超出生态安全边界,在进行局部退耕时也应遵循土地节约集约利用制度,优先考虑向林地、草地、湿地等生态用地转换。

[参 考 文 献]

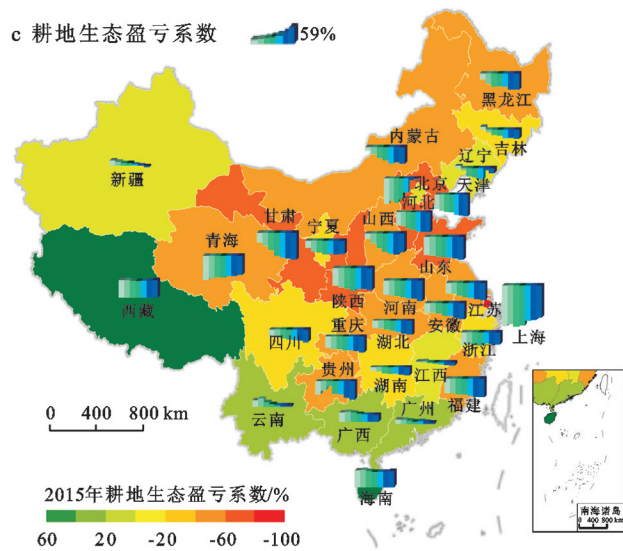
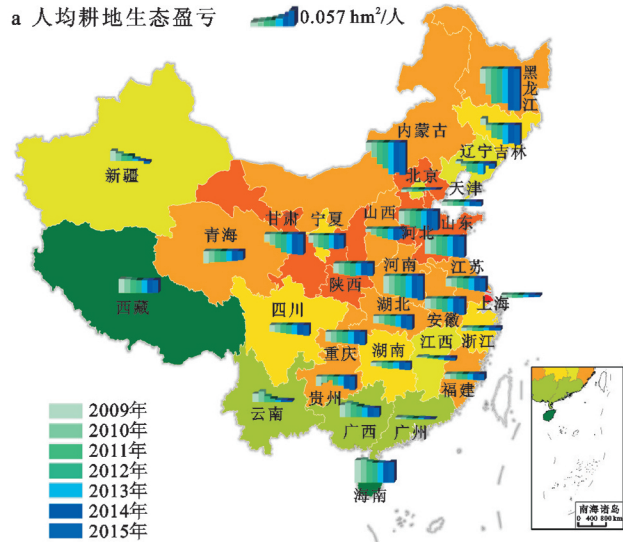
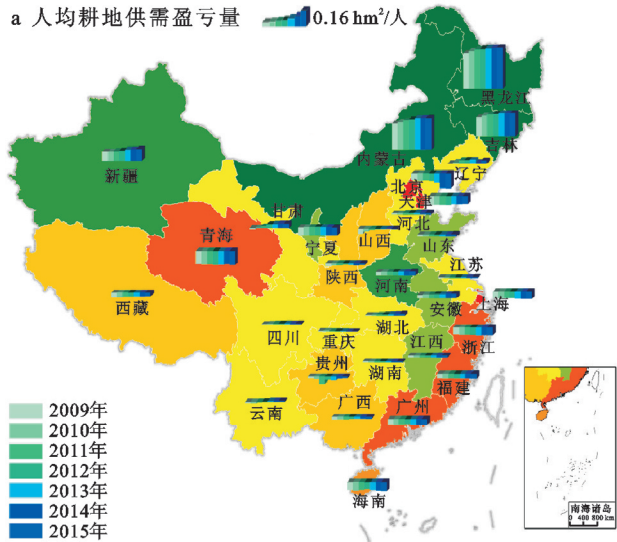
- [1] 姜广辉,张凤荣,孔祥斌,等. 耕地多功能的层次性及其多功能保护[J]. 中国土地科学,2011,25(8):42-47.
- [2] 谢高地,成升魁,肖玉,等. 新时期中国粮食供需平衡态势及粮食安全观的重构[J]. 自然资源学报,2017,32(6):895-903.
- [3] 郭杰,包倩,欧名豪. 基于资源禀赋和经济发展区域分异的中国新增建设用地指标分配研究[J]. 中国土地科学,2016,30(6):71-80.
- [4] 李晓俐. 虚拟耕地进口是目前及未来确保中国粮食安全之策[J]. 农业展望,2011,7(10):28-30.
- [5] 蔡运龙,汪涌,李玉平. 中国耕地供需变化规律研究[J]. 中国土地科学,2009,23(3):11-18.
- [6] 周小平,宋丽洁,柴铎,等. 区域耕地保护补偿分区实证研究[J]. 经济地理,2010,30(9):1546-1551.
- [7] 李效顺,蒋冬梅,卞正富. 基于粮食安全视角的中国耕地资源盈亏测算[J]. 资源科学,2014,36(10):2057-2065.
- [8] 刘洛,徐新良,刘纪远,等. 1990—2010 年中国耕地变化对粮食生产潜力的影响[J]. 地理学报,2014,69(12):1767-1778.
- [9] 封志明,孙通,杨艳昭. 2003—2013 年中国粮食增产格局及其贡献因素研究[J]. 自然资源学报,2016,31(6):895-907.
- [10] 谭永忠,何巨,岳文泽,等. 全国第二次土地调查前后中国耕地面积变化的空间格局[J]. 自然资源学报,2017,32(2):186-197.
- [11] 傅伯杰,张立伟. 土地利用变化与生态系统服务:概念、方法与进展[J]. 地理科学进展,2014,33(4):441-446.
- [12] 中华人民共和国国家统计局. 国家数据[DB/OL]. <http://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01>.
- [13] Crutzen P J. Geology of mankind[J]. Nature, 2002, 415(6867):23-23.
- [14] 揣小伟,黄贤金,郑泽庆,等. 江苏省土地利用变化对陆地生态系统碳储量的影响[J]. 资源科学,2011,33(10):1932-1939.
- [15] 张舟,吴次芳,谭荣. 生态系统服务价值在土地利用变化研究中的应用:瓶颈和展望[J]. 应用生态学报,2013,24(2):556-562.
- [16] 赵荣钦,李志萍,韩宇平,等. 区域“水—土—能—碳”耦合作用机制分析[J]. 地理学报,2016,71(9):1613-1628.
- [17] 徐辉,雷国平,崔登攀,等. 耕地生态安全评价研究:以黑龙江省宁安市为例[J]. 水土保持研究,2011,18(6):180-184, 189.
- [18] 王千,金晓斌,周寅康. 河北省耕地生态安全及空间聚集格局[J]. 农业工程学报,2011,27(8):338-344.
- [19] 靳亚亚,赵凯,肖桂春. 陕西省耕地保护经济补偿分区研究:基于粮食安全与生态安全双重视角[J]. 中国土地科学,2015,29(10):12-19.
- [20] 何玲,贾启建,李超,等. 基于生态系统服务价值与粮食安全的生态安全底线核算[J]. 应用生态学报,2016,27(1):215-224.
- [21] 吴艳飞,徐羽,徐刚. 近 14 年安徽省耕地资源安全的时空特征[J]. 水土保持通报,2017,37(6):236-241.
- [22] Wackernagel M, Onisto L, Bell P, et al. National natural capital accounting with the ecological footprint concept[J]. Ecological Economics, 1999,29(3):375-390.
- [23] 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.
- [24] 张林波,李文华,刘孝富,等. 承载力理论的起源、发展与展望[J]. 生态学报,2009,29(2):878-888.
- [25] 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.
- [26] 国家发展与改革委员会. 国家粮食安全中长期规划纲要(2008—2020 年)[R]. 2008:1-31.

[参 考 文 献]

- [1] 刘玉贞, 阿里木江·卡斯木, 阿布都米吉提·阿布力克木. 丝绸之路经济带沿线典型地区荒漠化动态变化遥感监测[J]. 中国水土保持科学, 2017, 15(2): 1-8.
- [2] Yao Tandong, Thompson L, Yang Wei, et al. Different glacier status with atmospheric circulations in Tibetan Plateau and surroundings[J]. Nature Climate Change, 2012, 2(9): 663-667.
- [3] 谢琼. 巴基斯坦人口状况的特点[J]. 南亚研究季刊, 2004(2): 107-110.
- [4] 殷永林. 近期巴基斯坦经济发展走势分析[J]. 南亚研究季刊, 2014(4): 64-68.
- [5] 杨柳青. 巴基斯坦的盐碱地改良与效果[J]. 新疆农业科学, 1993(2): 89-92.
- [6] 张康生. 巴基斯坦的自然环境及存在问题[J]. 环境科学进展, 1997(6): 66-72.
- [7] Muhammad N I, Theib Y O, Muhammad A, et al. Impact of land-use practices on sediment yield in the Dhrabi watershed of Pakistan[J]. Journal of Environmental Science and Engineer: A, 2012, 1(3): 406-420.
- [8] Nasir A, Uchida K, Ashraf M. Estimation of soil erosion by using RUSLE and GIS for small mountainous watersheds in Pakistan[J]. Pakistan Journal of Water Resources, 2006, 1(10): 11-21.
- [9] Ullah S, Ali A, Iqbal M et al. Geospatial assessment of soil erosion intensity and sediment yield: A case study of Potohar Region, Pakistan[J]. Environmental Earth Sciences, 2018, 77(19): 1-13.
- [10] 彭洁, 李爱农, 雷光斌, 等. 基于 TRMM 数据的巴基斯坦降雨侵蚀力估算及空间降尺度模拟[J]. 水土保持学报, 2017, 31(3): 10-15.
- [11] Amir S, Saqib Z, Khan A et al. Land cover mapping and crop phenology of Potohar Region, Punjab, Pakistan. [J]. Pakistan Journal of Agricultural Sciences, 2019(1): 187-196.
- [12] Fick S E, Hijmans R J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas[J]. International Journal of Climatology, 2017, 37(12): 4302-4315.
- [13] 郭索彦. 土壤侵蚀调查与评价[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2014.
- [14] 刘宝元, 郭索彦, 李智广, 等. 中国水力侵蚀抽样调查[J]. 中国水土保持, 2013(10): 26-34.
- [15] 符素华, 刘宝元, 周贵云, 等. 坡长坡度因子计算工具[J]. 中国水土保持科学, 2015, 13(5): 105-110.
- [16] 李智广, 符素华, 刘宝元. 我国水力侵蚀抽样调查方法[J]. 中国水土保持科学, 2012, 10(1): 77-81.
- [17] 陈顺礼. 新疆水土流失现状及变化趋势分析[J]. 中国水土保持科学, 2013, 11(S1): 93-97.
- [18] 马亚亚, 王杰, 张超, 等. 基于 CSLE 模型的陕北纸坊沟流域土壤侵蚀评价[J]. 水土保持通报, 2018, 38(6): 95-102.
- [19] 张岩, 刘宪春, 李智广, 等. 利用侵蚀模型普查黄土高原土壤侵蚀状况[J]. 农业工程学报, 2012, 28(10): 165-171.
- [20] 李盟, 方瑞, 乐峰, 等. 基于 RS 和 GIS 的江苏省水土流失重点预防区和治理区定量监测[J]. 水土保持通报, 2018, 38(4): 228-233.
- [21] 李依珊, 尹斌, 谢云, 等. 岩溶区土壤侵蚀强度评价方法[J]. 中国水土保持科学, 2018, 16(2): 17-23.
- [22] 张加琼, 马波, 税军峰, 等. 泰国北部山区土壤侵蚀调查报告[J]. 水土保持通报, 2019, 39(1): 1-8.
- [23] 段剑, 汤崇军, 王凌云, 等. 马尾松根际土壤有机酸类物质的化感作用[J]. 江西农业大学学报, 2016, 38(6): 1092-1099.
- [24] 李吉均, 徐叔鹰. 巴基斯坦北部的地貌发育与第四纪冰期问题[J]. 地理学报, 1983(1): 11-24.
- [25] Ellis S, Taylor D M, Masood K R. Soil formation and erosion in the Murree Hills, Northeast Pakistan[J]. CATENA, 1994, 22(1): 69-78.
- [26] 郭明明. 黄土高原沟壑区退耕草地沟头溯源侵蚀及形态演化特征[D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
- [27] 王龔, 宋立旺, 王琦. 基于 3S 技术的生产建设项目水土保持监督检查[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(S1): 92-94.
- [28] 刘瑞顺, 王文龙, 廖超英, 等. 露天煤矿排土场边坡防护措施减水减沙效益分析[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(4): 59-64.
- [29] 骆汉, 赵廷宁, 彭贤锋, 等. 公路边坡绿化覆盖物水土保持效果试验研究[J]. 农业工程学报, 2013(5): 63-70.
- [30] 陈同德, 王文龙, 董玉锟, 等. 露天煤矿排土场不同治理模式边坡细沟侵蚀特征研究[J]. 草地学报, 2017, 25(1): 61-68.

(上接第 296 页)

- [27] Rockström J, Steffen W, Noone K, et al. A safe operating space for humanity [J]. Nature, 2009, 461(7263): 472-475.
- [28] Nykvist B, Persson Å, Moberg F, et al. National environmental performance on planetary boundaries: A study for the Swedish Environmental Protection Agency [R]. Stockholm: Swedish Environmental Protection Agency, 2013: 1-120.
- [29] Hoff H, Nykvist B, Carson M. "Living well, within the limits of our planet"? Measuring Europe's growing external footprint [J]. Environment Control in Biology, 2014, 45(5): 1464-1467.
- [30] Cole M J, Bailey R M, New M G. Tracking sustainable development with a national barometer for South Africa, using a downscaled safe and just space framework [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2014, 111(42): E4399-E4408.
- [31] 王金萍. 中国跻身中等偏上收入组 [J]. 中国统计, 2016(9): 66-67.



注：各省份颜色均根据2015年耕地供需盈亏系数进行划分，正数表示盈余，负数表示赤字。柱状图图例的数字代表最长柱子所对应数值绝对值的一半。

注：各省份颜色均根据2015年耕地生态盈亏系数进行划分，正数表示盈余，负数表示赤字。柱状图图例的数字代表最长柱子所对应数值绝对值的一半。

附图16 2009—2015年31个省份人均耕地供需盈亏量(a)、盈亏总量(b)、盈亏系数(c)(第293页)

附图17 2009—2015年31个省份人均耕地生态盈亏量(a)、盈亏总量(b)、盈亏系数(c)(第294页)