

基于人粮关系的“一带一路”沿线国家土地资源承载力时空格局研究

张超^{1,2,3}, 杨艳昭^{1,2,4}, 封志明^{1,2,4}, 郎婷婷^{1,2}, 刘莹^{1,2}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049;

3. 北京师范大学地理科学学部, 北京 100875; 4. 自然资源部资源环境承载力评价重点实验室, 北京 101149)

摘要: “一带一路”沿线国家是全球重要的人口集聚区。以人粮关系为主线, 从全域到国别研究了1995—2017年沿线国家土地资源承载力时空格局。结果表明: 研究期内, (1) 沿线国家耕地总量与人均耕地量分别降至 $6.96 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 和2.23亩/人, 分别约为全球水平的50%和80%, 约80%的国家人均耕地在下降; (2) 承载力增至45.95亿人, 近90%的国家在提高, 但西亚及中东多数国家在下降; (3) 地均承载力增至90人/ km^2 水平, 约为全球水平的1.5倍, 孟加拉国、匈牙利、越南超300人/ km^2 ; (4) 人粮关系从超载转向临界超载, 粮食盈余国家增多, 主要为耕地面积广的产粮大国。半数国家土地仍超载, 多为气候干旱区与岛屿国家。研究有助于深化与沿线国家的粮食安全合作和提高项目建设布局的科学性。

关键词: 土地资源; 土地资源承载力; 人粮关系; 时空格局; “一带一路”沿线国家

20世纪末期以来, 以人口、资源、环境与发展为核心的人地关系研究逐渐成为地理学、资源科学等学科的重要命题^[1]。“地球到底能承载多少人口”事关资源环境“最大负荷”^[2], 成为人地关系研究的重要内容。土地资源是人类赖以生存和发展的基础, 以现有土地资源可承载多少人口为核心的土地资源承载力是资源环境承载力研究的热点领域^[1], 已成为衡量国家或区域人地关系协调发展程度的重要判据^[3]。

2013年习近平主席提出“丝绸之路经济带”和“21世纪海上丝绸之路”的构想, 2015年《推动共建丝绸之路经济带和21世纪海上丝绸之路的愿景与行动》正式发布, “一带一路”倡议成为国内外各界密切关注的热点问题^[4]。农业对外合作是“一带一路”建设的重要支撑^[5]。2018年我国与“一带一路”参与国的农产品贸易额超过770亿美元, 投资存量达94.4亿美元, 较五年前增长70%, 带动了当地粮食、农产品加工等产业发展^[6]。但也面临着区位选择经验不足、种植业投资过度集中等多种问题^[7]。另一方面, “一带一路”沿线是全球主要的人口集聚区、粮食生产—消费区, 囊括8个低收入缺粮国以及11个粮食净进口国, 同时也是全球土地资源富集区和水土资源匹配问题区之一^[8]。“一带一路”倡议推进需要足够的土地资源支撑, 也不可避免地存在对当地土地资源造成更大压力的可能, 这直接关系到“一带一路”倡议实施的进展和成效。实际上, 《全球食物安全和营养状况报告2019》显示, “一带一路”沿线多个国家粮食不足人口增加^[9], 而新冠肺炎疫情大流行

收稿日期: 2021-01-25; 修订日期: 2021-04-14

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项 (XDA20010201)

作者简介: 张超 (1991-), 男, 河南平顶山人, 博士研究生, 主要从事资源开发与区域发展研究。

E-mail: zhangc.18b@igsnrr.ac.cn

通讯作者: 杨艳昭 (1977-), 女, 辽宁朝阳人, 博士, 研究员, 主要从事资源开发与区域发展研究。

E-mail: yangyz@igsnrr.ac.cn

凸显了国内供给的重要性^[10]，由此可能引发的粮食安全问题，成为“一带一路”建设的风险挑战。“一带一路”倡议有利于促进全球战略资源优化配置和联合国2030年可持续发展目标实现^[11,12]。科学评估“一带一路”沿线国家土地资源承载力与人粮关系状态，对于加深与沿线国家粮食安全合作、促进沿线国家人地关系协调发展具有重要意义。

土地资源承载力一般是指一定地区的土地所能持续供养的人口数量，其本质是研究人口消费与粮食生产、人类需求与资源供给间平衡关系问题^[13]。近年来，综合性、系统性的资源环境承载力研究成为主要发展趋势，但土地资源承载力研究仍被普遍认为是认识土地、人口与食物之间关系和解决人口与资源、环境矛盾的主要途径，“以多少土地、粮食，养活多少人口”仍是土地资源承载力研究的核心内容。诸多学者从理论体系^[13,14]、研究方法^[15,16]、实证分析^[17-19]等不同视角，围绕土地资源对区域人口规模承载能力进行了多维探讨。其中，以耕地资源为基础，基于人粮关系的人口承载力研究始终是土地资源承载力研究的焦点问题之一^[20]。20世纪70年代以来，国际组织^[21-23]和科研机构^[24,25]基于不同模型，对不同地域/尺度的土地资源承载力展开了研究，为后续的承载力研究奠定了理论和方法基础，而对中国和典型区域的土地承载力研究也是学者持续关注的重要内容^[19,26-29]。当前，有学者相继开展了“一带一路”沿线国家水资源承载力^[30]、生态承载力^[31,32]，以及农业与粮食生产关系^[5,33,34]等方面的研究工作，为开展土地资源承载力研究提供了方法参考。

有鉴于此，以耕地资源为基础，以人粮关系为主线，从全域到国别不同空间尺度，以1995—2017年为时间区间，系统评估近20年来“一带一路”沿线国家土地资源承载力时空格局变化，以期科学认识“一带一路”沿线国家人地关系特征，为深化与沿线国家在粮食安全领域的合作，促进“一带一路”建设布局的科学性提供科学依据和决策支持。

1 研究方法与数据来源

1.1 概念界定与研究范围

粮食一般指谷物，但其概念有广义与狭义之分，国内外对其界定也存在差异。基于“一带一路”沿线国家长时间序列数据的可得性，本文采用FAO定义的谷物（Cereals）概念，包括玉米、小麦、水稻、大麦、高粱等15种粮食作物。“一带一路”是一个开放的国际区域经济合作网络，本文“一带一路”沿线国家为包括中国在内的65个国家，可划分为六大区域^[35]（表1）。

1.2 数据来源及处理

本文使用的数据主要包括“一带一路”沿线国家1994—2018年粮食产量，来自FAO生产数据库。其中，新加坡、巴林无数据，不做讨论；塞尔维亚与黑山历史时期数据根据现状比例对原塞尔维亚和黑山国家联盟数据进行分解获得。耕地规模来自FAO投入数据库（巴勒斯坦无数据，不做讨论），国土面积来自世界银行，人口数据来源于联合国人口署。为降低数据年际波动对分析结果的影响，国土面积数据采用多年均值，其他数据均采用三年为周期的移动平均法进行平滑处理。中国数据均不包括港澳台。

1.3 粮食消费需求分析

“一带一路”国家饮食习惯存在广泛差异，食物消费结构呈现不同特征，各国粮食消费需求也各有不同。整体上，1995—2017年，“一带一路”沿线国家年人均粮食消费量从281 kg增长至367 kg，与世界平均水平差距逐渐缩小，2017年约为世界平均水平的95%，处于以口粮为主、饲料为辅的粮食消费初级阶段，随着粮食消费结构升级，未来

表1 “一带一路”沿线国家
Table 1 Countries along the Belt and Road

六大区域	国家名称	数量/个
中亚	哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦、乌兹别克斯坦、土库曼斯坦	5
中蒙俄	中国、蒙古国、俄罗斯	3
东南亚	越南、老挝、柬埔寨、泰国、马来西亚、新加坡、印度尼西亚、文莱、菲律宾、缅甸、东帝汶	11
南亚	印度、巴基斯坦、孟加拉国、阿富汗、尼泊尔、不丹、斯里兰卡、马尔代夫	8
中东欧	波兰、捷克、斯洛伐克、匈牙利、斯洛文尼亚、克罗地亚、罗马尼亚、保加利亚、塞尔维亚、黑山、北马其顿、波黑、阿尔巴尼亚、爱沙尼亚、立陶宛、拉脱维亚、乌克兰、白俄罗斯、摩尔多瓦	19
西亚及中东	土耳其、伊朗、叙利亚、伊拉克、阿联酋、沙特阿拉伯、卡塔尔、巴林、科威特、黎巴嫩、阿曼、也门、约旦、以色列、巴勒斯坦、亚美尼亚、格鲁吉亚、阿塞拜疆、埃及	19

粮食需求总量存在进一步增长的可能。鉴于“一带一路”沿线以发展中国家为主，参考中国学者提出的满足人体生理需求的粮食消费标准（400 kg/人/年）^[36]，结合全球近年来（2014—2017年）人均粮食消费水平，本文将年人均粮食消费量拟定为380 kg。

1.4 研究方法

土地资源承载力反映的是区域人口与耕地资源之间的适应关系，可以用一定粮食消费水平下，区域粮食生产力所能持续供养的人口规模来衡量^[20]，通过土地资源承载力模型进行评价。公式如下：

$$CLCC = CI / Gpc \tag{1}$$

$$CLCCI = Pa / CLCC \tag{2}$$

式中：CLCC为基于人粮关系的土地资源承载力（人）；CI为土地生产力，以粮食产量表征（kg）；Gpc为人均消费标准，采用380 kg人/年计；CLCCI为土地资源承载指数；Pa为现实人口数量（人）。参考已有文献^[20]，根据CLCCI大小，可以将不同地区的土地资源承载力划分为粮食盈余、人粮平衡和人口超载三种类型和六种承载状态（表2）。

2 结果分析

表2 基于CLCCI的土地资源承载力分级评价标准

Table 2 The evaluation criteria base on CLCCI for cultivated land carrying capacity

类型	土地资源 承载状态	土地资源 承载指数	人均粮食 占有量/(kg/人)
粮食盈余	富富有余	≤0.5	≥760
	盈余	0.5~0.875	434~760
人粮平衡	平衡有余	0.875~1.0	380~434
	临界超载	1.0~1.125	338~380
人口超载	超载	1.125~1.5	253~338
	严重超载	> 1.5	< 253

2.1 “一带一路”沿线国家土地资源利用状况

1995—2017年，“一带一路”沿线国家耕地面积从7.13×10⁸ hm²降至6.96×10⁸ hm²，减少0.17×10⁸ hm²，同期全球耕地面积增加0.32×10⁸ hm²，“一带一路”沿线国家耕地占全球比例降至49.98%。受人口增加和耕地总量减少的影响，沿线国家人均耕地从2.93 亩/人降至2.23 亩/人，下降了0.7 亩，人均耕地数量约为全球水平的80%。从国别来看，印度、俄罗斯、中国耕地总量常居“一带一路”沿线国家前三位，2017年分别达到了156.42×10⁶ hm²、121.65×10⁶ hm²和119.50×10⁶ hm²，合计占沿线国家耕地的57.12%，“一带一路”沿线30个国家人均耕地高于全球水平，哈萨克斯坦、俄罗斯、乌

克兰、立陶宛人均耕地多,介于10~25亩/人,而西亚及中东和部分岛屿国家人均耕地普遍不足0.5亩(图1)。

1995—2017年,27个国家耕地总量增加而37个国家耕地总量减少。其中,印度尼西亚、越南和缅甸分别增加了 $8.46 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 、 $1.52 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 和 $1.49 \times 10^6 \text{ hm}^2$,增量居前三。阿曼、文莱、老挝增幅超过或接近一倍,科威特、印度尼西亚、斯里兰卡增幅超50%。同期,仅13个国家人均耕地增长,以乌克兰、波黑、老挝增量最大,在1亩以上。51个国家人均耕地下降,以哈萨克斯坦、阿富汗、土耳其、不丹和蒙古国等最突出,分别下降8.03亩、3.52亩、2.55亩、2.21亩和2.17亩,而西亚及中东国家人均耕地降幅在50%左右。

2.2 “一带一路”沿线全域土地资源承载力

1995—2017年,“一带一路”沿线土地资源承载力逐渐增加,从29.85亿人增至45.95亿人,增长了53.95%,增幅高于全球4.27%,年均增长率达到1.98%。分阶段来看,1995—2006年,“一带一路”沿线国家土地承载力缓慢增长,可载人口维持在29亿~35亿人,年均增速仅1.29%,2007年以来,土地资源承载力快速增加,年均增速达到4.00%(图2)。1995—2017年,“一带一路”沿线国家地均土地资源承载力基本呈持续增长态势,从59.82人/ km^2 增至92.09人/ km^2 ,增长了32.27人/ km^2 ,从高于全球19.08人/ km^2 增至31.12人/ km^2 ,整体上是全球水平的1.44~1.51倍,地均土地资源承载力持续优于全球水平(图3)。1995—2017年,“一带一路”沿线国家土地资源承载指数整体呈下降趋势,介于1.27~1.02之间,承载状态从土地资源超载转为临界超载。这一时期,“一带一路”沿线国家人口从36.70亿增至46.80亿,增长了27.55%,而粮食产量从11.34亿t增至17.46亿t,增长了53.95%,接近人口增幅两倍。粮食产量快速增长使粮食短缺状况得到改善,人粮关系趋于缓和,但粮食生产仍略低于消费需求,人粮关系处于紧平衡状态(图3)。

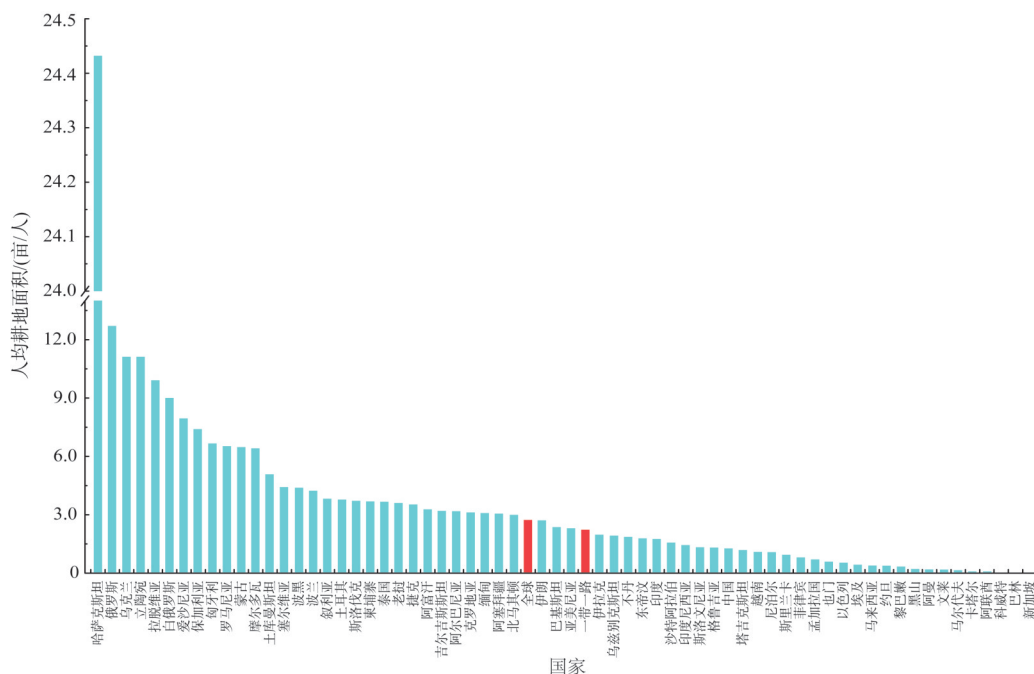


图1 2017年“一带一路”沿线国家人均耕地面积

Fig. 1 The per capita cultivated land in the countries along the Belt and Road in 2017

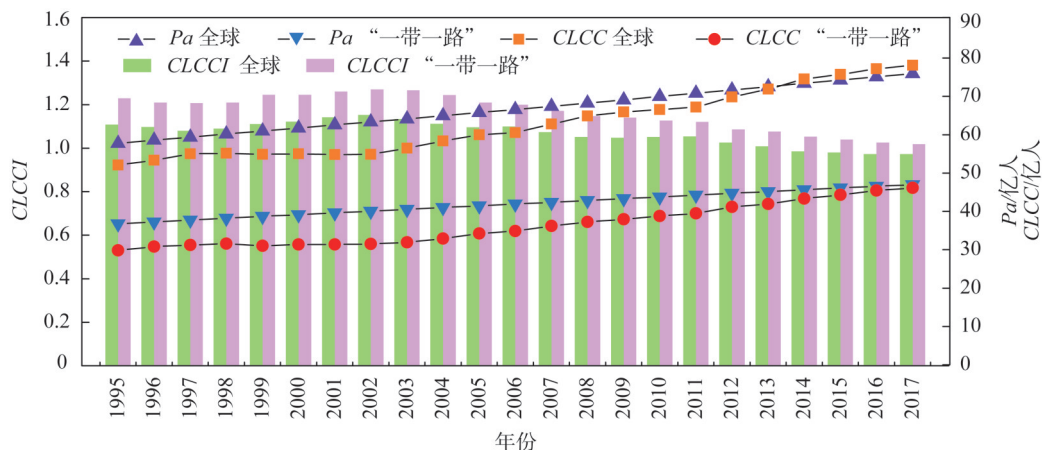


图2 1995—2017年“一带一路”沿线国家与全球土地资源承载力

Fig. 2 Cultivated land carrying capacity in the countries along the Belt and Road and the world during 1995-2017

2.3 “一带一路”沿线国别尺度土地资源承载力

2.3.1 土地资源承载力

结合研究结果, 根据土地资源承载力由小到大排序, 按照小于 1×10^6 人、 $1 \times 10^6 \sim 10 \times 10^6$ 人、 $10 \times 10^6 \sim 50 \times 10^6$ 人、 $50 \times 10^6 \sim 100 \times 10^6$ 人、大于 100×10^6 人的标准, 将“一带一路”沿线国家土地资源承载力划分为低、较低、中等、较高、高五个等级。1995年, 沿线国家土地资源承载力处于从低到高五个等级国家数量分别为16个、23个、13个、7个和4个。高等级国家以耕地面积大的国家为主, 中国、印度、俄罗斯和印度尼西亚土地

资源承载力居前列。低等级国家以岛国、干旱区国家为主, 马尔代夫、文莱、科威特、卡塔尔、阿联酋、阿曼、巴勒斯坦等国土地资源承载力不足2万人。到2017年, 从低到高五个等级国家分别有8个、9个、13个、19个和14个, 高和较高等级国家有所增加, 近90%的国家土地资源承载力在提升。其中, 中国、印度、印度尼西亚、俄罗斯较1995年增量介于1.3亿~5.2亿人, 乌克兰、孟加拉国、越南、巴基斯坦等四国进入亿人水平。从空间格局上看, 南亚东南亚等耕地资源禀赋较好、水热条件组合较优的国家, 土地资源承载力提升显著, 而西亚及中东地区的国家, 或受水资源限制, 或受国内政局动荡影响, 土地资源承载力或改善不明显, 或有所下降(图4)。

2.3.2 地均土地资源承载力

将地均土地资源承载力由小到大排序, 结合研究结果实情, 按照小于 $50 \text{人}/\text{km}^2$ 、 $50 \sim 100 \text{人}/\text{km}^2$ 、 $100 \sim 150 \text{人}/\text{km}^2$ 、 $150 \sim 200 \text{人}/\text{km}^2$ 、大于 $200 \text{人}/\text{km}^2$ 的标准, 将“一带一路”

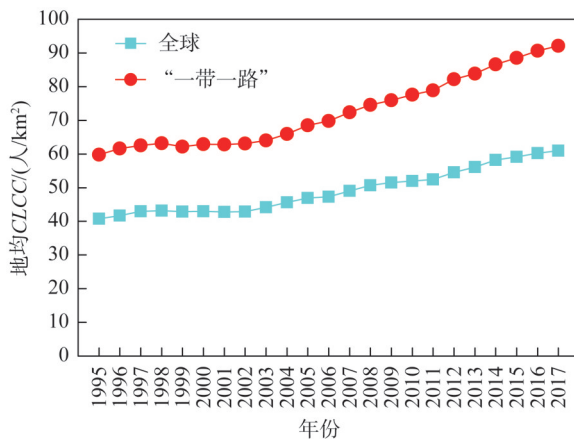
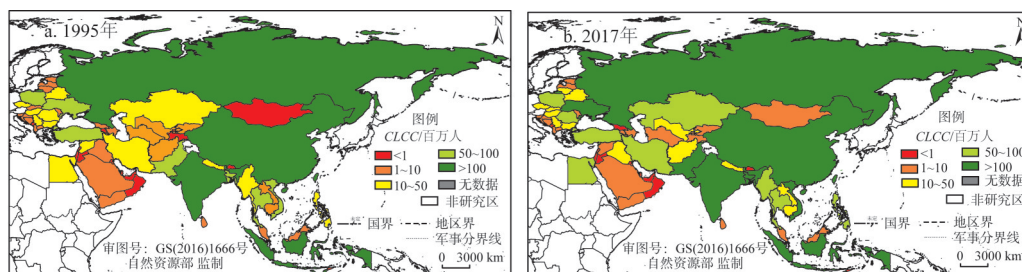


图3 1995—2017年“一带一路”沿线国家与全球地均土地资源承载力

Fig. 3 The per capita cultivated land carrying capacity in the countries along the Belt and Road and the world during 1995-2017



注：本图基于自然资源部标准地图服务系统下载的标准地图制作，底图无修改，下同。

图4 1995年和2017年“一带一路”沿线国家土地资源承载力空间格局

Fig. 4 The spatial patterns of cultivated land carrying capacity in the countries along the Belt and Road in 1995 and 2017

沿线国家地均土地资源承载力划分为低、较低、中等、较高、高五个等级。1995年，沿线国家地均土地资源承载力从低至高五个等级国家分别有35个、10个、8个、4个和6个，33个国家地均土地资源承载力低于全球平均水平，占比超50%。从空间分布看，低等级国家主要位于气候条件欠佳、耕地资源有限、水资源约束较强的西亚及中东、中亚地区^[37]，主要包括马尔代夫、阿联酋、阿曼、文莱、科威特、蒙古等国，地均承载力不足1人/km²。高等级国家则主要位于水热配合好、耕地面积广、经济较发达的南亚、东南亚和中东欧地区，主要包括孟加拉国、匈牙利、塞尔维亚、捷克、越南、波兰等国，地均承载力超过200人/km²。

2017年，低至高五个等级的国家分别为28个、10个、6个、6个和13个，高和较高等级的国家有所增加，但仍有32个国家地均承载水平低于全球水平。与1995年相比，受农业种植技术改善等因素影响，孟加拉国、越南、乌克兰、柬埔寨、匈牙利、罗马尼亚、立陶宛等七国土地资源潜力得到有效开发，地均承载力提升显著，每平方千米可载人口增量过百。另一方面，受政治局势变动影响和自然资源基础约束，叙利亚、北马其顿、格鲁吉亚、沙特阿拉伯、也门、以色列、卡塔尔等七国地均承载力均有不同程度下降。地均承载力空间格局及变化表明，西亚及中东多数国家粮食生产受水土资源限制显著，地均土地资源承载力不升反降，而南亚、东南亚及中东欧地区耕地资源本底较好，水土资源潜力得到有效开发，多数国家地均承载力有所提升（图5）。

2.3.3 土地资源承载状态

1995年“一带一路”沿线国家土地资源承载力处于粮食盈余、人粮平衡和人口超载状态的国家分别有16个、6个和41个，半数以上国家表现出“人口超载、粮食短缺”特

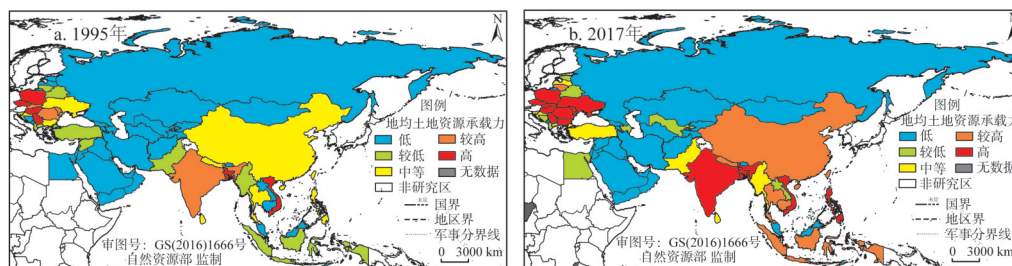


图5 1995年和2017年“一带一路”沿线国家地均土地资源承载力空间格局

Fig. 5 The spatial patterns of per capita cultivated land carrying capacity in the countries along the Belt and Road in 1995 and 2017

征。到2017年,粮食盈余、人粮平衡和人口超载国家变为23个、5个和35个,分别增加7个、减少1个和减少6个,粮食盈余国家增多、人口超载国家减少,但人口超载国家仍居半数以上,人粮关系紧张的格局尚未得到根本扭转。国家层面承载状态变化态势与“一带一路”沿线国家全域人粮关系逐渐好转格局相左,隐含着超载国家人粮关系紧张程度加深,而非超载国家人粮关系进一步缓和(图6)。

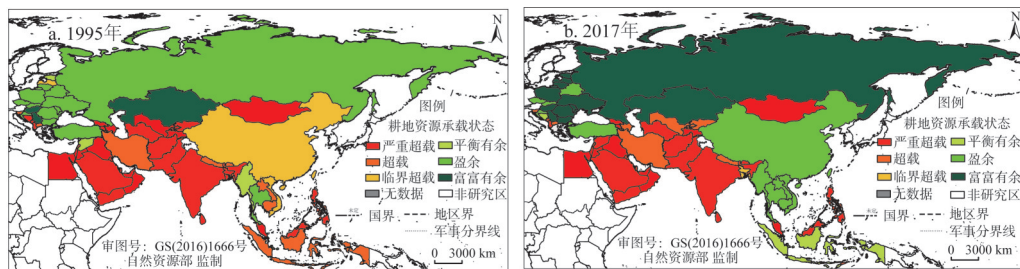


图6 1995年和2017年“一带一路”沿线国家耕地资源承载状态空间格局

Fig. 6 The spatial patterns of cultivated land carrying status in the countries along the Belt and Road in 1995 and 2017

进一步分析发现,人粮关系紧张国家可划分为三种类型:即水土约束型,这类国家主要为气候干旱区国家,粮食生产受耕地资源有限和水资源匮乏的约束明显,包括卡塔尔、阿联酋、科威特等西亚及中东以及中东欧部分国家;耕地约束型,多为岛屿国家,粮食生产受耕地资源数量不足、形态破碎的约束强,包括马尔代夫、文莱等国;人口压力型,这类国家人粮关系受人口增长影响明显,主要包括印度、巴基斯坦等人口增长较快国家。

3 结论与讨论

3.1 结论

以人粮关系为主线,利用土地资源承载力模型,从全域到国别,从承载力、地均承载力、承载状态等不同侧面,系统研究了“一带一路”沿线国家1995—2017年土地资源承载力时空格局及其变化。主要结论如下:

(1) 耕地总量与人均耕地双下降。1995—2017年,“一带一路”沿线国家耕地资源总量从 $7.13 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 降至 $6.96 \times 10^8 \text{ hm}^2$,约为全球水平50%,人均耕地降至2.23亩/人,仅为全球水平的80%。耕地资源分布相对集中,印度、俄罗斯、中国合计占“一带一路”耕地资源的60%。哈萨克斯坦、俄罗斯、乌克兰、立陶宛等国耕地超10亩/人,接近80%的国家人均耕地面积下降,多数国家土地资源承载力的耕地资源基础逐渐薄弱化。

(2) 土地资源承载力渐强但地域差异显著,近90%的国家承载力在提升。1995—2017年,“一带一路”沿线国家土地资源承载力从29.85亿人增至45.95亿人,增速高于全球水平。耕地面积广阔国家承载力普遍较高,岛屿小国和干旱区国家承载力普遍较低,南亚、东南亚多数国家承载力普遍提升显著,西亚及中东部分国家不升反降。

(3) 地均土地资源承载力整体高于全球水平,但承载水平较低国家超半数。1995—2017年,“一带一路”沿线国家地均承载力从60人/ km^2 增至90人/ km^2 ,是全球的1.5倍左右。2017年,仍有32个国家低于全球平均水平,孟加拉国、匈牙利、越南等国超300人/ km^2 ,而西亚及中东、中亚等多数国家处于较低水平。

(4) 人粮关系逐渐缓和,粮食盈余国家增多,但半数以上国家仍处于超载状态。1995—2017年,“一带一路”沿线国家粮食产量增幅近两倍于人口增幅,人粮关系从超载转为临界超载,国别尺度上粮食盈余国家增多,但人口超载国家仍居半数以上,气候干旱区、岛屿国家和部分人口快速增长的国家土地资源承载指数较高,“一带一路”沿线人粮关系紧张的空间格局仍未发生根本扭转。

3.2 讨论

资源环境承载力是可持续发展的重要判据,土地资源承载力研究是认识土地、人口和食物之间关系和解决人口与资源、环境矛盾的主要途径之一。“一带一路”沿线国家是全球土地资源富集区和水土资源匹配问题区之一,人粮关系改善面临人口增加与土地资源约束双重影响,尤其是土地资源超载严重的西亚及中东地区,土地资源开发潜力有限,人粮关系在过去20年来并未得到根本改变。换言之,这类国家依靠自身粮食生产改善,实现人粮关系缓和的空间有限,随着人口增加,其粮食需求进一步增长的可能性较大,对国际粮食市场依赖性将进一步升高。由此引发的粮食安全问题可能对区域社会经济稳定性产生负面影响,波及“一带一路”建设项目。另一方面,土地资源富裕或盈余国家土地资源潜力得到进一步挖掘,粮食盈余水平提高,人粮关系得到改善,为与人口超载国家开展粮食贸易提供了条件。就我国主要的粮食来源国而言^[38],除了巴基斯坦处于严重超载状态外,乌克兰、缅甸、泰国、越南、哈萨克斯坦等国家均处于盈余或富有余状态。从这个角度看,我国主要的粮食进口来源国土地盈余状况整体较好,粮食进口安全风险水平低。

“一带一路”倡议有利于全球战略资源的优化配置,为规避因人粮关系紧张引致的社会风险影响“一带一路”倡议推进,我国可加强与耕地资源强约束国家在农业生产领域合作,通过旱区农业技术推广等方式,帮助提高其粮食生产能力,增加粮食有效供给,降低对国际市场的依赖性,缓解超载国家粮食供给压力,改善人粮关系,为“一带一路”倡议推进创造良好国际环境。可积极与人均耕地面积较高的哈萨克斯坦、俄罗斯、乌克兰、立陶宛等国开展耕地承包合作。值得注意,土地资源承载状态是决定地区开发潜力和开发风险的重要因素,“一带一路”沿线国家土地资源承载状态差异大,在进行“一带一路”建设布局时,应特别关注西亚及中东、南亚等地区人粮关系紧张国家粮食安全状况,主动防范由粮食安全问题可能引发的“一带一路”项目建设风险。

需要指出,贸易已成为国家之间调剂粮食余缺的重要手段^[39],但其对土地资源承载力的影响具有双向性,将国际贸易因素考虑在内,开展开放系统下“一带一路”沿线国家土地资源承载力研究,将有助于深入地把握区域/国家的人地关系状态。土地资源生产潜力研究有助于把握粮食增产空间,推动“一带一路”沿线国家土地资源承载力研究深入化,也是需要进一步开展的研究之一。需要强调的是,土地资源承载力是资源环境承载力研究的重要组成部分,本文从人粮关系出发,仅考虑了粮食供给水平对承载力的影响。实际上,“一带一路”沿线国家食物生产和消费结构存在广泛差异,粮食需求水平不尽相同。随着全球食物消费从植物性食物为主向动植物性食物并重转变趋势不断增强^[40],结构日益多元化,综合考虑植物性食物和动物性食物产量,采用满足人体日常生理活动的营养需求标准^[41],开展基于营养当量平衡的土地资源综合承载力研究,能够更全面地反映人地关系协调状态。另一方面,土地资源承载力与水土资源丰度、农业技术水平、食物消费模式等多种因素存在关联,隐含在承载力背后的影响因素、承载机理是

未来深入研究的科学问题。

参考文献(References):

- [1] 封志明, 杨艳昭, 闫慧敏, 等. 百年来的资源环境承载力研究: 从理论到实践. 资源科学, 2017, 39(3): 379-395. [FENG Z M, YANG Y Z, YAN H M, et al. A review of resources and environment carrying capacity research since the 20th century: From theory to practice. Resources Science, 2017, 39(3): 379-395.]
- [2] KENNEDY D, NORMAN C. What don't we know?. Science, 2005, 309(5731): 75.
- [3] 牛方曲, 封志明, 刘慧. 资源环境承载力评价方法回顾与展望. 资源科学, 2018, 40(4): 655-663. [NIU F Q, FENG Z M, LIU H. A review on evaluating methods of regional resources and environment carrying capacity. Resources Science, 2018, 40(4): 655-663.]
- [4] 刘卫东. “一带一路”战略的科学内涵与科学问题. 地理科学进展, 2015, 34(5): 538-544. [LIU W D. Scientific understanding of the Belt and Road Initiative of China and related research themes. Progress in Geography, 2015, 34(5): 538-544.]
- [5] 李富佳, 董锁成, 原琳娜, 等. “一带一路”农业战略格局及对策. 中国科学院院刊, 2016, 31(6): 678-688. [LI F J, DONG S C, YUAN L N, et al. Study on agriculture patterns and strategy of the Belt and Road. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2016, 31(6): 678-688.]
- [6] 中华人民共和国商务部. “一带一路”农业投资合作项目已超 650 个, <http://www.mofcom.gov.cn/article/i/jyjl/e/201907/20190702883466.shtml>, 2021-01-20. [Ministry of Commerce of the People's Republic of China. China has over 650 agricultural investment cooperation projects in countries along the Belt and Road, <http://www.mofcom.gov.cn/article/i/jyjl/e/201907/20190702883466.shtml>, 2021-01-20.]
- [7] 詹琳, 杨东群, 秦路. 中国农业企业对“一带一路”沿线国家对外直接投资区位选择问题研究. 农业经济问题, 2020, 41(3): 82-92. [ZHAN L, YANG D Q, QIN L. Analysis on the location choice of OFDI by Chinese agricultural enterprises in countries along the Belt and Road. Issues in Agricultural Economy, 2020, 41(3): 82-92.]
- [8] 吴绍洪, 刘路路, 刘燕华, 等. “一带一路”陆域地理格局与环境变化风险. 地理学报, 2018, 73(7): 1214-1225. [WU S H, LIU L L, LIU Y H, et al. Geographical patterns and environmental change risks in terrestrial areas of the Belt and Road. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(7): 1214-1225.]
- [9] FAO. The state of food security and nutrition in the world 2019. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2019.
- [10] LABORDE D, MARTIN W, SWINNEN J, et al. COVID-19 risks to global food security. Science, 2020, 369(6503): 500-502.
- [11] HONG P F. Jointly Building the Belt and Road towards the Sustainable Development Goals, https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2812893, 2021-01-20.
- [12] HOWARD K W F, HOWARD K K. The new "Silk Road Economic Belt" as a threat to the sustainable management of Central Asia's transboundary water resources. Environmental Earth Sciences, 2016, 75(11): 1-12.
- [13] 封志明. 土地承载力研究的过去、现在与未来. 中国土地科学, 1994, 8(3): 1-9. [FENG Z M. Research history, present situation and future prospects of land carrying capacity. China Land Science, 1994, 8(3): 1-9.]
- [14] 陈念平. 土地资源承载力若干问题浅析. 自然资源学报, 1989, 4(4): 371-380. [CHEN N P. A preliminary analysis of the population supporting capacity of land resources. Journal of Natural Resources, 1989, 4(4): 371-380.]
- [15] 白东北, 王建民, 杨亚琴. 基于需求与供给理论的甘肃省人口土地承载力研究. 环境科学与管理, 2015, 40(3): 153-157. [BAI D B, WANG J M, YANG Y Q. Research on population and land carrying capacity of Gansu province based supply and demand theory. Environmental Science and Management, 2015, 40(3): 153-157.]
- [16] 党安荣, 阎守邕, 吴宏歧, 等. 基于 GIS 的中国土地生产潜力研究. 生态学报, 2000, 20(6): 910-915. [DANG A R, YAN S Y, WU H Q, et al. A GIS based study on the potential land productivity of China. Acta Ecologica Sinica, 2000, 20(6): 910-915.]
- [17] 何文举, 罗畅, 李国峰. 湖南省新型城镇化的土地承载力与生态安全分析: 基于生态足迹模型. 湖南商学院学报, 2016, 23(1): 18-24. [HE W J, LUO C, LI G F. Analysis of land ecological security and bearing capacity in new type urbanization: Based on ecological footprint model. Journal of Hunan University of Commerce, 2016, 23(1): 18-24.]
- [18] 于广华, 孙才志. 环渤海沿海地区土地承载力时空分异特征. 生态学报, 2015, 35(14): 4860-4870. [YU G H, SUN C Z. Land carrying capacity spatio temporal differentiation in the Bohai Sea coastal areas. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(14): 4860-4870.]

- [19] 全江涛, 杨永芳, 周嘉昕. 河南省土地资源承载力时空演变分析与预测. 水土保持研究, 2020, 27(2): 315-322. [QUAN J T, YANG Y F, ZHOU J X. Analysis and Prediction of spatial and temporal evolution of land resource carrying capacity in Henan province. Research of Soil and Water Conservation, 2020, 27(2): 315-322.]
- [20] 封志明, 杨艳昭, 张晶. 中国基于人粮关系的土地资源承载力研究: 从分县到全国. 自然资源学报, 2008, 23(5): 865-875. [FENG Z M, YANG Y Z, ZHANG J. The land carrying capacity of China based on man-grain relationship. Journal of Natural Resources, 2008, 23(5): 865-875.]
- [21] Australian UNESCO Seminar, Australian UNESCO Committee for Man and the Biosphere. Energy and how we live: Flinders University of South Australia, 16-18 May, 1973. Canberra: Australian-UNESCO Committee, 1973.
- [22] FAO. Potential population supporting capacities of lands in developing world. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1982.
- [23] UNESCO & FAO. Carrying capacity assessment with a pilot study of Kenya: A resource accounting methodology for exploring national options for sustainable development. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1985.
- [24] 《中国土地资源生产能力及人口承载力研究》课题组. 中国土地资源生产能力及人口承载力研究. 北京: 中国人民大学出版社, 1991. [The Research Group of China's Productivity of Land Resource and its Population Carrying Capacity. China's Productivity of Land Resource and its Population Carrying Capacity. Beijing: China Renmin University Press, 1991.]
- [25] 陈百明. 中国农业资源综合生产能力与人口承载能力. 北京: 气象出版社, 2001. [CHEN B M. The Comprehensive Productivity and Population Carrying Capacity of the Agricultural Resources in China. Beijing: China Meteorological Press, 2001.]
- [26] 封志明, 杨艳昭, 张晶, 等. 从栅格到县域: 中国粮食生产的资源潜力区域差异分析. 自然资源学报, 2007, 22(5): 747-755. [FENG Z M, YANG Y Z, ZHANG J, et al. A GIS based study on the grain productivity and potential yield increase at multi-levels in China. Journal of Natural Resources, 2007, 22(5): 747-755.]
- [27] 刘东, 封志明, 杨艳昭, 等. 中国粮食生产发展特征及土地资源承载力空间格局现状. 农业工程学报, 2011, 27(7): 1-6. [LIU D, FENG Z M, YANG Y Z, et al. Characteristics of grain production and spatial pattern of land carrying capacity of China. Transactions of the CSAE, 2011, 27(7): 1-6.]
- [28] 何仁伟, 谢磊, 李立娜. 基于人粮关系的土地资源承载力分析: 以丹江口库区河南辖区为例. 生态经济, 2020, 36(9): 142-150. [HE R W, XIE L, LI L N. Analysis of land resource carrying capacity based on human-food relationship: Taking Danjiangkou Reservoir Area in Henan province as an example. Ecological Economy, 2020, 36(9): 142-150.]
- [29] 王瑞杰, 吴林荣, 闫峰. 基于人粮关系的鄂尔多斯砒砂岩区土地资源承载力变化特征. 水土保持通报, 2019, 39(6): 142-148. [WANG R J, WU L R, YAN F. Variation characteristics of land resources carrying capacity in Ordos fieldspathic sandstone area based on man-grain relationship. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(6): 142-148.]
- [30] ZHENG X, XU Z R. Analysis of water resources carrying capacity of "Belt and Road" initiative countries based on virtual water theory. Journal of Resources and Ecology, 2019, 10(6): 574-583.
- [31] ZHEN L, XU Z R, ZHAO Y, et al. Ecological carrying capacity and green development in the "Belt and Road" initiative region. Journal of Resources and Ecology, 2019, 10(6): 569-573.
- [32] 李赞凯, 闫慧敏, 董昱, 等. “一带一路”地区生态承载力评估系统设计与实现. 地理与地理信息科学, 2020, 36(2): 47-53. [LI Y K, YAN H M, DONG Y, et al. Design and implementation of ecological carrying capacity evaluation system. Geography and Geo-Information Science, 2020, 36(2): 47-53.]
- [33] 贾琨, 杨艳昭, 封志明. “一带一路”沿线国家粮食生产的时空格局分析. 自然资源学报, 2019, 34(6): 1135-1145. [JIA K, YANG Y Z, FENG Z M. An evaluation of the Belt and Road cereals production from a view of spatial-temporal patterns. Journal of Natural Resources, 2019, 34(6): 1135-1145.]
- [34] 孙致陆, 李先德. “一带一路”沿线国家粮食发展潜力分析. 华中农业大学学报: 社会科学版, 2017, 37(1): 32-43. [SUN Z L, LI X D. Study on grain development potential of "One Belt and One Road" areas. Journal of Huazhong Agricultural University: Social Sciences Edition, 2017, 37(1): 32-43.]
- [35] 刘卫东. 共建绿色丝绸之路: 资源环境基础与社会经济背景. 北京: 商务印书馆, 2019. [LIU W D. Joint Construction of Green Silk Roads: Social, Economic, Environment Context. Beijing: The Commercial Press, 2019.]
- [36] 中国中长期食物发展战略研究组. 中国中长期食物发展战略研究. 北京: 农业出版社, 1991. [Group of Study on China's Medium and Long Term Strategy for Food Development. Study on China's Medium and Long Term Strategy for Food Development. Beijing: Agricultural Press, 1991.]
- [37] 杨艳昭, 封志明, 孙通, 等. “一带一路”沿线国家水资源禀赋及开发利用分析. 自然资源学报, 2019, 34(6): 1146-

1156. [YANG Y Z, FENG Z M, SUN T, et al. Water resources endowment and exploitation and utilization of countries along the Belt and Road. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(6): 1146-1156.]
- [38] 韩小蕊, 李瑞. 中国谷物粮食进口贸易现状及问题分析. *价格月刊*, 2020, (12): 36-42. [HAN X R. LI R. Analysis of the current situation and problem s of China's grain im port trade. *Prices Monthly*, 2020, (12): 36-42.]
- [39] 赵霞, 封志明, 杨艳昭. 1961年至2007年全球粮食生产的时空演变特征与地域格局. *资源科学*, 2010, 32(5): 907-916. [ZHAO X, FENG Z M, YANG Y Z. An evaluation of world cereals production in recent 50 years from a view of spatial-temporal patterns and regional differences. *Resources Science*, 2010, 32(5): 907-916.]
- [40] KEARNEY J. Food consumption trends and drivers. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 2010, 365(1554): 2793-2807.
- [41] WILLETT W, ROCKSTRÖM J, LOKEN B, et al. Food in the anthropocene: The EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *Lancet*, 2019, 393(10170): 447-492.

Spatio-temporal patterns of the land carrying capacity in the Belt and Road region based on human-cereals relationship

ZHANG Chao^{1,2,3}, YANG Yan-zhao^{1,2,4}, FENG Zhi-ming^{1,2,4}, LANG Ting-ting^{1,2}, LIU Ying^{1,2}

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Faculty of Geographical Science,

Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 4. Key Laboratory of Carrying Capacity Assessment for

Resource and Environment, Ministry of Natural Resources, Beijing 101149, China)

Abstract: The countries along the Belt and Road are major population agglomeration areas in the world. Focusing on the relationship between humans and cereals, we examined the spatio-temporal patterns of the land resource carrying capacity during 1995-2017 from the whole region and national scale. The results showed that, during the study period: (1) The total and per capita cultivated land of the countries along the Belt and Road dropped to 696 million hectares and 0.15 hm²/person, which are respectively about 50% and 80% of the global level. The per capita cultivated land is declining in around 80% of the countries. (2) The carrying capacity of land resources increased to 4.60 billion people. The carrying capacity of nearly 90% of the countries was increasing, but that of most countries in West Asia and the Middle East declined. (3) The average carrying capacity of land resources increased to 90 persons/km², which is 1.5 times at the global level; in Bangladesh, Hungary and Vietnam, it exceeded 300 persons/km². (4) The human- cereals relationship had shifted from overloading to critical overloading. Countries with cereals surpluses increased, especially large cereals- producing countries with much cultivated land and better production conditions. The land has still overloaded for half of the countries in the Belt and Road, and these countries are mostly located in arid climate or islands zones. The results will contribute to strengthening cooperation between countries in the Belt and Road region for food security and improving the scientific nature of project construction layout.

Keywords: cultivated resources; land resource carrying capacity; human-cereals relationship; spatio-temporal pattern; countries along the Belt and Road