

资源承载力监测

——以西藏“一江两河”地区为例

刘玉洁^{1,2}, 代粮^{1,2}, 张婕^{1,2}, 封志明^{1,2}, 潘韬^{1,2,3}, 葛全胜^{1,2}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 中国科学院陆地表层格局与模拟重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 中国科学院发展规划局, 北京 100864)

摘要: 对自然资源的无序开发和对生态系统的破坏制约了我国的可持续发展。资源承载力是描述地区发展受自然资源限制的重要工具,也是衡量区域可持续发展的重要依据。基于西藏“一江两河”地区县级统计数据,定量计算水、土和生态等资源承载力,并根据定量评价结果构建资源承载力监测体系并应用于“一江两河”地区。研究表明:(1)“一江两河”地区人粮关系趋于紧张,部分地区人口—粮食—土地矛盾突出,76.5%的县土地资源承载力下降,83.3%的县土地资源承载指数增长;“一江两河”地区各县(市、区)水资源承载力远大于实际人口,承载指数均小于0.05,但77.8%的县水资源承载力下降,县域承载指数均增长;各县生态承载力增长,承载指数下降,部分县处于生态赤字状态。(2)“一江两河”地区资源承载力的主要制约因素由生态承载力转变为土地资源承载力。2000—2015年,在“一江两河”地区资源承载力处于临界超载或超载的县中,对资源承载状态影响最大的资源承载力由生态承载力逐步转变为土地资源承载力。(3)“一江两河”地区资源承载力等级逐渐提升,可能带来的危害或负面影响程度降低。2000—2015年,资源承载力为三级(中度负载)及以下等级的县由15个(83.3%)降至3个(16.7%)。资源承载力长效监测机制的建立有助于明晰资源开发利用现状,科学利用区域自然资源,促进地区生态保护和可持续发展。

关键词: 资源承载力;承载力模型;指标分级;监测;西藏“一江两河”地区

资源承载力是在一定地域和可以预见的时期内,利用土地、水及其他本地自然资源,在保证满足一定生活水平情况下所能供养的最大人口数量^[1]。随着社会经济的发展以及人口的增长,自然资源的无序开发和对生态系统的破坏制约了人类社会的可持续发展,如何维护人类社会与自然环境的和谐相处以及提高资源承载力引起了人们的广泛关注^[2]。资源承载力作为描述地区发展受自然资源限制的重要工具和衡量区域可持续发展的重要依据^[3],其长效监测机制的建立有助于明晰资源开发利用现状,科学规划区域自然资源,对加强地区生态保护和促进可持续发展有重要意义。

承载力这一概念最早被用于表征环境因子影响下生物数量的最大值^[4],多描述自然资源对生物种群发展的限制作用^[5]。资源承载力的发展经历了由单一资源承载力、分类资源承载力到多种资源承载力和综合资源承载力,这其中,土地资源和水资源承载力以及综合的生态承载力是资源承载力的主要研究内容^[3]。土地承载力的概念由Park等^[4]在1921年

收稿日期: 2019-04-20; 修订日期: 2019-09-25

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项资助(XDA20040301); 西藏重大科技专项(Z2016C01G01); 中国科学院青年创新促进会会员项目(2016049); 地理资源所“可桢杰出青年学者计划”项目(2017RC101)

作者简介: 刘玉洁(1982-),女,甘肃天水人,博士,副研究员,主要从事气候变化影响与适应研究。

E-mail: liuyujie@igsnr.ac.cn

首次提出。国外的早期研究多是在生态承载力定义基础上的直接延伸^[3],以协调人地关系为目标,使用多目标决策分析方法^[6],或基于饮食需求框架,衡量一定粮食生产消费水平下土地资源承载力水平^[7]。国内的土地资源承载力研究兴起于20世纪80年代后期^[8],以土地生产潜力为核心开展了大量的研究工作^[9,10],还有部分学者基于人粮关系,从食物当量角度、结合耕地资源面积,评估中国土地承载力^[11]。相对于土地承载力,国际上尚未形成对水资源承载力的系统性研究,主要将水资源与其他自然资源共同考虑,评估地区的资源可持续性^[12]。国内的水资源承载力研究主要包括定量计算或模型定性评价^[13],如水足迹模型^[14]、模糊综合评价^[15],部分研究基于相对资源承载力^[16]和缺水风险评估模型^[17]分析了水资源的承载能力。近年来,Slessor^[18]提出ECCO模型作为资源环境承载力的量化方法,该方法与可持续发展相结合,综合考虑了区域的资源环境与社会经济发展的相互作用。由此可见,资源承载力的量化研究已成为研究的重点^[19,20]。同时,由于区域人口和经济规模的动态变化性,单一、静态的资源承载力评价已难以满足当下人们对资源承载能力的研究和认知。区域资源承载力的研究,正逐渐从分类到综合,从静态走向动态,从定性趋于定量,从承载力现状评价向承载力监测预警转变。例如从土地资源承载力^[21]、水资源承载力^[22]转向生态承载力^[23]等综合承载力的研究,从而分析区域资源承载力的时空动态变化^[24],量化不同承载力的大小^[25,26],评价不同尺度^[19,27,28]、不同地区^[29,30]的资源承载力现状。随着研究的深入,在对资源承载力的定量评估方法与评价标准方面还存在一些关键性的问题,评价标准以定性判断居多,主观性较强,缺乏科学的划分阈值^[3]。评价对象大多针对生态系统中的单要素,对资源之间的相互影响和整体效应缺乏考虑^[31],各类资源的评价结果之间缺乏可比性^[32]。

在对资源承载力的定量评估中,选取指标构建资源承载力监测体系是目前资源承载力的主要方向^[33,34],研究内容涵盖不同尺度和地区^[35-37]、不同资源承载力^[38]以及不同监测指标体系^[39,40]。如贾立斌等^[41]选取海洋生态环境承载状况等指标构建了海洋生态环境承载力评价与监测的指标体系,杨渺等^[42]结合多指标评价和单指标评价的方法构建四川省资源承载力监测模型,对资源承载力现状进行监测。不同监测指标体系的研究涵盖了土地资源^[43]、水资源^[44]等单一指标要素和生态^[45]等综合指标要素,选取资源承载力的典型指标,构建资源承载力监测方法,并应用于区域资源承载力的监测^[36]。

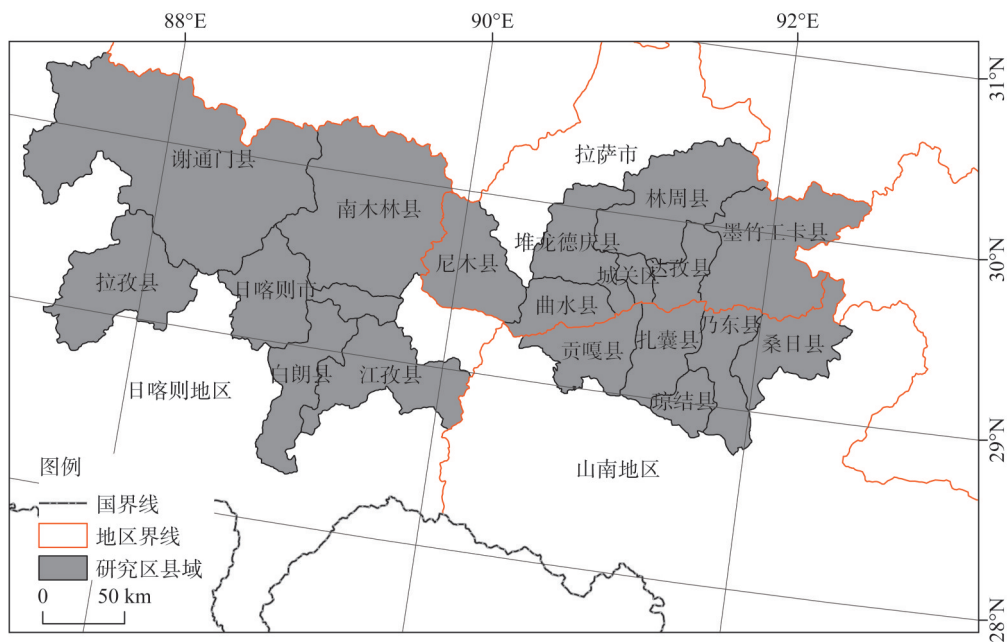
“一江两河”地区是西藏自治区的政治、经济、文化中心,地区基础设施的建设和经济的高速发展加大了对资源的开发利用程度,“一江两河”地区生态系统的脆弱性和不稳定性逐渐凸显,迫切需要将人为活动限制在自然可承受的范围内,基于资源承载力动态监测结果统筹布局生产、生活、生态空间,划定开发和利用资源的空间边界,实现区域可持续发展。本文基于“一江两河”地区县级统计数据,定量计算水、土和生态等资源承载力,根据资源承载力的定量评价结果构建“一江两河”地区资源承载力监测体系,为有效约束“一江两河”地区自然资源的利用与开发,保障地区可持续发展提供科学依据。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究区概况

西藏“一江两河”地区是指雅鲁藏布江中游及其支流拉萨河和年楚河的河谷地区,地处西藏自治区中南部。流域东起山南地区桑日县,西到日喀则地区拉孜县,南抵藏南

河谷区, 北达冈底斯—念青唐古拉山脉南麓, 包括拉萨市、山南地区、日喀则地区三个地市的18个县(图1)。流域面积6.67万 km^2 , 占西藏自治区总面积的5.48%, 地区人口数约占西藏总人口的33%, 是西藏自治区农业主产区的主要依托开发地带, 在西藏社会经济中占有重要的地位^[46]。



注: 日喀则市后调整为桑珠孜区。

图1 研究区域及对应县市

Fig. 1 Study area and its corresponding counties

数据主要来源于《中国统计年鉴》^[47]、《西藏统计年鉴》^[48]、《西藏水资源公报》^[49]、《西藏年鉴》^[50]和土地利用数据等, 包括县级主要农作物产量、种植面积、人口数、水资源总量、用水量、土地利用数据(2000年、2010年和2015年三期, 100 m分辨率)、主要消费产品的消费数据。具体计算中, 基于耕地统计数据计算土地承载力, 基于三期土地利用数据计算生态足迹。

1.2 研究方法

1.2.1 资源承载力的计算

资源承载力的计算选取土地资源承载力、水资源承载力和生态承载力三个指标, 利用资源承载力和承载指数对资源承载状态分级为盈余、平衡和超载(赤字)三级状态, 以不同资源承载力的分级状态构建资源承载力的监测体系(表1), 具体计算方法如下:

本文基于《中国居民膳食指南》确定标准理想情况下的人均生态足迹。主要数据及摄入标准见参考文献^[55]。生态承载力模型中的生物生产性土地分为六类, 包括耕地、草地、林地、水域、建设用地和化石燃料用地^[19]。其中: 耕地主要是提供粮食及其他主要农产品, 包括主要粮食作物、油料作物、蔬菜等; 牧草地主要提供畜牧业产品, 包括牛羊肉类、奶类、禽蛋、羊毛等; 林地主要为人类提供林产品及木材; 水域主要提供渔业产品(包括淡水和海洋产品); 建设用地包括各类人居设施及道路所占用的土地, 一般这

表1 不同资源承载力的计算

Table 1 Calculation of different calculation methods for resource carrying capacity

承载力类型	计算方法	计算公式	文献来源
土地资源承载力	土地资源承载力模型; 土地资源承载指数模型	$LCC=G/G_p$ $LCCI=P_w/LCC$	封志明 ^[8]
水资源承载力	水资源承载力模型; 水足迹模型	$EC=0.4\gamma\phi Q_w/P_w$ $ec=\gamma W_p/P_w$ $ECC=EC/ec$ $ECCI=P_a/ECC$	赵静等 ^[51] ; 陈智举等 ^[52]
生态承载力	生态承载力模型; 生态足迹模型	$EF=\sum_{j=1}^6 a_j \times r_j \times y_j$ ($j=1, 2, 3, \dots, 6$) $ef=\sum_{i=1}^n a_i = \sum_{i=1}^n W_i \times \left(\frac{C_i}{P_i}\right)$ ($i=1, 2, \dots, n$) $EFC=EF/ef$ $EFCI=P_a/EFC$	赵先贵等 ^[53] ; 刘东等 ^[54]

注：土地资源承载力的计算中， LCC 为土地资源承载力（人）； G 为粮食总产量（kg）； G_p 为人均粮食消费标准（kg/人），参考值为400 kg/人； $LCCI$ 为土地资源承载指数； P_w 为区域实际人口数（人）。水资源承载力的计算中， EC 为水资源承载量（ hm^2 ）； ECC 为水资源承载力，即与人均水足迹之比； $ECCI$ 为水资源承载指数，0.4为扣除维持生态环境水资源后的可利用水（取40%，即0.4）； γ 为水资源均衡因子，取5.19； ϕ 为研究区域水资源产量因子； Q_w 为研究区水资源总量（ m^3 ）； P_w 为水资源全球平均生产能力（ m^3/hm^2 ），取3140 m^3/hm^2 ； ec 为人均水足迹（ $hm^2/人$ ）； W_p 为人均水资源消耗量（ $m^3/人$ ）。生态承载力的计算中， EF 为生态承载量（ hm^2 ）； EFC 为生态承载力，即与人均生态足迹之比； $EFCI$ 为生态承载力指数； a_j 为实际的 j 类生物生产土地面积（ hm^2 ）； r_j 为均衡因子； y_j 为产量因子，即当地人均产量比全国平均产量； ef 为人均生态足迹（ $hm^2/人$ ）； a_i 为 i 种物质人均占用的生物生产土地面积（ $hm^2/人$ ）； W_i 为对应土地利用类型的均衡因子； C_i 为 i 种物质标准消费量（kg/人）； P_i 为 i 种物质的全国平均生产力（kg/ hm^2 ），即全国单位面积平均产量； n 为物质的数量。

类土地大都建在肥沃的土地上，主要为耕地，包括主要的电力能源消费；化石燃料用地理论上是指专门用于吸收化石燃料燃放排放的 CO_2 的土地，但目前事实上并未留出这类土地，所以化石燃料用地面积取值为0^[20]。

1.2.2 资源承载力监测预警体系

根据资源承载力的承载状态及承载指数（表1），土地资源承载力、水资源承载力和生态承载力分级见表2。依据资源承载力和承载指数将资源承载力分为三级承载状态，即盈余、临界超载和超载状态，相应的状态信号分别为绿色、蓝色和红色。基于“短板效应”原理，利用不同资源承载力的不同承载状态及承载指数的计算结果，构建基于资源承载力及承载指数监测指标的资源承载力监测分级体系，如表3所示：

2 结果分析

2.1 “一江两河”地区资源承载力和承载指数

2.1.1 土地资源承载力

“一江两河”地区土地资源承载力具有明显的空间分异，土地承载力较大地区集中于部分县区（日喀则市、江孜县和林周县），这些地区承载力均超过14万人。城关区、桑日县、谢通门县和尼木县土地资源承载力均小于4万人。值得注意的是，拉萨市城关区

表2 不同资源承载力的承载状态及承载指数分级

Table 2 The carrying status and index grading of different resource carrying capacities

资源承载力	承载状态	状态分级	承载指数		
土地资源承载力	粮食盈余	富富有余	绿色	$LCCI \leq 0.875$	$LCCI \leq 0.5$
		富裕			$0.5 < LCCI \leq 0.75$
		盈余			$0.75 < LCCI \leq 0.875$
	人粮平衡	平衡有余	蓝色	$0.875 < LCCI \leq 1.125$	$0.875 < LCCI \leq 1$
		临界超载			$1 < LCCI \leq 1.125$
	人口超载	超载	红色	$LCCI > 1.125$	$1.125 < LCCI \leq 1.25$
		过载			$1.25 < LCCI \leq 1.5$
		严重超载			$LCCI > 1.5$
	水资源承载力	水资源盈余	富富有余	绿色	$ECI \leq 0.875$
富裕					$0.5 < ECI \leq 0.75$
盈余					$0.75 < ECI \leq 0.875$
人水平衡		平衡有余	蓝色	$0.875 < ECI \leq 1.125$	$0.875 < ECI \leq 1$
		临界超载			$1 < ECI \leq 1.125$
水资源赤字		超载	红色	$ECI > 1.125$	$1.125 < ECI \leq 1.25$
		过载			$1.25 < ECI \leq 1.5$
		严重超载			$ECI > 1.5$
生态承载力		生态盈余	富富有余	绿色	$EFI \leq 0.9$
	富裕				$0.5 < EFI \leq 0.7$
	盈余				$0.7 < EFI \leq 0.9$
	生态平衡	平衡有余	蓝色	$0.9 < EFI \leq 1.1$	$0.9 < EFI \leq 1$
		临界超载			$1 < EFI \leq 1.1$
	生态赤字	超载	红色	$EFI > 1.1$	$1.1 < EFI \leq 1.5$
		过载			$1.5 < EFI \leq 2.5$
		严重超载			$EFI > 2.5$

表3 资源承载力状态分级

Table 3 Grading system of resource carrying capacity

序号	判别条件	状态类型	状态级别	等级划分
1	“盈余”状态的资源承载力个数=3	无负载	绿色	六级
2	“临界超载”状态的资源承载力个数=1	轻度负载	蓝色	五级
3	“临界超载”状态的资源承载力个数 ≥ 2	一般负载	黄色	四级
4	“超载”状态的资源承载力个数=1	重度负载	橙色	三级
5	“超载”状态个数=1且“临界超载”状态个数 ≥ 1	严重负载	红色	二级
6	“超载”状态的资源承载力个数 ≥ 2	特别严重负载	深红	一级

注: 根据判别条件: 当三种资源承载力均处于盈余状态时, 负载等级为六级无负载状态; 当三种资源承载力有一个处于临界超载状态时, 负载等级为五级轻度负载状态; 当三种资源承载力两个及以上处于临界超载状态时, 负载等级为四级一般负载状态; 当三种资源承载力一个处于超载状态时, 负载等级为三级重度负载状态; 当三种资源承载力一个处于超载状态并有一个及以上处于临界超载状态时, 负载等级为二级严重负载状态; 当三种资源承载力两个及以上处于超载状态时, 负载等级为一级特别严重负载状态, 对应负载颜色由低到高为绿色、蓝色、黄色、橙色、红色、深红色。

土地资源承载力最小, 平均为1.2万人, 而实际人口平均超过18万人, 土地资源严重缺乏。时间变化上, 从2000—2015年, 76.5%县的土地资源承载力下降, 仅谢通门县、日喀则市、白朗县和林周县土地资源承载力增长(图2a~图2c)。

图2d~图2f分别为2000年、2010年和2015年“一江两河”地区分县土地资源承载指数。2000年, 83.3%的县人粮关系处于粮食盈余状态, 其中6个县为富富有余状态, 8个县为粮食富裕状态。城关区和谢通门县承载指数分别为7.48和1.22, 处于人口超载状态, 表明两地人口—粮食—土地矛盾突出。随着时间的变化, 人粮关系逐渐趋于紧张, 2000—2015年, 83.3%的县土地资源承载指数进一步增长, 表明人口—粮食—土地关系进一步紧张, 粮食盈余县的数量减少而人口超载县的数量增加。城关区土地资源承载指数达到54.2, 反映了当地土地资源对人口增长的制约。

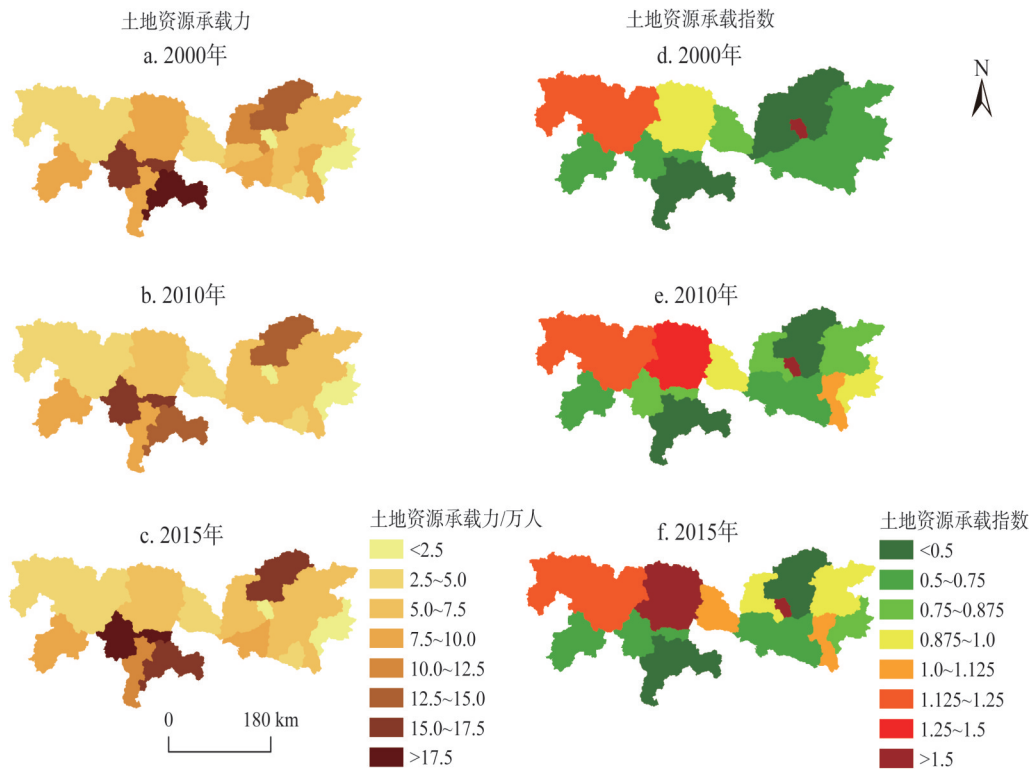


图2 2000年、2010年、2015年西藏“一江两河”地区土地资源承载力和承载指数

Fig. 2 Land resource carrying capacity and carrying index in Three-Rivers Region in Tibet in 2000, 2010 and 2015

“一江两河”地区土地资源承载力呈先波动下降后持续增长的趋势, 承载指数逐年增长, 实际人口呈增长趋势(图3)。2000—2010年, 该地区土地资源承载力逐年下降, 由141.12万人下降至123.74万人, 随后持续上升至2015年的135.38万人, 承载指数由2000年的0.63增长至2015年的0.81, 整体上仍处于粮食盈余状态。综上, “一江两河”地区人口—粮食—土地处于粮食盈余的状态, 人粮矛盾尚不突出。

2.1.2 水资源承载力

“一江两河”地区水资源丰富, 水资源承载力远大于实际人口数, 承载指数均小于

0.05, 处于富富有余状态 (图4)。此外, 水资源承载力呈波动下降趋势, 承载指数波动上升, 承载状态均处于盈余状态 (图5)。2003年为水资源承载力峰值, 达 1.93×10^4 万人, 至2006年逐年下降, 随后波动增长至2013年的 1.66×10^4 万人, 2013—2015年则逐渐下降。

2.1.3 生态承载力

“一江两河”地区生态承载力呈增加趋势 (图6)。分县生态承载力结果表明: 时间变化上, 所有县的生态承载力均增长, 反映了“一江两河”地区生态承载能力提高。承载指数结果表明, 2000年有88.9%的县生态承载力处于生态赤字或临界平衡状态, 2010年下降至22.2%, 而2015年下降至

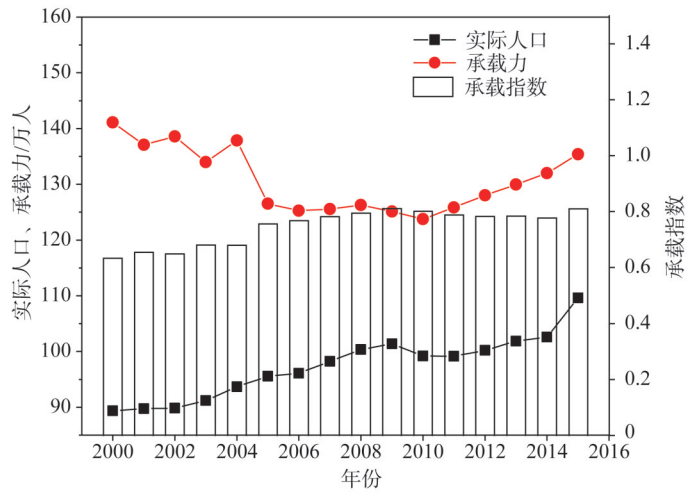


图3 2000—2015年西藏“一江两河”地区土地资源承载力及承载指数

Fig. 3 Land resource carrying capacity and carrying index in Three-Rivers Region in Tibet from 2000 to 2015

2015年下降至

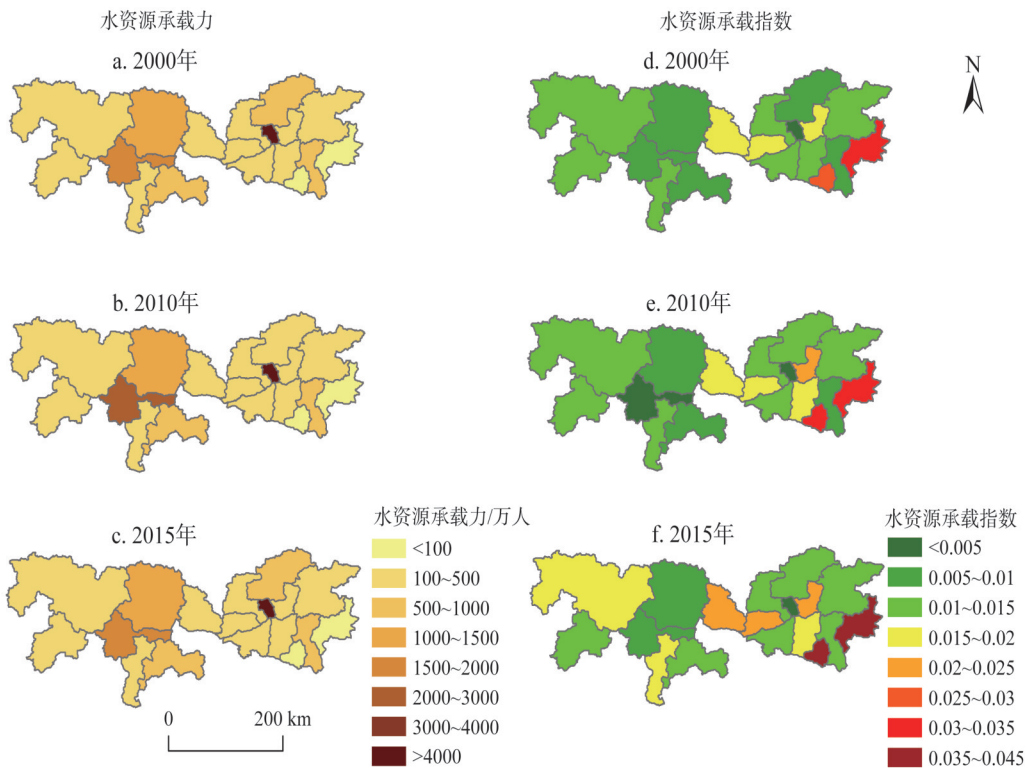


图4 2000年、2010年、2015年西藏“一江两河”地区水资源承载力和承载指数

Fig. 4 Water resource carrying capacity and carrying index in Three-Rivers Region in Tibet in 2000, 2010 and 2015

11.1%。总的来说，“一江两河”地区生态承载力逐渐增长，承载指数下降，生态承载能力增强，但部分县仍处于生态赤字状态。

2.1.4 资源综合承载力

在区域的自然系统中，土地资源、水资源和生态系统三部分要素相互制约，共同影响地区的可持续发展。考虑到三部分要素重要程度相仿，因此分配相同的权重对承载指数进行加权求和，由此得到“一江两河”地区2000年、2010年、2015年资源综合承载指数的变化情况（图7）。

2000—2015年“一江两河”地区资源综合承载指数的变化主要发生在东部地区，城关区的资源综合承载指数长期在1.0以上，其余地区在不同阶段的空间特征有所差异。

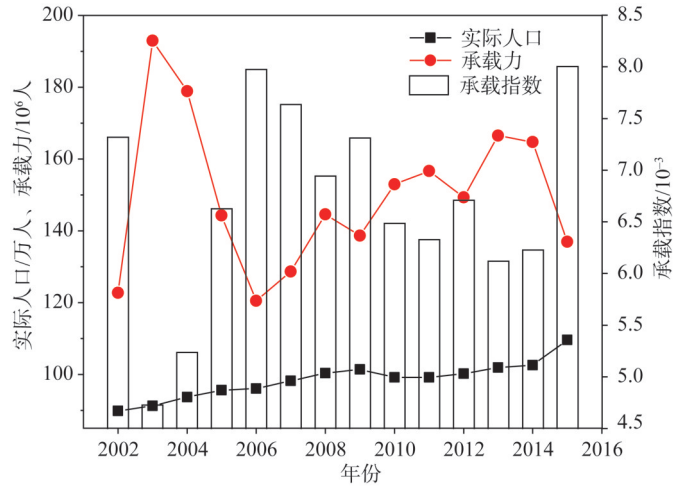


图5 2002—2015年“一江两河”地区水资源承载力及承载指数
Fig. 5 Water resource carrying capacity and carrying index in Three-Rivers Region in Tibet from 2002 to 2015

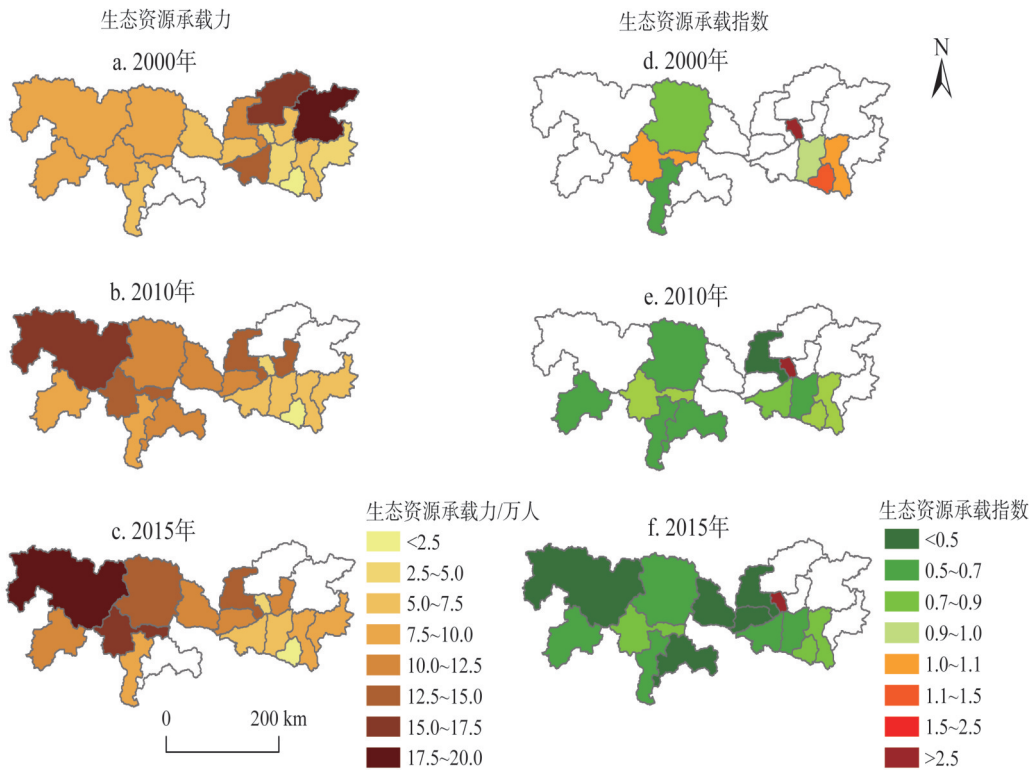


图6 2000年、2010年、2015年西藏“一江两河”地区生态承载力和承载指数

Fig. 6 Ecological carrying capacity and carrying index in Three-Rivers Region in Tibet in 2002, 2010 and 2015

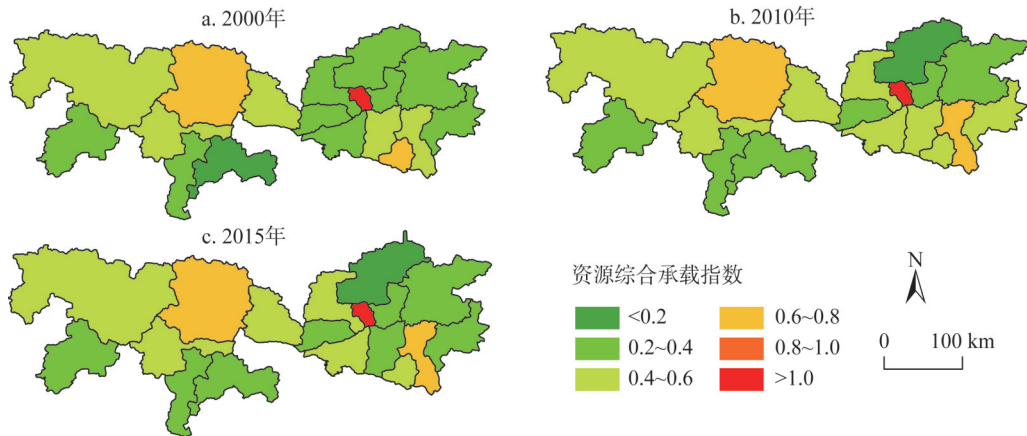


图7 2000年、2010年、2015年西藏“一江两河”地区资源综合承载指数

Fig. 7 Comprehensive resource carrying index of Three-Rivers Region in Tibet in 2000, 2010 and 2015

2000—2010年56%的地区资源综合承载指数增长, 发生明显变化的区域主要在堆龙德庆县、贡嘎县和乃东县, 此阶段区域的资源压力有所增加, 2010—2015年除城关区资源综合承载指数增长剧烈, 其余地区的资源综合承载指数变化不大或呈下降趋势, 其中扎囊县和桑日县下降明显。

2.2 “一江两河”地区资源承载力监测状态

为了验证本文构建的资源承载力分级体系的实用性, 基于“一江两河”地区2000年、2010年和2015年的资源承载力监测指标评估结果, 评价“一江两河”地区不同时期的土地资源、水资源和生态资源承载状态, 结果如表4所示。

2000年, 生态承载力是限制“一江两河”地区资源承载力的主要因素, 2010年和2015年资源承载力的主要制约因素为土地资源。2000年83.3%的县生态承载力处于红色超载状态, 5.6%的县处于蓝色临界超载状态, 仅11.1%的县生态承载力盈余。2010年和2015年, 在三种资源承载力中, 土地资源承载力的超载或临界超载县数量最多, 有16.7%的县土地承载力为红色超载状态, 16.7%和22.2%的县土地承载力为蓝色临界超载。同时, 部分县长期存在资源承载力超载或临界超载的状况, 如谢通门县、南木林县和城关区的土地资源承载力长期处于超载或临界超载状态, 日喀则市、堆龙德庆县、城关区、乃东县和琼结县的生态承载力长期处于超载或临界超载状态。

2000—2015年, 西藏“一江两河”地区资源承载力等级逐渐提升(图8), 可能带来的危害或负面影响程度降低。2000年15个县(83.3%)的资源承载力为三级重度负载及以上负载等级, 其中谢通门县和城关区处于一级特别严重负载状态, 仅江孜县和桑日县为六级无负载状态。至2010年和2015年, 资源承载力为三级及以下等级的县降至3个(16.7%), 承载力等级由低到高分别为城关区、谢通门县和南木林县, 同时, 上述三县(区)资源承载力等级长期较低, 需采取措施提升资源承载力。总体上, “一江两河”地区资源承载力整体向好, 资源承载力等级有所提升, 资源消耗可能的负面影响降低。

3 结论

基于土地资源承载力、水资源承载力和生态承载力以及承载指数的定量计算结果,

表4 2000年、2010年和2015年“一江两河”地区资源承载指数、承载状态与分级

Table 4 Resource carrying index, carrying status and grading in Three-Rivers Region in Tibet in 2000, 2010 and 2015

县(市、区)	2000年						2010年						2015年					
	承载指数			承载状态			承载指数			承载状态			承载指数			承载状态		
	土地	水	生态	土地	水	生态	土地	水	生态	土地	水	生态	土地	水	生态	土地	水	生态
谢通门	1.22	0.012	1.12	红	绿	红	1.24	0.013	0.33	红	绿	绿	1.25	0.015	0.36	红	绿	绿
拉孜	0.50	0.010	1.24	绿	绿	红	0.55	0.011	0.60	绿	绿	绿	0.63	0.013	0.71	绿	绿	绿
日喀则	0.58	0.005	2.55	绿	绿	红	0.75	0.005	1.09	绿	蓝	蓝	0.61	0.006	1.04	绿	绿	蓝
南木林	0.96	0.007	2.11	蓝	绿	红	1.45	0.007	0.83	红	绿	绿	1.54	0.008	0.90	红	绿	绿
白朗	0.47	0.012	1.51	绿	绿	红	0.42	0.013	0.64	绿	绿	绿	0.40	0.015	0.66	绿	绿	绿
江孜	0.33	0.008	0.53	绿	绿	绿	0.43	0.009	0.69	绿	绿	绿	0.44	0.010	0.37	绿	绿	绿
尼木	0.80	0.017	2.17	绿	绿	红	0.95	0.019	0.72	绿	蓝	绿	1.02	0.022	0.76	蓝	绿	绿
曲水	0.50	0.015	2.13	绿	绿	红	0.50	0.017	0.76	绿	绿	绿	0.57	0.020	0.87	绿	绿	绿
堆龙德庆	0.36	0.012	1.78	绿	绿	红	0.85	0.010	1.05	绿	绿	蓝	0.89	0.014	1.00	蓝	绿	蓝
城关	7.48	0.003	23.82	红	绿	红	14.11	0.003	12.71	红	绿	红	54.20	0.003	19.09	红	绿	红
林周	0.39	0.009	1.62	绿	绿	红	0.34	0.011	0.41	绿	绿	绿	0.38	0.011	0.55	绿	绿	绿
达孜	0.37	0.019	1.69	绿	绿	红	0.46	0.020	0.60	绿	绿	绿	0.48	0.024	0.66	绿	绿	绿
墨竹工卡	0.64	0.012	1.00	绿	绿	蓝	0.82	0.012	0.36	蓝	绿	绿	0.88	0.014	0.38	蓝	绿	绿
贡嘎	0.56	0.011	2.35	绿	绿	红	0.64	0.012	0.75	绿	绿	绿	0.65	0.014	0.84	绿	绿	绿
扎囊	0.70	0.013	2.02	绿	绿	红	0.67	0.015	0.67	绿	绿	绿	0.63	0.019	0.65	绿	绿	绿
乃东	0.70	0.009	2.29	绿	绿	红	1.09	0.009	1.02	蓝	绿	蓝	1.10	0.012	0.94	蓝	绿	蓝
琼结	0.56	0.028	2.90	绿	绿	红	0.62	0.032	0.98	绿	绿	蓝	0.71	0.039	0.92	绿	绿	蓝
桑日	0.71	0.031	0.82	绿	绿	绿	0.88	0.032	0.30	蓝	绿	绿	0.86	0.041	0.25	绿	绿	绿

注：水资源采用2002年数据替代2000年数据。

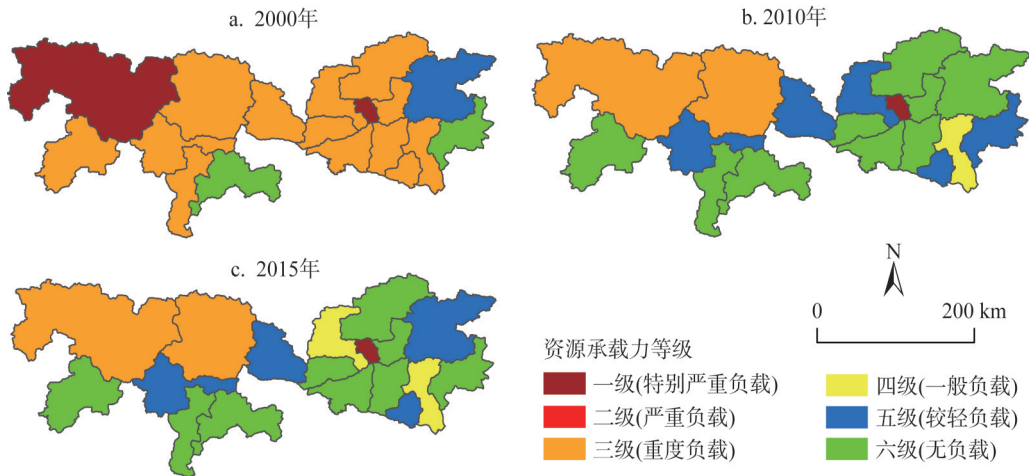


图8 2000年、2010年和2015年西藏“一江两河”地区资源承载力等级

Fig. 8 Early warning levels of resource carrying capacity in Three-Rivers Region in Tibet in 2000, 2010 and 2015

本文构建了资源承载力监测体系,并应用于“一江两河”地区,得到以下结论:

(1)“一江两河”地区土地资源承载力具有明显的空间分异,部分县(区)人口—粮食—土地矛盾突出,人粮关系逐渐趋于紧张,其中76.5%的县土地资源承载力下降,83.3%的县土地资源承载指数增长;“一江两河”地区各县(市、区)水资源承载力远大于实际人口数,承载指数均小于0.05,但77.8%的县水资源承载力下降,承载指数均增长,人口—水资源关系趋于紧张;生态承载力逐渐增长,承载指数下降,但部分县仍处于生态赤字状态。

(2)不同时期“一江两河”地区资源承载力的限制因素不同。2000年生态承载力是限制“一江两河”地区资源承载力的主要因素,2010年和2015年资源承载力的主要制约因素为土地资源。2000年88.9%的县生态承载力处于超载或临界超载状态。而2010年和2015年,三种资源承载力中土地资源承载力的超载或临界超载县数量最多,分别有33.3%和38.9%的县土地承载力为超载和临界超载状态。

(3)“一江两河”地区资源承载力等级逐渐提升,资源消耗可能带来的危害或负面影响程度降低。2000—2015年,资源承载力为三级(重度负载)及以下的县由15个(83.3%)降至3个(16.7%)。城关区、谢通门县和南木林县资源承载力等级长期较低,需采取措施提升资源承载力。

目前,选取多要素或单要素监测指标构建资源承载力监测预警指标体系的方法在资源承载力的研究中应用较多^[33,56]。本文基于单要素和综合要素的资源承载力以及承载指数构建了资源承载力的监测体系,并应用于“一江两河”地区。同时,前人对生态承载力的研究大多基于实际生产和消费数据^[20,51],本文采用统一膳食标准的计算结果不仅能反映当前资源承载力水平,也能为今后承载力的监测预警提供标准。尽管如此,资源承载力的影响因子复杂,本文虽然综合考虑了区域生产消费现状,但未涉及区域内与区域外的产品流动情况,不同资源承载力的权重仍需根据实际情况进一步区分,这些都会增大计算结果的不确定性,影响资源承载力监测体系的构建,需在今后的研究中进一步探讨。

参考文献(References):

- [1] UNESCO, FAO. Carrying capacity assessment with a pilot study of Kenya: A resource accounting methodology for sustainable Development. Paris and Rome, 1985.
- [2] 高洁, 刘玉洁, 封志明, 等. 西藏自治区水土资源承载力监测预警研究. 资源科学, 2018, 40(6): 1209-1221. [GAO J, LIU Y J, FENG Z M, et al. Monitoring and early warning of soil and water resources carrying capacity in Tibet Autonomous Region. Resources Science, 2018, 40(6): 1209-1221.]
- [3] 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. Research on resource and environment carrying capacity in the past 100 years: From theory to practice. Resources Science, 2017, 39(3): 379-395.]
- [4] PARK R E, BURGESS E W. Introduction to the Science of Sociology. Chicago: University of Chicago Press Chicago, 1924.
- [5] HADWEN I A S, PALMER L J. Reindeer in Alaska. US Department of Agriculture, 1922.
- [6] MILLINGTON R, GIFFORD R. Energy and How We Live. Sydney: Australian UNESCO Seminar, 1973.
- [7] PETERS C J, WILKINS J L, FICK G W. Testing a complete-diet model for estimating the land resource requirements of food consumption and agricultural carrying capacity: The New York State example. Renewable Agriculture and Food Systems, 2007, 22(2): 145-153.
- [8] 封志明. 土地承载力研究的过去、现在与未来. 自然资源学报, 1994, 9(3): 1-9. [FENG Z M. Past, present and future of land carrying capacity research. Journal of Natural Resources, 1994, 9(3): 1-9.]
- [9] 周锁铨, 戴进, 姚小强. 土地生产潜力和人口承载力方法的研究: 以陕西宝鸡地区为例. 自然资源, 1992, (6): 56-62. [ZHOU S Q, DAI J, YAO X Q. Research on land production potential and population carrying capacity: Taking Baoji Area in Shaanxi as an example. Natural Resources, 1992, (6): 56-62.]
- [10] 杨艳昭, 张晶, 张蓬涛. 基于GIS的内蒙古土地资源生产潜力与未来人口承载力. 干旱区资源与环境, 2008, (4): 1-5. [YANG Y Z, ZHANG J, ZHANG P T. GIS-based land resources production potential and future population carrying capacity in Inner Mongolia. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2008, (4): 1-5.]
- [11] 陈百明. 中国土地资源的人口承载能力. 中国科学院院刊, 1988, (3): 260-267. [CHEN B M. Population carrying capacity of land resources in China. Proceedings of the Chinese Academy of Sciences, 1988, (3): 260-267.]
- [12] LEI K, ZHOU S. Per capita resource consumption and resource carrying capacity: A comparison of the sustainability of 17 mainstream countries. Energy Policy, 2012, 42: 603-612.
- [13] 郭倩, 汪嘉杨, 张碧. 基于DPSIRM框架的区域水资源承载力综合评价. 自然资源学报, 2017, 32(3): 484-493. [GUO Q, WANG J Y, ZHANG B. Comprehensive evaluation of regional water resources carrying capacity based on DPSIRM framework. Journal of Natural Resources, 2017, 32(3): 484-493.]
- [14] 李丹, 黄川友, 殷彤, 等. 基于改进生态足迹法的雅砻河源区生态承载力评价及保护措施. 水电能源科学, 2018, 36(3): 38-41. [LI D, HUANG C Y, YIN T, et al. Evaluation and protection measures of ecological carrying capacity of Yalonghe Source Area based on improved ecological footprint method. Hydroelectric Energy Science, 2018, 36(3): 38-41.]
- [15] GONG L, JIN C. Fuzzy comprehensive evaluation for carrying capacity of regional water resources. Water Resources Management, 2009, 23(12): 2505-2513.
- [16] SONG X M, KONG F Z, ZHAN C S. Assessment of water resources carrying capacity in Tianjin city of China. Water Resources Management, 2011, 25(3): 857-873.
- [17] FENG L H, ZHANG X C, LUO G Y. Application of system dynamics in analyzing the carrying capacity of water resources in Yiwu city, China. Mathematics and Computers in Simulation, 2008, 79(3): 269-278.
- [18] SLEESER M. Enhancement of Carrying Capacity Options ECCO. Britain: The Resource Use Institute, 1990.
- [19] 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. Research on land resource carrying capacity based on human food relationship in China: From county to country. Journal of Natural Resources, 2008, 23(5): 865-875.]
- [20] 封志明, 李鹏. 承载力概念的源起与发展: 基于资源环境视角的讨论. 自然资源学报, 2018, 33(9): 1475-1489. [FENG Z M, LI P. The origin and development of the concept of carrying capacity: A discussion based on the perspective of resources and environment. Journal of Natural Resources, 2018, 33(9): 1475-1489.]
- [21] 郑浩, 关国锋, 罗奇云, 等. 面向建设开发的土地资源承载力评价: 以哈尔滨为例. 测绘与空间地理信息, 2018, 41(12): 98-100. [ZHENG H, GUAN G F, LUO Q Y, et al. Evaluation of land resources carrying capacity for construction

- and development: Taking Harbin as an example. *Surveying and Spatial Geography Information*, 2018, 41(12): 98-100.]
- [22] 黄胜晔, 王腊春. 水资源足迹计算模型研究: 以南京市为例. *四川环境*, 2009, 28(2): 57-61. [HUANG S Y, WANG L C. Research on water resources footprint calculation model: Taking Nanjing as an example. *Sichuan Environment*, 2009, 28(2): 57-61.]
- [23] 巩杰, 柳冬青, 马学成, 等. 甘肃省白龙江流域生态承载力的时空变化. *水土保持通报*, 2017, 37(6): 242-247. [GONG J, LIU D Q, MA X C, et al. Temporal and spatial changes of ecological carrying capacity of Bailong River Basin in Gansu province. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2017, 37(6): 242-247.]
- [24] 董昱, 闫慧敏, 杜文鹏, 等. 基于供给—消耗关系的蒙古高原草地承载力时空变化分析. *自然资源学报*, 2019, 34(5): 1093-1107. [DONG Y, YAN H M, DU W P, et al. Temporal and spatial variation of grassland carrying capacity in Mongolian Plateau based on supply-consumption relationship. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(5): 1093-1107.]
- [25] THAPA G B, PAUDEL G S. Evaluation of the livestock carrying capacity of land resources in the Hills of Nepal based on total digestive nutrient analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2000, 78(3): 223-235.
- [26] YANG J, LEI K, KHU S, et al. Assessment of water resources carrying capacity for sustainable development based on a system dynamics model: A case study of Tieling city, China. *Water resources management*, 2015, 29(3): 885-899.
- [27] 卢青, 胡守庚, 叶菁, 等. 县域资源环境承载力评价研究: 以湖北省团风县为例. *中国农业资源与区划*, 2019, 40(1): 103-109. [LU Q, HU S G, YE J, et al. Evaluation of county resources and environment carrying capacity: Taking Tuanfeng county of Hubei province as an example. *China Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2019, 40(1): 103-109.]
- [28] 池源, 石洪华, 孙景宽, 等. 城镇化背景下海岛资源环境承载力评估. *自然资源学报*, 2017, 32(8): 1374-1384. [CHI Y, SHI H H, SUN J K, et al. Evaluation of island resource environmental carrying capacity under the background of urbanization. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(8): 1374-1384.]
- [29] 韩雁, 张士锋, 吕爱锋. 外调水对京津冀水资源承载力影响研究. *资源科学*, 2018, 40(11): 2236-2246. [HAN Y, ZHANG S F, LYU A F. Study on the influence of external water transfer on water resources carrying capacity of Beijing-Tianjin-Hebei. *Resources Science*, 2018, 40(11): 2236-2246.]
- [30] 周侃, 樊杰, 王亚飞, 等. 干旱半干旱区水资源承载力评价及空间规划指引: 以宁夏西海固地区为例. *地理科学*, 2019, 39(2): 232-241. [ZHOU K, FAN J, WANG Y F, et al. Water resources carrying capacity evaluation and spatial planning guidelines in arid and semi-arid areas: A case study of Xihaiqu Area in Ningxia. *Scientia Geographica Sinica*, 2019, 39(2): 232-241.]
- [31] 吕一河, 傅微, 李婷, 等. 区域资源环境综合承载力研究进展与展望. *地理科学进展*, 2018, 37(1): 130-138. [LYU Y H, FU W, LI T, et al. Research progress and prospects of regional resource and environment comprehensive carrying capacity. *Progress in Geography*, 2018, 37(1): 130-138.]
- [32] ZHIMING F, TONG S, YANZHAO Y, et al. The progress of resources and environment carrying capacity: From single-factor carrying capacity research to comprehensive research. *Journal of Resources and Ecology*, 2018, 9(2): 125-135.
- [33] ZHANG M, LIU Y, WU J, et al. Index system of urban resource and environment carrying capacity based on ecological civilization. *Environmental Impact Assessment Review*, 2018, 68: 90-97.
- [34] 何秋萍. 珠江资源环境承载力指标体系构建. *中国农业资源与区划*, 2018, (7): 15. [HE Q P. Construction of Pearl River resources environmental carrying capacity index system. *China Agricultural Resources and Regional Planning*, 2018, (7): 15.]
- [35] 叶有华, 韩宙, 孙芳芳, 等. 小尺度资源环境承载力预警评价研究: 以大鹏半岛为例. *生态环境学报*, 2017, 26(8): 1275-1283. [YE Y H, HAN Z, SUN F F, et al. Early warning evaluation of small-scale resource environmental carrying capacity: Taking Dapeng Peninsula as an example. *Journal of Eco-Environment*, 2017, 26(8): 1275-1283.]
- [36] 徐卫华, 杨琰瑛, 张路, 等. 区域生态承载力预警评估方法及案例研究. *地理科学进展*, 2017, 36(3): 306-312. [XU W H, YANG Y Y, ZHANG L, et al. Early warning assessment methods and case studies of regional ecological carrying capacity. *Progress in Geography*, 2017, 36(3): 306-312.]
- [37] CHENG J, ZHOU K, CHEN D, et al. Evaluation and analysis of provincial differences in resources and environment carrying capacity in China. *Chinese Geographical Science*, 2016, 26(4): 539-549.
- [38] 贾立斌, 袁国华. 基于系统动力学的土地资源承载力评价与监测预警: 以安徽省凤台县为例. *国土资源科技管理*, 2018, 35(1): 61-72. [JIA L B, YUAN G H. Evaluation and monitoring of land resource carrying capacity based on sys-

- tem dynamics: A case study of Fengtai county, Anhui province. *Land and Resources Management*, 2018, 35(1): 61-72.]
- [39] 贾滨洋, 袁一斌, 王雅璐, 等. 特大型城市资源环境承载力监测预警指标体系的构建: 以成都市为例. *环境保护*, 2018, 46(12): 54-57. [JIA B Y, YUAN Y B, WANG Y L, et al. Construction of monitoring and early warning index system for resource and environment carrying capacity of mega-sized cities: Taking Chengdu as an example. *Environmental Protection*, 2018, 46(12): 54-57.]
- [40] 任保卫. 无居民海岛资源环境承载力监测与预警评价试点研究: 以三沙湾为例. *海洋环境科学*, 2018, 37(4): 545-551. [REN B W. Pilot study on monitoring and early warning evaluation of resource and environment carrying capacity of non-resident island: Taking Sanshawan as an example. *Marine Environmental Science*, 2018, 37(4): 545-551.]
- [41] 贾立斌, 吴伟宏, 袁国华. 基于Mann-Kendall的中国近岸海域海洋生态环境承载力评价与预警. *生态经济*, 2019, 35(2): 208-213. [JIA L B, WU W H, YUAN G H. Evaluation and early warning of marine eco-environment carrying capacity based on Mann-Kendall in China's coastal waters. *Ecological Economy*, 2019, 35(2): 208-213.]
- [42] 杨渺, 甘泉, 叶宏, 等. 四川省资源环境承载力预警模型构建. *四川环境*, 2017, 36(1): 144-151. [YANG M, GAN Q, YE H, et al. Construction of early warning model of resource and environment carrying capacity in Sichuan province. *Sichuan Environment*, 2017, 36(1): 144-151.]
- [43] 唐欣. 县域土地资源环境承载力预警研究. 合肥: 安徽农业大学, 2016. [TANG X. Early warning research on environmental carrying capacity of county land resources. Hefei: Anhui Agricultural University, 2016.]
- [44] FENG L H, HUANG C F. A risk assessment model of water shortage based on information diffusion technology and its application in analyzing carrying capacity of water resources. *Water Resources Management*, 2008, 22(5): 621-633.
- [45] 刘时栋, 徐丽萍, 张婕. 新疆土地生态安全时空变化. *生态学报*, 2019, 39(11): 1-13. [LIU S D, XU L P, ZHANG J. Temporal and spatial changes of land ecological security in Xinjiang. *Chinese Journal of Ecology*, 2019, 39(11): 1-13.]
- [46] 赵彤彤, 宋邦国, 陈远生, 等. 西藏“一江两河”地区人口分布与地形要素关系分析. *地球信息科学学报*, 2017, 19(2): 225-237. [ZHAO T T, SONG B G, CHEN Y S, et al. Analysis of the relationship between population distribution and topographical elements in the Yijiang River Area of Tibet. *Journal of Geo-Information Science*, 2017, 19(2): 225-237.]
- [47] 国家统计局. 中国统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2016. [National Bureau of Statistics. *China Statistical Yearbook*. Beijing: China Statistical Press, 2016.]
- [48] 西藏自治区统计局, 国家统计局西藏调查总队. 西藏统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2016. [Tibet Municipal Bureau of Statistics, Survey Office of The National Bureau of Statistics in Tibet. *Tibet Statistical Yearbook*. Beijing: China Statistical Press, 2016.]
- [49] 西藏自治区水利厅. 西藏自治区水资源公报. 北京: 中国水利水电出版社, 2016. [Tibet Autonomous Region Water Conservancy Department. *Tibet Water Resources Bulletin*. Beijing: China Water & Power Press, 2016.]
- [50] 西藏年鉴编辑部. 西藏年鉴. 拉萨: 西藏人民出版社, 2016. [Editorial Department of Tibet Yearbook. *Tibet Yearbook*. Lasa: Tibet people's Publishing House, 2016.]
- [51] 赵静, 王颖, 赵春子, 等. 延边州水资源生态足迹与承载力动态研究. *中国农业大学学报*, 2017, 22(12): 74-82. [ZHAO J, WANG Y, ZHAO C Z, et al. Dynamics of water resources ecological footprint and carrying capacity in Yanbian Prefecture. *Journal of China Agricultural University*, 2017, 22(12): 74-82.]
- [52] 陈智举, 唐登勇. 水资源足迹模型对城市水资源持续利用研究: 以南京市为例. *中国农村水利水电*, 2015, (3): 25-28. [CHEN Z J, TANG D Y. The model of water resources footprint of urban water resources: Taking Nanjing as an example. *China Rural Water and Hydropower*, 2015, (3): 25-28.]
- [53] 刘东, 封志明, 杨艳昭. 基于生态足迹的中国生态承载力供需平衡分析. *自然资源学报*, 2012, 27(4): 614-624. [LIU D, FENG Z M, YANG Y Z. Ecological balance between supply and demand in China using ecological footprint method. *Journal of Natural Resources*, 2012, 27(4): 614-624.]
- [54] 赵先贵, 肖玲, 兰叶霞, 等. 陕西省生态足迹和生态承载力动态研究. *中国农业科学*, 2005, (4): 746-753. [ZHAO X G, XIAO L, LAN Y X, et al. Dynamics of ecological footprint and ecological capacity of Shaanxi. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, (4): 746-753.]
- [55] 中国营养学会. 中国居民膳食指南. 北京: 人民卫生出版社, 2016. [Chinese Nutrition Society. *Chinese Dietary Guidelines*. Beijing: People's Medical Publishing House, 2016.]
- [56] 袁国华, 郑娟尔, 贾立斌, 等. 资源环境承载力评价监测与预警思路设计. *中国国土资源经济*, 2014, (4): 20-24. [YUAN G H, ZHENG J E, JIA L B, et al. Design of monitoring and early warning ideas for resource and environmental carrying capacity evaluation. *China Land and Resources Economics*, 2014, (4): 20-24.]

Research on monitoring resource carrying capacity: Taking Three-Rivers Region in Tibet as an example

LIU Yu-jie^{1,2}, DAI Liang^{1,2}, ZHANG Jie^{1,2}, FENG Zhi-ming^{1,2}, PAN Tao^{1,2,3}, GE Quan-sheng^{1,2}

(1. Key Laboratory of Terrestrial Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. College of Resources and Environment, University of CAS, Beijing 100049, China; 3. Development Planning Bureau, CAS, Beijing 100864, China)

Abstract: The disorderly development of natural resources and the destruction of ecosystems inhibit China's sustainable development. Resource carrying capacity is an important tool to describe the development of regional resources and is also a fundamental basis for measuring regional sustainable development. Based on the statistics of the counties in the Three-Rivers Region in Tibet, this paper quantitatively calculates the resource carrying capacity of water, soil and ecology, and builds a monitoring system for resource carrying capacity based on quantitative evaluation results and applies it to the Three-Rivers Region in Tibet. The results show that: (1) The relationship between population and food in the study region tended to be tense. The population-food-land contradiction was prominent in some counties. Land resource carrying capacity in 76.5% of the counties declined, and land resource carrying indexes for 83.3% of the counties increased. The water resource carrying capacity in the study region was much larger compared with the actual population, and the water resource carrying indexes were less than 0.05, but the water resource carrying capacity in 77.8% of the counties decreased, and the carrying indexes increased. The ecological carrying capacity of each county increased, the carrying indexes decreased, and some counties were in an ecological deficit state. (2) The main constraints of resource carrying capacity in the study region were transformed from ecological carrying capacity to land resource carrying capacity. From 2000 to 2015, among the counties where the resource carrying capacity was critically overloaded or overloaded, the resource carrying capacity that had the greatest impact on the resource carrying status was gradually transformed from the ecological carrying capacity to the land resources carrying capacity. (3) The level of resource carrying capacity in the region gradually increased, and the degree of harm or negative impact may be reduced. From 2000 to 2015, the number of counties with a resource carrying capacity of three (medium load) and below fell from 15 (83.3%) to 3 (16.7%). The establishment of a long-term monitoring mechanism for resource carrying capacity helps to clarify the status quo of resource development and utilization, scientifically utilize regional natural resources, and promote regional ecological protection and sustainable development.

Keywords: resource carrying capacity; carrying capacity models; index grading; monitoring; Three-Rivers Region in Tibet