

# 基于人粮关系的关中-天水区土地资源承载力时空差异研究

王丽霞<sup>1</sup>, 钟旭珍<sup>2</sup>, 刘招<sup>3</sup>, 张娟<sup>2</sup>, 余东洋<sup>2</sup>

(1. 长安大学地质工程与测绘学院, 西安 710054; 2. 长安大学地球科学与资源学院, 西安 710054;  
3. 长安大学环境科学与工程学院, 西安 710054)

**摘要:** 以人粮关系为基础, 基于 GIS 空间分析功能, 采用土地资源承载力和土地资源承载指数模型, 定量分析了“十一五”和“十二五”规划期间, 关中-天水区县域尺度土地资源承载力的时空差异性。结果表明, 2006—2015 年期间, 关中-天水区土地资源承载指数的平均值为 1.377, 土地资源超载率为 22%, 总体上处于人口超载状态; 对比分析 2 个 5 年时间段, 土地资源承载力提高的区具有 19 个, 占研究区县总数的 29%, 主要分布在区域的西北和东北部, 包括天水市、咸阳市、铜川市和渭南市的部分区县; 土地资源承载力降低的区具有 46 个, 占研究区县总数的 71%, 主要分布在区域的中部和南部, 包括宝鸡市、西安市、咸阳市和商洛市的部分区县等。研究为区域土地资源开发、人口布局、粮食安全保障以及可持续发展提供了科学依据, 也为区域更好地落实“十三五”规划中的耕地保护、粮食安全等政策提供了参考建议。

**关键词:** 关中-天水区; 县域尺度; 国家统一标准; 土地资源承载力; 时空差异性

中图分类号: F301.24

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2018)03-0501-05

## Spatial and temporal differences of the land carrying capacity in Guanzhong-Tianshui Region based on the human-grain relationship

WANG Lixia<sup>1</sup>, ZHONG Xuzhen<sup>2</sup>, LIU Zhao<sup>3</sup>, ZHANG Juan<sup>2</sup>, YU Dongyang<sup>2</sup>

(1. School of Geology Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an 710054;

2. School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054;

3. School of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054)

**Abstract:** In this paper, based on the GIS spatial analysis function and land carrying capacity and the land carrying index models of national unified standard, the spatial and temporal differences of the land carrying capacity in Guanzhong-Tianshui Region at the county scale during the periods of the "11th Five-Year Plan" and the "12th Five-Year Plan" were quantitatively analyzed. The results showed that, during the period of 2006-2015, the average LCCI value of Guanzhong-Tianshui Region was 1.377, and the land resources overload rate was 22%, which generally was at a state of overload population. Compared the two five-year periods, the number of counties with improved land carrying capacity was 19, accounting for 29% of the study area, which mainly distributed in the northwest and northeast of Guanzhong-Tianshui Region, including some counties of Tianshui, Xianyang, Tongchuan and Weinan; the number of counties with decreased land carrying capacity was 46, accounting for 71% of the study area, which mainly distributed in the central and southern part of Guanzhong-Tianshui Region, including some counties of Baoji, Xi'an, Xianyang and Shangluo.

**Key words:** Guanzhong-Tianshui region; county scale; national unified standard; land carrying capacity; spatial and temporal differences

土地是人类赖以生存和发展的物质基础, 在人类的生产和生活中起着重要作用。我国是世界上人

口最多且土地资源可利用量相对稀缺的国家, 科学技术和 socioeconomic 的发展, 使人类对土地资源的开发

收稿日期: 2017-07-23

基金项目: 国家自然科学基金(41471452), 国土资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室开放基金(SXDJ2017-10)和陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2015JM5256)共同资助。

作者简介: 王丽霞, 副教授。E-mail: zylxwang@chd.edu.cn

利用程度愈加深入,同时城市化、工业化以及人口增长等引发了土地资源承载力降低和粮食安全等问题<sup>[1]</sup>。2017年2月,中央一号文件再次强调“三农”问题,“十三五”规划也提出要坚持最严格的耕地保护制度,坚守耕地红线,推进土地整治,探索建立粮食生产功能区和重要农产品生产保护区。由此,土地资源承载力的评价亦成为学术界研究的重要热点之一。

目前,诸多学者从不同角度探究了土地资源承载力的定义,其核心是指在自然、社会、经济因素的制约下,一定地区产出的食物能持续供养的人口数量<sup>[2]</sup>,其计算方法主要有4类:基于“人口-土地-经济”结构计算土地资源承载力;基于土地生产潜力计算土地资源承载力;趋势外推法模型和生态足迹法模型<sup>[3]</sup>。在众多方法中,基于人粮关系以确定区域人口最大规模为核心的土地资源承载力理论与实证研究是重要领域之一,如孙秀锋等<sup>[4]</sup>基于人粮关系,结合区域的社会经济发展水平,分析了重庆市土地资源承载力水平与经济发展水平的对应度;还有多位研究者利用土地资源承载力模型对不同区域尺度的土地资源承载力进行测评<sup>[5-10]</sup>。其他方法如陈芳淼等<sup>[11]</sup>以卫星遥感影像为基础数据源,进行土地覆盖分类,建立了基于供给生态服务价值的土地资源承载力评估参数及标准,并以云南省为例进行了土地资源承载力评估;刘东等<sup>[12]</sup>运用层次分析法对工业园区规划环评中土地资源承载力进行分析研究;田思萌等<sup>[13]</sup>基于多目标线性规划模型优化配置六安市的土地利用;Irbadjaja等<sup>[14]</sup>利用土地容量分析,人口预测分析和承载能力比等方法评价了土地资源承载力;Johnson等<sup>[15]</sup>运用地理信息系统、遥感和景观分析技术,结合土地资源承载力和环境可持续发展的条件,确定多余道路等。

综合以上,由于研究方法的多样性,测评结果存在一定的空间差异性,为了使研究能在不同时空尺度上具有可比性,本研究选取了《国家人口发展功能区工作技术导则》中的统一规范化的土地资源承载力(LCC)和土地资源承载指数(LCCI)测评模型,基于GIS空间分析功能,分别以“十一五”和“十二五”规划年为评价时段,对关中-天水区县域尺度的土地资源承载力进行了时空差异性研究。

## 1 研究区域概况

关中-天水区是《国家西部大开发“十一五”规划》中提出的三大重点经济区之一,是“一带一路”的战略纽带和西部地区的经济增长极,也是我国重

要的粮棉产区。其行政范围包括陕西省西安市、铜川市、宝鸡市、咸阳市、渭南市、杨凌区和商洛市(部分区县:商州、洛南、丹凤和柞水一区三县)和甘肃省天水市,面积约为 $7.98 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。黄河第一大支流渭河横贯东西,以渭河河谷为轴,地势南北高,中间低,西高东低,海拔在400~3700 m之间。区域地貌类型多样,关中平原土壤肥沃,灌溉条件较好,天水地形起伏较大,90%的耕地为山地,土壤肥力较低。研究该区域的土地资源承载力,对于促进西部大开发,实现“一带一路”的经济发展具有重要意义。

## 2 数据来源和研究方法

### 2.1 数据来源

研究数据主要包括近10年以来(2006—2015年)关中-天水区各区县的逐年粮食总产量和人口数量,其来源于《陕西省统计年鉴》和《甘肃省统计年鉴》。

### 2.2 研究方法

研究根据《国家人口发展功能区工作技术导则》中的土地资源承载力和承载指数的测评模型,对区域土地资源所能承载的人口规模和土地资源承载指数状况进行测评,并基于ArcGIS中地图代数运算功能,以2006—2010年和2011—2015年为时间尺度,计算两个“五年规划”的LCC和LCCI差值,从而直观反应了研究区近10年来县域尺度土地资源承载力的时空差异性。

土地资源承载力(LCC)主要反映区域土地、粮食与人口的关系,可以用一定粮食消费水平下,区域土地生产力所能持续供养的人口规模( $10^4$ 人)或承载密度( $\text{人} \cdot \text{km}^{-2}$ )来度量。其测评模型表达为:

$$LCC = G/G_{pc} \quad (1)$$

式(1)中:LCC为土地资源承载力( $\text{人} \cdot \text{km}^{-2}$ );G为区域粮食总产量(kg), $G_{pc}$ 为人均粮食消费标准,根据技术导则粮食消费标准以 $400 \text{ kg} \cdot \text{人}^{-1}$ 计。

土地资源承载指数(LCCI)是指区域人口规模(或人口密度)与土地资源承载力(或承载密度)之比,反映区域土地、粮食与人口之间的关系。土地资源承载指数及相关指标的测评模型为:

$$\begin{aligned} LCCI &= P_a/LCC \\ R_q &= (P_a - LCC)/LCC \times 100\% \\ R_g &= (LCC - P_a)/LCC \times 100\% \end{aligned} \quad (2)$$

式(2)中:LCCI为土地资源承载指数;LCC为土地资源承载力; $P_a$ 为区域现实人口数量, $R_q$ 为

土地资源超载率;  $R_g$  为粮食盈余率。人口承载指数与粮食盈余率成反比, 人口承载指数越低, 粮食盈余率就越高, 表明区域人粮关系越平衡; 反之, 人口承载指数越高, 区域人口超载就越严重。

依据式 (2), 计算出研究区各区县基于人均粮

食消费标准 ( $400 \text{ kg} \cdot \text{人}^{-1}$ ) 的土地资源承载指数, 并根据 LCCI 的大小将研究区各区县划分为人口超载区、人粮平衡区和粮食盈余区等 3 种不同类型。具体评价标准如表 1 所示。

表 1 基于土地资源承载指数 (LCCI) 的土地资源承载力 (LCC) 评价

Table 1 Evaluation of LCC based on LCCI

类型 Type	等级 Grade	土地资源承载力评价指标 Evaluation index of land carrying capacity		
		LCCI	$R_q$	$R_g$
粮食盈余 Grain surplus	富富有余 Abundant	<0.500		$R_g \geq 50.0\%$
	富裕 Rich	0.500~0.750		$25.0\% \leq R_g < 50.0\%$
	盈余 Surplus	0.750~0.850		$12.5\% \leq R_g < 25.0\%$
人粮平衡 Human-grain balance	平衡有余 Balance surplus	0.850~1.000		$0\% \leq R_g < 12.5\%$
	临界超载 Critical overloading	1.000~1.125	$0\% \leq R_q < 12.5\%$	
人口超载 Population overloading	超载 Overloading	1.125~1.250	$12.5\% < R_q \leq 25.0\%$	
	过载 Obvious overloading	1.250~1.500	$25.0\% < R_q \leq 50.0\%$	
	严重超载 Serious overloading	>1.500	$R_q > 50.0\%$	

### 3 关中-天水区县域尺度土地资源承载力测评结果及分析

#### 3.1 关中-天水区近 10 年来县域尺度土地资源承载力空间差异性

基于上述测评模型, 计算出研究区近 10 年 (2006—2015 年) 县域尺度的土地资源承载指数和承载力, 结果如图 1 所示。2006—2015 年关中-天水区的平均 LCCI 值为 1.377, 土地资源超载率为 22%, 土地资源承载力最大的是宝鸡市, 其次是渭南市、咸阳市, 最小的是杨陵区。

由图 1 可以看出, 人口承载指数较大的区县主要分布在区域西南、东南以及西安市。65 个区县中有 37 个处于人口超载状态, 28 个处于粮食盈余状态。其中严重超载的区县占总数的 26%, 主要包括西安市、杨陵区、宝鸡市和商洛市的部分区县; 过载的区县占总数的 14%, 主要包括天水市的部分区县, 渭南的华阴县、商洛的柞水县和咸阳的乾县等; 超载的区县占总数的 8%, 主要包括天水的秦安县、商洛的洛南县、西安的阎良区、长安区等。平衡有余的区县占总数的 14%, 主要包括渭南的蒲城县、西安的周至县、咸阳的兴平市、宝鸡的陈仓区、眉县等; 盈余的区县占总数的 15%, 主要包括咸阳市的部分区县、宝鸡的凤翔县、西安的临潼区、渭南的合阳县、富平县等; 富裕的区县占总数的 12%, 主要包括西安的高陵县、天水的清水县、渭南的临渭区、宝鸡的扶风县等; 富富有余的区县占总数的 2%, 包括铜川市的宜君县。人口承载数量较大的区

县主要分布在西安、宝鸡、咸阳和渭南。

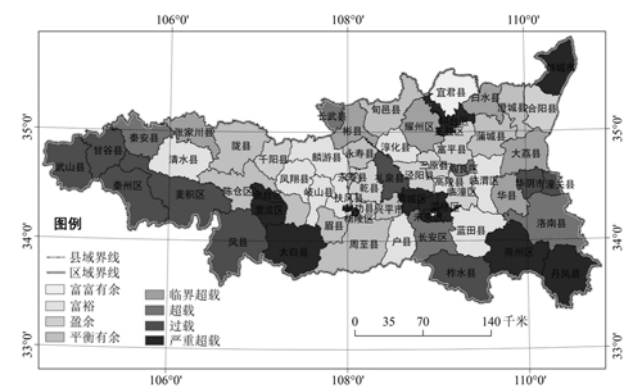


图 1 关中-天水区 2006-2015 年县域尺度土地资源承载指数 (LCCI) 评价

Figure 1 The LCCI evaluation map of Guanzhong-Tianshui region at the county scale from 2006 to 2015

#### 3.2 关中-天水区 2 个“规划年”期间土地资源承载力时间差异性

基于上述测评模型和方法, 分别计算出县域尺度上 2 个“规划年”的土地资源承载力和承载指数, 并进行了对比分析, 结果如表 2 所示。

(1) 2006—2010 年期间, 关中-天水区人口超载区县有 40 个, 粮食盈余区县有 25 个, 分别占研究区县总数的 62% 和 38%, 以人口超载为主。其中严重超载的个数有 19 个; 过载、超载和临界超载的个数分别为 7 个、5 个和 9 个; 粮食富裕的个数有 11 个; 富富有余、盈余、平衡有余的个数分别为 2 个、9 个和 3 个。

(2) 2011—2015 年期间, 相比前一个 5 年, 由于粮食生产能力持续提高, 部分区县的土地资源承载力随之提高, 但仍以人口超载为主。人口超载的区县有 38 个, 减少了 2 个, 占研究区县总数的

58%, 其中人口严重超载区县依然为 19 个; 粮食盈余的区县有 27 个, 增加了 2 个, 占研究区县总数的 42%, 其中平衡有余的区县有 9 个, 增加了 6 个。

表 2 关中-天水区两个“规划年”县域尺度 LCCI 变化统计

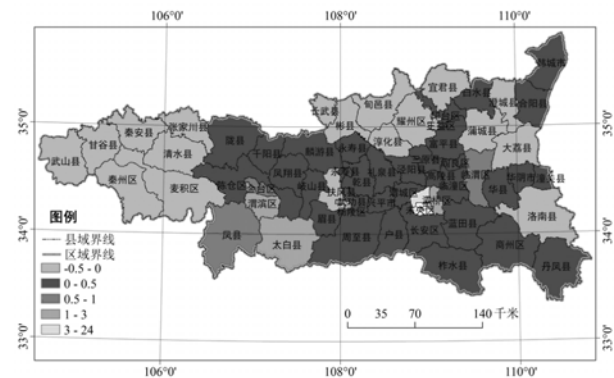
Table 2 Variation statistics of LCCI of two "planning years" in Guanzhong-Tianshui region at the county scale

LCCI 类型 LCCI type	LCCI 类型 LCCI type	“十一五”规划年 "11th Five-Year Plan"		“十二五”规划年 "12th Five-Year Plan"	
		个数 Number	比重/% Proportion	个数 Number	比重/% Proportion
		粮食盈余 Grain surplus	富富有余 Abundant	2	3
	富裕 Rich	11	17	8	12
	盈余 Surplus	9	14	9	14
人粮平衡 Human-grain balance	平衡有余 Balance surplus	3	4	9	14
	临界超载 Critical overloading	9	14	7	11
人口超载 Population overloading	超载 Overloading	5	8	4	6
	过载 Obvious overloading	7	11	8	12
	严重超载 Serious overloading	19	29	19	29

3.3 土地资源承载力和土地资源承载指数两个五年的对比评价

研究区两个“规划年”土地资源承载指数和承载力变化差值的空间分布如图 2 和图 3 所示, LCCI 差值等于 2011—2015 年的 LCCI 值减 2006—2010 年的 LCCI 值。LCC 差值等于 2011—2015 年的 LCC 值减 2006—2010 年的 LCC 值。

粮食产量持续增加, 保护耕地政策力度加强, 特别是天水市各区县, 水资源、气候资源等自然条件相对较好, 土地资源开发潜力较大。



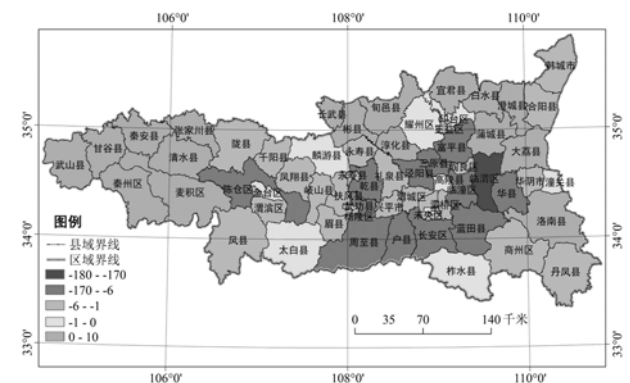
LCCI 差值为“正”的表明该地区土地资源承载力降低, LCCI 差值为“负”的表明该地区土地资源承载力提高

The LCCI difference value being "positive" indicates the land carrying capacity decreased, while the LCCI difference being "negative" indicate the land carrying capacity improved

图 2 关中-天水区 LCCI 变化差值

Figure 2 LCCI change in Guanzhong-Tianshui region

土地资源承载力提高的区县有 19 个, 占研究区县总数的 29%, 主要分布在区域的西北和东北部, 包括天水市、咸阳市、铜川市和渭南市的部分区县等。原因在于这些区县现实人口数量相对稳定, 而



LCC 差值为“正”表明可承载的人口数量增加, LCC 差值为“负”表明可承载的人口数量减少

The LCC difference value being "positive" indicates the carrying population increased, while the LCC difference value being "negative" indicates the carrying population reduced

图 3 关中-天水区 LCC 变化差值 (10<sup>4</sup>人)

Figure 3 LCC change of Guanzhong-Tianshui region (10<sup>4</sup> persons)

土地资源承载力降低的区县有 46 个, 占研究区县总数的 71%, 主要分布在关中-天水区的中部和南部, 包括宝鸡市、西安市、咸阳市和商洛市的部分区县等。原因在于中部地区地形以平原为主, 自然、社会经济条件较好, 人口承载数量较好; 同时城镇化、工业化占用较多耕地资源, 人口和经济的发展对土地资源造成的压力越来越大。图 3 中, 可以看

出, 关中-天水区可承载人口数量增加的区县主要分布于天水市, 咸阳市、铜川市和渭南市的部分区县, 以及商洛市的洛南县; 人口数量减少的区县主要分布在区域的中部和南部。

#### 4 讨论与结论

本研究以人粮关系为基础, 基于土地资源承载力和土地资源承载指数模型, 从县域尺度对关中-天水区近 10 年的土地资源承载力的时空差异进行研究, 主要结论有:

(1) 2006—2015 年, 关中-天水区的平均 LCCI 值为 1.377, 土地资源超载率为 22%, 总体上处于人口超载状态, 人口超载的区县个数大于粮食盈余的区县个数, 人口超载区县个数减少, 粮食盈余区县个数增加, 随着规划年中相关政策的落实, 部分县区的土地资源承载力已经提高。

(2) 土地资源承载力提高的区县有 19 个, 占研究区县总数的 29%, 主要分布在区域的西北和东北部, 包括天水市、咸阳市、铜川市和渭南市的部分区县等。对于这些区县, 可以适当发展人口, 在保障土地资源安全的前提下适度开发土地资源, 提高现有土地利用水平, 将盈余粮食分配于亏缺地区。

(3) 土地资源承载力降低的区县有 46 个, 占研究区县总数的 71%, 主要分布在区域的中部和南部, 包括宝鸡市、西安市、咸阳市和商洛市的部分区县等。严重超载区县主要位于杨陵区、西安市的新城区、碑林区、莲湖区、灞桥区、未央区、雁塔区以及城镇化水平较高、人口较为密集、粮食产量较低的区县。对于这些区县, 应适当控制人口增长, 严格保护耕地资源, 通过区域贸易的方式保障粮食供给, 逐步提高土地资源承载水平。

目前, 诸多学者从不同角度探究了土地资源承载力, 由于研究方法的多样性, 测评结果存在一定的空间差异性。为了使研究能在不同时空尺度上具有可比性, 本研究选择了《国家人口发展功能区工作技术导则》中基于全国统一标准的土地资源承载力测评模型, 在遵循生态环境和社会经济协调发展的原则下, 从人粮关系的角度计算了研究区各区县土地资源承载力, 并与现实人口进行比对, 分析得出各区县粮食盈余或亏缺的本底状况。研究结果较好地反应了在不考虑粮食贸易的前提下, 各区县土地粮食产量所能供养的人口数量。研究为区域土地

资源开发、人口布局、粮食安全保障以及可持续发展提供了科学依据, 也为区域更好地落实“十三五”规划中的耕地保护、粮食安全等政策提供参考建议。需要指出的是, 本研究主要是对研究区近年来的土地资源承载力状况进行测评, 基于长序列时间资料的土地资源承载力的时空动态模拟和预测研究有待进一步深入开展和完善。

#### 参考文献:

- [1] 朱小娟, 刘普幸, 赵敏丽, 等. 甘肃省土地资源承载力格局的时空演变分析[J]. 土壤, 2013, 45(2): 346-354.
- [2] 封志明. 土地承载力研究的过去、现在与未来[J]. 中国土地科学, 1994, 8(3): 1-9.
- [3] 张霞, 石宁卓, 王树东, 等. 土地资源承载力研究方法与发展趋势[J]. 桂林理工大学学报, 2015, 35(2): 280-287.
- [4] 孙秀锋, 秦建, 刁承泰, 等. 基于人粮关系的重庆市土地资源承载力水平时空差异研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2014, 36(11): 175-182.
- [5] 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[J]. 自然资源学报, 2008, 23(5): 865-875.
- [6] 罗雁文, 魏晓, 王良健, 等. 湖南省各市(州)土地资源承载力评价[J]. 经济地理, 2009, 29(2): 284-289.
- [7] 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[J]. 农业工程学报, 2011, 27(7): 1-7.
- [8] 谢平, 文倩, 孙水娟, 等. 基于人粮关系的湖南省耕地资源人口承载力研究[J]. 水土保持研究, 2012, 19(8): 275-277.
- [9] 赵敏丽, 刘普幸, 朱小娟, 等. 基于人粮关系的土地资源承载力空间格局研究: 以河西走廊绿洲为例[J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31(2): 204-208.
- [10] 吴林筱, 任志远, 赵胜男, 等. 山西省土地资源人口承载力多尺度时空差异分析[J]. 山东农业科学, 2015, 47(6): 83-86.
- [11] 陈芳淼, 田亦陈, 袁超, 等. 基于供给生态服务价值的云南土地资源承载力评估方法研究[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(12): 1605-1613.
- [12] 刘冬, 江洪龙, 腊孟珂, 等. 工业园区规划环评中土地资源承载力分析研究[J]. 江西化工, 2017(4): 112-113.
- [13] 田思萌, 於冉, 江礼婷. 基于多目标线性规划的六安市土地利用结构优化研究[J]. 安徽农业大学学报, 2017, 44(4): 665-669.
- [14] IRBADJAJA, PURWANTO P, SUNOKO H R. Analysis of land carrying capacity of Tanah Miring District of Merauke Regency[J]. Adv Sci Lett, 2017, 23(3): 2561-2563.
- [15] JOHNSON S, WANG G X, HOWARD H, et al. Identification of superfluous roads in terms of sustainable military land carrying capacity and environment[J]. J Terra-mechanics, 2011, 48(2): 97-104.