



陕西省土地资源承载力时空演变格局研究

王宇菲¹, 王隽雄², 李 阳³

(1. 西北大学 城市与环境学院, 陕西 西安 710127; 2. 水利部 水土保持监测中心, 北京 100055;
3. 自然资源部 城市土地资源监测与仿真重点实验室, 广东 深圳 518000)

摘要 基于1949—2018年陕西省人口、耕地和粮食产量等数据,以人粮关系为主线,构建耕地压力分析模型和土地资源承载力评价模型,从空间和时间两个维度系统研究近70年陕西省耕地结构特征、粮食生产变化以及对人口分布的协同变化,研究土地资源承载力时空演变格局。结果表明:近70年研究期内,①耕地面积总体呈现减少趋势,耕地减少面积占1949年耕地面积的31.52%,在最近的20年耕地数量稳定在 $293.33 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 水平,耕地压力波动逐渐平稳,粮作比逐渐减少,人均耕地面积 0.078 hm^2 低于全国人均 0.098 hm^2 的平均水平;②土地资源承载力呈现3个波动周期,1949—1998年增长期,1999—2011年恢复期,2012—2018年稳定期;③从空间格局分析,西安、安康、商洛等市人粮关系超载程度随时间逐渐加剧,宝鸡和咸阳处于临界超载的紧平衡状态,榆林和渭南人粮关系向好发展。总体来说,陕西省土地资源承载力发展态势良好,土地资源承载能力总体呈现增长趋势,人口、农业生产水平和种植结构调整导致承载水平波动,但土地生产和承载能力并未削弱。

关键词 土地利用;耕地压力;土地资源承载力;人粮关系;时空格局;陕西省

中图分类号: F30 **DOI:** 10.16152/j.cnki.xdxbzr.2023-04-005

Study on temporal and spatial evolution pattern of land resources carrying capacity in Shaanxi Province

WANG Yufei¹, WANG Junxiong², LI Yang³

(1. College of Urban and Environmental Sciences, Northwest University, Xi'an 710127, China;

2. Soil and Water Conservation Monitoring Center of the Ministry of Water Resources, Beijing 100055, China;

3. Key Laboratory of Urban Land Resources Monitoring and Simulation, Ministry of Land and Resources of China, Shenzhen 518000, China)

Abstract Based on the data of population, cultivated land and grain yield in Shaanxi Province from 1949 to 2018, taking the relationship between human and grain as the main line, this paper constructs the cultivated land pressure analysis model and the evaluation model of land resource carrying capacity, systematically studies the structural characteristics of cultivated land, the change of grain production and the coordinated change of population distribution in Shaanxi Province in recent 70 years from the two dimensions of space and time, and studies the temporal and spatial evolution pattern of land resource carrying capacity. The results showed

收稿日期: 2022-06-11

基金项目: 国家重点研发计划课题(2016YFC0503705); 国家自然科学基金(42077071)

第一作者: 王宇菲, 女, 从事水土资源研究, 13096989696@163.com。

通信作者: 王隽雄, 男, 工程师, 从事水土保持监管研究, yrccwjx@163.com。

that: ① during the research period of recent 70 years, the cultivated land area showed a decreasing trend, accounting for 31.52% of the cultivated land area in 1949. In the recent 20 years, the number of cultivated land was stable at the level of $293.33 \times 10^4 \text{ hm}^2$, the fluctuation of cultivated land pressure was gradually stable, the grain crop ratio was gradually reduced, and the per capita cultivated land area was 0.078 hm^2 , which was lower than the national average of 0.098 hm^2 ; ② The carrying capacity of land resources presents three fluctuation cycles: growth period from 1949 to 1998, recovery period from 1999 to 2011 and stable period from 2012 to 2018; ③ From the analysis of spatial pattern, the overload degree of human food relationship in Xi'an, Ankang, Shangluo and other cities gradually intensifies with time, Baoji and Xianyang are in a tight equilibrium state of critical overload, and the human food relationship in Yulin and Weinan is developing well. Generally speaking, the overall development trend of land resources carrying capacity in Shaanxi Province is good, and the land resources carrying capacity shows an overall growth trend. The adjustment of population, agricultural production level and planting structure leads to the fluctuation of carrying level, but the land production and carrying capacity are not weakened.

Keywords land use; cultivated land pressure; carrying capacity of land resources; human food relationship; spatial-temporal pattern; Shaanxi Province

土地为人类生存和社会经济发展提供最基本的物质保障,是最重要的生产资料和承载载体,在众多自然资源中处于核心地位^[1]。土地资源承载力研究是自然资源、粮食生产和社会发展的系统梳理,是区域发展中最基本和最重要的研究,也是分析和解决粮食安全问题的的重要途径,对区域人口、土地、粮食和社会发展政策决策提供重要的借鉴和参考^[2]。

中国以占世界 7% 的耕地供养着占世界 22% 的人口,人口增长使人粮矛盾逐渐成为我国社会经济发展进程中的重要限制因素^[3]。国内最早开展的承载力研究工作是 1986 年由中国科学院主持的“中国土地资源生产能力及人口承载力研究”课题。随着研究发展的深入,从单一承载力现状分析逐渐演进到多因素共同影响的承载力研究,基于人口-耕地-粮食耦合作用机理的土地资源承载力研究逐渐成为现阶段关注的热点。在研究内容方面,主要集中于粮食生产潜力^[4]、人口与耕地压力变化^[5]、土地资源持续利用水平^[6]、土地开发强度与资源环境承载力耦合协调关系^[7]、生物资源消费与承载力关系^[8]、基于五联系统的水资源承载力评价^[9]等。研究方法包括生态足迹法、层次分析法等^[10],在研究尺度方面,国家、省域、市域、县域等多个不同层面均有涵盖^[11]。综上可知,当前对土地资源承载力的研究侧重于短时间序列的双要素关系研究,对于长时间序列的人口、耕地、粮食、客观自然因素、主观调控政策等多要素系统的研究则相对薄弱^[12],缺乏

典型区域长时间序列土地资源承载力系统内多要素关系的研究。

本文采用多模型多因素定量精确测算与地理信息系统空间分析方法结合的研究方法,依据陕西省近 70 年的耕地资源变化和粮食生产规律对不同尺度的土地资源承载力变化进行深入分析。以人口-耕地-粮食的耦合关系为主线,基于土地资源承载力对人口承载关系,构建土地资源承载力模型,从时间和空间的双维度研究陕西省土地资源承载演变的时间进程和空间格局。研究梳理了省域内土地资源承载力的发展过程,旨在掌握生产条件和土地载荷的区域特点和差异以及对人口数量和区域发展的支撑程度,提炼总结制约区域发展的限制因素,为规划土地资源承载容量、实现粮食安全和保障区域社会经济高质量发展提供决策支持。

1 研究区概况与数据来源

陕西省地处黄河中游地区,位于东经 $105^{\circ}29'$ 至 $111^{\circ}15'$ 与北纬 $31^{\circ}42'$ 至 $39^{\circ}35'$ 之间,与八省接壤,东临山西省和河南省,西接甘肃省和宁夏回族自治区,南靠重庆市、四川省和湖北省,北连内蒙古自治区,南北直线距离 870 km,东西宽约 200 ~ 500 km,土地面积 $20.58 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。陕西省地质背景和地貌格局复杂,纵跨 3 个气候带,从北向南依次是:陕北高原、关中平原、秦巴山区。土地类型多样,截止 2018 年耕地面积为 301.47×10^4

hm²,常住人口4 022.99万人,城镇化率为58%,粮食总量为1 256.05 × 10⁴ t,人均粮食产量为312.22 kg。陕西省作为“黄河流域生态保护和高质量发展”国家重大战略、“西部大开发”战略和“一带一路”倡议的重要节点区域,人口剧增、建设用地持续扩张、耕地资源不断减少以及生态环境等因素导致陕西省土地利用结构已发生巨大变化^[13]。同时,由于农业资源禀赋分布不均、生产条件差异较大,从而使省内人口需求和土地供给之间的矛盾日益加剧,对区域粮食安全带来严峻挑战,严重限制了区域社会经济的发展,影响了国家战略的实现。

本研究所采用数据主要包括常住人口总量、耕地面积、粮食播种面积、粮食产量、复种指数、单产水平及居民主要食品消费量等统计数据,来源于1949—2018年陕西省相关年份市志、统计年鉴、土地利用总体规划、陕西省土地统计年报、陕西省国土资源公报、国家统计局农产品产量数据和人口普查公报。矢量数据来自于国家基础地理信息系统。通过系统梳理和单位换算处理,建立了1949—2018年陕西省人粮关系数据库。

2 研究方法

2.1 耕地压力分析模型

1)最小人均耕地面积指在特定地域内保障人口粮食安全生存的一定粮食自给能力和耕地生产水平前提下所需最小面积^[14-15]。具体公式为

$$S_{\min} = \beta \frac{G_r}{p \times q \times k} \tag{1}$$

式中: $S_{\min}$ 为最小人均耕地面积, hm²; β 为粮食自给率, %; G_r 为人均年粮食需求量, kg/人; p 为粮食单产, kg/hm²; q 为粮作比例, %; k 为复种指数。

2)耕地压力指数是人均所需最小耕地面积与实际人均面积之比,体现域内耕地资源的负载程度^[16]。

$$K = \frac{S_{\min}}{S_a} \tag{2}$$

式中: K 为耕地压力指数; S_a 为实际人均耕地面积, hm²/人。 K 可分为以下3种耕地压力状况,即当 $K < 1$ 时,耕地无明显压力; $K = 1$ 时,耕地压力处于临界状态,需要警惕并采取防范措施加以调整; $K > 1$ 时,耕地处于强压负载状态,粮食生产不能满足需求。

2.2 土地资源承载力评价模型

土地资源承载力是自然环境维系良好和生态系统稳定的前提下,一定地域空间资源禀赋和环境容量所能承载的经济规模和人口规模。土地资源承载力评价是表征区域人口与区域载荷的关系,可以用一定粮食消费水平下,区域粮食总量所能供养的人口规模来度量^[17]。其公式表示为

$$L_{CC} = G/G_{pc} \tag{3}$$

$$L_{CCI} = P_a/L_{CC} \tag{4}$$

$$R_p = (P_a - L_{CC})/L_{CC} \times 100\% = (L_{CCI} - 1) \times 100\% \tag{5}$$

$$R_g = (L_{CC} - P_a)/L_{CC} \times 100\% = (1 - L_{CCI}) \times 100\% \tag{6}$$

式中: L_{CC} 为土地资源人口承载力,人; G 为粮食总产量, kg; G_{pc} 为人均粮食消费标准, kg/人; L_{CCI} 为土地资源人口承载指数; P_a 为现实人口数量,人; R_p 为人口超载率, %; R_g 为粮食盈余率, %。

按照 L_{CCI} 等级可将土地资源承载力分为3类:粮食盈余、人粮平衡和人口超载^[16]。粮食盈余类型, L_{CCI} 低于0.875,处于平衡有余,有人口承载空间;人粮平衡类型, L_{CCI} 介于0.875 ~ 1.125,人粮关系基本平衡,承载力处于临界状态;人口超载类型, L_{CCI} 大于1.125,人口超载严重,粮食安全受损。参考已有文献^[18-19],根据土地资源承载力盈余或超载的程度差异,将 L_{CCI} 进一步划分为8个级别,如表1所示。

表1 土地资源承载力分级评价标准

Tab. 1 Grading evaluation criteria for carrying capacity of land resources		
类型	级别	L_{CCI}
粮食盈余	富富有余	$L_{CCI} \leq 0.5$
	富裕	$0.5 < L_{CCI} \leq 0.75$
	盈余	$0.75 < L_{CCI} \leq 0.875$
人粮平衡	平衡有余	$0.875 < L_{CCI} \leq 1$
	临界超载	$1 < L_{CCI} \leq 1.125$
人口超载	超载	$1.125 < L_{CCI} \leq 1.25$
	过载	$1.25 < L_{CCI} \leq 1.5$
	严重超载	$L_{CCI} > 1.5$

3 结果与分析

3.1 耕地变化与粮食生产分析

3.1.1 耕地变化态势

陕西省耕地主要由旱地、水地(含水浇地和

水田)构成,旱地主要分布在陕北和渭北旱塬区,水浇地主要分布在渭南南部以及关中平原,水田分布于陕南秦巴山区和汉中盆地。现阶段,全省耕地结构为:平川地 $84.87 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 占全省耕地面积 23.4%; 丘陵塬地 $100.82 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 占 27.8%; 山坡地 $177 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 占 48.8%。2018 年陕西省耕地占本省土地总面积的 14.66%, 陕西省目前人均耕地面积仅为 0.078 hm^2 , 低于全国人均 0.098 hm^2 的平均水平。

1949—2018 年陕西省耕地面积总体呈下降

趋势,近 20 年降速趋势有效减缓。从 1949 年的 $438.50 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 减少到 2018 年的 $301.47 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 耕地减少的面积达 1949 年耕地面积的 31.52%。具体可分为 3 个时间阶段:1949—1962 年波动调节期,1963—2001 年持续减少期,2002—2018 年动态平衡期。随着土地整理和修复带来后备储量的提升、土地占补平衡政策以及粮食安全政策等多因素综合作用,全省耕地连续 16 年稳定在 $293.33 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 水平,达到耕地保有量动态平衡(见图 1)。

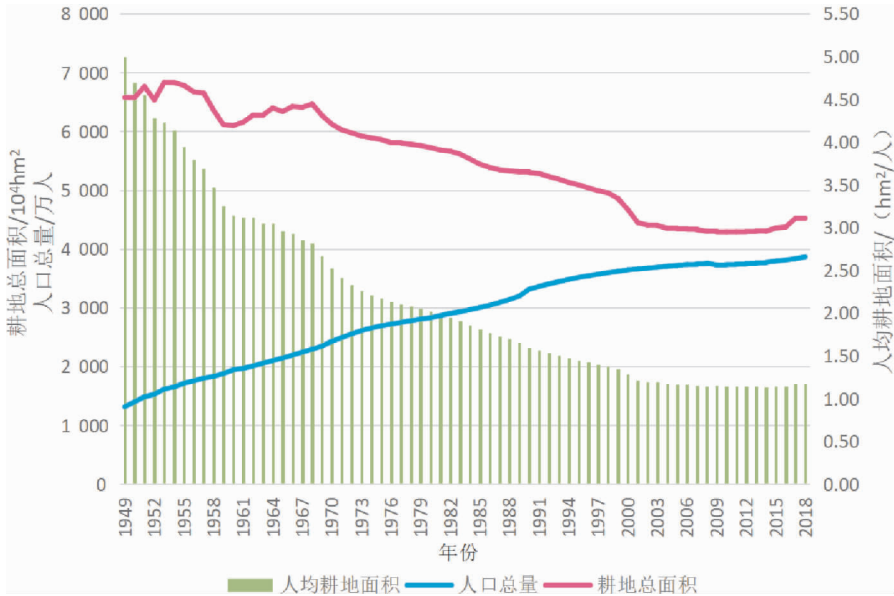


图 1 1949—2018 年陕西省人口与耕地面积变化

Fig. 1 Population and cultivated land area changes in Shaanxi Province from 1949 to 2018

3. 1. 2 耕地压力分析

人口不断增长,耕地保有量逐渐减少,耕地面对的压力会更大,可用耕地压力指数来反映。不同学者研究人均年粮食需求量时取值有所不同,本文参照全国同期人均粮食消费量和世界粮农组织认定的营养均衡值,结合陕西省实际情况分别设定人均年粮食需求为 375、400、425 kg,粮食自给率为 100%(见图 2)。K 值能综合反映实际耕地面积与最小人均耕地面积的变化。

1949 年全省人均耕地面积与 $S_{\min}(375)$ 、 $S_{\min}(400)$ 和 $S_{\min}(425)$ 3 种预案条件下的人均最小耕地面积差距为 0.16、0.20 和 0.23 hm^2 。受三年灾害影响,1960—1962 年耕地压力指数达到最大值,人均粮食不足,直到 1982 年全省人均耕地面积与 $S_{\min}(375)$ 、 $S_{\min}(400)$ 和 $S_{\min}(425)$ 3 种预案条件下的人均最小耕地面积差距降至 0.02、0.03

和 0.04 hm^2 ,人粮矛盾显著改善,此后的耕地基本能够满足省内人口口粮需求。2010 年后, $S_{\min}(375)$ 对应人均最小耕地面积差距始终保持在 0.01 hm^2 ,说明全省耕地压力已经逐步趋于稳定向好发展。

3. 1. 3 粮食生产分析

陕西省粮食种植具有明显地域分布特征,适宜温带、暖温带及亚热带多种农作物生长。主要包含小麦、玉米、水稻、谷子、豆类、薯类、糜、荞麦和其他杂粮等。关中地区耕地条件良好,是重要的小麦和玉米主产区,大片高产优质农田集中于水利灌溉条件优越的渭北旱塬。陕北盛产小米、糜和荞麦等作物。陕南地处汉江流域水利条件良好,以水稻为特色作物。小麦和水稻是主要的粮食作物,其中小麦占总播种面积的 35% 至 40%。

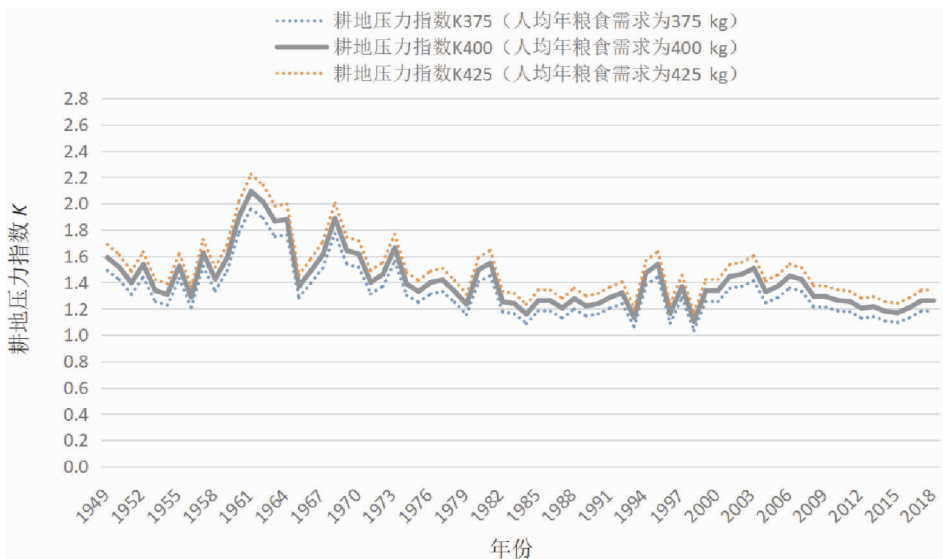


图 2 1949—2018 年陕西省耕地压力指数变化图①

Fig. 2 Change map of cultivated land pressure index in Shaanxi Province from 1949 to 2018

陕西省粮食生产自 1949 年以来呈现出明显的波浪式上升特征(见图 3)。近年来,随着社会经济发展和农业政策的调控,农作物种植结构有所调整,具体表现为粮作比下降和水果蔬菜种植面积增加。具体可分为 3 个时间阶段。



图 3 1949—2018 年陕西省人粮关系

Fig. 3 The relationship between people and food in Shaanxi Province from 1949 to 2018

1) 1949 年至 1961 年为粮食生产波动期, 1949 年建国初期陕西省粮食产量只有 330.45×10^4 t, 直至 1961 年, 粮食生产水平稳定在 400×10^4 t。

2) 1961 年至 1998 年为粮食明显增产期, 直至 1998 年达到最高产量 $1\,303 \times 10^4$ t, 年均增产 25.19×10^4 t。改革开放以来, 陕西粮食产量逐年快速提升, 1984 年粮食生产达 $1\,023.98 \times 10^4$ t, 从根本上跨越了吃粮靠从外调剂的阶段, 1998 年粮食产量达到 $1\,300 \times 10^4$ t, 较 1978 年提高了

① K375、K400 和 K425 是 $S_{\min}(375)$ 、 $S_{\min}(400)$ 和 $S_{\min}(425)$ 3 种预案条件下的耕地压力指数, $S_{\min}(375)$ 、 $S_{\min}(400)$ 和 $S_{\min}(425)$ 分别是人均年粮食需求量 G 为 375、400 和 425 kg 下相应的最小人均耕地面积。

62.9%。

3)1999 年以后为生产恢复期,从 2006 年到 2015 年,中央一号文件连续 10 年聚焦“三农”,陕西省粮食生产迈上一个新台阶,2006 年陕西省粮食产量恢复增长至 $1\,087.00 \times 10^4\text{ t}$,人均占有量也回升至 290 kg,至 2011 年恢复至 $1\,200 \times 10^4\text{ t}$ 。改革开放以来,陕西省粮食作物种植面积减少 32%,总产却提高了 49.3%,单产年均增长 2%。现今陕西省粮食产量连续 8 年保持稳定在 $1\,200 \times 10^4\text{ t}$,2018 年粮食综合生产能力达到 $1\,226.31 \times 10^4\text{ t}$,2018 年人均粮食占有量为 317.34 kg。

3.2 陕西省土地资源承载力分析

3.2.1 基于时间序列的土地资源承载力分析

自 1949 年以来,以单纯粮食消费而言,达到

营养安全的人均消费粮食 400 kg,陕西省土地资源承载力总体发展态势良好,土地资源承载能力总体逐步提高并呈现增长趋势。但是,随着人口总量相应的同步增长,现实人口规模仍超过土地资源承载力,以超载为主要特征,人粮矛盾较为突出(见图 4)。土地资源承载指数介于 2.09~1.10 之间,土地资源承载规模介于 826.11~3257.75 万人之间。2018 年陕西省土地资源承载规模为 3 065.78 万人,相当于 79% 的现实人口。相较 1949 年承载能力提升了 2 239.66 万人,但现实人口规模远仍超过土地资源承载能力,土地资源承载能力指数为 1.26,土地资源以超载为主要特征。具体可分为 3 个阶段。

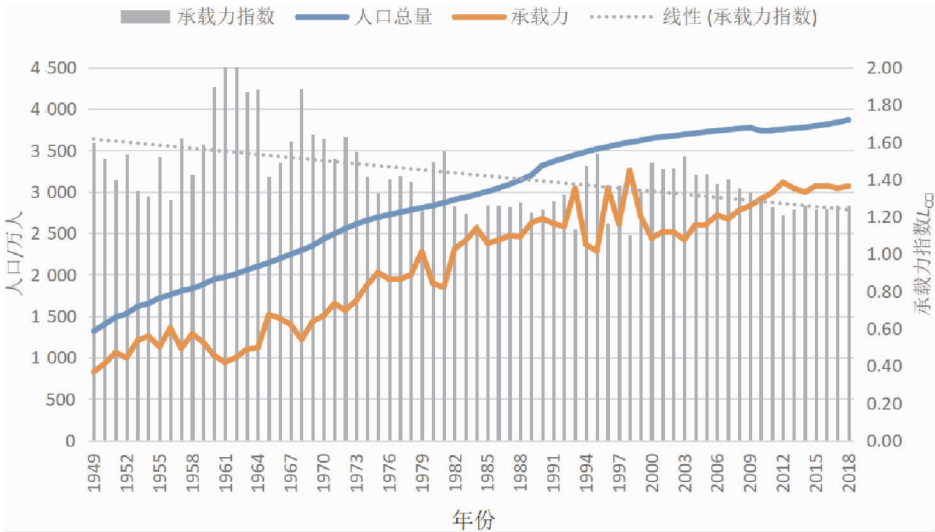


图 4 基于粮食产量的陕西省土地资源承载力

Fig. 4 The carrying capacity of land resources in Shaanxi Province based on grain yield

1) 1949—1998 年增长期。陕西省人口总量稳定增长,平均年增量为 46.51 万人。粮食产量从 $330.45 \times 10^4\text{ t}$ 增至 $1\,303.10 \times 10^4\text{ t}$,平均年增量为 $19.85 \times 10^4\text{ t}$;粮食单产水平从每公顷 787.5 kg 增至每公顷 3 233.4 kg,增长率超过 300%;人均粮食占有量从每人 250.91 kg 增至每人 362.37 kg。耕地面积减少 $108.22 \times 10^4\text{ hm}^2$,平均耕地面积为 $394.60 \times 10^4\text{ hm}^2$;粮食生产一直保持在高粮作比状态,平均粮作比为 86.07%;人均耕地面积由每人 0.33 hm^2 减至每人 0.092 hm^2 。土地资源承载力指数为由 1.59 的降至 1.10。

研究结果表明:该阶段内陕西省人口总量逐年剧增,耕地面积逐年减少,粮作比逐渐下降,但由于耕地质量和耕地产能的提升,保证了陕西省粮食产量和人均粮食占有量的高水平增长状态,

使得陕西省粮食较为充足。陕西省人口总量和土地资源承载力保持同步稳定增长,平均每年人口增幅为 46.51 万人,平均每年土地资源承载力增幅为 49.63 万人。土地资源承载力增幅大于人口增幅,因此土地资源承载力指数趋于下降,人粮关系趋于缓和,土地资源承载力水平由严重超载级别减缓至临界超载级别。

2) 1999—2011 年恢复期。陕西省人口总量增长速度放缓,平均年人口增幅为 11.28 万人。1999 年粮食因灾减产,至 2003 年粮食产量降至 20 世纪 90 年代以来最低值 $986.40 \times 10^4\text{ t}$,相当于 1988 年的粮食生产水平。其后陕西的粮食生产处于恢复期,至 2011 年恢复至 $1\,200 \times 10^4\text{ t}$ 水平。宏观来看粮食产量呈现波动状态,年均粮食生产增量不到 $10 \times 10^4\text{ t}$;粮食单产水平从每公顷

2 685.9 kg 增至每公顷 3 811.2 kg, 年均增长 93.75 kg; 人均粮食占有量从每人 298.95 kg 增至每人 319.22 kg。耕地面积减少 $37.73 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 平均耕地面积为 $293.88 \times 10^4 \text{ hm}^2$; 粮作比下降明显, 降幅达 10.45%, 平均粮作比为 78.35%; 人均耕地面积由 0.0893 hm^2 减至 0.0767 hm^2 。土地资源承载力指数为由 1.34 降至 1.25。

研究表明: 该阶段内陕西省人口总量增幅放缓, 耕地面积减幅放缓, 粮作比下降明显, 表明该阶段内陕西省农业结构得到有效调整。耕地质量和耕地产能持续提升, 使得陕西省粮食生产在受到自然灾害的冲击后, 得到有效恢复。虽然土地生产能力得到好转, 但由于人口持续稳定增长和生活水平提高, 陕西省土地资源承载力与人口规模相比较仍处在较低消费水平的紧平衡状态, 粮食亏缺、土地超载状况显著, 人粮矛盾呈现加剧趋势。

3) 2012—2018 年稳定期。陕西省人口总量增长速度增快, 在 2018 年达到人口峰值 3 864.40 万人, 平均年人口增幅为 15.90 万人。土地资源承载力持续稳定在 3 000 万人水平之上。粮食产量连续多年稳定保持在 $1\,200 \times 10^4 \text{ t}$ 水平, 粮食单产水平增幅放缓, 从每公顷 3 188.2 kg 增至每公顷 4 080 kg, 年均增长 14.1 kg; 人均粮食占有量减少, 从每人 331.75 kg 降至每人 317.34 kg。耕地面积增加 $15.038 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 平均耕地面积为 $292.136 \times 10^4 \text{ hm}^2$; 粮作比变化不大, 平均粮作比为 75.33%, 于 2018 年降至最低 73.48%; 人均耕地面积由 0.076 hm^2 增至 0.078 hm^2 。土地资源

承载力指数为由 1.21 增至 1.26。

研究表明: 该阶段内陕西省人口总量增加, 耕地面积首次出现增加, 人均耕地面积出现增长, 粮食单产水平持续增长, 粮食粮作比稳定在 75% 水平。耕地面积、耕地质量和耕地产能的持续提升, 使得陕西省粮食生产能力稳定保持在高水平状态。随着社会经济的发展以及产业结构调整带动, 陕西省土地资源承载力总体维持在较高水平, 粮食亏缺得到显著改善, 人粮矛盾趋于缓和, 承载能力逐步提高。

3.2.2 基于空间格局的分市土地资源承载力分析

土地资源承载力水平受耕地面积和粮食生产水平影响显著。1990—2018 年陕西省耕地面积、人口总量、粮食生产水平趋于稳定, 选择 1990—2018 年近 20 年的时间区间研究陕西省分市土地资源承载力格局更具参考意义。2018 年榆林市和渭南市耕地面积占比处于 20%, 是陕西省主要的粮产区, 总产量合计达到 $492.15 \times 10^4 \text{ t}$, 占陕西省当年粮食总产量的 39.18%。西安市、宝鸡市和咸阳市耕地面积占比处于 10%, 粮食产量居中, 合计达到 $434.84 \times 10^4 \text{ t}$, 占到陕西省当年粮食总产量的 34.62%。作为重要旅游城市的延安市耕地面积占比接近 10%, 但由于自然条件限制, 粮食产量为 $69.56 \times 10^4 \text{ t}$, 占比仅为 5.54%。铜川市、汉中市、安康市和商洛市在本身耕地面积有限的情况下, 四市粮食产量比例合计占到 20.67% (见表 2)。

表 2 2018 年陕西省分市人粮关系现状

Tab.2 Current situation of the relationship between people and grain in Shaanxi Province in 2018							
地区	人口 /万人	耕地面积 / $\times 10^4 \text{ hm}^2$	粮食产量 / $\times 10^4 \text{ t}$	人均粮食 产量/kg	粮食产量 比重/%	耕地面积占 全省耕地 面积比重/%	耕地面积占 本市土地 面积比重/%
西安	922.82	24.51	142.14	154.02	11.32	8.13	3.64
铜川	89.80	6.94	28.78	320.50	2.29	2.30	2.68
宝鸡	392.14	29.38	132.54	338.01	10.55	9.74	2.43
咸阳	523.56	31.88	160.16	305.90	12.75	10.57	4.65
渭南	546.33	48.59	225.96	413.60	17.99	16.12	5.59
延安	234.10	26.14	69.56	297.13	5.54	8.67	1.06
汉中	380.68	22.43	105.62	277.44	8.41	7.44	1.24
榆林	378.84	78.87	266.19	702.64	21.19	26.16	2.76
安康	303.70	19.34	75.05	247.13	5.98	6.41	1.23
商洛	251.03	13.40	50.06	199.40	3.99	4.44	1.03
陕西	4 022.99	301.47	1 256.05	312.22	100.00	100.00	2.20

为深入了解陕西省内部土地资源承载力的空间和时间差异,指导未来人口布局 and 空间流动,采用常住人口数据,以达到营养安全的人均消费粮

食 400 kg 计,基于粮食产量,分析 1990—2000—2010—2018 年 4 个年份的陕西省分市土地资源承载力(见表 3)。

表 3 基于人粮关系的陕西省分市土地资源承载力

Tab. 3 The carrying capacity of land resources in Shaanxi Province based on the relationship between people and grain

地区	承载力/万人				L_{CCI}			
	1990 年	2000 年	2010 年	2018 年	1990 年	2000 年	2010 年	2018 年
西安	431.08	504.80	545.49	355.34	1.41	1.36	1.43	2.60
铜川	46.68	48.03	58.30	71.95	1.69	1.73	1.47	1.25
宝鸡	340.25	331.60	417.45	331.36	0.98	1.10	0.91	1.18
咸阳	471.65	459.75	556.29	400.40	0.92	1.03	0.93	1.31
渭南	429.70	460.43	660.49	564.90	1.12	1.15	0.85	0.97
延安	180.15	166.50	205.09	173.90	1.03	1.18	1.12	1.35
汉中	353.30	311.24	285.32	264.04	1.02	1.18	1.34	1.44
榆林	169.15	177.24	412.83	665.46	1.74	1.87	0.88	0.57
安康	238.33	245.61	232.72	187.64	1.12	1.19	1.31	1.62
商洛	155.58	186.80	177.62	125.14	1.46	1.32	1.49	2.01
陕西	2 815.85	2 891.99	3 551.60	3 140.13	1.16	1.24	1.09	1.28

从时间上来看,1990—2018 年间,陕西省分市的土地资源承载力时空变化显著,有 1/5 的市域人粮关系状况转为良好,3/10 的市域土地资源承载能力提升。大部分市域土地资源承载人口规模仍低于现实人口,人粮关系处于以过载或严重超载为主要特征的紧张状态(见图 5)。

西安、铜川、榆林和商洛四市超载状况最为严重,其中西安、榆林和商洛三市超载人口达到 375.29 万,占总超载人口的 81.73%;渭南、延安、汉中和安康四市均处于临界超载状态,土地资源承载指数介于 1.02~1.12 之间。

2000 年,陕西省各市土地资源承载力整体处于超载水平,受人口增长和粮食减产影响,各市人粮关系紧张并以严重超载为主要特征,总超载人口规模达到 680.18 万。其中西安和榆林两市超载人口达到 337.63 万,占总超载人口的 49.64%;咸阳市超载人口增幅最大,较 1990 年增加了 50.21 万超载人口。

2010 年,陕西省各市的土地资源承载力相较于其他年份较高,相较于 2000 年土地资源承载力有明显提升,以过载为主要特征,总超载人口达到 332.27 万。西安市超载人口增幅最大,超载人口达到 237.24 万,较 2000 年增加了 54.20 万超载人口,占总超载人口的 71.40%,人粮关系矛盾剧烈。宝鸡、咸阳、榆林和渭南四市土地资源承载力提升明显,人粮关系转为健康状态。其中以榆林和渭南最为突出,分别较 2000 年土地资源承载力增长 202.74 万和 169.02 万。铜川、延安、汉中、安康和商洛五市人粮关系处于低消费水平的紧平衡状态。

2018 年,陕西省土地资源承载力较 2010 年出现下降,土地资源的压力增大,总体趋于严重超载,总超载人口达到 882.86 万。虽然西安市的土

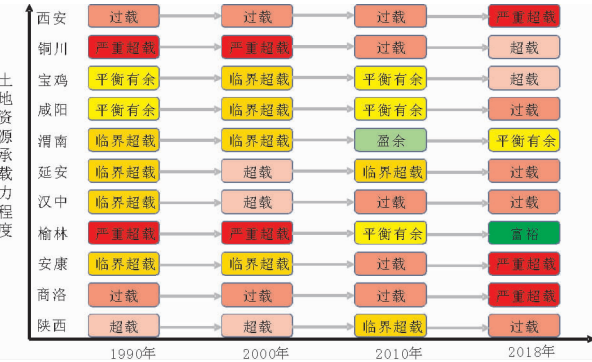


图 5 1990—2018 年陕西省分市土地资源承载力(时间序列)

Fig. 5 The carrying capacity of land resources by city in Shaanxi Province from 1990 to 2018 (Time series)

从空间上来看,榆林和渭南人粮关系向好发展;宝鸡和咸阳处于临界超载的紧平衡状态;铜川、延安和汉中等市人粮矛盾较为突出;西安、安康、商洛等市人粮关系超载程度随时间承载状态不断恶化,逐渐趋于严重超载的紧张状态(见图 6)。

1990 年,除宝鸡和咸阳处于平衡有余状态外,陕西省其他各市均处于超载状态,并以临界超载为主要特征,总超载人口规模达到 459.17 万。

地资源承载力较 2010 年有明显提升,但西安市人口增量更大,故导致西安市超载人口剧增,超载人口达到 567.48 万,占总超载人口的 64.28%。除

渭南和榆林人粮关系保持平衡外,其余各市人粮矛盾均有所加剧,土地资源承载指数介于 1.18 ~ 2.60 之间。

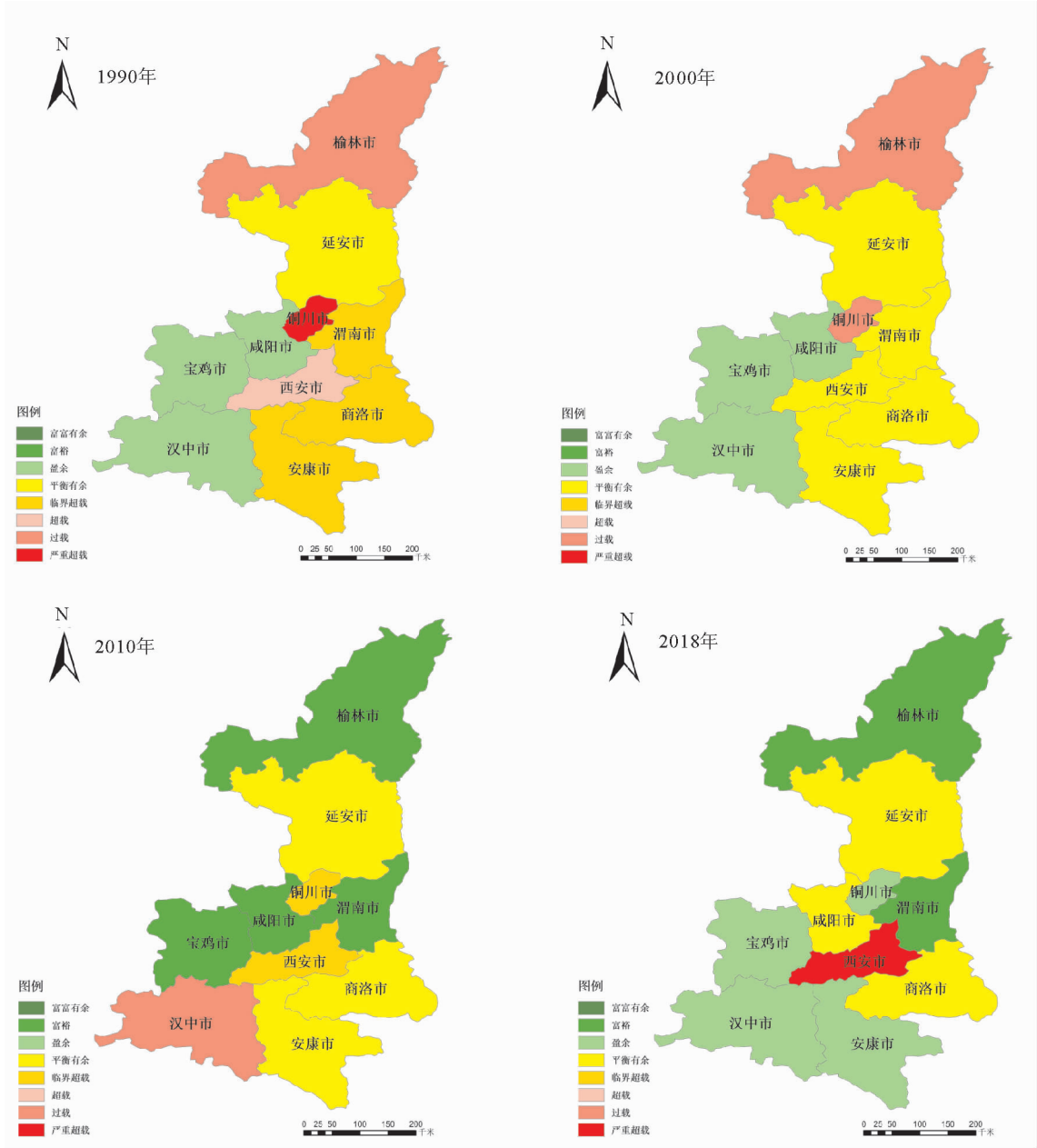


图 6 1990—2018 年陕西省分市土地资源承载力(空间序列)

Fig. 6 The carrying capacity of land resources by city in Shaanxi Province from 1990 to 2018 (Spatial Sequence)

3.3 基于土地资源承载力的粮食盈亏状况分析

3.3.1 基于时间序列的粮食盈亏状况分析

1949 年至 2018 年陕西省粮食产量保持稳定增长趋势,年均增量为 12.98×10^4 t。与此同时,随着陕西省人口总量的增加,陕西省土地资源承载压力增大,导致粮食供需一直处于亏空状态,以粮食安全标准为 400 kg/人计,年均亏空增加 1.78×10^4 t。采用数学方法对陕西省粮食亏空量、粮食产量和粮食需求量进行趋势拟合,结果表明,近 20 年粮食需求增长趋势放缓,粮食产量增速明显,粮食亏空量逐渐减小在 300×10^4 t 水平趋于稳定(见图 7)。总体来看,陕西省粮食盈亏状况向好发展。

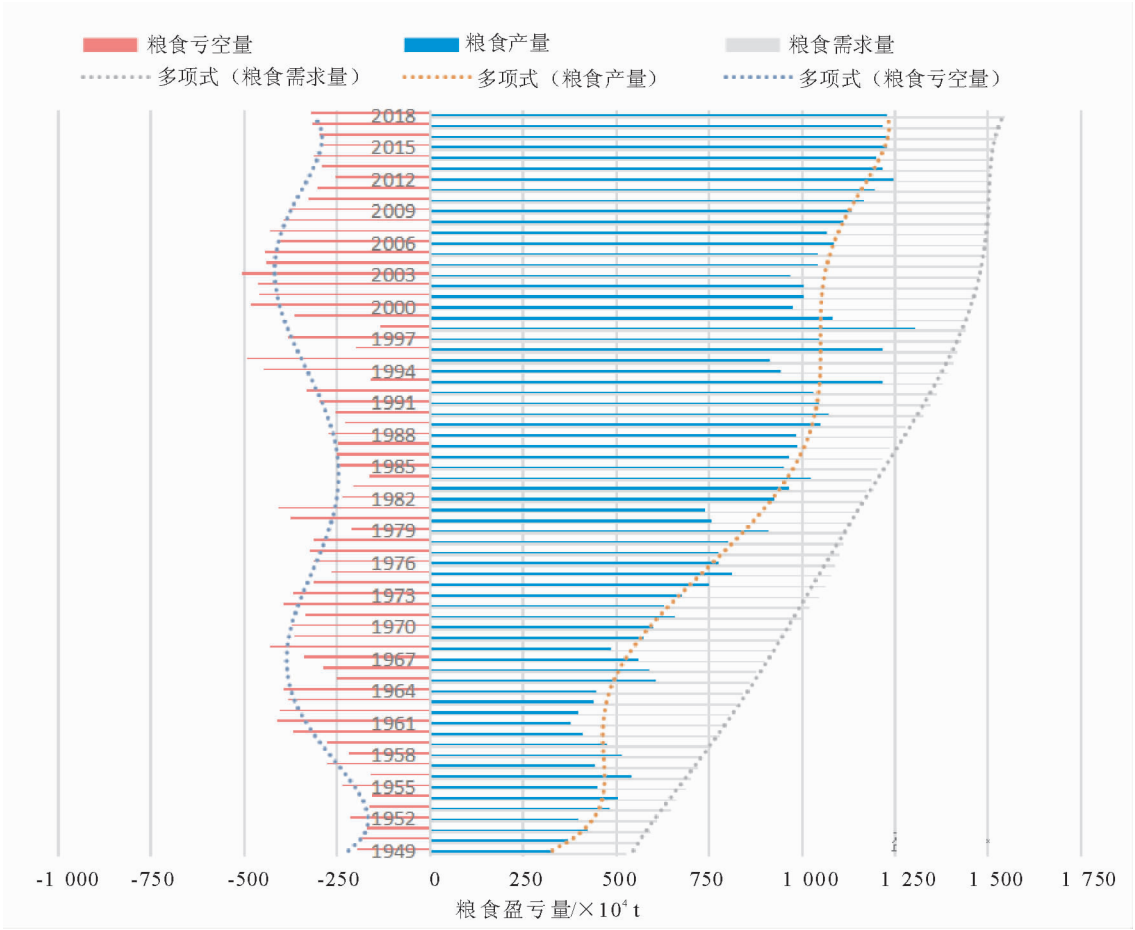


图 7 1949—2018 年陕西省粮食盈亏量

Fig. 7 Grain profit and loss in Shaanxi Province from 1949 to 2018

3.3.2 基于空间序列的分市粮食盈亏状况分析 分布影响,各市间差异显著(见表 4)。

陕西省粮食盈亏状况受人口分布和耕地资源

表 4 1990—2018 年陕西省市级粮食盈亏状况

Tab.4 Grain profit and loss at the municipal level in Shaanxi Province from 1990 to 2018

地区	粮食产量/ $\times 10^4$ t				粮食盈亏量/ $\times 10^4$ t			
	1990 年	2000 年	2010 年	2018 年	1990 年	2000 年	2010 年	2018 年
西安	172.43	201.92	218.20	142.14	-71.13	-73.28	-94.89	-226.99
铜川	18.67	19.21	23.32	28.78	-12.85	-14.08	-10.86	-7.14
宝鸡	136.10	132.64	166.98	132.54	2.32	-12.71	14.54	-24.31
咸阳	188.66	183.90	222.52	160.16	14.18	-5.90	14.48	-49.26
渭南	171.88	184.17	264.19	225.96	-20.52	-27.44	40.17	7.43
延安	72.06	66.60	82.04	69.56	-1.94	-12.06	-10.05	-24.08
汉中	141.32	124.50	114.13	105.62	-3.36	-21.88	-38.48	-46.66
榆林	67.66	70.90	165.13	266.19	-50.38	-61.77	19.33	114.65
安康	95.33	98.24	93.09	75.05	-11.47	-18.73	-28.65	-46.43
商洛	62.23	74.72	71.05	50.06	-28.61	-24.24	-34.48	-50.35
总计	1 126.34	1 156.80	1 420.64	1 256.05	-183.67	-272.07	-128.91	-353.14

榆林市和渭南市粮食生产能力增长显著,其余各市均处于平稳波动的稳定状态。粮食盈亏量分析结果显示:受社会经济发展和人口政策影响,西安市粮食亏空逐渐严重,近 20 年亏空增长了约

2 倍,现阶段为 226.99×10^4 t, 占全省总量的 64.28%。安康、商洛和咸阳均处于亏空 50×10^4 t 水平。榆林市和渭南市实现由粮食亏空到盈余的向好发展态势。

4 结论与建议

4.1 结论

以人粮关系为主线,利用耕地压力分析模型和土地资源承载力评价模型,从时间和空间2个维度系统研究1949—2018年陕西省土地资源承载力时空演变格局。主要结论如下。

1) 耕地总量与人均耕地面积双下降。1949—2018年,耕地资源总量减少31.52%,在最近的20年耕地数量稳定在 $293.33 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 水平。耕地压力波动逐渐平稳,人均耕地面积由人均 0.33 hm^2 降至人均 0.078 hm^2 ,仅为现阶段全国平均水平的79.6%。

2) 粮食生产能力明显上升。粮食产量由1949年的 $330.45 \times 10^4 \text{ t}$ 上升至2018年的 $1226.31 \times 10^4 \text{ t}$,年均增量为 $12.98 \times 10^4 \text{ t}$ 。改革开放以来,陕西省粮食作物种植面积减少32%,总产提高49.3%,单产年均增长2%。现今陕西省粮食产量连续8年保持稳定在 $1200 \times 10^4 \text{ t}$ 水平,2018年人均粮食占有量为 317.34 kg 。

3) 土地资源承载力逐步增强但地域差异显著。1949—2018年,陕西省土地资源承载力826.11万人增长至3065.78万人。其中,榆林和渭南人粮关系向好发展;宝鸡和咸阳处于临界超载的紧平衡状态;铜川、延安和汉中等市人粮矛盾较为突出;西安、安康、商洛等市人粮关系超载程度随时间承载压力逐渐增大。总体来说,陕西省土地资源承载力发展态势良好,土地资源承载能力呈现增长趋势,人口、农业生产水平和种植结构调整导致承载水平波动,但土地生产和承载能力并未削弱。

4) 粮食盈亏状况受人口分布和耕地资源分布影响较大,各市间差异显著。2018年,陕西省粮食亏空量为 $353.14 \times 10^4 \text{ t}$,较2000年上升 $224.24 \times 10^4 \text{ t}$,粮食盈亏关系转为紧平衡状态。渭南市和榆林市保持粮食盈余,其中榆林市粮食盈余 $114.65 \times 10^4 \text{ t}$,发展态势良好。

4.2 建议

持续提升陕西省土地资源承载力事关我国“黄河流域生态保护和高质量发展”“西部大开发”和“一带一路”等国家重大战略和倡议的实现,事关陕西省乃至西北地区的高质量发展,因此,从人口、土地、粮食、农业结构和区域协作等方

面提出几点建议。

1) 人口方面:人口发展和资源调配动态配置。人口-土地-粮食是一个相互作用的动态系统,土地为人类生存发展提供了必要的资源,人口素质的提高会通过优化土地产能和改善土地质量等方式提升土地载荷。通过实施以知识和技能等为标准的高素质人口落户政策和加大本地教育投入等手段会有效增强发展动力,对人口和土地载荷的平衡起到积极作用。

2) 土地方面:土地利用和数据信息协同管控。土地是确保承载力的基础,因此需要提升监管,盘活存量,优化土地利用,保护耕地红线。结合地理信息系统、遥感应用和全球定位等技术以数据信息融合为支撑,提升土地监管,实现土地质量和耕地保有量一体化的动态监测与协同预警。以土地整理和修复为抓手,盘活土地存量,减少闲置和撂荒,加强污染和水土流失耕地的修复,鼓励矿区废弃地复垦等。结合承载力研究和预测,针对土地利用短板进行统筹规划和精准施策,实施严格的土地占补平衡政策,提高土地保有量和后备量。

3) 粮食方面:粮食生产和科学农业因地制宜。以粮食增产为导向,从选育良种、测土配肥、农田深耕、土壤改良、节水灌溉、病虫害防治、高效栽培等方面,因地制宜施策将自然条件对粮食生产的阻力尽可能压缩到最低值。针对不同的农业产区实地状况,建立规模化的高产示范田,加速良种推广,开展农业整体增产。深度发挥陕西省农林科技产业的优势,从区域板块开展粮食单产的提升,促进小麦、玉米、水稻、豆类等粮食主产区的农业示范带动,逐步改善基础设施和机械化水平,建立健全农业服务保障体系以及促进基层农技公共服务能力的全面覆盖。

4) 农业结构方面:结构调整和稳产保供科学管控。不同时段不同区域农业结构的调整,取决于各地农产品的供需现状,其本质在于提升农业生产资源配置效率。农作物种植结构的调整需要考虑土地资源、水资源和生态资源的发展水平,结合陕西省不同区域的发展要求宜耕则耕、宜林则林和宜牧则牧。陕西省的资源禀赋和现状导致了在农业资源开发的数量方面增长潜力有限,应该以提升质量为侧重点,通过资源有效配置提升农业发展水平。基于本研究的不同情景方案,有利于对各区域农业结构调整做出具体参考。

5)区域协作方面:区域协作和载荷水平均衡发展。承载力载荷水平的区域协作发展是平衡各地承载困境的重要策略。社会经济的发展和交通运输能力的提高,促进了生产要素的流通和承载优势的区域转移。在明确陕西省不同主体功能区的区位定位和发展方向的基础上,根据人口和承载水平制定不同主体功能区差别化的资源调配政策,保障区域粮食安全的稳产保供,实现土地承载水平均衡发展。

参考文献

- [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[J].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[J]. Resources Science, 2017, 39(3): 379-395.
- [2] 陈百明.中国土地资源生产能力及人口承载量研究[M].北京:中国人民大学出版社,1991.
- [3] 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.
FENG Z M. Research history, presentsituation and future prospects of land carrying capacity[J]. China Land Science, 1994, 8(3): 1-9.
- [4] 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):1-6.
LIU D, FENG Z M, YANG Y Z, et al. Characteristics of grain production and spatial pattern of land carrying capacity of China[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(7): 1-6.
- [5] 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.
XIE G D, CHENG S K, XIAO Y, et al. The balance between grain supply and demand and the reconstruction of China's food security strategy in the New Period[J]. Journal of Natural Resources, 2017, 32(6): 895-903.
- [6] 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[J].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[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(6): 142-148.
- [7] 黄娟,李阳兵,徐倩,等.岩溶槽谷区农村人口与耕地变化的时空耦合关系[J].水土保持研究,2021,28(3):281-290.
HUANG J, LI Y B, XU Q, et al. Spatiotemporal coupling relationship between rural population and farmland change in karst trough valley area[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2021, 28(3): 281-290.
- [8] SUDRAJAT S, ANANDA T N, ELVITA S, et al. Spatial distribution of agricultural land carrying capacity in Purworejo Regency[J]. E3S Web of Conferences, 2020, 200(3): 05002.
- [9] 王红瑞,巩书鑫,邓彩云,等.基于五元联系数的水资源承载力评价[J].西北大学学报(自然科学版),2019,49(2):211-218.
WANG H R, GONG S X, DENG C Y, et al. Research on water resources carrying capacity based on Five - Element Connection Number[J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2019, 49(2): 211-218.
- [10] 牛方曲,封志明,刘慧.资源环境承载力评价方法回顾与展望[J].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[J]. Resources Science, 2018, 40(4): 655-663.
- [11] PUTRI R F, NAUFAL M, NANDINI M, et al. The impact of population pressure on agricultural land towards food sufficiency (case in West Kalimantan Province, Indonesia) [C] // IOP Publishing Ltd, 2019: 012050.
- [12] CHENG K, FU Q, CUI S, et al. Evaluation of the land carrying capacity of major grain-producing areas and the identification of risk factors[J]. Natural Hazards, 2017, 86(1).
- [13] 刘卫东,王蓓,余金艳,等.深入推进西部开发的战略思路研究[J].经济地理,2010,30(4):553-557.
LIU W D, WANG B, YU J Y, et al. A study of the ways of further implementing the Western Region Development Program in China [J]. Economic Geography, 2010, 30(4): 553-557.
- [14] 蔡运龙,傅泽强,戴尔阜.区域最小人均耕地面积与耕地资源调控[J].地理学报,2002,57(2):127-134.
CAI Y L, FU Z Q, DAI E F. The minimum area per capita of cultivated land and its implication for the optimization of land resource allocation [J]. Acta Geographica Sinica, 2002, 57(2): 127-134.

[15] 李建平,上官周平. 陕西省耕地生产能力的时空分布[J]. 农业工程学报, 2012, 28(10):239-246.
LI J P, SHANGGUAN Z P. Spatial-temporal distribution of cultivated land production capacity in Shaanxi province[J]. Editorial Office of Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(10):239-246.

[16] YU Y, WEI X Q, FANG X Q, et al. Social vulnerability assessment by mapping population density and pressure on cropland in Shandong Province in China during the 17th-20th century[J]. Sustainability, 2017, 9(7):1-14.

[17] 张超,杨艳昭,封志明,等. 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[J]. 自然资源学报, 2022, 37(3):616-626.
ZHANG C, YANG Y Z, FENG Z M, et al. Spatio-temporal patterns of the land carrying capacity in the Belt and Road region based on human-cereals relationship [J]. Journal of Natural Resources, 2022, 37(3):616-626.

[18] 封志明,杨艳昭,游珍. 雄安新区的人口与水土资源承载力[J]. 中国科学院院刊, 2017, 32(11):1216-1223.
FENG Z M, YANG Y Z, YOU Z. The population and water and land resource carrying capacity of Xiong'an New Area [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2017, 32(11):1216-1223.

[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[J]. 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 [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2020, 27(2):315-322.

(编辑 亢小玉)