

西藏土地资源承载力的现实与未来 ——基于膳食营养当量分析

郝庆^{1,2,3,4}, 封志明^{1,3,4}, 杨艳昭^{1,3,4}, 朱鹤¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国自然资源经济研究院, 北京 101149;
3. 自然资源部资源环境承载力评价重点实验室, 北京 101149; 4. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049)

摘要: 土地承载力是人地关系的基础表征, 开展土地承载力评价可以为实施农业空间治理、制定农业发展政策等提供参考。以西藏自治区为例, 基于人体每日所需热量、蛋白质和脂肪评价土地的现实承载力及其变化。评价结果表明: (1) 西藏自治区土地承载指数从2004-2016年一直维持在80.66%~89.84%之间, 处于平衡有余状态。(2) 未来西藏自治区土地承载指数将会持续保持在87.5%之上, 呈现先升后降的变化态势, 在2032年达到峰值, 届时土地承载指数将会超过92.56%; 此后将会持续下降, 在2050年将低于90%。以土地承载力评价为基础, 根据未来食物消费需求变化和西藏自治区的自然条件, 提出不增加农牧业开发强度, 保持农牧业生产空间规模稳定, 并逐步优化调整农牧业发展结构, 适度降低粮食种植面积, 在适宜地区扩大蔬菜、瓜果种植, 以及发展草牧业经济等建议。

关键词: 承载力; 空间治理; 人口; 膳食营养; 西藏

食物是人类生存和发展的基本需求, 关系到社会稳定与国家安全。保障食物供给是一个具有悠久历史、且受全球关注的问题^[1]。1798年Malthus发表的《人口学原理》, 探讨了人口增长与粮食产量的关系^[2], 对“承载力”概念的产生与发展产生了重要影响^[3]。历经二百余年的发展, 承载力已经成为衡量区域人口、资源环境与经济社会可持续发展的重要判据, 是指导国土开发利用与保护整治、提升区域空间治理能力和治理体系现代化的科学基础与约束条件^[4]。

土地承载力作为承载力研究的一个重要领域, 主要研究一定生活水准下, 一定区域内土地生产的食物可以稳定供养的最大人口数量^[5-6]。Malthus之后, 有诸多学者开展基于食物供给约束的人口增长极限研究^[7]。1965年, Allan^[8]提出以粮食为指标的土地承载力计算公式, 基于粮食为主要限制性因子的土地承载力研究得到推广应用。1970年代, 联合国粮农组织(FAO)根据该方法评价了117个发展中国家土地生产潜力的人口支撑功能。我国从1980年代中期也开展了土地承载力研究。通过研究农业生产结构、耕地面积、投入水平等预测土地生产潜力, 并依据一定的生活水平计算可供养的人口数量(即土地承载力)^[4], 为国家制定土地利用、农业发展、人口调整、生态建设等政策提供了科学依据^[9]。

目前, 基于土地粮食生产潜力的承载力研究仍然被广泛运用。一般采用农业生态区

收稿日期: 2018-11-24; 修订日期: 2019-02-28

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDA20010201)

作者简介: 郝庆(1982-), 男, 河北邢台人, 博士研究生, 副研究员, 研究方向为国土空间规划与资源环境承载力。E-mail: haoq.16b@igsnrr.ac.cn

域法,逐级计算土地的光合生产潜力、光温生产潜力和气候生产潜力。但一般情况下土地很难达到理论生产潜力。同时,随着社会发展和生活水平的提高,居民食物消费结构日趋多样化,Smil^[10]在1995年指出随着生活水平提高,中国人均消费肉、蛋、奶等非粮食品将大幅上升,并对中国土地的承载力产生重要影响。单纯的粮食消费已不能客观反映土地承载总体状况,影响了土地承载力在实践中的应用。加之,当前土地非粮化现象普遍,土地被更多地用来生产其他类型食物。需要根据居民食物消费结构和膳食营养结构的特征和变化规律,将所有可食用农产品纳入土地承载力范畴^[11]。对于特定区域而言,虽然通过贸易等外来输入方式可以解决食物不足问题,但是这也造成一种错觉,即所有地区都可以维持超过其自身的承载力,最终会导致全局性超载^[12]。因此,每个区域都需要考量基于自身资源的承载力,西藏自治区也不例外。

西藏自治区位于中国西南边陲,是中国重要的生态安全屏障、战略资源储备基地,以及重要的高原特色农产品基地。1980年代起中国科学院自然资源综合考察委员会开始开展青藏地区土地承载力研究,尚佳莉^[13]通过农业生态区域法预测西藏自治区各地农作物最高产量以及肉类生产总量,认为西藏自治区2025年人口将达到330万人,届时将存在约5万t的粮食缺口。1990年代后,刘燕华^[14]开展了雅鲁藏布江中游地区的土地评价、农业生产潜力等研究,认为该区域人口承载力为128万人。21世纪以后,曾加芹^[15]采用相对承载力理论,选取人口、耕地面积、GDP等为指标开展了1985-2005年西藏自治区的相对资源人口承载力时空模拟,认为西藏地区综合资源承载力增长整体上低于人口增长,人口属于严重超载。

截至2017年末,西藏自治区常住人口337.15万人,约占全国总人口的0.24% (图1),人口总量较少,但全区人口增长较快,自1980年代以来占全国总人口的比例持续上升。人口的快速增长给资源环境带来一定的压力,土地利用类型的变化也表明人口与经济社会活动对国土空间的开发利用强度在逐步加大。

研究西藏自治区土地承载力,协调人口增长与农牧业生产空间治理,不仅事关本区的人与自然可持续发展,也事关中国优化国土空间开发保护格局的重大战略与可持续发展总体进程^[16-18]。维系西藏自治区的“人地关系”平衡也受到中央的高度关注,习近平总

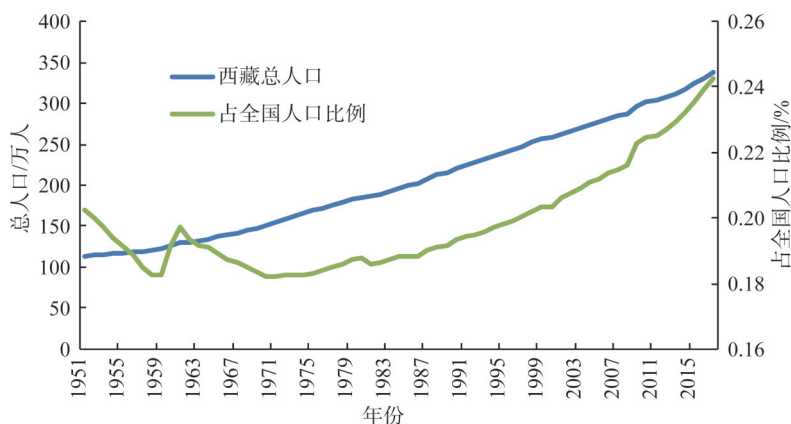


图1 1951-2017年西藏自治区人口总量及占全国人口比例情况

Fig. 1 Total population of the Tibet and its share of the national population during 1951-2017

书记在致第二次青藏高原综合科学考察研究队的贺信中指出要着力研究青藏高原的资源环境承载力、灾害风险等方面的问题^[19]。为此, 本文以西藏自治区为例, 开展基于膳食营养成分的土地承载力研究, 评价和预测土地承载力, 为实践管理工作提供参考。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 研究方法

1.1.1 土地承载力评价方法

按照食物所含营养成分, 将西藏自治区生产的粮食、植物油、食糖、蔬菜、水果、肉类、蛋类、奶类、水产品等全部食物转化为热量、蛋白质和脂肪三种营养素; 按照每天人体所需的热量、蛋白质和脂肪量, 计算西藏自治区的土地承载力。计算公式如下:

$$P_f = \frac{F}{C_f} \quad (1)$$

式中: P_f 为区域内食物所能承载的人口规模, 即土地承载力; F 为区域内所有食物转化的营养素量; C_f 为人均年所需营养素量。

1.1.2 土地承载状态分析方法

比较西藏自治区所生产食物热量、蛋白质和脂肪量三种营养素可承载人口的数量, 选择最低一种营养素的承载人口进行线性趋势预测。将预测的土地承载力与预测的人口总量进行比较, 评价土地人口承载状态。一般用土地人口承载指数表征区域人口与粮食(食物)的关系, 该指数用一定粮食消费水平下区域粮食生产能力所能供养的人口规模来度量。计算公式为:

$$LCC_i = \frac{P_a}{P_f} \quad (2)$$

式中: LCC_i 为土地的人口承载指数, 通常简称土地承载指数; P_a 为现实(预测)人口数量; P_f 为区域内食物所能承载力的人口规模, 即土地承载力。

根据土地的人口承载指数可以将土地承载状态分为盈余、平衡和超载三种类型。其中, 盈余地区, LCC_i 低于87.5%, 粮食有较大盈余, 具有一定的发展空间; 平衡地区, LCC_i 介于87.5%~112.5%, 人粮关系基本平衡, 发展潜力有限; 超载地区, LCC_i 大于112.5%, 粮食缺口较大, 人口超载, 应采取必要的措施实现人地平衡。

1.2 数据来源与数据处理

1.2.1 数据来源

西藏自治区生产食物的数据来源于国家统计局, 时间区间选取统计数据较为完整的2004-2016年间的数 据。人均膳食营养素需求参照《中国居民膳食营养素参考摄入量(2013版)》给出的中国居民膳食营养素需要量, 采用中等身体活动水平的成年男性和女性的平均值, 即每天所需热量2400 kcal、蛋白质60 g、脂肪量为30 g。人口数据来源于中国人口与发展研究中心。该研究中心采用支持超长期人口预测, 预测水准处于国际领先水平的PADIS-INT人口预测软件, 以西藏自治区2010年第6次人口普查的性别和年龄结构为基础, 设定总和生育率、净迁移率、生育模式等参数, 计算未来西藏自治区人口变化情况, 研究成果已应用于西藏自治区国民经济与社会发展规划、人口发展规划等相关规划之中。

1.2.2 数据处理

参考2001年中国农业科学院农业经济研究所膳食营养研究组的研究成果，将食物转化为营养成分。该研究根据中国居民的食物消费结构研制了食物营养成分表^[20]，表中每类食物的营养成分是建立在每种食物的营养含量基础之上的加权平均值（表1）。

表1 主要食物营养成分计算表

Table 1 Energy and nutrient composition of food per kilogram

项目	粮食	植物油	食糖	蔬菜	水果	肉类	蛋类	奶类	水产品
热量/kcal	3553	9000	3776	180	436	3915	1468	690	782
蛋白质/g	93	0	4.6	11.4	6.2	99.5	123.8	33.6	125
脂肪/g	25.7	1000	0	1.6	2.4	387.8	101.4	40.2	24.2

注：每千克食物营养素提供量。

该食物营养成分表包括粮食、植物油、食糖、蔬菜、水果、肉类、禽蛋、奶类、水产品等9类农产品。西藏自治区几乎不种植甘蔗、甜菜等糖类作物，不计算食糖。对于植物油，需要将花生和油菜籽两类油料作物按照出油率进行转化^[21]。通过计算，西藏自治区植物油产量近年来稳定在2.90万t左右。此外，根据中国科学院地理科学与资源研究所拉萨高原生态试验站入户调研的饲料用粮数据，估算肉类生产与饲料用粮的关系^[22]。通过估算得出2004-2016年之间西藏自治区的年度饲料用粮数据（图2），在计算食物总量时予以扣除。

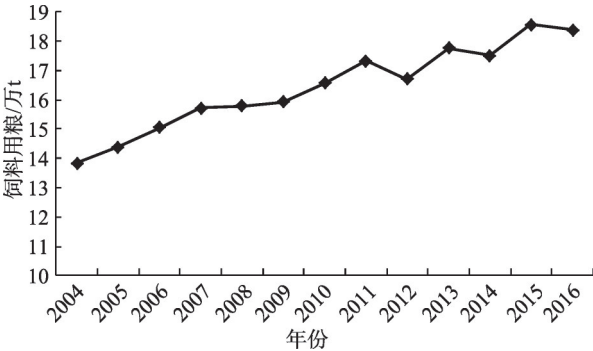


图2 2004-2016年西藏自治区饲料用粮估算数据

Fig. 2 Estimated data of feed grain of Tibet duing 2004-2016

2 结果分析

2.1 评价结果

2.1.1 土地食物生产情况

2004-2016年，西藏自治区主要农产品产量大多呈现增长态势。其中，粮食产量由96.00万t上升到101.91万t、蔬菜产量由29.99万t上升到70.69万t、肉类产量由20.86万t上升到27.72万t、奶类产量由26.20万t上升到34.70万t。相应地，农产品所含热量及营养成分的总量呈上升态势，其中热量总量提高了11.61%，蛋白质总量提高了14.45%，脂肪总量提高了25.31%（表2）。农产品产量及其所含热量和营养成分的增加表明西藏自治区的食物生产能力得到提升。

2.1.2 土地承载力评价

2004-2016年，西藏自治区三种营养成分所能承载的人口平均值分别为496.60万人、528.31万人和1443.21万人，最小值分别为472.30万人、500.39万人和1261.96万人（图3）。

成升魁等^[11]引用FAO的数据指出全球食物的损耗与浪费率为30%。按此比例计算，2004-2016年西藏自治区平均每年农产品营养成分所能承载的人口分别为347.62万人、369.82万人和1010.25万人（图4）。

按照最少热量承载力计算，西藏自治区人口承载指数从2004-2016年一直维持在80.66%以上，基本处于平衡有余状态（表3）。

2.1.3 土地承载指数预测

基于2004-2016年的热量可承载人口进行线性预测，在2018-2050年之间，西藏自治区土地承载力将一直处于大于区域总人口的状态。即，人口增长不会突破承载力上限（图5）。

对于土地承载指数而言，则呈现先升后降的态势，将在2032年左右达到峰值。以人口增长最大可能的预测中方案为例，土地承载力将从2018年的91.16%持续增长到2030年的92.56%，此后将会持续下降，在2050年将低于90%。但是整体而言，会持续保持在87.5%之上，长期处于平衡有余状态（图6）。

2.2 土地承载力分析

按照传统的年人均消费400 kg粮食计算，2004-2017年生产的粮食所能承载的人口，在240万~267万人之间，低于西藏自治区的常住人口，属于超载状态（图7）。基于膳食营养结构的土地承载力评价表明，土地生产的食物能够满足现实人口的需求。并且对比西藏自治区土地承载力与人口预测的高、中、低三个方案可以看出，未来西藏自治区的土地承载力高于人口数量。总体上不存在人口超载，能够实现食物保障的目标。从土地承载指数看，未来土地的食物生产能力与人口总量的需求将仍处于平衡状态，且在2030年之前人粮（食物）关系会处于趋紧态势，保障食物充足供应仍然是不容忽视的重要问题。

因此，一方面，鉴于未来西藏自治区土地承载力大于人口总量的判断，不需要增加农牧业的开发强度，

表2 2004-2016年西藏自治区主要农产品所含营养成分总量
Table 2 Total energy and nutrient composition of food in Tibet during 2004-2016

年份	热量/亿kcal	蛋白质/亿g	脂肪/亿g
2004	42030.15	1099.029	1381.806
2005	41826.07	1095.85	1444.856
2006	41423.57	1094.797	1451.797
2007	42114.32	1117.024	1486.149
2008	44528.88	1210.103	1624.446
2009	41373.56	1097.053	1516.622
2010	41929.27	1113.138	1560.286
2011	43241.83	1144.161	1634.104
2012	43734.65	1164.88	1610.171
2013	44577.97	1190.264	1679.419
2014	45271.19	1211.312	1674.66
2015	46563.42	1245.542	1748.323
2016	46910.53	1257.797	1731.519

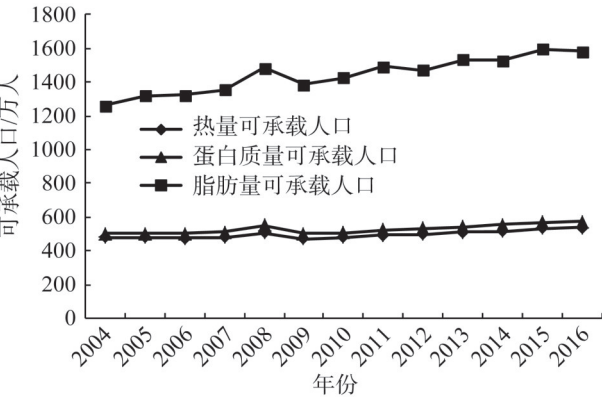


图3 2004-2016年西藏自治区土地承载力
Fig. 3 Land carrying capacity of Tibet during 2004-2016

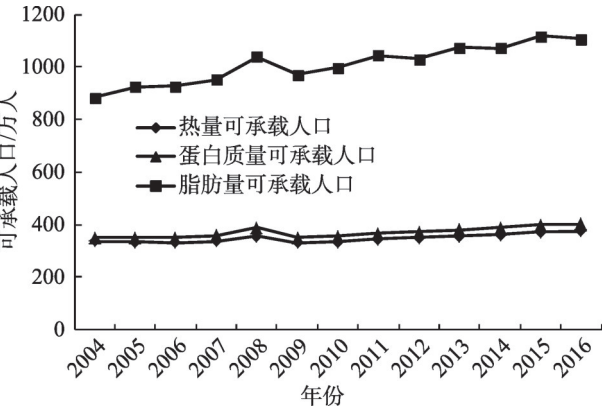


图4 2004-2016年修正后的西藏自治区土地承载力
Fig. 4 Revised land carrying capacity of Tibet during 2004-2016

可以进行必要的生态退耕、休耕、休牧等,适度降低农牧业活动对于资源环境的压力。另一方面,鉴于土地承载力将长期处于平衡的状态,又需要减少城乡建设及矿业开发等活动对耕地、草地等农牧业生产空间的占用,保持现有农牧业生产空间总量稳定。在保持农牧业生产空间稳定的前提下,需要逐步提高科技投入,增加农牧产品的生产效率;并通过实施生态修复、国土综合整治工程等,实现藏粮于地、藏粮于草,不断提升农牧业生产空间潜在的承载能力。

2.3 食物供需形势分析

西藏自治区食物总量能够满足全区常住人口需求,但仍存在结构性的供需矛盾。从全区食物消费结构来看,粮食产量略有盈余,年盈余量约为10万t;肉类和奶类有较大幅度的盈余,但猪肉自给率较低,不足50%;蛋类、水果以及禽类、水产品及糖类等不能满足自给,需要从外地输入(表4)。

从城乡居民的消费结构看:城镇居民粮食的直接消费量大约只有农村居民的一半左右;城乡居民的牛肉、羊肉消费量大体相当,但城镇居民的人均猪肉消费量高于农村居民;城镇居民的人均蔬菜、禽类、水产品、蛋类及干鲜瓜果类消费远高于农村居民(表5)。

此外,根据中国科学院拉萨高原生态试验站相关研究人员的入户调研数据:青稞在农村居民粮食消费中所占的比例较大,总体上占比应当在30%以上。但是,西藏自治区城镇居民的粮食消费结构与内地的城镇居民大体一致,细粮在西藏城镇居民粮食消费中的比例为90%,并以大米为

表3 2004-2016年基于热量的西藏自治区人口承载状态

Table 3 Population-carrying status of Tibet during 2004-2016

年份	可承载力人口/万人	实际人口/万人	承载指数/%
2004	335.86	274.00	81.58
2005	334.23	277.00	82.88
2006	331.01	281.00	84.89
2007	336.53	284.00	84.39
2008	355.82	287.00	80.66
2009	330.61	297.00	89.83
2010	335.05	301.00	89.84
2011	345.54	303.30	87.78
2012	349.48	307.62	88.02
2013	356.22	312.04	87.60
2014	361.76	317.55	87.78
2015	372.08	323.97	87.07
2016	374.86	331.00	88.30

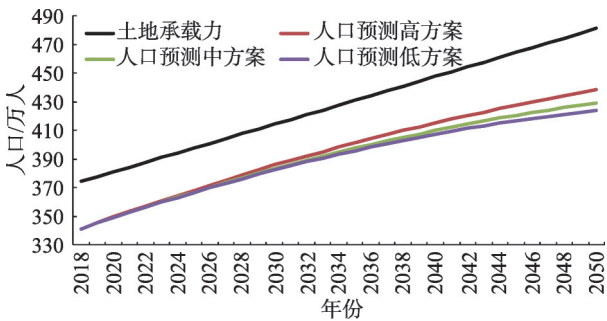


图5 2018-2050年西藏自治区人口承载预测

Fig. 5 Population-carrying forecast of Tibet during 2018-2050

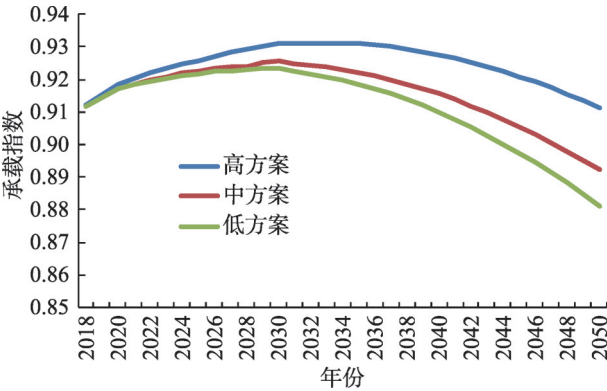


图6 2018-2050年西藏自治区土地承载指数预测

Fig. 6 Prediction of land carrying capacity index of Tibet during 2018-2050

主，青稞在西藏城镇居民食物消费的比例不到10%^[23]。

因此，除人口总量会引起土地承载指数的变化外，人口的结构性变化、消费需求升级等也会对农牧业生产的承载状态产生影响。特别是城乡居民的消费结构变化会引起不同种类农产品承载状态的变化。未来，西藏自治区居民对本地生产的青稞消费将会减少，对本地不能生产的大米消费数量将会提高，对蔬菜、水产品及干鲜瓜果类消费量也将会逐步提高。

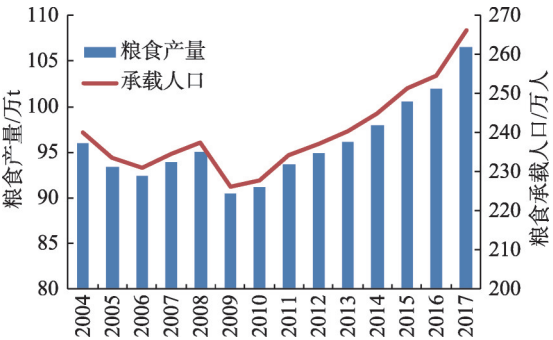


图7 2004-2017年西藏自治区粮食产量及承载人口
Fig. 7 Grain production and carrying capacity of Tibet during 2004-2017

表4 2015-2017年西藏自治区主要食物消费量与生产量
Table 4 Main food consumption and production of Tibet during 2015-2017 (万t)

类别	消费量			生产量			盈余量		
	2015年	2016年	2017年	2015年	2016年	2017年	2015年	2016年	2017年
粮食	89.71	93.77	95.92	100.60	101.91	106.50	10.89	8.14	10.58
肉类	12.67	13.62	10.05	28.00	27.72	32.10	15.33	14.10	22.05
猪肉	2.18	3.08	2.56	1.50	1.54	1.10	-0.68	-1.54	-1.46
牛肉	8.54	7.20	4.67	16.50	16.18	22.50	7.96	8.98	17.83
羊肉	1.89	3.17	2.65	8.20	8.23	6.40	6.31	5.06	3.75
蛋类	0.99	0.97	1.23	0.50	0.48	0.50	-0.49	-0.49	-0.73
奶类	6.94	6.76	7.58	35.00	34.70	42.00	28.06	27.94	34.42
水果	1.96	2.26	3.40	1.50	1.53	0.20	-0.46	-0.73	-3.20

表5 2015-2017年西藏自治区城乡居民人均食物消费量
Table 5 Food consumption per capita of urban and rural residents of Tibet during 2015-2017 (kg)

	年份	粮食(原粮)	蔬菜	猪肉	牛肉	羊肉	禽类	水产品	蛋类	奶类	干鲜瓜果类
城镇	2015	157.21	61.99	10.09	16.36	3.91	3.88	1.95	6.99	15.91	19.45
	2016	148.66	62.99	9.92	27.98	3.52	3.41	1.71	6.65	16.71	21.71
	2017	185.27	74.89	14.11	21.48	13.98	5.10	2.97	8.49	21.24	32.71
农村	2015	313.26	13.38	5.71	29.40	6.43	0.03	0	1.86	23.09	1.98
	2016	326.48	16.02	9.10	19.76	11.52	0.05	0	1.74	21.61	2.06
	2017	317.96	17.67	5.39	11.29	5.80	0.09	0	2.02	22.91	2.46
城乡差	2015	-156.05	48.61	4.37	-13.04	-2.53	3.85	1.95	5.13	-7.19	17.48
	2016	-177.82	46.97	0.82	8.22	-8.00	3.36	1.71	4.91	-4.90	19.65
	2017	-132.68	57.22	8.72	10.20	8.17	5.01	2.97	6.47	-1.67	30.26
	均值	-155.52	50.93	4.64	1.79	-0.78	4.07	2.21	5.50	-4.59	22.46

西藏自治区特殊的自然环境决定了其农牧业生产具有明显的空间分布特征，北部和西部地区由于海拔高度和气候的限制，只能发展牧业；南部和东南部的部分地区，特别是“一江两河”地区的一些区域，其地貌和气候条件能够满足一定的种植业发展。但是

与全国其他地方相比较,仍处于劣势,是最不适宜发展种植业的区域^[24]。并且这些能够发展种植业的地区仍然是典型的“农牧交错区”,需要根据西藏自治区的食物供需形势和自然条件优化调整土地利用和农牧业发展策略。一方面,选择在“一江两河”流域、自然条件适宜、距离城市和村镇等聚落距离较近、靠近消费市场的地区扩大蔬菜和瓜果种植面积,满足城乡居民食物消费升级的需求;另一方面,从利用水热资源的角度来看,种植饲草比种植粮食作物更能够充分利用区域的水热资源,饲草也比粮食作物更加适应西藏自治区干旱贫瘠的土地;从生产效益上看,种植饲草也好于种植粮食作物,投入产出比也更高;从生态效益上看,种植饲草也要好于种植粮食作物。鉴于目前西藏自治区已出现粮食过剩,且在全国不具备发展粮食生产的比较优势,应该优化农牧业发展结构,逐步减少粮食种植面积,支持扩大人工饲草种植,积极发展草牧业经济。

3 结论

与多数学者预测西藏自治区人口属于超载状态的结论相比,本文基于食物膳食营养成分开展的土地承载力评价认为,西藏自治区人口并不超载,处于平衡有余状态。从实际情况看,2017年西藏自治区常住人口达到337万人,超过了尚佳莉^[13]预测的2025年330万的人口总量。但西藏自治区不仅没有出现粮食缺口,反而约有10万t的粮食盈余,表明基于膳食营养成分开展的土地承载力评价更加切合现实情况。因此,需要全面认识土地的食物生产功能,突破以粮为主的传统土地承载力评价方法,充分考虑城乡居民膳食营养需求变化和土地非粮化的现实情况。

基于上述认识,根据西藏自治区的土地承载力评价结果、城乡居民食物消费需求变化以及土地自然条件,本文提出调整农牧业发展结构、优化土地利用等建议。未来,还需要根据城镇化水平,以及城镇人口的民族构成、消费结构等,深化基于膳食营养成分的土地承载力评价,为西藏自治区的土地利用、农业发展、食物供应体系建设等提出更有针对性的对策建议。

参考文献(References):

- [1] RASK K J, RASK N. Economic development and food production-consumption balance: A growing global challenge. *Food Policy*, 2010, 36(2): 186-196.
- [2] MALTHUS T R. *An Essay on the Principle of Population* (1st ed. of 1798). London: Pickering, 1986.
- [3] SEIDL I, TISDELL C A. Carrying capacity reconsidered: From Malthus' population theory to cultural carrying capacity. *Ecological Economics*, 1999, 31(3): 395-408.
- [4] 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.]
- [5] 封志明. 土地承载力研究的起源与发展. *资源科学*, 1993, 15(6): 74-79. [FENG Z M. The origin and development of land carrying capacity. *Resources Science*, 1993, 15(6): 74-79.]
- [6] 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.]
- [7] CARLSON C E. Are we on the road to survival?. *Journal of the American Planning Association*, 1950, 16(2): 58.
- [8] ALLAN W. *The African Husbandman*. Münster: Lit Verlag, 1965.
- [9] 陈百明. 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. [CHEN B M. *Study on the*

- Productive Capacity and Population Carrying Capacity of Land Resources in China. Beijing: China Renmin University Press, 1991.]
- [10] SMIL V. Who will feed China?. *China Quarterly*, 1995, 143(143): 801-813.
- [11] 成升魁, 白军飞, 金钟浩, 等. 笔谈: 食物浪费. *自然资源学报*, 2017, 32(4): 529-538. [CHENG S K, BAI J F, JIN Z H, et al. Reducing food loss and food waste: Some personal reflections. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(4): 529-538.]
- [12] HUI C. Carrying capacity of the environment. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*, 2015, 3: 155-160.
- [13] 尚佳莉. 西藏土地资源承载能力研究. *西藏研究*, 1989, 9(2): 5-15. [SHANG J L. The land carrying capacity research of the Tibet. *Tibetan Studies*, 1989, 9(2): 5-15.]
- [14] 刘燕华. 西藏雅鲁藏布江中游地区土地系统. 北京: 科学出版社, 1992. [LIU Y H. Land System in Mid-reach Area of Yarlung Zangbo River in Tibet. Beijing: Science Press, 1992.]
- [15] 曾加芹. 1985-2005年西藏资源人口承载力探析. *西南农业学报*, 2007, 20(4): 843-849. [ZENG J Q. Prospect on the population carrying capacity of resource in Tibet from 1985 to 2005. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2007, 20(4): 843-849.]
- [16] 樊杰, 钟林生, 李建平, 等. 建设第三极国家公园群是西藏落实主体功能区大战略、走绿色发展之路的科学抉择. *中国科学院院刊*, 2017, 32(9): 932-944. [FAN J, ZHONG L S, LI J P, et al. Third pole national park group construction is scientific choice for implementing strategy of major function zoning and green development in Tibet, China. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2017, 32(9): 932-944.]
- [17] 姚檀栋, 余武生, 杨威, 等. 第三极冰川变化与地球系统过程. *科学观察*, 2016, 11(6): 55-57. [YAO T D, YU W S, YANG W, et al. Third-pole glacial change and earth system processes. *Science Focus*, 2016, 11(6): 55-57.]
- [18] 姚檀栋, 陈发虎, 崔鹏, 等. 从青藏高原到第三极和泛第三极. *中国科学院院刊*, 2017, 32(9): 924-931. [YAO T D, CHEN F H, CUI P, et al. From the Tibetan Plateau to the third and third poles. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2017, 32(9): 924-931.]
- [19] 习近平. 习近平致中国科学院青藏高原综合科学考察研究队的贺信. *中国科学院院刊*, 2017, 32(9): 914. [XI J P. Congratulatory letter from Xi Jinping to the Research Group of the Qinghai-Tibet Plateau Comprehensive Scientific Research Institute of the Chinese Academy of Sciences. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2017, 32(9): 914.]
- [20] 许世卫. 中国食物发展与区域比较研究. 北京: 中国农业科学院, 2001. [XU S W. The study on the food development and regional comparison in China. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2001.]
- [21] 张效忠. 我国西藏自治区油菜籽的调查. *中国油脂*, 2003, 28(3): 5-6. [ZHANG X Z. Investigation of rapeseed of the Tibet. *China Oils and Fats*, 2003, 28(3): 5-6.]
- [22] 高利伟, 徐增让, 成升魁, 等. 西藏粮食安全状况及主要粮食供需关系研究. *自然资源学报*, 2017, 32(6): 951-960. [GAO L W, XU Z R, CHENG S K, et al. Food security situation and major grain supply and demand in Tibetan region. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(6): 951-960.]
- [23] 高利伟, 徐增让, 成升魁, 等. 农村居民食物消费结构对耕地需求的影响: 以西藏“一江两河”流域为例. *自然资源学报*, 2017, 32(1): 12-25. [GAO L W, XU Z R, CHENG S K, et al. Arable land requirements related food consumption pattern: A case study in Lhasa, Xigaze and Shannan region of rural Tibet. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(1): 12-25.]
- [24] 赵贯锋, 余成群, 苗彦军, 等. 西藏高原特色的草业科学技术体系构建与实践. *西藏科技*, 2015, 22(3): 17-21. [ZHAO G F, YU C Q, MIAO Y J, et al. Construction and practice of grassland science and technology system with characteristics of Tibetan Plateau. *Tibet Science and Technology*, 2015, 22(3): 17-21.]

Evaluation on land carrying capacity of Tibet based on dietary nutrients: Present and prospects

HAO Qing^{1,2,3,4}, FENG Zhi-ming^{1,3,4}, YANG Yan-zhao^{1,3,4}, ZHU He¹

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. Chinese Academy of Natural Resource Economics, Beijing 101149, China; 3. Key Laboratory of Carrying Capacity Assessment for Resource and Environment, MNR, Beijing 101149, China; 4. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Land carrying capacity is a fundamental representation of relationship between human and land. Forecasting and evaluating land carrying capacity will bring benefits to agricultural spatial governance, population strategies and agriculture policy-making. Taking the Tibet Autonomous Region as an example, this study evaluates and predicts the actual land carrying capacity and its changes based on the daily calorie, protein and fat of regular human needs. Through analysis, it is found that: (1) The land carrying index of Tibet remained between 80.66% and 89.84% from 2004 to 2016 in a tight balance level. (2) In the future, the land carrying index of Tibet will continue to remain above 87.5%, with a trend of rising first and then falling, and then reaching a peak around 2032, with the proportion of more than 92.56%; it will continue to decline thereafter, with the proportion of less than 90% in 2050. Therefore, based on the evaluation of land carrying capacity and according to the changes in future food consumption and the natural conditions of this region, there is no need to increase the intensity of agricultural and livestock development, but it is matter to reduce the occupation of cultivated land and grassland, such as urban and rural construction, and maintain the current total production space of both agriculture and animal husbandry. Some suggestions are also proposed, including gradually increasing investment in science and technology of agricultural and livestock products to improve the production efficiency, implementing ecological restoration and land remediation. It is necessary to optimize agricultural production structure of Tibet in accordance with these changes in residents' food consumption structure, which includes moderately reducing the area planted with grain, expanding the cultivation of vegetables, fruits and fruits in suitable areas, and developing the economy of grassland and animal husbandry.

Keywords: carrying capacity; spatial governance; population; dietary nutrition; Tibet