

DOI: 10.20103/j.stxb.202302160261

段健, 王维婷, 徐勇, 汝旻星. 近 30 年来青藏高原粮食供需平衡格局演变及其驱动因素. 生态学报, 2024, 44(22): 10411-10426.

Duan J, Wang W T, Xu Y, Ru Y X. Evolution and driving factors of grain supply and demand balance in the Qinghai-Tibet Plateau in recent 30 years. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(22): 10411-10426.

近 30 年来青藏高原粮食供需平衡格局演变及其驱动因素

段 健¹, 王维婷¹, 徐 勇^{2,3,*}, 汝旻星¹

1 浙江师范大学 地理与环境科学学院, 金华 321000

2 中国科学院地理科学与资源研究所区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 北京 100101

3 中国科学院大学 资源与环境学院, 北京 100049

摘要: 科学评价青藏高原粮食供需平衡时空格局演化及其影响因素, 是保障青藏高原粮食安全和农业可持续发展的基本前提, 对巩固边疆、促进少数民族地区经济发展和社会稳定具有重要的战略意义。综合采用消费统计法、产销平衡指数、空间趋势面分析和 OPGD 模型, 探究 1990—2020 年青藏高原粮食供需平衡格局时空变化过程及其影响因素, 探讨提高青藏高原粮食安全和农业可持续发展的政策建议。研究结果显示: 1990—2020 年青藏高原粮食自给率由 106.53% 提高至 120.21%, 区域整体粮食供求关系由紧平衡向供需平衡过渡, 但粮食供需格局区域差异显著。粮食短缺和严重短缺类型区交叉分布于藏北高原、青海高原、甘南高原、柴达木盆地西部及川藏高山峡谷区等地区; 青藏高原粮食产量空间分异主要受自然条件地域分异、要素投入差异和经济发展差距影响, 且经济因素与要素投入具有协同增强效果; 收入水平、食物可达性、食物消费结构、人口结构对青藏高原粮食消费空间分异的解释力依次减弱。建议从粮食产销合作、农牧合作、种植结构调整、完善内外交通基础设施和地方粮食储备等方面提高青藏高原粮食安全水平。

关键词: 粮食供需平衡; 粮食安全; 地理探测器; 青藏高原; 空间格局

Evolution and driving factors of grain supply and demand balance in the Qinghai-Tibet Plateau in recent 30 years

DUAN Jian¹, WANG Weiting¹, XU Yong^{2,3,*}, RU Yixing¹

1 College of Geography and Environment Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua 321000, China

2 Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

3 College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Evaluating the spatiotemporal evolution of grain supply-demand balance and its influencing factors on the Qinghai-Tibet Plateau is crucial for ensuring food security and sustainable agricultural development. It plays a strategic role in strengthening border areas, promoting economic growth in ethnic minority regions, and ensuring social stability. This study utilizes a comprehensive approach, combining consumption statistics, production-sales balance index, spatial trend surface analysis, and the OPGD model, to investigate the spatiotemporal changes in the grain supply-demand balance on the Qinghai-Tibet Plateau from 1990 to 2020, as well as the underlying factors driving these changes. Additionally, the study aims to provide policy recommendations for enhancing food security and facilitating sustainable agricultural development in

基金项目: 第二次青藏高原综合科学考察研究(2019QZKK0406); 国家自然科学基金项目(42001128)

收稿日期: 2023-02-16; **网络出版日期:** 2024-08-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xuy@igsnrr.ac.cn

the Qinghai-Tibet Plateau. The research results reveal that the self-sufficiency rate of grain on the Qinghai-Tibet Plateau increased from 106.53% to 120.21% between 1990 and 2020. The regional grain supply-demand relationship shifted from a state of tight balance to balanced supply and demand overall. However, notable regional disparities exist in the grain supply-demand pattern. The intersection of grain shortages and severe shortages occurs in regions such as the northern Tibetan Plateau, Qinghai Plateau, Gannan Plateau, western part of the Qaidam Basin, and the Sichuan-Tibet alpine valley areas. Areas with grain surplus and abundance are concentrated in the Yarlung Zangbo River and its two tributaries in southern Tibet, the Hehuang Valley, the river valleys in the high mountain canyons of the Sichuan-Tibet region, and the oasis agricultural areas in the Pamir-Kunlun Mountains region. These areas are predominantly agricultural counties. The critical equilibrium zone is distributed in a belt-like pattern along the northern and southern border areas of the Qinghai-Tibet Plateau. The spatial variation in grain production on the Qinghai-Tibet Plateau is mainly influenced by regional disparities in natural conditions, differences in input factors, and economic development gaps. Furthermore, there is a synergistic strengthening effect between economic factors and input factors. Labor and capital have consistently been the two most critical production factors influencing grain production on the Qinghai-Tibet Plateau. The impact of fertilizer input intensity has decreased, while the influence of agricultural technology investment has significantly risen. The explanatory power of income level, food accessibility, food consumption structure, and population structure on the spatial differentiation of grain consumption on the Qinghai-Tibet Plateau weakened in sequence. Recommendations include improving the food security level of the Qinghai-Tibet Plateau through grain production and sales cooperation, agriculture and animal husbandry cooperation, adjustment of planting structures, enhancement of internal and external transportation infrastructure, and local grain reserves.

Key Words: grain supply and demand balance; food security; geographical detector; the Qinghai-Tibet Plateau; spatial pattern

由于独特的地理位置、脆弱的生态环境、特殊的民族构成和饮食习惯等,青藏高原粮食问题一直是学术界持续关注的热点之一。20 世纪 80 年代,第一次青藏科考主要围绕光热、水分等生态气候资源特征及其对农作物分布和产量的影响,开展青藏高原农业地域分异和作物区划研究^[1-2],为青藏高原自然资源利用改造和发展高原特色农业奠定了基础。90 年代初期至 20 世纪末,为解决西藏和青海粮食短缺问题,围绕西藏“一江两河”地区和青海东部农业开发潜力、开发模式、步骤方案等展开大量论证^[3-7],有力支撑了青藏高原农业综合开发国家战略。进入 21 世纪,随着全球气候变化和人类活动加剧,研究议题转向关注土地利用/土地覆被变化^[8]、气候变化对青藏高原粮食产量/单产^[9-10]、耕地垦殖率^[11]、农作物种植结构^[12]的影响以及区域粮食供需平衡格局与食物安全保障等研究^[13-20]。

粮食安全是一个层级分明的地理空间现象,国家尺度的粮食安全定量评估方法从单一的供给指标向多维度、综合性、系统性发展;相对而言,小尺度的粮食安全主要表现供需矛盾,一般采用人均粮食占有量、粮食自给率或粮食缺口率等指标进行衡量^[21-22]。然而,由于目前统计上没有准确的粮食消费数据,已有研究多采用定额统计法、膳食热量当量法和消费统计法对粮食消费量进行估算,或采用住户调查法获取食物消费数据,研究结果分歧较大。参考人均营养安全粮食消费需求标准(400kg/人),采用定额统计法估算当年粮食消费总量,青藏高原本地粮食供不应求^[4,14],1990 年内地粮食供应量占西藏商品粮食供应总量的 74%^[5],2010 年西藏和青海的粮食自给率只有 62.52%^[14];采用统计数据核算,2010—2016 年青藏高原粮食消费总量 300 万 t 以上,粮食自给率达 173%^[17];参考《中国居民膳食宝塔》推荐的热量和营养摄入标准,采用膳食热量当量法估算,2006—2016 年西藏食物热量供求均处于平衡有余状态,热量自给率为 120%左右^[19];基于农户层面的食物消费调查,2010 年西藏粮食自给率为 95.81%^[13];采用消费统计法通过计算直接消费、饲料消费、工业消费、留种及运输储存过程的损耗推求社会粮食消费总量,2014—2016 年西藏平均粮食自给率为 70.58%^[15],不能

实现粮食供需平衡。

显然,定额统计法忽略了粮食消费结构的地区差异和城乡差异,人均 400kg 的粮食安全标准可能并不适用于草地畜牧业较发达的青藏高原地区^[14];单纯的粮食消费统计数据仅是直接粮食消费(口粮),并未将饲料粮、工业用粮、种子粮等间接粮食消耗纳入统计范围^[17],导致粮食消费量数值偏低;膳食热量当量法参考的是《中国居民膳食宝塔》推荐的热量标准,未考虑青藏高原处于高寒地区,维持人体基础代谢可能需要更多热量和营养摄入^[13];农户调查法受制于抽样方式和样本数量得到的结果也相差较大^[22-23],且住户调查数据连续性较差,不利于长时间序列分析。综合来看,消费统计法估算粮食消费相对较全面、客观,但已有采用该方法的研究^[15]仅讨论西藏粮食供求关系,青藏高原全域(包括西藏、青海以及四川、云南、宁夏、新疆的部分地区)粮食供需格局如何尚不清楚。另一方面,已有研究虽然指出青藏高原粮食供需格局区域差异较大^[4,7,14-17],但较少解释其原因,粮食生产和消费的空间分异的影响因素有待进一步探究。

本文基于 1990—2020 年青藏高原全域 214 个县级单元粮食产量数据和食物消费数据,综合运用消费统计法、产销平衡指数和空间趋势面分析方法探究 30a 来青藏高原粮食供需平衡格局时空变化过程,并利用 R 语言和基于最优参数的地理探测器模型分析自然条件、要素投入、经济发展、人口构成、收入水平、消费结构及食物可达性对粮食生产和消费空间分异的影响,以期为指导青藏高原粮食生产和资源要素空间配置、农牧业耦合发展以及生态保护与修复等提供重要的理论支撑。

1 研究区概况

青藏高原介于北纬 26°00′—39°47′,东经 73°19′—104°47′之间,东西长约 2800km,南北宽约 300—1500km,南起喜马拉雅山脉南缘,北至昆仑山、阿尔金山脉和祁连山北缘,西部为帕米尔高原和喀喇昆仑山脉,东及东北部与秦岭山脉西段和黄土高原相接,全区面积约为 258 万 km²,行政区范围包括西藏和青海的全部以及新疆、四川、甘肃、云南的部分地区(图 1)。青藏高原是我国重要的生态安全屏障,平均海拔超过 4000m,地形起伏较大,可划分为祁连山区、河湟谷地、甘南高原、川藏高山峡谷区、青海高原、柴达木盆地、帕米尔昆仑山区、藏北高原、藏南谷地

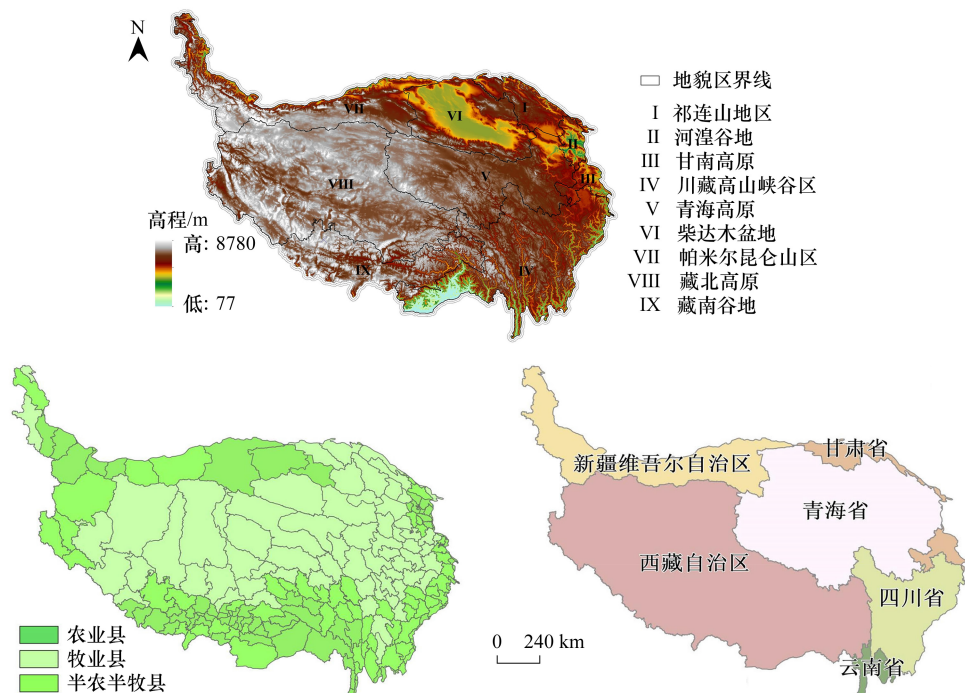


图 1 研究区位置与范围

Fig.1 Location and scope of study area

米尔昆仑山区、藏北高原、藏南谷地 9 个地貌单元(图 1)^[24-25]。气候特征为“高、寒、旱”,日照时间长,太阳辐射强,气候寒冷干燥、积温少,多干旱、雪灾等气象灾害。独特的地理环境和资源条件决定了青藏高原地表资源利用的主体方式为农牧业,农牧业在青藏高原经济发展中具有举足轻重的地位。2020 年全区农牧民约为 1489.20 万人,占常住人口的 56.69%,第一产业生产总值约 1044.88 亿元,占 GDP 总量的 13.79%,粮食产量约为 872.77 万 t,牲畜产量出栏数约为 1694.81 万头(只)。根据农业生产方式地域差异,可以分为农业县、牧业县和半农半牧业县(图 1),其中农业县仅占 42.06%,主要分布于水热条件相对优越的河谷地带,主要农作物有青稞、小麦、玉米、豌豆、苜蓿等。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源及处理

采用 1990 年、2000 年、2010 年和 2020 年 4 个时间断面的人口、粮食产量和食物消费数据分析青藏高原粮食供需平衡格局演化。农业县、牧业县和半农半牧县名录来自《中国民族统计年鉴》。各县城乡常住人口、粮食产量和城乡人均食品消费数据主要来源于西藏、青海、四川、云南、甘肃、新疆各地统计年鉴。采用 1990 年和 2020 年 2 期截面数据探究驱动青藏高原粮食生产和消费格局分异及变化的主要因素。其中,各县耕地面积、高程和坡度数据提取自 1990 年和 2020 年土地利用遥感监测数据,土地利用数据来源于中国科学院资源环境科学与数据中心(<https://www.resdc.cn/>),分辨率为 30m,首先将土地利用栅格数据转换为矢量数据,再通过叠加耕地图层和行政区图得到带行政区属性的耕地斑块矢量数据,然后按县级单元分区汇总得到各县耕地总面积、平均高程和平均坡度值;县级中心与粮食生产中心的最短距离数据通过 ArcGIS 点距离分析工具获取,各县交通优势度指标提取自交通道路矢量数据,首先叠加交通道路图层和行政区图得到带行政区属性的交通矢量数据,再利用交通优势度模型^[26]计算各县交通优势度,缺失 1990 年交通道路数据,用 1995 年数据替代,1995 年和 2020 年交通道路矢量数据来自开放街道地图(<https://www.openstreetmap.org/>),包括铁路、高速公路、省道、县道、乡道和其他道路 6 个等级类型;农业科技人员占比数据来自《中国科技统计年鉴》,少数民族比重和外来人口比重数据来自 1990 年和 2020 年人口普查数据,其他社会经济数据来自各地统计年鉴,对于部分缺失数据用空间插值法补齐。

2.2 研究方法

2.2.1 粮食生产波动系数

粮食生产波动系数是指年实际粮食产量偏离粮食长期趋势产量的比值,其比值的波动幅度大小一定程度反映粮食生产的稳定性。

$$f = (y_t - y'_t) / y'_t \quad (1)$$

式中, f 表示粮食波动指数; y_t 表示 t 年的实际粮食产量(万 t); y'_t 表示 t 年的趋势粮食产量(万 t); y'_t 趋势粮食产量通过时间序列滑动平均法计算得到, f 的合理的取值区间为 $[-2, 2]$ ^[14], f 的绝对值大于 2,则表示粮食生产不稳定; f 的绝对值小于 2 表示粮食生产较稳定。

2.2.2 粮食产销平衡指数

粮食供需平衡是指粮食总供给和总需求的一种平衡状态,将其定义为居民粮食消费量与当地的粮食产量相当,其数学表达式为:

$$F_t = Y_t - D_t \quad (2)$$

式中, F_t 表示研究区 t 年粮食产销平衡指数, Y_t 表示研究区 t 年粮食总产量/万 t,由统计数据直接获取; D_t 表示研究区 t 年居民粮食消费总量/万 t,采用消费统计法估算。 $F_t = 0$ 表示区域供需基本平衡; F_t 大于 0 表示区域粮食自给有余; F_t 小于 0 表示区域粮食不能自给。进一步采用等距离分级法,根据各地 F_t 大小将其粮食供需平衡状态划分为严重缺粮、粮食短缺、临界平衡、粮食盈余、粮食富余五种等级类型(表 1)。

表 1 粮食供需平衡分级类型

Table 1 Grain supply and demand balance classification type

等级类型 Grade type	严重缺粮 Critical shortage	粮食短缺 Shortage	临界平衡 Critical equilibrium	粮食盈余 Surplus of grain	粮食富余 Abundance of grain
F_t 值范围 F_t value range/ 10^4 t	$(-\infty, -1]$	$(-1, 0)$	$[0, 1)$	$[1, 2)$	$[2, +\infty)$

F_t 表示研究区 t 年粮食产销平衡指数

2.2.3 消费统计法

采用消费统计法^[27]通过计算直接粮食消费、饲料消费、工业消费、留种及运输储存过程的损耗推求社会粮食消费总量。直接粮食消费即居民直接食用的粮食,也称为口粮;饲料粮消费指生产畜产品和水产品的耗粮数量,其中畜产品包括猪肉、牛肉、羊肉、禽类、蛋类、奶类;工业用粮指白酒、啤酒等酒类工业的耗粮数量;种子用粮指青稞、小麦、玉米、豆类等的留种量;运输存储损耗粮指粮食在储藏、运输、加工等过程中的损耗,随着储粮技术提高和设备条件改善,该部分比例降低。其中,居民人均直接粮食消费量可以由统计数据直接获得,人均饲料粮消费量和人均工业用粮需通过一定的耗粮系数将畜产品、水产品以及食物加工品转化为原粮数量;种子用粮和运输储备损耗粮参考相应比例进行核算。计算公式为:

$$G_d = P_u \times d_u + P_r \times d_r \quad (3)$$

$$G_c = P_u \times \sum_{i=1}^6 u_i \times a_i + P_r \times \sum_{i=1}^6 R_i \times a_i \quad (4)$$

$$D = G_d + G_c + G_{in} + G_{seed} + G_{loss} \quad (5)$$

式中, D 表示粮食消费总量/万 t; G_d 表示直接粮食消费量/万 t; G_c 表示饲料用粮量/万 t; G_{in} 表示工业用粮量/万 t; G_{seed} 表示预存种子量/万 t; G_{loss} 表示粮食损失量/万 t; P_u 、 P_r 分别表示城镇和乡村人口数量/人; d_u 、 d_r 分别表示城镇居民和乡村居民人均直接粮食食用量(kg/人); U_i 、 R_i 分别表示城镇、乡村居民人均年消费第 i 种食物的量; a_i 表示粮食转化比, $i=1$ (猪肉)、2(牛羊肉)、3(禽肉)、4(蛋类)、5(奶类)、6(水产品)。参考丁锐^[4]等对西藏饲料粮耗粮系数的调查研究,将青藏高原牛羊肉、禽肉、蛋类、奶类、水产品的耗粮系数分别取值 1.5、2.2、1.8、0.3、1.0(表 2);由于青藏高原的猪肉主要来自于外地调运,饲料粮也主要来自区外,故猪肉的耗粮系数取全国平均水平 2.8;参考肖国安^[28]等研究将白酒、啤酒的耗粮系数分别设定为 2.3 和 0.17。种子用粮通常占粮食产量的 5%^[29],种子耗粮系数取值为 0.05%;参考相关研究^[30]粮油储藏技术规范国家标准^[31],将青藏高原 1990 年、2000 年、2010 年、2020 年运输储备损耗比例分别设置为 5.5%、5.0%、4.5%、4.0%。

表 2 饲料粮转化系数

Table 2 Conversion coefficient of feed grain

食物种类 Types	猪肉 Pork	牛羊肉 Beef and mutton	禽肉 Poultry	蛋类 Eggs	奶类 Milk	水产品 Aquatic product
耗粮系数 Coefficient of grain consumption	2.8	1.5	2.2	1.8	0.3	1.0

2.2.4 空间趋势面分析

空间趋势面是用数学模型来模拟反映地理要素在空间上的分布规律和区域性变化趋势的方法。趋势面是实际曲面的一种近似值,即:实际曲面=趋势面+剩余曲面,其受大范围的系统性因素所控制,可以实现青藏高原地区粮食供需空间分异立体化展示。

$$z_i(x_i, y_i) = v_i(x_i, y_i) + \varepsilon_i \quad (6)$$

式中, $z_i(x_i, y_i)$ ($i=1, 2, \dots, n$) 为实际观测值, $\hat{z}_i(x_i, y_i)$ 为拟合值, x_i 、 y_i 为平面空间坐标, ε_i 为残差值。

2.2.5 基于最优参数的地理探测器模型

地理探测器是一种用于探测地理要素的空间分异性及其驱动力的统计学方法,基于最优参数的地理探测器模型(optimal parameters-based geographical detector model, OPGD)^[32],通过筛选解释力 q 值最高的离散化方

案作为地理探测分析的前置条件,以提高地理事物空间分层异质性探测的整体分析能力^[32]。基于 R 语言的“GD”扩展程序包筛选解释力 q 值最大的分类方法和分类级数作为地理探测的最优参数,使用因子探测分析影响因素对青藏高原粮食供需空间分异的解释力大小,使用交互探测识别影响因素是否存在交互作用及作用大小,其作用类型分为非线性减弱、单因子非线性减弱、双因子增强、独立和非线性增强^[32]。解释力 q 值表达式为:

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} \quad (7)$$

式中, q 的值域为 $[0,1]$, q 值越大,说明自变量对因变量的解释力越强,因变量的空间分异性越明显,反之越弱; L 为自变量的分层; N 和 N_h 为全区和层 h 类的样本数; σ^2 和 σ_h^2 为全区和层 h 的方差。

3 青藏高原供需平衡时空格局演化

3.1 青藏高原粮食产量增长趋势

青藏高原粮食产量整体呈增长态势(图 2),1990—2020 年青藏高原粮食产量由 689.02 万 t 增至 872.77 万 t,增长率为 26.67%。根据青藏高原粮食产量和粮食生产波动系数增长变化,可将其粮食生产发展历程划分为三个阶段:①1990—2000 年为波动发展时期。国家“八五”计划制定了西藏“一江两河”中部流域以农业开发为主体的综合开发规划,通过兴修水利、改造中低产田等,青藏高原粮食产量由 1991 年的 689.02 万 t 增至 2000 年的 774.80 万 t,但由于农业生产条件较差,抵御自然灾害的能力较弱,导致粮食产量波动幅度较大。②2001—2016 年为稳步增长期。随着 2001 西部大开发、2006 年西藏土地生态环境综合整治和 2010 年青海东部黄河谷地百万亩土地开发整理等项目的实施,提高了耕地质量和土地利用效率,2016 年青藏高原粮食产量达到历史最高值 952.57 万 t。另一方面,得益于农田水利和防护林网建设,农业现代化水平提升^[5],青藏高原粮食生产稳定性增强,粮食生产波动系数下降。③2017—2020 年为缓慢降低时期。由于气候变化和人类活动加剧,青藏高原生态问题凸显,为保护脆性的生态环境,2017 年青藏高原加强生态退耕力度并开始实施化肥和农药减量化,导致粮食产量出现轻微下降趋势。同时,由于受灾害、政策等因素影响,粮食生产波动系数有所回升。

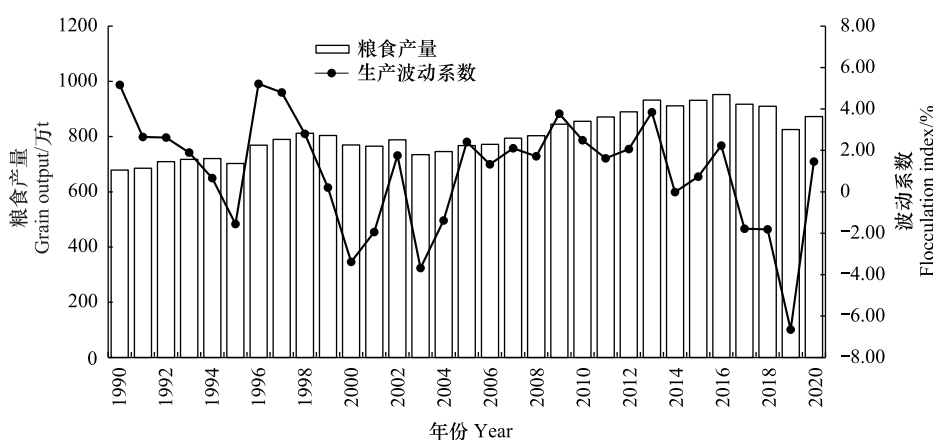


图 2 1990—2020 青藏高原粮食产量及生产波动变化特征

Fig.2 Variation characteristics of grain yield and production fluctuation in the Qinghai-Tibet Plateau from 1990 to 2020

3.2 青藏高原粮食消费结构变化

青藏高原粮食消费由直接粮食消费、饲料用粮、工业用量、种子用粮和运输储备耗粮 5 部分组成,相对于 1990 年,直接粮食消费比重呈下降趋势,饲料用粮和工业用粮比重上升,种子用粮和和运输储备耗粮变化不

大。2020 年青藏高原粮食消费总量达 726.06 万 t,是 1990 年的 1.12 倍。其中,直接粮食消费和饲料用粮是粮食消费的主体,占比分别达 52.91% 和 33.88%,工业用粮食占比仅 2.39%,种子用粮和损耗用粮分别占 6.08% 和 4.81%。1990—2020 年,随着城乡人均口粮消费数量下降,青藏高原粮食直接粮食消费由 455.36 万 t 减少至 384.18 万 t,直接粮食消费占粮食消费总量的比重也由 70.40% 降至 52.91%;随着居民膳食结构转变和营养需求改善,对肉禽蛋奶和水产品的需求增加,青藏高原饲料用粮由 1990 年的 111.8 万 t 持续增至 2020 年的 245.99 万 t,直接拉动了青藏高原粮食消费总量的快速增长,饲料用粮食占粮食消费总量的比重也由原来的 17.29% 增至 33.88%。工业用粮尽管占比重较小,但由于酿酒和食品加工业发展,工业用粮消费数量由 1990 年的 7.26 万 t 增加至 2020 年的 17.35 万 t,增长 1.39 倍(表 3)。

表 3 1990—2020 年青藏高原粮食消费总量与消费结构变化情况表

Table 3 Changes of total grain consumption and consumption structure on the Qinghai-Tibet Plateau from 1990 to 2020

粮食消费类型 Types of grain consumption	年份 Years			
	1990	2000	2010	2020
总消费 Total consumption/ 10^4 t	646.77	666.95	712.96	726.06
直接粮食消费 Grain ration/ 10^4 t	455.36	448.35	429.81	384.18
饲料用粮 Feed grain/ 10^4 t	111.80	131.89	184.49	245.99
工业用粮 Industrial grain/ 10^4 t	7.26	9.22	13.00	17.35
种子用粮 Seed grain/ 10^4 t	34.45	38.74	45.08	43.64
运输储备损耗 Loss of grain/ 10^4 t	37.90	38.74	40.57	34.91

3.3 青藏高原粮食供需平衡格局

3.3.1 粮食供需平衡地区差异

1990—2020 年青藏高原粮食自给率由 106.53% 提高至 120.21%,区域整体粮食供求关系由紧平衡向供需平衡过渡,但粮食供需格局区域差异显著。其中,农业区粮食自给率介于 118.66%—145.25%,粮食供需结构呈现“高-高-余”特点,即粮食产量和消费量均较高,粮食自给有余,余粮数量达 80.78—207.90 万 t。牧业区粮食供需结构表现为“低-低-缺”,即粮食产量和消费量均较低,粮食自给率只有 44.18%—58.98%;农半牧区粮食自给率由 96.91% 增至 121.28%,实现由粮食供不应求到粮食供需基本平衡的转变(表 4)。分省来看,2020 年各省均能实现粮食自给,其中新疆部分和甘肃部分粮食自给率较高,青海、西藏、云南部分和四川部分粮食供需关系仍处于一种紧平衡状态(图 3)。

表 4 1990—2020 年青藏高原及农牧区粮食供需统计表

Table 4 Statistical table of grain supply and demand in the Qinghai-Tibet Plateau from 1990 to 2020

区域 Area	年份 Year	产量/ 10^4 t Production	消费量/ 10^4 t Consumption	盈余/ 10^4 t Surplus	自给率/% Self-sufficiency rate
全区 Qinghai-Tibet Plateau	1990	689.02	646.77	42.25	106.53
	2000	774.80	666.95	107.85	116.17
	2010	901.63	712.96	188.67	126.46
	2020	872.77	726.06	146.71	120.21
农业区 Agricultural area	1990	513.78	433.00	80.78	118.66
	2000	568.32	436.92	131.40	130.08
	2010	667.38	459.48	207.90	145.25
	2020	606.89	460.92	145.97	131.67
牧业区 Animal husbandry area	1990	36.35	70.45	-34.10	51.60
	2000	34.21	77.44	-43.23	44.18
	2010	43.20	88.46	-45.26	48.84
	2020	52.71	89.37	-36.66	58.98
半农半牧区 Semi-agricultural and semi-pastoral area	1990	138.89	143.32	-4.43	96.91
	2000	172.26	152.59	19.67	112.89
	2010	191.06	165.03	26.03	115.77
	2020	213.17	175.77	37.40	121.28

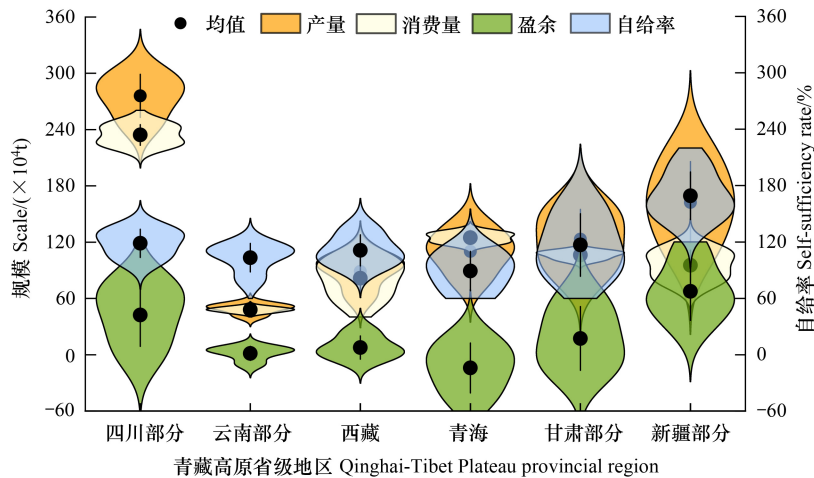


图 3 1990—2020 年青藏高原省粮食供需结构

Fig.3 Statistical map of food supply and demand by province on the Tibetan Plateau, 1990—2020

为进一步探讨青藏高原区域内部粮食供需平衡差异,采用公式 2—5 计算各县粮食供需平衡指数 F_i , 根据各地 F_i 的大小按照表 1 的分类法将其划分为严重缺粮、粮食短缺、临界平衡、粮食盈余、粮食富余五种类型区(表 5)。1990—2020 年,粮食严重短缺县市占全区的 11.68%—18.69%,且数量整体呈上升趋势,空间分布由原来的零星点状分布逐渐向四周扩散,自东向西呈条带状穿插于甘南高原、青海高原和藏北高原腹地;粮食短缺县市数量占全区的 32.24%—43.93%,数量呈下降趋势,但比重仍然最高,空间上与粮食严重短缺类型区交叉分布,除了范围明显缩小以外,位置整体变化不大,主要呈片状分布于藏北高原、青海高原、甘南高原、柴达木盆地西部及川藏高山峡谷区等;临界平衡县市数量占 21.96%—27.10%,且数量呈现下降趋势,呈条带状分布于青藏高原南北边缘区,北部边缘主要位于帕米尔昆仑山区绿洲农业带和祁连山地区河谷地带,南部边缘区主要位于藏南谷地和川藏高山峡谷区西部;粮食盈余和粮食富裕县市数量增加,二者空间分布较为集中且交叉重叠,主要集中于藏南谷地的“一江两河”流域、河湟谷地、川藏高山峡谷区河谷地带以及帕米尔-昆仑山区的绿洲农业区(图 4)。

表 5 1990—2020 年青藏高原粮食供需平衡等级类型县市单元统计

Table 5 Statistics of grain supply and demand balance grades of counties in the Qinghai-Tibet Plateau from 1990 to 2020

等级类型 Grade Type	1990		2000		2010		2020	
	数量/个 Amount	比例/% Percent	数量/个 Amount	比例/% Percent	数量/个 Amount	比例/% Percent	数量/个 Amount	比例/% Percent
严重短缺 Critical shortage	25	11.68	32	14.95	40	18.69	40	18.69
粮食短缺 Shortage	94	43.93	87	40.65	80	37.38	69	32.24
临界平衡 Critical equilibrium	58	27.10	51	23.83	47	21.96	49	22.90
粮食盈余 Surplus of grain	12	5.61	13	6.07	13	6.07	17	7.94
粮食富余 Abundance of grain	25	11.68	31	14.49	34	15.89	39	18.22

3.3.2 粮食供需平衡趋势面分析

根据青藏高原东西向跨度较大特点,使用趋势面方法对 1990—2020 年青藏高原粮食供需在东西-南北方向进行拟合(图 5)。1990—2020 年,青藏高原粮食供需拟合曲线在东西和南北方向上均具有中部低两端高的“微笑曲线”特征,且该特征南北方向上更为突出。具体来说,1990 年,青藏高原粮食供需拟合曲线在东西和南北方向上均较为平缓,中部略微凹进。2000 年,粮食供需拟合曲线相比于 1990 年曲率更大,南北方向上中部凹进较 1990 年更为明显,表明 2000 年青藏高原粮食供需两极分化现象加深,南北两端与青藏高原中部

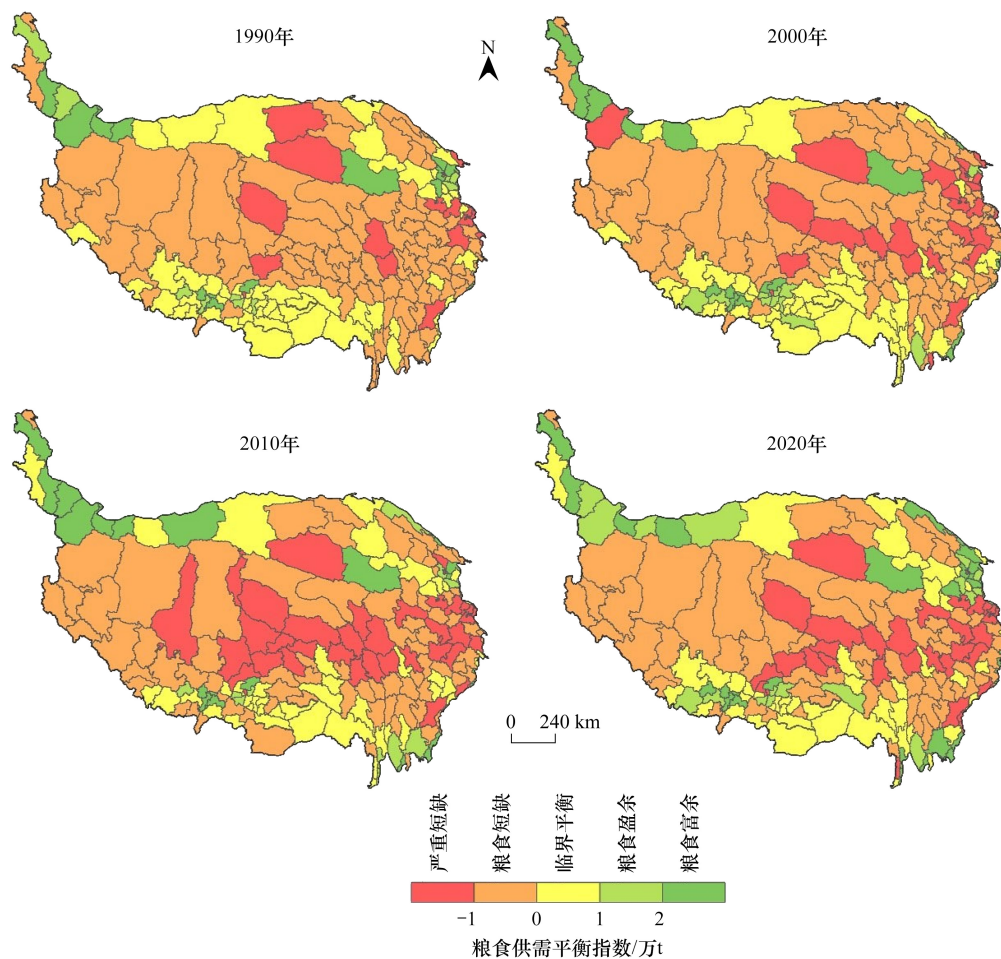


图 4 1990—2020 年青藏高原粮食供需平衡空间格局

Fig.4 Spatial pattern of grain supply and demand balance in the Qinghai-Tibet Plateau from 1990 to 2020

腹地差异增大。2010 年青藏高原粮食供需拟合曲线在南北方向上较 2000 年发生变化,主要体现在拟合曲线北端 z 值明显较高,推测受到青藏高原北部帕米尔-昆仑山区的喀什、和田以及甘肃张掖等县市的影响,该地区在 2000—2010 年间粮食供需平缓趋势向好,粮食短缺县市减少,粮食富余和盈余县市增多,而藏南谷地则相反,粮食短缺县市增加,导致南北方向上粮食供需曲线在两端高中部低的基础上呈现由北向南倾斜的趋势。2020 年,青藏高原粮食供需曲线在南北方向与 2010 年相似,而东西方向上拟合曲线则趋近平缓,青藏高原地区南北高中间低的粮食供需格局日渐显现。总体来说,青藏高原地区粮食供需在空间上始终呈现东西高中部低、南北高中部低的格局,但是由于粮食富余和粮食盈余地区主要分布在青藏高原北部的帕米尔-昆仑山区、河湟谷地、柴达木盆地和南部的藏南谷地,故青藏高原粮食供需两端高中间低的特征南北方向上表现得更为明显。

4 青藏高原粮食供需格局演化影响因素分析

4.1 影响因素指标选取

结合众多学者对中国及青藏高原粮食生产的研究实践^[9,33-34],并考虑指标因素的客观性、科学性与可获得性等原则,从自然条件、要素投入和经济发展水平 3 个方面选取 10 个指标构建青藏高原粮食生产时空分异驱动因素指标体系(表 6):①热量、地形和水源是影响农作物种植的主要限制条件,青藏高原耕地适宜性与地形高程及坡度具有显著的相关性,在 1000—6000m 高海拔地区气温与地形高程之间呈显著的线性关系,用耕

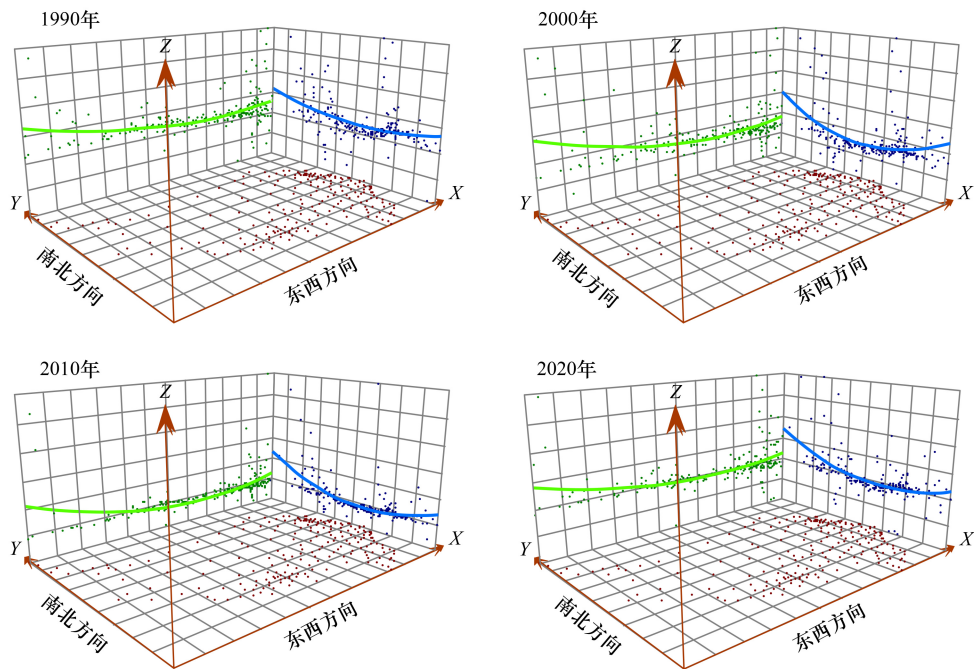


图 5 青藏高原部分年份粮食供需的全局空间趋势面拟合图

Fig.5 Global spatial trend surface fitting map of grain supply and demand in some years of the Qinghai-Tibet Plateau

地高程近似替代气温参数作为衡量各地区农作物热量差异的特征值^[28],用耕地平均坡度指标反映地形条件^[28],用耕地有效灌溉率反映水源条件;②劳动、土地、资本和科技投入作是目前应用较为广泛的 4 种农业投入要素^[35],其中劳动投入用农林牧渔业从业人员表示,资本投入用农业机械总动力和化肥投入强度表示,土地投入用耕地面积表示,科技投入用农业科技人员占比表示;③地区经济实力的提高有助于增加农业固定资产投资和生产要素的供给能力^[36],选取地区经济生产总值和人均地区经济生产总值表征经济发展水平。

表 6 青藏高原粮食生产时空分异影响因素指标体系

Table 6 Indicator system of influencing factors for the spatial and temporal differentiation of grain production on the Qinghai-Tibet Plateau				
要素层 Element layer	变量层 Variable layer	指标层 Indicator layer	指标解释 Indicator explanation	单位 unit
自然条件 Natural conditions	热量条件	耕地高程 X_1	各县耕地分布平均高程	m
	地形条件	耕地坡度 X_2	各县耕地分布平均坡度	(°)
	水源条件	耕地有效灌溉率 X_3	各县有效灌溉面积占耕地总面积的比例	%
要素投入 Element inputs	劳动力要素	农林牧副渔劳动力 X_4	直接参加农林牧副渔生产活动的劳动力	人
	土地要素	耕地面积 X_5	各县耕地面积	km
	资本要素	农业机械总动力 X_6	农业机械动力的额定功率之和	万 kWh
		化肥施用量强度 X_7	粮食单位面积化肥施用量	kg/km ²
	科技要素	农业科技人员占比 X_8	企事业单位农业科技人员占总科技人员的比例	%
经济因素 Economics	经济规模	地区生产总值 X_9	生产活动最终成果	元
	发展水平	人均地区生产总值 X_{10}	人均生产活动最终成果	元

参考前人对中国和青藏高原粮食消费的研究和调查^[37—39],从人口构成、收入水平、消费结构和食物可达性 4 个方面选取 9 个指标构建青藏高原粮食消费时空分异驱动因素指标体系(表 7):①用少数民族比重、城镇化率和外来人口比例表征人口的民族构成、城乡结构和户籍结构特征;②用居民可支配收入和人均社会消费零售额表征居民的收入水平和消费水平,收入是消费的基础,居民收入水平决定消费增长的快慢,社会消费

品零售额反映一定时期内居民物质产品消费的价值总量及其商品购买力的实现程度;③食物消费结构总体上可以分为植物性食物消费和动物性食物消费两大类,其中口粮部分又分为粗粮和细粮,用动植物食物消费比和粗细粮消费比衡量食物消费结构的差异;④距离市场的远近和交通基础设施水平影响外部食物的进入性和便捷性,选取各县级中心与粮食生产中心的最短距离和交通优势度^[26]指标刻画食物的可达性差异。

表 7 青藏高原粮食消费时空分异影响因素指标体系

Table 7 Indicator system of influencing factors for the spatial and temporal differentiation of grain consumption on the Qinghai-Tibet Plateau

要素层 Element layer	变量层 Variable layer	指标层 Indicator layer	指标解释 Indicator explanation	单位 Unit
人口构成 Population structure	民族构成	少数民族比重 X_{11}	少数民族人口数量占总人口的比重	%
	户籍结构	外来人口比例 X_{12}	外省人口占总人口的比重	%
	城乡结构	城镇化率 X_{13}	城镇人口占常住人口的比重	%
收入水平 Income level	收入水平	居民可支配收入 X_{14}	居民可自由支配的收入	元
消费结构 Pattern of consumption	消费水平	人均社会消费零售额 X_{15}	人均社会零售和餐饮收入的总和	万元
	食物结构	动植物食物消费比 X_{16}	植物性食物与动物性食物消费比	%
	口粮结构	粗细粮消费比 X_{17}	粗粮消费量与细粮食消费比	%
食物可达性 Food accessibility	市场距离	市场距离 X_{18}	各县级中心与粮食生产中心的最短距离	km
	交通优势度	交通优势度 X_{19}	路网密度及铁路、高速公路等干线的影响力 ^[26]	

4.2 粮食生产空间分异影响因素解析

自然条件。自然条件对粮食生产的解释力较低且整体呈减弱趋势,其中地形坡度下降最明显。1990 年地形坡度是粮食产量空间分异解释力最强的自然因子,其次是高程和有效灌溉率。随着西藏、青海等地土地综合整治对坡耕地的持续改造,青藏高原耕地逐渐向宽阔河谷地带集中,地形坡度对粮食生产的限制作用下降,2020 年地形坡度因子解释力显著下降且未通过显著性检验。与地形条件相比,人类对热量条件的改造难度相对较大,2020 年耕地高程对粮食产量的解释力为 0.1699,在所有指标中排第 5 名,可见热量仍是影响青藏高原粮食生产空间分异的基础条件。

要素投入。要素投入的平均解释力整体高于经济因素和自然条件。1990—2020 年劳动力和资本一直是影响青藏高原粮食生产最重要的 2 种生产要素,化肥投入的解释力下降,科技投入解释力显著上升。青藏高原大部分耕地处于高原旱寒环境,生物资源生长缓慢,土壤有机质积累较少,20 世纪 90 年代化肥的引进和推广对青稞产量的稳步提升起到了关键性的作用,但随着化肥边际效应递减,2020 年化肥施用强度对产量的解释力显著下降,而农业科技人员占比的解释力大幅度提高,表明农业科技投入对粮食生产的驱动力不断加强。

经济因素。经济因素对粮食产量空间分异的平均解释力居中等水平。相对于人均 GDP,地区生产总值的对粮食产量的解释力更强,1990—2020 年地区生产总值对粮食产量的解释力在所有要素中居前 3 位。地区生产总值不仅是地区产业协作、科技文化等综合实力的体现,更重要的是,地区经济增长能直接带动农业固定投资的增加,1990—2020 年西藏、青海、四川、云南、甘肃、新疆农林牧副渔固定资产投资及其占 GDP 的比重均不同幅度增长,其中西藏农林牧副渔固定资产投资占比由原来的 1.23%提高至 9.01%,增幅最大。

综上,单因子探测结果表明要素投入对青藏高原粮食生产至关重要,其次是经济因素,自然条件对粮食生产的影响力下降(表 8)。交互探测结果显示(图 6),各个因素之间具有协同作用。1990 年大多数因子交互作用为双因子增强或非线性增强,其中化肥施用强度与农林牧副渔劳动力的交互值最高,达到 0.9017;耕地面积、农业科技人员占比、有效灌溉率与其他因子交互后解释力增长幅度最大,均提高 200% 以上。2020 年,影响因素交互作用非线性增强型 27 项,占全部的 60%,其中农业科技人员占比与农业机械总动力的交互作用的解释力最强,为 0.6940;双因子增强 11 项,其中地区生产总值与农业机械总动力交互值最高,为 0.6184;有效灌溉率、耕地坡度、化肥施用强度、人均 GDP 与其他因子交互后解释力增幅最高,达 200% 以上。

表 8 青藏高原粮食产量空间分异单因子探测结果

Table 8 Results of single-factor detection of spatial variability in grain yield on the Tibetan Plateau

要素层 Element layer	指标层 Indicator layer	1990		2020	
		因子探测 q 值 q value of factor detector	q 值排序 q value order	因子探测 q 值 q value of factor detector	q 值排序 q value order
自然条件 Natural conditions	耕地高程 X_1	0.2334 ***	6	0.1699 ***	5
	耕地坡度 X_2	0.2441 ***	5	0.0463	9
	耕地有效灌溉率 X_3	0.1778 ***	7	0.0922 ***	7
要素投入 Element inputs	农林牧副渔劳动力 X_4	0.8052 ***	1	0.3754 ***	1
	耕地面积 X_5	0.1171 ***	10	0.0999 ***	6
	农业机械总动力 X_6	0.6443 ***	3	0.3507 ***	2
	化肥施用量强度 X_7	0.3193 ***	4	0.0785 ***	8
	农业科技人员占比 X_8	0.1555 ***	9	0.1735 ***	4
经济因素 Economics	地区生产总值 X_9	0.7228 ***	2	0.3302 ***	3
	人均地区生产总值 X_{10}	0.1697 **	8	0.0239	10

其中,***表示显著性 $P<0.001$,**表示显著性 $P<0.01$,*表示显著性 $P<0.05$

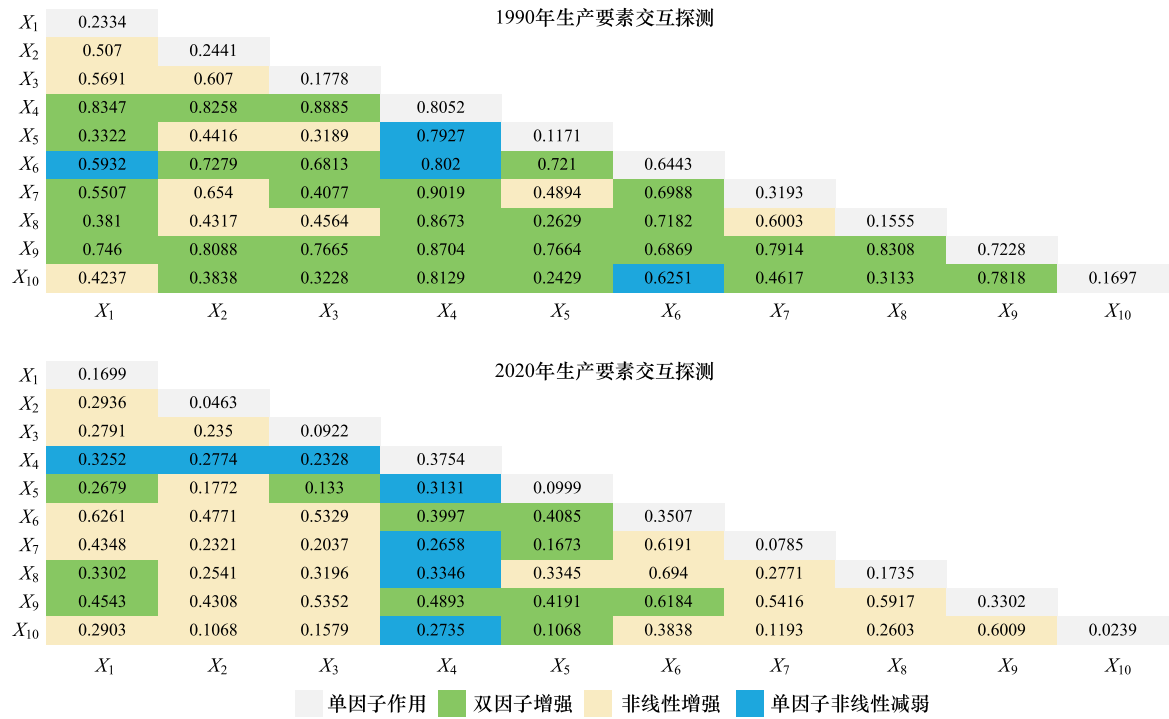


图 6 青藏高原粮食产量空间分异因子交互作用

Fig.6 Spatial differentiation of grain yield in the Tibetan Plateau by factors interaction

X_1 :耕地高程; X_2 :耕地坡度; X_3 :耕地有效灌溉率; X_4 :农林牧副渔劳动力; X_5 :耕地面积; X_6 :农业机械总动力; X_7 :化肥施用量强度; X_8 :农业科技人员占比; X_9 :地区生产总值; X_{10} :人均地区生产总值

4.3 粮食消费空间分异影响因素解析

人口构成影响。人口构成中对粮食空间分异的解释力依次为民族结构、户籍结构和城乡结构。1990 年和 2020 年少数民族比例的解释力在所有因素中居前 2 位。少数民族易受各种食物禁忌、宗教礼仪等传统文化习俗影响且根深蒂固,导致某种食物消费的地域性较强,如藏民不食鱼虾、回族不食猪肉,水产品和猪肉在青藏高原食物消费中所占比例较低,而酥油在藏族宗教活动中的消费数量远超过其食用数量。其次是户籍结构,得益于不断增长的外来旅游、务工、经商等人员,青藏高原外来人口比例较 1990 年大幅度增长,随之而来的是外来生活方式和食物消费文化,一般而言,外地人较多的地区常住人口数量较多,且外来饮食文化与本地

文化的交流越频繁,后者越容易受前者影响或同化,而本地居民比例较高的地区对传统饮食习惯的保留和继承更为完整。此外,城镇化率也是青藏高原粮食消费空间分异的影响因子,但其解释力相对较低。总之,除了民族结构,人口构成对粮食消费空间分异的平均解释力整体不高。

收入和消费水平的影响。收入因素的平均解释力最高,且呈增长趋势。2020 年收入平均解释力为 0.2624,解释力较 1990 年提高了 0.1,其中收入水平对粮食消费的影响呈上升趋势,消费水平的影响下降。收入水平是消费的基础,1990—2020 年居民可支配收入对粮食消费空间分异的解释力呈上升趋势;消费水平与粮食消费量的关系较为复杂,1990 年人们的生活水平较低,恩格尔系数较高,粮食消费与人均社会零售额之间关系密切,随着居民生活条件和物质水平提高,食物消费支出的比重下降,人均社会零售额对粮食消费的影响力下降。

消费结构影响。食物消费结构对粮食消费空间分异的平均解释力为 0.1278,解释力处于中等水平,且整体下降。过去由于交通不便、信息闭塞,青藏高原的传统饮食以动物性食物为主,蔬菜瓜果的比重很小,随着交通基础设施发展和与外界交流增多,居民对大米、面粉、蔬菜和水果等需求上升,饮食结构与内地差异缩小,动植物食物消费比的解释力下降了 2 位。与其他食物相比,口粮在居民食物消费中具有基础地位,消费结构转变速度较缓慢,2020 年粗细粮消费比的解释力比 1990 年有所下降,但其在所有要素中的排名上升了 1 位。

食物可达性影响。食物可达性的平均解释力为 0.1541,仅次于收入因素。青藏高原地处偏远,外地食物粮食平均运距超过 3000km^[30],距离粮食生产中心的远近是影响各地粮食消费重要因素之一,1990 年市场距离对粮食消费的解释力为 0.2529,在所有要素中居第 3 位。随着 2006 年青藏铁路的全线通车和 2013 年墨脱公路的连通,青藏高原与宁夏平原、成都平原等商品粮基地的时间距离缩短、物流成本降低,外地食物进入的可达性和便捷性提高,距离因素的解释力降为 0.1636,但其相对重要性不变,在所有指标中仍居第 3 位。

综上,收入和消费水平、食物可达性、食物消费结构和人口结构是影响青藏高原粮食消费空间分异演化的主要驱动因素,其平均解释力依次减弱,且各个因素具有协同增强作用(表 9)。交互探测结果显示(图 7),1990 年和 2020 年两个时间段驱动因素间交互作用的解释力均高于单因子作用的解释力,各驱动因素间的交互作用类型为非线性增强型和双因子增强型两类,且以非线性增强型为主,表明青藏高原粮食消费空间分异是多因素非线性耦合的结果,任意两驱动因素间交互作用会增加对粮食消费空间分异的解释力^[40]。1990 年消费水平与收入水平、消费结构的交互作用解释力最强,交互值均达 0.7 以上;城镇化率、外来人口比重、交通运输方式与其他因子交互后平均解释力提升幅度最大,交互作用解释力较单因子作用高 150% 以上;2020 年收入因素与其他因子交互解释力最强,而外来人口比例、城镇化率、交通、消费结构与其他因子交互后解释力提升率达 129% 以上。

表 9 青藏高原粮食消费空间分异单因子探测结果

Table 9 Results of one-factor probing of spatial differentiation of food consumption on the Tibetan Plateau

要素层 Element layer	指标层 Indicator layer	1990		2020	
		因子探测 q 值 q value of factor detector	q 值排序 q value order	因子探测 q 值 q value of factor detector	q 值排序 q value order
人口构成 Population structure	少数民族比重 X_{11}	0.3949 ***	1	0.2071 ***	2
	外来人口比例 X_{12}	0.1033 **	8	0.0748 ***	7
	城镇化率 X_{13}	0.0884 ***	9	0.0747 **	8
收入水平 Income level	居民可支配收入 X_{14}	0.2076 ***	4	0.4603 ***	1
	人均社会消费零售额 X_{15}	0.3074 ***	2	0.0646 *	9
消费结构 Pattern of consumption	动植物食物消费比 X_{16}	0.2076 ***	4	0.1224 ***	6
	粗细粮消费比 X_{17}	0.2069 ***	6	0.1331 ***	5
食物可达性 Food accessibility	市场距离 X_{18}	0.2529 ***	3	0.1636 ***	3
	交通优势度 X_{19}	0.2005 ***	7	0.1447 ***	4

其中,*** 表示显著性 $P < 0.001$, ** 表示显著性 $P < 0.01$, * 表示显著性 $P < 0.05$



图7 青藏高原粮食产量空间分异因子交互作用

Fig.7 Spatial differentiation of grain yield in the Tibetan Plateau by factors interaction

X_{11} :少数民族比重; X_{12} :外来人口比例; X_{13} :城镇化率; X_{14} :居民可支配收入; X_{15} :人均社会消费零售额; X_{16} :动植物食物消费比; X_{17} :粗细粮消费比; X_{18} :市场距离; X_{19} :交通优势度

5 结论

5.1 主要结论

以青藏高原 214 个县级行政单元为研究对象,综合采用消费统计法、产销平衡指数、空间趋势面分析法以及基于最优参数的地理探测器模型,探究 1990—2020 年青藏高原粮食供需平衡格局时空变化过程及其影响因素,主要结论如下:

(1) 青藏高原整体能实现粮食自给,但局部性短缺问题没有得到根本解决。1990—2020 年青藏高原粮食自给率由 106.53%提高至 120.21%,区域整体粮食供求关系由紧平衡向供需平衡过渡。青藏高原粮食供需始终呈现东西高中部低、南北高中部低的格局,粮食短缺和严重短缺类型区交叉分布于藏北高原、青海高原、甘南高原、柴达木盆地西部及川藏高山峡谷区等地区,以牧业县为主;粮食盈余和粮食富裕区集中于藏南谷地的“一江两河”流域、河湟谷地、川藏高山峡谷区河谷地带以及帕米尔-昆仑山区的绿洲农业区,以农业县为主;临界平衡区呈条带状分布于青藏高原南北边缘区。

(2) 农业生产要素投入差异和经济发展水平差距是影响青藏高原粮食产量空间分异演化的主要因素,自然条件差异对粮食生产的限制力下降。其中,其中劳动力和资本一直是影响青藏高原粮食生产最重要的 2 种生产要素,化肥投入强度的影响力下降,农业科技投入的影响力显著上升。地区经济增长能促进农业固定资产投资和生产要素供给,其与要素投入的交互影响力具有协同增强作用。

(3) 收入水平、食物可达性、食物消费结构、人口结构对青藏高原粮食消费空间分异的解释力依次减弱,各个因素之间不是独立作用的,任意两个驱动因素间交互作用会增加对粮食消费空间分异的解释力。与 1990 年比较,收入水平对粮食消费空间分异的影响力进一步强化,其他变量的影响力有所下降。

5.2 讨论和建议

青藏高原粮食供需平衡研究的难点在于粮食消费需求估算,本文的研究结果与已有研究可作为一个对照。(1)消费统计法比定额统计法测算的粮食自给率较高。根据段健等^[14]人的研究,1990 年、2000 年和 2010 年青藏高原(西藏和青海)粮食自给率分别为 72.43%、65.89%、62.52%,根据本文测算结果,1990 年、2000 年和 2010 年青藏高原主体部分(西藏和青海)粮食自给率分别为 102.75%、88.69%、88.12%,3 个年份的自给率水平均高于定额统计法,表明由于草地畜牧业对食物消费的贡献,人均 400kg 的粮食安全水平并不适用于青藏高原地区。(2)饲料用粮和工业用粮占青藏高原粮食消费的 35%左右且呈增长趋势,不宜将其剔除。根据 Shi^[17]等研究,只考虑直接粮食消费而忽略饲料等间接粮食消费,2010—2016 年青藏高原全域的粮食自给率达 173%,比本研究高将近 50 个百分点。(3)本研究与入户调查结果相近。根据高利伟^[13]的研究,2010 年西藏粮食消费量和粮食自给率分别为粮食消费量为 88.81 万 t(未含外来人口食物消费)和 95.81%,根据本文的测算结果,2010 年西藏的粮食消费量为 95.58 万 t(常住人口)和 94.57%,二者比较接近。

除了局部性缺粮问题,青藏高原可能还存在粮食供给结构性失衡。青藏高原粮食作物以青稞和小麦为主,青稞产量占 70%以上,然而青稞消费占比已经由 20 世纪 90 年代初的 70%逐步下降到 2015 年 50%的水平^[13],根据课题组 2021 年实地调研,2020 年青稞在居民主食消费的比重已进一步下降至 30%—40%,青稞的产量远高于消费量;城镇地区居民粮食消费以大米为主,细粮消费占 90%左右,水稻在青藏高原很少种植,大米基本从内地调运;牧民食物消费以小麦为主,本地小麦品质较差且产量有限不能满足当地消费需求,优质的面粉主要依靠从外地购入。2010 年西藏本地粮食产量和消费量基本持平,仍然从外地调入粮食 35.1 万 t^[13],突出反映了粮食供需结构性矛盾,并且由于青藏高原正处于食物消费结构转变期,未来粮食供给结构性矛盾可能更加突出。

基于以上结论及讨论,提出以下建议:(1)加强牧业区与其他地区的粮食产销合作,完善内外交通基础设施。受地理环境限制,藏北高原、青海高原等广大牧业区的粮食消费无法依靠自身解决,只能依靠农区和外地市场提供,一方面,通过推进“一江三河”流域、河湟谷地及大通河谷地高标准基本农田建设、三江流域坡耕地梯田化和旱改水改造、川西高原适宜性沟谷宜农荒地及其他宜农未利用地开发等措施,加快本地“粮仓”建设,完善内部交通基础设施,提高乡镇公路覆盖率和畅通度;另一面,积极开展与内地产粮大省的产销合作,并打通阿里至喀什、那曲至格尔木、西宁至成都、银川的粮食物流通道。(2)调整作物种植结构,实现农牧优势互补协同发展。农业县和半农半牧业县利用水热资源优势发展大棚蔬菜和设施农业,利用边际土地种植牧草或实行粮草复种轮作,增加本地蔬菜瓜果和饲料产量,藏北青南高原和三江源地区的牧业县加强与山南谷地、河湟谷地农业县的农牧合作,开展牲畜异地育肥,提高牲畜出栏率和商品率,加快发展高原特色农牧业,增加农产品附加值,提高农牧民收入,对提升居民膳食营养水平具有重要意义。(3)增加农业科技投入,加快良种培育、节水灌溉、测土配方施肥等农业科技发展,促进牲畜粪便和作物秸秆资源化利用,降低粮食生产对化肥的依赖,进一步提高科技对农业的提质增效作用。(4)完善与当地粮食消费相适应的粮食储备体系,建立以青稞为主体,大米和面粉为重要补充的粮食储备结构,增强应对重大自然灾害和突发事件的能力。

参考文献(References):

- [1] 程鸿,倪祖彬,孙尚志,虞孝感,陈斗仁. 青藏高原农业地域分异. 自然资源, 1981, 3(2): 7-13.
- [2] 肖压西. 青海农业分布计量测度初探. 青海师范大学学报:自然科学版, 1987, 3(3): 57-64.
- [3] 杨勤业,吕昌河. 西藏自治区主要粮食作物水分盈亏分析. 自然资源, 1990, 12(1): 33-38.
- [4] 刘燕华,杨勤业. 西藏自治区的土地、粮食和人口. 自然资源学报, 1991, 6(2): 127-136.
- [5] 西藏大学经管系课题组. 西藏粮食供求现状及发展趋势. 西藏大学学报:汉文版, 1993, 8(1): 53-56.
- [6] 尼玛扎西. 西藏食物生产系统的区划研究. 地理研究, 2000, 19(4): 407-414.
- [7] 谷树忠. 西藏食物保障度分析及对策. 自然资源学报, 2000, 15(4): 305-314.
- [8] 陈舒婷,郭兵,杨飞,韩保民,范业稳,杨潇,何田莉,刘悦,杨雯娜. 2000—2015 年青藏高原植被 NPP 时空变化格局及其对气候变化的响应. 自然资源学报, 2020, 35(10): 2511-2527.

- [9] 杨春艳, 沈渭寿, 李海东. 1985—2010 年西藏粮食产量对气候和耕地变化的响应. 农业工程学报, 2015, 31(17): 261-269.
- [10] 周刊社, 邓伟, 崔元良, 洪健昌, 措姆, 罗珍. 1961—2018 年青藏高原青稞产区气候生产潜力时空变化特征. 中国农学通报, 2020, 36(23): 88-98.
- [11] 陶娟平, 王宇坤, 刘峰贵, 张德铨, 陈琼, 吴林. 西藏一江两河地区耕地垦殖强度影响因子及其临界值确定. 农业工程学报, 2016, 32(15): 239-246.
- [12] 吴芳, 潘志芬, 李涛, 燕欣瑶, 马小林, 唐淑, 张富有. 西藏县域农作物种植结构时空变化及专业化分区. 应用与环境生物学报, 2022, 28(4): 935-944.
- [13] 高利伟, 徐增让, 成升魁, 许世卫, 张宪洲, 余成群, 孙维, 武俊喜, 曲云鹤, 马杰. 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.
- [14] 段健, 徐勇, 孙晓一. 青藏高原粮食生产、消费及安全风险格局变化. 自然资源学报, 2019, 34(4): 673-688.
- [15] Ding R, Shi W J, Lu C H, Lu H W, Shi X L, Deng X Z, Cui J Y. Future unbalanced-trends of grain supply and demand on the Tibetan Plateau. Journal of Cleaner Production, 2022, 367: 132993.
- [16] Caihong L, Qiao G M, Dai S. Impact assessment of climate change on Haidong agricultural region in Qinghai and its adaptive countermeasures. Meteorological and Environmental Research, 2010, 1(12): 3-6, 10.
- [17] Shi W J, Lu C H, Shi X L, Cui J Y. Patterns and trends in grain self-sufficiency on the Tibetan Plateau during 1985—2016. Journal of Geographical Sciences, 2020, 30(10): 1590-1602.
- [18] 史文娇, 丁锐, 崔佳莹, 石晓丽. 青藏高原及其毗邻地区粮食自给能力数据集(1985—2016)的研发. 全球变化数据学报: 中英文, 2022, 6(3): 402-408, 579-585.
- [19] 郝庆, 封志明, 杨艳昭, 朱鹤. 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. 自然资源学报, 2019, 34(5): 911-920.
- [20] 王玮, 闫慧敏, 杨艳昭, 杜文鹏. 基于膳食营养需求的西藏县域土地资源承载力评价. 自然资源学报, 2019, 34(5): 921-933.
- [21] 胡甜, 鞠正山, 周伟. 中国粮食供需的区域格局研究. 地理学报, 2016, 71(8): 1372-1383.
- [22] 杨明智, 裴源生, 李旭东. 中国粮食自给率研究——粮食、谷物和口粮自给率分析. 自然资源学报, 2019, 34(4): 881-889.
- [23] 高利伟, 徐增让, 成升魁, 许世卫, 张宪洲, 余成群, 孙维, 武俊喜, 曲云鹤, 马杰. 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.
- [24] 王灵恩, 郭嘉欣, 冯凌, 罗艳华, 张宪洲, 范玉枝, 成升魁. 青藏高原“一江两河”农区居民食物消费结构与特征. 地理学报, 2021, 76(9): 2104-2117.
- [25] 郑度, 赵东升. 青藏高原的自然环境特征. 科技导报, 2017, 35(6): 13-22.
- [26] 苗毅, 戴特奇, 宋金平, 丁田田, 卢文清. 交通优势度内涵扩展与方法改进及应用——以西藏自治区为例. 地理学报, 2023, 78(6): 1515-1529.
- [27] 封志明, 李文君, 李鹏, 肖池伟. 青藏高原地形起伏度及其地理意义. 地理学报, 2020, 75(7): 1359-1372.
- [28] 徐勇, 王丽佳, 杨华. 青藏高原土地资源人类活动适宜性评价方法及实证应用. 地理学报, 2022, 77(7): 1615-1633.
- [29] 肖国安. 未来十年中国粮食供求预测. 中国农村经济, 2002(7): 9-14.
- [30] 段健, 王维婷, 陈静, 付慧娟, 施凡基. 青藏高原区域粮食储备规模测算与粮库空间选址研究. 地理科学进展, 2023, 42(10): 1869-1881.
- [31] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 粮油储藏技术规范: GB/T 29890—2013. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [32] Song Y Z, Wang J F, Ge Y, Xu C D. An optimal parameters-based geographical detector model enhances geographic characteristics of explanatory variables for spatial heterogeneity analysis: cases with different types of spatial data. GIScience & Remote Sensing, 2020, 57(5): 593-610.
- [33] 刘玉洁, 吕硕, 陈洁, 张婕, 邱双娟, 胡一帆, 葛全胜. 青藏高原农业现代化时空分异及其驱动机制. 地理学报, 2022, 77(1): 214-227.
- [34] 刘国一, 普布贵吉, 甘雅文, 扎西罗布, 唐亚伟. 2010—2019 年西藏粮食增产的贡献因素. 应用与环境生物学报, 2022, 28(4): 931-934.
- [35] 吴亚玲, 杨汝岱, 吴比, 鲁国梁. 中国农业全要素生产率演进与要素错配——基于 2003—2020 年农村固定观察点数据的分析. 中国农村经济, 2022(12): 35-53.
- [36] 姚成胜, 殷伟, 李政通. 中国粮食安全系统脆弱性评价及其驱动机制分析. 自然资源学报, 2019, 34(8): 1720-1734.
- [37] 宋连久, 朗杰, 王忠红. 高原农牧区居民蔬菜消费的调查与思考——基于西藏 7 地(市)42 县 934 个农户的调查. 中国瓜菜, 2018, 31(5): 40-44.
- [38] 李中锋, 高婕. 新时代西藏农牧民食品和服饰消费变迁最新考察——以 4 个农牧社区为例. 中国藏学, 2022(5): 176-186, 218-219.
- [39] 陈思逸, 赵启然. 城镇居民动物性食品消费结构及其影响因素研究. 中国食物与营养, 2024, 30(2): 37-41.
- [40] 尹上岗, 杨山. 长三角地区城市人口-绿地面积异速增长特征及驱动机制. 地理研究, 2021, 40(10): 2780-2795.