

青藏高原粮食生产、消费及安全风险格局变化

段 健^{1,2}, 徐 勇^{1,2}, 孙晓一^{3,4}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 中国科学院大学经济与管理学院, 北京 100190; 4. 华夏幸福产业投资有限公司, 北京 100872)

摘要: 青藏高原是中国粮食短缺地区之一, 提高其粮食自给能力和确保粮食安全一直受到中央和地方政府的高度重视。在修订牧业区和半农半牧地区人均粮食消费需求量的基础上, 利用1985-2015年青藏高原县级行政单元粮食产量和消费数据, 采用波动系数法、分级法、重心模型以及粮食短缺指数模型, 分析青藏高原粮食生产和消费的时空变化特征, 并评估114个县市的粮食安全风险状况。结果表明: 青藏高原粮食生产与消费空间分布不均衡, 粮食生产呈环形分布在青藏高原东部湟黄谷地、藏东和藏南沿江河谷地带, 中部和西部粮食产量较低, 粮食消费呈东高西低格局; 本地粮食生产不能满足居民消费需求, 区域粮食缺口量达21.04万~121.69万t, 相当于粮食消费需求的8.22%~40.11%, 考虑旅游人口的影响, 2015年区域粮食缺口达132.92万t; 青藏高原粮食安全风险较高的地区广泛分布在藏北高原、青南高原、祁连山地以及城市化水平较高的拉萨市辖区和西宁市辖区, 旅游业发展对林芝市的粮食安全风险影响显著; 单纯依靠粮食增产不能解决区域粮食问题, 建立完善的粮食储备和交通物流体系、加强与内地及周边国家的粮食贸易合作, 是保障青藏高原粮食安全的关键。

关键词: 青藏高原; 粮食生产; 粮食消费; 粮食安全; 空间格局

青藏高原粮食问题历来受中国政府和学者的高度关注。20世纪60年代的垦荒运动、70年代的商品粮基地建设、90年代西藏“一江两河”流域和青海东部农业综合开发以及2000年黄河丘陵台地土地整治工程等, 均是为了提高区域粮食生产能力和食物安全保障。青藏高原整体粮食生产无法满足人口粮食消费^[1], 对外地粮食依赖程度高, 长距离的粮食运输, 给财政和交通造成了负担^[2-3]。饮食习惯改变、生态环境恶化给青藏高原食物安全保障带来新的挑战。随着与内地交流增多, 青藏高原农牧民的饮食习惯有了很大改变, 食物消费多元化发展, 大米和小麦的消费需求增加, 青稞需求减少, 粮食结构性矛盾突出。青藏高原被称为“世界第三极”“中华水塔”, 是中国甚至整个东亚重要的生态安全屏障, 也是全球对气候变化最敏感的区域之一。为保障中国及东亚生态安全, 青藏高原将实施最严格的生态环境保护制度, 限制扩大耕地和大量使用化肥, 避免生态环境恶化^[4-5]。

青藏高原粮食以自给为主还是依靠外地调运, 在学界一直存在争论。第一种观点认为, 粮食短缺制约经济发展, 力争粮食自给或保持粮食产消总量平衡, 对青藏高原发展具有重要意义。理由为粮食是人类最重要的生活资料, 青藏高原地处偏远, 从外地调运

收稿日期: 2018-10-09; 修订日期: 2019-02-01

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项 (A类) (XDA20020301); 中国科学院科技服务网络计划 (STS计划)

作者简介: 段健 (1986-), 女, 湖南怀化人, 博士研究生, 研究方向为区域可持续发展。

E-mail: duanj.16b@igsrr.ac.cn

通讯作者: 徐勇 (1964-), 男, 陕西榆林人, 博士, 研究员, 博士生导师, 研究方向为土地利用与土地关系机理模拟、农业与乡村发展、资源环境承载能力评价等。E-mail: xuy@igsrr.ac.cn

粮食平均运距超过 3000 km, 长距离运输既不经济也不安全, 遇自然灾害或突发事件, 难以保证粮食及时调入^[6-7]。第二种观点强调, 青藏高原没有必要也不可能实现粮食自给, 发展畜牧业比种植业更有前景。自古以来畜牧产品在青藏高原居民饮食中占主导地位, 生产具有较高附加值的畜牧产品不仅可以满足当地居民消费需求, 还可以取得较好的经济效益, 增加农牧民收入, 提高其粮食购买力^[8]。第三种观点认为, 解决青藏高原粮食问题的思路是树立大食物观, 走农牧结合的道路。农区用多余的粮食做饲料, 发展城郊畜牧业和家庭养殖业, 缓解草地压力; 牧区利用小块耕地, 种植青稞、小麦、马铃薯等耐旱粮食作物, 减少对外地粮食的依赖和粮食的长距离运输^[9-10]。

对粮食安全形势的科学评估和预测是解决青藏高原粮食问题的前提和基础。国内外学者利用粮食生产波动系数、粮食储备率、外贸依存度、粮食自给率、人均粮食占有量、贫困人口比例等指标对全国宏观层面的粮食安全做了大量分析^[11-13], 基于区域中观尺度的分析屈指可数。起晓星等^[14]采用“粮食供需缺口率”研究洞庭湖区粮食安全, 认为人口增长和自然风险是影响区域粮食安全的两大因素; 姚成胜等^[15]采用粮食自给率测算中部地区粮食安全水平, 结果表明中部地区粮食自给率达到 112% 时才能实现粮食安全。不同学者基于不同方法对青藏高原粮食安全和食物保障状况评估的结论不尽相同。按照全国统一的人均 400 kg 的标准构建粮食安全估算模型, 青藏高原是中国缺粮最严重的地区之一^[16-17]; 实地调查研究则发现青藏高原粮食供需基本平衡, 甚至出现结余、积压^[2-3]。模型法和调查法结果不一致且各有缺陷: 模型法忽略了草地畜牧业在青藏高原食物供给方面的重要作用, 与实际情况有偏差; 调查研究法, 受样本数量和调查时间限制, 只能以点带面, 不能反映区域整体粮食安全状况, 更不能反映粮食安全的时空变化特点。

针对上述不同观点及问题, 本文试通过修订牧业区和半农半牧业区的人均粮食消费需求标准, 利用 1985-2015 年县级行政单元粮食产量和人口数据, 采用波动系数法、分级法、重心模型以及粮食短缺指数模型等定量方法, 对青藏高原粮食生产、消费及安全风险格局的时空变化特征进行较为系统的分析, 并探讨旅游人口、粮食储备、粮食调运对区域粮食安全的影响。希望研究结果能从历史和全局的视角, 为提高青藏高原粮食问题的认知提供一些参考依据。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究区概况

青藏高原被称为“世界屋脊”“第三极”, 南起喜马拉雅山脉南缘, 与不丹、尼泊尔、印度、巴基斯坦接壤, 北至昆仑山、阿尔金山和祁连山北缘, 西部为帕米尔高原和喀喇昆仑山脉, 与阿富汗、塔吉克斯坦、吉尔吉斯斯坦接壤, 东及东北部与秦岭山脉西段和黄土高原相接。介于 26°00'~39°47'N、73°19'~104°47'E 之间, 东西长约 2800 km, 南北宽约 300~1500 km。本文研究区域青藏高原主要指青藏高原高原表面, 包括西藏自治区和青海省境内的 114 个县市单元, 土地面积 195.07 万 km², 约占全国陆地面积的五分之一。平均海拔 2600~4500 m, 最高达 8000 m, 地势由西向东、由中央向四周边缘倾斜。年平均气温为 -2.4~12.1 ℃, 年平均日照时间 1443.5~3574.3 小时, 年降水量大都在 400 mm 以下, 且集中在 5-9 月, 干旱、洪涝、雪灾、霜冻、冰雹、雷电、大风、沙尘暴等灾害性天气频发。农业自下而上分为三层: 西藏东南部海拔 3000 m 以下的干热河谷,

热量条件较好,最热月平均气候达 18°C ,可以种植水稻,农作物一年两熟;青海东北至西藏中部,呈半圆形环绕高原核心,最暖月平均气温 $10\sim 18^{\circ}\text{C}$,作物可以一年一熟;高原西部、中部最暖月平均气温在 10°C 以下,以放牧业为主^[18]。一半以上的县市是纯牧业县或半农半牧县,农业县数量较少(图1)。2017年人口935.53万,占全国总人口的0.67%,地区生产总值(GDP)3953.43亿元,占全国地区生产总值的0.48%。少数民族众多,拥有藏族、门巴族、珞巴族、回族、纳西等多个民族。

1.2 研究方法

受降水、自然灾害、市场等因素影响,粮食生产年际之间具有一定的波动性,丰年和歉年交替出现,波动超过一定范围将出现供给不足或供给过剩。受自然地理环境和资源禀赋限制,粮食生产具有地域性和空间差异性,粮食生产的空间不均衡通过流通环节影响粮食消费目标的实现。本文首先采用生产波动系数法、分级法以及重心模型分析青藏高原粮食生产和消费时空变化格局,然后构建粮食短缺指数评估青藏高原各县市粮食安全风险状况。

(1) 粮食生产波动系数。粮食生产波动是指年际粮食产量的实际变化偏离正常的趋势产量的起伏变动,用波动系数(grain yield fluctuation index)来表现,公式如下:

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

式中: f 表示粮食波动指数; y_t 表示 t 年的实际粮食产量; y'_t 表示 t 年的趋势粮食产量; y'_t 趋势粮食产量通过时间序列滑动平均法计算得到,公式如下:

$$y'_t = \frac{1}{2l+1} (y_{t-l} + y_{t-l+1} + \cdots + y_{t-1} + y_t + y_{t+1} + \cdots + y_{t+l-1} + y_{t+l}) \quad (2)$$

式中: y'_t 为趋势产量; l 为单侧平滑时距,采用三年滑动平均法, l 取值为1。

(2) 重心模型。重心模型是研究区域发展过程中要素空间变动的重要分析工具,通过构建粮食产量和消费量重心模型,分析青藏高原粮食生产与消费的空间格局及变化,公式为:

$$x_j = \frac{\sum_{i=1}^n (T_{ij} \cdot x_i)}{\sum_{i=1}^n T_{ij}} \quad (3)$$

$$y_j = \frac{\sum_{i=1}^n (T_{ij} \cdot y_i)}{\sum_{i=1}^n T_{ij}} \quad (4)$$

式中: x_i 、 y_i 分别为第 i 县的地理横坐标和纵坐标; T_{ij} 为第 i 个县市单元第 j 年的粮食生产量或消费量。

(3) 粮食短缺指数。本文采用粮食短缺指数定量分析青藏高原各县市粮食安全水平,粮食短缺指数指区域缺粮数量占区域粮食消费总量的比例。按照青藏高原农业地域类型

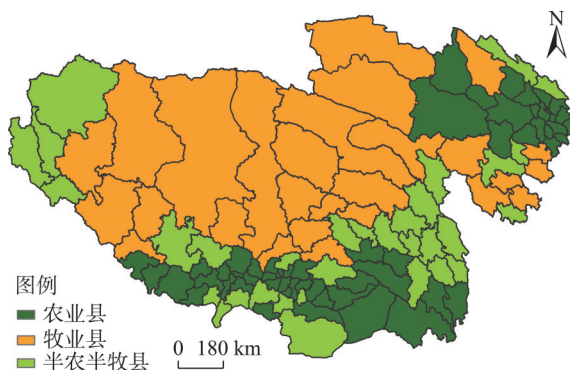


图1 青藏高原位置与农业地域类型分布

Fig. 1 Location and distribution of agricultural areas in the Tibetan Plateau

和居民膳食结构差异,制定差异化的人均粮食需求量标准,粮食短缺指数计算公式为:

$$Q_i = \frac{O_i - C_i}{C_i} \quad (5)$$

式中: Q_i 表示第 i 个县的粮食短缺指数; O_i 表示第 i 个县的粮食产量; C_i 表示第 i 个县按人均粮食需求量标准测算的粮食消费量。

1.3 参数选择

人均粮食需求量是计算区域粮食消费量和粮食短缺指数的关键参数。国际公认的粮食安全标准是人均占有粮食 500 kg,且只计算谷物^[19-21]。国家食物与营养咨询委员会(2003年)提出了中国基本小康社会(2010年)、全面小康社会(2020年)、向富裕阶段过渡时期(2030年)人均食物安全三阶段目标:391 kg、437 kg、472 kg。中国大多数学者参考这个标准,将人均 400 kg 和人均 300 kg 分别作为小康水平和温饱水平的粮食安全保障线。其中人均 400 kg 的小康水平粮食安全标准,除了口粮,还包括 25% 的饲料粮、工业用粮及粮食损耗等。制定 25% 的饲料粮标准的主要依据是中国 95% 的肉蛋奶等畜产品来自农区,且猪肉占肉类食物的比例较高^[22-23]。这种基于典型种植业区膳食结构的全国统一标准,显然未考虑区域差异。区别于典型种植业区,青藏高原肉类食物以牛羊肉为主,牛羊肉不仅耗粮少,且主要来自草地畜牧业,饲料粮消费比例较典型种植业区低 5%~10%,故牧业或半农半牧业地区的人均粮食需求标准应低于典型种植业区。参考刘键等^[2]和高利伟等^[3]对西藏牧区居民粮食消费的调查研究,本文青藏高原农业县、半农半牧业县、牧业县人均粮食消费需求分别取值为 400 kg、300 kg、200 kg。

1.4 数据来源

采用的数据主要有青藏高原各县 1985 年、1990 年、2000 年、2005 年、2010 年及 2015 年的粮食产量和人口数据,2015 年西藏自治区和青海省各市旅游人次、逗留时间。粮食产量数据来自《中国县(市)经济统计年鉴》《西藏统计年鉴》《青海省统计年鉴》以及各地级市统计年鉴。2010 年人口数据为常住人口,来源于第六次全国人口普查,其他年份人口数据来源于《中国县(市)经济统计年鉴》。2015 年西藏自治区那曲市旅游人次、逗留时间来自课题组 2018 年 7 月西藏自治区、那曲市调研,西藏自治区其他地级市及青海省各市旅游人次来自《西藏年鉴》和《青海年鉴》,逗留时间由中国自由行服务平台马蜂窝旅游网(<http://www.mafengwo.cn>)挖掘得到。县级行政区划矢量图采用国家基础地理信息中心 2014 年行政区划图,对少数行政区划变动的县级单元(如县改区),统一按照 2014 版县级行政边界进行核对和校正,共计 114 个县级行政单元,包括县、县级市及市辖区。

2 结果分析

2.1 粮食生产与消费总量变化

自西藏自治区成立以来,青藏高原粮食产量在波动中增长。1952-2015 年,青藏高原粮食产量由 52.67 万 t 增长到 207.47 万 t,增长率达 293.92%。分阶段看,20 世纪 50-60 年代由于抵御自然灾害能力较弱,粮食产量经历两次低谷:1959-1961 年,三年自然灾害给粮食生产带来巨大损失,粮食由 76.06 万 t 减少到 61.66 万 t,减产幅度接近五分之一;1967-1969 年,粮食产量由 100.30 万 t 降低到 85.03 万 t,下降 15.22%。20 世纪 70 年代以

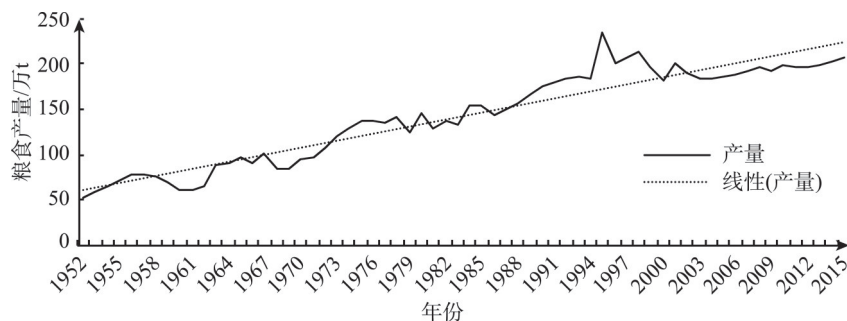


图2 1952-2015年青藏高原粮食产量变化

Fig. 2 Changes in grain yield in the Tibetan Plateau between 1952 and 2015

后,粮食生产逐渐恢复,1972年产量突破百万吨大关,达108.16万t。20世纪80年代粮食产量继续保持增长态势,1985年达153.7万t。20世纪90年代粮食产量增长加快,年增长率超过3.78%,1995年突破234.98万t且连续四年保持在200万t以上。2000年以后增速放缓,平均每年增长0.87%,增长较平稳。

粮食生产不稳定,呈现三个明显的波动期。粮食生产长期暴露在自然风险下,粮食产量年际间存在一定的差异,一般认为粮食波动系数的理想区间为 $-2\%\sim 2\%$ ^[24],超过该界限就认为粮食生产不稳定。1979-2014年青藏高原的粮食波动系数最大值为9.95%,最小值为 -9.46% ,平均波动系数为 $\pm 2.90\%$ 。三个明显波动期分别是:20世纪60年代中后期,1966年、1967年、1968年粮食波动系数分别为 -5.29% 、 9.54% 、 -6.61% ;20世纪70年代末80年代初,1978年、1979年、1980年、1981年粮食波动系数分别为 5.67% 、 -9.46% 、 9.95% 、 -6.61% ;2000年前后,1998年、2000年、2001年的粮食波动系数分别为 3.86% 、 -6.84% 、 6.02% 。其他年份粮食生产相对较平稳,波动系数在 $\pm 2\%$ 之间(图3)。

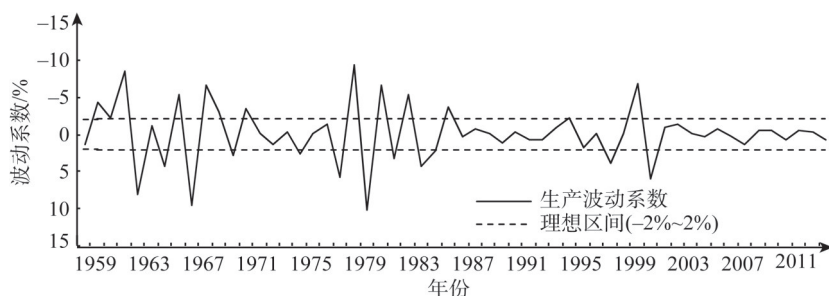


图3 1959-2014年青藏高原粮食生产波动特征

Fig. 3 Fluctuations in grain production in the Tibetan Plateau between 1959 and 2014

青藏高原居民粮食消费需求稳定增长,不同农业地域类型区粮食消费增长速度差距较大。1985-2015年青藏高原人口数量由602.21万增至901.52万,相应地,粮食消费需求由215.61万t增至322.44万t,增长了49.55%,平均每年增长3.3%(图4)。半农半牧业县粮食消费增长最快,其次是农业县,牧业县粮食消费增长较慢。2015年农业县、牧业县、半农半牧县粮食消费量分别为171.12万t、15.68万t、49.55万t,分别较1985年增长46.82%、38.13%、71.98%。

本地粮食生产不能满足需求,需从外界大量调入粮食。1985-2015年青藏高原粮食短

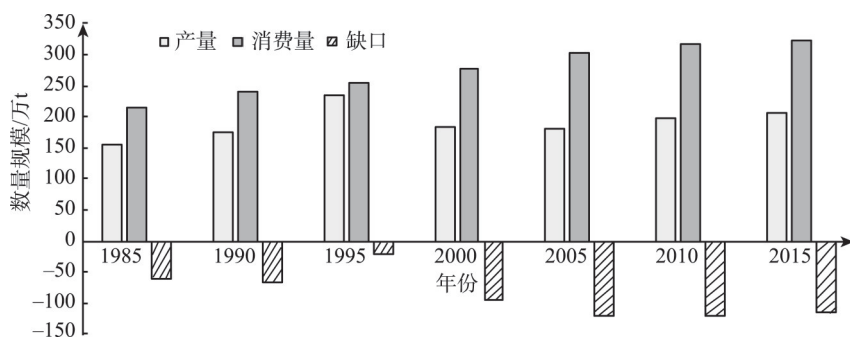


图4 1985-2015年青藏高原粮食产消平衡及变化

Fig. 4 Changes in grain production, grain consumption and the balance between them in the Tibetan Plateau between 1985 and 2015

缺数量达21.04万~121.69万t,相当于粮食消费需求的8.22%~40.11%。粮食短缺程度受区域粮食供需平衡变化影响,其中粮食产量变化为主导因素。1995年粮食大丰收,产量达234.98万t,粮食消费量为256.03万t,缺粮数量仅相当于消费量的8.22%,粮食自给率达91.78%;2000年产量下降,粮食增长率为-22.18%,粮食消费量增至277.54万t,缺粮数量达94.67万t,相当于消费量的34.11%,粮食自给率降至65.89%。2005年以来粮食产量始终在200万t左右徘徊,消费需求已增至300万t以上,每年粮食缺口达100万t以上。2005年、2010年、2015年缺粮数量分别达121.69万t、119.35万t、114.97万t,相当于消费量的40.11%、37.48%、35.66%,粮食自给率分别为59.89%、62.52%、64.34%(图4)。

2.2 粮食生产格局变化

经历几次农业生产布局调整,青藏高原逐步形成两大粮食生产中心。青藏高原粮食生产重心呈现阶段性的往返运动,2000年前期粮食重心向西南移动,2000年以后粮食生产重心向东北移动(图5)。粮食生产重心往返运动与区域历次农业开发有关。历史上,青藏高原粮食生产主要集中在湟黄谷地,湟黄谷地地势开阔、热量条件较好,距离灌溉水源较近,开发历史悠久,耕地集中连片,是青藏高原东部粮食生产中心。20世纪90年代西藏“一江两河”流域农业开发,粮食生产得到发展,粮食生产重心向西南移动。“一江两河”流域开发历史较晚,但光、热、水、土等自然条件优越,20世纪90年代后形成青藏高原南部粮食生产基地。2000年以后青海东部黄河流域农业综合开发与土地整治,粮食生产能力提高,而中、西部及雅鲁藏布江中游由于生态退耕,粮食播种面积下降,导致粮食生产重心向东北移动,但“一江两河”流域仍是青藏高原南部粮食生产中心。

根据粮食生产空间分布及产量由小到大的变化特征,采用自然断裂法,按照小于5993.5t、5993.5~18834.4t、18834.4~37812.0t、37812.0~83590.0t以及大于83590.0t将青藏高原粮食生产空间格局分为低、较低、中等、较高、高五个等级。总体上,青藏高原适宜农业发展的空间狭小,粮食生产空间分布极

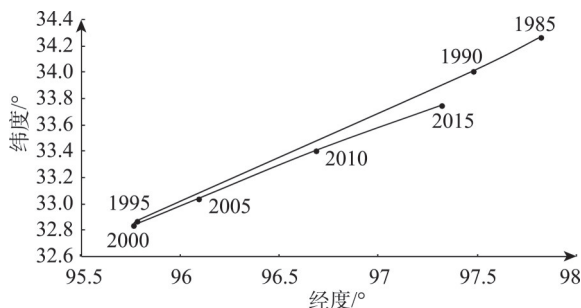


图5 1985-2015年青藏高原粮食生产重心迁移轨迹

Fig. 5 Tracks of grain production gravity center in the Tibetan Plateau between 1985 and 2015

不平衡,产量较高的地区集中分布在东部湟黄谷地、藏东和藏南沿江河谷,中部和西部粮食产量低。

青藏高原粮食生产空间格局差异显著(图6)。2015年高等级类型包括4个县级单元,土地面积1.05万km²,涉及人口177.0万人,集中分布在青海东部的湟黄谷地。较高等级类型包括12个县市,土地面积10.65万km²,涉及人口162.96万人,集中分布在雅鲁藏布江、拉萨河、年楚河沿岸(“一江两河”流域)。中等级类型包括24个县市,土地

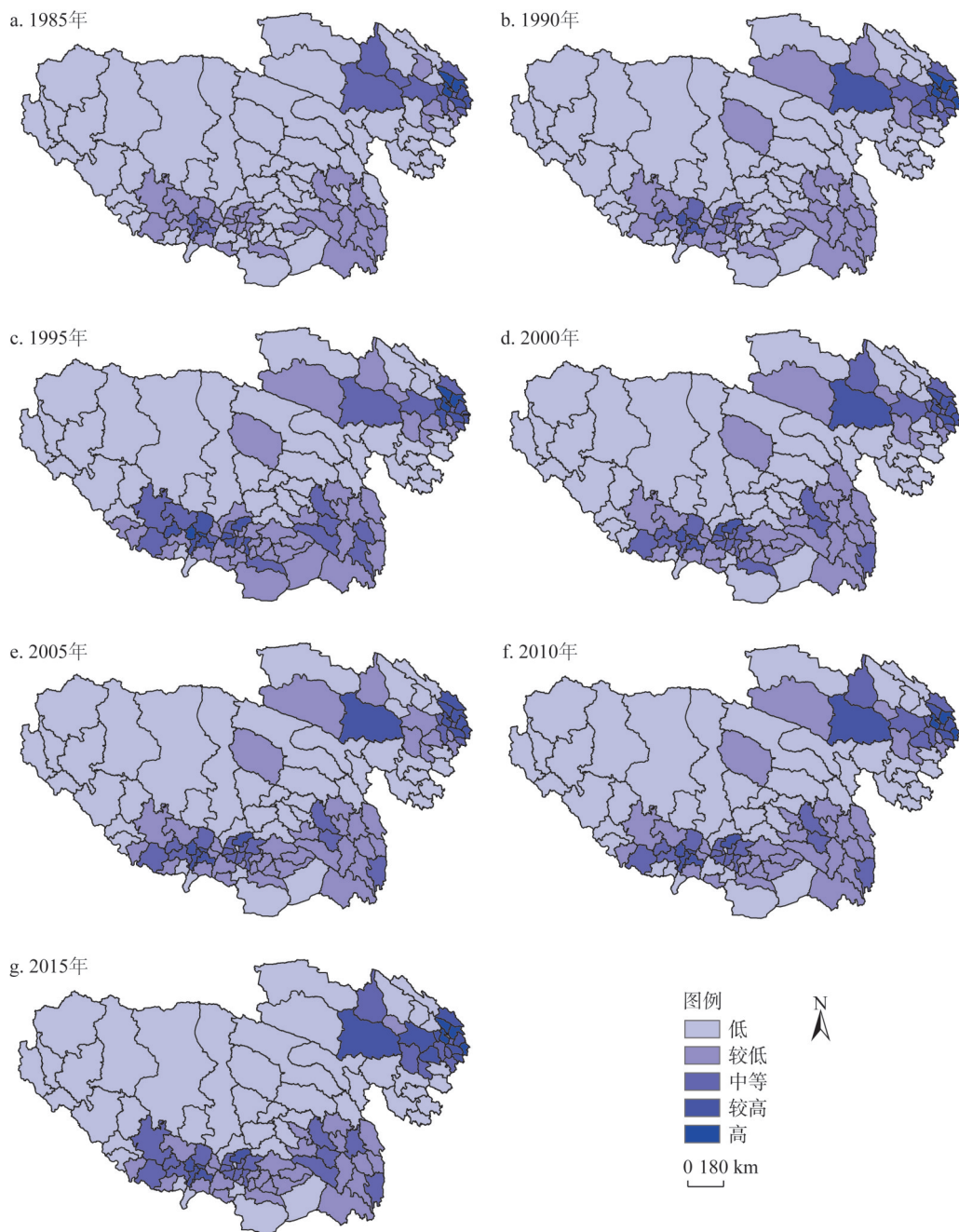


图6 1985-2015年青藏高原粮食生产格局及变化

Fig. 6 Spatial patterns and their changes of grain production in the Tibetan Plateau between 1985 and 2015

面积18.68万km²，涉及人口160.59万人，零散分布在雅鲁藏布江中下游、青海湖周围以及柴达木盆地四周，地形以高原、山地、盆地为主。低等级类型和较低等级包括的县市单元数量最多，土地面积最广，分别涉及人口282.44万和118.53万，成片分布在藏北高原和青南高原，与牧业县分布高度一致。1985-2015年高等级类型、较高等级类型、中等等级类型县市数量分别增加了1个、9个、12个，涉及人口分别增加了2.43%、6.07%、2.06%；较低等级类型县市减少了10个，涉及人口减少了18.90%；低等级类型县市减少了12个，人口比例却增加了8.34%（表1）。

表1 青藏高原粮食产量分级类型及变化
Table 1 Classification and types of grain production in the Tibetan Plateau

年份	1985年						2015年					
	县级单元		土地		涉及人口		县级单元		土地		涉及人口	
	数量 /个	比例 /%	面积 /万km ²	比例 /%	数量 /万	比例 /%	数量 /个	比例 /%	面积 /万km ²	比例 /%	数量 /万	比例 /%
高	3	2.63	0.86	0.46	103.60	17.20	4	3.51	1.05	0.55	177.00	19.63
较高	3	2.63	0.74	0.39	72.28	12.01	12	10.53	10.65	5.61	162.96	18.08
中等	12	10.53	12.65	6.66	94.88	15.75	24	21.05	18.68	9.84	160.59	17.81
较低	38	33.33	29.84	15.71	192.98	32.05	28	24.56	23.10	12.17	118.53	13.15
低	58	50.88	145.82	76.78	138.47	22.99	46	40.35	136.43	71.84	282.44	31.33

2.3 粮食消费格局变化

相对粮食生产重心，粮食消费重心较稳定。2005年前粮食消费重心东西摇摆不定，但迁移距离较小：1985-1990年向东南移动7.31 km，1990-2000年向西南移动约9.08 km，2000-2005年向东北移动10.04 km。2005年以后向西南移动明显，2005-2015年向西南移动了33.71 km，平均每年移动3.37 km。整体上，1985-2015年粮食消费重心迁移幅度不大，一直位于玛多县境内，纬向移动33.3 km，经向移动11.1 km（图7）。

根据青藏高原粮食消费空间分布及粮食消费需求由小到大的特征，采用自然断距法，按照小于7578.0 t、7578.0~18295.5 t、18295.5~37428.3 t、37428.3~70298.4 t以及大于70298.4 t将青藏高原粮食消费空间格局分为低、较低、中等、较高、高五个等级。受人口、城市及交通分布影响，青藏高原粮食消费呈东高西低的格局。

2015年高等级类型包括8个县级单元，土地面积1.68万km²，涉及人口350.86万，集中分布在西宁市辖区、拉萨市辖区及周边，这些地区由于城市化水平高，交通便捷，人口众多，游客集中，粮食消费需求量大。较高等级类型包括9个县级单元，土地面积4.44万km²，涉及人口114.01万，集中分布在青海东部湟水谷地和黄河沿岸。湟黄谷地开发历史悠久，种植业发达，人口和经济集中，粮食消费需求量大。中等类型包括30个县级单元，土地面积41.48万km²，涉及人口216.39万，零散分布在青海北部祁连

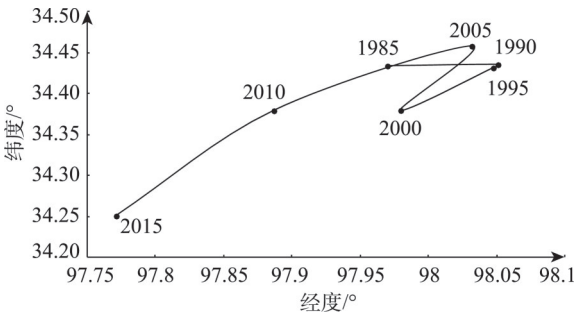


图7 1985-2015年青藏高原粮食消费重心迁移轨迹
Fig. 7 Tracks of grain consumption gravity center in the Tibetan Plateau between 1985 and 2015

山区、西藏东南横断山区及雅鲁藏布江上中游。较低等级类型包括43个县级单元,土地面积59.87万km²,涉及人口171.50万,成片分布在那曲市、山南市、海南州及海西州等的半农半牧县;低等级类型包括24个县级单元,土地面积82.44万km²,涉及人口48.75万,成片分布在青藏高原中部、西部及南部边境。1985至2015年,高等级类型、较高等级类型以及中等级类型县市数量分别增加了2个、4个、16个,涉及人口分别增加了3.14%、0.07%、7.87%;低等级类型数量减少了25个,涉及人口减少了6.44%;较低等级类型数量增加了3个,但涉及人口减少了4.64%(表2、图8)。

2.4 粮食安全风险格局变化

根据青藏高原各县市粮食短缺指数 Q_i 的大小将粮食安全风险等级划分为安全、风险低、风险中等、风险较高四个类型。 $Q_i > 0$,表示安全; $-30\% < Q_i \leq 0$,表示风险低; $-50\% < Q_i \leq -30\%$,表示风险中等; $Q_i \leq -50\%$,表示风险较高。总体上,青藏高原粮食安全风险等级类型以风险较高类型为主,风险较高类型包括的县市数量大、人口多、面积广。

2015年风险较高类型包含42个县市,面积128.72万km²,涉及人口292.95万,广泛分布在藏北高原、青南高原、祁连山区畜牧业发达的牧业县、半农半牧县以及城市化水平较高的拉萨市辖区、西宁市辖区;风险中等类型包含18个县市,面积12.07万km²,涉及人口218.55万,零星分布在青海东部浅山区、横断山区、柴达木盆地、雅鲁藏布江沿岸;风险低类型包含30个县市,面积29.31万km²,涉及人口283.18万,集中分布在西藏南部沿河、青海北部、南部边境;安全类型包含24个县市,面积19.81万km²,涉及人口106.83万,集中分布在雅鲁藏布江沿岸、青海湖周围、青海东部(图9、表3)。

雅鲁藏布江中游和下游以及青海东南部粮食安全风险明显好转,阿里西部和青海东北部粮食安全形势恶化。1985-2015年风险较高类型、风险中等类型、风险低类型及安全类型涉及人口分别增加了113.11万、124.43万、38.51万、23.24万;从人口比例来看,风险较高、风险中等类型分别增加了2.64%和8.61%,风险低和安全类型分别减少了9.22%和2.03%(图9、表3)。得益于农业综合开发,西藏“一江两河”流域的芒康、达孜、乃东、洛扎、米林、墨脱、贡嘎、琼结以及青海东南的共和9个县市粮食安全等级转为安全。阿里西部退耕还牧、青海东北部城市化发展占用耕地等均导致粮食播种面积下降,措美、浪卡子、南木林、大通、乌兰5个县市粮食安全等级发生逆转,由安全变为低风险或中等风险;札达、贡觉、察雅、左贡、亚东、吉隆、萨嘎、日土、称多、囊谦、格尔木11个县市粮食安全风险形势变差,由低风险转变为中等风险或由中等风险转变为较

表2 青藏高原粮食消费分级类型及变化

Table 2 Classification and types of grain consumption in the Tibetan Plateau

年份	1985年						2015年					
	县级单元		土地		涉及人口		县级单元		土地		涉及人口	
	数量 /个	比例 /%	面积 /万 km ²	比例 /%	数量 /万	比例 /%	数量 /个	比例 /%	面积 /万 km ²	比例 /%	数量 /万	比例 /%
高	6	5.26	1.35	0.71	215.46	35.78	8	7.02	1.68	0.89	350.86	38.92
较高	5	4.39	4.42	2.33	75.78	12.58	9	7.89	4.44	2.34	114.01	12.65
中等	14	12.28	14.62	7.70	97.11	16.13	30	26.32	41.48	21.84	216.39	24.00
较低	40	35.09	52.65	27.72	142.50	23.66	43	37.72	59.87	31.53	171.50	19.02
低	49	42.98	116.87	61.54	71.37	11.85	24	21.05	82.44	43.41	48.75	5.41

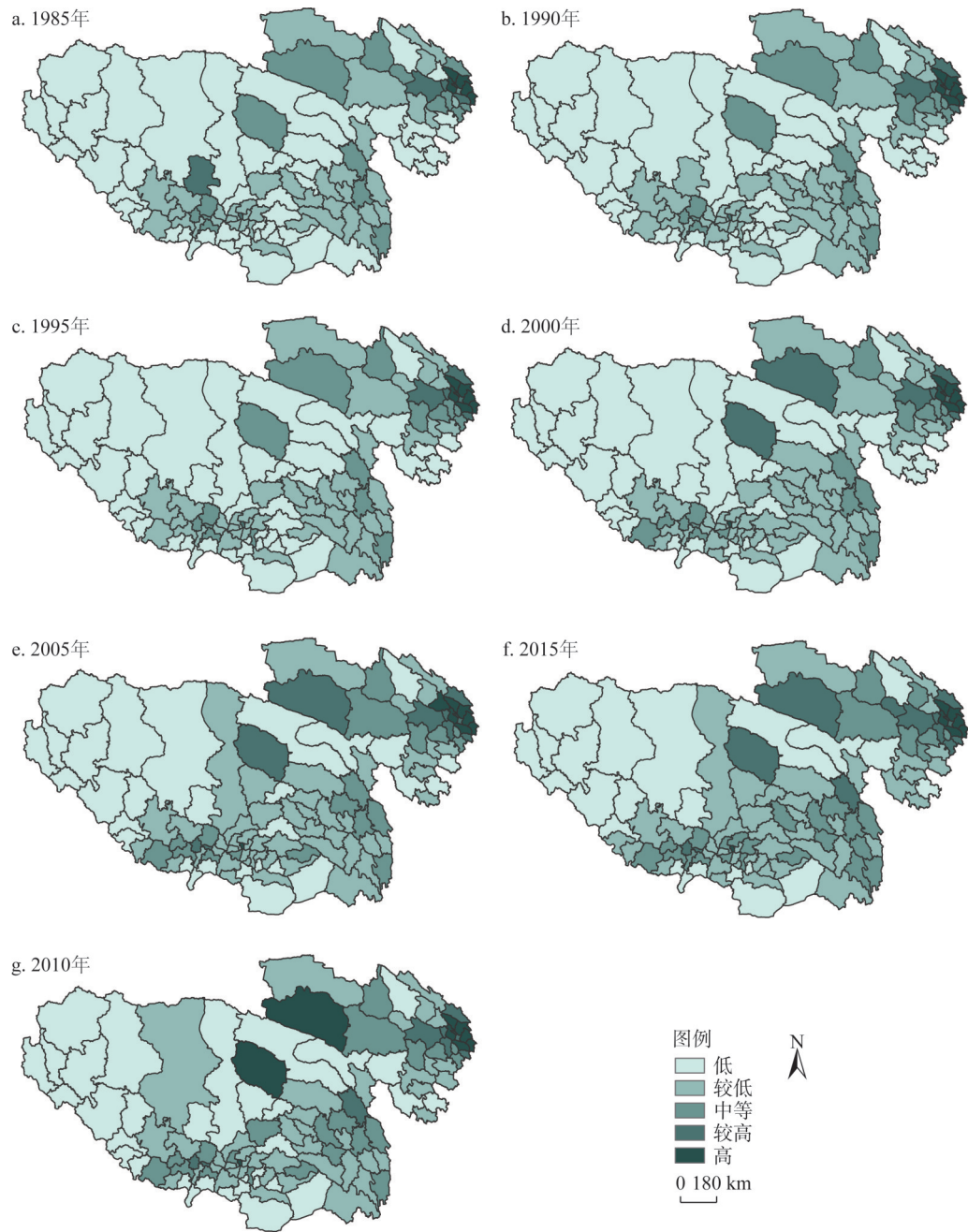


图8 1985-2015年青藏高原粮食消费格局及变化

Fig. 8 Spatial patterns and their changes of grain consumption in the Tibetan Plateau between 1985 and 2015

高风险（图9、表3）。

3 讨论

旅游开发与旅游业发展对青藏高原粮食安全格局具有一定影响。2006年青藏铁路开通以来，青海与西藏，尤其是西藏旅游业得到快速发展。2015年两省旅游人次突破

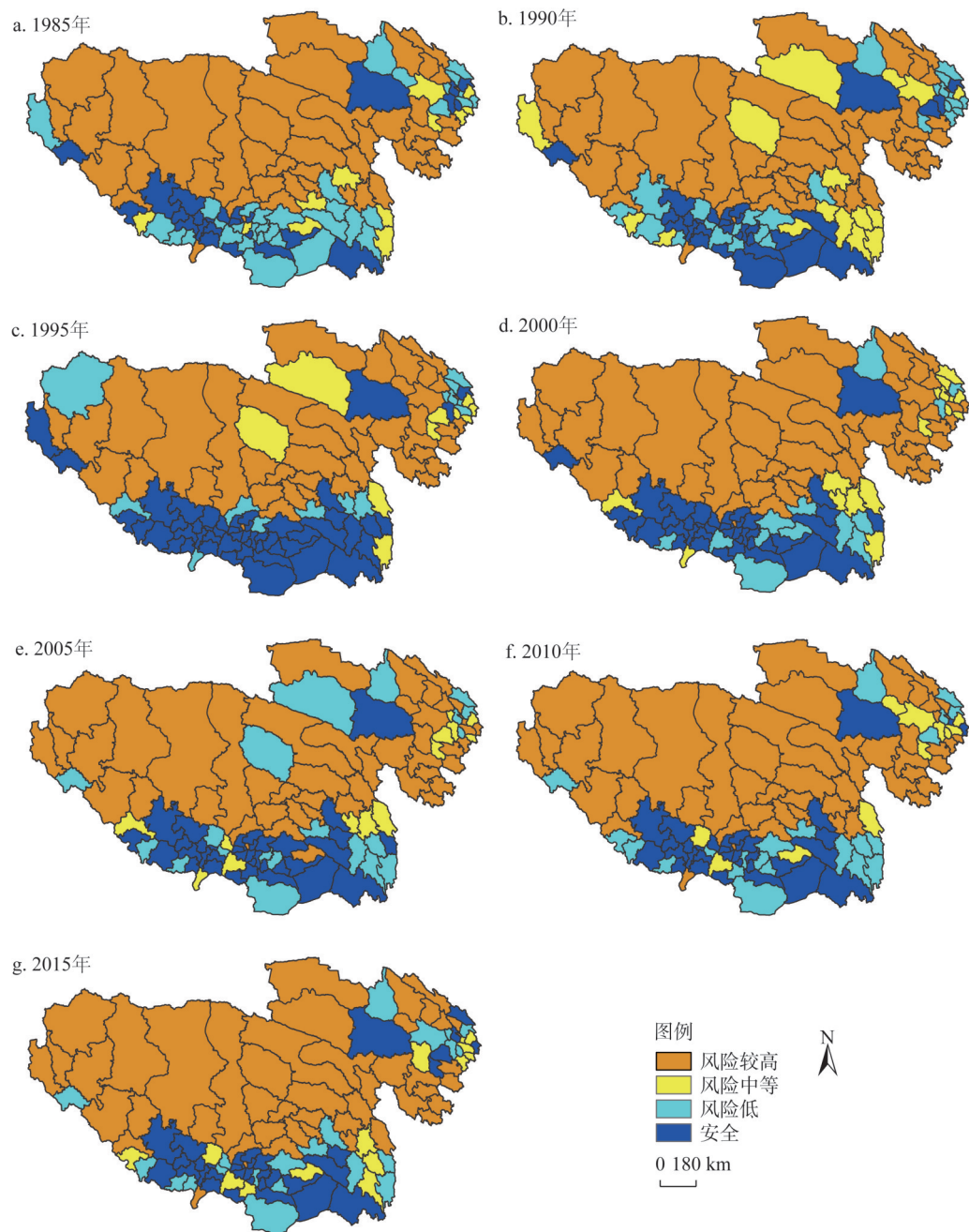


图9 1985年-2015年青藏高原粮食安全空间格局及变化

Fig. 9 Spatial patterns and their changes of grain security in the Tibetan Plateau between 1985 and 2015

4332.93万人次, 平均每天的旅游量为12.38万。西藏的旅游人口主要集中在拉萨、林芝、日喀则三市, 青海的旅游人口主要集中在西宁市及环青海湖周边。游客在西藏逗留时间一般为7~9天, 在青海逗留时间一般为5~7天。以地级市为单元, 综合考虑旅游人次、逗留时间, 计算旅游人口的粮食消费需求, 修正区域粮食短缺指数, 计算公式为:

$$Q_i = \frac{O_i - C_i - Z_i}{C_i + Z_i} \tag{6}$$

表3 青藏高原粮食安全风险等级类型及变化

Table 3 Classification and types of the risks of grain security in the Tibetan Plateau

年份 指标	1985年						2015年					
	县级单元		土地		涉及人口		县级单元		土地		涉及人口	
	数量 /个	比例 /%	面积 /万 km ²	比例 /%	数量 /万	比例 /%	数量 /个	比例 /%	面积 /万 km ²	比例 /%	数量 /万	比例 /%
风险较高	38	33.33	105.15	55.37	179.84	29.86	42	36.84	128.72	67.78	292.95	32.50
风险中等	18	15.79	32.54	17.13	94.12	15.63	18	15.79	12.07	6.36	218.55	24.24
风险低	40	35.09	37.94	19.98	244.67	40.63	30	26.32	29.31	15.43	283.18	31.41
安全	18	15.79	14.30	7.53	83.59	13.88	24	21.05	19.81	10.43	106.83	11.85

$$Z_i = \frac{L_i \times t_i}{365} \times u \tag{7}$$

式中： Z_i 表示旅游人口粮食消费需求； L_i 表示旅游人次； t_i 表示旅游逗留时间； u 表示旅游人口人均粮食消费需求，取值为400 kg/人。

按人均400 kg计算，2015年青藏高原旅游人口粮食消费需求为17.95万t，相当于当地居民粮食消费量的5.57%，当地人口与旅游人口粮食消费需求合计为340.39万t，粮食缺口达132.92万t。分地级市来看，旅游人口增加了拉萨市、林芝市、山南地区、日喀则市、海东市、海南州6个地级市的粮食安全风险，其他地区粮食安全形势受其影响较小（表4）。值得注意的是林芝市，以常住人口计算，林芝市粮食生产不仅能满足当地居民消费需求，且尚有7099 t余粮，大量旅游人口涌入导致该市粮食供给不足，产生609.93 t的粮食缺口，粮食安全形势由安转危（图10）。

粮食储备体系、交通物流设施在保障青藏高原粮食安全中具有举足轻重的作用。青藏高原位于中国边疆，地处偏远，交通不便，又是少数民族聚居区，政治问题、民族问题与粮食问题交织在一起，复杂而敏感。中央政府和当地政府十分重视区域粮食安全和政局稳定，目前已经形成了中央、省级、地级市、县级四级粮食储备体系，每年从内地调入大量粮食，以保障居民基本生活需求、防止突发事件或自然灾害发生。1960年开始西藏自治区每年从内地调入粮食9053 t，1985年增加到39400 t，2000年以后，每年调入粮食70402 t以上，占进藏总物资的26.91%~30.28%。随着青藏铁路的开通，区域货物运输能力倍增，主要缺粮区通过与周边省市的贸易交流和物资流通弥补粮食缺口。1985年青藏高原铁路与公路货运总量仅2081.34万t，2015年货运量达18429.22万t，增长8.85倍。粮食运输能力也显著提高，形成北、东、南三大粮食运输通道：阿里地区经北通道从新疆调入小麦和面粉，那曲地区经东通道从青海、甘肃调入青稞和面粉，山南地区经南通道从四川、重庆、江苏等地调入大米。随着中国“一带一路”战略的实施，未来青藏高原可以通过加强与中亚、东南亚粮食生产国的农产品贸易，打通粮食运输西通道、延长南通道，利用国内外两种资源、两个市场保障区域粮食安全。

表4 2015年旅游人口对青藏高原粮食安全格局的影响

Table 4 The impact of tourists on the grain security of the Tibetan Plateau in 2015

地级市 单元	粮食产量 /万t	常住人口 /万	旅游人次 /万	逗留时间 /天	粮食安全 指数	修正后粮食 安全指数
拉萨市	18.22	52.98	1179.00	3	-0.06	-0.18
昌都市	18.40	77.00	146.03	2	-0.28	-0.28
山南地区	15.72	37.00	234.98	1.5	0.14	0.10
日喀则市	38.28	78.00	320.89	1.5	0.33	0.30
那曲地区	1.28	46.00	100.00	1.5	-0.88	-0.86
阿里地区	0.53	11.00	37.97	1.5	-0.81	-0.78
林芝市	8.21	19.50	351.72	2	0.09	-0.01
西宁市	22.27	201.36	1606.53	3	-0.72	-0.68
海东市	54.35	170.02	836.00	2	-0.20	-0.21
海北州	5.23	29.70	636.00	2	-0.46	-0.45
黄南州	2.94	27.06	344.29	1.5	-0.66	-0.62
海南州	14.67	46.69	476.00	2	-0.19	-0.21
果洛州	0.20	19.72	36.50	1	-0.96	-0.96
玉树州	0.30	39.19	46.40	1	-0.97	-0.94
海西州	6.63	46.31	746.30	2	-0.53	-0.50

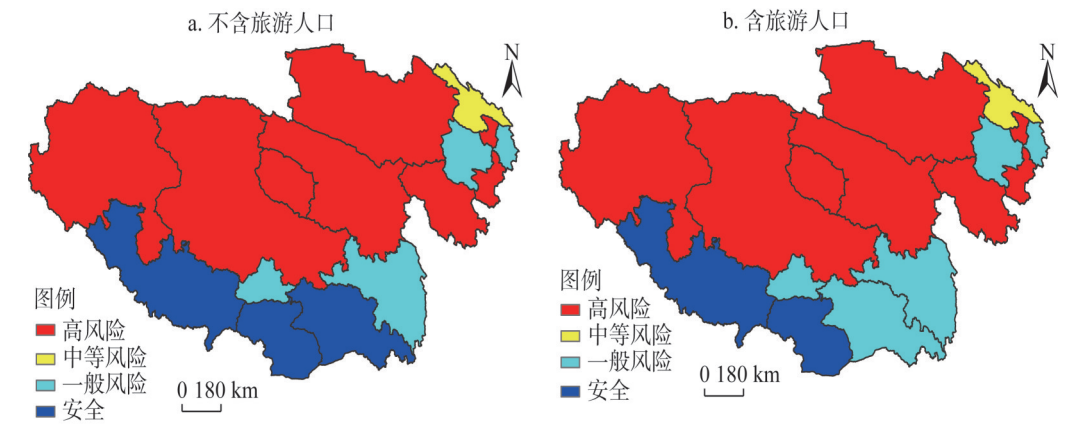


图10 2015年青藏高原粮食安全格局对比图

Fig. 10 Comparison on spatial patterns of grain security in the Tibetan Plateau in 2015

4 结论

(1) 青藏高原粮食产量在波动中增长，消费需求增长稳定，需从外界大量调入粮食才能满足需求。1952至2015年青藏高原粮食产量由52.67万t增长到207.47万t，增长了293.92%，但粮食生产不稳定，呈现三个明显波动期，分别是20世纪60年代中后期、20世纪70年代末80年代初、2000年前后。青藏高原粮食消费量稳定增长，本地粮食生产不能满足需求，1985-2015年粮食缺口量达21.04万~121.69万t，相当于粮食消费需求的8.22%~40.11%。

(2) 青藏高原粮食生产和消费空间分布不均衡, 且变化较大。湟黄谷地开发历史悠久, 耕地集中, 是青藏高原东部粮食生产中心; “一江两河”流域, 开发历史较晚, 但光、热、水、土等自然条件优越, 是青藏高原南部粮食生产基地; 藏北高原和青南高原, 海拔均在4500 m以上, 以畜牧业为主, 粮食产量较低。粮食生产重心随着农业开发时序变化沿西南—东北方向发生阶段性迁移; 受人口、城市及交通分布影响, 粮食消费呈现东高西低的格局, 消费重心逐渐向西南移动。

(3) 青藏高原粮食安全风险格局以风险较高类型为主, 风险较高类型包括县市数量大、人口多、面积广。2015年风险较高类型包含42个县市, 面积128.72万km², 涉及人口292.95万, 广泛分布在藏北高原、青南高原、祁连山地以及城市化水平较高的拉萨市辖区和西宁市辖区。1985-2015年雅鲁藏布江中游和下游、青海东南部粮食安全风险明显好转, 阿里西部和青海东北部粮食安全形势恶化。

(4) 旅游开发与旅游业发展对青藏高原粮食安全格局具有一定影响。考虑旅游人口, 2015年青藏高原粮食缺口增加了17.95万t, 达132.92万t。旅游人口增加了拉萨市、林芝市、山南地区、日喀则市、海东市、海南州6个地级市的粮食安全风险, 其中对林芝市的影响尤为显著。

(5) 单纯依靠粮食增产不能解决区域粮食问题, 建立完善的粮食储备和交通物流体系、加强与内地及周边国家的粮食贸易合作是提高青藏高原粮食安全水平的关键。青藏高原目前已经建立了较完善的四级粮食储备体系, 并形成北、东、南三大粮食运输通道, 主要缺粮区通过与周边省市的贸易交流和物资流通弥补粮食缺口。随着中国“一带一路”战略的实施, 未来青藏高原可以通过加强与中亚、东南亚粮食生产国的农产品贸易, 利用国内外两种资源、两个市场保障区域粮食安全。

参考文献(References):

- [1] 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. [LIU Y H, YANG Q Y. Land, food and population in the Tibet Autonomous region. Journal of Natural Resources, 1991, 6(2): 127-136.]
- [2] 刘键, 李祥妹, 钟祥浩. 西藏自治区居民食品消费结构与粮食对策. 山地学报, 2004, 22(3): 286-291. [LIU J, LI X M, ZHONG X H. Consumption structure of food and the countermeasure of grain in Tibet. Journal of Mountain Science, 2004, 22(3): 286-291.]
- [3] 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.]
- [4] 樊杰, 徐勇, 王传胜, 等. 西藏近半个世纪以来人类活动的生态环境效应. 科学通报, 2015, 60(32): 3057-3066. [FAN J, XU Y, WANG C S, et al. The effects of human activities on the ecological environment of Tibet over the past half century. Chinese Science Bulletin, 2015, 60(32): 3057-3066.]
- [5] 徐增让, 张懿锂, 成升魁, 等. 青藏高原区域可持续发展战略思考. 科技导报, 2017, 35(6): 108-114. [XU Z R, ZHANG Y L, CHENG S K, et al. Scientific basis and the strategy of sustainable development in Tibetan Plateau. Science & Technology Review, 2017, 35(6): 108-114.]
- [6] 王先明. 西藏高寒农区在粮食生产中的地位和作用. 西藏农业科技, 1996, 17(4): 20-22. [WANG X M. The status and role of Tibet's alpine farming area in grain production. Tibet Journal of Agricultural Sciences, 1996, 17(4): 20-22.]
- [7] 李泽启, 朱京生, 梁明海. 青海提高粮食自给水平对策研究. 青海社会科学, 1997, (3): 37-44. [LI Z Q, ZHU J S, LIANG M H. Study on the measures to improve grain self-sufficiency in Qinghai province. Qinghai Social Sciences, 1997, (3): 37-44.]
- [8] 马洪波. 解决青海粮食问题的思路. 开发研究, 1992, (2): 14-16. [MA H B. Solutions of grain problems in Qinghai

- province. *Research on Development*, 1992, (2): 14-16.]
- [9] 周强, 刘林山, 张镡锂, 等. 高原牧区草地变化对牧民粮食安全的影响: 以青海省达日县为例. *自然资源学报*, 2011, 26(8): 1333-1345. [ZHOU Q, LIU L S, ZHANG Y L, et al. Effect of grassland change on food security in alpine pastoral area: A case study in Dalag county, China. *Journal of Natural Resources*, 2011, 26(8): 1333-1345.]
- [10] 赵贯锋, 余成群, 钟志明, 等. 西藏食物安全战略初探. *西藏科技*, 2016, (5): 17-21. [ZHAO G F, YU C Q, ZHONG Z M, et al. A preliminary study on food safety strategy in Tibet. *Tibet Science and Technology*, 2016, (5): 17-21.]
- [11] 封志明, 陈百明, 王立新. 现实与未来: 中国的人口与粮食问题. *科技导报*, 1991, 9(4): 31-34. [FENG Z M, CHEN B C, WANG L X. Today and the future: Population and grain in China. *Science and Technology Review*, 1991, 9(4): 31-34.]
- [12] 陈百明, 周小萍. 中国粮食自给率与耕地资源安全底线的探讨. *经济地理*, 2005, 25(2): 145-148. [CHEN B M, ZHOU X Q. Analysis on the grain self-sufficient ratio and the safe baseline of cultivated land in China. *Economic Geography*, 2005, 25(2): 145-148.]
- [13] 张利国. 我国区域粮食安全演变: 1949-2008. *经济地理*, 2011, 31(5): 833-838. [ZHANG L G. Evolution of China's regional food security: 1949-2008. *Economic Geography*, 2011, 31(5): 833-838.]
- [14] 起晓星, 刘黎明, 刘亚彬. 基于缺口率模型的区域粮食安全风险评估. *农业工程学报*, 2013, 29(9): 1-8. [QI X X, LIU L M, LIU Y B. Risk assessment for regional food security based on models of food supply-demand gap. *Transactions of the CSAE*, 2013, 29(9): 1-8.]
- [15] 姚成胜, 黄琳, 吕晞. 中国中部地区粮食安全水平及其对国家粮食安全的保障能力评价. *地域研究与开发*, 2015, 34(6): 149-154. [YAO C S, HUANG L, LYU X. Evaluation on central China's food security situation and its guarantee ability to China. *Areal Research and Development*. 2015, 34(6): 149-154.]
- [16] 殷培红, 方修琦, 马玉玲, 等. 21世纪初我国粮食供需的新空间格局. *自然资源学报*, 2006, 21(4): 625-631, 678. [YIN P H, FANG X Q, MA Y L, et al. New regional pattern of grain supply-demand in China in the early 21st century. *Journal of Natural Resources*, 2006, 21(4): 625-631, 678.]
- [17] 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. The land carrying capacity of China based on man-grain relationship. *Journal of Natural Resources*, 2008, 23(5): 865-875.]
- [18] 程鸿, 倪祖彬, 孙尚志, 等. 青藏高原农业地域分异. *资源科学*, 1981, 3(2): 7-13. [CHENG H, NI Z B, SUN S Z, et al. Regional differentiation of agriculture in the Tibetan Plateau. *Resources Science*, 1981, 3(2): 7-13.]
- [19] HEADEY D, ECKER O. Rethinking the measurement of food security: From first principles to best practice. *Food Security*, 2013, 5(3): 327-343.
- [20] SMITH L C, OBEID A E E, JENSEN H H. The geography and causes of food insecurity in developing countries. *Agricultural Economics*, 2015, 22(2): 199-215.
- [21] HUANG J, YANG G. Understanding recent challenges and new food policy in China. *Global Food Security*, 2017, 12: 119-126.
- [22] 中国农业科学院. 人均400公斤粮食必不可少. *中国农业科学*, 1986, 19(5): 1-7. [Chinese Academy of Agricultural Sciences. 400 kilogrammes of grain per capital are essential to China. *Scientia Agricultura Sinica*, 1986, 19(5): 1-7.]
- [23] 贺一梅, 杨子生. 基于粮食安全的区域人均粮食需求量分析. *全国流通经济*, 2008, (7): 6-8. [HE Y M, YANG Z S. Analysis on regional per capital food demand based on food security. *China Circulation Economy*, 2008, (7): 6-8.]

Spatial patterns and their changes of grain production, grain consumption and grain security in the Tibetan Plateau

DUAN Jian^{1,2}, XU Yong^{1,2}, SUN Xiao-yi^{3,4}

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. School of Economics and Management, UCAS, Beijing 100190, China; 4. Fortune Land Development Industrial Investment Co., Beijing 100872, China)

Abstract: The problem of grain shortages has long plagued the Tibetan Plateau, therefore both the state and the local government are scaling up efforts to achieve grain self-sufficiency and grain security in this region. Meanwhile, many researchers devoted themselves to study the grain security issues to provide rational advices. Here in this paper, we intended to analyze the temporal and spatial characteristics of grain production and consumption in the Tibetan Plateau and then evaluate the risk status of grain security in 114 counties. First, we revised the standards of per capita grain consumption demand in pasturing area and farming-pastoral region. Then, on this basis, we analyzed the corresponding data of the 114 counties during 1985-2015 by applying the fluctuation coefficient method, classification method, barycenter model and the index model of grain shortages. Analytical results showed that there was a non-uniform geographical distribution of grain production and consumption, moreover, the holistic status of grain security in the Tibetan Plateau was not optimistic. (1) The production of grain increased in fluctuation and the consumption of grain grew steadily, the local grain production could not meet the consumption demand, and the deficit amounts were between 0.21 and 1.22 million tons annually, which accounted for between 8.22% and 40.11% of the grain consumption. The gap between grain production and consumption including tourists increased to 1.33 million tons in 2015. (2) The spatial distributions of grain production and grain consumption in the Tibetan Plateau were imbalanced, the grain yields in Huang-Huang valley and the valley along the Yarlung Zangbo River were higher, while the yields distributed in the central and western parts of the plateau were lower. Affected by population, city, and traffic distribution, the grain consumption was high in the eastern part and low in the western. (3) The spatial patterns of grain security in the Tibetan Plateau in 2015 showed that the higher-risk types involved 42 counties with a population of 2.92 million, and they were widely distributed in western Tibet, northern Tibet, southern Qinghai, Qilian Mountains, as well as in municipal districts of cities of Lhasa and Xining; compared to 1985, the risks of grain security on the midstream and downstream of Yarlung Zangbo River and southeastern Qinghai province were mitigated, while those in western Ngari and northeastern Qinghai were intensified. (4) The tourists increased the risks of grain security in Lhasa, Nyingchi, Shannan, Shigatse, Haidong and Hainan cities, and the negative influence of tourist on Linzhi city was most significant. (5) Production increase alone cannot solve the problem of grain shortage, so it is urgent for the Tibetan Plateau to improve the grain reserves, transportation facilities and expand the grain trade with other regions to achieve regional grain security.

Keywords: Tibetan Plateau; grain production; grain consumption; grain security; spatial pattern