

1985—2015 年黄土高原地区粮食 生产空间格局变化及原因

段 健^{1,2}, 徐 勇^{1,2}, 徐小任³

(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.山东省水土保持与环境保育重点实验室, 临沂大学 资源环境学院, 山东 临沂 276005)

摘 要:针对黄土高原地区扩大退耕还林还草是否会引起区域粮食供给不足的问题,利用 1985—2015 年黄土高原地区县级单元人口、粮食产量、播种面积、单产等数据,采用分级法和空间自相关分析法研究黄土高原地区粮食生产时空分异特征,运用对数平均迪式分解法探讨不同时期粮食单产与播种面积对粮食增产的贡献率。结果表明:2015 年黄土高原地区粮食总产量和人均粮食产量分别达 4.45×10^7 t 和 396.53 kg,分别为 1985 年的 1.97、1.39 倍;粮食生产空间分布不平衡,284 个县级单元之间粮食产量相差较大,1985—2015 年粮食生产空间格局呈现逐渐由南向北、由东向西的转移趋势;粮食生产主要依靠单产支撑,1985—2015 年粮食增产 2.19×10^7 t,其中单产贡献率达 94.25%,面积贡献率仅 5.75%,但近几年单产贡献率下降应引起重视。该研究有助于提高对黄土高原地区粮食生产的认识,为区域制定粮食生产政策和生态退耕政策提供一些参考依据。

关键词:黄土高原地区; 粮食生产; 空间格局; 单产; 播种面积

中图分类号:F326

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2019)05-0381-08

Spatial Pattern and Changes of Grain Production in Loess Plateau Region Between 1985 and 2015

DUAN Jian^{1,2}, XU Yong^{1,2}, XU Xiaoren³

(1.*Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China*; 2.*University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*; 3.*Shandong Key Laboratory of Water and Soil Conservation and Environmental Protection, College of Resources and Environment, Linyi University, Linyi, Shandong 276005, China*)

Abstract: The problems of soil erosion, deterioration of ecological environment, backward economic development and grain shortages have long plagued the Loess Plateau region, which has attracted widely concerns of both government and academic circles. The Grain for Green Project implemented in the period 1999—2003 was the largest active revegetation programme in China, and the Chinese government has formulated a series of policies to expand the Grain for Green initiative. One concern with further expansion of Grain for Green is the availability of farmland and hence local food supply. In this paper, we firstly used the data of population, grain output, sown area and yield per unit area, and utilized the classification method and spatial autocorrelation analysis method to study the changes of the spatial distribution of grain production in Loess Plateau region between 1985 and 2015. Then, on this basis, we analyzed the factors contributing to the grain output increases by applying logarithmic mean weigh division index method. The analytical results showed that: (1) the capacity of grain production in Loess Plateau region had greatly improved, the total grain output and per capita grain output reached 4.45×10^7 t and 396.53 kg in 2015, respectively. The local food production had already exceeded the satisfaction level food security, which laid a solid material foundation for further expansion of Grain for Green; (2) the spatial distribution of grain output in Loess Plateau region was uneven

收稿日期:2018-11-06

修回日期:2018-11-26

资助项目: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)项目(KFJ-STZ-DTP-021);山东省自然科学基金项目(ZR2018PD003)

第一作者:段健(1986—),女,湖南怀化人,博士生,研究方向为区域可持续发展。E-mail:duanj.16b@igsrr.ac.cn

通信作者:徐勇(1964—),男,陕西榆林人,研究员,博士,博士生导师,主要从事土地利用与人地关系机理模拟、农业与乡村发展、资源环境承载力评价等方面的研究工作。E-mail:xuy@igsrr.ac.cn

among the 284 counties, it also showed a trend that the spatial distribution of grain production was shifting from south to north and from east to west gradually; (3) the grain production in Loess Plateau region was mainly relied on the improvement of yield per unit area in the past 30 years; the regional grain output increased by 2.19×10^7 t from 1985 to 2015; the contribution of yield per unit area accounted for 94.25%, which was much more than the contribution of sown area which just accounted for 5.75%; (4) we argued that continued expansion of revegetation in eastern mountainous area and loess hilly area would not cause food deficit. We suggest that the grain sown area in Erdos windy-sandy area should be reduced to save water resources; (5) this study could help increase the acknowledge of the grain security and ecological problems in Loess Plateau region from a historical and overall perspective, and also provide some references for the government to formulate policies to balance the regional grain production and ecological environment.

Keywords: Loess Plateau region; grain output; spatial pattern; yield per unit area; sown area

粮食问题一直是国际机构及世界各国政府持续关注的焦点问题。国际上对粮食问题的关注已从粮食供给转向粮食购买或获取,从减少饥饿到建立可持续粮食生产系统^[1-3]。可持续粮食安全观认为,粮食生产不能只注重产量,也要兼顾质量与生态效益,确保粮食生产的可持续性。中国新的粮食安全观认为,粮食生产潜力比粮食产量更重要,中国粮食安全战略应由“以产量为核心”转为“以生产潜力为核心”,实行“藏粮于地”,牺牲一部分粮食产能,把粮食生产从分散、低效、粗放的地区,集中到高效、集约的地区,以降低粮食生产对资源环境的负面影响^[4]。国内学者对中国粮食生产时空变化、人均粮食占有量空间差异以及中国粮食安全等方面的研究表明,中国粮食生产格局呈现“北上西进”的趋势,加剧了北方资源环境压力,尤其是生态脆弱和水资源紧缺的西北地区^[5-9]。

黄土高原地区位于中国北方,是世界上水土流失最严重的地区,长期以来由于生态环境脆弱和粮食生产不稳定导致粮食供给水平较低,是我国粮食安全脆弱区之一^[7-8],学术界研究侧重于区域粮食供给变化、粮食增产潜力以及实现农田高产高效的对策等方面^[10-11]。随着区域粮食生产能力提高与生态建设的推进,国内外学者开始关注黄土高原地区农业生产效率、粮食生产的生态与资源环境成本以及退耕还林工程对区域粮食生产的影响^[12-26]。2014 年国务院批准实施《新一轮退耕还林还草总体方案》^[27],该方案提出 2020 年前将全国约 2.83 万 km² 坡耕地和严重沙化耕地退耕还林还草,黄土高原水土流失区 25° 以上的坡耕地须全部退耕。2017 年中央一号文件提出实施耕地、草原、河湖休养生息规划,加快新一轮退耕还林还草工程实施进度。有些学者担忧,黄土高原地区继续退耕还林可能导致区域粮食供应不足或局部地区人粮关系紧张问题^[22-24];有些则认为,退耕还林政策的实质旨在通过以梯田、坝地和水浇地为主体的基本农田建设实现坡耕地退耕,通过梯田化和资源集约化提高耕地质量,通过提高粮食单产水平以抵消耕地数量减少而带来的粮食损失、稳定区域粮食产

量,通过基本农田、水利设施建设、农业技术等围蓄区域可持续粮食生产能力^[16,21,25]。

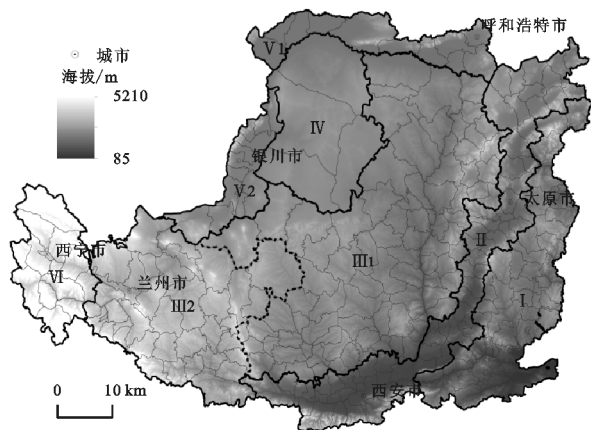
播种面积扩大为主导的粮食增产属于外延式增产,单产水平提升为主导的粮食增产属于内涵式增产。国内学者从单产与播种面积 2 个视角探究了我国粮食增产方式特点^[28-30]。刘忠等采用贡献因素分解法研究了全国和省级尺度粮食增产格局及面积与单产贡献率,研究表明 2003—2011 年全国尺度上粮食增产是播种面积、单产以及种植结构调整共同作用的结果;省级尺度上粮食增产主导方式差异显著,河南、安徽为单产主导,吉林和河北为单产面积共同作用型,其他粮食增产主力省为面积主导型^[30]。封志明等^[31]采用对数平均迪式分解法分析了 2003—2013 年中国粮食增产贡献因素,孙通等^[32]基于县级单元采用对数平均迪式分解法分析中国粮食增产的贡献因素,重点对东北平原、黄淮海平原及新疆自治区等传统粮食主产区或新兴粮食产区进入深入分析。上述研究视角与研究方法对本文研究具有重要的启示意义。针对黄土高原地区扩大退耕还林是否会引起区域粮食供给不足的问题,本文利用 1985—2015 年黄土高原地区县级单元人口、粮食产量、播种面积、单产等数据,运用分级法与空间自相关分析法分析近 30 a 黄土高原地区粮食生产时空分异特征,并在此基础上采用对数平均迪式分解法探究不同时期粮食单产与播种面积对粮食增产的贡献率,以期提高对黄土高原地区粮食生产的认识,为区域制定粮食生产政策和生态退耕政策提供一些参考依据。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

黄土高原地区指太行山以西、日月山—贺兰山以东、阴山以南、秦岭以北的广大地理区域。东邻华北平原,西连青藏高原,南至秦岭,西北部与内蒙古高原相接。全区面积约为 6.25×10^5 km²,行政区划包括陕西、甘肃、宁夏、青海、内蒙古、山西、河南 7 省(自治区)的 284 个县级行政单元。按照自然地理特征可将

区域划分为东部山地区、谷地盆地区、黄土丘陵区、鄂尔多斯沙地区、内蒙古和宁夏河套平原区、青东高原山地丘陵区 6 部分^[33](图 1)。区域大部分海拔为 1 000~1 500 m,地表黄土层在流水长期侵蚀下,形成塬、梁、峁沟壑纵横交错的地形。地势较低的山间盆地与河谷平原,地势平坦、土壤肥沃、地表水和地下水资源丰富,耕地较集中。光照丰富,降水较少且集中在 7—9 月,大多数地区年平均降水量 200~600 mm。主要粮食作物有玉米、水稻、谷子、糜子、小麦、豆类等,2015 年粮食产量 4.45×10^7 t,人均粮食产量 396.53 kg,单产 4 318.16 kg/hm²。2015 年人口 1.12 亿,人均地区生产总值、人均财政收入及人均居民收入分别为 42 998.84 元、3 020.21 元、15 544.48 元。



注: I 东部山地区; II 谷地盆地区; III 黄土丘陵区; III1 黄土沟谷丘陵区; III2 黄土宽谷丘陵亚区; IV 鄂尔多斯沙地区; V 内蒙古和河套平原区; V1 内蒙古河套平原亚区; V2 宁夏河套平原亚区; VI 青东高原丘陵山地区。

图 1 黄土高原地区地形及自然地域分区

1.2 数据来源

本文数据主要有 1985 年、1990 年、1995 年、2000 年、2005 年、2010 年、2015 年黄土高原地区县级行政单元粮食产量、播种面积、粮食单产以及人口数据,其中大部分来自《中国县(市)经济统计年鉴》;2000 年、2005 年、2015 年粮食播种面积数据来自内蒙古、陕西、山西、甘肃、宁夏、青海、河南 7 省(自治区)统计年鉴,其中 2015 年青海省各县级行政单元粮食播种面积缺失,因其与邻近的年份相差不大,故用 2014 年数据替代。黄土高原地区县(市、区)行政区划图和黄土高原地区地形 DEM 来源于民政部 2014 年版行政区划图和美国太空总署(NASA)与国防部国家测绘局(NIMA)联合测量的 SRTM3 文件。其他社会经济数据类型来源于 7 省(自治区)统计年鉴和中国统计年鉴。

2 研究方法

首先采用分级法和空间自相关分析法,研究黄土

高原地区粮食生产的时空演变特点,然后运用对数平均迪式分解法,计算粮食单产与播种面积对粮食增产的贡献率,对比分析不同时期黄土高原地区单产与播种面积对粮食生产的影响程度。

2.1 分级法

确定阈值的方法一般有间隔法、分位数、自然间断法(Jenks)、几何间断、标准差等方法。本文在粮食产量空间格局分析中采用自然间断法确定阈值,根据黄土高原地区粮食生产空间分布及产量由小到大的规律,按照小于 4.64 万 t,4.64~8.65 万 t,8.65 万 t~ 1.36×10^5 t, $1.36 \times 10^5 \sim 2.10 \times 10^5$ t 以及大于 2.10×10^5 t 将各县级单元粮食产量划分为低、较低、中等、较高、高 5 个等级类型。

2.2 空间自相关分析法

空间自相关是检验某一要素属性值与其相邻空间要素的属性值是否显著关联的重要指标,包括全局空间自相关和局部空间自相关两种测度方法。全局空间自相关分析可描述区域单元观测值的整体分布状况,局部空间自相关分析可确定空间集聚区域的分布,两者相辅相成,互为补充。

2.2.1 全局空间自相关 本研究采用 Moran's I 指数来定量分析黄土高原地区粮食产量空间自相关性,其计算公式如下^[34]:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m w_{ij} \times (k_i - \bar{k})(k_j - \bar{k})}{S^2 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m w_{ij}} \quad (1)$$

$$S^2 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (k_i - \bar{k})^2 \quad (2)$$

式中: k_i, k_j 分别为县市 i, j 的粮食产量(t); m 为区域县级单元总数; \bar{k} 为区域粮食产量平均值(t); w_{ij} 为县(市、区) i 的临近县(市、区) j 的空间权重,采用 4 倍邻接关系方式确定空间权重。

Moran's I 指数一般介于 $[-1, 1]$, 大于 0 表示全局空间正相关,小于 0 表示全局空间负相关,等于 0 表示全局空间不相关,Moran's I 指数绝对值越大表示相关性越强。

2.2.2 局部空间自相关 采用 Local Moran's (LISA) 方法,通过 LISA 集聚图进行局部空间自相关分析,其定义如下^[34]:

$$I_i = z_i \sum_{j=1}^m w_{ij} \times z_j \quad (3)$$

式中: z_i, z_j 是经过标准差标准化的数值。 w_{ij} 为县(市、区) i 的临近县(市、区) j 的空间权重,采用 4 倍邻接关系方式确定空间权重。

2.3 对数平均迪式分解法

对数平均迪式分解法模型(logarithmic mean

weigh division index method, LMDI) 最初运用于能源政策分析领域, 因其具有结果精准、结构简单等特点而被学界接受。近年来国内学者将 LMDI 模型引入粮食生产的影响因素分解, 得到广泛认可。本文采用 LMDI 模型计算黄土高原地区粮食播种面积和粮食单位产量的贡献率, 计算公式如下^[31-32]:

$$\Delta P_i = \Delta P_{si} + \Delta P_{ai}$$

(4)

$$\Delta P_{si} = \frac{P_{ti} - P_{oi}}{\ln P_{ti} - \ln P_{oi}} \ln \frac{S_{ti}}{S_{oi}}$$

(5)

$$\Delta P_{ai} = \frac{P_{ti} - P_{oi}}{\ln P_{ti} - \ln P_{oi}} \ln \frac{a_{ti}}{a_{oi}}$$

(6)

$$C_{si} = \frac{\Delta P_{si}}{\Delta P_i} \times 100\%$$

(7)

$$C_{ai} = \frac{\Delta P_{ai}}{\Delta P_i} \times 100\%$$

(8)

$$C_{si} + C_{ai} = 1$$

(9)

式中: ΔP_i 代表 i 县(市、区)的粮食增产量(t); ΔP_{si} , ΔP_{ai} 分别代表 i 县(市、区)粮食生产由面积增加和单产提升所带来的增产量(t); P_{oi} , P_{ti} 分别代表 i 县(市、区)初期和末期粮食产量(t); S_{oi} , S_{ti} 分别代表 i 县(市、区)初期和末期粮食播种面积(hm^2); a_{oi} , a_{ti} 分别代表 i 县(市、区)初期和末期粮食单产(kg/hm^2); C_{si} , C_{ai} 分别代表 i 县(市、区)粮食播种面积和单产对粮食增产的贡献率(%)。

为了衡量播种面积和单产对粮食增产贡献率之间的对比关系, 本文参考封志明和孙通的研究^[29-30], 按照 $\max(C_{si}, C_{ai}) \leq 50\%$, $50\% < \max(C_{si}, C_{ai}) \leq 60\%$, $60\% < \max(C_{si}, C_{ai}) \leq 80\%$ 以及 $\max(C_{si}, C_{ai}) > 80\%$ 将两者贡献率划分为不显著、较显著、显著和十分显著 4 个等级。

3 结果与分析

3.1 粮食总产量与人均粮食产量变化

表 1 为不同时期黄土高原地区粮食产量与人均粮食产量, 分析表 1 可知, 黄土高原地区粮食生产能力显著提高, 人均粮食产量增加, 粮食安全保障水平提高显著。1985—2015 年黄土高原地区粮食产量由 2.26×10^7 t 增长到 4.45×10^7 t, 增长 1.97 倍; 人均粮食产量由 285.79 kg 提高到 396.53 kg, 增加了 1.39 倍。国内学者一般将人均 300 kg 和人均 400 kg 分别作为温饱水平和小康水平的粮食安全保障线^[33-35]。2000 年以前全区人均粮食产低于 300 kg, 尚不能解决温饱问题; 2005 年全区人均粮食产量达 340.20 kg, 解决了温饱; 2015 年全区人均粮食产量达 396.53 kg, 粮食安全保障水平进一步提高。

3.2 粮食生产时空分异特征

表 2 为 1985—2015 年黄土高原地区县级单元粮食

产量分级情况, 图 2 为不同时期黄土高原地区粮食生产空间分布, 分析图 2 和表 2 可知, 1985 年黄土高原地区粮食生产水平较低, 粮食生产格局以低和较低 2 种等级类型为主。低类型包含 104 个县市单元, 涉及人口 1.79×10^7 人, 占总人口的 22.54%, 成片分布在黄土丘陵区、鄂尔多斯山地区、青东高原山地丘陵区; 较低类型包含 76 个县市单元, 涉及人口 1.97×10^7 , 占总人口的 24.91%, 主要分布在黄土丘陵区、东部山地区中部; 中等类型包含 63 个县市单元, 涉及人口 1.94×10^6 , 占总人口的 24.46%, 集中分布于内蒙古河套平原、宁夏河套平原南部、黄土丘陵宽谷丘陵亚区, 分散分布在东部山地区与谷地盆地区; 较高等级包含 31 个县市单元, 涉及人口 1.68×10^7 , 占总人口的 21.20%, 集中分布渭河谷地、太原盆地、豫西北山区, 零星分布在湟河谷地、内蒙古和河套平原区; 高等级类型仅包含 10 个县市, 涉及人口 5.46×10^6 , 占总人口的 6.89%, 零星分布在渭河谷地、汾河谷地及豫西北山区。

表 1 黄土高原地区粮食产量与人均粮食产量变化			
年份	粮食产量/ 万 t	人口/ $\times 10^6$	人均粮食 产量/kg
1985	2264.59	79.24	285.79
1990	2559.38	88.52	289.13
1995	2673.45	94.05	284.26
2000	2951.89	99.60	296.37
2005	3566.31	104.83	340.20
2010	4353.33	112.59	386.65
2015	4451.87	112.27	396.53

2015 年黄土高原地区粮食生产格局发生逆转, 以高等级类型为主。高等级类型包含 82 个县市, 涉及人口 4.75×10^7 , 占总人口的 42.33%, 广泛于内蒙古和宁夏河套平原、黄土丘陵宽谷丘陵亚区、东部山地区与谷地盆地南部。较高等级包含 48 个县市, 涉及人口 1.68×10^7 人, 占总人口的 14.99%, 分布在高等级类型区周围; 中等级类型包含 49 个县市, 涉及人口 2.02×10^7 , 占总人口的 17.96%, 集中分布在鄂尔多斯沙地区、黄土丘陵宽谷丘陵亚区, 零星分布东部山地区与谷地盆地区; 较低等级类型包含 46 个县市, 涉及人口 1.16×10^7 , 总人口的 10.32%, 主要分布在青东高原山地丘陵区东部、东部山地区北部、太原盆地; 低等级类型包含 59 个县市, 涉及人口 1.62×10^7 , 占总人口的 14.40%, 主要分布在青东高原山地丘陵区西部、黄土丘陵沟壑亚区、渭河谷地。

应用 GeoDa 与 ArcGIS 软件对黄土高原地区粮食生产进行全局空间自相关与局部自相关分析。全局空间自相关分析结果显示, 1985—2015 年黄土高原粮食产量 Moran's I 指数为 0.32~0.47, p 值均为

0,均通过 Z 值检验($p < 0.05$),表明黄土高原地区粮食生产不是随机分布的,而是具有明显的空间自相关性,即同类或相似类型集聚分布。图 3 为局部空间相关分析 LISA 图,由图可知,高高集聚、低低集聚、高低集聚、低高集聚 4 种集聚类型主要以前两者为主,1985 年高高集聚区主要分布在南部关中盆地、豫西北山区一带,低低集聚区主要分布在青东高原山地丘陵区、黄土

丘陵沟壑亚区;1995—2010 年南北同时出现 2 个高高集聚区,南部渭河谷地高高集聚区与北部的内蒙古和宁夏河套平原高高集聚区,低低集聚区变化不大;2010—2015 年北部高高集聚区范围扩大,南部高高集聚区范围缩小,黄土高原地区西部宽谷丘壑区出现新的高高集聚区。以上特征表明,黄土高原地区粮食生产空间格局呈现由南向北、由东向西转移的趋势。

表 2 黄土高原地区县级单元粮食产量分级类型及变化

年份	级别	低	较低	中等	较高	高
	范围/万 t	<4.64	4.64~8.65	8.65~13.6	13.6~21.0	>21.0
1985	县级单元数	104(36.62)	76(26.76)	63(22.18)	31(10.92)	10(3.52)
	面积/万 km ²	25.95(41.55)	16.86(26.99)	13.72(21.96)	4.69(7.50)	1.25(2.00)
	人口/万	17.86(22.54)	19.74(24.91)	19.38(24.46)	16.80(21.20)	5.46(6.89)
1990	县级单元数	98(34.51)	65(22.89)	64(22.54)	38(13.38)	19(6.68)
	面积/万 km ²	24.25(38.82)	15.27(24.44)	11.89(19.04)	7.32(11.72)	3.73(5.98)
	人口/万	18.92(21.38)	16.12(18.21)	25.04(28.29)	15.42(17.42)	13.02(14.70)
1995	县级单元数	89(31.35)	78(27.46)	53(18.66)	40(14.08)	24(8.45)
	面积/万 km ²	19.31(30.92)	17.91(28.67)	13.04(20.87)	6.66(10.66)	5.54(8.88)
	人口/万	18.60(19.78)	21.22(22.57)	21.71(23.08)	16.70(17.75)	15.81(16.82)
2000	县级单元数	77(27.11)	74(26.06)	62(21.83)	37(13.03)	34(11.97)
	面积/万 km ²	15.32(24.52)	18.17(29.09)	14.87(23.82)	7.58(12.13)	6.52(10.44)
	人口/万	16.48(16.55)	20.89(20.98)	25.41(25.51)	15.78(15.84)	21.04(21.12)
2005	县级单元数	65(22.89)	65(22.89)	61(21.48)	51(17.95)	42(14.79)
	面积/万 km ²	12.22(19.57)	12.55(20.09)	17.87(28.61)	11.49(18.39)	8.33(13.34)
	人口/万	15.10(14.40)	15.97(15.23)	24.42(23.29)	23.60(22.51)	25.76(24.57)
2010	县级单元数	43(15.14)	56(19.72)	58(20.42)	51(17.96)	76(26.76)
	面积/万 km ²	7.53(12.06)	12.61(20.19)	13.55(21.69)	10.96(17.55)	17.8(28.51)
	人口/万	12.55(11.15)	12.61(11.20)	22.45(19.94)	21.15(18.79)	43.83(38.93)
2015	县级单元数	59(20.77)	46(16.20)	49(17.25)	48(16.91)	82(28.87)
	面积/万 km ²	8.81(14.11)	9.79(15.67)	12.21(19.55)	10.67(17.08)	20.98(33.59)
	人口/万	16.17(14.40)	11.59(10.32)	20.17(17.96)	16.83(14.99)	47.53(42.33)

注:括号内的数字表示所占比例(%)。

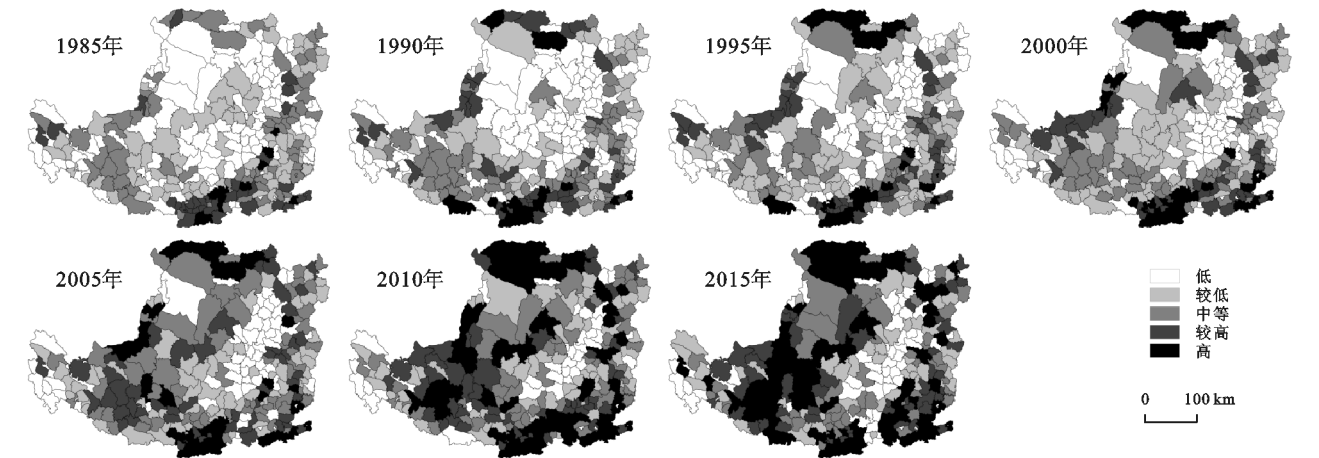


图 2 黄土高原地区粮食产量空间分布

3.3 粮食增产贡献因素分析

表 3 为黄土高原地区 1985—2015 年不同时期粮食增产贡献状况,总体上看,黄土高原地区粮食增产主要依靠单产,1985—2015 年粮食增产约 2.19×10^7 t,其中单

产贡献率达 94.25%,面积贡献率仅为 5.75%。分阶段看,1985—1990 年、2000—2005 年、2005—2010 年单产与播种面积对粮食增产兼有贡献,以单产为主导,单产贡献率为 62.87%~86.95%,面积贡献率为 13.05%~

37.31%；1990—1995 年和 1995—2000 年粮食增产完全由单产支撑，面积贡献率为负，单产贡献率高达 207.09%

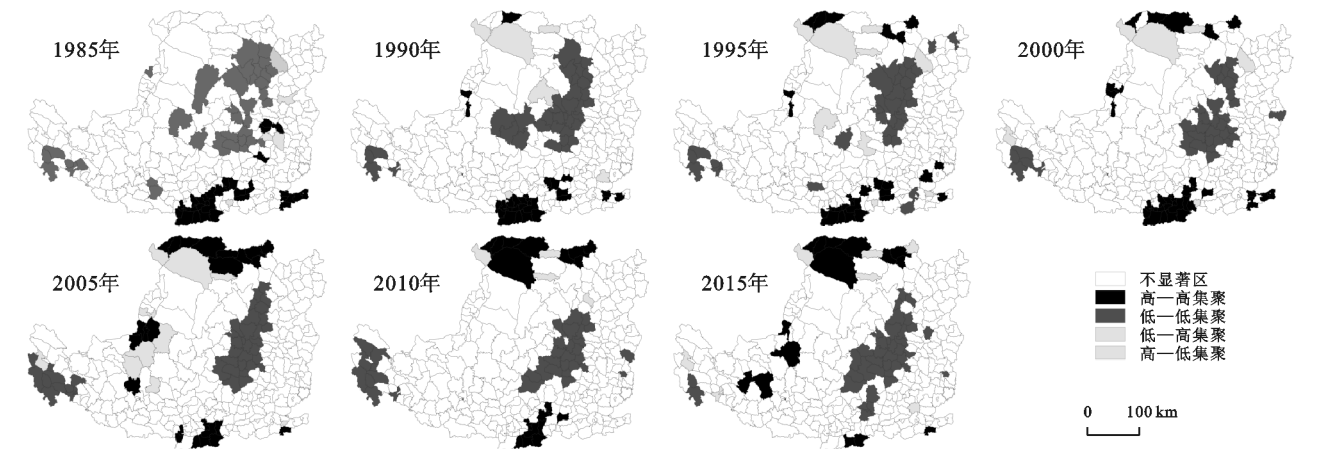


图 3 黄土高原地区粮食生产 LISA 集聚图

表 3 黄土高原地区粮食增产贡献状况

时期	单产贡献		面积贡献		总增 产量/万 t
	贡献量/ 万 t	贡献率/ %	贡献量/ 万 t	贡献率/ %	
1985—2015 年	206.15	94.25	125.76	5.75	218.72
1985—1990 年	185.33	62.87	109.46	37.13	294.79
1990—1995 年	236.22	207.09	-122.15	-107.09	114.07
1995—2000 年	500.39	179.71	-221.95	-79.71	278.44
2000—2005 年	534.26	86.95	80.16	13.05	614.42
2005—2010 年	540.1	68.63	246.92	31.37	787.02
2010—2015 年	-41.73	-42.35	140.27	142.35	98.54

表 4 为黄土高原地区县级单元 1985—2015 年不同时期粮食增产因素统计，图 4 为黄土高原地区粮食播种面积与单产增产贡献时空演变，分析表 4 和图 4 可知，单产贡献显著区分布范围较广泛且较稳定，播种面积贡献显著区分布范围小且随时间变化较大。20 世纪 80 年代后期单产贡献显著区包括 229 个县级单元，分布广泛；面积贡献显著区包括 45 个县级单元，呈不连续的带状分布在东部、南部及西部。1990—1995 年单产贡献显著区与面积贡献显著区包括的县级单元数量变化不大，但位置变化较大，单产

和 179.71%；2010—2015 年粮食增产靠扩大播种面积，单产贡献率为负，面积贡献率为 142.35%。

贡献显著区成片分布在东部、北部及西部，面积贡献显著区散布于黄土丘陵区、关中盆地、内蒙古和宁夏河套平原及豫西北山区。1995—2000 年单产贡献显著区县级单元数量略减少，分布范围缩小，面积显著区县级单元数量增加，分布范围向北部与西部扩展。2000—2005 年，单产贡献率显著区县级单元比例减少 19.32%，面积显著区县级单元比例增加 14.44%，两者分布位置也显著改变，单产贡献显著区成片分布在北部与西南，面积贡献显著区成片分布于内蒙古和宁夏河套平原区、陇东地区，分散分布在东南部。2005—2010 年单产贡献显著区县级单元数略增加，集中在东部与南部，面积贡献显著区县级单元数略减少，成片分布在西北、分散分布于西南，零星分布于其他地区。2010—2015 年，单产贡献显著区域面积贡献显著区县级单元数量均增加，两者的差距缩小，分布位置也有所改变。单产贡献显著区成片分布在黄土丘陵区与东部山地区，面积贡献显著区成片分布在鄂尔多斯沙地区、宁夏河套平原区及青东高原山地丘陵区，此外，太原盆地、关中盆地及陇东地区等也有分布。

表 4 黄土高原地区县级单元粮食增产因素统计

类型	等级	范围/%	不同时期县级单元数量					
			1985—1990 年	1990—1995 年	1995—2000 年	2000—2005 年	2005—2010 年	2010—2015 年
单产贡献	十分显著	>80	173(60.92)	187(65.85)	164(57.75)	143(50.35)	134(47.18)	148(52.11)
	中等显著	60~80	43(15.14)	28(9.86)	29(10.21)	14(4.93)	36(12.68)	14(4.93)
	一般显著	50~60	13(4.58)	10(3.52)	13(4.58)	12(4.23)	13(4.58)	12(4.23)
	不显著	≤50	55(19.36)	59(20.77)	78(27.46)	115(40.49)	101(35.56)	110(38.73)
面积贡献	十分显著	>80	28(9.86)	29(10.21)	27(9.51)	67(23.59)	43(15.14)	67(23.59)
	中等显著	60~80	9(3.17)	10(3.52)	14(4.93)	18(6.34)	24(8.45)	11(3.87)
	一般显著	50~60	8(2.82)	10(3.52)	8(2.82)	5(1.76)	11(3.87)	9(3.17)
	不显著	≤50	239(84.15)	235(82.75)	235(82.74)	194(68.31)	206(72.54)	197(69.37)

注：括号内的数字表示所占比例(%)。

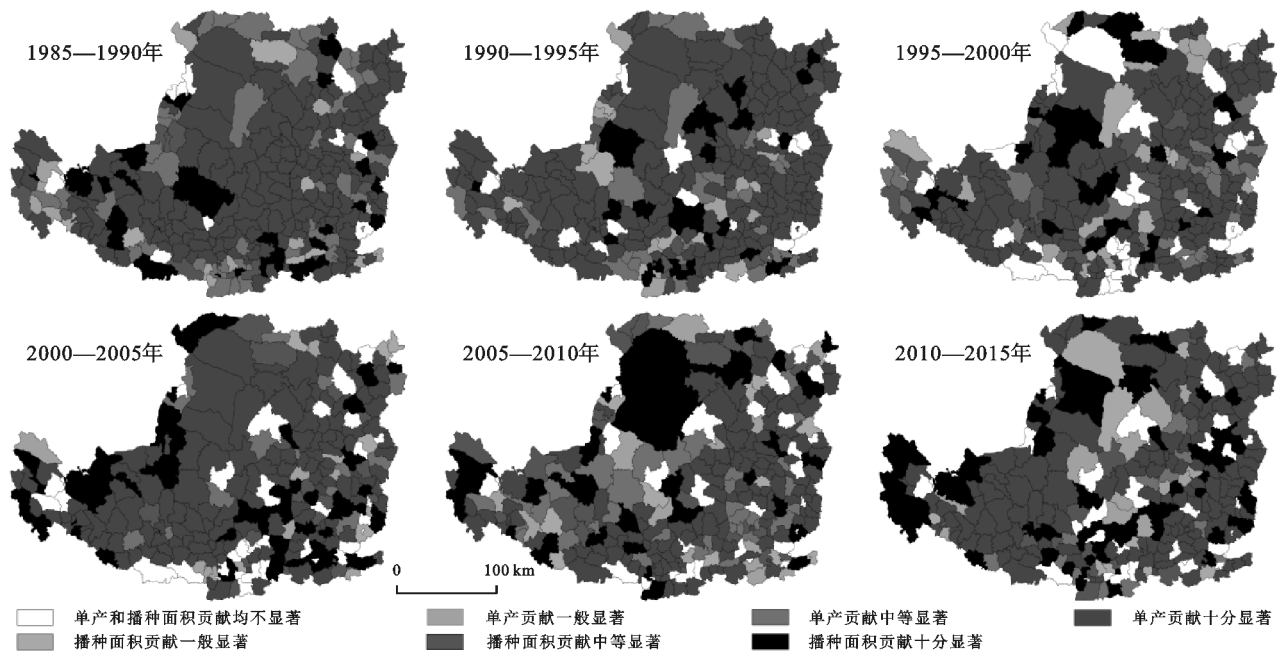


图 4 黄土高原地区粮食播种面积与单产增产贡献时空演变

4 结论与讨论

4.1 讨论

(1) 粮食生产能力与粮食安全保障水平对区域生态退耕政策的实施具有重要意义,粮食增产方式也是生态退耕政策应考虑的重要因素。2015 年区域人均粮食产量达到 396.53 kg,粮食安全保障水平提高,扩大退耕还林条件成熟。从粮食增产方式来看,黄土丘陵区与东部山区单产不稳定,近年单产贡献率降低,建议加快 25° 以上坡耕地退耕还林,通过修建梯田与淤地坝提高耕地质量,稳定单产。位于干旱与半干旱地区的鄂尔多斯沙地区粮食增产越来越依赖扩大播种面积,这种以外延式增产为主导的粮食生产方式不仅增加区域水资源压力,严重时甚至造成土地沙化,建议实行“退耕还水”,即通过发展节水农业和适度减少的耕作面积等,以减少农业用水,缓解水资源压力。

(2) 本文研究中未考虑气候因素对粮食产量的影响。在选取 1985 年、1990 年、1995 年、2000 年、2005 年、2010 年、2015 年 7 个时间断面的粮食产量数据时,未考虑降水、自然灾害等因素对粮食产量的影响,研究结果与实际情况可能有出入。实际上,降水对黄土高原地区作物产量的影响比较显著,黄土高原地区降水量年际差异很大,导致粮食产量年际之间丰歉波动。未来可采用 3 a 平均值或 5 a 平均值代替各个截面数据,消除气候等偶然因素对粮食产量的影响。

(3) 黄土高原地区粮食生产受耕地质量提高^[36-40]、农田灌溉条件改善^[21],种植业结构调整^[21,36],良种、栽培、施肥、保墒技术等农业科技的应用推广^[21],农业政策^[21]及全球气候变暖^[41-42]等多重因素共同影响。受篇幅与数据限制,文章对于黄土高原地区粮食增产的贡

献因素分析中主要考虑播种面积与单产 2 个方面,未来有待进一步细化其他方面的量化研究。

4.2 结论

(1) 黄土高原地区粮食生产能力显著增加,2015 年区域粮食总产量和人均产量分别达 4.45×10^7 t 和 396.53 kg,分别为 1985 年的 1.97、1.39 倍,为推进新一轮生态退耕政策的实施奠定了坚实的物质基础。

(2) 黄土高原粮食生产空间分布不平衡,284 个县级单元之间粮食产量相差较大。2015 年粮食产量以高和较高等级类型的县级单元广泛于内蒙古和宁夏河套平原、黄土丘陵宽谷丘陵亚区、东部山地区与谷地盆地南部;中等级类型集中分布在鄂尔多斯沙地区、黄土丘陵宽谷丘陵亚区,零星分布东部山地区与谷地盆地区;较低等级类型主要分布在青东高原山地丘陵区东部、东部山地区北部、太原盆地;低等级类型主要分布在青东高原山地丘陵区西部、黄土丘陵沟壑亚区、渭河谷地。

(3) 黄土高原地区粮食生产空间格局呈现由南向北、由东向西的转移趋势,与全国粮食生产空间格局变化较一致,西北地区面临的水资源压力增大。1985—2015 年东部山地区、内蒙古和宁夏河套平原区、谷地盆地区大部分地区、黄土丘陵区西部以及鄂尔多斯沙地区粮食增产显著,太原盆地和渭河谷地粮食产量下降显著。

(4) 近 30 a 黄土高原地区粮食生产主要依靠单产支撑,1985—2015 年粮食增产 2.19×10^7 t,其中单产贡献率达 94.25%,面积贡献率仅 5.75%。分阶段看,2010—2015 年粮食面积贡献率高于单产,其他 5 个时期粮食单产贡献率远高于面积贡献率;从空间分布看,单产贡献显著区分布范围较广泛且随时间变化较小,播种面积贡献显著区分布范围小且随时间变化较大。

参考文献:

- [1] Garnett T. Three perspectives on sustainable food security: efficiency, demand restraint, food system transformation. What role for life cycle assessment? [J]. Journal of Cleaner Production, 2014, 73(12): 10-18.
- [2] Berry E M, Dernini S, Burlingame B. Food security and sustainability: can one exist without the other? [J]. Public Health Nutrition, 2015, 18(13): 1-10.
- [3] Huang J, Yang G. Understanding recent challenges and new food policy in China [J]. Global Food Security, 2017, 12: 119-126.
- [4] 成升魁, 汪寿阳. 新时期粮食安全观与粮食供给侧改革 [J]. 中国科学院院刊, 2017, 32(10): 1074-1082.
- [5] 鲁奇, 吕鸣伦. 五十年代以来我国粮食生产地域格局变化趋势及原因初探 [J]. 地理科学进展, 1997, 16(1): 34-39.
- [6] 刘玉杰, 杨艳昭, 封志明. 中国粮食生产的区域格局变化及其可能影响 [J]. 资源科学, 2007, 29(2): 8-14.
- [7] 殷培红, 方修琦. 中国粮食安全脆弱区的识别及空间分异特征 [J]. 地理学报, 2008, 63(10): 1064-1072.
- [8] 刘彦随, 翟荣新. 中国粮食生产时空格局动态及其优化策略探析 [J]. 地域研究与开发, 2009, 28(1): 1-5.
- [9] 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.
- [10] 潘竟虎, 张建辉. 中国县域人均粮食占有量的时空差异及驱动因素 [J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(3): 410-418.
- [11] 陈秧分, 李先德. 中国粮食产量变化的时空格局与影响因素 [J]. 农业工程学报, 2013, 29(20): 1-10.
- [12] 黄明斌, 董翠云, 李玉山. 黄土高原水土流失区粮食现状与增产潜力研究 [J]. 自然资源学报, 2001, 16(4): 366-372.
- [13] 李军, 邵明安, 王立祥. 黄土高原地区粮食生产潜力与粮食生产发展战略探讨 [J]. 中国生态农业学报, 2002, 10(1): 118-120.
- [14] 徐勇, Roy C. Sidle, 景可. 黄土丘陵区生态环境建设与农村经济发展问题探讨 [J]. 地理科学进展, 2002, 21(2): 130-138.
- [15] 徐勇, 张同升, 杨勤科. 黄土高原地区安塞县生态退耕情景及农业影响 [J]. 地理学报, 2006, 61(4): 369-377.
- [16] 上官周平. 黄土高原地区水土保持与生态建设的若干思考 [J]. 中国水土保持科学, 2006, 4(1): 1-4.
- [17] 李晓, 谢永生, 张应龙, 等. 黄土高原沟壑区粮食生产中的生态成本 [J]. 应用生态学报, 2010, 21(12): 3168-3174.
- [18] 徐勇, 韩国义, 朱会义. 黄土高原生态重建与区域可持续发展研究范式探讨 [J]. 水土保持研究, 2003, 10(4): 14-18.
- [19] 何毅峰, 谢永生, 王继军, 等. 吴起县耕地变化与粮食安全问题的研究 [J]. 中国农学通报, 2008, 24(10): 583-588.
- [20] 姚蓉. 退耕还林(草)背景下延安市粮食安全态势评析 [J]. 水土保持研究, 2011, 18(6): 226-230.
- [21] 徐勇, 刘艳华, 汤青. 国家主体功能区划与黄土高原生态恢复 [J]. 水土保持研究, 2009, 16(6): 1-5.
- [22] 谢永生. 中国黄土高原水土保持与农业可持续发展 [M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- [23] 刘忠, 李保国. 退耕还林工程实施前后黄土高原地区粮食生产时空变化 [J]. 农业工程学报, 2012, 28(11): 1-8.
- [24] 王兵, 刘国彬, 张光辉, 等. 黄土高原实施退耕还林(草)工程对粮食安全的影响 [J]. 水土保持通报, 2013, 33(3): 241-245.
- [25] Chen Y, Wang K, Lin Y, et al. Balancing green and grain trade [J]. Nature Geoscience, 2015, 8(10): 739-741.
- [26] 汪滨, 张志强. 黄土高原地区典型流域退耕还林土地利用变化及其合理性评价 [J]. 农业工程学报, 2017, 33(7): 235-245.
- [27] 刘国彬, 上官周平, 姚文艺, 等. 黄土高原地区生态工程的生态成效 [J]. 中国科学院院刊, 2017, 32(1): 11-19.
- [28] 徐国劲, 谢永生, 骆汉, 等. 重大生态工程规划设计的理论探讨 [J]. 自然资源学报, 2018, 33(7): 1139-1151.
- [29] 国家发展和改革委员会, 财政部, 国家林业局, 等. 关于印发新一轮退耕还林还草总体方案的通知 [R]. [EB/OL] http://xbkfs.ndrc.gov.cn/gzdt/201409/t20140926_626886.html.
- [30] 刘忠, 黄峰, 李保国. 2003—2011 年中国粮食增产的贡献因素分析 [J]. 农业工程学报, 2013, 29(23): 1-8.
- [31] 封志明, 孙通, 杨艳昭. 2003—2013 年中国粮食增产格局及其贡献因素研究 [J]. 自然资源学报, 2016, 31(6): 895-907.
- [32] 孙通, 封志明, 杨艳昭. 2003—2013 年中国县域单元粮食增产格局及贡献因素研究 [J]. 自然资源学报, 2017, 32(2): 177-185.
- [33] 中国科学院黄土高原地区综合科学考察队. 黄土高原地区土地资源 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1991.
- [34] 徐小任, 徐勇. 黄土高原地区人类活动强度时空变化分析 [J]. 地理研究, 2017, 36(4): 661-672.
- [35] 中国农业科学院. 人均 400 kg 粮食必不可少 [J]. 中国农业科学, 1986, 19(5): 1-7.
- [36] 贺一梅, 杨子生. 基于粮食安全的区域人均粮食需求量分析 [J]. 全国流通经济, 2008, 2008(7): 6-8.
- [37] 徐勇, 甘国辉, 王志强. 基于 WIN-YIELD 软件的黄土丘陵区作物产量地形分异模拟 [J]. 农业工程学报, 2005, 21(7): 61-64.
- [38] 徐勇, 杨波, 刘国彬, 等. 黄土高原地区作物产量及水土流失地形分异模拟 [J]. 地理学报, 2008, 63(11): 1218-1226.
- [39] 徐勇, 安祥生, 杨波, 等. 黄土高原地区坡改梯综合效益分析: 以燕沟流域为例 [J]. 中国水土保持科学, 2010, 8(1): 1-5.
- [40] 刘彦随. 土地综合研究与土地资源工程 [J]. 资源科学, 2015, 37(1): 1-8.
- [41] 刘宪锋, 杨勇, 任志远, 等. 2000—2009 年黄土高原地区植被覆盖度时空变化 [J]. 中国沙漠, 2013, 33(4): 1244-1249.
- [42] 曾晟轩, 顾娟, 贺缠生. 西北农牧交错带中部气候变化特征及其持续性 [J]. 水土保持研究, 2018, 25(4): 356-364.