

黄土高原新一轮退耕还林草工程对粮食生产的影响

时亚坤¹, 曾 奕^{2,3}, 郭金金⁴, 方怒放^{2,4}

(1.国家林业和草原局西北调查规划设计院, 西安 710041; 2.西北农林科技大学

水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨陵 712100;

3.华中农业大学 资源与环境学院, 武汉 4300703; 4.中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

摘 要:中国正在积极实现 2030 年可持续发展目标,需要用世界耕地面积 7%的土地养活 22%的人口,同时开展大量的生态工程以改善生态环境。然而粮食生产和植被恢复之间的土地冲突会影响植被恢复的可持续发展。通过空间分析和情景模拟描述了黄土高原区坡耕地的空间分布特征及其影响因素,预测了不同植被恢复情境下的区域粮食供应。结果表明:目前黄土高原区 20°以上陡坡耕地约占坡耕地总面积的 13%。陡坡耕地主要集中在黄土丘陵沟壑区,其空间分布受到经济发展水平的显著影响。与第一轮退耕还林不同,新一轮退耕还林所有退耕情景下的粮食自给率都没有下降的趋势,且都能逐渐达到 0.90 的粮食安全阈值。黄土高原地区可以考虑进一步退耕到 20°以下,以实现更高的水土保持效益和固碳功能。但由植被恢复造成的区域粮食供应不足所引发的复耕问题仍然需要引起重视,通过更精细的规划才能保证区域粮食供应和可持续的植被恢复。

关键词:退耕还林还草工程; 粮食安全; 可持续植被恢复; 坡耕地; 情景分析

中图分类号:F326.11; F326.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2022)03-0419-07

Effect of the New Phase of the Grain for Green Program on Grain Output on the Loess Plateau

SHI Yakun¹, ZENG Yi^{2,3}, GUO Jinjin⁴, FANG Nufang^{2,4}

(1.Northwest Surveying, Planning and Designing Institute, National Forestry and Grassland Administration,

Xian 710041, China; 2.State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau,

Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3.College of

Resources & Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 4.Institute of Soil and

Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract:China is actively achieving the 2030 sustainable development goals, including using only 7% of the world's agricultural land to stop 22% of the world's population from going hungry and carrying out a number of national vegetation restoration projects to control climate change. However, the reduction of cropland caused by vegetation restoration may threaten food security, which may lead China to face challenges about the uncertain impact of large-scale vegetation restoration on regional food security. We analyzed the spatial distribution characteristics of sloping cropland and its influencing factors on the Loess Plateau, and to predict regional food security under different vegetation restoration scenarios by using spatial statistics and scenario analysis. The results show that the cropland with slope $>20^\circ$ still widely distributes in the Loess Plateau, accounting for about 13% of the total area of sloping cropland; the cropland with slope $>20^\circ$ mainly concentrates in the loess hilly and gully region, which is significantly affected by the level of regional economic development; compared with the first phase of the Grain for Green Program, the grain self-sufficiency index under all vegetation restoration scenarios of the new phase of the Grain for Green Program has no downward

收稿日期:2021-04-15

修回日期:2021-04-24

资助项目:中科院西部青年学者 A 类“黄土丘陵区小流域土壤有机碳输移特征”(XAB2018A03);西北农林科技大学青年英才培育计划“土壤侵蚀与水土保持”

第一作者:时亚坤(1985—),男,河北保定人,工程师,硕士,研究方向为森林资源监测。E-mail:sykyk0317@163.com

通信作者:方怒放(1985—),男,安徽铜陵人,研究员,博士生导师,博士,主要从事水土保持研究。E-mail:fanf@ms.iswc.ac.cn

trend, and can gradually reach 0.90. For this region, Further returning cropland with slopes $>20^\circ$ will be considered to achieve better functions of soil and water conservation and carbon sequestration. However, attention should be paid to the negative impact of insufficient regional food supply caused by vegetation restoration, especially the phenomenon of re-cultivate on restored land. Regional food security and sustainable ecological restoration can be ensured through more detailed planning.

Keywords: Grain for Green Program; food security; sustainable vegetation restoration; sloping cropland; scenario analysis

我国是世界上人口和粮食压力最大的国家之一,从 1949—1998 年的 50 a 间,我国人口增加了 7.12 亿。据第一次全国土地资源调查,全国共有耕地 130 万 km^2 ,其中 20° 以上坡耕地 12 万 km^2 , 25° 以上坡耕地 6 万 km^2 ^[1]。大面积毁林开荒造成水土流失加剧,土地退化严重,旱涝灾害不断,生态环境急剧恶化。为改善这一状况,政府于 1999 年开展第一轮退耕还林还草工程。该工程是世界上规模最大的植被恢复工程,对我国实现《联合国 2030 年可持续发展议程》中的消除贫困、减缓气候变化和保护生物多样性等可持续发展目标至关重要^[2]。

黄土高原是退耕还林草工程的核心区之一,自 1999 年退耕还林草工程实施以来,区域植被覆盖显著改善,由 1999 年的 31.6% 提高到了 2017 年的 65%^[3],有效控制了水土流失,改善了生态环境。然而退耕还林还草的实质是以粮食供给换取生态价值^[4],2002 年国务院下发的《关于进一步完善退耕还林政策措施的若干意见》明确表示“林权是核心,给粮是关键”。为确保耕地不少于 18 亿亩的红线,有关部门于 2007 年暂停了退耕还林草工程^[1]。这一阶段初期的退耕威胁到部分农民的生计和粮食供应^[5],在黄土高原区出现了复耕现象,影响了退耕还林还草的可持续性^[6-8]。关于退耕和粮食产出的均衡问题已有较多报道,有研究认为陡坡种植导致水土流失严重,而退耕工程改善了生态环境,促进农业生产由粗放向集约化发展,有益于粮食生产^[9];也有人认为,退耕还林草减少粮食种植面积,影响区域粮食供给^[5];此外还有学者认为退耕还林草工程占用的多是产量极低的陡坡地,对区域粮食影响不大^[10]。

坡耕地是黄土高原退耕还林草的目标区域,主要集中在贫困的黄土丘陵沟壑区。脆弱的生态系统,频繁的自然灾害,落后的交通系统,使得农民强烈依赖坡耕地维持生计^[11]。退耕还林还草改变了他们的生活方式,一旦退耕补贴停止或降低,将增加土地复垦风险,从而影响区域退耕还林还草的可持续性^[8]。新一轮退耕还林草工程于 2014 年正式实施,总规模已

超过 6.7 万 km^2 ,特别关注了工程区的陡坡耕地^[1]。因此,有必要对新一轮退耕还林草工程实施下区域的陡坡地退耕和粮食供给进行系统的预测评估。鉴于此,本研究以黄土高原退耕还林还草核心区域的陕西、山西两省为例,结合多元遥感数据、统计年鉴、政府报告等资料,在地理信息系统的支持下,评估新一轮退耕还林还草工程对区域粮食生产的影响,预测至 2030 年退耕还林还草背景下区域人口、粮食、坡耕地面积之间的平衡关系,以期为区域生态恢复的可持续发展提供科学依据。

1 研究区概况与分析方法

1.1 研究区概况

本研究选择黄土高原坡耕地分布最集中的陕西、山西两省作为研究区。根据中国科学院资源环境科学与数据中心 (<http://www.resdc.cn/data.aspx?DATAID=275>) 的中国九大农业区划,将两省称为黄土高原农业区(下文简称黄土高原区)。该区面积约为 37 万 km^2 ,是中国最主要的黄土覆盖区。其气候为暖温带向干旱半干旱区域过渡。海拔范围为 174~3 677 m,其南部为秦岭山脉,中部为关中平原,北部为黄土丘陵沟壑区。研究区 2015 年常住人口为 7457 万,60 岁以上人口 1131 万人,农业人口 4791 万人,下属 21 个地级市和 225 个县级行政区,其中 2015 年有 86 个属于贫困县。黄土高原区是最早实施退耕还林还草工程的区域。截至 2014 年,陕西共退耕还林还草 12 453 km^2 ,山西共退耕还林还草 9 333 km^2 。从 2014 年开始,两省实施新一轮退耕还林还草工程,其中陕西预期退耕还林还草 1 900 km^2 ,山西预期退耕还林还草 2 553 km^2 。

1.2 分析方法

1.2.1 坡耕地提取 考虑到统计数据中坡耕地坡度的测量误差,本研究结合大尺度遥感数据进行坡耕地的提取并分析其空间分布特征。使用美国地质调查局全球粮食安全数据(GFSAD)中的 30 m 分辨率的 2015 年中国耕地栅格数据(<https://croplands.org/downloadLP->

DAAC)^[12]。与全球其他 30 m 分辨率的土地利用产品相比,该产品专注于提供更精确的耕地范围,而不是对所有土地利用进行分类,因此能够提供更准确的坡耕地空间分布数据。对于中国范围内的耕地数据,其总体精度为 94%,生产者精度为 80%,用户精度为 84%,且与中国统计年鉴数据高度相符^[13]。

在获取研究区耕地空间分布数据的基础上,使用 30 m 分辨率的 SRTM 数字高程模型(DEM)数据在 ArcGIS 10.5 上生成坡度图层。将不同的坡度与耕地图层叠加,以获取对应的坡耕地图层。本研究重点关注 20°~25°以及>25°的极陡坡耕地,这也是退耕还林还草工程的主要目标区域。

1.2.2 粮食单产估算 不同坡度范围的坡耕地粮食单产采用 Feng 等^[9]的方法估算:

$$G_t = \sum_{i=0}^5 a_i \times \beta_i \times G_{ave} \quad (1)$$

式中: G_t 是区域粮食总产量(t); G_{ave} 是统计年鉴中的区域粮食单产(t/km²), $a_0 \sim a_5$ 是<6°,6°~10°,10°~15°,15°~20°,20°~25°和>25°的坡耕地面积(km²), $\beta_0 \sim \beta_5$ 代表某一坡度范围坡耕地单产和该区域平均粮食单产的比值。本研究中, $\beta_0 \sim \beta_5$ 的取值参考 Feng 等^[9]和杨艳昭等^[14]研究中黄土高原区域的统计数据和问卷调查资料。

1.2.3 粮食自给率指数 本研究采用粮食自给率系数评估粮食供给风险:

$$GSSI = \frac{G_t}{P \times k} \quad (2)$$

式中: $GSSI$ 表示粮食自给率系数; G_t 表示区域粮食总产量(t); P 是区域总人口; k 是最低人均粮食需求量,本研究采用联合国粮农组织(FAO)推荐的 0.4 t/人^[15]。根据国家发改委相关文件^[16],粮食自给率系数大于 1 属于完全自给(粮食自给率>1),0.95~1 属于基本自给自足(0.95<粮食自给率<1),0.90~0.95 属于可以接受的粮食安全水平(0.90<粮食自给率<0.95),而一个区域粮食自给系数低于 0.90(粮食自给率<0.90),则粮食供给风险较高^[17]。

1.2.4 情景分析 为准确估算不同情景下的粮食自给率,需要对人口和粮食单产进行准确预测。本研究基于 1998—2015 年中国统计年鉴中的人口和粮食单产数据,采用逻辑斯蒂预测模型来预测 2015—2030 年研究区人口和粮食单产。逻辑斯蒂预测模型被广泛用于农业、社会和经济等领域,在人口和粮食产量预测上有较好应用效果^[18-19]。在 SPSS 25.0 软件中进行逻辑斯蒂回归分析。

通过情景分析来模拟退耕还林草工程对研究区粮食安全的影响。设计了 3 种基础情境,分别为不退耕、退耕 20°以上坡耕地(>20°退耕)和退耕 25°以上坡耕地(>25°退耕)。此外,黄土高原地区广泛修建淤地坝,根据《黄土高原地区综合治理规划大纲(2010—2030 年)》,预计到 2030 年黄土高原地区将新建设 56000 余座淤地坝。坝地成为粮食产出不可忽略的因素,因此将坝地因素也加入到情景模拟中,设计第 4 种退耕还林草模式,即退耕 20°以上坡耕地的同时考虑坝地的粮食增产效益(>20°退耕+淤地坝)。

对于不退耕情景,粮食自给率只受 2015—2030 年的人口和粮食单产的影响。第 i 年的粮食自给率($GSSI_i$)可以通过以下公式计算:

$$GSSI_i = \frac{G_{ave,i} \times A_t}{P_i \times k} \quad (3)$$

式中: $GSSI_i$ 表示第 i 年的粮食自给率系数; $G_{ave,i}$ 是第 i 年的区域平均粮食单产(t/km²),根据逻辑斯蒂预测模型预测; A_t 是总耕地面积(km²); P_i 是第 i 年区域总人口; k 是最低人均粮食需求量(kg/人)。

对于退耕情景(>20°退耕和>25°退耕),坡耕地退耕会直接导致耕地面积和粮食产量减少,从而影响粮食自给率。我们假设 2015—2020 年每年因退耕减少的粮食产量是均匀的,那么第 i 年因退耕减少的粮食总产量为:

$$\Delta G_{\theta,i} = \begin{cases} \frac{(i-2015) \times G_{\theta}}{5} & 2016 \leq i \leq 2020 \\ \Delta G_{\theta,2020} & 2021 \leq i \leq 2030 \end{cases} \quad (4)$$

式中: $G_{\theta,i}$ 表示第 i 年因退耕减少的粮食总产量(t); G_{θ} 表示坡度> θ 的坡耕地的粮食总产量(t);坡度 θ 在本文退耕坡度 20°和 25°。

对应的第 i 年的粮食自给率通过以下公式计算:

$$GSSI_i = \frac{G_{ave,i} \times A_t - \Delta G_{\theta,i}}{P_i \times k} \quad (5)$$

对于考虑淤地坝坝地的情景(>20°退耕+淤地坝),在退耕情景的基础上,还要每年加上淤地坝坝地增加的粮食产量。第 i 年淤地坝坝地增加的粮食总产量通过以下公式计算:

$$\Delta G_{dam,i} = G_{dam,i} \times A_{dam,i} \quad (6)$$

式中: $\Delta G_{dam,i}$ 代表第 i 年淤地坝坝地增加的粮食总产量(t); $G_{dam,i}$ 代表第 i 年淤地坝粮食单产(t/km²);根据《黄土高原区淤地坝专题调研报告》^[20]中的数据估算; $A_{dam,i}$ 是第 i 年淤地坝坝地面积(km²);根据《黄土高原地区综合治理规划大纲(2010—2030 年)》^[21]中的数据估算。

对应的第 i 年的粮食自给率通过以下公式计算:

$$GSSI_i = \frac{G_{ave,i} \times A_t - \Delta G_{\theta,i} + \Delta G_{dam,i}}{P_i \times k} \quad (7)$$

1.3 数据来源

相关社会经济发展数据通过《中国统计年鉴》、《中国农业统计资料》《中国农村统计年鉴》等获取,主要包括人口特征,粮食产量和经济发展等数据。政策信息和相关规划主要通过《黄土高原地区综合治理规划大纲(2010—2030 年)》^[21]、《中国退耕还林还草二十年(1999~2019)^[1]》、《全国坡耕地水土流失综合治理“十三五”专项建设方案》等^[22]获取。

2 结果与分析

2.1 坡耕地分布特征及其粮食产出

研究区 2015 年坡耕地总面积为 36 022 km²,其中坡度为 20°~25°的坡耕地面积 2 500 km²,25°以上

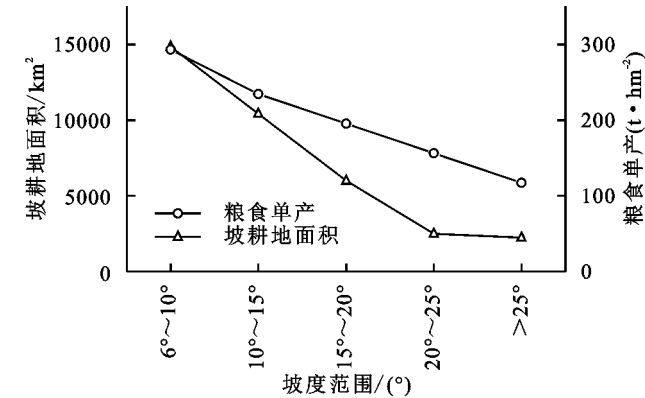
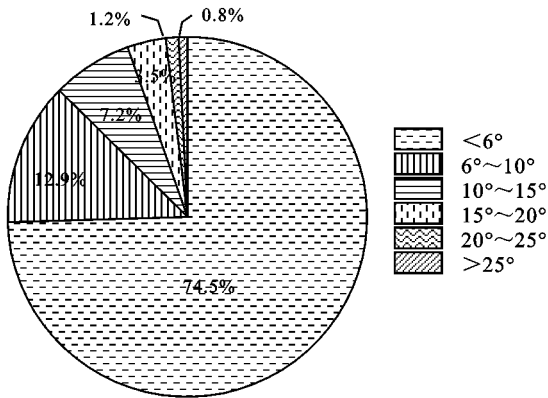


图 1 不同坡度范围坡耕地面积、粮食单产和粮食总产量占比

坡耕地面积 2 250 km²。20°以上坡耕地比重较大,约占研究区坡耕地总面积的 13%。

从空间分布上来看,20°以上坡耕地广泛分布于整个研究区。其中陡坡耕地分布最密集的区域位于研究区西北部的黄土丘陵沟壑区。坡耕地的粮食单产随坡度的上升显著降低,从 293 t/km² (6°~10°坡耕地)下降至 117 t/km² (25°以上坡耕地)。根据不同坡度范围的坡耕地面积以及对应的粮食单产,估算坡耕地的粮食产出。在本研究区,坡耕地贡献了相当大的粮食产出,约占区域粮食总产量的 25.5% (图 1)。其中 20°以上坡耕地年粮食产量约为 65 万 t,按照 0.4 t/人的最低人均粮食需求量,每年可供应约 162.5 万人的粮食需求。



2.2 坡耕地分布影响因素

研究区坡耕地空间分布具有很大的空间差异,这可能是由多种因素共同驱动的。利用县级的坡耕地面积和经济发展数据来分析造成坡耕地空间分布差异的主要原因。

结果表明,坡耕地与平均坡度正相关,与区域经济发展水平因子(GDP、人均 GDP、农业增加值、居民

储蓄存款余额和社会消费品零售总额)均呈显著负相关($p<0.05$) (表 1)。说明地区经济发展越差坡耕地越多,而更多的耕地又限制了当地农业和经济的发展。从表 1 还可以看出,人均 GDP 与农业增加值占比极显著负相关,与社会消费品零售总额极显著正相关($p<0.01$)。这说明越穷的县对农业生产的依赖越大,且其零售相关的贸易越弱。

表 1 县级尺度坡耕地面积及其影响因素

参数	>6° 耕地	>20° 耕地	>25° 耕地	GDP	人均 GDP	农业 增加值	农业增加 值占比	居民储蓄 存款余额	社会消费品 零售总额
>6°耕地		0.91**	0.78**	-0.20**	-0.17*	-0.24**	-0.09	-0.19*	-0.18*
>15°耕地	0.91**		0.94**	-0.12**	-0.20**	-0.18*	-0.03	-0.21**	-0.16*
>25°耕地	0.78**	0.94**		-0.13	-0.17*	-0.12	-0.01	-0.19*	-0.13
GDP	-0.20**	-0.20**	-0.13		0.62**	0.49**	-0.22**	0.75**	0.72**
人均 GDP	-0.17*	-0.20**	-0.17*	0.62**		0.05	-0.36**	0.23**	0.22**
农业增加值	-0.24**	-0.18*	-0.12	0.49**	0.05		0.57**	0.33**	0.38**
农业增加值占比	-0.09	-0.03	-0.01	-0.22**	-0.36**	0.57**		-0.26**	-0.16*
居民储蓄存款余额	-0.19*	-0.21**	-0.19*	0.75**	0.23**	0.33**	-0.26**		0.85**
社会消费品零售总额	-0.18*	-0.16*	-0.13	0.72**	0.22**	0.38**	-0.16*	0.85**	

2.3 不同植被恢复情景下粮食自给率分析

图 2 显示在第一轮退耕还林还草工程的早期

(1998—2001 年),研究区的粮食自给率显著下降。粮食总产量由 1998 年的 2380 万 t 下降到 2001 年的

1670 万 t, 降幅超过 30%。这也导致粮食自给率由 1998 年的 0.88 大幅下降至 2001 年的 0.60。在第一轮退耕还林还草工程的中期(2002—2007 年), 研究区粮食自给率先上升后逐渐平稳。在第一轮退耕还林还草工程的末期(2008—2015 年), 研究区粮食自给率又显著提升。到 2015 年, 黄土高原的粮食自给率为 0.83, 仍远低于 0.90。

进一步分析不同植被恢复情景下区域粮食自给率的变化。可以看到, 与第一轮退耕还林不同, 新一轮退耕还林所有退耕情景下的粮食自给率在 2015 年以后都没有下降趋势, 与实际情况一致。对于不退耕情景, 研究区将在 2020 年左右达到 0.90 的粮食自给率, 逐渐自给自足。相比之下, 不同的退耕情景会导

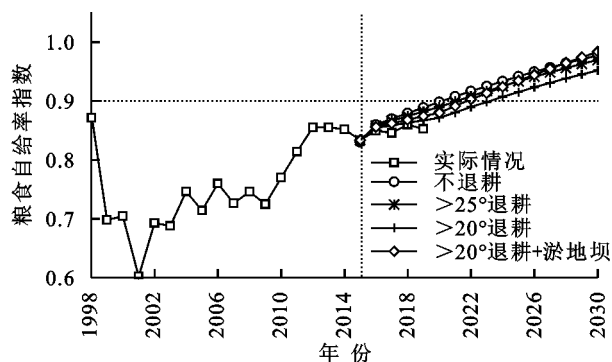


图 2 黄土高原区粮食自给率指数和缺少粮食总量的预测

3 讨论

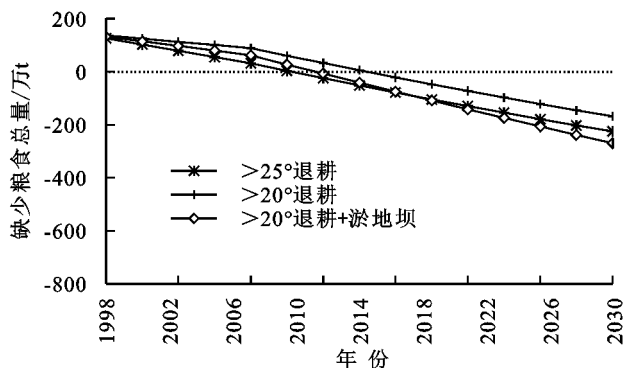
3.1 坡耕地分布特征及其负面影响

截至 2015 年, 黄土高原区仍然广泛分布着陡坡耕地, 且主要集中在黄土丘陵沟壑区。坡耕地的空间分布不仅受地形因素的影响, 也受区域经济发展的较大影响。黄土高原区相当一部分的陡坡耕地分布在贫困县内。贫困限制了这些区域的教育水平和产业结构^[23]。受教育程度较低的农民无法将劳动力转移到第二和第三产业, 导致农民过度依赖农业。而丘陵沟壑区地形的限制和对粮食的基本需求迫使人们加剧对陡坡的开垦, 使陡坡耕地面积进一步增加^[9]。黄土丘陵沟壑区密集的陡坡耕作会加速土壤侵蚀, 降低土壤保水保肥和抵御自然灾害的能力^[24]。农业生产条件和生态环境恶化导致区域粮食产量低且不稳定。坡耕地的扩张反过来又降低了农民的收入水平, 严重制约区域经济的可持续发展^[25]。因此, 这些地区可能陷入越穷越耕, 越耕越穷的贫困陷阱^[26]。

3.2 退耕还林对粮食供应的影响

大规模植被恢复可能会影响区域粮食价格和粮食供应, 从而威胁区域粮食安全^[27]。第一轮退耕还

致达到 0.90 的粮食自给率的时间不同。 $>25^\circ$ 退耕情景下, 研究区将在 2021 年左右达到 0.90 的粮食自给率。而 $>20^\circ$ 退耕情景下, 研究区将在 2023 年左右达到 0.90 的粮食自给率。值得注意的是, 修建淤地坝对粮食增产有积极的作用, 显著提高粮食自给率增长速率。 $>20^\circ$ 退耕+淤地坝情景下的粮食自给率将在 2022 年达到 0.90, 在 2025 年超过 $>25^\circ$ 退耕情景, 在 2028 年超过不退耕情景。对于本研究区, 新一轮退耕还林只需要在退耕初期补充适当的粮食, 就可以保证粮食自给率达到 0.90。例如, 在 3 种不同的退耕情景下, 最多需要在 2016 年左右额外提供 126~137 万 t 粮食, 即可保证本研究区不低于 0.90 的粮食自给率。



林还草工程高出预期的退耕造成区域粮食短缺^[5], 导致中国政府在 2004 年调整了退耕还林还草工程的年度任务, 将粮食补贴改为现金补贴。此外, 中国政府在 2007 年暂停了退耕还林还草工程, 以确保全国耕地面积不低于 1.2 亿 hm^2 ^[1]。上述政策调整使区域粮食自给率逐步提高。

情景分析结果表明新一轮退耕还林还草工程对黄土高原区的粮食供应无显著负面影响。首先黄土高原区大于 25° 的陡坡耕地面积占比相对较低^[22], 只有大约 13%。其次, 黄土高原区陡坡耕地的粮食单产非常低^[9,14], 25° 以上坡耕地粮食单产约为 $117 \text{ t}/\text{km}^2$ 。最后, 淤地坝修建显著提供了更多的优质农地^[28]。坝地主要由上游流域坡面上的表土经历侵蚀—运移—沉积作用后形成, 含有大量植物残体和富含有机质的细颗粒, 坝地土壤肥沃, 含水率高, 抗旱性强, 可作为高产稳产的基本农田。根据黄河水利委员会 2002 年实测资料, 淤地坝的粮食单产是梯田的 2 到 3 倍, 是坡耕地的 6 到 10 倍, 其年均粮食单产约为 $450 \text{ t}/\text{km}^2$, 最高可达 $1050 \text{ t}/\text{km}^2$ 左右^[20]。据报道, 黄土高原淤地坝坝地面积占黄土高原耕地面积的 9%, 提供了 20.5% 的粮食总产量。此外, 根据《黄土高原综合

治理规划纲要》估算^[21],到 2030 年黄土高原将有 114607 座淤地坝,形成淤积土地约 2 109.6 km²,每年提供粮食约 182 万 t。

区域粮食自给自足,对黄土高原区,尤其是黄土丘陵沟壑区的粮食安全至关重要^[29]。该区域人口众多,粮食需求量大,依赖贸易不能保证区域粮食安全。当主产区的粮食产量因极端气候事件而大幅下降时,过度依赖区域粮食贸易可能导致区域粮食供应不足^[30]。此外,由于山区交通和贸易不发达,农民通常选择种植而不是购买粮食来满足他们的需求^[9]。最后,根深蒂固的小农思想使山区农民仍然保持低强度、低产量、低利润的自给自足的农业生产模式^[31]。

3.3 复耕问题及植被恢复的可持续性

根据预测结果,虽然新一轮退耕还林还草工程对黄土高原区的粮食供应没有产生显著的负面影响。但由于设定的粮食自给自足阈值 0.90 仅仅是保证区域粮食自给自足的最低标准,由植被恢复带来的区域粮食供应不足所产生的负面影响仍然需要关注。高于预期的植被恢复将直接影响弱势群体(贫困、低教育程度和老龄化)的粮食供应和生计问题^[8]。当有粮食补贴时,他们可以继续维持退耕还林还草。而粮食补贴一旦停止,植被恢复增加了弱势群体的生存风险,已经恢复的土地则面临复耕的风险^[7,32]。黄土高原区是弱势群体相对集中的区域。根据 2014 年数据估算,在 679 个贫困县中,有 20% 以上的具有严重老龄化特征的贫困县集中在黄土高原、四川盆地和云贵高原^[33]。这些山区的贫困老人不能或不愿外出务工,强烈依赖于周围的环境资源,通常选择开垦更多的坡耕地来养家糊口。此外,大量关于退耕还林还草工程的问卷调查数据(包括第一轮和新一轮)显示,为满足粮食需求和维持生计,11.8%~60% 的农民已经复耕或有复耕意愿。一旦植被恢复项目威胁到当地农民的生计,减少了当地农民的利益,农民往往会选择复耕^[34]。而一旦复耕,农民将不会再选择退耕还林还草。复耕对植被恢复造成的破坏是不可逆转的,会使几十年的植被恢复成果毁于一旦,且进一步导致农民重新陷入越耕越穷,越穷越耕的贫困陷阱。

4 结论

(1) 黄土高原区 20° 以上陡坡耕地比重较大,约占研究区坡耕地总面积的 13%。从空间分布上来看,主要集中在黄土丘陵沟壑区;

(2) 由于陡坡耕地的粮食单产非常低以及淤地坝良好的粮食增产效益,新一轮退耕还林还草工程对黄土高原区的粮食供应无显著负影响。对于该区,可以考虑进一步退耕到 20° 以下,以实现更高的水土保持效益和固碳功能。为保证最低限度的粮食自给自足,应在退耕初期提供一定的粮食补贴;

(3) 目前新一轮退耕还林还草工程对黄土高原区的粮食供应没有太大影响,但仍需关注由植被恢复带来的区域粮食供应不足所产生的负面影响。

参考文献:

- [1] 国家林业局和草原局.中国退耕还林还草二十年(1999—2019)白皮书[EB/OL].(2020-06-30)[2021-04-15]. <https://www.forestry.gov.cn/zlszz/4258/20200701/095836136631070.html>.
- [2] Liu J, Li S, Ouyang Z, et al. Ecological and socioeconomic effects of China's policies for ecosystem services[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2008,105(28):9477-9482.
- [3] 陈怡平.黄土高原生态环境沧桑巨变七十年[N].北京:中国科学报,2019-09-03.
- [4] 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.
- [5] Chen Y P, Wang K B, Lin Y S, et al. Balancing green and grain trade[J]. *Nature Geoscience*, 2015,8(10):739-741.
- [6] Deng J, Sun P, Zhao F, et al. Analysis of the ecological conservation behavior of farmers in payment for ecosystem service programs in eco-environmentally fragile areas using social psychology models[J]. *the Science of the Total Environment*, 2016,550:382-390.
- [7] Uchida E, Xu J, Rozelle S. Grain for Green:Cost-effectiveness and sustainability of China's conservation set-aside program[J]. *Land Economics*, 2005,81(2):247-264.
- [8] 曹世雄,陈莉,余新晓.陕北农民对退耕还林的意愿评价[J].*应用生态学报*,2009,0(2):426-434.
- [9] Feng Z M, Yang Y Z, Zhang Y Q, et al. Grain-for-green policy and its impacts on grain supply in West China[J]. *Land Use Policy*, 2005,22(4):301-312.
- [10] Xu Z, Xu J, Deng X, et al. Grain for Green versus Grain:Conflict between food security and conservation set-aside in China[J]. *World Development*, 2006,34(1):130-148.
- [11] Liu Y, Liu J, Zhou Y. Spatio-temporal patterns of rural poverty in China and targeted poverty alleviation strategies [J]. *Journal of Rural Studies*, 2017,52:66-75.

- [12] Thenkabail P S, Knox J W, Ozdogan M, et al. Assessing future risks to agricultural productivity, water resources and food security: How can remote sensing help? [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2012,78:773-782.
- [13] Teluguntla P, Thenkabail P S, Oliphant A, et al. A 30-m landsat-derived cropland extent product of Australia and China using random forest machine learning algorithm on Google Earth Engine cloud computing platform[J]. Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2018,144:325-340.
- [14] 杨艳昭,封志明,张蓬涛.黄土高原地区的可能退耕规模及其减产效应[J].北京林业大学学报(社会科学版),2005,4(1):58-63.
- [15] Liu X, Shi L J, Qian H Y, et al. New problems of food security in Northwest China:A sustainability perspective[J]. Land Degradation & Development, 2020, 31(8):975-989.
- [16] 国家发改委,中国政府网.姜长云:自给率仍95%以上,粮食安全有保障[EB/OL].(2013-02-01)[2021-04-15]. http://www.gov.cn/jrzq/2013-02/01/content_2325143.htm.
- [17] Simelton E. Food self-sufficiency and natural hazards in China[J]. Food Security, 2011,3(1):35-52.
- [18] Sun D, Zhou L, Li Y, et al. New-type urbanization in China: Predicted trends and investment demand for 2015-2030[J]. Journal of Geographical Sciences, 2017, 27(8):943-966.
- [19] 许建国.应用逻辑斯蒂方程和马尔柯夫链预测作物单产[J].南京师大学报:自然科学版,1991,14(3):100-105.
- [20] 王韩民,刘震,焦居仁,等.黄土高原区淤地坝专题调研报告[J].中国水利,2003(A05):9-11.
- [21] 国务院.“黄土高原地区综合治理规划大纲(2010—2030年)”[EB/OL].(2011-01-17)[2021-04-15]. http://www.gov.cn/zwgk/2011-01/17/content_1786454.htm.
- [22] 中华人民共和国国家发改委.全国坡耕地水土流失综合治理“十三五”专项建设方案[EB/OL].(2017-03-13)[2021-04-15]. http://www.gov.cn/xinwen/2017-03/13/content_5177027.htm.
- [23] Zhou Y, Guo L, Liu Y. Land consolidation boosting poverty alleviation in China: Theory and practice[J]. Land Use Policy, 2019,82:339-348.
- [24] 刘秉正,吴发啟,陈继明.渭北高原水土流失对土壤肥力与生产力影响的初步研究[J].水土保持研究,1990(2):104-113.
- [25] Di B, Yang Z, Liu L, et al. The regionalized ecological, economic and social benefit of China's sloping cropland erosion control during the 12 th five-year plan (2011—2015)[J]. Journal of Environmental Management, 2020,276:111314, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111314>.
- [26] Cao S, Zhong B, Yue H, et al. Development and testing of a sustainable environmental restoration policy on eradicating the poverty trap in China's Changting County[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2009,106(26):10712-10716.
- [27] Doelman J C, Stehfest E, Van Vuuren D P, et al. Afforestation for climate change mitigation: Potentials, risks and trade-offs[J]. Glob. Chang. Biol., 2020,26(3): 1576-1591.
- [28] Wang Y, Fu B, Chen L, et al. Check dam in the Loess Plateau of China: engineering for environmental services and food security[J]. Environmental Science & Technology, 2011,45(24):10298-10299.
- [29] 李玉山.黄土高原粮食可以自给[J].中国水土保持, 1997(2):3.
- [30] Ahmed S A, Diffenbaugh N S, Hertel T W. Climate volatility deepens poverty vulnerability in developing countries[J]. Environmental Research Letters, 2009,4(3):034004.
- [31] Meemken E M, Bellemare M F. Smallholder farmers and contract farming in developing countries[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2020,117(1):259-264.
- [32] Chen X D, Lupi F, He G M, et al. Factors affecting land reconversion plans following a payment for ecosystem service program[J]. Biological Conservation, 2009,142(8):1740-1747.
- [33] Liu Y S, Guo Y Z, Zhou Y. Poverty alleviation in rural China: Policy changes, future challenges and policy implications[J]. China Agricultural Economic Review, 2018,10(2):241-259.
- [34] Cao S, Xu C, Chen L, et al. Attitudes of farmers in China's northern Shaanxi Province towards the land-use changes required under the Grain for Green Project, and implications for the project's success[J]. Land Use Policy, 2009,26(4):1182-1194.