

中国粮食主产区耕地撂荒程度及其对粮食产量的影响

李雨凌^{1,2}, 马雯秋^{1,2,3}, 姜广辉^{1,2}, 李广泳⁴, 周丁扬^{1,2}

(1. 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京师范大学地理科学学部, 北京 100875; 2. 北京师范大学地理科学学部自然资源学院, 北京 100875; 3. 地表过程与资源生态国家重点实验室珠海基地, 北京师范大学自然科学高等研究院, 珠海 519087; 4. 国家基础地理信息中心, 北京 100830)

摘要: 耕地撂荒严重地影响着我国的粮食安全。以我国粮食主产区为研究区域, 在识别撂荒地分布的基础上, 测度了撂荒地空间分布格局, 并建立耕地撂荒中介效应模型, 探究了耕地撂荒对区域粮食产量的影响机制。结果表明: (1) 中国粮食主产区耕地撂荒规模为 405.53 万 hm^2 , 撂荒率约为 5.85%; 空间上撂荒地规模分布呈“T”字形空间格局, 黑龙江东北部、吉林西北部以及内蒙古南部地区为撂荒地主要集聚区。(2) 耕地撂荒对于粮食主产区粮食产量具有显著负向影响, 2017 年我国粮食主产区因耕地撂荒损失的农田生产潜力达到 1339.15 万 t, 损失的粮食产量高达 2265.6 万 t, 损失比例达 4.69%; 内蒙古自治区成为粮食产出损失量和损失比例最大的地区。(3) 粮食播种面积、农田生产潜力和农业技术投入均发挥了部分中介作用, 系数分别为 -0.194、-0.025 和 0.006。(4) 应遵从城乡融合以及农业农村发展态势, 强化粮食主产区农业生产现代要素投入与政策扶植, 构建粮食生产—耕地休耕空间转换弹性机制, 保障我国粮食安全。

关键词: 耕地撂荒; 空间格局; 影响机制; 中介效应模型; 粮食主产区

粮食生产是国家经济和社会发展的基本物质条件, 也是国家社会稳定和经济自立的基础保障^[1]。为了确保中国粮食有效供给, 长期将其发展视为国家首要战略任务, 形成了“饭碗论”“红线论”“粮食底线论”等具有重要理论实践意义的理论体系^[2]。虽然近些年中国粮食总产量持续上涨, 但其稳产增产机制并不牢固, 且随着中国“三化”的快速推进, 人口发展和资源环境之间的供需矛盾日益突出, 耕地等农业生产资源减少、生态环境恶化和自然灾害频发等危及粮食生产的潜在风险因素已经出现^[3], 资源有效供给的约束性逐步增强。同时人口的激增^[4]、食品结构的升级改变^[5,6]也对粮食生产提出了新需求, 在粮食供需矛盾进一步激化的背景下, 中国的粮食生产问题显得更为重要。

粮食的生产与有效供给是确保国家粮食安全的关键。粮食生产与农业资本要素的有效投入和合理分配密不可分, 例如耕地、农业劳动力、农业技术和资本供应等。其中, 耕地是粮食生产的基础载体, 在粮食有效供给方面发挥着根本的约束作用, 因此耕地资

收稿日期: 2020-07-24; 修订日期: 2021-01-04

基金项目: 国家社会科学基金重大项目 (20&ZD090); 国家自然科学基金项目 (42071249, 41671519); 中国博士后科学基金特别资助项目 (2020T130061)

作者简介: 李雨凌 (1990-), 女, 辽宁铁岭人, 博士研究生, 研究方向为土地评价、规划与管理。

E-mail: yulingli@mail.bnu.edu.cn

通讯作者: 姜广辉 (1980-), 男, 山东东阿人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为土地评价、规划与可持续利用。E-mail: macrophage@bnu.edu.cn

源的变化将不可避免地影响粮食产量^[7]。然而,在城市化快速发展的背景下,各地区尤其是粮食主产区耕地资源“量减质降”趋势日益突出^[8],严重威胁着我国的粮食安全。而耕地撂荒作为耕地资源变化的重要表现形式之一,不仅直接导致了粮食播种面积的减少,同时也会造成土壤侵蚀和土地退化^[9,10],进而导致粮食生产环境的降低和耕地生产能力的下降。可以说,耕地撂荒导致的耕地资源变化已引起各类农业生产要素分配的不均衡,并成为增加粮食产量和保障粮食安全的重要障碍因素之一,由此造成的粮食安全问题也引起各界学者的关注。

耕地撂荒现象最初多发于欧洲、澳大利亚和日本等发达国家,Alcantara等^[11]、Estel等^[12]利用遥感影像数据提取区域撂荒地分布信息并统计了规模。此后,中国山区^[13,14]、拉美^[15]、东南亚^[16]等部分地区也有明显耕地撂荒现象。一些学者对此现象驱动机制进行了探究,Benayas等^[17]、Zhang等^[18]认为耕地撂荒是由于自然地理条件的变化和宏观层面的社会经济要素的变化导致,且由于自然环境、社会经济、人口发展、制度政策等因素的区域差异性导致撂荒地分布并不均衡。

此外,虽然目前关于耕地撂荒对区域粮食产量影响的定量化研究尚有不足,但国内外学者已从耕地数量、质量和利用方式变化等角度探究了耕地资源变化与粮食产量之间的关系,并对研究结论基本达成一致,为耕地撂荒对粮食产量的影响研究提供了一定的科学依据。Shiferaw等^[19]认为,耕地持续退化会成为发展中国家未来粮食保障的潜在威胁,并指出发展中国家如果想使未来的粮食生产增长并可持续,就必须实施可持续化的耕地资源管理。此外,一些学者借助主成分分析^[4,20]、回归分析法^[21,22]、GAZE^[23]等计量模型来探讨耕地资源数量变化对区域粮食产量的影响,发现粮食总产量主要受耕地面积变化的影响,同时光照、温度、水分和土壤等其他因素也会对农田生产潜力造成影响,从而抑制区域粮食产量的提高。

综上,现有文献有助于理解耕地资源变化与粮食产量的关系,但仍然存在以下几点不足:一是缺乏因特定原因造成的耕地资源变化对粮食产量的影响研究。上述研究主要是针对耕地整体资源的变化进行相关研究,缺少因特定原因而造成的耕地变化的研究。二是作用机制不够清晰,缺乏对中介作用的严谨分析。一些文献针对耕地资源变化与农业生产要素之间的关系进行了分析研究,但耕地变化是通过哪类中介要素对粮食产量造成何种影响却并不明确。三是研究区域不具有针对性,缺乏对中国粮食产量的整体判断,结论的代表性和价值推广性不足。

基于此,本文利用土地变更调查数据与地理国情普查数据,分析2017年我国粮食主产区撂荒耕地空间分布格局,同时利用中介效应模型探究耕地撂荒如何通过各粮食生产要素对粮食产量产生影响,以期为我国耕地资源利用可持续化发展和粮食安全保障的科学研究提供新视角。

1 研究方法与数据来源

1.1 理论体系构建

1.1.1 耕地撂荒对粮食产量作用机制

粮食生产系统是一个由人口、土地、自然环境、人类社会等要素共同组成的系统,具有多因素、多层次、多变量、多变化等特征。其中土地资源、社会经济和环境资源三

大子系统在耕地撂荒演变过程中透析了耕地撂荒与粮食产量二者的影响机制，同时各子系统之间相辅相成的作用关系也折射出影响机制背后的深层次原因^[24]。在粮食生产过程中，社会经济的发展促使农业技术的进步和投入，进而增加对土地资源生产能力的投资，而土地资源的短缺和波动也势必会影响到社会经济的发展；与此同时，社会经济发展的制约可以减少土地资源利用程度，加强土地生产环境的保护，反之亦然。因此本文提出耕地撂荒通过改变粮食生产系统内部结构，调整耕地资源、人口、自然环境和农业技术等各类农业生产要素，使得区域粮食产量发生变化（图1）。

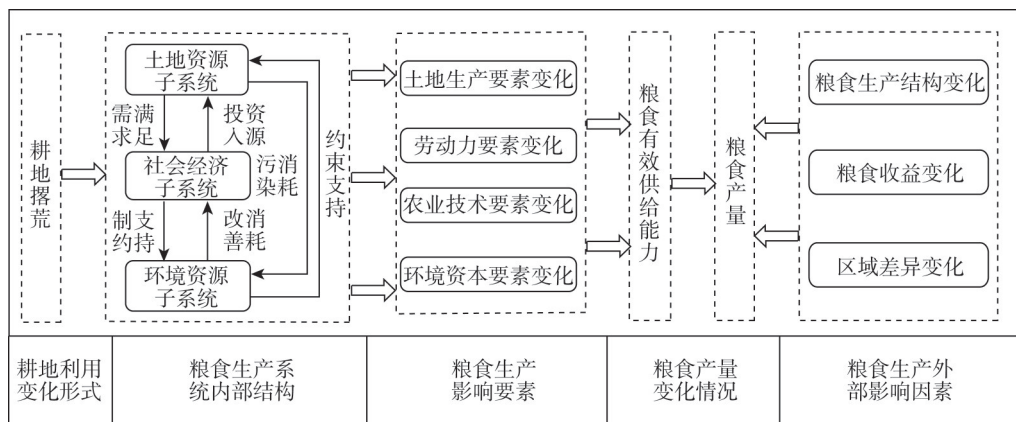


图1 耕地撂荒对粮食产量的作用机制框架

Fig. 1 Mechanism framework of the effects of cultivated land abandonment on grain yield

第一，耕地撂荒作为土地资源系统下耕地资源变化的形式之一，不仅造成粮食生产面积的减少，同时也会对粮食生产环境造成一定的负面影响，并直接关系到区域粮食生产水平。一方面，耕地撂荒导致的耕地面积减少将直接造成粮食播种面积的下降，且受城镇化工业化影响，这种现象在城乡结合部表现尤为突出^[23,25]；另一方面，由于我国各地区复种指数和种植制度存在较大差异，耕地撂荒的地域差异将会导致各个地区进行农作物播种的面积发生较大变化。此外，半干旱地区受植被恢复速度较慢因素影响，长时间的耕地撂荒将会引起土壤肥力下降、土壤侵蚀等一系列问题，改变了粮食生产的环境资本要素，最终导致粮食总产量的下降^[26]。

第二，农业劳动力要素是社会经济系统中粮食生产的主体，也是影响粮食生产的重要因素之一^[27]。农业劳动力转移是城镇化进程中的必然趋势，受区域经济发展水平和城乡二元结构差异的共同驱动，并作用于耕地撂荒对粮食产量的影响机制中。一方面，农业劳动力要素的转移导致务农机会成本的上升和比较收益的下降^[28,29]，促使耕地资源发生由量变到质变意义上的闲置浪费现象，这种人口流动过程造成农业劳动力整体素质的下降，同时降低了边际产出效率，在短期内影响着粮食生产的稳定性，导致农业总产出下降。另一方面，耕地撂荒将会引起农业生产性投入量的减少，包括农业劳动力要素的减少。由此可见，耕地撂荒与农业劳动力要素变化之间是存在一定的相互作用关系，最终导致粮食产量发生变化。

第三，农业技术要素的投入是社会经济子系统下粮食增产的主要动力^[30]。随着农业生产所需的各类要素机会成本的不断上升以及耕地撂荒现象的加剧，为保障耕地资源的

有效产出，在要素替代机制的作用下，土地、劳动力和农业技术投入等要素之间存在一定的可替代性^[31]，而作为理性经济人的粮食生产主体将以获取自身利润最大化为前提，选择以较低成本获得生产资料服务来替代其他生产要素的短缺，并实现区域粮食产量的提高。尤其在平原地区，地理禀赋较为优越，以农业技术投入要素替代土地和劳动力要素程度较高，这也促使农业技术投入成为耕地撂荒背景下的必然选择。

此外，粮食产量亦受粮食生产结构、粮食收益和区域差异等外部因素影响，因此需要对其加以控制以排除其对于模型估计的干扰。

由此可见，耕地撂荒与粮食产量之间的作用机制并不是孤立的，而是多个系统相互联系、相互制约的。基于此，本文提出以下研究假设：耕地撂荒对区域粮食总产量产生负向影响，粮食播种面积、农业劳动力、农田生产潜力和农业技术投入均可以间接地部分解释耕地撂荒对粮食产量的作用程度。

1.1.2 模型变量选择

为实现检验耕地撂荒对粮食产量影响机制的研究目标，本文以各地级市粮食产量为被解释变量，撂荒地面积为核心解释变量，粮食播种面积、农业劳动力、农业技术投入和农田生产潜力为中介变量。同时，为提高模型的估计效率，方程中加入粮食自给率、种植结构、粮食零售价格指数、复种指数和耕地面积五个控制变量。变量的测度方法和描述统计具体见表1。

表1 变量说明及统计性描述
Table 1 Variables and descriptive statistics

变量分类	变量名称	变量定义和单位
被解释变量	粮食产量	区域粮食总产量/10 ⁴ t
核心解释变量	耕地撂荒	撂荒地总面积/hm ²
中介变量	粮食播种面积	区域内粮食作物的播种面积/10 ³ hm ²
	农业劳动力数量	区域内第一产业从业人员数量/万人
	农业技术投入	区域内种植粮食成本（种子、化肥、农药、农膜以及机械作业成本）/万元
	农田生产潜力	耕地耕作条件、生产力的大小等/(kg/hm ²)
控制变量	种植结构	粮食作物与经济作物播种面积之比
	粮食自给率	定额法计算： $D=P\times d$ ， P 为总人口， d 为400 kg/人
	粮食零售价格指数	衡量粮食价格平均水平及变动情况/%
	复种指数	年内耕地上农作物总播种面积与耕地面积之比
	耕地面积	区域内年末耕地面积/10 ³ hm ²

1.2 数据来源

本文所利用的数据包括粮食主产区2015年土地变更调查数据、2017年地理国情普查数据和粮食主产区遥感影像数据等。其中，土地变更调查数据从中国科学院资源环境数据云平台（www.resdc.cn/）获取，数据精度为1：10000；遥感影像数据来源于地理空间数据云平台（www.gscloud.cn/），以Landsat 8卫星影像为数据源，分辨率为30 m，用于撂荒耕地地块验证。此外，模型中各变量数据主要来源于2018年各市统计年鉴，部分不足数据由各市统计公报和区域经济数据库补齐。其中，农业技术投入变量数据从《中国农村统计年鉴》（2018年）和《全国农产品成本收益资料汇编》（2018年）获取各省农业

技术投入费用数据，并根据农业劳动力人数与农业技术投入之间的正相关关系^[32-34]，利用各地级市农业劳动力数量占全省农业劳动力数量比例对省级农业技术投入费用进行修正并计算得到；粮食自给率变量、种植结构和复种指数数据由相应地级市统计年鉴数据计算得到；农田生产潜力变量数据由中国科学院资源环境数据云平台（www.resdc.cn/）获取。

1.3 研究方法

1.3.1 撂荒地识别与提取

考虑到目前学术界对于撂荒耕地尚无明确定义，本文将撂荒地界定为闲置2年以上未进行农业生产保持荒芜的耕地，并未区分季节性撂荒。从土地利用属性上来说，撂荒耕地是在耕地空间范围内，属于耕地这一农用地类型；在土地覆被上，撂荒耕地的现状覆被处于无人利用导致荒芜闲置的状态。因此本文拟从“属性”与“覆被”空间差异角度出发，运用土地变更调查数据和地理国情普查数据识别并提取撂荒地。

在中国，土地变更调查数据是由每年县级国土资源部门依据农用地转用变更情况开展土地变更调查而获取，提供并明确了国家认可的耕地范围，因此该数据可以作为撂荒地提取的基础空间范围。地理国情普查数据是按照“所见即所得”的原则对各类地表形态、地表覆盖等要素进行定量化动态监测^[35]，该数据基于土地覆被角度明确了耕地的地表覆盖形态和类型，具有很强的现势性。因此，基于上述两类数据对于撂荒地内涵的界定和不同“耕地”范围的空间关系，将这两类数据进行空间叠加处理，能够更为科学和精确地反映出区域耕地撂荒状态。

基于此，本文运用ArcGIS 10.2软件实现两类数据的空间叠加处理以获取粮食主产区撂荒耕地数据。首先，参照土地现状分类标准GB/T 21010-2007提取研究区2015年土地变更调查数据中的耕地，并以此作为空间范围；其次，依据GDPJ01-2013分类标准，初步识别出2017年土地覆被状态为荒芜特征的地类，包括天然草地（地类代码为0411、0412和0413）和裸露地表（地类代码为0910、0920、0930、0940）；然后，将2015年土地变更调查数据与2017年地理国情普查数据进行相交处理，选取属性为“耕地”地类但地表覆盖类型为“撂荒”的地块，形成撂荒地斑块初始矢量文件；最后，借助2017年Landsat 8卫星影像选取研究区内53个县的681个地块进行验证，正确率达到87.72%，表明采用土地变更调查数据与地理国情普查数据叠加的方法识别并提取撂荒耕地具有较高精度，识别结果可应用于粮食主产区撂荒地研究。

1.3.2 撂荒率界定

本文将研究区撂荒率定义为区域内撂荒耕地规模占耕地总面积的百分比，并以此表示区域耕地撂荒程度^[36]，具体公式如下：

$$P_i = \frac{A_i}{S_i} \times 100\% \quad (1)$$

式中： P_i 代表研究单位*i*的耕地撂荒率（%）； A_i 表示研究单位*i*的耕地撂荒规模（ hm^2 ）； S_i 表示研究单位*i*的耕地总规模（ hm^2 ）。 P_i 取值为0~100%，取值越大表示研究单位耕地撂荒率越高， P_i 为0时，表示研究单位内耕地利用高度集约，无耕地撂荒现象。

1.3.3 撂荒地空间格局刻画

核密度分析是基于研究对象本身在地理空间上的分布特征，表现研究对象的离散分

布变化概率和地理空间离散密度，可以较为清晰地反映研究对象在空间上的分布特征及集聚特征^[37]。本文采用核密度分析方法分析中国粮食主产区撂荒地分布集聚特征，并基于ArcGIS平台实现其分布集聚程度的可视化。具体计算公式如下：

$$F_n(x)=\frac{1}{nh}\sum_{i=1}^nk(\frac{x-x_i}{h})$$

(2)

式中： $F_n(x)$ 表示撂荒地分布核密度值； $(x-x_i)$ 表示撂荒地斑块点到 x_i 的距离（m）； h 表示带宽（m）； n 表示带宽范围内的斑块分布的点数（个）； k 表示核密度函数。

1.3.4 中介效应模型设定

根据前文研究假设所述，耕地撂荒可能以粮食播种面积、农业劳动力、农田生产潜力和农业技术投入为中介要素影响粮食产量。因此本文根据Baron等^[38]的方法构架如下中介效应模型：

$$Y_{it}=a_0+a_1U_{it}+\sum_2^k\alpha_kX_{kit}+f_t+\mu_i+\varepsilon_{1it}$$

(3)

$$M_{it}=\beta_0+\beta_1U_{it}+\sum_2^k\beta_kX_{kit}+f_t+\mu_i+\varepsilon_{2it}$$

(4)

$$Y_{it}=\gamma_0+\gamma_1U_{it}+\gamma_2M_{it}+\sum_2^k\gamma_kX_{kit}+f_t+\mu_i+\varepsilon_{3it}$$

(5)

式中： Y_{it} 为各研究单元粮食总产量（ 10^4 t）； U_{it} 为各研究单元撂荒地规模（ hm^2 ）； M_{it} 表示中介要素，包括粮食播种面积、农业劳动力、农业技术投入和农田生产潜力； X_{kit} 表示可能影响粮食产量和中介要素的控制变量； f_t 为不可估测的时间固定效应； μ_i 表示不可观测的个体固定效应； a_0 、 β_0 、 γ_0 表示固定截距； α_k 、 β_k 、 γ_k 表示各变量所产生的总效应、配置效应和直接效应； ε_{1it} 、 ε_{2it} 、 ε_{3it} 表示随机扰动项。式（3）反映耕地撂荒影响粮食产量的总效应 a_1 ；式（4）反映耕地撂荒对中介要素的配置效应 β_1 ；式（5）反映耕地撂荒对粮食产量的直接效应 γ_1 和中介效应 $\beta_1\gamma_2$ 。各效应的关系如下： $a_1=\gamma_1+\beta_1\gamma_2$ ，即总效应=直接效应+中介效应。本文选取Bootstrap（自举法）来辅助检验中介效应，所用的计量软件为Stata 15.1。

2 结果分析

2.1 粮食主产区撂荒地总体特征及空间格局

基于撂荒地空间数据，本文统计了2017年中国粮食主产区耕地撂荒规模和撂荒率。研究结果（表2）显示，中国粮食主产区耕地撂荒规模约为405.53万 hm^2 ，总体撂荒率约为5.85%。主产区13个省区均存在耕

表2 中国粮食主产区各省区耕地撂荒情况
Table 2 Abandonment of cultivated land in main grain producing areas of China

省/自治区	耕地撂荒规模/ 10^4hm^2	撂荒率/%
辽宁	17.52	3.38
吉林	22.41	2.83
黑龙江	62.19	3.60
河北	26.09	2.16
河南	17.57	2.15
山东	37.78	5.41
湖南	16.12	3.52
湖北	32.45	6.06
安徽	24.01	4.35
江西	25.07	8.79
四川	32.02	1.01
江苏	13.45	2.94
内蒙古	78.85	6.87
总计	405.53	5.85

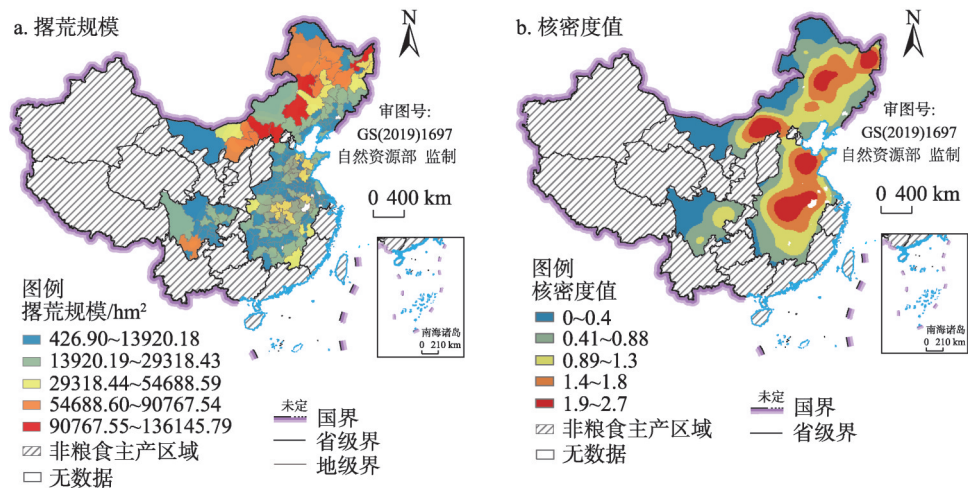
地撂荒现象，撂荒率主要介于1%~9%之间，表明耕地撂荒是中国粮食主产区存在的普遍现象，并在省际间具有明显差异。其中内蒙古自治区和黑龙江省耕地撂荒规模较大，均超过了60万hm²，江苏省、湖南省和辽宁省耕地撂荒规模较小。

同时，为探究被撂荒耕地的生产潜力特征和主要发生区域，表3统计了各研究单元农田生产潜力水平并进行了潜力分级。可以看出，随着农田生产潜力的提高，耕地撂荒率呈现明显的下降态势，从生产潜力极低地区(<1000)的8.01%下降到极高地区(>8000)的2.29%，体现出耕作条件对于耕地利用效率的绝对控制作用。同时发现低生产潜力地区撂荒规模普遍较大，表明粮食主产区被撂荒耕地主要集中在边际土地，且呈现规模大、分布广的特点。由此可见，粮食主产区耕地整治潜力巨大，未来应着眼于中低产田改造和耕地质量提升，以提高耕地利用总体效率。

表3 不同农田生产潜力等级下耕地撂荒情况

Table 3 Abandonment of cultivated land under different grades of farmland production potential			
农田生产潜力等级	包含城市	耕地撂荒规模/10 ⁴ hm ²	撂荒率/%
<1000 (极低)	阿拉善盟、乌海市、甘孜藏族自治州、包头市、广元市、巴中市、赤峰市等24个地级市	77.01	8.01
1000~2000 (较低)	承德市、抚顺市、攀枝花市、赣州市、通辽市、盘锦市、营口市、张家口市等21个地级市	69.04	6.55
2000~4000 (一般)	池州市、大庆市、吉安市、景德镇市、邵阳市、葫芦岛市、大连市、益阳市、哈尔滨市、苏州市等60个地级市	112.71	5.22
4000~6000 (偏高)	保定市、齐齐哈尔市、沈阳市、六安市、南京市、平顶山市、长春市、烟台市、武汉市等35个地级市	85.35	4.15
6000~8000 (较高)	宿迁市、广安市、潍坊市、徐州市、淮北市、荆州市、驻马店市、泰安市等42个地级市	57.76	2.85
>8000 (极高)	开封市、聊城市、天门市和南通市4个地级市	3.66	2.29

在空间上，本文采用核密度方法探究粮食主产区撂荒地分布密度。从图2可以看出，中国粮食主产区撂荒地分布呈现“T”字形空间格局。其中“T”字形横轴自东北向



注：本图基于自然资源部标准地图服务系统下载的标准地图制作，底图无修改。

图2 撂荒规模空间分布及核密度分布

Fig. 2 Spatial distribution and nuclear density distribution of abandoned area

西南分布于黑龙江东北部、吉林西北部以及内蒙古南部地区，成为撂荒地主要集聚区域；纵轴主要位于长江中下游地区，沿山东中部、安徽中南部以及湖北东北部地区由北向南逐渐延伸。此外，四川省虽有耕地撂荒现象，但撂荒地整体分布较为分散，因此并未形成高密度集聚区。

粮食主产区耕地资源相对丰富，但由于区域内自然地理条件、种植结构、经济发展以及政策导向区域差异较大，使得撂荒地分布在各地区之间也存在较为明显的分异性^[39]。在粮食主产区北部和东北部等经济欠发达地区，农业配套设施和农业社会化服务体系相对薄弱，农业生产条件的逐步恶化严重降低了农民对种粮的积极性和参与度，进而导致成片撂荒。而在湖北、安徽中部等经济优势突出地区，非农盈利机会增加和农业比较收益下降导致农业劳动力要素配置行为发生改变，在劳动力流失和老龄化的双重作用下，撂荒地呈现出规模大且集聚的分布特征。

2.2 耕地撂荒对粮食产量的影响研究

2.2.1 耕地撂荒对粮食总产出能力的影响

本文分别以2015—2017年各省区粮食单产的均值和粮食总产量均值作为基础单产和基础产出，计算因撂荒而损失的粮食总产量以及损失比例（粮食损失量除以年总产均值，表示因撂荒引起的粮食损失量占粮食总产量的比例）；同时，基于农田生产潜力数据，计算因撂荒而损失的生产潜力，从而多角度、直观地表达出耕地撂荒对于粮食主产区粮食产量的总体影响（表4）。结果表明，2017年中国粮食主产区因耕地撂荒而流失的粮食产量高达2265.6万t，损失比例占粮食主产区粮食总产量的4.69%，损失的农田生产潜力达到1339.15万t。其中，粮食产出损失量最多的内蒙古自治区，达到382.4万t，其次是黑龙江省为323.3万t；粮食产出损失比例最大的是内蒙古自治区，达到13.70%，最小的是河南省，仅为1.72%，其他省份粮食产出损失比例差异不大；农田生产潜力损失

表4 耕地撂荒对粮食总产出能力的影响
Table 4 Effect of abandonment of cultivated land on total grain output capacity

省/自治区	2015—2017年 单产均值/(kg/hm ²)	粮食损失量 /万t	2015—2017年 总产均值/万t	损失比例/%	潜力损失量 /万t
辽宁	6398.3	112.1	2079.9	5.39	59.26
吉林	7330	164.3	3691.4	4.45	60.26
黑龙江	5198.8	323.3	6133.8	5.27	208.45
河北	5465.8	142.6	3444	2.32	86.87
河南	5861.3	103.1	5995.7	1.72	109.78
山东	5771	218.1	5638.7	3.87	224.45
湖南	6082.7	98.1	2980	3.29	44.44
湖北	5874.4	190.6	2619	7.28	133.59
安徽	5236.8	125.7	3843.9	3.27	136.60
江西	5799.6	145.4	2138	6.80	62.44
四川	5387.7	172.5	3474.9	4.96	74.08
江苏	6497.5	87.4	3522.4	2.48	75.01
内蒙古	4850.3	382.4	2791.9	13.70	63.92
总计	5827.3	2265.6	48353.6	4.69	1339.15

量较多为山东省和黑龙江省，均超过了200万t。

2.2.2 耕地撂荒对粮食产量影响机制研究

本文运用中介效应模型检验中国粮食主产区耕地撂荒对粮食产量的影响机制。由表5可知，从总效应来看，耕地撂荒对于主产区粮食产量具有显著的负向影响，回归系数为-0.293，且通过了1%的显著性水平检验。其中，耕地撂荒对于主产区粮食产量的直接效应为-0.067，中介效应为-0.226，均通过了显著性检验，可以看出在耕地撂荒对粮食产量的影响机制中，中介要素发挥了部分中介效应，且中介作用较强。

此外，本文将四个中介变量全部纳入回归模型后发现，粮食播种面积、农田生产潜力和农业技术投入均发挥了一定的部分中介效应作用，而农业劳动力中介效应不显著，验证了上述部分假设。其中粮食播种面积和农田生产潜力发挥着负向中介效应，农业技术投入则发挥正向中介效应。相比较而言，粮食播种面积中介效应绝对值最大为0.194，农田生产潜力次之为0.025，农业技术投入最小仅为0.006，表明耕地撂荒主要通过减少粮食播种面积从而降低粮食主产区粮食产量。

粮食主产区是中国粮食生产的核心区域，因此耕地撂荒引起的耕地资源变化对于区域粮食的有效供给具有极大影响。首先，耕地撂荒会造成粮食播种面积的显著减少，从而降低粮食产量。回归结果表明，耕地撂荒对粮食播种面积具有显著的负向作用（-0.157），同时粮食播种面积与粮食产量呈正相关关系（1.375）。从现实情况来看，一方面，撂荒实质上是耕地覆被在数量变化上的体现。由于粮食主产区耕地适耕性较大，区域内绝大部分耕地均用来粮食种植，因此撂荒引起的耕地数量下降将直接导致粮食播种面积的减少。另一方面，受地理环境条件限制，耕地撂荒的地域差异会造成农作物播种的面积发生较大变化，在无法快速提高复种指数的条件下，耕地撂荒将直接威胁区域粮食生产。

其次，耕地撂荒会引起农田生产潜力的大幅度降低（-0.617），并进一步促使粮食产量的下降（0.135）。长期的耕地撂荒加速了土地荒漠化和风沙干旱进程，导致土地生产能力下降，这也成为限制粮食生产可持续发展的主要因素^[40]。在半干旱、半湿润气候过渡带，耕地撂荒会改变农田土壤性状，促使生物土壤结皮并导致土壤下渗率降低，增加水土流失风险；而在经济较为发达的长江三角洲、四川盆地等地区，城镇化现象也使得优质耕地被撂荒，成为农业生产潜力急剧减少的主要区域，改变了区域粮食生产效率和总体产量。

再次，耕地撂荒会通过促使农业技术投入量的增加以提高区域粮食产量。从回归结果来看，耕地撂荒会显著增加农业技术投入（0.076），而农业技术投入增加又小幅度提高了粮食产量（0.007）。农业科技创新和投入推动了农业现代化和农业生产力的发展进程，同时由于撂荒引发的土地生产要素和农业劳动力要素的减少进一步提高了农药化肥、种子科技、农业机械等具有替代性和互补性技术投入要素的替代弹性，使其在一定程度上能够弥补耕地资源减少对于粮食产量的负面效应，短暂地实现了耕地撂荒背景下的耕地替代。然而，由于耕地撂荒对粮食产量的总体影响仍为负向（-0.293），可见农业技术投入这一中介要素的作用程度并不能完全抵消耕地撂荒对于粮食产量的总体负向影响。

另外，回归结果表明，在耕地撂荒对粮食产量的影响机制中，农业劳动力的总体中

表5 粮食主产区耕地撂荒对中介要素和粮食产量影响的回归结果

Table 5 Regression results of impact of cultivated land abandonment on mediating factors and grain yield in main grain producing areas													
变量	耕地撂荒对中介要素的配置效应				引入中介要素后耕地撂荒影响粮食产量的直接效应								
	总效应		耕地撂荒对中介要素的配置效应		粮食播种面积								
	粮食产量	粮食播种面积	农业劳动力	农田生产潜力	农业技术投入	粮食产量	粮食播种面积	农业劳动力	粮食产量	粮食播种面积	农业技术投入	粮食产量	粮食播种面积
耕地撂荒	-0.293 ^{***} (0.050)	-0.157 ^{***} (0.031)	-0.171 ^{**} (0.072)	-0.617 ^{***} (0.134)	0.076 ^{**} (0.045)	-0.077 ^{**} (0.030)	-0.230 ^{***} (0.043)	-0.209 ^{***} (0.050)	-0.294 ^{***} (0.051)	-0.067 ^{**} (0.028)	-0.226 ^{***} [-0.345, -0.108]		
粮食播种面积	/	/	/	/	/	1.375 ^{***} (0.067)	/	/	/	1.238 ^{***} (0.077)	-0.194 ^{***} [-0.308, -0.081]		
农业劳动力	/	/	/	/	/	/	0.372 ^{***} (0.044)	/	/	0.041 ^{***} (0.015)	-0.013 [-0.037, 0.012]		
农田生产潜力	/	/	/	/	/	/	/	0.135 ^{***} (0.026)	/	0.040 ^{**} (0.017)	-0.025 ^{**} [-0.046, -0.005]		
农业技术投入	/	/	/	/	/	/	/	/	0.007 ^{**} (0.082)	0.078 [*] (0.043)	0.006 ^{**} [0.021, 0.033]		
控制变量	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	/		
常数项	-0.047 (0.026)	-0.049 ^{***} (0.016)	-0.022 (0.037)	0.249 ^{***} (0.069)	-0.007 [*] (0.023)	0.020 (0.015)	-0.055 [*] (0.024)	-0.081 ^{***} (0.025)	-0.047 (0.026)	0.001 (0.015)	/		
个体固定效应	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	/		
组内R ²	0.7866	0.9049	0.5325	0.2285	0.5559	0.9362	0.8482	0.8148	0.7866	0.9419	/		
观测值	186	186	186	186	186	186	186	186	186	186	/		

注：第2列验证耕地撂荒影响粮食产量的总效应；第3~6列验证耕地撂荒分别对粮食播种面积、农业劳动力、农田生产潜力和农业技术4个中介要素的配置效应；第7~10列验证依次引入各中介变量要素后耕地撂荒影响粮食产量的直接效应；第11列验证同时引入4个中介变量要素后耕地撂荒影响粮食产量的直接效应；第12列为中介效应。*、**、***分别表示10%、5%和1%的显著性水平，括号内数值为市级层面聚类的稳健标准误差。方括号内数值为自举法偏差校正的95%置信区间，自举法重复次数为1000。

介效应并不显著，表明农村劳动力的转移对家庭的农业生产并没有产生明显的负面影响。农村劳动力转移虽然伴随着农业生产要素投入的减少，但由于粮食主产区粮食产量关乎国家粮食安全和社会稳定，因此在确保粮食稳定供给的前提下，国家已通过粮农直补、农资补贴以及农机具购置补贴等方式增加农业资本投入，并大力推进农业技术的创新和农地集约化耕作，区域粮食生产逐步由“劳动投入型”向“资本投入型”和“技术进步型”转化^[4]，从而使得耕地撂荒背景下农业劳动力对于粮食主产区粮食产量影响并不显著，这也再一次验证了农业技术投入在该机制下的正向促进作用。

3 结论与讨论

3.1 结论

明确撂荒地空间分布特征、厘清耕地撂荒影响区域粮食产量的作用机制对于耕地资源的优化配置和保障区域粮食安全有着至关重要的作用。本文基于土地变更调查数据和地理国情普查数据识别并提取了中国粮食主产区撂荒地分布信息，同时构建中介效应模型，对耕地撂荒影响粮食产量的作用机制进行了实证检验，得出以下结论：

(1) 随着近年来中国粮价上涨趋缓、农民种粮收益下降，中国粮食主产区耕地撂荒现象普遍存在，撂荒规模达到405.53万 hm^2 ，撂荒率约为5.85%。空间上，撂荒地的分布呈现“T”字形空间格局，其中横轴方向黑龙江东北部、吉林西北部以及内蒙古南部地区为撂荒地主要集聚区域；纵轴沿山东中部、安徽中南部以及湖北东北部地区由北向南逐渐延伸。

(2) 2017年主产区因撂荒而损失粮食产量2265.6万t，损失比例占粮食主产区粮食总产量的4.69%，损失农田生产潜力为1339.15万t。其中内蒙古自治区粮食产出损失量和损失比例最大。

(3) 耕地撂荒对粮食主产区粮食产量具有显著的负向影响。根据中介效应模型结果显示，耕地撂荒会减少区域粮食播种面积、降低农田生产潜力，进而造成区域粮食产量的下降，但同时耕地撂荒会促使农业技术投入量的增加，从而缓解粮食生产压力，三者影响系数分别为-0.194、-0.025和0.006，表明耕地撂荒导致的区域粮食播种面积减少是影响区域粮食产量最首要的因素。

(4) 粮食主产区耕地撂荒现象不容忽视。未来应遵从城乡融合以及农业农村发展态势，强化粮食主产区农业生产现代要素投入与政策扶植，构建粮食生产—耕地休耕空间转换弹性机制，保障我国粮食安全。

3.2 讨论

(1) 粮食生产与国民经济发展密不可分。鉴于中国人多地少的基本国情，能否保障粮食供给能力将对中国的发展和社会稳定产生深远的影响。耕地是粮食生产最基本且不可替代的生产资料和重要载体^[6,46]，可以说没有耕地，粮食保障就无从谈起。中国粮食主产区战略意义重大，明确粮食主产区耕地利用情况及其对于粮食产量影响机制，对于加强主产区耕地保护、挖掘粮食生产潜力以及保障国家粮食安全具有至关重要的作用。然而，本文通过研究发现，随着近年来国内粮价上涨趋缓、农民种粮收益下降，中国粮食主产区耕地资源利用情况并不乐观，撂荒现象在主产区内13个省/自治区均有不同程度的发生，并出现多个高度集聚区。此外，根据耕地撂荒对粮食产量影响机制结果可以看

出,粮食主产区耕地撂荒对于区域粮食产量具有显著的负向作用。以上结果表明耕地撂荒现象已经由偏远山区和非粮主产区逐渐扩张到粮食主产区内,并严重影响了区域粮食生产水平。由此可见,粮食主产区耕地撂荒现象不容忽视。

(2) 耕地撂荒是耕地基础环境与社会经济要素变化共同作用的结果。其中耕地资源条件是耕地撂荒发生的内在基础,其优劣程度直接决定耕地产出;而劳动力外流、粮食价格下降、种粮收益偏低等因素是耕地撂荒的外在驱动,是农民权衡耕地收益与机会成本下的理性选择。近些年中国粮食供应情况并不乐观,不断变化的粮食生产形势使得粮食生产中的不利因素越来越多,在农业科技没有取得根本性突破之前,耕地仍是保障粮食总量提升的决定性因素。然而,基于本文测算结果发现,主产区内因撂荒而损失的粮食产量和生产潜力分别达到2256.6万t和1339.15万t,可见耕地撂荒现象的不断加剧不仅对我国粮食产量构成直接威胁,同时在保证国民粮食自给自足也将面临着巨大的挑战。“粮食保障”与“耕地撂荒”之间的矛盾存在表明关注粮食安全迫在眉睫,解决耕地撂荒刻不容缓。

(3) 本文证实了耕地撂荒对区域粮食产量具有显著的负向影响,但该过程的实现路径具有显著的前后强度差别,并最终导致各要素影响程度的不同。耕地撂荒造成的粮食播种面积的减少是影响区域粮食产量最首要的因素,而耕地撂荒对于生产潜力的变化进一步抑制了粮食生产能力的提升,并降低了区域粮食产量。从影响机制前后强度来看,耕地撂荒对于各中介要素的驱动程度具有一定差异,具体表现为农田生产潜力(0.617)>粮食播种面积(0.157)>农业技术(0.076),表明耕地撂荒对于耕地生产潜力影响更为强烈,粮食播种面积次之;然而,各中介要素对于粮食产量的驱动程度呈现反向程度作用,即粮食播种面积(1.375)>农田生产潜力(0.135)>农业技术(0.007),表明粮食产量受粮食播种面积变化影响更为强烈,前后影响强度的差异综合导致了最终中介效应程度的不同。

(4) 本文仅从粮食主产区整体研究了耕地撂荒对粮食产量的影响机制,并探讨各中介要素的配置效应。然而由于粮食主产区内自然环境差异较大,同时由其引起的种植结构和复种指数亦存在较大区域分异,因此在耕地撂荒对于各地区粮食产量的影响机制中,各中介要素影响程度也应略有不同。对于地势平坦且种植结构单一的东北地区来说,耕地撂荒所导致的粮食播种面积的直接减少成为影响区域粮食产量的主要原因。在黄淮海地区,农田水利设施的薄弱化表现严重降低了农业生产潜力,并深刻影响区域粮食产量。但对于长江中下游及周边地区来说,复杂多变的地形条件使得区域耕地细碎化严重,限制了农业机械化投入,以坡耕地为代表的劣质耕地逐渐被撂荒,并造成区域粮食产量下降。因此未来应结合各地区自然地理环境、农业生产特点、社会经济条件等因素进行分区域、多角度的机制探究,明确不同地区耕地撂荒对粮食产量的影响机制差异,以便实现具有针对性的撂荒地整治措施。

(5) 耕地撂荒对粮食产量的影响机制是复杂的。在“三位一体”的耕地保护新格局的指引下,应高度重视粮食主产区耕地撂荒现象,基于要素作用机制和农业发展态势,从体制改革、机制创新和政策配套等方面综合实施撂荒地防治策略。首先,要严格监控基本农田,保障现有播种面积。积极开展撂荒地复垦政策,并通过改进耕作制度,提高复种指数从而间接扩大粮食作物播种面积;建立健全的土地流转市场,支持提供合理的

土地流转平台, 打击过度“非粮化”“非农化”和“撂荒化”, 严格保护粮食生产用地。其次, 加强中低产田改造力度, 提高耕地生产潜力。通过合理施肥和改良土壤等措施改善农田生态环境, 挖掘耕地生产潜力; 完善耕地监测网络体系, 动态掌握土壤环境质量。第三, 加强农业基础设施建设和科技投入。开展水利设施和道路交通网建设, 确保农业技术投入的顺利实施和粮食的对外流通, 从而减少农民因种粮成本过高而导致的耕地撂荒现象; 合理使用农药、促进良种良方使用, 提高粮食综合生产能力, 保障区域粮食产量。此外, 粮食主产区耕地利用还需遵从城乡融合以及农业农村发展态势, 构建粮食生产—耕地休耕空间转换弹性机制。通过实施“长期撂荒”向“短缺休耕”转换的保障机制, 对受损严重的耕地资源进行生态重建和地力恢复, 使其生态效应逐步发展为兼顾粮食产能潜力提升和生态效益保护的多元目标阶段^[42], 促进粮食主产区耕地资源向绿色、高效、可持续方向发展。

参考文献(References):

- [1] 李勇, 何欢欢. 主产区粮食产量时空格局演变与影响因素. 中国农机化学报, 2020, 41(6): 216-224. [LI Y, HE H H. Spatial and temporal pattern evolution and influencing factors of grain yield in major grain producing area. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2020, 41(6): 216-224.]
- [2] 高延雷, 张正岩, 魏素豪, 等. 城镇化对中国粮食安全的影响: 基于省区面板数据的实证分析. 资源科学, 2019, 41(8): 1462-1474. [GAO Y L, ZHANG Z Y, WEI S H, et al. Impact of urbanization on food security: Evidence from provincial panel data in China. Resources Science, 2019, 41(8): 1462-1474.]
- [3] 黄露莹, 麻祖清, 罗峦. 耕地利用形式变化对我国粮食安全的影响研究. 南方农村, 2014, 30(8): 50-54. [HUANG L Y, MA Z Q, LUO L. Study on the impact of cultivated land use form change on China's food security. South China Rural Area, 2014, 30(8): 50-54.]
- [4] 杨宗辉, 蔡鸿毅, 覃诚, 等. 我国粮食生产的时空格局及其影响因素分析. 中国农业科技导报, 2018, 20(9): 1-11. [YANG Z H, CAI H Y, QIN C, et al. Analysis on the spatial and temporal pattern of China's grain production and its influencing factors. Journal of Agricultural Science and Technology, 2018, 20(9): 1-11.]
- [5] 成升魁, 李云云, 刘晓洁, 等. 关于新时代我国粮食安全观的思考. 自然资源学报, 2018, 33(6): 911-926. [CHENG S K, LI Y Y, LIU X J, et al. Thoughts on food security in China in the new period. Journal of Natural Resources, 2018, 33(6): 911-926.]
- [6] 王祥, 牛叔文, 强文丽, 等. 食物贸易视角下的全球食物供需平衡及其演化分析. 自然资源学报, 2020, 35(7): 1659-1671. [WANG X, NIU S W, QIANG W L, et al. Analysis on global food supply and demand balance and its evolution from a perspective of food trade. Journal of Natural Resources, 2020, 35(7): 1659-1671.]
- [7] 李红侠. 保障我国粮食安全的财政补贴政策研究. 成都: 西南交通大学, 2016. [LI H X. The study of food financial subsidy policies for grain security in China. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2016.]
- [8] 冯彬彬. 河南省耕地变化对粮食生产能力的影响. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010. [FENG B B. Impact of cultivated land change on food production in Henan province. Yangling: Northwest A&F University, 2010.]
- [9] VEGA G C, CHUVIECO E. Applying local measures of spatial heterogeneity to Landsat-TM images for predicting wild-fire occurrence in Mediterranean landscapes. Landscape Ecology, 2006, 21(4): 595-605.
- [10] GARCÍA-RUIZ J M. Hydrological and erosive consequences of farmland abandonment in Europe, with special reference to the Mediterranean region: A review. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2011, 140(3/4): 317-338.
- [11] ALCANTARA C, KUEMMERLE T, BAUMANN M, et al. Mapping the extent of abandoned farmland in Central and Eastern Europe using MODIS time series satellite data. Environmental Research Letters, 2013, 8(3): 1-9.
- [12] ESTEL S, KUEMMERLE T, ALCANTARA C, et al. Mapping farmland abandonment and recultivation across Europe using MODIS NDVI time series. Remote Sensing of Environment, 2015, 163: 312-325.
- [13] 李秀彬, 赵宇鸾. 森林转型、农地边际化与生态恢复. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(10): 91-95. [LI X B, ZHAO Y L. Forest transition, agricultural land marginalization and ecological restoration. China Population, Resources and Envi-

- ronment, 2011, 21(10): 91-95.]
- [14] 邵景安, 张仕超, 李秀彬. 山区耕地边际化特征及其动因与政策含义. 地理学报, 2014, 69(2): 227-242. [SHAO J A, ZHANG S C, LI X B. Farmland marginalization in the mountainous areas: Characteristics, influencing factors and policy implications. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(2): 227-242.]
- [15] AIDE T M, GRAU H R. Globalization, migration, and Latin American ecosystems. *Science*, 2004, 305(5692): 1915-1916.
- [16] LAMBIN E F, MEYFROID P. Land use transitions: Socio-ecological feedback versus socio-economic change. *Land Use Policy*, 2010, 27(2): 108-118.
- [17] BENAYAS J M R, MARTINS A, NICOLAU J M. Abandonment of agricultural land: An overview of drivers and consequences. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture*, 2007, 57(2): 1-12.
- [18] ZHANG Y, LI X, SONG W. Determinants of cropland abandonment at the parcel, household and village levels in mountain areas of China: A multi-level analysis. *Land Use Policy*, 2014, (41): 186-192.
- [19] SHIFERAW B, HOLDEN S T. Policy instruments for sustainable land management: The case of highland smallholders in Ethiopia. *Agricultural Economics*, 2000, 22(3): 217-232.
- [20] 谢红霞, 李锐, 任志远, 等. 基于指数法的陕西省耕地和粮食时空变化分析. 资源科学, 2007, 29(3): 170-176. [XIE H X, LI R, REN Z Y, et al. Spatio-temporal analysis of the change of the cultivated land and food production in Shaanxi province based on index method. *Resources Science*, 2007, 29(3): 170-176.]
- [21] 李彬, 武恒. 安徽省耕地资源数量变化及其对粮食安全的影响. 长江流域资源与环境, 2009, 18(12): 1115-1120. [LI B, WU H. Relationship between the cultivated land change and food security in Anhui province. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2009, 18(12): 1115-1120.]
- [22] 潘佩佩, 杨桂山, 苏伟忠, 等. 太湖流域土地利用变化对耕地生产力的影响研究. 地理科学, 2015, 35(8): 990-998. [PAN P P, YANG G S, SU W Z, et al. Impact of land use change on cultivated land productivity in Taihu Lake Basin. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(8): 990-998.]
- [23] 石淑芹, 陈佑启, 姚艳敏, 等. 东北地区耕地变化对粮食生产能力的影响评价. 地理学报, 2008, 63(6): 574-586. [SHI S Q, CHEN Y Q, YAO Y M, et al. Impact assessment of cultivated land change upon grain productive capacity in Northeast China. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(6): 574-586.]
- [24] 周玉刚, 臧淑英. 系统动力学模型在土地资源研究中的应用: 以大庆市地区为例. 国土与自然资源研究, 2008, (2): 35-37. [ZHOU Y G, ZANG S Y. The use of system dynamic model in researching of land resource of Daqing. *Territory & Natural Resources Study*, 2008, (2): 35-37.]
- [25] 姚成胜, 李政通, 易行. 中国粮食产量变化的驱动效应及其空间分异研究. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(9): 72-81. [YAO C S, LI Z T, YI X. Driving effects of grain production change and its spatial differences in China. *China Population, Resources and Environment*, 2016, 26(9): 72-81.]
- [26] 李升发, 李秀彬. 耕地撂荒研究进展与展望. 地理学报, 2016, 71(3): 370-389. [LI S F, LI X B. Progress and prospect on farmland abandonment. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(3): 370-389.]
- [27] 王定祥, 李伶俐. 城镇化、农地非农化与失地农民利益保护研究: 一个整体性视角与政策组合. 中国软科学, 2006, (10): 20-31. [WANG D X, LI L L. Urbanization, farmland conversion and protection of the interest of land-losing peasantry in China: An integrated perspective and combination. *China Soft Science*, 2006, (10): 20-31.]
- [28] 戈大专, 龙花楼, 张英男, 等. 中国县域粮食产量与农业劳动力变化的格局及其耦合关系. 地理学报, 2017, 72(6): 1063-1077. [GE D Z, LONG H L, ZHANG Y N, et al. Pattern and coupling relationship between grain yield and agricultural labor changes at county level in China. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(6): 1063-1077.]
- [29] 田玉军, 李秀彬, 马国霞, 等. 劳动力析出对生态脆弱区耕地撂荒的影响. 中国土地科学, 2010, (7): 4-9. [TIAN Y J, LI X B, MA G F, et al. Influences of Labor Emigration from agriculture on the production abandonment of cultivated land in ecological sensitive areas. *China Land Science*, 2010, (7): 4-9.]
- [30] 王大伟, 刘彦随, 卢艳霞. 农业结构调整对全国粮食安全的影响分析: 以粮食主产区为例. 中国人口·资源与环境, 2005, 15(2): 65-68. [WANG D W, LIU Y S, LU Y X. Agricultural structure adjustment and its effect on China's food safety: Case study of the main food supply regions. *China Population, Resources and Environment*, 2005, 15(2): 65-68.]
- [31] 高富岗, 王兆清, 李富忠. 要素替代、要素市场与农地流转: 一个农地撂荒分析框架. 山西农业大学学报: 社会科学

- 版, 2014, 13(7): 666-670. [GAO F G, WANG Z Q, LI F Z. Factor substitution, factor market and farmland transfer: One analytical framework of abandoned farmland problem. Journal of Shanxi Agricultural University: Social Science Edition, 2014, 13(7): 666-670.]
- [32] 陈美球, 冯黎妮, 周丙娟, 等. 农户耕地保护性投入意愿的实证分析. 中国农村观察, 2008, (5): 23-29. [CHEN M Q, FENG L N, ZHOU B J, et al. Empirical analysis of farmers' willingness to invest in cultivated land protection. China Rural Survey, 2008, (5): 23-29.]
- [33] 刘承芳, 张林秀, 樊胜根. 农户农业生产性投资影响因素研究: 对江苏省六个县市的实证分析. 中国农村观察, 2002, (4): 34-42, 80. [LIU C F, ZHANG L X, FAN S G. A study on the factors affecting farmer's agricultural production investment. China Rural Survey, 2002, (4): 34-42, 80.]
- [34] 林立, 张志新, 黄海蓉. 农业技术进步对农民增收的影响机理分析: 来自黑、苏、皖、鲁、川、贵6省的证据. 重庆社会科学, 2020, (6): 27-37. [LIN L, ZHANG Z X, HUANG H R. Analysis of the impact mechanism of agricultural technology progress on increasing farmers' income: Evidence from six provinces: Hei, Su, Anhui, Shandong, Sichuan and Gui. Chongqing Social Sciences, 2020, (6): 27-37.]
- [35] 余咏胜, 彭艳丽, 秦思娴, 等. 武汉市地理国情普查中高分辨率遥感影像的处理. 地理空间信息, 2016, 14(5): 25-27, 30, 6. [YU Y S, PENG Y L, QIN S X, et al. High resolution remote sensing image processing in wuhan geographical conditions census. Geospatial Information, 2016, 14(5): 25-27, 30, 6.]
- [36] ZHOU T, JIANG G H, LI G Y, et al. Neglected idle rural residential land (IRRL) in metropolitan suburbs: Spatial differentiation and influencing factors. Rural Study, 2020, (78): 163-175.
- [37] 文雯, 周丁扬, 苏珊, 等. 基于行业分类的工业用地演变研究: 以北京市为例. 中国土地科学, 2017, 31(11): 32-39. [WEN W, ZHOU D Y, SU S, et al. The evolution of industrial land in Beijing during the transitional period: Based on the industrial clarification. China Land Science, 2017, 31(11): 32-39.]
- [38] BARON R M, KENNY D A. The moderator-mediator variable distinction in social psychological research: Conceptual, strategic, and statistical considerations. Journal of Personality and Social Psychology, 1986, 51(6): 1173-1182.
- [39] 王一杰, 邸菲, 辛岭. 我国粮食主产区粮食生产现状、存在问题及政策建议. 农业现代化研究, 2018, 39(1): 37-47. [WANG Y J, DI F, XIN L. The status and problems of grain production in the main grain production areas of China and policy suggestions. Research of Agricultural Modernization, 2018, 39(1): 37-47.]
- [40] 张凤荣, 宋乃平, 李超, 等. 农牧交错区的荒漠化防治与土地持续利用途径探讨. 水土保持学报, 2003, (1): 19-22. [ZHANG F R, SONG N P, LI C, et al. Research on desertification and sustainable land use in cultivation and grazing integrated region. Journal of Soil Water Conservation, 2003, (1): 19-22.]
- [41] 张峰基. 粮食主产区农村劳动力省外就业决策行为及其影响因素研究: 基于江西15县的调研. 南昌: 江西农业大学, 2016. [ZHANG F J. Major grain-producing areas of the rural labor force employment outside the province's decision-making behavior and its influencing factor: Based on the research of 15 counties in Jiangxi province. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2016.]
- [42] 谭术魁, 韩思雨, 张路. 粮食安全视角下粮食主产区耕地休耕规模及动态仿真研究. 中国土地科学, 2020, 34(2): 9-17. [TAN S K, HAN S Y, ZHANG L. Study on fallow scale and dynamical simulation of major grain producing areas in China from the food security perspective. China Land Science, 2020, 34(2): 9-17.]

The degree of cultivated land abandonment and its influence on grain yield in main grain producing areas of China

LI Yu-ling^{1,2}, MA Wen-qiu^{1,2,3}, JIANG Guang-hui^{1,2}, LI Guang-yong⁴, ZHOU Ding-yang^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. School of Natural Resources, Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. Zhuhai Branch of State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Advanced Institute of Natural Sciences, Beijing Normal University, Zhuhai 519087, Guangdong, China; 4. National Geomatics Center of China, Beijing 100830, China)

Abstract: Cultivated land abandonment has a profound impact on China's food security. Taking the main grain producing areas in China as an example and based on the identification of the distribution of abandoned land, this paper measured the spatial distribution pattern of abandoned land, established the mediating effect model of cultivated land abandonment, and explored the influence mechanism of cultivated land abandonment on regional grain yield. The results showed that: (1) The area of abandoned cultivated land in the main grain producing areas of China was 4.0553 million hectares, with a rate of 5.85%; the distribution of abandoned land presented a T-shaped pattern, mainly concentrated in the Northeastern Heilongjiang, Northwestern Jilin and Southern Inner Mongolia. (2) Cultivated land abandonment had a significant negative impact on the grain yield of the main grain producing areas. In 2017, these areas lost a farmland production potential of 13.3915 million tons, and the loss of grain output was as high as 22.656 million tons, accounting for 4.69%; Inner Mongolia was the most affected region. (3) Grain sown area, farmland production potential, and agricultural technology input all played an intermediary role, and their regression coefficients were - 0.194, - 0.025 and 0.006, respectively. (4) We should follow the trend of urban-rural integration and agricultural-rural development, strengthen the input of modern agricultural production factors and policy support in major grain producing areas, and construct the flexible mechanism of spatial transformation between grain production and cultivated land fallow to ensure food security in China.

Keywords: cultivated land abandonment; spatial pattern; impact mechanism; mediated effect model; main grain producing areas