

引用格式: 刘晴晴, 陈万旭, 杨立言, 曾杰. 中国耕地垂直扩张特征及其形成机理[J]. 山地学报, 2025, 43(3): 378-392.

LIU Qingqing, CHEN Wanxu, YANG Liyan, ZENG Jie. Vertical expansion patterns of cultivated land in China and underlying drivers [J]. Mountain Research, 2025, 43(3): 378-392.

## 中国耕地垂直扩张特征及其形成机理

刘晴晴, 陈万旭\*, 杨立言, 曾杰

(中国地质大学(武汉)地理与信息工程学院, 武汉 430078)

**摘要:** 耕地垂直扩张是中国农业可持续发展面临的新问题和挑战, 严重威胁粮食安全和耕地可持续利用。科学揭示中国耕地垂直扩张规律及成因, 对保障国家粮食安全, 科学指导耕地下山、林耕置换政策, 具有重要的理论和现实意义。已有研究缺乏对中国耕地垂直扩张特征及其形成机理的深入揭示, 难以支撑更具针对性的耕地保护政策的制定。本研究基于 1980—2020 年中国 30 m × 30 m 分辨率土地利用遥感监测数据, 测度中国耕地利用变化幅度及其垂直扩张特征, 揭示中国耕地垂直扩张形成原因及机理。结果表明: (1) 1980—2020 年中国耕地面积整体有所增加, 年均增幅为 0.02%, 北方干旱半干旱地区为中国耕地持续补充区, 而华南区、黄淮海平原区、四川盆地及周边地区和长江中下游地区则是主要的耕地流失区。(2) 中国耕地垂直扩张了 17.38 m, 其中耕地海拔增幅最大的为青藏高原区(66.02 m), 降幅最大的是北方干旱半干旱地区(76.05 m)。中国东部各农业区存在突出的耕地垂直扩张现象, 而西部各农业区耕地平均海拔则呈下降趋势。(3) 1980—2020 年中国转入耕地面积( $26.21 \times 10^4 \text{ km}^2$ )和平均海拔(677.95 m)明显高于转出耕地面积( $25.06 \times 10^4 \text{ km}^2$ )和平均海拔(585.17 m), 其中草地和林地向耕地转型是中国耕地垂直扩张的主要原因。(4) 资源禀赋、立地条件和政策制度是导致耕地垂直扩张的关键; 多种要素通过远近程耦合作用促进了耕地的垂直扩张。研究成果可为耕地保护宏观调控策略和差异化管控措施的制定提供科学参考。

**关键词:** 耕地; 垂直扩张; 成因分析; 机理揭示

**中图分类号:** F329.9

**文献标志码:** A

耕地保护是粮食安全的核心基石, 关乎经济稳定、民生福祉和国家安全, 具有重要的战略地位<sup>[1-3]</sup>。伴随中国城镇化进程的推进, 耕地资源在空间维度上发生结构性重构: 平原优质耕地持续被建设用地挤占, 而新增耕地则主要来源于海拔与坡度更高的草地、林地及未利用地, 形成了以“垂直替代”为模式的耕地空间位移<sup>[4-7]</sup>。这种非均衡的空间置换导致耕地质量整体退化, 直接削弱国家粮食产能与农业可持续发展能力。

耕地的地形属性(坡度、海拔、坡向等地形因

子)是农业生产核心约束和生态安全关键指标, 直接影响耕地的利用方式(坡度小于 $2^\circ$ , 适宜大型机械化耕作; 坡度在 $2^\circ \sim 6^\circ$ , 需实施水土保持措施; 坡度大于 $15^\circ$ 处于生态退耕红线)、生产潜力/作物选择(作物生长期)以及生态功能(将大于 $25^\circ$ 的坡耕地纳入退耕, 可减少土壤侵蚀量 72%)。耕地空间形态与演变、耕地质量、农业产能利用效率和撂荒现象等农业治理的各个方面都与地形属性紧密相关<sup>[8-12]</sup>。

城镇化驱动下占补平衡政策引发耕地向高海拔

收稿日期(Received date): 2025-03-22; 改回日期(Accepted date): 2025-05-28

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金(42371258)。[National Natural Science Foundation of China (42371258)]

作者简介(Biography): 刘晴晴(2001-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 城乡转型治理。[LIU Qingqing (2001-), female, M. Sc. candidate, research on governance of urban-rural transformation] E-mail: lqq@cug.edu.cn

\* 通讯作者(Corresponding author): 陈万旭(1989-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向: 国土空间优化治理。[CHEN Wanxu (1989-), male, Ph. D., associate professor, research on territorial space optimization and governance] E-mail: cugcw@ cug.edu.cn

迁移<sup>[13-16]</sup>,耕地资源的开发利用形成“耕地爬坡”和“垂直替代”现象<sup>[17-21]</sup>。研究发现,1990—2020年,中国耕地转化为城镇建设用地、农村居民点和其他建设用地的年均面积分别为 1520.60 km<sup>2</sup>、1464.60 km<sup>2</sup> 和 987.44 km<sup>2</sup>,耕地非农化受到建设用地扩张的显著影响<sup>[14]</sup>;建设用地占用耕地主要发生在坡度小于6°的区域,而当坡度大于6°时,新增耕地主要来源于草地和林地<sup>[18]</sup>;在西南山区,20世纪80年代以后流失耕地逐渐向低海拔(<631 m)地区转移<sup>[19]</sup>。相较于2000—2010年,近十年的耕地爬坡现象更为突出,中国耕地爬坡区域主要集中在黑河—腾冲线的东部半壁,尤其是中部的关键粮食产区和经济发达的东部沿海地区<sup>[20-21]</sup>;在长江流域,2000—2020年耕地的上坡和下坡现象同时存在,其中浙江、湖南和西藏地区的耕地经历了持续不断的爬坡进程<sup>[22]</sup>。

耕地垂直扩张对粮食安全和生态安全构成了严重威胁。耕地垂直扩张改变水热配置、降低土壤有机质含量、压缩复种指数,导致耕地产能衰减,粮食生产系统脆弱性加剧<sup>[23-24]</sup>。从生态效应看,高强度坡地开荒导致水土流失、生境破碎化、生物多样性丧失等系列问题<sup>[6, 25]</sup>。

系统解析耕地垂直扩张的特征与机制,构建精细化的耕地空间管控体系,对保障粮食安全、优化耕地下山与林耕置换政策具有重要的现实意义。前期研究虽初步揭示了垂直扩张的表层特征与生态影响,但对其形成机理的系统性解析仍显不足<sup>[19, 26]</sup>,尤其缺乏对资源禀赋、立地条件与政策制度三维要素交互作用的综合考量,对城乡要素流动的远程耦合机制亦缺乏深入探讨。此外,在研究尺度上,现有研究多集中于西北、西南几个农业大省<sup>[12, 19]</sup>或流域尺度<sup>[22]</sup>,受制于地理条件和数据分辨率,难以揭示全国范围内耕地垂直扩张的异质性格局和形成机制。

本研究利用1980—2020年中国30 m×30 m分辨率的土地利用遥感监测数据,测度耕地利用变化幅度及其垂直扩张特征;整合资源禀赋-立地条件-政策制度多维影响因素,揭示中国耕地垂直扩张的形成原因和机制。研究成果可为制定科学合理的耕地保护宏观调控策略和差异化管控措施提供决策支持。

## 1 研究区概况与数据来源

### 1.1 研究区概况

中国是全球重要的农业生产国,其耕地资源空间分布具有显著的异质性特征<sup>[8]</sup>。根据自然资源禀赋与农业生产特征,全国可划分为九大农业区(图1)。其中东北平原区以黑土资源为核心优势,耕地集中连片,面积占比达全国17.03%(2020年),是中国重要的商品粮基地。长江中下游地区耕地面积居全国首位(占比19.09%),水热条件优越,耕地复种指数全国最高,水稻种植占主导地位,但城镇化挤占优质耕地现象严重。黄淮海平原区是中国重要的粮食生产区,光热资源充足,但水资源短缺与土壤盐渍化问题突出,耕地质量呈现高产能、低可持续性特征。华南区地形以丘陵山地为主,耕地破碎化程度高,热带经济作物与水稻并存,后备资源匮乏。北方干旱半干旱区耕地集中于河套平原与阴山南麓,以旱作农业为主,风蚀沙化风险显著。黄土高原区耕地多分布于塬、梁、峁地貌单元,水土流失严重,坡耕地占比超60%,生态约束突出。四川盆地及周边地区耕地集中于紫色土盆地,水田比例高,但地形封闭导致后备资源开发受限。云贵高原区喀斯特地貌广布,耕地零散分布于山间坝子,石漠化与生态脆弱性制约耕地扩张。青藏高原区耕地面积最小(占比0.9%),耕地集中分布于河谷地带,高寒气候与土壤贫瘠导致产能低下。

九大农业区耕地分布呈现东密西疏、平原主导格局,黑河—腾冲线以东集中了全国86%的耕地资源,但伴随快速城镇化,东部优质耕地流失与西部高海拔边际耕地开发的矛盾日益加剧。本研究聚焦上述区域差异,系统解析中国耕地垂直扩张特征及其形成机理,对于保障国家粮食安全,科学指导耕地下山和林耕置换,具有重要的理论和现实意义。

### 1.2 数据来源

本研究选择1980年、1990年、2000年、2010年和2020年共5个研究时点,研究涉及的中国30 m×30 m分辨率土地利用遥感监测数据来源于中国科学院资源环境科学与数据中心(<http://www.resdc.cn>),该土地利用数据集包含6个一级地类及25个二级地类。30 m×30 m分辨率的DEM数据来

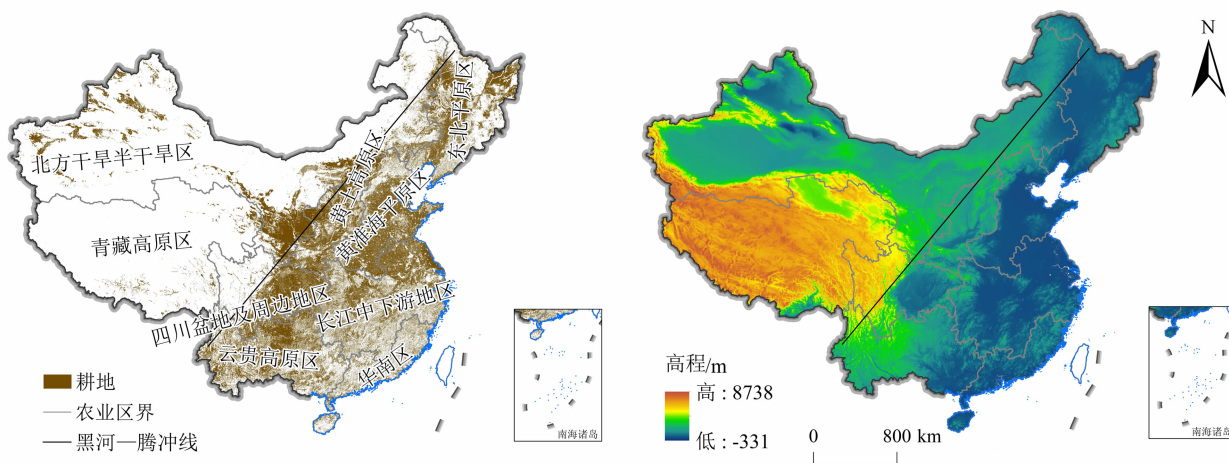


图1 2020年中国农业区和耕地分布

Fig. 1 Spatial distribution of agricultural regions and cultivated land in 2020, China

(审图号: GS(2019)1827)

源于国家地球系统科学数据中心 (<http://www.geodata.cn>)。行政边界数据源于国家基础地理信息中心(NGCC) (<http://ngcc.sbsm.gov.cn/>)。中国九大农业区划数据同样来源于中国科学院资源环境科学与数据中心。由于数据限制,中国港澳台地区未纳入研究范围。

## 2 研究方法

### 2.1 耕地利用变化幅度

本研究采用区域耕地面积占区域总面积比重变化值表征耕地利用变化幅度<sup>[27]</sup>。耕地利用变化幅度可以有效反映区域内耕地面积变化的动态情况与区域间耕地动态变化的差异。计算公式如下:

$$C = \frac{S_j - S_i}{S} \times 100\% \quad (1)$$

式中, $C$ 为区域耕地利用变化幅度; $S_j$ 和 $S_i$ 分别为研究时段末期和初期耕地面积; $S$ 为区域总面积。

### 2.2 耕地海拔变化

本研究引入耕地海拔变化指标来测度耕地平均海拔变化特征,耕地平均海拔变化越大,说明耕地垂直扩张程度越高<sup>[10, 28]</sup>。计算公式如下:

$$H = \frac{\sum_{i=1}^n (A_{2i} \cdot E_i)}{\sum_{i=1}^n A_{2i}} - \frac{\sum_{i=1}^n (A_{1i} \cdot E_i)}{\sum_{i=1}^n A_{1i}} \quad (2)$$

式中, $H$ 为耕地平均海拔变化; $A_{2i}$ 和 $A_{1i}$ 分别为第*i*

个格网  $t_2$  和  $t_1$  时的耕地面积; $E_i$  为第  $i$  个单元的耕地平均海拔。

## 3 结果与分析

### 3.1 1980—2020年中国耕地利用动态变化特征

研究期间,中国耕地面积由1980年的  $175.32 \times 10^4 \text{ km}^2$  增加到2020年的  $176.54 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,增加了  $1.22 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,年均增幅为0.02%。具体地,1980—1990、1990—2000、2000—2010和2010—2020年中国耕地利用变化幅度分别为0.12%、0.29%、-0.10%和-0.17%。中国耕地资源主要分布在平原地区,山地丘陵地区次之。研究期间北方干旱半干旱地区是中国耕地持续补充区(表1),东北平原地区和青藏高原地区耕地面积也增加明显;而华南区、黄淮海平原区、四川盆地及周边地区和长江中下游的地区耕地利用变化幅度均为负值,这些地区以耕地流失为主要特征。2010—2020年云贵高原区耕地面积增加明显,而2000—2020年黄土高原地区耕地面积降低显著。中国耕地减少的地区主要是城镇化快速推进地区,耕地占用数量高于补充量;耕地扩张的地区主要分布在东北地区、黄土高原地区、西南地区以及西北地区,这些地区后备耕地资源丰富,补充耕地数量高于占用耕地量(图2)。

### 3.2 1980—2020年中国耕地垂直扩张特征

中国耕地海拔的“西高东低”特征与中国地势的

表 1 中国农业区耕地利用变化幅度

Tab. 1 Change magnitude of cultivated land use in different agricultural regions of China

地区	耕地利用变化幅度/%			
	1980—1990 年	1990—2000 年	2000—2010 年	2010—2020 年
全国	0.12	0.29	-0.10	-0.17
华南区	-0.43	-0.61	-1.10	-0.82
东北平原区	1.67	3.09	-0.02	0.048
云贵高原区	-0.05	0.01	-0.10	0.37
黄土高原区	-0.05	0.05	-1.91	-0.46
青藏高原区	0.01	0.01	0.18	-0.01
黄淮海平原区	-0.08	-0.76	-1.51	-1.64
长江中下游地区	-0.59	-1.21	-2.86	-1.18
北方干旱半干旱区	0.11	0.49	0.78	0.09
四川盆地及周边地区	-0.03	-0.08	-0.25	-0.26
中国台湾地区	—	—	—	—

注：—表示数据不可获取。

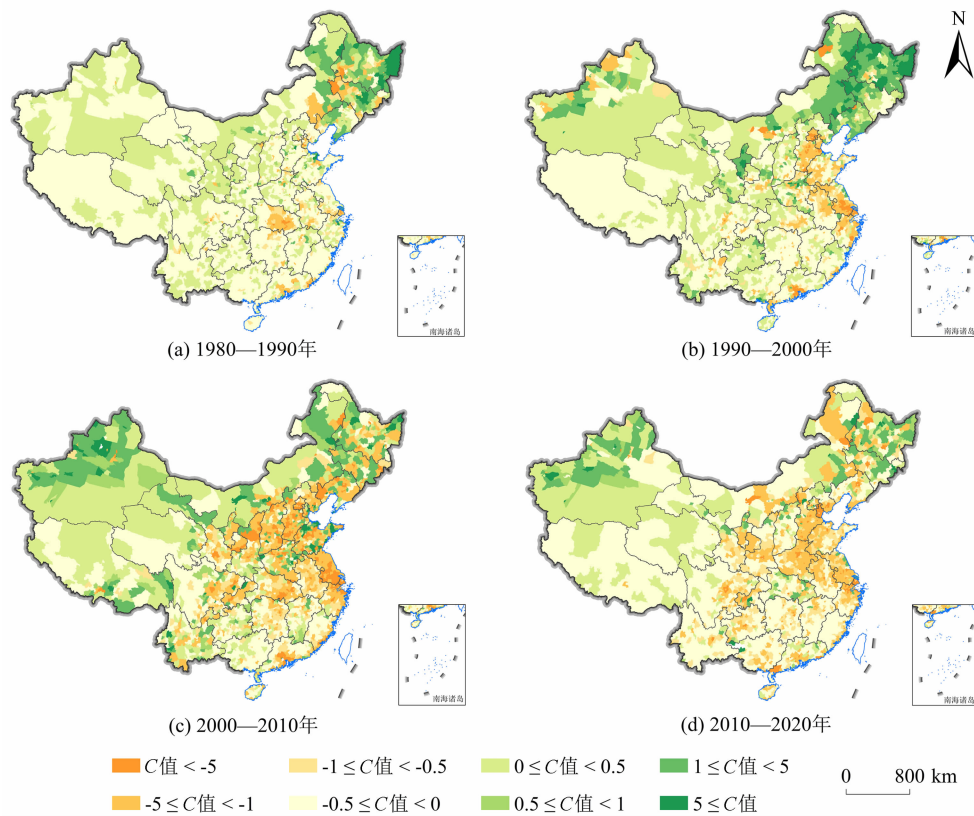


图 2 中国耕地利用变化幅度时空特征

Fig. 2 Spatiotemporal patterns of cultivated land use change in China

三级阶梯状逐级下降特征一致(图 3)。海拔 300 m、300 ~ 800 m、800 ~ 1600 m、1600 ~ 3000 m 和高于 3000 m 的耕地面积占比分别为 54.49%、20.00%、18.15%、6.62% 和 0.74% (2020 年)。研究期间中

国耕地海拔呈现持续增加态势(图 4),由 1980 年的 502.61 m 增加到 2020 年的 519.99 m,40 年耕地垂直扩张了 17.38 m。从农业区尺度来看,2020 年青

耕地平均海拔最低(148.22 m)。黄淮海平原区、青藏高原区、四川盆地及其周边地区、长江中下游地区以及华南区耕地海拔呈持续增加态势,而北方干旱半干旱区和云贵高原区耕地海拔则持续降低。其中海拔增幅最大的是青藏高原区,由1980的3087.00 m

增加到2020年的3153.02 m,增加了66.02 m。其次是华南区,由1980年的135.78 m增加至2020年的148.22 m,增加了12.44 m。海拔降幅最大的是北方干旱半干旱区,由1980年的1165.66 m降低到2020年的1089.61 m,降低了76.05 m;其次是云贵

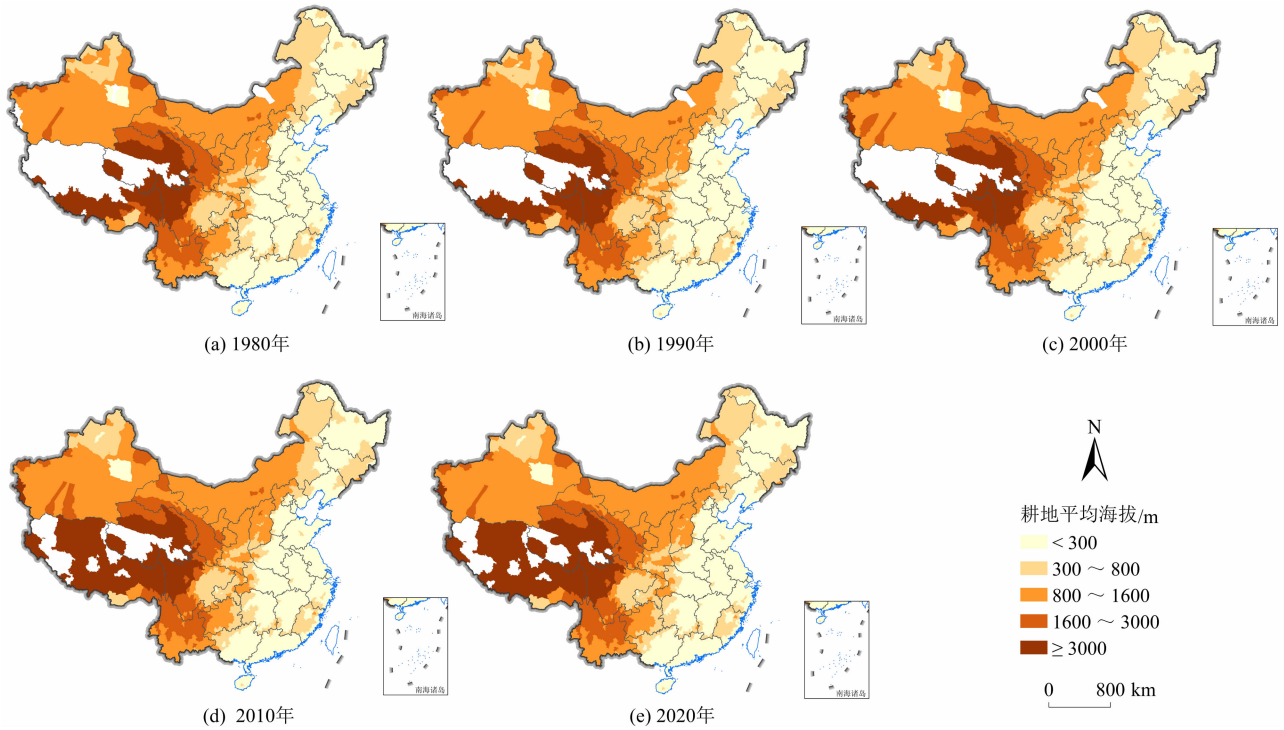
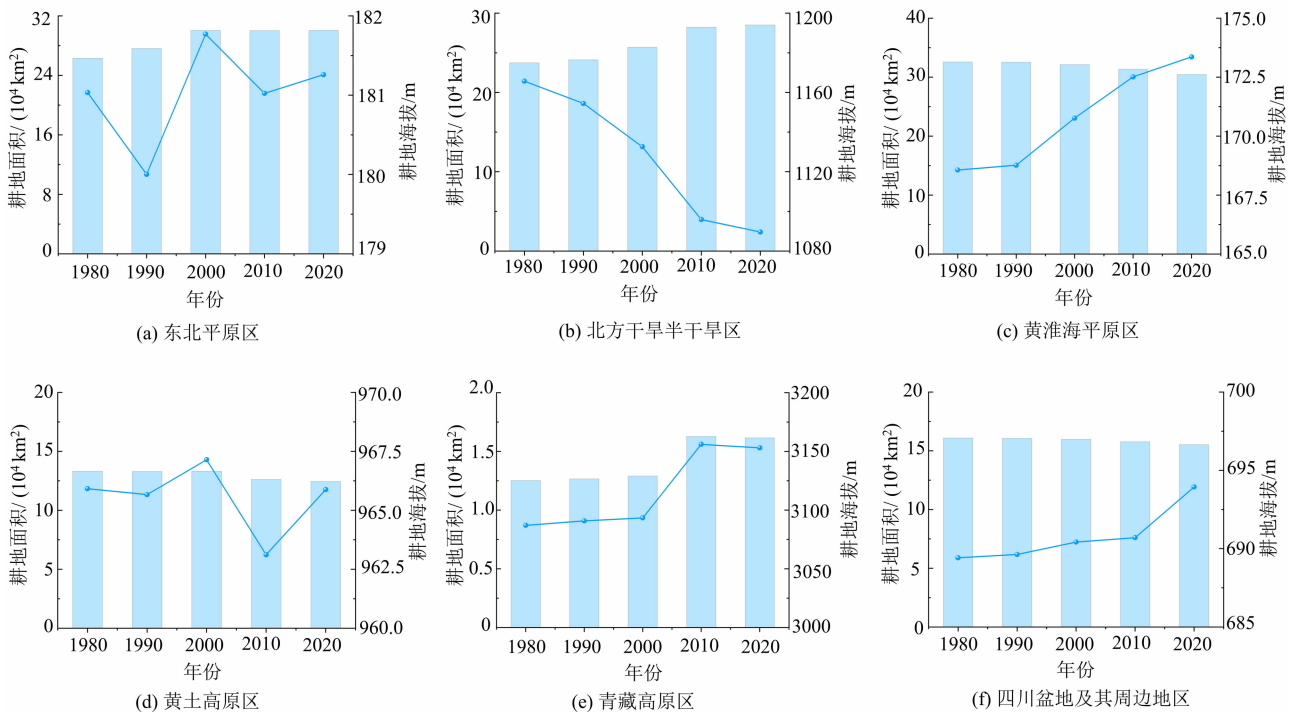


图3 中国耕地平均海拔时空特征

Fig. 3 Spatiotemporal patterns of average elevation of cultivated land in China



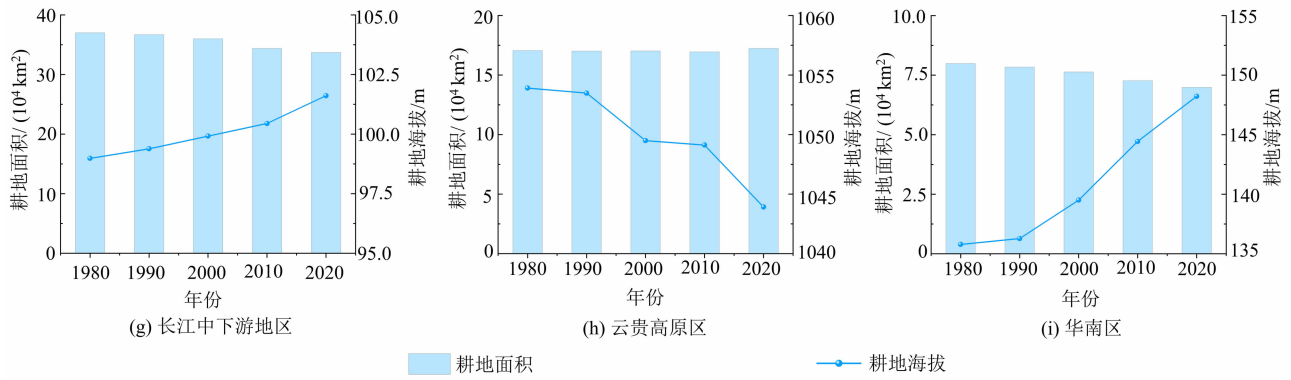


图4 中国农业区耕地面积和平均海拔变化

Fig. 4 Changes in cultivated land area and average elevations in agricultural regions of China

高原区,由1980年的1053.90 m降低到2020年的1043.91 m,降低了9.99 m。

1980—1990年、1990—2000年、2000—2010年和2010—2020年,发生耕地垂直扩张的县域单元占比分别为53.48%、56.26%、57.65%和57.57%。空间分布上,中国东部各农业区存在显著的耕地垂直扩张现象,而西部各农业区耕地平均海拔则呈下

降特征(图5)。这是由于中国后备耕地资源主要分布在西北地区,其补充耕地主要来自低海拔地区;东部地区后备耕地资源短缺导致其补充耕地主要来源于地形条件相对恶劣的高海拔地区。近年来,中国土地开发整理以及耕地占补平衡等一系列的耕地保护政策在一定程度上保证了补充耕地在质量、数量和生态方面的平衡,但是一些地区仍存在“占优补劣”

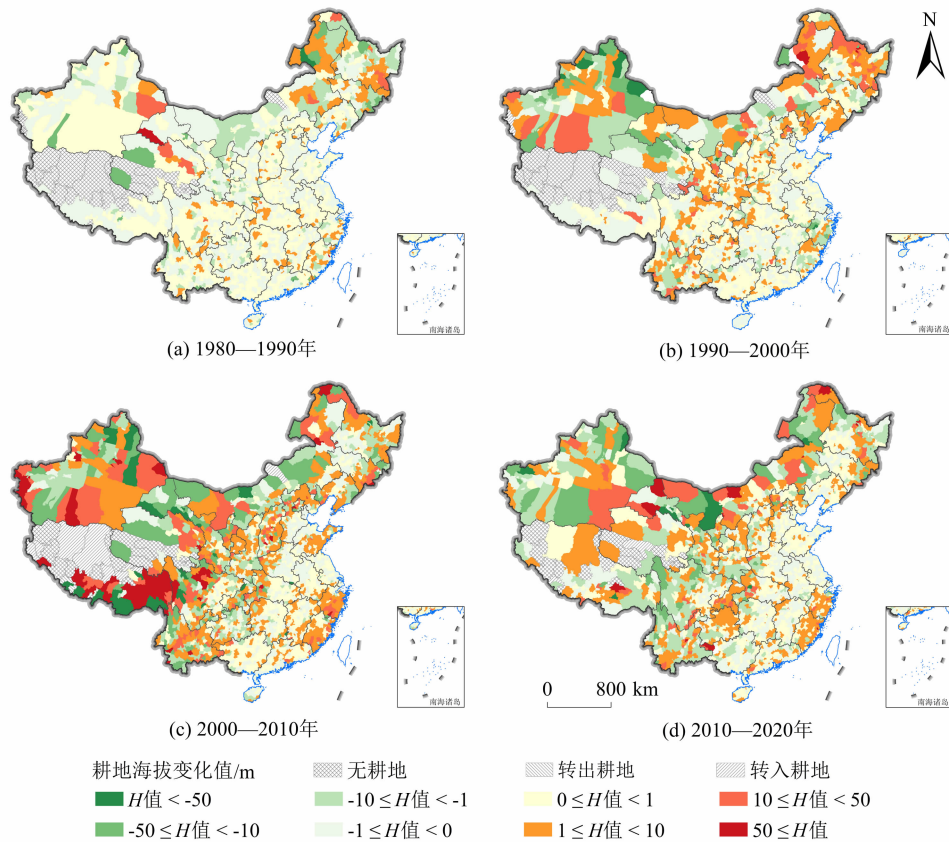


图5 中国耕地平均海拔变化时空特征

Fig. 5 Spatiotemporal patterns of average elevation change of cultivated land in China

和生态安全加剧等方面的问题。

### 3.3 1980—2020年中国耕地垂直扩张成因分析

1980—1990、1990—2000、2000—2010和2010—2020年,草地是新增耕地的主要来源,分别占耕地

转入量的43.87%、55.67%、41.66%和35.87%,其次是林地,占耕地转入量的29.36%、27.36%、25.77%和35.86%(图6)。耕地的转出则较为多样,1980—1990年耕地转为草地的数量最大,占耕

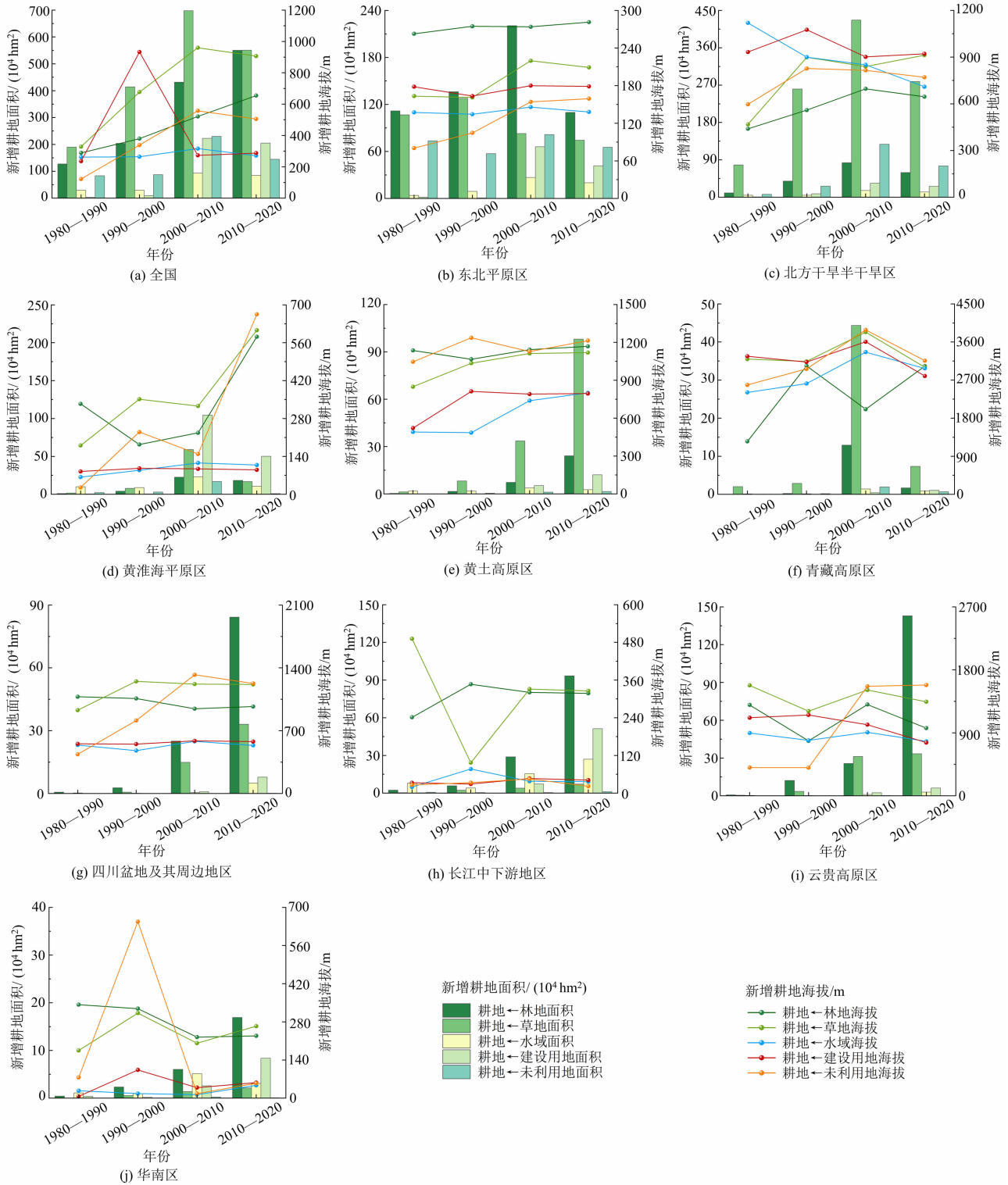


图6 中国不同农业区新增耕地面积和海拔

Fig. 6 Areas and elevations of newly added cultivated land in different agricultural regions of China

地转出量的 35.02% ; 1990—2000 年、2000—2010 年建设用地占用耕地数量明显高于其他转出地类, 分别占转出量的 37.21% 和 36.44% ; 2010—2020 年建设用地占用耕地数量同样较高, 这主要是由于中国城镇化的快速推进, 城市周边大量的优质耕地被建设用地占用。对比不同农业区, 草地和林地普遍为耕地补充的主要来源, 但不同农业区间还是有所差异。东北平原区的未利用地同样是补充耕地的重要来源, 北方干旱半干旱地区、黄土高原和青藏高原区, 草地是补充耕地的主要来源。在四川盆地及其周边地区、长江中下游地区、云贵高原区和华南地区, 林地是补充耕地的主要来源。耕地转为草地和林地是东北平原区、北方干旱半干旱地区、黄土高原区、青藏高原区、四川盆地及其周边地区和云贵高原区耕地流失的主要原因, 而建设用地占用耕地是黄淮海平原区、长江中下游地区和华南区耕地流失的主要原因。

研究期间, 多数县域单元新增耕地主要由海拔和坡度较高的草地、林地和未利用地转化而来, 大量低海拔平原地区优质耕地被建设用地占用, 这必然会导致耕地的垂直扩张。为了进一步揭示耕地利用变化过程中, 耕地转入转出对耕地海拔的影响, 本研究基于耕地利用变化以及 DEM 数据分析了中国耕地垂直扩张的原因(图 6、图 7)。1980—1990 年、1990—2000 年、2000—2010 年和 2010—2020 年, 转入耕地平均海拔为 272.10 m、552.63 m、664.69 m 和 666.41 m, 转出耕地平均海拔为 278.45 m、518.99 m、534.50 m 和 610.68 m, 除 1980—1990 年以外, 转入耕地平均海拔总体高于转出耕地平均海拔。整体上, 林地、草地和未利用地转为耕地的海拔显著高于其他地类; 而耕地流失过程中, 耕地转为林地、草地和未利用地的海拔相对较低。比较不同农业区, 北方干旱半干旱区未利用地、建设用地、水域和草地转为耕地海拔相对较高, 而其他农业区林地和草地转为耕地的海拔总体高于其他地类。耕地转为林地和草地的海拔明显高于其他地类, 而在北方干旱半干旱区耕地转为未利用地、建设用地、水域和草地的海拔相对较高。

综上, 耕地转出为草地和林地的面积与海拔, 均高于草地和林地转入的面积和海拔, 这种地类的转变极大地促使了中国耕地的垂直扩张现象, 其中草地和耕地之间转型是最主要的作用力, 林地和耕地

之间转型的作用力其次。同时, 建设用地占用低海拔地区耕地也是耕地垂直扩张的重要成因。不同农业区耕地海拔与面积的转入转出特征表现出明显的差异特征。具体地, 东部经济相对发达的农业区, 转入耕地的平均海拔要远高于转出耕地的平均海拔, 这导致了东部沿海地区的耕地垂直扩张。在西部经济相对不发达的农业区, 转入耕地的平均海拔要小于转出耕地的平均海拔, 导致了其耕地海拔的不断下降。需特别指出的是, 尽管西部地区耕地平均海拔呈下降趋势, 但其整体仍处于高海拔地理单元, 西部地区大量的耕地补充, 导致了全国耕地平均海拔的增加。

### 3.4 中国耕地垂直扩张形成机理分析

中国耕地垂直扩张必然会对耕地形态、规模化生产和生产力产生深远影响, 进而阻碍中国农业现代化进程<sup>[9, 29-30]</sup>。1980—2020 年, 建设用地需求不断增加, 导致保障粮食安全和保红线、保发展的压力不断加大, 耕地资源的开发利用不断向更广泛的地域和更高海拔的地区扩张<sup>[19-20]</sup>。尽管耕地垂直扩张在一定程度上能够缓解平原地区建设用地紧张问题, 但无规划约束的扩张和土地财政驱动的“削山造地”则会加剧粮食安全并引发自然生境损失、生境破碎化以及随之而来的生物多样性丧失等一系列的生态问题。为此, 揭示多尺度中国耕地垂直扩张空间分异格局及其形成机理差异性, 对于制定更具针对性的地方耕地保护措施和差异性的调控细则具有重要意义<sup>[8, 23]</sup>。基于以往研究及以上分析, 中国耕地垂直扩张主要有以下三方面原因。

#### (1) 资源禀赋

中国耕地资源有限, 人均耕地面积仅为世界平均水平的 1/2, 且耕地平均质量较低, 耕地后备资源严重不足<sup>[1]</sup>。同时, 中国耕地被建设侵占量居全球之首, 建成区扩张是耕地流失的主要驱动力, 未来较长时间内建设用地扩张和耕地面积下降仍将持续<sup>[31]</sup>。另外, 中国耕地资源空间分布不均衡性显著(图 1), 耕地资源主要分布在黑河—腾冲线以东的平原和盆地地区, 而该地区建设用地供求矛盾尤为突出, 大量的优质耕地被建设用地占用, 受耕地后备资源禀赋所限, 新增耕地数量潜力不足, 补充耕地质量又难以得到保证<sup>[32-33]</sup>, 占补平衡背景下大量耕地向坡度更陡、高程更高的西北地区补充<sup>[8]</sup>。另外, 中国耕地后备资源主要分布在中国西北地区, 中国

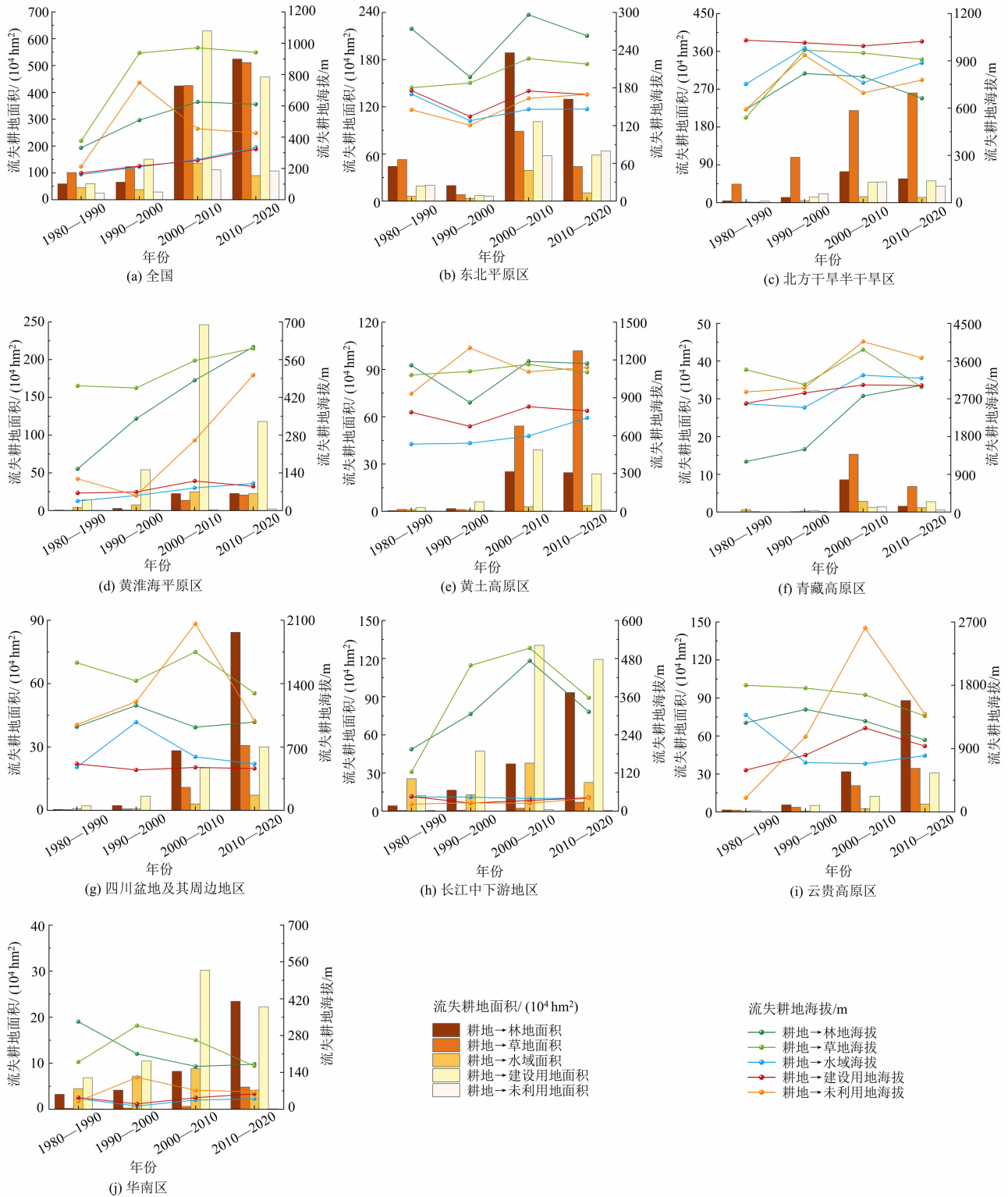


图7 中国不同农业区转出耕地面积和海拔

Fig. 7 Areas and elevations of transferred-out cultivated land in different agricultural regions of China

耕地生产潜力呈现由东向西逐渐降低的梯度差异分布特征,而中国建设用地扩张和优质耕地高度重合<sup>[34-35]</sup>。

(2) 立地条件

地形方面,中国地势呈三级阶梯状逐级下降(图1),而耕地被占用主要发生在中国东部地区,补

偿耕地则主要分布在中国西北地区,中国地形特征必然会导致中国耕地的垂直扩张<sup>[8, 20]</sup>。以往研究对占用和补充耕地的海拔和坡度进行了大量分析,研究结果显示占用耕地的海拔和坡度显著低于补充耕地<sup>[9, 22]</sup>。耕地质量方面,以往研究已经证明土壤质量和耕地海拔及坡度均呈现负相关,可以判断补充耕地质量显著低于占用耕地质量<sup>[10, 36]</sup>。经济发展水平方面,东部地区经济发展对建设用地的需求十分强劲,大量的平原地区耕地被占用,迫使耕地补充在海拔和坡度较高的地区,加剧了人地关系矛盾。另外,以往研究发现中国的耕地“非农化”大都发生在城市周边土层深厚和有灌溉排水条件的区域,补充耕地则在距城市较远的地区,造成耕地平均质量降低<sup>[9]</sup>。自下而上的经济发展需求和自上而下的宏观耕地保护政策之间的矛盾是推动中国耕地垂直扩张的直接原因,同时也是市场经济发展的一种必然结果<sup>[37]</sup>。

### (3) 政策制度

中国实施了一系列耕地保护政策,涵盖法律、行政审批、行政责任和税收政策等方面,包括土地用途管制、高标准农田建设、基本农田保护、土地开发复垦整理、耕地税费、耕地占补平衡和进出平衡等<sup>[38-39]</sup>。但是地方政府对耕地保护政策的理解和执行偏差降低了耕地保护政策实施效果,在一定程

度上加剧了中国耕地垂直扩张<sup>[9, 39-40]</sup>。例如,耕地占补平衡中补充耕地数量和质量不到位,“占优补劣”时有发生,引发了占用耕地地形要素显著优于补充耕地地形要素的现象,加剧了中国耕地垂直扩张<sup>[14, 36, 42]</sup>。《关于加强耕地保护和改进占补平衡的意见》中提出实施“以县域自行平衡为主、省域内调剂为辅、国家适度统筹为补充”的耕地占补平衡措施,耕地占补平衡跨地区调节可能会导致耕地垂直扩张。另外,土地开发整理项目建设是保障国家粮食安全的关键举措,但当前土地开发整理项目验收过程缺少对新增耕地海拔和坡度的具体验收标准。由于耕地后备资源的有限性,很多新增耕地分布在山坡上,这在一定程度上也会引发耕地垂直扩张问题。

此外,耕地垂直扩张形成是在城市系统和乡村系统之间远近期耦合作用下形成的(图8)。对于城市系统而言经济发展水平较高、发展资料充裕,然而存在建设用地紧张和耕地后备资源短缺等问题。对乡村系统而言,经济发展水平相对滞后、发展资金短缺,但耕地后备资源充足和农产品和劳动力充足等优势明显。两个系统之间要素的流动(资金、技术、劳动力、农产品)以及相关政策的作用下,城市系统可以解决发展空间不足问题,保障粮食安全,同时增加土地财政的收入,但同时也带来了城市系统的城市扩张加快、发展空间需求增加等一系列问题。对

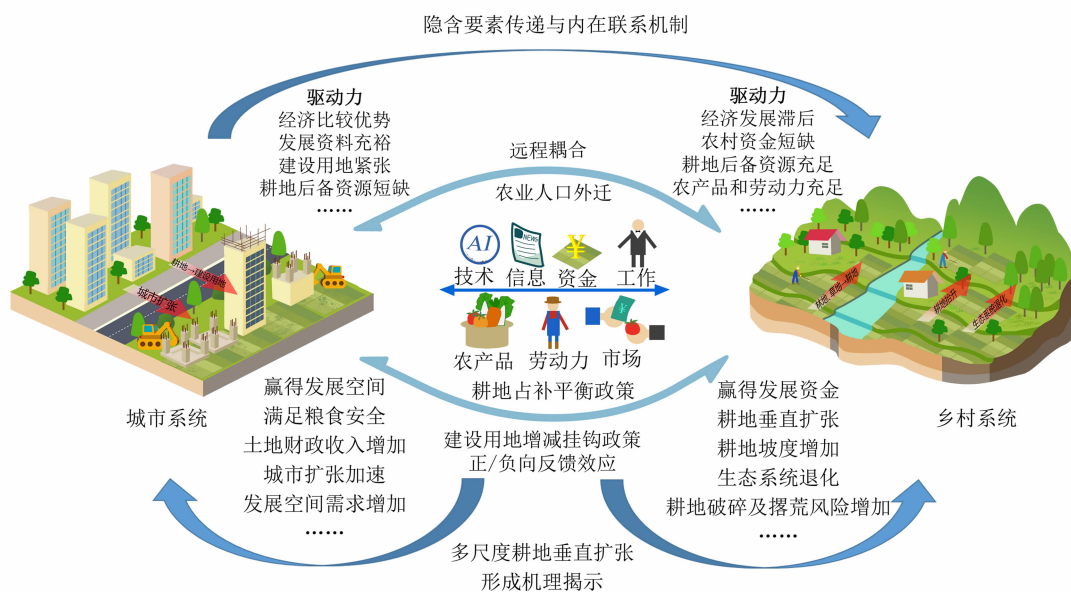


图8 耕地垂直扩张形成机理

Fig. 8 Formation mechanism of vertical expansion of cultivated land in China

于农村系统而言,则可以赢得发展资金、解决劳动力就业和农产品销路的问题,但是会引发诸如耕地垂直扩张、耕地坡度增加、生态系统退化、土壤退化、耕地抛荒撂荒风险加剧等问题。城市系统和乡村系统之间各种社会-政策、社会-经济、社会-生态、生态-经济因素通过内部耦合(intracoupling)、周边耦合(pericoupling)和远程耦合(telecoupling)等作用过程共同导致了我国耕地垂直扩张。

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论

本研究从全国、九大农业区和全国县域尺度的多维视角出发,综合考虑耕地面积和海拔的时空变化特征,揭示了中国耕地垂直扩张“东部扩张,西部下降”的反差格局,并定量识别了其来源(草地、林地转入为主因,低海拔优质耕地被建设用地占用则为其关键推手);最后从多维视角出发,结合远程耦合框架定性分析了其关键形成机理。研究结果为制定更具针对性的地方耕地保护施政措施和差异性的调控细则提供了坚实的实证基础,对保障国家粮食安全,科学指导耕地下山、林耕置换政策,具有重要的理论和现实意义。

1980—2020年,中国新增耕地主要来源于黑河—腾冲线以西的西北和西南地区;相比之下,黑河—腾冲线的东部半壁尤其是华中、华南和华东地区耕地流失现象较为突出,这与前人发现基本一致<sup>[8, 23]</sup>。此外,中国地势自西向东三级阶梯状逐级下降的特征,使得耕地平均海拔同样呈现出西高东低的差异性格局。值得注意的是,虽然中国耕地面积和海拔均在增加,但不同区域的耕地面积和海拔的时空动态却差异显著。北方干旱半干旱区和云贵高原区耕地面积上升,海拔却有所下降,新增耕地海拔在下降;而黄淮海平原区、四川盆地及其周边地区、长江中下游地区和华南区耕地面积下降,海拔却持续上升,新增耕地海拔在上升,这是中国耕地垂直扩张东西差异的原因之一。需特别指出的是,尽管西部地区耕地平均海拔呈下降趋势,但其整体仍处于高海拔地理单元,且后备耕地开发集中于坡度 $> 25^\circ$ 的边际土地,通过“低质量-高海拔”置换模式,仍对全国耕地垂直扩张现象产生贡献作用。已有研究表明西南地区转化耕地的转化方向和空间特征逐渐

向低海拔( $< 631\text{ m}$ )地区转移<sup>[19]</sup>,这印证了本文结果;也有研究揭示了中国耕地的增长趋向于位于坡度较陡的地区,而耕地的减少则继续向平坦地区扩展这一趋势,但并未揭示该趋势的空间异质性<sup>[18]</sup>。同时,本研究发现高海拔地区草地和林地与耕地之间的转型,以及平原地区城镇建设用地与耕地之间的转型,促使了中国耕地的垂直扩张现象的产生。而上面所提到的两种转型的区域差异,则造成了中国耕地的垂直扩张的空间异质性。已有研究同样发现,被占用的耕地大多为质量较高的平原耕地,而补充的耕地大多是质量较低的高海拔草地和林地<sup>[36]</sup>。该现象对中国粮食安全和生态安全构成了严重威胁。

从形成机理的角度看,资源禀赋(耕地后备资源西多东少且质量低)、立地条件(三级阶梯地形与建设用地占用区域错位)和政策制度(占补平衡执行偏差、跨区域调剂、开发整理标准缺失)是驱动垂直扩张的关键因素。已有研究指出地形地貌是影响山区耕地演变的最主要因素,且中国过去的一些关键性政策直接影响了山区耕地的演化路径<sup>[19]</sup>。更重要的是,本研究引入远程耦合框架,揭示城市系统与乡村系统之间通过要素流动和政策作用,在内部、周边及远程尺度上的耦合互动(如东部城市消费驱动西部低效耕地开发,劳动力东移加剧撂荒与边际替代循环),共同促成了耕地的垂直扩张<sup>[43-46]</sup>。且前文所提到的东西部反向的扩张模式(东部“占优补劣”导致平均海拔抬升,西部退耕还林及大规模开发低海拔未利用地拉低区域均值)正是这种多维驱动、远程耦合作用的直观体现。这一机理框架的构建,系统性地解析了资源禀赋、立地条件与政策制度三维要素交互作用以及城乡要素流动的远程耦合机制,极大地深化了对耕地垂直扩张复杂驱动过程的理解。

本研究针对中国耕地垂直扩张的时空格局特征及其形成机理,展开了大量的研究,但仍存在一定的不足。首先,研究主要依赖海拔这一地形属性刻画垂直扩张动态,虽能反映其核心趋势,但未深入整合坡度这一同等重要的地形因子;其次,虽然定性分析了耕地垂直扩张背后的形成机理,但并未选取相应指标进行定量的实证分析;此外,未来对耕地垂直扩张生态风险的定量评估也可成为今后拓展新方向。

## 4.2 结论

本研究基于1980—2020年中国30 m × 30 m分辨率中国土地利用遥感监测数据,借助耕地利用变化幅度和耕地海拔变化等方法分析1980—2020年中国耕地利用变化与耕地垂直扩张的时空特征以及耕地垂直扩张成因,随后借助远程耦合等定性分析方法揭示了中国耕地垂直扩张的形成机理。具体研究结论如下。

(1) 1980—2020年中国耕地面积增加了 $1.22 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,年均增幅为0.02%。北方干旱半干旱地区是中国耕地持续补充区,而华南区、黄淮海平原区、四川盆地及周边地区和长江中下游地区是耕地流失的主要地区。

(2) 研究期间,中国耕地平均海拔增加了17.38 m,发生耕地垂直扩张的县域单元占比逐渐增加,这在中国东部地区尤为突出,而西部地区则与之相反。对比不同农业区,黄淮海平原区、青藏高原区、四川盆地及其周边地区、长江中下游地区以及华南区耕地海拔呈现持续增加趋势,其中,青藏高原区耕地海拔增幅最大;而北方干旱半干旱区和云贵高原区耕地海拔则持续降低。

(3) 1980—2020年中国转入耕地面积( $26.21 \times 10^4 \text{ km}^2$ )和平均海拔(677.95 m)明显高于转出耕地面积( $25.06 \times 10^4 \text{ km}^2$ )和平均海拔(585.17 m),导致耕地垂直扩张现象的发生,其中草地和耕地之间转型是最主要的作用力,林地和耕地之间转型的作用力次之。此外,低海拔地区耕地转为建设用地也是促使耕地垂直扩张的重要原因。

(4) 耕地垂直扩张现象是在资源禀赋、立地条件和政策制度等多种要素综合作用的基础上形成的,各种社会-政策、社会-经济、社会-生态、生态-经济因素通过内部耦合、周边耦合和远程耦合等作用过程导致了耕地海拔的增加。

## 参考文献 (References)

- [1] 陈秧分, 王介勇, 张凤荣, 等. 全球化与粮食安全新格局[J]. 自然资源学报, 2021, **36**(6): 1362–1380. [CHEN Yangfen, WANG Jieyong, ZHANG Fengrong, et al. New patterns of globalization and food security [J]. Journal of Natural Resources, 2021, **36**(6): 1362–1380] DOI: 10.31497/zrzyxb.20210602
- [2] 马恩朴, 蔡建明, 林静, 等. 2000—2014年全球粮食安全格局的时空演化及影响因素[J]. 地理学报, 2020, **75**(2): 332–347. [MA Enpu, CAI Jianming, LIN Jing, et al. Spatio-temporal evolution of global food security pattern and its influencing factors in 2000–2014 [J]. Acta Geographica Sinica, 2020, **75**(2): 332–347] DOI: 10.11821/dlxb202002009
- [3] 吴郁玲, 张佩, 于亿亿, 等. 粮食安全视角下中国耕地“非粮化”研究进展与展望[J]. 中国土地科学, 2021, **35**(9): 116–124. [WU Yuling, ZHANG Pei, Yu Yiyi, et al. Progress review on and prospects for non-grain cultivated land in China from the perspective of food security [J]. China Land Science, 2021, **35**(9): 116–124] DOI: 10.11994/zgtdkx.20210909.102404
- [4] 霍仁龙, 杨煜达, 满志敏. 1700—1978年云南山地掌鸠河流域耕地时空演变的网格化重建[J]. 地理学报, 2020, **75**(9): 1966–1982. [HUO Renlong, YANG Yuda, MAN Zhimin. Gridded reconstruction of spatiotemporal evolution of cropland in Zhangjiu River Basin in Yunnan Province from 1700 to 1978 [J]. Acta Geographica Sinica, 2020, **75**(9): 1966–1982] DOI: 10.11821/dlxb202009011
- [5] 张丽娟, 姚子艳, 唐世浩, 等. 20世纪80年代以来全球耕地变化的基本特征及空间格局[J]. 地理学报, 2017, **72**(7): 1235–1247. [ZHANG Lijuan, YAO Ziyuan, TANG Shihao, et al. Spatiotemporal characteristics and patterns of the global cultivated land since the 1980s [J]. Acta Geographica Sinica, 2017, **72**(7): 1235–1247] DOI: 10.11821/dlxb201707009
- [6] LARK T J, SPAWN S A, BOUGIE M, et al. Cropland expansion in the United States produces marginal yields at high costs to wildlife [J]. Nature Communications, 2020, **11**(1): 4295. DOI: 10.1038/s41467-020-18045-z
- [7] HU Yina, CONNOR D S, STUHLMACHER M, et al. More urbanization, more polarization: Evidence from two decades of urban expansion in China [J]. Npj Urban Sustainability, 2024, **4**(1): 33. DOI: 10.1038/s42949-024-00170-z
- [8] 程维明, 高晓雨, 马廷, 等. 基于地貌分区的1990—2015年中国耕地时空特征变化分析[J]. 地理学报, 2018, **73**(9): 1613–1629. [CHENG Weiming, GAO Xiaoyu, MA Ting, et al. Spatial-temporal distribution of cropland in China based on geomorphologic regionalization during 1990–2015 [J]. Acta Geographica Sinica, 2018, **73**(9): 1613–1629] DOI: 10.11821/dlxb201809001
- [9] 廖柳文, 高晓路, 龙花楼, 等. 基于农户利用效率的平原和山区耕地利用形态比较[J]. 地理学报, 2021, **76**(2): 471–486. [LIAO Liuwen, GAO Xiaolu, LONG Hualou, et al. A comparative study of farmland use morphology in plain and mountainous areas based on farmer's land use efficiency [J]. Acta Geographica Sinica, 2021, **76**(2): 471–486] DOI: 10.11821/dlxb202102016
- [10] 周君华, 游碧君, 詹寄任, 等. 复杂地貌类型区耕地质量时空分异及影响因素[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2021, **50**(6): 824–831. [ZHOU Junhua, YOU Bijun, ZHAN Jiren, et al. Spatial and temporal variation of farmland quality and its influencing factors in complex geomorphic regions [J]. Journal

- of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition), 2021, **50**(6): 824 – 831] DOI: 10.13323/j.cnki.j.fafu(nat.sci.).2021.06.016
- [11] 原晋涛, 陈万旭, 曾杰. 中国耕地利用变化时空分异特征及对耕地 NPP 的影响[J]. 自然资源学报, 2023, **38**(12): 3135 – 3149. [YUAN Jintao, CHEN Wanxu, ZENG Jie. Spatio-temporal differentiation of cropland use change and its impact on cropland NPP in China [J]. Journal of Natural Resources, 2023, **38**(12): 3135 – 3149] DOI: 10.31497/zrzyxb.20231212
- [12] 宋宪强, 梁钊雄, 周红艺, 等. 基于决策树与时序 NDVI 变化检测的耕地撂荒遥感监测——以四川省凉山州普格县为例[J]. 山地学报, 2021, **39**(6): 912 – 921. [SONG Xianqiang, LIANG Zhaoxiong, ZHOU Hongyi, et al. An updated method to monitor the changes in spatial distribution of abandoned land based on decision tree and time series NDVI change detection: A case study of Puge county, Liangshan prefecture, Sichuan province, China [J]. Mountain Research, 2021, **39**(6): 912 – 921] DOI: 10.16089/j.cnki.1008 – 2786.000649
- [13] 袁承程, 张定祥, 刘黎明, 等. 近 10 年中国耕地变化的区域特征及演变态势[J]. 农业工程学报, 2021, **37**(1): 267 – 278. [YUAN Chengcheng, ZHANG Dingxiang, LIU Liming, et al. Regional characteristics and spatial-temporal distribution of cultivated land change in China during 2009 – 2018 [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, **37**(1): 267 – 278] DOI: 10.11975/j.issn.1002 – 6819.2021.01.032
- [14] WU Xiaoran, ZHAO Na, WANG Yuwei, et al. Cropland non-agriculturalization caused by the expansion of built-up areas in China during 1990 – 2020 [J]. Land Use Policy, 2024, **146**: 107312. DOI: 10.1016/j.landusepol.2024.107312
- [15] 宋敏, 彭竞毅, 易路平, 等. 湖北省耕地“大占补”数量-质量平衡及其对粮食产能的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2024, **34**(10): 173 – 186. [SONG Min, PENG Jingyi, YI Luping, et al. Quantity and quality balance of farmland in Hubei province in the context of “compensation for comprehensive occupation” and its impact on grain production capacity [J]. China Population, Resources and Environment, 2024, **34**(10): 173 – 186] DOI: 10.12062/cpre.20240708
- [16] 姜跃锋, 周亮, 陈志杰. 典型河谷型城市建设用地的爬坡特征及其生态质量影响[J]. 山地学报, 2022, **40**(4): 570 – 580. [JIANG Yuefeng, ZHOU Liang, CHEN Zhijie. Slope-climbing characteristics of typical valley-type urban construction land and its ecological quality influence [J]. Mountain Research, 2022, **40**(4): 570 – 580] DOI: 10.16089/j.cnki.1008 – 2786.000694
- [17] 刘晴晴, 陈万旭, 张莎莎, 等. 中国城乡建设用地时空特征与耦合协调分析[J]. 地域研究与开发, 2024, **43**(6): 144 – 150. [LIU Qingqing, CHEN Wanxu, ZHANG Shasha, et al. Spatio-temporal pattern and coupling coordination of urban-rural construction land in China [J]. Areal Research and Development, 2024, **43**(6): 144 – 150] DOI: 10.3969/j.issn.1003 – 2363.2024.06.021
- [18] LI Chun, CHEN Liding, LIU Dianfeng, et al. The hidden risk in China's cropland conversion from the perspective of slope [J]. Catena, 2021, **206**: 105536. DOI: 10.1016/j.catena.2021.105536
- [19] LIANG Xinyuan, JIN Xiaobin, YANG Xuhong, et al. Exploring cultivated land evolution in mountainous areas of southwest China, an empirical study of developments since the 1980s [J]. Land Degradation & Development, 2021, **32**(2): 546 – 558. DOI: 10.1002/ldr.3735
- [20] CHEN Wanxu, XIE Youping, YUAN Jintao, et al. Slope-climbing of cropland and its effects in China [J]. Journal of Mountain Science, 2024, **21**(8): 2754 – 2769. DOI: 10.1007/s11629 – 024 – 8603 – 2
- [21] HE Tingting, LI Jianhua, ZHANG Maoxin, et al. Uphill cropland and stability assessment of gained cropland in China over the preceding 30 years [J]. Journal of Geographical Sciences, 2024, **34**(4): 699 – 721. DOI: 10.1007/s11442 – 024 – 2224 – 0
- [22] PAN Sipei, LIANG Jiale, CHEN Wanxu, et al. Uphill or downhill? Cropland use change and its drivers from the perspective of slope spectrum [J]. Journal of Mountain Science, 2024, **21**(2): 484 – 499. DOI: 10.1007/s11629 – 023 – 8184 – 5
- [23] 李月娇, 杨小唤, 程传周, 等. 近几年来中国耕地占补的空间分异特征[J]. 资源科学, 2012, **34**(9): 1671 – 1680. [LI Yuejiao, YANG Xiaohuan, CHENG Chuanzhou, et al. Spatial features of occupation and supplement cropland based on topographic factors in China from 2008 – 2010 [J]. Resources Science, 2012, **34**(9): 1671 – 1680]
- [24] 冀正欣, 王秀丽, 李玲, 等. 南阳盆地区耕地利用效率演变及其影响因素[J]. 自然资源学报, 2021, **36**(3): 688 – 701. [JI Zhengxin, WANG Xiuli, LI ling, et al. The evolution of cultivated land utilization efficiency and its influencing factors in Nanyang Basin [J]. Journal of Natural Resources, 2021, **36**(3): 688 – 701] DOI: 10.31497/zrzyxb.20210312
- [25] YANG Chao, LIU Huiheng, LI Qingquan, et al. Human expansion into Asian highlands in the 21st Century and its effects [J]. Nature Communications, 2022, **13**(1): 4955. DOI: 10.1038/s41467 – 022 – 32648 – 8
- [26] 张婕, 刘玉洁, 张二梅, 等. 中国县域耕地动态演变及其驱动机制[J]. 地理学报, 2023, **78**(9): 2105 – 2127. [ZHANG Jie, LIU Yujie, ZHANG Ermei, et al. Dynamics and driving mechanisms of cultivated land at county level in China [J]. Acta Geographica Sinica, 2023, **78**(9): 2105 – 2127] DOI: 10.11821/dlxb202309001
- [27] 李全峰, 胡守庚, 瞿诗进. 1990—2015 年长江中游地区耕地利用转型时空特征[J]. 地理研究, 2017, **36**(8): 1489 – 1502.

- [ LI Quanfeng, HU Shougeng, QU Shijin. Spatiotemporal characteristics of cultivated land use transition in the Middle Yangtze River from 1990 to 2015 [J]. *Geographical Research*, 2017, **36**(8): 1489 – 1502] DOI: 10.11821/dlyj201708008
- [28] 陈万旭, 李江风, 曾杰, 等. 中国土地利用变化生态环境效应的空间分异性与形成机理[J]. *地理研究*, 2019, **38**(9): 2173 – 2187. [CHEN Wanxu, LI Jiangfeng, ZENG Jie, et al. Spatial heterogeneity and formation mechanism of eco-environmental effect of land use change in China [J]. *Geographical Research*, 2019, **38**(9): 2173 – 2187] DOI: 10.11821/dlyj020180659
- [29] LUO Xiang, ZHANG Zuo, LU Xinhai, et al. Topographic heterogeneity, rural labour transfer and cultivated land use: An empirical study of plain and low - hill areas in China [J]. *Papers in Regional Science*, 2019, **98**(5): 2157 – 2178. DOI: 10.1111/pirs.12444
- [30] 苏芳, 常江波. 脱贫山区县域生计效率评估与仿真研究——以陕南秦巴山区为例[J]. *山地学报*, 2024, **42**(3): 359 – 375. [SU Fang, CHANG Jiangbo. Assessment and simulation of county livelihood efficiency in poverty-alleviation areas: A case study of the Qinba mountainous area of southern Shaanxi, China [J]. *Mountain Research*, 2024, **42**(3): 359 – 375] DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000829
- [31] 李广东. 全球土地覆被时空变化与中国贡献[J]. *地理学报*, 2022, **77**(2): 353 – 368. [LI Guangdong. Spatio-temporal change of global land cover and China's contribution [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2022, **77**(2): 353 – 368] DOI: 10.11821/dlxb202202006
- [32] CAO Yanni, KONG Lingqiao, ZHANG Lufeng, et al. The balance between economic development and ecosystem service value in the process of land urbanization: A case study of China's land urbanization from 2000 to 2015 [J]. *Land Use Policy*, 2021, **108**: 105536. DOI: 10.1016/j.landusepol.2021.105536
- [33] ZHOU Yang, LI Xunhuan, LIU Yansui. Land use change and driving factors in rural China during the period 1995 – 2015 [J]. *Land Use Policy*, 2020, **99**: 105048. DOI: 10.1016/j.landusepol.2020.105048
- [34] 张甘霖, 吴运金, 赵玉国. 基于 SOTER 的中国耕地后备资源自然质量适宜性评价[J]. *农业工程学报*, 2010, **26**(4): 1 – 8 + 392. [ZHANG Ganlin, WU Yunjin, ZHAO Yuguo. Physical suitability evaluation of reserve resources of cultivated land in China based on SOTER [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, **26**(4): 1 – 8 + 392] DOI: 10.3969/j.issn.1002-6819.2010.04.001
- [35] 张秋梦, 杨方社, 李飞. 改革开放以来中国粮食生产空间重构[J]. *自然资源学报*, 2021, **36**(6): 1426 – 1438. [ZHANG Qiუმeng, YANG Fangshe, LI Fei. The grain production space reconstruction in China since the reform and opening up [J]. *Journal of Natural Resources*, 2021, **36**(6): 1426 – 1438] DOI: 10.31497/zrzyxb.20210606
- [36] CHEN Wanxu, YE Xinyue, LI Jiangfeng, et al. Analyzing requisition-compensation balance of farmland policy in China through telecoupling: A case study in the middle reaches of Yangtze River Urban Agglomerations [J]. *Land Use Policy*, 2019, **83**: 134 – 146. DOI: 10.1016/j.landusepol.2019.01.031
- [37] 葛全胜, 戴君虎, 何凡能, 等. 过去 300 年中国土地利用、土地覆被变化与碳循环研究[J]. *中国科学(D 辑: 地球科学)*, 2008, **38**(2): 197 – 210. [GE Quansheng, DAI Junhu, HE Fanneng, et al. Study on land use, land cover change and carbon cycle in China in the past 300 years [J]. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, 2008, **38**(2): 197 – 210] DOI: 10.1360/zd2008-38-2-197
- [38] LIU Xinwei, ZHAO Cuili, SONG Wei. Review of the evolution of cultivated land protection policies in the period following China's reform and liberalization [J]. *Land Use Policy*, 2017, **67**: 660 – 669. DOI: 10.1016/j.landusepol.2017.07.012
- [39] KONG Xiangbin. China must protect high-quality arable land [J]. *Nature*, 2014, **506**(7486): 7. DOI: 10.1038/506007a
- [40] 蒋瑜, 濮励杰, 朱明, 等. 中国耕地占补平衡研究进展与述评[J]. *资源科学*, 2019, **41**(12): 2342 – 2355. [JIANG Yu, PU Lijie, ZHU Ming, et al. Progress and review of the research of farmland requisition-compensation balance in China [J]. *Resources Science*, 2019, **41**(12): 2342 – 2355] DOI: 10.18402/resci.2019.12.17
- [41] 孙蕊, 孙萍, 吴金希, 等. 中国耕地占补平衡政策的成效与局限[J]. *中国人口·资源与环境*, 2014, **24**(3): 41 – 46. [SUN Rui, SUN Ping, WU Jinxi, et al. Effectiveness and limitations of cultivated land requisition-compensation balance policy in China [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2014, **24**(3): 41 – 46] DOI: 10.3969/j.issn.1002-2104.2014.03.007
- [42] LIU Luo, LIU Zhenjie, GONG Jianzhou, et al. Quantifying the amount, heterogeneity, and pattern of farmland: Implications for China's requisition-compensation balance of farmland policy [J]. *Land Use Policy*, 2019, **81**: 256 – 266. DOI: 10.1016/j.landusepol.2018.10.008
- [43] 马恩朴, 蔡建明, 韩燕, 等. 人地系统远程耦合的研究进展与展望[J]. *地理科学进展*, 2020, **39**(2): 310 – 326. [MA Enpu, CAI Jianming, HAN Yan, et al. Research progress and prospect of telecoupling of Human-Earth system [J]. *Progress in Geography*, 2020, **39**(2): 310 – 326] DOI: 10.18306/dlkxjz.2020.02.012
- [44] LIU Jianguo, MOONEY H, HULL V, et al. Systems integration for global sustainability [J]. *Science*, 2015, **347**(6225): 1258832. DOI: 10.1126/science.1258832
- [45] 任宇飞, 方创琳, 李广东, 等. 城镇化与生态环境远程耦合关系研究进展[J]. *地理学报*, 2020, **75**(3): 589 – 606.

[REN Yufei, FANG Chuanglin, LI Guangdong, et al. Progress in local and tele-coupling relationship between urbanization and eco-environment [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2020, **75**(3): 589 – 606] DOI: 10.11821/dlxb202003011

[46] 谈明洪, 李秀彬. 从本土到全球网络化的人地关系思维范式

转型[J]. *地理学报*, 2021, **76**(10): 2333 – 2342. [TAN Minghong, LI Xiubin. Paradigm transformation in the study of man-land relations: From local thinking to global network thinking modes [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2021, **76**(10): 2333 – 2342] DOI: 10.11821/dlxb202110001

## Vertical Expansion Patterns of Cultivated Land in China and Underlying Drivers

LIU Qingqing, CHEN Wanxu\*, YANG Liyan, ZENG Jie

(*School of Geography and Information Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430078, China*)

**Abstract:** Vertical expansion of cultivated land challenges the agricultural sustainability in China, severely compromising both food security and sustainable land use. Scientifically delineating the patterns and drivers of this phenomenon is critical for safeguarding national food security and guiding evidence-based policies such as farmland downslope transfer and forest-farmland conversion. Former studies lacked in-depth exploration of the characteristics and mechanisms underlying cultivated land vertical expansion, limiting targeted conservation policymaking.

In this study, it utilized 30 m × 30 m resolution land-use remote sensing data (1980 – 2020), and quantified spatiotemporal changes and vertical expansion patterns of cultivated land across China.

(1) It found that during 1980 – 2020 there was a general increase in cultivated land area at an annual rate of 0.02%. Northern arid/semi-arid regions appeared as primary gain zones, while significant losses occurred in South China, Huang-Huai-Hai Plain, Sichuan Basin with its periphery, and the Lower-Middle Reaches of the Yangtze River.

(2) Nationwide vertical expansion averaged 17.38 m. The Qinghai-Tibet Plateau recorded the maximum ascent (66.02 m), whereas northern arid/semi-arid regions exhibited the steepest descent (76.05 m). There was a prominent vertical expansion of cultivated land in the agricultural regions of eastern China, while the average elevation of cultivated land in the agricultural regions of western China showed a decreasing trend.

(3) Incoming cultivated land ( $26.21 \times 10^4 \text{ km}^2$ ) averaged 677.95 m elevation-significantly higher than outgoing land ( $25.06 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 585.17 m). Conversion from grasslands and forests constituted the dominant expansion pathway.

(4) Resource endowment, site conditions, and policies/regulations collectively drove the expansion through remote-proximal coupling effects.

This research provides a scientific foundation for macro-control strategies and spatially differentiated governance of cultivated land conservation.

**Key words:** cultivated land; vertical expansion; causal analysis; mechanism

(责任编辑 李 嵘)