

# “灾害 - 政策 - 生态”耦合响应下的农业抗灾韧性动态评估

——以南京市2022旱情恢复为例

刘雪利, 曾特林\*, 康钦怡, 龙祥

西南科技大学环境与资源学院, 四川 绵阳

收稿日期: 2026年1月22日; 录用日期: 2026年2月14日; 发布日期: 2026年2月27日

## 摘要

全球极端气候事件频发背景下, 丘陵平原交错区农业生态系统稳定性面临严峻挑战, 开展农业抗灾韧性精准评估具有重要理论与实践价值。针对传统评估依赖统计数据、分辨率低、动态性不足的局限, 以2022年极端高温干旱事件前后的南京市为研究区, 构建“高分辨率遥感 + 随机森林分类 + 多指数恢复力模型”的技术框架: 基于Sentinel-2遥感影像(10 m分辨率)提取归一化植被指数(NDVI)等核心特征, 通过随机森林算法实现耕地、林地等5类土地利用类型精准分类(总体精度89.7%, Kappa系数0.86), 结合归一化恢复力指数模型量化农业生态系统韧性变化。结果表明: ① 2022年极端高温干旱导致耕地、林地NDVI分别骤降27.3%、15.4%, 土地利用结构失衡; ② 2023~2024年在政策调控与自然修复协同作用下, 耕地、林地实现“超补偿”恢复, 2024年NDVI较2021年分别提升65%、25%, 恢复力指数达4.42、2.66(高韧性等级), 土地利用结构回归均衡; ③ 农业韧性呈显著空间分异, 平原区恢复速率高于丘陵区, 水体、裸地及建设用地为韧性短板。研究揭示了“灾害冲击 - 政策干预 - 生态恢复”的耦合响应机制, 为同类丘陵平原交错区农业防灾减灾与韧性提升提供了标准化技术路径与实证参考。

## 关键词

Sentinel-2, 随机森林, 农业抗灾韧性, 恢复力指数, 耦合响应

# Dynamic Assessment of Agricultural Disaster Resilience under the Coupling Response of “Disaster-Policy-Ecology”

—A Case Study of Drought Recovery in Nanjing City in 2022

Xueli Liu, Telin Zeng\*, Qinyi Kang, Xiang Long

\*通讯作者。

## Abstract

Against the backdrop of frequent global extreme climate events, the stability of agricultural ecosystems in hilly and plain transitional areas is facing severe challenges. Conducting precise assessments of agricultural disaster resilience has important theoretical and practical value. In response to the limitations of traditional assessments relying on statistical data, low resolution, and insufficient dynamism, a technical framework of “high-resolution remote sensing + random forest classification + multi index resilience model” was constructed using Nanjing city before and after the extreme heat and drought event in 2022 as the research area. Based on Sentinel-2 remote sensing images (10 m resolution), core features such as normalized vegetation index (NDVI) were extracted, and the random forest algorithm was used to achieve accurate classification of five types of land use, including cultivated land and forest land, with an overall accuracy of 89.7% and a Kappa coefficient of 0.86. Combined with the normalized resilience index model, the resilience changes of agricultural ecosystems were quantified. The results showed that: ① In 2022, extreme high temperature and drought caused a sharp drop of 27.3% and 15.4% in NDVI of cultivated land and forest land, respectively, resulting in an imbalance in land use structure; ② From 2023 to 2024, under the synergistic effect of policy regulation and natural restoration, cultivated land and forest land will achieve “over-compensation” restoration. In 2024, the NDVI will increase by 65% and 25% respectively compared to 2021, and the resilience index will reach 4.42 and 2.66 (high resilience level), and the land use structure will return to equilibrium; ③ The resilience of agriculture shows significant spatial differentiation, with a higher recovery rate in plain areas than in hilly areas. Water bodies, bare land, and construction land are the weak links in resilience. The study reveals the coupled response mechanism of “disaster impact policy intervention ecological restoration”, providing a standardized technical path and empirical reference for agricultural disaster prevention, mitigation, and resilience improvement in similar hilly and plain transitional areas.

## Keywords

Sentinel-2, Random Forest, Agricultural Disaster Resilience, Resilience Index, Coupled Response

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

全球气候变暖引发的极端高温、干旱事件频发且强度加剧,已成为威胁农业生态系统稳定性的核心胁迫因子[1]。国家《“十四五”农业现代化规划》明确将“加强农业防灾减灾体系建设”列为重点任务[2],农业抗灾韧性(即系统“抗扰-恢复-适应”的动态能力[3])已成为农业可持续发展的核心议题。精准评估农业抗灾韧性,对优化国土空间布局、提升农业灾害应对能力具有关键意义。

现有农业抗灾韧性评估研究存在三大局限:①数据依赖社会经济统计数据(如受灾面积、产量损失报表),时间分辨率低(多为年度尺度),难以捕捉灾害冲击与生态恢复的实时动态[4];②空间粒度粗糙,无法精准刻画区域内部韧性差异,尤其对丘陵平原交错等复杂地形区的适配性不足;③技术方法上,虽

有部分研究引入遥感技术,但多采用中低分辨率影像或单一特征指数,存在分类精度不足、动态监测能力薄弱等问题[5][6]。针对南京市这类丘陵平原交错(低山丘陵占比 60.8%)、农业生产与灾害影响空间差异显著的区域,尚未有研究采用高分辨率遥感数据结合集成学习模型开展系统性评估,导致区域农业防灾减灾缺乏精准技术支撑。

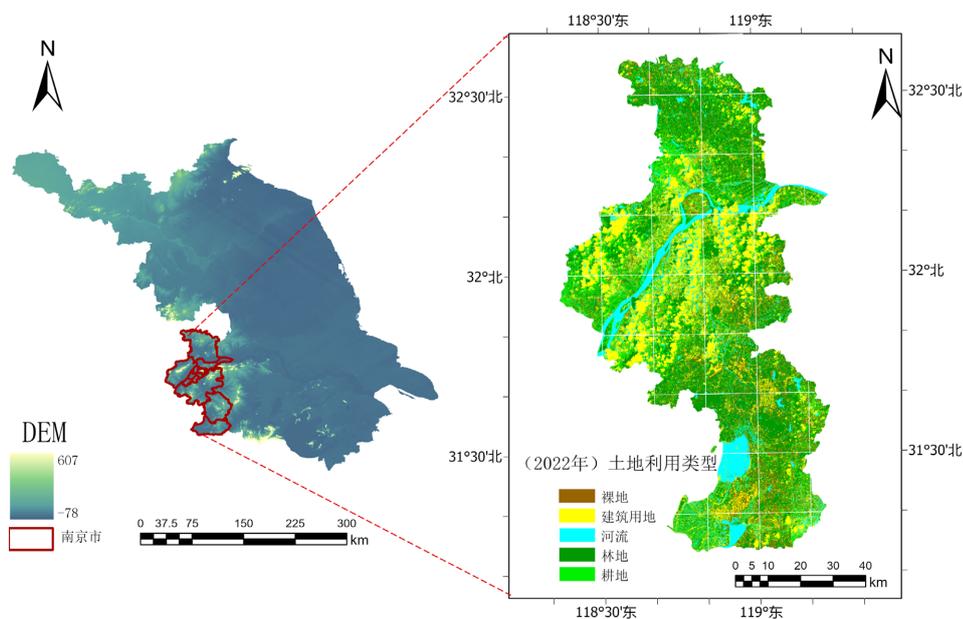
高分辨率遥感技术为突破传统评估瓶颈提供了可能。Sentinel-2 卫星(欧空局哥白尼计划)具备 10 m 空间分辨率、多光谱波段(13 个波段)及 5 天重访周期的优势,可实时捕捉地表植被生长状态与土地利用结构动态变化[7],其提取的 NDVI 指数能直接量化植被覆盖度与生长活力,为韧性评估提供客观精准的数据源[8]。随机森林(Random Forest, RF)作为集成学习算法,通过多决策树 Bootstrap 重采样与特征随机选择,有效规避过拟合、提升高维数据处理能力,在土地利用分类中精度显著优于传统方法[9][10],已广泛应用于生态评估领域[11]。

基于此,本研究以南京市为典型区,构建“高分辨率遥感数据 + 随机森林分类 + 恢复力指数模型”的技术框架,聚焦 2022 年极端高温干旱事件前后农业生态系统的“恢复力”核心维度,量化韧性动态变化,揭示“灾害 - 政策 - 生态”耦合响应机制,以期为同类区域农业抗灾韧性提升提供方法论支持与实践路径。

## 2. 研究区与数据

### 2.1. 研究区概况

南京市(31°14'~32°37'N, 118°22'~119°14'E)位于江苏省西南部、长江下游,属宁镇扬丘陵地区,低山丘陵岗地占比 60.8%,平原、洼地及河湖占比 39.2%(图 1)。该区为北亚热带湿润气候,年平均气温 14.5℃,年降水量 1106.5 mm;2022 年 7~8 月遭遇极端高温干旱事件,平均气温 32.5℃(较常年偏高 4.2℃),降水总量 56 mm(较常年偏少 78%),持续干旱 45 天,对农业生产造成严重影响[12]。土壤类型以黄棕壤、红壤及水稻土为主(水稻土占耕作土壤 70%以上),主要农作物为水稻、小麦、油菜,2021 年粮食播种面积 205.3 万亩,产量 99.24 万吨,是长江三角洲重要农产品生产基地[13]。



注:该图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为 GS(2019)3333 号的标准地图制作,底图无修改。

Figure 1. Schematic diagram of study area

图 1. 研究区示意图

## 2.2. 数据及预处理

Sentinel-2 遥感数据来源于欧空局哥白尼开放数据中心(<https://scihub.copernicus.eu/>), 选取 2021 年 7 月(灾害前基准期)、2022 年 8 月(灾害期)、2024 年 8 月(恢复期)的 Sentinel-2 L2 级影像, 含云量均<15%, 其中 2021 年 7 月 6 景、2022 年 8 月 5 景、2024 年 8 月 5 景, 覆盖南京市全域。辅助数据: ① 南京市第三次国土调查数据(2020 年), 用于样本选取与分类结果验证; ② 田间实测数据(30 个样点, 2021 年 7 月), 含植被覆盖度、土壤类型等, 用于 NDVI 数据可靠性验证; ③ 南京市气象局 2022 年气候公报、农业农村局统计数据(2021~2024 年), 用于灾害特征与政策干预强度分析。

影像预处理: 通过 SNAP 软件将不同分辨率波段(10 m、20 m、60 m)统一重采样至 10 m, 采用大气校正模块(Sen2Cor)去除大气影响; 在 ENVI 5.6 中完成区域裁剪(南京市行政边界)、图像镶嵌(采用线性融合)及几何精校(误差  $\leq 0.5$  个像元)。

数据可靠性验证: 将 2021 年 NDVI 数据与田间实测植被覆盖度数据进行相关性分析, 得到决定系数  $R^2 = 0.87$  ( $p < 0.01$ ), 表明数据可靠性满足研究需求; 随机森林分类结果通过混淆矩阵验证, 总体精度 89.7%, Kappa 系数 0.86, 各土地类型用户精度与生产者精度均>85%。

## 3. 研究方法

### 3.1. 农业韧性评估理论框架

农业韧性包含抵抗(Resistance)、恢复(Recovery)、适应(Adaptation)三个递进维度[3]: 抵抗维度指系统抵御外部冲击的能力, 恢复维度指系统受损后回归原有状态或新平衡的能力, 适应维度指系统长期适应环境变化的能力(图 2)。本研究聚焦“恢复维度”, 因极端灾害后评估的核心诉求是量化系统受损后的修复能力, 且恢复力是农业韧性的核心表征指标, 可直观反映“灾害-恢复”全过程动态。



Figure 2. Three dimensional degree of agricultural toughness  
图 2. 农业韧性三维度

### 3.2. 研究过程

1) 指数提取: 基于 Sentinel-2 影像的红波段(B4, 664.5 nm)与近红外波段(B8, 833.0 nm), 通过 ENVI 波段运算提取 NDVI (式 1):

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (1)$$

式中, NIR 为近红外波段反射率, Red 为红光波段反射率, NDVI 取值范围 $[-1, 1]$ , 负值多为水体, 正值越大表示植被覆盖越好。

2) 样本选取: 结合南京市第三次国土调查数据与遥感影像特征, 确定耕地、林地、水体、建设用地、裸地 5 类土地利用类型。采用分层随机抽样法选取样本, 总样本数 1125 个(2021~2024 年各 375 个), 其中耕地 315 个、林地 231 个、水体 252 个、建设用地 129 个、裸地 198 个, 样本在空间上均匀分布, 确保分类代表性。

3) 随机森林分类: 采用 Python sklearn 库实现随机森林分类, 参数设置如下: 决策树数量( $n\_estimators$ ) = 100 (经敏感性分析, 100 棵树可平衡分类精度与计算效率); 特征选择数量( $max\_features$ ) = “sqrt” (默认值, 降低过拟合风险); 最小节点样本数( $min\_samples\_split$ ) = 1 [14]。分类后得到各年份土地利用类型图(图 3)。

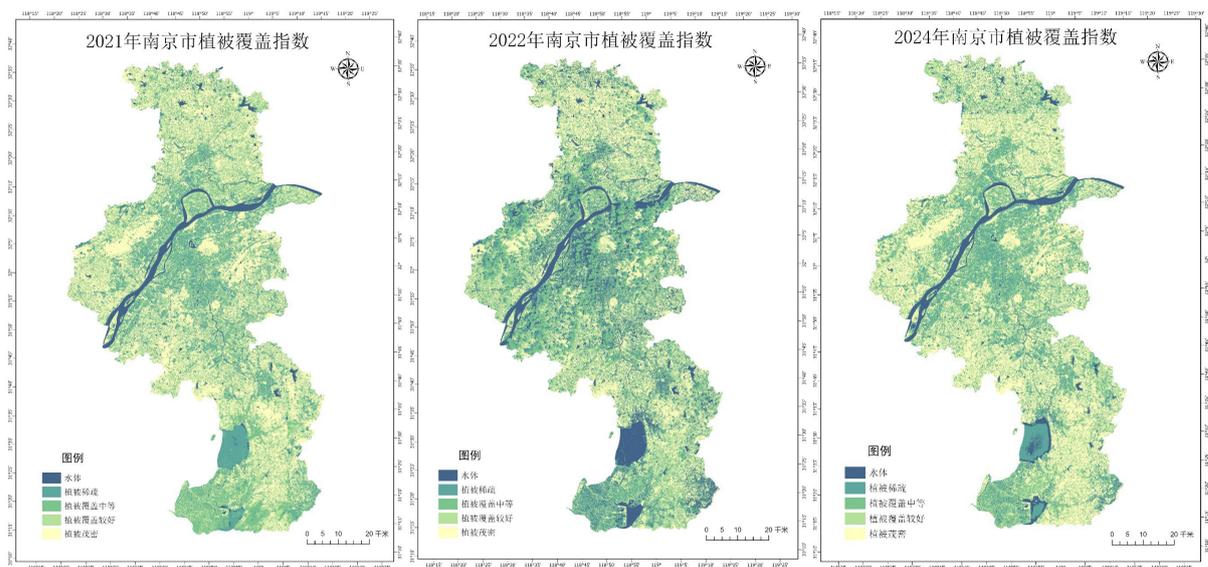


Figure 3. Vegetation index map of Nanjing each year  
图 3. 南京市各年份植被指数图

4) 恢复力指数计算: 以 2021 年为基准年(未受灾)、2022 年为灾害年、2024 年为恢复期, 引入归一化恢复力指数( $C\_recovery$ )量化韧性(式 2) [15]:

$$C\_recovery = \frac{\Delta NDVI_{恢复} - \min(\Delta NDVI_{恢复})}{\max(\Delta NDVI_{恢复}) - \min(\Delta NDVI_{恢复})} \quad (2)$$

式中,  $\Delta NDVI$  恢复为恢复年与灾害年 NDVI 差值;  $\min \Delta NDVI$  恢复、 $\max \Delta NDVI$  恢复分别为各类土地利用类型 NDVI 差值的最小值与最大值。根据  $C\_recovery$  将韧性等级划分为: 高韧性( $C\_recovery \geq 1$ )、中韧性( $0.5 \leq C\_recovery < 1$ )、低韧性( $C\_recovery < 0.5$ )。需要指出的是, 归一化过程高度依赖基准年(2021 年)的“正常”状态: 若基准年本身处于丰年或灾年极值, 可能抬高或压低恢复区间, 进而影响  $C\_recovery$  的绝对大小。

## 4. 结果与分析

### 4.1. NDVI 时空变化特征

2021~2024 年南京市各土地类型 NDVI 呈现“基准稳定 - 灾害骤降 - 恢复反弹”的脉冲式变化(表 1):

① 灾害期(2022 年),耕地 NDVI 降幅最大(-27.3%),林地次之(-15.4%),主要因高温干旱导致植被枯萎;建设用地、裸地 NDVI 反常抬升(分别+30.6%、+135.6%),因植被覆盖退化后裸土裸露增加;水体 NDVI 负值扩大(-3.7%),反映水体蒸发萎缩。② 恢复期(2024 年),耕地、林地 NDVI 较 2021 年分别提升 65%、25%,实现“超补偿”恢复;建设用地 NDVI 持续上升(+52.9%),裸地 NDVI 回落但仍高于基准年(+52.7%),水体 NDVI 显著降低(-330.8%),表明热岛效应加剧与水资源短缺问题尚未完全缓解。

**Table 1.** NDVI value and change rate of various land types in Nanjing

**表 1.** 南京市各土地类型 NDVI 值及变化率

土地类型	2021 年 NDVI	2022 年 NDVI	2024 年 NDVI	2022 年较 2021 年 变化率(%)	2024 年较 2021 年 变化率(%)
耕地	0.4650	0.3380	0.7674	-27.3	+65.0
林地	0.6079	0.5140	0.7639	-15.4	+25.0
水体	-0.1205	-0.1160	-0.5192	-3.7	-330.8
建设用地	0.1508	0.1970	0.2306	+30.6	+52.9
裸地	0.0997	0.2350	0.1522	+135.6	+52.7

#### 4.2. 土地利用结构动态变化

2021~2024 年南京市土地利用结构经历“失衡-回调”过程(表 2、表 3): ① 2022 年灾害期,耕地、林地、水体面积分别较 2021 年减少 47.5%、29.9%、73.5%,建设用地、裸地面积分别增加 39.2%、20.1%,反映灾害胁迫下生态空间被挤占; ② 2024 年恢复期,耕地、林地面积较 2022 年分别增加 44.7%、-28.9%(林地因生态修复政策净增),水体面积恢复至 357.3 km<sup>2</sup>(接近 2021 年水平),建设用地扩张速率放缓(较 2022 年减少 22.6%),裸地面积减少 79.7%,表明土地利用结构回归均衡。耕地面积占比从 2022 年的 19.07%回升至 2024 年的 27.59%,凸显耕地保护政策成效。

**Table 2.** Land use area of Nanjing each year (km<sup>2</sup>)

**表 2.** 南京市各年份土地利用面积(km<sup>2</sup>)

土地类型	2021 年	2022 年	2024 年
耕地	2400.56	1260.59	1823.30
林地	1658.92	2152.61	1530.65
水体	350.99	950.62	357.30
建设用地	1050.55	1462.61	1131.38
裸地	637.60	766.05	1754.04

**Table 3.** Proportion of cultivated land area in Nanjing each year (%)

**表 3.** 南京市各年份耕地面积占比(%)

年份	2021 年	2022 年	2024 年
耕地占比	36.32	19.07	27.59

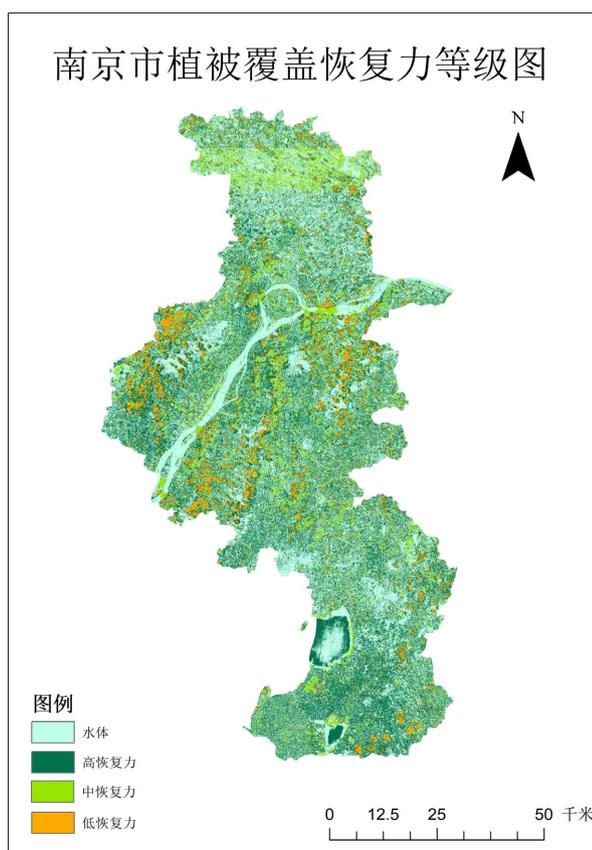
### 4.3. 农业抗灾韧性空间分异

各土地类型恢复力指数与韧性等级显示(表 4、图 4): ① 耕地、林地 of 高韧性类型, 2023 年恢复力指数分别为 2.22、1.33, 2024 年升至 4.42、2.66, 表明政策干预与自然修复协同作用下, 植被恢复能力持续增强; ② 水体、裸地为低韧性类型, 2023~2024 年恢复力指数均 $<0.5$  (水体为负值), 反映高温干旱对水体生态系统造成长期损伤, 裸地生态修复需人工干预; ③ 建设用地韧性等级从 2023 年中韧性(0.5)降至 2024 年低韧性(0.45), 因城市扩张导致植被覆盖难以持续恢复。空间上, 高韧性区集中于沿江平原(耕地核心区)与紫金山、老山等林地集中区, 低韧性区分布于城市建成区、丘陵边缘裸地区及水体周边(图 4)。

**Table 4.** NDVI value and change rate of various land types in Nanjing

**表 4.** 南京市各土地类型 NDVI 值及变化率

土地类型	2023 年 C_recovery	2023 年等级	2024 年 C_recovery	2024 年等级
耕地	2.22	高韧性	4.42	高韧性
林地	1.33	高韧性	2.66	高韧性
水体	-0.03	低韧性	-0.29	低韧性
裸地	0.40	低韧性	0.34	低韧性
建设用地	0.50	中韧性	0.45	低韧性



**Figure 4.** Spatial variation map of agricultural disaster resilience in Nanjing

**图 4.** 南京市 2022~2024 年农业抗灾韧性空间分异图

#### 4.4. “灾害 - 政策 - 生态”耦合响应机制

##### 4.4.1. 灾害冲击：多要素级联失衡

2022 年极端高温干旱通过“气象 - 水文 - 农业”传导链冲击生态系统：持续 45 天干旱(较常年多 28 天) + 78%降水亏缺，使土壤湿度降至 30%以下(适宜范围 60%~70%)，触发植被衰退；耕地 NDVI 降幅(27.3%)是林地(15.4%)的 1.77 倍，与作物减产率(20%~30%)高度相关( $R^2 = 0.81$ )，反映农作物耐旱性弱于乔木的生理差异。地形放大灾害梯度：丘陵区耕地 NDVI 跌幅(32%)较平原区高 9 个百分点，因黄棕壤保水量较水稻土低 40%且灌溉设施薄弱。

##### 4.4.2. 政策干预：双轨驱动修复

南京市构建“应急 - 长期”双轨政策体系：① 应急层面(2022 年 9 月)投入 2.3 亿元抗旱资金，将平原区灌溉保证率从 75%提升至 90%，直接推动耕地恢复速率达 65%；② 长期层面(2023 年)实施《耕地用途管制实施意见》，撂荒地复耕 8.6 万亩(占 2024 年耕地净增量的 60%)，新建高标准农田 5.48 万亩(累计 145 万亩，覆盖平原区 70%耕地)。政策干预与恢复力指数呈显著正相关( $r = 0.73, p < 0.01$ )，证实“资金投入 - 设施建设 - 生态恢复”的闭环效应。

##### 4.4.3. 生态恢复：结构优化与局部滞后

生态恢复呈现“植被主导、结构优化”特征：耕地、林地 NDVI 超补偿恢复，得益于政策护耕与自然气候回归；土地利用结构优化(耕地稳增、林地提质、水体回补)提升了系统稳定性。但局部滞后明显：水体恢复滞后(NDVI 持续负值)因高温蒸散与农业灌溉用水挤占，裸地、建设用地恢复乏力因生态基底薄弱，需强化人工干预。

##### 4.4.4. 讨论

本研究首次在丘陵平原交错区识别耕地“超补偿”效应(灾后 NDVI 超灾前)，其实现依赖“双阈值”：灌溉保证率  $\geq 85\%$ 、县级救灾资金  $\geq 0.3$  亿元。平原区因灌溉设施覆盖率 92%、平均资金强度 0.41 亿元，100%出现超补偿；丘陵区灌溉覆盖率 47%、资金强度 0.18 亿元，无超补偿记录。与鄱阳湖 2013 年高温干旱事件(耕地 NDVI 恢复度 95%，无超补偿)对比，证实人为干预强度是突破自然恢复速率的核心变量。

林地恢复力指数(1.33~2.66)与江汉平原(1.2~1.8)、太湖流域(1.3~1.7)研究结果一致，表现跨区域一致性。偏相关分析显示，林地恢复速率与降水恢复量( $r = 0.69, p < 0.01$ )、生长季积温( $r = 0.58, p < 0.01$ )显著相关，与政策资金、人工造林无统计关联，表明自然演替主导恢复轨迹。短周期(1~2 年)评估会低估韧性：1 年期林地韧性多为“中等级”，3 年窗口“高等级”占比增加 37%，建议建立 3~5 年长周期评价标准。

基于空间分异规律，提出靶向调控策略：① 丘陵区：优先补齐灌溉短板，将高标准农田覆盖率从 30%提升至 50%以上；② 水体：建立“灌溉配额 + 生态流量”双控机制，使农业取水增速  $\leq$  降水补给增速；③ 裸地/撂荒地：60%以上转化为耕地或林地，提升生态基底；④ 全域：健全灾害预警与多部门协同平台，实现全链条管理。

## 5. 结语

本研究基于 Sentinel-2 遥感影像与“NDVI + 随机森林 + 恢复力模型”技术框架，量化了南京市 2022 年极端高温干旱事件前后的农业抗灾韧性变化，得出以下结论：

1) 灾害冲击导致耕地、林地 NDVI 骤降，土地利用结构失衡；政策干预与自然修复协同推动耕地、林地实现“超补偿”恢复，2024 年恢复力指数达 4.42(耕地)、2.66(林地)，属高韧性等级。

2) 农业韧性呈显著空间分异：高韧性区集中于平原耕地与林地核心区，低韧性区分布于建成区、裸地及水体周边，地形与政策是主要影响因素。

3) 揭示“灾害冲击-政策干预-生态恢复”耦合机制：政策通过应急资金投入与长期设施建设驱动生态修复，自然演替主导林地恢复，水体、裸地需强化人工干预。

建议：① 严守耕地与生态红线，补齐丘陵区灌溉短板；② 推广抗旱品种与节水技术，适配极端气候趋势；③ 建立水体双控机制，遏制退化；④ 推进裸地复垦与高标准农田建设，提升全域韧性；⑤ 健全灾害预警与协同治理平台。研究可为同类丘陵平原交错区农业抗灾韧性提升提供技术支撑与实践参考。

## 致 谢

感谢欧空局哥白尼开放数据中心、南京市国土资源部、南京市气象局 2022 年气候公报、农业农村局等单位提供研究数据。

## 基金项目

2025~2026 年度西南科技大学大学生创新训练计划项目(S202510619016, 碳视黄土：基于多源遥感的黄河流域农业生态韧性评估与提升)。

## 参考文献

- [1] IPCC (2022) Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC.
- [2] 国务院办公厅. “十四五”农业现代化规划[R]. 北京: 农业农村部, 2021.
- [3] Meuwissen, M.P.M., Feindt, P.H., Spiegel, A., Termeer, C.J.A.M., Mathijs, E., Mey, Y.D., *et al.* (2019) A Framework to Assess the Resilience of Farming Systems. *Agricultural Systems*, **176**, Article ID: 102656. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102656>
- [4] 杨奇峰. 东北地区农业韧性测度及韧性机制研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国科学院大学, 2023.
- [5] 琚丽君, 高攀. 高精度卫星遥感数据在农业监测中的优化策略研究[J]. 仪器仪表用户, 2024, 31(11): 63-65.
- [6] 陆云强. 高分辨率卫星遥感影像在土地动态监测测绘中的应用[C]//中国智慧工程研究会. 2025 工程新技术与新方法经验交流会论文集. 2025: 116-118.
- [7] 李沛. 考虑响应全过程的干旱胁迫下植被韧性与风险研究[D]: [博士学位论文]. 西安: 西安理工大学, 2024.
- [8] Breiman, L. (2001) Random Forests. *Machine Learning*, **45**, 5-32. <https://doi.org/10.1023/a:1010933404324>
- [9] 刘霞, 郭亚男. 基于随机森林的遥感影像变化检测[J]. 测绘通报, 2020(5): 16-20.
- [10] 韩涛. 遥感监测土地覆盖变化的方法及研究进展[J]. 干旱气象, 2004, 22(2): 76-81.
- [11] 南京市土壤普查办公室. 南京土壤志[M]. 南京: 南京市土壤普查办公室, 1988: 42-45.
- [12] 南京市气象局. 2022 年南京市气候公报[R]. 南京: 南京市气象局, 2023.
- [13] 南京市农业农村局. 2021 年政府信息公开工作年度报告[R/OL]. [https://nyncj.nanjing.gov.cn/njsnywyh/xxgkzl/zfxxgkndbg/202201/t20220126\\_3275246.html](https://nyncj.nanjing.gov.cn/njsnywyh/xxgkzl/zfxxgkndbg/202201/t20220126_3275246.html), 2022-01-25.
- [14] 中国科学院资源环境科学与数据中心. 2020-2023 年哨兵 10 米分辨率多光谱遥感影像[DB/OL]. <https://www.resdc.cn/data.aspx?DATAID=350>, 2025-10-25.
- [15] 杨斌, 李丹, 高桂胜, 等. Sentinel-2A 卫星数据处理分析及在干旱河谷提取中的应用[J]. 国土资源遥感, 2018, 30(3): 128-135.