

林隆超,王晓飞,刘延平,等. 退耕还林工程背景下延安植被覆盖时空变化及其对气候的响应[J]. 陕西气象,2022(4):1-6.  
文章编号:1006-4354(2022)04-0001-06

# 退耕还林工程背景下延安植被覆盖时空变化及其对气候的响应

林隆超,王晓飞,刘延平,刘志超,王文波

(延安市气象局,陕西延安 716000)

**摘要:**1999年以来,延安实施了大规模的退耕还林、封山禁牧等生态建设和保护工程,使植被覆盖得到迅速恢复和增加。基于2000—2020年MOD13Q1数据和气象数据,利用像元二分法估算了延安市21a间的植被覆盖度,通过空间插值方法、统计学方法对其时空变化特征和对气候变化的响应进行了分析。结果表明:2000—2020年延安市植被覆盖度呈波动式增加趋势,其中在2002年、2013年出现了明显跳跃式增长,2017年前后达到最高值后在高位波动;植被覆盖度的空间分布上总体呈现从南到北递减的趋势,高值区位于延安南部林区,低值区位于延安北部接近榆林边界地带;近21a来,延安北部植被覆盖度提升幅度在30%以上,中南部0~30%,变化最大的区域是吴起南部、志丹北部、安塞中部、宝塔区北部、延川中部和子长大部地区,增加50%以上;降水量的年际变化会对植被覆盖度产生较大影响,尤其是6—8月的降水量是影响植被覆盖度的主要原因。

**关键词:**退耕还林;植被覆盖度;气候响应;降水;相关分析;延安

**中图分类号:**TP79 **文献标识码:**A

退耕还林(草)工程是中国政府针对1997年黄河流域的严重干旱、1998年长江流域的毁灭性洪灾等一系列环境灾难和环境退化的深刻反思后的积极响应<sup>[1]</sup>。延安地处黄土高原,为我国半干旱半湿润过渡带,对气候变化<sup>[2]</sup>和人为干扰<sup>[3]</sup>较为敏感。1999年实施退耕还林工程以来,至2020年底延安实施退耕还林面积71.8万hm<sup>2</sup>,占到全市国土总面积的19.4%,全省的27%。延安林业用地面积占国土面积的78%,森林覆盖率达到53.07%,成为陕西省“一叶肺”<sup>[4]</sup>。延安植被覆盖变化受到社会公众和科学界的广泛关注。国内许多学者分析了延安植被覆盖度明显提升,植被恢复固定和湿润了地表土壤,减少了大风对土壤的侵蚀<sup>[5-8]</sup>。杨致远通过分析延安植被变化在净化大气环境、涵养水源、保育土壤、林木积累营养物质和固碳释氧等5个生态服务功能,得出延安市

退耕还林工程年生态效益总价值量为173.10亿元<sup>[9]</sup>。国内学者也分析了黄河流域、陕西等较大范围的生态植被对气候变化响应,有研究发现陕西一些区域植被覆盖经历了改善之后开始出现了退化现象<sup>[10]</sup>。分析退耕还林后延安植被覆盖变化动态<sup>[11-12]</sup>,区分引起植被变化的气候和人类活动主要因素及其规律,对保持退耕还林成果,建设山青水秀的绿色延安是十分必要的。

本文基于2000—2020年MOD13Q1数据、气象数据,利用像元二分法估算延安21a间的植被覆盖度变化,通过统计学方法分析其时空变化特征和气候对其的影响,跟踪评估植被覆盖变化情况及其对气候变化的响应,为延安生态建设提供参考。

## 1 材料和方法

研究用到的气象数据为2000—2020年延安

收稿日期:2021-09-14

作者简介:林隆超(1986—),女,汉,四川广安人,学士,工程师,主要从事气象服务工作。

12 个县区的逐月降水量、平均温度和日照时数,由所在县气象站提供,并通过求和、求平均得出夏季(6—8月)和年数据。由于黄陵县数据不全,在文中没有进行气候响应研究。遥感数据包括 EOS/MODIS 卫星 MOD13Q1 植被指数 16 d 合成产品数据,采用最大值合成法得出年植被指数(NDVI,用  $I_{NDV}$  表示),遥感数据来源于 NASA 的 Land Processes DAAC 数据分发中心,数据空间分辨率为 250 m。延安市行政区边界矢量数据采用陕西省测绘地理信息局 1:50 000 陕西省基础地理信息数据。

### 1.1 植被覆盖度的计算

植被覆盖度( $F$ )是一种基于归一化植被指数反映植被盖度信息的指标,能够在一定程度上弥补归一化植被指数对于低覆盖度植被难以区分、而对高覆盖度植被易于饱和的不足,从而有效地拉伸了植被信息的值域。基于像元二分模型的混合像元法计算植被覆盖度  $F$  的基本公式<sup>[13]</sup>为:

$$F = (I_{NDV} - I_{NDV1}) / (I_{NDV2} - I_{NDV1}) \quad (1)$$

式中, $I_{NDV1}$ 代表纯土壤覆盖像元  $I_{NDV}$  的最小值, $I_{NDV2}$ 代表纯植被覆盖像元  $I_{NDV}$  的最大值。本文提取 2000—2020 年  $I_{NDV}$  最大值图像,在  $I_{NDV}$  频率累积表上取频率为 5% 的  $I_{NDV}$  为  $I_{NDV1}$ ,取频率为 95% 的  $I_{NDV}$  值为  $I_{NDV2}$ 。

### 1.2 变化趋势分析和相关分析

本研究利用线性倾向估计进行植被覆盖度  $F$  的时间趋势分析,采用相关系数的统计检验方法进行显著性变化趋势检验。相关分析是研究现象之间是否存在某种依存关系,并对具有依存关系的现象探讨其相关方向以及相关程度,偏相关分析是在消除其他因子影响的前提下计算两个变量之间的相关性。本研究利用 SPSS 软件计算  $F$  与降水、气温、日照的偏相关系数,显著性检验采用  $t$  检验完成。

### 1.3 图像差值法

图像差值法为反映研究区植被动态变化,利用差值法计算不同时期影像之间的植被覆盖变化  $\Delta F_g$ (公式 2),差值大于 0 表示植被覆盖增加,小于 0 表示植被覆盖减少。

$$\Delta F_g = F_2 - F_1 \quad (2)$$

式中, $F_1$  和  $F_2$  分别为前后两个不同时期植被覆盖度等级。

## 2 结果与讨论

### 2.1 退耕还林工程以来植被覆盖度变化特征

2.1.1 植被覆盖度年际变化 延安市 2000—2020 年植被覆盖度变化范围为 46.1%~81.3%,平均为 66.1%,最小为 2000 年的 46.1%,最大为 2017 年的 81.3%(图 1)。植被覆盖度变化用 Logistic 曲线模拟,呈现波动增加趋势,分别在 2011、2012、2015、2019 年植被覆盖度表现出较差年景。2002 年和 2013 年植被覆盖度出现了明显的跳跃式增长,2002 年增加了 10 个百分点,2013 年增加了 11 个百分点,植被覆盖度达到 74%,首次突破 70% 大关。2002 年植被覆盖度的跳跃式增长,说明退耕还林工程效益初步显现;而 2013 年植被覆盖度再次出现大的跳跃式增长,可能与 2013 年延安市降水异常偏多、气温整体偏高有关。

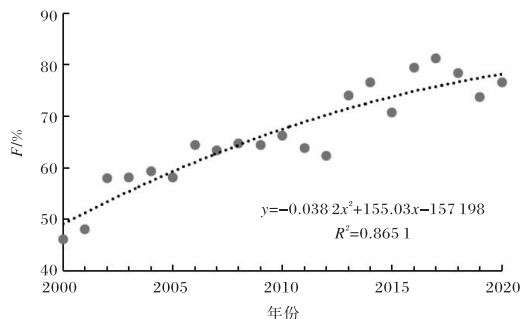


图 1 2000—2020 年延安市植被覆盖度年际变化

进一步分析各县区植被覆盖度年际变化情况,发现各县区植被覆盖度年际变化具有明显的地域差异性(图 2)。各县区植被覆盖度最小值均出现在 2000 年左右,植被覆盖度最大值除吴起、安塞出现在 2018 年,黄龙出现在 2016 年外,其余各县区均出现在 2017 年。从图 2 可以看出:吴起、志丹、子长、安塞、延川、延长植被覆盖度经过快速增加,达到最高值后在高位波动;其余 6 个县区植被覆盖度经过缓慢增加,达到最高值后在高位波动,说明这 6 个县区植被覆盖度已经达到环境资源所容许的高度;2002 年和 2013 年大部分县区植被覆盖度出现了明显的跳跃式增长。

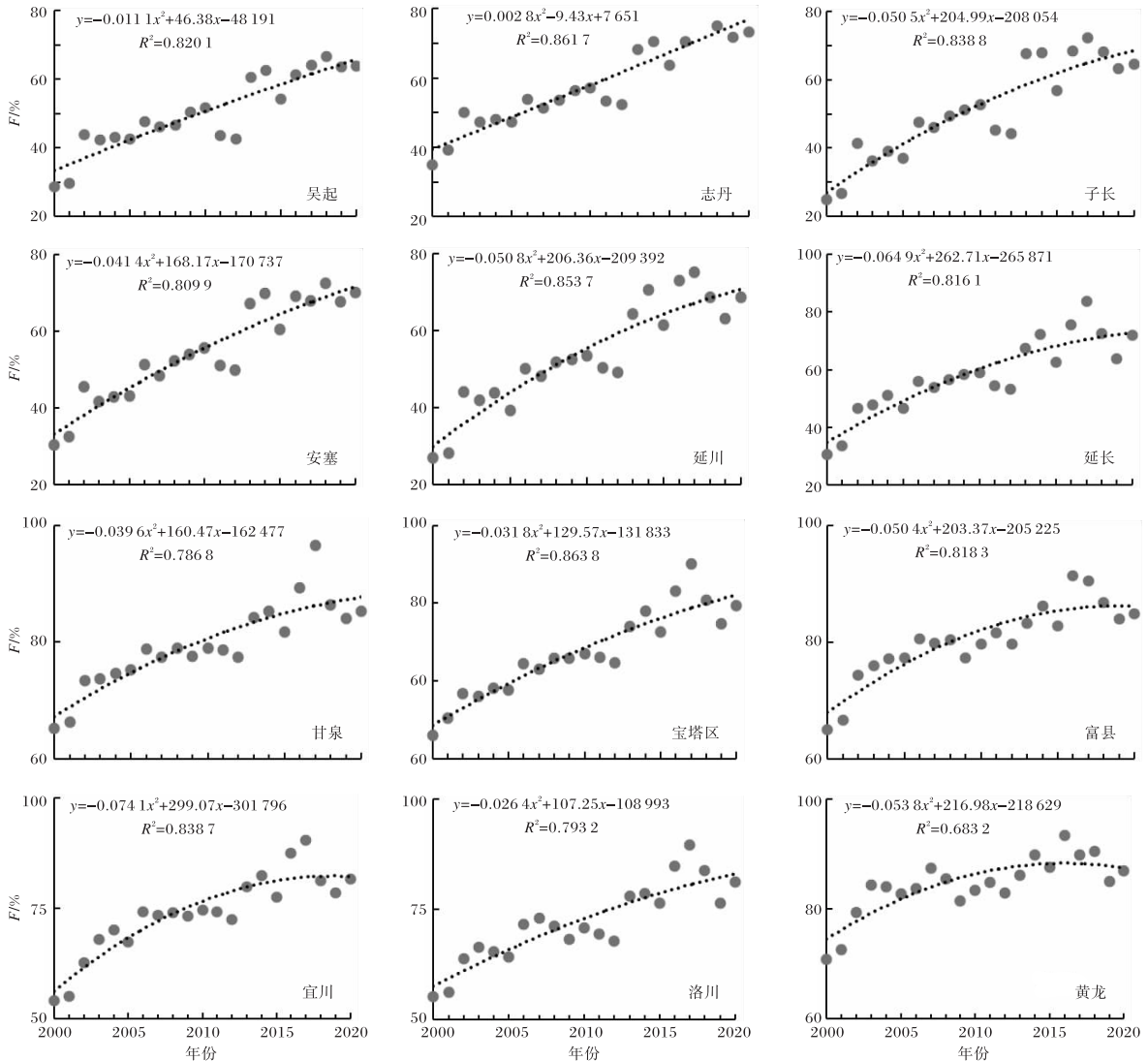


图2 2000—2020年延安市各县区植被覆盖度年际变化

2.1.2 植被覆盖度的空间分布 从2000—2020年年平均植被覆盖度的空间分布(图3a),可以看出延安市植被覆盖度总体呈现从南到北递减的趋势。植被覆盖度高低悬殊,高值区位于延安南部甘泉、富县、黄陵、宜川、黄龙林区,年平均植被覆盖度在73.9%~84.4%之间;延安北部吴起、志丹、子长、安塞、延川等年平均植被覆盖度较小,在50.3%~58.0%之间,特别是吴起、安塞、子长北部边界处和延川黄河沿线,植被覆盖度在30%~40%之间,有较大的提升空间。

进一步根据植被覆盖度图像差值(图3b),可以看出退耕还林工程实施以来,延安市植被覆盖度明显提升,提升幅度最大区域为吴起南部、志丹北部、安塞中部、延川中部及子长大部,

增长值在50%以上。在甘泉、富县、黄陵、洛川、黄龙林区等原先植被覆盖度高的区域提升幅度最小。整体上,延安北部提升幅度在30%以上,中南部为0~30%,少数地区因城市建设影响植被覆盖度减小。

## 2.2 植被覆盖度对气候因子的响应

2.2.1 植被覆盖度对降水的响应 2013年为延安市研究期内降水量最多年份,平均降水量767.8 mm,与历年同期比较偏多260.5 mm,特别是7月出现持续较长时间的降水天气过程,各县区月降水量256.2~613.4 mm,是历年同期降水量的2~6倍,有11站降水超过历史同期极值(图4、表1)。2013年吴起、志丹、子长、安塞、延川、延长、洛川的植被覆盖度较上年增长超过了10%,

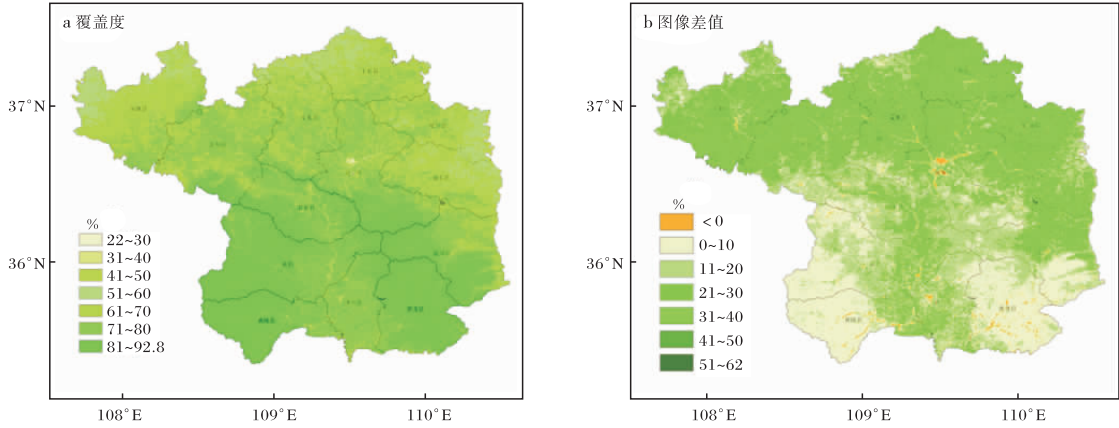


图3 2000—2020年平均植被覆盖度和图像差值空间分布(审图号为GS(2019)1822)

其中子长最多为23.3%，降水量除洛川、黄龙略偏多外其余县区均异常偏多，特别是6—8月降水量偏多1.7~4.7倍，植被覆盖度在2013年也出现了跳跃式增长，说明充足的降水有利于植被的迅速生长。植被覆盖度受降水影响较大是由于延安所处的气候带所决定的，降水是植被生长的主要限制因子。

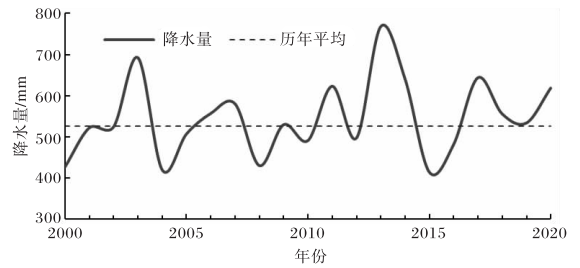


图4 2000—2020年延安市降水量的年际变化和历年平均降水量

表1 2013年延安市及各县区6—8月降水量、年降水量及植被覆盖度增加率

区域	6—8月			全年			植被覆盖度 增加率/%
	降水量/mm	距平/mm	距平百分率/%	降水量/mm	距平/mm	距平百分率/%	
延安市	562.0	276.4	260.7	767.8	260.5	52.7	11.7
吴起	433.0	179.4	218.3	631.3	191.6	43.6	18.0
子长	475.8	195.0	203.6	669.1	189.7	39.6	23.3
志丹	618.9	351.4	372.8	805.7	337.2	72.0	15.9
安塞	675.4	389.2	371.9	852.2	349.1	69.4	17.2
延安	732.6	437.0	412.7	959.1	445.3	86.7	9.4
甘泉	498.7	198.5	172.9	756.1	226.8	42.9	8.5
延川	704.6	438.9	433.3	856.8	386.6	82.2	15.2
延长	705.7	438.5	466.5	891.5	411.0	85.5	14.1
宜川	536.1	253.3	189.7	723.6	207.7	40.3	7.4
富县	574.8	283.8	223.4	827.2	297.0	56.0	3.5
洛川	405.3	92.3	47.0	661.2	69.4	11.7	10.1
黄龙	382.6	60.1	16.8	580.3	14.2	2.5	3.2

由表2可看出,6—8月延安市降水量与植被覆盖度呈显著正相关( $r=0.467, P<0.05$ );各县区表现为:安塞、宝塔、富县、甘泉、延长、宜川、志

丹6—8月降水量与植被覆盖度呈显著正相关,其余5县为不显著正相关。延安市年降水量和植被覆盖度呈不显著正相关( $r=0.36, P>0.05$ ),宝

塔、富县、志丹呈显著正相关,其他县区为不显著正相关。可以看出,6—8月降水量比年降水量与植被覆盖度的相关性更高。

表 2 2000—2020 年延安市植被覆盖度与各县区的年降水量、6—8 月降水量、年平均气温及日照的相关系数

区域	年降水量	6—8 月 降水量	气温	日照
延安市	0.360	0.467*	0.012	-0.274
安塞	0.408	0.438*	-0.11	0.040
宝塔	0.484*	0.448*	-0.674**	-0.217
富县	0.474*	0.511*	-0.353	-0.800**
甘泉	0.381	0.523*	0.080	-0.235
黄龙	-0.066	0.064	0.424	0.082
洛川	-0.069	0.029	0.123	-0.446*
吴起	0.281	0.380	-0.047	0.084
延川	0.242	0.312	0.007	-0.543*
延长	0.410	0.499*	-0.248	-0.242
宜川	0.225	0.466*	0.273	-0.264
志丹	0.530*	0.545*	0.060	0.217
子长	0.316	0.420	0.410	-0.068

注:\*\*为  $P=0.01$  显著,\*为  $P=0.05$  显著。

2.2.2 植被覆盖度对气温变化的响应 对于整个延安市,植被覆盖度和年平均气温呈不显著正相关关系( $r=0.012, P>0.05$ )(表 2)。各县区植被覆盖度和气温表现出正、负相关关系,正相关的有 7 个县区,负相关的有 5 个县区,但是仅宝塔区通过  $P<0.01$  的显著性检验,其余各县区均未通过显著性检验。

2.2.3 植被覆盖度对日照的响应 延安市植被覆盖度和日照呈不显著负相关关系( $r=-0.274, P>0.05$ )(表 2)。各县区植被覆盖度和日照表现出正、负相关关系,正相关的有 4 个县区,负相关的有 8 个县区,其中富县通过  $P<0.01$  显著性检验,洛川、延川通过  $P<0.05$  显著性检验,其余各县区均未通过显著性检验。

综上所述,植被覆盖度与 6—8 月延安市降水量呈显著正相关,与年降水量和年平均气温、日照相关不显著。延安市位于黄土高原中部,植物所

需水分主要依赖于降水,因此降水是影响此地区植被覆盖变化的重要自然因素。

### 3 结论

(1)2000—2020 延安市植被覆盖度呈现波动式增加趋势,在 2017 年达到最大值后在高位波动,在实行退耕还林工程建设 3 a 的 2002 年植被覆盖度跳跃增长,说明封山禁牧政策取得了成效。2013 年植被覆盖度再次跳跃增长,首次突破 70% 大关,与当年 6—8 月降水量明显偏多相关,说明充足的降水量对植被恢复是十分有利的。

(2)植被覆盖度在空间分布上呈现从南到北递减的趋势。植被覆盖度高低悬殊,高值区位于延安南部甘泉、富县、黄陵、宜川、黄龙林区,年平均植被覆盖度在 73.9%~84.4%;低值区位于延安北部吴起、志丹、子长、安塞、延川等黄土高原丘陵沟壑区腹地,年平均植被覆盖度在 50.3%~58.0%。

(3)2020 年与 2000 年相比,延安北部植被覆盖度提升 30% 以上,中南部为 0~30%,提升幅度最大在吴起南部、志丹北部、安塞中部、子长大部以及延川中部,增加了 50% 以上。吴起、安塞、子长北部边界处和延川黄河沿线,植被覆盖度在 30%~40% 之间,需引起重视,采取措施改变。

(4)降水量的年际变化对植被覆盖度产生影响,尤其是 6—8 月的降水量是影响黄土高原植被覆盖度的主要原因。植被覆盖度与气温、日照的正、负相关区域在全市交替分布,少数县区通过了  $P=0.05$  显著性水平检验。延安降水变率大,降水分布不均,干旱常有发生,这些都对生态恢复和维持有较大影响,需要持续研究与重点关注。

#### 参考文献:

- [1] 鲁绍伟,李少宁,刘逸菲,等.北京市退耕还林生态效益评估[J].生态学报,2021,41(15):6170-6181.
- [2] ZHANG Xiaoping, ZHANG Lu, ZHAO Jing, et al. Responses of streamflow to changes in climate and land use/cover in the Loess Plateau, China [J]. Water Resources Research, 2008, 44(7): 2183-2188.
- [3] WANG Shuai, FU Bojie, PIAO Shilong, et al. Re-

- duced sediment transport in the Yellow River due to anthropogenic changes [J]. Nature Geoscience, 2016, 9(1): 38-41.
- [4] 张斌, 姜辰蓉. 延安: 退耕还林 20 载山川黄变绿 [EB/OL]. (2019-03-13)[2021-09-10]. [https://www.sohu.com/a/300845450\\_117503](https://www.sohu.com/a/300845450_117503).
- [5] 徐知远, 胡振宏, 马龙龙, 等. 陕北地区退耕还林近 20 年三种类型人工林对干旱的响应: 以吴起县为例 [J]. 陕西气象, 2022(2): 39-44.
- [6] 朱青, 周自翔, 刘婷. 黄土高原植被恢复与生态系统土壤保持服务价值增益研究: 以延河流域为例 [J]. 生态学报, 2021, 41(7): 2557-2570.
- [7] 时亚坤, 张瑞. 陕北地区退耕还林对大气湿度和地表湿度的影响研究 [J]. 环境科学与管理, 2021, 46(6): 155-159.
- [8] 薛亚永. 陕北黄土高原退耕还林对地表气温的影响 [D]. 西安: 长安大学, 2017.
- [9] 杨致远, 刘琪璟, 秦立厚, 等. 延安市退耕还林工程生态效益评价 [J]. 西北林学院学报, 2022, 37(1): 259-266.
- [10] 谢宝妮. 黄土高原近 30 年植被覆盖变化及其对气候变化的响应 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
- [11] 王娟敏, 孙娴, 何晓媛. 陕西省植被指数动态变化特征研究 [J]. 陕西气象, 2011(4): 1-5.
- [12] 郝丽, 徐娟娟, 翟园, 等. 陕西省森林植被碳储量时空动态变化 [J]. 陕西气象, 2018(3): 25-28.
- [13] 李登科, 王钊. 退耕还林后陕西省植被覆盖度变化及其对气候的响应 [J]. 生态学杂志, 2020, 39(1): 1-10.

## 更正

本刊 2022 年第 3 期目次页中,《基于 Sentinel-3 条件植被温度指数的关中平原干旱监测》一文作者顺序有误,刘艳应为第 2 作者,周西嘉等作者

顺序依次后推;英文目次中此文作者也同此顺序。特此更正,并向作者和读者致歉。

《陕西气象》编辑部