

# Prediction of Future Drought in Shandong Province Under Different RCPs Scenarios

Yongbin Bao<sup>1</sup> Jiquan Zhang<sup>1,\*</sup> Ari Guna<sup>1</sup>

<sup>1</sup> School of Environment, Northeast Normal University; Institute of Natural Disaster Research, Northeast Normal University, Changchun 130024, China

\*Corresponding author. Email: zhangjq022@nenu.edu.cn

## ABSTRACT

Climate change, characterized by rising temperature, aggravating drought and increasing extreme weather events, will greatly threaten the future social and economic development. Therefore, based on CMIP5 data, the future drought of Shandong Province under different RCPs scenarios (rcp4.5 and rcp8.5) was calculated by SPI index, including temporal change trend, mutation analysis and spatial change trend, so as to provide reference for disaster prevention and mitigation. The results showed that ①the Multi-Model Ensemble Mean was better than the single model for the CMIP5 data. ②In temporal, from 2016 to 2099, there was a weak wetting trend under RCP4.5 and RCP 8.5 scenarios, which were 0.039/10a and 0.184/10a, respectively. The difference is that drought / wetness occurred alternately under RCP 4.5 scenario, while drought almost continued before 2050s under RCP8.5 scenario, and there was almost no drought after 2050s. Therefore, attention should be paid to flood. It was found that there was no obvious mutation point in RCP4.5 scenario, but a mutation in RCP 8.5 scenario at 2046, with a wetting trend. ③Spatially, the northern and eastern parts of Shandong Province were more wetter under the RCP 4.5 scenario, while the northwest part was wetter under the RCP 8.5 scenario.

**Keywords:** Drought, Prediction, RCPs, CMIP5

## 不同 RCPs 情景下山东省未来干旱预估

包勇斌<sup>1</sup> 张继权<sup>1,\*</sup> 阿日古娜<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 东北师范大学环境学院, 东北师范大学自然灾害研究所, 长春 130024, 中国

\*通讯作者. 电子邮箱: zhangjq022@nenu.edu.cn

## 摘要

以气温上升、干旱加剧及极端天气事件增加为主要特征的气候变化将极大地威胁到未来的社会经济发展。因此, 本文基于 CMIP5 多模式数据, 通过计算 SPI 指数对不同 RCPs 情景下 (本文选择 RCP4.5 和 RCP8.5) 山东省未来干旱进行了预估, 包括时间变化趋势及突变分析和空间变化趋势, 以期能够为防灾减灾工作提供参考。结果表明: ①对于 CMIP5 多模式数据, 多模型集合平均的模拟效果优于单一模式, 可用于未来气候的模拟。②时间上, 2016-2099 年间在 RCP4.5 和 RCP8.5 两种情景下总体呈现出微弱的湿润化趋势, 分别为 0.039/10a 和 0.184/10a。不同的是, RCP4.5 情景下的干旱/湿润情况是交替发生的, 而在 RCP8.5 情景下 2050s 之前几乎是持续干旱, 在 2050s 之后则几乎没有出现过干旱现象, 需注意洪涝。通过突变分析发现, RCP4.5 情景下没有明显的突变点, RCP8.5 情景下则在 2046 年存在突变, 且 SPI 值有显著上升趋势, 即湿润化趋势。③空间上,

2016-2099 年间在 RCP4.5 情景下山东省北部及东部湿润化较高, RCP8.5 情景下西北部湿润化趋势较高。

**关键字:** 干旱, 预估, RCPs, CMIP5.

## 1. 引言

据政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)的第五次评估报告(AR5)显示, 1880-2012 年间全球地表温度上升了  $0.85^{\circ}\text{C}$ , 其中 2003-2012 年间的平均气温比 1850-1990 年间的高出  $0.78^{\circ}\text{C}$ , 且北半球的中纬度地区被确定为升温最快的区域<sup>[1]</sup>。科学界一致认为, 未来地表温度将继续升高, 并会持续对全球自然生态系统和经济造成相关影响<sup>[2]</sup>。此外, 以气温上升、干旱加剧及极端天气事件增加为主要特征的气候变化越来越受关注, 如美国中部和北部、中国华北、西南和西北地区均呈现出未来干旱的发生频率、严重程度和持续时间将增加的特征<sup>[3]</sup>。因此, 区域和全球气候变化预测也是一研究热点, 以期促进适应和减缓气候变化。

值得一提的是, 全球气候模式(Global Climate Models, GCMs)在估计气候变量演变过程中发挥了重要作用。CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5)为当前模拟和未来预测提供了 GCMs 数据, 已被广泛应用于气候变化及其相关领域和环境适应对策(自然灾害和农业领域等)。CMIP5 采用了新一代典型浓度路径(Representative Concentration Pathways), 它代表了未来一百年温室气体浓度稳定的新情景, 用单位面积的辐射强迫表示, 包括 RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0 和 RCP8.5<sup>[4,5]</sup>。许多基于 CMIP 耦合模型的研究有助于达成普遍的科学共识, 即全球变暖将导致极端气候事件的频率、强度和持续时间的增加<sup>[6]</sup>。此外, IPCC 第五次评估报告提出的最新一代 RCPs 情景大大提高了观测数据的数量和质量, 为分析和研究气候变化提供了更全面和多样化的方法。

据我国自然灾害损失统计, 气象灾害类的损失占全部自然灾害损失的七成以上, 其中旱灾损失占 50% 左右。我国干旱灾害频发、影响程度深、范围广且损失大, 极大地制约了我国经济社会的可持续发展和国家粮食安全战略等。与此同时, 气候变化加剧了我国

干旱和水资源短缺的情势。山东省是我国强省之一, 总体经济和社会的发展水平均在全国前沿<sup>[7]</sup>。作为我国重要的粮食产地和人口大省, 对我国的健康发展有着不可替代的重要作用。据统计, 1949-1990 年间, 除 1964 年外, 有 41 年发生程度不同的旱灾, 全省平均每年成灾面积  $106.54$  万  $\text{km}^2$ 。历数上述情况, 会发现干旱灾害对山东省的农业生产、经济发展、居民生活乃至生态持续都造成了极大的影响, 既不利于山东省未来的经济繁荣、社会振兴, 也不利于我国的持续发展。因此, 本文基于 CMIP5 多模式数据, 通过计算标准化干旱指数(SPI 指数)对不同 RCPs 情景下(本文选择 RCP4.5 和 RCP8.5)的山东省未来干旱进行了预估, 包括时间变化趋势及突变分析和空间变化趋势, 以期能够为防灾减灾工作提供参考, 对缓解因旱情带来的农业、生产、生活等方面的不利影响有着积极的现实作用。

## 2. 数据与方法

### 2.1 研究区概况

山东省位于中国东部沿海和黄河下游(北纬  $34^{\circ}22.9'$  至  $38^{\circ}24.01'$ , 东经  $114^{\circ}47.5'$  至  $122^{\circ}42.3'$ ), 有平原、丘陵和山地<sup>[8]</sup>。如图 1 所示, 该省中部地区海拔较高, 一般为山地, 其他地区为平原和丘陵草地。植被分布也存在明显的空间差异, 鲁中南山地丘陵区 and 胶东半岛丘陵区植被以温带针阔叶混合林、灌丛和草地为主, 黄河三角洲、莱州湾南岸及南四湖、东平湖等地区以湿地植被为主。森林植被和灌丛植被主要分布在山区和丘陵地带。此外, 平原大部分是农田, 只有黄河三角洲才有大面积的天然草地。气候特征为同时具有温带季风气候和温带海洋性气候, 具体表现为: 春秋季节短暂、冬夏季节长、降水集中, 山东在春、秋、冬季出现干旱的次数较多, 而在夏季则容易出现洪涝灾害的现象, 并且旱涝灾害的危害比较严重, 夏季炎热多雨, 冬季寒冷干燥<sup>[9]</sup>。

## 2.2 数据来源

本研究利用中国气象科学数据中心 (<http://data.cma.cn/>)提供的 1961-2005 年的月降水量资料作为分析未来气候变化的基础。未来气候数据取自 CMIP5, 包括不同情景下的历史运行 (1850-2005) 和未来运行 (2006-2100) 的模拟, 如表 1 所示。本文选择稳定情景 RCP4.5 和高排放情景 RCP8.5, 后者假设温室气体据当前趋势继续增加, 而不是理想化情景 RCP2.6。虽然历史数据涵盖了 1850-2005 年, 但由于观测数据的可用性, 提取了 1961-2005 年的数据。此外, 为了保持 CMIP5 模型模拟结果的一致性, 本文选取了 21 个 GCMs (如表 1 所示, <http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/>) 统一插值到  $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$  格网。便于分析, 我们将 2016-2100 年分为三个时间段, 即 2016-2045 年 (a, 21 世纪初)、2046-2075

(b, 21 世纪中) 和 2076-2099 (c, 21 世纪末)。

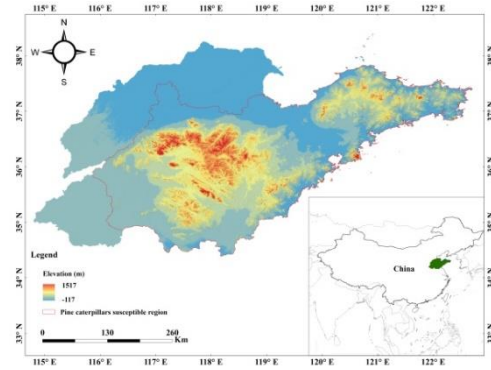


图 1 研究区概况

表 1 21 个全球气候模式的描述

No.	Model	Institution	Resolution
1	ACCESS1-0	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO), Australia	$1.9^{\circ} \times 1.3^{\circ}$
2	bcc-csm1-1	Beijing Climate Center, China Meteorological Administration, China	$2.8^{\circ} \times 2.8^{\circ}$
3	BNU-ESM	College of Global Change and Earth System Science, China	$2.8^{\circ} \times 2.8^{\circ}$
4	CMCC-CM	Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici, Italy	$0.7^{\circ} \times 0.7^{\circ}$
5	CMCC-CMS	Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici, Italy	$1.9^{\circ} \times 1.8^{\circ}$
6	CNRM-CM5	Centre National de Recherches Meteorologiques (France)	$1.4^{\circ} \times 1.4^{\circ}$
7	CSIRO-MK3-6-0	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO), Australia	$1.9^{\circ} \times 1.9^{\circ}$
8	EC-EARTH	Irish Centre for High-End Computing (ICHEC), Ireland	$1.1^{\circ} \times 1.1^{\circ}$
9	GFDL-CM3	NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, USA	$2.5^{\circ} \times 2.0^{\circ}$
10	GFDL-ESM2M	NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, USA	$2.5^{\circ} \times 2.0^{\circ}$
11	GISS-E2-H	NASA Goddard Institute for Space Studies, USA	$2.5^{\circ} \times 2.0^{\circ}$
12	HadGEM2-CC	Met Office Hadley Centre, United Kingdom	$1.9^{\circ} \times 1.3^{\circ}$
13	inmcm4	Institute for Numerical Mathematics, Russia	$2.0^{\circ} \times 1.5^{\circ}$
14	IPSL-CM5A-LR	Institute Pierre Simon Laplace, France	$3.8^{\circ} \times 1.9^{\circ}$
15	IPSL-CM5A-MR	Institute Pierre Simon Laplace, France	$2.5^{\circ} \times 1.3^{\circ}$
16	MIROC4h	Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), Japan	$0.56^{\circ} \times 0.56^{\circ}$
17	MIROC5	Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), Japan	$1.4^{\circ} \times 1.4^{\circ}$
18	MPI-ESM-LR	Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M), Germany	$1.9^{\circ} \times 1.9^{\circ}$
19	MPI-ESM-P	Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M), Germany	$1.9^{\circ} \times 1.9^{\circ}$
20	MRI-CGCM3	Meteorological Research Institute, Japan	$1.1^{\circ} \times 1.1^{\circ}$
21	NCAR-CCSM4	National Center for Atmospheric Research, USA	$1.3^{\circ} \times 0.9^{\circ}$

## 2.3 方法

### 2.3.1 SPI 指数

标准化降水指数 (SPI) 是 1993 年由 McKee 等人提出的, 常用于分析干湿条件。根据概率的累积分布, 对概率进行标准化分类, 得到概率的累积概率, 详细步骤见<sup>[10]</sup>。本文使用已得到世界气象组织认可的美国国家干旱减灾中心(<https://drink.unl.edu/>)编制的程序计算各站点的 SPI 指数。

### 2.3.2 多模式集合平均 (MME)

随着气候模型的应用和发展, MME 在气候模拟和预测研究中得到了广泛的应用。其一是减少了未来气候预测的不确定性, 二是其模拟效果优于单一模式。包括等权平均和加权平均, 可根据实际情况选择<sup>[11]</sup>。

### 2.3.2 泰勒图

泰勒图能以极坐标图的形式显示模拟和观测数据集的相关系数、均方根误差和标准差, 能直接、全面地评价各模型的模拟能力和差异性。当模型点与观测点的距离较近时, 表明模型具有较强的模拟能力<sup>[12]</sup>。

## 3. 结果与分析

### 3.1 CMIP5 气候模式的验证

对表 2 中的 21 个模型进行了分析, 并使用 MME 方法得到了 1 个平均模型 MME, 即通过逐步筛选获得的 IPSL-CM5A-LR 和 CMCC-CM 模式的平均值, 泰勒图如图 2 所示。结果表明, 降尺度后的模式对降水量的模拟能力存在一定差异。从单个模型来看, 大多数模型与观测值的相关系数在 0.4~0.9 之间, 且标准差与观测值接近, 具有较好的模拟能力。总体上, MME 对月降水量的模拟能力最强, 相关系数达 0.91 ( $p<0.01$ )。另外, 标准差和均方根误差也与观测值最接近, 说明 MME 能够较好地模拟山东省的月降水量, 未来的模拟结果也是可靠的。

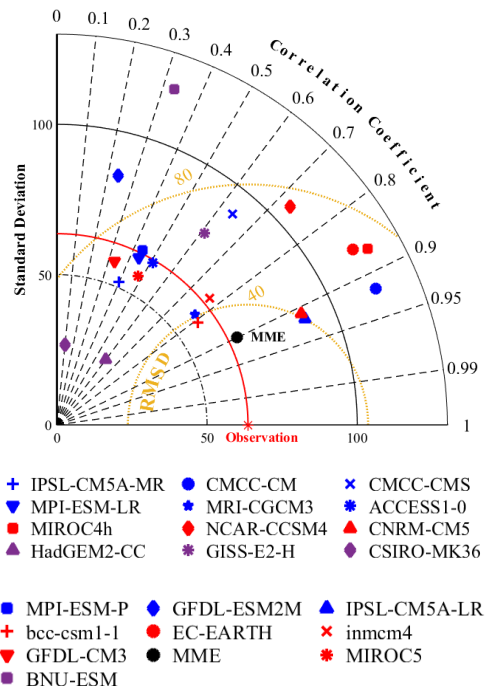


图 2 21 个全球气候模式 GCMs 泰勒图

### 3.2 不同 RCPs 情景下未来干旱时间变化

时间上, 2016-2099 年间在 RCP4.5 和 RCP8.5 两种情景下总体呈现出湿润化趋势, 分别为 0.039/10a 和 0.184/10a, 在 21 世纪初期、中期和末期均有不同程度的湿润化趋势。不同的是, 在 2016-2099 年间, RCP4.5 情景下的干旱/湿润情况是交替发生的, 而在 RCP8.5 情景下 2050s 之前几乎是持续干旱, 在 2050s 之后则几乎没有出现过干旱现象, 见图 3。

如图 4 突变分析所示, RCP4.5 情景下没有明显的突变点, RCP8.5 情景下则在 2046 年存在突变, 且 SPI 值有显著上升趋势, 即湿润化趋势。

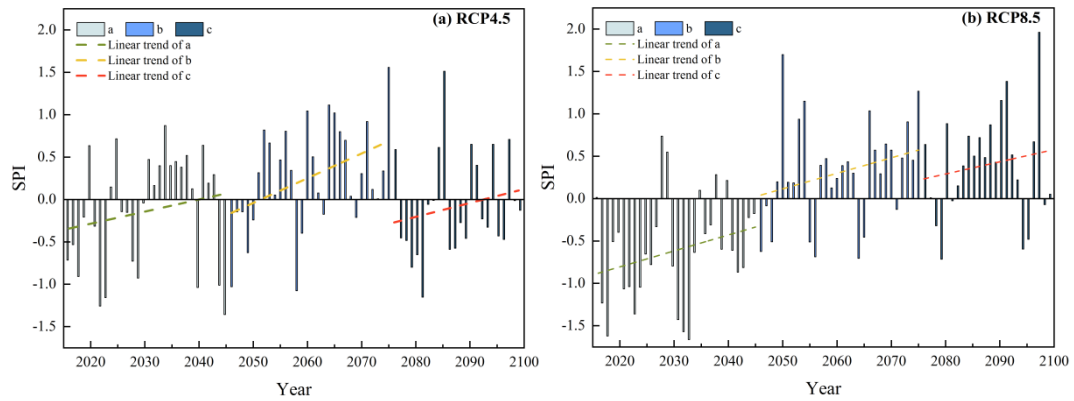


图 3 山东省不同 RCPs 情景下未来干旱时间变化及趋势

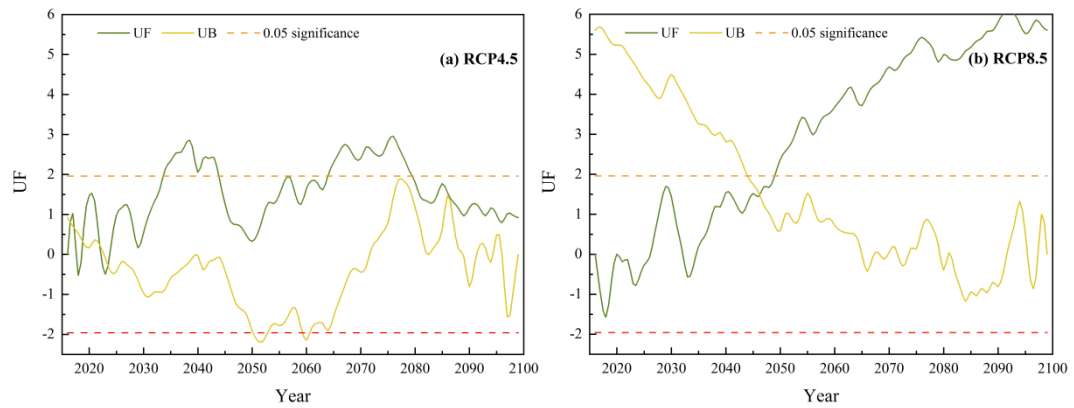


图 4 山东省不同 RCPs 情景下未来干旱突变分析

### 3.3 不同 RCPs 情景下未来干旱空间变化

空间上，2016-2099 年间在 RCP4.5 情景下山东

省北部及东部湿润化趋势较高，RCP8.5 情景下西北部湿润化趋势较高。总的来说，2016-2099 年间山东省总体上呈现出湿润化趋势。

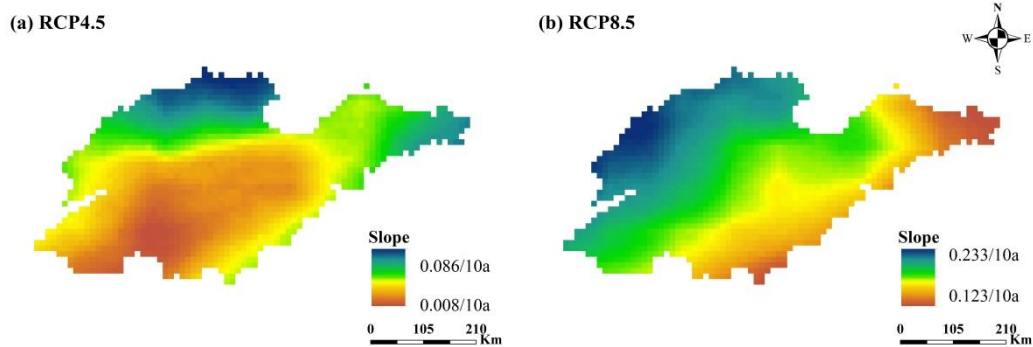


图 5 山东省不同 RCPs 情景下未来干旱空间变化

#### 4. 结论

本文从时间变化及趋势、突变点和空间变化趋势三个方面分析了山东省未来干旱特征,主要得出以下结论:①多模型集合平均的模拟效果优于单一模式,本文选择的 IPSL-CM5A-LR 和 CMCC-CM 模式能够较好的模拟山东省降水量,可用于未来气候的模拟。②时间上,2016-2099 年间在 RCP4.5 和 RCP8.5 两种情景下总体呈现湿润化趋势。不同的是,在 2016-2099 年间,RCP4.5 情景下的干旱/湿润情况是交替发生的,而在 RCP8.5 情景下 2050s 之前几乎是持续干旱,在 2050s 之后则几乎没有出现过干旱现象,同时,RCP8.5 情景下 2046 年存在突变点,且 SPI 值有显著上升趋势,即湿润化趋势,需注意洪涝。③空间上,2016-2099 年间在 RCP4.5 情景下山东省北部及东部湿润化较高,RCP8.5 情景下西北部湿润化趋势较高。总体来说,2016-2099 年间山东省呈现出湿润化趋势。

#### 致谢

本研究得到了国家自然科学基金国际(地区)合作与交流项目(41961144019)的资助。

#### 参考文献

- [1] IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Cambridge, UK, 2013. DOI: 10.1016/S0925-7721(01)00003-7
- [2] Ji F, Wu Z.H, Huang J.P, Chassignet, E. Evolution of land surface air temperature trend. *Nature Climate Change*. 2014, 4, 462-466. DOI: 10.1038/nclimate2223
- [3] Wang Z, Zhong R, Lai C, et al. Climate change enhances the severity and variability of drought in the Pearl River Basin in South China in the 21st century[J]. *Agricultural & Forest Meteorology*, 2018, 249:149-162. DOI: 10.1016/j.agrformet.2017.12.077
- [4] Sun F, Mejia A, Zeng P, Che, Y. Projecting meteorological, hydrological and agricultural droughts for the Yangtze River basin. *Science of the Total Environment*. 2019, 696, 134076. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.134076
- [5] Lu Y, Cai H, Jiang T, Sun S, Wang Y, Zhao J, Yu X, Sun J. Assessment of global drought propensity and its impacts on agricultural water use in future climate scenarios. *Agricultural & Forest Meteorology*. 2019, 278, 107623. DOI: 10.1016/j.agrformet.2019.107623
- [6] Silva P.S., Bastos A., Libonati R., Rodrigues J.A., DaCamara C.C., 2019. Impacts of the 1.5 °C global warming target on future burned area in the Brazilian Cerrado. *For. Ecol. Manage.* 446, 193-203. DOI: 10.1016/j.foreco.2019.05.047
- [7] 王旭. 山东省水文干旱演变规律研究. 山东农业大学, 2019, pp. 1-2.
- [8] 王庆, 马倩倩, 夏艳玲等. 最近 50 年来山东地区夏季降水的时空变化及其影响因素研究[J]. *地理科学*, 2014, 34(2): 220-228. DOI: 10.13249/j.cnki.sgs.2014.02.220
- [9] 徐泽华. 山东省植被时空变化特征及其对气象干旱指数的响应. 山东师范大学, 2019, pp. 8-10.
- [10] Bahrami M, Bazrkar S, Zarei A R. Modeling, prediction and trend assessment of drought in Iran using standardized precipitation index[J]. *Journal of Water and Climate Change*, 2018:jwc2018174. DOI: 10.2166/wcc.2018.174
- [11] Liang Y, Wang Y, Yan X, et al. Projection of drought hazards in China during twenty-first century[J]. *Theoretical & Applied Climatology*, 2017, 133(1-2):1-11. DOI: 10.1007/s00704-017-2189-3
- [12] 田磊. 变化环境下黄土高原水文气候要素数值模拟及未来预测. 西北农林科技大学, 2019, pp. 68-69.