引用格式：黄建平，管晓丹，刘晓煌，等．北方暴雨带及其防控策略．中国科学院院刊，2026, 41(4): 792-803, doi: 10.3724/j.issn.1000-3045.20251216003.
Huang J P, Guan X D, Liu X H, et al. Northern Rainstorm Belt and response strategies. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2026, 41(4): 792-803, doi: 10.3724/j.issn.1000-3045.20251216003. (in Chinese)

北方暴雨带及其防控策略

黄建平[1] **管晓丹**[1*] **刘晓煌**[2,3] **沈晓涵**[1] **刘晓洁**[3*]

1 兰州大学 大气科学学院 兰州 730000
2 自然资源部自然资源要素耦合过程与效应重点实验室，
中国地质调查局自然资源综合调查指挥中心 北京 100055
3 自然资源部自然资源要素耦合过程与效应重点实验室，
中国科学院地理科学与资源研究所 北京 100101

摘要 2025年夏季，受异常气候影响，一条贯穿我国西北东部至东北地区的“北方暴雨带”的形成，导致北方地区夏季降水量与频次显著增加；在此期间，我国北方城市频繁遭遇极端暴雨与短时强降雨袭击，“旱地遇洪、城市内涝”灾害突出。我国北方地区地域广阔，不仅是国家粮食主产区和人口聚集区，更是连接农牧交错带与黄土高原的生态安全屏障，其稳定关系全局。因此，全面提升该区域的防洪能力、增强城市韧性与气候适应性，对于保障国家粮食安全、生态安全与区域可持续发展具有重大意义。文章对“北方暴雨带”的演变特征及其对干旱区城市内涝与次生灾害的影响进行了综合研判，并利用气候模式预估了未来30年该暴雨带“常态化”高风险与“北移西扩”的演变趋势，并在此基础上从提升北方城市韧性、完善防灾减灾体系和降低灾害风险等方面提出针对性的政策建议。

关键词 北方暴雨带，城市内涝，地质灾害，暴雨预警，灾害防治

DOI 10.3724/j.issn.1000-3045.20251216003
CSTR 32128.14.CASbulletin.20251216003

全球变暖背景下，近年来我国“北方雨带”出现区别于传统雨带的新空间格局。对比2005—2014年与2015—2024年的年代际空间分布（图1），暴雨高频区显著向华北平原腹地及蒙古高原边缘推进；核心区集

*通信作者
资助项目：教育部基础学科和交叉学科突破计划（JYB2025XDXM910），甘肃省科技领军人才项目（25RCKA024）
修改稿收到日期：2026年4月3日

聚郑州—北京—太原一带，影响范围西进兰州、北伸呼和浩特，形成贯穿西北东部—内蒙古中南部—华北北部—东北西部的带状区域。极端暴雨事件对经济、社会造成了巨大影响。例如，2021年7月河南郑州和2023年7月华北的极端降水事件导致了大范围的城市内涝[1,2]。2025年的极端降水事件已从单点向多区域蔓延，华北雨季创下开始早、持续久、降水量多的历史纪录[3]。当前，“北方雨带”呈现出高强度、大范围、持续时间长等特征，且“中心摆动、局地性强、旱涝急转、次生灾害突出”，传统“北方雨带”概念已难以完全反映出其极端性与高影响特征。因此，本文提出了“北方暴雨带”这一概念，用来描述北方出现的强降雨事件特征，将其定义为：在气候变暖驱动下，北方极端降水发生频次与强度在年代际尺度上显著增强，并在空间上呈现带状集聚特征的极端降水系统。该概念具有显著的“气候—天气”双重属性：在气候尺度上，它表征了西北暖湿化背景下极端降水空间聚合带的“北移西扩”统计特征；在天气尺度上，它表现为由副高异常、西风带波动及台风水汽输送耦合形成的准静止雨带系统。这为重新认识我国北方极端降水风险、优化防灾体系与国土空间规划提供理论依据与决策参考。

1 “北方暴雨带”特征分析及影响

1.1 “北方雨带”出现的异常演变特征

我国东部夏季风主雨带每年7月下旬—8月上旬北移至华北、东北一带，达到一年中季风降水的最北位置，形成该区域年内降水集中期。传统认知中，这一“北方雨带”强度相对温和、极端性较弱。然而，近年来，由于西风带波动加剧，叠加副高强度偏强、位置偏北，耦合台风的共同影响，促使暖湿气流突破传统边界，向西延伸至西北干旱半干旱区。这一变化不仅推动了传统夏季雨带的持续“北移西扩”，使得中国北方和西部地区出现持续性多雨格局[4]，更直接表现为北方极端降水在频率、强度与空间范围上的系统性增强[5,6]。为科学区分降水的常态性与极端性，本文参考《中国雨季监测指标—华北雨季》（QX/T 495—2019）[7]，将7—8月份日降水量大于10 mm的区域划定为“北方雨带”；而将其中日降水量大于50 mm（暴雨级别）且满足空间连续性的区域定义为“北方暴雨带”。“北方雨带”和“北方暴雨带”在2015—2024年较2005—2014年呈现出增加的趋势（图1a和c）；尤其在2025年，降雨天数（图1b）较2015—2024年平均最多增加6天，暴雨天数（图1d）较2015—2024年平均最多增加2天。已有研究表明，自21世纪以来，华北、京津冀地区的夏季极端降水量呈显著增加趋势[8]；同时，西北地区东部的极端降水日数明显增多，其极端降水量变化占总降水量变化可达40%以上[9]，呈现出明显的“强度升级、范围北移西扩”特征。这一变化并非孤立现象，其与全球气候变化背景下干旱半干旱区水文循环加剧的趋势一致。政府间气候变化专门委员会（IPCC）第六次评估报告指出，全球干旱区对气候变化响应极为敏感，已普遍观测到降水变异性增强、极端事件增多的趋势[10]，全球约36.5%的区域（包括众多干旱半干旱区）降水集中度呈长期增长趋势，这与强降水事件发生频率和强度增加密切相关[11]。气候变暖加剧了水文循环与极端事件风险①，进而提升了区域极端降水的威胁。

1.2 “北方暴雨带”自华北向西北扩张，整体强度持续增强

为了厘清“北方暴雨带”的异常特征与演变规律，本文首先建立了1981—2010年我国北部地区降水气候基准态，并将其与2025年气候实况进行了空间量化对比（图2）。结果显示，相较于基准期多年平均

① 全球极端天气加剧：洪水与干旱带来双重挑战 (2025-07-21)[2026-04-02]. https://news.un.org/zh/story/2025/07/1140383.

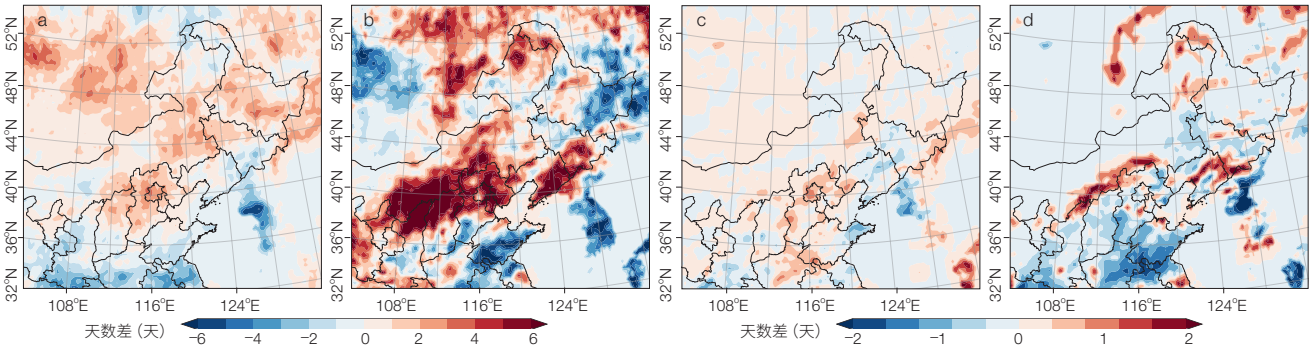


图1　“北方雨带”和“北方暴雨带”的位置移动

Figure 1　Spatiotemporal evolution of Northern Rain Belt and Northern Rainstorm Belt

（a）2015—2024年平均相较2005—2014年平均的10 mm降水天数变化；（b）2025年相较2015—2024年平均的10 mm降水天数变化；（c）2015—2024年平均相较2005—2014年平均的50 mm降水天数变化；（d）2025年相较2015—2024年平均的50 mm降水天数变化

(a) Decadal changes in number of days with daily precipitation ⩾ 10 mm between 2015–2024 average and 2005–2014 average; (b) Anomalies of days with daily precipitation ⩾ 10 mm in 2025 relative to 2015–2024 average; (c) Decadal changes in number of days with daily precipitation ⩾ 50 mm between 2015 – 2024 average and 2005 – 2014 average; (d) Anomalies of days with daily precipitation ⩾ 50 mm in 2025 relative to 2015–2024 average

态，2025年“北方暴雨带”呈现出显著的“强度跃升”与“位置突变”特征。在强度与频次上，2025年累积暴雨量与暴雨日数的高值区显著突破了气候平均态的阈值范围，在华北北部及内蒙古中部形成异常高值中心。更为关键的是，通过追踪降水加权重心的移动轨迹发现，1981—2010年的多年平均重心主要维持在华北平原南部，其年际波动范围相对集中（图2c）；而2025年的暴雨重心则突破了这一常态波动范围，呈现出极显著的“北移西扩”特征（图2f），其位置较气候态平均重心向西北方向发生了大幅偏移，直观呈现了“北方暴雨带”在气候变暖背景下发生的空间异常特征。

进一步结合1995—2025年5个“北方暴雨带”典型城市（北京、呼和浩特、天水、西安和郑州）的长序列演变特征（图3），暴雨特征的空间分布呈现出年代际“接力式”北移规律。观测数据显示，极端暴雨的频率高值区与强度重心在过去30年间经历了显著的经向迁移：2000年的暴雨极值中心尚位于偏南的郑州，2007年西安出现极端暴雨，2024年在北京出现极端暴雨，最终在2025年延伸至更北、更西的呼和浩特（图3a和b）。极端降水累积量的长期趋势分析（图3d）进一步佐证了这一判断：北京和呼和浩特周边区域呈现出显著的正增长趋势，而这种增长在传统的南方多雨区则不明显。这一从黄淮海平原向燕山—阴山山脉北麓推进的演变轨迹，不仅合理解释了2025年暴雨带异常偏北的成因，更预示着我国北方极端降水风险格局正在发生深刻而持久的重塑，传统的防洪重点区域需向北、向西进行战略性调整。

2025年主汛期，我国北方地区多地降水呈现出“总量大、极端性强”的显著特征，导致多地降水纪录被频繁打破。其中，北京2025年6月累计降雨量较常年同期多75%，7月下旬持续强降雨使密云水库发生自1959年建库以来最大入库流量，高达6 550 m^3/s[②]；呼和浩特的雨季长度长达60天，降雨量较常年同期多

② 北京市防汛救灾新闻发布会. (2025-07-31)[2026-04-02]. https://www.beijing.gov.cn/shipin/Interviewlive/1262.html.

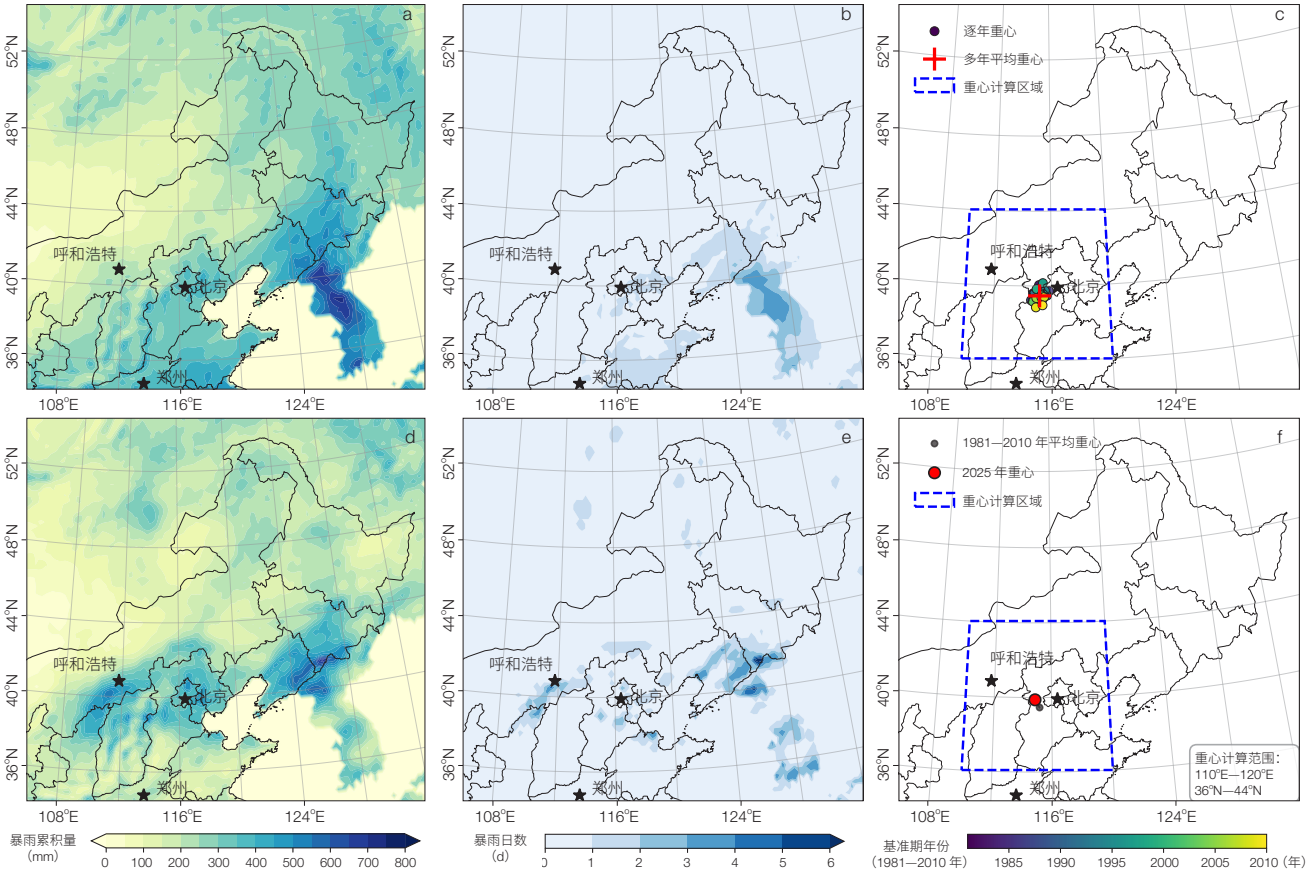


图 2　“北方暴雨带”气候基准态（1981—2010 年）与 2025 年气候异常特征对比

Figure 2　Comparison of climate baseline (1981–2010) and 2025 anomalous characteristics of Northern Rainstorm Belt

（a）1981—2010 年多年平均暴雨累积量；（b）1981—2010 年多年平均暴雨日数；（c）1981—2010 年重心波动范围与计算区域；（d）2025 年暴雨累积降水量；（e）2025 年暴雨日数；（f）2025 年重心相对于基准期的“北移西扩”路径

(a) Multi-year (1981–2010) average accumulated heavy rainfall during baseline period; (b) Multi-year (1981–2010) average number of heavy rainfall days during baseline period; (c) Fluctuation range of precipitation-weighted centroid during baseline period (1981–2010) and calculation region; (d) Accumulated heavy rainfall in 2025; (e) Number of heavy rainfall days in 2025; (f) Northward and westward shift trajectory of centroid in 2025 relative to baseline period

6.3 倍，雨季长度与平均雨量均列历史第 1 位，多个气象站点累计降水量、小时雨强、连续大暴雨日数、过程降水量等突破历史极值[③]。与此同时，常年干旱的西北地区也出现罕见强降雨。兰州城区内涝频发，其下辖的榆中县在 2025 年 8 月 7 日的日降水量达 220.2 mm，不仅占其年均降水量的 56%，更创下该站自 2002 年建站以来的最高纪录[④]。这一系列破纪录的极端事件表明，2025 年夏季北方暴雨并非孤立的局地现象，而是区域性气候异常的集中体现。根据 2025 年 7 月和 8 月北方单日≥50 mm 降水日数（图 4a）、单次暴雨的强度（图 4b）和极端降水累积量（图 4c）的空间分布显示，极端降水高度集中于呼和浩特—北京一

③ 今夏雨季长达 60 天呼和浩特汛期降水量创历史极值 . (2025-09-19)[2026-04-02]. http://www.huhhot.gov.cn/2022_zwgk/2022_xwfbh/202509/t20250919_1933910.html?zbb=true.

④ 兰州市榆中县山洪灾害新闻发布会实录 . (2025-08-21)[2026-04-02]. https://www.gansu.gov.cn/gsszf/c114890/202508/174188478.shtml.

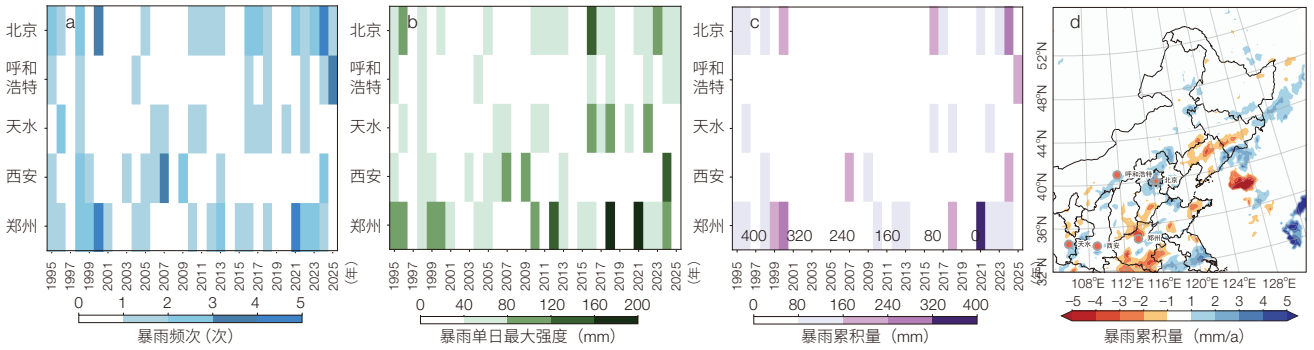


图3　1995—2025年北京、呼和浩特、天水、西安和郑州5个城市表征北方暴雨变量的特征变化

Figure 3　Time series distributions (1995–2025) of characteristic variables representing heavy rainfall in northern China for five cities: Beijing, Hohhot, Tianshui, Xi'an, and Zhengzhou

（a）极端暴雨频率；（b）极端暴雨单日最大强度；（c）极端暴雨累积量（7—8月）；（d）1995—2025年极端暴雨累积量的趋势分布（7—8月）

(a) Time series of extreme heavy rainfall frequency; (b) Time series of maximum daily intensity of extreme heavy rainfall; (c) Time series of accumulated amount of extreme heavy rainfall (July–August); (d) Trend distribution of accumulated amount of extreme heavy rainfall from 1995 to 2025 (July–August)

带，暴雨日数达4—5次，强度与累积量均以呼和浩特最为突出，天水、西安、郑州等地暴雨覆盖明显偏少，暴雨带整体呈现偏北特征。与过去30年平均相比，该区域暴雨频次显著偏多，尤其是呼和浩特周边极端降水占比和单日强度异常突出，使其成为2025年北方暴雨灾害的核心重灾区。

上述分散的极端事件，在异常的宏观环流背景下连缀成片，共同勾勒出一条自西南向东北延伸、核心清晰的强降雨带。2025年夏季，西北太平洋副热带高压滞留时间偏长、位置显著偏西偏北，西太平洋台风活动异常活跃，二者共同引导充沛的水汽持续输送至北方内陆。多重因素的叠加，导致2025年7—8月关键期内，我国华北北部、内蒙古中南部、宁夏和陕西北部等广大区域降水异常偏多，降水量普遍较常年多50%—200%⑤，从而将点状极端事件串联为一条持续时间更长、影响范围更集中、降水强度更剧烈的区域性暴雨带，导致传统“北方雨带”概念难以充分解释其极端强度与高影响特性。

1.3 强降水冲击城市排水系统，北方城市内涝与地质灾害加剧

近年来，受“北方暴雨带”活动加剧的影响，强降水频繁袭击我国北方城市，“城市看海”现象屡见不鲜。伴随“北方暴雨带”的常态化，我国北方地区传统的致灾模式发生根本性转变，强降水在短时间内形成大量地表径流，受不同城市地貌格局影响，致灾机制呈现显著差异。值得注意的是，相较于大城市，众多中小城镇和县城在排水管网标准、应急管理能力和公众风险意识方面存在更大短板，在同类极端天气下往往承灾更为严重。

对于北京、郑州等典型的“山前平原型”城市，当暴雨发生时，北部或西部山区形成的洪水快速向平原城区汇集；而城区本身地势相对低洼，加之快速城市化导致地表硬化率高，天然调蓄空间不足，导致积水叠加。2025年7月下旬，北京遭遇持续历史罕见极端暴雨，山洪与内涝并发，造成44人死亡、9人失联，

⑤ 刘蕊 今年“七下八上”呈现降水偏多特征 华北雨季尚未结束. (2025-08-21)[2026-04-02]. https://www.cma.gov.cn/ztbd/2025zt/20250418/2025041803/202508/t20250822_7291573.html.

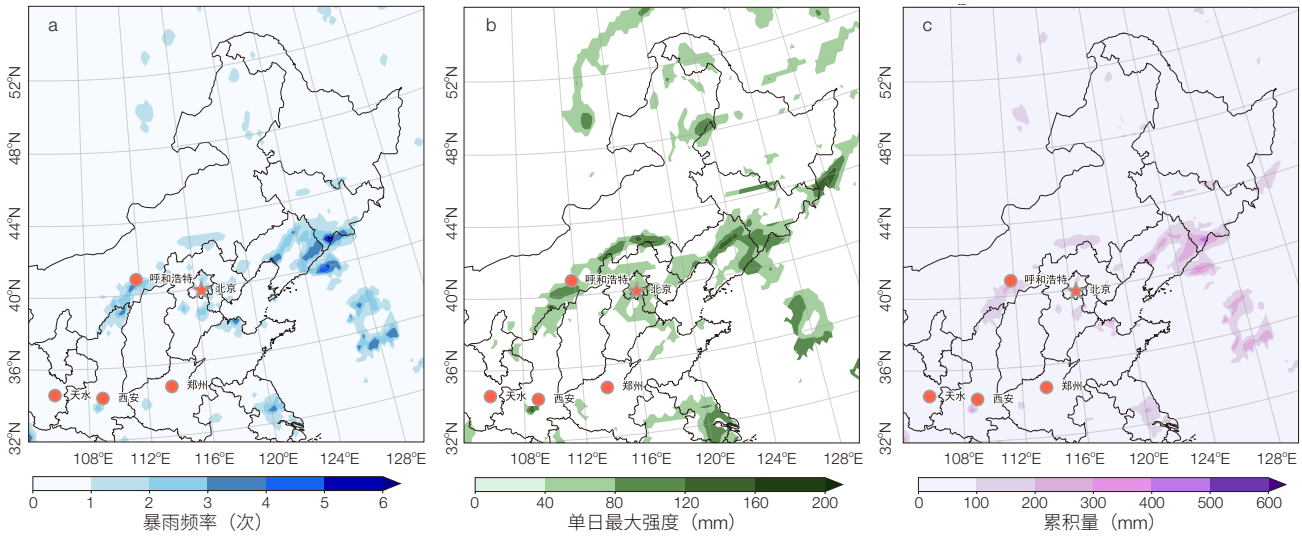


图4　2025年北京、呼和浩特、天水、西安和郑州5个城市表征北方暴雨特征分布

Figure 4　Distribution of characteristic variables representing extreme heavy rainfall in northern China for five cities in 2025: Beijing, Hohhot, Tianshui, Xi'an, and Zhengzhou

（a）2025年极端暴雨频率分布；（b）2025年极端暴雨单日最大强度分布；（c）2025年极端暴雨累积量分布（7—8月）

(a) Frequency of extreme heavy rainfall events in 2025; (b) Maximum daily intensity of extreme heavy rainfall events in 2025; (c) Accumulated amount of extreme heavy rainfall in 2025 (July–August)

30余万人受灾⑥。

在工程系统方面，北方“河谷型”城市多坐落于狭长河谷，城市建设空间受限；“两山夹一河”的地理格局，使得暴雨径流极易在短时间内汇入河道。当主河道水位因上游来水迅速上涨时，会对城区排水管网形成顶托甚至倒灌，导致“关门淹”现象。加之，北方城市早期排水管网多基于干旱半干旱气候特征设计，防洪排涝标准偏低且设施老化，难以应对当前频发且强度大的极端降雨；并且，由于缺乏智慧化调度手段，制约了应急排水与协同调度效率，进一步加剧了内涝风险。

1.4 持续强降水驱动次生地质灾害频发，区域防灾体系脆弱性凸显

北方干旱半干旱区地质和地理环境复杂，地形起伏较大，气候条件时空差异显著。该区域广泛分布的黄土土质疏松，且具有显著的湿陷性。在“北方暴雨带”带来的持续性强降水和极端短时暴雨作用下，土体饱和度迅速增加，极易触发“降雨→土体失稳→滑坡/崩塌→泥石流”的链生灾害过程。据统计，2025年以来该区域引发的洪涝及次生灾害占全国总灾情的78%⑦。

气候变化背景下，受暴雨影响的人口暴露度与脆弱性同步增加。相关研究显示，我国西北大部分地区（如甘肃、陕西、青海等）的滑坡灾害人口脆弱性指数较高，均超过0.38，属于高脆弱区。历史数据表明，1950—2018年，甘肃、陕西等省份的滑坡灾害年均伤亡人口一直位居全国前列。而在未来气候情景

⑥ 北京市防汛救灾新闻发布会举行本次洪涝灾害造成30余万人受灾. (2025-08-01)[2026-04-02]. https://swj.beijing.gov.cn/swdt/swyw/202508/t20250801_4164010.html.

⑦ 应急管理部发布2025年前三季度全国自然灾害情况. (2025-10-17)[2026-04-02]. https://www.mem.gov.cn/xw/yjglbgzdt/202510/t20251017_561724.shtml.

（RCP8.5/SSP3）⑧下，随着极端降水频率和强度的增加，如果不采取有效干预，预计到2040年左右，滑坡灾害造成的年均伤亡人口将达到峰值[12]。2025年8月，甘肃榆中在遭遇持续强降雨后引发的山洪与泥石流复合灾害，造成28人失联、15人受伤⑨，正是这一趋势的典型印证。然而，当前区域内的防灾体系仍存在“重抗旱、轻防汛”的结构性短板。部分流域堤防标准低，排涝与应急响应机制薄弱，干线公路等关键基础设施在应对次生灾害时抗毁能力不足。一旦发生流域性强降雨，不仅导致直接经济损失，更可能因道路损毁和通信中断形成“孤岛效应”，阻断救援通道，进一步放大灾害链的破坏效应。

2 未来风险预估

为增强防灾减灾的前瞻性，本文基于SSP2-com排放情景数据[13-16]，利用BCC-ESM-1气候模型的模拟结果[17,18]对我国北方地区2026—2055年的降水变化进行了分析。模拟结果显示，2026—2055年“北方暴雨带”区域的年暴雨累积量将保持波动上升趋势（图5）。这表明在减排路径的中等强迫情景下，“常态化高风险”依然存在。暴雨带重心将继续向西北方向迁移。预估结果显示，2026—2050年暴雨带重心北移速率将达到+0.85°/10 a，显著快于历史观测值（图6）。空间差值分布进一步证实，未来暴雨日数的增加将主要集中在河套平原北部及内蒙古地区（图7）。

3 对策与建议

为有效应对“北方暴雨带”带来的系统性风险，亟待在精准研判风险格局的基础上，借鉴国际先进雨洪管理理念，构建适应“旱涝并存、急转频发”特征的综合性防控体系。例如，美国强调源头控制的低影响开发（low impact development）、澳大利亚系统循环的水敏感性城市设计（water sensitive urban design），以及荷兰等地融合工程与自然优势的“绿色—灰色”

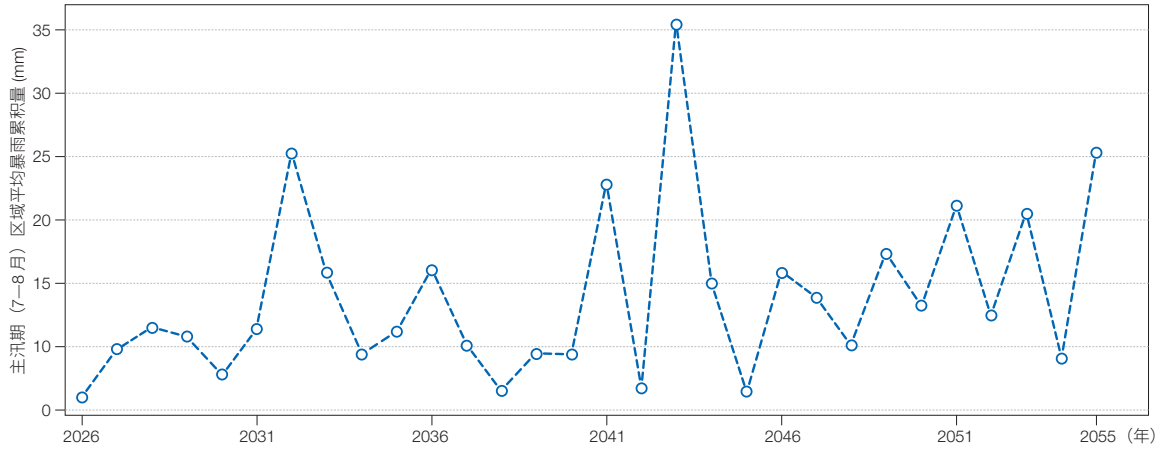


图5 基于BCC-ESM-1模式（SSP2-com情景）的2026—2055年“北方暴雨带”年暴雨累积量变化趋势预估

Figure 5 Projected trend of annual accumulated heavy rainfall in Northern Rainstorm Belt from 2026 to 2055, simulated by BCC-ESM-1 model under SSP2-com scenario

⑧ IPCC Data Distribution Centre Glossary. (2015-02-25) [2026-04-07]. https://www. ipcc-data. org/guidelines/pages/glossary/glossary_r.html.

IPCC Scenarios Data Explorer. (2025-07-16) [2026-04-07]. https://ourworldindata. org/explorers/ipcc-scenarios? Metric=GDP&Rate=Per+capita&Region=Global&country=SSP1+-+Baseline~SSP2+-+Baseline~SSP3+-+Baseline~SSP4+-+Baseline~SSP5+-+Baseline.

⑨ 甘肃榆中山洪灾害已造成15人死亡28人失联. (2025-08-09) [2026-04-02]. https://www. gansu. gov. cn/gsszf/gsyw/202508/174188595.shtml.

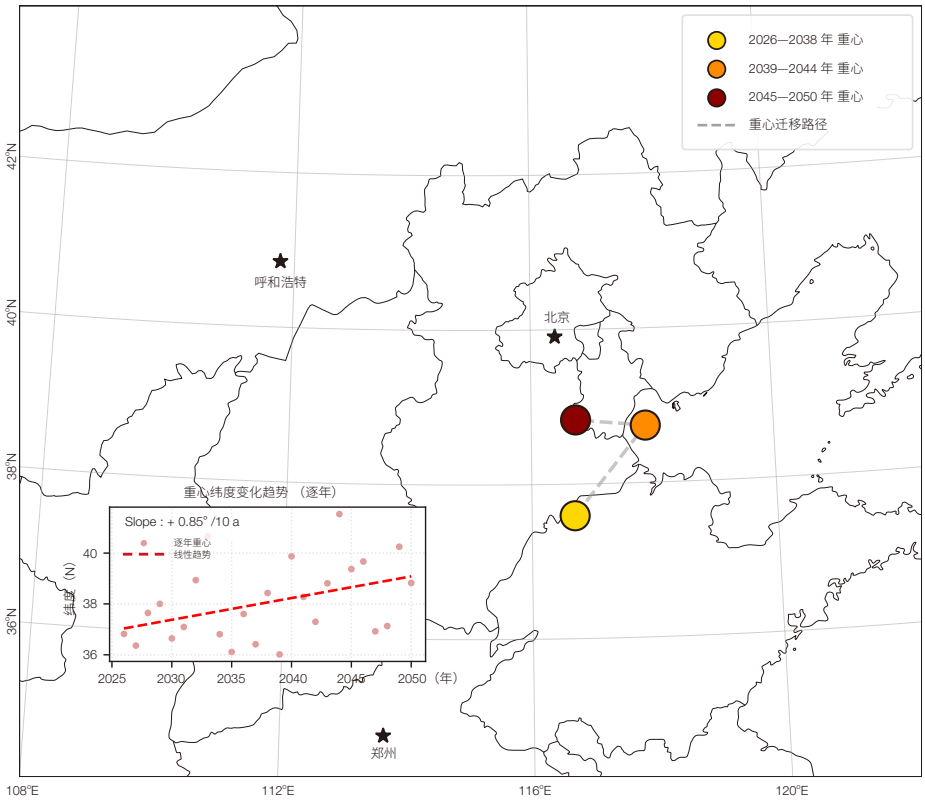


图 6　基于 BCC-ESM-1 模式（SSP2-com 情景）的 2026—2050 年“北方暴雨带”重心迁移路径预估

Figure 6　Projected migration path of the precipitation-weighted centroid of Northern Rainstorm Belt from 2026 to 2050, simulated by BCC-ESM-1 model under SSP2-com scenario

基础设施策略[19]⑩，并结合我国北方城市，尤其是防灾基础薄弱的中小城镇的实际情况，进行本土化创新与应用，以全面提升区域防灾韧性。

（1）优化“北方暴雨带风险”预警标准，健全跨部门联动机制。结合“北方暴雨带”区域的地形地貌、人口密度及城市建设水平，优化风险等级划分标准，进一步优化“蓝、黄、橙、红”四级预警阈值；强化水利部、自然资源部、中国气象局等部门的实时共享数据机制，跨区域动态跟踪“北方暴雨带”降水强度、影响范围及移动路径等关键要素变化；组织开展跨部门应急演练，模拟“北方暴雨带”在干旱半干旱区引发的内涝、地质灾害等典型场景，提升多部门协同处置能力与响应效率。

（2）加强基础与应用基础研究，强化灾害防治联合攻关。通过部省联动与中央-地方联合投入，依托科学技术部、国家自然科学基金委员会及地方科技重大专项，针对“北方暴雨带”变化及其灾害影响的突出问题，尽快设立专项研究；系统分析“北方暴雨带”演变规律，预测未来趋势与致灾风险；研究城市地表径流汇集规律和管网承载需求，突破北方城市排水系统设计的技术瓶颈；深化多学科交叉与融合，系统分析暴雨变化对城市排水、地质稳定性及关键基础设施的耦合影响机制，揭示暴雨引发的复合灾害链条与关键触发环节。

⑩ Villegas E. Can cities learn to live with water?. (2025-03-31)[2026-04-02]. https://thinklandscape.globallandscapesforum.org/72578/can-cities-learn-to-live-with-water/.

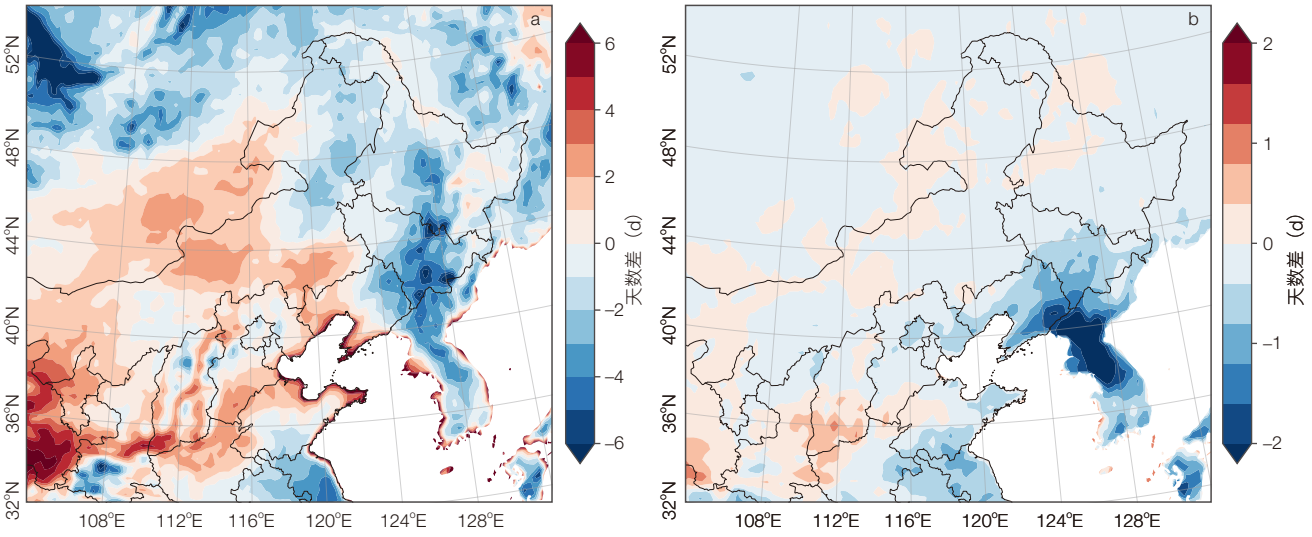


图 7　未来情景（2026—2056 年）相对于基准期（1995—2025 年）的降水日数变化空间分布（BCC-ESM-1 / SSP2-com）

Figure 7　Spatial distribution of changes in precipitation days under future scenario (2026–2056) relative to baseline period (1995–2025) based on BCC-ESM-1 simulations under SSP2-com scenario

（a）10 mm 降水天数变化；（b）50 mm 降水天数变化

(a) Decadal changes in the number of days with daily precipitation ⩾ 10 mm; (b) Decadal changes in the number of days with daily precipitation ⩾ 50 mm

（3）加强“感知—监测—预警”系统建设，强化五级预警发布与联动机制。依托自然资源部正在建设的自然资源要素综合观测网络、中国气象局的国家综合气象观测体系、各省部共建的国家野外科学观测研究站，联合中国科学院等科研单位，共同开展北方干旱半干旱区域的长期综合观测，优先选择黄河流域重点区域开展试点，搭建全灾种、全要素、全链条的综合灾害多源“感知—监测—预警”系统，实现对城市内涝及滑坡、泥石流等次生灾害风险的实时研判与预警；整合自然资源、气象、水利等多部门数据，研发大数据与人工智能优化预测模型，细化次生灾害风险评估体系；建立“中央—省—市—县—乡”五级贯通的灾害预警信息发布系统，强化灾害应急响应联动机制。

（4）加快防治工程体系建设，构建北方城市洪涝与次生灾害防治新格局。在流域和区域尺度，推动构建适应“旱涝并存”特征的水资源科学调控体系。在城市与县域尺度，推广甘肃平凉等地海绵城市建设试点经验，加快推动“北方暴雨带”地区海绵城市与韧性城市建设；并在黄河流域重点城市试点“洪涝资源化”，通过优化水库群联合调度、利用城市及县域蓄滞洪区及地下水库进行雨洪蓄滞、在城镇建成区推广雨水集蓄利用系统，化水害为水利；聚焦立体交通、低洼地带、地下空间等关键区域，加强防洪排涝设施建设与城市生命线工程安全运维，构建系统的洪涝综合防治工程体系；持续推进排水防涝设施建设与管网改建，完善泵站与排涝通道布局，结合流域水利工程构建“流域—区域—城市”三级防洪网，强化市县及小城镇的防灾规划与布局，将极端降水风险图与地质灾害隐患点图谱强制性纳入市县国土空间总体规划与详细规划；特别是针对未来重心北移显著的呼和浩特、包头等传统非典型暴雨区，城市防洪标准的设计不能仅参考历史极值，必须纳入未来 30 年的“气候增量”，适度超前布局韧性基础设施；开展村庄、居民点风险评价，对矿区、切坡建房区精准划定灾害红线，落实搬迁、监测和治理措施，系统消除隐患地区

风险。

（5）锚定权威渠道保障信息可靠，开展应急演练强化避险能力。依托中国气象局、应急管理部等部门，统一“北方暴雨带”警报发布渠道；推动社区、学校、医院、企业等特殊机构每年至少开展1—2次暴雨应急演练，特别针对“旱涝急转”情景进行设计，提升公众从抗旱到防汛的快速切换意识和能力，针对山区村落、老旧街区、养老院和中小学校等机构加强具有实用性的避险宣传推广、强化实战内容；推进科普宣教生活化、常态化，邀请气象专家与应急救援人员参与公众科普活动，重点讲解应急避险、物资储备、山洪识别与逃生路线等实用知识，鼓励群众创作生活化暴雨科普短视频，同时在社区设置科普摊位，用通俗方式讲解避险知识。

（6）推动跨区域协同治理，加强气候适应型立法保障。建立“北方暴雨带”跨省域联防联控机制，启动气候适应型法律法规与标准体系的系统性修订。在黄河流域等高风险区开展试点，由中央部委牵头，统筹协调上游水源涵养与生态保护、中游城市防洪安全与水资源调配、下游蓄滞洪区科学运用，建立基于流域整体利益的利益补偿与协同决策机制；研究修订《中华人民共和国防洪法》《气象灾害防御条例》等核心法规，明确将基于气候模式预测的未来风险作为国土空间规划、重大工程设计和基础设施防洪排涝标准的法定依据。在此基础上，推动制定《干旱半干旱地区城市防洪排涝规划设计导则》等国家或行业标准。

参考文献

1 赵俊虎, 高辉. 2025年夏季中国气候异常特征及成因分析. 气象, 2026, 52(1): 105-118.
Zhao J H, Gao H. Characteristics and causes of climate anomalies over China in summer 2025. Meteorological Monthly, 2026, 52 (1): 105-118. (in Chinese)

2 布和朝鲁, 诸葛安然, 谢作威, 等. 2021年“7·20”河南暴雨水汽输送特征及其关键天气尺度系统. 大气科学, 2022, 46 (3): 725-744.
Bueh C, Zhuge A R, Xie Z W, et al. Water vapor transportation features and key synoptic-scale systems of the “7·20” Rainstorm in Henan Province in 2021. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2022, 46 (3): 725-744. (in Chinese)

3 张芳华, 杨舒楠, 胡艺, 等. “23·7”华北特大暴雨过程的水汽特征. 气象, 2023, 49(12): 1421-1434.
Zhang F H, Yang S N, Hu Y, et al. Water vapor characteristics of the July 2023 severe torrential rain in North China. Meteorological Monthly, 2023, 49 (12): 1421-1434. (in Chinese)

4 丁一汇, 司东, 柳艳菊, 等. 论东亚夏季风的特征、驱动力与年代际变化. 大气科学, 2018, 42(3): 533-558.
Ding Y H, Si D, Liu Y J, et al. On the characteristics, driving forces and inter-decadal variability of the East Asian Summer Monsoon. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2018, 42(3): 533-558. (in Chinese)

5 Liang Q X, Chen Y N, Duan W L, et al. Temporal and spatial changes of extreme precipitation and its related large-scale climate mechanisms in the arid region of Northwest China during 1961–2022. Journal of Hydrology, 2025, 658: 133182.

6 Wan W Y, Zhou Y. Spatiotemporal patterns in persistent precipitation extremes of the Chinese mainland (1961–2022) and association with the dynamic factors. Atmospheric Research, 2024, 310: 107600.

7 中国气象局. QX/T 495—2019 中国华北雨季监测指标—华北雨季. 北京: 气象出版社, 2019.
China Meteorological Administration. QX/T 495—2019 Monitoring Indicators for Rainy Season in North China. Beijing: China Meteorological Press, 2019. (in Chinese)

8 Wang Y J, Wang H Y, Song L C. Amplified precipitation extremes since 21st century in the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration, China. Atmospheric Research, 2024, 311: 107695.

9 黄建平, 冉津江, 季明霞. 中国干旱半干旱区洪涝灾害的初步分析. 气象学报, 2014, 72 (6): 1096-1107.
Huang J P, Ran J J, Ji M X. Preliminary analysis of the flood disaster over the arid and semi-arid regions in China. Acta Meteorologica Sinica, 2014, 72 (6): 1096-1107. (in Chinese)

10 IPCC. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and

Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.

11 Sun J N, Zhang H L, Wang T Z, et al. Spatiotemporal variations of global precipitation concentration and potential links to flood-drought events in past 70 years. Atmospheric Research, 2025, 321: 108086.

12 王霞, 王瑛, 林齐根, 等. 气候变化背景下中国滑坡灾害人口风险评估. 气候变化研究进展, 2022, 18(2): 166-176.
Wang X, Wang Y, Lin Q G, et al. Projection of China landslide disasters population risk under climate change. Advances in Climate Change Research, 2022, 18 (2): 166-176. (in Chinese)

13 Zhong J T, Zhang X Y, Zhang D, et al. Plausible global emissions scenario for 2℃ aligned with China's net-zero pathway. Nature Communications, 2025, 16(1): 8102.

14 Zhang X Y, Zhong J T, Zhang X L, et al. China can achieve carbon neutrality in line with the *Paris Agreement*'s 2℃ target: Navigating global emissions scenarios, warming levels, and extreme event projections. Engineering, 2024, 44: 207-214.

15 Zhang D, Huang X D, Zhong J T, et al. A representative CO_2 emissions pathway for China toward carbon neutrality under the *Paris Agreement*'s 2℃ target. Advances in Climate Change Research, 2023, 14(6): 941-951.

16 Peng H T, Zhang D, Zhong J T, et al. Representative CO_2 emissions pathways for China's provinces toward carbon neutrality under the *Paris Agreement*'s 2℃ target. Advances in Climate Change Research, 2024, 15(6): 1096-1106.

17 Jin L, Lu Y X, Hua W, et al. Synergistic reductions of CO_2 and aerosols: Navigating mid-term warming risks for 2℃ climate futures. Advances in Climate Change Research, 2026, 17(1): 1-11.

18 Lu Y X, Jin L, Zhong J T, et al. Earth system responses under a global 2℃ -target scenario aligned with China's carbon neutrality pledge. Environmental Research Letters, 2025, 20 (10): 104049.

19 丁一. 海绵城市规划国际经验研究与案例分析. 城乡规划, 2019, (2): 33-40.
Ding Y. Cases study on international sponge city planning. Urban and Rural Planning, 2019, (2): 33-40. (in Chinese)

Northern Rainstorm Belt and response strategies

HUANG Jianping[1] GUAN Xiaodan[1*] LIU Xiaohuang[2,3] SHEN Xiaohan[1] LIU Xiaojie[3*]

（1 College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;

2 Key Laboratory of Coupling Process and Effect of Natural Resources Elements, Ministry of Natural Resources, Integrated Natural Resources Survey Center, China Geological Survey, Beijing 100055, China;

3 Key Laboratory of Coupling Process and Effect of Natural Resources Elements, Ministry of Natural Resources, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China）

Abstract In the summer of 2025, the Northern Rainstorm Belt stretching from eastern Northwest China to the Northeast region exhibited a significant increase in summer precipitation and rainfall frequency over northern China. Cities in the north were frequently

*Corresponding author

struck by extreme rainstorms, resulting in prominent disasters such as “floods in drylands and urban waterlogging”. Northern China spans a vast territory, serving not only as a major grain-producing area and a densely populated region but also as an ecological security barrier that connects the farming-pastoral ecotone and the Loess Plateau. Its stability has nationwide implications. Therefore, comprehensively enhancing flood control capacity, strengthening urban resilience, and improving climate adaptability in this region are of great significance for ensuring national food security, ecological security, and regional sustainable development. This study provides a comprehensive analysis of the evolution characteristics of the Northern Rainstorm Belt and its impacts on urban waterlogging and cascading disasters in drylands. Furthermore, climate models are employed to project the evolution trends of this rainstorm belt over the next 30 years, highlighting the high risks of its “normalization” and the pattern of “northward and westward expansion”. Based on this analysis, targeted policy recommendations are proposed to enhance urban resilience, improve disaster prevention and mitigation systems, and reduce disaster risks in northern China.

Keywords Northern Rainstorm Belt, urban waterlogging, geological hazards, rainstorm warnings, hazard prevention and control

黄建平 中国科学院院士。兰州大学大气科学学院教授，中国可持续发展研究会副理事长。主要从事半干旱气候变化研究。E-mail: hjp@lzu.edu.cn

HUANG Jianping Academician of Chinese Academy of Sciences (CAS), professor at College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, and vice chairman of Chinese Society for Sustainable Development. He specializes in semi-arid climate change. E-mail: hjp@lzu.edu.cn

管晓丹 兰州大学大气科学学院教授。主要从事干旱半干旱地区极端天气气候变化。E-mail: guanxd@lzu.edu.cn

GUAN Xiaodan Professor at College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University. Her research focuses on extreme weather and climate in arid and semi-arid regions. E-mail: guanxd@lzu.edu.cn

刘晓洁 中国科学院地理科学与资源研究所研究员、资源利用与环境修复重点实验室副主任。主要从事可持续食物系统与政策研究。E-mail: liuxj@igsnrr.ac.cn

LIU Xiaojie Professor of Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences (CAS), deputy director of Key Laboratory of Resource Utilization and Environmental Restoration, CAS. Her main research focuses on sustainable food system and policy. E-mail: liuxj@igsnrr.ac.cn

■责任编辑：岳凌生