

▪ 专家评述 ▪

文章编号: 1672-3317(2023)03-0001-06

极端降水引起的大面积夏玉米减产方法研究

——以 2021 年河南“7·20”强降水事件为例

刘海军, 唐晓培, 杨 丽

(北京师范大学 水科学研究院 城市水循环与海绵城市技术北京市重点实验室, 北京 100875)

摘 要:【目的】建立洪涝条件下夏玉米减产的快速评估方法, 评估 2021 年河南省“7·20”强降水事件对夏玉米产量的影响。【方法】根据 2021 年 6 月 18 日—7 月 29 日河南省逐日的归一化植被指数 (NDVI) 遥感影像数据和 DEM 数据, 利用像元统计法确定“7·20”强降水事件中河南省夏玉米连续被淹区域, 依据夏玉米受淹时长与减产关系以及追肥对受淹夏玉米产量的补偿关系评估“7·20”强降水事件对河南省夏玉米产量造成的影响。【结果】河南省“7·20”强降水事件造成的涝灾区域主要分布在安阳、新乡和郑州, 该次强降水事件造成夏玉米受淹面积共计 261 万 hm^2 ; 中等程度受淹面积 (淹水 3 d) 为 57 万 hm^2 , 严重受淹面积 (淹水 5 d) 为 13 万 hm^2 , 绝收面积 (淹水 ≥ 7 d) 为 20 万 hm^2 。【结论】河南省“7·20”强降水事件造成的夏玉米产量损失为 393 万~491 万 t, 占全省夏玉米总产量的 17%~22% (以 2019 年夏玉米产量为基准), 与调研数据基本一致。因此, 本研究提出的极端降水事件下夏玉米受淹面积快速获取方法和减产估算模式可为变化环境下的粮食估产和国家粮食安全研究提供技术支持。

关 键 词: 强降水; 夏玉米; 受淹面积; 减产评估; 粮食安全

中图分类号: S161.4

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2022395

OSID:



刘海军, 唐晓培, 杨丽. 极端降水引起的大面积夏玉米减产方法研究: 以 2021 年河南“7·20”强降水事件为例[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(3): 1-6.

LIU Haijun, TANG Xiaopei, YANG Li. Approach for Evaluating Summer Maize Yield Losses under Extreme Rainfall Events: A Case Study in “7·20” Heavy Rain Event in Henan Province[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2023, 42(3): 1-6.

0 引 言

【研究意义】河南省是中国粮食主产区之一, 粮食年平均产量约为 6 800 万 t, 其中玉米产量为 2 247 万 t, 占全国玉米总产量的 8.6%^[1]。保障河南省粮食产量对于维护国家粮食安全至关重要。在目前全球疫情暴发、各国都在缩减粮食出口的国际大背景下, 准确评估河南省粮食产量, 尤其是极端气候事件 (如强降水) 条件下的粮食产量至关重要。

【研究进展】作物产量预测常用的方法主要有作物模型法、线性回归法、神经网络法和简单估产法。基于过程的作物模型, 如 DSSAT 模型、EPIC 模型、WOFOST 模型和 RZWQM 模型, 可以在日尺度上模拟作物生长和产量形成。刘维等^[2]采用 WOFOST 模型模拟了 2014 年河南省干旱条件下的夏玉米产量。Liu 等^[3]利用 RZWQM 模型模拟了四平地区极端气候条件下夏玉米的产量变化。然而, 该类方法需要花费大量的时间和精力收集气象、土壤、灌溉和农艺性状等参数, 并且需要反复率定和验证某些无法通过试验

获取的作物品种和土壤特性参数。线性回归和神经网络方法均为统计方法, 这 2 种方法相比作物模型法更为简单, 但需要建立某些因子与产量之间的线性或非线性回归关系, 然后基于构建的关系预测作物产量。Mathieu 等^[4]使用混合效应模型建立了农业气候指数和产量之间的线性关系, 然后预测美国的玉米产量。Cao 等^[5]采用随机森林法和长短期记忆神经网络法建立了多源数据 (包括种植面积、植被指数以及环境变量等) 与产量的关系, 预测了中国各省的水稻产量。基于作物的面积和单产来估算作物产量, 是一种简单且快速的方法, 可适用于极端气候事件对农作物产量的影响评估。王奥枫等^[6]基于该方法评估了 1978—2017 年广西旱灾、水灾、风雹灾与低温成灾 4 种极端气候事件中农作物灾损产量。马天舒等^[7]利用高分辨率遥感影像数据对比了灾前、灾后黑龙江省五常市示范区内水稻的植被归一化指数, 然后预估了受灾面积和作物减产程度。目前为止, 对玉米的研究较少。同时, 如何快速获取受灾面积是关键问题之一。【切入点】遥感数据可以实时记录作物生长状况, 当区域发生自然灾害时, 可以根据每日影像中植被面积的变化情况来判断作物的受灾面积, 然后结合作物单产预估受灾损失产量。【拟解决的关键问题】河南省 2021

收稿日期: 2022-07-15

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51939005); 111 引智基地项目 (B18006)
作者简介: 刘海军 (1975-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事农业水文过程及现代节水灌溉理论和技术研究。E-mail: shanxiljh@bnu.edu.cn

年“7·20”强降水事件造成河南中北部农田大面积受淹,对夏玉米的生长和产量造成了巨大影响。评估该次强降水对玉米产量的影响,可为国家粮食储备和粮食贸易提供基础数据,建立的受灾面积快速诊断方法可为涝灾评估提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 数据来源

河南省逐日的归一化植被指数(NDVI)遥感影像数据以及 DEM 数据来源于美国 NASA 网站(<https://earthdata.nasa.gov>);每日的降水量数据来自国家气象科学数据中心(<http://www.nmic.cn/>);玉米受淹时长与减产关系以及追肥对受淹玉米产量的补偿关系均参考相关大田试验资料。

1.2 图像处理方法

利用 ArcGIS 软件裁剪 NDVI,确定河南省玉米种植区域(海拔小于 200 m,并用中国统计年鉴河南玉米种植区域数据进行校正)。基于 2021 年 6 月 18 日(玉米刚播种,NDVI 指数趋近于 0)(图 1(a))和 2021 年 7 月 16 日(暴雨前,有玉米且 NDVI 数值高)图片(图 1(b)),采用像元统计法确定玉米实际种植区域的像元(图 1(c))。在该区域像元中,统计 7 月 17—29 日中没有玉米植被的连续时间及对应像元数,即为玉米连续被淹时间及对应区域。由图片中河南省像元数与实际面积之间的关系,计算单个像元对应的实际面积,然后估算实际玉米被淹面积。

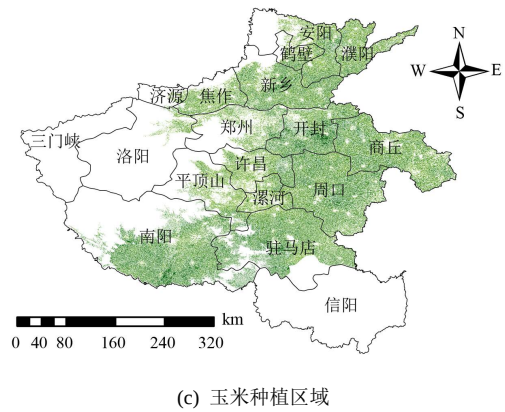
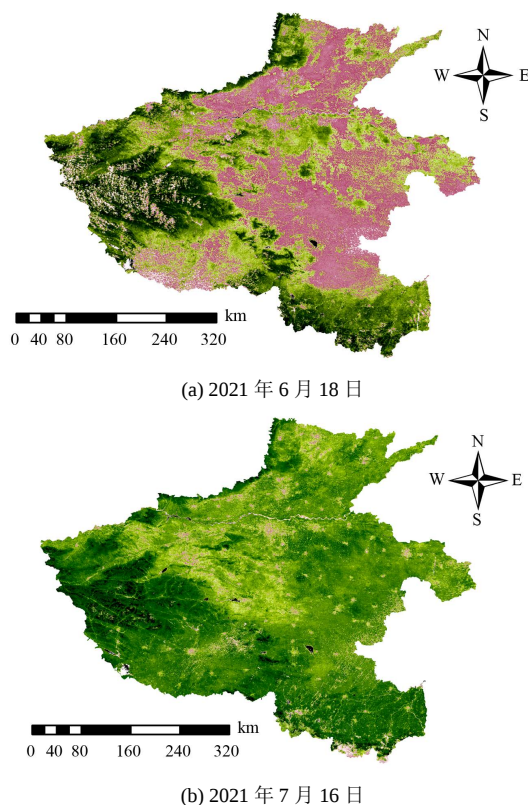


图 1 基于归一化植被指数 NDVI 遥感影像确定的玉米种植区域

Fig.1 The summer maize planting area based on normalized vegetation index in the remote sensing image

1.3 受淹玉米减产比例确定

基于黄淮海区域内周新国等^[8]、刘祖贵等^[9]、马玉平等^[10]、任佰朝等^[11]、许海涛等^[12]、余卫东等^[13]及 Tian 等^[14]的大田试验数据,确定了玉米受淹天数与产量之间的关系;依据丁大伟等^[15]、周青云等^[16]大田试验结果,确定了受淹玉米追肥可缓解受淹影响,并提出优化追肥量 180 kg/hm² 后的产量变化情况,详见表 1。

表 1 玉米连续受淹后及受淹追肥后的产量变化情况

Table 1 Yield changes of summer maize after continuous flooding and topdressing

连续受淹时间/d	1	2	3	4	5	6	≥7
减产比例/%	10	15	30	50	70	90	100
追肥后增产比例/%	30	30	30	30	30	0	0

注 追肥后的增产比例是与受淹后同样天数条件下未采用追肥措施进行的对比结果。

2 结果与分析

2.1 降水量分析

2021 年,河南省“7·20”强降水事件的降水量主要集中在 7 月 17—23 日,各市累积降水量的分布情况如图 2 所示。该次强降水事件的累积降水量呈由北向南的逐渐递减趋势。暴雨中心位置位于河南省北部的安阳、新乡和郑州地区,这些地区 7 d 内的累积降水量均超过了 500 mm。其中,郑州的累积降水量最高,高达 820 mm。降水量低于 200 mm 的区域主要分布在永城、商丘、固始、信阳、桐柏和西峡地区。

2.2 受淹面积分析

此次暴雨的河南省玉米受淹区域约为 261 万 hm²,占玉米播种面积的 68%,各市均受到不同程度的灾害影响。连续淹水 1 d 的区域有 81 万 hm²,占受灾区域总面积的 31%,主要分布在新乡及其邻近城市,此外

还包括漯河、周口、驻马店三地交界处（图 3（a））。连续淹水 2 d 的区域面积为 56 万 hm^2 ，主要分布在济源与焦作交界处、许昌与开封交界处以及商丘西北部（图 3（b））。连续淹水 3 d 的区域面积为 57 万 hm^2 ，主要分布在平顶山中部、驻马店中部、周口东南部、商丘西北部及开封境内（图 3（c））。连续淹水 4、5、6 d 的区域相对减少，分别为 25 万、13 万、9 万 hm^2 。连续淹水 4 d 的区域主要分布在商丘境内（图 3（d）），连续淹水 5 d 的区域主要分布在许昌、漯河、周口及商丘境内（图 3（e）），连续淹水 6 d 的区域主要分布在安阳、鹤壁、新乡及商丘境内（图 3（f））。此外，淹水 7 d 及以上会造成玉米绝产，此区域面积约为 20 万 hm^2 ，主要分布在河南北部的焦作、新乡、鹤壁、安阳以及中东部的许昌、开封、周口、商丘境内（图 4）。

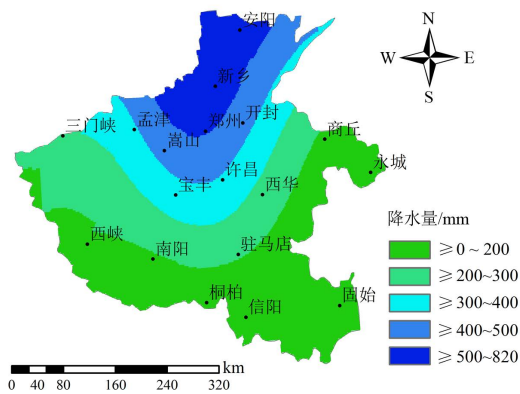


图 2 2021 年 7 月 17—23 日的河南省累积降水量分布
Fig.2 Spatial distribution of cumulative precipitation in Henan Province from July 17 to 23, 2021

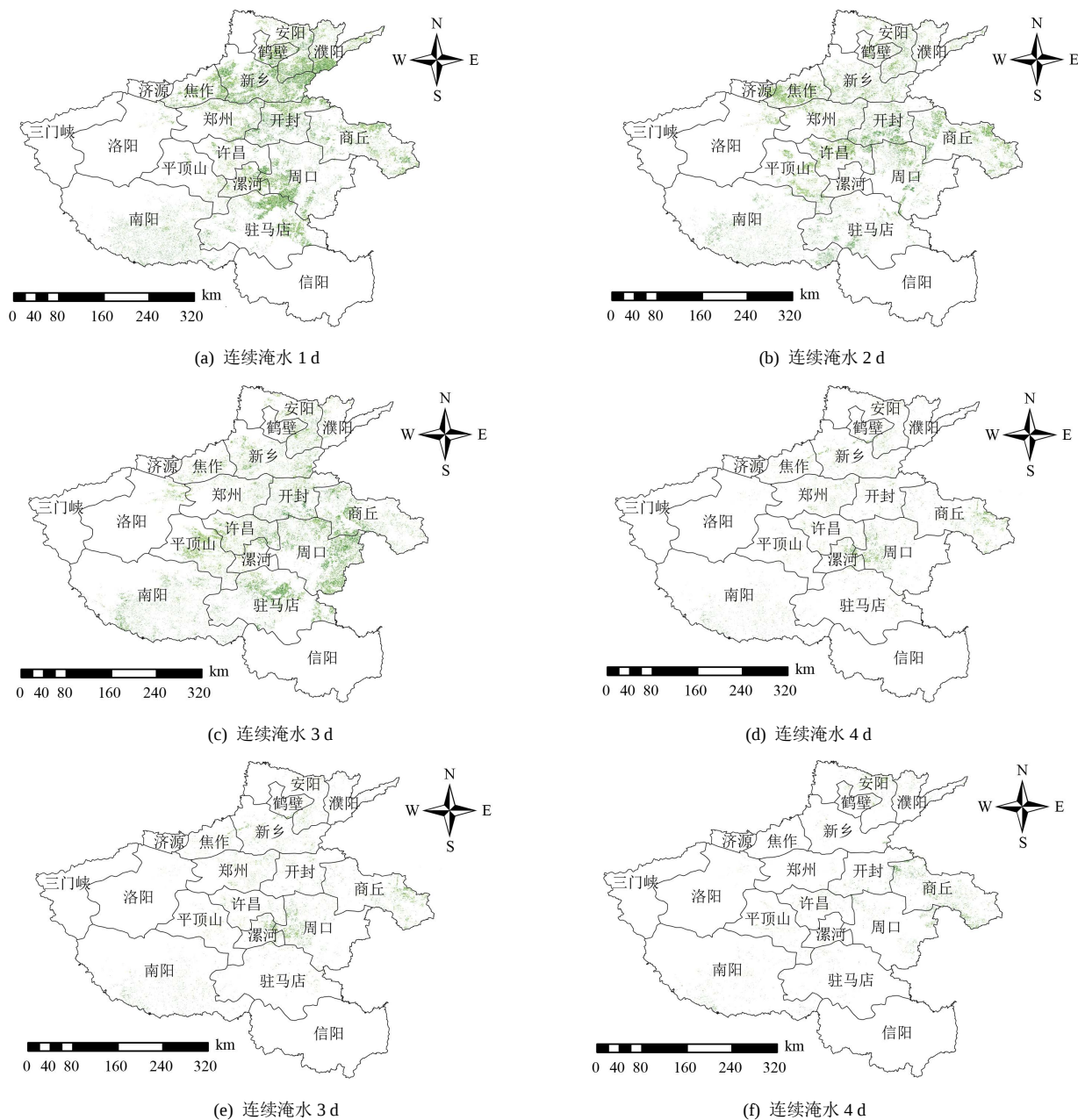


图 3 2021 年 7 月 17—29 日河南省夏玉米连续受淹情况分布

Fig.3 Spatial distribution of continuous flooded area of summer maize in Henan Province from July 17 to 29, 2021



图4 “7·20”强降水造成河南夏玉米绝产的区域分布

Fig.4 Spatial distribution of summer maize with no harvest in Henan Province caused by “7·20” heavy rain in 2021

2.3 减产分析

河南“7·20”强降水事件共造成玉米产量损失约491万t(表2),约占河南省玉米总产量(以2019年数据为基础)的22%,其中绝收区域造成的损失有116万t,占玉米损失量的24%。若后期受淹区域的50%采取适当的追肥措施,可使产量增加98万t,使河南省受灾产量降低为393万t。因此,此次暴雨使河南省玉米产量损失约393万~491万t,占全省产量的17%~22%。

表2 玉米连续受淹及受淹追肥后的产量变化情况

Table 2 Yield changes of summer maize after continuous flooding and topdressing compensation

连续受淹 时间/d	1	2	3	4	5	6	≥7	总和
减产产量/万t	-48	-50	-101	-73	-54	-50	-116	-491
追肥后增加 产量/万t	24	25	35	11	3	0	0	98
总减产产量/万t	-24	-25	-65	-62	-50	-50	-116	-393

3 讨论

河南省是我国玉米主产区之一,玉米产量占全国玉米总产量的8.6%^[1]。由于地理位置和特殊的地形,河南省在历史上曾多次发生洪涝灾害,如1975年的

表3 河南省“7·20”强降水受灾区夏玉米产量调研

Table 3 Survey results on the maize grain losses caused by the “7·20” heavy rain in Henan Province

农户	调研地区	减产率/%	调研信息简述
常XX	鹤壁市山城区	20	20%
张XX	驻马店市驿城区板桥镇	20	20%
刘XX	鹤壁市淇县	20	前年10.5 t/hm ² , 今年8.3 t/hm ² , 减产20%
程XX	安阳市滑县	40~50	往年8.3 t/hm ² , 今年4.5 t/hm ² , 减产40%~50%
轩XX	周口市太康县杨庙乡	12.5	往年6 t/hm ² , 今年5.3 t/hm ² , 减产12.5%
刘XX	商丘市睢县	0	9.8 t/hm ² , 无减产
席XX	三门峡市灵宝市	0	去年7.5 t/hm ² , 今年8.3 t/hm ² , 无减产
王XX	鹤壁市浚县	20	往年8.3 t/hm ² , 今年6.8 t/hm ² , 减产20%
乔XX	商丘永城市	30~80	往年7.5 t/hm ² , 严重受淹1.5~2.3 t/hm ² , 轻微受淹4.5~5.3 t/hm ²
乔XX	安阳林州	0	地势高, 受淹不严重, 产量8.3~9.0 t/hm ²
韩XX	郑州	40~100	基本绝收, 部分3 t/hm ²
韩XX	新乡	50~70	往年12 t/hm ² , 今年3.8 t/hm ² , 其他区域轻受淹6 t/hm ² , 严重绝产
李XX	洛阳偃师市	0	受淹不严重, 基本不受影响, 7.5 t/hm ²
张XX	河南驻马店上蔡县	20	前年8.3 t/hm ² , 今年6.8 t/hm ²
韩XX	商丘虞城县	50~100	积水约30~50 cm; 玉米暴雨前9 t/hm ² 左右, 暴雨后最好的是4.5 t/hm ² , 不好的绝收

“75·8”特大暴雨, 河南省南部地区3 d内降水量达1 605 mm^[17]。2016年的“7·19”强降水事件, 在河南省北部出现特大暴雨, 最大降水量达732 mm^[18]。因此, 及时预测暴雨对作物产量的影响并提出相应的补救措施对保障河南省粮食安全至关重要。

玉米受淹后由于排涝等措施导致氮素淋失, 玉米植株长期缺氧后降低了植株对营养物质吸收的能力^[15]。因此, 玉米受淹后, 会导致玉米缺氮。增施氮肥可以改善作物的生理特征, 弥补涝渍灾害导致的减产, 这种弥补效果与玉米的生长阶段和受淹天数有关。周青云等^[16]研究表明, 玉米拔节期淹水后增施氮肥可以提高叶片的氧化物歧化酶、过氧化物酶和过氧化氢酶的活性, 增加叶片的光合速率、蒸腾速率和气孔导度, 最终使产量提高20%~57%。丁大伟等^[15]研究表明, 受淹玉米在排水后, 追施氮肥对生长和产量具有显著的恢复效应; 与大喇叭口期淹水深度5 cm时长32 h未追肥的处理相比, 追肥可使玉米生物量提高39%~50%, 产量提高5%~22%。本研究中, “7·20”强降水造成河南省玉米产量损失491万t, 若增施纯氮180 kg/hm²进行补救, 可使产量损失减少98万t。洪水或高湿条件导致的玉米主要代谢和生理变化可能会影响植物抵御生物攻击的能力, 导致玉米受淹后受到病虫害影响的可能性增加^[19-20], 玉米在受淹后易产生茎腐病、叶斑病、玉米螟和黏虫等病虫害^[21-23], 因此受淹后对病虫害的防治至关重要。

与2019年的玉米产量相比, 受淹区域造成的减产达17%~22%。在2021年10月也对受淹区域的玉米产量进行了调研, 结果见表3。大部分受淹区域的玉米减产比例在20%~50%之间, 严重区域减产达70%以上, 甚至绝收。在没有减产的区域, 一般地势较高, 排水比较通畅。因此对比调研结果和本文结论可以看出, 本文提出的方法计算得到的河南“7·20”强降水下造成的玉米减产数据是可信的。

2019 年我国玉米总进口量为 479 万 t, 2020 年上半年玉米进口总量为 457 万 t。可见, 我国对玉米的需求量持续增加。2021 年强降水造成的河南省玉米产量损失量高达 390 万~490 万 t, 进一步增加了我国玉米进口的压力, 也对国家粮食安全和经济发展造成影响。考虑到玉米受灾损失和国际进口压力, 建议对受淹玉米管理采取的措施主要有: ①灌浆中后期要及时防治病虫害; ②收获期要尽量颗粒归仓; ③做好玉米的征收和仓储工作, 提高粮食储备; ④进一步评估玉米减产可能造成的国际粮价变化, 构建我国玉米粮食安全的保障机制和对策。

4 结 论

“7·20”强降水事件造成夏玉米受淹面积共计 261 万 hm^2 。其中, 中等受淹面积 (淹水 3 d) 为 57 万 hm^2 , 严重受淹面积 (淹水 5 d) 为 13 万 hm^2 , 绝收面积 (淹水 ≥ 7 d) 为 20 万 hm^2 , 估算夏玉米产量的损失量为 393 万~491 万 t, 占河南省玉米总产量的 17%~22%。本研究获得的玉米产量变化与调研数据一致, 说明构建的玉米受淹面积确定方法和产量计算模式可信。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021.
National Bureau of Statistics of the PRC. China Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2021.
- [2] 刘维, 侯英雨, 吴门新. 基于 WOFOST 模型的 2014 年河南省干旱对夏玉米产量的预估[J]. 中国农学通报, 2016, 32(36): 146-151.
LIU Wei, HOU Yingyu, WU Menxin. Estimate of drought effect on summer maize yield based on WOFOST model in Henan province in 2014[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(36): 146-151.
- [3] LIU Haijun, LIU Yu, ZHANG Liwei. Quantifying extreme climatic conditions for maize production using RZWQM in Siping, Northeast China[J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2019, 12(2): 111-122.
- [4] MATHIEU Jordane, AIRES Filipe. Assessment of the agro-climatic indices to improve crop yield forecasting[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2018, 253-254: 15-30.
- [5] CAO Juan, ZHANG Zhao, TAO Fulu, et al. Integrating multi-source data for rice yield prediction across China using machine learning and deep learning approaches[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2021, 297: 108 275.
- [6] 王奥枫, 陈世恒, 唐湘玲. 极端气候事件对 1978—2017 年广西农作物的灾损影响[J]. 中国农学通报, 2021, 37(14): 106-115.
WANG Aofeng, CHEN Shiheng, TANG Xiangling. The effects of extreme weather events on crops in Guangxi from 1978 to 2017[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2021, 37(14): 106-115.
- [7] 马天舒, 邵靖净, 郭翠翠, 等. 高分辨率遥感在农作物灾害损失评估中的应用: 以黑龙江省五常市水稻灾害损失评估为例[J]. 卫星应用, 2020(9): 14-19.
MA Tianshu, SHAO Jingjing, GUO Cuicui, et al. Application of high-resolution remote sensing in crop disaster loss assessment: A case

- study of rice disaster loss assessment in Wuchang City, Heilongjiang Province[J]. Satellite Application, 2020(9): 14-19.
- [8] 周新国, 韩会玲, 李彩霞, 等. 拔节期淹水玉米的生理性状和产量形成[J]. 农业工程学报, 2014, 30(9): 119-125.
ZHOU Xinguo, HAN Huiling, LI Caixia, et al. Physiological characters and yield formation of corn (*Zea mays* L.) under waterlogging stress in jointing stage[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(9): 119-125.
- [9] 刘祖贵, 刘战东, 肖俊夫, 等. 苗期与拔节期淹涝抑制夏玉米生长发育、降低产量[J]. 农业工程学报, 2013, 29(5): 44-52.
LIU Zugui, LIU Zhandong, XIAO Junfu, et al. Waterlogging at seedling and jointing stages inhibits growth and development, reduces yield in summer maize[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(5): 44-52.
- [10] 马玉平, 孙琳丽, 马晓群. 黄淮海地区夏玉米对干旱和涝渍的生理生态反应[J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(4): 85-93.
MA Yuping, SUN Linli, MA Xiaoqun. Ecophysiological responses of summer maize to drought and waterlogging in Huang-Huai-Hai plain[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2016, 34(4): 85-93.
- [11] 任佰朝, 张吉旺, 董树亭, 等. 生育前期淹水对夏玉米冠层结构和光合特性的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(11): 2 093-2 103.
REN Baizhao, ZHANG Jiawang, DONG Shuting, et al. Effect of waterlogging at early period on canopy structure and photosynthetic characteristics of summer maize[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(11): 2 093-2 103.
- [12] 许海涛, 王友华, 许波, 等. 水涝渍害对夏玉米生理特性和主要产量性状指标的影响[J]. 大麦与谷类科学, 2018, 35(6): 7-11, 29.
XU Haitao, WANG Youhua, XU Bo, et al. Impact of waterlogging on the physiological parameters and main yield traits of summer maize[J]. Barley and Cereal Sciences, 2018, 35(6): 7-11, 29.
- [13] 余卫东, 冯利平, 盛绍学, 等. 黄淮地区涝渍胁迫影响夏玉米生长及产量[J]. 农业工程学报, 2014, 30(13): 127-136.
YU Weidong, FENG Liping, SHENG Shaoxue, et al. Effect of waterlogging at jointing and tasseling stages on growth and yield of summer maize[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(13): 127-136.
- [14] TIAN Lixin, LI Jing, BI Wenshuang, et al. Effects of waterlogging stress at different growth stages on the photosynthetic characteristics and grain yield of spring maize (*Zea mays* L.) Under field conditions[J]. Agric Water Manage, 2019, 218: 250-258.
- [15] 丁大伟, 雍蓓蓓, 陈金平. 追肥对受淹玉米生长和产量的恢复效应[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(12): 37-43.
DING Dawei, YONG Beibei, CHEN Jinping. Restoration effect of fertilizers topdressing on growth and yield of flooded maize[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2019, 38(12): 37-43.
- [16] 周青云, 李梦初, 漆栋良, 等. 拔节期淹水条件下施氮量对春玉米生理特性的影响[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(S2): 40-44.
ZHOU Qingyun, LI Mengchu, QI Dongliang, et al. Effects of nitrogen rate on physiological characteristics of spring maize under waterlogging at jointing stage[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(S2): 40-44.
- [17] 丁一汇. 论河南“75.8”特大暴雨的研究: 回顾与评述[J]. 气象学报, 2015, 73(3): 411-424.
DING Yihui. On the study of the unprecedented heavy rainfall in Henan Province during 4-8 August 1975: Review and assessment[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2015, 73(3): 411-424.
- [18] 栗晗, 王新敏, 张霞, 等. 河南“7·19”豫北罕见特大暴雨降水特征及极端性分析[J]. 气象, 2018, 44(9): 1 136-1 147.
LI Han, WANG Xinmin, ZHANG Xia, et al. Analysis on extremity and characteristics of the 19 July 2016 severe torrential rain in the North of Henan Province[J]. Meteorological Monthly, 2018, 44(9): 1 136-1 147.

- [19] BLOCK Anna, HUNTER Charles, SATTLER Scott, et al. Fighting on two fronts: Elevated insect resistance in flooded maize[J]. *Plant, Cell & Environment*, 2020, 43(1): 223-234.
- [20] 余奎军, 刘永进, 贺奇, 等. 2001—2015年宁夏玉米病虫害发生特征与损失分析[J]. *环境昆虫学报*, 2017, 39(5): 1 071-1 080.
- SHE Kuijun, LIU Yongjin, HE Qi, et al. Characteristic of occurrence and loss from diseases and insect pests in Maize production in Ningxia from 2001 to 2015[J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2017, 39(5): 1 071-1 080.
- [21] 霍治国, 范雨娴, 杨建莹, 等. 中国农业洪涝灾害研究进展[J]. *应用气象学报*, 2017, 28(6): 641-653.
- HUO Zhiguo, FAN Yuxian, YANG Jianying, et al. Review on agricultural flood disaster in China[J]. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2017, 28(6): 641-653.
- [22] 李新梅, 宗勇伟, 张立庄, 等. 玉米细菌性茎腐病的发生规律与防治对策[J]. *安徽农学通报*, 2008(2): 56-57.
- LI Xinmei, ZONG Yongwei, ZHANG Lizhuang, et al. Occurrence law and prevention method of bacterial stem rot of maize[J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2008(2): 56-57.
- [23] 张鑫, 杨普云, 任彬元, 等. 2008—2019年东北三省玉米病虫害发生为害和防治情况分析[J]. *中国植保导刊*, 2021, 41(10): 83-90, 50.
- ZHANG Xin, YANG Puyun, REN Binyuan, et al. Statistical analysis of the occurrence, damage, and control of corn pests in the Northeast of China from 2008 to 2019[J]. *China Plant Protection*, 2021, 41(10): 83-90, 50.

Approach for Evaluating Summer Maize Yield Losses under Extreme Rainfall Events: A Case Study in “7 20” Heavy Rain Event in Henan Province

LIU Haijun, TANG Xiaopei, YANG Li

(Beijing Key Laboratory of Urban Hydrological Cycle and Sponge City Technology,
College of Water Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: 【Objective】Flooding and waterlogging is a common abiotic stress facing agricultural production. Understanding its impact on crop yield is essential to evaluating food supply and security. The objective of this paper is to present a rapid and accurate method for assessing the impact of extreme rainfall events on crops. The method was then applied to evaluate effect of the flooding on 20 July (20/7), 2021 on yield of summer maize in Henan province. 【Method】We used daily normalized vegetation index (NDVI) acquired from remote sensing imageries and DEM data from 18 June to 29 July to estimate the flooded summer maize areas across the province after the 20/7 flooding, using pixel statistic method. The yield loss was estimated based on the relationship between flooding duration and maize yield reduction, as well as the compensatory effect of the topdressing afterwards. 【Result】The flooded areas were mainly located in the north, including Anyang, Xinxiang, and Zhengzhou, affecting 39.09 million ‘mu’ of summer maize, in which 8.51 million ‘mu’ was moderately flooded (continuously flooding 3 days), 1.95 million ‘mu’ was severely flooded (continuously flooding 5 days), and 2.96 million ‘mu’ lost harvest (continuously flooding 7 days). This flooding resulted in a direct loss of 3.93~4.91 million tons of summer maize, accounting for 17%~22% of maize production in the province (based on maize production in 2019). This is consistent with field survey results. The proposed method is thus accurate and reliable, quickly determining flooded cropped areas and estimating their yield losses. 【Conclusion】A method based on remote sensing imageries is developed to evaluate flooding severity, its associated areas and crop yield losses. Comparing with ground-truth data obtained in the 20/7 flooding shows that the method is accurate and reliable.

Key words: heavy rain; summer maize; flooding area; yield loss assessment; food security

责任编辑: 韩 洋