文章编号: 1672 - 3317 (2024) 06 - 0099 - 08

基于遥感监测的沿运洼地内涝特征与影响因素研究

王大勇^{1,3}, 管清花^{1,3*}, 金瑞清², 刘 丹^{1,3}, 窦俊伟², 陈学群^{1,3}, 范明元^{1,3} (1.山东省水利科学研究院, 济南 250014; 2.山东省海河淮河小清河流域水利管理服务中心, 济南 250014; 3.山东省水资源与水环境重点实验室, 济南 250014)

摘 要:【目的】探究沿运邳苍郯新平原洼地内涝特征及影响因素。【方法】以沿运洼地为重点研究区域,在内涝影响范围内开展勘测、遥感解译等,分析洪涝前后归一化差异水体指数(NDWI)及归一化植被指数(NDVI)特征,研究沿运邳苍郯新平原涝洼地内涝影响范围变化及其对农作物长势影响,探索水利设施建设等对灾害范围的影响。 【结果】①受灾作物 2004 年与 2005 年 NDVI 的差值为 0.5,未受灾区域 2004 年与 2005 年 NDVI 差值为 0.25,受灾 作物 NDVI 显著降低,受灾区域内 2005 年整年作物生长情况弱于 2004 年。②台儿庄节制闸建成后可降低洪涝对附 近农田的影响,有效减少洪涝灾害造成的经济损失。【结论】洪涝灾害对洼地内作物长势影响大于洼地外作物,水利 设施建设可以有效减少洪涝灾害造成的经济损失;遥感监测技术是防治洪涝灾害的有效手段。

关键词:沿运洼地;内涝特征;归一化差异水体指数;归一化植被指数;水利设施

中图分类号: P694

文献标志码:A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2023516

王大勇, 管清花, 金瑞清, 等. 基于遥感监测的沿运洼地内涝特征与影响因素研究[J]. 灌溉排水学报, 2024, 43(6): 99-105, 112.

WANG Dayong, GUAN Qinghua, JIN Ruiqing, et al. Using remote sensing to study flooding and its detrimental impact in lowlands of the Grand Canal[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2024, 43(6): 99-105, 112.

0 引 言

【研究意义】我国平原低洼区范围较大,南方北 方均有分布,尤其比较典型的是淮河流域,其地势 "两头翘中间洼",极易形成内涝^[1]。淮河流域平原 区气候条件复杂,极易发生暴雨且时空分布不均^[2]。 现状排涝标准低,大部分地区排涝重现期为5 a,洪 涝灾害频发^[3]。淮河流域涝灾已成为制约该区域社会 经济发展,尤其是制约解决"三农"问题的主要灾害 之一[4]。山东境内淮河流域面积的 60%以上为平原洼 地,沿运邳苍郯新平原洼地地面高程低,易发生内涝, 缺乏泄洪手段^[5],洼地频繁发生旱涝交替,给当地工 农业生产带来惨重损失。平原涝洼地面积广、影响大, 其监测评估与治理难度较大。只有在掌握涝洼地内涝 特征及灾害影响的基础上才能提出有效的防治措施, 因此通过遥感影像和监测数据分析沿运邳苍郯新片 区涝洼地演变特点,研究内涝影响范围变化及其对农 作物长势的影响,分析水利设施建设对提高沿运邳苍 郯新平原洼地防洪排涝能力的效果,对平原涝洼地自

收稿日期: 2023-11-09 修回日期: 2024-04-02

基金项目: 山东省重点研发计划项目(软科学)(2023RKY06001); 山东 省自然科学基金项目(ZR2020QE287, ZR2021MD086); 山东省重点研发 计划(2023CXGC010905) 然灾害防治和流域生态环境保护有重要意义。

【研究进展】国内外学者在平原涝洼地的成因、 洪水风险评估与治理等方面开展了相关研究, Vorogushyn 等^[4]利用一维、二维耦合模型开展了德国 Elbe 河中段河道溃堤洪水演进计算,并对河道下游 居民区和农作物的洪灾损失做出评估; Liu 等^[5]通过 计算河道流量,提出了连接河道与蓄滞洪区耦合水动 力模型的方法; 王九大^[6]分析了淮河流域涝灾成因及 淮河流域涝灾治理效益;张正峰等^[7]以山东省东明县 涝洼地土地整治项目区为研究区,构建了土地整治资 源环境效应的预警指标与模型,并进行警情划分; 朱静儒等^[8]采用经验公式法和数值计算方法对南四 湖湖东蓄滞洪区进行了洪水风险计算,提出了安全建 设方案。张旭昇^[9]利用河道洪水预报模型 MIKE11 HD 和 HEC-RAS 研究了泾河干流的洪水演进,为推进水 动力学方法在河道洪水演算进行了有益的探索。淮河 流域平原区面积约 18 万 km²,平原区易涝土地面积 约 10 万 km^2 (其中耕地约 667 万 hm^2),约占平原区 总面积的 56%^[4-5]。现状排涝标准低,大部分地区排 涝重现期标准不足5a,洪涝灾害频发^[5]。据统计,1960 一2022年, 其中 1960、1963、1972、1974、1982、 1986、1991、1993、1996、2003、2005、2006、2008、 2009、2011、2012、2018年受灾面积占涝洼地面积的 50%以上,平均每 3~5 a 就发生 1 次大的涝灾^[10]。严

作者简介: 王大勇(1980-),男,山东济南人。高级工程师,硕士,主要研究方向为水资源管理。E-mail:skybgs@163.com

通信作者:管清花(1981-),女,山东潍坊人。高级工程师,硕士,主要研究方向为水资源与水环境。E-mail: qhguan0120@163.com

^{©《}灌溉排水学报》编辑部,开放获取 CC BY-NC-ND 协议

重的涝灾不仅使农作物受灾,农村居住环境和交通条 件恶化,甚至危及部分城镇和工矿区的安全^[11]。【切 入点】国内外在对平原区涝洼地的风险评估与治理等 方面应用勘测、模拟等技术手段对洪水演化等进行了 大量研究,在洪水风险计算和防控预案方面取得了较 好成果,但目前在对涝洼地内涝特征和影响过程研究 较少,尤其在区域连续性遥感数据和影像的可视化演 变特征分析方面有待深入研究。【拟解决的关键问题】 为此,借助遥感技术将时间尺度纳入大尺度区域涝洼 地淹没过程分析,通过现场测量与遥感数据解译等技 术手段,研究淹没范围变化、作物长势特征与水利调 蓄工程对洪涝灾害防治效果,分析沿运邳苍郯新片区 涝洼地内涝特征与演变,为涝洼地治理及洪涝灾害后 规划建设提供决策依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

沿运片邳苍郯新片区治理洼地总面积 2 894.29 km²,其中沿运片涉及枣庄市的峄城区、台儿庄区,总面积 586.29 km²;邳苍郯新片涉及临沂市的兰陵县、郯城县、罗庄区、兰山区、河东区、临沂经济技术开发区,总面积 2 308 km²。其中沿运片洼地 36.79 m 等

高线以下地区土地常年承受河侧渗影响,常年地下水 埋深为 0.2~0.3 m,严重的在地上积水 0.1~0.2 m,地 表水和地下水基本失去了自排条件^[12]。1996 年京杭 运河续建工程告竣,台儿庄运河的 42.5 km 主航道全 部达到三级标准,本文主要研究沿运邳苍郯新片区数 据,选取洪涝灾害前后、水利设施建设前后灾年影像 数据,分析涝洼地洪涝灾害影响特征及水利工程建设 对洪涝后果的影响。

1.2 Landsat 数据及筛取水体信息方法

本次分析台儿庄洪涝灾害年份水体淹没范围,通 过查询监测区域 1980—2020 年历史受灾时间及受灾 情况(表1),得到可以覆盖监测区域并且时相在受 灾月份前后2个月内、云量<10%的影像共21景。2005 年洪涝灾害受灾范围较大,遥感数据满足对受洪涝灾 害前后的分析要求。因此,本研究着重分析 2005 年 洪涝灾害前后水体淹没区域及对作物影响情况,并选 取洪涝灾害前1年对应月份影像数据作为对照数据, 辅助确定洪涝灾害过后水体淹没区域的变化情况。为 进一步分析 1980—2020 年水利设施建设对洪涝灾害 的影响,选取 1991、2003、2005、2011、2016、2017 年洪涝灾害年份影像数据,分析洪涝灾害过后水体淹 没范围变化情况。

表]	l	1980-	-2020	年洪涝	灾害	情况	及影信	象时相

rab.1 Frood disaster situation and image time phase from 1980 to 2020						
年份	受灾月份	受灾情况	影像时相	影像数据源		
1086 7日	7日	△区过水西和 12 000 hm ² 和水齿穴 < 200 hm ²	6月5日	Landsat4		
1980	7 月	至区过小面积 12 000 mm , 积水成火 6 200 mm 。	8月9日			
			5月2日			
1001	5 7 H		7月5日	Landsat5		
1991	5—7月	台几庄 4 000 nm 农田桧木, 6 667 nm 作初倒认。	7月30日			
			8月22日			
1993	8月15日	峄城区受灾面积 13 333 hm ² , 绝产 3 333 hm ² 。	/	/		
			6月20日	Landsat5		
2003 7月24	7月24日—8月14日	18 000 hm ² 农田受淹, 2 533 hm ² 农作物绝产。	8月7日			
			9月24日			
2005		峄城区及周边地区过水面积 10 267 hm ² ,	9月13日	Landsot 5		
2003	9月20日—10月0日	成灾面积 6 533 hm ² , 绝产 4 867 hm ² 。	10月15日	Lanusats		
2007	7月4日—5日	台儿庄受灾农田面积 11 267 hm ² ,峄城区受灾面积 8 267 hm ² 。	5月14日	Landsat5		
2009	8月17日	台儿庄受灾面积 6 400 hm ² ,过水面积 2 800 hm ² 。	8月30日	Landsat5		
2011	8月26—27日	台儿庄受灾面积 2 800 hm ² ,成灾面积 1 000 hm ² 。	9月30日	Landsat5		
2012		据	8月11日	L on doot9		
2015	7月4日	峄城区过水面积 800 nm ,内拐 - 333 nm ,成灭 200 nm 。	8月27日	Lanusato		
2016	6 月	台儿庄受灾面积 333 hm ² ,峄城区受灾面积 467 hm ² 。	7月25日	Landsat8		
2017	7—8 月	峄城区码定面和 0.222 hm ² 今世 庄 码 定面和 1.222 hm ²	5月25日	Landsat8		
2017		呼吸亾又火围伤 2 555 mm ,百几庄文火围伤 1 555 mm 。	9月14日			

注 1993年8月无符合条件的影像。

洪涝灾害遥感监测的基本原理是水体在影像上 的光谱特征不同于其他地物,水体因对入射能量具有 强吸收性,所以在大部分遥感传感器的波长范围内, 总体上呈现较弱的反射率,并具有随着波长的增加而 进一步减弱的趋势(图 1)。通过 Landsat5 影像下的 水体特征,实现水体的信息提取,本文采用归一化差 异水体指数(*NDWI*)提取水体信息^[13],计算式为:

NDWI = (Green-NIR)/(Green+NIR), (1)

式中: Green 代表绿波段, NIR 代表近红波段, 在 Landsat 影像中分别为 2、4 波段。



第6期

图 1 不同地类在 Landsat 影像中的波段特征

Fig.1 Band characteristics of different land classes in

Landsat images

但该指数只考虑了植被因素,忽略了土壤和建筑物。由于土壤和建筑物在绿光和近红外波段的波谱特征与水体几乎一致,因此,采用 NDWI 计算出的建筑物和土壤也为正值^[14]。通过利用中红外波段代替近红外波段,可以有效排除建筑物和植被提取水体的干扰^[15],本次采用改进的归一化植被指数(NDWI)提取水体信息,计算式为:

NDWI = (*Green-MIR*)/(*Green+MIR*), (2) 式中: *MIR* 为中红外波段,即 Landsat5 影像 5 波段; 其他同上。

1.3 MODIS 数据及筛选 NDVI 方法

为研究灾害前后作物生长变化情况,掌握灾情动态信息变化,查询下载了2004年和2005年共46期 MODIS MOD13Q1数据。MODIS MOD13Q1产品分辨率为250m,为16d合成的栅格植被指数产品,1a 一般可收集23期产品数据,共包括12个数据层,数 据层参数见表2。通过对比受灾范围和非受灾范围作物在2004年和2005年的生长变化情况,分析洪涝灾 害对作物生长状况的影响。

表 2 MOD13Q1 产品 12 个数据层参数

Tab.2	12 data	layer	parameters	of MOD13	3Q1	produc
-------	---------	-------	------------	----------	-----	--------

• •			
产品层	单位	有效值范围	缩放因子
250 m 16 days NDVI	/	(-2 000, 1 000)	0.000 1
250 m 16 days EVI	/	(-2 000, 1 000)	0.000 1
250 m 16 days VI Quality	节	(0, 65 534)	NULL
250 m 16 days red reflectance	反射率	(0, 10 000)	0.000 1
250 m 16 days NIR reflectance	反射率	(0, 10 000)	0.000 1
250 m 16 days blue reflectance	反射率	(0, 10 000)	0.000 1
250 m 16 days MIR reflectance	反射率	(0, 10 000)	0.000 1
250 m 16 days View zenith angle	度	(-9 000, 9 000)	0.01
250 m 16 days sun zenith angle	度	(-9 000, 9 000)	0.01
250 m 16 days relative azimuth angle	度	(-3 600, 3 600)	0.1
250 m 16 days composite day of the year	天	(1, 366)	NULL
250 m 16 days pixel reliability	等级	(0, 3)	NULL

本次需提取 NDVI 数据层, 获取自 2004 年 1 月一 2005 年 12 月每半个月 1 期共 46 期 NDVI 数据。覆盖 研究区的 MODIS 影像数据的行列号为 h27v05。采用 NASA 开发的 MODIS 数据 MRT 软件进行多期影像

数据 NDVI 产品提取^[16]。由于 MOD13Q1 数据产品 是以 16 位整型数据保存的,产品缩放比例系数为 0.000 1。因此,需要对 NDVI 数据产品进行波段运算, 获取真实反射率^[17-18]。即:

$$f=DN \times factor,$$
 (3)

式中:f为反射率真值;DN为MOD13Q1数据存储值; factor为系数。

分别对 2004 年 23 期 NDVI 数据和 2005 年 23 期 NDVI 数据按照时间序列进行排序,并进行叠加组合, 获得 2004 年和 2005 年 23 个波段的 NDVI 时间序列 数据。根据监测区域范围对数据进行裁剪,获取监测 区域内的 NDVI 数据集(图 2 和图 3)。







图 3 2005 牛 NDVI 时序数据集平期示息图



2 结果与分析

2.1 涝洼地洪涝灾害及影响

由于 2005 年峄城区及周边地区过水面积 10 267 hm², 成灾面积 6 533 hm², 绝产面积 4 867 hm², 研究区受灾严重,因此选取 2005 年作为灾害代表年, 2004 年作为未受灾代表年,其种植结构不会发生较大变化,故提取 2004 年和 2005 年数据开展灾情动态 信息提取工作,在提取洪涝影响下的水体淹没区域基 础上^[19-20],针对淹没区域的农作物生长状况,评估洪 涝灾害对农作物长势造成的影响。基于 2005 年 9 月 13 日(洪涝灾害前)和 10 月 15 日(洪涝灾害后) Landsat5 影像数据,应用 *NDWI* 指数提取监测区域水 体信息特征,将提取出水体信息矢量化。图 4 为洪涝 灾害前、后水体信息提取结果,京杭运河两岸在2005 年洪涝灾害后水域范围明显变大,部分水库也出现水 面增大的情况。叠加2004年10月28日(未受灾年 份相应月份)影像数据局部水域范围可知,2005年9 月26日—10月6日暴雨对京杭运河两岸的农田产生 巨大影响,大量农田被水淹没。



根据 Landsat5 时相为 2004 年 9 月 10 日和 2004 年 10 月 28 日的未受洪涝灾害前影像,图 5 为应用 *NDWI*指数提取 9 月和 10 月监测区域水体信息特征。 对比 2004 年和 2005 年对应月份影像数据可知,在 2005 年 10 月 15 日京杭运河沿岸水域范围扩大与 2005 年 9 月 26 日—10 月 6 日暴雨有关,故采用遥感 技术手段可以监测洪涝灾害后水体淹没变化范围。





flood disaster in 2005

根据已知的水体淹没区域,选取农作物被淹没区 域划定多个研究区(图5、图6),编号1~4为受淹农 作物区域,编号5~7为未受淹农作物区域,利用 MODIS数据提取1~7号区域作物2005年洪涝灾害年 度的*NDVI*时间序列。为排除作物不同造成的*NDVI* 变化趋势不同的影响,设定洪涝灾害前一年为对照组, 假设在1~7号研究区域内洪涝灾害前一年(2004年) 和洪涝灾害年(2005年)种植作物相同,提取1~7 号研究区域内洪涝灾害前一年作物*NDVI*时间序列数 据,并与洪涝灾害年对应区域作物对比,分析洪涝灾

害对作物生长状况的影响,具体变化趋势见图 7。



图 6 研究区域划定(蓝线、黄线分别为洪涝灾害前后水域范围)



Fig.7 Variation trend of *NDVI* in disaster and non-disaster-affected areas in disaster-affected and non-disaster-affected years

洪涝灾害区域作物 2004 年与 2005 年 NDVI 差值 为 0.5,而未受洪涝灾害区域 2004 年与 2005 年 NDVI 差值为 0.25。2005 年洪涝灾害年份,淹没区域作物 长势明显弱于非洪涝灾害年,说明洪涝灾害过后洪水 淹没区域作物长势受到明显影响,作物 NDVI 值显著 降低。未受洪涝灾害区域作物在 2004 年与 2005 年变 化趋势大致相同,但 2005 年 10 月上旬后(时间序列 18 期) NDVI 值仍在下降,且明显低于 2004 年;从 10 月下旬开始 2 个年份 NDVI 差值有明显升高,尤其 到 11 月上旬(时间序列 20 期)差值达到最高(0.25), 说明自 2005 年 10 月下旬开始该区域作物生长状态明 显弱于 2004 年,排除作物本身物候影响,洪涝灾害 对未被水淹没的作物也存在一定影响。

图 8 和图 9 分别为未受洪涝灾害区域作物 2004 年 NDVI 差值和受洪涝灾害区域作物 2005 年 NDVI 差值。2005 年,从 3 月上旬一12 月下旬(时间序列 5~23 期) NDVI 值明显低于 2004 年,且整体差值呈 上升趋势,尤其是在 8 月下旬(时间序列 15 期)、10 月上旬(时间序列 18 期)和 11 月下旬(时间序列 21 期) NDVI 差值大于 0.5。说明在 2 a 种植作物相同的 情况下,受灾区域内 2005 年整年作物生长情况弱于 2004 年,尤其是从夏季开始(6 月上旬时间序列 11

期), 2004年与 2005年作物 NDVI 差值几乎一直大于 0.2。涝洼地内作物受到暴雨影响下生长状况会受到 很大的影响,暴雨对洪涝洼地作物影响程度明显大于 非洪涝洼地内作物。





Fig.9 NDVI difference 2005 in disaster-affected area

2.2 水利设施对洪涝灾害影响

研究区 1972 年投资建成了台儿庄节制闸和台儿 庄船闸,在伊家河上建起了刘庄节制闸和刘庄船闸, 以及李庄、刘庄、花山子等港口码头。1996年,完 成了京杭运河续建工程,台儿庄运河 42.5 km 主航道 全部达到三级标准。应用高分辨率遥感影像数据,提 取研究区域内主要闸坝位置,详见图 10,依据对 Landsat5 影像光谱特征的分析,采用 NDWI 指数提取 1991年7月5日(5-7月为洪涝灾害时间)和2003 年8月7日(7月24日--8月14日为洪涝灾害时间) 水体信息,具体洪水淹没情况如图 11 所示,淹没面 积见表3。

对比1991年洪涝灾害年份数据(建成前)和2003 年洪涝灾害年份数据(建成后)可知,台儿庄节制闸 附近 1.5 km 内 1991 年洪水淹没面积共 1.07 km²,其 中淹没河道面积 0.489 1 km², 淹没耕地面积 0.584 8 km²; 而 2003 年河道淹没面积 0.888 8 km², 未对耕地 形成大面积的淹没, 2003 年较 1991 年淹没面积减少 了 0.185 1 km²,尤其减少了耕地淹没面积。在 1991 年水利设施尚不健全时,洪涝灾害会影响到邻近的农

田,造成农田被水淹没,而 2003 年,洪涝灾害发生 时洪水得到有效的分流疏通,并在涝洼地附近建成排 涝站等水利设施,未对邻近农田造成明显影响。因此, 水利设施建成后可在应对洪涝灾害方面起到积极作 用,降低洪涝对附近农田的影响,进而有效地减少洪 涝灾害造成的经济损失。



图 10 台儿庄闸坝位置分布图 Fig.10 Dam location distribution in Taierzhuang





(a) 1991年7月5日



(b) 2003 年 8 月 7 日 图 11 台儿庄节制闸附近洪水淹没情况

Fig.11 Flood inundation near Taierzhuang control gate 表 3 台儿庄节制闸附近 1.5 km 范围内淹没面积

Tab.3 The area of flood inundation in 1.5 km near

Taierzhuang control gate

	5	•		
时间	淹没区域类型	淹没区域面积/km ²	合计	
1001 年 7 日 5 日	耕地	0.584 8	1.073 9	
1991 平 / 月 3 日	河道	0.489 1		
2003年8月7日	河道	0.888 8	0.888 8	

2.3 洪涝灾害演化分析

图 12 是根据 1980—2020 年的 Landsat 影像数据 情况提取的 NDWI 指数,分析的洪水灾害过后水体淹 没范围。根据 1991 年以来的 Landsat 影像数据,结合 监测区域范围,选取 1991、2003、2005、2011、2016、 2017 年洪涝灾害后 1 个月内遥感影像,分析洪涝灾 害水体淹没范围变化情况,并结合 1991 年水利设施 未完善时洪涝灾害范围,进一步分析水利设施对洪涝 灾害的影响。



Fig.12 Flood inundation area after flood disaster

对比 1991 年和 2003 年洪涝灾害后水体淹没范围 可知(图 11),水利设施不完善时(1991 年)洪涝灾 害对该区域的农田、村落造成显著影响,大面积农田 和村庄被水淹没,造成巨大的经济损失。而 2003 年 水利设施完善时,经闸坝、排涝站等水利设施处理, 被水淹没范围明显减少。根据 2003—2017 年洪涝灾 害后 NDWI 指数提取水体淹没范围可知,与 1991 年 水利设施不完善时相比,除 2005 年洪涝灾害对韩庄 运河和陶沟河相交处农田造成一定影响外,其他年份 洪涝灾害影响被有效控制,说明水利设施建设后可起 到有效抵御洪涝灾害的作用。

3 讨论

3.1 NDWI 指数对内涝特征的影响分析

对比 1991、1996、2003 年台儿庄节制闸附近 Landsat 影像的 NDWI 数据,2003 年淹没面积较 1991 年减少了 0.185 1 km²,尤其耕地淹没面积减少。调查 表明 1991 年台儿区 2 次受暴风雨袭击,全区 4 000.2 hm²农田绝收,6 667 hm²作物倒伏。2003 年台儿庄 区连续中到大雨,大水造成 17 334.2 hm²农田受淹, 2 533.5 hm²农作物绝产。该区内涝形成受地理位置、 气候及工程条件的影响,在地势低洼地区,本地雨水 排不出积成内涝,附近高地的雨水流向这些洼地,造 成深积水形成严重涝灾;在地势稍高的区域沟渠不配 套,雨水不能及时排出;沿河地区由于河水高涨或顶 托内水,造成不同程度的涝灾^[21]。实际在 1996 年该 区完成了京杭运河续建工程,涝洼地附近建成了闸坝、 排涝站等水利设施,洪涝灾害发生时洪水得到有效的 分流疏通,从而 2003 年较 1991 年水淹范围明显减小。

洪水风险分析在文献资料中多采用模型分析方 法^[22],模拟计算洪水演进过程,评估区域居民与农作 物的洪涝灾害情况。本文通过解译不同时期的遥感影像信息,提取植被、水体等地球表面特征,分析沿运 邳苍郯新区涝洼地成因特征及水利设施的影响,其应 用了遥感数据获取速度快、及时性和现象性的特征, 体现了遥感技术应对自然灾害、环境变化与处理紧急 洪涝灾害等方面的优势。

3.2 NDVI 指数对植被灾害影响的量化分析

NDVI 值是分析农作物长势和营养信息的重要指标之一,作物在生长的不同时期受降雨影响不同呈现的 NDVI 值不同^[23],毛英等^[24]通过分析土壤和植被的 NDVI 对研究区域植被覆盖度分级分区。本文利用 MODIS 数据分析研究区未受灾年 2004 年和灾害年 2005 年受灾区域作物的 NDVI 差为 0.5,未受灾区域 NDVI 差为 0.25,受灾区域 NDVI 差值越大,相应的 作物 NDVI 值显著降低,而被水淹没区域的作物长势 明显弱于非洪涝灾害区域的作物。

本研究表明,利用 NDVI 差值能够较好地分析作物受洪涝灾害的影响程度,这与毛英等^[24]研究结论一致,即植被覆盖度与 NDVI 之间存在极显著的线性关系。本文重点应用 NDVI 差值分析作物受洪涝灾害影响的程度,因此探索不同频率降雨条件下区域植被变化与 NDVI 值变化,量化 NDVI 差值区间与对应的灾害程度,能够为洼地内洪涝灾害监测、防灾减灾与灾害评估提供重要的依据。

4 结 论

1)受灾区域作物 NDVI 差值较未受灾区域明显偏 大,洪涝灾害对洼地内作物长势影响大于洼地外作物, 水利设施建设可有效减少洪涝灾害造成的经济损失。

2)利用 Landsat 影像下的水体特征,采用 NDWI 可有效分析洪水过后水体淹没范围和作物受灾面积, 利用遥感数据能够有效掌握洪涝灾害的影响范围,为 洼地洪涝灾害监测、防灾减灾提供数据支撑。

(作者声明本文无实际或潜在利益冲突)

参考文献:

[1] 高亮. 基于 HEC-RAS 模型的惠济河开封段防洪除涝研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2013.

GAO Liang. Research on the flood control and waterlogged elimination of huiji river in kaifeng city based on HEC-RAS[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2013.

- [2] 郁耀闯, 徐秋月, 王长燕, 等. 明清时期渭南地区旱涝灾害的多尺度 变化特征[J]. 灌溉排水学报, 2021, 40(7): 130-137.
 YU Yaochuang, XU Qiuyue, WANG Changyan, et al. Drought and flooding over Ming and Qing dynasties in Weinan of Shaanxi Province and their determinants[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2021, 40(7): 130-137.
- [3] 陆垂裕,柳炳俊,孙青言,等.淮河中游北岸地区内涝与外洪遭遇分析[J]. 自然灾害学报, 2016, 25(1): 19-25.
 LU Chuiyu, LIU Bingjun, SUN Qingyan, et al. Analysis of inner and outer flood encounter in north bank area of the Huaihe River midstream[J]. Journal of Natural Disasters, 2016, 25(1): 19-25.
- [4] VOROGUSHYN S, LINDENSCHMIDT K E, KREIBICH H, et al. Analysis of a detention basin impact on dike failure probabilities and flood risk for a channel-dike-floodplain system along the River Elbe, Germany[J]. Journal of Hydrology, 2012, 436: 120-131.
- [5] LIU Q, QIN Y, ZHANG Y, et al. A coupled 1D-2D hydrodynamic model for flood simulation in flood detention basin[J]. Natural Hazards, 2015, 75(2): 1 303-1 325.
- [6] 王九大. 淮河流域重点平原洼地涝灾综合治理对策研究[J]. 水利经济, 2008, 26(6): 51-54, 69-70.

WANG Jiuda. Comprehensive countermeasures for waterlog treatment of key plain depressions in the Huaihe River Basin[J]. Journal of Economics of Water Resources, 2008, 26(6): 51-54, 69-70.

- [7] 张正峰,刘静,周小平. 东明县涝洼地整治项目资源环境效应预警[J].
 中国土地科学, 2013, 27(4): 72-78.
 ZHANG Zhengfeng, LIU Jing, ZHOU Xiaoping. Pre-warning system for the resource-environment effects of the low-lying land consolidation project in Dongming County[J]. China Land Science, 2013, 27(4): 72-78.
- [8] 朱静儒,杨丽原,闫芳阶,等.南四湖湖东蓄滞洪区风险区划研究[J]. 海洋湖沼通报, 2014(4): 91-96.
 ZHU Jingru, YANG Liyuan, YAN Fangjie, et al. Risk zoning of detention basins in the east of Nansi lake[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2014(4): 91-96.
- [9] 张旭昇. 泾河部分河段河道洪水演算研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2012. ZHANG Xusheng. Study on river course flood routing in part reach of Jing River[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2012.
- [10] 李洪亮,张鹏,徐伟,等.淮河流域平原洼地致涝原因及除涝对策措 施简述[J].治淮,2009(9):8-9.
- [11] 姜健俊,孙浩,朱义宏.淮河流域重点平原洼地治理对策思考[J]. 治淮,2011(4):13-14.
- [12] 李智广, 袁利. 淮河流域黄泛平原风沙区水土流失监管重点[J]. 中国水土保持, 2020(7): 7-10, 60.
 LI Zhiguang, YUAN Li. Key supervision points of soil and water loss in the wind and sand area of Yellow River Flood Plain of Huaihe River Basin[J]. Soil and Water Conservation in China, 2020(7): 7-10, 60.
- [13] 周帆. 基于多源遥感数据的滑坡地质灾害易发性评价: 以斯里兰卡 马塔勒区为例[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2020.

ZHOU Fan. The evaluation of landslide susceptibility based on Multi-source remote sensing: Applocation to the Matara District, Sri Lanka[D]. Mianyang: Southwest University of Science and Technology, 2020.

- [14] MCFEETERS S K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features[J]. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17(7): 1 425-1 432.
- [15] CHEN Y, FAN R S, YANG X C, et al. Extraction of urban water bodies from high-resolution remote-sensing imagery using deep learning[J]. Water, 2018, 10(5): 585.
- [16] WANG Z B, GAO X, ZHANG Y N, et al. MSLWENet: A novel deep learning network for lake water body extraction of google remote sensing images[J]. Remote Sensing, 2020, 12(24): 4 140.
- [17] 程彦培,张发旺,董华,等. 基于 MODIS 卫星数据的中亚地区水体 动态监测研究[J]. 水文地质工程地质, 2010, 37(5): 33-37. CHENG Yanpei, ZHANG Fawang, DONG Hua, et al. Wetland dynamic monitoring in central Asia based on MODIS image[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2010, 37(5): 33-37.
- [18] 张鸿芳, 姚晓军, 肖建设, 等. 2020 年青海省面积≥1.0 km2 湖泊边 界数据集[J]. 中国科学数据, 2023, 8(1): 308-320.
 ZHANG Hongfang, YAO Xiaojun, XIAO Jianshe, et al. A dataset of boundaries data of the lakes(≥1.0 km²)in Qinghai Province in 2020[J].
 China Scientific Data, 2023, 8(1): 308-320.
- [19] 胡凯龙,刘明博,贾松霖.环境减灾二号 A/B 卫星在洪涝灾害农作物恢复动态监测中的应用[J]. 航天器工程, 2022, 31(3): 135-140.
 HU Kailong, LIU Mingbo, JIA Songlin. Application of HJ-2A/B satellites image crop restoration dynamic monitoring in flood disaster[J].
 Spacecraft Engineering, 2022, 31(3): 135-140.
- [20] 王柳,张秋玲,张跃峰,等. 我国农田水利工程建设抵御水旱灾害效 果评估[J]. 灌溉排水学报, 2021, 40(11): 129-136.
 WANG Liu, ZHANG Qiuling, ZHANG Yuefeng, et al. Evaluating the improved ability of irrigation water conservancy engineering projects since 2011 in mitigating flood and drought in China[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2021, 40(11): 129-136.
- [21] 李燕, 夏广义. 淮河中游易涝洼地涝灾特性及成因研究[J]. 水利水 电技术, 2012, 43(6): 93-96.
 LI Yan, XIA Guangyi. Study on characteristics and causation of waterlog disaster of waterlogging depressions along mid-reach of

YANG Guishu, ZHOU Jinhua, WANG Chaolei. Research on flood control and waterlogging system of Yancheng Didong region based on MIKE11 model[J]. Water Conservancy Construction and Management, 2017, 37(9): 28-32.

[23] 陈学群, 管清花, 刘彩虹, 等. 基于多源多时相遥感数据的济南趵突 泉重点渗漏带演变研究[J]. 灌溉排水学报, 2021, 40(S1): 21-25. CHEN Xuequn, GUAN Qinghua, LIU Caihong, et al. The evolution of major leakage zone in Ji'nan Baotu spring area by multi-source and multi-temporal remote sensing data[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2021, 40(S1): 21-25.

[24] 毛英,原作强,高清明,等. 基于 MODIS-NDVI 的乐安湿地植被覆 盖动态分析[J].四川林业科技, 2019, 40(3): 42-46, 70.
MAO Ying, YUAN Zuoqiang, GAO Qingming, et al. Dynamic analysis of vegetation cover in Le'an wetland based on MODIS-NDVI[J]. Journal of Sichuan Forestry Science and Technology, 2019, 40(3): 42-46, 70.

The impact of soil cadmium contamination on growth and cadmium accumulation in the seedlings of different pumpkin hybrid varieties

ZHANG Yuguang¹, CHEN Rui², GUO Huidan¹, LU Xue¹, CHEN Bihua^{1*},

GUO Weili¹, LI Qingfei¹, LIU Zhenwei¹, CHEN Xuejin¹, LI Xinzheng¹

(1. School of Horticulture and Landscape Architecture, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China;

2. Sumy National Agrarian University, Sumy 40000, Ukraine)

Abstract: [Objective] Soil contamination by cadmium (Cd) is a problem for agriculture production in many countries. One remediation method is to improve the tolerance of crops to Cd. In this paper, we investigate the tolerance of the seedlings of different pumpkin varieties to Cd contamination and Cd accumulation in the plants. [Method] The experiment compared seven pumpkin varieties: 360-3×041-1, Yanbian-4×Lingchuanc1, Yanbian-3×360-3, Yanbian-2×041-1, Hetou a2×360-3, Yanbian-3×Lingchuan c1, and Hetou a2×041-1. They were all grown in pots repacked with soils contaminated by Cd at concentration of 0, 8 and 16 mg/L, respectively. During the experiment, we measured the growth, physiological traits of the plants, as well as Cd accumulation in the plants. [Result] ① Compared to the control without Cd contamination, Cd stress significantly reduced plant height, dry and fresh mass of the Yanbian-3×Lingchuan c1 and Hetou a2×041-1 varieties, but had no significant impact on the $360-3\times041-1$ variety. (2) Regardless of Cd stress levels, the 360-3×041-1 had the highest activities of superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD) and catalase (CAT), and the lowest electrical conductivity. ③ The Cd content in the above-ground part of 360-3×041-1 and Yanbian-4×Lingchuan c1 was significantly lower than that in other varieties; their associated Cd transfer coefficient was small and the Cd accumulation was low. ④ Comprehensive analysis showed that in soil contaminated by Cd at concentration of 8 mg/L, the tolerance of the seven varieties to Cd was ranked in the order of 360-3×041-1>Yanbian-4×Lingchuanc1>Yanbian-3×360-3>Yanbian-2×041-1>Hetou a2×360-3>Yanbian-3×Lingchuan c1>Hetou a2×041-1. In soil contaminated by Cd at concentration of 16 mg/L, their tolerance to Cd was ranked in the order of 360-3×041-1>Yanbian-4×Lingchuan c1>Yanbian-3×360-3>Hetou a2×360-3>Yanbian-3×Lingchuan c1>Yanbian-2×041-1>Hetou a2×041-1. [Conclusion] Comprehensive analysis shows that the varieties 360-3×041-1, Yanbian-4×Lingchuan c1 and Yanbian-3×360-3 were more tolerant to Cd stress, especially 360-3×041-1 which had the lowest cadmium transfer coefficient and can healthily grow in Cd contaminated soils. Key words: cadmium stress; growth physiology; transfer coefficient; membership function

责任编辑:韩洋

Using remote sensing to study flooding and its detrimental impact in lowlands of the Grand Canal

WANG Dayong^{1,3}, GUAN Qinghua^{1,3*}, JIN Ruiqing², LIU Dan^{1,3}, DOU Junwei², CHEN Xuequn^{1,3}, FAN Mingyuan^{1,3}
 (1. Water Resources Research Institute of Shandong Province, Jinan 250014, China; 2. Haihe River, Huaihe River and Xiaoqinghe River Basin Water Conservancy Management and Service Center of Shandong Province, Jinan 250014, China;
 3. Shandong Province Key Laboratory of Water Resources and Environment, Jinan 250014, China)

Abstract: 【Objective】 The Grand Canal is a complex hydraulic project in the eastern China. This paper studies the flooding and its detrimental impacts in the lowland areas of the canal. 【Method】 The research was conducted in the Pichang-Tanxin Plain, using multi-source remote sensing data and ground surveys to analyze flooding events. We calculated the normalized difference water body index (*NDWI*) and the normalized difference vegetation index (*NDVI*) before and after flooding to assess flood severity, impact on crop growth, as well as the efficacy of hydraulic facilities in mitigating flooding effects. 【Result】 The *NDVI* difference between 2004 and 2005 for crops in flooded and non-flooded areas was 0.5 and 0.25, respectively, indicating floodings detrimentally affected crop growth and development. *NDWI* analysis from 2003 to 2017 demonstrated that the Taierzhuang Control Gate project mitigated flooding impacts on nearby farmlands. Flooding also affected crops in non-inundated regions, with lowland crops more adversely impacted than those outside lowlands. The hydraulic facilities significantly reduced economic losses caused by flooding. 【Conclusion】 Remote sensing is an effective tool for monitoring inundated areas and assessing the consequences of flooding on crops. The construction of hydraulic facilities plays a crucial role in reducing the detrimental effects of flooding in lowland regions of the Grand Canal.

Key words: depressions along the Grand Canal; flooding characteristics; NDWI; NDVI; hydraulic facilities

(上接第105页)