

葛道阔,曹宏鑫,杨余旺,等.基于作物生长模型的小麦区域化旱涝监测预警[J].江苏农业科学,2017,45(22):299-304.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.22.078

基于作物生长模型的小麦区域化旱涝监测预警

葛道阔¹, 曹宏鑫¹, 杨余旺², 马晓群³, 张文字¹, 张伟欣¹, 林 玥¹, 李秉柏¹

(1. 江苏省农业科学院农业信息研究所, 江苏南京 210014;

2. 南京理工大学计算机科学与工程学院, 江苏南京 210094; 3. 安徽省气象科学研究所, 安徽合肥 230061)

摘要:利用江苏、安徽、山东和河南 4 个小麦主产省代表性区域有关试点的气象数据,同时采用气候数据插值专用软件 ANUSPLIN 插值生成的上述代表性区域 1971—2015 年逐年 5 km × 5 km 分辨率的网格化逐日数据集(逐日平均气温、最高气温、最低气温、降水量、日照时数等),结合经改进的 WCSODS(小麦栽培模拟优化决策系统)及其区域化方法,并利用相关监测数据,开展冬小麦旱涝灾害损失的区域化监测预警与精细化评估。结果表明,研究区域冬小麦有典型的北旱南涝、干旱灾损一般大于涝渍灾损的分布特点;短期灾损指数可对小麦旱涝灾损进行区域化的动态监测预警。

关键词:冬小麦;作物生长;模型;旱涝检测预警;精细化;损失评估

中图分类号: S165+.25 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)22-0299-05

近年来,我国旱涝灾害频发,气象、农业、水利等部门已开展了较多的监测评估研究,较集中于采用干旱监测指数的方法和采用多种数理统计技术,前者包括著名的 Palmer 指数和在我国通用的复合气象干旱指数(CI 指数)等^[1-2],但往往难以满足普适性、理论性、实用性等描述特征,在实际应用中暴露出许多问题或给出相互矛盾的监测结论;后者一般采用灰色关联分析、模糊综合评判等对作物旱涝灾害的影响开展分析^[3-5],其数据来源于站点,应用分析也局限于站点,显然难于充分满足对于省级、跨省大区域级的作物生长全过程、动态化的作物灾损监测与评估。

本研究利用江苏、安徽、山东、河南 4 个小麦主产省代表性区域有关试点的气象数据,同时采用气候数据插值专用软件 - ANUSPLIN^[6-7]插值生成的上述代表性区域 1971—2015 年逐年的 5 km × 5 km 分辨率的网格化逐日数据集(逐日平均气温、最高气温、最低气温、降水量、日照时数等),在前期对作物生长模型进行改进及其小麦旱涝敏感性分析^[8-10]基础上,结合 WCSODS(小麦栽培模拟优化决策系统)^[11]的参数区域化(主要包括气象驱动数据、发育参数、生长参数、土壤参数以及初始值的网格化)等方法,采用作物传统取样和无线传感网以及光谱技术,以实时监测采集的小麦生长季土壤水分及作物长势信息为基础,开展了研究区域冬小麦旱涝灾害损失的高空间分辨率监测预警与精细化评估。

1 材料与方法

1.1 WCSODS 模型的改进

利用土壤相对湿度(x_1)和土壤温度(x_2)资料,建立小麦播种期至出苗期天数的二元线性回归模型,对小麦生育期模

型进行改进;就干旱、涝渍对小麦 LAI 的影响进行订正和计算;确定了净光合速率的干旱、涝渍胁迫订正因子;确定了小麦物质分配(根冠比)的干旱、涝渍胁迫订正因子;建立了小麦地上部干物质分配子模型,给出了小麦叶分配系数 PCI 在不同干旱、涝渍胁迫处理下的取值;通过建立小麦抽穗之前和抽穗之后光合累积量向穗部的转移率(k_1 和 k_2)与土壤相对含水量(SW)及涝渍天数(d)关系式,确定了小麦产量形成的干旱、涝渍胁迫订正因子^[8-9]。

1.2 模型参数的调试和确定

WCSODS 模型中,小麦品种参数包括模拟模型参数和作物性状参数,前者包括生育模型参数、叶龄动态模拟参数、叶面积与光合生产模型参数(包括光合作用参数和群体消光系数);其中生育期模型参数按播种 - 出苗、出苗 - 春化、春化 - 拔节、拔节 - 抽穗、抽穗 - 成熟 5 个不同生育阶段设置,与小麦生育期有关的参数共有 13 个,其功能和意义为: K_i ($i=1,2,3,4,5$) 为反映不同发育阶段发育特性的品种参数, P_i ($i=1,2,3,4,5$) 为不同发育阶段的增温促进系数, Q_3 为高温抑制系数, G_s 为感光系数, V_e 为小麦春化因子(表 1),其计算方法和取值随品种及温度的变化而变化^[11]。

以上作物性状参数包括穗粒结构参数、分蘖率参数和单株叶面积参数。 A_1 、 A_3 为小麦抽穗前和抽穗后叶片光合作用参数, B_1 为弱光条件下光 - 光合响应曲线的初始斜率; E_1 、 E_3 为水稻抽穗前和抽穗后群体消光系数。单株叶面积参数中包括了水稻生育不同时期的叶面积特征值,分为 F_{75} (7 叶期)、 F_{TS} (分蘖期)、 F_{ES} (拔节期)、 F_{HS} (抽穗期)、 F_{MS} (成熟期),与本研究关系最为密切的品种参数。上述参数均因品种和生育期而异,根据当地多年种植资料调试确定(表 2)。

1.3 小麦干旱灾损指数的定义及其分级阈值的确定方法

定义 2 种干旱或涝渍灾损指数,即中长期灾损指数、短期灾损指数,前者是指出苗至任意生育时期发生干旱和涝渍的灾损指数,后者是指任意 2 个生育时期发生干旱和涝渍的灾损指数,一般取间隔 5、10、20 d 等,用于小麦生长季较短时段要求的旱涝灾害损失区域化监测及精细化评估。采用中长期

收稿日期:2017-03-16

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(13)3054]。

作者简介:葛道阔(1965—),男,江苏南京人,研究员,主要从事作物生长模型、作物气象与气候变化影响评价研究。E-mail: gedaokuo@163.com。

表 1 不同地区小麦品种的发育期参数

试点	小麦品种	生育期参数												
		K_1	P_1	K_2	P_2	V_E	K_3	P_3	Q_3	K_4	P_4	K_5	P_5	G_5
山东临沂	临麦 2 号	1.619	1.142	-3.403	0.996	20	-3.39	0.42	1.223	-3.01	1.077	-3.91	0.475	0.08
河南郑州	温麦 6 号	-1.654	1.142	-3.403	0.996	20	-3.62	0.42	1.223	-2.71	1.077	-3.96	0.475	0.08
江苏徐州	徐州 25	-1.69	1.142	-3.403	0.996	20	-3.79	0.42	1.223	-2.89	1.077	-3.99	0.475	0.08
安徽凤阳	豫麦 18	-1.999	1.142	-3.403	0.996	20	-3.37	0.42	1.223	-2.85	1.077	-3.84	0.475	0.08

表 2 不同地区小麦品种光合作用、群体消光系数及适宜叶面积指数参数

试点	小麦品种	光合作用参数			群体消光系数		叶面积指数参数					
		A_1	A_3	B_1	E_1	E_3	F_{7S}	F_{TS}	F_{ES}	F_{HS}	F_{MS}	
山东临沂	临麦 2 号	4.81	4.83	1.00	0.50	0.47	7.22	41.8	53	118.0	47.0	
河南郑州	温麦 6 号	4.82	4.84	1.06	0.46	0.46	7.20	42.0	53	118.2	47.5	
江苏徐州	徐州 25	4.45	7.05	0.90	0.45	0.50	7.19	42.1	56	118.0	51.0	
安徽凤阳	豫麦 18	5.82	6.19	1.21	0.39	0.48	7.18	42.3	54	120.5	48.0	

灾损指数时,评估日之后的气象数据采用天气预报数值或区域性气候模式输出值,然后以水分胁迫造成模拟成熟期籽粒干质量的水分条件下的损失率,定义小麦干旱或涝渍灾损指数(WDI_{em}), $WWSO_{pet}$ 和 $WWSO_{lim}$ 分别为适宜水分和实际小麦籽粒干质量(kg/hm^2)。采用短期灾损指数, WDI_{20} (以间隔 20 d 为例)定义为该时段前后模拟地上生物量遭受干旱或涝渍的损失率。 $WAGP_{pet}$ 和 $WAGP_{lim}$ 分别为适宜水分和实际水分条件下的植株地上总干质量(kg/hm^2), i 为评估日的年内日序。

$$WDI_{em} = \frac{WWSO_{pet} - WWSO_{lim}}{WWSO_{pet}} \times 100\% ;$$
$$WDI_{20} = \frac{(WAGP_{pet,i} - WAGP_{pet,i-20}) - (WAGP_{lim,i} - WAGP_{lim,i-20})}{WAGP_{pet,i} - WAGP_{lim,i-20}} \times 100\% 。$$

当冬小麦发生干旱或涝渍时,土壤湿度明显低于或高于正常值,作物的响应主要表现在生育过程中生长量下降和最终产量降低。改进后的 WCSODS 模型可以模拟水分适宜条件和水分胁迫条件下的冬小麦生长过程,二者间的差异可以确定干旱造成的冬小麦生长损失。

利用区域化的 WCSODS 模型模拟 1973—2015 年研究区域冬小麦网格点中长期灾损指数和短期灾损指数,结合实际产量损失出现的概率确定旱涝灾害指标的分级阈值。参照“小麦干旱灾害等级”的气象行业标准以及作物生长模型对旱涝的敏感性分析,将研究区域冬小麦旱涝灾害损失程度分为 8 级指标,即特重度(旱)、重度(旱)、中度(旱)、轻度(旱)、正常、轻度(涝)、中度(涝)、重度(涝)。根据旱涝灾损样本数值概率分布确定各级灾损阈值。

1.4 气象要素空间插值方法

气象要素插值的所有方法中,基于地统计插值技术的 Kriging 法和薄盘样条法 TPS (thin plate spline) 最为适用,ANUSPLIN 是基于薄盘样条理论针对气候数据曲面拟合的专用软件^[6],ANUSPLIN 软件允许引进多元协变量线性子模型,且模型系数可根据数据自动确定。它能同时进行多个表面的空间插值,对于时间序列的气象数据尤其适合^[7]。使用该空间插值方法估算非站点区域气象要素数据,以获得区域内连续的空间气象要素。可以满足精细化旱涝灾害损失监测与评估对高密度空间分布的逐日气象观测数据的需要。

1.5 冬小麦生长模型区域化方法

WCSODS 是通过多品种、多年和多点的大量小麦生理生

态试验和文献资料,基于系统分析方法和数学建模技术,在站点尺度上建立的,研制者在模型建立阶段就对作物模拟技术怎样在大面积生产中发挥作用展开了深入的讨论,其中生长模型区域化是重要问题之一。WCSODS 生长模型区域化主要包括有关生长的作物遗传参数(GGP)、与发育有关发育的作物遗传参数(DGP)、土壤参数(SP)区域化。

1.5.1 GGP 区域化方法 如净光合速率、根冠比、小麦地上部的分配系数(PCg)、叶面积指数、叶分配系数(PCI)以及抽穗前与抽穗后光合累积量向穗部转移率(k_1 和 k_2)等^[7]没有明显的空间变化规律,可以利用研究区域多个观测点多年平均值代表区域参数。

1.5.2 DGP 区域化方法 采用的多尺度方法,一是淡化品种间差异,代之以品种生态类型;二是遵从粮食生产地域性差异和区域性类同的事实,选择适度的空间尺度^[12],在分区水平上调试以上小麦遗传参数。研究区域 4 个农业气候区(东北丘陵冬麦区、北部平原冬麦区、北部平原冬麦区西部、沿淮冬麦区)各采用 1 套遗传参数,利用 21 个样点 1998—2007 年间小麦观测资料,采用“试错法”分别调试得到所在分区的以上遗传参数,包括品种类型参数、增温促进系数、高温抑制系数、感光系数、小麦春化因子等。

1.5.3 SP 区域化方法 土壤参数主要包括凋萎湿度、田间持水量及容重等参数,利用中国科学院南京土壤研究所提供的全国 1:100 万的各类土壤参数格点数据。由于小麦播期在 4 个分区内差异较小,因此分别用各区多个观测点多年平均值代表分区参数。

2 结果与分析

2.1 冬小麦站点旱涝损失评估

利用 4 个主产省各个试验站点历年(1973—2015 年)逐日气象数据驱动改进后的 WCSDOS 模型,计算全生育期旱涝灾损指数,则可进行站点冬小麦旱涝灾害评估。

I 区的山东沂源和 II 区的河南郑州、III 区的江苏东海干旱灾损指数分别为 33.6%、27.1%、22.9%,而 IV 区的安徽淮南、安徽六安、河南信阳、江苏兴化干旱灾损指数为 0.2%~6.7%(图 1-a);4 个主产省不同冬小麦区中,处于 IV 区的安徽六安的涝渍灾损指数明显高于其他站点,为 23.0%,其他站点为 0.4%~12.9%(图 1-b)。

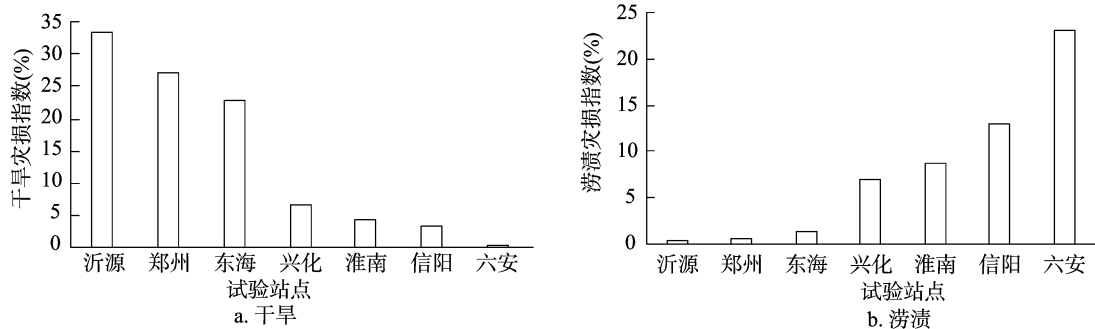


图1 4个主产省部分代表站点冬小麦干旱灾损指数和涝渍灾损指数

2.2 冬小麦旱涝灾损精细化评估

研究区域所有网格点干旱灾损指数和涝渍灾损指数平均值的历年变化见图2。从图2可以看出,研究区域冬小麦干旱灾害损失大于涝渍。二者均有随时间延长微弱降低的趋势。

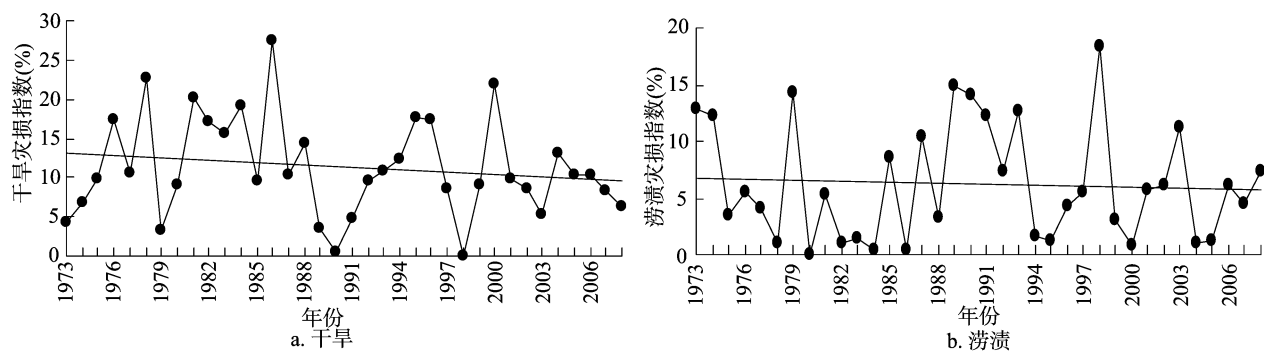


图2 研究区域所有网格小麦平均干旱灾损指数和涝渍灾损指数的历年变化

以1999—2008年为例,对研究区域冬小麦旱涝灾损进行区域化评估(图3仅显示有代表性的4年)。本研究区域小

麦旱涝灾损分布有典型的北旱南涝特点。2000年几乎为整个研究区域的干旱年,仅仅安徽霍山和江苏如皋局部有一些

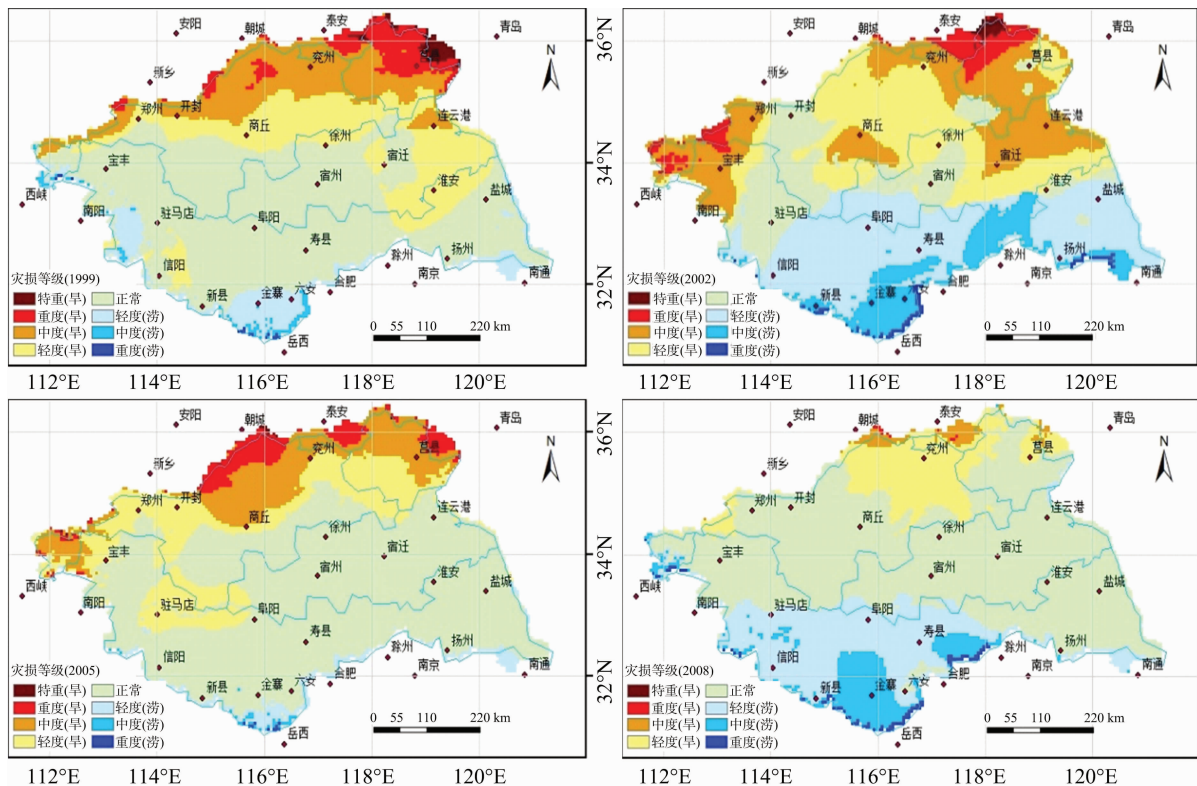


图3 作物生长模型模拟的研究区域有代表性年份冬小麦旱涝灾损等级分布(1999、2002、2005、2008年)

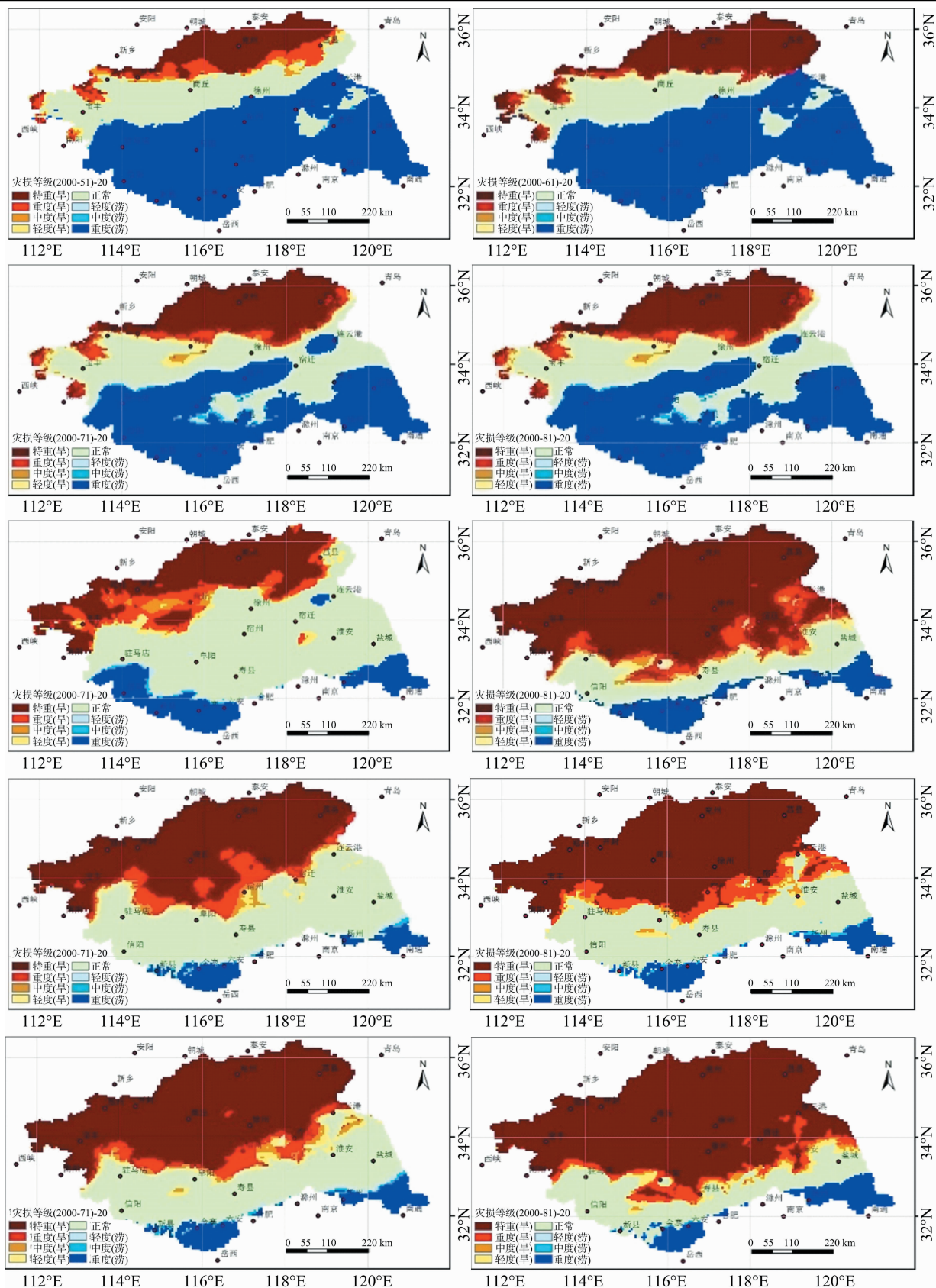


图4 2000 年研究区域冬小麦干旱灾损动态监测与评估

涝灾损失。2001、2002、2003 年为典型的北旱南涝,而旱涝灾损分布和等级又有不同。2001 年在山东省莒县和河南商丘、

南阳一线以北有旱灾损失,而安徽六安和江苏海安以南少部分地区为中度涝灾损失以上,其余大部分地区为正常或仅有

轻涝灾损。2002 年北部干旱灾损严重、2003 年南部涝渍灾损严重。2006 年的涝渍灾损则呈沿研究区域南部带状分布特点。2004、2005、2007 年该研究区域大部分地区未出现旱涝灾损。

2.3 冬小麦旱涝灾损的动态监测与评估

利用各地实时作物出苗日期、品种熟性数据,在作物对水分胁迫的敏感生育阶段,利用作物生长模型结合旱涝指标进行旱涝等级评价,并给出生物量损失的定量评估,利用不断更新的实时气象数据驱动作物生长模型,结合旱涝指标,可以开展旱涝灾害损失的动态监测与评估,利用短期灾损指数开展冬小麦干旱损失的监测与评估(图 4),其动态时间尺度为每 10 d 1 次,评估时长为 20 d,跟踪时间为 2000 年 2 月中旬至 5 月下旬。从图 4 可以看出,2 月中旬,在小麦大田生育前期,在 I 区及 II 区北部已发生不同程度的旱情,从面积上看,灾损等级以特重旱最大、重度旱次之、中度旱最小,其他地区麦田水分正常或有涝渍且在灾损等级上以重度涝为主,至 3 月下

旬,旱灾的范围向南有所蔓延,尤其在研究区域西北部,与此同时,在干旱区域的南部,麦田水分正常区域显著向南扩大,4 月上旬,旱灾的范围几乎遍及 I 区、II 区、III 区的全部和 IV 区的西北部,其后旱情范围一度向北有所收缩又向南蔓延,至 5 月下旬初,旱灾范围达到最大,达研究区域面积的 70% 左右,且在灾损等级上以特重旱为主,仅在旱灾区域的南沿为重度旱和中度旱。

利用短期灾损指数开展的冬小麦的涝渍损失的监测与评估见图 5,其动态时间尺度为每 10 d 1 次,评估时长为 20 d,跟踪时间为 1998 年 2 月中旬至 5 月下旬(部分图省略)。从图 5 可以看出,2 月中旬至下旬,III 区和 IV 区除西北部以外的地区均发生涝渍灾害,其后涝渍灾害范围随发育进程逐渐扩展,灾损等级除了原来已达重度的区域以外,其他区域也呈由轻度至重度灾损变化之势,3 月下旬至小麦生育后期,涝渍灾害几乎遍及研究区域除研究区域北沿局部地区以外的所有地区。且以重度涝渍灾损为主。

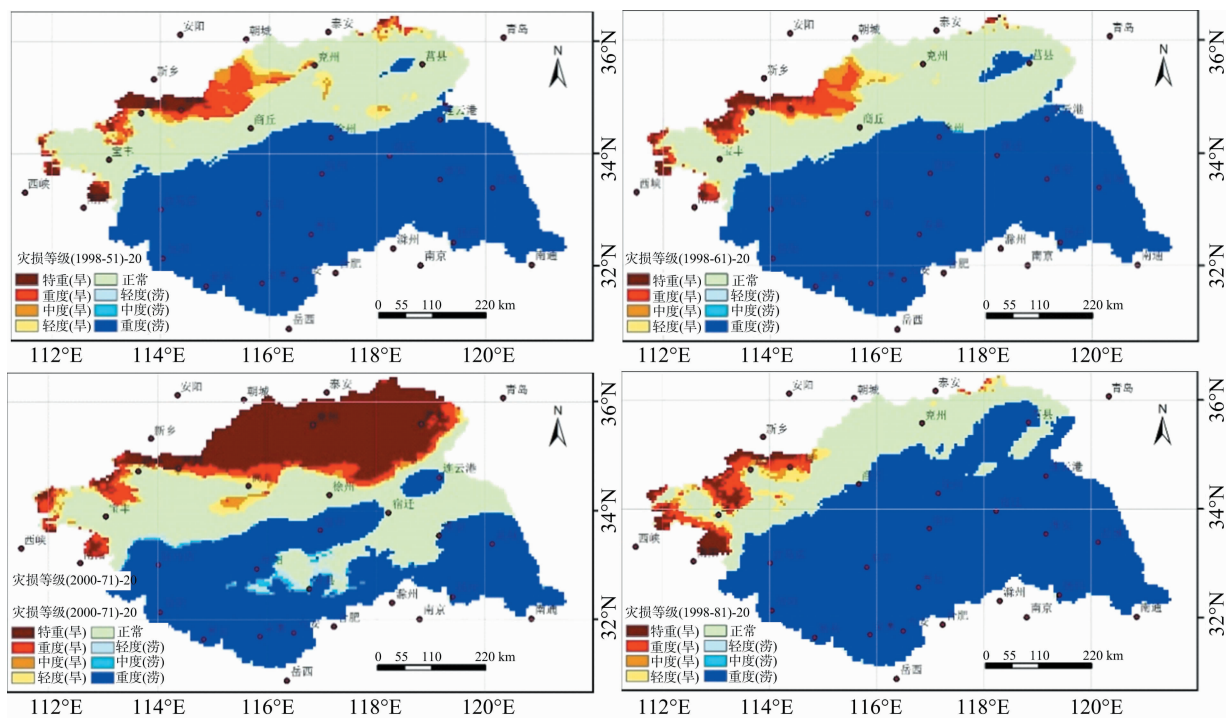


图5 1998 年研究区域冬小麦涝渍灾害损失动态监测与评估

3 讨论与结论

尽管作物生长模型 WCSODS 本身具有机理性强和通用性强的特性,但限于小麦旱涝机理研究的深度、广度以及品种、类型的特异性,本研究旱涝胁迫订正还有一定的经验成分。不同小麦种植区在使用这个模型之前,应根据当地资料,重新调整模型参数,以期提高小麦旱涝损失评估的准确性。气象要素的插值误差以及作物生长模型本身及其遗传参数和土壤参数等均不同程度地影响了作物模型评估的灾损率等级的准确率。评估准确性的提高是下一步研究工作的重点,还主要有赖于插值方法与技术的改进以及小麦旱涝机理研究以及品种、类型的特异性研究的深入。随着小麦、油菜季节性干旱预测预警及作物长势的实时快速监测等技术的进步,以作

物模拟技术为主体建立的宏观监测、微观监测并重的干旱监测方法和技术体系,可为小麦、油菜减灾、防灾和粮食安全保障提供有效的技术支撑。

参考文献:

- [1] 包云轩,孟翠丽,申双和,等. 基于 CI 指数的江苏省近 50 年干旱的时空分布规律[J]. 地理学报,2011,66(5):599-608.
- [2] 詹存,梁川,赵璐. 川中丘陵区季节性干旱时空分布特征及成因分析[J]. 农业工程学报,2013,29(21):82-90.
- [3] 魏丽,王保生. 江西省区域性洪涝灾害模糊综合评判方法的研究[J]. 中国农业气象,1998,19(1):49-52.
- [4] 干莲君,项瑛,田心如. 江苏旱涝灾害对农作物经济损失评估的探讨[J]. 气象科学,2001,21(1):122-126.

万金保,薛杰春,万莉,等. Zn(Ⅱ)和 Cu(Ⅱ)对 SBBR 处理猪场废水效果和微生物活性影响及相互关系[J]. 江苏农业科学,2017,45(22): 304-307.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.22.079

Zn(Ⅱ)和 Cu(Ⅱ)对 SBBR 处理猪场废水效果和微生物活性影响及相互关系

万金保,薛杰春,万莉,章洪涛,邬容伟

(南昌大学资源环境与化工学院/鄱阳湖环境与资源利用教育部重点实验室,江西南昌 330000)

摘要:为减轻重金属对猪场废水生物处理效果的影响,从影响程度和毒性机制的角度,分析养猪场废水的有机物降解效果和微生物活性的相互关系。以模拟猪场废水为研究对象,分析在废水中加入不同浓度 Zn(Ⅱ)和 Cu(Ⅱ)对序批式生物膜反应器(sequencing biofilm batch reactor,简称 SBBR)系统的影响,包括化学需氧量(chemical oxygen demand,简称 COD)、微生物呼吸、微生物代谢及相关性。结果表明:(1)在 SBBR 系统中,Zn(Ⅱ)、Cu(Ⅱ)对废水处理效果的影响和对微生物呼吸作用的影响均在 2~4 mg/L 之间,为促进和抑制的分界,且 Cu(Ⅱ)对微生物的毒性大于 Zn(Ⅱ)。(2)在 SBBR 系统中,Zn(Ⅱ)、Cu(Ⅱ)对废水处理效果的影响与其对微生物呼吸的影响有一定的相互关系,且 Zn(Ⅱ)、Cu(Ⅱ)不仅能影响微生物自身活性,还可阻碍微生物吸收营养物质,从而抑制 COD 降解。(3)溶解性微生物产物(soluble microbial products,简称 SMP)因其来源和自身化学特性,在 Cu(Ⅱ)的存在下,不能反映微生物代谢活性。

关键词:序批式生物膜反应器;重金属;猪场废水;微生物活性;呼吸作用

中图分类号: X703 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)22-0304-04

随着近年来猪场的规模化发展,饲养者常在饲料中添加大量重金属为主的微量元素促进猪体生长。这些重金属大多无法被猪体吸收而随粪尿外排,进入废水。调查结果表明,在猪场废水中,Zn、Cu 是最常见的重金属元素,且 Zn 浓度普遍高于 Cu^[1-3]。重金属浓度因不同的猪场而异,孙建平测定杭州市某一猪场废水重金属含量发现,Zn(Ⅱ)和 Cu(Ⅱ)含量分别为 27.0、13.6 mg/L^[2],笔者测定江西省某规模化养猪场中的 Zn(Ⅱ)、Cu(Ⅱ)含量分别为 13.3、7.8 mg/L。废水中 Cu 和 Zn 对活性污泥的微生物生长造成影响,进而影响废水生物处理的效果。关于猪场废水中重金属对微生物的毒性研

究越来越多,有研究表明,一定浓度的重金属能抑制微生物对废水中有机物的降解^[4-6]。本研究以序批式生物膜反应器(sequencing biofilm batch reactor,简称 SBBR)为依托,处理模拟猪场废水,探究不同浓度的 Zn(Ⅱ)、Cu(Ⅱ)对 SBBR 处理模拟猪场废水效果的影响,并通过测定污泥中的微生物活性,研究在 Zn(Ⅱ)、Cu(Ⅱ)影响下,废水中有机物降解变化与微生物的呼吸及代谢间的关系。

1 材料与方法

1.1 试验用水

试验用水采用人工配制的模拟猪场废水,水质条件为 COD_{Cr} 为 1 468.3 mg/L、NH₃-N 含量为 244.5 mg/L、总磷(total phosphorus,简称 TP)含量为 19.3 mg/L、pH 值为 7.3。

1.2 接种污泥

试验污泥取自江西省某万头猪场 SBBR 池沉淀污泥,污泥体积指数(switch virtual interface,简称 SVI)、污泥沉降比(settling vslocity,简称 SV₃₀)、悬浮固体浓度(mixed liquid suspended solids,简称 MLSS)分别为 50.3 mL/g、56%、

收稿日期:2016-06-16

基金项目:江西省教育厅科技落地计划(编号:GJ J12433);南昌市对外科技合作与成果转化推广计划(编号:2013HZCG001);南昌大学鄱阳湖环境与资源利用教育部重点实验室开放基金(编号:13005875)。

作者简介:万金保(1952—),男,江西南昌人,教授,博士生导师,主要从事水污染控制及资源化技术研究。E-mail: jbwang@ncu.edu.cn。

[5]叶正伟. 江苏旱涝灾害对农业经济的影响及承灾系统分析[J]. 江苏农业科学,2006(4):5-7.

[6]Hutchinson M F. ANUSPL IN Version 4.3 user guide[M]. Canberra:The Australia National University,Center for Resource and Environment Studies,2004.

[7]刘志红,Li L T,Cvcar T M,et al. 专用气候数据空间插值软件 ANUSPLIN 及其应用[J]. 气象,2008,34(2):92-100.

[8]葛道阔,曹宏鑫,张利华,等. WCSODS 中小麦生育期模型在淮河流域旱涝胁迫环境下的改进[J]. 江苏农业学报,2012,28(4):

722-727.

[9]葛道阔,曹宏鑫,张利华,等. 基于干旱涝渍胁迫的 WCSODS 模型订正与检验[J]. 江苏农业学报,2013,29(3):490-495.

[10]葛道阔,曹宏鑫,马晓群,等. 基于作物生长模型的小麦旱涝敏感性分析与损失评估[J]. 江苏农业学报,2016,32(6):1302-1309.

[11]高亮之,金之庆,郑国清,等. 小麦栽培模拟优化决策系统(WCSODS)[J]. 江苏农业学报,2000,16(2):65-72.

[12]江敏,金之庆. CERES-Rice 模型区域应用中遗传参数升尺度的一种方法[J]. 中国水稻科学,2009,23(2):172-178.