

葛道阔, 曹宏鑫, 杨余旺, 等. 基于 WCSODS 的小麦旱涝灾损区域化监测与精细化评估[J]. 江苏农业学报, 2017, 33(5): 1062-1068.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2017.05.016

基于 WCSODS 的小麦旱涝灾损区域化监测与精细化评估

葛道阔¹, 曹宏鑫¹, 杨余旺², 马晓群³, 张文宇¹, 张伟欣¹

(1.江苏省农业科学院农业经济与信息研究所, 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: 采用国内外广泛应用的气候数据插值专用软件-ANUSPLIN, 插值生成江苏、安徽、山东和河南 4 个小麦主产省代表性区域 1971-2015 年逐年的 5 km×5 km 分辨率的网格化逐日数据集, 数据包括逐日平均、最高气温、最低气温、降水量和日照时数等。结合经改进的 WCSODS(小麦栽培模拟优化决策系统)的区域化方法, 并利用相关监测数据, 开展了研究区域冬小麦旱涝灾害损失的区域化监测与精细化评估。结果表明: 作物模型评估的灾损率等级与实际灾损率等级在空间分布上表现一致, 区域内所有格点灾损率等级基本准确率(等级差≤1)为 83.3%, 其中完全准确率(等级差=0)为 62.3%。研究区域冬小麦有典型的北部偏旱、南部偏涝的分布特点, 且干旱灾损一般大于涝渍灾损。整个研究区域平均而言, 干旱和涝渍灾损均有随年份微弱减少的趋势。

关键词: 冬小麦; 模型; 旱涝; 精细化; 损失评估

中图分类号: **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2017)05-1062-07

Regional monitoring and refined assessment for damage from wheat drought and waterlogging based on WCSODS

GE Dao-kuo¹, CAO Hong-xin¹, YANG Yu-wang², MA Xiao-qun³, ZHANG Wen-yu¹, ZHANG Wei-xin¹
(1. Institute of Agricultural Economy and Information, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 2. Department of Computer Science and Technology, Nanjing University of Science and Engineering, Nanjing 210094, China; 3. Institute of Meteorological Science of Anhui Province, Hefei 230061, China)

Abstract: In this study, a climate data interpolation software, ANUSPLIN, is used to generate a grid-based daily data set for the representative region in major wheat producing provinces, Jiangsu, Anhui, Shandong and Henan from 1971 to 2015, with daily average, maximum and minimum temperature, precipitation and sunshine hours. Based on the improved WCSODS (wheat cultivation simulation optimization decision system) regionalization method, by using the relevant monitoring data, the regional monitoring and refined assessment of loss of winter wheat drought and waterlogging disaster in the study region was performed. The spatial distribution of the damage rate grade of the crop model was consistent with the actual damage rate grade, and the accuracy (grade difference ≤1) of all grid points in the region was 83.3%. The study region was characterized by northern drought and southern waterlogging, and the drought damage was generally greater than waterlogging. Overall, the drought and waterlogging damage showed a tendency of slightly weakening over years.

Key words: winter wheat; model; drought and waterlogged; refined; yield loss assessment

收稿日期: 2017-02-20

基金项目: 江苏省农业科技自主创新基金项目[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。(Tel) 025-84390194; (E-mail) gedakuo@163.com

近年来, 中国旱涝灾害频发, 提高旱涝灾害损失评估的准确性、时效性和精细化程度已成为农业防

灾减灾工作的重要课题。未来中国气象灾害评估技术将主要采取客观定量模型计算与主观综合分析相结合的方式^[1],多部门合作,全方位实施农业气象灾害灾前、灾中、灾后的监测与评估将是有效的形式。然而,早先的研究,多集中于采用灰色关联分析、模糊综合评判等统计方法评估农作物旱涝灾害的影响^[2-4],并且,上述大多数研究,数据来源于站点,应用分析也局限于站点,显然难以充分满足对于省级、跨省大区域级的作物生长全过程、动态化的农业气象灾损监测与评估要求。鉴于环境变量(如天气、土壤)和管理变量的非均匀性,将小区水平的作物生长动力模拟模型应用于更大空间尺度和更高级系统水平时所面临的最大问题是升尺度处理,需解决环境信息的时空变异、响应变量的空间归并问题^[5]。

本研究采用国内外广泛应用的气候数据曲面拟合插值的专用软件——ANUSPLIN 软件对研究区域 1971–2015 年的日平均气温、日最高气温、日最低气温、降水量、日照时数、风速、水气压和相对湿度数据进行了 5 km×5 km 分辨率的格点化。在前期对作物生长模型进行改进及对小麦旱涝敏感性分析^[6-8]的基础上,结合 WCSODS(小麦栽培模拟优化决策系统)^[9]的参数(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)区域化等方法,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 材料和方法

1.1 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^[10],软件局部薄盘光滑样条(Partial thin plate smoothing splines)的理论统计模型表述如下:

$$z_i = f(x_i) + b^T y_i + e_i \quad (i = 1, \dots, N) \quad (1)$$

z_i 是位于空间 i 点的因变量; x_i 为 d 维样条独立变量; f 是要估算的关于 x_i 的未知光滑函数; y_i 为 p 维独立协变量; b 为 y_i 的 p 维系数; e_i 为具有期望值为 0 且方差为 $w_i \sigma^2$ 的自变量随机误差; w_i 是作为权

重的已知局部相对变异系数, σ^2 为误差方差^[11]。薄盘样条函数可以理解为广义的标准多变量线性回归模型,只不过其参数是用一个合适的非参数化光滑函数代替^[10]。

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^[12]。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评估对高密度空间分布的逐日气象观测数据的需要。所谓精细化评估,是有别于以往粗线条评估的相对提法,是指空间上足够精细和时间上足够精细的评估。气象要素空间插值是评估中尤为重要的环节,本研究插值格点气象要素的分辨率达 5 km×5 km,并且以日为模拟的时间步长,理论上可以对研究区域内乡镇级别每日的旱涝灾害变化开展评估。有关冬小麦旱、涝敏感性分析的研究结果^[8]表明,各气象要素中,降水量对旱涝灾害影响较为敏感,日照时数等其他气象要素并不敏感,因此少数站点其插值相对误差接近 10.0%,对研究区域的评估结果影响甚微。

1.2 冬小麦生长模型区域化方法

1.2.1 有关生长的作物遗传参数的区域化方法

WCSODS 是通过多品种、多年和多点的大量小麦生理生态试验和分析文献资料,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 生长模型区域化包括作物遗传参数、土壤参数以及播期的区域化。由于与生长有关的遗传参数,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产物累积量向穗部转移率($k1$ 和 $k2$)等^[7],没有明显的空间变化规律,可以将研究区域多个观测点多年平均值代表区域参数。

1.2.2 有关发育的作物遗传参数的区域化方法

本模型与发育有关的遗传参数区域化采用升尺度方法,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^[13],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、西部冬麦区和沿淮冬麦

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上述遗传参数,包括:品种类型参数、增温促进系数、高温抑制系数、感光系数和小麦春化因子等。

1.2.3 土壤参数的区域化方法 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所提供的全国 1:1 000 000 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。

1.3 冬小麦生长区域旱涝灾损指标分级阈值的确定

利用区域化的 WCSODS 模型模拟 1973–2008 年各年研究区域冬小麦网格点旱涝指数,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八级指标,即特重度(旱)、重度(旱)、中度(旱)、轻度(旱)、正常、轻度(涝)、中度(涝)和重度(涝)。根据旱涝灾损样本数值概率分布确定各级灾损阈值。

2 结果

2.1 冬小麦生长区域旱涝灾损指标分级阈值

研究区域 1973–2008 年冬小麦由特重度(旱)到重度(涝)实际出现各等级的概率依次为 0.2、2.3、4.2、7.2、76.8、6.3、3.0 和 0.1。以此概率对作物生长模型模拟计算得到的干旱灾损指数和涝渍灾损指数进行分级,从而确定了研究区域冬小麦全生育期旱涝灾损等级的分级阈值,即干旱阈值为轻度、中度、重度和特重度的冬小麦减产率分别为 6%、10%、18% 和 28%,涝渍阈值为正常、轻度、中度和重度的冬小麦减产率分别为 4%、6%、9% 和 13%。

2.2 冬小麦旱涝灾损精细化评估结果

图 1 为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。可以看出,研究区域冬小麦干旱灾害损失大于涝渍。二者均有随时间微弱降低的趋势,但均未通过显著性检验。近些年出现旱灾损失较大的年份主要有 1986、1978、2000 和 1981 年,涝渍灾害造成损失较大的年份主要有 1998、1989、1979 和 1990 年。

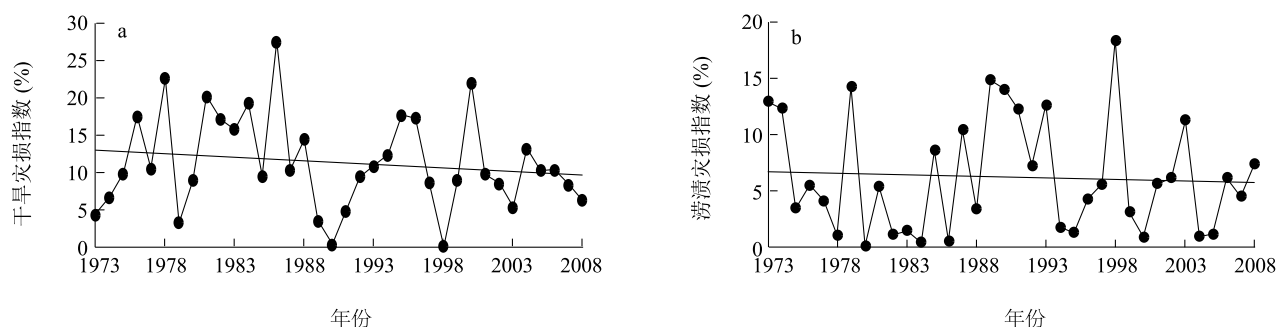


图 1 研究区域所有网格小麦平均干旱灾损指数(a)和涝渍灾损指数(b)平均值的历年变化

Fig.1 Annual change of average drought damage index (a) and waterlogging damage index (b) of all grid wheat in the study region

图 2 为一个 10 年(1999–2008 年)的研究区域冬小麦旱涝灾损区域评估图。可以看出,本研究区域旱涝灾损分布有典型的越往北旱灾损失越重、越往南涝灾损失越重的特点。2000 年几乎为整个研究区域的干旱年,仅安徽霍山和江苏如皋局部有一些涝灾损失。2001、2002 和 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 年在莒县、商丘和南阳一线以北有旱灾损失,而安徽六安

和江苏海安以南部分地区为中度涝灾以上损失,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 以及 2007 年该研究区域大部分地区未出现旱涝灾损。值得一提的是,图中还可以清晰地显示较小区域(乡镇级)局部的干旱或涝渍灾损的等级差异,体现出空间精细化评估的优势。

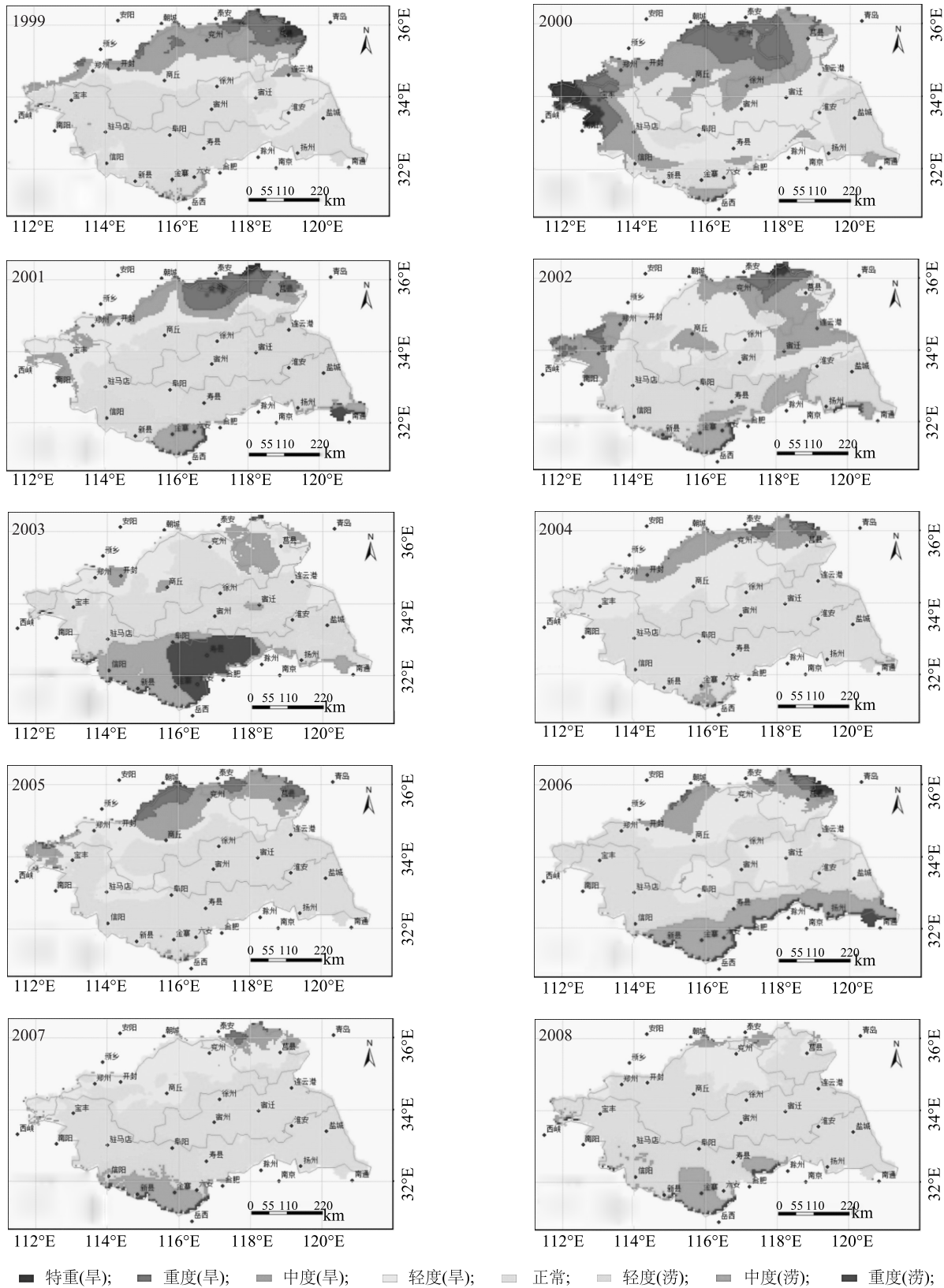


图2 作物生长模型模拟的研究区域冬小麦旱涝灾损等级分布图(1999–2008)

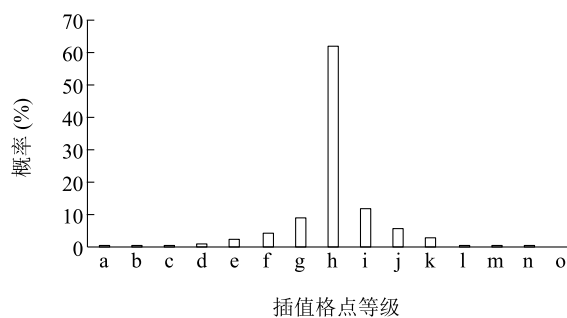
Fig.2 Distribution pattern of drought and waterlogging damage of winter wheat in the study region simulated by crop growth model (1999–2008)

2.3 冬小麦旱涝灾损精细化评估结果检验

根据冬小麦实际减产等级对作物生长模型模拟的 1973–2008 年旱涝灾损评估结果进行验证。可以看出,模拟灾损等级与实际减产等级相同的格点占总体的百分比(完全准确率)为 62.3%(图 3),若以等级差 ≤ 1 为准确,则模拟准确率(基本准确率)为 83.3%。从作物生长模型模拟的研究区域冬小麦旱涝准确率的历年结果可以看出,71.0%以上的年份模拟与实际结果等级差 ≤ 1 的格点比例在 80.0%以上。个别年份的模拟准确率较低,如 2003 年、1999 年和 1986 年(图 4)。

在分类准确率方面,将 WCSODS 模型模拟 1973–2008 年研究区域冬小麦干旱、涝渍和正常网格点与相应格点的实际旱涝类型对比,分别统计干旱减产、涝渍减产和正常的模拟准确率。结果显示,作物生长模型评估干旱减产、涝渍减产和不减产的准确率分别为 67.5%、90.8%和 50.9%。说明模型

评估研究区域内不同水分胁迫对冬小麦产量影响的能力均较高。



a:低 7 等级;b:低 6 等级;c:低 5 等级;d:低 4 等级;e:低 3 等级;
f:低 2 等级;g:低 1 等级;h:等级相同;i:高 1 等级;j:高 2 等级;
k:高 3 等级;l:高 4 等级;m:高 5 等级;n:高 6 等级;o:高 7 等级。

图 3 作物生长模型模拟的研究区域冬小麦旱涝灾损等级的总体准确率

Fig.3 Overall accuracy of drought and waterlogging damage grades of winter wheat in the study region simulated by crop growth model

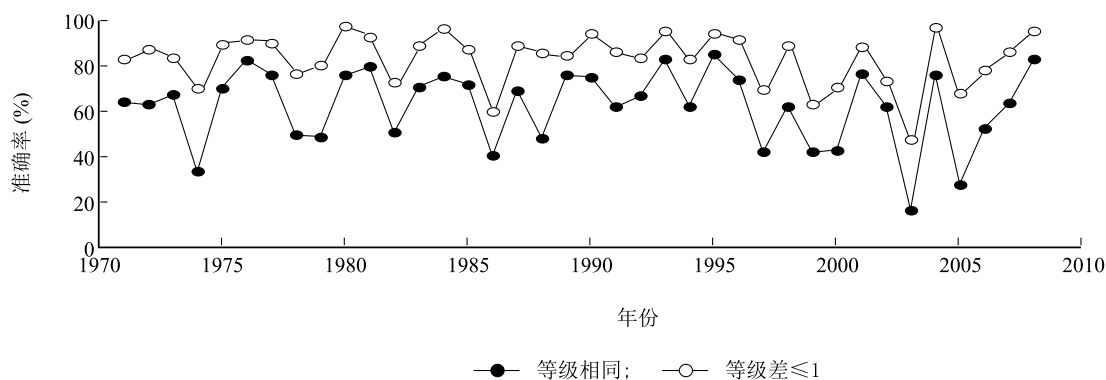


图 4 作物生长模型模拟的研究区域冬小麦旱涝灾损等级的逐年准确率

Fig.4 Accuracy of annual drought and waterlogging damage grades of winter wheat in the study region simulated by crop growth model

图 5 为作物生长模型模拟一些典型年份研究区域冬小麦旱涝灾损与实际情况的比较。可以看出,大多数年份模型对旱涝模拟评估,在空间分布的走向、范围上均与实际结果较为一致,尤其是典型旱涝年份更为一致。如模拟结果对 2000 年的干旱,对 2002 年、2003 年的北旱南涝以及 2007 年的水分正常年份都有准确反映。

3 讨论

尽管从研究区域整体上看,仅冬夏两季少数站点的日照时数插值相对误差接近 10.0%,其他

气象要素的相对误差基本均在 5.0% 以内,精度可以满足应用需求,插值获得的气象要素网格化数据集可作为灾害损失评估模型区域化的基础数据。但旱涝灾害严重的年份或季节,气象要素往往波动较大,而气象要素的波动程度是影响插值误差大小的主要因素,往往造成这些年份或季节气象要素与实际数据偏离稍大。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。

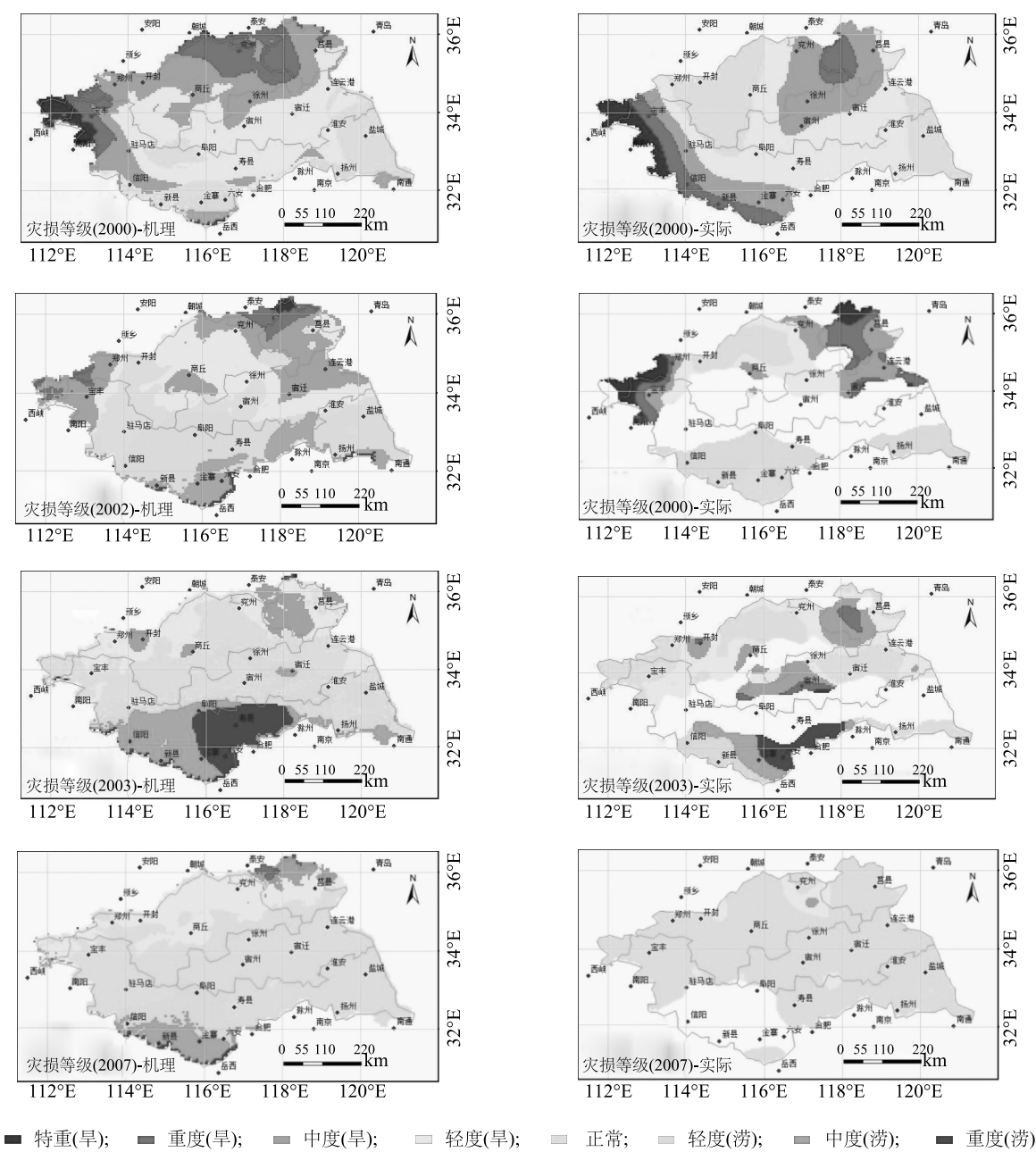


图5 作物生长模型模拟的研究区域冬小麦旱涝灾损等级与实际减产等级比较
Fig.5 Comparison of drought and waterlogging damage grades and actual yield reduction level of winter wheat in the study region simulated by crop growth model

参考文献:

[1] 郭起豪.气象灾害评估将日趋精细化,专家呼吁加强部门合作 [N].中国气象报,2008-12-22(1).
[2] 魏 丽,王保生.江西省区域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.
[3] 干莲君,项 瑛,田心茹.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.
[4] 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.
[5] 刘布春,王石立,马玉平,国外作物生长模型区域应用中升尺

- 度问题的研究[J]. 中国生态农业学报, 2006, 11(4): 89-91.
- [6] 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.
- [7] 葛道阔, 曹宏鑫, 吕淞霖, 等. 基于干旱胁迫的水稻栽培模拟优化决策系统(RCSODS)的订正与检验[J]. 江苏农业学报, 2013, 29(6): 1193-1198.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] HUTCHINSON M F. ANUSPLIN version 4.3. centre for resource and environmental studies, australian national university [EB/OL]. (2007-10-08) [2017-01-09]. <http://cres.anu.edu.au/outputs/anusplin.php>.
- [11] HUTCHINSON M F. The application of thin plate splines to continent-wide data assimilation, Data Assimilation Systems, BM RC Research Report NO.27 [M]. Melbourne: Bureau of Meteorology, 1991: 104-113.
- [12] 刘志红, LI L T, TIM R M CVICAR, 等. 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.
- [13] 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.

(责任编辑: 陈海霞)