

吴洪颜,高苹,谢志清,等,2017. 基于春季阴雨过程的冬小麦涝渍指数模型构建与应用[J]. 气象,43(3):373-377.

基于春季阴雨过程的冬小麦涝渍 指数模型构建与应用^{* 1}

吴洪颜¹ 高 苹² 谢志清¹ 曹 璐¹

¹ 江苏省气象台,南京 210008

² 江苏省气象服务中心,南京 210008

提 要: 春季涝渍灾害对南方小麦生长发育和产量形成严重影响,本文在对阴湿系数做降尺度修订的基础上,利用 Logistic 曲线方程构建了冬小麦涝渍指数模型,根据涝渍指数临界值、持续天数以及冬小麦的可能减产率将春季涝渍灾害划分为三个等级,并使用江苏省 59 个气象站 1961—2010 年逐日气象资料对模型进行历史反演。结果发现,春季涝渍指数与冬小麦相对气象产量呈显著负相关,随着涝渍指数增加,小麦气象产量线性下降;灾年发生的涝渍过程以 1~3 次为最多,超过 80%,5 次以上最少,占 1.9%。最后,将涝渍指数模型应用于 2014 年冬小麦春季涝渍灾害的判别及评估,效果很好。

关键词: 冬小麦, 涝渍灾害, 动态监测, Logistic 曲线

中图分类号: S16

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2017.03.014

Construction and Application of Waterlogging Index Model of Winter Wheat Based on Spring Rainy Weather

WU Hongyan¹ GAO Ping² XIE Zhiqing¹ CAO Lu¹

¹ Jiangsu Meteorological Observatory, Nanjing 210008

² Jiangsu Meteorological Service Centre, Nanjing 210008

Abstract: Spring waterlogging disaster seriously affect the growth and yields of winter wheat in South China. In this paper, a waterlogging index model of winter wheat is constructed by using the Logistic curve equation based on downscaling amended cloud-moist coefficient. According to the critical index value, the sustained days of rainy weather and the potential yield reduction rate of winter wheat, spring waterlogging disasters are divided into three levels. Then, the model is retrieved by using daily meteorological data from 59 stations in Jiangsu Province from 1961 to 2010. The results show that the waterlogging index are negatively correlated to the relative meteorological yields of wheat. With the increase of waterlogging index, the yields decrease. In wet years the disaster of waterlogging would occur one to three times (87.1%), and the least was 5 times (1.9%). Finally, the waterlogging index model is applied to the 2014 spring waterlogging disaster, achieving good result.

Key words: winter wheat, waterlogging disaster, dynamic discriminant, logistic curve

* 中国气象局气象关键技术集成与应用项目(CMAGJ2015M24)、公益性行业(气象)科研专项(GYHY201406028)和国家自然科学基金项目(41371412)共同资助

2016 年 7 月 27 日收稿; 2017 年 1 月 3 日收修定稿

第一作者:吴洪颜,主要从事农业气象灾害监测与评估研究. Email:jsqx_zqzb@126.com

通信作者:高苹,从事农业气象预报科研、业务和服务工作. Email:gaoping5268@126.com

引 言

涝渍灾害是长江中下游小麦生产上常见的气象灾害之一,尤以春季涝渍灾害影响为重。3—5 月是长江中下游地区小麦生长的关键期,在此期间,若出现阴雨寡照和耕作土层过湿,则易导致小麦根系缺氧、光合作用减弱、灌浆期缩短和千粒重下降等问题,对最终产量造成影响(张浩等,2015;朱津辉等,2014)。20 世纪 90 年代以来,受全球气候变暖影响,长江下游地区小麦生长季日照时数呈下降趋势,阴雨寡照天气增多,暖冬和频发的涝渍灾害为小麦生长后期的病虫草害提供了有利的滋生条件(金之庆等,2001),严重威胁着该区小麦安全生产。因此,有必要深入开展春季涝渍灾害对小麦产量的影响和动态监测气象指标研究,并将研究成果应用到涝渍灾害动态监测、预警、评估中,及时开展针对春季涝渍灾害的气象为农服务。目前,国内有关涝渍灾害监测方法和气象指标的研究很少且都集中在江淮流域。黄毓华等(2000)、马晓群等(2003)、盛绍学等(2009)先后构建、修订了江淮流域冬小麦涝渍灾害判别指数,建立灾害损失评估模型,开展了相应区域的风险评估研究;吴洪颜等(2012;2013)曾验证阴湿系数,并据其开展了江苏省冬小麦春季涝渍灾害的风险区划和预警预测工作。以上研究工作为开展区域涝渍灾害的监测评估发挥了重要作用,但是,所用涝渍灾害的监测指数均以旬尺度气象资料为基础,时间跨度大,监测效果滞后,更适用于灾后评估。本文以江苏省为研究区,从涝渍灾害对小麦生长的危害成因出发,兼顾作物需水量和渍水时间,在阴湿系数模型的基础上,采用 Logistic 曲线描述渍水日的影响程度,构建冬小麦春季涝渍指数模型,实现涝渍程度逐日动态监测,旨在为研究区小麦生产提供农业气象灾害监测和预警决策服务。

1 资料和方法

1.1 资料来源

1961—2010 年共 59 站逐日气温(单位:℃)、日照(单位:h)、降水(单位:mm)、风速(单位: $m \cdot s^{-1}$)资料来自江苏省气象信息中心;冬小麦产量(单位:

$kg \cdot hm^{-2}$)资料来自 1961—2010 年《江苏省统计年鉴》*;基础地理信息数据(1:250000)来自国家基础地理信息中心;1961—2010 年灾情数据由江苏省气象台提供。

1.2 数据处理方法

1.2.1 提取相对气象产量

在农作物产量数据处理过程中,通常将实际产量 y 分离为依社会整体生产水平而变化的趋势产量 y_t 、随历年气象条件而变化的气象产量 y_w 以及随机误差 ϵ 三部分,随机误差 ϵ 常忽略不计。

$$y = y_t + y_w + \epsilon \quad (1)$$

式中,趋势产量 y_t 很难用一种简单的函数来模拟,本文中产量序列逐步滑动分段,采用基于灰色系统 GM(1,1)模型逐段滑动平均,用于模拟趋势产量(汤志成和高苹,1996)。

求得 y_t 后,由式(1)可得气象产量 y_w ,为进一步消除生产力增长对气象产量 y_w 的干扰,常使用式(2)计算相对气象产量 y_R ,当 $y_R < 0$ 时,称为减产率。

$$y_R = \frac{y_w}{y_t} \times 100\% \quad (2)$$

1.2.2 修订逐日涝渍指数

冬小麦春季涝渍灾害是受降水、日照以及土地地形等因素共同影响所造成的危害,其中,多雨、寡照为小麦涝渍灾害的直接诱因。江苏省平原面积大,具有地势低平、水网密布、土壤粘渍和地下水位较高等特点,在作物生长过程中地下水补给、渗漏影响变化较小,可不考虑。因此,在引用黄毓华等(2000)的阴湿系数模型的基础上,用小麦生长过程中水分供需比替代降水百分率,结合日照百分率反映研究区或某一时段小麦生长的水分盈亏状况,生物学意义更为直观。

$$Q_i = \frac{(R - ET_c)}{ET_c} - \frac{(S - S_0)}{S_0} \quad (3)$$

式中, Q_i 为日涝渍指数, R 为日降水量, ET_c 为作物日需水量(孙爽等,2013;康绍忠等,1994), S 为日照时数, S_0 为可照时数。

1.2.3 构建涝渍指数模型

涝渍灾害对小麦的危害主要是因时间延长而加重,其是一个累积过程。研究表明(闻瑞鑫等,1997),小麦孕穗、抽穗期间,通常受渍 3~5 d 就会轻

* http://www.jssb.gov.cn/tjxxqk/tjsj/tjng/jstjnj2014/index_212.html

微阻碍作物生长;10~15 d 渍水,小麦生长严重受阻;15~20 d 渍水,麦苗开始出现枯亡。可见,一次天气过程中日阴雨量对涝渍灾害的贡献呈“S”型曲线增长规律,符合 Logistic 曲线过程。因此,采用 Logistic 曲线定量描述逐日阴雨的影响(乔嘉等,2011;张乐勤和陈发奎,2014,张芳华等,2016),构建冬小麦春季涝渍指数模型。

$$Q = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \lambda_i Q_i \quad (4)$$

式中, n 为 3—5 月连续阴雨过程数, m 为过程雨日($m \geq 3$), Q_i 为日涝渍指数, λ_i 为逐日影响系数,由 Logistic 曲线方程获得:

$$\lambda_i = \frac{1}{1 + \alpha e^{-\beta t_i}} \quad (5)$$

Logistic 曲线实质是一个拉长的“S”形累积增长曲线,其一阶导数为速度函数。那么,当速度函数的二阶导数值为 0 时,Logistic 曲线方程的增长速率出现拐点,此时有:

$$\begin{aligned} t_l &= \frac{\ln \alpha - 1.317}{\beta} \\ t_r &= \frac{\ln \alpha + 1.317}{\beta} \end{aligned} \quad (6)$$

两个速度拐点(t_l, t_r)将 Logistic 曲线划为渐增期(0, t_l]、快增期(t_l, t_r]和缓增期($t_r, +\infty$)三个区间。本文以涝渍灾害临界天数 5、10 d 对应曲线速率拐点,通过式(6)确定 Logistic 曲线方程参数[式(5)], $\alpha = 51.985, \beta = 0.526$,由回代公式(5)得到图 1,据各站逐日反演结果确定单过程最长持续天数为 16 d。

2 结果分析

2.1 春季涝渍指数与气象产量分析

根据式(4)计算 1961—2010 年研究区域各站 3—5 月逐过程(≥ 3 d、 ≥ 4 d、 ≥ 5 d)涝渍指数,对春季涝渍指数与气象产量做相关分析,发现两者呈负

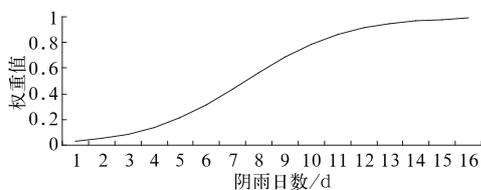


图 1 阴雨过程中逐日影响权重拟合

Fig. 1 The fitting values of weight during rainy weather processes

相关(表 1)。其中,以 ≥ 4 d 的阴雨过程计算的涝渍指数与气象产量相关性最显著,这说明一次阴雨过程达到 4 d 及以上即可能对小麦生长造成影响。因此,本文中界定涝渍过程为连续 4 d 以上的阴雨天气。从相关系数(≥ 4 d)的空间分布上(图 2)看,江淮淮北中西部、沿江苏南大部分地区春季渍涝指数与小麦气象产量呈显著负相关($|r| = 0.2787$,通过 $\alpha = 0.05$ 的显著性水平检验),其中,江淮中部及沿江苏南东部地区相关性超过 $\alpha = 0.01$ 显著性水平检验;淮北沿海、丰沛及苏南西南部未达到显著相关,就淮北部分地区而言,连续阴雨过程少(春季降水偏少)是相关性差的主要原因,而苏南部分地区则可能是因地形影响或小麦种植面积过小、产量代表性差所造成的。

2.2 涝渍过程与气象产量分析

分析春季涝渍指数与小麦气象产量高显著相关($|r| > 0.361$)的 20 个站于 1961—2010 年的涝渍年份,发现各站出现 1 次涝渍过程的年份比率最高,为 40.0%,其次为 2 次涝渍过程,为 25.2%,年发生 5 次以上涝渍过程的比率最少,为 1.9%,其中仅宜兴站在 2002 年出现了 6 次过程。对涝渍年的春季涝

表 1 1961—2010 年春季涝渍指数与小麦气象产量的相关系数

Table 1 Correlation coefficients of spring waterlogging index and the meteorological yields of wheat during 1961—2010

站名	Q 指数		
	≥ 5 d	≥ 4 d	≥ 3 d
丰县	0	-0.0676	-0.0017
新沂	-0.2443	-0.3139	-0.2819
东海	-0.1083	-0.1357	-0.0964
沭阳	-0.268	-0.3306	-0.3629
连云港	0	-0.1349	-0.1134
睢宁	-0.2723	-0.3115	-0.2570
宿迁	-0.3911	-0.4278	-0.3487
洪泽	-0.4029	-0.2881	-0.0910
淮安	-0.3661	-0.3926	-0.4169
建湖	-0.3293	-0.3445	-0.3624
盐城	-0.1832	-0.2087	-0.1671
六合	-0.2952	-0.3050	-0.2802
江都	-0.3058	-0.4058	-0.3517
泰州	-0.2493	-0.3898	-0.3985
靖江	-0.2516	-0.4204	-0.2840
启东	-0.2209	-0.3319	-0.2029
南京	-0.0355	-0.2305	-0.1604
常州	-0.0606	-0.3195	-0.0780
句容	-0.3237	-0.4753	-0.3255
无锡	-0.1711	-0.4768	-0.0166
江阴	-0.3436	-0.3979	-0.2283
常熟	-0.4703	-0.4789	-0.0700

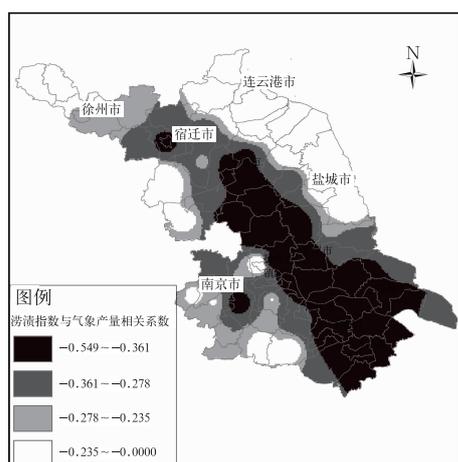


图 2 春季涝渍指数(≥ 4 d)和小麦气象产量相关系数空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of correlation coefficients of spring waterlogging indices (≥ 4 d) and the meteorological yields of wheat

表 3 1961—2010 年过程涝渍指数与小麦气象产量的相关性分析

Table 3 Correlation analysis of waterlogging index and the meteorological yields of wheat in 1961—2010

年发生次数	Q_1	Q_1+Q_2	$Q_1+Q_2+Q_3$	$Q_1+Q_2+Q_3+Q_4$	$Q_1+Q_2+Q_3+Q_4+Q_5$	样本数
1 次过程	-0.1229					298
2 次过程	-0.2356	-0.2357				188
3 次过程	-0.1349	-0.2599	-0.395			163
4 次过程	0.0275	-0.0921	-0.0125	-0.1754		82
5 次过程	0.0155	-0.0096	-0.0167	-0.4251	-0.4312	14

注: Q_n 为第 n ($n=1,2,3,\dots,5$) 次涝渍过程指数。

Note: Q_n is waterlogging index of n ($n=1,2,3,\dots,5$) times.

2.3 灾损评估及灾害等级指标

据相关分析结果,将江苏划分为三个区域:高显著相关区域(20 站)、显著相关区域(18 站)及不显著区域(21 站)。在前两个区域中春季涝渍指数与小麦气象产量的关系呈显著直线趋势(表 4),即随着 Q 值增加,气象产量线性下降(图 3,显著区域的拟合图略),方程均通过 0.01 显著性水平检验。

利用以上损失评估方程,并综合考虑冬小麦受灾实况和阴雨持续天数来确定涝渍指数的临界值及可能减产率,以其作为划分标准,将冬小麦春季涝渍灾害划分为轻、中、重三个等级,用于灾害评估(表 5)。

表 4 涝渍指数用于两区域涝渍灾害损失评估效果

Table 4 Effectiveness of waterlogging index for evaluating waterlogging disaster losses in two regions

区域	模型	相关系数	标准差	F
高显著区	$3.9865-1.6738Q$	0.5459	7.94	19.5
显著区	$3.5297-1.4449Q$	0.4703	7.82	13.1

注: 样本数 $n=48$ 。

Note: The sample size $n=48$.

渍指数和相应的小麦气象产量分类平均可见,随着年发生涝渍过程的数量增加, Q 值增大,小麦气象产量下降,即每增加一个涝渍过程,气象产量平均下降 5%(表 2)。

表 2 1961—2010 年涝渍过程与小麦气象产量的统计分析

Table 2 Statistical analysis of waterlogging process and the meteorological wheat yields in 1961—2010

年发生过程次数	1 次	2 次	3 次	4 次	5 次以上
平均涝渍指数(Q)	1.2	3.4	5.4	7	10.4
平均气象产量(Y_R)	2.7	-1.4	-2.6	-7	-17.5
占总样本比率/%	40	25.2	21.9	11	1.9

为进一步了解春季多次涝渍过程对小麦产量的综合影响,将各涝渍过程指数值逐步叠加并与小麦气象产量做相关分析发现(表 3),过程涝渍指数与气象产量的关系随着涝渍过程的增加而密切,累积效应显著,其中 1、2 和 3 次涝渍过程与气象产量相关性通过 $\alpha=0.01$ 显著性水平检验。

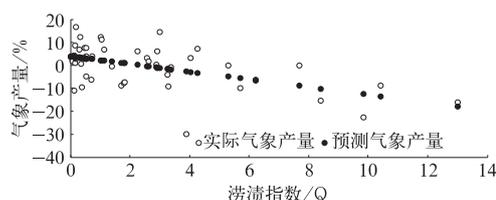


图 3 高显著区域模型的线性拟合

Fig. 3 Linear fitting plot of the model in highly significant area

表 5 冬小麦涝渍灾害监测等级标准

Table 5 Classification standards for monitoring waterlogging disaster of winter wheat

危害程度	涝渍指数	判别条件	可能减产率/%
轻度涝渍灾害	$5.0 > Q \geq 2.0$		0~5
中度涝渍灾害	$10.0 > Q \geq 5.0$	$Q_i \geq 0$	5~10
重度涝渍灾害	$Q \geq 10.0$	$N \geq 4$	≥ 10

2.4 应用效果检验

2014 年 4—5 月,淮河以南地区出现两次连续

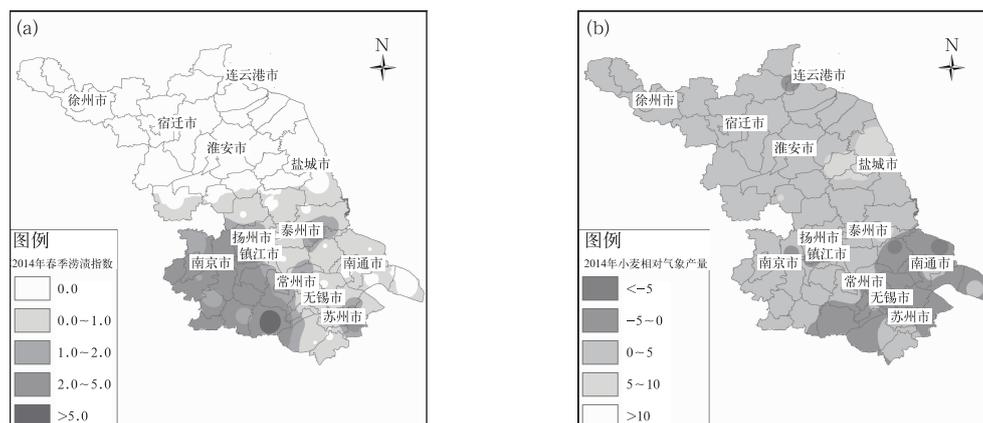


图4 2014年春季综合涝渍指数(a)和冬小麦相对气象产量(b,单位:%)

Fig.4 Spring integrated waterlogging index (a) and the meteorological yield of winter wheat in 2014 (b,unit: %)

阴雨过程(4月15—19日、5月17—20日),大部分地区降水偏多1~9成。涝渍监测模型计算结果显示(图4a),沿江苏南部分地区指数值较大($Q \geq 2.0$),局部超过5.0,判断该地区冬小麦出现轻度涝渍灾害,估算产量损失在5%以内。从图4b中看到当年苏南和沿江东部地区气象产量在-5%~0,局部减产超过5%,可见预估结果与实况较为吻合。至于苏南西部地区,虽然涝渍指数达到轻度灾害标准,但小麦减产并不明显,可见丘陵岗地的影响需加以考虑。

3 结论与讨论

基于 Logistic 曲线构建涝渍灾害判别指数模型,初步量化了持续阴雨日数对小麦受渍的影响权重,也实现了涝渍灾害逐日动态监测。通过春季涝渍指数与小麦气象产量的相关分析发现两者呈显著线性负相关,高相关区主要位于江淮淮北中西部、沿江苏南大部分地区,而淮北沿海、丰沛及苏南西南部未通过显著性水平检验;历史涝渍年中以1~3次涝渍过程为主,5次以上的出现较少,涝渍过程每增加1次,小麦即可能减产5%;根据阴雨日数、指数临界值及可能减产率将冬小麦春季涝渍灾害划分为三个等级,用于灾后评估和灾损预测。2014年,指数模型在春季涝渍灾害监测中得到应用,监测结论与气象产量的空间分布较为一致,具有业务应用价值。

此外,在模型反演中也发现,由于降水百分率偏离程度大于日照百分率,一旦遇极端降水,逐日涝渍

指数会出现异常峰值(几率在4%左右),干扰了涝渍灾害的准确判别。因此,如何解决涝渍指数的极大值问题将是我们下一步的研究重点。

参考文献

- 黄毓华,武金岗,高苹,2000. 淮河以南春季三麦阴湿害判别方法的研究[J]. 中国农业气象,21(1):23-26.
- 金之庆,石春林,葛道阔,等,2001. 长江下游平原小麦生长季气候变化特点及小麦发展方向[J]. 江苏农业学报,17(4):193-199.
- 康绍忠,刘晓明,熊运章,1994. 土壤-植物-大气连续体水分传输理论及应用[M]. 北京:水利电力出版社.
- 马晓群,陈晓艺,盛绍学,2003. 安徽省冬小麦涝渍灾害损失评估模型研究[J]. 自然灾害学报,12(1):158-162.
- 乔嘉,朱金城,赵姣,等,2011. 基于 Logistic 模型的玉米干物质积累过程对产量影响研究[J]. 中国农业大学学报,16(5):32-38.
- 盛绍学,石磊,张玉龙,2009. 江淮地区冬小麦灾害指标与风险评估模型研究[J]. 中国农学通报,25(19):263-268.
- 孙爽,杨晓光,李克南,等,2013. 中国冬小麦需水量时空特征分析[J]. 农业工程学报,29(15):72-82.
- 汤志成,高苹,1996. 作物产量预报系统[J]. 中国农业气象,17(2):49-52.
- 闻瑞鑫,胡新民,凌炳锦,1997. 渍害对小麦的影响及受渍临界指标的探讨[J]. 中国农村水利水电农田水利与小水电,(4):9-13.
- 吴洪颜,高苹,刘梅,2013. 基于太平洋海温的冬小麦春季涝渍灾害预测模型研究[J]. 地理研究,32(8):1421-1429.
- 吴洪颜,高苹,徐为根,等,2012. 江苏省冬小麦涝渍灾害的风险区划研究[J]. 生态学报,32(6):1871-1879.
- 张芳华,曹勇,徐珺,等,2016. Logistic 判别模型在强降水预报中的应用[J]. 气象,42(4):398-405.
- 张浩,马晓群,王晓东,2015. 安徽省冬小麦水分盈亏特征及其对产量的影响[J]. 气象,41(7):899-906.
- 张乐勤,陈发奎,2014. 基于 Logistic 模型的中国城镇化演进对耕地影响前景预测及分析[J]. 农业工程学报,30(4):1-11.