

从东北玉米冷害预测模型展望农业气象灾害预测技术的发展

王石立 郭建平 马玉平

(中国气象科学研究院,北京 100081)

摘要:以东北玉米冷害预测为例,介绍了近年发展的基于热量指数预测的热量年型统计预测模型和基于玉米生长模式的机理性预测模型,比较了两类模型在预报原理、预报对象、预报时效及准确率等方面的各自差别和利弊,探讨了两类模型取长补短优势互补的可能方法,展望了农业气象灾害预测预警技术发展的若干问题。

关键词:东北玉米;冷害预测;模型;农业气象灾害预测

农业气象灾害系指农业生产过程中发生的导致农业显著减产的不利天气气候事件。除了气象要素本身的异常变化外,农业气象灾害的发生、程度、影响大小与作物种类、发育阶段和生长状况、土壤水分、管理措施等多种因素密切相关。确切意义上的农业气象灾害预报应当是未来天气气候和作物响应2个方面的结合,参照农业气象灾害指标,预报农业生物是否受到危害、危害程度和范围。目前农业气象灾害预报中普遍使用的方法是在农业气象灾害指标基础上应用数理统计方法建立各种预报模型。鉴于统计方法存在解释性较差、预报效果不稳定等缺点,同时面向生长过程的作物生长动力模型和区域气候模式已经取得长足的进步和发展,近年来发展了基于作物生长模型和区域气候模式的新的农业气象灾害预测预警技术,在作物干旱、冷害和渍害等农业气象灾害的预测预警模型上取得了一些结果,较通常的数理统计预测模型在机理性上发展了一步^[1]。在出现多种方法、多种模型的情况下,如何看待和评价数理统计预测模型和基于作物生长模型的预测模型这两类不同性质的农业气象灾害预测模型、实际应用时又如何处理两类预测模型的结果,是当前需要考虑的问题。本文以近年研制的两类不同性质的东北玉米冷害预测模型为例,介绍了模型的建立、指标和预报检验,比较了二者的特点和区别,分析了两类模型相结合的各种可能途径,最后讨论展望了农业气象灾害预测预警技术发展的若干问题。

1 东北玉米冷害预测模型简介

1.1 基于热量指数的玉米年型数理统计预测模型

1.1.1 热量指数的计算和预测模型

客观定量的作物低温冷害指标是进行冷害预测的基础。为了得到真正反映地区热量条件对作物影响的指标,玉米年型预测模型提出了考虑不同时段玉米生长发育所需下限温度、上限温度和适宜温度,有明确生物学意义的新指标——热量指数:

$$F(t) = 100 \times \frac{(t - t_1)(t_2 - t)^B}{(t_0 - t_1)(t_2 - t_0)^B}$$

$$B = \frac{t_2 - t_0}{t_0 - t_1}$$

式中 t 为 5~9 月逐月平均气温; t_1, t_2, t_0 分别为各时段内玉米生长发育所需的下限温度、上限温度和适宜温度。利用 1961~2000 年东北地区 60 个气象站农作物生长季的 5~9 月逐月平均气温代入上式,获得历年热量指数。

整理 1960~2000 年逐月大气环流特征量资料,按副热带高压面积指数、副热带高压强度指数、副热带高压脊线、副热带高压北界、极涡指数、环流指数等 6 类,根据遥相关原理,对上年 7 月至当年 1 月逐月的大气环流资料与该年热量指数进行逐步回归分析,分别建立辽宁、吉林、黑龙江省和东北全区的 6 类玉米热量指数的预测模型。其中:前 30 a 资料用于模型建立和回代检验,后 10 a 资料用于试报检验。相关检验都达到 0.001 的显著水平。在 6 类预测模型的基础上,以各自模型的预测准确率进行加权平

收稿日期:2005-12-22;修订日期:2006-01-16。

基金项目:“十五”国家科技攻关“农林重大病虫害和农业气象灾害的预警及控制技术”项目之“农业气象灾害预警技术研究”课题(2004BA509B-13)及科技部农业成果推广项目“东北低温冷害监测预警技术研究”资助。

作者简介:王石立,女,1946年生,研究员,主要从事农业气候资源、作物生长模拟、农业气象灾害预测等方面的研究,E-mail:wangsl@cma.gov.cn。

均,组成新的集成预报模型^[2]。

7个预测模型对1961~1990年共30a的回代

检验如表1。

由表1可见,东北地区3个省份各模型的回代

表1 东北地区1961~1990年计30a回代检验的准确率

项目	模型1	模型2	模型3	模型4	模型5	模型6	集成模型
辽宁省	98.81	99.03	99.04	99.03	98.62	98.97	99.19
吉林省	97.10	97.19	97.78	98.81	97.20	96.86	97.70
黑龙江省	94.38	95.17	95.34	95.76	95.20	95.54	96.12
全区	92.90	97.51	98.04	97.99	97.30	97.45	97.72

准确率都超过95%,其中辽宁省的回代准确率最高,在98%或以上;黑龙江省的预测准确率较低,但都在95%左右。不同模型之间的差异不大。另外,集成模型的预测效果普遍好于单个独立模型,准确率最

高,利用1991~2000年独立样本资料进行试报检验如表2。

由表2可见,模型的试报准确率略低于回代准确率。其中辽宁省各模型的试报准确率最高,均超

表2 东北地区1991~2000年计10a试报检验的准确率

项目	模型1	模型2	模型3	模型4	模型5	模型6	集成模型
辽宁省	96.03	96.73	95.71	96.59	96.17	97.38	96.88
吉林省	93.66	93.98	91.13	92.42	91.86	93.44	94.49
黑龙江省	92.02	92.47	86.33	87.49	89.89	91.00	93.46
全区	94.03	94.60	90.80	93.43	93.96	94.40	95.07

过95%或以上;黑龙江省的试报准确率最低,模型1、模型2和模型6的试报准确率都在91%以上,其他3个模型的试报准确率为86%~90%。吉林省和东北全区各模型的预测准确率在90%左右。同样,集成模型的试报准确率预测略高于单个模型。

1.1.2 热量年型的划分和预测

利用东北地区60个气象站的逐年热量指数 $F(t)$ 值,计算分省份和全区逐年平均值,利用逐步聚类的方法将 $F(t)$ 资料序列(即玉米的热量指数)分成3类,其中 $F(t)$ 平均值最小的一类代表低温年,表明该年热量偏低,其中 $F(t)$ 的最大值即为低温冷害年指标,小于此值的年份为低温冷害年; $F(t)$ 平均值最大的1类代表高温年,表明该年热量较好, $F(t)$ 的最小值为高温年指标,凡 $F(t)$ 大于此值的年份为高温年;处于二者之间的为正常年份。东北地区的热量年型指标如表3。

表3 东北地区热量指数的年型指标 $F(t)$

地区	辽宁省	吉林省	黑龙江省	全区
低温年	≤89.08	≤74.36	≤63.14	≤75.21
正常年	89.09~ 92.21	74.37~ 79.06	63.15~ 70.41	75.22~ 80.26
高温年	≥92.22	≥79.07	≥70.42	≥80.27

根据预报获得的热量指数和年型指标,即可得到热量年型的预测结果。由于预报因子均为当年1月以前的环流特征量,因此在农业生长季之前可以有效地预测出下一个农业生长季的热量状况,为农业生产的安排和农业气象灾害防御做好充分有效的

准备。

需要指出的是,尽管热量指数的预测误差很小,但由于不同热量年型的热量指标差异较小,准确预测玉米的热量年型仍存在一定的困难。本试验中根据热量指数预测年型的试报准确率不足90%。目前模型作者以对热量年型有重要影响和意义的大气环流指数作为预测指标,建立东北不同地区低温年和高温年预测指标集,拟合效果已经较本例有所改进。

1.2 基于作物生长模型的玉米冷害机理性预测模型

针对东北玉米延迟性冷害主要表现为夏季低温抽雄期延迟导致霜冻前不能正常成熟的特点,近年来发展了基于作物生长模型模拟玉米抽雄日期的冷害预测模型,通过玉米品种参数区域化和气象要素空间插值技术,实现模型的区域尺度应用,并与区域气候模式连接,进行滚动预报^[3]。该模型由发育过程,生长动态(叶面积增长、同化物分配),根伸长动态,蒸散,土壤水分平衡等子模型组成;以日为时间步长进行模拟,建立了考虑玉米发育与最高、最低温度关系的改进的热量单位指标,用以模拟玉米发育过程。通过玉米发育和生长过程对温度的响应,能够较好地模拟温度变化玉米对发育期和生物量积累的影响。模型以抽雄期延迟日数表征低温冷害指标。

随着研究的深入,考虑到东北地区气候变暖和玉米种植范围扩大的事实,利用长期观测资料,进一步详细分析了气候变暖背景下东北玉米模型作物发育参数的时空变异,改进了原有发育参数,建立起新

的动态、综合冷害预报指标,冷害预报效果得到较大改善。

1.2.1 玉米发育参数的时空变异分析

1.2.1.1 发育参数的区域划分

利用东北地区 31 个气象台站长年代的玉米发育期资料,根据出苗—成熟期间 CHU 累积值多年平均值,划分 5 个区域。进一步考察每个站玉米基本熟性,并参考文献[4]玉米叶片数的等值线走向和地形情况进行修正。修正后的 5 个品种熟性类型分区更加符合地形、气候和品种分布状况。在此基础上得到 5 个区的发育参数值。

1.2.1.2 发育参数的时间演变分析及修正

以 1980~2000 年各区代表站点播种—出苗、出苗—抽雄、抽雄—成熟的平均累积 CHU 为发育参数,运行玉米生长模式模拟 1961~2000 年历年发育期及发育期间日数时,发现各地出苗—成熟日数随年代变化有明显的下降趋势,与实际观测资料出入较大。计算显示绝大部分地区出苗—成熟和出苗—抽雄、抽雄—成熟期间 CHU 存在明显的增长趋势。究其原因,系东北地区气温升高、作物生长季有所延长,加之晚熟品种种植面积北移东扩所致。为克服气候变暖对发育期模拟的影响,通过对 80,90 年代分别使用本年代平均值作为发育参数 CHU 取值、以拟合的 1980 年 CHU 值代表 1961~1979 年平均状况等处理,发育期模拟得到明显改进。另外,根据抽雄—成熟期间累积 CHU 与抽雄日期早晚有关,且因地区、年代而异的特点,利用抽雄日偏晚(早)年份抽穗—成熟 CHU 与该区当年拟合 CHU 之差和抽雄日 DOY 距平之间的统计相关,根据模拟的抽雄日期早晚对抽雄—成熟累积 CHU 进行订正,模拟效果进一步得到改善。

1.2.2 综合考虑生长前后期温度条件的东北区域动态综合冷害指标

考虑到抽雄至成熟期间的光、热、水特别是温度条件的好或差有可能加快或延迟玉米的发育进程,从而起到减轻或加剧前期温度条件的影响程度,选择抽雄期延迟日数(单位为 d)、抽雄以后的热量条件(抽雄日至 9 月中旬的累积 CHU 距平,单位为 $^{\circ}\text{C}$)和潜在生产水平下储存器官干物重距平(单位为 kg/hm^2)等 3 个冷害指标,根据其距平值的频率分布,确定了 4 个冷害等级的临界值(由于历史记载难以详细定量划分,在拟合检验时仍以一般和严重冷害两级划分为准)。

在确定区域冷害指标时,根据东北地区夏季低温是大范围的天气气候现象的考虑,适当考虑出现冷害的站点数目。对 3 个指标值标准化处理,并根

据对冷害的指示意义及历史概括程度(历史冷害年份取自多个文献的结论^[5-6];国家气候中心气候影响评价公报,1982~2004 年),选取一定的权重系数,组成动态综合指标。

1.2.3 东北玉米冷害历史拟合检验

根据综合指标模拟了 1961~2000 年东北地区冷害的发生及程度。按照中国气象局 2005 年 7 月 1 日起试行的气发[2005]109 号文件中《关于中短期天气预报质量检验标准》,以改进的动态综合指标拟合东北地区历史冷害准确率为 95.6%,技巧评分 89.5%,明显高于只用抽雄期延迟日数单一指标的结果。

对 20 世纪 80 年代以前东北地区的大范围严重冷害的典型年份即 1969,1972,1976,1979 年在格点尺度上进行区域模拟,各年冷害程度及空间分布与文献[9]记载非常一致。对 1965,1971,1974,1995 年等历史上的区域性冷害年份的模拟结果与文献^[5-6]和记载的延迟性冷害发生地区及程度也很相似。应用新指标还使一些生长前后期温度条件不同的特殊年份的模拟效果得到改善。1974 年玉米生长期热量条件属前差后好年型,综合指标考虑到后期热量条件转好的因素,预报的冷害范围较单用指标 1 缩小至黑龙江东部和辽宁部分地区。可见考虑后期热量条件转好的补偿作用后模拟冷害结果更加符合实际。1971 年玉米生长期热量条件前好后差,综合指标模拟冷害分布于黑龙江中、东部,吉林大部 and 辽宁中部,其中黑龙江、吉林部分地区较重。后期热量指标起到一定的动态订正作用 2 a 模拟结果均与文献记载接近。

2 两类预测模型比较

2.1 原理方法

基于热量指数的玉米热量年型数理统计预测模型(简称统计性模型)利用历史资料建立热量指数与大气环流特征量之间的相关关系,根据大气环流特征量的变化预报热量指数的未来状况。尽管热量指数本身具有较好的生物学意义,但是预测模型仍然是建立在“黑箱”过程和遥相关基础上,而且往往有一定的经验性和地区局限性。基于作物生长模型的玉米冷害机理性预测模型(简称机理性模型)则与之不同,它从作物延迟性冷害产生的内在原因出发,根据光温水等环境气象条件(实况和预测值)模拟作物生长发育过程,特别是模拟预测抽雄期是否推迟,后期温度条件能否保证霜冻前正常成熟以及对储存器官干物质重量的影响等等,因此,机理性预测模型是更加符合农业气象灾害含义的模型。

2.2 预报对象

玉米热量年型统计预测模型在对热量指数的预报基础上判断热量年型。所谓热量指数是玉米生长季内每日环境温度对三基点温度适宜程度的累积值,热量年型是根据一定的临界值确定热量的高低多寡,间接判断是否为冷害年。冷害机理性预测模型从冷害的定义出发,根据抽雄日期推迟、后期热量状况和储存器官受损等3要素组成的冷害综合指标直接预报是否发生冷害。

2.3 预报时效

玉米热量年型统计预测模型在东北玉米生长季之前的3月预测当年农业生长季内热量状况,时效为6~7个月。而机理性预测模型的预报时效取决于提供逐日气象要素预报的气候预报或天气预报。研究中实行2次预报。第1次预报在3月底以区域气候模式输出的4~6月预报值和后期气候平均值驱动玉米模式。第2次预报在5月底以前期实况气象要素和区域气候模式输出的6~9月预报值驱动玉米模式发布冷害预测。如果不断有更短时效的气候模式预测结果或中期数值预报结果,可以动态滚动发布预报。

2.4 预报效果

热量年型预测模型具有一般统计预测模型的特点,方法简便,易于统计,预报时效较长。但是模型的建立是根据历史资料计算预报对象与预报因子的相关关系,注重的是历史演变规律,因此预报效果的好坏与观测资料的样本长度有密切关系。其历史拟合率可能很高,但外推预报时则可能由于预报因子当前的变化出现在历史资料取值范围外而产生较大失误。机理性预测模型从作物的生理生态过程出发,能够就环境气象变量对作物生长发育和产量形成的影响给出比较明确合理的机理性解释。然而是否有农业气象灾害发生则同时取决于未来天气条件的变化和作物生长发育的响应2个方面。因此,气象要素预报的准确率在较大程度上决定着农业气象灾害预测准确率的高低。王绍武曾指出,针对月、季尺度气温降水距平的短期气候预测可预报性为6~12个月,准确率理论上限为80%~85%,月气温与降水还稍低。同时认为用GCM预报的结果计算温度和降水或用GCM直接预报技巧分都不是很高^[7]。为了利用区域气候模式逐日要素预报值驱动作物模式,采用高分辨率(25 km)的区域气候模式嵌套T63全球模式的预报结果,进行动力降尺度得到模拟/预报值。由于分辨率改变,还需要进行大量试验以确定比较好的物理过程参数化方案的组合搭配,因此,作为作物模型输入因子的区域气候模式逐日要素值

预报准确率的提高有一个过程。

3 两类预测模型结合方法的探讨

既然统计性预测模型和机理性预测模型各有优势,各有不足,应当向哪方面发展,如何提高农业气象灾害预测预警的准确性呢?本文作者认为,2种模型相结合、取长补短、动态订正应为可行之路。

3.1 不同预报因子的统计模型进行集成预报

任何一种统计预报模型都有一定的局限性。实际应用时往往采用多模式预报集成的办法来弥补各模式的缺欠和不足,最终提高预报效果。常用的方法有回归集成和权重集成等。本文列举的热量预测模型即在副热带高压面积指数、副热带高压强度指数、副热带高压脊线、副热带高压北界、极涡指数、环流指数等6类统计预测模型基础上,以各自模型预测的准确率进行加权平均,组成新的集成预报模型。结果表明,集成模型的预测效果普遍好于单个独立模型。

3.2 不同性质的统计模型和机理模型进行动态跟踪预报

由于预报对象、方法等差别,不同性质的2个模型显然不宜进行简单的集成预报。但是预报时效的差别却可以用来进行动态跟踪预报。

2个模型对1961~2000年的拟合/模拟表明,2个模型对典型的大范围严重低温冷害年1969,1972,1976年均能给出正确的拟合或模拟结果。热量年型预测模型未能预报出1979年较大范围的低温冷害年。运行玉米模型,根据模拟的玉米抽雄期和后期热量条件,即可模拟出该年黑龙江和辽宁玉米抽雄期推迟、后期热量条件不好、有冷害发生。

热量年型预测模型预报1986,1989,1995年各地热量条件正常、无冷害发生。机理性预测模型预报的结果表明1986,1989年玉米生长季前期温度正常,抽雄期没有明显推迟。但抽雄后期热量条件较差,最终出现区域性冷害(1986年东北南部、1989年黑龙江和辽宁部分地区)。相反,1995年玉米抽雄期推迟,但后期热量条件较好,冷害仅在辽宁和吉林、黑龙江部分地区发生。

另外,热量年型预测模型以3个行政省份为预报对象范围,而机理性预测模型由于在 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 较高分辨率上进行模拟和预测,因此可以给出跨省份或省内不同区域的较详尽的冷害空间分布。

从上述分析可以看出,热量年型预测模型预报时效较长,在作物生长开始前发布年型预测,决策者和农民可以根据年型确定适宜种植作物的种类和品种。基于玉米生长模型的玉米冷害预测模型从冷害

发生的原因入手,能预报出一些统计模型未能预测、与玉米生长发育关系更密切的冷害年份,给出较详细的空间分布,在冷害预报的同时还可以了解冷害的产量损失。实际应用时若以前者为第1次发布,后者为第2次发布,则后者可作为前者的补充订正。2类模型互相配合,相得益彰,在时间上动态跟踪预报,可以增强玉米冷害的预警预测能力。

3.3 统计—动力模型相结合的可能途径

天气气候的概率统计预报方法已经向与动力模式结合取长补短的统计—动力模式发展。或以动力模式为主体,将初始条件设为随机场并考虑场的历史演变;或将动力模式中未包括或无法包括的动力、热力因子进行统计描述或处理^[8]。本例中关于东北玉米冷害的统计性预测模型和动力生长预测模型今后是否有可能在二者结合上做一些尝试呢?

一定热量年型下的动力模型冷害预测。如果热量年型预测模型能够较早、较准地预报出当年为低温年型,可以对该年型的历史典型年份分别以实际气象资料运行玉米生长模型,根据冷害指标确定各年冷害发生与否及其空间分布,然后统计不同概率下的冷害状况,发布冷害概率预报。

气象要素月预报下的动力模型冷害预测。假定基于数理统计方法的气象要素月预报或动力模式月预报准确率比短期气候逐日预报来得更准,可以利用天气发生器对生长期各种气象要素的月预报值生成逐日要素值,将前期已经出现的实况气象资料和后期各种逐日要素值可能值连接,分别运行玉米生长模型,得到各种可能的玉米生长过程及相应的冷害发生可能性,进而给出不同的玉米冷害概率预报。

上述设想虽然给出的只是一定概率下的预报,而非绝对量预报,但是在动力—统计相结合的过程中,既利用了统计预报简单方便,月值预报效果较好的优势,又发挥了机理性预测模型能够给出冷害发生的可能及其影响,生物学意义明确的优势。预测结果可以给用户提供多种选择的决策依据,降低预测失误的风险。一定热量年型下的动力模型冷害预测还能在1~2月预测热量年型的基础上做出时效7~8个月的冷害预报。

4 结论与讨论

4.1 以东北玉米冷害预测为例,介绍了近年发展的基于热量指数预测的热量年型统计预测模型及基于玉米生长模式和区域气候模式的机理性预测模型,比较了它们在预报原理、预报对象、预报时效及准确率方面的各自差别和利弊,探讨了两类模型取长补短

优势互补的可能方法。

4.2 农业气象灾害预报的特点在于它的针对性及与农业生产对象的紧密结合。无论是统计预测模型还是作物模型基础上的预测模型都应加强农业气象灾害指标的研究。要与作物生长过程、作物生理特征及受害影响相结合,考虑作物不同发育阶段对灾害的敏感程度差异,考虑作物生长发育前后阶段和多种气象要素的综合影响。

4.3 数理统计模型仍是农业气象灾害预报的主要方法之一。选择预报因子时要注重物理概念和生物物理机理,了解天气形势、气候背景、异常气候事件与农业气象灾害之间的因果关系,设法更多地发现和揭示气候异常变化的物理过程和前兆预测信号。力求克服经验统计方法存在的解释性较差、预报效果不稳定等缺陷,提高农业气象灾害统计预报的准确率。

4.4 作物生长动力模拟模型在由田间尺度升至区域尺度预测应用时需要设法解决环境变量的时空变异问题,通过合理的输入取样、区域校正、完善模型、处理不完全资料等途径来减小区域化应用时的误差。要尽可能提高作为作物模型输入因子的区域气候模式逐日要素预报准确率。首先是提高全球大尺度模式的预报技巧,同时还需要改进区域气候模式中的参数化方案以及陆面条件在高分辨率条件下的描述,进行多样本集合方法的预报试验。在将天气预报或区域气候模式与作物模拟模式相结合进行农业气象灾害预报时,可以采用以不断更新的实时气象资料与气候预报输出结果相连接的动态滚动预报,最大可能地减小因天气预报而产生的误差。

4.5 任何一种方法都有其优缺点,因此,农业气象学与天气气候学、动力气候学等多学科结合,统计模型与动力模型相结合,短期气候预测预测和中短期预报相结合,预报与订正相结合,卫星遥感动态监测信息与预警模式相结合的综合集成将是农业气象灾害预报的稳妥而有效的方法。天气气候预报中的先进的思路、方法、技术和发展前景应当积极引进到农业气象灾害预测预警中来。

参考文献

- [1] 王石立. 近年来我国农业气象灾害预报方法研究概述. 应用气象学报, 2003, 14(5): 574-581.
- [2] 郭建平. 东北地区玉米热量指数的预测模型研究. 应用气象学报, 2003, 14(5): 626-633.
- [3] 刘布春, 王石立, 庄立伟, 等. 基于东北玉米区域动力模型的低温冷害预报应用研究. 应用气象学报, 2003, 14(5): 616-625.
- [4] 刘新安, 孙玉亭. 东北地区玉米品种合理搭配技术研

- 究. 气象学报, 2000, 58(增刊): 899-908.
- [5] 冯佩芝, 李翠金, 李小泉. 中国主要气象灾害分析(1951~1980). 北京: 气象出版社, 1985.
- [6] 毛飞, 高素华, 王春乙. 东北地区热量资源和低温冷害分析规律的研究. 气象学报, 2000, 58(增刊): 871-880.
- [7] 王绍武, 朱锦江. 短期气候预测的评估问题, 应用气象学报, 2000, 11(增刊): 1-10.
- [8] 王宗皓, 李麦村. 天气预报中的概率统计方法, 北京: 科学出版社. 1974: 182-195.

Advance in agrometeorological disasters' prediction as a case study on prediction models of cold injury in Northeast China

WANG Shili GUO Jianping MA Yuping

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, CMA, Beijing 100081)

Abstract: As a case study, two prediction models of cold injury in Northeast China were introduced, including statistical prediction model of heat index for maize and mechanism prediction model based on maize growth simulation model developed recently. The differences in principle and objects of prediction, valid time of prediction as well as prediction accuracy for the two models were pointed out. The possible approaches to combine and make their priorities were discussed. Finally, some comments about development of agrometeorological disasters' prediction were presented.

Key words: Maize in Northeast China; Cold injury prediction; Model; Agrometeorological disasters' prediction