

高苹,张佩,谢小萍,等. 基于海温和环流特征量的江苏省小麦适播期预测[J]. 气象,2012,38(12):1572-1578.

基于海温和环流特征量的江苏省小麦适播期预测^{* 1}

高 苹¹ 张 佩¹ 谢小萍¹ 胡洛林² 项 璞³

1 江苏省气象服务中心,南京 210008

2 江苏省气象台,南京 210008

3 江苏省气候中心,南京 210008

提 要: 基于江苏省 60 个气象台站 1961—2010 年冬小麦冬前生长期间的气温资料,利用曼-肯德尔法(Mann-Kendall method)分析发现,小麦冬前生长期日均气温及有效积温在全球气候变暖背景下均有明显的增暖趋势。同时根据江苏省各地区冬小麦有记录以来的农业气象资料分析可得,播期与冬前总积温、有效积温具有极显著的相关关系,尤以有效积温更为显著,均通过了 0.001 显著水平检验,故可利用冬前有效积温确定冬小麦适播期。在此基础上,根据海气相互作用原理以及 500 hPa 大气环流特征量能表征天气形势和控制天气条件的这一特性,利用最优化因子相关技术对海温及环流特征量进行普查,从中挑选一批与冬前有效积温相关显著、稳定性强、因子相互独立、可靠的海温和环流特征量作为长期预报因子,建立冬前有效积温的海温模型和环流模型,其拟合效果和试报效果甚佳,可投入业务应用,提前 1~2 月预测冬前有效积温,从而确定冬小麦适播期。

关键词: 农用天气预报,海温,环流特征量,最优化相关普查技术,适播期预测

Prediction of Optimum Sowing Date of Winter Wheat in Jiangsu Province Based on Sea Surface Temperature and Atmospheric Circulation Characteristics

GAO Ping¹ ZHANG Pei¹ XIE Xiaoping¹ HU Luolin² XIANG Ying³

1 Jiangsu Meteorological Service Centre, Nanjing 210008

2 Jiangsu Meteorological Observatory, Nanjing 210008

3 Jiangsu Climate Centre, Nanjing 210008

Abstract: Based on the analysis of temperature data from 60 meteorological stations in Jiangsu Province during the period 1961—2010 by using the Mann-Kendall method, it was found out that both daily mean temperature and effective accumulative temperature during the growing period of winter wheat prior to winter have significant increasing trends in parallel with global warming. The statistical analysis on the agro-meteorological records in different regions has shown that the sowing date of winter wheat is significantly correlated with the total and effective accumulative temperatures prior to the winter. The correlation between sowing date and effective accumulative temperature has passed the test at the 0.001 significance level. According to coupling between the atmosphere and oceans and the fact that the atmospheric circulation characteristics (ACC) of 500 hPa can indicate the weather patterns and control the weather conditions, a batch of effective sea surface temperature (SST) and ACC predictors of accumulative temperature prior to the winter were selected using the optimum correlation technique. These SST and ACC predictors are independent each other and have stable and significant correlations with the accumulative temperature. Then the models for predicting the accumulative temperature prior to the winter were developed. Calibrations and validations show that these developed models are able to predict the accumulative temperature prior to the winter with satisfied accuracy. They can be routinely operated to predict the accumulative temperature prior to the winter and to determine the optimum sowing date of winter wheat one to two months in advance.

* 公益性行业(气象)科研专项(GYHY200906021)和江苏省气象局开放基金项目(K201005)共同资助

2012 年 2 月 23 日收稿; 2012 年 6 月 20 日收修定稿

第一作者:高苹,主要从事应用气象领域科研、业务和服务工作. Email:gaoping5268@126.com

Key words: weather forecast for farming, sea surface temperature (SST), atmospheric circulation characteristics (ACC), optimization correlation technique, prediction for optimum sowing date

引 言

冬小麦是我国最主要的粮食作物,在国家粮食安全中居重要的地位。适期播种可以充分利用冬前的光热资源,培育壮苗,增强抗逆能力,为提高成穗率、培育壮秆大穗奠定基础^[1-3]。但 20 世纪 80 年代以来,全球气温呈升高趋势,尤其是秋季气温升高更为显著,加上暖冬气候明显,春季极端天气发生频繁,造成小麦春霜冻害较为严重,影响最终产量的形成^[2]。因此,确定冬小麦适宜播期尤为重要^[4-6]。

根据联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)第四次评估报告,过去 100 年中全球平均地表温度上升了 0.74℃,气温普遍升高尤以北半球高纬度地区最为明显^[7],在全球变暖背景下,近 100 年来中国年平均地表温度明显增加,升幅为 0.5~0.8℃,尤其是近 50 年中国年平均气温以北方升幅最为显著,近 50 年温度已上升了 4℃以上,高于同期全球平均值,20 世纪 80 年代是温度明显升高的转折点^[8-12]。气候变暖对种植制度、作物的生育期和产量都有影响^[13],江苏省淮北冬小麦的播种期集中在 10 月,其中大部分半冬性品种主播期在 10 月上、中旬,沿淮冬小麦的主播期则集中在 10 月中、下旬,较其他地区偏晚;淮河以南地区冬小麦的播种期集中在 10 月中旬至 11 月上旬。有研究表明^[14],即使按各地传统播期下限日期播种,也基本能满足麦苗安全越冬的热量要求。另一方面,江苏省大部分品种进入越冬期后并没有完全停止生长,越冬期间当日平均气温高于 3℃,麦苗仍可缓慢生长,增加分蘖,弥补了一定量的冬前积温。因此,江苏省冬小麦适播期较实际播期仍可后延。

有关积温的变化对作物影响以及利用积温来确定作物适播期的研究多有报道^[15-21],但进入 21 世纪以来,在气候变暖的背景下,秋季的日平均气温上升明显,积温增加显著,为了提高时效性,利用表征天气形势和控制天气条件的 500 hPa 环流特征量及西太平洋海温来预测小麦冬前有效积温,从而确定冬小麦适播期的研究鲜为报道。

众所周知,大气环流是指大范围空气运行的现象,水平尺度在 1000 km 以上,垂直尺度在 10 km 以上,时间尺度在 10⁵ s 以上。这种大范围的空气运行不仅制约着大范围天气的变化,而且是气候形成

的基本因素之一^[22-23]。另外,大量研究表明,海温的异常变化将不仅影响大气环流^[24],而且对降水^[25-27]、温度^[28]等地面气象要素^[29]的变化具有十分重要的影响,是影响气候预测的关键因子。

为此,根据中长期天气预报原理,海温和环流特征是气象学中长期天气预报的重要因子,为了提高预报时效性,本文以江苏为例,试图利用对中国气候有重要影响的西太平洋海温和环流特征量作为长期预报因子,创建小麦冬前有效积温预报模型,提前做出积温预测,从而根据冬前有效积温与播种期的关系确定冬小麦适播期,为农业生产部门合理布局提供科学依据。

1 资料筛选

1.1 气象资料

选取来自江苏省气候中心 60 个气象台站 1961—2010 年的气温资料,以及 10 个冬小麦观测站有记录以来的农业气象资料,其中徐州、盱眙、昆山和滨海 4 站资料为 1980—2010 年,大丰、如皋和兴化 3 站资料为 1981—2010 年,赣榆及淮安 2 站资料为 1982—2010 年,沭阳资料为 1990—2010 年,因此都统一用 1990—2010 年资料做相关分析。

1.2 环流特征量资料及海温场资料

由于 500 hPa 大气环流系统是由超长波、长波和短波系统组成,它表征了大气经向、纬向环流、副高、东西槽、印缅槽、青藏高原、南方涛动指数及极涡等大形势天气过程的活动情况,故它们对一般天气条件的影响也存在一定的滞后效应^[22];海温为西太平洋网格海平面平均温度,从长期天气预报的观点看,海温对一般天气条件的影响亦存在一定的滞后效应^[22,24-27],可作为长期天气预报因子。因此,选择来自国家气候中心的影响我国天气过程的 74 项 500 hPa 大气环流特征量以及西太平洋 10°S~50°N、120°E~80°W 海区 5°×5°格点(共 286 个)的海平面温度(SST)资料作为自变量,分析其与冬小麦冬前有效积温的关系。考虑资料来源和预报时效,对前一年 1 月到当年 9 月的环流特征量及海温进行相关分析。

2 研究方法

2.1 有效积温

有效积温($\sum A$)指从每天日平均气温 t_i 中减去对该作物生长无效的那部分下限温度 b_0 , 然后累加各日的差值所得到的积温

$$\sum A = \sum_{i=1}^n (t_i - b_0), \text{ 当 } t_i \leq b_0 \text{ 时, } t_i - b_0 = 0 \quad (1)$$

n 为积温时段内的天数。

冬前有效积温是指冬小麦播种至越冬前 $\geq 0^\circ\text{C}$ 有效积温, 故取 $b_0 = 0^\circ\text{C}$ 。

2.2 曼-肯德尔(Mann-Kendall)法

曼-肯德尔(Mann-Kendall)法^[30]是一种常用的突变检测方法。

对于具有 n 个样本量的时间序列 x , 构造一秩序列:

$$s_k = \sum_{i=1}^k r_i \quad k = 2, 3, \dots, n \quad (2)$$

其中: $r_i = \begin{cases} +1, & \text{当 } x_i \geq x_j \\ 0, & \text{当 } x_i < x_j \end{cases} \quad j = 1, 2, \dots, i-1$

$$\text{则: } UF_k = \frac{[s_k - E(s_k)]}{\sqrt{\text{var}(s_k)}} \quad k = 1, 2, \dots, n$$

式中 $UF_1 = 0$, $E(s_k)$ 和 $\text{var}(s_k)$ 是累计数 s_k 的均值和方差, 其中:

$$E(s_k) = \frac{k(k-1)}{4}, \text{var}(s_k) = \frac{k(k-1)(2k+5)}{72}$$

UF_k 为标准正态分布, 给定显著水平, 查正态分布表, 若 $|UF_k| > U_\alpha$ (本文取 $\alpha = 0.05$ 时, $U_{0.05} = \pm 1.96$), 则表明序列存在明显的趋势变化。

按时间序列 x 逆序 x_n, x_{n-1}, \dots, x_1 , 再重复上述过程, 同时使 $UB_k = -UF_k$ ($k = n, n-1, \dots, 1$), $UB_1 = 0$ 。 UF 和 UB 曲线交点出现的年份, 即为突变开始年。

2.3 最优化因子相关分析技术

自变量与因变量之间存在着不同形式(线性和非线性)的相互关系, 找到两者之间最合适的相关形式非常重要, 但也十分困难。而最优化相关普查方法^[31]可以解决这一问题。为了增加因子的信息量, 首先对因子进行了膨化处理^[28], 然后再进行最优化普查。

因子 X 的线性和非线性[含单调的和非单调的单峰(谷)型]化处理可归纳为一种通用变换形式:

$$Q = (|X - b| / B + 0.5)^a \quad (3)$$

式中, a 和 b 为待定参数, 且 $X_{\min} \leq b \leq X_{\max}$, $B = \max(X_{\max} - b, b - X_{\min})$ 。经上式变换后, Q 与 Y (Y 为因变量, 文中代表小麦冬前有效积温)必为单调关系, 且 $(|X - b| / B + 0.5)$ 的值在区间 $[0.5, 1.5]$ 内变化。对于单峰(谷)型关系的因子, 为了避免 X 在最低或最高值附近出现的个别样本的偶然误差影响, b 的取值以 $X_{\min} + (X_{\max} - X_{\min}) / 4 \leq b \leq X_{\max} - (X_{\max} - X_{\min}) / 4$ 为宜。至于 a 值, 根据我们的实际工作经验, 一般在 $(-10, -1/10)$ 和 $(1/10, 10)$ 两个区间内取值, 效果较好。待定参量 a 和 b 可用最优化技术求出。令目标函数为

$$f(a, b) = 1 - R^2 \rightarrow \min \quad (4)$$

R 为 a 和 b 取一定值时, Q 与 Y 的相关系数。应用二维寻优的变量转换思路将其分解为一元问题逐步处理。

于是, 经过上述方法处理普查后获得的因子, 是一批与因变量相关最显著的因子。

2.4 海温模型预测因子的筛选

考虑到海温因子是一个场, 首先对海温场进行相关普查, 为了预测模型的可靠性和准确性, 避免单相关的偶然性, 根据场相关分析原理, 剔除单个或连续 2、3 个高相关的因子, 以存在连续 4 个以上相关显著格点的海区作为 1 个相关显著区, 取区内格点海温的平均值作为 1 个预报因子; 再将所选因子进行最优化相关处理。

2.5 稳定性检验与独立性检验

通过对相关普查所选的因子用滑动相关检验法进行稳定性检验^[32], 拟淘汰掉一些相关程度前好后差或波动变化较大的因子, 保证所选因子与积温之间具有稳定、显著的相关关系。

另外, 为了提高统计回归模型的可预报性, 首先要估计预报模型的系数, 对于最小二乘法拟合来说, 如果自变量数据矩阵 $\mathbf{X}_{n \times p}$ 中有多元共线性存在, 则系数就无法估计。为了解决这一问题, 本文选用主成分识别法^[28, 31, 33-34]进行因子的独立性检验^[28, 33-34], 剔除共线性因子。在通过 $\alpha = 0.01$ 显著性水平检验的相关显著因子中分别剔除掉复共线性因子, 可以认为剩下的因子是分别与各区相关显著、稳定并且相对独立的因子。

3 结果分析

江苏省受季风影响,春秋较短,冬夏偏长,南北温差明显。全省年平均气温在 13.6~16.1℃之间,分布为自南向北递减。江苏的北部和南部在季节起止时间亦有比较明显的差别,一般淮北地区和苏南地区会相差一周左右的时间。全年降水量季节分布特征明显,降水分布是南部多于北部,沿海多于内陆;全省年降水量为 704~1250 mm,江淮中部到洪泽湖以北地区降水量少于 1000 mm,以南地区降水量则在 1000 mm 以上。

根据江苏的气候特征,淮北地区小麦一般选取半冬性的品质,而淮河以南地区则是选取春性品种;两个区域的播种期和其他生育期亦不尽相同。目前,不论淮北还是淮河以南地区,江苏冬小麦实际播种期基本上属于适宜播种期之内。因此,本文将江苏分成淮北和淮河以南地区两个区域进行分析讨论,并分别建模。

3.1 小麦冬前生长期日平均气温及冬前有效积温变化

在全球气候变暖的大背景下,江苏省的气候也在明显变暖,尤以冬半年气候变暖突出,并成为江苏冬麦生产大面积叶龄超生,个体超高,群体超大,生育超前的主要气候原因^[2]。通过结合江苏省冬小麦农业气象观测资料,利用曼-肯德尔(M-K)法分析了冬前生长期(淮北地区 10 月 1 日至 12 月 15 日及淮河以南地区 10 月 11 日至 12 月 20 日)的日平均气温及有效积温的变化特征(图 1),发现江苏省冬前生长期日平均气温淮北地区在 1997 年、淮河以南地区 1994 年有突变点,且通过 0.05 显著性水平检验,气温明显上升;同样冬前生长期有效积温不论是淮北还是淮河以南地区均在 1994 年有拐点,且通过 0.05 显著性水平检验,其后冬前有效积温明显增加。故江苏省冬小麦冬前生长期,日平均气温和有效积温均有明显的增暖趋势。

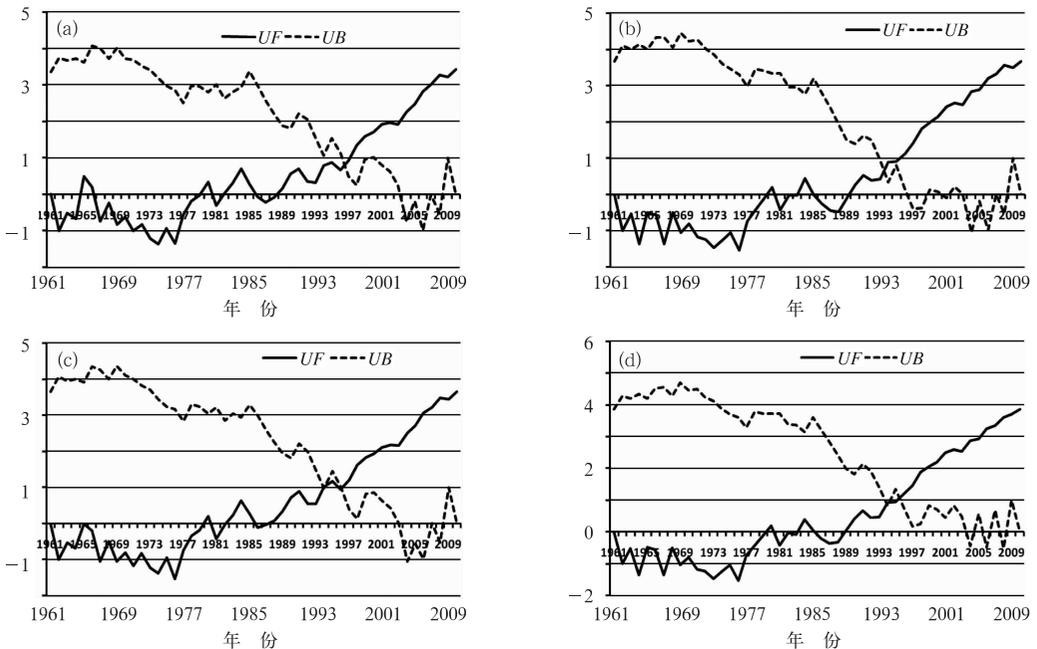


图 1 江苏省冬前日平均气温(a和b)及有效积温(c和d)的曼-肯德尔统计曲线
(a)和(c)为淮北地区,(b)和(d)为淮河以南区域

Fig. 1 Mann-Kendall statistical curves of the daily mean temperature (a and b), and the effective accumulative temperature (c and d) before over-wintering in Jiangsu Province, (a) and (c) in Huaibei area, (b) and (d) in south of the Huaihe River

3.2 小麦播期与冬前积温的关系分析

表 1 分别列出了 6 个地区冬小麦播种至越冬总

积温(A)、播种至越冬 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 有效积温($A_{\geq 0}$)与播期(t,对播期数字化处理:将历年播期换算成天数进行分析,即每年的 1 月 1 日为第 1 天,如沭阳 1985 年

冬小麦播种期为 10 月 7 日,即为 1985 年的第 280 天)的相关分析结果。可以看出,A 和 $A_{\geq 0}$ 均与播期有极显著(相关系数 $R_{0.001}$ 为 0.6932)的负相关关系,且 $A_{\geq 0}$ 与播期有更好的负相关性,其中,除滨海

外,其他 5 个地区 $A_{\geq 0}$ 与播期的相关系数的绝对值均在 0.8000 以上,最高的赣榆达到 0.8720。因此,利用冬前有效积温进行适播期的预测确实可行。

表 1 冬小麦播种至越冬总积温(A)、 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 有效积温($A_{\geq 0}$)与播期的相关分析

Table 1 Correlation analyses between the total (A) and effective ($A_{\geq 0}$) accumulative temperatures during sowing to over-wintering and the sowing date

	播种至越冬总积温与播期的相关系数	播种至越冬 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 有效积温与播期的相关系数	播种至越冬 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 有效积温与播期的回归方程
徐州	-0.7923	-0.8015	$t = -0.0408A_{\geq 0} + 311.59$
赣榆	-0.8549	-0.8720	$t = -0.0384A_{\geq 0} + 310.42$
沭阳	-0.8355	-0.8369	$t = -0.0491A_{\geq 0} + 317.31$
盱眙	-0.8066	-0.8155	$t = -0.0377A_{\geq 0} + 317.60$
淮安	-0.8035	-0.8056	$t = -0.0459A_{\geq 0} + 320.31$
滨海	-0.7933	-0.7966	$t = -0.0375A_{\geq 0} + 313.66$

3.3 基于海温、环流特征量的积温预报模型

考虑了因子相关的最优化、显著性、稳定性和独立性,由自变量组合的联立方程可以达到非奇异。

利用逐步回归方法,分别建立淮北地区及淮河以南地区稳定可靠的预报模式(表 2 和表 3),以 1971—2005 为样本建模,2006—2010 年为独立样本作为检验。

表 2 冬小麦冬前有效积温的海温预报模型

Table 2 The SST model of effective accumulative temperature before over-wintering

项目	淮北地区	淮河以南区域
模型	$Y = 21.48X_1' + 124.95X_2' - 124.14X_3' - 1.01X_4' - 43.36X_5' + 33.41X_6' + 821.28$	$Y = -17.54X_1' - 6.77X_2' + 46.19X_3' - 55.81X_4' + 21.46X_5' + 831.08$
F	24.97	28.61
R	0.905	0.899

注: $X_1' = (|X_1 - 49.2| / 13.8 + 0.5)^{3.18}$, X_1 为前一年 5 月 50°N 、 $180^{\circ} \sim 150^{\circ}\text{W}$ 中 7 个网格点海区的温度平均值,单相关系数 $R = 0.59$;
 $X_2' = (|X_2 - 225.0| / 34.0 + 0.5)^{0.54}$, X_2 为前一年 6 月 $30^{\circ} \sim 35^{\circ}\text{N}$ 、 $160^{\circ} \sim 170^{\circ}\text{E}$ 中 4 个网格点海区的温度平均值,单相关系数 $R = 0.51$;
 $X_3' = (|X_3 - 296.4| / 12.0 + 0.5)^{0.43}$, X_3 为前一年 11 月 10°N 、 $130^{\circ} \sim 150^{\circ}\text{E}$ 中 5 个网格点海区的温度平均值,单相关系数 $R = -0.44$;
 $X_4' = (|X_4 - 266.4| / 14.6 + 0.5)^{-6.76}$, X_4 为当年 3 月 5°N 、 $120^{\circ} \sim 105^{\circ}\text{W}$ 中 4 个网格点海区的温度平均值,单相关系数 $R = -0.52$;
 $X_5' = (|X_5 - 291.4| / 14.6 + 0.5)^{1.60}$, X_5 为当年 5 月 $5^{\circ} \sim 15^{\circ}\text{N}$ 、 $110^{\circ} \sim 100^{\circ}\text{W}$ 中 5 个网格点海区的温度平均值,单相关系数 $R = -0.55$;
 $X_6' = (|X_6 - 180.8| / 22.1 + 0.5)^{2.95}$, X_6 为当年 9 月 $30^{\circ} \sim 45^{\circ}\text{N}$ 、 $165^{\circ}\text{E} \sim 160^{\circ}\text{W}$ 中 12 个网格点海区的温度平均值,单相关系数 $R = 0.65$ 。
 注:F 为检验值($F_{0.01} = 4.94$),R 为复相关系数,淮河以南地区海温预报模型中预报因子的含义与淮北的不同,但由于篇幅原因不一一说明。

表 3 冬小麦冬前有效积温的环流预报模型

Table 3 The ACC model of effective accumulative temperature before over-wintering

项目	淮北地区	淮河以南区域
模型	$Y = -62.81X_1' + 31.94X_2' + 15.90X_3' - 33.12X_4' + 20.58X_5' - 18.52X_6' - 7.00X_7' - 61.78X_8' + 9.14X_9' + 985.59$	$Y = 40.82X_1' - 8.94X_2' - 9.17X_3' + 26.99X_4' - 6.16X_5' - 9.57X_6' - 75.85X_7' - 70.92X_8' + 944.35$
F	43.83	46.50
R	0.96	0.96

注: $X_1' = (|X_1 - 4.86|) / 33.14 + 0.5)^{-0.65}$, X_1 为北美大西洋副高强度指数($110^{\circ} \sim 20^{\circ}\text{W}$)前一年 3 月的值,单相关系数 $R = -0.55$;
 $X_2' = (|X_2 - 25.0|) / 5.0 + 0.5)^{-1.23}$, X_2 为北美大西洋副高脊线($110^{\circ} \sim 20^{\circ}\text{W}$)当年 9 月的值,单相关系数 $R = 0.42$;
 $X_3' = (|X_3 - 149.6|) / 39.6 + 0.5)^{2.02}$, X_3 为大西洋欧洲区极涡面积指数(4 区)前一年 9 月的值,单相关系数 $R = 0.57$;
 $X_4' = (|X_4 - 630.3|) / 59.8 + 0.5)^{-1.50}$, X_4 为北半球区极涡面积指数(5 区)前一年 8—9 月的平均值,单相关系数 $R = -0.65$;
 $X_5' = (|X_5 - 47.0|) / 21.0 + 0.5)^{2.39}$, X_5 为北美区极涡强度指数(3 区)当年 5—6 月的平均值,单相关系数 $R = 0.54$;
 $X_6' = (|X_6 - 29.9|) / 8.6 + 0.5)^{-2.04}$, X_6 为大西洋欧洲区极涡强度指数(4 区)当年 5—7 月的平均值,单相关系数 $R = -0.59$;
 $X_7' = (|X_7 - 9.0|) / 7.7 + 0.5)^{-2.65}$, X_7 为大西洋欧洲环流型 C 前一年 1—3 月的平均值,单相关系数 $R = -0.46$;
 $X_8' = (|X_8 - 77.5|) / 57.5 + 0.5)^{-0.75}$, X_8 为亚洲纬向环流指数(IZ)当年 8—9 月的平均值,单相关系数 $R = -0.58$;
 $X_9' = (|X_9 - 31.4|) / 18.4 + 0.5)^{-2.47}$, X_9 为印缅槽($15^{\circ} \sim 20^{\circ}\text{N}$ 、 $80^{\circ} \sim 100^{\circ}\text{E}$)前一年 6 月的值,单相关系数 $R = 0.52$ 。
 注:F 为检验值($F_{0.01} = 4.94$),R 为复相关系数,淮河以南地区海温预报模型中预报因子的含义与淮北的不同,但由于篇幅原因不一一说明。

3.4 预报模型拟合结果与 5 年试报

利用上述预报模型进行回代检验,对冬前有效积温的模型进行模拟,图 2 分别给出了淮北及淮河

以南地区冬前有效积温预报模型的拟合情况。可以看出,模型的历史拟合效果较好,所有模型都通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性检验。

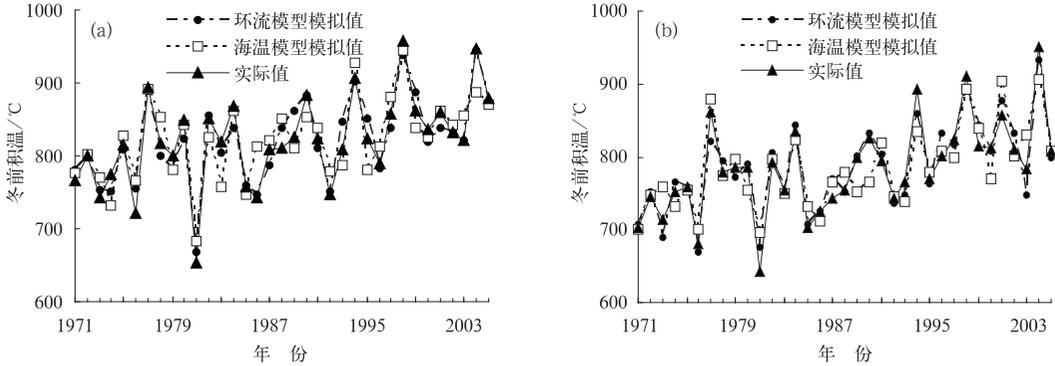


图 2 冬前有效积温海温、环流模型的拟合情况
(a)淮北地区,(b)淮河以南区域

Fig. 2 Simulation SST and ACC models for forecasting the effective accumulative temperature before over-wintering in Huabei area (a) and south of the Huaihe River (b)

利用 2005—2010 年资料作为独立样本进行试报检验,其结果列于表 4。可以看出,冬前有效积温预报值与实际值大部分年份误差的百分比[(预报值

—实际值)/实际值 $\times 100\%$]基本控制在 5%以内,最大误差的百分比为 5.54%,可见试报效果较佳。

表 4 基于海温、环流预报模型的冬前有效积温(单位:°C)5 年试报情况

Table 4 Test forecasts during 2006—2010 on the effective accumulative temperature (unit:°C) before over-wintering based on SST and ACC models

年份	淮北地区					淮河以南地区				
	实际值	海温模型		环流模型		实际值	海温模型		环流模型	
		预报值	误差/%	预报值	误差/%		预报值	误差/%	预报值	误差/%
2006	1011.99	1014.84	0.28	1002.13	-0.97	927.72	916.30	-1.23	926.73	-0.11
2007	870.53	872.953	0.28	877.01	0.74	814.91	826.88	1.47	817.51	0.32
2008	912.84	903.88	-0.98	924.82	1.31	872.55	863.01	-1.09	842.17	-3.48
2009	825.82	808.92	-2.04	822.46	-0.41	820.35	865.81	5.54	824.45	0.50
2010	889.10	856.07	-3.71	905.29	1.82	841.62	833.18	-1.00	864.65	2.74

综上所述,模型中所用的预报因子均为当年值的 9 月之前的因子,则模型将提前 1 个月做出冬前有效积温的预报,从而利用播种期与冬前有效积温的关系确定冬小麦适播期,提高了预报的时效性。因此,将海温和环流特征量作为冬前有效积温的长期预报因子切实可行的,可投入业务应用。

4 结 论

(1)在全球气候变暖的大背景下,江苏省的气候也在明显变暖,尤其冬小麦冬前生长期增暖趋势

显著:日平均气温淮北地区在 1997 年、淮河以南地区 1994 年有突变点,其后温度明显上升;有效积温不论是淮北地区还是淮河以南地区均在 1994 年后发生突变,有效积温增加明显。

(2)根据冬小麦冬前的总积温及 $\geq 0^\circ\text{C}$ 有效积温与播期的相关性分析,播期与冬前总积温、有效积温具有极显著的相关关系,尤以有效积温更为显著,均通过了 $\alpha=0.001$ 极显著性水平检验。故利用冬前有效积温预报冬小麦适播期切实可行的。

(3)基于海温、环流特征量的冬前有效积温所有模型均通过了 $\alpha=0.01$ 显著性水平检验,其拟合情

况及 5 年的试报结果理想,说明可用海温、环流特征量作为冬前有效积温的长期预报因子,预报模型切实有效,可投入业务使用。本研究将能提前 1~2 个月预测冬前有效积温,从而根据冬前有效积温与播种期的关系确定冬小麦适播期的预报意见,对农业生产部门具有重要的科学指导意义。

参考文献

- [1] 陈维新,潘永圣,黄毓华,等. 90 年代暖冬等气象条件对江苏小麦生产影响的初步研究[J]. 江苏农业科学, 1999, (6): 9-13.
- [2] 黄毓华,高苹,徐萌,等. 气候变暖对江苏省冬麦苗期的影响及对策的研究[J]. 气象, 1999, 26(9): 43-46.
- [3] 朱云集,崔金梅,郭天财,等. 河南省小麦生产发展中几个关键技术问题的商榷[J]. 河南农业科学, 2011, 40(8): 54-57.
- [4] 温红霞,马飞,冯伟森,等. 播期对不同专用型冬小麦灌浆特性及产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2010, (5): 144-145.
- [5] 李存东,曹卫星,罗卫红,等. 小麦叶片出生与穗分化关系的研究[J]. 中国农业科学, 2000, 33(1): 33-38.
- [6] 荣云鹏,朱保美,韩贵香,等. 气温变化对鲁西北冬小麦最佳适播期的影响[J]. 气象, 2007, 33(10): 110-113.
- [7] IPCC. Climate Change 2007: Synthesis Report. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [8] 秦大河,孙鸿烈,孙枢,等. 中国气象事业发展战略研究(总论卷)[M]. 北京: 气象出版社, 2004.
- [9] Houghton J T, Ding Y H, Griggs D G. Climate change 2001: The scientific basis[M]//Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- [10] 丁一汇,戴晓苏. 中国近百年来的温度变化[J]. 气象, 1994, 20(12): 19-26.
- [11] 任国玉,郭军,徐铭志,等. 近 50 年中国地面气候变化基本特征[J]. 气象学报, 1994, 20(12): 19-26.
- [12] 林学椿,于淑秋,唐国利. 中国近百年温度序列[J]. 大气科学, 1995, 19(5): 525-534.
- [13] 杨晓光,刘志娟,陈卓. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响 I. 气候变暖对中国种植制度北界和粮食产量可能影响的分析[J]. 中国农业科学, 2010, 43(2): 329-336.
- [14] 张佩,高苹,刘彦丽. 江苏省冬小麦播种期对气候要素变化的响应[J]. 气象科学, 2011, 31(6): 763-769.
- [15] 窦松杰,窦胜勇. 利用积温确定最佳播期的方法探索[J]. 大豆科技, 2009, (5): 44-45.
- [16] 白洪立,孟淑华,王立功,等. 积温变迁对冬小麦夏玉米一年两熟播期的影响[J]. 作物杂志, 2009, (3): 55-58.
- [17] 黄中雄,欧钊荣. 改进的当量积温法做水稻生育期预测[J]. 广西农学报, 1999, (2): 44-47.
- [18] 李月华,冯立辉,刘强,等. 冀中麦区小麦适宜播种期研究[J]. 河北农业科学, 2008, 12(11): 1-3, 6.
- [19] 牛丽玲,马焕香,武文安,等. 气候变暖对冬小麦适宜播种期的影响分析[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(3): 1003-1004, 1006.
- [20] 薛大伟,方茂庭,钱前. 有效积温在水稻生产中的应用[J]. 中国稻米, 2004, (4): 47-48.
- [21] 周浩,程炳岩,罗攀攀. 重庆春播期间降水特征及其与北太平洋海温的关系[J]. 气象, 2011, 37(9): 1134-1139.
- [22] 章基嘉,葛玲. 中长期天气预报基础[M]. 北京: 气象出版社, 1983: 108-174.
- [23] 梁必骐. 天气学[M]. 北京: 气象出版社, 1980: 281-323.
- [24] 刘梅,高苹,王静苒,等. 江苏夏季逐月高温日数与西太平洋海温场相关分析及预测模型建立[J]. 气象, 2011, 37(12): 1553-1559.
- [25] 汪靖,吕江津. 天津地区雨季降水异常年大气环流特征分析[J]. 气象, 2011, 37(8): 950-955.
- [26] 邓伟涛,孙渤渤,曾刚,等. 中国东部夏季降水型的年代际变化及其与北太平洋海温的关系[J]. 大气科学, 2009, 33(4): 835-846.
- [27] 钱维宏,朱江,王永光,等. 江淮梅雨和赤道太平洋区域海温变化的关系[J]. 科学通报, 2009, 54(1): 79-84.
- [28] 汤志成,高苹. 作物产量预报系统[J]. 中国农业气象, 1996, 17(2): 49-52.
- [29] 贾小龙,陈丽娟,龚振淞,等. 2010 年海洋和大气环流异常及对中国气候的影响[J]. 气象, 2011, 37(4): 446-453.
- [30] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2007.
- [31] 朱盛明,曲学实. 数值预报产品统计解释技术的进展[M]. 北京: 气象出版社, 1988: 112-116.
- [32] 汤志成,孙涵. 最优化因子处理及加权多重回归模型[J]. 气象学报, 1992, 50(4): 514-517.
- [33] 张启锐. 实用回归分析[M]. 北京: 地质出版社, 1988: 196-203.
- [34] 高苹,武金岗,杨荣明,等. 江苏省稻纵卷叶螟迁入期虫情指标与西太平洋海温的遥相关及其长期预报模型的研究[J]. 应用生态学报, 2008, 19(8): 2056-2066.