

# 华东地区热量资源的变化特征、趋势预估 及农业适应对策<sup>\*</sup>

李 军<sup>1\*\*</sup> 陈 惠<sup>2</sup> 陈艳春<sup>3</sup> 黄敬峰<sup>4</sup> 张 皓<sup>1</sup> 杨太明<sup>5</sup> 高 苹<sup>6</sup>

(<sup>1</sup>上海市气候中心/SMB, 上海 200030 ; <sup>2</sup>福建省气象科学研究所, 福州 350001 ; <sup>3</sup>山东省气候中心, 济南 250031 ;

<sup>4</sup>浙江大学农业遥感与信息技术研究所, 杭州 310029 ; <sup>5</sup>安徽省气象科学研究所, 合肥 230006 ; <sup>6</sup>江苏省气象科学研究所, 南京 210008 )

**摘 要** 根据华东地区 1961—2004 年 27 个气象站日平均气温资料, 研究了华东地区  $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$  初终日期、持续日数、积温的变化特征和变化趋势。结果表明: 华东地区  $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$  积温和持续日数分别增加了  $5.18\sim 9.53\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\cdot\text{a}^{-1}$  和  $0.22\sim 0.60\text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$ ,  $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$  初日提前了  $0.22\sim 0.46\text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$ ,  $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$  终日推迟了  $0.01\sim 0.14\text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$  (福建省除外)。年平均气温每升高  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$  积温增加  $285\sim 402\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ , 持续日数增加  $7\sim 18\text{ d}$ 。各季节  $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$  积温呈增加趋势, 而山东省夏季积温呈减少趋势。到 2070 年华东地区  $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$  积温为  $6831.4\sim 8585.6\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ , 增幅为  $283.5\sim 1803.8\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。除山东省外, 华东其余省市全年日平均气温稳定在  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  以上。为适应华东地区热量资源的变化, 农业上应进一步调整作物品种结构、适当提高复种指数、加强病虫草害监测预测和提高农业技术水平等。

**关键词** 热量资源; 趋势预估; 农业适应性; 华东地区

中图分类号 S162.3 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2009)10-2069-07

**Thermal resources change characteristics, its trend prediction, and agricultural adaptation countermeasures in East China.** LI Jun<sup>1</sup>, CHEN Hui<sup>2</sup>, CHEN Yan-chun<sup>3</sup>, HUANG Jing-feng<sup>4</sup>, ZHANG Hao<sup>1</sup>, YANG Tai-ming<sup>5</sup>, GAO Ping<sup>6</sup> (<sup>1</sup>Shanghai Climate Center/SMB, Shanghai 200030, China; <sup>2</sup>Institute of Fujian Meteorology, Fuzhou 350001, China; <sup>3</sup>Shandong Climate Center, Jinan 250031, China; <sup>4</sup>Institute of Agricultural Remote Sensing and Information Application, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China; <sup>5</sup>Institute of Anhui Meteorology, Hefei 230006, China; <sup>6</sup>Institute of Jiangsu Meteorology, Nanjing 210008, China). *Chinese Journal of Ecology* 2009 28(10) 2069–2075.

**Abstract:** Based on the 1961–2004 mean daily air temperature data from 27 weather stations in East China, the change characteristics and trends of the beginning and ending dates, duration, and accumulative temperature of daily temperature  $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$  in this area were studied. In the study area, the  $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$  accumulative temperature and its duration were increased by  $5.18\sim 9.53\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\cdot\text{a}^{-1}$  and  $0.22\sim 0.60\text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$ , respectively. The beginning date of  $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$  was advanced  $0.22\sim 0.46\text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$ , and the ending date was postponed  $0.01\sim 0.14\text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$  (except for Fujian Province). With a  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  increment in mean annual temperature, the  $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$  accumulative temperature increased by  $285\sim 402\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ , and its duration increased by  $7\sim 18\text{ d}$ . The accumulative temperature of the daily temperature  $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$  in all seasons showed an increasing trend, except that in Shandong Province which had a decreasing one in summer. In 2070, the accumulative temperature of daily temperature  $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$  would be  $6831.4\sim 8585.6\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ , with an increment of  $283.5\sim 1803.8\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ . Except Shandong, the provinces in East China would have a mean daily temperature  $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$  in the whole year. In order to adapt these changes, increasing multiple cropping indices, strengthening monitoring forecast of diseases, insect pests and weeds, and enhancing the application of advanced technologies were recommended.

**Key words:** thermal resources; trend prediction; agricultural adaptation; East China.

<sup>\*</sup> 中国气象局气候变化专项(CCSF2006-37 和 CCSF2009-10)和上海市气象局研究型专项资助项目(YJ200801)。

<sup>\*\*</sup> 通讯作者 E-mail: ljyz92002@vip.163.com

收稿日期: 2009-01-05 接受日期: 2009-05-16

热量资源是农业自然资源的重要组成部分,农作物的生长、发育和产量形成要有一定的热量保证。积温在农业生产中被用作鉴定一地的热量资源状况,它影响着该地的作物布局、品种和熟制的形成以及农业技术措施的制定。日平均气温稳定通过 0℃ (>0℃,下同)的初日与土壤解冻、冬小麦返青、春小麦播种等农事活动相吻合,>0℃终日与土壤冻结、冬小麦停止生长等农事活动相吻合,因此,用>0℃期间的积温来鉴定一地的热量资源状况,期间的持续日数在农业上称为“农耕期”(牛文元,1981)。1861 年以来,由于人类活动导致了温室效应增强,全球气候经历了以变暖为主要特征的显著变化,IPCC 第 4 次评估报告显示全球平均气温上升了 0.74℃(IPCC 2007)。在全球气候变暖背景下,中国的热量资源发生了显著的变化。如何充分利用已经发生了变化的热量资源,规避不利的农业气象灾害,是农业适应气候变化的重要内容。华东地区地处 23°N—39°N,113°E—123°E,包括福建、江西、浙江、上海、安徽、江苏和山东等 6 省 1 市,气候类型丰富,主要农作物为小麦、水稻、玉米、棉花、大豆、油菜和蔬菜等。区域积温的变化在气候系统中具有十分重要的意义(王毅荣 2007),国内学者对中国及华北、东北等地区的积温对气候变暖的响应进行了研究(张厚瑄和张翼,1994;毛恒青等,2000;李元华等,2006)。本文根据华东地区 27 个基本气象站的逐日平均气温资料,研究了气候变暖对该地区>0℃初终日期、持续日数和积温的变化特征、趋势预估及农业适应对策,其结果为该地区耕作制度的调整、引种、育种、栽培技术的制定、农业气候资源的评价与区划及农业可持续发展规划的制定等提供技术依据。

1 材料与方法

1.1 气象资料

资料来源于国家气象信息中心气象资料室,中国均一化历史气温数据集(1.0 版)中华东地区 27 个气象站。内容为逐日平均气温,时间为 1961—2004 年。福建省 4 个站,分别为厦门(站号 59134)、永安(站号 58921)、福州(站号 58847)、南平(站号 58843);江西省 5 个站,分别为景德镇(站号 58527)、南昌(站号 58606)、南城(站号 58715)、赣州(站号 57993)、吉安(站号 57799);浙江省 3 个站,分别为杭州(站号 58457)、定海(站号 58477)、衢州(站号 58633);上海市 1 个站(站号 58362);江

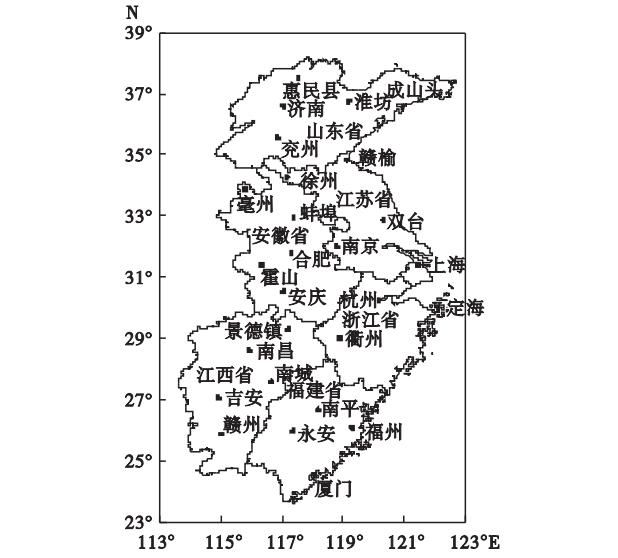


图 1 华东地区气象站点分布示意图  
Fig. 1 Distribution of meteorological stations in East China

苏省 4 个站,分别为徐州(站号 58027)、赣榆(站号 58040)、南京(站号 58238)、东台(站号 58251);安徽省 5 个站,分别为亳州(站号 58102)、蚌埠(站号 58221)、霍山(站号 58314)、合肥(站号 58321)、安庆(站号 58424);山东省 5 个站,分别为惠民(站号 54725)、成山头(站号 54776)、济南(站号 54823)、潍坊(站号 54843)、兖州(站号 54916)等,站点分布见图 1。

1.2 分析方法

四季时间的确定,春季(3—5 月)、夏季(6—8 月)、秋季(9—11 月)、冬季(12—翌年 2 月)。用 5 d 滑动平均法求取>0℃初终日期、持续日数和积温(阎凌云 2005)。分析统计采用数理统计中的求平均、相关分析方法和线性回归分析方法,并进行显著性检验(Bates & Watts 1997;盖钧益 2000)。常年指 1971—2000 年的平均。

2 结果与分析

2.1 >0℃初终日期、持续日数及积温的年际变化  
>0℃初日随时间而提前,福建、江西、浙江、上海、安徽、江苏、山东等省市>0℃初日与时间序号间的相关系数分别为 0.000、-0.255\*、-0.303\*\*、-0.260\*、-0.280\*、-0.428\*\*\*、-0.608\*\*\*( $n=44$ )( $\chi^2$  \*  $P<0.10$ , \*\*  $P<0.05$ , \*\*\*  $P<0.01$ ,下同)。华东地区>0℃初日以 0.000~0.455 d·a<sup>-1</sup> 的线性趋势提前(表 1)。

表 1 华东地区 >0 ℃初终日期、持续日数及积温的线性趋势  
Tab.1 Linear trend of beginning ,ending day ,duration and accumulative temperature of the daily temperature above 0 ℃ stably in East China

省份	>0 ℃ 初日 ( d · a <sup>-1</sup> )	>0 ℃ 终日 ( d · a <sup>-1</sup> )	>0 ℃ 持续 日数 ( d · a <sup>-1</sup> )	>0 ℃ 积温 ( ℃ · d · a <sup>-1</sup> )
福建	0.000	0.000	0.000	9.528
江西	0.216	0.000	0.218	5.187
浙江	0.280	0.007	0.289	7.648
上海	0.316	0.017	0.302	8.436
安徽	0.342	0.055	0.399	7.343
江苏	0.455	0.139	0.597	8.719
山东	0.454	0.126	0.582	8.043

>0 ℃ 终日随时间而推迟 ,福建、江西、浙江、上海、安徽、江苏、山东等省市 >0 ℃ 终日与时间序号间的相关系数分别为 0.000、0.003、0.036、0.052、0.094、0.221、0.253\*( n = 44 )。华东地区 >0 ℃ 终日以 0.000 ~ 0.139 d · a<sup>-1</sup> 的线性趋势推迟( 表 1 )。

>0 ℃ 持续日数随时间呈增加趋势 ,福建、江西、浙江、上海、安徽、江苏、山东等省市 >0 ℃ 持续日数与时间序号间的相关系数分别为 0.000、0.262\*、0.320\*\*、0.249、0.308\*\*、0.460\*\*\*、0.583\*\*\*( n = 44 )。华东地区 >0 ℃ 持续日数以 0.000 ~ 0.597 d · a<sup>-1</sup> 的线性趋势增加( 表 1 )。

>0 ℃ 积温随时间稳步增加 ,福建、江西、浙江、

上海、安徽、江苏、山东等省市 >0 ℃ 积温与时间序号间的相关系数分别为 0.683\*\*\*、0.397\*\*\*、0.520\*\*\*、0.478\*\*\*、0.444\*\*\*、0.540\*\*\*、0.590\*\*\*( n = 44 )。华东地区 >0 ℃ 积温以 5.187 ~ 9.528 ℃ · d · a<sup>-1</sup> 的线性趋势增加( 表 1 )。福建、江西、浙江和上海等省市 1998 年 >0 ℃ 积温最多 ,安徽省为 2002 年 ,江苏和山东省为 2004 年。

2.2 >0 ℃ 初终日期、持续日数及积温的年代际变化

>0 ℃ 初日除了福建省历年均为 1 月 1 日外( 表 2 ) ,其他省市随年代均有不同程度的提前 ,但各省市提前的时间不同。江西、浙江和上海等省市从 20 世纪 80 年代开始明显提前 ,安徽、江苏和山东等省为 20 世纪 90 年代( 表 3 ) ;从区域看 >0 ℃ 初日提前幅度基本上是北方大于南方 ,21 世纪初( 2001—2004 年 ,下同 )与 20 世纪 60 年代( 1961—1970 年 ,下同 )比 ,福建、江西、浙江、上海、安徽、江苏、山东等省市 >0 ℃ 初日分别提前了 0、8、9、6、17、22、20 d( 表 2 )。这与 20 世纪 80 年代以来全国变暖 ,气候从一个平衡态转到另一个平衡态有关( 王绍武 , 2001 )。

>0 ℃ 终日除了福建省历年均为 12 月 31 日外( 表 2 ) ,其他省市随着年代均有不同程度的推迟 ,但

表 2 华东地区 >0 ℃初终日期、持续日数及积温的年代际变化  
Tab.2 Inter-decadal change of the beginning ,ending day ,duration and accumulative temperature of the daily temperature above 0 ℃ stably in East China

	年代	福建	江西	浙江	上海	安徽	江苏	山东
>0 ℃ 初日 ( 月·日 )	1961 - 1970	1 - 1	1 - 9	1 - 13	1 - 15	2 - 1	2 - 10	3 - 1
	1971 - 1980	1 - 1	1 - 11	1 - 13	1 - 19	1 - 31	2 - 8	2 - 27
	1981 - 1990	1 - 1	1 - 3	1 - 5	1 - 6	2 - 1	2 - 10	2 - 26
	1991 - 2000	1 - 1	1 - 3	1 - 3	1 - 3	1 - 21	1 - 28	2 - 15
	2001 - 2004	1 - 1	1 - 1	1 - 4	1 - 9	1 - 15	1 - 19	2 - 9
>0 ℃ 终日 ( 月·日 )	1961 - 1970	12 - 31	12 - 31	12 - 31	12 - 31	12 - 25	12 - 20	12 - 7
	1971 - 1980	12 - 31	12 - 31	12 - 30	12 - 29	12 - 25	12 - 20	12 - 7
	1981 - 1990	12 - 31	12 - 30	12 - 29	12 - 28	12 - 22	12 - 18	12 - 7
	1991 - 2000	12 - 31	12 - 31	12 - 31	12 - 29	12 - 27	12 - 25	12 - 10
	2001 - 2004	12 - 31	12 - 31	12 - 31	12 - 31	12 - 26	12 - 24	12 - 19
>0 ℃ 持续日数 ( d )	1961 - 1970	365.2	356.7	352.5	350.9	328.2	314.1	282.1
	1971 - 1980	365.3	355.2	352.3	345.7	329.4	316.5	283.6
	1981 - 1990	365.2	362.3	359.6	356.9	324.4	312.4	285.8
	1991 - 2000	365.3	362.5	362.6	361.7	341.3	332.0	298.4
	2001 - 2004	365.3	365.3	362.5	357.5	347.1	339.8	306.7
>0 ℃ 积温 ( ℃ · d )	1961 - 1970	7119.4	6610.2	6054.7	5962.4	5660.3	5241.2	4661.0
	1971 - 1980	7103.0	6538.4	6004.0	5842.0	5578.6	5203.8	4639.4
	1981 - 1990	7162.4	6567.3	6036.5	5933.1	5554.2	5207.0	4709.6
	1991 - 2000	7328.2	6686.9	6213.0	6129.6	5798.6	5428.6	4852.3
	2001 - 2004	7548.7	6889.2	6411.8	6322.6	6020.0	5648.2	4990.4

推迟幅度没有  $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$  初日大,各省市一般从 20 世纪 90 年代开始(表 3)。从区域看  $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$  终日推迟幅度基本上是北方大于南方,以 21 世纪初与 20 世纪 60 年代比,福建、江西、浙江、上海、安徽、江苏、山东等省市  $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$  终日分别推迟了 0、0、0、0、1、4、12 d(表 2)。

$>0\text{ }^{\circ}\text{C}$  持续日数除了福建省各年代为 365.2 d 或 365.3 d 外(表 2),江西、浙江和上海等省市 20 世纪 80 年代开始明显增加,安徽、江苏和山东等省为 20 世纪 90 年代(同初日)(表 3)。从区域看  $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$  持续日数增加的日数基本上是北方大于南方,以 21 世纪初与 20 世纪 60 年代比,福建、江西、浙江、上海、安徽、江苏、山东等省市  $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$  持续日数分别增加了 0、2.4%、2.8%、1.9%、5.8%、8.2%、8.7%(表 2)。

华东地区  $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$  积温从 20 世纪 90 年代开始明显增加,尤以 21 世纪初增加更多,增加幅度基本上是北方大于南方(表 3)。20 世纪 60 年代、70 年代、80 年代、90 年代、21 世纪初, $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$  积温最多(福建)和最少(山东)差值分别为 2458.4、2463.6、2452.8、2475.9、2558.3  $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ,可见差值随年代也呈增加的趋势(表 2)。以 21 世纪初与 20 世纪 60 年代比,福建、江西、浙江、上海、安徽、江苏、山东等省市  $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$  积温分别增加了 6.0%、4.2%、5.9%、

6.0%、6.4%、7.8%、7.1%。

**2.3  $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$  积温的四季变化**

从华东区域看,春季  $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$  积温除了山东省从 20 世纪 80 年代开始增加外,其余省市从 20 世纪 90 年代开始;与常年比,增加比例为江苏  $>$  上海  $>$  安徽  $>$  福建  $>$  浙江  $>$  山东  $>$  江西。山东省夏季各年代  $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$  积温均比常年偏少,且在 21 世纪初偏少最多;其他省市各年代  $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$  积温均比常年偏多,以 21 世纪初偏多最多,夏季  $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$  积温与常年比,增加比例为江西  $>$  上海  $>$  福建  $>$  江苏  $>$  安徽  $>$  浙江。秋季  $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$  积温各省市均从 20 世纪 90 年代增加,山东省 21 世纪初  $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$  积温比常年偏少;与常年比,增加比例为江苏  $>$  安徽  $>$  上海  $>$  浙江  $>$  福建  $>$  江西  $>$  山东。冬季  $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$  积温均从 20 世纪 90 年代开始增加,比例随纬度增加而增加;与常年比,增加比例为山东  $>$  江苏  $>$  安徽  $>$  上海  $>$  浙江  $>$  江西  $>$  福建,除江西省外,21 世纪初冬季  $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$  积温增幅最大,尤以山东省为最大(表 4)。

从年代际变化看,福建和江西省四季  $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$  积温的增幅总体是夏季  $>$  冬季  $>$  春季  $>$  秋季,浙江、安徽等省为冬季  $>$  春季  $>$  夏季  $>$  秋季,上海市、江苏省为冬季  $>$  夏季  $>$  春季  $>$  秋季,山东省为冬季  $>$  春季  $>$  秋季  $>$  夏季。

表 3 华东地区  $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$  初终日期、持续日数及有效积温与常年比较(%)

Tab.3 Comparison between the beginning, ending day, duration and accumulative temperature of the daily temperature above  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  stably and the average from 1971 to 2000 in East China

	年代	福建	江西	浙江	上海	安徽	江苏	山东
$>0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 初日	1961 - 1970	0.0	64.9	87.3	62.0	14.0	14.4	11.0
	1971 - 1980	0.0	86.0	87.3	103.3	9.7	8.1	8.2
	1981 - 1990	0.0	-47.4	-33.8	-34.8	16.1	14.2	5.4
	1991 - 2000	0.0	-38.6	-52.1	-68.5	-25.8	-21.9	-13.6
	2001 - 2004	0.0	-82.5	-46.5	-4.3	-47.7	-46.1	-25.5
		0.0	0.1	0.2	0.5	0.1	-0.3	-0.4
$>0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 终日	1961 - 1970	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	-0.3	-0.4
	1971 - 1980	0.0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.8	-0.8	-0.1
	1981 - 1990	0.0	0.1	0.2	0.2	0.7	1.0	0.5
	1991 - 2000	0.0	0.2	0.3	0.6	0.6	0.8	1.1
	2001 - 2004	0.0	-0.9	-1.6	-1.1	-1.1	-1.9	-2.5
		0.0	-1.3	-1.6	-2.6	-0.7	-1.2	-2.0
$>0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 持续日数	1961 - 1970	0.0	0.6	0.4	0.6	-2.2	-2.5	-1.2
	1971 - 1980	0.0	0.7	1.2	1.9	2.9	3.7	3.1
	1981 - 1990	0.0	1.5	1.2	0.8	4.6	6.1	6.0
	1991 - 2000	0.0	0.2	-0.5	-0.1	0.3	-0.7	-1.5
	2001 - 2004	-1.1	-0.9	-1.3	-2.1	-1.2	-1.4	-2.0
		-0.5	-0.5	-0.8	-0.6	-1.6	-1.4	-0.5
$>0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温	1961 - 1970	1.8	1.4	2.1	2.7	2.7	2.8	2.5
	1971 - 1980	4.9	4.4	5.4	5.9	6.7	7.0	5.4
	1981 - 1990							
	1991 - 2000							
	2001 - 2004							

表 4 华东地区四季 >0 ℃ 积温与常年比较( % )  
Tab. 4 Comparison between the accumulative temperature of the daily temperature above 0 ℃ stably in seasons and the average from 1971 to 2000 in East China

季节	年代	福建	江西	浙江	上海	安徽	江苏	山东
春季	1961 – 1970	– 2. 3	1. 3	– 0. 8	– 1. 0	– 3. 1	– 2. 7	– 3. 0
	1971 – 1980	– 0. 9	– 0. 8	– 1. 7	– 2. 4	– 2. 0	– 2. 6	– 2. 4
	1981 – 1990	– 1. 4	– 0. 9	– 0. 9	– 0. 6	– 0. 6	– 0. 3	0. 2
	1991 – 2000	2. 3	1. 7	2. 6	3. 0	2. 7	2. 8	2. 3
	2001 – 2004	7. 7	5. 5	7. 4	8. 2	7. 4	8. 5	5. 5
夏季	1961 – 1970	3. 4	35. 7	2. 9	10. 4	3. 4	6. 8	– 6. 1
	1971 – 1980	6. 7	35. 2	2. 2	8. 9	3. 6	5. 3	– 7. 5
	1981 – 1990	8. 0	36. 1	2. 3	9. 1	2. 8	4. 9	– 6. 6
	1991 – 2000	8. 0	34. 3	2. 3	8. 9	4. 2	6. 3	– 4. 6
	2001 – 2004	10. 7	36. 8	4. 6	11. 5	5. 7	7. 5	– 9. 7
秋季	1961 – 1970	– 2. 6	1. 7	2. 0	1. 3	– 2. 0	– 0. 6	– 1. 6
	1971 – 1980	– 2. 0	– 1. 1	– 1. 5	– 2. 2	– 1. 3	– 2. 0	– 2. 0
	1981 – 1990	0. 3	0. 0	– 0. 4	– 0. 4	– 0. 8	– 0. 6	– 0. 3
	1991 – 2000	1. 7	1. 1	1. 8	2. 6	2. 1	2. 6	2. 3
	2001 – 2004	1. 9	2. 4	2. 8	4. 3	5. 1	5. 4	– 4. 0
冬季	1961 – 1970	– 7. 4	– 5. 1	– 8. 3	– 10. 3	– 9. 1	– 13. 0	– 19. 3
	1971 – 1980	– 1. 6	– 1. 0	– 0. 5	– 2. 9	– 5. 1	– 4. 6	– 4. 3
	1981 – 1990	– 2. 8	– 5. 7	– 6. 7	– 6. 7	– 9. 2	– 11. 4	– 13. 9
	1991 – 2000	4. 4	6. 7	7. 2	9. 5	14. 3	16. 0	18. 1
	2001 – 2004	11. 2	16. 4	19. 4	21. 2	31. 5	39. 3	41. 3

2. 4 >0 ℃ 积温及持续日数的预估

统计分析表明 ,日平均气温稳定通过 0 ℃ 积温、持续日数(  $Y$  )与年平均气温(  $X$  )间的关系见式( 1 ) ,华东地区各省市式( 1 )中 >0 ℃ 积温及持续日数的参数见表 5。

$$Y = a + bX \tag{1}$$

由表 5 可见 ,>0 ℃ 积温与该地年平均气温间的统计关系均通过显著水平 0. 05 的检验(  $n = 44$  ) ;华东地区年平均气温每升高 1 ℃ ,>0 ℃ 积温增加 285 ~ 402 ℃ · d ,增加值随纬度增加而减少 ,而福建省例外 ,这与福建省日平均气温全年稳定在 0 ℃ 以上有关 ,年平均气温每升高 1 ℃ ,>0 ℃ 持续日数增加 7 ~ 18 d ,增加值随纬度增加而增加。

未来中国气温仍为增暖的趋势 ,根据区域气候模式模拟的 2070 年华东地区气温增加值为 2. 4 ℃ ( 气候变化国家评估报告编写委员会 ,2007 ) ,将年平均气温增加值代入式( 1 ) ,可得到福建、江西、浙江、上海、安徽、江苏和山东等省市到 2070 年 >0 ℃ 积温的预估值分别为 8585. 6、7211. 7、6950. 6、6831. 4、7010. 7、6947. 0 和 6998. 8 ℃ · d ,增幅分别为 1018. 2、283. 5、523. 1、515. 5、900. 8、1166. 6 和 1803. 8 ℃ · d。根据式( 1 )可得出江西、浙江、上海、安徽、江苏和山东等省市全年气温稳定在 0 ℃ 以上的年平均气温增加值分别为 1. 5、1. 5、2. 1、2. 1、2. 1、3. 1 ℃ ,可见到 2070 年华东地区除山东省外 ,其余省市全年的日平均气温均在 0 ℃ 以上。

表 5 华东地区 >0 ℃ 积温、持续日数与年平均气温的回归统计  
Tab. 5 Statistics between the duration , accumulative temperature of the daily temperature above 0 ℃ stably and annual average temperature in East China

省市	积 温				持续日数			
	$a$	$b$	$R^2$	$F$	$a$	$b$	$R^2$	$F$
福建	161. 705	356. 892	0. 9949	8141. 7				
江西	– 679. 874	401. 422	0. 9233	505. 6	220. 028	7. 674	0. 0835	3. 82
浙江	– 408. 352	388. 109	0. 9426	707. 7	212. 717	8. 611	0. 1234	5. 91
上海	– 417. 787	388. 851	0. 9356	610. 5	168. 514	11. 248	0. 1660	8. 36
安徽	35. 411	360. 579	0. 9484	771. 9	97. 686	14. 983	0. 2666	15. 27
江苏	351. 849	339. 490	0. 9581	959. 8	85. 392	16. 127	0. 3343	21. 09
山东	1118. 304	285. 627	0. 9049	399. 8	62. 365	17. 889	0. 6614	82. 03

显著性检验标准  $F_{\alpha=0. 1} = 2. 83$   $F_{\alpha=0. 05} = 4. 07$   $F_{\alpha=0. 01} = 7. 28$ 。

## 2.5 农业适应对策

**2.5.1 建立主栽作物重大病虫害农业气象监测预警预测服务体系** 病虫害是影响作物高产稳产的主要因素。研究表明,在病、虫、草越冬基数一定的情况下,冬季气温的高低将直接影响各种越冬病菌、虫卵和草的成活率,从而决定来年病、虫、草发生的时间和程度(张润杰等,1997;赵鸿等,2004)。表明华东地区冬季热量的增加,有利于病、虫、草的越冬,来年危害提前并加重。热量增加使害虫的发育速度加快、繁殖代数增加(李全胜等,1994;李淑华,1995),导致农业成本增加,农业生态环境向不利的方向发展。因此,华东地区需增加农业科技和资金的投入,建立农作物病、虫、草害农业气象监测预警预测体系,为积极有效的防御提供技术支撑,提高防御能力。

**2.5.2 适当提高复种指数** 华东地区 $>0^{\circ}\text{C}$ 初日提前、终日推迟、持续日数和积温增加,使作物播种期提前、收获期推迟、作物生长季延长。热量充裕使作物生育进程加快,有利于提高复种指数。要采用间作、套作、混作、轮作等栽培技术,以充分利用生长季热量增加的有利条件,并结合市场需求、当地经济水平和生活水平等因素因地制宜地进行作物种植结构和种植方式的调整。要大力发展种植业养殖业结合、粮食作物经济作物结合、农业牧业结合的种植方式,尤其要重视冬季肥料饲料粮食兼用作物、药材、蔬菜、食用菌、瓜果、花卉等的种植,以充分利用华东地区冬季丰富的热量资源,提高利用效率。实现农业种植结构的多元化,从而在适当提高复种指数的同时达到增加农民经济收入。

**2.5.3 引进或培育作物新品种** 在热量增加的情况下,如不改变目前种植的品种,将导致减产(金之庆等,2001;张建平,2006)。因此,在华东地区冬春季热量资源利用上要培育或引进弱冬性或春性的优良小麦、大麦品种,以提高小麦、大麦产量和品质;要培育或引进水稻生长期长且耐热(耐高温、光饱和点高)的品种,以充分利用夏季、秋季丰富的(光)热资源,提高水稻产量及品质。

**2.5.4 提高农业栽培技术水平** 在作物生长过程中通过提高农业栽培技术水平(如通过精准施肥来提高肥料的利用率、适时防治病虫害、扩大节水灌溉面积等)来提高对热量的利用效率。在冬季扩大温室、大棚等保护地的栽培面积,大力发展种植业(蔬菜、瓜果、名特优农产品等)、养殖业(鱼、虾、特种水

产等),既可充分利用冬季和早春的热量资源,又可丰富市场供应,并可提高农民收入。

## 3 讨论

华东地区 $>0^{\circ}\text{C}$ 初日、终日、持续日数和积温对全球气候变暖有着积极的响应,分别呈提前、推迟、增多和增加的趋势,尤以20世纪90年代以来更为显著。这种趋势与中国、黄土高原及华北、东北在该方面的研究结论一致(毛恒青等,2000;李林等,2003;万信等,2007),但在程度上有差异。

福建省、江西省南部和浙江省南部一年中日平均气温5日滑动平均稳定在 $0^{\circ}\text{C}$ 以上,因而 $>0^{\circ}\text{C}$ 初日、终日、持续日数不随时间变化。其他省市 $>0^{\circ}\text{C}$ 初日随时间提前的线性趋势显著; $>0^{\circ}\text{C}$ 终日略有推迟趋势,仅山东省线性推迟趋势显著; $>0^{\circ}\text{C}$ 持续日数仅上海市线性增加趋势不显著; $>0^{\circ}\text{C}$ 积温增加的线性趋势均为极显著。说明在华东地区 $>0^{\circ}\text{C}$ 初日、终日、持续日数和积温对于气候变暖的响应程度地方间有着明显的差异。

华东地区 $>0^{\circ}\text{C}$ 积温与常年比,四季增幅为冬季 $>$ 夏季 $>$ 春季 $>$ 秋季,这与相关的研究结果一致(廉丽姝,2005),但他们没有给出四季的排序。春季、秋季、冬季的 $>0^{\circ}\text{C}$ 积温从20世纪90年代开始增加明显,而夏季从20世纪60年代开始增加显著。但山东省夏季 $>0^{\circ}\text{C}$ 积温比常年减少6.1%~9.7%,21世纪初的秋季比常年减少4.0%。山东省夏秋季 $>0^{\circ}\text{C}$ 积温减少的主要原因是,极端最高气温呈明显下降的趋势,夏季对年增暖趋势几乎没有贡献(邹瑾等,2004),夏秋季气温偏低可能与夏季风关系密切(于群,2005)。

华东地区年平均气温每升高 $1^{\circ}\text{C}$ , $>0^{\circ}\text{C}$ 积温增加285~402 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ,增加值随纬度增加而减少,年平均气温每升高 $1^{\circ}\text{C}$ , $>0^{\circ}\text{C}$ 持续日数增加7~18d,增加值随纬度增加而增加,增加幅度比中国的华北、东北地区大(毛恒青等,2000)。

本文根据华东地区(年及四季) $>0^{\circ}\text{C}$ 热量资源的变化特点,针对农业方面的应对措施进行了初步探索。因农业种植结构的变化除了受热量因素影响外,还受当地的经济水平、土壤、水质、农业技术、政策、市场、消费水平、种植习惯、降水、日照、极端天气事件等因素的影响;且华东各地的热量增加趋势差异较大,在制定农业应对措施时要根据当地实际情况,在作物引种时还要考虑土壤、日长等因素。所

以,针对气候变化综合方面的农业应对措施还需要做深入的探索。

#### 参考文献

- 盖钧益. 2000. 试验统计方法. 北京:中国农业出版社.
- 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. 江苏农业学报, 17(4):193-199.
- 李 林,朱西德,秦宁生,等. 2003. 青藏高原气温变化及其异常类型的研究. 高原气象, 22(5):524-530.
- 李全胜,王兆骞,杨忠恩. 1994. 气候变化对长江三角洲农业生态系统的影响. 生态学报, 14(3):295-299.
- 李淑华. 1995. 气候变化对水稻虫害的影响. 灾害学, 10(2):43-47.
- 李元华,刘学锋,刘 莉,等. 2006. 河北省近 50 年 0℃界限温度积温变化特征分析. 干旱区资源与环境, 20(4):12-15.
- 廉丽姝. 2005. 山东省气候变化及农业自然灾害对粮食产量的影响. 气象科技, 33(1):73-76, 86.
- 毛恒青,万 晖. 2000. 华北、东北地区积温的变化. 中国农业气象, 21(3):1-5, 18.
- 牛文元. 1981. 农业自然条件分析. 北京:农业出版社.
- 气候变化国家评估报告编写委员会. 2007. 气候变化国家评估报告. 北京:科学出版社.
- 万 信,王润元,李宗葵. 2007. 陇东黄土高原塬区农业气象要素的变化特征. 生态学杂志, 26(3):344-347.
- 王绍武. 2001. 现代气候学研究进展. 北京:气象出版社.
- 王毅荣. 2007. 1961—2005 年黄土高原地区积温演变. 冰川

冻土, 29(1):119-125.

阎凌云. 2005. 农业气象. 北京:农业出版社.

于 群. 2005. 山东夏季气温年际变化形成的气候特征. 中国海洋大学学报, 35(1):13-19.

张厚瑄,张 翼. 1994. 中国活动积温对气候变暖的响应. 地理学报, 49(1):27-36.

张建平,赵艳霞,王春乙,等. 2006. 气候变化对我国华北地区冬小麦发育和产量的影响. 应用生态学报, 17(7):1179-1184.

张润杰,何新风. 1997. 气候变化对农业害虫的潜在影响. 生态学杂志, 16(6):36-40.

赵 鸿,孙国武. 2004. 环境蠕变对农业病虫害鼠害的潜在影响. 干旱气象, 22(1):69-73.

邹 瑾,冯晓云,高凤姣,等. 2004. 山东省夏季高温气候变化特征分析. 山东气象, 24(1):16-18.

Bates DM, Watts DG. (韦博成,万方焕,朱宏图译). 1997. 非线性回归分析及其运用. 北京:中国统计出版社.

IPCC. 2007. Summary for policymakers of climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.

作者简介 李 军,男,1963 年 6 月生,博士,研究员。主要从事于应用气象和生态气象等研究,发表论文 60 余篇。  
E-mail: ljyz92002@vip.163.com

责任编辑 李凤芹