

安徽省气候变化对水稻生产的影响及应对

许信旺^{1,2}, 孙满英¹, 方宇媛¹, 何小青¹, 薛芳², 付伟², 毛敏²

(1.池州学院资源环境与旅游系, 安徽 池州 247000; 2.安徽师范大学国土资源与旅游学院, 安徽 芜湖 241000)

摘要:收集了近30年来安徽气温和降水资料,统计分析了安徽省气候变化的特征,讨论了气候变化对水稻生产的影响。研究结果表明,近30年来安徽气温整体呈上升趋势,上世纪90年代以来增温明显。降水则表现为变率增大的趋势。当前全省处于气候高变率时期。气候变化对水稻生长期及水稻产量均有明显影响,气候变暖下双季稻生育期明显缩短,在一定程度上对水稻产量产生负面影响,极端气候事件对水稻生产产生了巨大影响。调整作物布局,加强极端气象灾害应对防范体系与能力建设是农业生产应对气候变化的重要途径。

关键词:气候变化;极端气候事件;水稻生产;安徽省

中图分类号:X16 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2011)09-1755-09

Impact of Climatic Change on Rice Production and Response Strategies in Anhui Province

XU Xin-wang^{1,2}, SUN Man-ying¹, FANG Yu-yuan¹, HE Xiao-qing¹, XUE Fang², FU Wei², MAO Min²

(1.Department of Resources and Environment Science, Chizhou College, Chizhou 247000, China; 2.College of Territorial Resources and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China)

Abstract: Using yearly statistical data, climate change features of Anhui Province was investigated and its impact on rice production was analyzed, the results showed that the mean annual temperature was in a uprising trend for the last 30 years, which was even faster since 1990s. Variability of precipitation was much increased and the overall climate condition was in a fluctuation status. Climatic change had some observable impacts on rice growth and yields of the province, including the reducing growing days for rice under double-cropping system. While warming had exerted adverse to extents varying with varieties and regions, extreme events could induce very intense hazards to rice growth and yields. To mitigate these impacts, spatial and temporary reallocation of crop cultivation, preventing drought and flood under extreme events should be adopted in agricultural development.

Keywords: climate change; extreme weather events; rice production; Anhui Province

全球变暖对资源、环境、农业生产的影响已成为全球科学界的重要研究课题,也是各国政府决策的前提因素。根据IPCC研究报告,近百年全球平均温度已经升高了(0.6 ± 0.2) $^{\circ}\text{C}$ ^[1]。这种温度的上升趋势还将持续,气候变化及频繁的气象灾害,必将对农业生产产生影响。因此,研究气候变化对粮食生产的影响及应对措施,具有重要的理论意义和实际意义。目前,关于气候变化对农业生产影响的研究较多集中

在大尺度和单因子分析^[2-6]。但气候变化本身具有一定的区域特征,再加上气候波动和农业生产条件的地域差异性,研究不同区域气候变化对农业生产影响具有重要价值。

水稻是世界第二大粮食作物,半数以上的人口以稻米为主食。目前国内外学者已开展了有关气候变化对水稻生产的影响。江敏等^[3]定量评价了未来气候渐变过程对福建省水稻生产的影响,研究表明,早稻及单季稻生育期都将不同程度的缩短;且未来气候变化中水稻稳产性将变差;未来两种气候情景下福建省水稻总产将随着温度的升高而减少。葛道阔等^[4]研究表明,气候变化对水稻生育期、水稻产量、水稻生长季水分条件、稻作制度等均产生一定的影响。同时,针对全

收稿日期:2011-03-19

基金项目:公益性行业(农业)专项(200903003);国家自然科学基金项目(41071337);安徽省教育厅自然科学基金(ZD2008009-1)

作者简介:许信旺(1962—),男,安徽枞阳人,教授,主要从事资源环境与自然地理的教学和研究工作。E-mail:xuxinwang@163.com

球气候变化对水稻的影响,美国、澳大利亚等国也开展了一系列研究^[5-6],但对气候变化影响水稻产量和生长发育的综合研究较少^[7-8]。

安徽地处暖温带与亚热带过渡地区,气候温暖湿润,四季分明。淮河以北属暖温带半湿润季风气候,淮河以南为亚热带湿润季风气候。全省年平均气温在14~17℃之间,平均日照1 800~2 500 h,平均无霜期200~250 d,平均降水量800~1 800 mm。安徽省地形地貌呈现多样性,长江和淮河自西向东横贯全境,全省大致可分为五个自然区域:淮北平原、江淮丘陵、皖西大别山区、沿江平原和皖南山区。

地形多样、气候温湿的特点使安徽省的种植制度也丰富多样,从一年一熟到一年三熟。安徽省 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温为4 600℃~5 300℃,就热量条件来说,全省各地都可种植水稻,而且可以实行麦稻或油(油菜)稻一年两熟。水稻的实际分布则受自然降水、水利灌溉条件和土壤结构的制约,主要分布在淮河以南地区。将 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温小于4 650℃的淮北地区划为单季稻区;将 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温大于5 000℃的沿江地带划为双季稻区;单季稻和双季稻之间地带划为单双季稻过渡区;皖南和大别山区受垂直高度和地形的影响,为单双季稻混栽区。据2010年安徽省统计年鉴显示,2009年安徽省稻谷播种面积2 246 850 hm^2 ,稻谷产量14 056 119 t,分别占粮食作物播种总面积34%和粮食总产量的45.8%,可见,水稻生产在安徽省农业生产中占有重要地位。

本文旨在通过气候资料与产量数据分析,归纳出安徽气候变化的特征,研究气候变化对水稻产量和生育期的影响,并试图得出一些量化评估的结果,为揭示全球变暖背景下影响安徽水稻产量变化的因素提供科学依据,提出水稻生产应对气候变化的措施。

1 材料与方法

1.1 资料来源

气候资料来源于《中国地面国际交换站气候资料年值数据集》、《安徽统计年鉴》(1996—2009年)以及相关文献资料^[9-13]。中国地面国际交换站点主要选用合肥、安庆、霍山、蚌埠及亳州等代表站点1951—1995年气温、降水等要素资料,1996—2008年各市及全省逐月气温、降水量数据,取相应年份的《安徽统计年鉴》。由以上数据计算出春(3—5月)、夏(6—8月)、秋(9—11月)、冬(12月—次年2月)年平均气温、降水量夏季(6—8月)、冬季(12—2月)平均气温和各要

素的平均值。梅雨降水量采自代表站的平均值。江淮地区的代表站为寿县、霍邱、滁州、合肥、六安、金寨、霍山、巢湖、庐江。沿江江南地区的代表站为芜湖、池州、安庆、宿松、宁国、黄山区、屯溪区^[12]。

粮食产量、水稻产量、受灾面积、成灾面积等均来源于历年《安徽统计年鉴》(1996—2009)和《中国农村统计年鉴》等。

1.2 水稻气候产量估算

为了区分自然和非自然因素对粮食作物的影响,一般把作物的产量分解为趋势产量、气候产量和随机误差三部分^[7]。趋势产量反映历史时期生产力发展水平的长周期产量分量,也被称为技术产量,气候产量是受气候要素为主的短周期变化因子影响的波动产量分量。其中,趋势产量常采用“时间”为自变量进行各种线性或非线性模拟。计算公式如下^[7]:

$$Y = Y_w + Y_t + e \quad (1)$$

式中: Y 为作物实际产量, Y_w 为趋势产量, Y_t 为气候产量, e 是受随机因素影响的产量分量。

本文从安徽省1961—2008年实际水稻单产时间序列记录中,采用滑动平均和拟合的方法确定由于社会生产力所显示的趋势产量,计算公式如下:

$$Y_w = 0.0955X + 2.3359 \quad (2)$$

式中: Y_w 为趋势产量, X 为年份。

实际产量减去趋势产量为气候因素所显示的气候产量,还有一部分随机因素造成的产量,忽略不计。

2 结果与分析

2.1 安徽气温变化特征

1951—2008年间安徽省全省年平均气温为15.6℃,从季节分布来看,春季为16.5℃、夏季为27.2℃、秋季和冬季分别为17.8℃和4.8℃。在水稻生长期间,气温能满足要求。气温的变化表现出20世纪60年代呈下降趋势,80—90年代有升有降,90年代以后则表现出明显上升趋势。安徽省全年稳定通过10℃的积温及其日数呈明显的增长趋势,尤其是20世纪90年代以后持续增长,无霜期也有相同的变化趋势(图1)。

2.2 降水量变化特征

降水量的年际变化示如图2。安徽省1961—2008年平均降水量为1 165 mm,统计表明,高于平均年降水量的年份占55%,低于平均年降水量的年份为45%,其中降水量丰沛的年份有1969年、1980年、1983年、1989年、1991年、1996年、1999年和2003

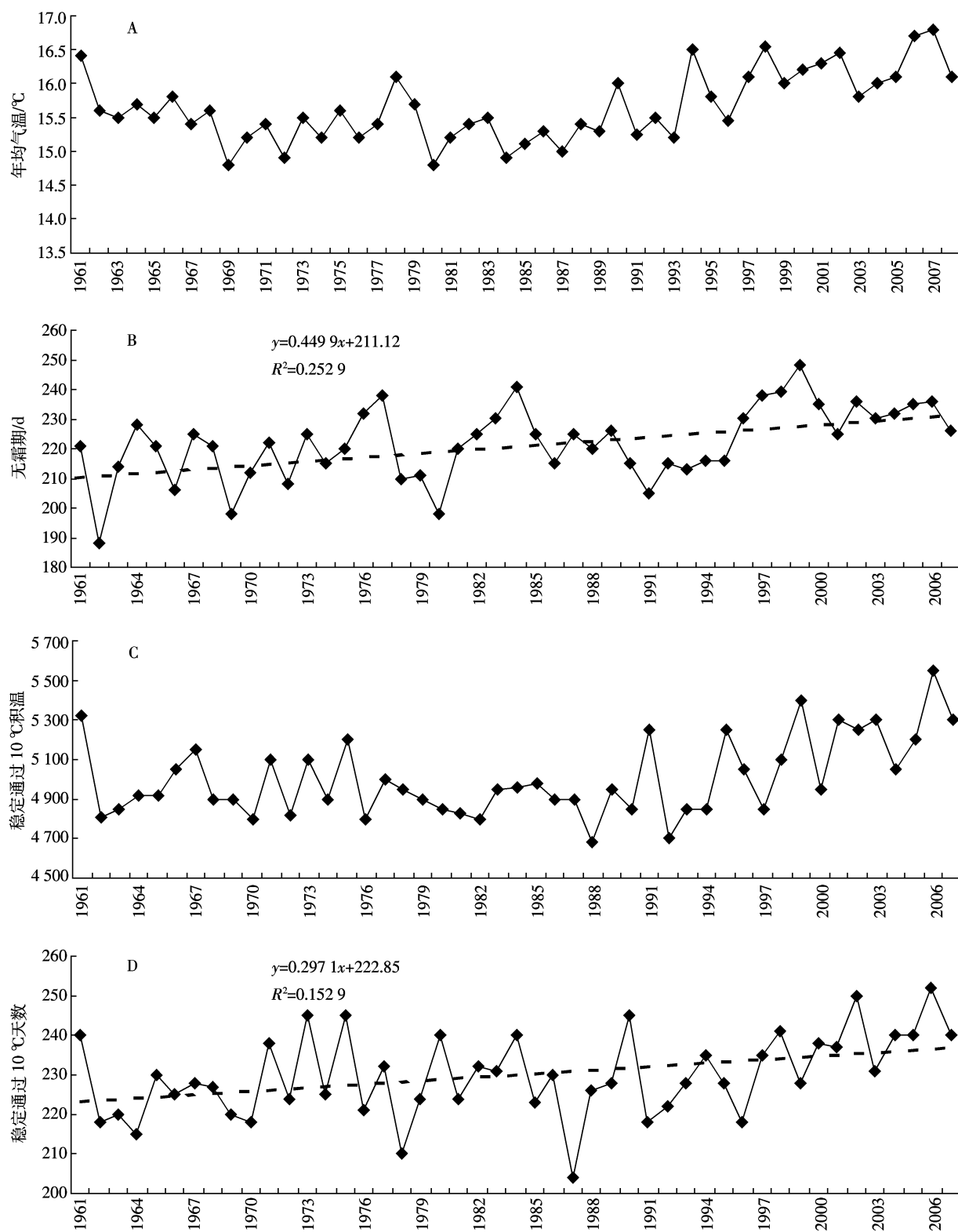


图1 1961—2008年间安徽省年均气温(A)、无霜期(B)、 $>10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温(C)和 $>10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (D)天数的年变化

Figure 1 Yearly change of annual average temperature(A), frostless days(B), cumulated temperature over $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (C) and days with temperature over $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (D) of Anhui Province during 1961—2008

年等年份,同时也是安徽省历史上的大涝年份。而1978年、1966年、1967年、1976年和1994年等年份

降水量偏少,是全省大旱年份,旱作物减产比较严重,水稻减产不明显。从降水量的季节分配来看,1961—

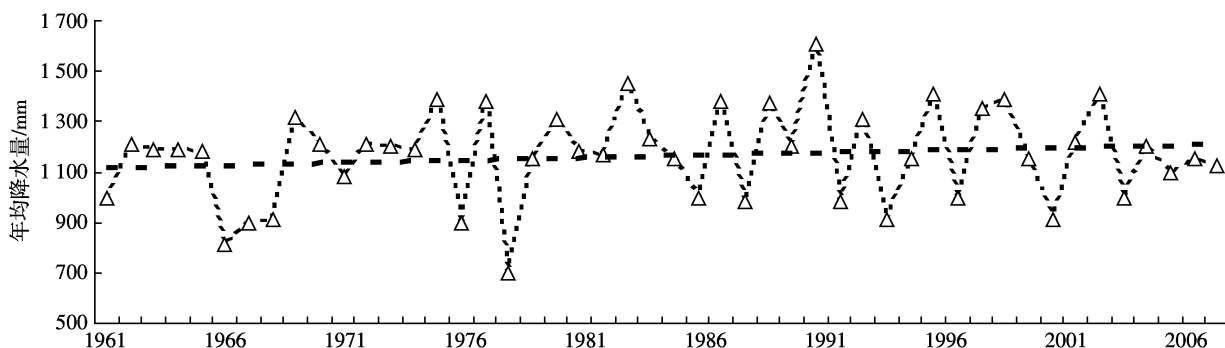


图 2 1961—2008 年间安徽年均降水量变化

Figure 2 Annual average precipitation change of Anhui Province during 1961—2008

2008 年间降水季节分配差异明显,主要集中在夏季。夏季降水量占全年降水量的 48%,其次为春季占 24.5%,秋季和冬季分别为 15%、12.5%。安徽省除冬季降水量有明显的增多趋势外,其他季节变化不明显。

梅雨对安徽水稻产量的影响显著。由表 1 可知:出入梅日期、梅雨持续时间和梅雨量这 3 个表征梅雨的特征指标中,以梅雨量对水稻产量影响最大。其中,梅雨量过多比梅雨量过少对水稻生产的危害程度更大,当梅雨量大于 500 mm 时,减产率随雨量的增加而加大(见图 3)。

从地区分布看,梅雨对江淮之间一季稻减产率大于沿江江南地区一季稻。比如 1991 年洪水致江淮地区一季稻减产率达 29%,而对沿江地区一季稻减产只有 9%。可见,江淮丘陵区抵御洪涝灾害的能力更弱,是农业生态环境更为脆弱的地区。从水稻种植制度看,梅雨对沿江江南早稻的减产率大于一季稻。同样 1991 年洪水致沿江江南早稻减产率高达 31%,而对沿江一季稻减产只有 9%。梅雨期间低温冷害对早稻生长不利是减产的重要原因之一。

2.3 水稻产量变化

由图 4 可见,1960 年以来,无论是全省粮食总产量还是水稻单产都呈现明显的上升趋势。农作物对气候变化最直接的响应主要反映在产量的变化上。

为了将气候变化对产量的影响分离出来,我们将产量分解成两部分:趋势产量(图 3 中斜线)和气候产量(实际产量减去趋势产量)。趋势产量是指由技术和政策的进步而导致的增产效应(也称为技术产量),气候产量则表示由于有利或不利的天气条件造成产量的年际波动(图 5)。总体来看,二十世纪六七十年代气候产量维持在一个相对较小的正负范围内,表明气候变化对产量的影响大致是利弊参半,影响不是很大;80

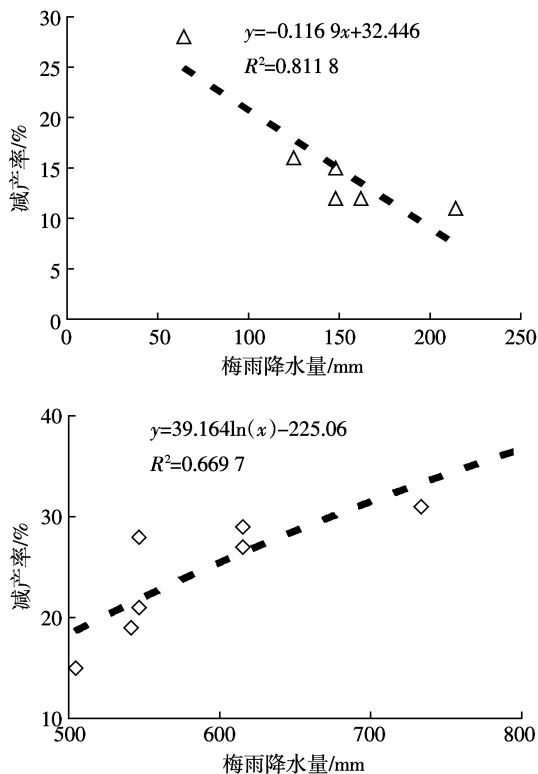


图 3 典型年份梅雨降水量与水稻减产率

Figure 3 The precipitation of meiuyu and the reduction ratio of rice

年代波动加大,且以正值为主,表明 80 年代的气候总的来说对作物生长有利;90 年代以来气候产量正负波动最大,尤其是进入 21 世纪的最近几年气候产量为负值,表明气候变化对农业生产的负面影响已经显现。

作物气候产量与其生长季内的平均温度、降水量进行相关分析,结果表明:水稻产量与生长季内的平均温度呈负相关($y = -0.3289x + 5.1279$, $R = 0.355$, $N = 47$),分析水稻产量与温度呈负相关的原因,可能是由于随着气候变暖,安徽水稻生长所需要的基本热量条件能满足需求,气候变暖导致水稻生长期高温热害频

表 1 1961—2008 年间梅雨与当年水稻减产率

Table 1 The precipitation of meiyu and the same year reduction ratio of rice(1961—2008)

地区	年份	降水量/mm	降水距平/%	梅雨日数	入梅日期	出梅日期	平均日雨量/mm	减产率/%
江淮地区一季稻	1991	939.3	293	57	5 月 18 日	7 月 13 日	16	29
	1969	541.3	126	16	6 月 28 日	7 月 18 日	34	19
	1980	504.5	111	42	6 月 6 日	7 月 20 日	12	15
	1983	359.9	51	37	6 月 19 日	7 月 25 日	10	7
	1982	359.3	50	16	7 月 9 日	7 月 25 日	22	11
	1968	356.7	110	26	6 月 23 日	7 月 18 日	14	7
	1992	161.9	-32	11	6 月 13 日	7 月 13 日	15	12
	1966	124.9	-48	16	6 月 27 日	7 月 12 日	8	16
	1967	64.4	-73	12	6 月 15 日	7 月 5 日	5	28
	1965	50	-79	0	空梅	空梅	0	12
沿江地区一季稻	1991	733.4	140	57	6 月 11 日	7 月 13 日	13	9
	1983	615.4	101	30	6 月 19 日	7 月 18 日	21	27
	1969	546.6	79	21	6 月 28 日	7 月 18 日	26	28
	1998	424.7	39	24	6 月 11 日	7 月 4 日	18	8
	1980	393.3	29	45	6 月 6 日	7 月 20 日	9	20
	1966	277.6	-9	15	6 月 28 日	7 月 12 日	14	6
	1960	256.4	-16	22	5 月 18 日	6 月 28 日	12	9
	1988	242.9	-21	20	6 月 10 日	6 月 29 日	12	7
	1967	214.1	-30	21	6 月 7 日	7 月 5 日	10	11
	1961	148.1	-52	9	6 月 15 日	6 月 15 日	17	15
沿江江南地区早稻	1999	952.6	211	40	6 月 7 日	7 月 18 日	24	23
	1996	935	206	50	6 月 20 日	7 月 21 日	19	23
	1991	733.3	140	57	5 月 18 日	7 月 13 日	13	31
	1983	615.4	101	30	6 月 19 日	7 月 18 日	21	29
	1969	546.6	79	21	6 月 28 日	7 月 18 日	26	21
	1980	393.3	29	45	6 月 6 日	7 月 20 日	9	10
	1977	282.2	-78	23	6 月 9 日	7 月 1 日	12	13
	1993	270	-12	19	6 月 20 日	7 月 8 日	14	8
	1960	256.4	-16	22	6 月 7 日	6 月 8 日	12	9
	1961	148.1	-52	9	6 月 7 日	6 月 15 日	17	12

发,对水稻丰产构成了严重威胁。因此,温度上升对水稻生长有不利的影 响。水稻产量与年均降水量之间,没有相关性,表明降水量的多少对于水稻丰产不是一个限制性的因子。这一点可以从作物总产和水稻产量变化(图 3)中得到印证:减产特别严重的有 1969 年、1980 年、1991 年、2003 年等年份,都是安徽省历史上的大涝年份。1978 年、1994 年降水量过少,是全省大旱年,作物减产也比较严重(见表 1)。由此可见,气候变化对产量的影响主要是由极端气候事件造成的,平均气候状况的变化影响较小。

2.4 水稻生长期的变化

安徽省水稻生育期天数随年份的变化(见图 6)。显然,由于热量条件的增加使得早稻和晚稻的生育期

普遍缩短(中稻除外),统计数据也表明全省复种指数呈现明显的上升趋势,由 60 年代的 1.54 上升到目前(2000—2007 年平均)的 2.07。中稻生育期表现出延长的趋势,除了品种因素以外,可能与安徽省气候变化的季节性差异有关:冬季增暖最强,春秋季节次之,夏季平均温度则呈现出下降趋势。因安徽省中稻生长经历了整个夏季,温度降低要满足水稻生长所需的积温,必然要延长生育期。

2.5 极端气候事件对水稻生产的影响

极端气候事件的增多增强可能会导致作物实际产量的年际波动加大。为了验证这一点,计算了各年代安徽省水稻单产的标准差(表 2)。

总体来看,70 年代水稻产量波动最小,80 年代、

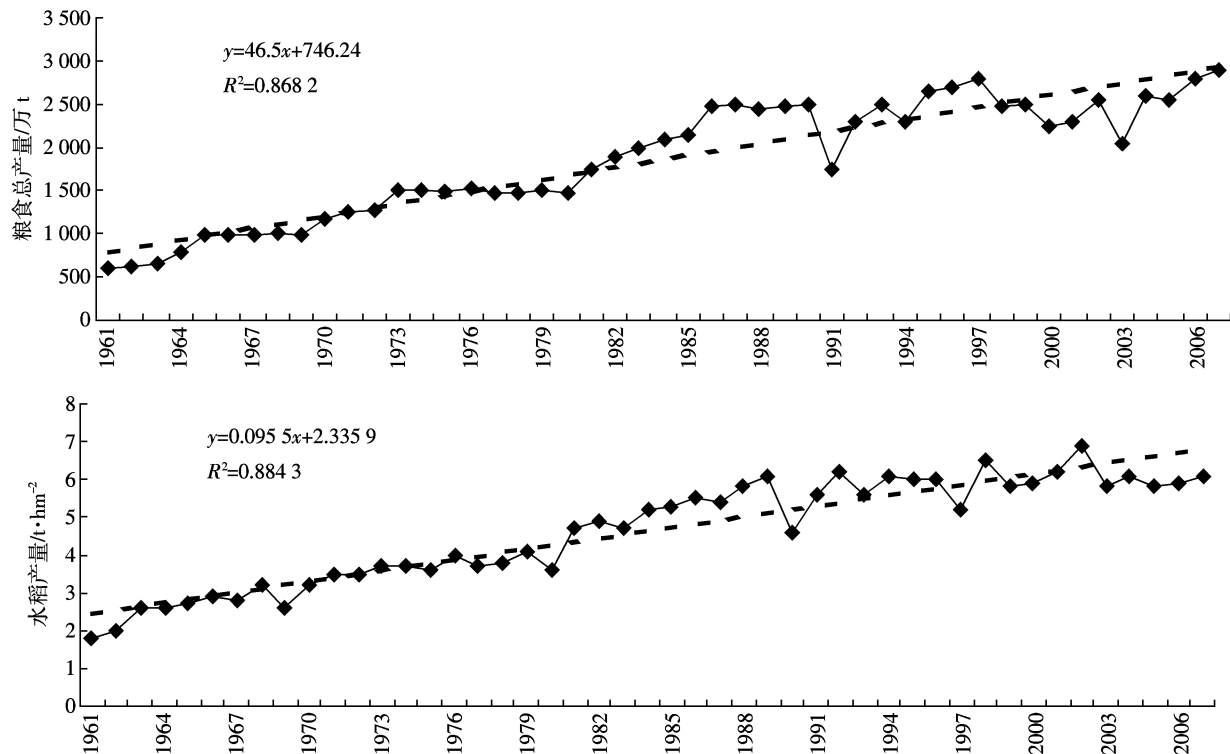


图4 安徽省粮食总产和水稻单产历年变化

Figure 4 Annual change of the total grain output and the rice production in Anhui Province

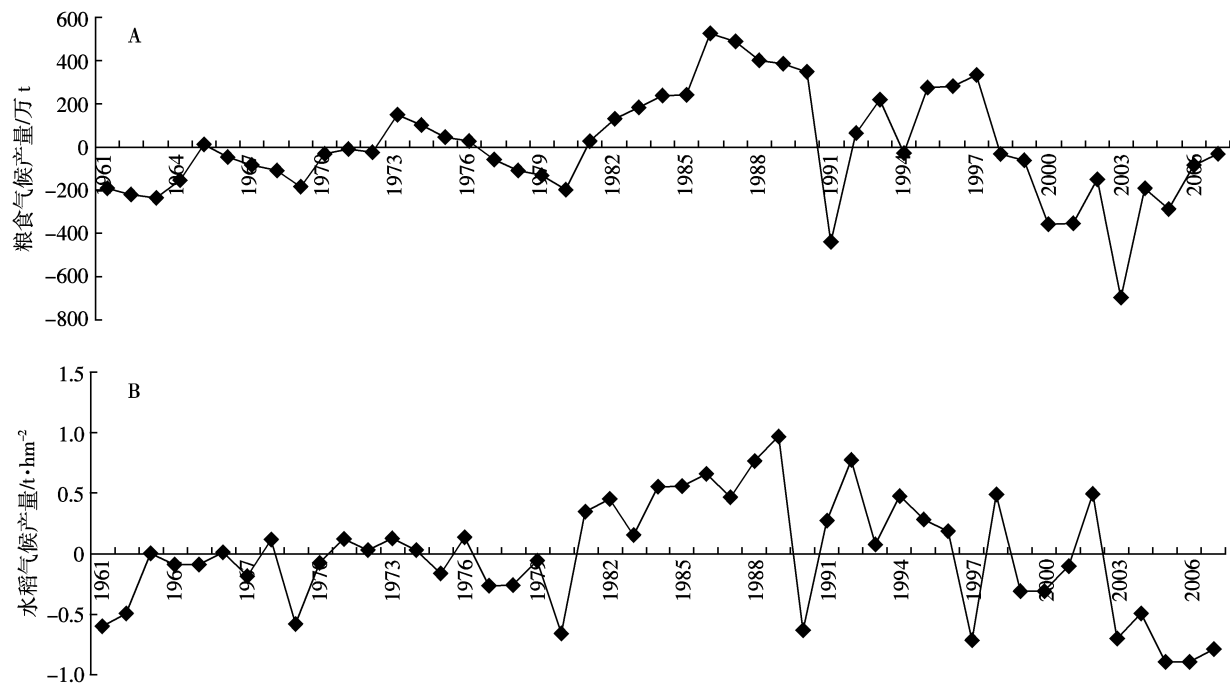


图5 安徽省粮食气候产量(A)和水稻气候产量(B)历年变化

Figure 5 Annual change of the climatic yield grain output and the climatic yield of rice production in Anhui Province

90 年代波动增大,21 世纪以来略有下降,但仍然高于 70 年代的水平。由此可见,气候变化会造成水稻产量出现波动,使农业生产的不稳定性增加。统计数据表

明受灾面积与成灾面积呈正相关,且水灾的受灾面积与水灾的成灾面积相关性高于旱灾受灾面积与成灾面积的相关性($Y_{\text{水}}=0.8091X_{\text{水}}-17.681, R^2=0.9417$),

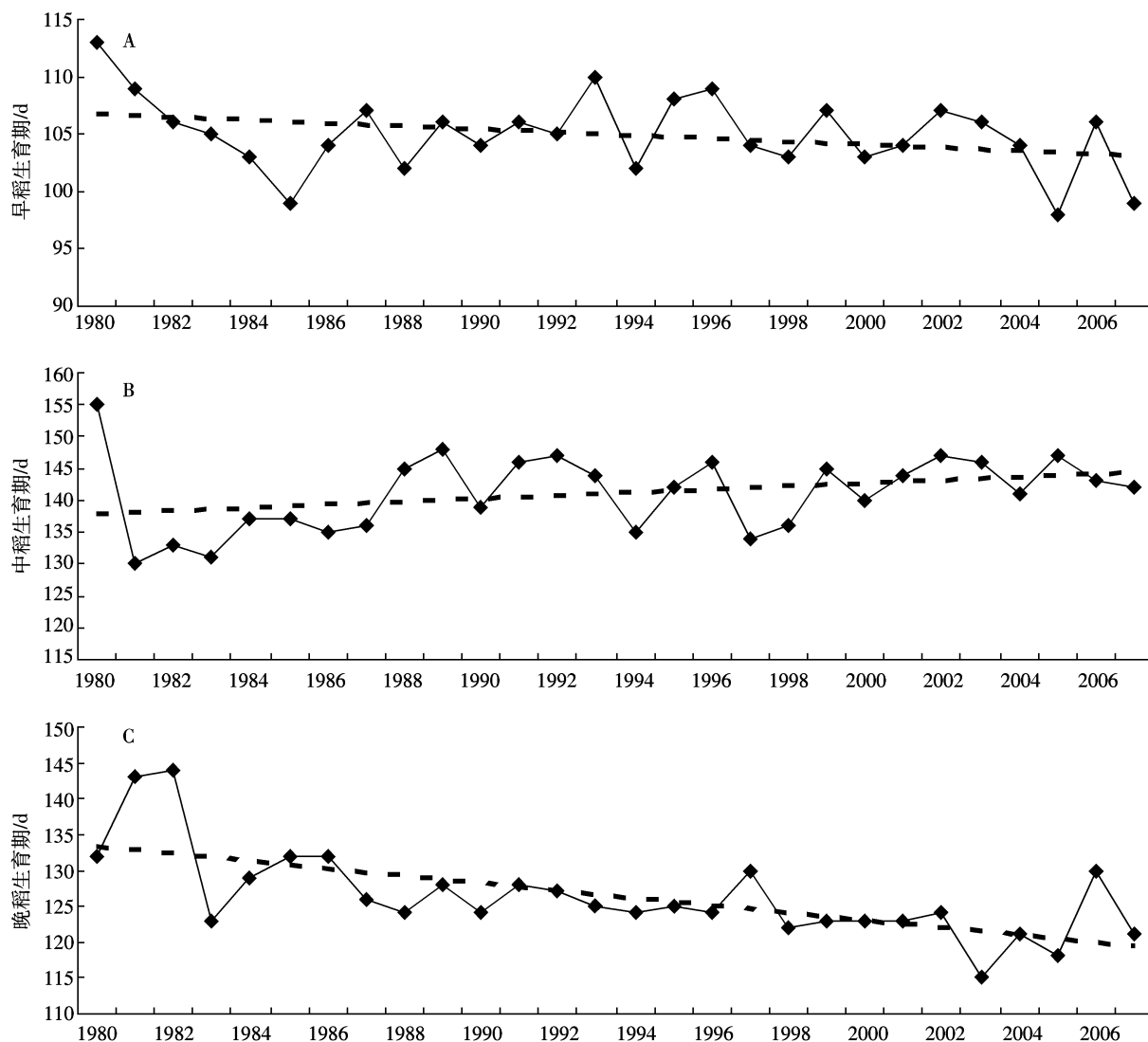


图6 1980—2008年间安徽省早稻(A)、中稻(B)和晚稻(C)生育期天数的变化

Figure 6 Annual change of growth stage of rice(A:early rice,B:semilate rice,C:late rice) in Anhui Province during 1980—2008

表2 各年代水稻单产的标准差

Table 2 Standard deviation of rice production each age

年代	60年代	70年代	80年代	90年代	2001—2008年
粮食总产标准差	199.99	97.33	283.64	297.88	256.7
水稻单产标准差	0.42	0.20	0.50	0.45	0.37

反映洪涝灾害的致灾性更强,提高洪涝灾害的防御能力在安徽更显重要。

安徽省地处南北气候过渡带,受到低纬和中高纬各种天气系统的影响,天气气候复杂多变,暴雨洪涝、干旱、风雹以及台风灾害频繁,给农业生产带来严重损失。根据最近30多年的统计,在各类灾害中,以暴雨洪涝对农业造成的危害最大,其次为旱灾。总成灾面积达3 917万 hm^2 ,其中水灾成灾面积为1 815万

hm^2 ,旱灾成灾面积为1 583万 hm^2 ,水旱成灾面积占87%。周后福(2004)用历史资料和统计资料分析得出安徽近554年来,偏旱年份占到24.6%,偏涝年份占到35.1%,也同样呈现安徽旱涝的不对称性,即涝远多于旱^[13]。

除洪涝灾害对作物产量影响很大外,病虫害也是重要的危害因素。对水稻生产来说,稻飞虱是影响水稻产量的重要灾害因素。

收集了安徽省最近30多年来因病虫害发生导致水稻受灾的致灾面积数据,水稻病虫害包括:二化螟、三化螟、稻飞虱、褐飞虱、白背飞虱、稻纵卷叶螟、稻瘟病等,我们选择稻飞虱来分析水稻病虫害致灾面积的变化趋势,结果表明,水稻稻飞虱病虫害致灾面积呈明显上升趋势(图7)。

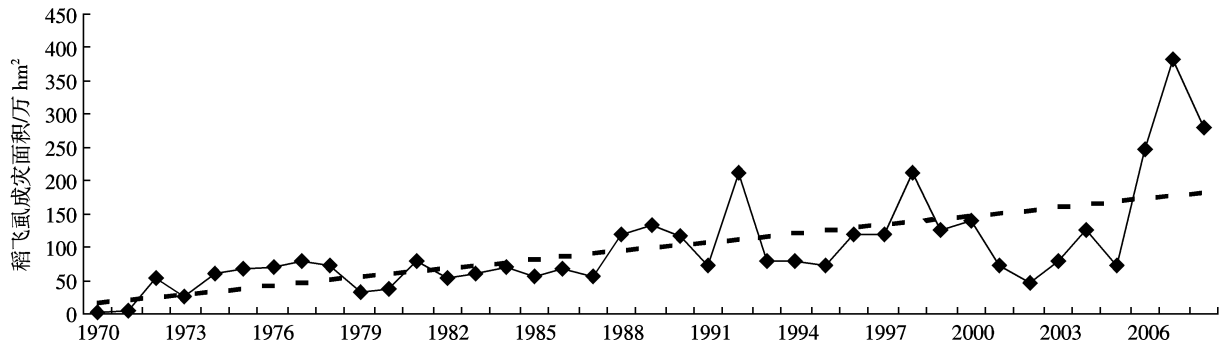


图7 稻飞虱病虫害成灾面积变化

Figure 7 Change of disaster area rice plant hopper and the occurrence of flood and drought disaster

3 结论与讨论

通过对历史气候资料和同期水稻产量的统计分析,揭示了气候变化对安徽水稻生产影响的事实,本文得出了以下初步结论。

(1)气温变暖使水稻种植界线北移。安徽水稻生长季内大于 10℃ 的有效积温明显增大,平均每 10 a 的增幅都超过了 100℃,双季稻的安全积温线呈现北移的趋势;双季稻生长季关键期内极端高温的日数和强度均增加,极端低温的日数和强度有减少的趋势。由此可以推出,大于 10℃ 的有效积温的提高,有利于复种指数的增加和种植界线的北移。李军等(2008)统计了华东地区各省市的复种指数,也表明了 20 世纪 70 年代以来安徽省和山东省的复种指数呈稳步增加。安徽的北部也具备了水稻种植的积温条件^[7]。

(2)灾害性天气是水稻减产的主要原因。研究稻区水稻的实际产量、趋势产量均呈增长趋势,20 世纪 90 年代增加趋势更加显著,但是水稻的气候产量呈现了不同程度的减少趋势。也就是说自 20 世纪 80 年代以后实际产量的增加主要是由于生产力水平提高引起的,气候变暖在一定程度上对水稻产量产生的是负面影响。梅雨量过多或过少,均造成水稻减产,涝灾减产幅度高于旱灾。丘陵区抵御洪涝灾害的能力弱于平原区。姚凤梅等(2007)运用模拟方法,对增温梯度敏感性的分析表明了随着温度增加,水稻产量呈下降趋势。且在同一增温水平下,在南方热带地区的昆明和海口,产量下降幅度大于其他站点^[8]。

(3)气候变暖改变了水稻生长期。双季稻的生育期明显地缩短,其中早稻的播种期明显提前 3~7 d,开花期提前 3~8 d,晚稻的开花期也明显提前了 2~4 d;而中稻生长期则延长了。与此同时,气候变化带来的极端高温和极端低温事件也对水稻生育期内的产量

构成要素产生了一定的影响。据葛道阔等研究表明,水稻模拟生育期的平均天数均因增温而有不同程度缩短。其中单季稻与晚稻缩短的天数要甚于早稻^[4],与本研究的结果一致。

总之,以全球气候变暖为背景的气候变化使得安徽稻区的热量资源更加丰富,使安徽水稻种植制度发生了相应的改变,种植面积、复种指数会有所增加;同时气候变化带来的各种气候要素的波动、极端气象灾害的增多,已经使得水稻的气候产量呈逐年下降的趋势,对安徽稻区的实际产量产生了负面影响,早稻高温热害和晚稻低温冷害的防范和应对应该得到更多的关注^[9]。

积极采取措施适应气候变化,趋利避害,对于促进粮食生产安全至关重要。一是调整作物布局,改革种植制度。充分利用水稻适宜生长季开始日期提前、适宜生长期延长的特点,将种植中早熟品种换成种植生育期相对较长、产量相对较高的中熟、迟熟品种,提高水稻单产;调整作物播种期,适当延迟中稻播种期和移栽期,避免抽穗开花期遭遇高温热害的可能,减轻高温热害影响,提高中稻产量;适当将双季稻种植区域向水源充足、灌溉条件较好的地区推移,扩大双季稻的种植面积,提高水稻总产量。二是加强极端气象灾害应对防范体系与能力建设,提高防灾减灾能力。加强水稻产区农业基础设施建设,建设高产、稳产基本农田;提高农业抗御极端气象灾害工程标准,增加灌溉和排水保证率;加强重大农业气象灾害的监测预测和防御技术研究,加强农业病虫害预测预报技术和综合防治技术研究,加大新技术的推广力度;发展政策性农业保险,降低极端气象灾害对农业发展的威胁。三是发挥生物技术在适应气候变化中的作用。选育适应气候变化的水稻新品种,大力开展抗旱涝、耐高温、抗病虫害等抗逆品种的育种研究和科技攻关,

增强农业适应气候变化的能力,完善农业新技术推广体系,提高科研成果的转化率。

参考文献:

- [1] IPCC.Emissions Scenarios:A Special Report of Working Group of the Intergovernmental Panels on Climate Change[R]. Cambridge:Cambridge University Press, 2000.
- [2] 杨文坎,李湘阁.气候变化对越南北方水稻生产的影响[J].南京气象学院学报,2004,27(1):55-64.
YANG Wen-kan, LI Xiang-ge. Climatic change and its effect on rice yields in the North Vietnam[J]. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 2004, 27(1):55-64.
- [3] 江敏,金之庆,石春林,等.气候变化对福建省水稻生产的阶段性影响[J].中国农学通报,2009,25(10):220-227.
JIANG Min, JIN Zhi-qing, SHI Chun-lin, et al. Gradual impacts of climate change on rice production in Fujian Province[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009, 25(10):220-227.
- [4] 葛道阔,金之庆,石春林,等.气候变化对中国南方水稻生产的阶段性影响及适应性对策[J].江苏农业学报,2002,18(1):1-7.
GE Dao-kuo, JIN Zhi-qing, SHI Chun-lin, et al. Gradual impacts of climate change on rice production and adaptation strategies in Southern China[J]. *Jiangsu Journal of Agriculture Science*, 2002, 18(1):1-7.
- [5] Reilly J, Tubieud F, Mocar BUS. Agriculture and climate change:New results[J]. *Climatic Change*, 2003, 57(1):43-49.
- [6] Pittock A B, Nix H A. The effect of change climate on Australian biomics production:A preliminary study [J]. *Climatic Change*, 1986, 8(3):243-255.
- [7] 李军,高苹,陈艳春,等.华东地区耕作制度对积温变化的响应[J].生态学报,2008,27(3):361-368.
LI Jun, GAO Ping, CHEN Yan-chun, et al. Relationships between farming system and effective accumulated temperature in East China[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(3):361-368.
- [8] 姚凤梅,张佳华,孙白妮,等.气候变化对中国南方稻区水稻产量影响的模拟和分析[J].气候与环境研究,2007,12(5):659-666.
YAO Feng-mei, ZHANG Jia-hua, SUN Bai-ni, et al. Simulation and analysis of effects of climate change on rice yields in Southern China[J]. *Climatic and Environmental Research*, 2007, 12(5):659-666.
- [9] 田红,唐为安,温华洋.安徽气候变化对农业的影响评估及适应对策[A].第26届中国气象学会年会气候变化分会场论文集[C].2009.
TIAN Hong, TANG Wei-An, WEN Hua-yang. Assessment of the impact of climatic change on rice production and response strategies in Anhui Province [A]. The 26th Chinese Meteorological Society Climate Change Breakout Memoir[C]. 2009.
- [10] 田红,李春,张士洋.近50年我国江淮流域气候变化[J].中国海洋大学学报,2006,35:539-544.
TIAN Hong, LI Chun, ZHANG Shi-yang. The climate change in the Yangtze-Huaihe River Valley over the past 50 years[J]. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 2006, 35:539-544.
- [11] 田红.江淮地区极端气候事件的时空变化特征[J].自然灾害学报,2007,16(6):36-41.
TIAN Hong. Spatiotemporal change characteristics of extreme climate events in Changjiang-Huaihe Area[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2007, 16(6):36-41.
- [12] 陈晓艺,马晓群.安徽省梅雨特征及其对水稻产量的影响[J].安徽农业科学,2005,33(4):682-683,687.
CHEN Xiao-yi, MA Xiao-qun. The meiyu peaks and its influence on rice production in Anhui Province[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2005, 33(4):682-683, 687.
- [13] 周后福.安徽省近554年旱涝演化规律和跃变现象[J].气象,2004,30(7):18-22.
ZHOU Hou-fu. On climate regularity and catastrophe phenomenon of drought and flood of Anhui Province for resent 554 years[J]. *Meteorological Monthly*, 2004, 30(7):18-22.
- [14] 刘娟.气候变化对长江中下游水稻影响的事实分析[A].第26届中国气象学会年会农业气象防灾减灾与粮食安全分会场论文集[C].2009.
LIU Juan. Analysis of climatic change on rice production for the Middle and Lower Yangtze River [A]. The 26th Chinese Meteorological Society Climate Change Breakout Memoir[C]. 2009.