

气候变化背景下广东早稻播期的适应性调整

陈新光^{1,*}, 王 华¹, 邹永春², 林青山³, 蔡 立²

(1. 广东省气候中心, 广州 510080; 2. 广东省农业厅, 广州 510050; 3. 广东省农作物技术推广总站, 广州 510520)

摘要: 利用广东省 86 个气象站 1961—2009 年资料以及 2009 年早稻地理分期播种试验数据, 分析了气候变暖背景下广东早稻生长季的气候变化特点, 并探索适应气候变化的广东早稻播种期调整的可行性。结果表明, 自 1997 年以来, 广东早稻生长季气候变化较为显著: (1) 广东早稻生长季气候变暖明显, 热量资源增加显著; 光照资源略有减少; 降水量略多于常年, 但年际变幅加大; (2) 春季低温阴雨天气结束日期提前, 总日数减少; 早稻幼穗分化期低温冷害结束日期提早; “龙舟水”期间降水集中期推后。在考虑气候资源与灾害变化特征的基础上, 提出了广东早稻播种期调整方案为南部地区提前 7—10d, 中部地区提前 5—7d, 北部地区提前 3—4d。广东早稻播种期调整的研究, 不仅是早稻应对气候变化的需要, 而且对全年农业生产布局调整也具有重要意义。

关键词: 气候变化; 早稻生长季; 播期调整; 广东省

Adaptation and determination of sowing date under climate change in early matured rice in Guangdong Province

CHEN Xinguang^{1,*}, WANG Hua¹, ZOU Yongchun², LIN Qingshan³, CAI Li²

1 Guangdong Climate Center, Guangzhou 510080, China

2 Department of Agriculture of Guangdong Province, Guangzhou 510050, China

3 Agricultural Technology Extension Station of Guangdong Province, Guangzhou 510520, China

Abstract: Based on daily climatic data collected from 86 weather stations from 1961 to 2009 in Guangdong Province and field experiments for different sowing date in early matured rice in five locations e. g. Shaoguan, Guangzhou, Zhaoqing, Zhanjiang, Shantou in 2009, the characteristics of climate change during growing season in early matured rice cultivars were analyzed to explore the feasibility of the sowing date under climate change. The results showed that: (1) since 1997, average temperature increased 0.8°C than that of the contrast (1961—1996), above 10°C accumulative temperature increased 139°C. Climate warming effect was accelerated, heat resource significantly improved in growth period of early matured rice in Guangdong province. Sunshine hour during growing season slightly decreased 11 hours than that of the contrast. Total precipitation during growing season slightly increased 60 mm compared to that of the contrast, with increasing variability between years. In early growing season, the relation coefficients (R^2) of average temperature, above 10°C accumulative temperature and sunshine hour were 0.2279, 0.241, 0.198, respectively, showed a significant difference. The relation coefficient (R^2) of total precipitation was 0.0375, showed no significant difference. (2) since 1997, the date of terminating continuous low temperature and rainy period in spring (CLTR) were 12 days earlier than the mean value of the contrast (1961—1996), total days of CLTR decreased 4 days. It significantly differed between locations. For the date of terminating CLTR, it was 15—20 days earlier in the southern, 5 days earlier in middle and the northern. For total days of CLTR, it decreased 4—8 days in the southern region, and 3—5 days in middle and the northern region. Thus, the harm of CLTR was gradually abated in rice seedling. The ending dates of low temperature

基金项目: 广东省科技计划重点项目 (2008A030203013); 科技部农业科技成果转化资金重点项目 (2009GB24160496); 公益性行业科研专项 (GYHY200906021)

收稿日期: 2010-03-26; **修订日期:** 2010-05-31

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xgchen@grmc.gov.cn

occurred in the May, which harmed in young panicle differentiation stage of rice, was earlier than the mean value of the contrast (1961—1996). Its frequency and influence became smaller and smaller in Guangdong. The first day continuous heavy rain period during the last 10 days of May to the first 10 days of June, called “Dragon Boat Water”, occurred after 6 June, it delayed 5 days than the contrast. With respect to the climatic resources, characteristics of meteorological hazards and rice varieties in Guangdong province, we suggested that the sowing date of early matured rice cultivars should be earlier, e. g. 7—10 days earlier in the southern region, 5—7 days earlier in middle region and 3—4 days earlier in the northern region. This study is not only for the adaptation to climate change but also important for readjusting agricultural farming system.

Key Words: climate change; early growth period; sowing date; Guangdong Province

根据 IPCC 第 4 次评估报告,全球平均温度在过去的 100a 上升了 0.74°C ^[1]。近 100a 来,中国的平均温度上升了 0.79°C ,这一变化略高于全球平均增温幅度^[2]。广东近 50a 来,平均气温增速为 $0.21^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,与全国平均增温水平相当^[3]。自 20 世纪 80 年代后期以来,广东气候变暖经历了两次突变:一次是 1987 年;另一次是 1997 年,且 1997 年后气候变暖明显加快^[4]。

目前国内外关于气候变化对作物影响的研究主要在三个方面。一是气候变化对作物播种期和生育期变化的影响^[5-11],研究结果认为,气候变暖导致作物发育期提前,但作物的不同发育阶段对增温的响应有明显差异,营养生长阶段表现得更为明显。要缓解这种影响可以通过调整作物种植季节和选用合适的作物生态类型等。二是气候变化对作物产量以及作物种植结构变化的影响^[10-16],得出的观点并不统一,有的学者认为,气候变暖缩短了作物生育期,对作物产量有负面影响,但也有学者认为在农业热量资源相对不足的地方,气候变暖对作物产量是有正面的影响。对作物种植结构方面的影响,气候变暖导致了热量带的变化,从而改变了原来的作物种植带和种植结构。三是利用作物生长模式与气候模式相结合的方法,模拟了气候变化对作物的可能影响^[17-21],得出在气候变化情景下,气温升高会使作物生长期相应缩短,从而导致产量下降,但 CO_2 浓度增加可以在一定程度地抵消和补偿增温带来的负效应。综合众多研究结果表明,在气候变暖背景下,作物生育期会因气温的升高而缩短,从而导致作物产量下降,通过改变作物播种期和品种来适应气候变化是比较直接和有效的措施。

早在 20 世纪 70 年代后期,广东省农业气象与水稻栽培技术人员以当时的水稻品种特性、气候资源和气象灾害为依据,研究确定了适应当地气候条件的早稻播种期,并一直在生产中得到应用。然而,自 20 世纪 80 年代后期以来,广东省气候已开始出现变暖,90 年代后期,气候变暖明显加剧^[4]。在气候变暖背景下,广东省早稻气候资源和主要气象灾害等特征也相应发生了改变,过去制定的各地早稻播期制度,已与当地气候条件不相适应。因此,本研究的特点是以广东省 1997 年气候出现明显变暖为界线,分析了气候变暖前后的早稻气候资源以及气象灾害的差异,并结合 2009 年早稻地理分期播种试验数据,从趋利避害角度探讨了广东省不同区域早稻播种期调整的可行性,为早稻生产应对气候变化以及全年农业生产布局调整提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 气象数据来源

采用广东省 86 个气象站 1961—2009 年逐日气温、日照时数和降水量观测资料,站点分布如图 1。

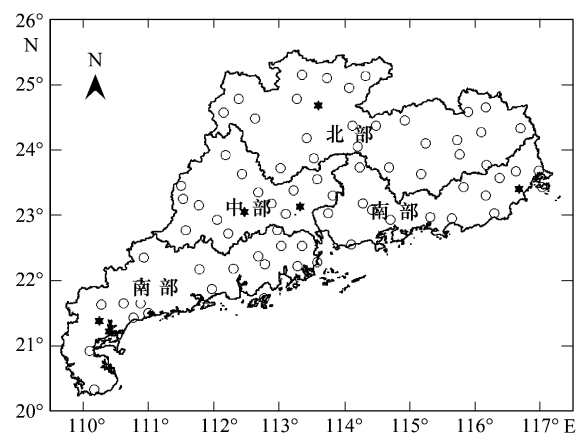


图 1 气象资料站点分布图

Fig. 1 The distribution of meteorological station

○, 气象站点; *, 试验点

1.2 试验地点与方法

2009 年早稻地理分期播种 5 个试验点(表 1),曲江、广州、高要、汕头和湛江。曲江代表广东北部地区,早稻热量条件相对较差,双季水稻生长季较短;广州和高要代表广东中部地区,早稻热量条件一般,双季水稻生长季基本满足;汕头、湛江代表广东南部地区,早稻热量条件充足,双季水稻生长季较长。5 个试验点采用相同的品种,供试品种为玉香油占、天优 998 和天优 428(表 2),均是广东省早稻生产中的主要推广品种。

表 1 实验点概况

Table 1 Profile of experimental area

实验区 Test site	经度/(°) Longitude	纬度/(°) Latitude	海拔/m Elevation
曲江	113.60	24.68	60.7
广州	113.32	23.13	41.7
高要	112.47	23.05	41
汕头	116.68	23.4	1.1
湛江	110.4	21.22	25.3

表 2 供试品种概况

Table 2 Information of rice variety for testing

品种 Variety	类型 Type	品种特性 Character	生育期 Growing time
玉香油占	杂交稻	中迟熟感温型	131d
天优 998	杂交稻	中迟熟感温型	129d
天优 428	杂交稻	早熟感温型	124d

2009 年早稻地理分期播种试验共设 6 个播期,每个播期设 3 个重复。首期播种时间为 2 月 15 日,播期间隔时间为 7d,各试验点播期时间同步。每播期采用上述 3 个水稻品种,各试验点采用相同的品种。生育期观测记载播种期、出苗期、移栽期、返青期、分蘖期、孕穗期、齐穗期、成熟期。幼穗分化过程观测记载 8 个时期的出现日期,即:第 1 苞分化期;第 1 次枝梗原基分化期;第 2 次枝梗及颖花原基分化期;雌雄蕊形成期;花粉母细胞形成期;花粉母细胞减数分裂期;花粉内容充实期;花粉完成期。试验田为当地中等肥力土壤,田间管理采用当地常规管理方法。

1.3 试验资料处理方法

地理分期播种试验资料中的生育期气温与生育期长短的分析采用相关关系分析法,每个供试品种分析样本为 30 个(5 个试验点,每个试验点设 6 个播期)。

1.4 早稻生长季的确定和气象数据的处理

1.4.1 广东早稻生长季的确定

广东早稻播种期南北差异较大,习惯上由南到北,从 2 月中旬中期至 3 月中旬陆续开始播种。但早稻收获期南北差异较小,一般均在 7 月中旬结束。因此,本文分析广东省生长季的气候资料统计时段定为 2 月 15 日—7 月 20 日。文中日序是指从 1 月 1 日起记作第 1 天,1 月 2 日记作第 2 天,以此类推;但“龙舟水”期间的降水日序是指从 5 月 21 日起记作第 1 天,5 月 22 日记作第 2 天,以此类推。

1.4.2 气象资料的处理

统计历年 2 月 15 日—7 月 20 日的日平均气温、日平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温、日照时数和降水量。按日平均气温 $\leq 12^{\circ}\text{C}$ 连续 3d 或以上统计春季低温阴雨^[22]过程,最后一次过程结束日记为当年春季低温阴雨结束日期;所有过程发生天数之和记为当年低温阴雨总日数,“五月寒”在广东一般是指 5 月上旬至中旬,出现连续 2d 以上日最低气温低于 17°C 或 3d 上日平均气温低于 20°C 的低温天气,这种天气对早稻幼穗分化中花粉母细胞减数分裂期可造成危害^[22];“龙舟水”期间的降水集中期是按“龙舟水”时段(5 月 21 日—6 月 20 日)^[22]的全省逐日降水量平均值作 3d 滑动平均处理,挑选逐年日雨量 $\geq 10\text{mm}$ 连续最长时间段作为当年“龙舟水”期间的降水集中期。地理分期播种试验点与当地气象观测场距离均在 5km 以内,试验田的气象资料由当地气象站资料代表。

2 结果分析

2.1 早稻生育期气候变化背景分析

统计表明 1961—2009 年广东早稻生长季的气候条件发生了变化。图 2 表明广东省早稻生长季气温明显升高的起始时间为 1997 年,与以往的研究结论一致^[4]。1997 年以来,早稻生长季全省日平均气温较 1961—

1996 年同期升高了 0.8°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温增加了 139°C 。2002 年早稻生长季日平均气温达到 24.7°C , 较气候平均值(1971—2000 年,下同)高出 1.9°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温达到 3860°C , 较气候平均值高出 296°C , 创历史纪录。图 2、图 3 是广东省历年早稻生长季日平均气温、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温变化曲线, 相关指数 R^2 分别为 0.2279 和 0.241, 经曲线回归检验, 回归效果均显著。

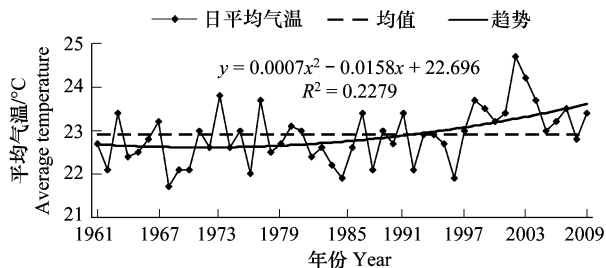


图 2 早稻生长季全省日平均气温变化图

Fig. 2 Interannual change of daily average temperature of early rice growing season in Guangdong

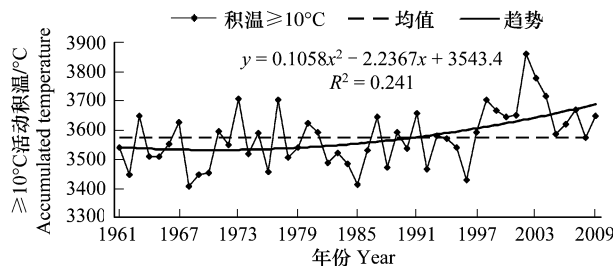


图 3 早稻生长季全省 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温变化图

Fig. 3 Interannual change of $\geq 10^{\circ}\text{C}$ accumulated temperature of early rice growing season in Guangdong

1997—2009 年,早稻生长季日照时数较 1961—1996 年减少 11h。日照时数年际间波动较大,1961—1992 年日照时数呈下降趋势,1993—2004 年日照时数呈上升趋势,2005—2006 年比前 3a 明显减少。图 4 是广东省历年早稻生长季日照时数变化曲线,相关指数 R^2 为 0.198,经曲线回归检验,回归效果显著。

1997—2009 年,早稻生长季总降水量较 1961—1996 年增加了 60mm,相当于生育期间总降水量的 5%。从 1991 年开始,早稻生长季降水量的年际振幅明显加大,如 2001 年、2006 年和 2008 年降水量分别达到 1415、1389、1430mm,而 1991 年、2003 年、2004 年和 2005 年连续 3 年却仅有 770、781、796、760mm。图 5 是广东省历年早稻生长季降水量变化曲线,相关指数 R^2 为 0.0375,经曲线回归检验,回归效果不显著,说明气候变暖背景下早稻生长季降水量没有出现趋势性的变化。

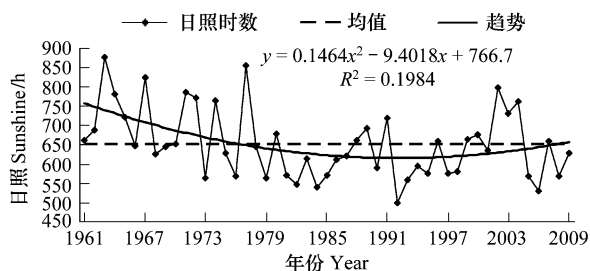


图 4 早稻生长季全省日照时数变化图

Fig. 4 Interannual change of sunshine hours of early rice growing season in Guangdong

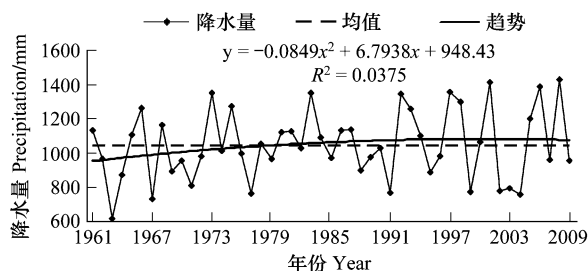


图 5 早稻生长季全省降水量变化图

Fig. 5 Interannual change of precipitation of early rice growing season in Guangdong

2.2 气候变化对早稻播期的影响分析

2.2.1 气温升高对早稻生长季的影响

1997—2009 年,广东早稻生长季日平均气温升高了 0.8°C 。由于目前广东水稻生产上大部分采用感温型品种,所以,气温的升高将导致水稻生育期缩短。2009 年早稻地理分期播种试验数据分析显示:供试品种的早稻生长季日平均气温与生育期天数相关性较好。营养生长阶段(播种—孕穗),日平均气温每升高 1°C ,玉香油占生育期缩短 4.2d,天优 998 生育期缩短 3.5d,天优 428 生育期缩短 3.2d;生殖生长阶段(孕穗—成熟),日平均气温每升高 1°C ,玉香油占生育期缩短 2.2d,天优 998 生育期缩短 2.1d,天优 428 生育期缩短 1.8d;全生育期(播种—成熟),日平均气温每升高 1°C ,玉香油占生育期缩短 5.9d,天优 998 生育期缩短

5.3d, 天优 428 生育期缩短 4.5d(图 6)。以上相关系数 r 均通过 0.05 水平的 t 检验,说明水稻发育期与日平均气温有较好的相关性。由此可见,早稻不同的发育阶段,气温与生育期天数的相关性虽因品种的不同而存在差异,但随气温升高生育期缩短是一致的。

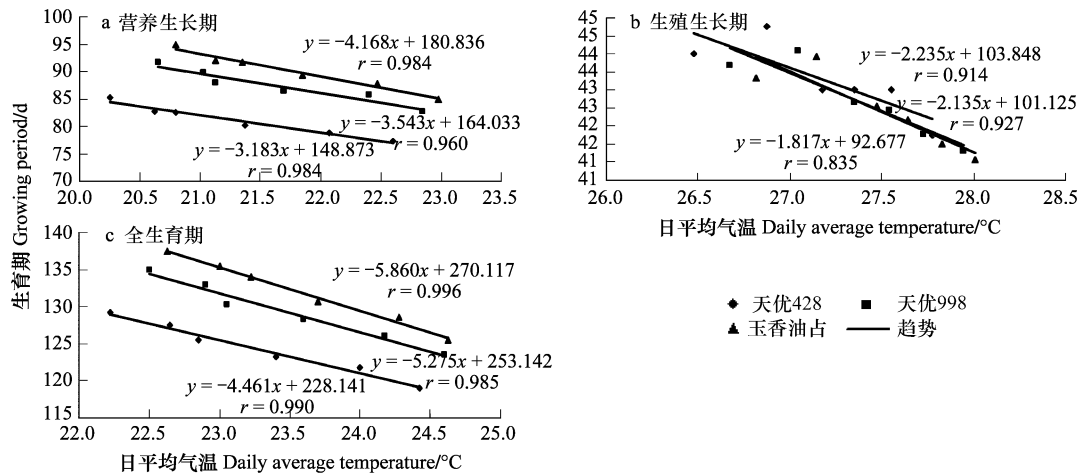


图 6 早稻不同发育期日平均气温与不同品种生育期天数的关系

Fig. 6 The correlation relationship between daily mean temperature and days of early rice growth period

2.2.2 春季低温阴雨天气结束期对早稻播种期的影响

广东春季南北热量差异比较大,早稻播种期差异明显。20 世纪 70—80 年代,广东春季低温阴雨天气比较严重,经常导致早稻播种期出现烂种烂秧现象。广东农业和气象部门根据当时的气候规律,结合大量的早稻田间试验研究成果,确定春季低温阴雨天气过程指标为:日平均气温 $\leq 12^{\circ}\text{C}$ 连续 3d,同时,还制定了广东早稻安全播种期为南部 2 月下旬到 3 月上旬初,中部 3 月上旬,北部 3 月上旬后期到中旬^[22]。目前生产上仍执行这种早稻播期制度。

1997—2009 年,随着广东春季气候变暖加剧^[4],春季低温阴雨天气过程和总日数明显减少,结束期提前。根据资料统计,全省春季低温阴雨天气过程平均结束日期 1997—2009 年比 1961—1996 年提前 12d,总日数减少 4d。这种变化在广东各地有较大差别,南部地区春季低温阴雨天气过程结束日期提前 15—20d,总日数减少 4—8d;中部和北部提前 5d 左右,总日数减少 3—5d。春季低温阴雨天气过程提前结束,早稻播种期提前可能性较大(图 7,图 8)。

2.2.3 “龙舟水”期间降水集中期对早稻抽穗扬花的影响

每年 5 月下旬至 6 月中旬,西南、东南和偏北方向三股气流交汇于广东省上空,造成降水量多,强度大,是全年降水量的高峰期。这时段正处于端午节前后,农民也习惯称之为“龙舟水”。“龙舟水”期间正是本省早稻抽穗开花期,常有“雨打禾花”现象,不利于早稻开花授粉,加上阴雨寡照削弱了光合作用,因而影响早稻结实率,导致产量下降。

降水集中期需要综合考虑降水量的大小和时间相对集中两方面问题。统计结果表明,在 20 世纪 60—80 年代“龙舟水”期间的降水集中期初日呈现提早趋势,但进入 90 年代以后,降水集中期初日出现明显后移。从 1991—2009 年,“龙舟水”期间的降水集中期初日有 13a 出现在平均值以上,也就是 6 月 4 日以后。1997—2009 年,平均出现日期在 6 月 6 日以后,比 1961—1996 年平均值推迟了 5d。图 9 是广东省历年“龙舟水”期间的降水集中期初日的变化曲线,相关指数 R^2 为 0.127,经曲线回归检验,回归效果显著。

2.2.4 “五月寒”对早稻幼穗分化期的影响

5 月份广东的温度由低到高波动上升,因此,“五月寒”是早稻播期提前的限制因子之一。统计 1961—2009 年全省平均日最低气温稳定通过 17°C 初日,全省平均日最低气温稳定通过 17°C 初日在 4 月中旬末(日

序 110d)。初日在南部地区比较早,北部地区较迟。1992—2009 年,初日有提早趋势,其中有 14a 出现在平均值以下,但个别年份初日出现比较迟,如 2006 和 2007 年全省平均出现在 5 月上旬,北部部分地区到了 5 月中旬后期,导致部分地区早稻幼穗分化遭遇冷害。总体上,在气候变暖的背景下,“五月寒”出现的机率和影响的范围越来越小。图 10 是广东省历年平均日最低气温稳定通过 17℃ 初日的变化曲线,相关指数 R^2 为 0.0725,经曲线回归检验,回归效果不显著,表明“五月寒”没有出现趋势性变化。

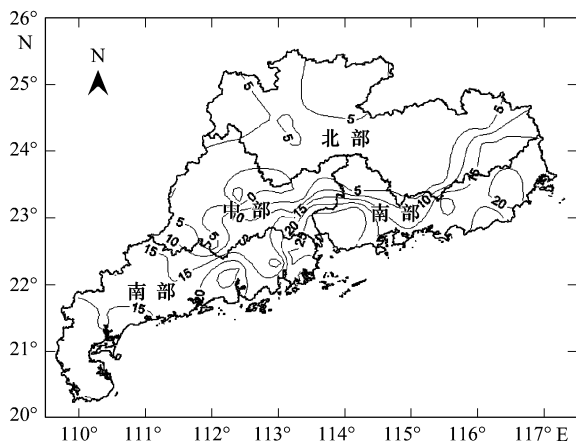


图 7 1997 年后春季低温阴雨结束期日数提早分布图

Fig. 7 Map of advancing day's number of low temperature, overcast and rainy in spring

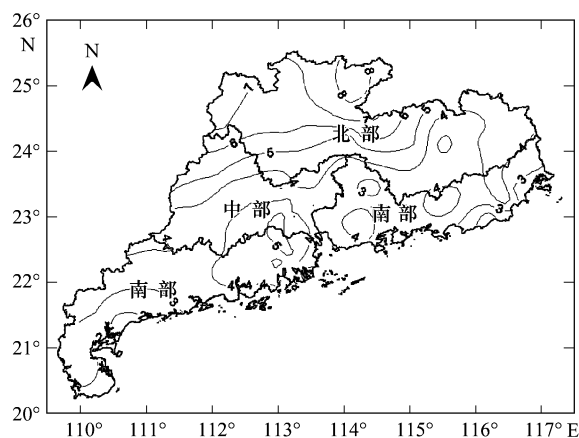


图 8 1997 年后春季低温阴雨日数减少分布图

Fig. 8 Map of shorting day's number of low temperature, overcast and rainy in spring

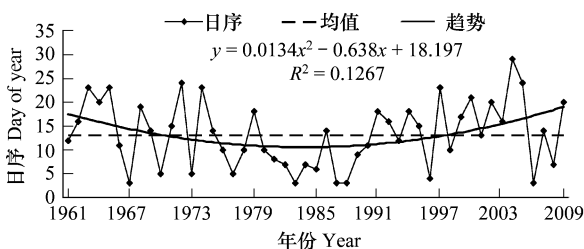


图 9 “龙舟水”期间全省降水集中期变化

Fig. 9 Interannual change of “Dragon Boat Precipitation” peak period in Guangdong

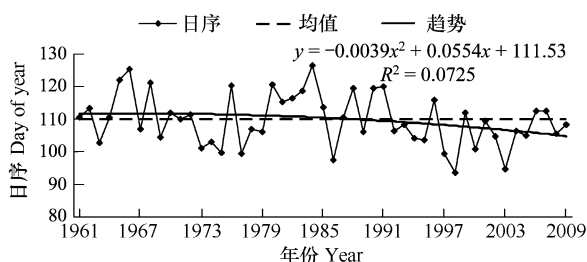


图 10 全省日最低气温稳定通过 17℃ 的初日变化

Fig. 10 Interannual change of minimum temperature of stability in the early days by 17 °C in Guangdong

3 结论与讨论

3.1 结论

(1) 1997—2009 年,广东省早稻生长季气候明显变暖,热量资源显著增加,全省日平均气温较 1961—1996 年同期升高 0.8℃,日平均气温 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温增加 139℃;光照资源略有减少,较 1961—1996 年减少 11h;降水量略有增多,较 1961—1996 年增加 60mm,相当于生育期间总降水量的 5%,但年际变幅明显加大,尤其是 1991—2009 年期间更为明显。

(2) 1997—2009 年,广东省春季低温阴雨天气过程结束日期南部地区明显提早,北部地区略有提早,表明气候变暖背景下春季低温阴雨对早稻播种的影响趋于减弱。因此,早稻播种期应当适当提前,提前时间以南部地区 7—10d、中部地区 5—7d、北部地区 3—5d 为宜。

(3) 1997—2009 年,龙舟水期间的降水集中期平均出现日期在 6 月 6 日以后,比 1961—1996 年平均值推迟了 5d。因此,如果早稻播种期适当提前,则可避免早稻抽穗扬花期“雨打禾花”现象出现,提高早稻结实率。

(4) 1992—2009 年,日最低气温稳定通过 17℃ 连续 2d 初日有提早趋势,其中有 14a 出现在 1961—2009

年平均日期之前。因此,早稻如果按上述提早播种时间,早稻幼穗分化中花粉母细胞减数分裂期在南部地区能安全避过低温天气影响,但在北部地区个别年份可能会遇到低温危害,生产上应当注意选择相对抗寒的水稻品种。

(5)感温型早稻品种生育期热量状况与生育期天数关系密切,同一品种温度对营养生长期天数的影响较生殖生长期明显。因此,早稻适当提前播种,使营养生长期处于气温略低的环境条件下,有利于延长营养生长期。

3.2 讨论

IPCC 第 4 次报告指出:预计 21 世纪全球仍将表现为明显增温^[1]。广东气候变化评估报告预计 2011—2040 年广东年平均气温可能升高 1.0℃^[2]。可见,未来气候变暖将继续影响广东早稻生产,但这种影响是利弊并存的。有利的因素是热量资源的增加将有利于提高复种指数;冷害减轻将有利于早稻提前播种。不利的因素是温度升高会使早稻生育期缩短,导致早稻因生长量不足而降低产量。能否做到趋利避害将是广东早稻生产应对气候变化的重要研究课题。根据本分析得出,在气候变暖的背景下,只要在安全避开春季低温阴雨和“五月寒”的情况下,适当提前早稻播种期是可行的,这样不但可以效延长早稻生育期的时间,同时还可以减少早稻后期高温的影响。当然,早稻提前播种,还需要结合品种选配和熟制搭配等方面进行综合考虑。

References:

- [1] IPCC. Climate Change 2007: Synthesis Report. Inter governmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007:30.
- [2] The Commission of National Assessment Report on Climate Change. National Assessment Report on Climate Change prepared by the Commission. Beijing: Science Press, 2007:34.
- [3] Research Teams of Guangdong Assessment Report on Climate Change. National Assessment Report on Climate Change prepared by the Commission (Excerpt). Journal of Guangdong Meteorology, 2007,29(3):1-14.
- [4] Chen X G, Qian G M, Chen T G, Li C M, Yu K F. Characteristics of climate warming and impact on climate belts change in Guangdong. Journal of Tropical Meteorology, 2006,22(6):547-552.
- [5] Ma S Q, An G, Wang Z X, Xi Z X, Liu Y Y. Study on the variation laws of the thermal resources in maize-growing belt of northeast China. Resources Science, 2000,22(5):41-45.
- [6] Yu W D, Zhao G Q, Chen H L. Impacts of climate change on growing stages of main crops in Henan province. Chinese Journal of Agrometeorology, 2007, 28(1):9-12.
- [7] Tao F L, Masayuki Y, Xu Y L. Climate changes and trends in phenology and yields of field crops in China, 1981—2000. Agricultural and Forest Meteorology, 2006,138: 82-92.
- [8] Wang W T, Huang B, Zhang T F, Wang R Y, Xue J X, Wang L M, Wang Q. The response of winter wheat growth to the climate warming of Loess Plateau of East Gansu. Agricultural Research in the Arid Areas, 2007, 25(1):153-158.
- [9] Che S J, Zhi L H, Feng L H. Impact of warmer climate on main growing periods of winter wheat and response strategy. Chinese Journal of Agrometeorology, 2005,26(3):180-183.
- [10] Cui D C. The scenario analyses of possible effect of warming climate on rice growing period. Quarterly Journal of Applied Meteorology, 1995,6(3): 361-365.
- [11] Li Q S, Luo Y Z. Impacts of climatic change on the suitability of temperature for rice at developmental stages and the potential productivity in the Hang-Jia-Hu Region. Eco-agriculture Research, 1995,6(3):83-86.
- [12] Yun Y R, Fang X Q, Wang Y, Tao J D, Qiao D F. Main grain crops structural change and its climate background in Heilongjiang Province during the past two decades. Journal of Natural Resources, 2005,20(5):697-705.
- [13] Fang X Q, Wang Y, Xu T, Yun Y R. Contribution of climate warming to rice yield in Heilongjiang Province. Acta Geographica Sinica, 2004, 59(6): 820-828.
- [14] Zhang Y, Wang F T. Research on the possible impacts of climate warming on rice production in China. Acta Meteorological Sinica, 1998,56(3): 369-376.
- [15] Sun Z S, Chen X G, Huang F, Shang Y S. Variations and responses of wheat yield to climatic change in the mountain area of Ningxia. Agricultural Research in the Arid Areas, 2007, 25(2): 218-225.
- [16] Liu D X, Guo J Q, Dong A X, Ning H F. Discussion on the applied prospect of conservation tillage in agro-pasture ecotone. Agricultural Research

in the Arid Areas, 2006, 24(4): 123-128.

- [17] Jin Z Q, Ge D K, Shi C L, Gao L Z. Several strategies of food crop production in the Northeast China Plain for adaptation to global climate change—a modeling study. *Acta Agronomica Sinica*, 2002, 28(1): 24-31.
- [18] Shang Z B. The potential impacts of global climate change on spring maize growth in Shenyang. *Acta Botanica Sinica*, 2000, 42(3): 300-305.
- [19] Abbraha M G, Savage M J. Potential impacts of climate change on the grain yield of maize for the midlands of Kwa-Zulu-Natal, South Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2006, 115: 150-160.
- [20] Roberto J M, Dev N, Gregory S B, Gail G W, Fredrick H M S. Potential individual versus simultaneous climate change effects on soybean (C3) and maize (C4) crops; an agrotechnology model based study. *Global and Planetary Change*, 2006, 54: 163-182.
- [21] Kapetanakis G, Rosenzweig C. Impact of climate change on maize yield in central and northern Greece: a simulation study with CERES-maize. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 1997, (1): 251-257.
- [22] Guangdong Provincial People's Government Agricultural Office, Guangdong Meteorological Bureau of Agricultural Meteorological Center. Guangdong Climate and Agriculture. Guangzhou: Guangdong Higher Education Press, 1996: 104-108.

参考文献:

- [2] 气候变化国家评估报告编写委员会. 气候变化国家评估报告. 北京: 科学出版社, 2007: 24
- [3] 广东省气候变化评估报告编制课题组. 广东气候变化评估报告(节选). 广东气象, 2007, 29(3): 1-6.
- [4] 陈新光, 钱光明, 陈特固, 李春梅, 余克服. 广东气候变换若干特征及其对气候带变化的影响. 热带气象学报, 2006, 22(6): 547-552.
- [5] 马树庆, 安刚, 王琪, 裘著香, 刘玉英. 东北玉米带热量资源的变化规律研究. 资源科学, 2000, 22(5): 41-45.
- [6] 余卫东, 赵国强, 陈怀亮. 气候变化对河南省主要农作物生育期的影响. 中国农业气象, 2007, 28(1): 9-12
- [8] 王位泰, 黄斌, 张天锋, 王润元, 薛景轩, 王灵梅, 王琴. 陇东黄土高原冬小麦生长对气候变暖的响应特征. 干旱地区农业研究, 2007, 25(1): 153-158.
- [9] 车少静, 智利辉, 冯立辉. 气候变暖对石家庄冬小麦主要生育期的影响及对策. 中国农业气象, 2005, 26(3): 180-183.
- [10] 崔读昌. 气候变暖对水稻生育期影响的情景分析. 应用气象学报, 1995, 6(3): 361-365.
- [11] 李全胜, 骆月珍. 气候变化对杭嘉湖地区水稻生育期温度适宜性及生产潜力的影响. 生态农业研究, 1995, 6(3): 83-86.
- [12] 云雅如, 方修琦, 王媛, 陶军德, 乔佃锋. 黑龙江省过去 20 年粮食作物种植格局变化及其气候背景. 自然资源学报, 2005, 20(5): 697-705.
- [13] 方修琦, 王媛, 徐锁, 云雅如. 近 20 年气候变暖对黑龙江省水稻增产的贡献. 地理学报, 2004, 59(6): 820-828.
- [14] 张宇, 王馥棠. 气候变暖对中国水稻生产可能影响的研究. 气象学报, 1998, 56(3): 369-376
- [15] 苏占胜, 陈晓光, 黄峰, 尚永生. 宁夏山区小麦产量变化特征及其对气候变化的响应. 干旱地区农业研究, 2007, 25(2): 218-225.
- [16] 刘德祥, 郭俊琴, 董安祥, 宁惠芳. 气候变暖对甘肃夏秋作物产量的影响. 干旱地区农业研究, 2006, 24(4): 123-128.
- [17] 金之庆, 葛道阔, 石春林, 高亮之. 东北平原适应全球气候变化的若干粮食生产对策的模拟研究. 作物学报, 2002, 28(1): 24-31.
- [18] 尚宗波. 全球气候变化对沈阳地区春玉米生长的可能影响. 植物学报, 2000, 42(3): 300-305.
- [22] 广东省人民政府农业办公室, 广东省气象局农业气象中心. 广东气候与农业. 广州: 广东高等教育出版社, 1996: 104-108.