

气候变化对福建省水稻生产的阶段性影响

江敏¹, 金之庆², 石春林², 葛道阔²

(¹福建农林大学作物学院, 福州 350002; ²江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 南京 210014)

摘要: 将福建省划分为3个水稻种植区, 选取19个样点, 采用近5年(2000—2004年)中逢单年份的产量进行CERES-Rice模型参数的调试, 逢双年份的产量用于检验模型在研究区域的适用性; 利用GISS GCM Transient Run的输出值生成了每个样点2030年及2050年的气候变化情景; 在各情景文件下运行CERES-Rice模型, 并将模拟结果与当前气候情景(BASE情景)下的模拟值进行比较, 再结合蒸散比(β)、产量波动系数(F)等指标, 定量评价了未来气候渐变过程对福建省水稻生产的影响; 在此基础上提出了适应气候渐变的若干可能对策。结果表明: 在未来气候变化过程中, 研究区域水稻生长季的土壤水分条件将变得不如目前湿润; 研究区域早稻及单季稻生育期都将不同程度的缩短, 后季稻2050年情景下有所延长; 闽东南及闽西北双季稻区产量在未来两种气候情景下均表现为减产, 且减产幅度随温度升高而加大。闽西北山地气候的单季稻区表现为增产; 当前闽东南水稻的稳产性最差, 闽西北双季稻区的稳产性较好。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。

关键词: 气候变化; 水稻生产; 模拟模型

中图分类号: S162 **文献标识码:** A

Gradual Impacts of Climate Change on Rice Production in Fujian Province

Jiang Min¹, Jin Zhiqing², Shi Chunlin², Ge Daokuo²

(¹College of Crop Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002;

²Institute of Agricultural Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014)

Abstract: Fujian Province is divided into three paddy rice planting areas with 19 sampling points been chosen. In the past 5 years from 2000 to 2004, yielding on odd years has been used to commission the CERES-Rice module parameter while yielding on even years has been used to check the module's adaptability in the research area. The climate change of each sampling point in 2030 and 2050 has been generated referring to the output of GISS GCM Transient Run. CERES-Rice nodule has been run under all situations. The spice stimulations has been compared with that of the current climate and together with transpiration ration (β) and fluctuation of grain yielding (F), quantity analyzing is made to introduce the influence of gradual change of climate has on the production of rice in Fujian province; and based on this, certain possible solutions are forwarded. The research shows that in the process of climate change in the future, the soil during the growth season of the rice in the research area would be less moist. The production period of the early rice and single cropping rice would be shortened more or less while that of the late season rice would be prolonged in the climate situation of 2050. The yielding of double cropping rice in southeast and northwest Fujian province would be lessened in both two climate situations in 2030 and 2050 with the production reduction rate increases

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)项目“基于模型和GIS的区域作物生产力动态预测技术”(2007AA10Z221); 福建农林大学校青年科研基金项目“气候变化对福建省水稻生产影响的计算机模拟及对策研究”(06A03)。

第一作者简介: 江敏, 女, 1967年出生, 江苏江阴人, 硕士, 副教授, 主要研究方向为作物模拟与气候变化影响评价。通信地址: 350002 福建农林大学作物学院, E-mail: fjaujm@163.com, xzsdjm@sina.com。

收稿日期: 2009-02-23, **修回日期:** 2009-03-12。

when the temperature increases; and the yielding of single cropping rice in the mountainous areas of northwest Fujian province may enjoy a production enhancement. As for the stability of yielding, currently those in the southeast of Fujian province is the worst and in the double cropping area in northwest Fujian is better; and the yielding will be less stable in the future climate change. The total yield of rice in Fujian province will be decreased with the increase of temperature in both two future climate situations.

Key words: climate change, rice production, crop simulation model

0 引言

福建省地处中国东南沿海,属典型的亚热带季风气候区。水热资源丰富,现有耕地约114万 hm^2 ,其中水田约92.5万 hm^2 ,水稻播种面积占全省粮食总播种面积的72%,产量占粮食总产的77%(《福建农村调查年鉴》,2006)。福建省人多地少,以稻米为主食。水稻的丰歉,对于人民生活 and 国民经济发展有着重大的影响。

20世纪80年代以来,由于人类活动导致 CO_2 等温室气体剧增,全球气候变暖,进而必然导致福建省水稻生长期出现升温现象。预计未来几十年,随着气温迅速增暖,气候变化对水稻的生产必将产生深远影响。因此,通过计算机模拟的方法预测未来气候变化对福建水稻生产的影响并采取适应性对策具有重要的现实意义。以往有关气候变化对福建省水稻生产的影响研究,多着眼于辐射、温度等单一气象要素变化对作物生长发育中具体生理过程影响的研究^[1],对气候渐变过程中各气象要素的综合影响则较少考虑。而后者可以反映未来20年、40年乃至更长时段内气候变化过

程中福建省水稻生产可能受到的综合影响,更有利于相关农业决策部门对此做出积极的响应。笔者在金之庆等早先研究的基础上^[2],于福建省选择19个样点,通过美国Goddard空间研究所(GISS)推出的用以模拟气候渐变情景的GCM Transient Run的输出值,生成了每个样点2030年及2050年的气候变化情景,再将CERES-Rice模型与之耦合,并将模拟结果与当前气候情景(BASE情景)下的模拟值进行比较,再结合气候学上的蒸散比(β)、经济学中的产量波动系数(F)等指标,定量评价了未来气候渐变过程对福建省水稻生产的影响。

1 材料与方法

1.1 稻区划分及样点选择

福建省的海陆分布和地形地势不仅影响着人口分布,而且对稻作制度的影响十分重要。笔者根据福建省农业气候资源分布特征^[3],并参考全国水稻种植区划^[4],将福建省划分为3个水稻种植区域,共选择19个样点于2007—2008年间在福建省开展了研究。各样点基本信息见表1。

表1 福建省19个样点的稻作类型和土壤类型

稻区(编号)	$\geq 10\text{ }^\circ\text{C}$ 积温指标	主要稻作类型	样点
闽东南双季稻区(I)	$6000\text{ }^\circ\text{C} < \Sigma T \leq 7700\text{ }^\circ\text{C}$	早稻;后季稻	福州、平潭、漳州、厦门、东山
闽西北双季稻区(II)	$5200\text{ }^\circ\text{C} < \Sigma T \leq 6700\text{ }^\circ\text{C}$	早稻;后季稻	邵武、建瓯、福鼎、南平、宁德、上杭
闽西北山地气候单季稻区(III)	$3800\text{ }^\circ\text{C} < \Sigma T \leq 5200\text{ }^\circ\text{C}$	单季稻为主	浦城、泰宁、长汀、永安、漳平、屏南

1.2 资料来源

19个样点30年(1970—2000年)的逐日气候资料(BASELINE)取自《中国地面气象记录》和《中国太阳辐射资料逐日值》,由江苏省农科院相关课题组的数据库中调用。水稻产量资料(2000—2004年)取自福建省各年份的农村统计年鉴(2001—2005年),主要用于调试确定CERES-Rice模型中与产量有关的遗传参数并检验模型。模型其他输入资料,包括播种期、生育期、株行距、种植密度等,分别取自福建省农科院及各市农科所的水稻生态试验或品种区域试验(2000—2007年)。各样点代表性土类、典型剖面资料,包括不同深度土壤特性及理化结构等,根据文献(福建土种志,1990)加以确定。

1.3 气候渐变情景的生成

GCMs是General Circulation Models的英文缩写,是大气科学家为了评价全球气候变化而设计的大型数值模式。它运用动力学方法通过模拟大气和海洋的物理过程来预测全球气候变化。笔者所用的GCMs是美国Goddard空间研究所(GISS)推出的用以模拟气候渐变情景的GCM Transient Run,参照文献[5]的方法,首先提取研究区域在2030年、2050年情景下的有关网格点值(Grid point),包括 CO_2 增加时各月平均气温的增幅(ΔT)以及降水量和太阳辐射总量的变幅(R' 和 S'),然后以之分别与各样点BASELINE中相应月份的逐日气象资料叠加或相乘,即产生了与BASELINE(30年)年份长度相同的2030年、2050年气候渐变情景。

1.4 作物效应模型

笔者所选用的与气候渐变情景耦合的效应模型是美国的 CERES-Rice。它是一种目前在国际上广泛使用的作物模型^[6-8],可以模拟气候、土壤等对水稻生长发育和产量的影响。在研究中,为了全面地反映 CO₂ 浓度增加及气候变化对水稻的影响,在模型中考虑了大气 CO₂ 浓度增长对水稻光合作用与蒸散作用的直接影响,即假定水稻在 2030 年及 2050 年情景下的光合速率乘以光合作用订正系数 C。根据 IPCC^[9]对 CO₂ 浓度增长速度的估计及 US EPA 在 PEATER 试验基础上归纳出的不同 CO₂ 浓度下的光合作用订正系数,取 2030 年及 2050 年情景下的订正系数 C 依次为 1.10、1.15^[10]。高浓度的 CO₂ 除提高光合速率之外,还可以使叶片气孔阻抗增大,造成蒸腾作用受抑,因而提高了作物的水分利用效率。此作用由模型在运行过程中自动完成。模型有多种灌溉方式可供用户选择,笔者选择充分灌溉和雨育两种供水方式,分别代表了研究区域在灌溉和雨育两种方式下水稻的生长情况。

1.4.1 遗传参数的调试与确定 遗传参数也称为品种参数,用来描述不同作物品种的基因遗传特性以及发育性状和产量性状。参照作者前一阶段工作中对遗传参数升尺度方法的研究^[11],采用“水稻品种生态类型参数”来代替 CERES-Rice 模型中的遗传参数。遗传参数是针对某个具体品种的,调试时通常采用该品种在某个样点连续种植 3 年以上的生育期和产量资料加以实现。“水稻品种生态类型参数”则是针对某个稻区的生态品种而言。因为同一个稻区所种植水稻的生态类型基本一致,所以调试时采用分稻区确定参数的方法,所用产量资料来自各稻区中所选样点的县级统计资料。显然,就气候变化影响评价的研究而言,采用“水稻品种生态类型参数”更符合宏观决策的需要。所有参数调试时都采用“试错法”(Trial and Error)^[12-13]在微机完成。

1.4.2 效应模型的检验 采用 19 个样点最近 5 年(2000—2004 年)中逢单年份的产量进行参数的调试,并用逢双年份的产量进行了模型的检验(图 1)。

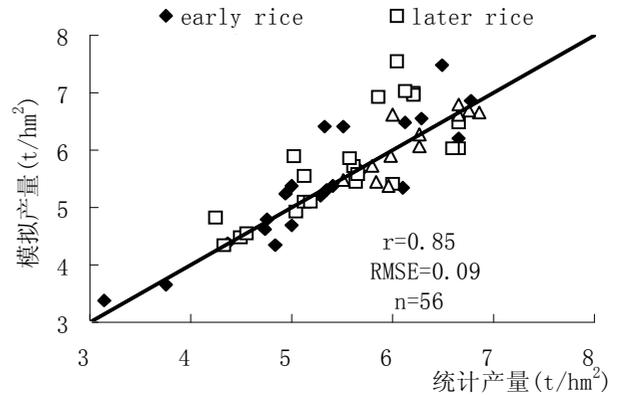


图 1 福建省 CERES-Rice 模拟产量与面上统计产量的比较

由图 1 可知,检验结果表明产量模拟值和统计值之间有着较好的一致性。相关系数达到 0.85,在 1% 统计水平上极显著, RMSE(均方根差)为 0.09,说明模拟效果较好。对各稻区的不同稻作制度的生育期也进行了检验(图略),模拟值和实测值吻合亦较好。说明在每个稻区根据稻作制度调试出 1~2 套“水稻生态类型参数”,全省共 5 套参数是符合福建省水稻生产的实际情况的,该模型在福建省各稻区是适用的,可以作为评价气候变化影响水稻生产的合理工具。

1.4.3 灵敏度分析 为了进一步测试效应模型的适用性,可以“人为”地改变某些影响作物生长的气象要素,然后看模型模拟结果对这些气象要素变化的响应如何。考虑到未来气候变化主要表现在增温和降水的变化上,所以笔者选取这两个要素作灵敏度分析。具体的做法是:假定未来各地气温增幅(ΔT)分别为 0 °C、2 °C、4 °C,降水量变幅(ΔP)分别为 0、-20%、+20%,这样在每个地点可得到 9 种气候要素改变的简单组合,在这 9 种组合下分别运行 CERES-Rice 模型。表 2 以福州、南平、泰宁为例,给出了雨育方式下灵敏度分析的结果。

表 2 CERES-Rice 模拟产量的灵敏度分析

地点	主要稻作类型	$\Delta P/\%$	$\Delta T=0\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\Delta T=2\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\Delta T=4\text{ }^{\circ}\text{C}$
福州	早稻	0	0	-9.5	-17.3
		20	11.7	-1.7	-11.7
		-20	-9.2	-18.3	-23.8
南平	后季稻	0	0	-15.6	-31.1
		20	6.9	-8.9	-23.5
		-20	-9.8	-24.6	-40.7
泰宁	单季稻	0	0	-17.9	-31.7
		20	10.7	-7.5	-20.4
		-20	-15.5	-32.0	-42.3

由表2可见,各地模拟产量都随温度的升高而降低,且后季稻的减产幅度大于早稻。当温度不变、降水量增加时,各点产量增加;温度升高后,降水量的增多会使得各地减产幅度变小,而降水量减少则导致了较大幅度的减产。模拟结果与研究区域水稻生产的实际情况相符。说明CERES-Rice对气候变化有良好的敏感性,用于评价气候变化对研究区域水稻生产的影响是合理的。

1.5 蒸散比的计算

采用蒸散比(β)来衡量研究区域的干湿状况,其公式为:

$$\beta = \Sigma ET / \Sigma ET_0 \quad (\beta \leq 1) \dots\dots\dots (1)$$

式中, ΣET 是雨育条件下水稻生长期的实际蒸散总量, ΣET_0 是同期稻田潜在蒸散之和。 β 值愈大,说明实际蒸散愈接近潜在蒸散,地面愈湿润,反之,地面愈干燥。故通过各稻区在2030年、2050年情景下的 β 值与BASELINE下的 β 值进行比较,即可估计研究区域在未来气候渐变过程中的干湿变化趋势。

1.6 水稻稳产性计算

为了分析在气候渐变过程中水稻稳产程度的变化,采用产量波动系数(F)描述水稻的稳产性,即:

$$F = \sum_{i=1}^n \frac{|Y_i - \bar{Y}|}{n\bar{Y}} \dots\dots\dots (2)$$

式中 Y_i 为某样点第*i*年($i=1, 2, \dots, n$)的水稻产

量, n 为产量序列的年份长度, \bar{Y} 为*n*年的平均产量。 F 值愈大,说明水稻产量的年际间波动愈大,反之则愈小。

1.7 水稻总产量的变化

采用的水稻总产估算模型为:

$$TYC = \sum_{i=1}^3 (RY_i / TY) \times RYC_i \% \dots\dots\dots (3)$$

式中TYC为福建省水稻总产的变化; RY_i 为各稻区当前水稻的总产量;TY为福建省当前水稻的总产量; $RYC_i\%$ 为不同气候变化情景下全省各稻区水稻产量的变化百分比。在估算总产变化时,假定全省现有的水稻面积、土壤、品种、耕作制度和管理措施等不变。分别估算水稻在雨育条件及灌溉条件下不同水稻品种的总产变化。

2 结果与分析

2.1 未来气候渐变过程中气温及降水的变化

表3给出了根据GISS GCMs所模拟出的2030年、2050年两种气候渐变情景下福建省各稻区不同稻作制度下水稻生长季内温度的增幅及降水比率。

由表3可知,各稻区水稻生长季气温随着未来CO₂浓度的增大都在增高,分别增加2~4℃不等。从降水变化来看,在未来气候变化过程中,除了闽东南双季稻区早稻生长季内降水会减少外,各稻区降水均有所增加。这种现象将可能缓解未来气温升高加剧土壤蒸发而带来的干旱。但另一方面,夏季暴雨的频率将可能增大,也会对水稻的生长带来不利的影响。

表3 福建省各稻区基于2种GISS情景下水稻生长季内的月均温增幅及降水比率

稻区	稻作类型	生长季	气温增幅(ΔT)/℃		降水比率(R')/%	
			2030年	2050年	2030年	2050年
闽东南双季稻区	早稻	3—6月	2.12	3.58	0.8	0.85
	后季稻	6—10月	1.97	3.46	1.01	1.03
闽西北双季稻区	早稻	3—6月	2.73	4.56	1.01	1.02
	后季稻	6—10月	2.54	4.46	1.15	1.29
闽西北山地气候单季稻区	单季稻	4—10月	2.68	4.47	1.11	1.19

表4 基于2种GISS情景下不同稻作制度水稻生长季内蒸散比的变化

稻区	稻作类型	β	2030年	2050年
闽东南双季稻区	早稻	0.720	0.703	0.694
	后季稻	0.706	0.679	0.665
闽西北双季稻区	早稻	0.954	0.945	0.946
	后季稻	0.905	0.886	0.862
闽西北山地气候单季稻区	单季稻	0.809	0.802	0.768

2.2 气候变化对水稻生长季土壤干湿状况的影响

各稻区不同种植制度下的水稻在未来两种气候情景下的 β 值进行了比较。由表4可以看出,各稻区所有

稻作类型水稻生长季内的蒸散比在未来气候渐变过程中都下降了。尤以闽西北双季稻区中后季稻最为明显。原因是较大幅度增温导致的蒸散量增大的作用超

过了降雨量的增加。从当前及未来的 β 值来看,闽东南双季稻区的 β 值始终最小,故未来 CO_2 的增加尽管可以使水稻叶片气孔阻抗增大,提高水分的利用效率,但

该区域水稻生长季内的水分条件并不会得到改善。对于灌溉条件较差的丘陵山区,季节性干旱的发生几率随着未来温度的增高将可能增大。

表5 基于2种GISS情景下水稻模拟生育期较之BASE生育期的变化天数

稻区	稻作类型	雨育水稻		灌溉水稻	
		2030年	2050年	2030年	2050年
闽东南双季稻区	早稻	-8.0	-11.0	-7.8	-10.9
	后季稻	-5.3	-2.9	-5.1	-2.6
闽西北双季稻区	早稻	-10.3	-13.6	-10.5	-13.7
	后季稻	-3.4	1.1	-3.2	1.6
闽西北山地气候双季稻区	单季稻	-11.4	-12.1	-11.5	-11.8

2.3 气候变化对水稻生育期的影响

表5给出了不同气候变化情景下研究区域水稻生育期天数的变化。可以看出,无论是雨育还是灌溉条件下,大部分样点的早稻及单季稻生育期天数均随着未来增温幅度的加大而渐次减少。并且雨育与灌溉两种条件下生育期的变化规律基本相同,说明生育期的长短主要取决于未来生育期温度的高低。

后季稻生育期的变化规律与早稻和单季稻不同。闽东南稻区的后季稻在2050年情景下生育期缩短的天数较之2030年情景下更少,而闽西北稻区的后季稻2050年情景下更是出现了生育期较BASE延长的现象。这主要是因为研究区域后季稻生长季正好是全年温度最高的季节(6~10月),而2050年情景下增温幅度较大(3.46~4.46 $^{\circ}C$),因而导致极端最高温($\geq 35^{\circ}C$)出现天数增多,而根据CERES-Rice的设定,水稻发育的上限温度为34 $^{\circ}C$,一旦超出此上限,高温就会对水稻发育起抑制作用,进而导致了生育期延长。如生育期延长天数最多的南平(5.7天)在2050年情景下生育期内最高温 $\geq 35^{\circ}C$ 的天数多达92天。

2.4 气候变化对水稻产量的影响

2.4.1 灌溉水稻 图2给出了2030年及2050年两种气候渐变情景下,各稻区相对于BASE模拟值的变化百分比。由图可见,灌溉条件下闽西北的后季稻与山地单季稻均表现为增产。因为前者地理位置相对偏北,加之后季稻生长季温度长年较高,种植品种通常具有耐高温特性,故在水分充足的情况下,较多的太阳辐射和 CO_2 的增益效应可一定程度地抵消未来增温带来的负效应。而后者地势较高,单季稻生长季温度较低,增温后生育期温度反较BASE下适宜,有利于水稻的生长发育,加上 CO_2 的增益效应,故增产幅度最大。达到7.5%~7.6%。而闽东南双季稻及闽西北的早稻均表现为减产。东南沿海地区的基础温度较高,在未来增温过程中会导致水稻生长季内的热害明显加重,高温加剧了水稻的呼吸消耗,导致产量降低。闽西北的早稻减产幅度最大,达到10.8%~13.8%,除了上述原因,主要由于高温导致水稻生育期明显缩短,减少了光合作用及产量形成时间,这些负效应明显超过了 CO_2 的增益效应。

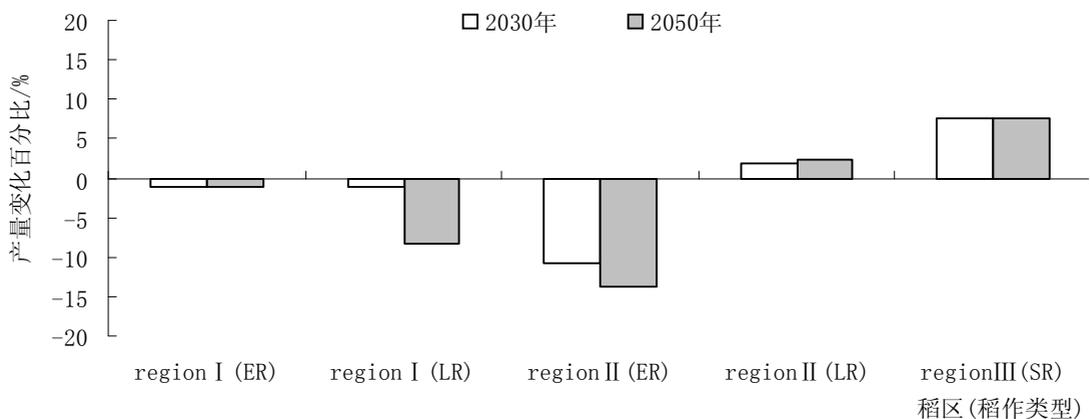


图2 基于2种GISS情景下灌溉水稻模拟产量相对于BASE产量的变化

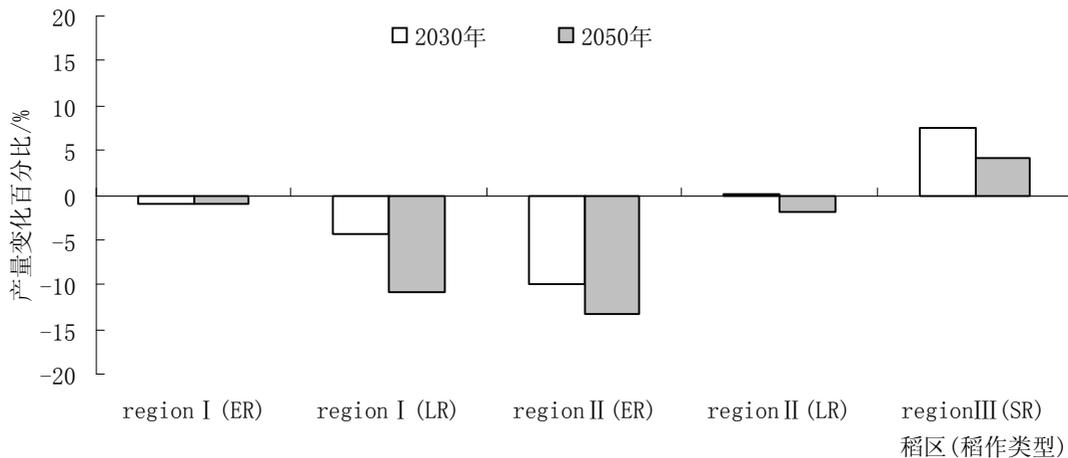


图3 基于2种GISS情景下雨育水稻模拟产量相对于BASE产量的变化

2.4.2 雨育水稻 图3给出了雨育水稻的产量变化情况。与灌溉水稻相比,单季稻在雨育条件下增产幅度均较灌溉条件下降低,在2050年情景下,闽西北地区的后季稻甚至由灌溉时的增产变为减产。闽东南地区后季稻减产幅度也较灌溉条件下进一步增大。说明良好的灌溉条件可以缓解未来高温对后季稻产生的热害威胁,所以在未来气温增高时在上述地区的后季稻及单季稻生长季内采取有利的灌溉措施是很有必要的。对于研究区域的早稻而言,雨育水稻的减产幅度基本与灌溉条件下一致,究其原因,可能是因为在早稻生长季内(3~6月),正是该地区降水较多的季节,较丰沛的降水已基本能满足水稻生长的需要,故灌溉条件的改善对水稻减产幅度的缓解影响不大。

2.5 气候变化对水稻稳产性的影响

由表6可见,雨育条件下,BASE状态下闽东南双

季稻区的产量波动系数最大,闽西北最小,且后季稻波动系数大于早稻。主要是因为闽东南双季稻区气温较高,极端高温出现频次较多,加之东南沿海遭遇台风等自然灾害,导致暴雨出现频次增多,故造成产量不稳。而上述两个稻区早稻波动系数略小是与早稻生长季内雨水较丰沛,且 $\geq 35^\circ\text{C}$ 高温日数较少有关。而闽西北地区双季稻的F值小于山地气候的单季稻区,主要是由于单季稻生育期较长,生长季内遭遇高温、季节性干旱及暴雨的可能性增多,加上山地垂直气候带变异较大,导致产量稳定性变小。由表6还可以看出,在未来气候变化过程中,随着温度的增高,不同稻作类型的F值均略有上升,高温将导致水稻稳产性进一步变差。灌溉条件下,后季稻与单季稻的F值明显小于雨育水稻,说明良好的灌溉条件可以增加产量的稳定性。

表6 基于2种GISS情景下水稻模拟产量的波动系数(F)

稻区	稻作类型	雨育水稻			灌溉水稻		
		BASE	2030年	2050年	BASE	2030年	2050年
闽东南双季稻区	早稻	0.21	0.22	0.22	0.18	0.19	0.19
	后季稻	0.25	0.25	0.27	0.07	0.08	0.08
闽西北双季稻区	早稻	0.08	0.08	0.09	0.08	0.09	0.09
	后季稻	0.09	0.10	0.11	0.06	0.07	0.07
闽西北山地气候双季稻区	单季稻	0.14	0.15	0.16	0.06	0.07	0.08

2.6 气候变化对福建省水稻总产的影响

表7给出了福建省水稻总产量在未来气候渐变中的变化百分比。由估算结果可知,如果采取雨育的方式,2030年情景下,全省水稻主产区的水稻总产将比目前(814万t,福建农村经济年鉴,2000—2005年)减少0.10%。其中早稻表现为1.04%的负贡献,大于后季稻的负贡献(0.04%),而单季稻则表现为0.98%的正贡献。到2050情景下,随着温度的进一步增高,全省水稻总产减产幅度亦增大至1.25%。其中1.39%的负贡

献来自于早稻,依旧大于晚稻的减产幅度(0.39%),而单季稻的正贡献降至0.53%。在灌溉条件下,2030年情景下全省水稻总产表现为增产0.17%,2050情景下减产幅度亦降至0.19%。其中各稻区早稻的总产变化与雨育条件下相似,原因是早稻生长季内研究区域的雨水较丰沛,基本能满足水稻生长的需要,故灌溉条件的改善对总产影响不大。而后季稻在灌溉条件下总产均由雨育条件下的减产转为增产,说明未来高温对后季稻的肆虐可以通过良好的灌溉条件得以缓解。单季

表7 基于2种GISS情景下福建省水稻总产量的变化(%)及各区贡献(%)

稻区	稻作类型	雨育水稻		灌溉水稻	
		2030年	2050年	2030年	2050年
闽东南双季稻区	早稻	-0.02	-0.03	-0.02	-0.02
	后季稻	-0.06	-0.16	-0.01	-0.12
闽西北双季稻区	早稻	-1.02	-1.37	-1.01	-1.31
	后季稻	0.02	-0.23	0.23	0.28
闽西北山地气候双季稻区	单季稻	0.98	0.53	0.98	0.99
总产量变化		-0.10	-1.25	0.17	-0.19

稻在灌溉条件下的增产幅度亦加大。

2.7 适应气候渐变的若干可能对策

2.7.1 改革种植制度与品种布局 闽西北双季稻区在未来气候变化情景下大部分地区均表现为生育期缩短,后季稻在温度过高时生育期有所延长,而水稻生长季也相应延长。这种现象将为品种搭配提供更多的余地。可结合适当早播,并选择生育期较长、产量较高的中晚熟品种替代生育期较短产量潜力较低的早中熟品种,以充分利用未来水稻生长季内日益丰富的热量资源,将是提高当地产量的有效途径。闽西北山地气候单季稻区目前以单季稻种植为主,当前热量条件下种植一季水稻热量有余,两季不足,但随着未来气温升高(表2),一些海拔较低的县、市可扩种双季稻,提高当地的粮食总产。闽东南地区尽管未来升温幅度略低于另两个稻区,但由于当地基础温度较高,从热量角度来考虑,在灌溉及水肥条件较好的地区种植三季稻将成为可能。

2.7.2 改善当地灌溉条件 比较研究区域各样点在两种气候变化情景下灌溉水稻与雨育水稻的模拟产量结果可见,除某些样点早稻的两种模拟产量基本持平外,所有样点的单季稻和后季稻灌溉条件下的产量都不同程度地高于雨育水稻。闽西北地区的后季稻增产效果尤为明显,产量可以提高1~2倍以上,说明在该稻区改善灌溉条件可以很大程度地缓解补偿气候变化带来的不利影响,加之CO₂的增益效应,甚至有望使当地产量明显提高。从模拟产量的波动系数及水稻的总产估算结果也可得出相同的结论。因此,未来气候变化时种植制度及品种优化后,水稻生长活动旺盛,加之气温升高使田间蒸发量加大,对水肥的需求也更大,可以通过完善灌溉设施、合理灌溉、以水调温,减轻高温热害的威胁,将是适应气候变化的另一项行之有效的对策。

2.7.3 培育和引进耐热、抗病虫害新品种 为了适应未来高温及暴雨出现频次可能增多的现象,应选育抗性强的优良品种,能耐高温、大水、具有高速同化CO₂的

能力^[4]。气温的逐渐升高及降水增多可形成有利于病虫繁殖的生态环境,故需培育对主要病虫害有更稳定抗性的新型品种,使之达到稳产高产的需求。

3 结论与讨论

笔者重点研究了在气候变化过程中,未来20年、40年福建省水稻生产可能受到的阶段性影响。在调试确定CERES-Rice模型的遗传参数时,采用了参数升尺度的方法,用“水稻品种生态类型参数”来代替传统的遗传参数,更符合气候变化影响的宏观评价要求。该研究的局限性是对一些气象灾害(台风、洪涝等)及其极端高温等气象事件对水稻生产的影响尚缺乏深入研究,故对策分析未考虑抵御自然灾害、加强植树造林等方面的内容。今后的研究重点是如何提高作物生长模型对极端气象事件的响应能力。

结论如下:(1)随着温度的增高、蒸散量的加大,未来40年研究区域水稻生长季的土壤水分条件将变得不如目前湿润;(2)早稻及单季稻生育期都将不同程度的缩短,而后季稻由于过高温度对水稻生长发育的抑制,40年后反有所延长;(3)雨育条件下,闽东南及闽西北双季稻区均表现为减产,且减产幅度随温度升高而加大。良好的灌溉条件可缓解后季稻的减产幅度,甚至使减产转为增产,说明CO₂的增益效应和灌溉条件的改善可以补偿增温带来的负效应。闽西北山地气候的单季稻区则由于目前基础温度较低,故在未来气候变化中由于热量资源的改善加之CO₂的增益效应表现为增产,灌溉条件下的增产幅度大于雨育条件;(4)当前闽东南水稻的稳产性最差,闽西北双季稻区的稳产性较好。未来气候变化中水稻稳产性将变差。良好的灌溉条件可以减缓产量的年际波动;(5)如果不改变当前的水稻种植面积、品种及耕作制度和管理措施,未来40年内福建省水稻总产将随着温度的升高而降低。

总之,全球气候变化对福建省水稻生产的影响将利弊并存,但弊大于利。只要在品种和熟制布局等方面做出适当调整,大力改善灌溉条件,培育生育期较长

的耐热新品种,就可以有效地缓和气候变化带来的不利影响。

参考文献

- [1] 吴杏春,林文雄,郭玉春,等.未来气候变化对福建省水稻生产的影响及其对策.福建农业大学学报,2001,30(2):148-152.
- [2] 金之庆.全球气候变化对中国粮食生产影响的模拟研究[D].南京农业大学博士论文,1996:171.
- [3] 福建省气象局,福建省农业区划委员会办公室编.福建农业气候资源与区划.福州:福建科学技术出版社,1990:181.
- [4] 熊振民,蔡洪法.中国水稻.北京:中国农业科技出版社.1992:241-256.
- [5] 江敏,金之庆,高亮之,等.全球气候变化对中国冬小麦生产的阶段性影响.江苏农业学报,1998,14(2):90-95.
- [6] Ritchie J T, E C Alocilja, U Singh, et al. IBSNAT and the CERES-Rice Model. In Weather and Rice. Manila, Philippines: IRRI, 1987:271-28.
- [7] 谢云, James R Kiniry. 国外作物生长模型发展综述.作物学报, 2002,28(2):190-195.
- [8] 姚凤梅,许吟隆,冯强,等.CERES Rice模型在中国主要水稻生态区的模拟及其检验.作物学报,2005,31(5):545-550.
- [9] IPCC. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment//Climate Change. London: Cambridge University, 1992:200.
- [10] Rosenzweig C, Ritchie J T, Jones JW, et al. Climate Change and Agriculture: Analysis of Potential International Impacts. Wisconsin: ASA Special Pub Num 59, 1995.
- [11] 江敏,金之庆.CERES-Rice模型区域应用中遗传参数升尺度的一种方法.中国水稻科学,2009,23(2):172-178.
- [12] J T Ritchie. Modeling plant and soil systems. Madison: Wisconsin, 1991.
- [13] IBSNAT Project. DSSAT User's Guide. University of Hawaii, Honolulu, 1992.
- [14] 黄英金,张宏玉,郭进耀,等.水稻耐高温逼熟的生理机制及育种应用研究初报.科学技术与工程,2004,4(8):655-657.