

文章编号: 1673-1719 (2005) 04-0151-06

气候变化对我国南方双季稻发育和产量的影响

张建平^{1,2}, 赵艳霞^{3,2}, 王春乙³, 何勇⁴

(1 重庆市气象局, 重庆 401147; 2 中国气象局气候研究开放实验室, 北京 100081;
3 中国气象科学研究院, 北京 100081; 4 中国气象局 国家气候中心, 北京 100081)

摘要: 基于 WOFOST 作物模式, 结合气候模式输出的气候情景资料, 模拟研究了未来 100 a (2001–2100 年) 气候变化对我国南方双季稻发育和产量的影响。结果表明: 未来气候情景下, 我国南方大部分地区双季稻 (早稻、晚稻) 的生长期会有所缩短; 产量可能会有所下降, 但下降的幅度不是很大, 其中早稻受气候变化的影响较大。

关键词: 气候变化; 模型; 双季稻; 发育; 产量

中图分类号: P467/S165 **文献标识码:** A

1 引言

近年来, 有关作物模型与气候模式相嵌套评估气候变化对水稻影响等方面的研究工作有了很大进展。张宇等^[1, 2]用 ORYZAI 水稻模式与大气环流模式相连接, 研究了气候变暖对我国水稻生产的可能影响; 裘国旺等^[3, 4]用双季稻生长动态模拟模型与大气环流模式相连接, 对我国江南双季稻主产区水稻生产进行了定量化网格模拟; 葛道阔等^[5]用 CERES-Rice 模型与美国研制的气候渐变模式 (GISS GCM Transient B) 相嵌套的方法研究了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。本文仍然采用作物模型与气候模式相结合的方法, 分析气候变化对我国双季稻生产所造成的可能影响, 以此作为前人研究工作的继承与发展, 并再次验证气候变化对农业生产造成的影响^[6~12]。

2 模型介绍

2.1 气候模式

本研究所用的气候模式是国家气候中心 T63 海气耦合模式 BCC-T63, 该模式由国家气候中心发展的大气模式与中国科学院大气物理研究所发展的海洋模式耦合而成。它的大气部分水平分辨率为 $1.875^\circ \times 1.875^\circ$ 经纬度, 垂直分辨率为 16 层 (模式层顶约 25 hPa, 模式层底约 996 hPa), 参考气压为 1013.25 hPa, 积分时间步长 22.5 min。在时间积分方案选择上, 散度、温度和地面气压方程采取半隐式时间格式, 涡度与水汽方程的纬向平流项也采用了半隐式格式, 并在模式中对某些选择性短波加以阻尼。模式垂直方向离散化为 16 层。本模式输出的南方区域 ($110^\circ \sim 118^\circ \text{E}$, $25^\circ \sim 33^\circ \text{N}$) 2001–2100 年的年平均温度变化趋势如图 1 所示。

收稿日期: 2005-08-03; 修订日期: 2005-09-28

基金项目: 中国气象局气候变化专项 (LCS2004C-4); 自然科学基金 (40575058); 国家科技攻关项目 (2004BA509B16) 资助

作者简介: 张建平 (1975-), 男, 工程师 / 硕士, 主要从事气候变化对生态环境的影响评价及对策和区域可持续发展等方面的研究工作。

E-mail: jeejohn@163.com

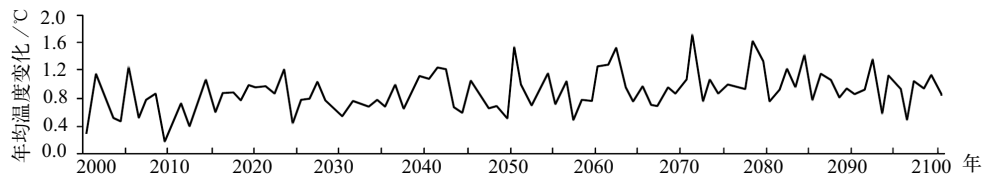


图1 未来气候情景的年平均温度变化趋势 (与1971-2000年平均值相比)

Fig.1 Trend of the simulated mean annual temperature of future climate scenario compared with the baseline years (1971-2000)

2.2 作物模式

WOFOST作为一个机理性模型,主要模拟一年生作物的生态生理过程,如光合作用、呼吸作用等,并描述这些过程如何受环境的影响。

模型主要包括3个子模块,分别是作物模块、气候模块和土壤模块。气候模块和作物模块的计算可以得到潜在生产力,再考虑土壤中的养分和水分的动态变化就可以得到有限制水平的生产力(图2)。

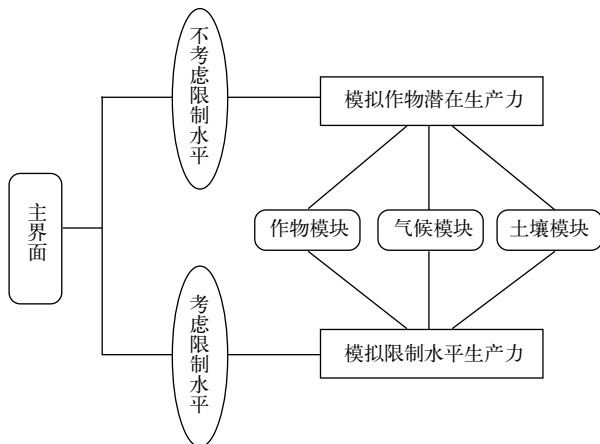


图2 模型的基本框架

Fig.2 Structure diagram of the model

3 模型适应性分析

3.1 作物参数的调整

作物模型评估应用前,其参数的调整极其重要,这些参数包括作物品种本身的遗传参数以及与外界环境相关的水文和温度参数,所有这些参数的调整都需要建立在大量的试验基础上并经多次运行模型方可获得。由于篇幅的限制,本文仅以作物品种参数为例来说明。

WOFOST模型中相对冠层高度 L 处瞬时 CO_2 同化速率 A_L ($kg/(hm^2 \cdot h)$)是光饱和时 CO_2 同化速率 A_m ($kg/(hm^2 \cdot h)$)和所吸收辐射量 I ($J/(m^2 \cdot s)$)的函数,其表达式为:

$$A_L = A_m (1 - e^{-\frac{\epsilon I}{A_m}})$$

式中: ϵ 为初始光能利用率; A_m 是作物品种参数,因白天温度不同而不同。 A_m 与发育阶段(WOFOST模型中发育阶段参数DVS以数字表示,出苗期为0,开花期为1,成熟期为2)的函数关系如表1所示;白天温度对 A_m 的换算系数如表2。

表1 发育阶段DVS与光饱和时 CO_2 同化速率 A_m 的关系

Table 1 Relationship of gross assimilation rate at light saturation with the development stage parameter

	早 稻			晚 稻			
DVS	0.00	1.90	2.00	0.00	1.00	1.30	2.00
$A_m/(kg/(hm^2 \cdot h))$	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00

表2 白天温度对 A_m 的换算系数

Table 2 Conversion parameters of A_m as function of the average daytime temperature

品 种	早 稻						
白天温度/°C	0.0	12.0	18.0	24.0	30.0	36.0	42.0
换算系数	0.00	0.69	0.85	1.00	1.00	0.87	0.27
品 种	晚 稻						
白天温度/°C	0.0	10.0	25.0	35.0	42.0		
换算系数	0.01	0.00	1.00	1.00	0.00		

表3 模型验证结果的平均数据
Table 3 Mean data of model tested results

站点	种类	开花期 (日/月)		成熟期 (日/月)		生长期/d		产量 / (kg/hm ²)		产量误差 /%	
		模拟	实测	模拟	实测	模拟	实测	模拟	实测		
湖南	常德	晚稻	4/9	6/9	13/10	16/10	116.25	119.25	5404.5	5601.53	-3.52
		早稻	16/6	18/6	10/7	11/7	102.75	103.75	3587.75	3933.95	-8.80
	长沙	晚稻	7/9	8/9	14/10	18/10	112.00	116.00	5601.00	5881.40	-4.77
		早稻	22/6	21/6	17/7	16/7	111.50	110.50	5385.50	5291.95	1.76
	武冈	晚稻	4/9	7/9	19/10	20/10	121.25	122.25	5826.00	6002.70	-2.94
		早稻	15/6	19/6	18/7	17/7	108.75	107.75	5535.25	5831.40	-5.11
衡阳	晚稻	12/9	13/9	22/10	25/10	130.00	133.00	6798.75	6985.35	-2.67	
	早稻	15/6	18/6	18/7	16/7	112.25	110.25	6620.50	6920.70	-4.33	
永州	晚稻	9/9	8/9	15/10	20/10	109.75	114.75	6394.25	6728.93	-4.97	
	早稻	20/6	24/6	21/7	22/7	111.50	112.50	6638.25	6898.25	-3.76	
江西	南昌	晚稻	7/9	9/9	15/10	16/10	118.25	119.25	5297.25	5835.82	-9.23
		早稻	15/6	13/6	8/7	11/7	99.25	102.25	5367.75	5565.13	-3.55
	宁都	晚稻	1/9	4/9	12/10	13/10	99.50	100.50	6397.00	6704.30	-4.58
		早稻	14/6	16/6	14/7	16/7	113.00	117.00	7636.25	7361.95	3.73
	莲花	晚稻	3/9	5/9	9/10	10/10	113.50	114.50	5670.00	5723.00	-0.93
		早稻	20/6	21/6	14/7	16/7	111.50	113.50	5567.00	5724.90	-2.76
南康	晚稻	10/9	13/9	11/10	15/10	95.25	99.25	6309.25	6030.95	4.61	
	早稻	10/6	11/6	7/7	10/7	104.70	107.70	7601.50	7963.47	-4.54	
瑞昌	晚稻	9/9	12/9	20/10	25/10	121.00	126.00	5323.50	5487.50	-2.99	
	早稻	19/6	22/6	21/7	23/7	115.50	117.50	5300.50	5082.50	4.29	

可以看出, A_m 在白天温度低于 30℃ 时, 随温度的升高而升高, 当白天温度高于 30℃ 时, 随温度的升高而降低。

3.2 模型的验证

选取双季稻主产区湖南和江西两地 10 个站点的 2000—2003 年农田观测资料, 进行了连续 4 a 的模型适应性验证分析 (表 3 为 4 a 验证结果的平均值)。

从表 3 可以看出, 开花期模拟值与实测值相差 1~4 d, 平均相差 2.6 d; 成熟期模拟值与实测值相差 1~4 d, 平均相差 2.4 d; 产量误差范围在 -9.23%~4.61%。可见, 模拟值与实测值较为接近。

3.3 模型敏感性分析

在验证模型的基础上, 通过改变作物参数及气象数据对模型进行敏感性分析。结果发现, 产量的模拟值与实测值的误差范围为 -15%~20%。该模式对品种参数以及气象条件 (温度变化 ΔT) 比较敏感 (表 4), 可用于模拟不同品种和不同气象条件下水稻生长发育和产量形成过程。说明调整后的模型能够用于研究气候变化对水稻生产的影响评估。

4 气候变化对双季稻的影响研究

4.1 气候变化对双季稻生育期的影响

基于作物模型, 结合气候模式输出的气候资料, 对南方双季水稻生育期进行了 100 a (2001—2100

表4 模型敏感性分析结果(产量变化)

Table 4 Analysis results of model sensitivity (yields change)

地点	品种	产量变化/%		
		$\Delta T=0^{\circ}\text{C}$	$\Delta T=2^{\circ}\text{C}$	$\Delta T=4^{\circ}\text{C}$
湖北	早稻	0	-10.8	-27.5
	晚稻	0	-8.9	-24.3
湖南	早稻	0	-11.6	-28.8
	晚稻	0	-9.2	-24.0

年)的网格化模拟分析(见图3,图中数据均为区域格点数据的平均值,图4与之类似)。

根据模拟的结果来看,南方早稻生育期缩短范围在-1.0~13.3 d之间,平均缩短4.9 d(图3a);南方晚稻生育期缩短范围在-1.7~12.3 d之间,平均缩短4.4 d(图3b)。

4.2 气候变化对双季稻产量的影响

本研究利用气候模式输出的未来100 a的气候数据,结合作物模型,就未来气候变化对南方双季稻产量的影响进行了分析与评估。图4给出了模拟

的产量变化趋势。

从模拟结果可以看出,双季稻产量随着气候条件的改变呈波状变化,但波动范围不是很大,说明气候变化对南方双季水稻可能会有一定的影响,但这种影响不是很大。而且发现,由于作物品种(晚稻和早稻)以及地域分布的不同,气候变化引起区域的产量变化及波动范围也不大一致。从模拟结果来看,南方双季早稻的产量变化范围为-9.5%~1.9%,平均减产3.6%(与1971-2000年的30 a平均产量做比较);南方双季晚稻的产量变化范围是-7.3%~2.2%,平均减产2.8%。可以看出,气候变化对早稻的影响要比晚稻大,这可能与它们各自所需的生育期长短不同有关。一般情况下,早稻所需的生育期较短。

4.3 产量变化的原因分析

多数研究表明^[1,3,5,13],导致水稻产量下降的主要原因是由于温度升高,作物发育速度加快,生育期相应缩短,致使总干重和穗重减少,从而导致产量减少。影响作物产量的因素除了本身的品种特性以及遗传因素外,还有区域的气候条件和自然地理

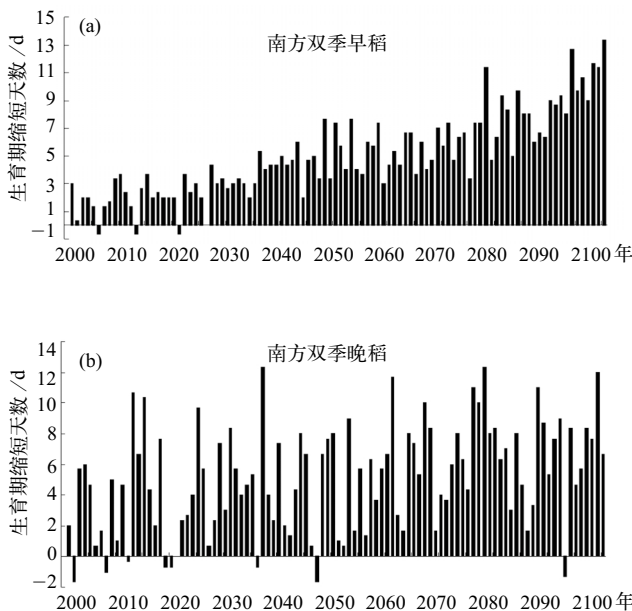


图3 南方双季稻生长期模拟结果

Fig.3 Simulation results of growth days for double-harvest rice

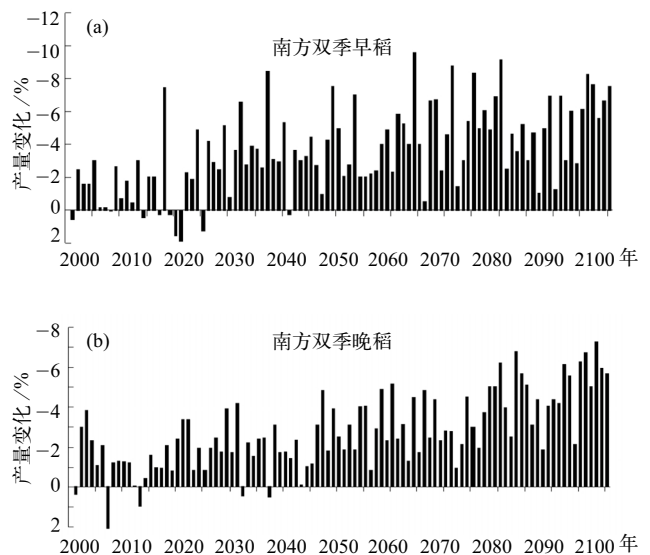


图4 未来100 a南方双季稻产量变化

Fig.4 Change of yields for double-harvest rice in the southern China during the future one hundred years

特点, 根据模型输出的结果来看, 南方大部分地区双季稻生长期都呈缩短趋势, 产量相应也呈下降趋势。说明气候变暖对双季稻的生长发育是不利的, 生育期的缩短是导致双季稻减产的主要因素。

5 结论与讨论

本文在引用国外作物生长模型的基础上, 通过对模型的进一步修改和完善, 结合气候模式输出结果, 分析研究了未来 100 a 我国南方地区双季稻发育期变化及产量变化趋势, 得到了如下主要结论:

(1) 在气候变化大背景下, 南方双季稻的生长期可能会受到影响, 绝大部分地区水稻的生长发育所需时间可能要缩短, 平均缩短约 4.9 d (早稻) 和 4.4 d (晚稻), 但这种影响不是很大。

(2) 气候变化对农业的最终影响是粮食的产量发生变化。根据模拟结果, 在今后 100 a 里, 南方双季稻产量从整体上看虽然有下降的趋势, 分别下降 3.6% (早稻) 和 2.8% (晚稻), 但下降的幅度不是很大。

(3) 水稻的种类不同, 气候变化对其影响也有所区别。从模拟结果看, 气候变化对早稻的影响要比晚稻大, 这可能与早稻所需的生育期较短有关。

(4) 由于各地的生产种植情况、自然地理条件以及气候要素不同, 因此受气候变化的影响也不尽相同, 说明水稻产量变化有一定地域性, 同时也表现出了气候变化影响的复杂性。

值得指出的是, 为了研究气候变化对农业生产的影响, 模拟过程中其他方面的影响因素均作了简化处理, 如水分限制、养分含量大小、病虫害等。气

候变化对农业生态系统的影响是一个复杂且系统的研究课题, 有关方面的研究工作有待在今后的工作实践中不断加以补充和完善。

参考文献

- [1] 张宇, 王馥棠. 气候变暖对我国水稻生产可能影响的数值模拟试验研究 [J]. 应用气象学报, 1995, 6 (增刊): 19-25.
- [2] 张宇, 王馥棠. 气候变暖对中国水稻生产可能影响的研究 [J]. 气象学报, 1998, 56 (3): 369-376.
- [3] 裘国旺, 王馥棠. 气候变化对我国江南双季稻生产可能影响的数值模拟研究 [J]. 应用气象学报, 1998, 9 (2): 151-159.
- [4] 裘国旺. 气候变化对我国双季稻生产影响的数值模拟研究 [D]. 北京: 中国气象科学研究院, 1996.
- [5] 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): 1-8.
- [6] 王馥棠, 赵宗慈, 王石立, 等. 气候变化对农业生态的影响 [M]. 秦大河. 全球变化热门话题丛书. 北京: 气象出版社, 2003.
- [7] 王绍武, 龚道溢. 对气候变化问题争议的分析 [J]. 地理研究, 2001, 20 (2): 153-160.
- [8] Zhao Zongci. Climate change in China [J]. World Resources Review, 1994 (6): 125-130.
- [9] 85-913项目 02 课题论文编委会. 气候变化规律及其数值模拟研究论文(第 1、2、3 集) [M]. 北京: 气象出版社, 1996. 258, 313, 1861.
- [10] 丁一汇, 石广玉. 中国的气候变化与气候影响研究 [M]. 北京: 气象出版社, 1997. 1-562.
- [11] Zhao Zongci, Li Xiaodong. Impacts of global warming on climate change over East Asia as simulated by 15 GCMs [J]. World Resources Review, 1997 (10): 17-21.
- [12] 林而达, 张厚宣, 王京华, 等. 全球气候变化对中国农业影响的模拟 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1997.
- [13] 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.

Effect of Climate Change on the Growth and Yields of Double-Harvest Rice in the Southern China

ZHANG Jianping^{1,2}, ZHAO Yanxia^{3,2}, WANG Chunyi³, HE Yong⁴

(1 Chongqing Meteorological Bureau, Chongqing 401147, China; 2 Laboratory for Climate Studies, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China; 3 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China; 4 National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China)

Abstract: Based on the WOFOST crop model, jointing the climate simulated data produced by climate model, the simulation research was carried out about the impacts of the climate change on the yields and growth of double-harvest rice in the southern China during the future one hundred years. Results showed that, 1) the life time of double-harvest rice will be shortened owing to climate change; and 2) the yields of double-harvest rice will be decreased to some extent, especially the early rice. But the decreasing rate is not so fast.

Key words: climate change; crop model; double-harvest rice; growth; yields

IPCC 2005 年 12 月至 2006 年 11 月会议日程表

2005 年

- | | |
|------------------|---|
| 12 月 13~15 (16)日 | IPCC第四次评估报告 (AR4) 第一工作组第三次主要作者会议以及技术摘要和决策者摘要起草会议, Christchurch, New Zealand |
| 12 月 15~17 日 | 2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南第八次作者 / 专家会议, Sydney, Australia |
| 12 月 18 日 | 国家温室气体清单任务专题组主席团第十六次届会, Sydney, Australia |

2006 年

- | | |
|-------------------|--|
| 1 月 16~19 日 | IPCC AR4 第二工作组第三次主要作者会议, Merida, Mexico |
| 1 月 17~19 日 | IPCC AR4 第三工作组及 Eskom 联合资助的关于工业技术的专家会议, Cape Town, South Africa (待定) |
| 2 月 7~9 日 | 气候影响和评估的资料和情景专题组 (TGICA) 第十一次届会, Cape Town, South Africa |
| 2 月 14~17 (18)日 | IPCC AR4 第三工作组第三次主要作者会议以及技术摘要和决策者摘要起草会议, Beijing, China |
| 4 月 19~21/25~27 日 | IPCC 第 25 届全会 (待定) |
| 6 月 26~28 日 | IPCC AR4 第一工作组第四次主要作者会议, Bergen, Norway |
| 9 月 | IPCC AR4 第三工作组环境方面主要作者会议(待证实) |
| 10 月 10~13 日 | IPCC AR4 第三工作组第四次主要作者会议以及技术摘要和决策者摘要起草会议, New Zealand (待证实) |
| 11 月 11~14 日 | IPCC AR4 第二工作组第四次主要作者会议, Gaborone, Botswana |