

未来气候变化对东北三省水稻产量影响的评估

李忠辉 刘实 郭春明 王冬妮

(吉林省气象科学研究所/中高纬度环流系统与东亚季风研究开放实验室,长春 130062)

摘要 基于国际水稻所开发的 ORYZA2000 水稻模型和未来 A2 和 B2 排放情景下逐日气象资料(2011—2050 年),系统分析了未来 40 年东北地区气候变化对水稻产量的影响。结果显示:在灌溉满足的情况下,其 2 种排放情景下对水稻生产都是正效应,单产和总产都呈增加趋势。能够种植的区域也在增加,有北移的趋势,B2 情景下比 A2 情景下更有利于水稻产量的提高。在 A2 和 B2 排放情景下,东北区域相对基准段二氧化碳浓度升高及降水总体增加,个别年代减少、温度升高和太阳辐射增加。有利的方面是当地可以根据温度升高的幅度,适当的种植生育期较长的品种,从而增加产量;不利的方面是气温升高加速土壤有机质分解,土壤肥力下降,病虫害发生频率增加。应采取测土配方施肥措施,加强病虫害监测防治工作,保证水稻生长需要。

关键词 水稻;ORYZA2000;气候变化;产量;东北

中图分类号 S 162

文章编号 1007-4333(2015)02-0223-06

文献标志码 A

Predicting the impact of future climate change on rice yield in Northeast China

LI Zhong-hui, LIU Shi, GUO Chun-ming, WANG Dong-ni

(Institute of Meteorological Sciences of Jilin Province /Laboratory of Research for Middle-High Latitude Circulation System and East Asian Monsoon, Changchun 130062, China)

Abstract Northeast region of China is an important base of rice production. The impact of climate change on rice yield is of important significance for national food security. In this paper, based on daily meteorological data from the future A2 and B2 emission scenarios (2011—2050), the impact of climate change in Northeast China over the next 40 years on the yield of rice was analyzed with the ORYZA2000 model developed by the International Rice Institute. The results showed that rice yield and total output might increase in the irrigated region under the two emission scenarios. The area suitable to grow crops can extend toward to northward. Rice yield will be higher at B2 scenario rather than that at A2 scenario. Carbon dioxide relative to the reference period may increase in northeast region, so do the overall precipitation, temperature and solar radiation. But precipitation in a single year may decrease. The advantageous aspect is that the crops and varieties can be introduced and thus have higher production. However, it should be warned that soil fertility may be declined since depletion of soil organic matter. The diseases and insect pests may occur with high frequency. The attention should be paid on soil test and fertilizer recommendation, and pest and disease monitoring and control, for guaranteeing rice production.

Key words rice; ORYZA2000; future climate change; yield; Northeast China

东北地区土壤肥沃、雨热同季,是我国主要优质粳稻产区。目前拥有水稻种植面积 394.7 万 hm^2 , 占我国粳稻总面积的 46.9%,正常年份稻谷总产量

可达到 268.5 亿 kg,商品化率高达 50%,每年可为国家提供 125 亿 kg 以上的商品粮,是我国粮食安全的重要保障区域。全球气候变暖是一个不争的

收稿日期:2014-09-01

基金项目:中国气象局气候变化专项(CCSF0913);中国气象局公益性行业(气象)科研专项(GYHY201206018);吉林气象局科研课题面上项目(2014009)

作者简介:李忠辉,高级工程师,主要从事农业气象研究,E-mail:bater12@163.com

事实,气候变暖及其带来的负效应同样对东北地区的水稻生产有很大影响,为了确保我国的粮食安全,有必要开展气候变化对东北三省水稻影响的研究^[1]。

关于未来气候变化评估前人研究较多,根据经济发展情况,提出了不同的发展情景。IPCC 2001年出版的《温室气体排放情景特别报告》(SRES)提出的4种模式,其中A2和B2情景适用于东北三省。A2框架和情景系列描述的是一个非均衡发展程度很严重的世界。其基本点是自给自足和地方保护主义,地区间人口出生率很不协调,导致持续的人口增长,经济发展主要以区域经济为主,人均经济增长与技术变化越来越分离,低于其他框架的发展速度。B2框架和情景系列描述的世界强调区域性的经济、社会和环境的可持续发展。全球人口以低于A2的增长率持续增长,经济发展处于中等水平,技术变化速率与A1和B1相比趋缓及发展方向多样。同时,该情景所描述的世界也朝着环境保护和社会公平的方向发展,但所考虑的重点仅仅局限于地方和区域一级。有较多的研究机构根据IPCC的报告,开发了区域气候模式,包括NCAR2PCM(美国国家大气研究中心)、PRE(英国Hadley气候预测与研究中心)和ECHAM5/MP I2OM(德国马普实验室),用以模拟未来气象要素的变化,上述研究机构的气候模式较为权威^[2-7]。

水稻模拟模型,目前较为通用的就是国际水稻研究所(IRR)的ORYZA2000模型。ORYZA2000模型是国际水稻所Bouman等^[8]利用多年的试验数据,对之前多个版本的ORYZA模型综合在一起并进行完善形成的模型。经过多人验证ORYZA2000

模型可以十分准确的模拟水稻和旱稻的产量、生物量、氮含量和地下水位等。同时ORYZA2000还可以根据气象资料,模拟预测不同地下水位、不同灌溉方式和不同氮肥施用量方式等条件下的产量及水分利用率情况。ORYZA2000的模型模拟避免了田间试验所需资源的浪费^[8-9],目前其已经引进国内,中国农业大学、南京信息工程大学、中国气象科学研究所和湖南省气科所等单位分别在北京、湖南和武汉进行了应用得到了很好的模拟效果,在水稻模型中是比较权威的^[10-15]。

通过水稻机理模型ORYZA2000,结合区域气候模式模拟的气象数据模拟未来水稻产量,以期定量化模拟评估气候变化对东北三省水稻的影响。

1 材料与方法

1.1 材料

在A2和B2排放情景下,应用英国Hadley中心开发的区域气候模式PRECIS(Providing regional climates for impacts studies)^[3],在大气环境模型的基础上模拟出区域50 km×50 km网格化的2011—2050年逐日天气数据,以上数据包括最高气温、最低气温、太阳辐射和降水等^[2]。东北三省区域在该网格上共计328个点,其中黑龙江186个点,吉林81个点,辽宁61个点。1961—1990年基准段数据由中国气象科学院提供。

水稻产量模拟模型采用国际水稻研究所(IRR)的ORYZA2000模型。模型参数采用除周边CO₂浓度变化和参考CO₂浓度变化采用表1基本段、A2和B2排放情景下排放的浓度外,其他采用经过本地化验证的参数。

表1 A2和B2情景下各年代际CO₂浓度及作物生长季(5—9月)气象要素变化

Table 1 A2 and B2 scenarios the interdecadal crop growth season(From May to September) concentration and meteorological factors change

时段 Period of time	$\rho(\text{CO}_2)/(\text{kg}/\text{m}^3)$		平均每天太阳辐射/(kJ/d) Average daily solar radiation		平均气温/°C Average temperature		平均降水量/mm Average precipitation	
	A2	B2	A2	B2	A2	B2	A2	B2
基准时段 (1961—1990年)	652.1×10^{-6}		15 556.93		15.9		500.6	
2011—2020年	791.6×10^{-6}	803.4×10^{-6}	15 614.24	15 661.28	16.6	17.4	510.4	535.4
2021—2030年	836.8×10^{-6}	889.8×10^{-6}	15 616.1	15 634.01	17.2	17.6	535.4	498.0
2031—2040年	923.2×10^{-6}	966.4×10^{-6}	15 924.18	16 165.83	18.5	18.1	483.9	528.5
2041—2050年	$1 045 \times 10^{-6}$	$1 053 \times 10^{-6}$	15 716.84	15 796.73	18.1	18.6	530.6	472.1

1.2 ORYZA2000 模型参数的本地化及验证

根据东北区域纬度地带性差异和农气站观测地域的不同,将东北三省水稻评估区域按省分为 3 个区域:黑龙江省、吉林省和辽宁省。

水稻发育速率常数根据东北三省有水稻观测的农业气象观测站 2001—2005 年的观测数据进行计

算。选择具有代表性的农气站包括:黑龙江省的五常、宝清、穆棱、庆安、宁安和虎林等 6 站,吉林省的舒兰、永吉、梅河口、通化县、集安及和龙等 6 站,辽宁省的东港、大洼、辽中和开原等 4 站。并利用当地农气站实测的单产,进行参数验证与调试。根据计算得出东北三省水稻发育速率常数(表 2)。

表 2 东北三省水稻不同发育期发育速率常数

Table 2 Growth rate constant of three provinces in Northeast China in different developmental stages of rice

区域 Regional	出苗期到移栽期 速率常数 DVRJ	移栽期到孕穗期 速率常数 DVRI	孕穗期到抽穗 开花期速率常数 DVRP	抽穗开花期到成熟期 发育速率常数 DVRR
黑龙江省	0.000 348	0.000 758	0.001 812	0.001 214
吉林省	0.000 330	0.000 758	0.001 895	0.001 241
辽宁省	0.000 258	0.000 758	0.001 989	0.001 027

表 2 中的 DVRJ 为出苗普遍期到移栽普遍期的发育速率常数, DVRI 为移栽普遍期到孕穗普遍期发育速率常数, DVRP 为孕穗普遍期到抽穗开花普遍期速率常数, DVRR 为抽穗开花普遍期到成熟普遍期发育速率常数。ORYZA2000 其他参数:水稻最大扎根深度为 0.5 m, 埂子高 1 m, 周边 CO₂ 浓度变化和参考 CO₂ 浓度变化为 667.9 × 10⁻⁶ kg/m³, 灌溉方式每 2~5 d 灌水 40 mm。根据当地农气站

实际值,确定播种期、出苗期和移栽期。其余参数采用模式默认值。采用经本地化后的 ORYZA2000 模型模拟农气站单产与农气站实际产量对比(图 1),变化趋势基本一致。将东北三省农气站单产实测数据和对应年模拟数据进行相关性分析,得出黑龙江省、吉林省和辽宁省的相关系数分别为 0.587、0.409 和 0.791 7,分别通过了信度 α=0.001、α=0.02 和 α=0.001 的显著性检验,因此可以用该模式模拟。

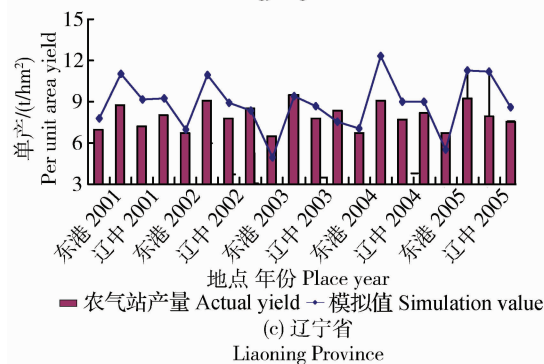
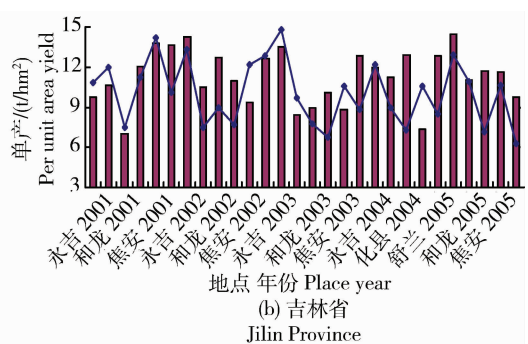
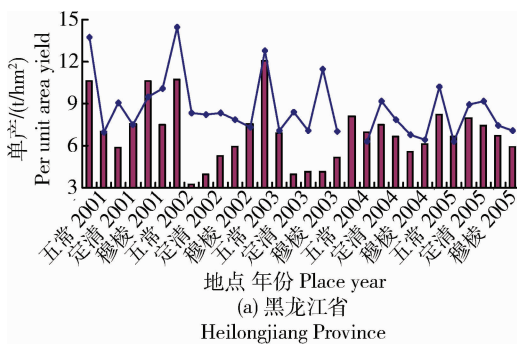


图 1 黑龙江、吉林和辽宁省水稻产量模拟值域农气站实际产量比较

Fig.1 Value and the agricultural station actual output compared with the simulation of rice production in Heilongjiang, Jilin and Liaoning Province

2 结果与分析

2.1 水稻模拟单产的年代变化

在假设灌溉满足的前提下,用 ORYZA2000 模

拟逐年各点的水稻单产。根据模拟结果计算基本气候段 30 年平均单产,A2、B2 排放情景下每 10 年(2011—2020、2021—2030、2031—2040 和 2041—2050 年)的平均单产(表 3)。

表 3 基本气候段及 A2、B2 排放情景下水稻单产年代模拟结果

Table 3 Simulation results yield basic climate and A2,B2 emission scenarios kg/hm²

时段 Period of time	黑龙江省 Heilongjiang Province		吉林省 Jilin Province		辽宁省 Liaoning Province	
	A2	B2	A2	B2	A2	B2
	基准时段(1961—1990 年) Reference period(1961—1990 年)	6 551.59		6 226.43		5 840.44
2011—2020 年	7 159.42	8 767.19	7 625.13	7 352.51	7 063.17	9 383.89
2021—2030 年	8 122.79	8 569.89	8 908.66	8 159.24	8 000.31	7 951.39
2031—2040 年	9 114.25	8 876.55	9 765.44	9 582.99	7 912.63	7 220.84
2041—2050 年	8 432.10	9 443.36	8 604.11	8 397.31	7 914.62	8 736.42

由表 3 可以看出,A2 情景下,黑龙江省和吉林省水稻单产从基本气候段直到 2030 年代都是增加的,每 10 年增产 860 kg/hm² 左右,之后下降;而辽宁省从基本气候段到 2020 年代水稻单产是递增的,之后略有下降。

B2 情景下,黑龙江省从基本气候段到 2010 年代水稻单产是增加的,之后略有下降,2020—2040 年代是递增的,平均每 10 年单产增加 500 kg/hm²;吉林省水稻单产增加趋势与 A2 情景基本一致,增量略低于 A2 情景,平均每 10 年增产 800 kg/hm²;辽宁省 2010 年代相对基本气候段水稻单产是增加的,2010—2030 年代呈减产趋势,平均每 10 年减产 700 kg/hm² 左右,2040 年代相对 2030 年代增产,相对基本气候段也是增产的,但是相对 2010 年代减产。

水稻单产 A2 和 B2 排放情景下相对于基准段持续增产的原因,有以下几个方面:从表 1 可以看出,首先是 CO₂ 浓度持续持续升高,碳肥促增产作用明显;其次,作物生长季太阳辐射除 2040 相对 2030 年代后略有下降外,相对基准段都是增加,它的增加促进了作物干物质的积累;作物生长季平均气温持续升高,A2 相对基准段升高 0.7~2.6 °C, B2 相对基准段升高 1.6~2.7 °C,能够使水稻播种和移栽期提前,从而延长水稻生育期,使水稻达到完熟,因此也能起到增产效应。

2.2 水稻单产空间分布特征

图 2 是模拟水稻单产空间分布状况,这里将单产划分为<1 500、1 501~3 000、3 001~7 500 和 >7 500 kg/hm² 4 个水平。由于长白山地区地形复杂,气象数据模拟精度较低,因此该产稻区模拟的水稻产量不够准确。

在 A2 情景下,7 500 kg/hm² 以上单产空间变化趋势是:2010—2030 年代吉林中西部和黑龙江中西的地域有扩大趋势,2040 相对 2030 年代面积有减少趋势;黑龙江东部的地域呈先增加,再减少,再增加的趋势。1 500~3 000 和 3 001~7 500 kg/hm² 单产线有向黑龙江北部移动的趋势,辽西南低于 1 500 kg/hm² 的范围有缩小趋势(图 2(b)、(c)、(d)和(e))。

在 B2 情景下,7 500 kg/hm² 以上单产空间变化趋势是:2010 年代—2030 年代辽宁省的地域面积持续减少,2040 年代增加;黑龙江东部地区、吉林中西部则是 2010—2030 年代面积持续增加,2040 年代相对 2030 年代减少;黑龙江中西部地区变化不大。1 500~3 000 和 3 001~7 500 kg/hm² 单产线有往黑龙江北部移动的趋势,辽西南没有低于 1 500 kg/hm² 的范围(图 2(f)、(g)、(h)和(i))。

B2 与 A2 对比可以看出,除 2030 年代外,其他同一年代,B2 排放情景下的大于 7 500 kg/hm² 单

产的面积都大于 A2 排放情景下的范围,而且低于 1 500 kg/hm² 的范围相对较少。

与基本气候段(图 2(a))相比,A2 及 B2 情景下,7 500 kg/hm² 以上单产空间变化呈扩大趋势,1 500~3 000 kg/hm² 单产线有向黑龙江北部移动的

趋势,辽西南低于 1 500 kg/hm² 的范围有缩小趋势。

随着温度的升高,能够满足晚熟高产水稻的品种的积温带北移,因此扩大了高产水稻的种植面积,因此,水稻总产也随着增加。水稻单产空间分布图正体现了这点。

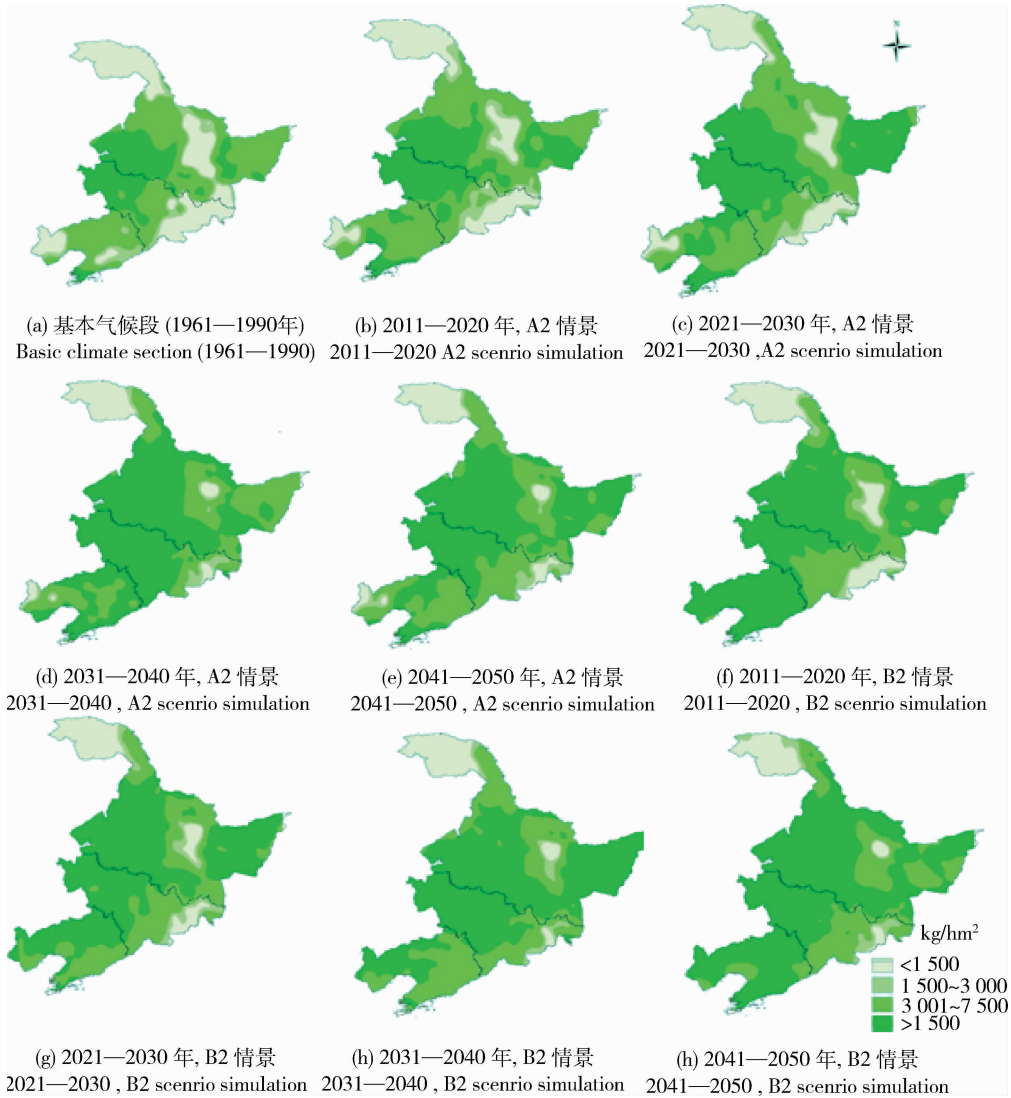


图 2 东北地区基本气候段及 A2 及 B2 排放情景下水稻单产年代际空间变化特征图

Fig. 2 Northeast area the basic climate and A2, B2 emission scenarios rice yield interdecadal spatial variation

3 结论与讨论

气候变化对东北地区水稻生长的影响,从水稻生长需要的光温水 and 二氧化碳等方面是有利的。这与崔静等^[16]研究的成果是一致的。但与气候变化对南方水稻影响不同,使早稻减产,晚稻增产^[17-19]。不利的方面,温度升高能够加速土壤有机质分解,为

病虫害提供优越的滋生环境,降低土壤肥力,减少土壤水分^[16]。根据已有的研究成果,未来东北区域温度升高,可以当地气温升高的幅度,适当的提早水稻播种期和移栽期,种植生育期较长的晚熟品种,从而提高产量。温度升高,导致土壤肥力下降,可以积极采取测土配方施肥方法,并施农家肥,加强病虫害的监测防治,以适应气候变化的影响。

参 考 文 献

- [1] 余会康,郭建平.气候变化下东北水稻冷害时空分布变化[J].中国生态农业学报,2014,22(5):594-601
- [2] 曹丽格,方玉,姜彤. IPCC 影响评估中的社会经济新情景(SSPs)进展[J].气候变化研究进展,2012,18(1):74-77
- [3] 王芳栋,许吟隆,李涛.区域气候模式 PRECIS 对中国气候的长期数值模拟试验[J].中国农业气象,2010,31(3):327-332
- [4] 熊伟,许吟隆,林而达,等. IPCCSRSA2 和 B2 情景下我国玉米产量变化模拟[J].中国农业气象,2005,26(1):11-15
- [5] 莫伟强,黎伟标,许吟隆,等.中国地面气温和降水变化未来情景的数值模拟分析[J].中山大学学报:自然科学版,2007,46(5):146-150
- [6] 许吟隆,薛峰,林一骅.不同温室气体排放情景下中国 21 世纪地面气温和降水变化的模拟分析[J].气候与环境研究,2003,8(2):209-216
- [7] 张雪芹,彭莉莉,林朝晖.未来不同排放情景下气候变化预估研究进展[J].地球科学进展,2008,23(2):174-181
- [8] 薛昌颖. ORYZA2000 模型模拟早稻的适应性检验及优化灌溉研究[D].北京:中国农业大学,2005
- [9] 屈晓芳.节水灌溉下早稻水肥利用研究及 ORYZAZ000 模型的应用[D].武汉:华中农业大学,2005
- [10] 李亚龙,崔远来,李远华.基于 ORYZA2000 的水量平衡要素和水分生产率模拟分析[J].中国农村水利水电,2005(8):1-3
- [11] 黄晚华,薛昌颖,李忠辉,等.基于作物生长模拟模型的产量预报方法研究进展[J].中国农业气象,2009,30(增1):140-143
- [12] 帅细强,王石立,马玉平,等.基于 ORYZA2000 模型的湘赣双季稻气候生产潜力[J].中国农业气象,2009,30(4):575-581
- [13] 帅细强,王石立,马玉平,等.基于水稻生长模型的气象影响评价和产量动态预测[J].应用气象学报,2008,19(1):71-80
- [14] 张俊,徐绍辉,刘建立,等.应用 ORYZA2000 模型模拟水稻产量及吸氮[J].土壤,2007,39(3):428-432
- [15] 莫志鸿,冯利平,邹海平,等.水稻模型 ORYZA2000 在湖南双季稻区的验证与适应性评价[J].生态学报,2011,31(16):4628-4637
- [16] 崔静,王秀清,辛贤.气候变化对中国粮食生产的影响研究[J].经济社会体制比较,2011,2:54-60
- [17] 吴珊珊,王怀清,黄彩婷.气候变化对江西省双季稻生产的影响[J].中国农业大学学报,2014,19(2):207-215
- [18] 姚凤梅,张佳华,孙白妮,等.气候变化对中国南方稻区水稻含量影响的模拟和分析[J].气候与环境研究,2007,12(5):659-666
- [19] 杨沈斌,申双和,赵小艳,等.气候变化对长江中下游稻区水稻产量的影响[J].作物学报,2010,36(9):1519-1528

责任编辑:王燕华