

IPCC SRES A2 和 B2 情景下我国玉米产量变化模拟*

熊伟^{1,2}, 许哈隆¹, 林而达¹, 卢志光²

(1. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081; 2. 中国农业大学农学与生物技术学院)

摘要: 利用最新的温室气体和 SO₂ 排放方案, 即政府间气候变化委员会 (IPCC) 排放情景特别报告 (SRES) 的 A2 和 B2 方案, 通过区域气候模式和区域作物模型模拟了未来 2080s 我国玉米产量的变化。主要结果如下: 两种温室气体排放方案下, A2 方案对我国玉米产量造成的负面影响大于 B2 方案; 气候变化对灌溉玉米造成的负面影响大于雨养玉米; 气候变化造成玉米单产的变化表现为大多数玉米主产区减产, 而非玉米主产区增产。

关键词: 气候变化; 玉米; 模拟

玉米是我国重要的粮食作物, 也是重要的饲料作物之一, 在我国农业生产中占有相当大的比重。它的种植面积和产量在主要粮食作物中位居第三, 仅次于水稻和小麦, 单位产量位居第一^[1]。本研究利用最新的温室气体和 SO₂ 排放方案, 即政府间气候变化委员会 (IPCC) 排放情景特别报告 (SRES) 的 A2 和 B2 方案, 运用区域气候模式 (PRECIS) 和作物模式 (CERES-Maize) 相连接, 模拟 2080s (即 2071 - 2100 年) 两种 SRES 温室气体排放方案下我国雨养和灌溉玉米产量的变化趋势。与以往气候变化对农作物影响的研究^[1-4]相比, 本研究首次选用了区域气候模式。区域气候模式比以往的随机天气发生器方法更合理, 并以 50km × 50km 的网格为单元对全国的玉米生产进行了模拟, 模拟中考虑不同温室气体排放情景和 CO₂ 对作物的直接肥效作用, 因此模拟结果相对客观。

1 材料和方法

1.1 区域气候模式与排放方案

选用由英国 Hadley 中心开发的区域气候模式 (PRECIS) 进行不同 CO₂ 排放方案的模拟。该区域气候模式在模式验证、时空分辨率、对地形的表述以及模式的不确定性方面有显著的改善; 模式在 IPCC SRES 温室气体排放情景驱动下, 能模拟出选定区域 50km × 50km 网格的作物模型所需的逐日气象指标。

IPCC 排放情景的特别报告提出了 4 个新的排放方案以更新 IS92 版本^[5]。4 个方案中考虑了与人口统计学、未来的经济发展状况以及引用的技术有关的温室气体和 SO₂ 的排放机制。4 个情景方案分别是 A1, A2, B1 和 B2 方案。这 4 个方案分别描述为: A1 假定全球性合作, 迅速使用高新技术, 全球人口

趋于稳定; A2 反映区域性合作, 对新技术的适应较慢, 人口继续增长; B1 方案假定生态环境得到改善, 全球人口趋于稳定; B2 方案假定生态环境的改善具有区域性。从这 4 个方案中, 我们选取了 A2 和 B2 方案来探讨中国玉米生产的未来变化情况, 因为这两个方案反映的温室气体与 SO₂ 的未来排放状况更接近真实情况。

1.2 CERES-Maize 模式

CERES-Maize 模式^[6]是由美国密西根州立大学和佐至亚大学 Ritchie 等人研制的。该模型以一天为模拟时间单元, 以植物生理学为基础, 考虑了 CO₂ 对光合作用和水分利用率的影响, 也全面地考虑了水分胁迫和氮循环的影响, 可以模拟自然条件、田间管理措施和遗传特性对玉米生长与产量的影响。模型中采用“系数订正法”模拟 CO₂ 浓度变化对玉米光合作用和蒸腾作用的直接影响。与以往的研究相类似^[2,7], 两种 CO₂ 浓度 (721ppm 和 561ppm) 下对光合作用效率的订正系数分别取 1.08 和 1.05。对蒸腾作用的订正系数是采用 Penman-Monteith 方程计算两组完全相同的玉米群体在不同 CO₂ 浓度下的蒸腾量之比。当 CO₂ 浓度变化、其他外界条件均不变时, 该方程中仅有“群体水汽传导力”中“气孔阻力”一项增大而发生变化, 其他各项均保持不变。本研究取玉米在两种 CO₂ 浓度水平下 (721ppm 和 561ppm) 与参比浓度下的气孔阻抗之比为 110.7/55.8 和 88.2/55.8, 即上述两种 CO₂ 浓度下的气孔阻抗的订正系数为 1.98 和 1.58。

2 资料的收集和数据库的建立

北方春玉米区、黄淮平原春夏播玉米区、西南山

* 收稿日期: 2004 - 02 - 09

基金项目: “十五”科技攻关项目 (2001 - BA611B - 02 - 02)

作者简介: 熊伟 (1974 -), 湖北孝感人, 博士生, 主要从事气候变化的影响评价和作物模型研究。

地丘陵玉米区、南方丘陵玉米区、西北内陆玉米区和青藏高原玉米区是我国玉米种植的 6 大区^[8]。由于模拟工作量的原因,本研究在各区选择代表性品种和种植制度,以 50km × 50km 网格为单元对各区的玉米生产进行模拟。模型模拟所需的资料有田间管理资料、土壤资料和气象资料。

2.1 田间管理资料

包括田间管理措施(播种日期、施肥、灌水、播种密度、行距、深度)、物候期观测(开花期、成熟期、收获期等)和产量构成要素。这些测定资料主要用来确定品种遗传参数,并以此确定模拟中当前和未来气候情景下 6 个种植区各相应种植品种的播种日期、品种和田间管理措施。

2.2 土壤资料

包括土壤的整体性质(土壤质地、分类、坡度、土壤剖面层数、土壤的渗透性等)和土壤各层的理化性质(各层厚度、土壤结构、有机碳含量、铝饱和度、盐基交换率、容重和 PH 值等)^[9]。由于进行区域模拟,在土壤数字化地图的基础上,对土壤各定量属性值按面积进行了加权平均,最终形成全国 50km × 50km 的土壤理化性质数据库。

2.3 气象资料

选择区域气候模式模拟的 1961 - 1990 年的逐日最高温度、最低温度、降水和辐射输出代表目前气候,两种 SRES 温室气体排放方案(A2 和 B2)下的 2071 - 2100 年的逐日最高温度、最低温度、降水和辐射输出代表 2080s 未来气候情景输入作物模式,三种

气候情景对应的年均温升高值、CO₂ 气体浓度如表 1 所示。

表 1 气候情景、排放方案和 CO₂ 气体浓度

气候情景	温室气体 排放方案	CO ₂ 浓度 (ppmv)	中国地区年均 温上升(°C)
BASELINE	-	370	-
2080s(A2)	A2	721	3.9
2080s(B2)	B2	561	2.0

3 模拟过程

3.1 玉米品种遗传参数的确定

按目前玉米种植区划选择各区有代表性的品种、连续 3 年以上的田间试验资料及平行气象资料和土壤剖面资料,采用“试错法”对各供试品种的遗传参数进行调试、确定。

3.2 模型模拟结果的验证

CERES-Maize 在站点水平上已经得到了广泛的检验和验证。在模型输入信息和田间实际信息相符的情况下,模型能对玉米的生产、发育等进行较好的模拟,模拟值与实测值的差别在误差允许的范围^[10]。金之庆^[2]等在以往的研究中已对 CERES-Maize 在研究区域的适用性作过广泛检验,并就气候因子改变对其进行过灵敏度分析。结果表明,该模型作为气候变化影响的评价工具是合理的。由于本研究是对玉米生产进行区域模拟,所以我们选择了吉林省 1981 - 1998 年县级统计产量的平均值,并对其进行网格化,然后与相应网格上 1961 - 1990 年模

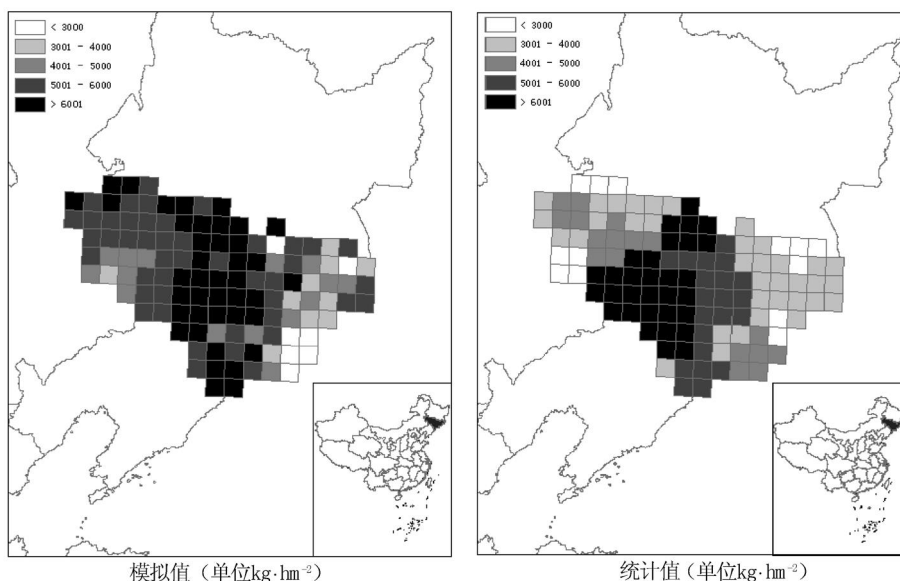


图 1 目前气候情景下模拟值与实际统计值之比较

拟产量的平均值进行了比较(图 1)。结果表明,虽然模拟产量比实际产量偏高,但模拟结果仍然能基本上反映出产量的地域分布特征。

3.3 玉米产量的模拟

将各网格当前、未来两种气候情景各 30 个样本年的逐日天气要素输入 CERES-Maize 模式,运行模式得到当前和未来两种气候情景下 30 个样本年的玉米产量,以各自的平均值为代表计算未来气候情景

下雨养和灌溉玉米产量的相对变化,灌溉为自动灌溉方式即当土壤有效含水量小于 60 %时进行定量灌溉,每次的灌水量为 10mm;雨养条件为不灌溉,玉米生长期所需水分来自降雨。

4 结果与讨论

模拟所得的未来两种温室气体排放方案下 2080s 雨养和灌溉玉米产量与当前对应产量的相对变化见图 2。

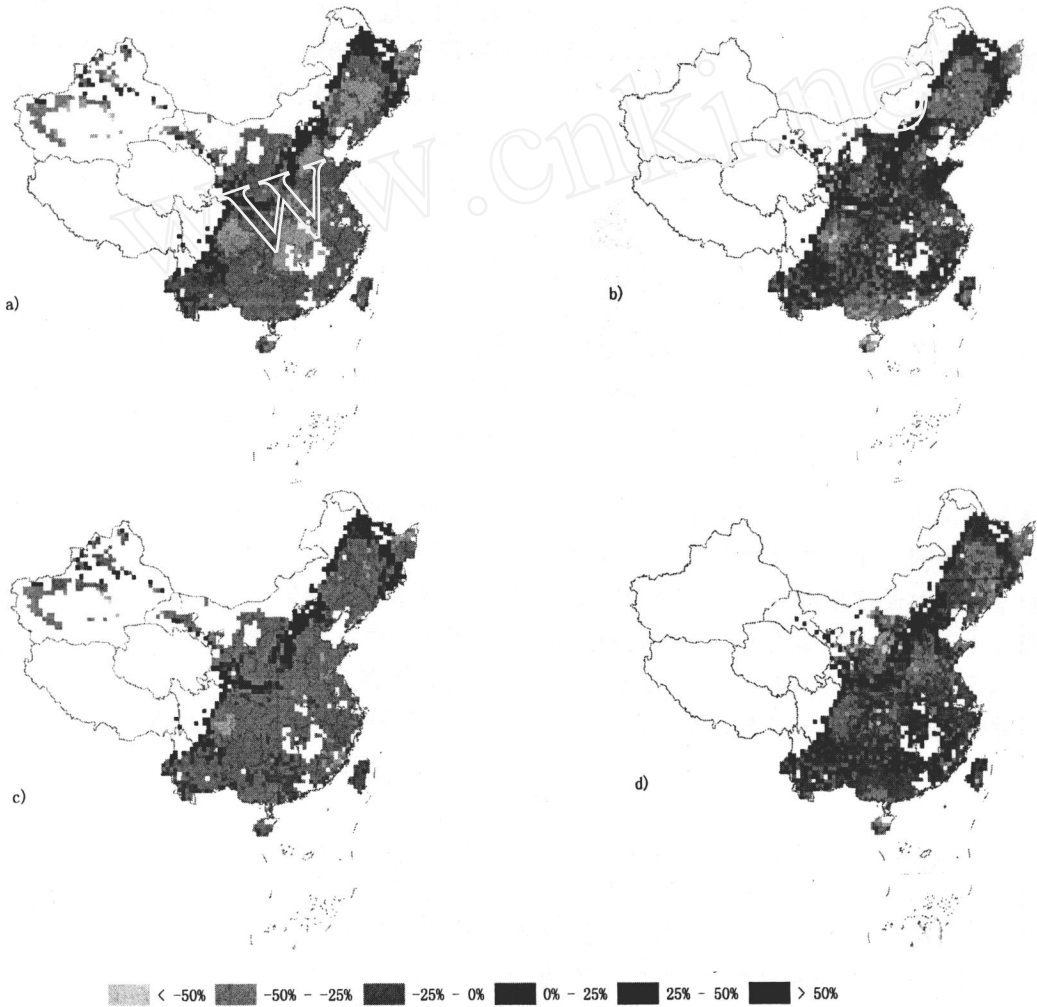


图 2 两种温室气体排放方案下 2080s 我国雨养和灌溉玉米的产量变化空间分布

a) A2 方案,灌溉玉米 b) A2 方案,雨养玉米 c) B2 方案,灌溉玉米 d) B2 方案,雨养玉米

4.1 气候变化对玉米单产的影响

把各网格的产量变化值平均,得到全国玉米单产变化值。由于模拟中考虑了 CO₂ 的直接肥效作用,A2 和 B2 两种排放方案下,气候变化对雨养玉米有显著的增产作用,对灌溉玉米产量有不利影响。A2 排放方案下,雨养和灌溉玉米单产变化值分别为 +20.3 %和 -23.8 %;在 B2 排放方案下,雨养和灌溉

玉米单产变化值分别为 +10.4 %和 -2.2 %。气候变化对雨养玉米的增产效果非常明显。大量研究表明^[7,11],玉米作为 C₄ 作物,就 CO₂ 浓度增长对光合作用的直接影响而言,受益没有 C₃ 作物大,但玉米和 C₃ 作物相比,有较高的叶片气孔阻抗,而且叶片气孔阻抗随着 CO₂ 浓度的增加而线性增加。这表明,在高 CO₂ 浓度条件下,玉米的水分利用效率可以

明显提高,其耐旱性也将显著增强。同时,目前气候情景下雨养玉米的产量水平较低,一定量的产量增加可以表现为较高的产量变化百分比。而对于灌溉玉米来说,不存在水分胁迫,目前气候情景下本身的产量水平也较高, CO_2 对光合作用的影响较小,其对产量的补偿作用不足以弥补温度上升对产量的负面影响,从而在两种气候变化情景下,灌溉玉米的产量都表现为减产,特别是 A2 情景下,平均温度升高 3.9°C 时,造成单产水平下降两成左右。

在单产变化的空间分布上(图 2),两种排放方案下,产量变化有增有减。主要增产地区分布于长江流域以南丘陵地区、东北北部地区和华北平原北部地区。目前这些地区大多不是玉米的主产区。长江流域以南地区属于南方丘陵玉米区,该地区未来玉米产量会有所增加,但增加幅度不大,在 $0\sim 30\%$ 之间。目前该地区种植制度主要为一年两熟或两年三熟,为玉米种植的适宜地区^[9]。但部分地区,特别是高海拔地区,由于受积温的限制,两季粮食作物种植能力有限,即使种植了,由于秋季低温的影响,产量水平也较低。而温度的升高有助于该地区积温的增加,从而使该地区两季粮食作物种植成为可能,同时,根据 PRECIS 模拟结果,未来我国这部分地区气温升高较北部地区少,但降水增加较多,所以未来气候情景下这部分地区玉米产量有可能增加;而东北北部地区属于玉米种植次适宜区^[8],由于温度较低,目前产量水平较低,一般不作为玉米主产区。气候变化下,东北地区平均气温特别是冬春季气温升高,玉米种植界线北移,东北北部地区将适宜于玉米的种植,从而使该地区玉米产量增加。华北地区、特别是华北北部地区目前玉米种植的主要限制因素是水分不足,由于高 CO_2 浓度可以有效地缓解玉米的水分胁迫,所以该地区在未来气候条件下的玉米产量也会有所增加。减产地区主要集中在东北中部和南部、四川盆地中部以及华北平原东部和江淮地区等玉米主产区,就这部分地区来看,大多处于我国玉米种植的最适宜气候区^[8]和主要产区,产量水平较高。在气候变化情景下,如果依然维持目前的品种、耕作方式和种植制度,未来该地区的玉米产量将会下降,主要原因是:平均温度的升高缩短玉米的整个生育期,降低产量;温度升高,特别是灌浆期温度升高,超出了玉米灌浆期的适宜温度($22\sim 24^\circ\text{C}$)范围,导致酶的活性下降,产量下降;同时,气候变化后,夜晚最低温度上升,呼吸作用增强,玉米产量明显下降。所以对于该地区来说,主要应根据气候变化来调整耕

作制度,调整种植期和品种布局。两种不同的排放方案下,增、减产地域分布大体一致,但增、减幅度有一定差异。总体上,A2 方案下的产量变化幅度较 B2 方案大。

4.2 气候变化对我国玉米总产的影响

2000 年我国玉米总产 10600 万 t,播种面积为 25 万 km^2 ^[11]。如果依然维持目前玉米播种面积、品种以及农业技术条件,2080s,A2 和 B2 两种温室气体排放方案下,我国灌溉玉米总产减少分别为 10.1% 和 7.6%。雨养玉米总产变化幅度较小,分别为 0.1% 和 0.7%,总产减少的原因主要是产量变化的地域分布造成的。两种气候情景下,我国主要玉米产区,如东北平原大部,华北平原和四川盆地单产水平都下降,下降幅度在 $0\sim 25\%$ 之间,而非玉米产区,如东北北部地区,长江中下游南部地区和华北平原北部地区产量增加,由于这部分地区玉米种植多以中低产田为主,其产量的增加不能抵消高产产区产量的下降,从而导致全国的总产降低。

5 小结

1) 2080s,两种温室气体排放方案下,A2 方案对我国玉米产量的负面影响要大于 B2 方案,气候变化对雨养玉米有显著的增产作用,对灌溉玉米产量有不利影响。

2) 气候变化造成我国玉米单产变化,减产区域主要集中在东北中部和南部、四川盆地、华北平原东部和中部以及江淮地区等玉米主产区,增产区域主要集中在长江流域以南丘陵地区、东北北部和华北平原北部。

参考文献:

- [1] 林而达,张厚宣,王京华. 全球气候变化对中国农业影响的模拟[M]. 北京:中国农业出版社,1997:62 - 78.
- [2] 金之庆,葛道阔,郑喜莲,等. 评价全球气候变化对我国玉米生产的可能影响[J]. 作物学报,1996,(5):513 - 524.
- [3] 气候变化与作物产量编写组. 气候变化与作物产量[M]. 北京:中国农业科技出版社,1992:161 - 190.
- [4] 尚宗波. 全球气候变化对沈阳地区春玉米生长的可能影响[J]. 植物学报,2000,(3):300 - 305.
- [5] IPCC Special Report on Emissions Scenarios. Available on <http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/>.
- [6] Gordon Y T, Goto U, Sharon B (Eds.) DSSAT version 3 Volume 2[M]. International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii, 197 - 201.
- [7] 金之庆,葛道阔,石春林,等. 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[J]. 作物学报,2002,

(1):24 - 31.

[8]国家地图集编纂委员会. 中华人民共和国国家农业地图集[M]. 北京:中国地图出版社,1989:38 - 40,100 - 101.

[9]全国土壤普查办公室. 中国土种志. (1 - 6 卷) [M]. 北京:中国农业出版社,1995.

[10]Jones P. G.,Thornton P. K. The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin American in 2055 [J]. Global Environmental Change,2003,(13):51 - 59.

[11]中国农业年鉴编辑委员会. 中国农业年鉴 2001 [M]. 北京:中国农业出版社,2001:52 - 53.

Regional Simulation of Maize Yield Under IPCC SRES A2 and B2 Scenarios

XIONG Wei^{1,2}, XU Yin-long¹, LIN Er-ca¹, L U Zhi-guang²

(1. Institute of Agro- Environment and Sustainable Development, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing 100081 China; 2. College of Ageonomy and Biotechnology, Chinese Agriculture University).

Abstract: We applied the newest emission scenarios of the sulfur and greenhouse gases, i. e. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Special Report on Emission Scenarios (SRES) A2 and B2 scenarios, combining with the RCM (Regional Climate Model) model and CERES-Maize model to investigate the change of maize yield in 2080s(2071 - 2100). The results show: The SRES A2 scenario is more negative to maize yield than B2, more positive effect due to climate change is on rainfed maize than on irrigated maize; the climate change would induce yield decrease in main maize planting area while bringing increase in other area.

Key words: Climate change; Maize; Simulation

科技论文摘要的撰写

为了解决读者精力有限而科技信息激增的矛盾,学术性期刊的科技论文都要求撰写摘要。摘要应以浓缩的形式概括论文的内容、方法、取得的成果和结论,应能反映整个文章的精华。摘要的形式可分为以下 3 种:报道性摘要、指示性摘要和报道指示性摘要。一般科技论文都应尽量写成报道性摘要,以不超过 400 字为宜。其要素主要包括:①研究目的,准确描述该研究的目的,说明提出问题的缘由,表明研究的范围和重要性;②研究方法,简要说明研究课题的基本设计,数据获取以及统计分析方法等;③结果,简要列出该研究的主要结果,要具体、准确并给出结果的置信度及显著性检验结果;④结论,简要地说明论证取得的正确观点、理论价值或应用价值,是否还有与此有关的其它问题有待进一步研究,是否可推广应用等。

撰写摘要时应注意以下几点:(1)用精炼、概括的语言来表达,每项内容不宜展开论证或说明;(2)要客观陈述,不宜加主观评价;(3)成果和结论性字句是摘要的重点,要论述清楚,以加深读者的印象;(4)应具有独立性和自明性,摘要不是论文篇名、引言或正文结论中语句的简单重复;(5)用第三人称,尽量避免使用“我们”、“作者”、“本文”等作主语。总之摘要既要写得简短扼要,又要生动,以唤起读者阅读全文的兴趣。

以后本刊将不定期登载有关科技论文写作的知识,敬请关注。

《中国农业气象》编辑部整理