

两种气候变化情景下中国未来的粮食供给

熊 伟 居 辉 许吟隆 林而达

(中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081)

提 要: 全球温室气体排放导致的全球温度的上升一直是国际社会关注的重点问题之一。利用 IPCC (政府间气候变化专门委员会) SRES (排放情景特别报告) 的 A2 (中-高) 和 B2 (中-低) 温室气体排放情景, 结合区域气候模式 PRECIS 和 CERES 作物模型模拟和分析了未来不同的温室气体排放情景下, 中国未来 2020 年、2050 年和 2080 年各个时段粮食的供需情景, 并结合未来社会经济的发展分析了气候变化对未来粮食供求的影响, 探讨了不同的气候变化程度对未来中国粮食供应的影响。结果表明: 如果不考虑 CO₂ 的肥效作用, 未来我国三种主要粮食作物 (小麦、水稻和玉米) 均以减产为主, 灌溉可以部分地减少减产幅度, 如果单考虑 CO₂ 的肥效作用, 三种作物的产量变化以增产为主。若保持 95% 的粮食自给率, 人口按照 SRES A2 和 B2 情景增长, 到 2030 年的技术进步可使粮食年单产递增 0.7% 以上, 维持目前的种植比例和种植面积, B2 情景下, 气候变化对我国的粮食安全问题将不会构成威胁, 而 A2 情景下, 气候变化将会对我国可持续发展的粮食安全造成威胁。

关键词: 气候变化 粮食供应 粮食作物

The Food Security of China under IPCC SRES A2 and B2 Scenarios

Xiong Wei Ju Hui Xu Yinlong Lin Erda

(Institute of Agro-Environment and Sustainable Development, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081)

Abstract: The temperature increase due to the greenhouse gases emission is the hot topic of international community. By using the IPCC SRES A2 and B2 greenhouse gases emission

资助项目: 国家十五攻关课题 (2004-BA611B-02) 和气象局气候变化专项资助

收稿日期: 2006 年 1 月 10 日; 修定稿日期: 2006 年 9 月 15 日

scenarios, regional climate model- PRECIS and crop model- CERES, combined with the social economical scenarios downscaled from the IPCC SRES, the grain supply and demand in 2020, 2050 and 2080 were simulated and analyzed. The Results show that the three main food plants yields would decrease under both A2 and B2 scenarios without considering the CO₂ direct effect, the range of yield descent would reduce if there is enough irrigation. Yield could increase yet if the CO₂ direct effect was included in the simulation. With the assumption of a 5% grain import percentage, a population increase scenario described by SRES A2 or B2, technology advance will make grain yield increase above 0.7% or 1% by 2030. With the same percentage of plants and planting areas as present, food supply would meet the demand under B2 scenarios, while would not under A2 scenarios.

Key Words: climatic change · food supply · food crop

引 言

温室气体升高引起的全球气候变化及其影响已经是国际社会关注的重点环境问题之一。有关气候变化对农业和食物安全的影响,国内外作了一些研究^[1-4]。水稻、玉米和小麦是中国的三大粮食作物,它们的产量关系到国家的粮食安全问题,而粮食单产又是影响我国粮食总产的决定因素^[5]。气候变化将会导致气候资源发生变化,极端气候事件增加。这些都会对未来粮食单产水平及农业生产的稳定性产生较大的影响。同时,未来人口的增长也会对粮食供应提出新的要求。因此,定量地模拟气候变化对未来农业生产的影响,并结合人口的增长和相应的农业技术进步分析未来我国的粮食供给,对确定未来农业生产政策,制定气候变化适应方案具有重要的意义。

以三种粮食作物为研究对象,利用区域气候模式和区域作物模式,在 50km×50km 的尺度下,探讨了气候变化对未来我国粮食产量的影响,并结合社会经济发展和人口增长,分析了 IPCC SRES A2 和 B2 情景下,未来我国粮食供需状况,为气候变化政策制定提供借鉴。

1 研究方法和资料

1.1 SRES 社会发展方案和温室气体排放情景及相应的中国社会发展假设

IPCC 开发的 SRES 情景为未来世界设计了四种可能社会经济发展框架^[6]。这四个框架是 A1、A2、B1 和 B2。与其对应的描述为: 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 方案中生态环境得到改善,全球人口趋于稳定; B2 假定生态环境的改善具有区域性。经过国家气候中心对 IPCC SRES 情景的降尺度分析,认为与中国未来发展最接近的是 B2,即区域可持续情景;而 A2 与中国的发展状况差异最大,但作为一种假设的高排放情景,可以帮助评估在最坏的发展状况下气候变化的影响。研究最终选取 A2 和 B2 来探讨未来的粮食安全问题(见表 1)。

1.2 区域气候模式及气候变化情景

研究选用 Hadley 中心开发的区域气候模式进行不同 CO₂ 排放情景下未来气候变

化的模拟。该区域气候模式在不同 CO₂ 浓度的趋动下,能模拟出所选区域 50km × 50km 网格的逐日温度、降水、辐射等 10 余项指标。与全球气候模式 (GCM) 相比,

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^[8]。

表 1 气候情景、排放方案和 CO₂ 气体浓度^[7]

时间	A2(中-高排放情景)					B2(中-低排放情景)				
	温度升高/℃	降水增加/%	CO ₂ /ppmv*	人口 /亿	GDP /万亿	温度升高/℃	降水增加/%	CO ₂ /ppmv*	人口 /亿	GDP /万亿
2020s(2011—2040)	1.4	3.3	440	16.0	20.5	0.9	3.7	429	14.3	37.4
2050s(2041—2070)	2.6	7.0	559	20.9	60.2	1.5	7.0	492	15.5	141
2080s(2071—2100)	3.9	12.9	721	22.6	131	2.0	10.2	561	15.8	226

* 百万分之一体积

1.3 区域作物模型及其验证

区域作物模式以 CERES 作物模型为核心,在 GIS 的基础上把数据读取、模型运行、结果展示综合为一体。研究中选用的 CERES-Rice, CERES-Wheat 和 CERES-Maize 三模型可以预测不同品种作物在各种气候生态和栽培条件下的生长、发育和产量。模型中还考虑了 CO₂ 浓度增加对作物光合作用和水分利用效率的影响。在运用模型之前,对上述模型进行了不同时间和空间尺度的验证和校准^[9,10]。验证结果表明,该模型在田间尺度的单季作物模拟上模拟效果很好。

1.4 计算方法及其它数据和假设

其他数据包括品种参数数据、土壤数据、农业管理措施数据以及作物播种面积数据等,数据收集在文献 [5] 中有详细阐述。将全国各网格 (50km × 50km)、当前 (Baseline) 和未来 2 种气候情景 (A2 和 B2) 三种时段各 30 个样本年的逐日天气要素输入区域作物模式,运行模式得到当前和未来 2 种气候变化条件下三个时段各 30 个样本年的三种作物产量,以 30 个样本年的

平均产量与 Baseline 的平均产量相比,得出各网格单位产量的相对变化值,并分别计算出三种作物的单产变化值,最后依据三种作物的播种面积,计算出三种作物不同情景下的产量变化。在进行计算时,当前全国粮食产量水平采用了 1996—2000 年后的平均值 4.96 亿吨为基准,网格内的三种作物的种植面积采用 Frolking^[11] 研究结果,单产水平采用国家农业统计数据 1996—2000 年的平均值。其它粮食作物的单产和播种面积假定保持不变。

根据《中国粮食白皮书》,研究假定未来的粮食自给率不低于 95%,即保持在 0.248 亿吨/年的粮食进口水平,技术进步对粮食单产的贡献率为:2010 前每年递增 1%,2010—2030 年为 0.7%,2030 后为 0。计算公式如式 (1) 和式 (2):

$$Y_{m,n,r} = \sum_{i=1}^q (y_i \times (1 - y_{m,n,i,r}) (1 + 1\%)^{10} (1 + 0.7\%)^{n-2010} \times A_i) + Y_2 \quad (2010 < n < 2030) \quad (1)$$

$$Y_{m,n,r} = \sum_{i=1}^q (y_i \times (1 - y_{m,n,i,r}) (1 + 1\%)^{10} (1 + 0.7\%)^{30} \times A_i) + Y_2 \quad (n \geq 2030) \quad (2)$$

其中, $m=A2$ 和 $B2$, 代表两种排放情景; $n=2020, 2050$ 和 2080 三个年份, i 表示参与计算的主要粮食作物, r 表示适应措施 a、b、c (表 2), $yc_{m,n,i}$ 表示 i 作物 m 排放情景下 n 年份的单产变化百分比 (数据如表 2), A_i 表示 i 作物的播种面积, $(1+1\%)^{10}$ 表示 2000—2010 年之间农业技术进步使粮食单产水平年递增 1%, $(1+0.7\%)^{n-2010}$ 表示 2010 年后农业技术进步使粮食单产年递增 0.7% 至到 2030 年, Y_2 表示最大粮食进口量, 定为 0.248 亿吨。

2 研究结果和分析

2.1 未来三种粮食作物单产水平的变化

如果不考虑灌溉措施或 CO_2 的肥效作用, 气候变化情景下三个时段我国三种主要粮食作物单产均将会下降, 其中 $A2$ 下单产的下降幅度大于 $B2$, 单产水平随着时间的推移, 产量下降幅度逐渐增大。其中玉米产

量下降幅度较大, 而小麦和水稻下降较小, 特别是在 $B2$ 下玉米的产量下降最多, 达 -36.4%。主要原因为温度升高导致生育期缩短。如果单考虑灌溉, 产量下降幅度则明显降低, 玉米和小麦产量下降幅度减少 5%~15%, 水稻减少 5% 左右。总的来说, 灌溉可以使三种作物的产量下降幅度平均缩小 7.6%。

如果单考虑 CO_2 的肥效作用, 即使依然维持目前的农业技术水平和雨养农业, 未来我国三种粮食作物的单产水平也会增加, 其中增产幅度最大为小麦, 最大达 23.6%, 最小为水稻, 最大达 4.3%。主要原因是由于 CO_2 增加作物的光合作用效率和水分利用效率。但实验和模拟研究表明, CO_2 的肥效作用的具体体现还与作物生长环境、品种、气候以及管理等条件相关。同时, 由于目前研究的局限, 尚不能完全了解 CO_2 对作物刺激的机制和程度, 这方面的研究工作目前仍在继续。

表 2 模拟的中国三种主要粮食作物单产与 Baseline (1961—1990) 相比的变化

适应措施	水稻单产变化/%			小麦单产变化/%			玉米单产变化/%			
	2020s	2050s	2080s	2020s	2050s	2080s	2020s	2050s	2080s	
A2 情景	a	-12.9	-13.6	-28.6	-18.5	-20.4	-21.7	-10.3	-22.8	-36.4
	b	2.1	3.4	4.3	15.4	20.0	23.6	9.8	18.4	20.3
	c	-8.9	-12.4	-16.8	-5.6	-6.7	-8.9	-5.3	-11.9	-14.4
B2 情景	a	-5.3	-8.5	-15.7	-10.2	-11.4	-12.9	-11.3	-14.5	-26.9
	b	0.2	-0.9	-2.5	4.5	6.6	12.7	1.1	8.5	10.4
	c	-1.1	-4.3	-12.4	-0.5	-2.2	-8.4	0.2	-0.4	-3.8

a 表示不考虑适应措施和 CO_2 肥效作用; b 单考虑 CO_2 的肥效作用; c 单考虑灌溉

2.2 气候变化情景下我国未来的粮食供给

在假定当前的作物种植比例和种植面积保持不变并且忽略产量变化的区域间权重差异的条件下, 按公式 (1) 或 (2) 初步对我国未来粮食的供给能力进行了计算 (表 3)。同时结合 SRES 两种情景下的人口增长, 分

析了未来各个时段的人均粮食供给量的变化 (图 1)。

《中国粮食白皮书》认为: 未来 400kg 的人均粮食占有量, 可以完全满足社会的可持续发展的粮食要求, 300~400kg 的人均粮食占有量会对社会经济生活的稳定发展造成干扰, 低于 300kg 的人均粮食占有量将

表 3 两种排放情景下我国未来的粮食供给

排放情景	适应措施	粮食总产 (亿吨)					
		无技术进步, 粮食自给率 95%。			技术进步到 2030 年, 2010 年前年递增 1%; 2010 年后年递增 0.7%, 粮食自给率 95%		
		2020 年	2050 年	2080 年	2020 年	2050 年	2080 年
A2	a	4.38	4.22	3.75	5.15	5.29	4.69
	b	5.27	5.44	5.52	6.20	6.84	6.94
	c	4.66	4.50	4.36	5.47	5.65	5.47
B2	a	4.62	4.51	4.21	5.43	5.66	5.28
	b	5.02	5.10	5.16	5.91	6.41	6.48
	c	4.93	4.84	4.57	5.80	6.08	5.74

a 完全雨养农业, 无 CO₂ 肥效作用; b 单考虑 CO₂ 的肥效作用; c 单考虑灌溉

无法满足人们的基本口粮需要, 粮食安全将构成威胁。

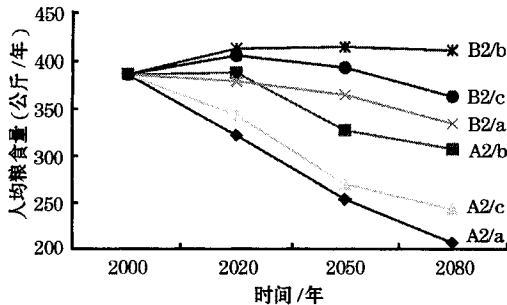


图 1 SRES 情景下未来我国各个时段人均粮食供给量变化

a 完全雨养农业, 无 CO₂ 肥效作用; b 考虑 CO₂ 的肥效作用; c 完全灌溉的农业

保持 95% 的粮食进口率, 人口按照 SRES A2 和 B2 情景增长, 到 2030 年的技术进步可以达到 0.7% 或以上, 仅在 B2 和考虑 CO₂ 的肥效作用时, 未来我国粮食人均供给量可以保持一定的增加趋势, 人均粮食占有量基本维持在 400kg 以上, 社会可持续发展的粮食需要完全可以得到保证 (见图 1)。其它各种情景和相应适应措施的未来人均粮食占有量呈递减趋势, 在 A2 情景下, 我国 2080 年左右的人口将达到 22 亿, 这时即使是考虑 CO₂ 肥效作用时, 粮食人均占有量也只有 307kg, 可以满足基本的口

粮需求, 但社会可持续发展的粮食需求将受到威胁。A2 情景下的不考虑 CO₂ 肥效作用的雨养和灌溉农业人均粮食占有量都低于 300kg, 未来的基本口粮将可能不能得到满足。

综上所述, 在假设当前作物种植比例和种植面积不变的条件下, 对于最悲观的温室气体排放方案 (A2 排放方案, 温度上升 3.89°C), 不考虑 CO₂ 的肥效, 完全雨养或完全灌溉的粮食生产将都不能满足人口基本生存的直接粮食消费, 未来的粮食安全将会受到气候变暖的威胁; 而如果考虑 CO₂ 的肥效时, 人口基本生存的直接粮食消费可以保障, 但保证社会持续发展和人们生活水平需求的副食粮食需求会出现短缺。对于 B2 温室气体排放方案, 即使不考虑 CO₂, 气候变化对未来粮食安全都不会构成威胁, 如果考虑 CO₂ 的肥效作用或实行完全灌溉的粮食生产时, 未来的粮食供给完全可以满足社会的可持续发展需求。如果考虑到其他一些有利因素如国家优惠政策对粮食生产的促进作用等, 中低排放情景 (B2) 的气候变化不可能对我国未来粮食安全构成威胁。

2.3 研究中的不确定性

研究中的不确定性主要来源于三个方面, 一是排放情景的不确定性, IPCC

SRES 排放情景对未来社会经济的发展做出了简要的描述, 这种描述在很大程度上只是给出了未来社会发展的一种方向, 具体和实际情景相比, 还存在着很大的区别。

二是未来气候变化预测的不确定性, 虽然研究中采用了区域气候模式来预测未来气候的变化情景, 但其尚不能完全了解气候变化的所有原因和机制, 在对气候变化的具体模拟上也不能完全地逼近。

三是假设、数据和模拟过程的不确定性, 如未来各种粮食作物的播种面积、未来农业技术对粮食单产的年贡献率以及未来粮食自给率等。这些数据部分来源于一些权威的文献和预测, 部分来源于专家的判断, 但它们和未来的真实情景相比, 也必定存在着较大的区别, 在模拟中, 也未考虑极端气候事件的影响。

3 结论与讨论

(1) 气候变化下, 我国未来的粮食单产水平将降低, 采取适应措施灌溉后, 单产下降幅度会有一定减少, 但产量下降趋势还将继续, 如果考虑了 CO_2 肥效时, 未来三种主要粮食作物的单产水平都将上升。

(2) 保持 95% 的粮食进口率, 人口按照 SRES A2 和 B2 情景增长, 考虑技术进步对粮食单产的影响, 维持目前的粮食种植比例和种植面积, B2 下我国的粮食安全问题将不会构成威胁; A2 下, 即使考虑 CO_2 的肥效, 未来社会可持续发展的粮食需求也无法得到满足, 但人们基本的口粮食仍可以满足, 而不考虑 CO_2 下的雨养和灌溉农业将无法未来人们的基本口粮需求。

(3) 气候变化情景下的我国粮食安全定量研究工作目前还有很大的不确定性, 这些不确定性主要包括: 未来社会经济的发展、未来技术进步对农业的贡献率以及未来土地

利用情况和作物种植制度, 以及 CO_2 的肥效作用和对极端气候事件影响的模拟等。

参考文献

- [1] Rosenweig GE and Parry MI. Potential impact of climate change on food supply [J]. *Nature*, 1994, 367: 133-138.
- [2] Yu Huning. The Impact of Climate Change to Food Production in China [M]. Beijing: The Science and Technology Publish of Beijing (in Chinese), 1993: 118-127.
- [3] The study Group of the Impact of Climate Change to food Production and Countermeasure. The Impact of Climate Change to Food Production and Countermeasure [M]. Publish of Beijing: Beijing University (in Chinese), 1993: 23-28.
- [4] 王铮, 郑一萍, 冯皓洁. 气候变化下中国粮食和水资源的风险分析 [J]. *安全与环境学报*, 2001, 1 (4): 19-23.
- [5] 张志强. 中国粮食生产系统影响因素的主成分分析 [J]. *北京农学院学报*, 2001, 16 (1): 66-68.
- [6] IPCC, 2001. Climate change 2001: the scientific basis. Contribution of working group I to the Second assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C. A. Johnson (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, 881pp.
- [7] 林而达, 许吟隆. 中-英合作项目: 评价气候变化对中国农业的影响 [R]. Crown, 2004: 北京. 1-2.
- [8] 刘永强, 丁一汇. 区域气候模拟研究 [J]. *应用气象学报*, 1995, 6 (2): 228-239.
- [9] 熊伟, 许吟隆, 林而达, 等. IPCC SRES A2 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.
- [10] 熊伟, 许吟隆, 林而达, 等. 两种温室气体排放方案下我国水稻产量变化模拟 [J]. *应用生态学报*, 2005, 16 (1): 65-69.
- [11] Frohling, S., Xiao X. M., Zhuang, Y. H., et al. Agricultural land-use in China: a comparison of area estimates from ground-based census and staelite-borne remote sensing [J]. *Global Ecology and Biogeography*, 1999, 8 (5): 407-416.