

大气中 CO_2 含量增长后的温室效应对我国未来农业生产的可能影响

高素华 丁一汇 赵宗慈 潘亚茹

(国家气象局气象科学研究所, 北京 100081)

章庆辰

(国家气象局气象中心资料室, 北京 100081)

提 要

大气中 CO_2 含量升高引起的气候变化是目前人们十分关注的问题, 地球变暖是不少科学家的共同看法. 本文根据赵宗慈估算的 CO_2 含量增加1倍时对我国气候的可能影响, 分析了这种变化对农业热量资源及农业生产的可能影响. 结果表明: 积温将增加无霜期延长, 种植界线向北推移, 对我国粮食产量的影响区域间差异较大, 三北地区为增产趋势, 华南为减产趋势.

关键词: 气候变化; 地球变暖; 热量资源; 种植界线; 粮食产量.

一、前 言

根据近100年来全球平均近地面气温的分析, 尽管存在波动, 但总趋势还是呈现不断上升的特点, 平均约增加 0.5°C , 北半球大陆地区上升 1°C 以上, 中国气温的变化趋势与北半球情况也大致一样. 全球气候变暖问题, 引起社会各界广泛注意. 工业化以来, 由于矿物燃料燃烧的增加, 使大气中 CO_2 浓度增加. 很多研究表明, 这种温室气体的增加对于大气变暖起着非常重要的作用. 根据1990年6月政府间气候变化专门委员会第一工作组的报告, 当大气中 CO_2 含量增加1倍(约在2025年)时, 全球平均增温 1.8°C (相对于工业化前的变化, 相对于目前将平均增温 1°C), 与 CO_2 引起的气候响应变化的最佳估计值 2.5°C 相一致. 这种增温在全球分布是不均匀的, 即热带地区的增温幅度小于平均值, 而两极地区升温远高于平均值, 这表明全球气候系统可能正经历着重大的变化, 相应于这种变化, 社会经济活动以及农业和生态系统必然会受到重大的影响, 这是现今人类所面临的重要问题之一. 因而, 不少国家正在研究气候变化的社会和经济影响问题, 我国在这方面也做了一些工作^[1], 但只是初步的, 要做出定量的估价是十分困难.

本文的工作仅是一个初步的尝试——根据 CO_2 倍增所造成的气候变化来讨论这种

1990年7月26日收到, 1991年6月26日收到再改稿.

变化对我国农业生产的可能影响。

二、CO₂ 增加对未来中国气候的可能影响

1989 年赵宗慈用 OSU 二层全球大气球流模式的输出数据，估计了我国 CO₂ 含量倍增时气候的可能变化（相对于 1951—1987 年平均值），如表 1。由表可见，升温幅度地区间差异明显，而冬季升温幅度高于夏季。

表 1 2 × CO₂ 对中国气温、降水、土壤湿度影响

项目 地区	年平均气温 变化 (℃)	冬季气温 (12—2月) 变化(℃)	夏季气温 (6—8月) 变化(℃)	年平均降* 水量变化 (mm)	冬季降水 量变化 (mm)	夏季降水 量变化 (mm)	年平均土壤 湿度变化 (mm)
全 国	2.69	2.95	2.35	146.4	11.2	40.8	0.05
东 北	2.72	3.08	2.45	77.8	13.5	28.2	-1.93
华 北	2.56	2.84	2.31	98.2	-6.3	16.3	-2.23
华 东	2.40	2.87	2.05	211.3	15.3	59.8	1.86
华 中	2.64	2.82	2.09	169.4	5.4	67.7	1.18
华 南	2.42	3.17	1.81	251.5	27.9	86.9	2.44
西 南	3.04	3.01	2.62	140.2	14.4	25.7	0.00
西 北	3.02	2.85	3.15	77.0	8.1	0.46	-0.95

* 相对于 1951—1987 年平均年降水量的变化。

三、CO₂ 增加对农业热量资源的可能影响

作物的生长发育与大于、等于某一界限温度的积温及此界限温度以上持续时间的长短有着密切的关系。一般以日平均温度 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温（以下简称 ΣT_{10} ），作为喜温作物开始生长的温度指标，其持续时间作为喜温作物的生长期。

我们用 1951—1987 年的资料首先分析了 ΣT_{10} 、 ΣT_0 （日平均温度 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温）与年平均气温的关系，分析结果表明，两者有很好的线性关系（表 2），信度检验绝大

表 2 ΣT_{10} 、 ΣT_0 与年平均气温的关系

站名	项目	方 程	信度水平
锦州	ΣT_{10}	$y = 209.16x + 1659.51$	0.01
	ΣT_0	$y = 160.74x + 2533.60$	0.01
遵化	ΣT_{10}	$y = 185.6x + 2035.63$	0.01
	ΣT_0	$y = 231.68x + 1922.8$	0.01
临沂	ΣT_{10}	$y = 231.7x + 1342.12$	0.01
	ΣT_0	$y = 313.12x + 780.13$	0.01
昆明	ΣT_{10}	$y = 474.13x - 246.85$	0.01
	ΣT_0	$y = 364.74 + 15.25$	0.01

多数站点均通过0.01显著水平,并绘制了 CO_2 含量倍增时 ΣT_{10} 、 ΣT_0 分布图.由图可见,当 $2 \times \text{CO}_2$ 时,黑龙江北部,内蒙东北部 ΣT_{10} 可达3000 $^{\circ}\text{C}$ 左右,约增加10%;华北平原为4000—5500 $^{\circ}\text{C}$ 增加10—15%;长江中下游为5500—6000 $^{\circ}\text{C}$,增加10%;云贵高原5000—7000 $^{\circ}\text{C}$ 增加20—30%;全国平均约增加15%左右.

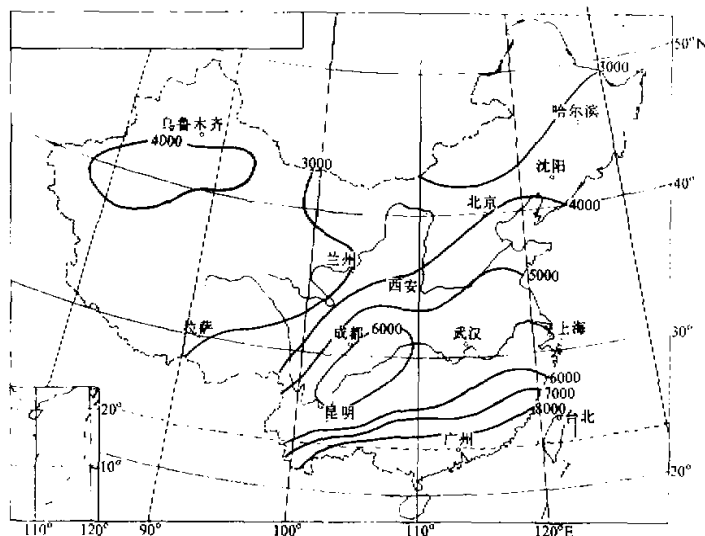


图1 $2 \times \text{CO}_2 \Sigma T_{10}$ 分布

ΣT_{10} 持续日数(D_{10})与 ΣT_{10} 有如下的关系^[2]:

$$D_{10} = \frac{\Sigma T_{10}}{1.489 + 0.0013 \Sigma T_{10}}, \quad (1)$$

D_{10} 随着 ΣT_{10} 的增加将有所增加,且 D_{10} 变动北方大于南方.在 50°N 以北变动系数在5.1%以上, 30°N 附近变动系数为3.4%左右.当 $2 \times \text{CO}_2$ 时, D_{10} 全国平均增加1个月左右.

在农业气象中无霜期表示作物在大田生长期的长短.无霜期与年平均气温呈很好的线性关系,可由下式表示.

$$Y = 11.69x + 68.32, \quad (2)$$

相关系数达0.93,信度水平为0.01.

当 $2 \times \text{CO}_2$ 时,随着平均气温的增加,无霜期全国平均可延长30天左右.北方的变化大于南方,东北可延长30天以上,华南为25天左右.

四、 $2 \times \text{CO}_2$ 对农业生产的可能影响

$2 \times \text{CO}_2$ 对农业生产的影响可分为两个方面,一是 CO_2 的直接效应这是通过改变

1) 与1951—1987年平均值比,下同.

光合作用，新陈代谢等过程来实现的，另一是 CO₂ 增加导致气候变化，而后通过改变的气候条件再影响作物生长，这可称为间接效应，本文主要分析气候变化对农业生产的这种间接效应。

1. 对气候生产力的影响

本文采用 Turnthwaite Memorial 模型计算气候生产力 (TSP_(v))^[3]。

$$\text{TSP}_{(v)} = 3000 [1 - e^{-0.0009685 (v-20)}], \quad (3)$$

式中 TSP_(v) 是按实际蒸散量估算的植物产量， v 是年平均实际蒸散量，用 Ture 公式计算。

$$V = \frac{1.05N}{\sqrt{1 + \left(\frac{1.05N}{L}\right)^2}},$$

$$L = 3000 + 25t + 0.05t^2,$$

式中 N 为降水量， t 为平均温度。当计算各站 $2 \times \text{CO}_2$ 时的 TSP_(v)， N 、 t 均用 $2 \times \text{CO}_2$ 时的估算值。

$2 \times \text{CO}_2$ 时，TSP_(v) 全国平均增加 17.23%，西南最多为 21.1% (图 2)，东北最少为 5.84%。

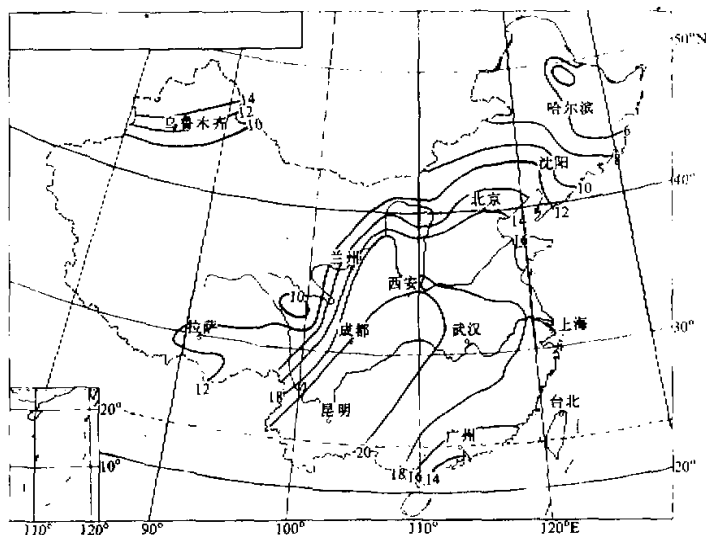


图 2 $2 \times \text{CO}_2$ TSP_(v) 的变化

2. 对我国种植制度的可能影响

目前我国各地种植制度的确定主要是以热量条件为主导因素，现行的主要耕种方式有以下 3 种：

1) 一年一熟制:

这是连年耕作制中最为普遍的一种方式, 我国有半数以上耕地实行一年一熟制. 以日平均气温 $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温 (ΣT_0) 4000°C 线为南界^[4], 此区无霜期为 100—150 天, 东起辽宁的庄河, 经营口、锦州、遵化、涿源、原平、兴县、延安、彬县、天水、南坪、雅安、丽江等地. 此线以西以北, 除新疆的塔里木盆地、宁夏的银川灌区能二熟, 青藏高原 $\Sigma T_0 < 1500^\circ\text{C}$ 的地区无农业外, 均属一熟区(图 3). 当 $2\times\text{CO}_2$ 时, 由于积温、生长期的增加, 一熟区的南界与文献[4]中一熟区南界比较将北移至新滨、四平、通辽、赤峰、大同、河曲、吉兰泰一线, 即向北推移了 250km 左右(图 4).

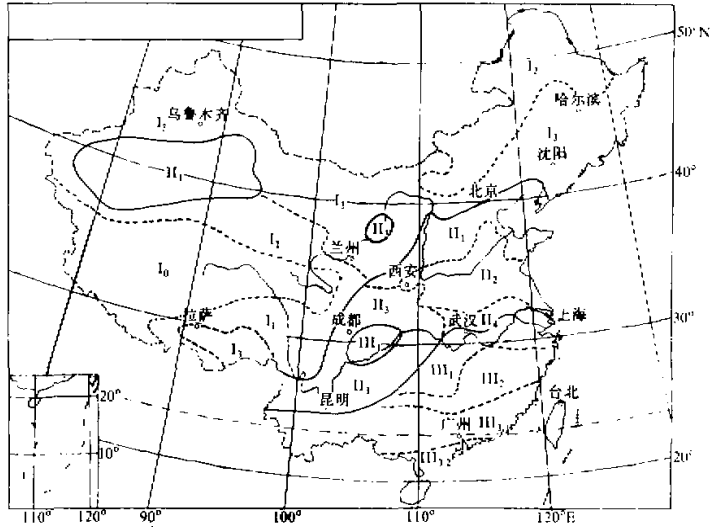


图 3 我国现行的种植区划

I_0 ——高寒无农业区, I_1 ——高寒农业区, I_2 ——一熟喜凉作物区,

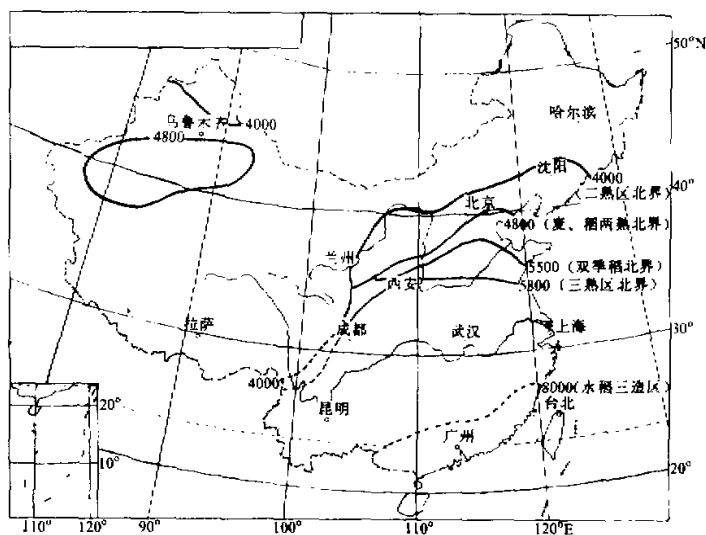
II_3 ——一熟喜温的玉米、大豆等, II_1 ——冬小麦、早熟玉米,

II_2 ——冬小麦、早熟玉米, II_3 ——麦、稻两熟区,

III_4 ——双季稻区, III_1 , III_2 , III_3 , $III_{3.1}$ ——冬油菜或冬小麦、早晚稻, $III_{3.2}$ ——水稻、造

现行的一熟区中又分为 4 个小区, I_0 区 ($\Sigma T_0 < 1500^\circ\text{C}$) 高寒无农业区, $2\times\text{CO}_2$ 时, 除玛多、托托河之外, ΣT_0 均在 1500°C 以上, 为高寒农业区, 可种植春麦、青稞等耐寒作物; I_1 区 ($\Sigma T_0 1500—2500^\circ\text{C}$) 基本上变为一熟喜凉作物区; 东北、内蒙古东北的 I_2 区 ($\Sigma T_0 < 2500^\circ\text{C}$) 也变为可种植早熟玉米、大豆等作物). 水分条件是否满足, 这很关键, 春玉米全生育期需水量为 375—400mm, 当 $2\times\text{CO}_2$ 时此区降水可平均增加 70mm 左右, 所以基本可以满足需要.

目前新疆大部为一熟区 (I_3 小区), 当 $2\times\text{CO}_2$ 时, $\Sigma T_0 4000^\circ\text{C}$ 线移至塔城、奇台、七角井一线, 除此线以北地区不能二熟外, 其余大部地区均可两熟, 塔里木盆地大部

图4 $2\times\text{CO}_2$ 时主要种植界的变化

分地区 ΣT_0 在 4800°C 以上, 可冬小麦与中、晚熟玉米连作, 新疆大部分地区农业靠灌溉, $2\times\text{CO}_2$ 时, 新疆年平均气温可增加 3.0°C 以上, 年降水量虽然平均增加 $30-50\text{mm}$, 但仍满足不了农业需要, 由于气温的升高, 可增加天山等山脉的积雪溶化量, 将为农业灌溉提供较多的水源。

2) 一年二熟区

$\Sigma T_0 4000-5800^\circ\text{C}$ 范围属二熟区, 南界东起上海经苏州、芜湖、安庆、孝感、钟祥、宜昌、源陵、藏江、榕江、玉溪、景东等地, 本区内又据两茬作物搭配形式的不同主要可分为: 麦、稻两熟区; 双季稻区; 麦、夏玉米两熟等种植区。

i) 麦、玉米和麦、稻二熟区

ΣT_0 积温 $4000-4800^\circ\text{C}$ 为麦、玉米种植区, $4800-5500^\circ\text{C}$ 为麦、稻二熟区, 麦、稻区除温度条件外, 还需水分充足, 在黄河淮海平原的中南部, 水源较好的地区, 以及云、贵、川等省的低海拔地区, 均为麦、稻两熟区, 当 $2\times\text{CO}_2$ 时, 从热量条件来看, 麦、稻两熟区的北界将移至乐亭、遵化、阳泉、延安一线, 麦、稻两熟作物生育期需水量最低也要 $800-900\text{mm}$, 所以水分条件将是该区的限制因子。

ii) 双季稻区

$\Sigma T_0 5500^\circ\text{C}$ 线为双季稻种植北界, 当 $2\times\text{CO}_2$ 时北界将移至日照、潍坊、石家庄、侯马一线, 往北约推移了 300km , 双季稻区作物生育期需水总量为 $680-1270\text{mm}$ (双季早稻 $300-570\text{mm}$, 双季晚稻 $380-700\text{mm}$), 当 $2\times\text{CO}_2$ 时此区降水量平均增多 150mm 左右, 所以一般可以满足需要, 秋季低温问题将是限制因子, 所以晚稻品种不宜选用晚熟种, 应以中、早熟种为主, 尤其此区的北部。

3) 一年三熟区

二熟区以南的地区均为三熟区， ΣT_0 5800℃ 线为北界，当 $2\times\text{CO}_2$ 时，此线将北移到赣榆、临沂、菏泽、运城、宝鸡、武都、丽江一线，约向北推移了 300km 以上。在现行的三熟区中又根据水稻品种分为 5 个小区 (III_1 、 III_2 、 III_3 、 $\text{III}_{3.1}$ 、 $\text{III}_{3.2}$)， $2\times\text{CO}_2$ 时，此区大致可分为三个小区，长江以北为早稻中熟、晚稻迟熟区，长江以南早、晚稻均可种植迟熟品种，水稻可三造区 ($\Sigma T_0 > 8000^\circ\text{C}$) 的北界可北推到福州、韶关、柳州一线。

但从水分条件来看， $2\times\text{CO}_2$ 时，降水量虽有所增加 (此区可增加 70—250mm)，但有些地区仍然满足不了作物三熟的需要，尤其淮河以北地区缺水更为严重，水分是本区发展农业生产的主要限制因素。

综上所述， $2\times\text{CO}_2$ 时，由于农业气候资源在大部分地区有所改善，尤其热量条件，可使现行的一熟、二熟、三熟种植界线北移，使复种面积扩大，由于复种指数的提高，对水分需求量也将相应增加， $2\times\text{CO}_2$ 时，我国大部分地区年平均降水量虽有所增加，但增加的幅度不大，尤其北方，因北方增温幅度大，蒸发量加大，所以土壤湿度变化不大，在华北大部分地区还为下降趋势，这将是农业生产的主要限制因素，对复种面积能否扩大将起决定作用。

3. 对我国粮食产量的可能影响

本文使用 1981—1987 年东北、华北、长江中下游、华南、西南、西北、新疆青海 7 个区的平均粮食单产资料及全国平均粮食单产资料及相应时段的气象资料，首先计算出全国粮食单产趋势产量，将其作为各区的趋势产量，然后分离出各区的气象产量，通过逐步回归模拟出以下两个方程 (显著性检验均达 0.01 水平，拟合误差均小于 5%)，并用其进行产量预测。

$$\hat{y}_1 = -728.7963 + 23.5469x_1 + 36.7934x_2 - 0.0238x_3^3 - 0.0601x_2^3$$

$$\hat{y}_2 = -558.7440 + 18.7619x_1 + 5.4757x_2^2 - 0.0258x_3^3 - 0.2695x_2^3$$

式中： $\hat{y}_1$ 、 $\hat{y}_2$ 为气象产量， x_1 为夏季平均温度， x_2 为全年月平均降水量 (全年降水总量 /12，以 cm 为单位)， x_3 为年平均气温。

当 $2\times\text{CO}_2$ 时，将变化后的气象资料代入上述两个方程，将两式得的结果平均，再减去 1981—1987 年的气象产量平均值，即得到 $2\times\text{CO}_2$ 时的气象产量变化值 (相对于 1981—1987 年平均气象产量而言)，其结果如表 2。由表 2 可见， $2\times\text{CO}_2$ 对我国气象产量的影响，地区间差异较大，华南为减产，西南略有增产，西北增产较为明显，气象产量全国平均增加 9.5% 左右。

表 3 $2\times\text{CO}_2$ 我国粮食产量的变化

地区 项目	东北	华北	长江中 下游	华南	新疆、青海	西南	西北
粮食产量增(减)(kg/亩)	24.7	29.2	33.6	-30.8	22.8	5.7	33.3
增(减)%	13.0	13.7	11.6	-12.6	13.7	2.4	25.0

五、结 束 语

温室效应将使我国气温升高，有效积温、生长期增加，使现行的种植北界向北推移，作物气候生产力有所提高，这是对农业生产有利的一面，但随着气温的升高田间杂草、病虫害的发生发展也将增加和加速。由于高温使肥料分解加速，为了获得高产就需要增加施肥量，增加了农业投入。在某些地区（如华北、西北）土壤湿度是呈下降的趋势，这对农业生产也是不利的，所以温室效应对我国农业生产是有利也有弊。各个地区情况也不完全一样，对东北、新疆可能利大于弊，但对华北可能弊大于利，应该指出，本文是一个初步研究，所考虑的因子和过程是比较简单，今后还要做大量的研究工作才能得到肯定的结论，只有在科学的基础上才能为国家的农业发展决策提供依据。

参 考 文 献

- [1] 张家诚, 1988, 气候与人类, 河南科学技术出版社, 105—166.
- [2] 高素华, 1982, 我国日平均气温 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温及其持续日数的周期分析, 气象, 第3期, 20—22.
- [3] 高素华, 1986, 海南岛农业气候生产力的估算, 热带气象, 第4期, 327—335.
- [4] 中央气象局气象科学研究院天气气候研究所等, 1981, 我国农业气候资源与种植制度区划, 农业出版社, 64—65.

The Possible Green House Impact of Atmospheric CO_2 Content Increasing on the Agricultural Production in Future in China

Gao Suhua, Ding Yihui, Zhao Zongci and Pan Yaru

(Academy of Meteorological Science, SMA, Beijing 100081)

Zhang Qingchen

(State Meteorological Center, SMA, Beijing 100081)

Abstract

The problem of climatic change caused by the atmospheric CO_2 content increasing is paid close attention by people. The globe warming is a common concern of most scientists. The possible impact of the climatic change of agricultural thermal resource and agricultural production were analysed according to the possible effect estimated by Zhao Zhongci when the CO_2 content doubled. The results showed accumulated temperature and frost-free period would increase, plant boundary would move northward. The effect on grain yield in China depends on region. In Shanbei, the tendency is to increase the grain yield whereas in South China to decrease the grain yield.

Key words: Climatic change; Globe warming; Thermal resource; Plant boundary; Grain yield.