

CO₂浓度增加对植物生长和农业生产的影响

王 颖 棠

(中国气象科学研究院, 北京 100081)

提 要

评述了近年来国内外有关大气中 CO₂ 含量的增加趋势及其对植物生长和农业生产影响的研究进展。指出, 无论是“直接效应”还是“间接影响”都有有利和不利两方面的影响; 虽然, 目前有“弊大于利”的趋向性认识, 但由于科学理论上的许多不确定性, 如何进行综合评估是今后要大力深入研究的重要课题。

关键词: CO₂ 浓度 增长趋势 直接效应 间接影响

引 言

在低层大气中, CO₂ 含量按体积计一般只有 0.03%, 即 300ppm, 按质量计为 0.05%, 可谓含量极微。然而, 它是植物进行光合作用制造有机物质所必不可少的原料, 是太阳能量的转化和贮存以及地球生物圈赖以生存和平衡的基础。近 100 年来, 由于工业迅速发展, 矿物化石燃料消耗不断增长和大量砍伐森林的结果, 使大气中 CO₂ 含量以令人不安的速度不断地增加。CO₂ 问题已成为当今世界各国普遍关注的重要课题。

1 CO₂ 浓度的增加及其演变趋势

在自然条件下, 地球生物圈、大气圈、水圈和岩石圈中的碳以有机碳和无机碳的形式在不断地生成、分解、转移、再生并相互转化。矿物化石燃料的燃烧、森林的砍伐、火山爆发、动植物的呼吸以及有机物的分解等, 构成了大气中 CO₂ 的源, 而植被光合作用以及海水的溶解吸收又构成了大气中 CO₂ 最主要的汇。显然, CO₂ 的这种源和汇之间没有截然的分界, 植被、土壤和海水都既是 CO₂ 的汇, 又是二氧化碳的源, 一切均处于相互转化的动态平衡过程之中。长期以来, 人类对这种碳物

质的转化循环过程没有或很少有什么影响。但自本世纪以来, 这种面貌发生了根本的变化, 大气中 CO₂ 含量迅速增加, 它已由 17 世纪中叶工业革命前的 279ppm 增加至本世纪 80 年代初的 340ppm^[1], 90 年代初更达 354ppm^[2]; 近 10 年来 (1981—1990) 平均年增量高达 1.5ppm, 远远超过了其历史变率 (< 0.5ppm/年)。在过去的 100 多年里, 大气中的 CO₂ 浓度已增加了近 20%—25%。这说明, 人类的活动已对地球的碳循环产生了重大的影响。因此, 目前大多数科学家都比较一致地同意这样一种认识, 到下一世纪中期 (2050—2060), 大气中 CO₂ 浓度有可能达到工业革命前的两倍, 即 560ppm^[2,3,5]。

当然, CO₂ 的循环平衡过程是一个极其复杂的过程, 伴有自适应和自调节的反馈机制。但不论其历史演变实况, 还是用各种模式所进行的测算均表明, 大气中 CO₂ 浓度的增加是明显的, 并有继续发展的趋势。至于增加速率有多大, 什么时候达到倍增等, 尚有待于进一步探讨和测算。

2 CO₂ 增加对植物生长的直接影响

近年来, 人们日益关注 CO₂ 浓度增加对植物生长和农业生产的影响问题, 相应地开

展了各种模拟试验和分析评估,取得了不少很有意义的认识和结果^[6,7,8]。目前,一般认为 CO₂浓度的增加将从两方面影响植物的生长和农业生产,即对植物生长发育过程,诸如光合同化、呼吸和蒸腾等的“直接影响”和由其引起“温室效应”使气候变暖,进而导致植物生长环境发生变化的“间接影响”。显然,前者与 CO₂的吸收和利用有关;后者又与植物对环境变化的适应能力和自我调节能力有关。

2.1 大气中 CO₂浓度增加对植物生长的影响并没有一个总的规律可循,关键在于不同品种的作物在不同环境条件下其气孔的活动功能是不相同的。据研究,无论是 C₃或 C₄作物,其对外界 CO₂浓度增加的反应有以下3种:

2.1.1 气孔具有保护性的 CO₂调节功能。随着外界 CO₂浓度的增大,其部分气孔关闭,以保持气腔内有一个稳定的 CO₂浓度,进而保持作物叶片有一定常的光合同化率。由于部分气孔关闭,叶片内外交流的扩散阻力增大,致使蒸腾下降,提高了水分的利用率。C₃作物气腔内的这一稳定的 CO₂浓度为210ppm,而 C₄作物为120ppm(图1)^[9]。

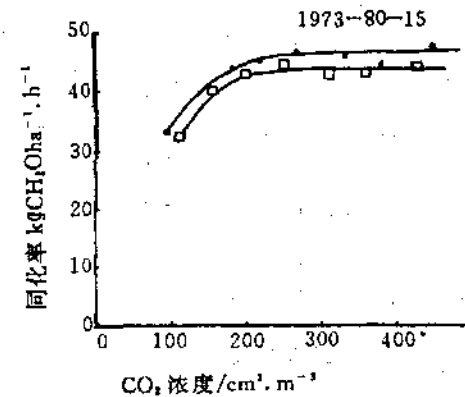


图1 玉米(幼株□和老株·)CO₂净同化与外界 CO₂浓度的关系

2.1.2 气孔不具有 CO₂调节功能。这种作物随着外界 CO₂浓度的增大,提高了叶片内外

的浓度梯度和向叶内的扩散(吸收)率,从而导致光合同化率的提高;但蒸腾却明显增大,水分利用率大大下降。因此,水分供应成了限制光合同化率的决定性因素。这种作物具有较高的 CO₂饱和点,如向日葵叶片可达900—1000ppm(图2)^[10]。

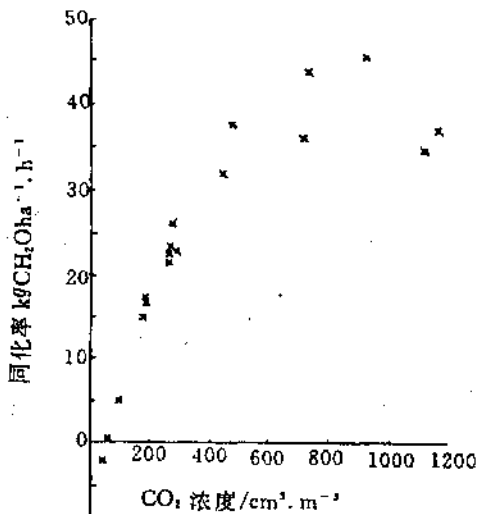


图2 向日葵单片叶的 CO₂净同化与外界 CO₂浓度的关系

2.1.3 介于上述两者之间的中介性调节功能。这种作物随着外界 CO₂浓度的增大,既能直接受益,提高光合同化率,又部分地调节关闭气孔,也就是说,使气孔内外的 CO₂浓度保持一定的比例;C₃作物为0.7, C₄作物为0.4,如大麦(图3)^[11]。

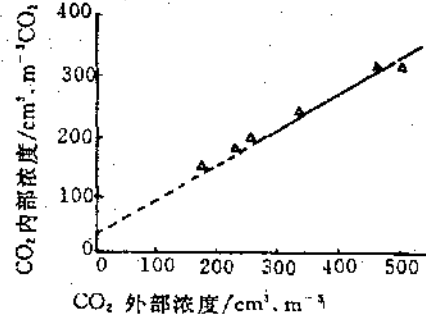


图3 大麦叶片内外 CO₂浓度的关系

不难看出,上述第1种作物可在水分亏缺地区因 CO₂浓度增加而提高产量;而第2种作物只有在水分供应充分得到满足的条件下,才能因 CO₂浓度的提高而提高光合同化率。换言之,前者提高了水分利用率,后者的水分利用率却是十分低的(表1)^[10]。

表1 叶面积指数为4的 C₃作物冠层日 CO₂净同化量、蒸腾量以及蒸腾/同化比的模拟结果

北纬	天气类型	CO ₂ 浓度 /ppm	气腔内 CO ₂ 稳定			气腔内外 CO ₂ 浓度 稳定为一定比例			没有调节功能的气孔		
			y ₁	y ₂	y ₃	y ₁	y ₂	y ₃	y ₁	y ₂	y ₃
10°	晴天	330	659	4.2	64.2	672	4.6	68.2	771	8.0	104.2
	云天	330	298	1.9	62.7	304	2.2	73.0	408	7.0	172.9
30°	晴天	330	753	4.8	64.3	769	5.2	68.1	873	8.5	97.2
	云天	330	330	2.0	61.8	337	2.4	72.2	450	7.3	162.0
50°	晴天	330	785	5.0	63.2	803	5.4	67.0	919	9.2	100.0
	云天	330	329	2.1	63.2	335	2.5	73.5	453	8.0	177.2
10°	晴天	430	663	2.6	39.8	805	4.2	52.3	942	8.0	82.5
	云天	430	298	1.2	40.3	317	1.9	58.9	456	7.0	154.5
30°	晴天	430	759	3.0	39.8	927	4.8	52.2	1073	8.5	82.5
	云天	430	330	1.8	39.1	352	2.0	57.6	503	7.3	144.6
50°	晴天	430	791	3.1	39.1	959	5.0	51.7	1122	9.2	81.8
	云天	430	329	1.3	40.7	348	2.1	59.2	502	8.0	159.4

注: y₁逐日净同化量,单位: kgCO₂/公顷·日; y₂逐日蒸腾量,单位: mm/日; y₃蒸腾/同化,单位: kg 水/kgCO₂

2.2 C₃与 C₄作物对 CO₂浓度增加的另一个不同的反应是 C₃作物的光呼吸耗能减少,而 C₄作物由于本身就有一种减少光呼吸的生化过程,因此对 CO₂浓度增加的反应就不敏感^[2]。其结果是 C₃作物的光合同化在 CO₂浓度增大时大大提高,致使 C₄作物在当前 CO₂浓度下的光合同化率高的优势不复存在。这种变化(即不同的反应)将严重影响大田中杂草(属 C₃作物)和重要作物玉米、高粱(属 C₄作物)之间的平衡现状,共同竞争有限的养分和水分,形成杂草害。

2.3 在试验条件下,温室里生长的农作物由于 CO₂含量超过大气正常含量水平100—300ppm 时,每增加1%的 CO₂,光合作用会提高0.5%;也就是说,当大气中 CO₂含量超过400ppm 时(约增加20%),光合作用可提高约10%^[12]。1982年的有关“大气 CO₂增加与植物生产力”国际讨论会认为:CO₂浓度增加

1倍,则 C₃植物光合固碳量可增加50%,经济产量与干物质量可增加20%—45%;C₃与 C₄植物的水分利用率可明显提高;马铃薯等块根产量可大大提高;豆科植物的生物固氮能力也将增强^[4]。但在农业实践中,这种愿望并不总是能实现的。作物生长往往更受制于土壤的养分和水分供应,不同作物对有限资源的竞争将大大影响对 CO₂浓度增加的有利反应,因此 CO₂浓度增加对植物生长的直接效应究竟是正还是负尚难以确定,至少在量值上比试验条件下观测到的要小。

3 对农业生产的间接影响

大气中 CO₂含量增多,引起“温室效应”使气候变暖,必将对植物生长和农业生产产生影响。但要评估这种潜在影响却是非常困难的。因为农业生产本身就相当复杂,作物品种繁多,种植方式又十分不同,在相当程度上

又受制于各种社会经济发展因素;其次,无论是“温室效应”即气候变暖的影响机制,还是气候变暖的预测模拟等均存在许多科学上的不确定性。但是大量研究表明,温室效应使气候变暖是不容置疑的趋势,而且这种增暖主要将发生在较高纬度地区,尤其在冬季,可全球降水的变化不大(或略有增加),在低纬度地区却有可能使气候变得更为干旱。显然,这种气候变化必将对地球生物圈一生态系统的生存和平衡以及农业的持续发展产生重大的影响^[1,2,6-8,13]。

3.1 气候变暖将使现有的农业气候带和各种种植熟制的北界向北推移,从而使北美、原苏联以及北欧各国的小麦种植区域向北扩大,种植条件变得有利^[2,7];中国的三熟制北界将由目前的长江流域北移至黄河流域,大大扩大了三熟制的种植区域,提高了复种指数。困扰北部寒冷农业区的低温冷害将会获得明显缓解。

3.2 农业气候热量资源将会更丰富,积温增多,生长期延长,霜冻期缩短等将为生产力的提高创造有利条件。高纬度地区的生产力增

长幅度要比低纬度地区的增长幅度大得多^[4,8]。

3.3 在水分和养分充分保证的条件下,有利于植被初级生产力以及作物最终产量的提高。文献^[8]根据模式推算,CO₂倍增可导致整个北半球的植被生产力提高约28%;早先,美国的一项研究也有类似的结果,即提高约26.6%^[14];日本的研究认为日本的初级生产力可提高9%^[15]。近年来,另一研究报告提出,若大气中CO₂含量增加至400ppm,则美国三大主要粮食作物(小麦、玉米和大豆)的产量可提高2%—8%^[16]。中国的类似研究还表明,温室气候效应对作物生产的影响将因作物品种、种植地区和生长季节的不同而异。在当前农业耕作体系和农技措施水平下,温室效应对玉米生产影响最大、冬小麦次之、水稻最小;地区上,将使华北北部和东北大部(约38°N以北)的农业生产环境气候条件变得有利,江南地区(25—32°N)变化不大,最不稳定的是华北中南部和江淮一带(32—38°N之间);时间上,以秋季的影响最为明显(表2)^[27]。

表2 气候变化对中国部分地区水稻、冬小麦和玉米产量的可能影响*

		温度上升1℃		温度上升2℃		温度上升3℃	
		降水不变	降水增加10%	降水不变	降水增加10%	降水不变	降水增加10%
水稻	湖南、江西	0.8	0.8	1.7	1.6	2.5	2.4
	湖北、安徽、江苏	0.5	0.0	0.9	0.4	1.4	0.9
	浙江、上海	0.7	0.5	1.3	1.1	2.0	1.7
冬小麦	淮河以北(春季)			-3.0	-2.9	-4.5	-4.4
	(秋季)			11.1	11.8	16.7	17.3
	淮河以南(春季)			2.4	1.9	3.6	3.1
	(秋季)			-4.1	-4.2	-5.6	-6.0
玉米	东北大部			25.0	23.4	37.5	35.9
	东北西南部			-5.6	-6.5	-8.4	-9.3

* 假定目前的种植熟制、地区、品种和农技措施等条件不变,以80年代产量水平的百分比表示。

3.4 值得指出的是,变暖的气候同样也会给农业生产带来一些不利影响。温度升高会使蒸发耗水大大增多。对那些水分原已亏缺的

地区来说,水分胁迫更为严重,在某种程度上会削弱作物因CO₂浓度增加而提高对水分利用率的直接效应;加之,农业干旱频率有可能

增加,最终影响作物产量。表3显示了在温度上升1℃和降水减少10%条件下,美国部分州、区三大作物的可能减产程度^[4]。对于中国三熟制中的主要作物——水稻来说,这种气候变化很有可能使三熟种植区域扩大的有利影响难以实现,甚或相反^[2]。温度升高还将直接影响作物光合同化与呼吸消耗,尤其是后者,将随温度的上升呈指数性递增,大大消耗了光合作用的同化产物。在纬度较低的农业区,温室效应还将对作物生长构成不利的高温威胁,加速作物的生育进程,使其来不及累积较多的光合产物,形成饱满的籽粒产量。此外,这种温室效应还将有利于病虫害和杂草害的发生和发展,使有关农药的药性下降。这些不利因素将使作物的最终产量受到不少损失,有人估计可达20%。显然,将大大抵消对农业生产的有利影响^[2,7,12]。

表3 气候变化与农业生产率*

作物与州区	目前产量 百磅/公顷	温度上升1℃和降水减少 10%估算的产量变化 百磅/公顷	%
春小麦			
红河山峡(谷)	18.2	-1.32	-7
北达科他	14.9	-1.77	-12
南达科他	12.0	-1.36	-11
冬小麦			
内布拉斯加	21.3	-1.04	-5
堪萨斯	21.3	-1.04	-5
俄克拉何马	19.7	-0.37	-2
大豆			
衣阿华	23.6	-1.55	-7
伊利诺斯	21.9	-0.82	-4
印第安纳	22.0	-1.25	-6
玉米			
衣阿华	72.7	-2.36	-3
伊利诺斯	68.8	-1.72	-3
印第安纳	65.3	-2.80	-4

* 假设其它条件(品种、地区等)不变,以多重回归计算的结果

4 结语

综上所述,大气中 CO₂含量的增加对植物生长和农业生产的影响是一个十分重要而又复杂的问题,必须引起人们的高度重视和关注。国内外虽然已对此开展了一些探索和研究,但大气中 CO₂的源汇及其转化和动态平衡、其温室效应气候变化的机制与模拟预测,以及对植物生长和农业生产的复杂影响等问题还不十分清楚,科学理论上存在有许多不确定性,尤其是下世纪中 CO₂浓度的倍增时间及其对气候的影响程度尚难具体确证。虽然如此,但对于由于人类活动大气中 CO₂含量将会继续增加的看法是比较一致的,它对气候产生“温室效应”也是毋庸置疑的。至于 CO₂增多对植物生长和农业生产的影响,虽然目前较普遍的看法是弊大于利。但究竟将如何影响植物的生长、发育和产量的形成、品质的好坏、农业生产耕作体系以及生态环境的动态平衡等等还研究不多,特别是如何从正反两方面,加之社会经济因素对农业生产影响进行综合评价,设计并及时采取各项有力的适应性对策,更是今后要着重开展研究的一个重要课题。

参考文献

- 1 王绍武. 大气中二氧化碳浓度增加对气候的影响. 地理研究, 1987, 6(4).
- 2 Hulme, M., Leemans, R., Zong-ci Zhao, Futang Wang, Markham, A., Wigley, T., Yihui Ding & Tao Jiang. Climate change due to the greenhouse effect and its implications for China. WWF International, Gland Switzerland, 1992.
- 3 Houghton, J. T., Callander, B. A. and Varney, S. K. (eds.). Climate change 1992: the Supplementary report to the IPCC scientific assessment. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 200pp., 1992.
- 4 Natl. Acad. Sci. (USA). Changing climate—Report of carbon dioxide assessment committee. National Academy

- Press, Washington D. C., 1983.
- 5 姚檀栋. 二氧化碳对气候的影响及气候趋势问题. 地理科学, 1987, 7(2).
 - 6 Parry, M. L., Porter, J. H. & Carter, T. M.. Climate change and its implications for agriculture. Outlook on agriculture, 1990, 19(1).
 - 7 Rosenzweig, C. E., Parry, M. L. & Downing, T. E.. Implications of climate change for international agriculture: global food production, trade and vulnerable regions. Final report to the US Environmental Protection Agency, Washington DC, 1992.
 - 8 Локшина, И. Ю. Изменение Продуктивности растительности при удвоении концентрации углекислого газа в атмосфере метеорология гидрология 1986, 10.
 - 9 Laar, H. H. van, Kremer, D. & Wit, C. T. de. Maize. In: Crop photosynthesis, methods and compilation of data obtained with a mobile field equipment, Ed. T. Alberda, Agric. Res. Rep. 865, Pudoc, Wageningen, 1977.
 - 10 Keulen, H. van, Laar, H. H. van, Louwerse, W. and Goudriaan, J.. Physiological aspects of increased CO₂ concentration. Experiment 36, Birkhauser Verlag, Basel (Schweiz), 1980.
 - 11 Louwerse, W.. The effect of CO₂ concentration on the stomatal behavior of some C₃- and C₄-plants species, Plant, Cell and Environment, submitted, 1980.
 - 12 William, W. K. and Robert, S.. Climate change and society-consequences of increasing atmospheric carbon dioxide. Westview Press, Boulder, Colorado, 1981.
 - 13 Emanuel, W. R., Shugart, H. H. and Stevenson, M. P.. Climate change on the broad scale distribution of terrestrial ecosystem complexes. Climate Change, 1985, 7.
 - 14 Keeling, C. D. and Bacastaw, R. B.. Impact of industrial gases on climate. In: Energy and Climate, NAS Washington, 1977.
 - 15 Uchijima, Z. and Seino, H.. Probable effects of CO₂-induced climate change on agroclimatic resources and net primary productivity in Japan. Bulletin of the National Institute of Agro-Environmental Sciences, 1988, 4.
 - 16 Okamoto, K., Ogiwara, T., Yoshizumi, T. & Watanabe, Y.. Influence of the greenhouse effect on yield of wheat soybean and corn in the United States for different energy scenarios. Climate Change, 1991, 18.
 - 17 Wang Futang, Wang Shili, Li Yuxiang and Zhong Meina. A modelling experiment of effects of climate changes on the food production in the major agricultural areas of east part of China. In: Markham, A. and Yihui, D. (eds.) Proceedings of the SMA/WWF Conference on Environment and Climate Change: the Challenge for China, WWF International, Gland, Switzerland, 1992.

Impacts of CO₂ Concentration Increase in Atmosphere on Plant Growth and Agricultural Production

Wang Futang

(Chinese Academy of Meteorological Science, Beijing 100081)

Abstract

The advances in researches on increasing trend of CO₂ concentration in atmosphere and its impacts on plant growth and agricultural production in recent years is briefly reviewed. It is noticed that either so-called "direct effect" or "indirect impact", all have two implications, both positive and negative. Although, at present, there is a more or less general understanding of "negative larger positive", however, because of a lot of uncertainties in scientific theory and knowledges, how to synthetically estimate the impact of CO₂ increase in atmosphere on plant growth and agricultural production is still a very important theme to be studied further in the future.