

CO₂ 和 O₃ 浓度倍增对作物影响的研究进展*

王春乙 白月明 郑昌玲 郭建平 温 民 高素华 黄 辉

(中国气象科学研究院, 北京, 100081)

摘 要

文中利用自行设计的 OTC-1 型开顶式气室进行了 9 a 的田间试验, 取得了一批质量可靠的试验数据, 分析了 CO₂ 浓度倍增对大豆、冬小麦、棉花、玉米、春小麦和谷子的生物量、产量及品质的影响, 结果表明 CO₂ 浓度倍增对上述 6 种作物的生物量及产量的影响均是正效应, 对冬小麦、棉花和谷子品质的影响可能是有利的, 对玉米品质的影响可能是不利的, 对大豆的影响不大; 分析了 O₃ 浓度倍增对冬小麦、水稻、油菜和菠菜生物量、产量及品质的影响, 结果表明 O₃ 浓度倍增对上述 4 种作物生物量的影响均是负效应, 对冬小麦和水稻的产量影响是负效应, 但是冬小麦和水稻籽粒中粗蛋白和 17 种氨基酸含量都有所增加; 分析了 CO₂ 和 O₃ 浓度复合倍增对大豆生物量、产量及品质的影响, 结果是生物量和产量呈增加趋势, 说明了 CO₂ 的正效应大于 O₃ 的负效应。采用作物模型数值模拟方法, 分析了 CO₂ 和 O₃ 浓度倍增对冬小麦生物量及产量的影响。

关键词: CO₂, O₃, 倍增, 作物, 影响。

1 引 言

人类活动对气候变化以及气候变化对农田生态系统影响已引起众多科学家和政府的关注^[1]。由于人类活动加剧, 使近地层各种大气成分含量发生了变化, 其中 CO₂, O₃ 等温室气体浓度增加日趋明显, 事实表明已对农作物生长发育及产量造成一定的影响^[2~7]。

大气中 CO₂ 浓度在工业革命前约为 265×10^{-6} , 1958 年约为 314×10^{-6} ^[8], 1990 年全球大气中的 CO₂ 浓度约为 353×10^{-6} , 目前已接近 370×10^{-6} , 若按现在的速度增加, 2050 年大气中 CO₂ 浓度将倍增^[9~10]。O₃ 不仅是温室气体, 而且还是最主要的光化学污染物^[11]。近年来, 对流层 O₃ 浓度变化每年以 0.5% 的速率增长^[12], 近地层 O₃ 也呈明显的增加趋势, 预计到 2020 年对流层 O₃ 浓度可能增加 50%^[13]。

CO₂ 是作物光合作用的原料, CO₂ 浓度增加及其温室效应引起的气候变化对农作物产量将产生一定的影响, 该项研究近 10 a 急剧增加, Kimball^[14] 从 37 种作物的 70 多份研究报告中整理了 430 多个实

例, 系统地研究了 CO₂ 浓度增加对农作物的影响, 结果表明, 若 CO₂ 浓度倍增则作物产量增加 30%。

O₃ 是一种强氧化剂, 对农作物具有较强的毒害作用。研究表明, O₃ 是通过气孔进入作物体内, 伤害作物组织, 如增加细胞膜透性, 细胞离子外渗, 钝化活性酶及光合作用碳还原速度降低等^[15]。

在 CO₂ 和 O₃ 浓度快速增加情况下, 中国主要作物产量和品质将如何变化, 需要通过试验才能做出确切回答, 对这一问题的深入探讨将对我国有关部门制定相应的农业政策, 粮食进出口计划以及预测未来农业发展趋势都有着重要意义。本文主要利用自行设计的 OTC-1 型开顶式气室 9 a 的试验资料, 讨论了 CO₂ 和 O₃ 浓度倍增对中国主要作物的影响, CO₂ 和 O₃ 浓度复合倍增对作物的影响, 利用模型评估 CO₂ 和 O₃ 浓度变化对中国农业生产的可能影响。

2 试验概况

2.1 OTC-1 型开顶式气室的结构及性能

2.1.1 OTC-1 型开顶式气室的结构

OTC-1 型开顶式气室的结构由框架、室壁、过

* 初稿时间: 2004 年 7 月 20 日; 修改稿时间: 2004 年 8 月 10 日。

资助课题: 国家自然科学基金重大项目(49899270), “八五”科技攻关“全球气候变化预测影响和对策研究”项目。

滤系统、风机和通风管道5个部分组成^[16]。主体部分为正八边形圆铁管框架结构,室壁为无色透明玻璃,高2.4 m,边长1.15 m,体积 16 m^3 (相当于直径为3 m的直筒圆柱形气室)。为保证气室内供试气体浓度和气象要素分布均匀并尽可能地降低气室内外气象要素的差异,我们对 Heagle^[17], Mandle^[18] 等所设计的开顶式气室的通风方式做了明显的改进。具体做法是,供试气体首先进入气室栅板的底部空间(栅板离地面50 cm),再从栅板上均匀分布的3000多个直径为12 mm的孔眼自下而上进入气室。

2.1.2 OTC-1型开顶式气室的性能

气室之间温湿度的分布特征:在气室中央高度为50和150 cm处,对温、湿度进行自动采集,每6 min取样1次(气室内无作物)。结果如下,在不通风情况下,50和150 cm处两个气室平均温度和平均相对湿度分别相差0.3,0.1 °C和0.2%,0.4%;在通风情况下,50 cm高处上述两个要素分别相差0.3 °C,1.3%^[19]。表明气室之间温、湿度分布基本均匀。

气室内外温、湿度的分布特征:5个气室呈东西向一字排列,间距5 m,在气室内中央2 m高度处,各设置1个测点;同时在气室南面自然农田设置3个测点,高度相同,位置取自等边三角形的3个顶点,三角形边长2 m,用于测定气室外温湿度分布特征,每6 min取样1次,连续测定18 d(每天测定时间为09:00~16:00)。结果为平均气温相差2.1 °C,平均相对湿度相差3.2%^[19],表明气室内外温湿度差异较小,接近自然农田。

气室内CO₂与O₃浓度分布特征:在气室内50和100 cm高度上,分别在不同方位确定5个测点,结果在50 cm处,水平5个测定CO₂,O₃浓度的平均值、标准差、变异系数分别为 618.1×10^{-6} , 5.09×10^{-6} ,0.82%和 105.1×10^{-9} , 1.58×10^{-9} ,1.50%;在100 cm处,水平5个测定CO₂,O₃浓度的平均值、标准差、变异系数分别为 610.6×10^{-6} , 8.24×10^{-6} ,1.35%和 96.6×10^{-9} , 2.03×10^{-9} ,2.10%^[20,21]。表明气室内不同高度CO₂,O₃浓度的水平分布十分均匀。

2.2 试验设计

试验地点在河北省定兴县固城镇,设备为OTC-1型开顶式气室,试验作物采用盆栽方式,盆顶口

直径为36 cm,深26 cm。CO₂试验设置处理1个,浓度为 700×10^{-6} ,对照1个(仅通风,不通入供试气体),试验期间本底CO₂平均值约为 350×10^{-6} (文中取为 350×10^{-6})。O₃试验设置处理1个,浓度为 100×10^{-9} ,对照1个(活性炭过滤),试验期间本底O₃平均值约为 50×10^{-9} (文中取为 50×10^{-9})。CO₂,O₃复合效应试验设置处理2个,1个为CO₂浓度为 700×10^{-6} ,O₃为 100×10^{-9} ,简称为固定倍增;另1个为在试验期间CO₂,O₃浓度分5个步长达到倍增,CO₂的步长 70×10^{-6} ,O₃的步长为 10×10^{-9} ,简称为逐步倍增,对照1个。

2.3 CO₂,O₃浓度的生成、控制与采集

供试CO₂为钢瓶装纯CO₂,O₃由高纯度O₂经QHGH-1型高频O₃发生器生成,将不同浓度的CO₂,O₃由BBY-10型转子流量计定量控制后,再经过X-100军用炭滤器过滤后送入气室。每个气室内的CO₂,O₃浓度分别由QGS-08型红外CO₂分析仪和APOH-350型环境O₃分析仪进行监测。每天通气7 h(北京时间09:00~16:00),试验期间CO₂,O₃浓度控制稳定,变幅在±5%以内,水肥供应适宜,农田管理措施相同,无病虫害及杂草影响。

2.4 供试作物及试验简介

(1) 1992~1996年CO₂浓度倍增对农作物的影响试验(表1)。

(2) 1998~2000年O₃浓度倍增对农作物的影响试验(表2)。

CO₂,O₃浓度倍增的复合效应对大豆影响的试验是在2001年进行的。供试作物为夏大豆(品种为中黄14),于2001年6月22日播种,7月13日移入气室,7月14日开始通气,9月25日停止通气,CO₂,O₃高浓度胁迫71 d。

3 结果分析

3.1 CO₂和O₃浓度倍增对作物的影响

3.1.1 CO₂浓度倍增对作物生物量及产量的影响

收获时,对大豆、冬小麦、棉花、玉米、春小麦和谷子总生物量和产量进行了测定。表3给出了CO₂浓度倍增对上述6种作物总生物量和产量的影响,从表3可知,随CO₂浓度增加,作物的总生物量和产量随之增加。对总生物量来说,6种作物增长幅度略有不同,大豆的增长率最高为87.4%,棉花和冬小麦次之,分别为48.0%和37.4%,谷子最小为

表 1 CO₂ 浓度倍增对农作物影响的试验简介Table 1 The brief introduce of experiments of effects of double CO₂ on crops

	大豆	冬小麦	棉花	玉米	谷子	春小麦
播种日期	1992 年 6 月 20 日	1992 年 10 月 1 日	1993 年 5 月 1 日	1994 年 6 月 10 日	1995 年 6 月 13 日	1996 年 3 月 7 日
移入气室日期	1992 年 7 月 21 日	1993 年 4 月 5 日	1993 年 6 月 25 日	1994 年 6 月 29 日	1995 年 6 月 30 日	1996 年 4 月 8 日
开始释放 CO ₂ 日期	1992 年 7 月 22 日	1993 年 4 月 6 日	1993 年 6 月 26 日	1994 年 6 月 30 日	1995 年 7 月 1 日	1996 年 4 月 9 日
结束释放 CO ₂ 日期	1992 年 9 月 21 日	1993 年 6 月 4 日	1993 年 9 月 24 日	1994 年 9 月 10 日	1995 年 8 月 26 日	1996 年 6 月 7 日
释放 CO ₂ 天数 (d)	62	60	91	73	57	60
供试作物品种	京豆 1 号	京冬 6 号	京杂 29 号	3315 号	181 号	7901 号
C 代谢途径	C ₃	C ₃	C ₃	C ₄	C ₄	C ₃

表 2 O₃ 浓度倍增对农作物影响的试验简介Table 2 The brief introduce of experiments of effects of double O₃ on crops

	冬小麦	水稻	油菜	菠菜
播种日期	1998 年 10 月 3 日	1999 年 5 月 1 日	2000 年 8 月 28 日	2000 年 8 月 28 日
移入气室日期	1999 年 3 月 31 日	1999 年 7 月 1 日	2000 年 9 月 20 日	2000 年 9 月 20 日
开始释放 O ₃ 日期	1999 年 4 月 3 日	1999 年 7 月 4 日	2000 年 10 月 1 日	2000 年 10 月 1 日
结束释放 O ₃ 日期	1999 年 6 月 4 日	1999 年 10 月 1 日	2000 年 10 月 31 日	2000 年 10 月 31 日
释放 O ₃ 天数	57	90	31	31
供试作物品种	京冬 6 号	中作 9321	5 月蔓	中菠 1 号
C 代谢途径	C ₃	C ₃		

表 3 CO₂ 浓度倍增对作物总生物量及产量的影响(g/株)Table 3 Effects of double CO₂ on total biomass and yields of crops (g/plant)

项目	大豆		冬小麦		棉花		玉米		春小麦		谷子	
	T	Y	T	Y	T	Y	T	Y	T	Y	T	Y
处理 700×10 ⁻⁶	34.3	12.2	14.7	5.9	124.3	20.9	319.8	149.0	13.0	7.0	12.2	4.2
对照 350×10 ⁻⁶	18.3	7.3	10.7	4.6	84.1	16.4	282.1	121.2	10.1	5.8	11.5	3.5
增长率(%)	87.4	67.1	37.4	28.3	48.0	27.4	13.4	22.9	28.7	20.7	6.1	20.0

注: T 为总生物量; Y 为产量, 其中棉花为皮棉产量。

6.1%。对产量来说, CO₂ 浓度增加, 6 种作物的产量均呈增加趋势, 其中大豆增加最多, 增长率为 67.1%, 冬小麦和棉花增长率较为相近, 为 27%~28%, 玉米、春小麦和谷子增长率较为相近, 为 20%~23%。这表明 CO₂ 浓度倍增对不同作物的产量影响有一定差异, 其中, C₃ 类作物产量增长率大于 C₄ 类作物, 这可能是由于 C₃ 和 C₄ 类作物对 CO₂ 的同化途径和 CO₂ 浓度饱和点不同决定的; 在 C₃ 类作物中, 双子叶作物产量增长率明显高于单子叶作物, 这可能是由于作物功能叶片的光合作用速率不同决定的^[6]。

3.1.2 CO₂ 浓度倍增对作物品质的影响

大豆、冬小麦、玉米和谷子的籽粒品质由农业部品质监督检验测试中心检测, 棉花品质由中国农业科学院河南棉花研究所检测, 结果见表 4 和 5。从表 4 中可以看出, CO₂ 浓度倍增, 大豆籽粒中的粗蛋

白含量没有变化, 粗脂肪呈下降趋势, 不饱和酸含量略有增加, 饱和酸含量降低, 其量级大于不饱和酸, 总体而言, CO₂ 浓度倍增对大豆品质的影响不大。在冬小麦籽粒中, 粗蛋白、粗淀粉和赖氨酸含量 3 个指标均呈增加趋势, 粗蛋白的增长率大于粗淀粉, 可见 CO₂ 浓度倍增对冬小麦品质的影响可能是有利的。在玉米籽粒中, 粗蛋白、粗纤维、总糖含量和 17 种氨基酸含量 4 个指标均呈下降趋势, 其中粗纤维下降了 34.6%, 粗脂肪、粗淀粉呈增加趋势, 说明了 CO₂ 浓度倍增对玉米品质的影响可能是不利的。在谷子籽粒中, 粗蛋白、粗脂肪、17 种氨基酸、钙和铁含量 5 个指标均有所增加, 仅粗淀粉含量有所下降, 说明了 CO₂ 浓度倍增对谷子品质影响可能是有利的。从表 5 中可看出, 棉花的纤维长度、整齐度、伸长度和马克隆值(系指 1 根 1 英寸棉纤维的微克数)均有所增加, 仅强度一项略有下降, 说明了 CO₂ 浓

表4 CO₂浓度倍增对作物品质的影响Table 4 Effects of double CO₂ on quality of crops

	大豆			冬小麦			玉米			谷子		
	处理	对照	增长率(%)	处理	对照	增长率(%)	处理	对照	增长率(%)	处理	对照	增长率(%)
粗蛋白(g/100g)	41.0	41.0	0.0	15.79	15.44	2.3	9.79	10.53	-7.5	8.46	7.94	6.5
粗淀粉(g/100g)				62.14	61.62	0.8	74.42	72.78	2.3	66.81	70.6	-4.6
粗脂肪(g/100g)	21.5	22.1	-2.7				4.70	4.46	5.4	4.04	3.94	2.5
粗纤维(g/100g)							1.38	2.11	-34.6			
总糖(g/100g)							7.01	8.8	-2.03			
赖氨酸(g/100g)				0.27	0.24	12.5						
17种氨基酸(g/100g)							9.56	9.98	-4.2	8.14	7.87	3.4
不饱和酸(g/100g)	85.1	84.6	0.5									
饱和酸(g/100g)	14.9	15.4	-3.0									
钙(μg/g)										183.6	160.0	14.8
铁(μg/g)										46.9	32.1	46.5

注: 处理 CO₂ 浓度为 700×10⁻⁶; 对照 CO₂ 浓度为 350×10⁻⁶

表5 CO₂浓度倍增对棉花品质的影响Table 5 Effects of double CO₂ on quality of crops

	长度(cm)	整齐度	强度	伸长率	马克隆值(μg/cm)
处理	28.9	54.3	23.7	7.8	5.6
对照	27.1	53.9	24.9	7.7	5.2
增长率(%)	6.6	0.7	-4.8	1.3	7.7

注: 处理 CO₂ 浓度为 700×10⁻⁶; 对照 CO₂ 浓度为 350×10⁻⁶

度倍增对棉花品质的影响可能是有利的。

3.1.3 O₃浓度倍增对作物总生物量、产量及品质的影响

收获时,对冬小麦、水稻、油菜和菠菜的总生物量进行测定,对冬小麦和水稻进行了考种分析,品质分析是在农业部谷物品质监督测试中心进行的,结果见表6。从表6可以看出,O₃浓度倍增,冬小麦和水稻总生物量和产量呈下降趋势,冬小麦和水稻总生物量和产量的减产率之比分别为3.09和3.46,说明了冬小麦对O₃浓度倍增的敏感性大于水稻。

菠菜和油菜总生物量减产率之比为1.59,说明菠菜对O₃浓度倍增的敏感性大于油菜,在品质分析中,冬小麦籽粒中17种氨基酸和粗蛋白的含量均呈增加趋势,增加幅度十分相近,为50%左右;同样,水稻籽粒中,17种氨基酸和粗蛋白含量也呈增加趋势,增加幅度十分相近,为5%左右。总之,O₃浓度倍增,冬小麦和水稻产量下降,但17种氨基酸和粗蛋白含量有所增加,冬小麦产量减产率高于水稻,而17种氨基酸和粗蛋白的增长率冬小麦又高于水稻。

表6 O₃浓度倍增对作物总生物量、产量和品质的影响Table 6 Effects of double O₃ on total biomass, yields and quality of crops

	冬小麦			水稻			油菜			菠菜		
	处理	对照	增长率(%)	处理	对照	增长率(%)	处理	对照	增长率(%)	处理	对照	增长率(%)
总生物量(g/株)	8.03	13.91	-42.27	12.19	14.12	-13.67	40.73	78.34	-48.0	4.30	17.98	-76.08
产量(g/株)	2.53	6.11	-58.59	4.17	5.02	-16.93						
17种氨基酸(g/100g)	19.76	13.15	50.26	6.62	6.30	5.08						
粗蛋白(g/100g)	20.10	13.41	49.88	8.47	8.08	4.83						

注: 处理 O₃ 浓度为 100×10⁻⁹; 对照 O₃ 浓度为 50×10⁻⁹

3.2 CO₂, O₃浓度复合倍增对作物的影响

收获时,测定大豆总生物量,进行考种分析,并

在农业部作物品质监督检验测试中心进行品质分析(表7)。从表7可以看出,CO₂,O₃固定倍增和逐步

倍增,大豆总生物量比对照分别增加 20.96% 和 14.78%,大豆产量比对照分别增加 6.0% 和 1.0%,无论是固定倍增还是逐步倍增,大豆总生物量和产量呈增加趋势,但固定倍增的增长幅度要大于逐步倍增,说明大豆总生物量和产量的增加主要是来自 CO₂ 的正效应贡献,且固定倍增 CO₂ 的正效应要大

于逐步倍增。在大豆籽粒中,粗蛋白的含量在固定倍增和逐步倍增时均呈减少趋势,粗脂肪含量均呈增加趋势,增加和减少的幅度大致相同,为 5% 左右,说明 CO₂, O₃ 固定倍增和逐步倍增对大豆品质影响不大。

表 7 CO₂, O₃ 浓度复合倍增对大豆总生物量、产量及品质的影响

Table 7 Effects of doubled CO₂ and O₃ interaction on total biomass, yields and quality of soybean

	总生物量(g/株)	产量(g/株)	粗蛋白(g/100g)	粗脂肪(g/100g)
固定倍增	35.30(21.0)	10.6(6.0)	35.97(3.1)	22.60(6.1)
逐步倍增	33.49(14.78)	10.1(1.0)	36.84(0.7)	21.5(2.2)
对照	29.18	10.0	37.11	21.03

注:() 内数据为增长率(%)

3.3 CO₂, O₃ 浓度倍增对作物影响的数值模拟分析

3.3.1 模型思路

在试验研究的基础上,尝试利用数值模拟的方法评估 O₃ 和 CO₂ 浓度倍增对作物的影响。以农田生态系统碳、氮生物化学模型(简称 DNDC 模型)^[22]为基础,对其中的作物子模型进行改进,进行 O₃ 对冬小麦光合作用和叶片生长影响的模拟,结合原模型中有关 CO₂ 对冬小麦光合作用影响的模拟,建立反映 O₃ 和 CO₂ 浓度变化对冬小麦生长发育和产量形成影响的作物模型。

引进刘建栋等^[23]的研究成果,将其建立的 O₃ 浓度对叶片光合作用的直接影响引入到冬小麦生长模式中。

(1) O₃ 浓度变化对光合作用的影响系数 $f(O_3)$

$$f(O_3) = \left[\frac{A}{1 + (C(O_3))/[C(O_3) b]^p + B]/(A + B)} \right] \quad (1)$$

其中 $C(O_3)$ 表示 O₃ 浓度; $A, B, C(O_3) b, p$ 表示模型参数。

则冬小麦光合强度为

$$P_{O_3} = P_0 \times f(O_3) \quad (2)$$

模式中 $A = 9.2, B = 8.7, C(O_3) b = 141.6, p = 1.7$ 。

利用试验数据建立 O₃ 对叶片生长影响系数 y_1 和叶片衰老影响系数 y_2

$$y_1 = 1.7028 - 0.3635 \times \ln(C(O_3)) \quad (3)$$

$$y_2 = 0.7308 \times e^{0.127 \times (C(O_3))} \quad (4)$$

$C(O_3)$ 表示 O₃ 浓度($30 \times 10^{-9} \sim 300 \times 10^{-9}$)。将此

系数引入模型中叶面积增长的模拟,考虑 O₃ 影响时的冬小麦叶面积增长率为

$$P_{LAG(O_3)} = P_{LAG} \times y_1 \quad (5)$$

冬小麦叶片死亡率为

$$P_{LALG(O_3)} = P_{LALG} \times y_2 \quad (6)$$

(2) CO₂ 浓度变化对光合作用

根据 Goudriaan^[18], CO₂ 浓度变化对光合作用的影响可表示为

$$P_x = P_0 \times [1 + \mu \times \ln(C_x/C_0)] \quad (7)$$

式中: P_0 表示初始光合作用效率, P_x 表示当 CO₂ 浓度为 C_x ($\times 10^{-9}$) 时的光合效率; μ 表示作物参数,对于 C₄ 和 C₃ 植物取值不同,本文取值为 0.4; C_0 等于 340×10^{-9} 。

3.3.2 模拟结果及检验

为了使模型适用于华北地区,特别是在固城单点能取得较好效果,首先对原模型中冬小麦生长模式做了修正。利用 1992~1993 年和 1998~1999 年冬小麦试验研究中背景环境大气下数据检验修正后的 DNDC 模型是否适用于固城站。表 8 为 1993 年和 1999 年冬小麦总生物量和产量的模拟结果与实际观测数据的比较,从表中可以看出,除了 1999 年冬小麦产量误差超过 15%,其余的误差均在 10% 以内,因为试验条件限制,缺少更多的试验样本进行检验,认为模拟效果比较理想。因此,修正过的模型模拟效果较好,可以反映现有大气环境下固城站冬小麦生长状况,为模拟 CO₂ 和 O₃ 浓度变化对冬小麦影响,反映冬小麦生长对这两种气体浓度变化的敏感性,打下可靠的基础。

表8 冬小麦总生物量和产量模拟结果与实测比较(kg/hm²)Table 8 The difference between simulation and observation of total biomass and yields of winter wheat(kg/hm²)

年份	模拟总生物量	实测总生物量	误差(%)	模拟产量	实测产量	误差(%)
1993	10358.2	9469.1	9.4	4410.8	4078.0	8.2
1999	11467.1	12077.7	-5.0	5102.9	6290.0	-18.8

利用改进的DNDC模型分别模拟CO₂和O₃浓度倍增情况下冬小麦的总生物量和产量:利用1992~1993年的气象资料模拟了CO₂浓度倍增(700×10⁻⁶)对冬小麦总生物量和产量的影响,并与CO₂浓度变化对冬小麦影响的试验资料做了比较;利用1998~1999年的气象资料模拟了O₃浓度倍增(100×10⁻⁹)对冬小麦的影响,并与试验结果做了比较(表9)。

从表9中可以看出,模型模拟结果体现CO₂浓度倍增,冬小麦总生物量和产量明显上升,增长幅度

分别为37.4%和36.3%,模拟结果的增长率比实际观测高出9%,而总生物量比较接近。试验研究表明,CO₂浓度上升促使冬小麦光合作用增强,光合产物增加;模拟的结果与试验观测是一致的;模型模拟结果反映出O₃浓度倍增将严重影响冬小麦生长,造成生物量和产量大幅度下降,下降率分别为38%和33%,但与试验数据中的60%和42%相比,模拟结果还不足以反映高浓度O₃对冬小麦的伤害程度和造成的损失。

表9 CO₂和O₃浓度倍增对冬小麦总生物量和产量影响(kg/hm²)Table 9 Simulative effects of double CO₂ and O₃ on total biomass and yields of winter wheat(kg/hm²)

		模拟总生物量及变化量(%)		实测总生物量及变化量(%)		模拟产量及变化量(%)		实测产量及变化量(%)	
CO ₂	350×10 ⁻⁶	10358.2	0.0	9469.1	0.0	4410.8	0.0	4078.0	0.0
	700×10 ⁻⁶	14114.7	36.3	13008.9	37.4	5221.3	37.6	6069.3	28.3
O ₃	50×10 ⁻⁹	11467.1	0.0	7893.8	0.0	5102.9	0.0	6007.9	0.0
	100×10 ⁻⁹	7637.2	-33.4	13737.4	-42.5	3158.9	-38.1	2483.8	-58.6

4 讨论

(1) 该项试验是在自行设计的OTC-1型开顶式气室内进行的,由于气室内供试气体的均匀性、稳定性及气室内外环境要素的差异等有了明显的改善,更接近于自然农田,试验数据可靠,取得一定的理论价值。但气室的室壁对环境要素仍有一定的影响,加之每种作物的试验仅为1a,未能进行不同品种和不同年型的重复试验,使得试验数据的使用具有一定的局限性。目前国际上大多使用FACE试验方法,以提高试验数据的适用性和有效性。

(2) CO₂、O₃浓度倍增对作物的影响研究,共进行6种作物,历时8a的田间试验,分析了CO₂、O₃

浓度倍增对大豆、冬小麦、棉花、玉米、春小麦和谷子总生物量、产量和品质的影响,但在CO₂、O₃浓度倍增情况下,对上述6种作物的生理机制、叶片膜保护系统和酶的活性等方面的研究较少。

(3) 通过2a田间试验数据,分析了CO₂、O₃浓度固定倍增和逐步倍增的复合效应对大豆生物量、产量与品质的影响,对于CO₂、O₃浓度倍增同环境要素和肥料要素的复合效应尚未涉及。

(4) 在模型研究中,作物模型选用的是DNDC模型中作物生长模块,未能选用更为先进的作物模型,略显不足;未能使用机理性较强的O₃光化学模型来计算未来O₃浓度变化的情景,这些问题均需在以后的工作中逐步完善。

参考文献

- 1 王春乙,郭建平,郑有飞. CO₂对农作物影响的研究方法及评价. 见:王春乙等著. 二氧化碳、臭氧、紫外辐射与农作物生产. 北京:气象出版社,1997. 3~17
- 2 王春乙,潘亚茹,白月明等. CO₂浓度倍增对中国主要作物影响的试验研究. 气象学报,1997,55(1):86~94
- 3 Wang Chunyi, Bai Yueming, Guo Jianping, et al. Impacts of ozone concentration changes on crops and vegetables in China. ACTA Meteor Sinica, 2004, 18(1):105~116
- 4 郭建平,高素华,王连敏等. CO₂浓度与土壤水分胁迫对红松和云杉苗木影响的试验研究. 气象学报,2004,62(4):493~497

- 5 郭建平, 高素华. 土壤水分对冬小麦影响机制研究. 气象学报, 2003, 61(4): 501~ 506
- 6 周广胜, 王玉辉, 白莉萍等. 陆地生态系统与全球变化相互作用的研究进展. 气象学报, 2004, 62(5): 692~ 707
- 7 王守荣, 达庆利, 黄凤喜. 中国农业受灾与成灾面积预测研究. 气象学报, 2003, 61(1): 106~ 115
- 8 Coleman J S. Atmospheric CO₂, plant nitrogen status and susceptibility of plants to an acute increase in temperature. Plant Cell Environ, 1991, 14(7): 667~ 674
- 9 王馥棠. CO₂ 浓度增加对植物生长农业生产的影响. 气象, 1993, 19(7): 8~ 13
- 10 Houghton J T, Cellander B A, Vamey S K. International panel on climate change supplementary report to the IPCC scientific assessment. Cambridge: Cambridge University press, 1992. 200pp
- 11 Ashmore M R, Bell J N B. The role of ozone in global change, Ann. Bot. 1991, 67: 39~ 48
- 12 Hertstein V, Grunhage L, Jayer H J. Assessment of past, present and future impacts of ozone and carbon dioxide on crop yields. Atmos Environ, 1995, 29(16): 2031~ 2039
- 13 Hogg A M, Denwent R G. Changes in the concentration of tropospheric ozone due to human activities. Nature, 1990, 344: 645~ 648
- 14 徐德应. 大气 CO₂ 增长的气候变化对森林的影响. 世界林业研究, 1994, 2: 26~ 32
- 15 王春乙, 郭建平, 郑有飞. O₃ 对农作物影响的研究方法及评价. 见: 王春乙等著. 二氧化碳、臭氧、紫外辐射与农作物生产. 北京: 气象出版社, 1997. 101~ 104
- 16 王春乙等. OTC-1 型开顶式气室结构与 CO₂ 浓度控制和自动采集系统. 气象, 1993, 19(4): 15~ 19
- 17 Hengle A S. An open-top field chamber to assess the impact of air pollution on plants. J Env Qual, 1973, 2(3): 365~ 368
- 18 Mandle R H. A cylindrical open top chamber for the exposure of plant to air pollutants in the field. J Env Qual, 1973, 2(3): 371~ 376
- 19 王春乙等. OTC-1 型开顶式气室的物理性能测试与评价. 气象, 1993, 19(5): 23~ 26
- 20 王春乙等. OTC-1 型开顶式气室的使用性能评价. 见: 王馥棠主编. 气候变化对中国农业影响的研究. 北京: 气象出版社, 1996. 71~ 79
- 21 王春乙, 郭建平, 白月明. OTC-1 型开顶式气室的臭氧发生、控制与测量系统及物理性能评价. 应用气象学报, 2000, 11(3): 283~ 284
- 22 张宇. 农田生态系统中碳、氮生物地球化学过程的模拟: [博士论文]. 北京: 北京大学地球物理系, 1999
- 23 刘建栋, 周秀骥, 于强. O₃, CO₂ 浓度变化及太阳光谱变化对作物光合作用影响的数值模拟研究. 气象学报, 2002, 60(6): 715~ 721

THE STUDY ON EFFECTS OF DOUBLE CO₂ AND O₃ ON CROPS

Wang Chunyi Bai Yueming Zheng Changling
Guo Jianping Wen Ming Gao Suhua Hang Hui

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Abstract

Field experiments has been carried out with designed OTC-1 open top chamber for nine years continuously and a set of credible experiment data have been collected. With these data, the effects of double CO₂ concentration on biomass, yields and quality of soybean, winter wheat, cotton, maize, sprint wheat and millet were analyzed. The results show that double CO₂ has positive effects on biomass and yields of these six crops and may has favorable effects on quality of winter wheat, cotton and miller, but negative effects on quality of maize and few effects on soybean. It was analyzed also the effects of double O₃ on biomass, yields and quality of the winter wheat, rice, rape and spinach. The results show that doubled O₃ has negative effects on biomass of these 4 crops and yields of winter wheat and rice. Crude proteins and 17 kinds of amino acid in seed of winter wheat and rice are increased. The effects of doubled CO₂ and O₃ interaction on biomass, yields and quality of soybean were investigated. Biomass and yields of soybean are increased, which indicates that positive effect of CO₂ is more than negative effect of O₃. At last, the assessment of effects of double CO₂ and O₃ on biomass and yields of winter wheat with the crop growth model in the way of numerical simulation was also made.

Key words: CO₂, O₃, Double, Crops, Effect.