

CO₂ 浓度倍增对中国主要作物影响的试验研究*

王春乙 潘亚茹 白月明 温 民

(中国气象科学研究院, 北京, 100081)

摘 要

根据自行设计的 OTC-1 型开顶式气室及连续 3 年试验资料, 在评述该套设备性能的基础上, 分析了 CO₂ 浓度倍增对 4 种作物生长发育和产量的影响。结果表明: CO₂ 浓度倍增, 作物发育进程加快, 株高增加, 经济产量和生物产量增长明显, 且 C₃ 作物的增长幅度大于 C₄ 作物; 冬小麦、棉花品质呈良性变化, 玉米品质可能有所下降, 大豆品质变化不明显。上述初步结果尚待进一步研究。

关键词: CO₂ 浓度倍增, 作物效应, 开顶式气室。

1 引 言

大气中 CO₂ 浓度在工业革命前为 265×10^{-6} , 1958 年为 314×10^{-6} ^[1], 1990 年全球大气中的 CO₂ 浓度为 353.4×10^{-6} , 若按现在的趋势增加, 到 2050 年大气中的 CO₂ 浓度将倍增^[2]。

大气中的 CO₂ 是作物光合作用的原始材料, CO₂ 浓度的增加及其温室效应引起的气候变化, 对作物产量将产生很大影响。有关 CO₂ 浓度增加及其对作物生长和产量影响的试验研究近 10 年急剧增加。Kimball(1983), Acock 和 Allen(1985), Cure(1985), 今井等(1988), Allen(1989), Krupa(1989) 对这些研究报告进行了评价^[3]。Kimball(1983) 从 37 种作物的 70 多个研究报告中整理了 430 多个实例, 评价了 CO₂ 浓度增加对作物产量的影响, 结果表明, 若 CO₂ 浓度倍增则作物产量将增加 30% 左右^[4]。关于 CO₂ 浓度倍增对作物品质影响的研究较少。

在 CO₂ 浓度倍增情况下, 中国主要作物产量和品质将如何变化, 需要通过试验才能作出确切回答。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, 都有重要意义。本文主要根据自行设计的 OTC-1 型开顶式气室和连续 3 年的试验资料, 讨论 CO₂ 浓度倍增对冬小麦、玉米、棉花及大豆生育和产量的影响。

2 试验设施与设计

2.1 试验设计

* 初稿时间: 1995 年 3 月 19 日; 修改稿时间: 1996 年 6 月 27 日。

试验地点是在河北省定兴县固城镇(中国气象局农业气象试验基地)。试验采取盆栽方式,盆顶口直径 36cm,深 26cm,试验设置处理一个,CO₂ 浓度为 700×10^{-6} ,对照一个(仅通风,而不输入供试气体),CO₂ 浓度为本底值,通过实际测量,在 4 种作物生长期,本底 CO₂ 浓度平均值约为 350×10^{-6} (本文取为 350×10^{-6})。试验期间,水肥供应适量而充分,采取定量控制灌溉方式及时补充水分。每盆施足等量的农家肥作底肥,两次追施等量化肥。其它农田管理措施均相同,无病虫害及杂草影响。从 1992 年至 1994 年连续进行了 3 年试验,详细内容见表 1^[5-8]。

表 1 CO₂ 浓度倍增对作物影响试验简介

作物	大豆	冬小麦	棉花	玉米
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
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
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
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
释放 CO ₂ 天数	62	60	91	73
收获日期	1992 年 9 月 25 日	1993 年 6 月 7 日	1993 年 11 月 18 日	1994 年 9 月 17 日
试验盆数	30	30	22	30
品种	京豆 1 号	京冬 6 号	京杂 29 号	3315 号
C 代谢途径	C ₃	C ₃	C ₃	C ₄

2.2 OTC-1 型开顶式气室的结构及性能

OTC-1 型开顶式气室的结构有框架、室壁、过滤系统、风机、通风管道五部分^[9]。主体部分为八边形圆铁管框架结构,高 2.4m,边长 1.15m,体积 16m³(相当于直径为 3m 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减小气室内外气象要素的差异,对 Heagle(1973)^[10]和 Mandle(1973)^[11]等人所设计的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 50cm),再从栅板上均匀分布的 3000 多个直径为 12mm 的孔眼自下而上进入气室。

OTC-1 型开顶式气室的性能: 1) 气室内 CO₂ 浓度分布^[12]: 在气室内 50, 100, 150cm 高度上,分别在各个方位确定 5 个测点。50cm 处,水平 5 个测点 CO₂ 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%; 100 和 150cm 处上述三个参数分别为 610.6×10^{-6} , 8.24×10^{-6} , 1.35%; 605.5×10^{-6} , 3.40×10^{-6} , 0.56%。表明气室内不同高度 CO₂ 浓度的水平分布十分均匀。2) 气室之间温湿度的分布特征: 在气室内中央偏北 20cm 处,高度为 50, 150cm,对温、湿度进行自动采集,每 6min 取样一次(气室内无作物)。结果如下,在不通风情况下,50, 150cm 处两个气室平均温度和平均相对湿度分别相差 0.3, 0.1 和 0.2%, 0.4%; 在通风情况下,50cm 高处上述两个要素分别相差 0.3, 1.3%。表明气室之间温、湿度分布基本均匀。3) 气室内外温、湿度的分布特征: 5 个气室呈东西向排列,间距 5m,在其内部中央 2m 高处,各设置一个测点;同时,在气室南面自然农田设置 3 个测点,高度相同,位置取为等边三角形的三个顶点,用于测定气室内外温、湿度分布特征,每 6min 取样一次,连续测定 18d(每天测定时间为 09:00—16:00 点)。

结果为平均气温相差 2.1℃, 平均相对湿度相差 3.32%, 表明气室内外温、湿度差异较小, 接近自然农田。

2.3 CO₂ 浓度控制与自动采集系统

气室中 CO₂ 浓度控制: 钢瓶 CO₂ 为气源, CO₂ 经减压后通过转子流量计控制其流量再由风机送入气室。

CO₂ 浓度自动采集: 取样管位于气室中央, 固定在离栅板 1m 高处, 通过气泵取样由电磁阀自动切换开关送入 QGS-08 型红外 CO₂ 分析仪, 分析结果输入 MCS-51 型单片机, 最后输入微机。

3 结果分析

3.1 CO₂ 浓度倍增对作物发育期的影响

在试验中, 对大豆、冬小麦、棉花和玉米各发育期进行了观测, 表 2 给出了大豆、冬小麦、玉米成熟期和棉花吐絮盛期的变化, 从表 2 可知, CO₂ 浓度倍增使棉花发育提前 8d, 冬小麦和大豆分别提前 4d 和 2d, 对玉米没有影响。

表 2 CO₂ 浓度倍增对作物发育期和株高的影响

作物	大豆		冬小麦		棉花		玉米	
	项目	成熟期	株高(cm)	成熟期	株高(cm)	吐絮盛期	株高(cm)	成熟期
处理 700 × 10 ⁻⁶	1992 年 9 月 23 日	126	1993 年 5 月 30 日	82	1993 年 9 月 12 日	94	1994 年 9 月 15 日	237
对照 350 × 10 ⁻⁶	1992 年 9 月 25 日	116	1993 年 6 月 3 日	68	1993 年 9 月 20 日	82	1994 年 9 月 15 日	239
发育期								
提前天数	2		4		8		0	
增高量		10		14		12		- 2
增高率(%)		8.6		20.6		14.6		- 0.9

3.2 CO₂ 浓度倍增对作物株高的影响

同样, 在试验中对上述 4 种作物的株高变化进行了测定。表 2 给出了大豆、冬小麦、玉米成熟期和棉花吐絮盛期的变化情况, 从表 2 可知, CO₂ 浓度倍增对冬小麦株高的影响最为明显, 增高量达 14cm, 增高率为 20.6%, 其次是棉花和大豆, 对玉米影响不大。

3.3 CO₂ 浓度倍增对作物生物量的影响

收获时, 对大豆、冬小麦、棉花和玉米最终生物量进行了测定。表 3 给出了 CO₂ 浓度增加对上述 4 种作物生物量的影响, 从表 3 可知, CO₂ 浓度增加, 作物生物量随之增加。从总生物量来看, 增长最大的是大豆, 其次分别为冬小麦和棉花, 最小的是玉米。但 4 种作物地下和地上两部分生物量的增长率并不平衡, 大豆、冬小麦、棉花和玉米地下与地上生物量增长率之比分别为 1.75, 3.63, 0.91, 5.43。这说明玉米和冬小麦根的增长最为明显, 其中玉米最大, 近 5.5 倍, 其次为大豆, 而棉花根的增长率略低于地上的增长率。

表 3 CO₂ 浓度倍增对作物生物量(干重)的影响(g/株)

作物	大豆			冬小麦			棉花			玉米		
	地下	地上	总	地下	地上	总	地下	地上	总	地下	地上	总
处理 700 × 10 ⁻⁶	3.9	30.4	34.3	1.9	12.8	14.7	11.2	113.1	124.3	41.2	107.1	148.3
对照 350 × 10 ⁻⁶	1.6	16.7	18.3	0.9	9.8	10.7	7.8	76.3	84.1	26.7	97.4	124.1
增长率(%)	143.8	82.0	87.4	111.1	30.6	36.1	43.6	48.2	48.0	54.3	10.0	19.6

3.4 CO₂ 浓度倍增对作物产量的影响

4 种作物产量分析所取样本与生物量相同,结果如表 4 所示。CO₂ 浓度增加,4 种作物产量呈增加趋势,其中大豆增长最为明显,增长率达 67.1%,冬小麦和棉花次之,且增长幅度十分相近,玉米仍最小。这表明,CO₂ 浓度增加对不同类型作物产量的影响有明显差异,其中 C₃ 类作物增长率明显大于 C₄ 类作物,这可能是由于 C₃, 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,大豆又明显高于冬小麦和棉花,这可能是由于大豆功能叶片光合作用速度明显高于冬小麦和棉花所造成的(见表 5)。

表 4 CO₂ 浓度倍增对作物产量影响(g/株)

作物	大豆	冬小麦	棉花*	玉米
处理 700 × 10 ⁻⁶	12.2	5.9	20.9	149.0
对照 350 × 10 ⁻⁶	7.3	4.6	16.4	121.2
增长率(%)	67.1	28.3	27.4	22.9

* 棉花产量为皮棉

3.5 CO₂ 浓度倍增对作物叶片光合作用速率的影响

光合作用速率为作物在单位时间、单位叶面积的同化量^[13]。在形成作物产量的干物质中,占总干重 90%—95% 的有机物是从光合作用中得来^[13],所以光合作用与作物产量关系非常密切。因而研究 CO₂ 浓度增加对作物光合作用速率的影响意义重大。利用 LI-6200 光合作用分析仪对 4 种作物功能叶片的光合作用速度进行了测定,结果如表 5 所示。从表 5 可以看出,大豆、棉花、冬小麦三种 C₃ 类作物的光合作用速率的增长率明显高于 C₄ 类作物玉米,这主要是由 C₃ 作物 CO₂ 饱和点高于 C₄ 作物决定的^[13],其增长幅度有所不同,大豆又高于冬小麦和棉花,玉米最低。就同种作物而言,随着作物发育进程的变化,在 CO₂ 浓度倍增的条件下,作物叶片光合作用速率的增长率呈现规律性变化,即增长率超于下降,玉米和棉花较为典型,尤其是玉米。主要原因可能是:(1)作物在生长前期,叶片生长旺盛,随着叶片的发育,CO₂ 浓度倍增,光合作用速率随之增加,且增长幅度处理大于对照;而在生长后期,叶片生长趋于稳定,随着叶龄的增大和逐渐老化,此时 CO₂ 浓度虽保持倍增,但光合作用速率仍继续下降,特别是玉米其下降幅度大于对照。(2)高 CO₂ 浓度在试验初期对作物有着一种刺激作用,CO₂ 浓度升高,作物叶片光合作用速率加大,随着这种刺激作用减弱和消失,作物较长时间处于高 CO₂ 浓度条件下,具有了一定的适应性,使得 CO₂ 浓度升高对提高作物叶片光合作用速率的能力有所下降,所以表现出在作物生长后期的增长率呈下降趋势。(3)随着作物生育进程,作物 CO₂ 饱和点的下降亦是导致后期作物叶片光合作用速率降低的原因之一。(4)作物生长后期,由于叶片茂盛相互

之间存在遮阴也可能导致光合作用速率降低。

表 5 CO₂ 浓度倍增对作物叶片光合速率的影响

作物	测量日期	发育期	叶片数 (10 株)	项目	光合作用速率 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\text{s})$	天气
大 豆	1992 年 9 月 16 日	鼓粒盛期	55	处理 700×10^{-6}	17.81	晴
				对照 350×10^{-6}	5.12	
				增长率	247.9%	
冬 小 麦	1992 年 9 月 18 日	鼓粒盛期	55	处理 700×10^{-6}	14.87	晴
				对照 350×10^{-6}	8.54	
				增长率	74.1%	
棉 花	1993 年 5 月 22 日	乳熟始期	50	处理 700×10^{-6}	6.63	晴
				对照 350×10^{-6}	3.18	
				增长率	108.4%	
玉 米	1993 年 5 月 25 日	乳熟始期	50	处理 700×10^{-6}	6.24	晴
				对照 350×10^{-6}	3.67	
				增长率	70.0%	
棉 花	1993 年 8 月 5 日	开花盛期	20	处理 700×10^{-6}	4.60	晴
				对照 350×10^{-6}	1.92	
				增长率	139.6%	
玉 米	1993 年 8 月 10 日	开花盛期	20	处理 700×10^{-6}	7.33	晴
				对照 350×10^{-6}	3.79	
				增长率	93.4%	
玉 米	1993 年 8 月 28 日	裂铃始期	20	处理 700×10^{-6}	8.28	晴
				对照 350×10^{-6}	4.38	
				增长率	89.0%	
玉 米	1994 年 7 月 1 日	苗 期	10	处理 700×10^{-6}	2.68	晴
				对照 350×10^{-6}	2.67	
				增长率	0.37%	
玉 米	1994 年 7 月 15 日	七叶期	10	处理 700×10^{-6}	9.11	晴
				对照 350×10^{-6}	7.74	
				增长率	17.70%	
玉 米	1994 年 7 月 29 日	拔节期	5	处理 700×10^{-6}	3.88	晴
				对照 350×10^{-6}	3.42	
				增长率	13.50%	
玉 米	1994 年 8 月 9 日	抽雄期	10	处理 700×10^{-6}	6.30	晴
				对照 350×10^{-6}	8.56	
				增长率	-26.4%	
玉 米	1994 年 8 月 19 日	吐丝期	10	处理 700×10^{-6}	8.07	晴
				对照 350×10^{-6}	8.34	
				增长率	-3.2%	
玉 米	1994 年 9 月 15 日	乳熟期	10	处理 700×10^{-6}	1.98	晴
				对照 350×10^{-6}	2.11	
				增长率	-6.0%	

3.6 CO₂ 浓度倍增对玉米叶片荧光动力学的影响

1994 年 8 月 20 日取玉米功能叶片,按张其德等人(1994)方法^[13],用调制式荧光动力

学分光光度计测定叶片的荧光诱导动力学特征, PS 用 DCPIP 光还原法测定^[13]。一个未经任何处理的玉米叶片均可表现出典型的叶绿素荧光动力学曲线, 即当叶片经暗适应后, 用很弱的激发光激发时, 荧光强度上升到 O 相, 这部分荧光称为固定荧光(F_0), 它的强度与激发光的强度及叶绿素含量有关。当再叠加一束很强的能引起光反应的作用光时, 荧光强度很快从 O 相上升到最高值 P 峰。OP 这部分荧光称为可变荧光(F_v), 它的大小主要与 PS 原初电子受体 QA 的氧化还原状态有关, 因此, F_v 的变化反映了 PS 活性的变化。随后便是荧光振荡衰减过程, 即从 P 到 S, S 到 M, 最后到达稳定相 T^[14], 一个完整的周期 O P S M T。经不同 CO₂ 浓度处理的玉米叶片荧光动力学变化结果如表 6 所示, 表中 F_M 为 F_0 与 F_v 之和, F_v/F_M 为 PS 反应中心光化学效率, F_v/F_0 为反应中心有效还原效率。从表 6 可知, 在玉米的生殖生长期, CO₂ 浓度增加降低了 F_v 的相对产值, 使 F_v/F_0 和 F_v/F_M 的比值下降, 而且随着 CO₂ 浓度增加, 这两个比值下降愈加明显, 这说明了 CO₂ 浓度使 PS 的活性受到了伤害, 光合作用速率下降, 这一点与光合作用速度的实测结果相一致。

表 6 CO₂ 浓度倍增对玉米叶片荧光动力学的影响

项目	F_v/F_0	F_v/F_M
处理 700×10^{-6}	1.47	0.58
对照 350×10^{-6}	1.69	0.63

3.7 CO₂ 浓度倍增对作物产品质量的影响

大豆、冬小麦和玉米的籽粒成分由农业部谷物品质监督检验测试中心进行检测, 棉花品质由中国农业科学院河南棉花所检测, 结果如下:

CO₂ 浓度倍增对大豆籽粒成分的影响: CO₂ 浓度倍增对大豆粗蛋白、粗脂肪和脂肪酸的影响, 从表 7 可以看出, CO₂ 浓度倍增, 大豆籽粒中的粗蛋白没有变化, 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。

表 7 CO₂ 浓度倍增对大豆籽粒成分的影响(g/100g)

项目	粗蛋白	粗脂肪	不饱和酸				饱和酸		
			油酸	亚油酸	亚麻酸	总和	棕榈酸	硬脂酸	总和
处理 700×10^{-6}	41.02	21.51	29.58	52.02	3.48	85.08	12.10	2.82	14.92
对照 350×10^{-6}	41.02	22.11	28.33	52.28	4.02	84.63	12.80	3.10	15.38
与对照相比 的增长率(%)	0.0	-2.7	4.4	-0.5	-13.4	0.5	-5.5	-0.9	-3.0

CO₂ 浓度倍增对冬小麦籽粒成分的影响: CO₂ 浓度增加对冬小麦籽粒成分的影响, 如表 8 所示。CO₂ 浓度倍增, 粗蛋白、粗淀粉和赖氨酸均呈增加趋势, 且粗蛋白的增长率又大于粗淀粉, 这说明了 CO₂ 浓度增加对冬小麦籽粒成分的影响可能是有利的。

表 8 CO₂ 浓度倍增对冬小麦籽粒成分的影响(g/100g)

项目	粗蛋白	粗淀粉	赖氨酸
处理 700×10 ⁻⁶	15.79	62.14	0.27
对照 350×10 ⁻⁶	15.44	61.62	0.24
与对照相比 的增长率(%)	2.3	0.8	12.5

CO₂ 浓度倍增对玉米籽粒成分的影响: 经测定, 在 CO₂ 浓度倍增情况下, 玉米籽粒中粗蛋白、粗淀粉、粗脂肪、粗纤维和总糖含量的变化从表 9 可以看出, 粗蛋白、粗纤维和总糖含量呈下降趋势, 其中粗纤维下降 34.6%; 粗淀粉、粗脂肪呈增加趋势。表 10 给出了玉米籽粒中 17 种氨基酸的变化, 从中可以看出, CO₂ 浓度倍增, 前 15 种均减少, 仅丝氨酸和脯氨酸两种呈增加趋势, 说明了 CO₂ 浓度倍增对玉米品质的影响可能是弊大于利。

表 9 CO₂ 浓度倍增对玉米籽粒成分的影响(g/100g)

项目	粗蛋白	粗脂肪	粗纤维	粗淀粉	总糖含量
处理 700×10 ⁻⁶	9.79	4.70	1.38	74.42	7.01
对照 350×10 ⁻⁶	10.53	4.46	2.11	72.78	8.8
与对照相比 的增长率(%)	-7.5	5.4	-34.6	2.3	-20.3

表 10 CO₂ 浓度倍增对玉米籽粒中氨基酸含量的影响(g/100g)

序号	名称	处理	对照	与对照相比	序号	名称	处理	对照	与对照相比
		700×10 ⁻⁶	350×10 ⁻⁶	的增长率(%)			700×10 ⁻⁶	350×10 ⁻⁶	的增长率(%)
1	天冬氨酸	0.64	0.71	-9.9	10	苯丙氨酸	0.53	0.56	-5.4
2	苏氨酸	0.35	0.36	-2.8	11	赖氨酸	0.33	0.34	-2.9
3	谷氨酸	1.90	2.02	-5.9	12	精氨酸	0.51	0.56	-8.9
4	丙氨酸	0.70	0.74	-5.4	13	甘氨酸	0.37	0.40	-7.5
5	缬氨酸	0.50	0.51	-2.0	14	胱氨酸	0.05	0.06	-16.7
6	蛋氨酸	0.24	0.26	-7.7	15	组氨酸	0.26	0.28	-7.1
7	异亮氨酸	0.34	0.36	-5.6	16	丝氨酸	0.40	0.38	5.3
8	亮氨酸	1.22	1.16	-3.2	17	脯氨酸	0.80	0.74	8.1
9	酪氨酸	0.42	0.44	-4.5	18	总含量	9.56	9.98	-4.2

CO₂ 浓度倍增对棉花品质的影响: 表 11 给出了 CO₂ 浓度倍增之后, 棉花纤维长度、整齐度、强度、伸长率及马克隆值(系指 1 根 1 英寸棉纤维重量的微克数)均有所增加, 仅强度一项略有下降, 这说明 CO₂ 浓度增加对棉花品质的影响可能是有利的。

表 11 CO₂ 浓度倍增对棉花品质的影响

项目	长度 (cm)	整齐度	强度	伸长率	马克隆值 (0.4μg/cm)
处理 700 × 10 ⁻⁶	28.9	54.3	23.7	7.8	5.6
对照 350 × 10 ⁻⁶	27.1	53.9	24.9	7.7	5.2
与对照相比 的增长率(%)	6.6	0.7	- 4.8	1.3	7.7

4 结 论

通过开顶式气室的试验研究表明, CO₂ 浓度倍增对作物生长发育及籽粒产量、产品质量有较明显的影响, 3 年的试验得到以下初步结果。

(1) OTC-1 型开顶式气室在通风方式上作了有效的改进, 从而使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。

(2) CO₂ 浓度倍增, 冬小麦、棉花、大豆等 3 种作物发育历程缩短约 2—8d, 但对玉米影响不大。

(3) CO₂ 浓度倍增, 在一定程度上可促进冬小麦、棉花、大豆等 3 作物植株生长, 但对玉米的株高似乎没有影响。

(4) CO₂ 浓度倍增, 有利于作物干物质形成, 无论地下还是地上部分以及总生物量基本上是呈增加趋势, 其中根的增加较为明显, 棉花除外。

(5) CO₂ 浓度倍增, 作物功能叶片光合作用速率提高, 经济产量增加, 大豆、冬小麦、玉米和棉花产量增长率分别为 67.1%, 28.3%, 22.9% 和 27.4%。

(6) CO₂ 浓度倍增, 对冬小麦和棉花品质的影响可能是利大于弊; 对玉米品质的影响可能是弊大于利; 对大豆的影响较为复杂, 很难说是利大于弊或是弊大于利。

关于 CO₂ 浓度倍增对作物生长发育及产量的影响, 通过试验得到了不少数据, 取得了一些有意义的结果, 可供研究气候变化效应和对策的人员作参考, 但影响机制还有待深入研究。

参考文献

- [1] Coleman J S. Atmospheric CO₂, plant nitrogen status and susceptibility of plants to an acute increase in temperature. *Plant, Cell and Environment*, 1991, 14(7): 667- 674.
- [2] 王馥棠. CO₂ 浓度增加对植物生长和农业生产的影响. *气象*, 1993, 19(7): 8—13.
- [3] 矢岛正晴. 关于 CO₂ 对作物生长、产量的影响的研究. *气象科技*, 1992, (6): 84—88.
- [4] 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.
- [5] 王春乙. 模拟大气中 CO₂ 对大豆影响的试验. *生态学报*, 1995, 15(2): 176—183.
- [6] Wang Chunyi. A diagnostic experiment of the influence of CO₂ on winter wheat. *Journal of Environmental Sciences(Quarterly)*, 1995, 7(2): 167- 175.
- [7] Wang Chunyi. A diagnostic experiment of the influence of CO₂ on cotton. *Acta Meteorologica Sinica*, 1995, 9(4): 501-

508.

- [8] 王春乙等 . 模拟大气中 CO_2 浓度增加对玉米影响的试验研究 . 环境科学学报, 1996, 13(3): 312—318.
- [9] 王春乙等 . OTC-1 型开顶式气室的结构和自动采集系统 . 气象, 1993, 19(4): 15—19.
- [10] Heagle A S. An open top field chamber to assess the impact of air pollution on the plants. J Environ Qual. 1973, (2): 365— 376.
- [11] Mandle R H. A cylindrical open top chamber for the exposure of plants to air pollutants in the field. J Environ Qual., 1973, (2): 371— 376.
- [12] 王春乙等 . OTC-1 型开顶式气室的物理性能及评价 . 气象, 1993, 19(5): 23—26.
- [13] 北京农业大学主编 . 植物生理学 . 北京: 农业出版社, 1980. 123—158.
- [14] 卢从明等 . 水分胁迫对小麦叶绿素 a 荧光诱导动力学的影响 . 生物物理学报, 1993, 9(3): 453—457.

THE EXPERIMENT STUDY OF EFFECTS DOUBLED CO_2 CONCENTRATION ON SEVERAL MAIN CROPS IN CHINA

Wang Chunyi Pan Yaru Bai Yueming Wen Min

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing, 100081)

Abstract

According to OTC-1 Open top chamber designed by ourselves and experimental data of successive 3 years, we analysed the effects of CO_2 concentration at double levels of natural condition on growth, development and yields of 4 crops based on discussing the physical performance of the equipment. The results showed that an increasing CO_2 concentration accelerated the course of crops growth, increased the height of plant, economical yields and biomass production greatly, and the increasing range of C_3 crops was greater than that of C_4 crops; The quality of winter wheat and cotton seemly have positive effect, on the contrary, the quality of corn seemly has negative effect, the change of soybean quality wasn't obvious.

Key words: Double CO_2 concentration, Crops effects, Open top chamber.