

148-154

15080(6)

第15卷 第2期
1995年6月生态学报
ACTA ECOLOGICA SINICAVol. 15, No. 2
Jun. 1995模拟大气中 CO₂ 浓度对大豆影响的试验

王春乙 高素华 潘亚茹 白月明 温民

(中国气象科学研究院, 北京, 100081)

S 565.101

A

摘要 本文利用 OTC-1 型开顶式气室对大豆进行了长时期不同 CO₂ 浓度处理的接触试验, 结果表明: 不同 CO₂ 浓度处理对大豆生长发育、生物产量、籽粒产量及叶片光合作用率等影响显著, 且均为正效应。

关键词: 开顶式气室, CO₂ 浓度, 大豆。

二氧化碳

研究大气中 CO₂ 对农业生产的影响, 就必须考虑它的间接影响和直接影响, 至于间接影响国内学者已做了大量的工作^[1-4]。从 70 年代起, 尤其是 80 年代, 在西方一些发达国家, 利用开顶式气室进行了不同 CO₂ 浓度对农作物生长发育影响的试验研究。我国还未见用开顶式气室进行这方面的研究。本文是利用作者自己研制的 OTC-1 型开顶式气室来研究不同 CO₂ 浓度对农作物生长发育及产量的直接影响。

1 OTC-1 型开顶式气室简介

OTC-1 型开顶式气室是由中国气象科学研究院农业气象研究中心和中国防化研究院协作, 并参照国内外开顶式气室优点的基础上设计的^[5]。

1.1 OTC-1 型开顶式气室的结构

OTC-1 型开顶式气室由过滤、通风、气室、CO₂ 浓度控制及气体采样系统 5 个部分组成。图 1 为 OTC-1 型开顶式气室示意图; 图 2 为 CO₂ 浓度控制与数据自动采集系统示意图。

OTC-1 型开顶式气室为八边形框架结构, 高 2.4m, 每边长 1.15m (相当于直径为 3m 的圆柱形气室), 上部有 45° 的收缩口, 收缩口高 0.4m, 收缩口顶部八边形每边长 0.82m (相当于直径为 1.07m 的圆柱形), 整个气室体积为 16.0m³, 室壁为无色透明玻璃 (厚度为 3mm), 气室南面开一高为 1.8m、宽为 0.7m 的门供试验人员进入。

为了排除灰尘、细菌及其它污染气体对试验的影响, OTC-1 型开顶式气室选用太原新华

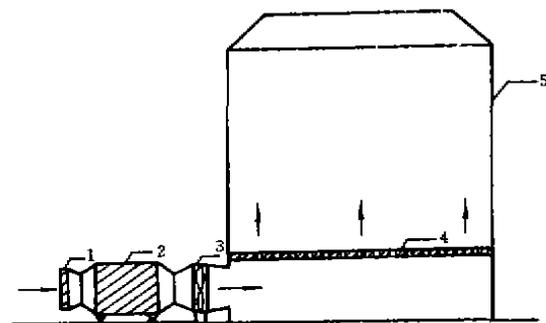


图 1 开顶式气室示意图

Fig. 1 The sketch map of open top chamber

1. 砂网过滤器 2. 碳过滤器 3. 轴流通风机 4. 带孔栅板 5. 气室

1. Sandy net filter 2. C-filter 3. Axial-flow blower 4. Grid plate 5. Chamber

收稿日期: 1993 07 26, 修改稿收到日期: 1994 01 24。

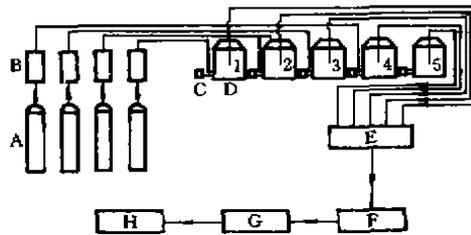


图 2 CO₂ 浓度控制与数据自动采集系统示意图

Fig. 2 The sketch map of CO₂ controller and automatic data collection system

A. CO₂ 钢瓶 B. 流量计 C. 过滤器和轴流风机 D. 气室 1 至 5, 其中 5 为对照 E. 气泵和电磁阀控制开关 F. QGS-08 红外 CO₂ 分析仪 G. MCS-51 型单片机 H. 微计算机

A. CO₂ iron bottle B. Bulkometer C. Filter and axial-flow blower D. Chamber E. Air pump and electromagnetic valve control switch F. QGS-08 infrared CO₂ analyzer G. MCS-51 monolithic computer H. Microcomputer

MCS-51 型单片机,最后通过标准的 232-通讯接口将单片机的所有信息送入微机。整个控制与采集流程详见图 2。

2 试验设计

2.1 CO₂ 浓度

该项试验 CO₂ 浓度设有 4 个处理。分别为 222(400 × 10⁻⁶ mg/m³)、278(500 × 10⁻⁶ mg/m³)、333(600 × 10⁻⁶ mg/m³)、389(700 × 10⁻⁶ mg/m³)。以不通气的气室为对照,4 个处理,4 个气室,4 个钢瓶,4 个流量计,电磁阀控制开关设有 8 个通道,5 套过滤器和风机。采样时间为 200 s 一次,每个气室每小时采样 3 次,3 次平均值作为该小时 CO₂ 浓度值,每天供气时间为 09:00—16:00,共 7h。取 7h 平均值为该日 CO₂ 浓度平均值。从 7 月 21 日开始供气,9 月 21 日供气结束,共通气 63d。

2.2 供试作物

该项试验供试作物为大豆(C₂ 类)。试验分两个播期,第一播期为 6 月 10 日,第二播期为 6 月 20 日,采用盆栽方法,定植后每盆保留 5 株大豆,在 7 月 21 日(开花初期)把供试大豆移入

化工厂生产的高效碳滤器,具有很高的过滤效率、吸附容量和通风量,而且阻力小(2000m³/h 的风量下,阻力不大于 3465Pa)的特点,在碳滤器进风口配有砂网预滤器。

风机是开顶式气室的重要组成部分,它的作用是将供试气体连续不断地送入气室。为了保证气室每分钟 2—3 次换气要求,通风量要大于 32—38m³/min。OTC-1 型开顶式气室选用了空载风量为 80m³/min,全压 5067Pa,功率 1.1kW 的轴流风机。

通风管为聚乙烯。为了保证气室内供试气体浓度均匀,OTC-1 型开顶式气室采用的通风方式为:供试气体和经过过滤的自然空气混合后首先进入气室栅板底部空间,再从栅板上直径为 12mm 的孔眼通入气室,栅板上均匀分布 3000 多个通气孔。

1.2 CO₂ 浓度控制系统

利用钢瓶 CO₂ 作为气源,CO₂ 流量根据试验要求由转子流量计控制,CO₂ 由钢瓶释放经过转子流量计后再经过供气管路借助于风机进入气室。

1.3 CO₂ 浓度的自动采集系统

CO₂ 由位于气室中央的取样管,通过气泵吸入,经过电磁阀控制开关自动切换后,送入 QGS-08 型红外 CO₂ 分析仪,再将结果送入

气室,每个气室共放入 30 盆大豆,其中第一播期 14 盆,第二播期 16 盆。从 8 月 5 日起,每 10d 取样一次,分别测定叶、茎、根的干、鲜生物量的重量,大豆成熟后进行考种。大豆整个生育期水、肥不是限制因子(有保证)。

2.3 环境监测

为了消除环境因素对作物的影响,在每个气室内装有自动采集的有效辐射、气温、相对湿度观测系统。气温、湿度设有两个高度,分别为 50cm、200cm,有效辐射为 150cm。每 6min 采样一次,数据直接进入微机。观测时间与 CO₂ 供气时间同步⁽⁶⁾。

3 结果分析

3.1 CO₂ 对大豆叶片光合速率的影响

采用美国拉哥公司 LI-6200 型光合作用分析系统分别在晴天(9 月 16 日)和阴天(9 月 18 日)的中午(12:30—14:00)循环测定各处理和对照 5 个气室内大豆叶片的光合速率,晴天叶片数为 55 个,阴天为 88 个。图 3 为 CO₂ 浓度与光合速率的关系,由图 3 可见,CO₂ 浓度与光合

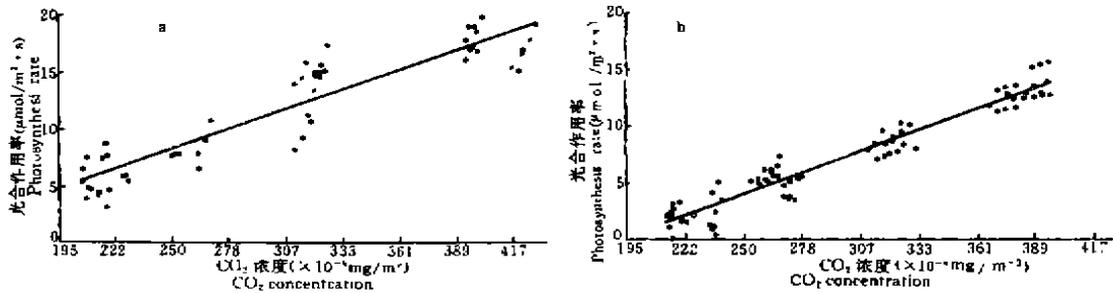


图 3 CO₂ 浓度与光合作速率的关系

Fig. 3 The relationship between CO₂ concentration and photosynthesis rate

a. 晴天中午 fine noon, b. 阴天中午 cloudy noon

速率呈线性关系。晴天时,相关系数为 0.9261,标准差为 1.9618,方程为:

$$y = -7.2816 + 0.0344x \quad (\text{晴天})$$

阴天时,相关系数为 0.9638,标准差为 1.1217,方程为:

$$y = -12.4937 + 0.0368x \quad (\text{阴天})$$

表 1 CO₂ 浓度与大豆叶片光合速率的关系(晴天)

Table 1 The relationship between CO₂ concentration and photosynthesis rate of soybean leaf in fine day

CO ₂ 浓度 CO ₂ Concentration (× 10 ⁻⁶ mg/m ³)	光合速率 Photosynthesis rate (μmol/m ² s)	光合速率变化% Change of photo- synthesis rate(%)
206	5.5	
222	6.5	18
278	9.9	80
333	13.4	143
389	16.8	205

式中, y 为光合作用速率, x 为 CO₂ 浓度。

晴天中午,CO₂ 浓度由 206 × 10⁻⁶ mg/m³ 升高到 389 × 10⁻⁶ mg/m³,大豆叶片的光合速率由 5.5 μmol/m²s 升高到 16.8 μmol/m²s。由表 1 可见,CO₂ 浓度由 206 × 10⁻⁶ mg/m³ (相当大气本底) 升高到 222 × 10⁻⁶ mg/m³ 时,光合速率增高 18%,CO₂ 浓度升高到 278、333、389 × 10⁻⁶ mg/m³ 时,光合速率分别增高 80%、143%、205%。阴天变化趋势与

晴天完全一致。

3.2 CO₂ 对大豆生物量的影响

大豆生物量与 CO₂ 浓度呈直线关系, 详见图 4。大豆根、茎及总生物量都是随 CO₂ 浓度的升高而增加, 通过统计分析得到如下方程:

$$y_1 = 126.6982 + 0.6103x \quad \text{茎与 CO}_2$$

$$y_2 = -9.9023 + 0.1260x \quad \text{与 CO}_2$$

$$y_3 = 132.9297 + 0.7615x \quad \text{总生物量与 CO}_2$$

上述 y_1, y_2, y_3 分别为大豆茎、根、总生物量 (g), x 为 CO₂ 浓度, 3 个方程的相关系数分别为: 0.9596, 0.9636, 0.9678; 标准差分别为 25.6275, 13.1163, 28.3604, 样本数均为 10。表 2 为收获时大豆的生物量 (第一播期), 由表 2 可见, 无论茎、根、还是总生物量, 随 CO₂ 浓度的升高其重量都有明显的增加, 与对照相比, 增重最为明显的是根, 根的增重有利于大豆吸收土壤中的养分和水分及固氮作用。CO₂ 浓度由 $222 \times 10^{-6} \text{mg/m}^3$ 升高到 $389 \times 10^{-6} \text{mg/m}^3$, 每升高 1mg/m^3 , 茎平均增重 0.72g, 根为 0.13g, 总生物量为 0.89g。由此可见, CO₂ 浓度升高, 有利于大豆生物量的累积, 正效应明显。

3.3 CO₂ 对大豆籽粒产量的影响

CO₂ 浓度的升高有利于大豆生物量的累积。大豆籽粒产量也是随 CO₂ 浓度的升高而增加, 如图 5。两者的线性方程为:

$$y = 32.5926 + 0.330x$$

相关系数为 0.9636, 标准差为 13.1163, 样本数为 10。

表 2 CO₂ 浓度与大豆的生物量

Table 2 CO₂ concentration and soybean biomass

CO ₂ 浓度 CO ₂ Concentration ($\times 10^{-6} \text{mg/m}^3$)	茎重 Stalk weight (g)	与对照相比(%) Compare with CK(%)	根重 Root weight (g)	与对照相比(%) Compare with CK(%)	总生物量 Total biomass (g)	与对照相比(%) Compare with CK(%)
222	359.18	13.46	39.60	25.11	418.75	14.55
278	440.37	39.11	51.81	63.69	518.02	41.70
333	510.58	61.29	57.18	80.66	610.06	64.14
389	575.39	81.76	77.56	145.05	685.18	87.42
对照 CK	316.56		31.65		365.57	

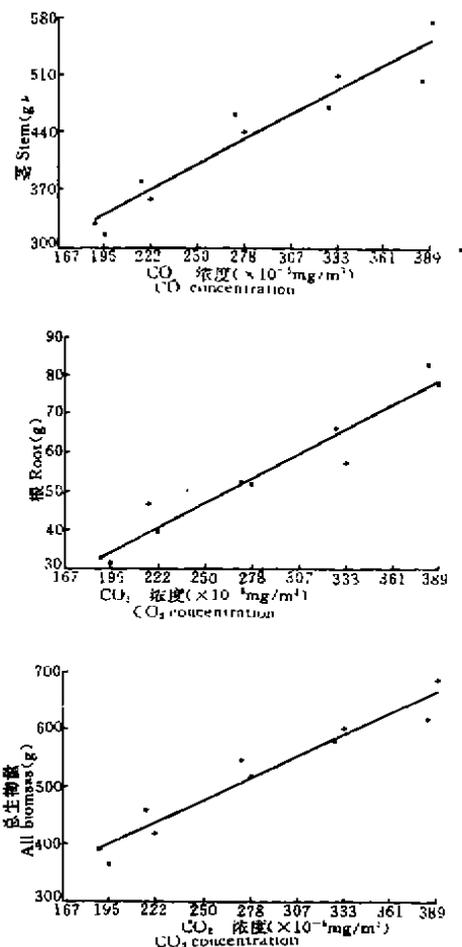


图 4 不同浓度与大豆生物量的关系
Fig. 4 The relationship between CO₂ concentration and soybean biomass
a. 大豆茎 Stalk weight, b. 大豆根 Root weight, c. 总生物量 Total biomass

大豆平均单株籽粒产量同 CO_2 浓度的关系见表 3。由表 3 可见, CO_2 浓度由目前升高到 $222 \times 10^{-6} \text{mg}/\text{m}^3$ 时, 大豆籽粒产量可增加 8%, 升高到 $389 \times 10^{-6} \text{mg}/\text{m}^3$ (约为目前的 2 倍) 时, 产量可提高 66%。这个结果是在水肥条件得到满足而又无杂草和病虫害影响的条件下 CO_2 的直接影响程度, 如果把间接影响加进去情况就一样了(因本文只讨论直接影响, 其它影响在此不加以分析)。

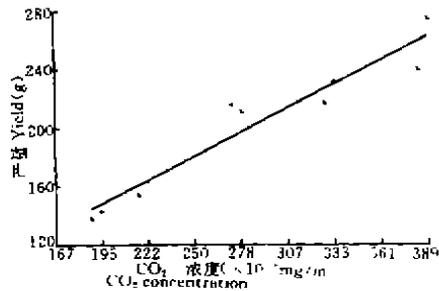


图 5 CO_2 浓度与大豆产量的关系

Fig. 5 The relationship between CO_2 concentration and yield

表 3 CO_2 浓度与大豆产量的关系

Table 3 CO_2 concentration and soybean grain yield (g/10 plants)

CO_2 浓度 CO_2 concentration ($\times 10^{-6} \text{mg}/\text{m}^3$)	产量 Yield (g/10 株)	与对照相比 Compare with CK (%)
222	7.92	8
278	9.69	32
333	10.81	47
389	12.15	66
对照 CK	7.33	

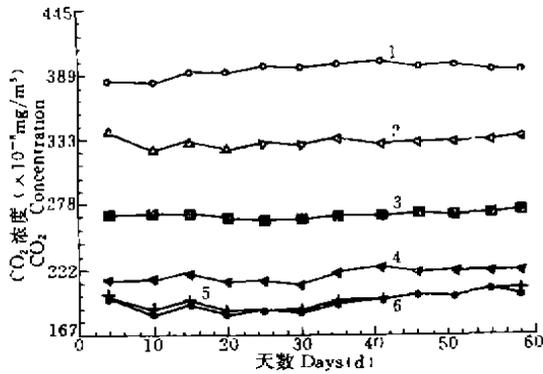
3.4 CO_2 对大豆产品质量的影响

本文利用上述 5 个处理的籽粒产量样品, 对粗蛋白、粗脂肪、脂肪酸进行了化验, 此项工作是在农业部谷物品质监测检验测试中心进行的, 所用设备有气相色谱仪、YG-2 脂肪提取器和半自动定氮仪等, 化验结果详见表 4。从表 4 可知, CO_2 浓度在 $333 \times 10^{-6} \text{mg}/\text{m}^3$ 以前, 粗蛋白、粗脂肪随 CO_2 浓度增加呈上升趋势, 而 CO_2 浓度达到 $389 \times 10^{-6} \text{mg}/\text{m}^3$ 时, 粗蛋白、粗脂肪则呈下降趋势。 CO_2 浓度升高, 脂肪酸变化不明显。

表 4 CO_2 对大豆品质的影响

Table 4 The influence of CO_2 on quality of soybean

处 理 Treatment	对照 CK	CO_2 浓 度		CO_2 concentration	
		222	278	333	389
粗蛋白 Rough protein	40.12	40.32	40.75	41.84	41.02
粗脂肪 Rough atach	19.25	20.11	20.77	21.82	21.51
棕榈酸 Palmitic acid	12.28	11.84	12.16	11.98	12.10
硬脂酸 Stearic acid	3.10	2.87	2.91	2.76	2.82
油 酸 Oleic acid	28.33	27.99	29.24	28.12	29.58
亚油酸 Linoleic acid	52.28	52.81	51.68	53.21	52.02
亚麻酸 Linseed acid	4.02	4.48	3.82	3.94	3.48

图 6 不同处理气室中 CO₂ 浓度的时间变化Fig. 6 The time change of CO₂ in different chamber

1. $700 \times 10^{-6} \text{mg/m}^3$ 2. 600×10^{-6} 3. 500×10^{-6}
4. 400×10^{-6} 5. 本底 Background 6. 对照 CK

4 结语

4.1 OTC-1 型开顶式气室的性能稳定

本试验共有 4 个 CO₂ 浓度,通气时间为 63d,在 63d 过程中各气室 CO₂ 是否能保持设计浓度,是试验成功与否的关键。图 6 给出了不同处理气室中 CO₂ 浓度的时间变化,由图 6 可见,不同处理气室中 CO₂ 浓度变化是比较稳定的,达到了设计要求,各处理的变异系数均小于 2.5%,详见表 5。由表 5 可见,4 个浓度变异系数均小于本底和对照,说明了 OTC-1 型开顶式气室性能是稳定的,用该装置进行长时间或短时间 CO₂ 浓度控制试验可以得到较为满意的结果。

4.2 试验结果表明,CO₂ 浓度变化对大豆光合作用率、干物质积累和籽粒产量均有明显的正效应。CO₂ 浓度在 $333 \times 10^{-6} \text{mg/m}^3$ 以前,粗蛋白、粗脂肪随 CO₂ 浓度增加呈上升趋势,而 CO₂ 浓度达到 $389 \times 10^{-6} \text{mg/m}^3$ 的,则呈下降趋势。

表 5 不同 CO₂ 浓度处理的变异系数Table 5 The variation coefficients (%) of different CO₂ concentration measurement

处理 Treatment	本底 Background	对照 CK	222	278	333 ($\times 10^{-6} \text{mg/m}^3$)	389
变异系数 (%) Variation coefficient (%)	3.56	3.91	2.42	1.08	1.33	1.04

4.3 该试验对开顶式气室的通风部分做了较大的改进,使得气室内 CO₂ 浓度分布均匀^[5],控制稳定,气室内外环境要素的差异低于国外同类气室,进而使得这项试验所获得的结果更接近于自然状况,更具有实际意义。

参 考 文 献

- 1 Gao Suhua *et al.* The possible impact of the greenhouse effect on the main food crops yield in China with the atmospheric CO₂ increase. *Annual Report*, Chinese Meteorological Press, 1991—1992, 171—176
- 2 Wang Futong, *et al.* A modelling analysis of effects of climate change on rice yield in the middle and lower reaches of Changjiang River and winter production in the Huang-Huai-Hai plain. *Annual Report*, Beijing, China Meteorological Press, 1991—1992, 158—164
- 3 Wang Futong, *et al.* The studies on the weather-food production in China. China Meteorological Press, 1989, 272
- 4 矢岛正晴. 关于二氧化碳对作物生长、产量的影响的研究. *气象科技*, 1992, (6): 84—89
- 5 王春乙等. OTC-1 型开顶式气室的结构和数据采集系统. *气象*, 19(4): 15—19
- 6 王春乙等. OTC-1 型开顶式气室物理性能的测试与评价. *气象*, 19(5): 23—26

EXPERIMENT WITH INFLUENCE OF CO₂ CONCENTRATION IN SIMULATED ATMOSPHERE ON SOYBEAN

Wang Chunyi Gao Suhua Pan Yaru Bai Yueming Wen Min

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

The touch experiment of long time measurement with different CO₂ concentrations on soybean was by using open top chamber OTC-1. The result shows that the influences of different CO₂ concentrations on soybean growth and development, mass and grain yield and photosynthesis rate are remarkably positive effects.

Key words: open top chamber, CO₂ concentration, soybean.