

CO₂ 和 O₃ 浓度倍增及其交互作用对大豆影响的试验研究*

白月明 王春乙 温民 黄辉

(中国气象科学研究院 北京 100081)

摘 要

以大豆“中黄-14”为试验材料,利用 OTC-1 型农田开顶式气室,首次模拟研究单独 CO₂ 和 O₃ 浓度倍增及其交互作用对大豆生物量、产量及其构成因子、同化产物分配形式和收获指数的影响。与未通 CO₂ 和 O₃ 的处理相比,单独 CO₂ 浓度倍增对生物量、产量、荚果串数、荚数、籽粒数、籽粒重具有正效应,O₃ 为明显的负效应,通气时段越长效果越明显;持续的 CO₂ 浓度和 O₃ 浓度倍增交互作用表现为 CO₂ 的影响大于 O₃;CO₂ 和 O₃ 交互作用逐渐达到浓度倍增的处理,由于 O₃ 剂量逐渐累积和阶段性增加,对大豆刺激逐渐增强,最终 O₃ 的负效应与 CO₂ 的正效应相近。单独 O₃ 浓度倍增抑制光合产物向根和籽粒的输送,向叶茎的输送明显增强,使根冠比(RSR)、子粒与茎秆比(GCR)明显下降,长期作用可使大豆收获指数(HI)减小,叶重比(LWR)显著增加,且随通气时间的延长影响增大;CO₂ 浓度倍增及其交互作用对 RSR、LWR、GCR 和 HI 影响相对较小,仅在 ±10% 左右。

关键词:CO₂ 和 O₃ 浓度倍增 交互作用 大豆产量 生物量

引 言

迄今为止,国内外学者对大气 CO₂ 浓度升高、O₃ 污染、UV-B 辐射等单因子对作物影响进行了大量研究^[1-3], O₃ 与 SO₂、NO₂、水分^[4-6], CO₂ 与温度、水分等复合效应对作物影响研究也取得很多成果^[7-8]。Krupa, S. V. 及 Kickert, R. N. (1989) 等人研究了 CO₂, O₃, UV-B 综合作用对植被的影响^[9], Rudorff, B. F. T. (1996) 等人研究了 CO₂ 与 O₃ 复合效应对冬小麦和玉米的影响^[10], CO₂ 与 O₃ 复合效应对大豆影响的研究方面国内外报导甚少^[11]。人口增加和人类活动导致近地层 CO₂ 和 O₃ 浓度不断升高,将对生态系统和农业生产产生重要影响。在以往的研究中,有关 CO₂ 和 O₃ 浓度倍增的交互作用、不同时间段的连续通气对作物影响试验研究未见报道。近年来,为了适应生态环境变化,提高产量,人们不断进行作物品种改良和更新换代,大豆“中黄-14”就是其中之一,有关品种特性已经鉴定,该品种对高 CO₂ 浓度和 O₃ 污染的反应没有研究。本文以“中黄-14”为例,借助农田开顶式气室,分别从五真叶、盛花、鼓粒到成熟三个不同时段进行连续通气 70 d、50 d 30 d 试验,模拟 CO₂、O₃ 浓度倍增及交互作用对生物量、产量、同化产物分配形式、产量构成因子、收获指数(经济产量/总生物量)的影响,揭示作物品种对 CO₂、O₃ 浓度倍

* 国家自然科学基金(批准号 49899270)资助。

2002-03-21 收到,2002-07-19 收到修改稿。

增及交互作用的响应特点,为国家制定农业生产计划和科学研究提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地点和设备

试验在中国气象局固城(河北保定)农业气象试验基地进行,主要设备为结构和性能完全相同的5个OTC-1型农田开顶式气室和与其配套的通气、通风设备^[12]。

1.2 CO₂和O₃来源、浓度处理及监测

CO₂:钢瓶装纯CO₂。O₃:高纯度O₂经清华大学研制的QHG-1型高频O₃发生器生成。CO₂、O₃分别经6支转子流量计(北京玻璃仪器厂生产)定量后分别由03-12A型风机(内置太原新华化工厂生产的X1000-1军用炭滤器)送入T1(CO₂浓度 $3.13 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、O₃为本底浓度,约 $2.23 \times 10^{-9} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$)、T2(O₃浓度 $4.46 \times 10^{-9} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、CO₂为本底浓度,约为 $1.56 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$)、T3(CO₂浓度 $3.13 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、O₃浓度 $4.46 \times 10^{-9} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$)、T4(CO₂、O₃浓度分别以步长每10天 $3.13 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $4.46 \times 10^{-10} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 从本底增到 $3.13 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $4.46 \times 10^{-9} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$)气室(表1),T5为对照,只通风不通气。浓度监测:分别将2根取样管的一头置于气室中央,距栅板1m高处,另一头分别连接QGS-08型远红外CO₂分析仪和APOH-350E型环境O₃分析仪,进行浓度监测。7月14日开始通气试验,每天通气7h(北京时间09:00~16:00),作物成熟时结束。试验期内O₃和CO₂浓度控制较稳定,变幅在±5%之间。

表1 T4处理下不同通气天数的CO₂和O₃浓度变化

通气天数	T4处理CO ₂ 和O ₃ 浓度的逐渐增加
70 d	7月13日(五真叶期)移入,当时CO ₂ 、O ₃ 浓度为本底。从7月24日起,CO ₂ 、O ₃ 分别以步长每10天 $3.13 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $4.46 \times 10^{-10} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 增到 $3.13 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $4.46 \times 10^{-9} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。
50 d	8月3日(盛花期)移入,当时CO ₂ 、O ₃ 浓度为 $1.87 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $2.68 \times 10^{-9} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,从8月4日起,以70d相同的步长逐渐增加。
30 d	8月23日(鼓粒期)移入,当时CO ₂ 、O ₃ 浓度为 $2.49 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $3.58 \times 10^{-9} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,从8月24日起,以70d相同的步长逐渐增加。

1.3 材 料

以大豆“中黄-14”为试验材料(中国农业科学研究院作物研究所大豆研究室提供),特点为有限结荚、大籽粒品种。2001年6月22日播种于盆口直径36cm、深26cm的瓦盆中,共280盆,每盆15株。三真叶期每盆均匀定植5株,选长势均匀的大豆210盆用于本试验。每个处理42盆,分3次移入气室,7月13日每气室移入36盆,8月3日(通气后20d)和8月23日(通气后40d)将其余的30盆移入气室(每次每气室3盆)。为确保各盆土质、肥力均匀,取同一地块20cm厚度内表层土壤过筛拌匀后装盆播种。试验期间保证水分充足,无水、肥、病虫害、杂草等非试验因素影响。

1.4 取样和分析

大豆成熟期对各浓度处理连续通气70d、50d、30d的样本进行一次性取样,每个处理3个重复,测定各器官生物量干重(凋落物干重为每5~10d收集的落叶、柄、花、荚重

之和)、荚果串数、荚数、籽粒数、籽粒重和百粒重等,除籽粒自然风干外其余样本用远红外线干燥箱烘干,电子分析天平称重,各项目均取平均值进行分析。

2 结果与分析

2.1 CO₂ 和 O₃ 浓度倍增及交互作用对生物量和产量的影响

图 1 表明,大豆生物量(包括凋落器官)和产量对单独 CO₂ 的正效应和 O₃ 的负效应响应显著,二者的交互作用表现为 O₃ 对 CO₂ 正效应的减弱和抑制,或者说是 CO₂ 对 O₃ 负效应的缓解和弥补,使生物量和产量介于二者之间。与同期 T5 比,通气 70 d、50 d 和 30 d 时,T1 的生物量和产量可分别增加 20.3%、20.3%、19.1%、13.4%、15.5%、9.4%;T2 可分别减少 48.6%、61.6%、22.8%、28.5%、14.9%、14.7%;T3 表现为 CO₂ 的影响大于 O₃,生物量和产量均为正增长,最大可分别增加 8.3%(30 d)和 6.8%(70 d);T4 为 CO₂ 浓度和 O₃ 浓度逐渐达到倍增的处理,由于 O₃ 剂量累积逐渐增加和刺激逐渐增强,生物量和产量在通气 30 d 和 50 d 时与 T5 接近,70 d 时略高 4.5%和 1.8%。从 5 个处理最终生物量和产量看,延长通气时间 O₃ 的负效应对 T2 影响最大,其次为 T4;CO₂ 的正效应影响最大为 T1,其次为 T3。从 3 次分期移入的试验结果看,五真叶期比盛花期、鼓粒期移入影响大,即通气时间延长影响增大。

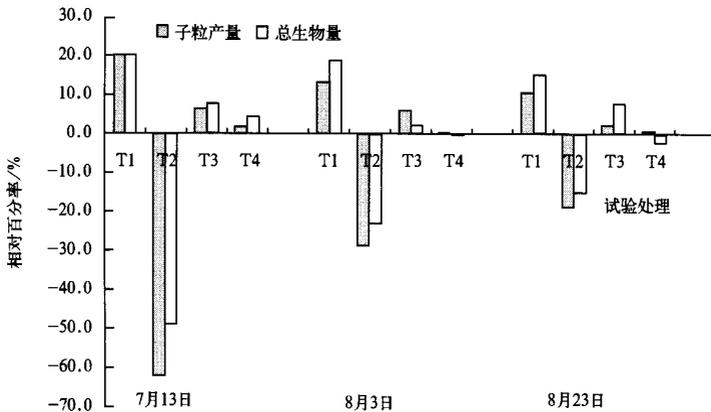


图 1 CO₂、O₃ 浓度倍增及交互作用对大豆生物量和产量的影响

2.2 CO₂ 和 O₃ 浓度倍增及交互作用对光合产物分配的影响

表 2 表明,与 T5 比,单独 O₃ 浓度倍增可严重抑制光合产物向根输送,向茎叶输送相对增强,T2 的根冠比(RSR)、子粒与茎秆比(GCR)分别平均降低 26.1%、18.1%,叶重比(LWR)增加 22.0%,其影响程度随通气时间的延长而加强;单独 CO₂ 浓度倍增对地上部分影响大,RSR 下降,叶茎的增加使 LWR 上升、GCR 下降;T3、T4 的 RSR、LWR、GCR 与 T5 差异不大,变化规律也不明显。

2.3 CO₂、O₃ 浓度倍增及交互作用对产量构成各要素的影响

表 3 表明,CO₂、O₃ 浓度倍增及交互作用可影响大豆单株荚果串数、荚数、籽粒数和籽

表 2 CO₂、O₃ 浓度倍增及交互作用对光合产物分配的影响

处理	项目	开始通气时间(月-日)		
		07-13	08-03	08-23
T1	RSR	0.09(-10.0%)	0.09(-10.0%)	0.10(-9.1%)
	LWR	0.20(0.0%)	0.20(+11.1%)	0.20(+11.1%)
	GCR	0.62(0.0%)	0.59(-7.8%)	0.59(-7.8%)
T2	RSR	0.06(-40.0%)	0.08(-20.0%)	0.09(-18.2%)
	LWR	0.31(+55.0%)	0.20(+11.1%)	0.18(0.0%)
	GCR	0.38(-38.7%)	0.55(-14.1%)	0.63(-1.6%)
T3	RSR	0.09(-10.0%)	0.11(+10.0%)	0.12(+9.1%)
	LWR	0.20(0.0%)	0.16(-11.1%)	0.16(-11.1%)
	GCR	0.61(-1.6%)	0.69(+7.8%)	0.61(-4.6%)
T4	RSR	0.11(+10.0%)	0.11(+10.0%)	0.11(0.0%)
	LWR	0.19(+5.0%)	0.16(-11.1%)	0.16(-11.1%)
	GCR	0.61(-1.6%)	0.66(+3.1%)	0.68(+6.3%)
T5	RSR	0.10	0.10	0.11
	LWR	0.20	0.18	0.18
	GCR	0.62	0.64	0.64

表中 RSR、LWR、GCR 分别为根冠比、叶重比、子粒与茎秆比。括号内的数字为与 T5 相比的增减率。

表 3 单株产量构成因子相对 T5 变化率

项目	07-13					T5	08-03					T5	08-23					T5
	相对 T5 的变化(%)						相对 T5 的变化(%)						相对 T5 的变化(%)					
	T1	T2	T3	T4			T1	T2	T3	T4			T1	T2	T3	T4		
串数(串)	11.7	-11.7	11.7	10.6	9.4	19.6	0.9	14.0	4.7	10.7	27.2	4.9	14.6	0.0	10.3			
荚数(个)	25.1	-31.6	19.3	16.0	18.7	11.4	-9.9	4.9	2.3	21.3	19.3	-10.2	5.1	3.3	21.5			
粒数(粒)	19.3	-41.2	13.1	9.8	49.8	9.5	-23.3	1.6	2.3	55.5	11.5	-10.3	4.3	3.1	53.0			
1粒荚数(个)	44.4	44.4	66.7	55.6	0.9	15.4	53.8	38.5	46.2	1.3	16.0	8.0	-16.0	-20.0	2.5			
2粒荚数(个)	16.7	-1.9	44.4	37.0	5.4	12.5	21.9	40.6	1.6	6.4	35.4	8.5	7.3	2.4	5.2			
3粒荚数(个)	25.7	-46.5	5.9	7.9	10.1	9.7	-41.8	-8.5	-7.3	11.5	9.3	-19.4	7.0	4.7	9.9			
4粒荚数(个)	-5.0	-90.0	-15.0	-25.0	2.0	-4.8	-28.6	0.0	28.6	2.1	-11.5	-23.1	-34.6	3.8	2.6			
1粒荚籽粒重(g)	32.2	-17.8	42.5	34.5	0.174	10.6	33.8	26.3	28.1	0.160	29.8	1.6	-19.0	-17.0	0.305			
2粒荚籽粒重(g)	21.8	-37.0	35.4	28.8	2.154	2.8	-12.4	17.1	-30.4	2.737	32.8	8.2	-1.9	6.8	2.419			
3粒荚籽粒重(g)	26.1	-64.1	1.0	-1.0	6.055	22.4	-35.9	3.8	8.3	5.959	4.2	-24.9	14.8	1.0	5.853			
4粒荚籽粒重(g)	-5.4	-90.8	-13.8	-28.3	1.570	-6.0	-36.8	-7.3	25.3	1.241	-10.8	-14.9	-29.9	-6.4	1.586			
百粒重(g)	0.9	-34.8	-5.6	-7.4	19.991	1.5	-8.4	-0.5	-2.2	18.480	0.8	-3.3	-0.3	-0.9	18.951			

粒重,影响程度因二者浓度比例、通气天数和通气方式不同而表现出较明显的差异性。与同期 T5 比,T1 单株荚数和籽粒数增加最多,T3、T4 次之,T2 明显减少。多数情况下,串数对 CO₂、O₃ 浓度的响应规律不明显。进一步分析发现,在通气 70 d 时,T1、T3、T4 各处理 1 粒、2 粒、3 粒荚果数和相应籽粒重同期比 T5 为增加趋势,是形成产量的主要部分,4 粒荚果数及其籽粒重下降,T2 除 1 粒(和 2 粒)荚数增加外,其它均明显下降,是产量下降的根本原因;通气 50 d 以内,T1、T2 产量构成各因子响应趋势与 70 d 相似,T3 和 T4 因交互影响的复杂性和通气时段较短而无太大变化。表 3 还表明,CO₂、O₃ 浓度倍增可明显影响大豆籽粒大小,O₃ 的影响明显高于 CO₂,与同期 T5 比,T2 大豆百粒重最大可降低 34.8%(70 d),T1 最大仅增加 1.5%(50 d),可能与试验大豆为籽粒增重潜势低的大粒品种有关;比较 T1、T2、T3、T4 可知,虽然单独 CO₂ 浓度倍增使百粒重增加不大,却能明显补偿 O₃ 对大豆百粒重的降低,长期 CO₂ 和 O₃ 交互作用使同一株正常结实的籽粒一部分与 T1 的大小相似,另一部分近于 T2,造成这种结果的原因及品质差异性有待进一步研究。

2.4 CO₂、O₃ 浓度倍增及交互作用对收获指数的影响

表 4 显示,单独 CO₂ 浓度倍增及与 O₃ 浓度倍增后的交互作用对大豆收获指数(HI)影响较小,随通气天数也无明显的变化规律。与同期 T5 比,T1、T3、T4 的 HI 变化幅度,除 T3 的 50 d 略高外,其余仅为 ±3% 以内。单独 O₃ 浓度倍增的长期作用使大豆收获指数减小,通气 30 d 时无影响,50 d 以后下降,70 d 时下降最大(达 25.7%)。

表 4 CO₂、O₃ 浓度倍增及交互作用对收获指数(HI)的影响

处理	通气开始时间(月-日)		
	07-13	08-03	08-23
T1	0.35	0.34	0.34
T2	0.26	0.33	0.35
T3	0.35	0.37	0.34
T4	0.34	0.36	0.36
T5	0.35	0.35	0.35

3 讨 论

研究表明,O₃ 浓度增加可使敏感植物叶片受害、叶绿素被破坏,气孔关闭、CO₂ 吸收率降低,光合速率下降,导致生物量和产量下降^[13-14];CO₂ 浓度升高,将提高 C₃ 植物的生物量和产量^[15],大豆是对 O₃ 敏感的 C₃ 植物^[16]。本试验结果(图 1)中,分别通气 70 d、50 d、30 d 的大豆,单独 CO₂ 浓度倍增使生物量和产量都呈增加的趋势,最多可分别增加五分之一以上;单独 O₃ 浓度倍增使生物量最多可减少近一半,产量最多减产五分之三以上。CO₂ 和 O₃ 浓度倍增的交互作用对大豆生物量和产量的影响报道甚少,因此难以进行比较,本文的试验结果是,CO₂ 和 O₃ 交互影响不是其单独作用的简单叠加,CO₂ 可缓解 O₃ 对作物影响的负效应,O₃ 对 CO₂ 影响的正效应有削弱作用,对生物量和产量影响大小主要取决于通气方式,持续倍增交互作用表现为 CO₂ 的影响大于 O₃,生物量和产量均为

正增长;交互作用逐渐达到倍增的处理,由于 O_3 浓度逐渐增强的刺激作用使叶片伤害加重,最终 CO_2 和 O_3 的影响相近,生物量和产量变化不大。 CO_2 浓度倍增使单株大豆增产主要由增加籽粒数来实现,籽粒大小影响不大,与以前的研究结果相似^[17]; O_3 浓度倍增减产与籽粒数减少和籽粒变小双重因子相关(表 3)。可见,培育作物品种考虑其对 O_3 的抗性基因和适应未来生态环境是非常重要的。

CO_2 和 O_3 不仅影响作物光合产物的积累,也会改变光合产物向各器官的分配模式。D. R. Cooley & W. J. Manning 研究认为^[18], O_3 可改变苜蓿干物质分配,对根的影响最大,其次是叶和茎,与本文 O_3 对大豆光合产物向各器官的分配的结果相一致(表 2)。本文认为, CO_2 浓度倍增使大豆 RSR 减小,且有 O_3 胁迫下的 RSR 多数为增加趋势,与康绍忠等人^[8]研究的大气 CO_2 浓度倍增时,小麦、玉米、棉花在水分保证条件下 RSR 没有增加,水分胁迫时 RSR 明显增加的结果相似。另外,单独 CO_2 浓度倍增使叶片和茎秆增加相对较快,GCR 相对减小,LWR 增加,HI 无明显影响; CO_2 和 O_3 浓度倍增交互作用对 LWR、GCR、HI 影响较小;单独 O_3 浓度倍增的长期作用可减小大豆 HI。

参考文献

- 1 王春乙,潘亚茹,白月明,等. CO_2 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.
- 2 郭建平,王春乙,白月明,等. 大气中 O_3 浓度变化对冬小麦生理过程和籽粒品质的影响. 应用气象学报,2001,12(1):255~256.
- 3 冯虎元,陈拓,徐世健,等. UV-B 辐射对大豆生长、产量和稳定碳同位素组成的影响. 植物学报,2001,43(7):709~713.
- 4 Olszyk D M. Effects of sulfur dioxide and ambient ozone on winter wheat and lettuce. *J of Environ. Qual.*, 1986,15:363~369.
- 5 Ito O, Okano K, Kuroiwa M, et al. Effects of NO_2 and O_3 alone or in combination on kidney bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.): Growth, partitioning of assimilates and root activities. *J. Exper. Bot.*, 1985,36(4):652~662.
- 6 King D A., Nelson W L. Assessing the impacts of soil moisture stress on regional soybean yield and its sensitivity to O_3 . *Agric. Eco. & Environ.*, 1987,20:23~35.
- 7 郭建平,高素华,刘玲. 气象条件对作物品质和产量影响的试验研究. 气候与环境研究,2001,6(3):361~367.
- 8 康绍忠,张富仓,梁银丽,等. 土壤水分和 CO_2 浓度增加对小麦、玉米、棉花蒸散、光合及生长的影响. 作物学报,1999,25(1):55~63.
- 9 Krupa S V, Kickert R N. The greenhouse effect: Impacts of ultraviolet B (UV-B) radiation, carbon dioxide (CO_2), and ozone (O_3) on vegetation. *Environ. Pollut.*, 1989,61:263~393.
- 10 Rudorff B F T, Mulchi C L, Lee E H, et al. Effects of enhanced O_3 and CO_2 enrichment on plant characteristics in wheat and corn. *Environ. Pollut.*, 1996,94(1):53~60.
- 11 Mulchi C L. Growth and physiological characteristics of soybean in open-top chambers in response to ozone and increased atmospheric CO_2 . *Agriculture Ecosystems and Environment*, 1992,38:107~108.
- 12 王春乙,郭建平,白月明,等. 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,2000,8(3):383~384.
- 13 白月明,郭建平,刘玲,等. 臭氧对水稻叶片伤害、光合作用及产量的影响. 气象,2001,27(6):17~21.
- 14 白月明,郭建平,王春乙,等. 水稻和冬小麦对臭氧的反应及其敏感性试验研究. 中国生态农业学报,2002,(1):13~16.
- 15 王修兰,徐师华. CO_2 浓度倍增对大豆各生育期阶段的光合作用及干物质积累的影响. 作物学报,1994,20(5):520~527.

- 16 Virginia M L , Rawlrigs J O , Spruill S E , et al . Ozone effects on agricultural crops : statistical methodologies and estimated dose-response relationship . *Crop Science* , 1990 ,**30** :148 ~ 155 .
- 17 王春乙 . 模拟大气中 CO₂浓度对大豆影响的试验 . *生态学报* ,1995 ,**15**(2) :176 ~ 183 .
- 18 Cooley D R , Manning W J . Ozone effects on growth and assimilate partitioning in alfalfa , *Medicago sativa* L . *Environ . Pollut .* , 1988 ,**49** :19 ~ 36 .

EXPERIMENTAL STUDY OF SINGLE AND INTERACTIVE EFFECTS OF DOUBLE CO₂ , O₃ CONCENTRATIONS ON SOYBEAN

Bai Yue ming Wang Chunyi Wen Min Huang Hui

(*Chinese Academy of Meteorological Sciences , Beijing 100081*)

Abstract

The single or interactive effects of double CO₂ and O₃ concentrations on soybean (*Glycine max* L. Merr.) are investigated for first time by using a soybean cultivars , Zhonghuang14 , in an open top chamber . Contrasting to the control , the effects of doubled CO₂ concentration alone on soybean biomass , yield , legumen bunches , legumen numbers , grain numbers and weight are positive , but the effects of doubled O₃ concentration alone on the above parameters are obviously negative ; and the longer the ventilation time periods are , the more obvious the effects are . When both CO₂ and O₃ concentrations are doubled , their interaction shows that the effect of CO₂ is greater than that of O₃ . In the process of CO₂ and O₃ concentrations increasing gradually , the negative O₃ effect approached the positive CO₂ effect eventually because of the gradually cumulating O₃ concentration and gradually increasing stimulation . The doubled O₃ concentration alone suppresses photosynthetic products into the soybean roots and grains , but increases those into soybean stems and leaves , resulting in the reduced root/shoot ratio (RSR) and grain/culm ratio (GCR) . The long-period effect reduces Harvest Index (HI) and increases Leaf Weight Ratio (LWR) markedly . With the ventilation time prolonged the effects are more remarkable . The interactive effects of doubled CO₂ and O₃ concentrations on the RSR , LWR , GSR and HI are relatively slight , only within ± 10 % .

Key words : Doubled CO₂ and O₃ concentration Interaction Soybean production Biomass