

O₃ 浓度增加对冬小麦影响的试验研究*

王春乙 郭建平 白月明 温 民

(中国气象科学研究院, 北京, 100081)

刘骥平

(哥伦比亚大学地球环境科学系, 纽约, 10964)

刘江歌 李 雷

(中国人民解放军防化研究院, 北京, 100083)

摘 要

利用 OTG-1 型开顶式气室对冬小麦进行不同 O₃ 浓度处理的试验研究。结果表明, O₃ 浓度增加, 冬小麦发育期表现为开花前期有所延迟, 开花后期的各发育期明显提前, 生育期缩短, 植株矮化, 干物质累积量明显下降。无论是长时期通气处理还是阶段性通气处理, 产量均明显降低。

关键词: 臭氧, 开顶式气室, 冬小麦, 影响。

1 引 言

光化学烟雾在欧美一些工业发达国家是居首位的大气污染物^[1], 在光化学烟雾中, O₃ 是最主要成分, 约占总量的 90%。近年来, 对流层 O₃ 增加和平流层 O₃ 减少已被许多观测和理论计算所证实。

1943 年洛杉矶烟雾事件以来, O₃ 对农作物的影响研究普遍受到重视^[2]。如 Daines 对谷类作物, Richards 对葡萄, Heggstad 对烟草, Miller 对松柏科植物, Wood 对一些观赏性植物等都进行了相应研究。Heagle 等^[3-5]利用开顶式气室相继开展了 O₃ 对农作物影响和危害的试验研究。Miller 等^[6-9]研究了 O₃ 与水分、温度胁迫及 O₃ 与 SO₂, NO₂, CO₂ 的复合效应对农作物的影响和危害。Oshima^[10]等研究了 O₃ 对农作物产量和叶面积变化的影响。近年来, Krupa^[11, 12]等利用多年的试验资料, 研究了 O₃ 对农作物影响的因果关系, 建立了相应的数学模式, 用于评价 O₃ 浓度变化对农业生产的影响^[13]。综观该项研究的历程, 所使用的设备主要有, 封闭式静态或动态气室, 环境要素可调节的温室, 开顶式气室等; 试验方法主要有自由通风无气室田间暴露法, 自然 O₃ 浓度梯度法, 化学防护法及隔离栽培法。

实践证明开顶式气室较为理想, 它的优点是环境要素同自然状况差异较小, 可以进行不同 O₃ 浓度控制。我们在参照 Heagle 等^[3-5]设计的开顶式气室优点的基础上, 建造了一套 OTG-1 型开顶式气室, 它对传统的通风方式做了明显改进, 即先将经过滤的自然空气和按试验需求配制的试用气体混合均匀后送入气室底部空间, 再从栅板上均匀分布的 3000 多个直径为 1.2 cm 的通风孔进入气室。供试作物置于栅板上。此种通风方式既可保证气室内供试气体浓度的横向和纵向分布的均匀性, 也可提高气室的散热效率, 降低气室内温度。关于 OTG-1 型开顶式气室的结构和性能详见文献[14, 15]。

目前, 中国学者还没有在大范围开展 O₃ 浓度增加对农作物影响的试验研究, 使用开顶式气室进行这项试验也较少。文中利用 OTG-1 型开顶式气室进行 O₃ 浓度增加对中国主要作物生长发育及产量和品质影响的试验研究, 其目的是为准确评估区域气候变化对农业生产的可能影响提供理论参数, 为中国政府制定农业可持续发展战略提供可靠依据。本文简要介绍了长时期 O₃ 浓度处理对冬小麦生产发育和产量结构的影响以及阶段性 O₃ 浓度处理对冬小麦产量的影响。

* 初稿时间: 2000 年 10 月 20 日; 修改稿时间: 2001 年 8 月 30 日。
资助课题: 国家自然科学基金重大资助项目(49899270)。

2 试验材料和方法

2.1 试验地点及设备

试验地点位于河北省定兴县的中国气象局农业气象试验基地, 试验设备为 OTC-1 型开顶式气室。

2.2 试验设计

该项试验是在 5 个完全相同的气室内进行的, 设 3 个处理, O₃ 浓度分别为 50, 100, 200 ppb^①。3 个浓度的设置的主要依据: (1) 国外同类研究所认同的, (2) 中国区域大气本底站瓦里关山、龙凤山和临安的实际观测结果, (3) 美国环保局(EPA) 公布的 O₃ 对作物影响的下限标准为 40 ppb。文中设置的 50 ppb 处理, 是具有意义的, 针对性较强, 100 ppb 处理具有一定的超前性。由于不同作物对 O₃ 的响应是不同的, 其中水稻属于不敏感型, 因此, 设置了一个 200 ppb 处理, 目的是确保获得满意的实验结果。另设 2 个对照, 一个是活性炭过滤(CF), 另一个是没有活性炭过滤(AA)。

2.3 O₃ 生成与浓度监测

供试 O₃ 是用瓶装高纯度 O₂ 经 QHG-1 型高频 O₃ 发生器生成。生成后的 O₃ 经分支管, 用转子流量计控制其流量, 配置成不同浓度送入气室。气室内 O₃ 浓度是由位于气室中央, 作物冠层上方 10 cm 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 APOH-350E 型环境 O₃ 分析仪, 再将结果送入 MCS-51 型单片机, 最后将所有结果送入计算机。

2.4 O₃ 暴露与作物管理

供试作物为冬小麦, 品种为京冬 6 号。盆栽冬小麦于 1999 年 3 月 31 日移入气室, 此时正值返青后期。4 月 3 日开始通气试验, 每天通气 7 h(09:00 ~ 16:00), 6 月 3 日通气结束, 6 月 5~8 日收获。试验期间各项农业管理措施相同, 水肥不是限制因子, 可以看成为单要素控制试验。

3 试验结果与分析

3.1 长时期通气处理对冬小麦生长发育及产量结构的影响

4 月 3 日开始通气, 6 月 3 日通气结束, (在 4 月 15~17 日, 因故停止通气 3 d), 基本上可以看成是长时期的通气试验。

3.1.1 O₃ 浓度增加对冬小麦发育期的影响

在试验中, 对冬小麦发育期变化进行了观测, 结

果如表 1 所示。

表 1 O₃ 浓度增加对冬小麦发育期的影响(日/月)

发育期	浓度处理				
	200 ppb	100 ppb	50 ppb	CF	AA
返青	4/3	4/3	4/3	4/3	4/3
拔节	14/4	13/4	13/4	12/4	13/4
孕穗	17/4	17/4	16/4	16/4	16/4
抽穗	1/5	29/4	29/4	29/4	28/4
开花	6/5	5/5	4/5	4/5	5/5
乳熟	25/5	1/6	2/6	2/6	2/6
成熟	3/6	5/6	8/6	8/6	8/6

从表 1 可以看出, 冬小麦在室外时发育期相同, 移入气室后, 200 和 100 ppb 浓度处理冬小麦发育期发生变化, 而 50 ppb 与 CF 和 AA 相比变化不大, 基本相同, 如果说有变化, 仅相差一天。对于 200 和 100 ppb 两个处理, 从冬小麦拔节到开花初期, 由于高浓度 O₃ 的刺激与伤害作用, 使得冬小麦发育期有所偏晚, 达 1~2 d 左右。但从开花后期到成熟阶段, 冬小麦发育期发生明显变化, 由于 O₃ 的伤害, 体内营养不足, 叶片老化加速, 发育期明显提前, 籽粒灌浆期缩短, 结果为乳熟期提前 7 d 左右, 成熟期提前 5 d 左右, 最终表现为生育期缩短。

3.1.2 O₃ 浓度增加对冬小麦株高的影响

表 2 列出了 O₃ 浓度增加对冬小麦株高的影响试验中, 不同发育期冬小麦株高观测数据。从表中同样可看到, 将冬小麦移入气室后株高发生了变化, O₃ 浓度增加, 使冬小麦植株矮化, 在拔节和孕穗期时, 200 和 100 ppb 浓度处理条件下变化不大, 与 CF 和 AA 相比仅差 1~2 cm 左右, 抽穗期明显发生变化, 相差 4~8 cm, 开花期相差 2~5 cm, 乳熟期和成熟期相差 4~7 cm。

表 2 O₃ 浓度增加对冬小麦株高的影响(cm)

发育期	浓度处理				
	200 ppb	100 ppb	50 ppb	CF	AA
返青	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0
拔节	23.0	23.1	23.4	23.9	23.8
孕穗	26.9	27.1	28.0	28.6	27.3
抽穗	47.2	51.1	55.7	60.4	54.9
开花	62.3	64.6	67.4	65.2	68.9
乳熟	63.4	66.6	70.4	70.6	71.5
成熟	63.4	66.6	70.4	70.6	71.5

① 1 ppb = 10⁻⁹ μmol/L。

3.1.3 O₃ 浓度增加对冬小麦生物量的影响

在试验中,每隔 10 d 测定一次生物量,每次取样 2 盒共 20 株,分为地下、地上和总生物量 3 部分,这里仅对总生物量做一具体分析。不同 O₃ 浓度处理对冬小麦生物量影响如图 1 所示。从图 1 可知,50 ppb 与 CF 和 AA O₃ 浓度设置之间差异不是很大,50 ppb 略低于 CF 和 AA。100 ppb 较为明显,并且在 6 月 1 日取样时单株生物量干重为 9.402 g,6 月 8 日收获期为 8.028 g,呈下降趋势。200 ppb 则

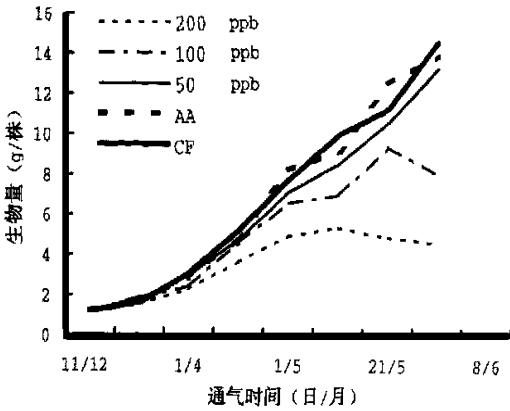


图 1 O₃ 浓度增加对冬小麦总生物量的影响

更为明显,5 月 21 日取样单株生物量干重为 5.362 g,6 月 1 日和收获期分别为 4.887 和 4.169 g,下降趋势更为明显。这说明了此时基部叶片枯死脱落,根系开始死亡。从总的干物质积累来看,证明了前面所述的发育期缩短,植株矮化是正确的,发育期、株高、生物量 3 者变化趋势非常一致。

3.1.4 O₃ 浓度增加对冬小麦产量结构的影响

200 ppb O₃ 浓度处理的冬小麦于 6 月 5 日收获,其余 4 种处理均于 6 月 8 日收获,收获时取样 8 盒共 80 株,进行考种分析(见表 3),表 3 中的 6 个产量结构要素均为 80 株的平均值。众所周知,O₃ 浓度变化对农作物影响的最主要因素是单株籽粒产量,从表 3 可知,O₃ 浓度增加,单株籽粒产量明显下降,200,100,50 ppb 处理,同 CF 相比,籽粒产量的下降率分别为 80.4,58.9,10.1,同 AA 相比较,籽粒产量下降率分别为 81.3,60.5,14.5。当 O₃ 浓度设置为 50 ppb 时,对冬小麦产量影响约为 10.1%~14.5%;当 O₃ 浓度升到 100 ppb 时,产量急剧下降,对产量的影响约为 58.9%~60.5%;当 O₃ 浓度升到 200 ppb 时,产量下降更为明显,对产量的影响约为 80.4%~81.3%。可见,O₃ 浓度升高对冬小麦产量的伤害和影响十分明显。

表 3 O₃ 浓度增加对冬小麦产量结构的影响

生物量	浓度处理				
	200 ppb	100 ppb	50 ppb	CF	AA
株茎数(个)	3.20	4.31	4.28	5.01	4.71
株穗数(个)	3.04	4.28	4.19	4.88	4.65
穗长(cm)	6.13	6.25	5.97	6.10	5.99
穗粒数(个)	18.80	24.05	24.15	28.90	25.95
千粒重(g)	19.979	26.358	55.046	49.972	49.826
籽粒重(g)	1.198	2.526	5.467	6.108	6.397

表 4 阶段性通气处理对冬小麦产量结构的影响

产量结构	浓度处理									
	200 ppb		100 ppb		50 ppb		CF		AA	
	取 样 时 间(日/月)									
	21/4	11/5	21/4	11/5	21/4	11/5	21/4	11/5	21/4	11/5
平均小穗数(个)	16.1	16.2	15.5	16.3	15.7	16.1	17.3	17.0	16.6	16.0
平均穗长(cm)	6.96	6.90	7.06	6.81	6.97	7.47	6.87	6.88	7.06	6.82
10个茎籽粒重(g)	7.254	9.896	10.781	13.306	12.411	14.139	12.817	13.749	13.528	14.963

3.2 阶段性通气处理对冬小麦产量的影响

将室外生长的冬小麦分别于 4 月 21 日和 5 月 11 日移入气室,每次 2 盒,收获时测定产量变化(表 4)。从表 4 可知,通气时间的加长,产量下降,5 月

11 日与 4 月 21 日移入气室的冬小麦产量差异是明显的,200 ppb 处理下降 26.7%,100 ppb 处理下降 18.9%,50 ppb 处理下降 12.2%,下降率 200 ppb>100 ppb 和 50 ppb,100 ppb>50 ppb,说明不同通气

时间对冬小麦产量的影响是明显的。

4 初步结论

通过开顶式气室的试验结果表明, O₃ 浓度增加对冬小麦生长发育和产量的影响是明显的, 在 O₃ 浓度增加的情况下, 可以得出如下初步结果:

(1) 冬小麦生育期缩短。O₃ 浓度增加到 200 ppb 时冬小麦生育期缩短 5 d 左右, 100 ppb 缩短 3 d 左右, 50 ppb 基本相同。

(2) 冬小麦植株矮化。O₃ 浓度增加到 200 ppb 冬小麦植株矮 7 cm 左右, 100 ppb 矮 4 cm 左右, 50

ppb 无明显变化。

(3) 总干物质积累量下降。O₃ 浓度增加到 200 ppb 单株总干物质积累量下降 75% 左右, 100 ppb 下降 45% 左右, 50 ppb 下降 14% 左右。

(4) 籽粒产量明显下降, O₃ 浓度增加到 200 ppb 单株产量下降 80% 左右, 100 ppb 下降 60% 左右, 50 ppb 下降 14% 左右。

(5) 阶段性通气处理对冬小麦产量影响是明显的, 通气 39 d 与 19 d 相比, 200 ppb O₃ 浓度处理产量下降 26.7%, 100 ppb 下降 18.9%, 50 ppb 下降 12.2%。

参考文献

- 1 Sagar V K, Manning W J. Plant injury induced by ozone. *Environ Polluti*, 1988, 50: 101~ 137
- 2 Rich S. Ozone damage to plants. *Ann Rev Phytopathology*, 1964, 2: 253~ 266
- 3 Heagle A S, Body D E, Heck W W. An open top field chamber to assess the impact of air pollution on the plant. *J Environ Qual*, 1973, 2: 365~ 368
- 4 Mandle R H. A cylindrical open top chamber for the exposure of plants to air pollution in the field. *J Environ Qual*, 1973, 15(2): 371~ 376
- 5 Musselman R C. Field chambers for assessing crop loss air pollutants. *J Environ Qual*, 1986, 15(2): 152~ 157
- 6 Miller J E. Growth of cotton under chronic ozone stress at two levels of soil moisture. *J Environ Qual*, 1988, 17: 635~ 843
- 7 Pell E J. Qualitative and quantitative effects of ozone and/or sulphur dioxide on field grown potato plants. *Environ polluti*, 1988, 53: 171~ 186
- 8 Adaros G. Single and interactive of low levels of O₃, SO₂ and NO₂ on the growth and yield of spring rape. *Environ polluti*, 1991, 72: 269~ 286
- 9 Vandermeiren K. Effects of air filtration on spring wheat grown in open top field chambers at a rural site: Effects on mineral partitioning, sulphur and nitrogen metabolism and on grain quality. *Environ pollution*, 1992, 77: 1~ 5
- 10 Oshima K T. Ozone dose crop loss function for alfalfa: A standardized method for assessing crop loss from air pollutants. *JAPCA*, 1976, 26: 281~ 285
- 11 Krupa S V. Ambient ozone and crop loss: Establishing a cause effect relationship. *Environ pollut*, 1994, 83: 269~ 276
- 12 Krupa S V. A numerical analysis of the combined open top data from the USA and Europe on ambient Ozone and negative crop responses. *Environ pollut*, 1998, 101: 157~ 160
- 13 Chameides W L. Growth of continental scale metro agroplexes, regional ozone pollution, and world food production. *Science*, 1994, 264: 74~ 77
- 14 王春乙等. OTG 1 型开顶式气室的结构和数据采集系统. *气象*, 1993, 19(4): 15~ 19
- 15 王春乙. OTG 1 型开顶式气室的结构和性能与国内外同类气室的比较. *环境科学进展*, 1996, 4(1): 50~ 57

EXPERIMENTAL STUDY OF IMPACTS BY INCREASING OZONE CONCENTRATION ON WINTER WHEAT

Wang Chunyi Guo Jianping Bai Yueming Wen Min

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Liu Jiping

(Department of Earth and Environmental Science, Columbia University, New York 10964 USA)

Liu Jiangge Li Lei

(Academy of Chemical Defence, PLA, Beijing 100083)

Abstract

The effects of under different concentrations of ozone on winter wheat inside the open top chambers (OTC-1) have been studied. The experimental result indicates that there are obvious variations on the wheat's growth when ozone concentration was increased. The variations are: (1) phenological phase of the winter wheat was delayed before flowering and brought forward after flowering, growth and development phase will be shorten. (2) The plant height will be short. (3) Regardless of long-time ventilation or short-time ventilation treatments, the yields of winter wheat will be distinctly decreased under ozone exposure.

Key words: Ozone, Open top chamber, Winter wheat, Impacts.