

# 不同 CO<sub>2</sub> 浓度处理对冬小麦的影响

白月明 王春乙 温 民

(中国气象科学研究院,北京 100081)

## 提 要

利用 OCT-1 型开顶式气室进行不同的 CO<sub>2</sub> 浓度处理对冬小麦生长发育影响的诊断试验。结果表明,不同 CO<sub>2</sub> 浓度处理对冬小麦的发育期、生物量、叶面积、产量、产品质量、种子发芽率以及粘虫等影响较为明显。

**关键词:** 气室 CO<sub>2</sub> 浓度 冬小麦

## 引 言

近百年来,随着工业的迅速发展和人类活动的加剧,大气中 CO<sub>2</sub> 浓度呈上升趋势。据多数科学家推断,到下个世纪中叶(2050—2060 年),大气中 CO<sub>2</sub> 浓度将比工业革命前(279ppm)增加一倍,达到 560ppm。

我国气象科技工作者在温室效应对农业生产的间接影响方面做了大量的工作,但在 CO<sub>2</sub> 浓度倍增对农作物生长发育及产量形成的直接影响方面的试验研究还比较少。本文以冬小麦为例,利用开顶式气室就 CO<sub>2</sub> 浓度倍增对其生长发育及产量的影响做一简要分析。

## 1 试验设备和方法

该项试验是在中国气象局农业气象试验基地进行的,所用设备为我们自行设计的 OCT-1 型开顶式气室<sup>[1,2]</sup>。

试验在 3 个完全相同的气室中进行,2 个气室的 CO<sub>2</sub> 浓度分别为 500 和 700ppm,1 个气室作对照。通气时间为每日 09:00—16:00,对照气室只通风而不通供试气体。

CO<sub>2</sub> 浓度取样管位于气室中央 1m 高度处。每小时每个气室循环采样 3 次,以便随时

监测各气室内 CO<sub>2</sub> 浓度的变化,及时调整 CO<sub>2</sub> 流量,保证各处理 CO<sub>2</sub> 浓度控制的稳定性。

供试的冬小麦品种为“京冬 6 号”,1992 年 9 月 30 日播种,盆栽,次年 4 月 5 日移入气室,每个气室均匀放置 30 盆,4 月 6 日开始通气试验,6 月 3 日停止供气,6 月 7 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,基本上做到无病虫害和杂草影响。

## 2 结果分析

### 2.1 不同 CO<sub>2</sub> 浓度处理对冬小麦发育期和株高的影响

表 1 给出了不同 CO<sub>2</sub> 浓度处理的冬小麦生长发育状况。从表 1 可知,700 和 500ppmCO<sub>2</sub> 浓度处理的冬小麦进入各发育期的时间均比对照提前,且浓度越高,提前的越多。700ppm 浓度处理的冬小麦各发育期均比对照提早 3—4 天进入下一发育期,700ppmCO<sub>2</sub> 浓度处理的冬小麦则比 500ppm 处理的冬小麦一般提早 2—3 天进入下一发育期,而 500ppmCO<sub>2</sub> 浓度处理的冬小麦则比对照提早 1—2 天进入下一发育期。

表1 不同CO<sub>2</sub>浓度处理的冬小麦生长发育状况

处理	拔节		孕穗		抽穗		开花		乳熟		成熟	
	月·日	株高/cm	月·日	株高/cm	月·日	株高/cm	月·日	株高/cm	月·日	株高/cm	月·日	株高/cm
700ppm	4.17	30	4.26	49	5.7	68	5.10	78	5.22	82	5.30	82
500ppm	4.17	25	4.28	41	5.9	63	5.12	67	5.23	75	6.2	76
对照	4.18	22	4.29	37	5.10	54	5.14	62	5.25	68	6.3	68

在同一发育期植株高度随CO<sub>2</sub>浓度增加而明显增高,至成熟期为止,700ppm处理的冬小麦比对照平均增高14cm,而500ppm则增高8cm。

### 2.2 不同CO<sub>2</sub>浓度处理对冬小麦叶面积增长的影响

不同CO<sub>2</sub>浓度处理下冬小麦叶面积的变化见表2。

表2 不同CO<sub>2</sub>浓度处理冬小麦的叶面积/cm<sup>2</sup>

处理	3月25日	4月15日	5月5日	5月25日
700ppm	516.46	1661.09	3184.99	1450.10
500ppm	516.46	1042.04	2804.21	1511.32
对照	516.46	739.15	2529.58	1757.50

在冬小麦进入营养生长后期,叶面积正值快速增长期,从3月25日和4月15日的取样结果可以看出,对照冬小麦叶面积增长到739.15cm<sup>2</sup>,500ppm处理增长到1042.04cm<sup>2</sup>,而700ppm处理增长到1661.09cm<sup>2</sup>;5月5日至5月25日,冬小麦处于生殖生长中后期,由于光合作用产物主要向穗输送,维持籽粒灌浆,且植株体内原有贮存物质也向穗转移,叶片处

于衰老黄枯时期,叶面积不再继续增加,对照处理的冬小麦叶面积比5月5日测定值减少了772.08cm<sup>2</sup>,500ppm处理减少了1292.89cm<sup>2</sup>,700ppm处理减少了1734.89cm<sup>2</sup>。上述结果表明无论是从叶面积变化量还是变化速度看,不同CO<sub>2</sub>浓度处理对冬小麦叶面积影响都很明显,且浓度越高,影响越大。这种结果还可从黄叶数与绿叶数之比得到进一步证明,详见表3。

表3 不同CO<sub>2</sub>浓度处理冬小麦黄叶数与绿叶数之比

处理	4月25日	5月5日	5月15日	5月25日
700ppm	0.11	0.22	0.81	2.73
500ppm	0.10	0.19	0.63	1.56
对照	0.09	0.20	0.48	1.02

### 2.3 不同CO<sub>2</sub>浓度处理对冬小麦生物量的影响

在供气10天后开始对不同CO<sub>2</sub>浓度处理的冬小麦根、茎、叶变化进行测定,得到不同CO<sub>2</sub>浓度处理的冬小麦生物量(18株)与通气时间的关系,模拟方程见表4,式中,x为通气时间(天),y为生物量(g/18株)。

表4 不同CO<sub>2</sub>浓度处理对冬小麦生物量的影响

生物量	700ppm 模拟方程	相关系数	500ppm 模拟方程	相关系数	对照模拟方程	相关系数
根	$y = \frac{96.40}{1 + \exp(5.77951 - 0.0733271x)}$	0.95484	$y = \frac{78.95}{1 + \exp(5.576103 - 0.0714658x)}$	0.96741	$y = \frac{87.57}{1 + \exp(5.646775 - 0.0682937x)}$	0.95680
茎	$y = \frac{211.24}{1 + \exp(7.135950 - 0.1054722x)}$	0.98205	$y = \frac{184.18}{1 + \exp(7.067551 - 0.1066751x)}$	0.98276	$y = \frac{174.84}{1 + \exp(6.856771 - 0.0976127x)}$	0.97611
叶	$y = \frac{62.19}{1 + \exp(5.057427 - 0.0827262x)}$	0.99794	$y = \frac{55.31}{1 + \exp(4.904882 - 0.0810766x)}$	0.99789	$y = \frac{50.05}{1 + \exp(4.620693 - 0.0734194x)}$	0.99770
总	$y = \frac{555.43}{1 + \exp(6.154975 - 0.084803x)}$	0.96636	$y = \frac{469.56}{1 + \exp(6.333880 - 0.0849495x)}$	0.97099	$y = \frac{467.40}{1 + \exp(6.264713 - 0.0794608x)}$	0.96033

注:相关系数均通过0.001显著水平检验

在不同 CO<sub>2</sub> 浓度处理试验中,冬小麦根、茎、叶生物量随时间变化趋势完全一致,但是各处理之间差异明显,各模拟方程均超过 0.001 显著水平。其中根的增重变化最为明显,CO<sub>2</sub> 浓度由本底升至 500 和 700ppm 时,每升高 1ppm,根分别增重 0.001g/株、0.036g/株,在乳熟期(供气 40—50 天时),CO<sub>2</sub> 浓度为 700 和 500ppm 处理,根的增长率达到最大值,分别为 0.196g/株·天。从总生物量变化来看,CO<sub>2</sub> 浓度越高,总生物量越重。通气 60 天后,700、500ppm 和对照处理的冬小麦总生物量分别为 124.5g,115.6g 和 92.8g。从总生物量的生长速度来看,通气开始到 30 天左右,700 和 500ppm 处理的总生物量生长速率差异不大,但均高于对照总生物量的生长速度,至通气 40—50 天,700ppm 和对照总生物量生长速度急剧增加,到 50 天时达到最大值,分别为 1.273g/株·天和 1.03g/株·天,而 500ppm 处理则提前 10 天达到最大值(1.068g/株·天),到通气 50—60 天,各处理的总生物量生长速率呈下降趋势。图 1 和图 2 给出了不同 CO<sub>2</sub> 浓度处理的冬小麦总生物量的增长量和增长率随时间的变化情况。

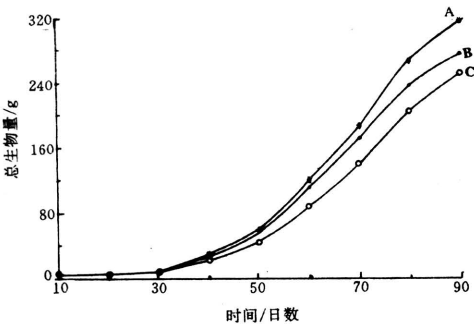


图 1 不同 CO<sub>2</sub> 浓度处理对冬小麦总生物量的影响  
A 为 700ppm 处理;B 为 500ppm 处理;C 为对照。

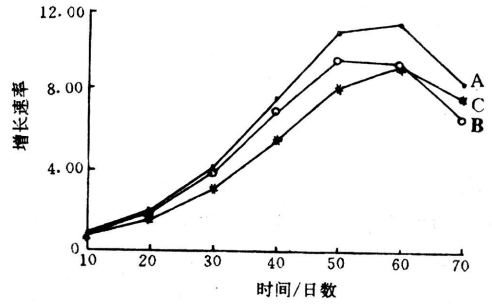


图 2 不同 CO<sub>2</sub> 浓度处理对冬小麦总生物量增长速率的影响  
A、B、C 同图 1。

#### 2.4 不同 CO<sub>2</sub> 浓度处理对冬小麦产量形成的影响

在成熟时,每个处理均取 8 盆(72 株)冬小麦对其产量结构作出评定,各分量值见表 5。从表 5 可以看出,CO<sub>2</sub> 浓度增加,冬小麦籽粒产量增加。籽粒产量增加主要是由于总穗数、总粒数和千粒重增加构成的。当 CO<sub>2</sub> 浓度为 500ppm 时,总穗数、总粒数、籽粒重增长率均为 3.5%左右,而 CO<sub>2</sub> 浓度升至 700ppm 时,总穗数、总粒数、籽粒重的增长率明显提高,分别为 18.50%、23.29%、27.58%。三个处理冬小麦单株籽粒产量分别为 5.88g、4.78g、4.61g,700ppm 处理比 500ppm 处理产量提高约 23%,500ppm 处理比对照的冬小麦产量提高约 4%,700ppm 处理比对照的冬小麦产量提高约 28%,接近 3 成。

表 5 不同 CO<sub>2</sub> 浓度处理对冬小麦产量结构的影响(72 株)

产量结构	700ppm	500ppm	对照
总穗数	301	263	254
平均株穗数	4.18	3.65	3.53
总粒数	8930	7479	7243
平均株粒数	124.03	103.88	100.60
籽粒重(g/72 株)	423.29	343.81	331.79
千粒重(g)	46.79	46.72	45.68
籽粒茎秆比	0.67	0.69	0.75

### 2.5 不同 CO<sub>2</sub> 浓度处理对冬小麦产品品质的影响

在农业部谷物质量监督检验测试中心对冬小麦籽粒样品进行品质鉴定,检验的主要依据有 GB3523-83、GB4801-84、GB5006-85,利用紫外可见光光度计、蛋白质分析仪等对籽粒的水分、粗蛋白、粗淀粉、赖氨酸进行化验分析,结果见表 6。CO<sub>2</sub> 浓度为 500 和 700ppm 时,籽粒含水量均为 11.22,比对照提高 1.6%;籽粒粗蛋白含量则是先下降后升高,500ppm 处理比对照下降 5.5%,700ppm 处理比对照提高 20%;粗淀粉含量随 CO<sub>2</sub> 浓度增加而升高,但幅度不同,增加最为明显的是 500ppm 处理,比对照增加 3.6%,而 700ppm 处理仅增加 1.0%;籽粒中赖氨酸含量的变化规律与粗蛋白相似。

表 6 不同 CO<sub>2</sub> 浓度处理对冬小麦产品品质的影响/%

处理	水分	粗蛋白	粗淀粉	赖氨酸
700ppm	11.22	15.79	62.14	0.27
500ppm	11.22	14.76	63.86	0.20
对照	11.04	15.44	61.62	0.24

### 2.6 不同 CO<sub>2</sub> 浓度处理对冬小麦叶片化学成分的影响

此项工作是在中国科学院动物所中心试验室进行的,检测结果见表 7。从表 7 可以看出,在冬小麦叶片中,水分、能值、总氮、蛋白氮、总糖、还原糖的含量与 CO<sub>2</sub> 浓度之间存在着较好的关系,规律十分明显。当 CO<sub>2</sub> 浓度升高时,含水量、总氮、蛋白氮呈下降规律;

能值、总糖、还原糖呈增加规律。

表 7 不同 CO<sub>2</sub> 浓度处理对冬小麦叶片中化学成分的影响

项目	对照	500ppm	700ppm
含水量/%	25.53	25.16	22.95
能值/J·mg <sup>-1</sup>	18.60	18.85	19.15
总氮/%	4.58	4.15	4.04
蛋白氮/%	4.25	3.65	3.49
总糖/%	9.23	12.08	12.38
还原糖/%	1.59	2.34	2.99

### 2.7 不同 CO<sub>2</sub> 浓度处理对冬小麦籽粒发芽率的影响

经不同 CO<sub>2</sub> 浓度处理的冬小麦形成的籽粒其发芽率和发芽速度有一定的差异。

分别取 700、500ppm 和对照的冬小麦籽粒各 100 粒,在温度和水分充分满足的条件下浸种,其发芽率随时间变化见表 8。从表 8 可知,经 20 个小时浸种,各处理的籽粒开始发芽,发芽持续时间 500ppm 处理和对照较短,700ppm 处理的冬小麦籽粒发芽持续时间较长。发芽率最高的为 500ppm 处理(99%),700ppm 处理次之(95%),而对照发芽率最低(91%)。从发芽速度看,对照处理的冬小麦籽粒从发芽至浸种 56 小时发芽率高于 500 和 700ppm 处理,浸种 32—74 小时发芽率速度最快,500ppm 处理冬小麦 85% 的籽粒集中在这段时间出芽,而 700ppm 处理的冬小麦籽粒有 75% 集中在同一时间发芽,对照处理的冬小麦发芽率离散性较大,出芽高峰期不明显。

表 8 不同 CO<sub>2</sub> 浓度处理对冬小麦籽粒发芽率的影响/%

处理	9月4日			9月5日			9月6日			9月7日		
	8时	14时	20时	8时	14时	20时	8时	14时	20时	8时	14时	20时
700ppm	1	1	5	11	18	41	75	86	90	92	94	95
500ppm	1	2	5	10	14	45	84	94	95	97	99	
对照	3	5	11	32	47	78	78	79	84	89	91	

### 3 不同 CO<sub>2</sub> 浓度处理对冬小麦—粘虫关系的影响

为了了解未来气候变化对粘虫取食量和

食物转化效率的影响,我们与中科院动物研究所合作,利用开顶式气室内种植的冬小麦(不同 CO<sub>2</sub> 浓度处理)和在人工气候箱内饲

养的粘虫,进行 CO<sub>2</sub> 浓度增加对冬小麦—粘虫关系的影响研究,试验结果见表 9(仅给出 5 龄幼虫的一些试验结果)。从表 9 可以看出,随着 CO<sub>2</sub> 浓度的升高,5 龄幼虫对冬小麦叶片的取食量和相对取食速率是下降的,与

对照相比,下降的百分率分别为 -14.5、-19.6 和 -8.0、-18.6;而干物质、能量、氮的转化效率却是增加的,与对照相比,增加的百分率分别为 3.7、28.0、9.3、29.9 和 11.2、32.8。

表 9 各处理的冬小麦与粘虫(5 龄幼虫)的关系

	对照	500ppm	700ppm
供试虫数	30	25	30
取食量/毫克干重	64.90±1.60	55.52±1.21	52.19±1.82
相对取食速率	1.88±0.05	1.73±0.05	1.53±0.05
ECI	干物质	18.57±0.41	23.77±0.50
	能量	22.80	29.61
	氮	54.14	71.88

#### 4 结语

4.1 利用 OTC-1 型开顶式气室进行不同 CO<sub>2</sub> 浓度处理对农作物影响的诊断试验是可行的,所获结果是可靠的。虽然由于气室本身边界效应的影响,使得气室内环流条件与自然农田略有差异,但据研究,利用开顶式气室和 FAOE 方法取得的试验结果在数值上非常相近,基本上没有差异。

4.2 随 CO<sub>2</sub> 浓度增加,冬小麦的发育期有所提前,株高增加,根茎叶生物量增长十分明显,且地下生物量的增长大于地上部分。CO<sub>2</sub> 浓度倍增(达 700ppm)可使冬小麦籽粒产量增加近 3 成,籽粒产量的增加主要是由于总穗数和总粒数增加构成的。随着 CO<sub>2</sub> 浓度的

增加,粗蛋白和赖氨酸的含量是先下降后上升,粗淀粉含量的变化则与之相反。冬小麦叶片中水分、总糖、总氮、蛋白氮随之下降,呈减少趋势。不同 CO<sub>2</sub> 浓度处理对冬小麦籽粒发芽率的影响结果为,500ppm 处理的冬小麦籽粒发芽率大于 700ppm,700ppm 处理的冬小麦籽粒发芽率大于对照。

4.3 上述结果是在水、肥条件适宜,且无病虫害及杂草影响的情况下得到的。

#### 参考文献

- 1 王春乙等. OTC-1 型开顶式气室的结构和数据采集系统. 气象,1993,19(4):15-19.
- 2 王春乙等. OTC-1 型开顶式气室物理性能的测试与评价. 气象,1993,19(5):23-26.

## Impacts of Different CO<sub>2</sub> Concentration Treatment on Winter Wheat

Bai Yueming Wang Chunyi Wen Min

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

#### Abstract

The diagnostic experiment of impacts of different CO<sub>2</sub> concentration treatment on growth and development of winter wheat are made by using OTC-1 open top chambers. The results show that the impacts of different CO<sub>2</sub> concentration treatment on development stage, biomass, leaf area, grain yield, grain quality and armyworm are remarkable.

**Key Words:** OTC-1 chamber CO<sub>2</sub> different treatment winter wheat