

大气中臭氧浓度变化对冬小麦生理过程和籽粒品质的影响*

郭建平 王春乙 白月明 温 民 霍治国

(中国气象科学研究院,北京 100081)

刘江歌 李 雷

(中国人民解放军防化研究院,北京 100083)

1 设备和方法

试验设计 5 个 O_3 浓度,分别为处理 A: 200×10^{-9} 、处理 B: 100×10^{-9} 、处理 C: 50×10^{-9} 、处理 D: 背景大气中的 O_3 浓度($25 \times 10^{-9} \sim 48 \times 10^{-9}$,并随天气情况和昼夜变化)、处理 E: 经活性炭过滤后的纯净空气(O_3 浓度低于 10×10^{-9})。

冬小麦种子(京冬 6 号)于 1998 年 10 月 3 日在直径 36 cm,高度 26 cm 的瓦盆中播种。盆内土壤质地均匀且一致,全生育期管理方法相同,水肥条件适宜,无病虫害和杂草危害。

1999 年 4 月 3 日(起身—拔节)开始进行不同 O_3 浓度的熏气处理,熏气时间为每天 9:00 ~ 16:00,考虑到 O_3 发生器的发热问题,每天上午和下午各停机 15 min,以保证仪器设备能长时间正常工作。

光合作用速率等数据用美国 Li-cor 公司生产的 Li-6200 便携式光合作用系统测定,每天测定 6 ~ 9 个重复,共测定 4 天。籽粒品质由农业部谷物品质监督检验测试中心测定。

2 结果分析

(1) O_3 浓度变化对冬小麦主要生理过程的影响 大气中 O_3 浓度变化对冬小麦生理过程的影响列于表 1。

表 1 大气中 O_3 浓度变化对冬小麦主要生理过程的影响

项 目	A	B	C	D	E
气孔阻力($cm \cdot s^{-1}$)	0.1252 ± 0.0782	0.1138 ± 0.0566	0.1079 ± 0.0685	0.0869 ± 0.0639	0.1003 ± 0.0634
光合作用速率 ($\mu mol \cdot dm^{-2} \cdot h^{-1}$)	11.978 ± 5.335	14.701 ± 3.526	16.233 ± 3.918	17.797 ± 5.200	17.310 ± 5.274
细胞内外 CO_2 差异($\times 10^{-6}$)	23.5 ± 10.0	26.7 ± 12.7	28.9 ± 10.8	28.5 ± 11.9	28.4 ± 11.9
蒸腾速率($mg \cdot dm^{-2} \cdot h^{-1}$)	0.0263 ± 0.0084	0.0268 ± 0.0081	0.0271 ± 0.0084	0.0349 ± 0.0072	0.0283 ± 0.0094

①作物叶片气孔阻力的大小主要受单位面积上气孔的数量和开张度的影响。处理 A 到处理 D,随着 O_3 浓度的下降,冬小麦叶片的气孔阻力呈下降趋势。由于叶片气孔阻力随 O_3 浓度的升高而增大,使得叶片内外的气体交换和物质交换受阻,从而影响到作物的光合作用和蒸腾作用,同时也影响作物的正常生长发育和产量。

②叶片是作物进行光合作用和呼吸作用的主要器官,光合作用速率的大小将直接影响到作物的干物质积累并最终影响产量。以处理 D 作为对照,则处理 E 的光合作用速率也略有下降,这说明了当大气中 O_3 浓度下降到一定程度后,对冬小麦的光合作用速率并不产生有益的作用。处理 C 的光合作用速

* 本工作由国家自然科学基金项目(项目批准号 49899270)资助。

1999-09-09 收到, 2000-05-30 收到修改稿。

率比处理 D 下降了 8.8%,说明当大气中 O_3 浓度上升到 50×10^{-9} 时,冬小麦的光合作用速率已经受到一定影响。当大气中 O_3 浓度上升到 100×10^{-9} 时,冬小麦的光合作用速率则下降 17.4%,当大气中 O_3 浓度上升到 200×10^{-9} 时,对冬小麦光合作用速率的影响更大,处理 A 的光合作用速率比处理 D 下降了 32.7%。由此可以看出,大气中 O_3 浓度增加对提高冬小麦的光合作用速率是不利的。

③大气中 CO_2 进入叶片细胞内是作物进行光合作用的必要途径,只有外界的 CO_2 不断地进入叶片的叶肉细胞内,作物的光合作用才能连续有效地进行。细胞内外 CO_2 浓度差异大,说明了光合作用速率大,消耗的 CO_2 量较多。此外,细胞内外 CO_2 浓度差异大,外界的 CO_2 容易渗透到细胞内,保持有较高的光合作用速率。当大气中 O_3 浓度达到 100×10^{-9} 时,细胞内外的 CO_2 浓度差异变小,说明光合作用速率下降,通过光合作用消耗的 CO_2 量减少,细胞内 CO_2 滞留增加,从而使得外界的 CO_2 更加不易进入叶肉细胞,这种恶性循环最终使光合作用量下降,生物量积累减少。当大气中 O_3 浓度增加到 200×10^{-9} 时,这种不利的影响更加显著。

④蒸腾速率是作物水分利用率和作物抗旱能力的一个标志,大气中 O_3 浓度变化对冬小麦的蒸腾速率也产生较明显的影响。处理 D 和 E 的蒸腾速率较大,水分损失较快,处理 A、B 和 C 的蒸腾速率较小,且随 O_3 浓度的增加而下降,这说明,大气中 O_3 浓度升高可以降低冬小麦叶片的蒸腾速率,提高作物的水分利用率和抵御干旱胁迫能力。

(2) O_3 浓度变化对冬小麦籽粒品质的影响 冬小麦成熟后将籽粒在常温下风干,化验有关籽粒营养成分的含量(表 2)。

表 2 O_3 浓度变化对冬小麦籽粒品质的影响

项 目	A	B	C	D	E
氨基酸含量	22.42	19.76	16.21	13.15	16.72
蛋白质含量	23.50	20.10	16.44	13.41	16.76
淀粉含量	46.38	50.14	59.14	62.76	59.71

①氨基酸是作物的主要营养成分,氨基酸含量的多少对作物的品质有直接的影响。处理 A 的氨基酸含量最高,达到 22.42%,远高于其它处理,处理 B 的氨基酸含量也同样要比处理 C、D 和 E 高,处理 C 和处理 E 的氨基酸含量差异较小,而处理 D(自然对照)的氨基酸含量最低。如果以处理 D 作为对照,则处理 A 氨基酸含量增加 70.49%,处理 B 增加 50.27%,处理 C 和 E 分别增加 23.27%和 27.15%。由此可见,大气中 O_3 浓度增加对提高冬小麦籽粒中的氨基酸含量是有利的。

②由于氨基酸是蛋白质的主要成分,所以,籽粒中蛋白质含量的变化与氨基酸的变化趋势是完全一致的。仍以处理 D 作为对照,则处理 A 的蛋白质含量比对照增加 75.24%,处理 B 增加 49.89%,处理 C 增加 22.60%,处理 E 增加 24.98%。

③籽粒中淀粉含量的变化趋势与蛋白质含量的变化趋势相反,大气中 O_3 浓度增加使得籽粒中淀粉的含量下降。以处理 D 为对照,则处理 A 的淀粉含量下降 26.10%,处理 B 下降 20.11%,处理 C 下降 5.77%,处理 E 下降 4.86%,处理 C、D 和 E 的差异较小。