

CO₂浓度升高对春小麦不同生育时期 抗氧化系统的影响

胡莹莹¹, 赵天宏¹, 徐 玲¹, 史 奕², 赵艺欣¹

(1. 沈阳农业大学 农学院, 辽宁 沈阳 110161; 2 中国科学院沈阳应用生态研究所, 辽宁 沈阳 110016)

摘要:利用开顶式气室研究了 CO₂ 浓度升高(550 $\mu\text{mol/mol}$)对小麦(*Triticum aestivum* L) 孕穗期和开花期抗氧化系统的影响。结果表明, 高浓度 CO₂ 下, 小麦叶片外渗电导率和丙二醛的含量下降, 说明膜脂过氧化程度有所降低; 虽然 O₂⁻ 产生速率和 H₂O₂ 含量 2 个时期相比开花期大于孕穗期, 但是两者均低于对照, 说明高 CO₂ 浓度下活性氧产生减少; SOD, POD, CAT 的活性与对照相比有所增加并达到显著或极显著水平; 随着 CO₂ 浓度的升高, ASA 和 Car 含量也随之增加, 但是随着生育期的推移, 两者含量均有不同程度的减少; 最终生物量和籽粒产量分别增长 18% 和 14%, 说明 CO₂ 浓度升高有利于减轻小麦的氧化损伤, 促进植物生长。

关键词: 小麦; CO₂ 浓度升高; 活性氧; 抗氧化系统

中图分类号: S512.01 文献标识码: A 文章编号: 1000- 7091(2007)05- 0015- 04

Effects of Elevated CO₂ Concentration on Anti-oxidative System in Different Bearing Time of Spring Wheat

HU Ying-ying¹, ZHAO Tian-hong¹, XU Ling¹, SHI Yi², ZHAO Yi-xin¹

(1. College of Agronomy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China;

2. Institute of Shenyang Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China)

Abstract: Effects of elevated CO₂ concentration(550 $\mu\text{mol/mol}$) on anti-oxidative system during boot stage and flowering time in wheat was researched in open-top chambers. The results showed that the relative electric conductance and MDA content reduced under elevated CO₂ concentration, which illuminated the decrease of lipid per-oxidation. Compared the two period, O₂⁻ production rate and H₂O₂ content were higher in flowering time than that of boot stage, but both of them were lower than that of control, which illuminate that elevated CO₂ concentration decreased the production of active oxygen. The activities of SOD, POD and CAT increased and attained significance level or highly significance level. ASA and Car contents were increasing with the increasing of CO₂ concentration, but reduced more or less with the process of bearing time. Ultimately, the biomass and yield added 18% and 14% separately, which showed elevated CO₂ concentration is beneficial to alleviate the damage of anti-oxidation in spring wheat.

Key words: Spring wheat; Elevated CO₂ concentration; Active oxygen; Anti-oxidative system

目前, 全球气候变化正在加剧, 气候变化的主要原因之一是由于人类活动的增加, 使得近地层各种大气成分含量发生变化, 其中 CO₂ 浓度日益增加, 对生态环境特别是农业生态环境产生了很大影响。CO₂ 是温室气体的主要成分, 其浓度一直处于变化之中, 然而自从 19 世纪工业革命以来, 大气中 CO₂ 浓度增长的速度前所未有, 已由工业革命前的 280

$\mu\text{mol/mol}$ 增至目前约 365 $\mu\text{mol/mol}$, 预计到 21 世纪中叶将达到 700 $\mu\text{mol/mol}$ ^[1]。CO₂ 是植物生长之源, 在植物的整个生育期中充当着重要的角色, 参与植物体内的一系列生化反应, 对植物的生长产生直接影响。CO₂ 浓度的增加导致气候和环境变化, 对植物的生长产生了间接影响。大量研究表明, CO₂ 浓度升高提高了植物的光合作用, 增大了气孔阻力, 减

收稿日期: 2007- 06- 17

基金项目: 国家自然科学基金项目(30500069; 30570348); 中科院陆地生态过程重点实验室基金项目研究(2005)

作者简介: 胡莹莹(1982-), 女, 辽宁沈阳人, 在读硕士, 主要从事植物生理生态学研究工作

通讯作者: 赵天宏(1972-), 男, 辽宁沈阳人, 博士后, 副教授, 主要从事植物生理生态学研究。

少蒸腾作用,抑制植物的呼吸作用,促进植物的生长,并可明显提高水分利用效率^[2-5]。有研究表明,较高浓度的 CO₂ 对 O₃ 造成的伤害有改善作用^[6],也有研究表明,大气中 CO₂ 倍增对植物干旱胁迫具有缓解效应^[7],因此 CO₂ 浓度升高有可能增强了植物的抗逆性^[8]。目前对于 CO₂ 浓度升高的研究不少,但大都集中于对植物形态、光合作用、呼吸作用、水分利用等的研究,而对于 CO₂ 浓度升高对植物活性氧影响的机制探讨很少,本研究就高浓度 CO₂ 下小麦活性氧产生和清除系统的变化进行探讨,旨在阐明作物活性氧代谢对全球气候变化的响应机理。

1 材料和方法

1.1 供试材料

以春小麦(*Triticum aestivum* L)“辽春 15”(辽宁省农科院提供)为试验材料。

1.2 试验设计

试验在中国科学院沈阳野外农田生态系统生态站(国家级试验站)进行,试验主要设备为 6 个开顶式气室(边长 1.15 m,高 2.4 m 玻璃室壁的正八边形)及与其配套的通气、通风控制设备^[9],主要包括 CO₂ 红外传感器(森尔,瑞典)实时监控开顶箱内 CO₂ 浓度,温湿度传感器采集开顶箱内温湿度数据,以及数据分析与自动控制充气系统。CO₂ 来源为钢瓶装纯 CO₂。

试验设 2 个处理:CO₂ 浓度升高((550 ± 20) μmol/mol)和对照(当前大气 CO₂ 浓度)。每个处理(气室)设 3 次重复。采用盆栽试验,2006 年 4 月 1 日播种于盆口直径 26 cm、深 30 cm 的瓦盆中,每个气室 15 盆。三叶期每盆均匀定植 15 株,试验期间水分、肥料均匀一致,无病虫害及杂草等。于 4 月 28 日开始进行全天 24 h 熏蒸试验,6 月 20 日停止通气。分别在孕穗期和开花期选择小麦植株的上部全展叶为试材,每次每个气室取小麦 3 盆,每盆取样 5 株。

1.3 指标测定

1.3.1 生物量和籽粒产量测定 植株收获后,每个气室取样 10 株,自然风干,然后将籽粒、茎、叶分别烘干,测定籽粒重及地上部生物量。

1.3.2 膜脂过氧化指标的测定 丙二醛(MDA)含量的测定参照李合生等^[10]的硫代巴比妥酸(TBA)比色法;外渗电导率用 DDS-11A 型电导率仪测定。

1.3.3 活性氧测定 超氧阴离子(O₂⁻)产生速率测定参照周长芳等^[11]的方法进行;H₂O₂ 含量参照邹琦^[12]的方法测定。

1.3.4 抗氧化酶和抗氧化物测定 超氧化物歧化

酶(SOD)活性的测定参照邹琦^[12]的方法、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)活性的测定参照李合生等^[10]的方法;抗坏血酸(ASA)测定参照 Hodges 等^[13]的方法;类胡萝卜素(Car)含量测定参照邹琦^[12]的方法。

2 结果与分析

2.1 CO₂ 浓度升高对小麦生物量和籽粒产量的影响

由图 1 可以看出,高 CO₂ 浓度使小麦生物量和籽粒产量均有所增加,较对照(大气 CO₂ 浓度)分别增长 18% 和 14%,差异均达到显著水平(P = 0.023)。由此可见,CO₂ 浓度升高有利于小麦生物量的积累和籽粒产量的提高。

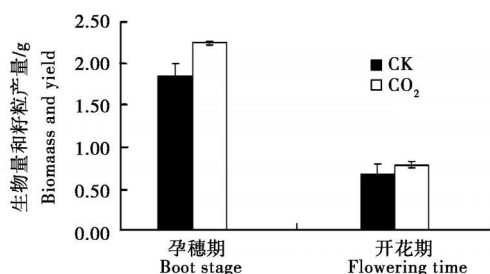


图 1 CO₂ 浓度升高对小麦生物量和籽粒产量的影响

Fig. 1 Effects of elevated CO₂ on biomass and yield

2.2 CO₂ 浓度升高对小麦叶片膜脂过氧化的影响

从图 2 可以看出,小麦植株在同一生育期其外渗电导率对不同浓度 CO₂ 的反应不同,高浓度 CO₂ 下电导率要低于大气 CO₂ 浓度下,并且在孕穗期和开花期两者差异分别达到显著(P = 0.025)和极显著(P = 0.001)水平。比较同一浓度下不同生育时期发现,随着生育时期的推移,外渗电导率变大,并且高浓度 CO₂ 下明显低于大气 CO₂ 浓度下的外渗电导率。

同时,CO₂ 浓度升高时,小麦叶片 MDA 含量明显低于对照,并且在 2 个时期差异均达到极显著水平(P = 0.004 和 P = 0.003)。总的来说,其变化趋势与外渗电导率相同(图 3)。

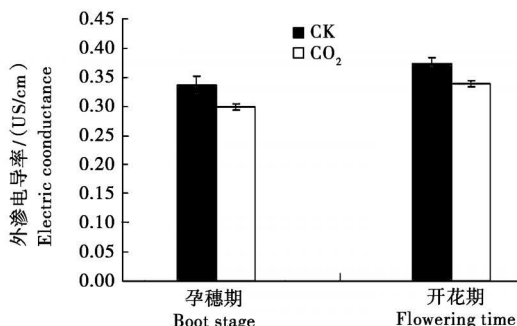


图 2 CO₂ 浓度升高对小麦叶片外渗电导率的影响

Fig. 2 Effects of elevated CO₂ on the relative electric conductance

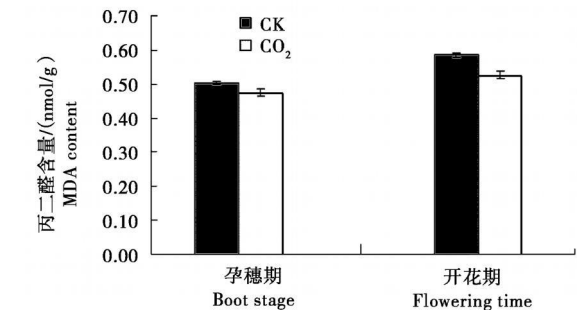


图3 CO₂ 浓度升高对小麦叶片 MDA 含量的影响

Fig. 3 Effects of elevated CO₂ on MDA content

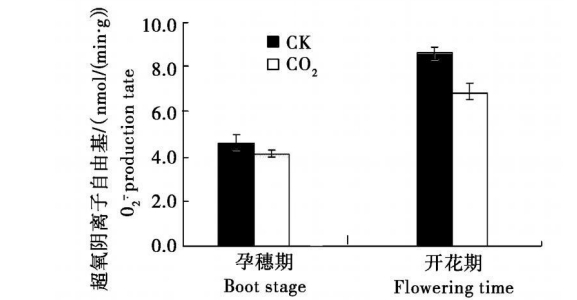


图4 CO₂ 浓度升高对小麦叶片 O₂⁻ 产生速率的影响

Fig. 4 Effects of elevated CO₂ on O₂⁻ production rate

2.3 CO₂ 浓度升高对小麦叶片活性氧的影响

在 2 种处理下,小麦叶片中 O₂⁻ 产生速率(以鲜质量计)和 H₂O₂ 含量变化趋势相同,都是开花期大

于孕穗期,其中 O₂⁻ 产生速率 2 个时期差异更大一些。同时在 CO₂ 浓度升高条件下, O₂⁻ 产生速率和 H₂O₂ 含量均低于对照,如图 4 和 5 所示。

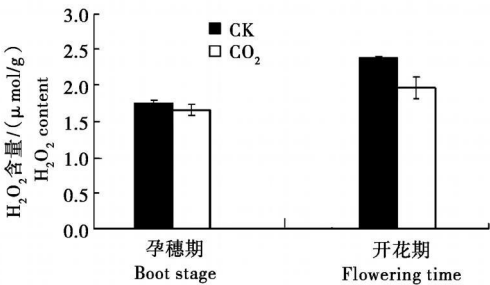


图5 CO₂ 浓度升高对小麦叶片 H₂O₂ 含量的影响

Fig. 5 Effects of elevated CO₂ on H₂O₂ content

2.4 CO₂ 浓度升高对小麦叶片抗氧化系统的影响

2.4.1 对抗氧化酶的影响 由表 1 可知,小麦叶片中 SOD, POD, CAT 的活性在开花期与孕穗期相比均有不同程度的降低,这可能与植物的衰老有关。但是比较高浓度 CO₂ 与对照下的结果发现,前者这三种酶的活性均高于后者,进一步分析表明,3 种酶在孕穗期 2 种处理间 P 值分别为 0.001, 0.017 和 0.007 即达到极显著、显著和极显著水平,开花期分别为 0.011, 0.002 和 0.004, 达到显著、极显著和极显著水平。

表1 CO₂ 浓度升高对小麦叶片 SOD, POD, CAT 活性的影响

Tab. 1 The impacts of elevated CO₂ on SOD, POD, CAT activity

处理 Treatment	SOD 活力/(U/g) SOD activity		POD 活力/(U/g) POD activity		CAT 活力/(U/g) CAT activity	
	孕穗期 Boot stage	开花期 Flowering time	孕穗期 Boot stage	开花期 Flowering time	孕穗期 Boot stage	开花期 Flowering time
	CK	CO ₂	CK	CO ₂	CK	CO ₂
CK	4 486.27±33.66	4 048.33±51.84	112.87±11.28	95.27±6.96	150.13±5.01	133.75±2.76
CO ₂	4 782.58±50.71	4 307.91±49.21	135.73±15.81	112.27±8.04	186.11±11.10	168.38±9.35

2.4.2 对抗氧化物的影响 从图 6,7 可以看出,随着 CO₂ 浓度的升高,ASA(以鲜质量计)和 Car 含量也随之增加,但是随着生育期的推移,两者含量均有不同程度的减少。在不同处理下,ASA 含量在开花期达到显著水平(P= 0.022 3)而 Car 含量在孕穗期和开花期分别达到显著(P= 0.029)和极显著(P= 0.008)水平。

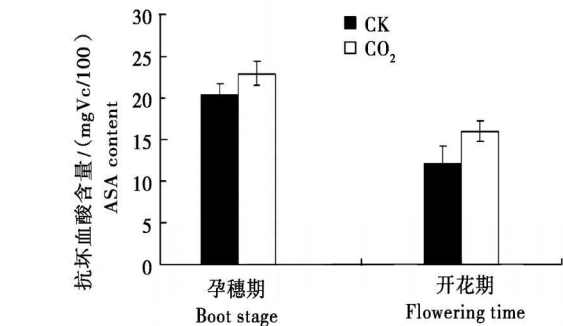


图6 CO₂ 浓度升高对小麦叶片 ASA 含量的影响

Fig. 6 Effects of elevated CO₂ on ASA content

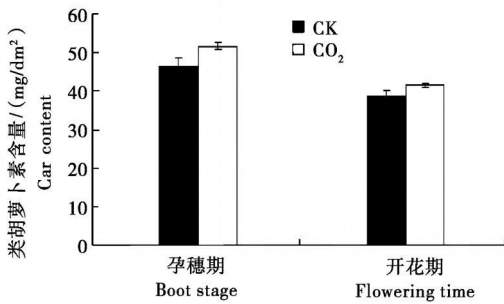


图7 CO₂ 浓度升高对小麦叶片 Car 含量的影响

Fig. 7 Effects of elevated CO₂ on Car content

3 讨论与结论

CO₂ 浓度增加使作物光合作用增强,干物质积累增加。本试验的结果表明,高浓度 CO₂ 增加了小麦的生物量,提高了籽粒产量,与大气 CO₂ 浓度相比差异均达到显著水平(P= 0.023),这与以往的研究结果相符^[14-16]。说明高 CO₂ 浓度增加了养分的积

累和增强向籽粒输送的能力,促进穗粒形成,为提高产量提供了物质基础。

外渗电导率和 MDA 可以作为植物受氧化伤害的指标,从本试验的结果来看,高浓度 CO₂ 下,小麦叶片外渗电导率和 MDA 含量均较大气 CO₂ 浓度下低,并且差异达到显著或极显著水平,表明高 CO₂ 浓度能使膜脂过氧化作用下降,对防止植物的氧化损伤具有一定的保护作用,这与任红旭等^[8]的研究结果相同。

赵天宏等^[17]研究表明,CO₂ 倍增条件下,大豆叶片的 SOD 活性增加,并且 O₂^{·-} 产生速率与 SOD 活性呈显著负相关。本试验结果表明,高 CO₂ 浓度下小麦叶片 SOD、POD 和 CAT 的活性都有所增加,而 O₂^{·-} 产生速率和 H₂O₂ 则有所下降。这可能因为高 CO₂ 浓度下小麦体内 SOD 酶活性增加,歧化 O₂^{·-} 生成 H₂O₂,H₂O₂ 又在 POD 和 CAT 的作用下被清除,叶绿体 POD 主要清除米勒反应产生的 H₂O₂,而 CAT 主要清除光呼吸中产生的 H₂O₂,而且 CO₂ 浓度的提高也可以降低光呼吸形成的 H₂O₂。因此,高浓度 CO₂ 下活性氧含量有所降低。本试验中 ASA 和 Car 含量与对照相比有所升高,这也可以有效地减轻氧化伤害。

本试验的研究结果表明,虽然在大气 CO₂ 浓度下,开花期与孕穗期相比,小麦叶片中活性氧含量有所升高,而抗氧化酶和抗氧化物活性有所下降,但是在 CO₂ 浓度升高时小麦叶片内活性氧产生明显减少,抗氧化酶和抗氧化物活性显著增强,膜脂过氧化作用降低,生物量和籽粒产量有所增加,说明 CO₂ 浓度升高有利于减轻小麦的氧化损伤。其原因可能既有活性氧的含量降低^[18,19] 又有抗氧化酶和抗氧化物活性的增强^[20],研究认为,抗氧化酶和抗氧化物活性的增强起主要作用,其增加可以有效地清除活性氧,使活性氧的产生和清除处于平衡状态。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group 1 to The Third Assessment Report of the IPCC[M]. Cambridge: Cambridge Univ Press, 2001.
- [2] Anthor J S. Effects of atmospheric CO₂ concentration on wheat yield: review of results from experiments using various approaches to control CO₂ concentration[J]. Field Crops Res, 2001, 73: 1– 34.
- [3] 魏小平,王根轩,吴冬秀. 干旱和 CO₂ 浓度升高对春小麦光合作用和气孔阻力以及水分蒸腾效率的影响[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2005, 41(6): 42– 46.
- [4] Kimball B A, Kobayashi K, Bindi M. Responses of agricultural

crops to free-air CO₂ enrichment[J]. Adv Agron, 2002, 77: 293– 368.

- [5] Kimball B A, 朱建国, 程 磊, 等. 开放系统中农作物对空气 CO₂ 浓度增加的响应[J]. 应用生态学报, 2002, 13(10): 1323– 1338.
- [6] Finnan J M, Donnelly A, Burke J I, *et al.* Effects of elevated concentrations of carbon dioxide and ozone on potato yield Agric[J]. Ecosyst. Environ, 2002, 88: 11– 22.
- [7] Wall G W, Garcia R L, Kimball B A, *et al.* Elevated atmospheric CO₂ alleviates water stress-induced mid-afternoon depression in wheat carbon gain, in review. 2002.
- [8] 任红旭, 陈 雄, 吴冬秀. CO₂ 浓度升高对干旱胁迫下蚕豆光合作用和抗氧化能力的影响[J]. 作物学报, 2001, 27(6): 729– 736.
- [9] 王春乙, 郭建平, 白月明, 等. OTG-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[J]. 应用气象学报, 2000, 8(3): 383– 384.
- [10] 李合生, 孙 群, 赵世杰, 等. 植物生理生化原理和实验技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 260– 261.
- [11] 汤章城. 当代植物生理学实验指南[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 95– 315.
- [12] 邹 琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 159– 170.
- [13] 宫海军, 陈坤明, 陈国仓, 等. 硅对小麦生长及其抗氧化酶系统的影响[J]. 土壤通报, 2003, 34(1): 55– 57.
- [14] Rawson H M. Plant responses to temperature under conditions to elevated CO₂[J]. Aust J Bot, 1992, 40: 473– 490.
- [15] Ziska L H, Bunte J A. Influence of increasing carbon dioxide concentration on the photosynthesis and growth stimulation of selected C4 crops and weeds[J]. Photosynth Res, 1997, 54: 199– 208.
- [16] 王修兰, 徐师华, 李佑祥. CO₂ 浓度倍增对小麦生育性状和产量构成的影响[J]. 生态学报, 1996, 16(3): 328– 332.
- [17] Zhao Tianhong, Shi Yi. Respective and Interactive Effects of Doubled CO₂ and O₃ concentration on Membrane Lipid Peroxidation and Antioxidative Ability of Soybean[J]. Science in China(Series C, Life Sciences), 2004(supp.).
- [18] Lin F P, Chen Z H, Chen Z P. Physiological and biochemical responses of the seedlings of four legume tree species to high CO₂ concentration[J]. Acta Phytoecol Sin, 1999, 23(3): 220– 227.
- [19] Sicher R C, Krenner D F, Rodemmel S R. Photosynthetic acclimation to elevated CO₂ occurs in transformed tobacco with decreased ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase content[J]. Plant Physiol, 1994, 104: 409– 415.
- [20] 林久生, 王根轩. CO₂ 倍增对渗透胁迫下小麦叶片抗氧化酶类及细胞程序性死亡的影响[J]. 植物生理学报, 2000, 26(5): 453– 457.