

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 22 期
Vol.30 No.22
2010



中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 30 卷 第 22 期 2010 年 11 月 (半月刊)

目 次

高温对水稻叶片蛋白质表达的影响·····	曹云英,段 骅,王志琴,等 (6009)
茶园间作柑桔杨梅或吊瓜对叶蝉及蜘蛛类群数量和空间格局的影响·····	叶火香,崔 林,何迅民,等 (6019)
鼠尾藻生长与生殖的权衡·····	张树宝,唐永政,王志芳,等 (6027)
不同氮素水平下超高产夏玉米冠层的高光谱特征·····	陈国庆,齐文增,李 振,等 (6035)
近 100 年植被破坏侵蚀环境下土壤质量退化过程的定量评价 ·····	郑粉莉,张 锋,王 彬 (6044)
毛乌素沙地南缘沙漠化临界区域土壤养分的空间异质性·····	邱开阳,谢应忠,许冬梅,等 (6052)
CO ₂ 浓度倍增对干旱胁迫下黄瓜幼苗膜脂过氧化及抗氧化系统的影响 ·····	李清明,刘彬彬,艾希珍 (6063)
小兴安岭阔叶红松林粗木质残体空间分布的点格局分析·····	刘妍妍,金光泽 (6072)
光照对鄂东南 2 种落叶阔叶树种幼苗生长、光合特性和生物量分配的影响 ·····	杨 莹,王传华,刘艳红 (6082)
不同耕作和覆盖方式对紫色丘陵区坡耕地水土及养分流失的影响·····	林超文,罗春燕,庞良玉,等 (6091)
黄土残塬沟壑区流域次生植被物种分布的地形响应·····	王盛萍,张志强,张建军,等 (6102)
农村土地经营权流转对区域景观的影响——以北京市昌平区为例·····	刘 同,李 红,孙丹峰,等 (6113)
基于农户响应的北方农牧交错带生态改善策略·····	徐建英,柳文华,常 静,等 (6126)
滨岸不同植物配置模式的根系空间分布特征·····	仲启铖,杜 钦,张 超,等 (6135)
三江平原小叶章湿地剖面土壤微生物活性特征·····	杨桂生,宋长春,宋艳宇,等 (6146)
不同水分处理对湿地松幼苗生长与根部次生代谢物含量的影响·····	李昌晓,魏 虹,吕 茜,等 (6154)
生活污水慢渗生态处理对土壤及杨树生长的影响·····	白保勋,杨海青,樊 巍,等 (6163)
玉米连作及其施肥对土壤微生物群落功能多样性的影响·····	时 鹏,高 强,王淑平,等 (6173)
茶园 4 种半翅目主要害虫与其捕食性天敌的关系·····	周夏芝,毕守东,柯胜兵,等 (6183)
采煤塌陷地不同施肥处理对土壤微生物群落结构的影响·····	李金岚,洪坚平,谢英荷,等 (6193)
典型区域果园表层土壤 5 种重金属累积特征·····	杨世琦,刘国强,张爱平,等 (6201)
工业园区氮代谢——以江苏宜兴经济开发区为例·····	武娟妮,石 磊 (6208)
公路绿化带对路旁土壤重金属污染格局的影响及防护效应——以山西省主要公路为例·····	王 慧,郭晋平,张芸香,等 (6218)
奥运期间北京 PM _{2.5} 、NO _x 、CO 的动态特征及影响因素 ·····	曾 静,廖晓兰,任玉芬,等 (6227)
新疆绿洲农田土壤-棉花系统 9 种矿质元素生物循环特征 ·····	韩春丽,刘 娟,张旺锋,等 (6234)
甘肃省黄土高原旱作玉米水分适宜性评估·····	姚小英,蒲金涌,姚茹莘,等 (6242)
基于粪便 DNA 的马鹿种群数量和性比 ·····	田新民,张明海 (6249)
专论与综述	
水生态功能分区研究中的基本问题·····	唐 涛,蔡庆华 (6255)
土壤水分遥感监测研究进展·····	杨 涛,官辉力,李小娟,等 (6264)
中国北方气候暖干化对粮食作物的影响及应对措施·····	邓振镛,王 强,张 强,等 (6278)
问题讨论	
城市物质流分析框架及其指标体系构建·····	陈 波,杨建新,石 焱,等 (6289)
研究简报	
湖南会同不同退耕还林模式初期碳密度、碳贮量及其空间分布特征 ·····	田大伦,尹刚强,方 晰,等 (6297)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 300 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 32 * 2010-11

CO₂ 浓度倍增对干旱胁迫下黄瓜幼苗膜脂过氧化及抗氧化系统的影响

李清明^{1,2}, 刘彬彬², 艾希珍^{1,2,*}

(1. 山东农业大学园艺作物生物学农业部重点开放实验室, 山东 泰安 271018; 2. 作物生物学国家重点实验室, 山东 泰安 271018)

摘要: 为了探究 CO₂ 浓度倍增对干旱胁迫下黄瓜幼苗氧化损伤的缓解机理, 为未来大气 CO₂ 浓度升高或温室 CO₂ 施肥以及干旱、半干旱地区水分亏缺等逆境胁迫下黄瓜的优质高效栽培提供理论依据和技术参数, 以温室专用黄瓜品种津优 1 号 (*Cucumis sativus* L. var. Jinyou No. 1) 为试材, 采用裂区设计, 主区因素为 CO₂ 浓度处理, 设 2 个 CO₂ 浓度水平: 大气 CO₂ 浓度 ($\approx 380 \mu\text{mol/mol}$, 表示为 Ambient [CO₂]) 和倍增 CO₂ 浓度 ($(760 \pm 20) \mu\text{mol/mol}$, 表示为 Doubled [CO₂]); 裂区因素为水分处理, 用 PEG 6000 模拟根际干旱胁迫, 设 3 个水分处理水平: 对照 (营养液, 表示为 C)、中度干旱胁迫 (含 5% PEG 6000 的营养液, 相当于水势 $\psi_w = -0.05 \text{ MPa}$, 表示为 M) 和重度干旱胁迫 (含 10% PEG 6000 的营养液, 相当于水势 $\psi_w = -0.15 \text{ MPa}$, 表示为 S), 研究了 CO₂ 浓度倍增对干旱胁迫条件下黄瓜幼苗叶片渗透调节物质含量、膜脂过氧化及抗氧化系统的影响, 结果表明: (1) 干旱胁迫导致黄瓜幼苗活性氧积累, 质膜透性增大, 丙二醛含量升高, 同时幼苗叶片脯氨酸、可溶性蛋白质和可溶性总糖含量显著增加, 抗氧化酶活性 (SOD、POD、CAT、APX 和 GR) 显著提高, 抗坏血酸 (AsA) 和还原型谷胱甘肽 (GSH) 含量显著升高; (2) CO₂ 浓度倍增不仅有利于促进干旱胁迫条件下黄瓜叶片渗透调节物质的积累, 而且能够促进干旱胁迫条件下黄瓜叶片抗氧化酶 (SOD、POD、CAT、APX 和 GR) 活性的表达, 减轻干旱胁迫下活性氧的积累, 使膜脂过氧化程度下降, 质膜相对透性降低, 丙二醛含量减少, 对防止植物的氧化损伤具有一定的保护作用。综上所述, 推测温室 CO₂ 施肥或未来 CO₂ 浓度升高可在一定程度上增强黄瓜幼苗的抗旱性和缓解干旱胁迫的负效应。

关键词: 黄瓜; CO₂ 浓度倍增; 干旱胁迫; 膜脂过氧化; 抗氧化系统

Effects of doubled CO₂ concentration on lipid peroxidation and antioxidant system of cucumber seedlings under drought stresses

LI Qingming^{1,2}, LIU Binbin², AI Xizhen^{1,2,*}

1 Ministry of Agriculture Key Laboratory of Horticultural Crop Biology, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China

2 State Key Laboratory of Crop Biology, Tai'an, Shandong 271018, China

Abstract: Carbon dioxide (CO₂) is the most important anthropogenic greenhouse gas, the global atmospheric CO₂ concentration ([CO₂]) has increased from a pre-industrial value of about 280 to 379 mol/mol in 2005, which was directly resulted from human activities. With the ongoing rise in world population and economic activity, atmospheric [CO₂] is expected to double its current level at the end of 21st century and will reach to 730–1020 $\mu\text{mol/mol}$ in 2100. The doubled atmospheric [CO₂] and a rise of other greenhouse gases could lead to available soil water shortage in many areas of the world. Thus it is important to consider both elevated CO₂ concentrations and different water conditions in order to assess the possible effects of climate change on plants. This study aimed to explore the effect and its mechanism of doubled CO₂ concentration on oxidative damage of cucumber seedlings under drought stresses, and then provide theoretical basis and technical parameters for the high quality and efficient cultivation of cucumber. Osmolates, lipid peroxidation and antioxidant system of hydroponic cucumber seedlings (*Cucumis sativus* L. var. Jinyou No. 1) were investigated under atmospheric and

基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金新教师基金 (20093702120002); 中国博士后科学基金面上资助项目 (20100471002); 山东省博士后创新项目专项资金 (200903024)

收稿日期: 2010-07-01; 修订日期: 2010-09-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: axz@sdaa.edu.cn

doubled CO_2 concentration ($760 \pm 20 \mu\text{mol/mol}$), accompanied with drought stresses simulated by PEG 6000. Split-plot design was employed in the experiment, the main treatment was CO_2 concentration including two levels (Ambient [CO_2] $\approx 380 \mu\text{mol/mol}$ and Doubled [CO_2] = $760 \pm 20 \mu\text{mol/mol}$), the subplot treatment was drought stress treatment including three levels (control was Yamazaki cucumber nutrient solution indicated as C; moderate drought stress was Yamazaki cucumber nutrient solution + 5% PEG 6000, water potential $\psi_w = -0.05\text{MPa}$, indicated as M; severe drought stress was Yamazaki cucumber nutrient solution + 10% PEG 6000, water potential $\psi_w = -0.15\text{MPa}$, indicated as S). The results showed that: (1) drought stresses induced the accumulation of reactive oxygen species, subsequently resulted in the increase of MDA content and permeability of cell membrane as well as osmoticum (proline, soluble protein and soluble carbohydrate) content. Meanwhile, the antioxidative enzymes (SOD, POD, CAT, APX and GR) activities, AsA and GSH contents increased significantly with the aggravation of drought stress; (2) under the condition of severe drought stress, doubled [CO_2] remarkably increased proline content; under the conditions of both moderate and severe drought stress, doubled [CO_2] significantly enhanced soluble protein and soluble carbohydrate content; (3) doubled [CO_2] markedly reduced permeability of cell membrane by 17.1% under severe drought stress and reduced MDA content significantly by 9.4% and 16.4% under moderate and severe drought stress, respectively; (4) doubled [CO_2] increased activities of SOD, POD, APX and GR under moderate drought stress, while increased the all antioxidative enzymes activities significantly under severe drought stress by 17.6%, 15.5%, 10.6%, 11.4% and 8.8%, respectively; (5) doubled [CO_2] increased AsA content significantly by 37.7% under severe drought stress, and there was no significant difference for GSH content between ambient and doubled [CO_2]. In conclusion, not only did doubled CO_2 concentration promote osmolates accumulate, but also enhanced the activities of antioxidative enzymes and increased the content of AsA and GSH in cucumber seedlings under drought stresses condition, and then reduced the accumulation of ROS, decreased lipid peroxidation and cytomembrane permeability as well as MDA content. Based on the above results, we speculate that increasing CO_2 concentration can enhance the resistance of cucumber seedlings to drought stress and mitigate the negative effects of drought stress to some extent.

Key Words: cucumber; doubled CO_2 concentration; drought stress; lipid peroxidation; antioxidant system

CO_2 是最重要的人为温室气体,预测 2050 年至少达到 $550 \mu\text{mol/mol}$,2100 年将上升至 $730\text{—}1020 \mu\text{mol/mol}$ ^[1]。大气 CO_2 浓度升高带来的以气候变暖为标志的全球变化将导致部分地区土壤水分有效性降低,干旱胁迫成为农业生产的主要限制因素^[2]。围绕全球 CO_2 浓度升高的大量研究主要集中在光合反应等方面^[3], CO_2 浓度升高与环境胁迫因子协同作用对植物生理生态过程以及生态系统的影响已引起各国政府和科学家的广泛关注^[4]。高 CO_2 浓度有利于提高作物光合作用以及生长、产量和水分利用效率,而水分胁迫则抑制作物生长和降低产量,在未来 CO_2 浓度升高的条件下,水分亏缺将导致作物生长和产量的严重降低^[5]。高 CO_2 浓度下发生土壤干旱胁迫时, CO_2 的施肥效应受到了一定程度抑制^[6]。土壤水分的降低将导致作物减产,抵消由 CO_2 浓度升高引起的施肥效应^[7]。黄瓜(*Cucumis sativus* L.)是我国设施栽培面积最大的蔬菜作物之一,对水分状况非常敏感。干旱胁迫下黄瓜幼苗叶片膜脂过氧化损伤严重^[8],光合电子传递过程受抑^[9]。前人研究结果表明,高 CO_2 浓度可显著降低干旱胁迫下蚕豆叶片中的丙二醛(MDA)含量,抑制春小麦叶片活性氧的代谢速率,提高抗氧化酶的活性,从而对干旱胁迫所造成的氧化损伤具有一定的改善作用^[10-11]。那么 CO_2 浓度升高是否对干旱胁迫下黄瓜活性氧(ROS)的产生及其清除系统产生影响?鲜见报道。本试验对黄瓜幼苗叶片渗透调节物质、膜脂过氧化及抗氧化系统进行了研究,旨在进一步阐明 CO_2 浓度倍增对干旱胁迫下黄瓜幼苗氧化损伤的缓解机理,为未来大气 CO_2 浓度升高或温室 CO_2 施肥以及干旱、半干旱地区水分亏缺等逆境胁迫下黄瓜的优质高效栽培提供理论依据和技术参数。

1 材料与方法

1.1 植物材料及生长条件

选用天津黄瓜研究所选育的温室专用黄瓜品种津优 1 号(*Cucumis sativus* L. var. Jinyou No. 1)为试材。将种子用体积分数 1% 的次氯酸钠溶液消毒 15 min,然后用蒸馏水清洗,浸种 6—8 h 后,置于发芽箱 26—28℃ 催芽,48 h 左右种子露白后播种于 10 cm × 10 cm 的营养钵,基质为泥炭、珍珠岩和蛭石按 3:1:1 的比例配制。待幼苗长至 2 片真叶,选择整齐一致的幼苗进行水培。水培容器为涂黑的长、宽、高分别为 35、28 cm 和 13 cm 的塑料盆,每盆 8 株。营养液用全浓度的日本山崎黄瓜专用配方,微量元素为全浓度。营养液用与电源控制器连接的气泵通气,设置为每隔 1 h 通气 1 h,24 h 控制,并于每天补充营养液至刻度线。

1.2 试验设计

试验采用裂区设计,主区因素为 CO₂ 浓度处理,设 2 个 CO₂ 浓度水平:大气 CO₂ 浓度(≈380 μmol/mol,表示为 Ambient [CO₂])和倍增 CO₂ 浓度((760 ± 20) μmol/mol,表示为 Doubled [CO₂])。裂区因素为水分处理,用 PEG 6000 模拟根际干旱胁迫,设对照(营养液,表示为 C)、中度干旱胁迫(含 5% PEG 6000 的营养液,相当于水势 $\psi_w = -0.05\text{MPa}$,表示为 M)和重度干旱胁迫(含 10% PEG 6000 的营养液,相当于水势 $\psi_w = -0.15\text{MPa}$,表示为 S)3 个水平,重复 3 次。待幼苗第 3 片真叶完全展开时,开始处理。试验在 2 个规格相同的开顶式 PC 板模型温室内进行,温室脊高 2.5 m,室内使用面积 18 m²,室内安装有环境控制系统(Auto 公司,北京),倍增处理的 CO₂ 由减压阀控制的压缩 CO₂ 钢瓶来供给。处理期间的 CO₂ 浓度由 Telaire 7001 CO₂ 监测仪(Hoyt Electrical Instrument Works Inc., NH, USA)连续监测,当 CO₂ 需要补充到目标浓度时,自动注入室内,使其浓度保持在(760 ± 20) μmol/mol。

1.3 生理指标测定

处理 7d 后取样,每处理分别取 5—6 片相同部位的功能叶并混合,重复 3 次,分别测定下列指标。

质膜相对透性的测定参照郝再彬等^[12]电导率法。丙二醛(MDA)含量的测定参照汤章城^[13]TBA(硫代巴比妥酸)显色法。脯氨酸(Pro)含量的测定参照汤章城^[13]茚三酮-磺基水杨酸法。参照 Bradford^[14]的考马斯亮蓝 G-250 染色法测定可溶性蛋白质含量。参照张志良等^[15]蒽酮比色法测定可溶性总糖含量。超氧阴离子自由基(O₂⁻)产生速率的测定参照依据 Elstner 和 Heupel^[16]的方法。过氧化氢(H₂O₂)含量的测定参照 Mukherjee 等^[17]的方法。超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、抗坏血酸-过氧化物酶(APX)和谷胱甘肽还原酶(GR)活性的测定参照陈建勋等^[18]的方法。抗坏血酸(AsA)和还原型谷胱甘肽(GSH)含量的测定,参照 Law 等^[19]的方法。

1.4 数据统计分析方法

采用 Microsoft Office Excel 2003(Microsoft Corporation, USA)和 DPS 6.55 数据处理系统进行数据统计分析,采用 SigmaPlot 10.0(SPSS Science, Chicago, IL, USA)做图。

2 结果与分析

2.1 CO₂浓度倍增对干旱胁迫下渗透调节物质含量的影响

由图 1 可以看出,干旱胁迫程度越重,黄瓜幼苗叶片脯氨酸(Pro)、可溶性蛋白和可溶性总糖含量越高,水分处理之间除了倍增 CO₂ 浓度下中度干旱胁迫与对照之间的可溶性总糖含量差异不显著外,其余差异均达显著水平。就 CO₂ 浓度而言,重度干旱胁迫下 CO₂ 浓度倍增使 Pro 含量比大气 CO₂ 浓度下升高了 14.2%,差异达显著水平;在中度和重度干旱胁迫下,倍增 CO₂ 浓度下的叶片可溶性蛋白质含量较大气 CO₂ 浓度下分别升高了 7.7% 和 6.2%,差异达显著水平;叶片可溶性总糖含量除了中度干旱胁迫外,都是倍增 CO₂ 浓度下的显著高于大气 CO₂ 浓度下的,在对照、中度和重度干旱胁迫下分别升高了 39.8%、10.1% 和 25.0%。说明 CO₂ 浓度倍增可不同程度地提高干旱胁迫下黄瓜幼苗叶片渗透调节物质的积累,增强其渗透能力,从而在一定程度上增强植株的抗旱性。

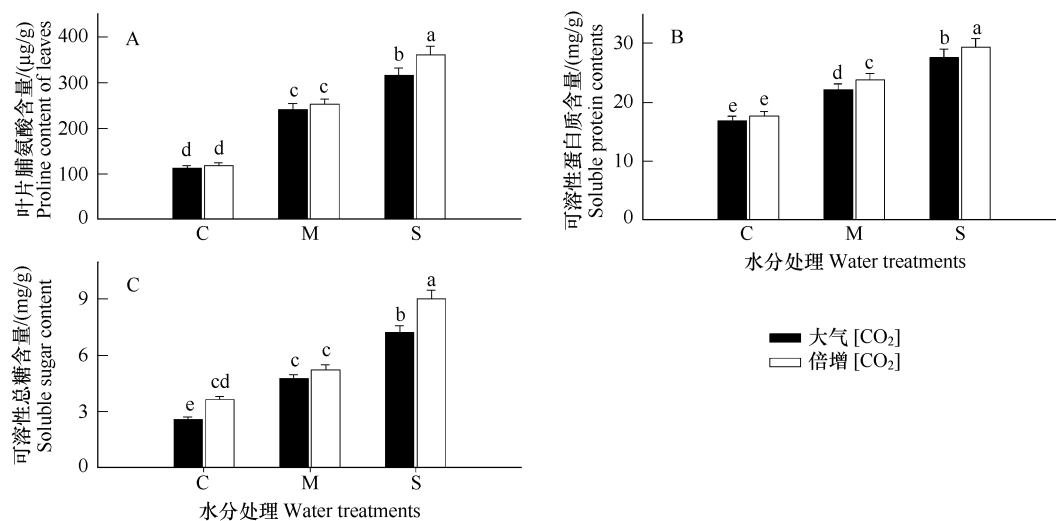


图1 干旱胁迫与 CO₂ 浓度倍增对渗透调节物质含量的影响

Fig.1 Effects of drought stresses and doubled [CO₂] on contents of osmoticum of cucumber leaves

C: 对照, M: 中度干旱胁迫 ($\psi_w = -0.05\text{MPa}$), S: 重度干旱胁迫 ($\psi_w = -0.15\text{MPa}$); 图中小写字母为不同处理间 Duncan 多重比较的差异显著性 ($\alpha = 0.05$)

2.2 CO₂ 浓度倍增对干旱胁迫下质膜相对透性和 MDA 含量的影响

由图 2 可以看出, 质膜相对透性和 MDA 含量均随干旱胁迫程度的加重而显著升高, CO₂ 浓度倍增却使二者含量均有不同程度的降低。重度干旱胁迫下, CO₂ 浓度倍增使质膜相对透性较大气 CO₂ 浓度降低了 17.1%, 差异达显著水平。而 MDA 含量在中度和重度干旱胁迫下, CO₂ 浓度倍增使其较大气 CO₂ 浓度分别降低了 9.4% 和 16.4%, 差异达显著水平。说明 CO₂ 浓度倍增可在一定程度上减轻干旱胁迫对质膜的伤害, 且干旱程度越重, 降幅越大, CO₂ 效果越明显。

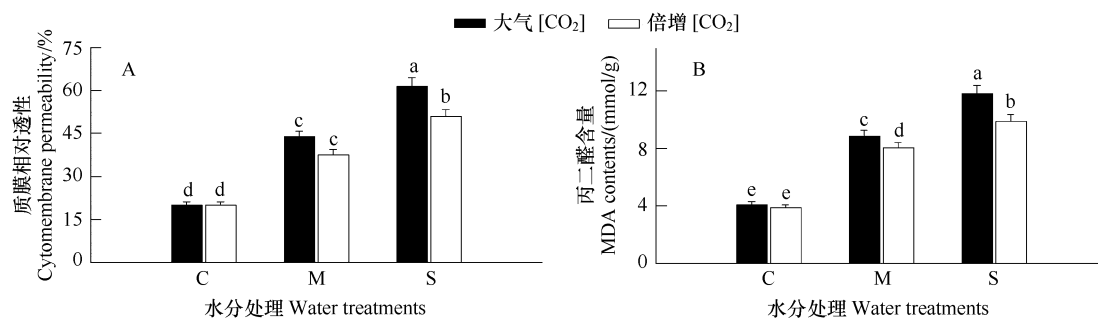


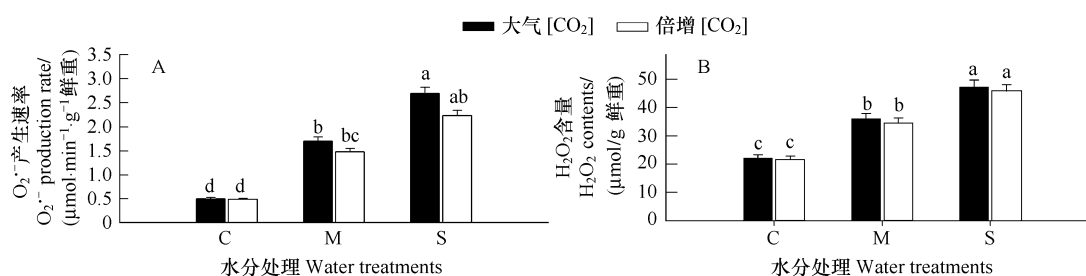
图2 干旱胁迫与 CO₂ 浓度倍增对质膜相对透性和 MDA 含量的影响

Fig.2 Effects of drought stresses and doubled [CO₂] on cytomembrane permeability and MDA contents of cucumber leaves

C: 对照, M: 中度干旱胁迫 ($\psi_w = -0.05\text{MPa}$), S: 重度干旱胁迫 ($\psi_w = -0.15\text{MPa}$); 图中小写字母为不同处理间 Duncan 多重比较的差异显著性 ($\alpha = 0.05$)

2.3 CO₂ 浓度倍增对干旱胁迫下活性氧 (ROS) 含量的影响

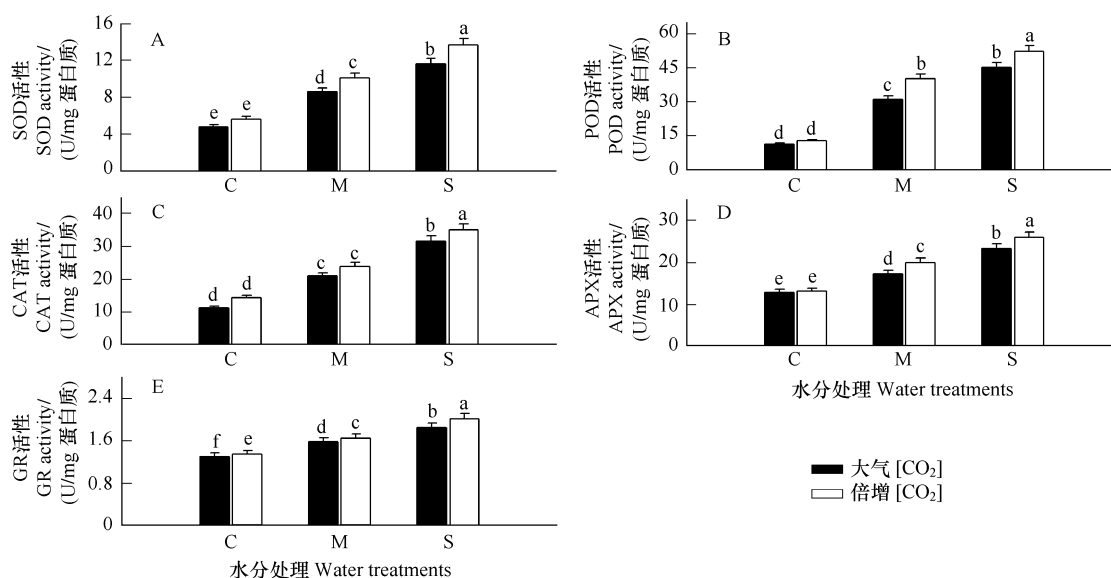
由图 3 可以看出, 干旱胁迫能够引起黄瓜幼苗叶片 ROS 含量的显著增加。在大气 CO₂ 浓度下, 中度和重度干旱胁迫使 O₂⁻ 产生速率较对照分别增加了 1.8 倍和 3.4 倍, H₂O₂ 含量较对照分别增加了 52.5% 和 100.4%; 在倍增 CO₂ 浓度下, 中度和重度干旱胁迫使 O₂⁻ 产生速率较对照分别增加了 1.3 和 2.7 倍, H₂O₂ 含量较对照分别增加了 47.2% 和 94.4%。尽管倍增 CO₂ 浓度可降低 ROS 的积累, 但其与大气 CO₂ 浓度相比差异均不显著。

图3 干旱胁迫与 CO₂浓度倍增对活性氧含量的影响Fig.3 Effects of drought stresses and doubled [CO₂] on contents of reactive oxygen species of cucumber leaves

C: 对照, M: 中度干旱胁迫 ($\psi_w = -0.05\text{MPa}$), S: 重度干旱胁迫 ($\psi_w = -0.15\text{MPa}$); 图中小写字母为不同处理间 Duncan 多重比较的差异显著性 ($\alpha = 0.05$)

2.4 CO₂浓度倍增对干旱胁迫下抗氧化酶活性的影响

由图4可知,黄瓜幼苗叶片保护酶活性在干旱胁迫条件下均有显著提高,且胁迫程度越重,保护酶活性越强。在对照条件下,CO₂浓度倍增除了使GR活性显著增强外,其余保护酶活性略有增强,但差异均不显著。在中度干旱胁迫条件下,除CAT活性外,CO₂浓度倍增却均显著增加了保护酶活性。而在重度干旱胁迫条件下,SOD、POD、CAT、APX和GR活性均在CO₂浓度倍增条件下较大气CO₂浓度下显著增强,分别增加了17.6%、15.5%、10.6%、11.4%和8.8%。意味着CO₂浓度倍增可显著增强干旱胁迫下黄瓜幼苗叶片保护酶活性,以清除ROS的过量积累,避免或减轻膜伤害。

图4 干旱胁迫与 CO₂浓度升高对抗氧化酶活性的影响Fig.4 Effects of drought stresses and doubled [CO₂] on antioxidative enzyme activity of cucumber leaves

C: 对照, M: 中度干旱胁迫 ($\psi_w = -0.05\text{MPa}$), S: 重度干旱胁迫 ($\psi_w = -0.15\text{MPa}$); 图中小写字母为不同处理间 Duncan 多重比较的差异显著性 ($\alpha = 0.05$)

2.5 CO₂浓度倍增对干旱胁迫下抗氧化物质含量的影响

由图5可以看出,AsA含量随干旱胁迫程度的加重而升高,水分处理间差异均达显著水平。在重度干旱胁迫下,倍增CO₂浓度使AsA比大气CO₂浓度下升高了37.7%,差异显著。GSH含量也随干旱胁迫程度的加重而显著升高,但在各水分处理下,倍增CO₂浓度与大气CO₂浓度下的GSH含量虽有所增加,但差异均不

显著。

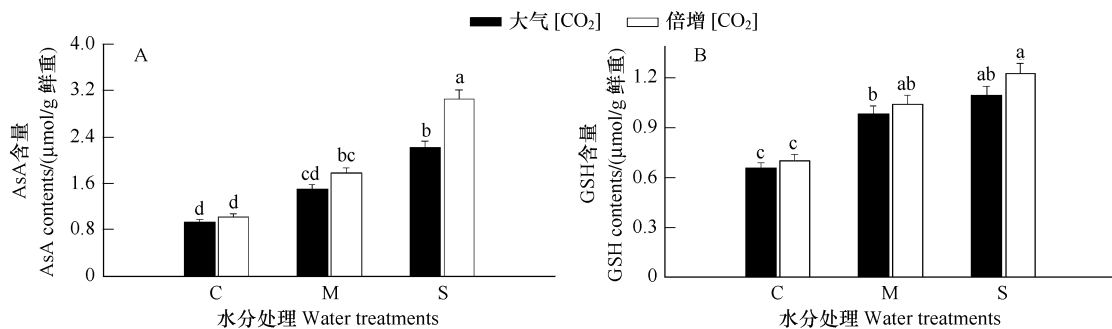


图5 干旱胁迫与 CO₂ 浓度倍增对抗氧化物质含量的影响

Fig. 5 Effects of drought stresses and doubled [CO₂] on antioxidants contents of cucumber leaves

C: 对照, M: 中度干旱胁迫 ($\psi_w = -0.05\text{MPa}$), S: 重度干旱胁迫 ($\psi_w = -0.15\text{MPa}$); 图中小写字母为不同处理间 Duncan 多重比较的差异显著性 ($\alpha = 0.05$)

3 讨论与结论

活性氧自由基 (ROS) 是植物细胞有氧代谢过程中具有很强毒性的副产品^[20], 可直接造成膜脂过氧化^[21], 同时也是激活胁迫响应和防御途径的信号物质^[22-23]。本试验结果表明, 随着干旱胁迫程度加剧, 黄瓜幼苗活性氧积累, 导致细胞膜受到破坏, 质膜透性增大, MDA 含量升高, 分析原因可能是由于干旱胁迫可诱发氧化胁迫^[24], 启动膜脂过氧化, 促进膜磷脂酸酯化反应, 加速膜结构和功能的破坏^[25]。渗透调节是植物适应干旱等逆境胁迫的重要机制之一^[26], 本试验干旱胁迫条件下黄瓜幼苗叶片脯氨酸、可溶性蛋白质和可溶性总糖含量显著增加的原因, 可能是干旱胁迫导致植物体内大分子碳水化合物和蛋白质的分解加强而合成受抑, 并加快光合产物形成过程中直接转向低分子量的物质^[27], 导致渗透物质积累, 使植物在干旱条件下维持一定的膨压, 从而维持细胞生长、气孔开放和光合作用等生理过程的正常进行^[28]。

作为植物体内清除活性氧系统的第一道防线, SOD 可催化 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 歧化生成 O_2 和 H_2O_2 ^[29]。 H_2O_2 通过金属催化的 Haber-Weiss 反应生成高度活泼的羟基自由基 ($\cdot\text{OH}$), 能氧化几乎所有的细胞组分, 并引起细胞的破坏^[30]。CAT 和 POD 可以催化 H_2O_2 生成 H_2O ^[31], APX 也是植物叶绿体和细胞质中清除 H_2O_2 的关键酶^[32], 而 GR 通过参与抗坏血酸-谷胱甘肽循环而在细胞活性氧的清除中起重要作用^[33], AsA 和 GSH 则是植物细胞中主要的低分子量的可溶性抗氧化剂^[34]。而且逆境条件下渗透调节物质的积累也可抑制活性氧的产生, 提高抗氧化酶活性和抗氧化剂含量, 从而清除已生成的活性氧, 增强植物的逆境适应性^[35]。有关抗氧化酶系统与植物耐旱关系的研究已有大量报道, 结果都不尽相同, 这与不同植物的抗旱能力、体内抗氧化系统的活力或含量、钙离子等营养元素的含量与分布以及不同生长发育阶段等不同均有关系^[36]。本试验结果表明, 抗氧化酶活性 (SOD、POD、CAT、APX 和 GR) 均在干旱胁迫条件下显著提高, 且胁迫程度越重, 其活性越强。抗氧化剂 AsA 和 GSH 含量也随干旱胁迫程度加剧而显著升高。说明在干旱胁迫条件下, 活性氧的产生可诱导渗透物质的积累以及抗氧化系统活性或含量的增加, 在其共同作用下, 维持活性氧产生和清除之间的动态平衡, 从而维持黄瓜幼苗的正常生长发育或避免逆境条件下活性氧的过量积累造成不可逆的伤害, 这或许是植物适应逆境条件的主要生理机制。

作为 Rubisco 的底物, CO₂ 浓度的高低可以影响到 Rubisco 催化活性和方向, 调节电子传递速率和不同支路之间的比例, 因而 CO₂ 倍增不仅可以影响植物的光合作用, 而且可以调节活性氧的代谢状态^[37]。Manderscheid 等^[38] 研究表明, CO₂ 浓度升高能够增强植物光合作用, 碳水化合物的增加可以提高作为 PS I 电子受体的 NADP⁺ 的利用率, 因而限制了电子传给分子氧 (O_2) 的流量, Mehler 反应被抑制, 毒性的 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 产生率减少。彭长连等^[39] 发现在正常水分条件下 CO₂ 浓度升高可以降低水稻的氧化损伤, 但同时发现几种抗

氧化酶都有不同程度的下降,因此认为高 CO₂下植物氧化损伤的减轻主要是因为活性氧的生成减少所致。而林久生和王根轩^[40]认为 CO₂倍增下小麦氧化损伤减轻的主要原因不是因为活性氧含量的下降,而在于细胞内抗氧化能力的加强。Schwanz 等^[41]研究结果表明大气 CO₂浓度下生长的橡树和松树遭受干旱胁迫时叶片抗氧化酶活性降低,而高 CO₂浓度下则增加。阮亚男等^[42]认为在短期(60d)内高浓度 CO₂能够提高银杏叶绿体 PS I 内 NADP⁺的利用率,提高 ASA 含量与 SOD、APX、GR 活性,因此抗氧化酶对活性氧的清除能力增强,细胞内活性氧含量降低,对细胞的攻击能力减弱。胡莹莹等^[43]研究结果表明,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。本试验结果表明,CO₂浓度倍增可显著促进干旱胁迫尤其是重度干旱胁迫条件下黄瓜叶片渗透调节物质的积累以及抗氧化酶活性的表达(SOD、POD、CAT、APX 和 GR),从而可在一定程度上减轻或避免大量 ROS 积累造成的伤害,维持 ROS 的产生与清除之间的平衡(图 3),致使质膜相对透性降低,MDA 含量减少,对防止植物的氧化损伤具有一定的保护作用。

前人研究结果表明,在高浓度 CO₂条件下生长的植物能够调节光合电子传导系统并且合成更多的 NADPH^[44],合成的 NADPH 可被用于 AsA-GSH^[45],使植物体内的抗坏血酸(AsA)和谷胱甘肽(GSH)保持高的还原状态,从而可诱导 SOD 和 POX 等抗氧化酶的活性^[46],因而在 CO₂升高条件下生长的植物比在正常 CO₂浓度条件下生长的植物有更强的清除活性氧的作用。本试验结果表明,在重度干旱胁迫下,CO₂浓度倍增可显著增加 AsA 含量,而对 GSH 含量的影响在各水分处理下差异均不显著。这也说明 CO₂浓度倍增主要是通过抗氧化酶促反应避免或减缓干旱胁迫条件下活性氧对膜脂过氧化的负面效应。而 Schwanz 等^[47]研究表明,高 CO₂条件下橡树 ASA 含量无明显变化,Meckee 等^[48]则报道高浓度 CO₂使小麦 ASA 含量降低,这可能与不同作物及其 CO₂处理浓度和处理时间不同等有关。另外,我们的研究结果也表明,CO₂浓度倍增可提高干旱胁迫条件下黄瓜幼苗叶片的水分利用效率(WUE)和维持较高的 CO₂同化速率,这与 Chaves 等^[49]研究结果一致,而且 CO₂浓度倍增可促使 qP 升高和 NPQ 降低以提高光合能力和电子传递速率^[50]。综上所述,我们推测温室 CO₂施肥或未来 CO₂浓度升高可在一定程度上增强黄瓜幼苗的抗旱性和缓解干旱胁迫的负效应。

References:

- [1] Yang L X, Wang Y X, Zhu J G, Hasegawa T, Wang Y L. What have we learned from 10 years of free-air CO₂ enrichment (FACE) experiments on rice? Growth and development. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(6): 1573-1585.
- [2] Wu D, Wang G, Bai Y, Liao J. Effects of elevated CO₂ concentration on growth, water use, yield and grain quality of wheat under two soil water levels. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2004, 104(3): 493-507.
- [3] Cotrufo M, Ineson P, Scott A. Elevated CO₂ reduces the nitrogen concentration of plant tissues. *Global Change Biology*, 1998, 4(1): 43-54.
- [4] Wang M Y, Zhao T H, Zhang W W, Shi Y. Effects of interactions between elevated CO₂ concentration and temperature, drought on physiological processes of plants. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2007, 25(2): 99-103.
- [5] Wu D, Wang G. Interaction of CO₂ enrichment and drought on growth, water use, and yield of broad bean (*Vicia faba*). *Environmental and Experimental Botany*, 2000, 43(2): 131-139.
- [6] Gao S H, Guo J P, Zhou G S. Response of *Aneurolepidium chinense* on soil drought stress under high CO₂. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2002, 10(4): 31-33.
- [7] Parry M, Rosenzweig C, Iglesias A, Livermore M, Fischer G. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socioeconomic scenarios. *Global Environmental Change*, 2004, 14(1): 53-67.
- [8] Zhang A H, Zhu S N, Liu G Q, Qi Y X, Zhang Y. Study on simulated drought stress on cucumber seedlings growth and physiological characteristics. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2009, 6: 200-202.
- [9] Chen Y, Zeng F L. Responses of photosynthetic electron transfer to water stress in cucumber leaves. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica*, 2001, 21(3): 456-461.
- [10] Ren H X, Chen X, Wu D X. Effects of elevated CO₂ on photosynthesis and antioxidative ability of broad bean plants grown under drought condition. *Acta Agronomica Sinica*, 2001, 27(6): 729-736.
- [11] Zhao T H, Sun J W, Fu Y, Zhao Y X, Hu Y Y, Xu L, Shi Y. Effects of elevated CO₂ and O₃ concentration on active oxygen metabolism and antioxidative enzymes activities in spring wheat. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(1): 64-71.

- [12] Hao Z B, Cang J, Xu Z. Plant Physiology Experiment. Harbin: Harbin Institute of Technology Press, 2004.
- [13] Tang Z C. Experimental Guide of Modern Plant Physiology. Beijing: Science Press, 1999.
- [14] Bradford M M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 1976, 72(1/2): 248-254.
- [15] Zhang Z L, Qu W J. Plant Physiology Experimental Guide. Beijing: Higher Education Press, 2003.
- [16] Elstner E F, Heupel A. Inhibition of nitrite formation from hydroxylammoniumchloride: a simple assay for superoxide dismutase. *Analytical Biochemistry*, 1976, 70(2): 616-20.
- [17] Mukherjee S P, Choudhuri M A. Implications of water stress-induced changes in the levels of endogenous ascorbic acid and hydrogen peroxide in *Vigna* seedlings. *Physiologia Plantarum*, 1983, 58(2): 166-170.
- [18] Chen J X, Wang X F. Plant Physiology Experimental Guide. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2002.
- [19] Law M, Charles S, Halliwell B. Glutathione and ascorbic acid in spinach (*Spinacia oleracea*) chloroplasts. The effect of hydrogen peroxide and of Paraquat. *Biochemical Journal*, 1983, 210(3): 899-903.
- [20] Mittler R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*, 2002, 7(9): 405-410.
- [21] Low P S, Merida J R. The oxidative burst in plant defense: function and signal transduction. *Physiologia Plantarum*, 1996, 96(3): 533-542.
- [22] Knight H, Knight M. Abiotic stress signalling pathways: specificity and cross-talk. *Trends in Plant Science*, 2001, 6(6): 262-267.
- [23] Desikan R, A-H-Mackerness S, Hancock J, Neill S. Regulation of the Arabidopsis transcriptome by oxidative stress. *Plant Physiology*, 2001, 127(1): 159.
- [24] Smirnov N. The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation. *New Phytologist*, 1993, 125(1): 27-58.
- [25] Xu S C, Shen X Y, Gu W L, Dai J Y, Wang L Z. Changes of lipid peroxidation, reesterification of phosphatide and ultrastructure of membrane in leaf cells of maize under soil drought condition. *Acta Agronomica Sinica*, 2005, 31(5): 564-569.
- [26] Spickett C M, Smirnov N, Ratcliffe R G. Metabolic response of maize roots to hyperosmotic shock. *Plant Physiology*, 1992, 99(3): 856-863.
- [27] Munns R, Brady C J, Barlow E W R. Solute accumulation in the apex and leaves of wheat during water stress. *Australian Journal of Plant Physiology*, 1979, 6(3): 379-389.
- [28] Li D Q, Zou Q, Cheng B S. Osmotic adjustment and osmotica of wheat cultivars with different drought resistance under soil drought. *Acta Photophysiological Sinica*, 1992, 18(1): 37-44.
- [29] Neill S, Desikan R, Clarke A, Hurst R, Hancock J. Hydrogen peroxide and nitric oxide as signalling molecules in plants. *Journal of Experimental Botany*, 2002, 53(372): 1237.
- [30] Sun W H, Wang W Q, Meng Q W. Functional mechanism and enzymatic and molecular characteristic of ascorbate peroxidase in plants. *Plant Physiology Communications*, 2005, 41(2): 143-147.
- [31] Asada K. The water-water cycle in chloroplasts: scavenging of active oxygens and dissipation of excess photons. *Annual Review of Plant Biology*, 1999, 50(1): 601-639.
- [32] Asada K. Ascorbate peroxidase-a hydrogen peroxide-scavenging enzyme in plants. *Physiologia Plantarum*, 1992, 85(2): 235-241.
- [33] Noctor G, Foyer C. Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control. *Annual Review of Plant Biology*, 1998, 49(1): 249-279.
- [34] Foyer C. Prospects for enhancement of the soluble antioxidants, ascorbate and glutathione. *Biofactors*, 2001, 15(2): 75-78.
- [35] Wang J, Li D Q. The accumulation of plant osmoticum and activated oxygen metabolism under stress. *Chinese Bulletin of Botany*, 2001, 18(4): 459-465.
- [36] Wan M L, Kuang Y H, Chen J X. Studies on membrane lipid peroxidation and protective enzyme activity of sugercanes under phosphorus deficiency. *Journal of South China Agricultural University*, 1999, 20(2): 1-6.
- [37] Bowes G. Growth at elevated CO₂: photosynthetic responses mediated through Rubisco. *Plant, Cell and Environment*, 1991, 14(8): 795-806.
- [38] Manderscheid R, Burkart S, Bamm A, Weigel H. Effect of CO₂ enrichment on growth and daily radiation use efficiency of wheat in relation to temperature and growth stage. *European Journal of Agronomy*, 2003, 19(3): 411-425.
- [39] Peng C L, Lin Z F, Lin G Z. Effect of elevated CO₂ concentration on lipid peroxidation and activities of antioxidative enzymes in rice leaves. *Chinese Journal of Rice Science*, 1999, 13(1): 41-45.
- [40] Lin J S, Wang G X. Effects of doubled CO₂ concentration on antioxidant enzymes and programmed cell death of wheat leaves under osmotic stress. *Acta Photophysiological Sinica*, 2000, 26(5): 453-457.
- [41] Schwanz P, Picon C, Vivin P, Dreyer E, Guehl J M, Polle A. Responses of antioxidative systems to drought stress in pendunculate oak and maritime pine as modulated by elevated CO₂. *Plant Physiology*, 1996, 110(2): 393-402.
- [42] Ruan Y N, He X Y, Chen W, Xu S, Xu W D. Effects of elevated CO₂ on lipid peroxidation and activities of antioxidant enzymes in *Ginkgo biloba*. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(3): 1106-1112.

- [43] Hu Y Y, Zhao T H, Xu L, Shi Y, Zhao Y X. Effects of elevated CO₂ concentration on anti-oxidative system in different bearing time of spring wheat. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2007, 22(5): 15-18.
- [44] Long S, Ainsworth E, Rogers A, Ort D. Rising atmospheric carbon dioxide: plants face the future. *Annual Review of Plant Biology*, 2004, (55): 591-628.
- [45] Rao M V, Hale B A, Ormrod D P. Amelioration of ozone-induced oxidative damage in wheat plants grown under high carbon dioxide (Role of antioxidant enzymes). *Plant Physiology*, 1995, 109(2): 421-432.
- [46] Foyer C H, Lelandais M, Kunert K J. Photooxidative stress in plants. *Physiologia Plantarum*, 1994, 92(4): 696-717.
- [47] Schwanz P, Picon C, Vivin P, Dreyer E, Guehl J M, Polle A. Responses of antioxidative systems to drought stress in pendunculate oak and maritime pine as modulated by elevated CO₂. *Plant Physiology*, 1996, 110(2): 393.
- [48] McKee I F, Eiblmeier M, Polle A. Enhanced ozone-tolerance in wheat grown at an elevated CO₂ concentration: ozone exclusion and detoxification. *New Phytologist*, 1997, 137(2): 275-284.
- [49] Chaves M M, Pereira J S. Water stress, CO₂ and climate change. *Journal of Experimental Botany*, 1992, 43(8): 1131-1139.
- [50] Li Q M, Liu B B, Wu Y, Zou Z R. Interactive effects of drought stresses and elevated CO₂ concentration on photochemistry efficiency of cucumber seedlings. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2008, 50(10): 1307-1317.

参考文献:

- [1] 杨连新, 王云霞, 朱建国, Hasegawa T, 王余龙. 开放式空气中 CO₂ 浓度增高 (FACE) 对水稻生长和发育的影响. *生态学报*, 2010, 30(6): 1573-1585.
- [4] 王美玉, 赵天宏, 张巍巍, 史奕. CO₂ 浓度升高与温度、干旱相互作用对植物生理生态过程的影响. *干旱地区农业研究*, 2007, 25(2): 99-103.
- [6] 高素华, 郭建平, 周广胜. 高 CO₂ 浓度下羊草对土壤干旱胁迫的响应. *中国生态农业学报*, 2002, 10(4): 31-33.
- [8] 张爱慧, 朱士农, 刘广勤, 戚亚仙, 张岩. 模拟干旱胁迫对黄瓜幼苗生长及生理特性影响的研究. *江苏农业科学*, 2009, (6): 200-202.
- [10] 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. *作物学报*, 2001, 27(6): 729-736.
- [11] 赵天宏, 孙加伟, 付宇, 赵艺欣, 胡莹莹, 徐玲, 史奕. CO₂ 和 O₃ 浓度升高对春小麦活性氧代谢及抗氧化酶活性的影响. *中国农业科学*, 2009, 42(1): 64-71.
- [12] 郝再彬, 苍晶, 徐仲. 植物生理实验. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004.
- [13] 汤章城. 现代植物生理学实验指南. 北京: 科学出版社, 1999.
- [15] 张志良, 瞿伟菁. 植物生理学实验指导. 北京: 高等教育出版社, 2003.
- [18] 陈建勋, 王晓峰. 植物生理学实验指导. 广州: 华南理工大学出版社, 2002.
- [25] 徐世昌, 沈秀瑛, 顾慰连, 戴俊英, 王莲芝. 土壤干旱下玉米叶细胞膜脂过氧化和膜磷脂脱酯化反应以及膜超微结构的变化. *作物学报*, 1994, 20(5): 564-569.
- [28] 李德全, 邹琦, 程炳嵩. 土壤干旱下不同抗旱性小麦品种的渗透调节和渗透调节物质. *植物生理学报*, 1992, 18(1): 37-44.
- [30] 孙卫红, 王伟青, 孟庆伟. 植物抗坏血酸过氧化物酶的作用机制、酶学及分子特性. *植物生理学通讯*, 2005, 41(2): 143-147.
- [35] 王娟, 李德全. 逆境条件下植物体内渗透调节物质的积累与活性氧代谢. *植物学通报*, 2001, 18(4): 459-465.
- [36] 万美亮, 邝炎华, 陈建勋. 缺磷胁迫对甘蔗膜脂过氧化及保护酶系统活性的影响. *华南农业大学学报*, 1999, 20(2): 1-6.
- [39] 彭长连, 林植芳, 林桂珠. 加富 CO₂ 条件下水稻叶片抗氧化能力的变化. *作物学报*, 1999, 25(1): 39-43.
- [40] 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. *植物生理学报*, 2000, 26(5): 453-457.
- [42] 阮亚男, 何兴元, 陈玮, 徐胜, 徐文铎. CO₂ 浓度倍增对城市银杏 (*Ginkgo biloba*) 叶片膜脂过氧化与抗氧化酶活性的影响. *生态学报*, 2007, 27(3): 1106-1112.
- [43] 胡莹莹, 赵天宏, 徐玲, 史奕, 赵艺欣. CO₂ 浓度升高对春小麦不同生育时期抗氧化系统的影响. *华北农学报*, 2007, 22(5): 15-18.

2008 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2009 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	8956	1	生态学报	1.669
2	应用生态学报	7979	2	植物生态学报	1.656
3	植物生态学报	3742	3	应用生态学报	1.632
4	西北植物学报	3584	4	生物多样性	1.474
5	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3460	5	生态学杂志	1.276
6	植物生理学通讯	3187	6	植物学通报	1.058
7	生态学杂志	3148	7	西北植物学报	1.046
8	遗传学报	2142	8	植物生理与分子生物学 学报	1.034
9	植物生理与分子生物学学报	1855	9	遗传学报	0.887
10	昆虫学报	1580	10	遗传	0.835

★《生态学报》2008 年在核心版的 1868 种科技期刊排序中总被引频次 8956 次,全国排名第 2;影响因子 1.669,全国排名第 14;第 1~8 届连续 8 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任: 孔红梅

执行编辑: 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 30 卷 第 22 期 (2010 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 22 2010

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元