

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 31 卷 第 2 期
Vol.31 No.2
2011



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 31 卷 第 2 期 2011 年 1 月 (半月刊)

目 次

长白山山杨种群的性比格局及其空间分布	潘春芳,赵秀海,夏富才,等 (297)
冬季融冻过程中白三叶叶片抗氧化酶活力和渗透调节物含量变化与抗冻性的关系	赵 梅,周瑞莲,刘建芳,等 (306)
黄土高原主要森林类型自然性的灰色关联度分析	王乃江,刘增文,徐 钊,等 (316)
两种抗生素对龙须菜的光合生理效应	简建波,邹定辉,刘文华,等 (326)
典型喀斯特峰丛洼地植被群落凋落物 C:N:P 生态化学计量特征	潘复静,张 伟,王克林,等 (335)
塔里木河下游地下水埋深对胡杨气体交换和叶绿素荧光的影响	陈亚鹏,陈亚宁,徐长春,等 (344)
基于 MODIS/NDVI 的陕北地区植被动态监测与评价	宋富强,邢开雄,刘 阳,等 (354)
火因子对荒漠化草原草本层片植物群落组成的影响	贺郝钰,苏洁琼,黄 磊,等 (364)
4 种阔叶幼苗对 PEG 模拟干旱的生理响应	冯慧芳,薛 立,任向荣,等 (371)
城市带状绿地宽度与温湿效益的关系	朱春阳,李树华,纪 鹏,等 (383)
西藏斧钯水鸟多样性及斑头雁繁殖活动区的变化	张国钢,刘冬平,钱法文,等 (395)
王朗自然保护区大熊猫生境选择	康东伟,康 文,谭留夷,等 (401)
东方田鼠警觉对其功能反应的作用格局	陶双伦,杨锡福,邓凯东,等 (410)
台州市路桥区重金属污染对土壤动物群落结构的影响	白 义,施时迪,齐 鑫,等 (421)
青岛湾小型底栖生物周年数量分布与沉积环境	杜永芬,徐奎栋,类彦立,等 (431)
叉尾斗鱼种群遗传变异与亲缘地理	王培欣,白俊杰,胡隐昌,等 (441)
C ₃ 和 C ₄ 植物寄主对华北地区棉铃虫越冬代和第一代的影响	叶乐夫,付 雪,戈 峰 (449)
3 种海拔高度茶园中 2 种害虫与其天敌间的数量和空间关系	毕守东,柯胜兵,徐劲峰,等 (455)
坝上地区农田和恢复生境地地表甲虫多样性	刘云慧,宇振荣,王长柳,等 (465)
若尔盖高寒湿地干湿土壤条件下微生物群落结构特征	牛 佳,周小奇,蒋 娜,等 (474)
红枣贮藏期果面微生物多样性	沙月霞 (483)
CO ₂ 和温度升高情况下白粉菌侵染对西葫芦生长特性的影响	刘俊稚,葛亚明, Pugliese Massimo, 等 (491)
丛枝菌根真菌对中性紫色土土壤团聚体特征的影响	彭思利,申 鸿,袁俊吉,等 (498)
新疆断裂带泉水中细菌群落结构的 PCR-DGGE 分析	吴江超,高小其,曾 军,等 (506)
石油污染对海洋浮游植物群落生长的影响	黄逸君,陈全震,曾江宁,等 (513)
不同耐性水稻幼苗根系对镉胁迫的形态及生理响应	何俊瑜,任艳芳,王阳阳,等 (522)
基于 CLUE-S 模型的密云县面源污染控制景观安全格局分析	潘 影,刘云慧,王 静,等 (529)
基于生态足迹的生态地租分析	龙开胜,陈利根,赵亚莉 (538)
深圳市植被受损分级评价及其与景观可达性的关系	刘语凡,陈 雪,李贵才,等 (547)
专论与综述	
美国、加拿大环境和健康风险管理方法	贺桂珍,吕永龙 (556)
植物蜡质及其与环境的关系	李婧婧,黄俊华,谢树成 (565)
油田硫酸盐还原菌酸化腐蚀机制及防治研究进展	庄 文,初立业,邵宏波 (575)
叶际微生物研究进展	潘建刚,呼 庆,齐鸿雁,等 (583)

CO₂ 和温度升高情况下白粉菌侵染对西葫芦生长特性的影响

刘俊稚^{1,2}, 葛亚明¹, Pugliese Massimo², Garibaldi Angelo²,
Gullino Maria Lodovica², 田光明^{1,*}

(1. 浙江大学环境工程系, 杭州 310029; 2. Centre of Competence in the Agro-environmental Sector (AGROINNOVA),
University of Torino, Grugliasco 10095, Italy)

摘要: 植物病害是降低植物产量和产品品质的重要因素, 但对其在气候变化情景下如何影响植物的研究鲜见报道。利用封闭式人工气候室模拟不同环境处理, 探讨了大气 CO₂ 浓度增加和温度升高情况下白粉菌 (*Podosphaera xanthii*) 侵染对西葫芦 (*Cucurbita pepo*) 生长发育的影响。结果表明, 单独 CO₂ 加富 (EC) 增强了西葫芦光合作用 ($P < 0.05$), 促进了植株生长和果实生产; CO₂ 浓度和温度同时升高 (ECT) 也促进了光合作用 ($P < 0.05$), 加速了植株器官发育, 但限制了叶片叶绿素合成和叶片面积生长, 最终明显降低了植株地上部分干物质积累和果实产量 ($P < 0.05$)。和对照相比, EC 处理下白粉菌的生长繁殖没有明显变化, 但由于西葫芦植株的抗病性有所改善, 植株病情指数略有下降; 而 ECT 处理下白粉菌的发育繁殖明显改善, *P. xanthii* 菌落规模和产孢能力极大提高 ($P < 0.01$), 植物病情指数显著加重 ($P < 0.01$), 作物严重减产 ($P < 0.01$)。可见, 在未来以 CO₂ 浓度和温度升高为特征的气候变化条件下, 白粉菌倾向于加重对西葫芦的侵染。这个结论对其他葫芦科白粉病的防治管理也有借鉴作用。

关键词: 全球气候变化; 西葫芦; 白粉菌; 植物病害; 生长特性

Effects of powdery mildew infection on zucchini growth under elevated CO₂ and temperature

LIU Junzhi^{1,2}, GE Yaming¹, Pugliese Massimo², Garibaldi Angelo², Gullino Maria Lodovica², TIAN Guangming^{1,*}

1 Department of Environmental Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China

2 Centre of Competence in the Agro-environmental Sector (AGROINNOVA), University of Torino, Grugliasco 10095, Italy

Abstract: It is well established that global climate change is currently occurring as a result of human activities and its potential effects has become a focus of recent research. Though there were many reports on plant diseases that cause significant loss in both yield and quality of many crops throughout the world, it is rarely known how disease infection would influence plants under the global climate change. In this study, we investigated the potential impacts of powdery mildew (*Podosphaera xanthii*) infection on zucchini (*Cucurbita pepo*) growth under the conditions of elevated CO₂ concentration and rising temperature. Zucchini plants were grown in controlled phytotrons with 3 different simulated climatic conditions: CO₂ 450 μmol/mol with temperature ranging from 18 °C to 24 °C (control treatment), CO₂ 800 μmol/mol with temperature ranging from 18 °C to 24 °C (elevated CO₂ treatment), and CO₂ 800 μmol/mol with temperature ranging from 22 °C to 28 °C (elevated both CO₂ and temperature treatment). *P. xanthii* was artificially inoculated by spraying a conidial suspension onto the adaxial surface of zucchini leaves. Both physiological (e.g. chlorophyll content, gas exchange activity, and other plant growth parameters) and pathological (e.g. size, hyphal tip number, and conidiophore number of pathogen colony, and disease index of whole plant) responses of plant and pathogen were monitored. The results showed that elevated CO₂

基金项目: 欧盟亚链资助项目 (CN/ASIALINK/028)

收稿日期: 2009-12-10; 修订日期: 2010-02-06

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gmtian@zju.edu.cn

alone enhanced the net photosynthesis rate of zucchini plants ($P < 0.05$), and produced more aboveground biomass and zucchini fruits than those in control treatment ($P > 0.05$). Elevated both CO_2 and temperature also enhanced the net photosynthesis rate but with less enhancement ($P < 0.05$), and greatly accelerated the plant development with more open leaves and male flowers ($P < 0.05$). However, increase of both CO_2 and temperature reduced both chlorophyll content and area of zucchini leaf ($P > 0.05$), finally resulting significantly decreased dry biomass accumulation (aboveground) and zucchini fruit production than the control treatment ($P < 0.05$). No variety on *P. xanthii* growth and development was found between elevated CO_2 treatment and control treatment, and the plant disease index in elevated CO_2 treatment slightly reduced due to the improved plant resistance caused by increase of atmospheric CO_2 . Compared with the control treatment, the fungal development of *P. xanthii* in elevated both CO_2 and temperature treatment greatly improved, with significantly greater colony size and conidiophore production ($P < 0.01$), as well as much heavier disease index ($P < 0.01$) and much lower yield of zucchini fruits ($P < 0.01$). These results indicate that in future climate characterized by both elevated CO_2 and rising temperature, the powdery mildew would cause aggravated damage on zucchini plants. This finding might be also of importance to disease management on other plants belonging to the family Cucurbitaceae.

Key Words: global climate change; *Cucurbita pepo*; *Podosphaera xanthii*; plant diseases; growth characteristics

大气 CO_2 浓度已由 18 世纪中叶工业革命前的约 $280\mu\text{mol/mol}$ 上升到现在的超过 $380\mu\text{mol/mol}$, 且其增速正在加快^[1]。政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 将 $450\mu\text{mol/mol}$ 设定为大气 CO_2 浓度不对人类引起重大灾难性影响的警戒线; 但 IPCC 同时预计, 如不能采取严格减排措施, 2100 年大气 CO_2 浓度将达到 $730\text{—}1020\mu\text{mol/mol}$, 届时地表平均气温将升高 $1.1\text{—}6.4^\circ\text{C}$ ^[2]。以大气 CO_2 浓度和温度上升为主要特征的全球气候变化对植物生长发育、生态系统结构功能及全球食物供应等的影响, 已成为近年来国内外科学家关注的焦点^[3-5]。植物病害是降低植物产量和产品品质的重要因素, 全世界每年至少 10% 的食物供应量减少应归因于植物病害^[6], 但关于在气候变化情景下植物病害对植物影响的研究十分有限^[7-9]。

西葫芦 (*zucchini*, *Cucurbita pepo*) 是主要蔬菜作物之一, 葫芦科南瓜属, 原产北美洲南部, 自 19 世纪中叶开始引入我国。葫芦科白粉菌 (*Podosphaera xanthii*) 属子囊菌亚门白粉菌属真菌, 能够侵入寄生在活体植物体表, 繁殖速度快, 并通过气流传播。由白粉菌引起的白粉病是西葫芦等瓜类作物最重要的病害之一, 它会使染病叶片提前枯死, 并通过降低单个果实大小和/或减少单株作物坐果个数等造成蔬菜减产达 50%^[10]。那么, 在全球气候变化的情况下白粉菌对西葫芦的影响会怎样呢? 本研究通过封闭式人工气候室模拟不同环境处理, 探讨了大气 CO_2 浓度和温度升高条件下白粉菌侵染对西葫芦生长发育的影响, 以期对未来全球气候变化情景下的初级生产力预测评估及农业病害防治管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料 and 设计

试验所用人工气候室 (PGC 9.2, 意大利 TECNO. EL 公司生产) 能够根据电脑程序设定及相应传感器实时监控, 对室内温度、湿度、光照等环境因素按其自然变化规律进行自动控制。室内安装 LED 组合光源以提供植物生长所需的最佳波长。同时, 植物生长的土壤中还插有温湿度传感器对土壤温湿度进行实时监测, 以确定是否需补充水份。

试验设 3 个环境处理: 对照 CK (CO_2 浓度 $450\mu\text{mol/mol}$ + 温度 $18\text{—}24^\circ\text{C}$), CO_2 浓度升高处理 EC (CO_2 浓度 $800\mu\text{mol/mol}$ + 温度 $18\text{—}24^\circ\text{C}$), CO_2 浓度和温度同时升高处理 ECT (CO_2 浓度 $800\mu\text{mol/mol}$ + 温度 $22\text{—}28^\circ\text{C}$)。气候室内其他环境条件均相同: 相对湿度 $40\text{—}70\%$, 有效光合辐射 $70\text{—}700\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 光照周期为 16h/d 。整个试验过程重复 3 次。

西葫芦 (*Cucurbita pepo* cv Genovese) 先在温室穴盘里播种, 当幼苗第 1 片真叶长出时选取健康一致的植株定苗到人工气候室中。待到西葫芦植株第 2 片真叶完全展开后, 将各环境处理培养的一半植株用白粉菌

(*Podosphaera xanthii*)孢子悬浮液(5×10^5 — 1×10^6 孢子/mL)喷雾接种。接种第0、5、10天和15天时,分别测定各处理植株第二片真叶的叶绿素含量和光合作用,称取植株地上部分鲜重和干重,记录植株开展叶片数目、叶面积、雄花数量及最大长度($L_{\max}$)、果实数量及最大长度等植物发育指标。同时,监测白粉菌的生长繁殖情况,包括:接种3d后的菌落面积和菌丝分支数,及5d后的菌落分生孢子梗数。另外,测算接种第8、10天和15天时染病植株的病情指数。

1.2 监测方法

(1)叶绿素含量 用CCM-200叶绿素分析仪(美国OptiSciences公司生产)测定叶绿素含量指数(CCI)。

(2)光合作用 用ADC Lepro开放系统红外光合作用测量仪(英国ADC公司生产)在各处理生长环境中监测净光合吸收速率(P_n , $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)和气孔导度(G_s , $\text{mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)。

(3)干重 将收获植株在105℃烘箱中烘48h得到。

(4)相对生长速率(RGR) $RGR = (\ln W_f - \ln W_0) / t$, 其中, t 为接种时间(d)。

(5)叶片面积 叶片面积 = $0.5781 + 0.7748 \times \text{叶片长} \times \text{叶片宽}^{[11]}$ 。

(6)白粉菌菌落参数 参照Kruger等人的方法^[12],用打孔器从染病植株第二片真叶介于中心与边缘之间部位均匀打取直径1.5cm的叶盘,用乙醇-乙酸溶液(3:1)脱色至叶绿素完全脱去。水洗一遍后,加入贮放液(乳酸:甘油:水=1:1:1)室温放置至少24h。之后,用0.1%溴酚蓝染色于显微镜下观测菌落参数。其中,菌落面积由椭圆面积计算公式估算得到。

(7)植株病情指数 以病斑面积占叶片面积百分比对叶片病级数分级:无侵染为0级;病斑面积占叶片面积2.5%以下为1级;5%—10%为3级;25%—50%为5级;75%以上为7级。植株病情指数 = (植株各叶片病级数总和 $\times 100$) / (调查叶片总数 $\times 7$)

1.3 统计方法

所有测定结果均表示为平均值 $\pm$ 标准误,用SPSS17.0进行方差分析和显著性检验。 $P < 0.05$ 视为差异显著, $P < 0.01$ 为差异极显著。

2 结果与分析

2.1 西葫芦叶绿素和光合作用

西葫芦第2片真叶叶绿素含量指数(CCI)变化情况如图1所示。试验期间,与CK相比,EC处理的CCI略高,健康植株和染病植株分别增加了11.1%—20.7%和2.7%—6.3%;而ECT处理的CCI则通常显著降低($P < 0.05$),健康植株和染病植株分别降低了9.2%—18.7%和12.1%—29.7%。可见,白粉菌侵染削弱了CO₂浓度增加对CCI的改善,却加速了高温对CCI的抑制。另外,随西葫芦发育进程的推进及白粉菌发病时间的加长,接种10d后,各环境下西葫芦CCI都比接种0和5d时大幅降低,健康植株降幅为10.4%—17.9%,染病植株降幅更高达22.7%—35.7%,相同环境下染病植株的CCI比健康植株降低了14.5%—20.3%。

总体来看,单纯提高CO₂浓度或者同时提高CO₂浓度和温度都明显促进了西葫芦净光合速率 P_n (图2)。试验期间,对健康植株,EC和ECT处理的净光合速率较CK处理增加了45.3%—97.6%和16.8%—76.2%;对染病植株,EC和ECT处理的净光合速率较CK处理增加了48.5%—182.1%和39.0%—69.4%。接种5d

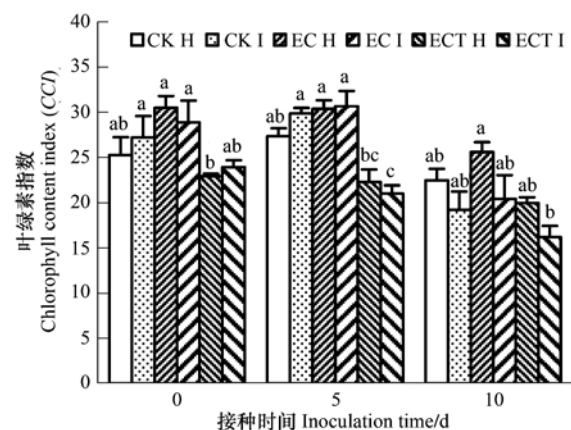


图1 CO₂和温度升高对西葫芦叶片叶绿素指数的影响

Fig.1 Effects of elevated CO₂ and temperature on chlorophyll content index (CCI) of zucchini leaves

图中H和I分别表示健康植株和染病植株;图中不同字母表示处理差异显著($P < 0.05$)

和 10d 后,白粉菌侵染降低了各环境下的净光合速率,但 EC 和 ECT 处理的染病植株的净光合速率比 CK 健康植株的净光合速率仍高出 37.5%—88.1% 和 11.9%—14.6%。另外,随西葫芦生长进程的推进,接种 10d 后所有植株的净光合速率都明显下降,降幅高达七八成。

接种 0d 时,EC 和 ECT 处理已使西葫芦叶片的气孔导度(G_s)平均分别降低了 38.0% 和 53.0%。接种 5d 后,白粉菌侵染降低了各处理的气孔导度,但白粉菌引起的气孔导度降幅低于两个环境处理引起的气孔导度降幅。对健康植株,EC 和 ECT 处理使叶片气孔导度比对照降低了 30.3% 和 48.7%;对染病植株,EC 和 ECT 处理使叶片气孔导度比对照降低了 18.6% 和 42.4%。随叶片趋于衰老和发病加剧,接种 10d 时各处理下的气孔导度均明显降低,各处理间的差异也明显缩小。

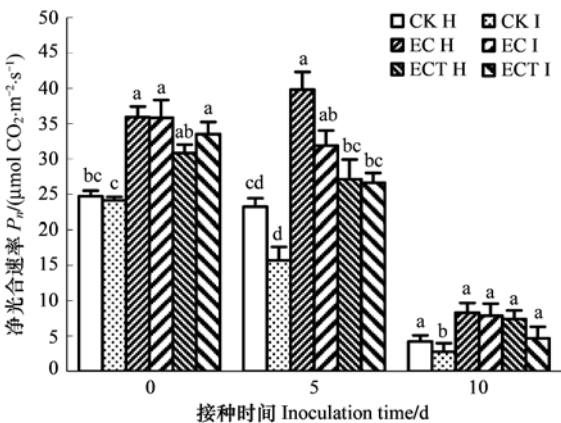


图2 CO_2 和温度升高对西葫芦叶片净光合速率的影响
Fig. 2 Effects of elevated CO_2 and temperature on net photosynthetic rate (P_n) of zucchini leaves
图中 H 和 I 分别表示健康植株和染病植株;图中不同字母表示处理差异显著 ($P < 0.05$)

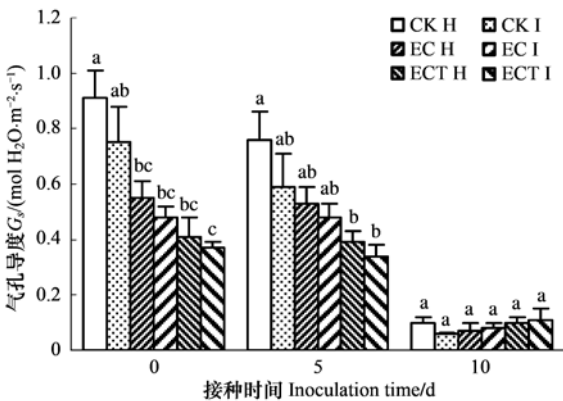


图3 CO_2 和温度升高对西葫芦叶片气孔导度的影响
Fig. 3 Effects of elevated CO_2 and temperature on stomatal conductance (G_s) of zucchini leaves
图中 H 和 I 分别表示健康植株和染病植株;图中不同字母表示处理差异显著 ($P < 0.05$)

2.2 西葫芦生长发育参数

接种 15d 时西葫芦的生长发育参数如表 1 所示。总体来看,各环境处理对西葫芦叶片展开数目、雄花数量及其最大长度等的影响与是否接种关系不大;但西葫芦叶片大小、果实产量和地上部分生物质量等对不同环境处理的响应则因是否染病而异,且其变化方向和范围又与环境本身有关。

表 1 CO_2 和温度升高对接种 15 d 后西葫芦生长发育的影响

Table 1 Effects of elevated CO_2 and temperature on zucchini growth and development at 15d after inoculation						
项目 Items	CK H	CK I	EC H	EC I	ECT H	ECT I
鲜重 Fresh weight/g	88.5 ± 5.3ab	82.0 ± 2.7bc	103 ± 3.4a	85.6 ± 2.8bc	99.3 ± 5.0ab	75.9 ± 6.8c
干重 Dry weight/g	9.3 ± 0.8ab	9.0 ± 0.3b	11.8 ± 0.6a	9.4 ± 0.6ab	8.8 ± 0.3b	5.3 ± 0.6c
相对生长速率 Relative growth rate	0.16 ± 0.01a	0.15 ± 0.01a	0.16 ± 0.01a	0.15 ± 0.01a	0.15 ± 0.01a	0.14 ± 0.00a
开展叶片数目 Open leaf number	5.2 ± 0.1b	5.2 ± 0.2b	4.7 ± 0.4b	5.2 ± 0.2b	6.7 ± 0.1a	6.7 ± 0.1a
叶片面积 Area of 2nd leaves/cm ²	154 ± 12.7a	117 ± 5.6b	163 ± 12.1a	153 ± 11.8a	131 ± 13.7ab	119 ± 6.6b
雄花						
数量 Number	13.8 ± 0.5b	13.0 ± 0.6b	12.8 ± 0.4b	13.2 ± 0.5b	15.0 ± 0.6a	14.7 ± 0.9a
Male flower						
最大长度 Lmax/cm	8.7 ± 1.0b	9.7 ± 0.6b	9.4 ± 1.1b	9.0 ± 0.8b	22.2 ± 2.1a	21.7 ± 0.9a
果实						
数量 Number	1.7 ± 0.4a	1.2 ± 0.2ab	1.8 ± 0.3a	1.4 ± 0.2a	0.5 ± 0.2b	0.2 ± 0.2b
Zucchini fruit						
最大长度 Lmax/cm	2.8 ± 0.4a	2.5 ± 0.6a	3.2 ± 0.6a	2.5 ± 0.4a	0.3 ± 0.1b	0.1 ± 0.1b

图中 H 和 I 分别表示健康植株和染病植株;图中不同字母表示处理差异显著 ($P < 0.05$)

CO_2 浓度加富促进了西葫芦生长,但白粉菌侵染或温度升高都削弱了这一促进作用。以植株地上部分生

物质质量为例,和对照相比,接种 15d 时 EC 处理的健康植株的鲜、干重分别增加了 16.4% 和 26.9%,而其染病植株的鲜、干重仅分别增加了 4.39% 和 4.44%;ECT 处理的健康植株的干重甚至减少了 5.38%,其染病植株的鲜、干重更分别减少了 7.44% 和 41.1% ($P < 0.01$)。各处理间植株的相对生长速率趋势和生物质相似,但区别均不显著。

和对照相比,EC 处理的西葫芦叶片发育进程没有受到影响,但其单片叶面积增加了 5.84% (H) 和 30.8% (I) ($P < 0.01$);而 ECT 处理的植株叶片发育加快了 28.8% ($P < 0.01$),但其单片叶面积却缩小了 14.9% (H) 或基本不变 (I)。EC 处理也没有影响西葫芦雄花的生长速度,但使果实数量比对照多出了 5.88% (H) 或 16.7% (I),最大果实长度比对照增加了 14.3% (H) 或保持不变 (I);而 ECT 处理使西葫芦雄花数目较对照增加了 8.70% (H) 和 13.1% (I),花杆长度较对照增加了约 1.5 倍 ($P < 0.01$),但果实数量及其最大长度比对照显著下降 ($P < 0.01$),健康植株减幅达 70.6% 和 89.3%,染病植株减幅达 83.3% 和 96.0%。

2.3 白粉菌自身发育参数和西葫芦病情指数

显微镜下观测白粉菌菌落的结果表明,单独 CO₂ 浓度增加未对白粉菌生长产生明显影响,而高温则明显促进了白粉菌发育 (表 2)。接种 3d 时,EC 处理的病原菌落的面积及菌丝分支数和对照基本一致,而 ECT 处理的菌落面积和菌丝分支数都比对照增加了 1 倍左右 ($P < 0.01$)。接种 5d 时,EC 处理的病原菌落的分生孢子梗数和对照差别不大,而 ECT 处理的比对照多出近 10 倍 ($P < 0.01$)。

表 2 CO₂和温度升高对白粉菌菌落生长繁殖的影响

Table 2 Effects of elevated CO₂ and temperature on *P. xanthii* colony development

接种时间 Inoculation time/d	项目 Item	CK I	EC I	ECT I
3	菌落面积 Colony area/cm ²	0.35 ± 0.03 a	0.31 ± 0.03 a	0.68 ± 0.13 b
	菌丝分支数 Hyphal tip number	9.3 ± 0.8 a	8.5 ± 0.7 a	16.3 ± 1.8 b
5	分生孢子梗数 Conidiophore number	2.4 ± 0.4 a	2.0 ± 0.9 a	21.4 ± 2.3 b

图中 H 和 I 分别表示健康植株和染病植株;图中不同字母表示处理差异显著 ($P < 0.05$)

如图 4 所示,接种后第 8 至 10 天 时西葫芦病情指数变化不大,但 15d 时迅速上升,比第 10 天时增加了 25.2%—41.2%。单纯升高 CO₂ 浓度未对西葫芦病情指数产生显著影响,变化幅度在 -5.73% 至 +10.8% 之间,而同时升高温度则极大加剧了病情指数,增幅为 5.73%—27.5% ($P < 0.05$)。

3 讨论

本试验中 CO₂ 浓度升高促进了西葫芦健康植株的生长,这和以前有关 CO₂ 浓度对植物生理影响研究的总体结论一致^[13]。CO₂ 浓度上升首先影响植物体与外界大气的气体交换活动,促进植物光合作用,在植物叶片内合成更多的淀粉、多糖等碳水化合物,然后转移到茎、根、果实等部位,从而提高总体生物量^[14]。温度也是影响光合作用生化过程的重要因素之一,温度过高会导致植物叶绿体和生物膜受损,使光合作用减弱^[15]。另外,高温会加快植物组织的发育形成,而缩短其发育苗壮时间,从而加速植物的衰老^[16]。本试验中同时升高 CO₂ 浓度和温度的处理条件下,和对照相比,虽然西葫芦叶片单位面积净光合速率略有升高 (图 2),但叶绿素含量指数下降更多 (图 1),最终长出的叶片多但小、果实少且小 (大部分果实没来得及生长就化掉了),整株干重减少 (表 1)。这可能是由于 CO₂ 浓度增加带来的正面

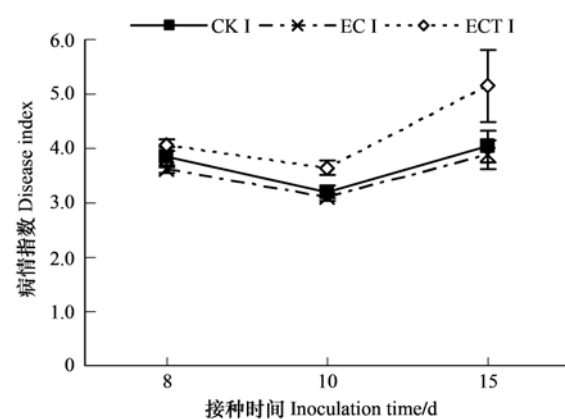


图 4 CO₂和温度升高对西葫芦植株发病指数的影响

Fig. 4 Effects of elevated CO₂ and temperature on disease index of zucchini

影响未能弥补温度升高引起的负面影响的结果。

有研究表明,CO₂浓度升高会促使大麦、花豆等植物体内合成某些植保素,或者改变自身其他某些生理、形态或解剖学特性,以抵御白粉病、炭疽病等病原入侵,抑制病害发生^[17-20]。也有研究认为,气候变化会有利于某些病菌生长,扩大病菌的致病范围,加重其为害程度。如,Salinari 等^[21]曾用“气候-病害耦合模型”预测,2030 年、2050 年和 2080 年的气候条件将加重意大利 Acqui Terme 地区的葡萄霜霉病,使其在每年气候较适宜病原生长的月份提前爆发。Evans 等^[22]认为全球变暖将扩大油菜黑胫病的致病范围,从英格兰北部蔓延到目前尚未爆发过这一疾病的苏格兰,并加重其对油菜生产带来的负面影响。Klopfenstein 等^[23]新近报道称气候变化会加重 Alaska 一种重要的根部菌根真菌——蜜环菌对当地多种树木的侵染。

本研究发现,单独增加 CO₂浓度并不直接影响 *P. xanthii* 的生长繁殖。CO₂浓度加富可以通过促进植物生长茁壮或/和体内合成抵御性酚类化合物来提高植物对白粉病的抵抗能力^[24],使染病植物病情指数略有降低,从而提高作物产量。这应该也是目前生产实践中利用 CO₂施肥技术实现作物增产抗病的部分理论基础。而温度和 CO₂浓度同时提高将会极大促进白粉菌的发育扩散,使病原菌落规模和产孢能力均加倍甚至几十倍,使染病植物病情指数明显加重,西葫芦果实产量急剧下降。造成这种结果的可能原因主要有:一方面,一定的高温有利于白粉菌的生长繁殖^[25-26],且当温度较适宜时,白粉菌能更充分利用高浓度 CO₂引起的加速合成的植物糖分补给来促进自身生长^[18];另一方面,温度升高对西葫芦的负面影响降低了其对白粉病的抵抗能力。

总之,本研究结果表明,一定范围内 CO₂浓度的升高有利于抑制西葫芦白粉病的发作,但未来伴随温度升高的气候变化倾向于加重白粉菌对西葫芦的侵染,加剧作物减产。这个结论对其他葫芦科白粉病的了解也有借鉴作用,有必要加强相关防治管理策略和技术的研究。

References:

- [1] Tans P. United States National Oceanic & Atmospheric Administration/Earth System Research Laboratory. Trends in Atmospheric Carbon Dioxide, 2009. 11; <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>.
- [2] IPCC. Climate Change 2007: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Annual Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 747-845, 996.
- [3] Harvell C D, Mitchell C E, Ward J R, Altizer S, Dobson A P, Ostfeld R S, Samuel M D. Climate warming and disease risks for terrestrial and marine biota. *Science*, 2002, 296: 2158-2162.
- [4] Myneni R B, Keeling C D, Tucker C J, Asrar G, Nemani R R. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. *Nature*, 1997, 386: 698-702.
- [5] Rosenzweig C, Parry M L. Potential impact of climate change on world food supply. *Nature*, 1994, 367: 133-138.
- [6] Strange R N, Scott P R. Plant disease: a threat to global food security. *Annual Review of Phytopathology*, 2005, 43(1): 83-116.
- [7] Gregory P J, Johnson S N, Newton A C, Ingram J S I. Integrating pests and pathogens into the climate change/food security debate. *Journal of Experimental Botany*, 2009, 60(10): 2827-2838.
- [8] Garrett K A, Dendy S P, Frank E E, Rouse M N, Travers S E. Climate change effects on plant disease: genomes to ecosystems. *Annual Reviews*, 2006, 44: 489-509.
- [9] Runion G B. Climate change and plant pathosystems: future disease prevention starts here. *New Phytologist*, 2003, 159: 531-533.
- [10] McGrath M T, Thomas C E. Powdery mildew // Zitter T A, Hopkins D L, Thomas C E, eds. *Compendium of Cucurbit Diseases*. London: Academic Press, 1996: 28-30.
- [11] Miao L P, Guo S. Determination of leaf area of *Cucurbita pepo* using regression method. *Shanghai Vegetables*, 2008, (5): 74-75.
- [12] Kruger W M, Carver T L W, Zeyen R J. Effects of inhibiting phenolic biosynthesis on penetration resistance of barley isolines containing seven powdery mildew resistance genes or alleles. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 2002, 61(1): 41-51.
- [13] Ainsworth E A, Long S P. What have we learned from 15 years of free-air CO₂ enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO₂. *New Phytologist*, 2005, 165(2): 351-372.
- [14] Ainsworth E A, Rogers A. The response of photosynthesis and stomatal conductance to rising [CO₂]: mechanisms and environmental interactions. *Plant, Cell and Environment*, 2007, 30: 258-270.

- [15] Sage R F. Atmospheric modification and vegetation responses to environmental stress. *Global Change Biology*, 1996, 2(2): 79-83
- [16] Morison J I L, Lawlor D W. Interactions between increasing CO₂ concentration and temperature on plant growth. *Plant, Cell and Environment*, 1999, 22(6): 659-682.
- [17] Chakraborty S, Pangga I B, Lupton J, Hart L, Room P M, Yates D. Production and dispersal of *Colletotrichum gloeosporioides* spores on *Stylosanthes scabra* under elevated CO₂. *Environmental Pollution*, 2000, 108(3): 381-387.
- [18] Hibberd J M, Whitbread R, Farrar J F. Effect of elevated concentrations of CO₂ on infection of barley by *Erysiphe graminis*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 1996, 48(1): 37-53.
- [19] Runion G B, Curl E A, Rogers H H, Bachman P A, Rodríguez-Kábana R, Helms B E. Effects of free-air CO₂ enrichment on microbial populations in the rhizosphere and phyllosphere of cotton. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1994, 70: 117-130.
- [20] Pangga I B, Chakraborty S, Yates D. Canopy size and induced resistance in *Stylosanthes scabra* determine anthracnose severity at high CO₂. *Phytopathology*, 2004, 94(3): 221-227.
- [21] Salinari F, Giosue S, Tubiello F N, Rettori A, Spanna F, Rosenzweig C, Gullino M L. Downy mildew (*Plasmopara viticola*) epidemics on grapevine under climate change. *Global Change Biology*, 2006, 12(7): 1299-1307.
- [22] Evans N, Baierl A, Semenov M A, Gladders P, Fitt B D L. Range and severity of a plant disease increased by global warming. *Journal of the Royal Society Interface*, 2008, 5(22): 525-531.
- [23] Klopfenstein N B, Lundquist J E, Hanna J W, Kim M S, McDonald G I. First report of *Armillaria sinapina*, a cause of armillaria root disease, associated with a variety of forest tree hosts on sites with diverse climates in Alaska. *Plant Disease*, 2009, 93(1): 111.
- [24] Hartley S E, Jones C G, Couper G C, Jones T H. Biosynthesis of plant phenolic compounds in elevated atmospheric CO₂. *Global Change Biology*, 2000, 6(5): 497-506.
- [25] Sitterly W R. Powdery mildew of cucurbits//Spencer D ed. *The Powdery Mildews*. London: Academic Press, 1978:359-379
- [26] Sherf A F, MacNab A A. *Vegetable Diseases and Their Control* (2nd edition). New York: Wiley, 1986:324-328.

参考文献:

- [11] 毛丽萍, 郭尚. 回归相关法测定西葫芦叶面积研究. *上海蔬菜*, 2008, (5): 74-75.

CONTENTS

Sex ratio and spatial pattern in <i>Populus davidiana</i> in Changbai Mountain	PAN Chunfang, ZHAO Xiuhai, XIA Fucui, et al (297)
The relationship between freeze-tolerance and changes in activities of antioxidant enzymes and osmolyte content in the leaves of white clover during early winter freeze-thaw cycles	ZHAO Mei, ZHOU Ruilian, LIU Jianfang, et al (306)
Gray correlation analysis on naturalness of the primary forest types on the Losses Plateau	WANG Naijiang, LIU Zengwen, XU Zhao, et al (316)
Photosynthetic responses of <i>Gracilaria lemaneiformis</i> to two antibiotics	JIAN Jianbo, ZOU Dinghui, LIU Wenhua, et al (326)
Litter C:N:P ecological stoichiometry character of plant communities in typical Karst Peak-Cluster Depression	PAN Futing, ZHANG Wei, WANG Kelin, et al (335)
Effects of groundwater depth on the gas exchange and chlorophyll fluorescence of <i>Populus euphratica</i> in the lower reaches of Tarim River	CHEN Yapeng, CHEN Yaning, XU Changchun, et al (344)
Monitoring and assessment of vegetation variation in Northern Shaanxi based on MODIS/NDVI	SONG Fuqiang, XING Kaixiong, LIU Yang, et al (354)
Effects of fire on the structure of herbage synusia vegetation in desertified steppe, North China	HE Haoyu, SU Jieqiong, HUANG Lei, et al (364)
Physiological responses of four broadleaved seedlings to drought stress simulated by PEG	FENG Huifang, XUE Li, REN Xiangrong, et al (371)
Effects of the different width of urban green belts on the temperature and humidity	ZHU Chunyang, LI Shuhua, JI Peng, et al (383)
Diversity of waterbirds and change in home range of bar-headed geese <i>Anser indicus</i> during breeding period at Hangcuo Lake of Tibet, China	ZHANG Guogang, LIU Dongping, QIAN Fawen, et al (395)
The habitat selection of Giant panda in Wanglang Nature Reserve, Sichuan Province, China	KANG Dongwei, KANG Wen, TAN Liuyi, et al (401)
Effects of vigilance on the patterns of functional responses of foraging in voles (<i>Microtus fortis</i>)	TAO Shuanglun, YANG Xifu, DENG Kaidong, et al (410)
Influence of heavy metal pollution on soil animal community in Luqiao, Taizhou City	BAI Yi, SHI Shidi, QI Xin, et al (421)
Annual quantitative distribution of meiofauna in relation to sediment environment in Qingdao Bay	DU Yongfen, XU Kuidong, LEI Yanli, et al (431)
Population genetic variations and phylogeography of <i>Macropodus opercularis</i>	WANG Peixin, BAI Junjie, HU Yinchang, et al (441)
Contribution of C ₃ and C ₄ host plants for the overwintering and 1 st generation of <i>Helicoverpa armigera</i> (Hübner) in Northern China	YE Lefu, FU Xue, GE Feng (449)
Relationships between two species of insect pests and their natural enemies in tea gardens of three different altitudes	BI Shoudong, KE Shengbing, XU Jinfeng, et al (455)
The diversity of ground-dwelling beetles at cultivated land and restored habitats on the Bashang plateau	LIU Yunhui, YU Zhenrong, WANG Changliu, et al (465)
Characteristics of soil microbial communities under dry and wet condition in Zoige alpine wetland	NIU Jia, ZHOU Xiaoqi, JIANG Na, et al (474)
Microbial diversity of the jujube (<i>Zizyphus jujuba</i> Mill.) fruits surface during harvesting and storage stages	SHA Yuexia (483)
Effects of powdery mildew infection on zucchini growth under elevated CO ₂ and temperature	LIU Junzhi, GE Yaming, Pugliese Massimo, et al (491)
Impacts of arbuscular mycorrhizal fungi on soil aggregation dynamics of neutral purple soil	PENG Sili, SHEN Hong, YUAN Junji, et al (498)
The bacterial community structures in Xinjiang fault belt spring analyzed by PCR-DGGE	WU Jiangchao, GAO Xiaoqi, ZENG Jun, et al (506)
The impact of oil pollution on marine phytoplankton community growth change	HUANG Yijun, CHEN Quanzhen, ZENG Jiangning, et al (513)
Root morphological and physiological responses of rice seedlings with different tolerance to cadmium stress	HE Junyu, REN Yanfang, WANG Yangyang, et al (522)
Non-point pollution control for landscape conservation analysis based on CLUE-S simulations in Miyun County	PAN Ying, LIU Yunhui, WANG Jing, et al (529)
Analysis on ecological land rent based on ecological footprint	LONG Kaisheng, CHEN Ligen, ZHAO Yali (538)
Relationship of vegetation degradation classification and landscape accessibility classification in Shenzhen	LIU Yufan, CHEN Xue, LI Guicai, et al (547)
Review and Monograph	
Risk management approaches for environmental and human health risks in the United States and Canada	HE Guizhen, LÜ Yonglong (556)
Plant wax and its response to environmental conditions: an overview	LI Jingjing, HUANG Junhua, XIE Shucheng (565)
Acid corrosion mechanism of the sulfate-reducing bacteria and protecting studies in oilfield	ZHUANG Wen, CHU Liye, SHAO Hongbo (575)
Advance in the research of phyllospheric microorganism	PAN Jiangang, HU Qing, QI Hongyan, et al (583)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 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	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 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 31 卷 第 2 期 (2011 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 2 2011

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		

