臭氧浓度升高对竹类植物叶片光合色素的影响

颜送宝,王丽云,仇水龙,潘文婷* (中国林业科学研究院亚热带林业实验中心,江西分宜 336600)

摘要 [目的]研究臭氧浓度升高对竹类植物光合色素的影响。[方法]以亚热带主要竹种:毛竹(*Phyllostachys edulis*)、四季竹(*Oligostachyum lubricum*)、美丽箬竹(*Indocalamus decorus*)、黄条金刚竹(*Pleioblastus kongosanensis*)和白缟椎谷笹竹(*Sasa glabra*)为研究对象,运用开顶式气室(OTCs)模拟4个不同 O_3 浓度升高的情景(背景大气 O_3 浓度、50、100和150 nL/L),测定叶片光合色素组分并计算光合色素比值。[结果]随着 O_3 浓度的升高,竹类植物光合色素和叶绿素/类胡萝卜素呈下降趋势,而叶绿素a/b呈升高趋势。与CK相比,不同竹类植物光合色素对 O_3 浓度升高的响应存在差异,低 O_3 浓度为50 nL/L时,仅毛竹叶片光合色素呈显著下降趋势,而其余4种竹类植物则无显著变化;高 O_3 浓度为100 nL/L时,除美丽箬竹光合色素无显著变化外,其余4种竹类植物均显著降低;高 O_3 浓度150 nL/L均显著影响5种竹类植物光合色素。[结论]高 O_3 浓度(≥100 nL/L)显著影响竹类植物的光合色素组分及其比值,进而影响植物的生长;毛竹叶片光合色素对大气 O_3 浓度升高较为敏感,在一定程度上可作为臭氧污染的指示植物;而美丽箬竹表现出较强的抗逆性,可作为抗逆植物。

关键词 臭氧浓度升高;竹类植物;光合色素;差异性
中图分类号 S795 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)26-0110-03

Effect of Elevated Ozone Concentration on the Leaf Photosynthetic Pigments of Different Bamboos

YAN Song-bao, WANG Li-yun, QIU Shui-long et al (Subtropical Experimental Center, CAF, Fenyi, Jiangxi 336600)

Abstract [Objective] To demonstrate the effects of elevated ozone (O_3) on the photosynthetic pigments of different bamboos. [Method] We choosed the *Phyllostachys edulis*, *Oligostachyum lubricum*, *Indocalamus decorus*, *Pleioblastus kongosanensis* and *Sasa glabra* as experiment material, and the open-top chambers (OTCs) test method was employed to simulate the different atmospheric elevated O_3 concentrations (CK, 50, 100 and 150 nL/L) to explain above question. [Result] With the increasing of O_3 concentrations, the leaf chlorophyll and carotenoid contents of five bamboo species were decreased, while the Chl a/b were increased. Compared with CK, low O_3 concentrations (50 nL/L) significantly decreased the photosynthetic pigments in *Phyllostachys edulis* rather than in other four bamboo species, but higher O_3 concentrations (100 nL/L) did not affect the photosynthetic pigments in *Indocalamus decorus* but significantly decreased the other bamboo species. Moreover, photosynthetic pigments in all bamboo species were decreased when O_3 concentrayion reached 150 nL/L. [Conclusion] Higher ozone concentrations (≥100 nL/L) significantly influenced photosynthetic pigments of bamboo species, and then affected the growth of bamboo species; *Phyllostachys edulis* was regard as the indicative plant of ozone pollution in view of its sensitive to elevated O_3, while *Indocalamus decorus* had a stronger capability of O_3 stress tolerance, which could be popularlarized in higher O_3 pollution area.

Key words Elevated O_3; Bamboo species; Photosynthetic pigments; Differences

随着快速工业化和城市化的进程,人为活动导致氮氧化物(NOx)和挥发性有机物(VOCs)含量增加,进而导致地表臭氧(O_3)浓度增加[1]。研究表明,目前全球 O_3 浓度以每年0.5%~2.0%速度持续增加,年平均已达35~40 μg/L[2]。目前大量研究证实 O_3 浓度显著增加对植物生长产生显著负面影响[3-4],如降低作物和森林植物的生物量[4-6],加速植物叶片衰老,降低光合速率[6],造成膜脂过氧化和破坏抗氧化系统[7-8],改变养分元素吸收[9-10]等。在研究的众多指标中,叶片光合色素对植物光合作用起到了至关重要的作用,其含量不仅决定了植物对光能的吸收效率,而且还影响植物的同化过程。研究普遍认为臭氧浓度升高降低叶绿素含量(叶绿色a和叶绿素b和类胡萝卜素含量[7]),如香樟(*Cinnamomum camphora*)[11]、湿地松(*Pinus elliottii*)[12]、青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)[13]、白桦(*Betula platyphylla*)[14]、白蜡树(*Fraxinus chinensis*)和三球悬铃木(*Platanus orientalis*)[15]等。然而,随着研究的深入,发现有些植物并不符合上述现象,如臭氧浓度升高增加了银中杨叶绿素b和类胡萝卜素的含量[14]。上述研究结果表明不同植物光合色素对臭氧浓度响应的复杂性。叶绿素组分也会随臭氧浓度的升高而发生变化,而叶绿素a/b的变化会改变植物对红蓝光和蓝紫光的吸收和利用,进而可能会影响光能利用率,植物叶片衰老进程中可能得到不同的结果:Chla比Chlb下降速率快,相同或者更慢的情况都可能存在[16-17]。此外,目前很少研究同时开展臭氧浓度升高对相同地区多种植物光合色素的影响,也在一定程度上影响了上述结果的比较和可靠性以及抗逆植物品种。因此,迫切需要开展不同植物光合色素对 O_3 浓度升高的响应,有利于筛选出抗性较强的植物品种以应对近地层 O_3 浓度升高所带来的负效应,也可为植物的栽培管理提供理论指导。

竹林生态系统不仅在水源涵养、固碳释氧、减缓气候变化和园林绿化等方面发挥巨大的生态保护作用,而且也是竹农的主要经济收入,对区域社会经济发展具有重要作用。为此,笔者以亚热带主要竹种:毛竹(*Phyllostachys edulis*)、四季竹(*Oligostachyum lubricum*)、美丽箬竹(*Indocalamus decorus*)、黄条金刚竹(*Pleioblastus kongosanensis*)和白缟椎谷笹竹(*Sasa glabra*)为研究对象,运用开顶式气室(OTCs)模拟不同 O_3 浓度升高的情景,测定不同 O_3 浓度条件下5个竹种叶片叶绿素a、叶绿素b、总叶绿素和类胡萝卜素含量及其计算相对应的比值,分析不同竹种光合色素对臭氧浓度升高的响应,旨在为气候变化背景下抗逆竹种的筛选和适应性栽培提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料 试验于2009—2010年在浙江省临安市

基金项目 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(CAFYBB2016QA015)。
作者简介 颜送宝(1987—),男,湖南茶陵人,工程师,从事森林培育研究。*通讯作者,工程师,硕士,从事林木遗传育种研究。
收稿日期 2018-02-28

(118°51′~119°72′E,29°56′~30°23′N)太湖源观赏竹种园中进行。毛竹,1 年生立竹,地径为(18.15±1.75) mm,高度为(2.5~3.0) m;四季竹,1 年生立竹,地径为(12.15±1.25) mm,高度为(2.0~3.0) m;美丽箬竹,1 年生立竹,地径为(4.54±0.08) mm,高度为(37.28~37.43) cm;黄条金刚竹,1 年生立竹,地径为(4.28±0.29)mm,高度为(36.23~37.11) cm;白缟椎谷笹竹,1 年生立竹,地径为(3.23±0.03)mm,高度为(35.86~36.12) cm,5 个竹种均进行不带宿土的全稍竹盆栽,栽植盆上端直径 38 cm,下端直径 32 cm,高 35 cm,毛竹和四季竹每盆栽植 1 株,美丽箬竹、黄条金刚竹和白缟椎谷笹竹(丛生竹类)每盆为 15 株,于 2010 年 3 月进行不带宿土的盆栽,每个竹种盆栽 60 盆。盆栽基质为红壤与细沙 3∶1均匀混合而成,pH 5.8,水解氮、速效磷和速效钾分别为 198.47、67.25、74.16 mg/kg。盆栽试验竹苗定期人工补充水分,及时去除笋芽等,至 2010 年 8 月开始进行 O_3 胁迫处理。

1.2　试验设计　开顶式同化箱(OTCs)主要由不锈钢管和白色透明玻璃构成,主要包括过滤系统、充气系统以及基本框架等,每个气室边长 1.5 m,高 4.0 m,室壁上部向内部倾斜 45°成斜面,玻璃室壁为正八边形。O_3 主要通过 CFG-20 型臭氧发生器产生;用美国生产的 Model 205 双光束紫外 O_3 分析仪监测每一个 OTCs 内 O_3 浓度在允许误差范围内。

试验共设 4 个 O_3 浓度水平,分别为环境背景大气(CK,O_3 浓度为 40~45 nL/L)、3 个臭氧升高浓度(50、100 和 150 nL/L)。每个处理重复 3 次。2010 年 8 月 6 日开始熏气,于 2010 年 11 月 8 日停止熏气。上述试验时间内,每天熏气时间为 07:00—17:00,熏气时间为 10 h。

1.3　叶绿素的测定　叶绿素的测定方法采用丙酮乙醇提取法[18]。

1.3.1　叶绿素的提取。在试管中加入 5 mL 1∶1(5 mL 丙酮∶5 mL无水乙醇)混合液,擦净叶片表面污物,把被测植物叶片剪成宽度小于 1 mm 细丝,混匀,用电子天平称取 0.05 g 样品放入试管,把试管置室温避光处浸泡提取 24 h。测量时取 1 mL提取液加 4 mL 丙酮与无水乙醇(1∶1)混合液。

1.3.2　叶绿素含量测定。将叶绿素提取液置玻璃比色皿中,用 1∶1混合液做参比,采用分光光度计在 470、645、663 nm 处分别测定叶绿素 a、b 吸光度。并由下列公式计算:

$$Ca = 12.72OD_{663} - 2.59OD_{645}$$

$$Cb = 22.88OD_{645} - 4.67OD_{663}$$

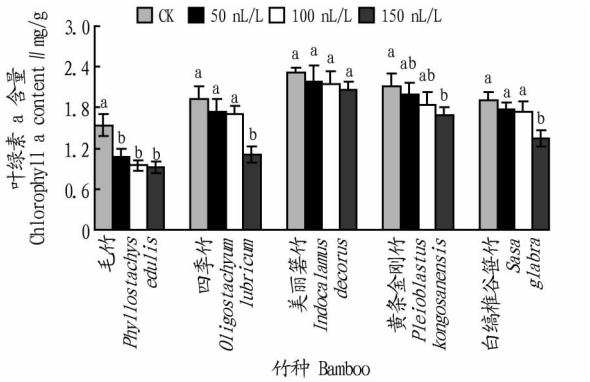
$$Car = (1\,000OD_{470} - 3.27Ca - 104Cb)/229$$

式中,Ca 为叶绿素 a 浓度(mg/L);Cb 为叶绿素 b 浓度(mg/L);Car 为类胡萝卜素浓度(mg/L)。

1.4　数据处理　在 Excel 2007 统计软件中进行试验数据的整理与制图,在 SPSS 17.0 统计软件中进行单因素方差分析,在 0.05水平下进行 LSD 多重比较。试验数据均为均值±标准差。

2　结果与分析

2.1　不同 O_3 浓度对 5 种竹类植物叶片叶绿素 a 含量的影响　由图 1 可知,5 种竹类植物叶片叶绿素 a 含量均随着 O_3 浓度的升高而降低,其降低幅度与臭氧浓度和竹种有关,表明不同竹类植物叶绿素 a 含量对 O_3 浓度升高的响应存在差异。与 CK 相比,臭氧浓度为 50 和 100 nL/L 时,叶绿素 a 含量毛竹则表现为显著下降趋势,而其他 4 种竹类植物则无明显变化,这在一定程度上说明毛竹对 O_3 浓度升高较为敏感;当臭氧浓度为 150 nL/L 时,除美丽箬竹外,其余 4 种竹类植物均显著下降。从叶绿素 a 含量变化可以看出,毛竹对 O_3 浓度升高敏感性较强,美丽箬竹则抗逆性较强。



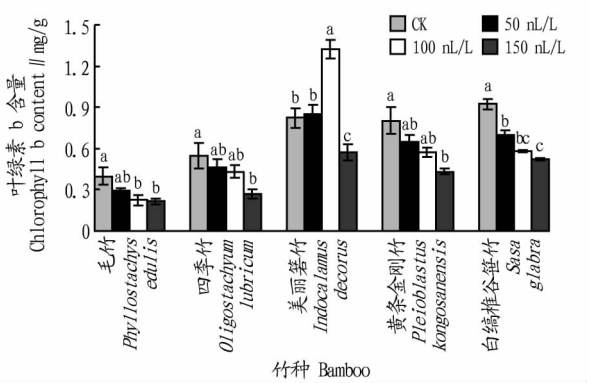
注:不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

Note:Different lowercases stand for significant differences at 0.05 level

图 1　不同臭氧浓度条件下 5 种竹类叶片叶绿素 a 含量

Fig.1　Chlorophyll a content of five bamboo leaves under different ozone concentrations conditions

2.2　不同 O_3 浓度对 5 种竹类植物叶片叶绿素 b 含量的影响　由图 2 可知,竹类植物叶片叶绿素 b 对 O_3 浓度升高的响应较为复杂。与 CK 相比,叶绿素 b 含量,在 O_3 浓度为 50 nl/L 时,除黄条金刚竹叶绿素 b 含量显著下降外,其余竹类植物变化不显著;在 O_3 浓度为 100 nL/L 时,美丽箬竹叶绿素 b 含量显著升高,毛竹和黄条金刚竹叶绿素 b 含量显著下降,其余 2 种竹类植物叶绿素 b 含量无显著变化;在 O_3 浓度为 150 nL/L 时,5 种竹类植物叶绿素 b 含量均显著下降,下降幅度竹种间存在差异。



注:不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

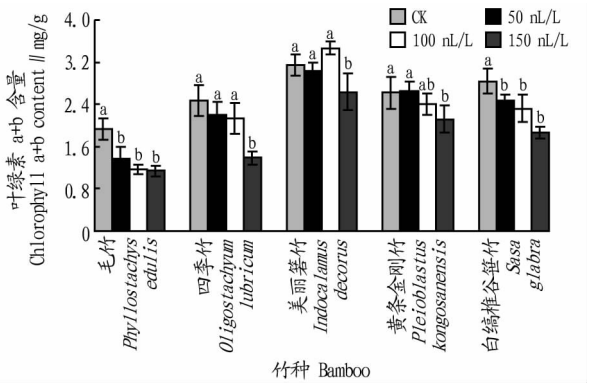
Note:Different lowercases stand for significant differences at 0.05 level

图 2　不同臭氧浓度胁迫下 5 种竹类叶片叶绿素 b 含量

Fig.2　Chlorophyll b content of five bamboo leaves under different ozone concentrations stress

2.3　不同 O_3 浓度对 5 种竹类植物叶片叶绿素 a+b 含量的影响　由图 3 可知,与 CK 相比,叶绿素 a+b 含量在 O_3 浓度为

50 和 100 nL/L 时,毛竹和黄条金刚竹均显著下降,而其他 3 种竹类植物则无显著变化;在 O_3 浓度为 150 nL/L 时,5 种竹类植物叶绿素 a+b 含量均显著下降,下降幅度与竹种有关。



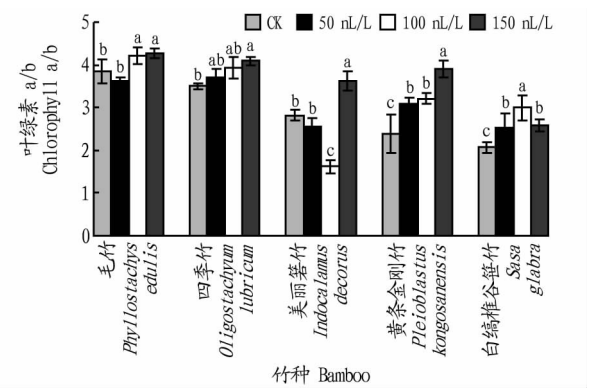
注:不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

Note:Different lowercases stand for significant differences at 0.05 level

图 3 不同臭氧浓度胁迫下 5 种竹类叶片叶绿素 a+b 含量

Fig.3 Chlorophyll a+b content of five bamboo leaves under different ozone concentrations stress

2.4 不同 O_3 浓度对 5 种竹类植物叶片叶绿素 a/b 的影响 由图 4 可知,5 种竹类植物叶绿素 a/b 对 O_3 浓度升高的响应较为复杂。与 CK 相比,叶绿素 a/b 在 O_3 浓度为 50 nL/L时,黄条金刚竹和白缟椎谷笹竹显著上升,而其他 3 种竹类植物则无显著变化;在 O_3 浓度为 100 和 150 nL/L 时,除美丽箬竹在 O_3 浓度为 100 nL/L 时显著下降外,其余竹类植物均显著升高。



注:不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

Note:Different lowercases stand for significant differences at 0.05 level

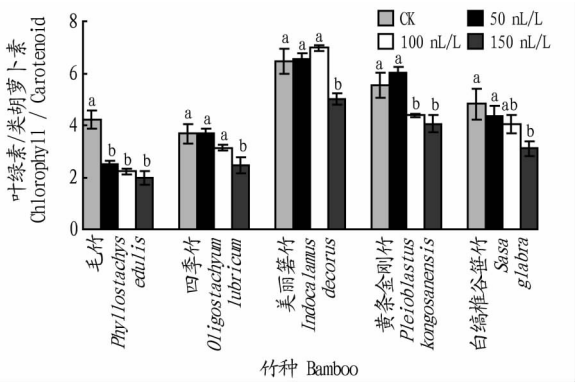
图 4 不同臭氧浓度胁迫下 5 种竹类叶片叶绿素 a/b

Fig.4 Chlorophyll a/b of five bamboo leaves under different ozone concentrations stress

2.5 不同 O_3 浓度对 5 种竹类植物叶片叶绿素/类胡萝卜素的影响 由图 5 可知,与 CK 相比,毛竹叶绿素/类胡萝卜素,在 O_3 浓度为 50、100 和 150 nL/L 时均显著下降;白缟椎谷笹竹则在 O_3 浓度为 100 和 150 nL/L 时显著下降;其余 3 种竹类植物仅在 O_3 浓度为 150 nL/L 时则显著下降,在其他 O_3 浓度时无显著变化。

3 讨论

植物光合色素对大气 O_3 浓度升高的反应十分敏感,其



注:不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

Note:Different lowercases stand for significant differences at 0.05 level

图 5 不同臭氧浓度胁迫下 5 种竹类叶片叶绿素/类胡萝卜素

Fig.5 Chlorophyll / Carotenoid value of five bamboo leaves under different ozone concentration stress

含量及其组分不仅是反映光合能力的重要指标,而且与植物对环境的适应性和抗性有密切关系[13,19]。该研究发现,不同竹类的叶绿素 a 和 b 含量变化与竹种和 O_3 浓度存在一定的关系,在 O_3 浓度为 40~100 nL/L 时,表现为毛竹光合色素对 O_3 浓度升高较为敏感,O_3 浓度升高至 50 nL/L 时有明显变化;美丽箬竹光合色素对 O_3 浓度升高抗性较强,其余 3 种竹类植物变化相对一致。然而,当 O_3 浓度升高至 150 nL/L 时,5 种竹类植物光合色素含量及其组分均显著下降,下降幅度存在差异,这很大程度归因于受到高浓度 O_3 胁迫,叶绿体类囊体膜上的光合结构造成不同程度的损伤,致使叶绿素组分及其含量发生变化,导致植物的光合作用受阻,致使光合作用降低,加快叶片衰老。叶绿素降解的机制可能与叶绿体膜的脂质过氧化有关[11,20]。研究表明,5 种竹类植物在高浓度 O_3 条件下发生膜脂过氧化[21-22],其结果改变膜通透性,活性氧分子通过膜通道或以渗透方式进入叶绿体内,要么直接作用于叶绿素分子要么通过进攻 Rubisco 活性位点间接介导叶绿素的降解[20];另一个机制认为是与核酮糖 1,5-二磷酸羧化酶(Rubisco)的降解过程相偶联[23]。

叶绿素 a/b 一方面可作为叶片衰老的指标[24],另一方面与电子传递和最大光合能力呈正相关[25-26]。该研究在高浓度 O_3 条件下 5 种竹类叶绿素 a/b 总体明显上升,表明在光合链相对完好的前提下,植物通过加快链上的传递速度和通过增加红光的利用进而提高其光能利用效率来抵御不良环境,这是植物进行自我保护的一种体现[26]。同时研究发现,5 种竹类植物叶绿素/类胡萝卜素在 O_3 浓度为 40~100 nL/L时下降幅度较小,很可能与类胡萝卜的功能有关,即在逆境条件下,类胡萝卜素能有效地避免叶绿素受光氧化的破坏。而 O_3 浓度为 150 nL/L 时,叶绿素/类胡萝卜素显著下降,说明 5 种竹类植物未能通过增加叶片 Car 含量这一途径来起到保护叶绿素的作用。

4 结论

低 O_3 浓度(50 nL/L)对竹类植物(除毛竹外)影响较小,表明竹类植物对 O_3 浓度具有一定的适应性;高 O_3 浓度

(下转第 129 页)

集到的全部链格孢菌株进行测序分析。后续试验在条件允许情况下将增加采样点,加大样本量,对重庆地区蚕豆链格孢菌株在种上进行系统分析,为蚕豆链格孢病害防治提供参考。

参考文献

[1] WOUDENBERG J H,GROENEWALD J Z,BINDER M,et al.Alternariare defined[J].Studies in mycology,2013,75(1):171-212 .

[2] FARR D F,BILLS G F,CHAMURIS G P,et al.Fungi on plants and plant products in the United States [M].St Paul:APS Press,1989.

[3] 王娜,杨镇,杨涛.一株促植物生长链格孢真菌培养基优化的研究[J].辽宁农业科学,2012(3):22-24.

[4] 张天宇.中国真菌志:第 16 卷 链格孢属[M].北京:科学出版社,2003:33-42.

[5] 王洪凯,张天宇.链格孢属小孢子种的 RAPD 分析[J].菌物系统,2003,22(1):35-41.

[6] SIMMONS E G,ROBERTS R G.Alternaria themes and variations(73) [J].Mycotaxon,1993,48:109-140.

[7] HONG S G,LIU D R,PRYOR B M.Restriction mapping of the IGS region in *Alternaria* spp.revals variable and conserved domains[J].Mycol Res,2005,109(1):87-95.

[8] ADACHI Y,TSUGE T.Coinfection by different isolates of *Alternaria alternata* in single blank spot lesions of Japanese pear leaves[J].Phytophthology,1994,84(5):447-451.

[9] PEEVER T L,SU G,CARPENTER-BOGGS L,et al.Molecular systematics of citrus-associated *Alternaria* species[J].Mycologia,2004,96(1):119-134.

[10] 岳海梅,张荣,孙广宇.小孢子链格孢 endoPG 基因核苷酸序列分析及系统发育研究[J].菌物学报,2007,26(2):202-210.

[11] 曲文文,刘霞,杨克强,等.山东省危害核桃的链格孢属真菌鉴定及其系统发育[J].植物保护学报,2012,39(2):121-128.

[12] 严进,施宗伟,宋福,等.河北和山东鸭梨果实上链格孢菌鉴定[J].植物保护学报,2009,36(1):37-43.

[13] 陈志军,查书平,高阳华,等.重庆市日照时间变化规律和特征分析[J].南通大学学报(自然科学版),2008,7(2):55-59.

(上接第 112 页)

(≥100 nL/L)显著影响竹类植物的光合色素组分及其比值,进而影响植物的生长。此外,不同竹类植物光合色素对 O_3 浓度升高的响应不一致,毛竹叶片光合色素对大气 O_3 浓度升高较为敏感,在一定程度上可作为臭氧污染的指示植物;而美丽箬竹表现出较强的抗逆性,可以作为抗逆植物。

参考文献

[1] IPCC.Climate change 2013:The scientific basis[R].Cambridge:Cambridge University Press,2013.

[2] VERSTRAETEN W W,NEU J L,WILLIAMS J E,et al.Rapid increases in tropospheric ozone production and export from China[J].Nature geoscience,2015,8:690-695.

[3] LI P,DE MARCO A,FENG Z Z,et al.Nationwide ground-level ozone measurements in China suggest serious risks to forests[J].Environmental pollution,2017,237:803-813.

[4] LI P,FENG Z Z,CALATAYUD V,et al.A meta-analysis on growth, physiological, and biochemical responses of woody species to ground-level ozone highlights the role of plant functional types[J].Plant cell & nvironment,2017,40:2369-2380.

[5] FENG Z Z,BÜKER P,PLEIJEL H,et al.A unifying explanation for variation in ozone sensitivity among woody plants[J].Global change biology,2018,24(1):78-84.

[6] WITTIG V E,AINSWORTH E A,LONG S P.To what extent do current and projected increases in surface ozone affect photosynthesis and stomatal conductance of trees? A meta-analytic review of the last 3 decades of experiments[J].Plant,cell and environment,2017,30(9):1150-1162.

[7] FENG Z Z,WANG L,PLEIJEL H,et al.Differential effects of ozone on photosynthesis of winter wheat among cultivars depend on antioxidative enzymes rather than stomatal conductance[J].Science of the total environment, 2016,572:404-411.

[8] LI P,CALATAYUD V,GAO F,et al.Differences in ozone sensitivity among woody species are related to leaf morphology and antioxidant levels[J].Tree physiology,2016,36(9):1105-1116.

[9] SHANG B,FENG Z Z,LI P,et al.Elevated ozone affects C, N and P ecological stoichiometry and nutrient resorption of two poplar clones[J].Environmental pollution,2017,234:136-144.

[10] ZHUANG M H,LAM S K,LI Y C,et al.Elevated tropospheric ozone affects the concentration and allocation of mineral nutrients of two bamboo species[J].Science of the total environment,2016,577: 231-235.

[11] 牛俊峰,张巍巍,李丽,等.臭氧浓度升高对香樟叶片光合色素及抗过氧化的影响及其氮素响应[J].生态学报,2012,32(16):5062-5070.

[12] 张巍巍,牛俊峰,王效科,等.大气臭氧浓度增加对湿地松幼苗的影响[J].环境科学,2011,32(6):1710-1716.

[13] ZHANG W W,FENG Z Z,WANG X K, et al.Elevated ozone negatively affects photosynthesis of current-year leaves but not previous-year leaves in evergreen *Cyclobalanopsis glauca* seedlings[J].Environmental pollution, 2014,184(1):676-681.

[14] 付伟,高江艳,徐胜,等.高浓度臭氧对城市白桦和银中杨光合作用的影响[J].生态学杂志,2014, 33(12):3184-3190.

[15] GAO F,CALATAYUD V,GARC A-BREIJO F J,et al.Effects of elevated ozone on physiological, anatomical and ultrastructural characteristics of four common urban tree species in China[J].Ecological indicators,2016, 67: 367-379.

[16] 曹际玲,王亮,曾青,等.开放式臭氧浓度升高条件下不同敏感性小麦品种的光合特性[J].作物学报,2009,35(8):1500-1507.

[17] WITTIG V E,AINSWORTH E A,NAIDU S L,et al.Quantifying the impact of current and future tropospheric ozone on tree biomass, growth, physiology and biochemistry: A quantitative meta-analysis [J]. Global change biology,2009,15(2):396-424.

[18] 陈建勋,王晓峰.植物生理学实验指导[M].广州:华南理工大学出版社,2006:54-124.

[19] 辛月,高峰,冯兆忠.不同基因型杨树的光合特征与臭氧剂量的响应关系[J].环境科学,2016,37(6): 2359-2367.

[20] DHINDSA R S,PLUMB-DHINDS P,THORPE T A.Leaf senescence: correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase[J].Journal of experimental botany,1981,32(1):93-101.

[21] 庄明浩,李迎春,陈双林.毛竹和四季竹对臭氧胁迫的耐受力差异[J].生态学杂志,2011,30(10):2191-2196.

[22] 庄明浩,李迎春,李应,等.3 种地被类观赏竹对大气臭氧浓度倍增的生理响应[J].西北植物学报,2011,31(10):2014-2020.

[23] FELLER U,ANDERS I,MAE T.Rubiscolytics:Fate of Rubisco after its enzymatic function in a cell is terminated[J].Journal of experimental botany,2008,59(7):1615-1624.

[24] SHRESTHA A,GRANTZ D A.Ozone impacts on competition between tomato and yellow nutsedge:Above-and below ground effects[J].Crop science,2005,45(4):1587-1595.

[25] ANDERSON J M.Photoregulation of the composition,function,and structure of thylakoid[J].Annual review of plant biology,2003,37(1):93-136.

[26] 王亮,曾青,冯兆忠,等.开放式臭氧浓度升高对 2 个冬小麦品种光合损伤的研究[J].环境科学,2009,30(2): 527-534.

科技论文写作规范——讨论

着重于研究中新的发现和重要方面,以及从中得出的结论。不必重复在结果中已评述过的资料,也不要用模棱两可的语言,或随意扩大范围,讨论与文中无多大关联的内容。