

植物源挥发性有机物对 O₃ 响应研究展望

张坤 孙颖轩 吴君龙 郭美光子 于妍

中国矿业大学(北京)化学与环境工程学院

DOI:10.12238/eeep.v5i3.1593

[摘要] 植物源挥发性有机化合物(BVOCs)作为地表臭氧(O₃)的重要前体物,其排放对区域空气质量和气候变化有重要影响。O₃是一种典型的植物毒素可影响植物正常的生理生长过程,同时影响植物BVOCs的排放。虽然近地层中O₃的臭氧浓度不断上升,对生态系统的碳氮循环造成极大的影响,对生态环境的健康与安全构成了威胁。但是,O₃对BVOCs的作用的研究却很少。本文总结了影响BVOCs的各种因素,另外还对O₃对BVOCs的影响进行了讨论,并提出了在国内开展O₃对BVOCs的影响研究的必要性和紧迫性。

[关键词] BVOCs; O₃; 全球变化

中图分类号: Q946 **文献标识码:** A

Research Prospect of Response of Biogenic Volatile Organic Compounds to O₃

Kun Zhang Yingxuan Sun Junlong Wu Meiguangzi Guo Yan Yu

School of Chemical & Environmental Engineering, China University of Mining and Technology – Beijing

[Abstract] Biogenic volatile organic compounds (BVOCs), as an important precursor of earth surface ozone (O₃), whose emission has important implications for regional air quality and climate change. O₃ is a typical plant toxin that can affect the normal physiological growth processes of plants, while influencing the emissions of BVOCs. Although the increasing concentration of O₃ in the near-earth layer has a great impact on the carbon and nitrogen cycle of the ecosystem and poses a threat to the health and safety of the ecosystem. However, studies on the role of O₃ on BVOCs are scarce. This paper summarizes various factors affecting BVOCs, and in addition, discusses the effects of O₃ on BVOCs, and puts forward the necessity and urgency of carrying out the effects of O₃ on BVOCs in China.

[Key words] BVOCs; O₃; global change

大气是自然界中最主要的一种成分,它是人们生命的根本也是人类生命的源泉。同时,人们的生产和生活活动也对大气环境产生了一定的影响,当污染物进入大气层后,超出了自身的净化能力,就会造成空气污染。全球空气污染问题主要有:温室效应与气候变化,臭氧层破坏,酸雨,灰霾,光化学烟雾等^[1]。

我国的酸雨问题现阶段已得到了较好的解决。关于雾霾问题,经过多年的研究,京津冀地区大气污染的形成原因,达到了精细、定量的定量描述;而夏季的光化学污染,则是备受瞩目的热点,然而,关于不同区域, O₃的成因诊断与响应,至今仍严重缺乏。O₃是一种挥发性有机化合物VOCs(Volatile organic compounds,)与氮氧化物(NO_x)在光照射下进行反应而得到的。挥发性有机化合物主要有为源挥发性有机物(AVOCs)和植物源挥发性有机物两类, BVOCs占全球VOCs排放量的90%,并且具有较高的反应活性^[2]; BVOCs是造成O₃污染的关键因素。但O₃是一种强烈的氧化剂,它不但会对人类的身体健康产生一定的伤害,还会对植

物的生理生态产生一定的影响^[3-4]。另外, O₃对植物BVOCs的释放也有一定的影响^[5-7],从而引起了复杂的相互作用。简而言之,植物释放的BVOCs会影响到O₃的生成,而O₃污染则会对植物产生BVOCs的释放产生一定的影响。随着中国经济的迅速发展, O₃的平均浓度、超标频率和持续时间不断增大,研究环境中的O₃浓度变化对了解其形成机制、制定相应的防治策略和政策具有十分重要的现实意义。

文章综述了BVOCs的作用和影响因素,以及O₃对BVOCs的影响,重点讨论了O₃对BVOCs的影响和可能的机制。希望通过本研究能够使科研工作者们更加重视BVOCs与O₃以及全球环境变化的关注和兴趣,并积极开展相关研究工作。

1 植物源挥发性有机物(BVOCs)

1.1 BVOCs的重要作用

BVOCs近20年来受到密切关注(表1),除了其在全球具有巨大的排放量外,还因为:

表1.1 BVOCs的主要种类、全球排放量及排放BVOCs的主要植物^[8]

BVOCs	全球年排放量 (10 ¹² gC)	未来的年排放量 (10 ¹² gC)	大气寿命 (天)	示例	主要排放植物
总 BVOCs	700~1000	1251~1288	0.2		杨树, 柳树, 法桐, 椰树, 油棕, 木麻黄、云杉和桉树
ISO	412~601	638~689	0.2		
单萜烯	33~480	265~316	0.1~0.2	β -蒎烯, α -蒎烯, 柠檬烯	
其他活性 BVOCs	33~480	~56~159 (只包括 甲醛和乙醛)	<1	乙醛, 2-甲基-3-丁烯-2-酮和乙醛 醛	草地(C3 植物的 混合), 葡萄, 芸苔, 黑麦和桦树
其他低 活性 BVOCs	~260	~294~514 (只包括 甲醇、丙酮、甲酸 和乙酸)	>1	甲醇、乙醇、甲酸、乙酸和丙酮	草地(C3 植物的 混合), 葡萄, 芸苔, 黑麦和桦树
乙烯	8~25		1.9		

(1) 反应活性高, 能迅速参与大气化学过程, 对大气环境质量和气候变化有重要影响。BVOCs反应活性较高, 在大气中存活时间较短(表1), 容易光解形成自由基, 或发生化学反应转化为其它化合物。

(2) 生态功能十分重要。作为防卫物质, 保护植物免受环境胁迫。其作为生物信号物质, 将信号或警报传递给植物体的其他组织、器官和邻近植物。某些BVOCs具有化感作用, 对其它植物种子的萌发和幼苗生长有一定抑制作用^[9]。

(3) 参与C素循环的陆地生态系统。BVOCs中的碳素来源于光合作用, 其中绝大多数最终转化为CO₂进入陆生生态系统, 是陆生生态系统C素循环的重要组成部分。因此, BVOCs对于C循环过程具有潜在的重要性^[10]。

1. 2影响BVOCs排放的主要因素

BVOCs排放不仅会对地球环境产生一定的影响, 而且由于人为因素的改变, 也会对其产生一定的影响, 进而加重其对环境的影响。除了受植物自身因素的影响, 气温、光照、高浓度CO₂和地面O₃等对BVOCs的排放有一定的影响。因此, 通过研究BVOCs在未来的环境改变中的作用, 可以帮助我们对BVOCs的发展做出更好的预测。

光照对BVOCs排放有很大的影响。其中, 异戊二烯的释放对光合效率的影响很大, 这是由观察实验所证明的, 而这是由于异戊二烯的合成所必需的光合作用产物。结果表明, 在昏暗和微弱的光线下, 异戊二烯的释放速度非常慢, 在一定的光线照射下, 异戊二烯的释放速度非常快, 30分钟后就被完全引出^[11]。温度是BVOCs排放的又一重要环境因素, 随着温度的升高, BVOCs的释放量和排放量都会随着温度的升高而增大。

高浓度CO₂能提高植物的生物产量和生态系统的生产力, CO₂浓度的升高在仅仅考虑植物正常生理代谢机制的角度上可以进一步影响ISO的合成和释放(促进作用), 但是在大多数的室内和野外试验中, 高CO₂浓度都能有效地抑制土壤中的ISO释放^[12], 虽然在不同的评价尺度下, 这一效应也存在着很

大的差别。

2 O₃对BVOCs的影响

近地层O₃浓度的增加是一个全球性的问题。土壤中高浓度O₃会导致植株的损害, 从而降低作物的质量和产量, 而且还会对BVOCs的合成与释放产生一定的影响。近地层O₃与BVOCs的释放存在着复杂的相互作用, BVOCs是近地层O₃的前体物, 它能与O₃发生反应, 从而消耗O₃。然而, 国内有关近地层O₃对植物的BVOCs释放效应的研究很少, 而且研究的结论也不尽相同。Xu等^[13]对中国北部的银杏、油松进行了O₃熏蒸试验, 发现O₃能明显提高植物体内BVOCs的释放。在不同O₃和干旱处理的复合作用的研究中, Yuan^[14]等结果表明, 干旱能促进异戊二烯的释放(+38.4%), 而O₃影响下异戊二烯释放则减少(40.4%), 并且对中间部分的叶片比其他叶位的影响要大得多。另外, 在国外学者关于O₃对BVOCs的作用的研究中, Fares等人^[15]用80ppb对黑杨进行熏蒸2个星期, 结果表明O₃能抑制异戊二烯和含氧有机物的释放, O₃的增加使白桦叶片BVOCs的释放量明显下降。在研究近地层O₃对植物BVOCs释放的影响方面, 尚待进一步研究, 就现有资料而言, 低浓度O₃可以促进BVOCs的释放, 特别是对单萜类化合物的释放, 而长时间O₃的浓度则会对植物BVOCs的释放产生抑制, 而对异戊二烯类化合物的抑制效果则更为显著。

近30年来对BVOCs释放进展研究, 虽然取得了很大的进展, 但还没有完全深入, 仍然有很多疑问和争议尚待研究。这一方面领域国外已经进行了大量的研究工作。总体来说, 不考虑复杂的多因素, 仅仅就单因子O₃胁迫BVOCs释放没有影响的结论是最多的。但是常绿植物释放的MTs和OVOCs更容易受到O₃胁迫而释放量较少^[16]。而落叶树种由于ISO无法在叶肉内贮存更易收到O₃胁迫。尽管抑制作用还是刺激作用还无法定论, 但O₃敏感型植物对O₃响应更迅速, 刺激作用反应较为显著^[17]。随着O₃浓度的持续上升, 对BVOCs的排放进行分析, 对于预测城市大气环境质量具有重要的作用。

3 研究方法

根据不同的植物种类, 植物的生长周期等采用不同的研究方法探索O₃浓度升高对植物的影响机制, 当前对植物O₃熏蒸的研究方法主要有两种: 开顶室气室^[18](OTC)和开放式气体浓度增高系统^[19](FACE)。

与FACE对生态系统的研究平台范围相比, OTC系统的内部直径通常比较小, 一般被用来进行各种植物幼苗的熏蒸处理, 而不能应用于大规模种植的树种。FACE系统最大的缺陷在于在熏蒸时需要大量的熏蒸气, 因此需要在主要风向设置风窗以减少成本, 但是这样做会对实验环境造成不利的影响。此外, 由于FACE系统内的熏蒸气浓度难以与外部环境的浓度同步变化, 这会给试验带来不利的影响。与FACE相比, OTC系统具有更低的试验费用, 且无需对气室内部进行复杂的环境调控, 因而被广泛应用于评估O₃和其它有害物质对植物的影响, 以及在各种情况下测定植物吸收或释放微量气体^[20]。FACE技术在国内尚不多见, 例如江苏省江都区良种基地的FACE技术平台^[21], 它包括6个FACE环,

主要用于O₃和CO₂浓度上升情况下的水稻和小麦的相关研究。

4 结论与展望

4.1 结论

基于上述讨论,本文给出了O₃对BVOCs的影响趋势的模型如下:单一O₃处理对BVOCs的释放是没有影响的,但MTs和OVOCs更易被O₃胁迫所刺激。落叶类树种中不能储存在叶肉中的ISO更易受到O₃胁迫的抑制,虽然目前尚不清楚,但O₃胁迫更易改变O₃敏感型植物BVOCs释放。急性高浓度O₃熏蒸对BVOCs的刺激效果更显著,但是慢性熏蒸则不易使BVOCs发生显著性变化。

4.2 展望

研究表明,在O₃胁迫下,植物对各种BVOCs的反应有必要进行进一步的研究,以探讨各种BVOCs在O₃胁迫下的反应。

(1)在时间范围内的扩展。目前大部分的数据来源于短期试验,短期试验的结果能否与长期试验的结果相符还有待于进一步的检验。

(2)在空间范围内的扩展。因此,在不同的评价尺度(叶片、植株和生态系统)处理O₃胁迫时,需要进一步强化微观评价,必须加强对土壤、土壤、土壤和全球尺度的BVOCs排放反应的监测。

(3)在压力因素的规模上表现出多样性。随着全球复杂污染状况的不断恶化,今后应该加强O₃复合或多种环境胁迫效应的研究,并在此基础上,结合不同土壤类型和植物功能类型的变化,对该地区和全球BVOCs的排放进行了深入的探讨。

[参考文献]

- [1]盛重义.有关大气污染控制工程教学问题的探讨[J].广东化工,2017,44(20):173-174.
- [2]Guenther A,Hewitt C N, Erickson D,et al. A global model of natural volatile organic compound emissions[J].Journal of Geophysical Research: Atmospheres,1995,100(D5):8873-8892.
- [3]郑启伟,王效科,冯兆忠,等.用旋转布气法开顶式气室研究臭氧对水稻生物量和产量的影响[J].环境科学,2007,1(1):170-175.
- [4]黄爽,赵天宏,金东艳,等.城市蒙古栎对近地层臭氧浓度升高的光合生理响应[J].辽宁林业科技,2009,(5):1-4.
- [5]Penueñas J,Staudt M.BVOCs and global change[J].Trends Plant Science,2010,15(3):133-144.
- [6]Yuan X Y,Feng Z Z,Liu S,et al.Concentration- and flux-based dose-responses of isoprene emission from poplar leaves and plants exposed to an ozone concentration gradient[J].Plant Cell & Environment,2017,40(9):1960-1971.
- [7]Bonn B, von Schneidmesser E, Butler T, et al. Impact of vegetative emissions on urban ozone and biogenic secondary organic aerosol:Box model study for Berlin, Germany[J].Journal of Cleaner Production,2018,176:827-841.
- [8]Yao L,Ge M F,Qiao Z M,Sun Z,Wang D X. Progresses of tropospheric chemistry of volatile organic compounds.Chemistry,2006,69(5):049.

[9]Yan X F.Ecology of plant secondary metabolism. Acta Phytocologica Sinica,2001,25(5):639-640.

[10]Kesselmeier J,Ciccioli P,Kuhn U,Stefani P,Biesenthal T,Rottenberger S,Wolf A,Vitullo M,Valentini R,Nobre A,Kabat P,Andreae M O.Volatile organic compound emissions in relation to plant carbon fixation and the terrestrial carbon budget. Global Biogeochemical Cycles,2002,16(4):1-9.

[11]Chen J, Tang J,Yu X. Environmental and physiological controls on diurnal and seasonal patterns of biogenic volatile organic compound emissions from five dominant woody species under field conditions[J].Environmental Pollution,2020,259:113955.

[12]Feng,Zhaozhong,Uddling J,Tang H,et al. Comparison of crop yield sensitivity to ozone between open-top chamber and free-air experiments[J].Global Change Biology,2018,24(6):123-130.

[13]Xu S,Chen W, Huang Y Q, et al. Responses of Growth, Photosynthesis and VOC Emissions of Pinus tabulaeformis,Carr. Exposure to Elevated CO₂,and/or Elevated O₃,in an Urban Area [J].Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology,2012,88(3):443-448.

[14]Yuan X Y,Calatayud V,Feng G,et al. Interaction of drought and ozone exposure on isoprene emission from extensively cultivated poplar[J].Plant Cell & Environment,2016,39(10):2276-2287.

[15]Biswas DK,Jiang GM.Differential drought-induced modulation of ozone tolerance in winter wheat species[J].Journal of Experimental Botany,2011,62(12):4153-4162.

[16]冯兆忠,袁相洋,李品,等.地表臭氧浓度升高对陆地生态系统影响的研究进展[J].植物生态学报,2020,44(05):526-542.

[17]袁相洋.复合环境因子对杨树异戊二烯释放的影响研究[D].北京:中国科学院大学,2017.

[18]Lucas P W,Cottam D A and Mansfield T A.A large-scale fumigation system for investigating interactions between air pollution and cold stress on plants[J].Environmental Pollution,1987,43(1):15-28.

[19]Heagle A S,Body D E,Heck W W.An Open-Top Field Chamber to Assess the Impact of Air Pollution on Plants1[J].Journal of Environmental Quality,1973,2(3):365-368.

[20]Upreti D.C,GARG,et al. Carbon dioxide enrichment technologies for crop response studies[J].Journal of Scientific Industrial Research,2006,65(11):859-866.

[21]王明娜,孙彦坤,罗卫红,等.FACE条件下小麦冠层能量平衡和水分利用率的变化[J].中国生态农业学报,2009,17(2):266-272.

作者简介:

张坤(1996—),男,汉族,安徽省阜阳市人,硕士在读,研究生三年级,研究方向:生态修复。