

水稻拔节期根系呼吸对臭氧污染和厌氧—有氧环境变化的响应*

寇太记^{1,2} 朱建国¹

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所),南京 210008)

(2 河南科技大学农学院,河南洛阳 471003)

摘要 依托 O₃FACE(Free-Air O₃ Enrichment)研究平台,研究了大气臭氧(O₃)浓度增加对拔节期水稻根系呼吸和生物量积累分配的影响,利用特制集气装置分析了厌氧—有氧条件对根系呼吸的影响。结果表明,O₃浓度升高水稻冠层和总生物量略有降低,而根干物重和根/冠比分别显著降低 14.7% 和 10.4%。9:1 和 9.5:0.5 的纯 N₂:O₂ 配比利于根系呼吸,纯 N₂或空气、CO₂饱和和蒸馏水条件不同程度降低了根系呼吸速率;高臭氧处理、对照处理的水稻根系呼吸速率分别在 CO₂饱和和蒸馏水、纯 N₂条件下最小,表明尽管不同根系测定条件影响根系呼吸速率,但影响程度也受植物生长的大气环境制约。臭氧污染处理水稻根系的呼吸速率在气态测定条件下显著高于正常大气处理 23.6%~52.7%,在 CO₂饱和和蒸馏水测定条件下未达到显著水平,臭氧污染效应明显降低。两个环境生长的水稻根系呼吸均随测定根系气态环境供氧量的增加呈凸二次函数变化,5%~10%比例的氧气供应促进了根系呼吸,较强的厌氧环境(纯 N₂)和有氧环境(Air)均不利于水稻根系呼吸。

关键词 臭氧浓度升高;作物;根系生理特性;生物量;厌氧环境

中图分类号 S152.3, X171 **文献标识码** A

全球气候变化背景下植物-土壤系统碳循环是当前研究关注的热点问题之一^[1]。臭氧(O₃)作为重要的温室气体和最主要的光化学污染物^[2],成为影响气候环境变化的诱因之一,针对臭氧污染开展相关的碳循环研究势在必行。每年 10%~50%左右的植物光合产物被根系呼吸消耗^[3],根呼吸数据是估算土壤碳库和判断土壤碳库是大气 CO₂源汇的关键^[4],为构建与完善各种尺度生态系统碳动态模型所缺乏与必需的^[5]。精确估算根系呼吸已成为当前准确估算陆地各生态系统碳平衡的需要^[6]。近些年我国近地层臭氧污染呈加剧态势^[7-9],研究臭氧污染下根系呼吸变化态势将有助于准确预判全球气候变化下的土壤碳库变化动态和理解植物-土壤-大气间碳循环。

稻田系统是我国乃至世界重要的农田生态系统,淹水—落干的水分管理是我国重要的稻田生产管理措施之一,其致稻田土壤频繁在厌氧—有氧环境间变换。对我国稻区 6—8 月地面小时臭氧体积

分数高于 40×10^{-9} 的值与 40×10^{-9} 之差求和(AOT40)^[8],1990 年达到 $12 \times 10^{-6} \sim 15 \times 10^{-6}$,而 2020 年将达到 34×10^{-6} ,远超农作物正常生产的临界值 3×10^{-6} ^[9]。臭氧污染已造成水稻减产^[7,9],但日益加重的臭氧污染^[7-9]和厌氧—有氧土壤环境对水稻根系呼吸的影响尚不清楚。明确厌氧—有氧环境变化和臭氧污染对水稻根系呼吸的影响有助于阐明稻田的土壤碳循环。

田间原位准确测定根系呼吸的难点在于准确区分微生物呼吸与根系呼吸。目前用于测定根际呼吸的排除根法、同位素示踪法、环切法均不适用于测定根系呼吸^[4,10]。田间预埋设根管法^[11]适易测单条目标根系的呼吸,但操作难度极大、难以掌握。分根箱法^[12-13]主要适用于旱生植物根系呼吸测定。切除根段法^[10]导致的切口损伤通常造成根系呼吸的“激发效应”,而放于营养液中培养一定时间可消减“激发效应”影响^[14]。由于水稻茎叶内部有通气组织使得分根箱法难以准确原位测定其根

* 土壤与农业可持续发展国家重点实验室开放基金项目(Y052010030)、国家自然科学基金项目(41003030)、国家科技部国际科技合作计划项目(2009DFA31110)、中国科学院知识创新方向项目(KZCX2-EW-414)、中国科学院装备研制项目(YZ0603)和河南科技大学人才基金(09001266)联合资助

作者简介:寇太记(1975—),男,博士,副教授,主要从事物质循环与全球变化、逆境植物营养与农田生态研究。E-mail: tjkou@yahoo.com.cn

收稿日期:2012-09-08;收到修改稿日期:2012-11-11

系呼吸,而结合环切法和改进后的切除根段法优势,利用相对完整的大量的新鲜根系而非简单挑取根段和测定前进行培养消除“激发效应”影响,可能是当前测定水稻根系呼吸的较理想方法;人为创造不同氧气含量的根系呼吸测定环境,有助于理解淹水—落干过程对水稻根系呼吸的影响和预测土壤频繁还原-氧化变化的影响。因此,本研究利用特制根系测定装置,依托中国 O_3 FACE (Free-air O_3 concentration enrichment) 试验平台,研究了臭氧污染水稻拔节期的根系呼吸和生物量和供氧环境对根系呼吸的影响,为预测未来高臭氧污染下水稻根系呼吸和生物量积累的变化对农田土壤碳循环和碳固定的潜在影响提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于江苏省扬州市江都小纪镇马凌村良种场(119°42'0",32°35'5"N)。试验区年降水量980 mm左右,年均蒸发量>1 100 mm,年均温度约14.9℃,年均日照时间>2 100 h,年无霜期220 d。土壤类型为下位砂姜土,0~15 cm耕层土壤的基本性状^[15]为:pH 7.2,有机碳18.4 g kg⁻¹,全氮1.45 g kg⁻¹,全磷0.63 g kg⁻¹,全钾14.02 g kg⁻¹,容重1.16 g cm⁻³,砂粒(2~0.02 mm)578 g kg⁻¹,粉粒(0.02~0.002 mm)285 g kg⁻¹,黏粒(<0.002 mm)137 g kg⁻¹,质地为壤土;耕作方式为水稻—冬小麦轮作。

1.2 试验平台

臭氧平台于2007年3月开始运行,分 O_3 (O_3 FACE)和对照(Ambient)两个处理,各3重复, O_3 FACE圈内目标 O_3 浓度高于Ambient圈 O_3 浓度50%。 O_3 FACE处理 O_3 释放通过8根直径15 mm置于冠层上方30~60 cm布气管进行,Ambient圈无布气管道,环境条件与自然状态完全一致。稻季放气时间为2010年7月2日即移栽后第2天至水稻成熟,每天放气时间为09:00至日落时间。因高浓度的 O_3 在下雨、露水时会造成叶片急性损伤,故下雨时系统将暂停放气。平台控制详细信息见文献[16]。

1.3 试验设计与管理

供试水稻利用田间培养框种植于试验平台内。在 O_3 FACE和对照(Ambient)处理各重复圈内埋设7个培养框,2010年7月1日移栽水稻,埋框装土时间为水稻移栽前10 d,水稻移栽前7 d田间淹水。框内与大田同时移栽,每框种植1株汕稻-63,框内

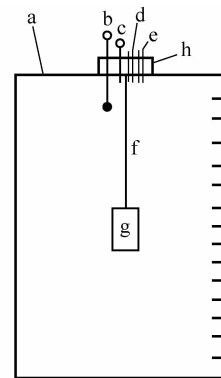
施肥与水分管理均与大田同。田间培养用框(长×宽×高,20 cm×15 cm×15 cm)上下敞口由PVC材料制成,四壁上距顶端5、10 cm处各钻1排小孔(直径1 cm),同排各孔间隔3~4 cm以便框内与大田进行水分交换。埋框前用300目的尼龙网布裹严底部与四壁后再埋入土中,并向框中装入预先挖掘并剔除前季可见根茬与杂物且过8 cm筛的耕层风干混匀土样7 kg。

于7月25日在 O_3 FACE和Ambient处理各重复圈内选取长势大小一致水稻各5框,按试验平台的重复设计分成3组即3个重复,将每组依次从田间挖出并利用田头一小型可调水速的水泵将泥土冲去,获得完整植株根系,然后用剪刀将根与茎杆接触处分开,然后两处理的5株根系分放于当天提前采集且经过滤澄清和微波杀菌处理的稻田表面水中培养3 h。然后随机放入5个代表不同模拟环境条件的特制集气装置中采气。测定后的根系与茎叶用干燥箱在80℃时连烘72 h称干重计算地上、地下部生物量。

5个模拟根系厌氧—有氧生长环境条件,即3个通过调配纯 N_2 :纯 O_2 比例分别为10:0(N_2)、9.5:0.5(95% N_2)、9:1(90% N_2),1个为空气(N_2 : O_2 比近似认为78:21,Air),1个用 CO_2 饱和的蒸馏水(模拟淹水条件,Water)共5个不同用于测定根系呼吸的环境条件。

1.4 气体采集装置与气样采集测定

试验气体采集装置(图1)为特制的能用瓶盖(含橡胶内垫)密封的内直径一致的带有刻度的2 L深色塑料瓶。温度计、测压计和2个直径为0.5 cm



a, 带有刻度的塑料瓶; b, 温度计; c, 压力计; d, 抽气孔; e, 气体输入孔; f, 铁丝; g, 根袋或敞口杯; h, 瓶盖
a, Plastic bottle with scale; b, Thermometer; c, Manometer; d, Gas-collection hole; e, Gas-input hole; f, Iron wire; g, Root-bag or open container; h, Bottle cap

图1 气体采集装置简图

Fig. 1 Sketch of the gas collection apparatus

的不锈钢金属管固定于瓶盖上4个孔中联瓶内外,各接触点均用橡胶密封垫加乳胶密封。2个金属管分为抽气孔和气体输入孔,并分别通过塑料软管与1个塑料三通相连构成完整的可控抽气通道和气体输入通道。抽气通道通过调节塑料三通保持瓶内与瓶外联通、且可与注射针筒相连进行采气。气体输入通道始终与气体预混装置相联。瓶盖内侧中央部位固定一根直径为2 mm的铁丝伸入瓶内至少5 cm(根据试验需要调节长短),铁丝末端连用60目的尼龙网布制成的根袋(长×宽,5 cm×5 cm)或5 ml可装水的敞口杯(为Water环境测定专用)用于装根样。

测定时除Water和Air条件外均采用排水法进行,先将根样从培养液中取出并迅速放入根袋中,小心将连有根袋的瓶盖盖在预先装满CO₂饱和和蒸馏水气体采集装置上,此时打开抽气通道上的塑料三通以减少盖盖子时的压力,并用乳胶密封瓶盖与瓶子接触缝隙。然后将气体采集装置底朝上倒放于特置的固定架上,通过调节气体输入通道的塑料三通将经过预混装置且符合纯N₂:O₂配比要求的气体输入瓶内。当气体输满后,关闭三通,将瓶正放。为减少瓶内壁水膜对集气的影响和更准确分析不同测定条件对根系的影响,Water和Air环境在测定前也分别用CO₂饱和的蒸馏水润洗瓶内。其中Water环境将根系放入敞口杯后加CO₂饱和的蒸馏水恰好盖住根,测定后计量所占容积。Water和Air环境密封瓶盖的操作步骤与其他处理相同。集气环境制备与密封完成后,即开始计时采气,分别在0、

20、40 min用体积为2 ml且连有塑料三通的注射针筒取气,每次采气时分别记录气体采集装置内温度与气压。所采集的气体立即用气相色谱(Shimadzu, GC-14B,日本)测定CO₂浓度。

1.5 数据计算与分析

根系呼吸速率按下式计算:

$$F = P_0 / 101325 \times \rho \times (dc/dt) \times V/S \times 273 / (273 + T) / m$$

式中, F :CO₂排放速率(CO₂ mg g⁻¹ dry root-weight h⁻¹); P_0 :采样时集气瓶内气压(Pa); ρ :标准状态下CO₂的密度;(dc/dt):气体浓度随时间的变化率; V :集气瓶有效容积(m³); S :集气瓶底部内表面积(m²); T :采样时的温度(°C); m :为根系干重(g m⁻²)。

数据通过SPSS 11.5统计软件,采用F-检验和LSD方法对不同大气O₃浓度的效应进行统计分析,显著水平为 $p < 0.05$,利用Microsoft Excel制图。

2 结果

2.1 臭氧污染对水稻生长的影响

相对正常大气环境处理,大气臭氧浓度增加水稻冠层和总干物质积累略有降低,但未达到显著水平(表1),根干物重显著降低14.7% ($p < 0.05$),暗示臭氧污染将会降低植物地下物质积累。臭氧污染导致水稻的根/冠比显著下降10.4% ($p < 0.05$),表明臭氧污染条件下,水稻输入地下的光合产物数量可能减少。

表1 臭氧污染对拔节期水稻生物量积累与分配的影响

Table 1 Effect of ozone pollution on accumulation and distribution of rice biomass at the jointing stage

处理 Treatment	根生物量 Root biomass(g m ⁻²)	冠层生物量 Shoot biomass(g m ⁻²)	总生物量 Total biomass(g m ⁻²)	根/冠比 Root/shoot ratio
Ambient	26.5 ± 1.6b	250.0 ± 11.3a	276.5 ± 9.7a	0.106 ± 0.008b
O ₃ FACE	22.5 ± 1.6a	236.9 ± 13.0a	259.4 ± 14.3a	0.095 ± 0.002a

注:同列不同字母表示差异显著($p < 0.05$) Note: Different letters in the same column mean significant difference at the 0.05 level

2.2 臭氧污染和对水稻根系呼吸的影响

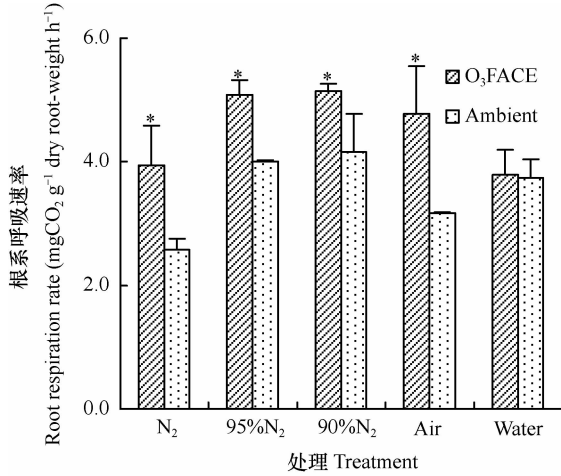
水稻生长的大气外部环境影响根系呼吸速率(图2)。相同测定条件下,高臭氧浓度环境生长植株的根系呼吸速率不同程度地高于正常大气环境。与对照环境相比,臭氧污染环境植株根系在N₂、95% N₂、90% N₂和Air条件下的根系呼吸速率显著增加52.7%、26.9%、23.6%和50.5% ($p < 0.05$),在Water条件下则具有增加趋势。表明根系无论是在厌氧条件下或有氧条件下,臭氧污染均将导致根系消耗更多的光合合成碳用于根系呼吸作用;但淹

水条件下根系呼吸响应臭氧污染的效应降低,可能与水分的充足供应有关,具体原因尚待研究。

2.3 水稻根系呼吸对厌氧—有氧模拟环境的响应特征

高臭氧浓度和对照处理的水稻植株根系呼吸速率最大测定值均出现在90% N₂模拟条件下,而最小测定值分别出现在Water和N₂模拟环境(图2)。高臭氧浓度处理下,90% N₂条件下测定的根系呼吸速率高于95% N₂和Air条件下1.0%~7.8%,但显著高于N₂和Water条件下根系呼吸速率30.4%~

35.6% ($p < 0.05$)。对照处理下,90% N_2 条件下测定的根系呼吸速率高于 95% N_2 和 Water 条件下 3.7%~11.2%, 显著高于 Air 和 N_2 条件下的根系呼吸速率 31.2%~61.2% ($p < 0.05$)。显然,根际模拟环境变化影响根系呼吸即根系对光合碳的消耗,但影响程度受植物生长的大气外部环境有关。



注: *, 表示在不同O₃浓度环境处理差异显著 Note: * indicates significant difference at the 0.05 level between treatments different in O₃ concentration

图2 不同模拟环境条件下的根系呼吸速率

Fig. 2 Root respiration rate in different stimulated environments

两个植株生长环境下 Water 模拟测定条件下的根系呼吸速率均介于其他 4 个测定条件之间(图 2),且 Water 模拟环境相比其他纯气态厌氧—有氧模拟环境对根系呼吸的作用受水分与氧化-还原条件的复合作用,故评价厌氧—有氧条件对根系呼吸的影响选用纯气态模拟条件的数值,详见图 3。

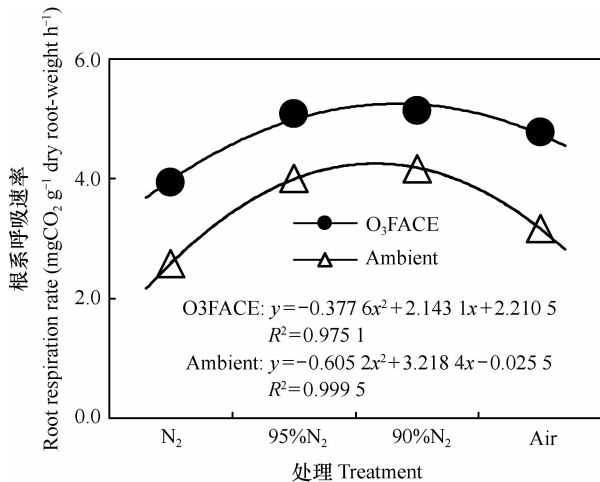


图3 不同供氧比例下的根系呼吸速率

Fig. 3 Root respiration rate in environments different in oxygen supply

随着气体 N_2 、 O_2 配比改变即厌氧—有氧模拟土壤环境由强还原环境向较强氧化环境转变,无论是生长在高臭氧浓度环境还是对照环境的根系呼吸速率均呈显著的凸二次函数关系变化。由图 3 知,5%~10% 比例的含氧量促进了根系呼吸,强厌氧条件(N_2)和较强的有氧条件(Air)均不利于根系呼吸。

3 讨论

臭氧污染将会影响植物的生长^[17]。本研究发现,水稻拔节期受臭氧污染地上部和地下部、总干物重呈下降趋势,表明臭氧污染可能导致水稻同化产物合成减少。全球性监测^[17]和模型测算^[7,9]均发现 O_3 污染会抑制植物生长导致作物减产。 O_3 污染主要导致植物的光合速率下降^[19-20],光合速率下降势必减少同化产物的合成。臭氧污染显著降低了水稻的根干重与根/冠比,表明不但臭氧污染环境水稻植株积累减少,且以根系形式保存的同化产物也大幅减少。先前研究也发现, O_3 污染通常使植物根系缩短、根系生长受到抑制^[21-22], O_3 显著降低植株同化物向根系的分配^[23]。

根系呼吸一定程度上表征植物根系活性。本研究中,5 个不同测定环境所测定的根系呼吸速率均表现为臭氧污染处理高于正常大气处理,显然臭氧逆境条件下水稻通过增强根系呼吸来适应或响应臭氧污染效应。臭氧污染环境水稻根系活性增加将促进根系对水分与养分的吸收利用来适应臭氧逆境危害。但臭氧污染下根系呼吸作用增加,将会导致更多的光合产物以呼吸的形式被消耗,减少了以干物质形式保留的数量。

臭氧污染和正常大气环境处理下水稻根系在纯气态模拟环境中呼吸速率均随氧气含量增加呈二次函数变化,表明强还原条件和较强氧化条件下根系活性均都会受到影响,适宜的含氧量将会促进根系呼吸,过多的 O_2 含量可能不利于根系呼吸作用。本研究中,超过 10% 氧气供应比例水稻根系呼吸明显受到抑制。先前研究也发现,旱生植物仙人掌(*Opuntia stricta*)的根系呼吸随着土壤中 O_2 含量的增加而减弱^[25],主要是由于土壤空气中 O_2 含量已超过了有利于仙人掌根系呼吸的适宜范围所致。本研究中低于 5% 的氧气供应水稻根系呼吸亦受到不同程度的抑制。据报道,土壤空气中 O_2 含量低于 2%~5% 时,植物根系的正常呼吸将受到影响^[24],本结果与其基本一致。正常大气环境生长的水稻根

系在淹水条件下测定的呼吸速率高于纯 N₂ 和 Air 环境测定值,而臭氧污染处理的水稻根系则在淹水条件下表现为最小,显然水分的存在降低了根系呼吸响应臭氧污染的程度。但具体原因仍有待进一步研究。

4 结 论

臭氧污染将导致水稻地下部生物量和根/冠比下降,植株通过促进根系呼吸来适应大气中臭氧浓度的增加。臭氧污染下根系呼吸的增加将导致更多的光合碳被消耗,但呼吸强度大小与根际环境条件有关。随着根际供氧量的增大由强还原条件向强氧化条件转变时根系呼吸速率呈显著的二次函数变化,5%~10%比例的氧气供应将促进根系呼吸,强还原和较强氧化条件均不利于根系呼吸,水分的存在将降低根系呼吸响应臭氧污染程度。淹水-落干管理措施影响稻田土壤氧化-还原变化和水分含量,使水稻根系呼吸的强度与响应臭氧污染的程度变得复杂。

参 考 文 献

[1] Schimel D S. Terrestrial ecosystems and the carbon cycle. *Global Change Biology*, 1995, 1: 77—91

[2] Thompson A M. The oxidation capacity of the earth's atmosphere: Probable past and future changes. *Science*, 1992, 256: 1157—1165

[3] Lambers H, Scheurwater I, Atkin O K. Respiratory patterns in roots in relation to their functioning//Waisel Y, Eshel A, Kafkaki K. *Plant roots: The hidden half*. New York: Marcel Dekker, Inc, 1996: 323—362

[4] Hanson P J, Edwards N T, Garten C T, et al. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: A review of methods and observations. *Biogeochemistry*, 2000, 48: 115—146

[5] Hogg E H. Simulation of interannual responses of trembling aspen stands to climatic variation and insect defoliation in western Canada. *Ecological Modelling*, 1999, 114: 175—193

[6] Kuzyakov Y. Tracer studies of carbon translocation by plants from the atmosphere into the soil (a review). *Eurasian Soil Science*, 2001, 34: 28—42

[7] Wang X, Mauzerall D L. Characterizing distributions of surface ozone and its impact on grain production in China, Japan and South Korea; 1990 and 2020. *Atmospheric Environment*, 2004, 38(26): 4383—4402

[8] 刘峰, 朱永官, 王效科. 我国地面臭氧污染及其生态环境效应. *生态环境*, 2008, 17(4): 1674—1679. Liu F, Zhu Y G, Wang X K. Surface ozone pollution and its eco-environmental impacts in China (In Chinese). *Ecology and Environment*,

2008, 17(4): 1674—1679

[9] Aunan K, Bernsten T K, Seip H M. Surface ozone in China and its possible impact on agricultural crop yields. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 2000, 29(6): 294—301

[10] Kuzyakov Y. Sources of CO₂ efflux from soil and review of partitioning methods. *Soil Biology & Biochemistry*, 2006, 38: 425—448

[11] Rakonczay Z, Seiler J R, Samuelson L J. A method for the in situ measurement of fine root gas exchange of forest trees. *Environmental and Experimental Botany*, 1997, 37: 107—113

[12] Kou T J, Zhu J G, Xie Z B, et al. Effect of elevated atmospheric CO₂ concentration on soil respiration and root respiration in winter wheat by using a respiration partitioning chamber. *Plant and Soil*, 2007, 299: 237—249

[13] 寇太记, 朱建国, 谢祖彬, 等. CO₂浓度增加和不同氮肥水平对冬小麦根系呼吸及生物量的影响. *植物生态学报*, 2008, 32(4): 922—931. Kou T J, Zhu J G, Xie Z B, et al. Effect of elevated atmospheric CO₂ concentration and level of nitrogen fertilizer on root respiration and biomass of winter wheat (In Chinese). *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(4): 922—931

[14] Zogg G P, Zak D R, Burton A J, et al. Fine root respiration in northern hardwood forests in relation to temperature and nitrogen availability. *Tree Physiology*, 1996, 16: 719—725

[15] 寇太记, 刘德鸿, 徐晓峰, 等. 长期臭氧污染对水稻土物理结构和氮磷钾含量的影响. *土壤学报*, 2012, 49(6): 1163—1168. Kou T J, Liu D H, Xu X F, et al. Effect of ozone pollution on physical structure and contents of nitrogen, phosphorus and potassium of paddy soil (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2012, 49(6): 1163—1168

[16] 唐昊冶, 刘钢, 韩勇, 等. 农田开放体系中调控臭氧浓度装置平台(O₃-FACE)研究. *土壤*, 2010, 42(5): 833—841. Tang H Y, Liu G, Han Y, et al. Ozone concentration enrichment system under fully free-air condition in agricultural field (O₃-FACE) (In Chinese). *Soils*, 2010, 42(5): 833—841

[17] 寇太记, 常会庆, 张联合, 等. 近地层 O₃污染对陆地生态系统的影响. *生态环境学报*, 2009, 18(2): 704—710. Kou T J, Chang H Q, Zhang L H, et al. Effect of near-surface O₃ pollution on terrestrial ecosystems (In Chinese). *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, 18(2): 704—710

[18] Oltmans S J, Levy II H. Surface ozone measurements from a global network. *Atmospheric Environment*, 1994, 28(1): 9—24

[19] Reiling K, Davison A. Effects of ozone on stomatal conductance and photosynthesis in populations of *Plantago major* L. *New Phytologist*, 1995, 129: 587—594

[20] Meyer U, Kollner B, Willenbrink J, et al. Effects of different ozone exposure regimes on photosynthesis, assimilates and thousand grain weight in spring wheat. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2000, 78: 49—55

[21] 王春乙, 白月明, 温民, 等. CO₂和 O₃浓度倍增及复合效应对大豆生长和产量的影响. *环境科学*, 2004, 25(6): 6—10. Wang C Y, Bai Y M, Wen M, et al. Effects of double CO₂ and

- O₃ on growth and yields in Soybean (In Chinese). Environmental Science, 2004, 25(6): 6—10
- [22] Donnelly A, Craigon J, Black C R, et al. Elevated CO₂ increases biomass and tuber yield in potato even at high O₃ level. New Phytologist, 2001, 149: 265—274
- [23] McCrady J K, Andersen C P. The effect of ozone on below-ground carbon allocation in wheat. Environmental Pollution, 2000, 107: 465—472
- [24] Lambers H. Respiration in intact plants and tissues and dependence on environmental factors, metabolism and invaded organisms// Douce R, Day D A. Higher plant cell respiration; Encyclopedia of plant physiology. Berlin: Springer - Verlag, 1985: 418—473
- [25] Nobel P S, Palta J A. Soil O₂ and CO₂ effects on root respiration of cacti. Plant and Soil, 1989, 120: 263—271

RESPONSE OF RICE ROOTIN RESPIRATION AT JOINTING STAGE TO OZONE POLLUTION AND ALTERNATION OF ANAEROBIC AND AEROBIC CONDITIONS

Kou Taiji^{1,2} Zhu Jianguo¹

(1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

(2 College of Agriculture, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471003, China)

Abstract Effects of elevated atmospheric ozone (pO₃) (50% higher than the ambient pO₃ in concentration) on root respiration and biomass accumulation and distribution of rice (*Oryza sativa* L. cv. Xiandao 63) at the jointing stage were investigated in fully open – air field conditions, and effect of alternation of anaerobic and aerobic conditions on root respiration was analyzed using special gas – collecting installations. Results show that under elevated pO₃ canopy and total biomass of the crop decreased slightly, while its root dry matter weight and ratio of root/canopy dropped significantly by 14.7% and 10.4%, respectively. The mixture of N₂ and O₂ at a ratio of 9:1 or 9.5:0.5 was the most propitious for root respiration, whereas in pure N₂, natural air and CO₂-saturated distilled water root respiration rate was lowered to a varying degree. The treatment of elevated pO₃ coupled with measurement in CO₂-saturated distilled water and the treatment of ambient air coupled with measurement in pure N₂ was the least in root respiration rate, indicating that although the condition in which root respiration was measured affected root respiration rate, the impact was restricted in degree by the atmospheric environment in which the plant grew. The root respiration rate of rice growing under elevated ozone was 23.6% ~ 52.7% higher than that under natural atmosphere when measured in pure gas condition, and the difference between the two was insignificant when the measurement was done in CO₂-saturated distilled water, showing that the influence of ozone pollution on root respiration obviously decreased. Under elevated and ambient pO₃ environments, root respiration of the rice displayed a curve of convex quadratic function with increasing oxygen supply in the gaseous environment for measurement. The oxygen concentration of 5% ~ 10% in the environment promoted rice root respiration, while strong anaerobic condition (i. e., pure N₂) and aerobic conditions (i. e., air) both affected root respiration of rice reversely.

Key words Ozone concentration elevation; Crop; Root physiologic characteristics; Biomass; Anaerobic environment

(责任编辑: 卢 萍)