

570-572

CO₂ 浓度升高对水稻根系分泌物的影响

——总有机碳、甲酸和乙酸含量变化

王大力¹, 林伟宏²

55-11.01

(1. 中国科学院生态环境研究中心 环境水化学国家实验室, 北京 100085; 2. 中国农业大学植物营养系, 北京 100094)

摘要:在大气 CO₂ 浓度升高条件下采用水培方法对水稻根系生长及根系分泌物进行了初步研究。CO₂ 浓度倍增对水培水稻的根系生长具有明显的促进作用, 约为 70%, 但是根冠比却有所降低。水稻根系单位干重总有机碳、乙酸以及甲酸的释放量在 CO₂ 浓度倍增条件下变化不明显, 但是单株根系分泌物总量、乙酸以及甲酸的释放总量在 CO₂ 倍增处理下明显增加。推测水稻根系分泌物的增加是高浓度 CO₂ 下稻田 CH₄ 排放增加的重要原因之一。

关键词:水稻; 根系分泌物; CO₂ 倍增; 总有机碳; 乙酸; 甲酸

Effects of CO₂ elevation on root exudates in rice

WANG Da-Li¹, LIN Wei-Hong (1. SKLEAC, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. Department of Plant Nutrition, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract: Rice root growth and root exudation were studied using hydroponics under different atmospheric CO₂ concentrations. Rice root growth was stimulated significantly by 70% under elevated CO₂ environment. Total organic carbon, acetic acid and formic acid exudated per plant in a higher CO₂ concentration environment were significantly higher than those in ambient CO₂ environment, while the amounts expressed as per unit root dry weight showed no significant difference. It is expected that the change of rice root exudate may be one important mechanism of CH₄ emission increase from rice paddies, under CO₂ enrichment.

Key words: rice; root exudate; CO₂ enrichment; total organic carbon (TOC); acetic; formic acid

文章编号: 1000-0933(1999)04-0570-03 中图分类号: Q173 文献标识码: A

CH₄ 是重要的温室气体之一, 虽然大气 CH₄ 浓度仅有 1.74 μmol/mol, 但是其温室效应强度却比 CO₂ 高十几倍, 目前 CO₂ 对大气温度升高的贡献约占 20%^[1-3]。未来大气 CO₂ 浓度升高对全球 CH₄ 的排放的影响研究得相对较少, Allen 等发现 CO₂ 倍增使热带稻田 CH₄ 通量增加 75%~200%^[4]。作者研究表明 CO₂ 浓度升高对稻田 CH₄ 排放速率存在促进作用, 提高了 153%~288%^[5]。这些数据表明, CO₂ 浓度升高对全球 CH₄ 排放, 尤其是稻田 CH₄ 排放, 有很大影响, 这是目前 CH₄ 排放预测中不曾考虑的因素。CO₂ 浓度升高可能通过使稻田及湿地生态系统植物的枯落物、根系分泌物以及根系周转增加等促进 CH₄ 排放^[6, 7]。厌氧环境中, 水稻的根系分泌物容易被土壤中的微生物转化成为简单的有机物如甲酸、乙酸等, 它们是重要的产 CH₄ 前体。研究水稻根系分泌物中产 CH₄ 菌的底物含量变化有助于了解其变化机理。本研究针对 CO₂ 倍增对水稻根系分泌物中总有机碳、甲酸和乙酸含量的影响作了初步研究, 以期了解水稻根系分泌物对 CO₂ 浓度倍增的响应, 从而为 CO₂ 浓度升高环境中 CH₄ 的排放变化机理研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 CO₂ 浓度倍增系统设计

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(项目编号 39570133)

收稿日期: 1999-01-20; 修订日期: 1999-03-26

1) 王大力, 朱立民. CO₂ 浓度倍增对水稻 CH₄ 排放物影响. 植物生态学报, 1999, 待发

实验于 1998-07-10 在中国农业大学科学园(北京)进行。采用开顶式培养室模拟 CO₂ 浓度升高环境。设两个处理:①CO₂ 浓度升高处理(650 μmol/mol CO₂)、②正常大气对照(355 μmol/mol CO₂)。有关培养室具体设计参照前期研究文章^[5]。

水稻品种采用天津农科院提供的津稻 1187, 萌发后 10d, 移栽至 11 培养钵中在开顶式培养室进行水培至分蘖盛期, 每盆 5 株水稻, 每个处理 5 个重复, 培养液参照国际水稻研究所配方^[6]。每 3d 更换一次培养液。采样前一天将培养钵冲洗干净, 加入蒸馏水。取样时, 用蒸馏水定容至 950ml, 混匀过滤, 测定 pH 值, 最后取样进行总有机碳、甲酸和乙酸的分析。

TOC 采用日本岛津 TOC-500 测定仪测定; 甲酸、乙酸含量采用美国 DIONEX 公司 DX-100 型离子色谱仪测定。分离柱, AS4A-SC 阴离子分离柱(DIONEX 公司); 抑制器, AMMS-1 (DIONEX 公司); 进样量, 150 μl; 淋洗液, 0.05N 四硼酸钠; 流速, 1.0ml/min; 再生液, 0.25NH₂SO₄, 系统压力, 650psi。

2 结果与讨论

2.1 CO₂ 倍增对水培水稻根系生长的影响

CO₂ 浓度升高对水培水稻的根系生物量有显著的促进作用(表 1), CO₂ 倍增下生长的水稻根系生物量增加了 70%。这与土培实验结果一致^[3], 但是在高浓度 CO₂ 处理中水培水稻的根冠比有低于正常 CO₂ 处理的趋势, 虽然统计学上差异并不显著。这个现象与盆栽实验以及田间实验的结果相反^[5,2], 这可能是由于在水培条件下, 养分供应充足, 光合产物分配模式可能同养分胁迫下不同, 根系并未如养分胁迫下有补偿性生长; 同时由于光合速率提高, 地上部分生长也得到很大促进。这个结果为盆栽中生长受养分限制而导致根冠比增加提供了证据。

2.2 CO₂ 倍增对水培水稻根系分泌物的影响

水稻根系分泌物, 特别是甲酸和乙酸是稻田产 CH₄ 菌的重要底物, 因此根际区这些有机物和有机酸的总量变化对稻田 CH₄ 排放的影响较大。CH₄ 的产生模式如下所示:



有机酸总量在本实验中没有测定, 但对溶液 pH 及总有机碳含量做了测定。从培养液 pH 结果看, CO₂ 倍增处理的 pH 值较正常处理的低(表 1), 这说明在 CO₂ 倍增处理下的水稻根系酸性分泌物量大于正常处理。24h 采集的 TOC、甲酸和乙酸单位干根系的释放量在 CO₂ 倍增浓度处理中低于正常 CO₂ 处理, 但是未显示出明显差异。由于在 CO₂ 浓度倍增处理下水稻根系生物量增加, 水稻根系单株分泌物总量显著高于正常 CO₂ 处理, 为每株 0.98mgC, 正常处理的 TOC 为 0.54mg C/p。

表 1 CO₂ 浓度倍增对水稻根系生长和分泌物含量的影响(24h)

Table 1 Effects of CO₂ enrichment on root biomass and root exudate

CO ₂ 处理 (μmol/mol)	根系生物量 (g/plant)	根冠比 R/S	溶液 pH	总有机碳 (mgC/g)RDW	单株总有机碳 (mgC/p)	乙酸含量 (mg/gRDW)	甲酸含量 (mg/gRDW)
CO ₂ treatment	Root biomass			TOC	TOC per plant	Acetic acid	Formic acid
正常 365	0.39±0.03	0.23±0.05	5.00±0.89	1.44±0.27	0.54±0.09	0.12±0.03	0.05±0.02
倍增 650	0.66±0.06*	0.18±0.03	4.64±0.85	1.40±0.48	0.98±0.18*	0.08±0.01	0.03±0.01

* 差异显著, Significantly different at $P < 0.05$ level by T-test; RDW 根系干重, Root dry weight

针对根系分泌物中的乙酸, 分别在不同时间(2h 及 24h)进行取样分析。结果显示, 对于两个不同处理, 乙酸含量随时间的变化呈现出相同趋势, 即 2h 的培养液乙酸含量均高于 24h 的含量(表 2)。表明微生物对根系分泌物有分解利用。根系分泌物量与生长介质中有效养分含量也密切相关。由于水培条件下养分供应充足, 因而在 CO₂ 倍增处理下水稻根系单位重量分泌物量并没有增加。对于水稻个体水平而言, 乙酸的释

2) Lin W. Photosynthetic Response of Rice of Elevated CO₂ and High Temperature: from single leaf to whole canopy. Ph. D. dissertation. Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, 1997

放总量趋势却是高 CO₂ 处理显著高于正常 CO₂ 处理(表 2)。这是因为虽然 CO₂ 倍增处理的单位根系干重释放量没有增加,但是 CO₂ 倍增处理下水稻根系生长增幅较大,因而根系分泌物总量增加。在自然条件下,根系普遍生活在不同程度的养分胁迫下,变化趋势可能会更加明显。Lambers 等认为向根系分配的碳量增加是一种营养条件胁迫的间接效应,快速生长引起的养分区域性耗竭促进了根系的生长^[7]。根据计算,CO₂ 浓度升高后,当养分供应不足时,根呼吸消耗的碳将增加;水分胁迫也会使根呼吸增加,从而导致碳向根系分配增加^[8]。很多实验表明根系生物量受高浓度 CO₂ 促进,尤其是细根生物量普遍增加^[8]。在本实验中水稻根系分泌物的变化同稻田 CH₄ 排放的响应是一致的^[1],说明 CO₂ 倍增条件下稻田 CH₄ 排放增加的一个可能原因是由于水稻根系分泌物总量以及甲酸、乙酸含量增加,为产甲烷菌提供了更多底物引起的。

表 2 不同时间水稻根分泌物中乙酸含量的变化

Table 2 Effect of CO₂ enrichment on acetic acid content in rice root exudate

CO ₂ 处理 ($\mu\text{mol}/\text{mol}$) CO ₂ treatment	单位重量含量变化 (mg/gRDW) Content per unit RDW		每株释放总量(mg/plant) Content per plant	
	2h	24h	2h	24h
	正常 365	0.36±0.023	0.08±0.023	0.13±0.006
倍增 650	0.35±0.012	0.05±0.002	0.22±0.017*	0.038±0.005

* 差异显著, Significantly different at $P < 0.05$ level by *T*-test

值得一提的是在水培条件下,单位根系干重总有机碳、甲酸和乙酸的含量在高浓度 CO₂ 处理下有所降低,这一点同根冠比的变化相似。根系分泌物在不同培养条件下对 CO₂ 浓度变化的响应尚需深入研究。

综上所述,CO₂ 浓度倍增对水培水稻的根系生长具有明显的促进作用,约为 70%,但是根冠比却有所降低;水稻个体根系分泌物总量、甲酸以及乙酸的释放总量在高 CO₂ 处理下增加,证明水稻根系分泌物的增加是高浓度 CO₂ 下稻田 CH₄ 排放增加的机理之一。

参考文献:

- [1] US-EPA. *Greenhouse Gas Emissions from Agriculture*. 1. Office of Policy Analysis. U. S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1990. 1.
- [2] 王明星. 大气化学组成的变化及其引起的气候变化. 见: 叶笃正, 陈洋勤主编. 中国的全球变化预研究. 北京: 地震出版社, 1992. 60~84.
- [3] Rodhe H. A comparison of the contribution of various gases to the greenhouse effect. *Science*, 1990, **248**: 1217~1219.
- [4] Allen L H Jr, Albercht S L, Colon W, et al. Effects of carbon dioxide and temperature on methane emission of rice. *IRRN*, 1994, **19**(3): 43.
- [5] Lin W and Wang D. Effects of elevated CO₂ on growth and carbon partitioning in rice. *Chinese Science Bulletin*, 1998, **43**(23): 1982~1985.
- [6] Yoshida S, Forno D A, Cock J H, et al. Editors. Routine procedure for growing rice plants in culture solution. In: *Laboratory Manual for physiological Studies of Rice* (Third Edition), Los Baños, Philippines, 1976. 61~66.
- [7] Lambers H, Stulen I and van der Werf A. Carbon use in root respiration as affected by elevated atmospheric CO₂. *Plant and Soil*, **187**: 251~263.
- [8] Rogers H H, Runion G B and Krupa S V. Plant responses to atmospheric CO₂ enrichment with emphasis on roots and the rhizosphere. *Environmental Pollution*, 1994, **83**: 155~189.

1) 同第 570 页下注。