

大气CO₂浓度升高对稻麦轮作下土壤中AM真菌多样性的影响^①

苑学霞^{1,2,3} 林先贵^{1,2*} 张华勇^{1,2} 尹睿^{1,2} 褚海燕^{1,2} 朱建国⁴

(1 中国科学院南京土壤研究所生物与生化研究室 南京 210008; 2 中国科学院南京土壤研究所-香港浸会大学
土壤与环境联合开放实验室 南京 210008; 3 中国科学院研究生院 北京 100049;
4 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)

摘 要 本试验研究了大气CO₂浓度升高对稻麦系统中AM真菌多样性的影响。结果表明, 大气CO₂浓度升高对土壤中AM真菌侵染能力没有显著影响; 在常N施肥处理中, 大气CO₂浓度升高减少了土壤中AM真菌种类总数, 但对AM真菌平均种类数没有显著影响, 而在高N施肥处理中大气CO₂浓度升高的影响不显著; N肥施用量增加降低了土壤中AM真菌的多样性。

关键词 大气CO₂浓度升高; AM真菌; 多样性
中图分类号 S182

IPCC (intergovernmental panel on climate change) 2001 年指出 (<http://www.ipcc.ch/>): 在过去的 100 多年里, 大气中的 CO₂ 浓度逐渐升高, 目前 CO₂ 浓度是工业革命前的 1.36 倍。大气 CO₂ 浓度升高将直接影响陆地植物的光合作用和净同化率^[1,2], 通过根系分泌及死亡输入土壤^[3], 将会对陆地生态系统产生深远影响。近几年发展起来的田间开放的 FACE (Free-air CO₂ enrichment) 系统没有任何隔离设施, 除大气中 CO₂ 增加外, 其他条件十分接近自然生态环境, 可以很好地研究大气 CO₂ 浓度对陆地生态系统的影响。

菌根是土壤中的菌根真菌侵染高等植物根系形成的一种联合体, 是自然界中普遍存在的共生现象, 90 % 以上的植物都能被 AM 真菌侵染而形成互惠共生体^[4]。AM 菌根广泛分布于自然界各生态系统中, 但是生态系统的条件不同, AM 真菌多样性可能会受到影响。本文以中国稻麦轮作 FACE 系统为平台,

初步研究了大气 CO₂ 浓度升高对稻麦系统中 AM 真菌的影响, 旨在为了解大气中的 CO₂ 浓度升高条件下 AM 真菌多样性的变化提供初步理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究地点

稻麦轮作 FACE 系统平台位于江苏省无锡市安镇年余农场 (120°27'51''E, 31°37'24''N)。土壤类型为黄泥土, 是太湖地区典型的水稻土类型, 土壤的基本性质见表 1。该地区降水量 1100 ~ 1200 mm, 平均温度约 16 °C。年日照时间 2000 h, 年无霜期天数 > 230 天, 耕作方式为水稻、冬小麦轮作。平台共有 3 个 FACE 试验圈和 5 个对照圈。白天对照圈内 CO₂ 浓度为 (380 ± 40) μmol/mol, FACE 圈内为 (580 ± 60) μmol/mol。试验采用裂区设计, CO₂ 浓度为主处理, N 水平为副处理。N 肥设常 N (250 kg/hm²)、高 N (350 kg/hm²) 两个水平。

表 1 供试土壤理化性质

Table 1 Properties of the soil tested

耕作层厚度 (cm)	体积质量 (g/cm ³)	总孔隙度 (%)	黏粒 (<0.005 mm) (g/kg)	有机质 (g/kg)	pH
13.0 ± 1.6	1.2 ± 0.7	54 ± 2	370	25.8 ± 0.4	6.8 ± 0.5

①国家自然科学基金项目 (40271066)、国家自然科学基金重点项目 (40231003) 和中国科学院创新方向项目 (KZCXZ-408) 共同资助。

* 通讯作者

1.2 试验设计

在 FACE 进行两个轮作后采集土样分离孢子,发现孢子数量太少 (<3 个/10 ml 土), 这给孢子鉴定带来困难,故采用室内盆栽富集后再鉴定的方法。在 FACE 系统运行稻麦轮作 2 个年度之后,取 FACE 圈及对照圈土样,风干、碾碎,过 0.5 cm 筛,装 1 kg 土样于塑料盆中,种植绿豆为宿主植物,每盆种植绿豆 4 穴,每穴 4 株,出苗后留苗 12 棵。于 2、4、6、10 周取样测定菌根侵染率,10 周后收获,采集土样进行孢子鉴定,每一处理设 3 个重复,随机放置于温室中培养。

1.3 测定方法

菌根侵染率测定:采用曲利苯蓝染色法^[5]。

土壤中 AM 真菌孢子的分离和鉴定:量取风干土样 10 ml,用湿筛倾注-蔗糖离心法^[5],分离、镜检孢子,记录每个属和某些种的孢子数,并根据 Schenck & Perez^[6]的“VA 菌根真菌鉴定手册”和 INVAM 国际网站 (invam.caf.wvu.edu) 的鉴定资料进行鉴定。

2 结果与分析

2.1 大气 CO₂ 浓度升高对土壤中 AM 真菌侵染能力的影响

从图 1 可以看出,在所有的处理中,在前 6 周内,侵染率逐渐增加,6 周时都达到 30 % 以上,从第 6 周到第 10 周菌根侵染率基本保持不变。在各处理中菌根侵染率均没有显著差异,说明不论是常

N 施肥还是高 N 施肥处理,大气 CO₂ 浓度升高对土壤中 AM 真菌侵染能力都没有显著影响。

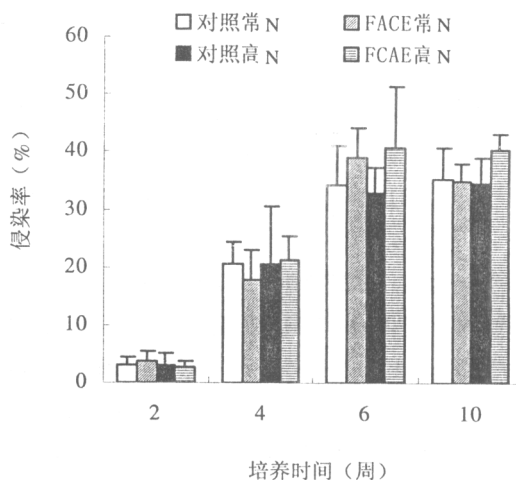


图 1 菌根真菌侵染率

Fig. 1 AM colonization

2.2 大气 CO₂ 浓度升高对土壤中 AM 真菌种类的影响

各处理中 AM 真菌见表 2、表 3。在所有处理中,正常 CO₂ 浓度、常 N 施肥处理中 AM 真菌的种类最多,其次是大气 CO₂ 浓度升高、常 N 施肥处理,最少的是正常 CO₂ 浓度、高 N 施肥处理。在所有处理中,均以 *Glomus* 属的 AM 真菌种类最多, *caulospora* 属在所有处理中均有发现,而 *Gigaspora* 属的 AM 真菌则只存在于正常 CO₂ 浓度条件下。

表 2 各处理中 AM 真菌种类

Table 2 AM fungi species in different soil samples

AM 真菌	FACE-NN	FACE-HN	CK-NN	CK-HN	AM 真菌	FACE-NN	FACE-HN	CK-NN	CK-HN
<i>A.bireticulata</i>	+	+	+	+	<i>G.deserticola</i>	+		+	
<i>A.excavata</i>	+	+	+	+	<i>G.diaphanum</i>	+	+	+	+
<i>A.longula</i>			+		<i>G.fasciculatum</i>	+	+	+	+
<i>A.mellea</i>	+	+	+		<i>G.lamellosum</i>	+		+	
<i>A.myriocarpa</i>		+	+	+	<i>G.leptotichum</i>	+	+	+	+
<i>A.spinasa</i>	+	+	+	+	<i>G.microaggregatum</i>	+	+	+	+
<i>A.undulata</i>	+		+		<i>G.microcarpum</i>	+		+	+
<i>G.aggregatum</i>	+	+	+	+	<i>G.mosseae</i>	+	+	+	+
<i>G.albidum</i>	+	+	+		<i>G.occultum</i>	+		+	
<i>G.claroidium</i>	+	+	+	+	<i>G.versiforme</i>			+	
<i>G.clarum</i>	+	+	+	+	<i>G.decipiens</i>			+	+
<i>G.convolutum</i>	+	+	+						

注: FACE-NN 为大气 CO₂ 升高、常 N 施肥处理, FACE-HN 为大气 CO₂ 升高、高 N 施肥处理, CK-NN 为正常 CO₂ 浓度、常 N 施肥处理, CK-HN 为正常 CO₂ 浓度、高 N 施肥处理, 下同。

表3 各处理中 AM 真菌种的数量

Table 3 Number of AM fungi species in different sample sites

	FACE-NN	FACE-HN	CK -NN	CK -HN
<i>Acaulospora</i>	5	5	7	4
<i>Glomus</i>	14	10	15	9
<i>Gigaspora</i>	0	0	1	1
总数	19	15	23	14

2.2 大气 CO₂ 浓度升高对土壤中 AM 真菌种的丰度的影响

本文中 AM 真菌种的丰度用两种指数来表示, SN 指一个生境中物种数目的多少; 另一丰度指数 SR 指每个土样中(10 ml 植物根际土壤)含有的 AM 真菌的平均数目, 即 $SR = \text{AM 真菌总种次数} / \text{土样数}$ 。各处理 AM 真菌种的丰度见表 4。在常 N 施肥处理中, 大气 CO₂ 浓度升高减少了土壤中 AM 真菌的种类总数 (SN), 但是却有增加每个土样中 AM 真菌平均种类数 (SR) 的趋势, 尽管统计差异不显著。在高 N 施肥处理中, 大气 CO₂ 浓度升高条件下 AM 真菌的丰度与正常 CO₂ 浓度升高条件下相比差异不明显。在同一 CO₂ 浓度条件下, 高 N 施肥降低了土壤中 AM 真菌的丰度。

表4 各处理中 AM 真菌种的丰度

Table 4 Species richness of AM fungi in different sample sites

	FACE-NN	FACE-HN	CK -NN	CK -HN
SN	19	15	23	14
SR	6.8 ± 0.50	6.0 ± 0.82	6.6 ± 1.14	5.6 ± 0.89

3 讨论

AM 真菌是土壤微生物区系中生物量最大、最重要的成员之一, 在地球生物圈中扮演着重要的角色, 对植物的进化、分布和生长发育起着至关重要的作用^[7]。大气 CO₂ 浓度升高一方面增加了植物光合作用, 增加了植物向根系分配的碳水化合物化合物的量, 另一方面大气 CO₂ 浓度升高改变了分配到根系中碳水化合物化合物的质量, 因此, AM 真菌可利用物质的数量和质量都发生改变^[8]。本试验中发现, 大气 CO₂ 浓度升高对土壤中 AM 真菌的侵染能力没有显著影响, 但是却改变了菌根真菌的多样性, 特别是大气 CO₂ 浓度升高条件下 *Gigaspora* 属的消失, 这可能是由于不同菌根真菌对大气 CO₂ 浓度升高的响应不

同^[9]。Treseder 等^[10]的研究也发现大气 CO₂ 浓度升高对不同菌根真菌影响不同, 但是他的研究认为大气 CO₂ 浓度升高对 *Acaulospora* 属和 *Scutellospora* 属的影响远大于对 *Glomus* 属和 *Gigaspora* 属的影响, 并推论随着大气 CO₂ 浓度升高 *Acaulospora* 属和 *Scutellospora* 属将在菌根区系中所占比例越来越大。而本试验中只发现 *Gigaspora* 所占比例越来越小, *Glomus* 属几乎没有变化。这可能与所观察到的菌根真菌种的不同、土壤和寄主植物的不同有关。本试验还发现, 在同一 CO₂ 浓度条件下, 高 N 施肥减少了土壤 AM 真菌的种类, 降低了 AM 真菌的丰度。这可能是因为土壤中 N 素含量过高不利于 AM 真菌发育和功能的发挥^[4]。Pande 等^[11]的研究也认为低土壤养分可提高 AM 真菌多样性, 而高土壤养分对 AM 真菌区系不利。

AM 真菌共生体在植物进化过程中可提高植物对环境和生态系统的适应能力^[12, 13]。AM 真菌具有丰富的多样性, AM 真菌多样性是保持植物多样性和植物功能多样性的重要因素, 当 AM 真菌的种类变化时, 植物的组成和微生物的组成也随之变化^[14]。大气 CO₂ 浓度升高改变了 AM 真菌多样性, 也将会改变陆地植物和微生物的多样性, 从而对整个陆地生态系统产生深远影响。因此, 在多种植被和多种菌根真菌以及微生物共存的情况下, 大气 CO₂ 浓度升高对植物和菌根真菌和微生物群落的影响这方面的研究很有价值, 深入研究极为重要。

参考文献

- 1 Vu JCV, Allen LHH Jr, Boote KJ, Shanmugam KT. Effects of elevated CO₂ and temperature on photosynthesis and rubisco in rice and soybean. *Plant Cell Environ.*, 1997, 20: 68 ~ 76
- 2 李伏生, 康绍忠. 两种氮水平下 CO₂ 浓度升高对冬小麦生长和氮磷浓度的影响. *土壤学报*, 2003, 40 (4): 599 ~ 605
- 3 马红亮, 朱建国, 谢祖彬, 张雅丽, 刘钢, 曾青. 开放式空气 CO₂ 浓度升高对水稻土壤可溶性 C、N 和 P 的影响. *土壤*, 2004, 36 (4): 392 ~ 397
- 4 刘润进, 李晓林. 丛枝菌根及其应用. 北京: 科学出版社, 2000
- 5 Kose RE, Gemma JN. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. *Mycology*, 1989, 92:486 ~

- 505
- 6 Schenck NC, Perez Y. Manual for identification of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi (INVAM). University of Florida, Gainesville, Florida, USA, 1990
 - 7 王发园, 林先贵, 周健民. 丛枝菌根与土壤修复. 土壤. 2004, 36 (3): 251 ~ 257
 - 8 Fitter AH, Heinemeyer A, Staddon PL. The impact of elevated CO₂ and global climate change on arbuscular mycorrhizas: A myc-centric approach. New Phytologist, 2000, 147: 179 ~ 187
 - 9 苑学霞, 林先贵, 尹睿. 菌根真菌对大气 CO₂ 浓度升高的响应. 应用与环境生物学报, 2005, 11 (5): 627 ~ 631
 - 10 Tresder KK. Alteration of soil carbon pools and communities of mycorrhizal fungi in chaparral exposed to elevated CO₂. Ecosystems, 2003, 6 (8): 786 ~ 796
 - 11 Pande M, Tarafdar JC. Arbuscular mycorrhizal fungal diversity in neem-based agroforestry systems in Rajasthan. Applied Soil Ecology, 2004, 26: 233 ~ 241
 - 12 Johnson NC, Graham JH, Smith FA. Functioning of mycorrhizal associations along the mutualism-parasitism continuum. New Phytologist, 1997, 135: 575 ~ 585
 - 13 廖继佩, 林先贵, 曹志洪. 红壤中丛枝菌根真菌对污泥态铜生物有效性的影响. 土壤学报, 2003, 40(6): 929 ~ 935
 - 14 Van der Heijden MGA, Klironomos JN, Ursic M, Moutoglou P, Streitwolf-Engel R, Boller T, Wiemken A, Sanders JR. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. Nature, 1999, 396: 69 ~ 72

EFFECT OF ELEVATED ATMOSPHERIC CO₂ ON ARBUSCULAR MYCORRHIZAL DIVERSITY IN PADDY-WHEAT FIELD

YUAN Xue-xia^{1, 2, 3} LIN Xian-gui^{1, 2} ZHANG Hua-yong^{1, 2} YIN Rui^{1, 2}
CHU Hai-yan^{1, 2} ZHU Jian-guo⁴

(1 Laboratory of Biology and Biochemistry, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008;

2 Joint Open Laboratory of Soil and the Environment, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences and Hongkong Baptist University, Nanjing 210008; 3 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049; 4 State Key Laboratory

of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008)

Abstract Effect of elevated atmospheric CO₂ on arbuscular mycorrhizal diversity in paddy-wheat field was investigated. Results showed that no significant effect was found on AM fungal colonization, but in the treatment of normal N application rate, it decreased the total number of AM fungal total species, and however, had no significant effect on the average number of species in every soil sample. In treatments of higher N application rate, the effect on number of species was insignificant. Higher N fertilization decreased AM fungal diversity both in treatments of normal and elevated atmospheric CO₂.

Key words Elevated atmospheric CO₂, AM fungi, Diversity