西北林学院学报 2007，22(6)：44～47
Journal of Northwest Forestry University

大气 CO_2 浓度升高对红松和长白赤松幼苗非根际土壤微生物的影响

贾 夏[1,2]， 韩士杰[2*]， 赵永华[3]， 周玉梅[2]

(1. 长安大学 环境科学与工程学院，陕西 西安 710054；2. 中国科学院 沈阳应用生态研究所，辽宁 沈阳 110016；
3. 长安大学 资源学院，陕西 西安 710054)

摘 要：以连续 5 a 不同 CO_2 浓度处理的长白赤松和红松幼苗为对象，采用 CFU(活细胞计数)菌落计数法研究了大气 CO_2 浓度对幼苗非根际土壤微生物数量的影响。结果表明：高浓度 CO_2(700 $\mu mol \cdot mol^{-1}$和 500 $\mu mol \cdot mol^{-1}$)处理对长白赤松和红松幼苗非根际土壤细菌数量具有显著的($p < 0.01$)抑制作用，对真菌数量亦有抑制作用。大气 CO_2 浓度升高对红松幼苗非根际土壤放线菌数量具有抑制作用($p < 0.05$)，而对长白赤松幼苗土壤放线菌数量没有明显的影响。

关键词：高浓度 CO_2；土壤微生物；影响

中图分类号：S718.8　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1001-7461(2007)06-0044-04

Effects of Elevated Atmospheric CO_2 on Microflora in Non-rhizosphere Soil of *Pinus koraiensis* and *P. sylvestriformis* Seedlings

JIA Xia[1,2]， HAN Shi-jie[2]， ZHAO Yong-hua[3]， ZHOU Yu-mei[2]

(1. *Environmental Science and Engineering College, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi* 710054, *China*; 2. *Institute of Applied Ecology, the Chinese Academy of Science, Shenyang, Liaoning* 110016, *China*; 3. *Colloge of Earth Science and Land Resources Management, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi* 710054, *China*)

万方数据

Abstract: The response of soil microflora in the non-rhizosphere soil of *Pinus koraiensis* and *P. sylvestriformis* seedlings to elevated CO_2 (700 and 500 $\mu mol \cdot mol^{-1}$) was studied. The results indicated that soil bacterial number decreased significantly ($P < 0.01$), and soil fungi number also decreased ($P < 0.05$), but not as significant as the decrease of bacterial number. The amount of soil actinomycosis decreased ($P < 0.05$) under elevated CO_2 in the non-rhizosphere soil of *P. koraiensis* seedlings, however, no regularities were found between the number of actiomycetes in the non-rhizosphere soil of *P. sylvestriformis* seedlings and CO_2 enrichment.

Key words: elevated CO_2; soil microflora; effect

大量研究表明，植物在高浓度 CO_2 条件下，其生物量、根系分泌物、细根周转率、根际沉积量等发生了很大的变化[1～4]。同时，大气中高浓度 CO_2 会导致植物根系干重增加，根系生长更快以致延伸更远，由此导致了植物根际土壤过程发生改变[4]，进而对微生物生长、代谢及其种类和数量等产生间接的影响[5～8]，如细菌和真菌的数量随着水稻生长阶段的进程而逐渐增加，且在短时间 FACE(Free-Air Enrichment，开放式空气 CO_2 浓度升高)系统下，细菌数量受高浓度 CO_2 的影响较真菌大[9]，一些与植物生长密切相关的生物类群如解磷细菌、硝化细菌的数量也有所增加[10]；Ronn 等[11]发现，CO_2 浓度升高对土壤细菌数量没有影响；也有人研究发现高浓度 CO_2 处理能引起菌根最初的侵染增加[12]，菌丝大量增殖，植物根系与固氮微生物的共生加强，固氮活性提高[3,13]。

土壤微生物在生态系统中对有机质分解、营养物质转化、土壤结构的保持以及温室气体的产生等起着重要作用[14,15]。目前，有关大气 CO_2 浓度升高对土壤微生物影响的研究很少[16]，尤其对高浓度

收稿日期：2007-01-16　**修回日期**：2007-06-03
基金项目：国家自然科学基金项目(90411020)；国家重点基础研究发展规划资助项目(2002CB412502)
作者简介：贾夏(1975-)，女，陕西榆林人，博士，讲师，主要从事植物化学和土壤微生物分子生物学研究。
*通讯作者：韩士杰。

CO_2影响树木根际微生物方面研究更少。森林土壤微生物在森林枯枝落叶分解、土壤腐殖质的合成、土壤养分循环、物质和能量代谢过程中具有重要的作用。同时，土壤微生物生态系统中微生物种群、数量、组成、结构及其活性随着环境条件变化而变化[17]，其中，微生物活细胞数量是环境变化最敏感的一项生物指标。本文以连续5 a在生长季以高浓度CO_2处理的红松(*Pinus koraiensis*)和长白赤松(*P. sylvestriformis*)幼苗非根际土壤为研究对象，对其微生物数量变化进行了研究，试图从土壤微生物数量变化方面来阐述针叶树种对高浓度CO_2的响应规律，从而为大气CO_2浓度升高对森林土壤微生物数量的影响提供基础资料。

1　材料与方法

1.1　材料

试验地设在中国科学院长白山森林生态系统开放研究站院内，海拔约740 m。土壤类型为火山灰母质上发育的暗棕壤。表1为供试土壤的基本参数[9]。

试材选用5 a生(连续5 a在5—10月昼夜以高浓度CO_2熏蒸处理)红松(*Pinus koraiensis*)和长白赤松(*P. sylvestriformis*)幼苗。幼苗种植于1.2 m×0.9 m×0.9 m的开顶箱(OTCs)内，控制CO_2浓度分别为700 μmol·mol^{-1}和500 μmol·mol^{-1}，对照箱大气CO_2浓度和裸地大气CO_2浓度约350 μmol·mol^{-1}。CO_2浓度控制方式为距离箱底部0.6 m处固定内径为2 cm的硬塑料管，管的表面均匀扎以小孔，CO_2由此注入箱内，定期检测CO_2浓度，误差控制在±30 μmol·mol^{-1}。定期灌水，以保证各处理下土壤水分相同，各个开顶箱之间相距较远，彼此间小气候差异可忽略不计。

1.2　方法

2003年7—9月中旬，以多点混合法采集开顶箱内0～10 cm层土样，过2 mm筛，带回实验室立即进行微生物数量分析。

微生物数量采用CFU(colony-forming units)菌落计数法(活细胞计数法)测定；细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基测定；真菌采用孟加拉红－马丁氏(Martin)培养基测定；放线菌采用改良高氏一号培养基测定。

表1　供试土壤的基本参数

Table 1　Characters of the soils involved

万方数据

参数名称	树种	700 μmol·mol^{-1}	500 μmol·mol^{-1}	对照	裸地
全氮/(g·kg^{-1})	红松	0.36	0.34	0.36	0.32
	长白赤松	0.36	0.36	0.33	0.35
有机碳/(g·kg^{-1})	红松	5.68	5.40	5.33	4.55
	长白赤松	5.72	5.13	5.25	5.39

2　结果与分析

2.1　CO_2浓度升高对红松和长白赤松幼苗非根际土壤细菌数量的影响

由表2可以看出，在7、8月份，与对照和裸地相比，红松幼苗非根际土壤细菌数量在高浓度CO_2条件下极显著降低($p < 0.01$)，且700 μmol·mol^{-1}条件下较500 μmol·mol^{-1}条件下对红松幼苗非根际土壤细菌数量的抑制作用稍强；9月份，细菌数量随CO_2浓度升高而减少，但差异不显著。且同一处理下，红松幼苗非根际土壤细菌数量表现为7月＞8月＞9月，这个规律与传统结论相同[16]。由此可以得出，当大气CO_2浓度升高时，红松幼苗非根际土壤细菌数量减少，这可能是由于根际土壤细菌数量的增加[18]对微生物C、N源的竞争、土壤C/N比增加、土壤N源的限制、土壤团粒结构的降低[19]等引起的，当然也与土壤温、湿度的变化亦有关。

7—9月份，与对照和裸地相比，高浓度CO_2对长白赤松幼苗非根际土壤细菌数量具有显著($P < 0.01$)的抑制作用(除9月份500 μmol·mol^{-1} CO_2处理之外)，且700 μmol·mol^{-1} CO_2处理较500 μmol·mol^{-1} CO_2处理的作用大。同一浓度CO_2处理时，土壤中细菌数量表现为7月＞8月＞9月。长白赤松幼苗非根际土壤细菌数量变化规律与红松幼苗非根际土壤细菌变化规律相似，即大气CO_2浓度升高，对长白赤松幼苗非根际土壤细菌数量产生了抑制作用，这一变化可能是由于进入到土壤中的有机残体和中间产物的分解在大气CO_2浓度升高时随着土壤温、湿度的变化而降低[19]，从而导致细菌可利用基质不利于其生长和繁殖，最终导致其数量降低。

通过分析可以看出，大气CO_2浓度升高对红松和长白赤松幼苗非根际土壤细菌数量具有显著的($P < 0.01$)抑制作用。

表2 高浓度 CO_2 条件下红松和长白赤松幼苗非根际土壤细菌数量①

Table 2 Effect of elevated CO_2 on soil bacterial number in the non-rhizosphere soil of *P. koraiensis* and *P. sylvestriformis* seedlings 10^3 个·g^{-1}

CO_2 浓度/(μmol·mol^{-1})	红松			长白赤松		
	7月	8月	9月	7月	8月	9月
700	801±45.10**	3.16±0.46**	2.88±0.90	575±30.00**	4.02±0.36**	1.37±0.15**
500	819±15.10**	3.85±0.87**	3.36±0.45	749±15.37**	4.74±0.15**	3.10±0.52
对照(约350)	5380±15.31	43.1±9.80	4.72±0.45*	9340±73.07**	41.12±1.20	2.87±0.29*
裸地(约350)	5370±33.00	47±3.17	3.45±0.45	4670±70.00	42.20±5.77	3.51±0.25

①与裸地条件相比** $P<0.01$；* $P<0.05$。下表同。

2.2 CO_2 浓度升高对红松和长白赤松幼苗非根际土壤真菌数量的影响

由表3可知，在7、9月份，与对照和裸地处理相比，红松幼苗非根际土壤真菌数量在高浓度 CO_2 条件下表现为抑制作用，且9月份真菌数量受700 μmol·mol^{-1} CO_2 的抑制作用较显著($P<0.05$)；8月份，土壤真菌数量在高浓度 CO_2 条件下却出现了显著($P<0.01$)增加的现象，由上述结果可以得出，高浓度 CO_2 对红松幼苗非根际土壤真菌数量主要表现为抑制作用。

表3 不同 CO_2 浓度条件下红松和长白赤松幼苗非根际土壤真菌数量

Table 3 Effect of elevated CO_2 on soil fungi number in the non-rhizosphere soil of *P. koraiensis* and *P. sylvestriformis* seedlings 10^3 个·g^{-1}

CO_2 浓度/(μmol·mol^{-1})	红松			长白赤松		
	7月	8月	9月	7月	8月	9月
700	1.59±0.09	0.399±0.20*	0.058±0.01*	1.49±0.20	0.40±0.05*	0.11±0.01**
500	1.43±0.10*	0.0724±0.01**	0.15±0.03	1.16±0.17	0.24±0.19	0.10±0.01**
对照(约350)	1.80±0.11	0.039±0.01	0.13±0.09	1.31±0.19	0.64±0.18	0.13±0.05**
裸地(约350)	2.07±0.30	0.0384±0.01	0.17±0.05	1.48±0.50	0.53±0.05	0.77±0.10

万方数据

研究表明(表3)，7、8月份，与对照和裸地相比，长白赤松幼苗非根际土壤真菌数量在高浓度 CO_2 条件下变化不显著。由此可见，长白赤松幼苗非根际土壤真菌数量受高浓度 CO_2 影响较小，这与以往学者对水稻土壤真菌数量[16]的研究结论相似。但是，9月份高浓度 CO_2 对长白赤松幼苗非根际土壤真菌数量具有显著($P<0.01$)的抑制作用，同时对照箱处理下的非根际土壤真菌数量也显著($P<0.01$)降低，说明开顶箱的温室效应在9月份较为显著。

通过对红松和长白赤松幼苗非根际土壤真菌数量的研究结果可以看出，大气 CO_2 浓度升高对其幼苗非根际土壤真菌数量主要起着抑制作用，但没有细菌显著。

2.3 CO_2 浓度升高对红松和长白赤松幼苗非根际土壤放线菌数量的影响

由表4可知，除7月份500 μmol·mol^{-1} CO_2 条件下和8月份700 μmol·mol^{-1} CO_2 条件下红松幼苗非根际土壤放线菌数量显著增加外，大气 CO_2 浓度升高对红松幼苗土壤放线菌数量具有抑制作用。7月份和8月份，在700 μmol·mol^{-1} CO_2 条件下较对照增多，而500 μmol·mol^{-1} CO_2 对其影响没有明显的规律。9月份，高浓度 CO_2 对长白赤松幼苗非根际土壤放线菌数量的影响不显著。

表4 不同 CO_2 浓度条件下红松和长白赤松幼苗非根际土壤放线菌数量

Table 4 Effect of elevated CO_2 on the streptomyces numbers in the non-rhizosphere soil of *P. koraiensis* and *P. sylvestriformis* seedlings 10^3 个·g^{-1}

CO_2 浓度/(μmol·mol^{-1})	红松			长白赤松		
	7月	8月	9月	7月	8月	9月
700	257±5.00	6.22±0.6*	15.6±5.00**	325.00±45.00	57.80±3.00*	29.40±3.50
500	309±16.16**	2.07±0.45*	33.1±10.80	218.00±18.06	15.10±2.32**	30.30±1.93
对照	300±15.48**	5.32±1.50	39.4±3.45	232.00±48.73	10.40±5.50**	35.8±1.12
裸地	237±16.50	4.08±1.00	48.9±10.10	213.00±70.00	50.20±2.50	31.70±3.50

3　结论与讨论

高浓度 CO_2 处理对长白赤松和红松幼苗非根际土壤细菌数量具有显著的抑制作用。

大气 CO_2 浓度升高对长白赤松和红松幼苗非根际土壤真菌数量主要起着抑制作用，但没有细菌显著。

高浓度 CO_2 对红松幼苗非根际土壤放线菌数量主要起着抑制作用，而对长白赤松幼苗非根际土壤放线菌数量的影响没有明显的规律性。

由于土壤 CO_2 浓度是大气 CO_2 浓度的 10～50 倍，故大气 CO_2 浓度升高对土壤微生物数量的直接影响是不可能的[21]，所以红松和长白赤松幼苗土壤微生物数量的变化是由其生理生化过程等受高浓度 CO_2 的影响而间接引起的。

高浓度 CO_2 对非根际土壤真菌数量的抑制作用没有细菌显著，可能与真菌自身的生理特性如可以以纤维素、木质素等高分子化合物为 C 源而存活等原因有关。而长白赤松幼苗非根际土壤放线菌数量变化的不稳定性有可能表明大气 CO_2 浓度升高对其影响存在一个临界浓度，在这个浓度附近，会引起放线菌数量变化的不稳定，在本研究中，该值为 500～700 $\mu mol \cdot mol^{-1}$，当然要得出具体结论尚需更进一步的研究。总之，高浓度 CO_2 处理对长白赤松和红松幼苗非根际土壤细菌和真菌数量具有抑制作用，对红松幼苗非根际土壤放线菌数量也主要起抑制作用，但对长白赤松幼苗非根际土壤放线菌数量的影响却没有明显的规律性，这个结果同时也表明了不同树种之间非根际土壤微生物数量受高浓度 CO_2 的影响不同。

万方数据

参考文献：

[1] Cardon Z G. Influence of rhizodeposition under elevated CO_2 on plant nutrition and soil organic matter[J]. Plant and Soil, 1996,187:277-288.

[2] Hodge A, Paterson E, Grayston S, et al. Characterisation and microbial utilization of exudates material from the rhizosphere of *Lolium perenne* grown under CO_2 enrichment[J]. Soil Biology & Biochemistry, 1998,30:1033-1043.

[3] 丁莉，白克智，张崇浩. 大气 CO_2 浓度增加对根瘤和菌根活动的影响[J]. 湖北民族学院学报，1997,15(3):6-9.

[4] Martin O P, Robert M R. The influence of plants grown under elevated CO_2 and N fertilization on soil nitrogen dynamics[J]. Global Change Biology, 2002,8:643-657.

[5] Diaz S, Grime J P, Harris J, et al. Evidence for a feedback mechanism limiting plant response to elevated carbon dioxide [J]. Nature, 1993,364:616-617.

[6] Korner C, Arnone J A III. Responses to elevated carbon dioxide in artificial tropical ecosystems[J]. Science, 1992,257:1672-1675.

[7] Lambers H. Rising CO_2, Secondary plant metabolism, plant-herbivore interactions and litter decomposition[J]. Vegetatio, 1993,105:263-271.

[8] Ogers H H, Runion G B. Plant responses to atmospheric CO_2 enrichment with emphasis on roots and the rhizophere[J]. Environment Pollution, 1994,83:155-189.

[9] 徐国强，李杨，史奕，等. 开放使空气 CO_2 浓度增高(FACE)对稻田土壤微生物的影响[J]. 应用生态学报，2002,13(10):1358-1359.

[10] Zak D R, Pregitzer K S, Curtis P S, et al. Elevated atmospheric CO_2 and feedback between carbon and nitrogen cycles[J]. Plant and Soil, 1993,151:105-117.

[11] Ronn R, Gavito M, Larsen J, et al. response of free-living soil protozoa and microorganisms to elevated atmospheric CO_2 and presence of mycorrhiza[J]. Soil Biology Biochemistry, 2002,34:923-932.

[12] O'Neill E G, Luxmoore R J, Norby R J. Increases in mycorrhizal colonization and seedling growth in Pinus echinata and *Quercus alba* in an enriched CO_2 atmospheric[J]. Candon Journal Forest Research, 1987,17:878-883.

[13] 丁莉，白克智. 大气 CO_2 浓度倍增对植物某些生理特性的影响[J]. 湖北民族学院学报，1998,16(6):1-4.

[14] 张丽莉，张玉兰，陈利军，等. 稻-麦轮作系统土壤糖酶活性对开放式 CO_2 浓度增高的响应[J]. 应用生态学报，2004,15(6):1019-1024.

[15] 张玉兰，张丽莉，陈利军，等. 稻-麦轮作系统土壤水解酶及氧化还原酶活性对开放式 CO_2 浓度增高的响应[J]. 应用生态学报，2004,15(6):1014-1018.

[16] 李杨，黄国红，史奕. 大气 CO_2 浓度升高对农田土壤微生物及其相关因素的影响[J]. 应用生态学报，2003,14(12):2321-2325.

[17] 张惠文. 复合农药胁迫下黑土土壤微生物生态过程及分子生态学研究[D]. 沈阳：中国科学院沈阳应用生态研究所，2003.

[18] 贾夏，韩世杰，周玉梅. 不同二氧化碳浓度条件下红松和长白赤松幼苗根际土壤微生物数量研究[J]. 应用生态学报，2005,16(7):1295-1298.

[19] Niklaus P A, Alphei J, Ebersberger D, et al. Six years of in situ CO_2 enrichment evoke changes in soil structure and soil biota of nutrient-poor grassland[J]. Global Change Biology, 2003,9:585-600.

[20] 郭建平，高素华. 植物对高 CO_2 和土壤干旱的响应趋势及对策[J]. 水土保持学报，2004,18(2):170-173.

[21] Bruce K D, Jones T H, Bezemer T M, et al. The effect of elevayed atmospheric carbon dioxide levels on soil bacterial communities[J]. Global Change Biology, 2000,6:427-434.