

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*

贾夏^{1,2,3} 韩士杰^{1**} 周玉梅¹ 张军辉¹ 邹春静¹

(¹中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016; ²长安大学国土资源学院, 西安 710064; ³中国科学院研究生院, 北京 100039)

【摘要】 以连续5年不同CO₂浓度(开顶箱700 μmol·mol⁻¹、500 μmol·mol⁻¹、对照箱和裸地)处理的长白赤松和红松幼苗为研究对象,在2003年7~9月分别对幼苗根际土壤细菌、真菌、放线菌数量进行比较研究.结果表明,高浓度CO₂处理对长白赤松幼苗根际土壤细菌数量起显著的($P \leq 0.001$)促进作用,对根际真菌和放线菌数量的促进作用却不明显;对红松来说,除8月份700 μmol·mol⁻¹CO₂处理和7月份500 μmol·mol⁻¹CO₂处理之外,在各月份中受高浓度CO₂处理的根际土壤细菌数量均较对照箱和裸地显著增多($P \leq 0.001$),而根际土壤真菌数量变化除9月份($P \leq 0.001$)外均不明显,放线菌数量受高浓度CO₂的影响亦不明显.

关键词 CO₂浓度 根际土壤 细菌 真菌 放线菌

文章编号 1001-9332(2005)07-1295-04 **中图分类号** S154.36 **文献标识码** A

Effects of elevated CO₂ concentration on rhizosphere soil microbes under *Pinus koraiensis* and *Pinus sylvestris* seedlings. JIA Xia^{1,2,3}, HAN Shijie¹, ZHOU Yumei¹, ZHANG Junhui¹, ZOU Chunjing¹ (¹Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; ²Territorial Resources College of Chang'an University, Xian 710064, China; ³Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2005, 16(7): 1295~1298.

The study showed that under *Pinus sylvestris* seedlings, the amount of rhizosphere soil bacteria, but not fungi and actinomycetes, increased significantly ($P \leq 0.001$) with CO₂ enrichment (700 and 500 μmol·mol⁻¹), and the same ($P \leq 0.001$) was under *Pinus koraiensis* seedlings, with the exceptions of 700 μmol CO₂·mol⁻¹ in August and 500 μmol CO₂·mol⁻¹ in July, compared to the ambient chamber and the ambient in each month. No significant effect of elevated CO₂ was found on the amount of rhizosphere soil fungi except in September ($P \leq 0.001$), and the response of actinomycetes to elevated CO₂ was also insignificant.

Key words CO₂ concentration, Rhizosphere soil, Bacteria, Fungi, Actinomycetes.

1 引言

大气CO₂浓度已从工业革命前的280 μmol·mol⁻¹升高到现在的380 μmol·mol⁻¹,且每年仍以0.5%的速度上升,据估计,到2050年左右,将在450~550 μmol·mol⁻¹之间^[6],大气CO₂浓度的升高对陆地生态系统影响的研究已经成为今后全球变化预测研究的热点,已有大量研究表明,植物在高浓度CO₂条件下,其生物量、根系分泌物、细根周转率、根际沉积量等均发生了很大变化^[1,6,13,14,16,19],同时,高浓度大气CO₂会导致植物根系干重增加、根系生长更快以致延伸更远,由此而导致了植物根际土壤过程会发生改变^[15],进而对微生物生长、代谢活动及其种类和数量等产生间接的影响^[2,8,9,17].已有研究表明,细菌和真菌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CO₂浓度升高)系统下,细

菌数量受高浓度CO₂的影响较真菌大^[21],一些和植物生长密切相关的生理类群如解磷细菌、硝化细菌的数量也有所增加^[22],而Ronn^[20]发现,CO₂浓度升高对土壤细菌数量无影响;也有人研究发现,高浓度CO₂处理能引起菌根最初侵染增加^[13],菌丝大量增值^[3,4],植物根系与固氮微生物共生加强,固氮活性大大提高^[3].土壤微生物在生态系统对有机质分解、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^[23,24],但目前有关大气CO₂浓度升高对土壤微生物影响的了解还很少^[10],尤其对高浓度CO₂影响树木根际微生物方面研究更少,本文以连续5年在生长季经过不同高浓度CO₂处理的红松(*Pinus koraiensis*)和长白赤松

* 中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-SW-01)和国家重点基础研究发展规划资助项目(2002CB412502).

** 通讯联系人.

2004-07-06收稿,2004-10-02接受.

(*Pinus sylvestrisformis*) 幼苗根际土壤为研究对象, 对其根际土壤微生物进行数量动态研究, 试图从根际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.

2 研究地区与研究方法

2.1 样点概况

实验地设在中国科学院长白山森林生态系统开放研究站内, 海拔高度约 740 m, 土壤类型为火山灰母质上发育的暗棕壤. 研究试材为 5 年生(连续 5 年高浓度 CO_2 熏蒸处理)的红松与长白赤松幼苗. 采用开顶箱方式进行高浓度 CO_2 处理, 幼苗受控 CO_2 浓度分别为 700、500 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 、对照箱(环境 CO_2 浓度)和裸地, CO_2 控制采用开顶箱(OTCs)系统. 各箱之间相距较远, 彼此间小气候差异可忽略不计. 在 2003 年于幼苗生长季的 7、8 和 9 月, 以多点混合法采集开顶箱内 0~10 cm 层根系样品, 带回实验室立即进行细菌、真菌与放线菌数量分析.

2.2 研究方法

根际土样的采集方法采用抖落法, 即抖掉根系绝大部分土壤, 将抖不掉的部分用无菌水以 225 $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 振荡洗涤(每 10 ml 水加 1 g 根). 根际土重量的计算: 根际土(g) = 总根重(g) - 除去土后的根重(g).

微生物数量采用 CFU 菌落计数法, 细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基, 真菌采用孟加拉红-马丁氏培养基, 放线菌采用改良高氏 1 号培养基.

数据处理采用 SPSS10.1 进行.

3 结果与讨论

3.1 不同 CO_2 浓度对根际土壤细菌数量的影响

不同 CO_2 浓度处理下根际土壤细菌数量动态表明, 长白赤松根际土壤细菌数量在 500 和 700 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ CO_2 处理下均较对照箱和裸地显著增高 ($P \leq 0.001$), 且在同一月份中受 500 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$

CO_2 处理的根际土壤细菌数量均较 700 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ CO_2 处理下的高; 同一水平 CO_2 处理在不同月份之间均表现为 7 月和 9 月细菌数量较 8 月显著增高 ($P \leq 0.001$)(图 1a). 这一结果表明, 长白赤松根际土壤细菌数量受高浓度 CO_2 的影响较大, 其原因可能与高浓度 CO_2 条件下长白赤松净生产力增加的同时^[25], 根系分泌物、根系生物量、细根周转、地下碳分配量^[17]可能增加等有关, 根系分泌物的增加势必会影响根际土壤细菌 C、N 源在数量和结构等方面的改变^[7, 11, 15], 从而可能会引起细菌数量发生变化. 受高浓度 CO_2 的影响, 长白赤松光合作用的增强有可能刺激根系分泌物的增加及其组分结构的改变, 且由于生长积累, 可能会造成根际 C 的沉积, 从而导致细菌可利用 C 源在数量和结构方面发生改变, 此外, 高浓度 CO_2 亦会造成土壤湿度的增加^[5], 这些原因都会对细菌数量造成影响.

在高浓度 CO_2 条件下, 除 8 月份 700 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ CO_2 处理和 7 月份 500 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ CO_2 处理之外, 在各月份中红松根际土壤细菌数量均较对照和裸地显著增多 ($P \leq 0.001$), 且在同一水平 CO_2 处理下, 9 月根际土壤细菌数量较 7 月显著增多 ($P \leq 0.001$), 而在 8 月, 根际土壤细菌数量在 700 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ CO_2 处理下较 7、9 两月显著降低 ($P \leq 0.001$), 在 500 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ CO_2 处理下却远远高于 7、9 两月(图 1b). 这可能与高浓度 CO_2 处理下, 红松根系分泌物的增加及其结构可能发生的变化、细根总量的增加、根际 C 沉积增加等原因有关^[17]. 有研究证明, 在高浓度 CO_2 处理下, 土壤湿度、根干重^[11]、C/N 比、无机质输入^[8]等会增加, 这些因素都对细菌数量增加有着较大贡献.

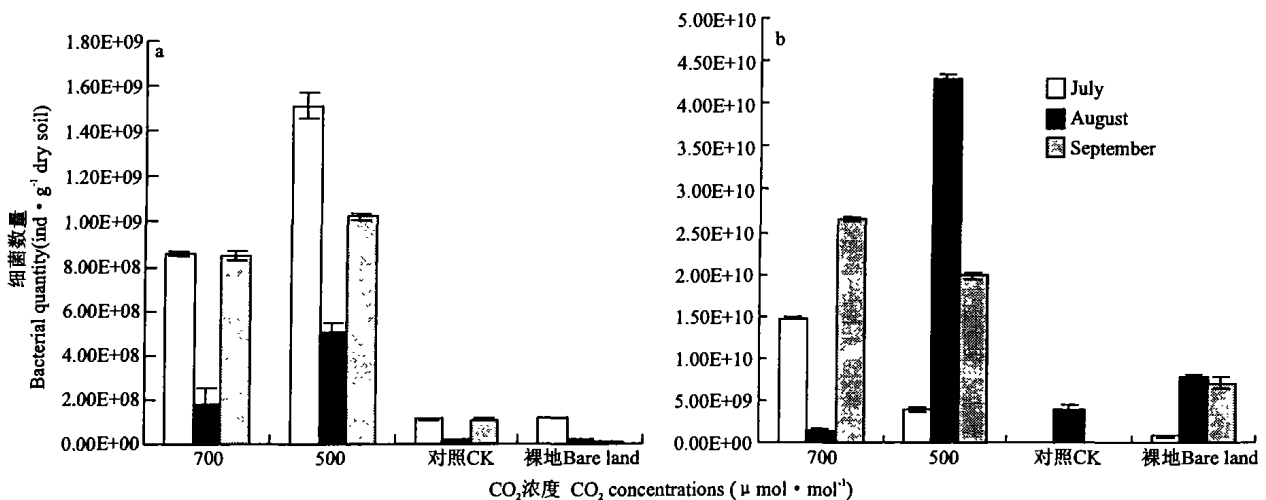


图 1 不同 CO_2 浓度条件下长白赤松(a)和红松(b)根际土壤细菌数量月动态

Fig. 1 Monthly dynamic of bacterial quantity from rhizosphere soils of *Pinus sylvestrisformis* (a) and *Pinus koraiensis* (b) under different CO_2 concentration.

3.2 不同 CO₂ 浓度对根际土壤真菌数量的影响

根际土壤真菌数量的月动态变化表明,与对照和裸地组相比,除9月700 μmol·mol⁻¹CO₂处理和8月500 μmol·mol⁻¹CO₂处理之外,长白赤松根际土壤真菌数量受高浓度CO₂处理的影响不明显,且同一水平CO₂处理在不同月份中根际土壤真菌数量变化表现为:9月>8月>7月,这可能与9月份各种条件较其他两月更适宜于真菌生长等有关.在整个生长季节里,长白赤松根际土壤真菌数量变化在不同CO₂浓度处理之间不是很明显,只有9月份例外,这可能与9月份长白赤松生长积累较为丰富、根系沉积增加及气候较为干旱等有关.尽管在生长季节里,高浓度CO₂导致根系分泌物增加会引起微生物C源数量和结构等发生改变,但由于真菌对C源等条件的要求较细菌高,这些原因极可能与长白赤松根际土壤真菌数量变化不大有关,但它们的群

落、种群结构是否会改变,这还需要从分子水平去研究.

在不同CO₂浓度处理之间(图2b),红松根际土壤真菌数量变化除9月份($P \leq 0.001$)外均不明显,且同一水平CO₂处理下,红松根际土壤真菌数量变化顺序均为:9月>8月>7月.9月份红松根际土壤真菌数量在高浓度CO₂条件下都较对照和裸地高,表明9月份高浓度CO₂在促进红松根际土壤真菌的生物量有促进作用.高浓度CO₂在促进植物光合作用的同时,其地下根系外溢的物质也会随之增加,造成根际C沉积的增加,这样就直接地提高和丰富了真菌可利用C源,利于其生长,最终引起其数量的增多.7月长白山土壤湿度较高^[25],而过高湿度不利于真菌生长,极可能导致真菌数量的降低.

3.3 不同 CO₂ 浓度对根际土壤放线菌数量的影响

由图3可以看出,除9月700 μmol·mol⁻¹CO₂

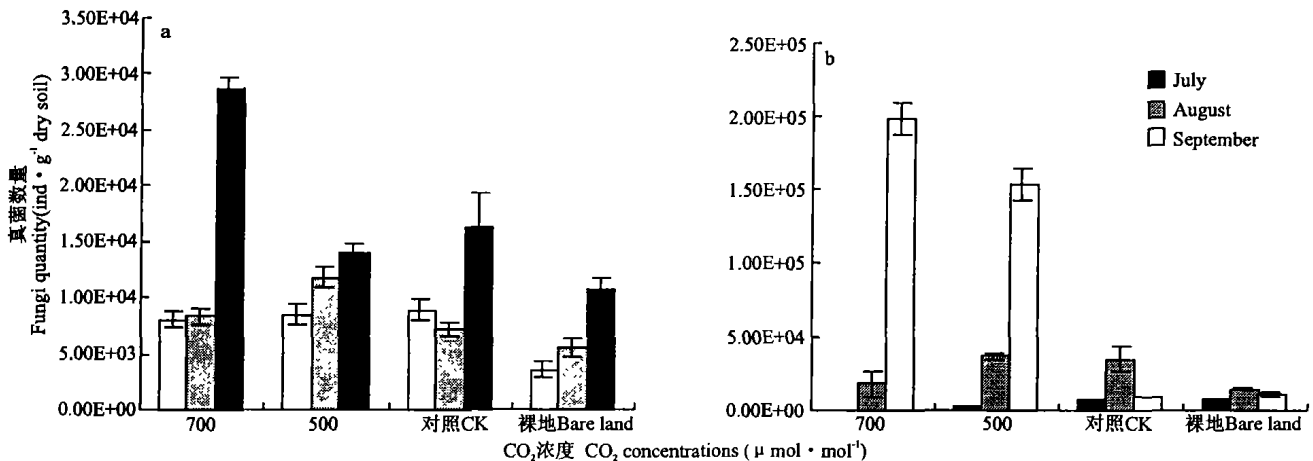


图2 不同CO₂浓度条件下长白赤松(a)和红松(b)根际土壤真菌数量月动态

Fig.2 Monthly dynamic of fungi quantity from rhizosphere soils of *Pinus sylvestrisformis* (a) and *Pinus koraiensis* (b) under different CO₂ concentrations.

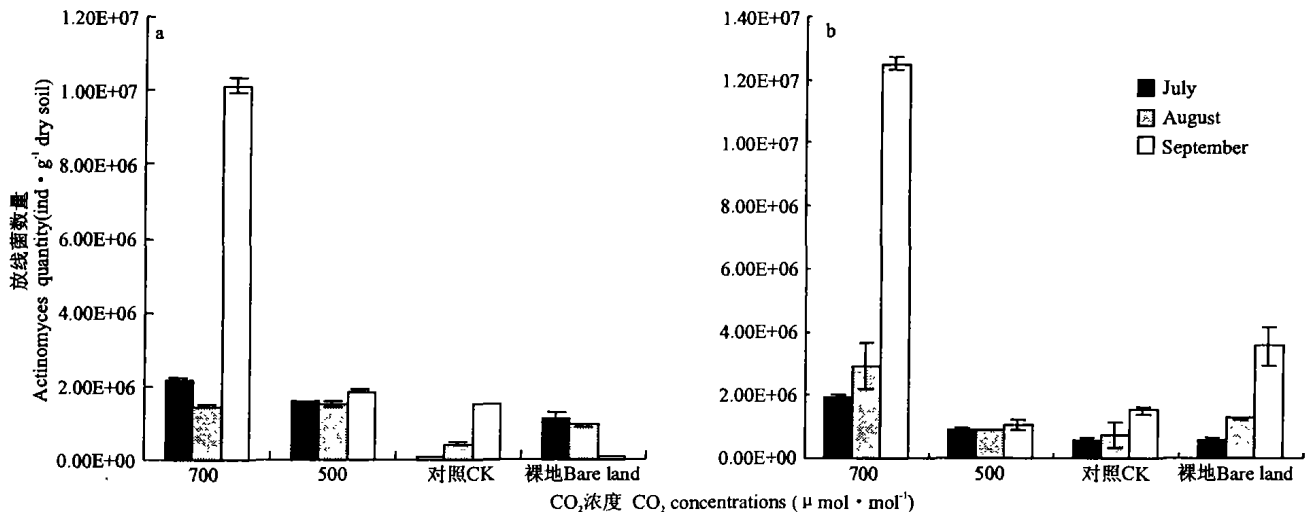


图3 不同CO₂浓度条件下长白赤松(a)和红松(b)根际土壤放线菌数量月动态

Fig.3 Monthly dynamic of actinomycete quantity from rhizosphere soils of *Pinus sylvestrisformis* (a) and *Pinus koraiensis* (b) under different CO₂ concentrations.

处理($P \leq 0.001$)之外,长白赤松和红松根际土壤放线菌数量在不同 CO_2 浓度处理之间以及同一处理水平在各月份之间的差异均不显著,说明高浓度 CO_2 处理对根际土壤放线菌数量影响不明显或不产生影响。

4 结 语

长白赤松根际土壤细菌数量受高浓度 CO_2 的影响较大,这与高浓度 CO_2 条件下长白赤松根系分泌物、根系生物量、细根周转、地下碳分配量^[18]增加有关。对根际土壤真菌和放线菌数量来说,除 9 月份 $700 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1} \text{CO}_2$ 处理外,受高浓度 CO_2 的影响不显著。这一结果可能由于植物根际土壤微生物群落主要以土著细菌为主,而放线菌和真菌处于竞争劣势,从而导致其数量增加较为困难。

对红松幼苗来讲,在同一月份里,受高浓度 CO_2 处理的红松根际土壤细菌数量与对照箱和裸地相比主要表现为增加;在不同月份中,除了 7 月份 $700 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1} \text{CO}_2$ 处理下红松根际细菌数量较其它处理低外,受高浓度 CO_2 处理的细菌数量均较对照和裸地高。这与高浓度 CO_2 处理下,红松根系分泌物增加及其结构可能发生变化、细根总量亦会增加、根际 C 沉积增加等^[18]密切相关。对真菌和放线菌来说,除 9 月份外,均不受高浓度 CO_2 处理的影响,说明高浓度 CO_2 对根际土壤真菌和放线菌数量不产生影响或影响不明显。这与高浓度 CO_2 条件下红松根系分泌物、根际土壤可利用 N 源、根际沉积等对真菌和放线菌的影响不显著以及细菌的竞争优势等原因有关。

参考文献

- Cardon ZG. 1996. Influence of rhizodeposition under elevated CO_2 on plant nutrition and soil organic matter. *Plant Soil*, **187**: 277~288
- Diaz S, Grime JP, Harris J, et al. 1993. Evidence for a feedback mechanism limiting plant response to elevated carbon dioxide. *Nature*, **364**: 616~617
- Ding L (丁莉), Bai K-Z (白克智). 1998. Influences of doubled CO_2 in the atmospheric on some physiological characteristics of plant species. *J Hubei Inst For Nat* (湖北民族学院学报), **16**(6): 1~4 (in Chinese)
- Ding L (丁莉), Bai K-Z (白克智), Zhang C-H (张崇浩). 1997. Effects of elevated atmospheric carbon dioxide (CO_2) on the activities of nodule and mycorrhiza. *J Hubei Inst For Nat* (湖北民族学院学报), **15**(3): 6~9 (in Chinese)
- Ebersberger D, Niklaus PA, Kandeler E. 2003. Long-term CO_2 enrichment stimulates N-mineralization and enzyme activities in calcareous grassland. *Soil Biol Biochem*, **35**: 965~972
- Hodge A, Paterson E, Grayston S, et al. 1998. Characterization and microbial utilization of exudates material from the rhizosphere of *Lolium perenne* grown under CO_2 enrichment. *Soil Biol Biochem*, **30**: 1033~1043
- Kampichler C, Kandeler E, Richard D, et al. 1998. Impact of elevated atmospheric CO_2 concentration on soil microbial biomass and activity in a complex, weedy field model ecosystem. *Global Change Biol*, **4**: 335~346
- Korner C, Amone JA III. 1992. Responses to elevated carbon dioxide in artificial tropical ecosystems. *Science*, **257**: 1672~1675
- Lambers H. 1993. Rising CO_2 , secondary plant metabolism, plant-herbivore interactions and litter decomposition. *Vegetatio*, **104**/105: 263~271
- Li Y (李杨), Huang G-H (黄国宏), Shi Y (史奕). 2003. Effect of atmospheric CO_2 enrichment on soil microbes and related factors. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **14**(12): 2321~2325 (in Chinese)
- Niklaus PA. 1998. Effects of elevated atmospheric CO_2 on soil microbiota in calcareous grassland. *Global Change Biol*, **4**: 451~458
- Norby RJ. 1994. Issues and perspectives for investigating root responses to elevated atmospheric carbon dioxide. *Plant Soil*, **165**: 9~20
- O' Neill EG, Luxmoore RJ, Norby RJ. 1987. Increases in mycorrhizal colonization and seedling growth in *Pinus echinata* and *Quercus alba* in an enriched CO_2 atmospheric. *Can J For Res*, **17**: 878~883
- Paterson E, Rattray S, Killham K. 1996. Effect of elevated atmospheric CO_2 concentration on C-partitioning and rhizosphere C-flow for three plant species. *Soil Biol Biochem*, **28**: 195~201
- Piedad MO, Robert MR, John G. 2002. The influence of plants grown under elevated CO_2 and N fertilization on soil nitrogen dynamics. *Global Change Biol*, **8**: 643~657
- Pregitzer KS, Zak DR, Curtis PS, et al. 1995. Atmospheric CO_2 soil nitrogen and turnover of fine roots. *New Phytol*, **129**: 579~585
- Rice CW, Garcia FO, Hampton CO, et al. 1994. Soil microbial response in tall grass prairie to elevated CO_2 . *Plant Soil*, **165**: 67~74
- Ogers HH, Runion GB. 1994. Plant responses to atmospheric CO_2 enrichment with emphasis on roots and the rhizosphere. *Environ Poll*, **83**: 155~189
- Rogers HH, Prior SA, Runion GB, et al. 1996. Root to shoot ratio of crop as influenced by CO_2 . *Plant Soil*, **187**: 229~248
- Ronn R, Gavito M, Larsen J, et al. 2002. Response of free-living soil protozoa and microorganisms to elevated atmospheric CO_2 and presence of mycorrhiza. *Soil Biol Biochem*, **34**: 923~932
- Xu G-Q (徐国强), Li Y (李杨), Shi Y (史奕), et al. 2002. Effect of free-air CO_2 enrichment on soil microbe in paddy field. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **13**(10): 1358~1359 (in Chinese)
- Zak DR, Pregitzer KS, Curtis PS, et al. 1993. Elevated atmospheric CO_2 and feedback between carbon and nitrogen cycles. *Plant Soil*, **151**: 105~117
- Zhang L-L (张丽莉), Zhang Y-L (张玉兰), Chen L-J (陈利军), et al. 2004. Response of soil saccharidase activities to free-air carbon dioxide enrichment (FACE) under rice-wheat rotation. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **15**(6): 1019~1024 (in Chinese)
- Zhang Y-L (张玉兰), Zhang L-L (张丽莉), Chen L-J (陈利军), et al. 2004. Response of hydrolase and oxidoreductase activities to free-air carbon dioxide enrichment (FACE) under rice-wheat rotation. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **15**(6): 1014~1013 (in Chinese)
- Zhou Y-M (周玉梅), Han S-J (韩世杰), Zhang J-H (张军辉), et al. 2002. Photosynthetic characteristics of three tree species seedlings in Changbai Mountain under different CO_2 concentrations. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **13**(1): 41~44 (in Chinese)

作者简介 贾夏,女,1975年生,在读博士研究生。主要从事植物化学及根土界面微生物分子生态研究,合作发表论文5篇。E-mail: jiaxia75@hotmail.com or fengyun9653@sina.com