

石元豹, 曹 兵, 宋丽华. CO₂浓度倍增对宁夏枸杞种植地土壤养分及微生物的影响[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(1): 201-206.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2016.01.031

CO₂ 浓度倍增对宁夏枸杞种植地土壤养分及微生物的影响

石元豹, 曹 兵, 宋丽华
(宁夏大学农学院, 宁夏 银川 750021)

摘要: 为研究宁夏枸杞种植地土壤养分与土壤微生物及土壤酶对 CO₂ 浓度倍增的响应, 测定倍增 CO₂ 浓度 [(720±20) μmol/mol] 和自然环境大气 CO₂ 浓度 [(360±20) μmol/mol, 对照] 条件下宁夏枸杞种植地土壤养分含量和土壤微生物量、土壤酶活性等指标, 并进行分析。结果表明: CO₂ 浓度倍增处理下, 第 1 个生长周期内, 土壤 pH 及土壤养分含量与对照没有显著差异; 第 2 个生长周期结束时, 全氮和全磷含量极显著增加, 但 pH 及其他养分含量没有显著变化。土壤微生物和土壤酶活性在第 2 个生长周期结束时测定, 与对照相比, CO₂ 浓度倍增处理的土壤细菌、放线菌数量极显著减少, 真菌数量有增加趋势; 土壤脲酶、磷酸酶、蔗糖酶活性显著降低, 过氧化氢酶活性显著升高。本试验中 CO₂ 浓度倍增条件下土壤微生物和几种土壤酶活性与多数研究者的结果存在一定出入, 这可能与植物品种以及 CO₂ 浓度倍增处理时间长短不同所致。

关键词: CO₂ 浓度倍增; 宁夏枸杞; 土壤养分; 土壤微生物; 土壤酶活性

中图分类号: S567.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2016)01-0201-06

Influence of doubled CO₂ concentration on soil nutrient and microorganism for *Lycium barbarum* cultivation

SHI Yuan-bao, CAO Bing, SONG Li-hua
(Ningxia University, School of Agriculture, Yinchuan 750021, China)

Abstract: To study *Lycium barbarum*-cultivated soil nutrient, soil microorganism and soil enzymes in response to doubled CO₂ concentration, CO₂ concentration is controlled at two levels: doubled CO₂ concentration [(720±20) μmol/mol] and atmospheric CO₂ concentration [(360±20) μmol/mol, control]. With CO₂ concentration doubling, soil pH and soil nutrient contents showed no significant difference in the first year; however, total nitrogen and total phosphorus contents were significantly increased at the end of the second growth cycle. Detection of soil microorganism and soil enzymes activities at the end of the second growth cycle showed that doubled CO₂ concentration decreased the quantities of soil bacteria and actinomycetes but drove up the number of fungi. Soil urease, sucrase and phosphatase activity were lowered, however, soil catalase was increased in CO₂ concentration doubled treatment. The time duration of CO₂ concentration doubling might have contributed to the discrepancies of soil microorganisms and soil enzymes activities in this study and other researchers' results.

Key words: doubled CO₂ concentration; *Lycium barbarum* L.; soil nutrient; soil bacterium; soil enzyme

收稿日期: 2015-04-07

基金项目: 国家自然科学基金项目(31160172)

作者简介: 石元豹(1989-), 男, 安徽宿州人, 硕士研究生, 主要从事果树生理生态与栽培方面的研究。(Tel) 18795283693; (E-mail) 569545638@qq.com

通讯作者: 曹 兵, (E-mail) bingcao2006@126.com

土壤是植物生长发育所需养分的主要来源, 土壤的理化性质、微生物的含量及土壤酶活性对植物生长有重要影响。土壤微生物是土壤中物质循环的

转化者,是土壤-植被系统重要的组成部分,可作为评价土壤肥力状况的一个重要指标^[1-2]。土壤酶是土壤生态系统代谢的重要动力,土壤中所进行的一切生物学和化学过程都要有酶的催化作用才能完成,其活性高低可反映土壤营养物质转化、能量代谢等能力的强弱。酶作为土壤的重要组成部分,通常认为其主要起源于土壤微生物^[3-4]。

政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental panel on climate change, IPCC)第5次评估报告结果表明,2011年大气中CO₂浓度达到391 μmol/mol,比工业化前1750年高了40%。最新的大气CO₂浓度的观测结果显示,CO₂浓度已经多次突破400 μmol/mol,预计到本世纪末,大气CO₂浓度将达700~720 μmol/mol^[5],这必将对植物生长与农林生态系统产生重要影响。有关土壤微生物量对CO₂浓度升高响应的研究结果,存在增加和减少两种截然相反的报道,即便是同一种植物生长地的土壤,有关土壤微生物量对CO₂浓度升高响应的研究结果也存在着很大的差异^[6-7]。由于土壤微生物数量、土壤养分状况、土壤呼吸以及植物种类等会影响土壤酶的活性^[8],目前关于土壤酶活性对大气CO₂浓度升高的响应的研究结果并不一致,多数的研究结果表明,CO₂浓度升高对土壤酶活性有提高的作用^[8-11]。但也有研究结果表明,CO₂浓度升高对土壤酶活性没有影响,甚至降低土壤酶的活性^[10-12]。土壤酶活性受到气候环境、植物种类、土壤理化性质、土层深度、土壤微生物量等多种因素的影响,有必要深入研究其对气候变化的响应。

宁夏枸杞(*Lycium barbarum* L.)因适应性强、果实具有特殊药用功效,在宁夏大面积种植,是宁夏地区重要的经济树种。考虑到全球气候变化,特别是大气CO₂浓度升高的事实,本项目组已开展CO₂浓度升高对宁夏枸杞生长、光合作用、生物量积累以及糖代谢等方面的影响研究。本研究测定CO₂浓度倍增条件下枸杞种植地土壤的养分含量、土壤微生物数量以及土壤酶活性的变化,以揭示CO₂浓度升高对宁夏枸杞生长的影响机制。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验于2013年3月底至2014年10月初在宁夏大学实验农场进行。农场位于宁夏中部黄河冲积

平原永宁县境内(海拔1 116.86 m),属中温带干旱气候区,无霜期140~160 d,年均日照时数3 000 h,年降水量180~200 mm,年平均气温8.5℃。

1.2 试验材料

采用宁夏枸杞优良品种宁杞1号(购自宁夏农林科学院枸杞研究所)1年生扦插苗为试验材料。供试土壤养分状况见表1。

1.3 试验设计

采用单因素试验,设自然环境大气CO₂浓度[(360±20) μmol/mol, CK]和倍增的CO₂浓度[(700±20) μmol/mol, TR]2个水平。用自制的CO₂自动控制系统和开顶气室相结合的方式对CO₂浓度进行控制。每处理设置3次重复,每个气室均匀种植9株生长一致的枸杞扦插苗,在每年的生长季节(4~10月)每天8:00—20:00进行通气。枸杞种植地土壤为灌淤土,水肥管理方式与大田相同。

1.4 样品采集与测定

1.4.1 样品采集 于试验开始前(2013年4月)采集1次土壤,CO₂浓度倍增处理第1个生长周期和第2个生长周期结束时(2013年10月和2014年10月)分别采集一次土壤。每个样地随机设置3个取样点,取10~40 cm土层的土壤样品,用保鲜袋保存带回实验室,去除植物根系和砾石。将每份土样分成2部分:一部分放入4℃冰箱保存,用于土壤微生物数量的测定;另一部分在室内风干,并过100目筛和18目筛,用于土壤理化性质和土壤酶活性的测定。

1.4.2 样品测定 土壤pH值的测定用酸度计法,土壤全氮含量用UDK142全自动凯氏定氮仪测定,土壤碱解氮含量的测定用碱解扩散法,土壤全磷含量的测定用钼锑抗比色法,土壤速效磷含量的测定用钼锑抗比色法,土壤速效钾含量的测定用火焰光度计法^[13]。

土壤微生物数量测定,采用平板稀释法测定。细菌、放线菌和真菌的培养分别采用牛肉膏蛋白胨培养基、高氏一号培养基和孟加拉红培养基^[14]。

土壤酶活性的测定:土壤脲酶活性测定采用苯酚钠比色法(以24 h后1 g土壤中NH₃-N的毫克数表示);过氧化氢酶活性测定采用高锰酸钾滴定法(以20 min后1 g土壤消耗的0.1 mol/L高锰酸钾毫升数表示);蔗糖酶活性测定采用3,5-二硝基水杨酸比色法(以37℃下1 g土壤在24 h释放出的葡萄糖毫克数来表示);土壤碱性磷酸酶活性测定采用

磷酸苯二钠法^[15](以 37 ℃ 下 1 g 土壤 24 h 后释放的酚毫克数表示)。

1.5 数据分析

采用 Excel 2003 进行原始数据整理,用 DPS7.05 进行统计分析,用 LSD 法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 CO₂浓度倍增对宁夏枸杞种植地土壤养分的影响

由表 2 可知,CO₂浓度倍增处理的第 1 个生长周期,对照与处理土壤 pH 值以及土壤养分间没有

显著差异。由表 3 可知,在枸杞的第 2 个生长周期,CO₂浓度倍增处理的土壤全氮和全磷含量明显高于对照,差异极显著;pH 值以及其他养分含量 2 种处理间没有差异;根据全国第 2 次土壤普查养分分级标准(表 4),CO₂浓度倍增处理第 2 年(2 个生长季节)土壤养分还是比较充足。说明 2 年的 CO₂浓度倍增处理,除对土壤全氮和全磷含量有影响外,对土壤 pH 值及其他养分含量没有显著影响。

2.2 CO₂浓度倍增对宁夏枸杞种植地土壤微生物量的影响

土壤微生物的数量受到土壤养分、气候条件和

表 1 试验前宁夏枸杞种植土壤养分状况

Table 1 Physico-chemical properties of the soil

pH	全氮 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	全磷 (g/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
8.79±0.019 4	1.25±0.011 9	109.67±1.166 7	6.73±0.115 4	34.48±2.138 6	107.50±2.500 0

表 2 CO₂浓度倍增处理第 1 个生长周期土壤养分状况

Table 2 Effect of doubled CO₂ on soil physico-chemical properties in the first year

处理	pH	全氮 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	全磷 (g/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
CO ₂ 浓度倍增	8.62±0.017 1	1.19±0.026 1	102.28±3.183 2	5.91±0.115 6	23.42±0.635 2	123.89±3.888 9
对照	8.62±0.013 5	1.20±0.012 3	99.17±2.936 0	6.37±0.249 1	29.24±2.018 0	125.56±2.939 7

表 3 CO₂浓度倍增处理第 2 个生长周期土壤养分状况

Table 3 Effect of doubled CO₂ on soil physico-chemical properties in the second year

处理	pH	全氮 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	全磷 (g/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
CO ₂ 浓度倍增	7.94±0.030 0	1.07±0.030 0A	103.65±1.691 4	0.88±0.026 0A	19.97±0.613 7	109.67±5.897 3
对照	8.00±0.084 1	1.03±0.008 8B	92.70±9.226 1	0.80±0.049 1B	21.74±1.141 1	96.67±4.807 4

表 4 全国第 2 次土壤普查养分分级标准^[16]

Table 4 The soil nutrient classification standard in the second soil census

等级	pH	全氮 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	全磷 (g/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
1	≤4.5	>2.00	>150	>1.00	>20	>200
2	4.6~5.5	1.51~2.00	120~150	0.81~1.00	16~20	151~200
3	5.6~6.5	1.01~1.50	90~120	0.61~0.80	11~15	101~150
4	6.6~7.5	0.76~1.00	60~90	0.41~0.60	6~10	51~100
5	7.6~8.5	0.51~0.75	30~60	0.21~0.40	4~5	31~50
6	8.6~9.0	≤0.50	≤30	≤0.20	≤3	≤30

植被等多种因素的影响,能反映出土壤肥力、养分状况和透气性等,对植物生长起着非常重要的作用^[17]。由图 1 可知,与对照相比,CO₂浓度倍增处理条件下,枸杞种植地土壤单位干土质量的细菌和放

线菌数量分别降低了 42.33% 和 33.89%,且差异极显著;单位干土质量的真菌数量有增加的趋势,增加 18.87%,但与对照无显著差异($P>0.05$)。

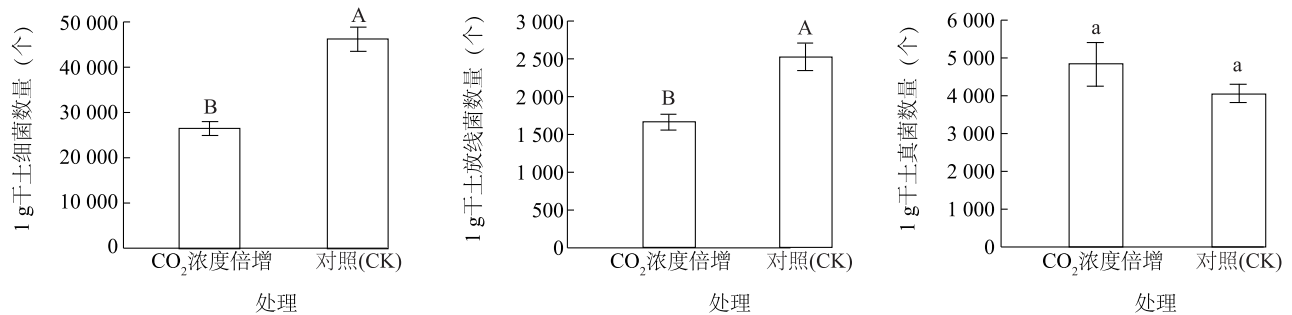


图 1 CO₂浓度倍增对土壤细菌、放线菌和真菌数量的影响

Fig.1 Effect of doubled CO₂ on the quantities of bacteria, fungi and actinomycetes in the soil

2.3 CO₂浓度倍增对枸杞种植地土壤酶活性的影响

2.3.1 CO₂浓度倍增对枸杞种植地土壤脲酶活性的影响 土壤脲酶是对尿素转化起关键作用的酶,可为植物提供可利用的氮源,脲酶活性主要受到植物凋落物和土壤微生物量的影响^[18-19]。由图 2 可知,CO₂浓度倍增处理下,枸杞种植地土壤脲酶活性显著降低($P<0.05$),下降幅度为 6.02%。有研究结果显示 CO₂浓度升高对于脲酶活性有促进作用,并且可能是跟土壤中氮素的缺乏有关。本试验中 CO₂浓度倍增对土壤脲酶活性的降低作用可能与土壤氮素充足,以及土壤微生物量的降低有关。

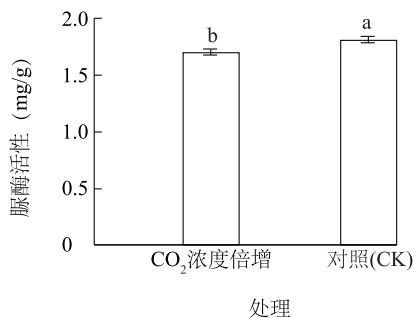


图 2 CO₂浓度倍增对土壤脲酶活性的影响

Fig.2 Effect of doubled CO₂ on soil urea activity

2.3.2 CO₂浓度倍增对枸杞种植地土壤过氧化氢酶活性的影响 土壤过氧化物酶活性与土壤的呼吸强

度以及土壤微生物活动相关,在一定程度上反映土壤微生物活动的强度^[20]。由图 3 可知,CO₂浓度倍增处理下枸杞种植地土壤过氧化氢酶活性升高了 2.51%,差异显著($P<0.05$)。有研究结果显示,在 CO₂浓度升高条件下,过氧化氢酶活性的增强可能与根系分泌物的增加有关,因为土壤过氧化氢酶很大一部分来源于植物根系。因此,CO₂浓度倍增处理可能导致枸杞根系分泌物的增加,从而影响过氧化氢酶的活性。

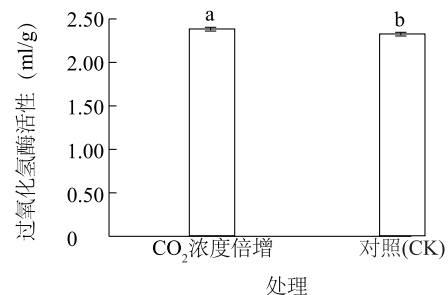


图 3 CO₂浓度倍增对土壤过氧化氢酶活性的影响

Fig.3 Effect of doubled CO₂ on soil catalase

2.3.3 CO₂浓度倍增对枸杞种植地土壤磷酸酶活性的影响 土壤磷酸酶是植物根系与微生物的分泌产物,磷酸酶与土壤磷素转化密切相关,是土壤磷素肥力的指标^[3]。由图 4 可知,CO₂浓度倍增处理条件

下枸杞种植地土壤磷酸酶活性降低了 17.90%, 差异极显著 ($P < 0.01$)。土壤微生物与植物体之间的养分竞争, 特别是磷素的竞争, 会导致磷酸酶活性的降低^[21]。

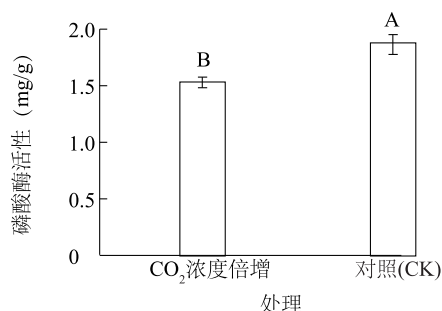


图4 CO₂浓度倍增对土壤磷酸酶活性的影响

Fig.4 Effect of doubled CO₂ on soil phosphatase

2.3.4 CO₂浓度倍增对土壤蔗糖酶活性的影响

土壤蔗糖酶与土壤许多因子有相关性, 如与土壤有机质、氮、磷含量, 微生物数量及土壤呼吸强度有相关性。由图 5 可知, CO₂浓度倍增处理条件下枸杞种植地土壤蔗糖酶活性比对照降低了 13.20%, 差异极显著 ($P < 0.01$)。与土壤细菌和放线菌数量的变化相一致, 一定程度上印证了本试验中 CO₂浓度倍增处理对枸杞种植地土壤细菌和放线菌数量的抑制作用。

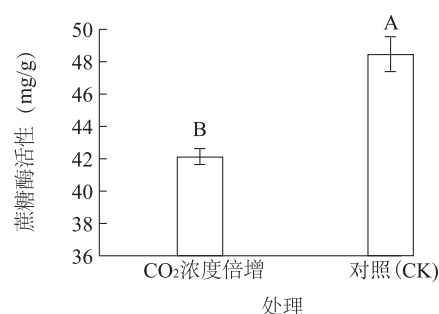


图5 CO₂浓度倍增土壤蔗糖酶活性的影响

Fig.5 Effect of doubled CO₂ on soil sucrase

3 讨论

有研究发现短时间 CO₂浓度升高对土壤细菌数量有一定的影响, 但是对土壤真菌数量没有明显的影响^[22], 可能是由于 CO₂浓度升高促进了植物光合作用, 光合作用固定的同化物运送到地下后, 可为土

壤微生物提供营养和能源, 从而影响到土壤细菌、真菌的数量; 但也有研究发现 CO₂浓度升高对土壤细菌数量和微生物群落结构影响不大^[23]。本试验的结果表明, CO₂浓度倍增处理条件下, 第 1 个生长周期内土壤 pH 及土壤养分含量没有明显变化, 第 2 个生长周期内 CO₂浓度倍增处理条件下全氮和全磷含量显著高于对照, pH 及其他养分含量没有显著差异; 土壤细菌和放线菌数量分别降低 42.33% 和 33.89%, 差异极显著。

关于土壤酶的研究, 多数研究结果表明, CO₂浓度升高可提高土壤酶活性^[7]。有研究发现 CO₂浓度升高提高了温带树木土壤水解酶的活性; 对地中海生态模型土壤研究发现, CO₂浓度升高提高了土壤中脱氢酶、纤维素酶、木聚糖酶和磷酸酶的活性提高; CO₂浓度升高提高了石灰性草地中的土壤酶活性特别是碱性磷酸酶和脲酶活性也显著提高^[24-26]。也有研究发现 CO₂浓度升高对土壤酶活性的影响不大甚至 CO₂浓度的升高会降低土壤酶的活性^[27-28]。本试验中, CO₂浓度倍增除对过氧化氢酶的活性有增强外, 对脲酶、磷酸酶和蔗糖酶的活性都有显著抑制作用, 这可能与本试验材料为 CO₂浓度倍增处理 2 年的土壤有很大关系, 因为多数研究结果都是分析当年的土壤样品得到的结果。

CO₂浓度升高对于土壤理化性质、土壤微生物以及土壤酶的影响还受到其他多种因素的影响, 需要进行综合分析, 还需进行多年的定点测定与研究。

参考文献:

- [1] VISSER S, PARKINSON D. Soil biological criteria as indicators of soil quality: soil microorganisms[J]. Am J Alter Agric, 1992, 7: 33-37.
- [2] 尹 睿, 张华勇, 黄锦法, 等. 保护地菜田与稻麦轮作田土壤微生物学特征的比较[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(1): 57-62.
- [3] 曹 慧, 孙 辉, 杨 浩, 等. 土壤酶活性及其对土壤质量的指示研究进展[J]. 应用与环境生物学报, 2003, 9(1): 105-109.
- [4] 刘善江, 夏 雪, 陈桂梅, 等. 土壤酶的研究进展[J]. 中国农学通报, 2011, 27(21): 1-7.
- [5] IPCC. Climate change 2013. The physical science basis[M/OL]. Cambridge: Cambridge University Press, 2014[2013-04-16]. <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>.
- [6] 罗 艳. 土壤微生物对大气 CO₂浓度升高的响应[J]. 生态环境, 2003, 12(3): 357-360.
- [7] 刘学华, 宋新山, 王 苑, 等. 干旱与大气 CO₂倍增对土壤微生物

- 物量及活性的影响[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(12): 336-338.
- [8] 吴秀臣, 孙辉, 杨万勤. 土壤酶活性对温度和CO₂浓度升高的响应研究[J]. 土壤, 2007, 39(3): 358-363.
- [9] KANG H J, KIM S Y, FENNER N. Shifts of soil enzyme activities in wetlands exposed to elevated CO₂[J]. Science of the Total Environment, 2005, 337(1/3): 207-212.
- [10] 武术, 林先贵, 尹睿, 等. 大气CO₂浓度升高对添加麦秸条件下稻田土壤酶活性的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2008, 24(4): 32-36.
- [11] 苑学霞, 林先贵, 褚海燕, 等. 大气CO₂浓度升高对不同施氮土壤酶活性的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(1): 48-53.
- [12] MAYR C, MILLER M, INSAM H. Elevated CO₂ alters community level physiological profiles and enzyme activities in alpine grassland[J]. Journal Microbiology Method, 1999, 36: 35-43.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [14] 许光辉, 郑洪元. 土壤微生物分析方法手册[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 255-258.
- [15] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [16] 唐近春. 全国第二次土壤普查与土壤肥料科学的发展[J]. 土壤学报, 1989, 26(3): 234-240.
- [17] 吴红英, 孔云, 姚允聪, 等. 间作芳香植物对沙地梨园土壤微生物数量与土壤养分的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(1): 140-150.
- [18] 孙瑞莲, 赵秉强, 朱鲁生, 等. 长期定位施肥对土壤酶活性的影响及其调控土壤肥力的作用[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(4): 406-410.
- [19] MOORHEAD D L, LINKINS A E. Elevated CO₂ alters below-ground exoenzyme activities in tussock tundra[J]. Plant Soil, 1997, 189: 321-329.
- [20] 孟红娜, 王开运, 邹春静, 等. 复合群落土壤微生物和酶活性对大气CO₂浓度和温度升高的响应[J]. 广西植物, 2007, 27(6): 861-866.
- [21] 李春越, 白红英, 党廷辉, 等. 农田土壤磷酸酶活性与土壤N₂O排放通量的相关性[J]. 中国环境科学, 2007, 27(2): 231-234.
- [22] 徐国强, 李杨, 史奕, 等. 开放式空气CO₂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.
- [23] RONN R, GAVITO M, LARSEN J. Response of free-living soil protozoa and microorganisms to elevated atmospheric CO₂ and presence of mycorrhiza[J]. Soil Biol Biochem, 2002, 34: 923-932.
- [24] LARSON J L, ZAK D R, SINSABAUGH R L. Extra cellular enzyme activity beneath temperate trees growing under elevated carbon dioxide and ozone[J]. Soil Science Society of America Journal, 2002, 66(6): 1848-1856.
- [25] DHILLON S S, ROY J, ABRAMS M. Assessing the impact of elevated CO₂ on soil microbial activity in a Mediterranean model ecosystem[J]. Plant and Soil, 1996, 187(2): 333-342.
- [26] EBERSBERGER D, NIKLAUS P A, KANDELER E. Long term CO₂ enrichment stimulates N-mineralization and enzyme activities in calcareous grassland[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2003, 35(7): 965-972.
- [27] MAYR C, MILLER M, INSAM H. Elevated CO₂ alters community-level physiological profiles and enzyme activities in alpine grassland[J]. Journal of Microbiological Methods, 1999, 36(1/2): 35-43.
- [28] INSAM H, BAATH E, BERRECK M. Responses of the soil microbiota to elevated CO₂ in an artificial tropical ecosystem[J]. Journal of Microbiological Methods, 1999, 36(1/2): 45-54.

(责任编辑: 陈海霞)