

刘学华,宋新山,王 苑,等. 干旱与大气 CO<sub>2</sub> 倍增对土壤微生物量及活性的影响[J]. 江苏农业科学,2015,43(12):336-338.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.12.106

# 干旱与大气 CO<sub>2</sub> 倍增对土壤微生物量及活性的影响

刘学华<sup>1</sup>, 宋新山<sup>1</sup>, 王 苑<sup>1</sup>, 李宏伟<sup>1</sup>, 王俊锋<sup>1</sup>, 王 刚<sup>2</sup>

(1. 东华大学环境科学与工程学院/国家环境保护纺织工业污染防治工程技术中心, 上海 201620; 2. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038)

**摘要:**全球气候变化可能会对土壤生态系统产生潜在的影响,通过室内培育试验,设置了3种土壤水分梯度(土壤体积含水率为80%、60%、40%)、2种大气CO<sub>2</sub>浓度(350、700 μg/L)、2种土壤使用状况(裸土、种植大豆土壤),对土壤微生物量及活性的变化进行研究。结果表明,干旱胁迫使土壤微生物生物量碳量(MBC)含量极显著降低。重度干旱时,植物碳输入会加剧干旱对土壤生态系统的胁迫。大气CO<sub>2</sub>倍增对土壤MBC量显著不影响。干旱胁迫导致土壤蔗糖酶和过氧化氢酶活性极显著降低。大气CO<sub>2</sub>倍增能够极显著促进土壤蔗糖酶和过氧化氢酶活性,这可能会加速土壤有机质的降解,加快土壤碳库周转速率,对大气CO<sub>2</sub>增加起到正反馈作用。干旱与CO<sub>2</sub>倍增交互作用对土壤MBC和酶活均显著不影响,但在种植大豆的土壤中交互作用对蔗糖酶活性有一定影响。

**关键词:**土壤;干旱;CO<sub>2</sub>倍增;微生物生物量碳;微生物活性

**中图分类号:** S154.3      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1002-1302(2015)12-0336-03

全球气候变化背景下,越来越多的国家和地区正在经历更为强烈和持久的干旱现象<sup>[1]</sup>。同时,由于化石燃料使用量的持续增加,全球范围内CO<sub>2</sub>的浓度增速加快。科学预测至2030年,CO<sub>2</sub>浓度将达到550 μmol/mol,即比100年前高近1倍,从而可能导致全球增温1.5~4.5℃,降水增加7%~11%,尤其以极地增加较多<sup>[2]</sup>。所有这些变化都将影响到生态系统的结构与功能,同时作为对土壤生态系统的反馈,土壤微生物生态系统也将发生变化<sup>[3]</sup>。在气候变化的大背景下,土壤微生物及其群落的响应和反馈机制成为目前研究领域的热点。近年来,在大气CO<sub>2</sub>浓度升高对土壤微生物群落结构、微生物区系、土壤呼吸、微生物生物量、土壤酶活性影响等方面的研究较多,但始终未得出一致结论<sup>[2]</sup>。但高浓度CO<sub>2</sub>对土壤微生物生态系统的影响是存在的<sup>[4]</sup>,大量研究表明,高浓度CO<sub>2</sub>提高了土壤微生物的活性,加快土壤有机物的降解,可能会加速全球气候变化。目前,大部分研究仍然偏重于单个气象因子对土壤微生物的影响,对于干旱和CO<sub>2</sub>倍增交互作用的影响研究很少,而且土壤微生物对气候变化的反馈机制仍不清楚,亟待进一步研究。

在土壤生态系统中,土壤微生物生物量碳(MBC)影响着所有进入土壤有机质的转化,与土壤中的C、N、S、P等养分循环密切相关,调节着土壤养分的矿化和固定过程<sup>[5]</sup>,可以反映土壤微生物生物量,并在一定程度上反映土壤养分有效性状况和土壤生物活性<sup>[6]</sup>。土壤酶来源于土壤微生物的代谢过程,许多研究表明,土壤微生物含量与各种酶活之间都有较

高的相关性,并且酶活性可以控制养分的释放而影响植物和微生物生长,在一定程度上可反映土壤微生物活性和土壤生化反应强度<sup>[7]</sup>。此外,土壤酶活性与土壤碳、氮循环密切相关<sup>[8]</sup>。因此,土壤微生物活性的研究与全球气候变化产生直接联系。本研究采用苗期大豆和农田土壤作为供试材料,以土壤MBC、土壤氧化还原酶类中的过氧化氢酶、水解酶类中的蔗糖酶<sup>[9]</sup>来表征土壤微生物量和微生物活性。从土壤微生物生物量及微生物活性方面,研究其对干旱和大气CO<sub>2</sub>倍增的响应,探索土壤微生物对气候变化的响应和反馈机制,为研究土壤生态系统增强或削弱全球气候变化的影响提供新思路,对应全球气候变化具有重要的现实意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验土壤

试验在东华大学校区旁的农田内随机选取5个采样点,采集农田表层0~30 cm的原状新鲜土样,挑除肉眼可见的杂物、动植物残体等,一部分土壤过10 mm筛,用于室内培养试验;一部分置于通风处自然风干后过2 mm筛,用于理化性质测定(表1)。

表1 试验土壤基本理化性质

理化性质	结果
pH 值	6.80
黏粒(%)	50.00
容重(g/cm <sup>3</sup> )	1.21
田间持水量体积含水率(g/g)	0.30
有机碳(g/kg)	16.00
全氮(g/kg)	1.27

### 1.2 试验装置

本试验设置裸土和种植植被2种土壤植被状况,环境CO<sub>2</sub>浓度(350±50) μL/L、倍增CO<sub>2</sub>浓度(700±50) μL/L 2个状况,以及湿润(75%~80% WHC)、轻度干旱(60%)、重度

收稿日期:2014-11-30

基金项目:国家“973”计划(编号:2010CB951102)。

作者简介:刘学华(1989—),男,河南信阳人,硕士研究生,从事土壤环境方面研究。E-mail:liuxuehua678@163.com。

通信作者:宋新山,教授,主要从事人工湿地水处理理论与技术、环境数学模拟技术、气候变化下土壤环境的研究。E-mail:newmountian@dhru.edu.cn。

干旱(40%) 3 种水分状况,共 12 种不同处理组合,每种试验组合做 3 个平行组(表 2)。试验植物为大豆,试验采用室内盆栽进行。选取品相良好的大豆种子播种于装有试验土壤的圆形花盆(直径 22 cm,高 25 cm)内,每盆播种 15 粒,1 穴 3 粒,置于气候箱内培养,昼/夜温控分别为 25 ℃/18 ℃,日光照射时间为 12 h,空气相对湿度为 60%。萌芽期充分浇水,待生长出 3 出复叶后开始控制试验条件。

表 2 试验影响因子设计

土壤体积含水率 (%)	倍增 CO <sub>2</sub> (700 ± 50) μL/L		环境 CO <sub>2</sub> (350 ± 50) μL/L	
	裸土	植被	裸土	植被
湿润(80)	SWC	PWC	SW	PW
轻度干旱(60)	SD1C	PD1C	SD1	PD1
重度干旱(40)	SD2C	PD2C	SD2	PD2

### 1.3 分析与测定

试验采用 2 个人工气候箱控制不同大气 CO<sub>2</sub> 浓度, A 箱内利用液态 CO<sub>2</sub> 钢瓶 24 h 连续供给 CO<sub>2</sub>, B 箱不供气, 试验期间通过红外 CO<sub>2</sub> 分析仪(TES1370)监测人工气候箱内 CO<sub>2</sub> 浓度。每日测定土壤含水量, 及时补水。在大豆种植 10、20、30、40 d 分别采取表层土样测定土壤理化指标, 包括基本的物理指标及土壤微生物生物量碳(MBC)含量、土壤过氧化氢酶活性、土壤蔗糖酶活性。土壤 MBC 含量的测定采用熏蒸浸提法<sup>[10]</sup>; 过氧化氢酶的测定采用滴定法<sup>[11]</sup>; 蔗糖酶活性的测定采用 3,5-二硝基水杨酸比色法。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤 MBC 含量变化

从图 1 可以看出, 各组土壤 MBC 含量随培养时间的延长略微有所起伏, 但变化趋势并不明显。种植大豆的土壤中 MBC 含量明显高于裸土, 表明植物碳输入影响了土壤 MBC 含量。干旱与土壤 MBC 含量呈现明显的负相关, 在裸土中影响较小, 在种植大豆土壤中影响很大, 表明干旱可直接影响土壤微生物量和活性, 而植物碳的输入反而加剧干旱胁迫, 干旱可能诱导植物产生某种根系分泌物, 抑制微生物生长。同时 CO<sub>2</sub> 倍增对土壤 MBC 含量无明显影响。种植大豆的土壤中, CO<sub>2</sub> 倍增使土壤 MBC 含量略有升高。CO<sub>2</sub> 倍增和干旱交互作用对土壤 MBC 含量影响不显著。

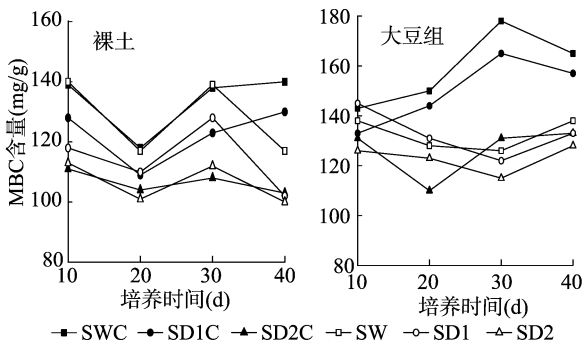


图 1 干旱和大气 CO<sub>2</sub> 倍增对土壤微生物生物量碳的影响

### 2.2 土壤蔗糖酶活性变化

土壤蔗糖酶催化蔗糖水解为葡萄糖和果糖, 提供可利用的易溶性营养物质, 其活性与有机质的转化和呼吸强度有密

切关系。从图 2 可以看出, 随着干旱程度加剧, 土壤蔗糖酶活性逐渐降低, 在种植大豆组, 水分对土壤蔗糖酶活性影响极显著。大气 CO<sub>2</sub> 浓度的升高显著促进了土壤蔗糖酶活性。在种植大豆组中, 大气 CO<sub>2</sub> 浓度和土壤水分交互作用对其酶活有一定影响, 重度干旱抑制了 CO<sub>2</sub> 倍增对酶活的刺激作用。

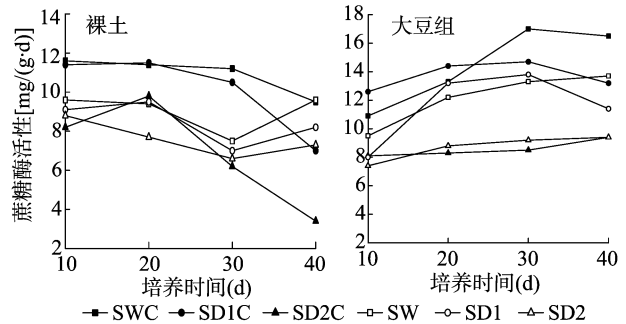


图 2 干旱和大气 CO<sub>2</sub> 倍增对蔗糖酶活性的影响

### 2.3 土壤过氧化氢酶活性变化

土壤过氧化氢酶主要来源于细菌、真菌以及植物根系分泌物, 是一种广泛存在于好氧细菌和兼性厌氧菌内的胞内酶, 促进过氧化氢对各种化合物的氧化, 与土壤呼吸强度相关, 一定程度上反映了土壤微生物学过程的强度。土壤过氧化氢酶活性变化见图 3。干旱和 CO<sub>2</sub> 倍增对土壤过氧化氢酶的影响与蔗糖酶相似。水分是土壤过氧化氢酶活性变化的重要因素, 干旱胁迫显著降低土壤过氧化氢酶活性。大气 CO<sub>2</sub> 倍增使土壤过氧化氢酶活性略有升高。二者交互作用则对过氧化氢酶活差异不显著。

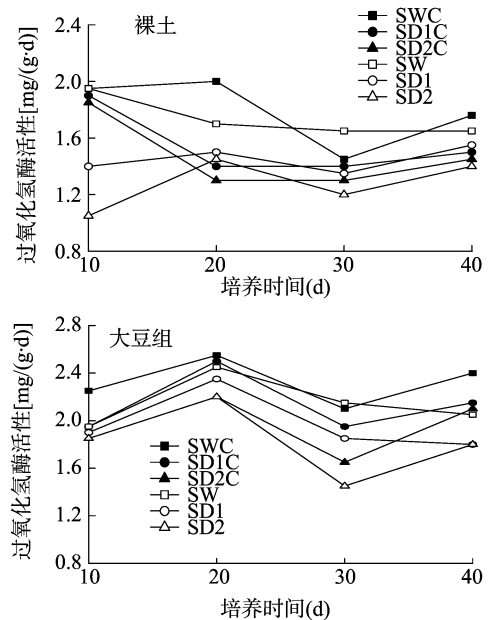


图 3 干旱和大气 CO<sub>2</sub> 倍增对过氧化氢酶活性的影响

## 3 结论与讨论

在本试验中, 干旱能明显降低土壤 MBC 含量, 与其他的 研究结果一致。而 CO<sub>2</sub> 倍增对土壤 MBC 并无明显影响。也有研究表明, 大气 CO<sub>2</sub> 倍增对土壤 MBC 含量可能有促进作用<sup>[12-13]</sup>或者无显著影响<sup>[14]</sup>。试验土壤为农田土壤, 氮素浓

度较低,养分限制可能是土壤 MBC 含量对  $\text{CO}_2$  倍增无显著响应的原因之一。在  $\text{CO}_2$  浓度倍增条件下,植物的 N 利用率提高,可能会造成土壤 N 的可利用性下降,致使微生物可利用 N 源减少<sup>[15]</sup>;另外植物地下生物量、根系分泌物和土壤有机碳输入都增加,也可能导致土壤 MBC 含量增加。以上原因最终导致 MBC 含量不变甚至降低。但在养分有效性高的土壤中,根际沉积碳转化为生物量较多。所以  $\text{CO}_2$  倍增对土壤 MBC 无影响不意味着对土壤微生物无影响,可能是通过影响土壤酶活性和土壤微生物群落结构发生作用。

本研究显示,随着干旱程度增加,土壤酶活性逐渐降低。在种植大豆土壤中水分对蔗糖酶活性的影响极为显著。其他的研究也表明土壤蔗糖酶活性和土壤水分之间有很强的相关性,提高土壤水分可以增强土壤孔隙联通,使得养分更易被获取<sup>[16]</sup>。同时,在种植植物土壤中,干旱可能影响植物体内蛋白质的合成与核酸代谢,从而影响根系分泌物的组成和含量,进而导致与根系分泌相关的酶活性的降低。种植植物对过氧化氢酶和蔗糖酶活性起到明显的促进作用。种植植物对其的促进作用,可能来源于植物根系分泌物促进微生物生长和代谢,也可能来源于植物根系直接分泌含量的增加。

$\text{CO}_2$  的倍增能够提高土壤蔗糖酶和过氧化氢酶活性,表明  $\text{CO}_2$  倍增在一定程度上刺激了微生物活动。许多研究证实, $\text{CO}_2$  浓度升高均能增加土壤酶活性<sup>[17]</sup>。可能是大气  $\text{CO}_2$  倍增条件下植物量增加,分泌的酶含量也相应增多;来源于土壤微生物对过量碳输入的反馈作用<sup>[18]</sup>。试验中酶活性随  $\text{CO}_2$  浓度增加的幅度不大,其主要原因是受到土壤水分状况的限制。在本研究同时观察到,通过 MBC 表征的土壤微生物生物量没有发生显著变化,表明  $\text{CO}_2$  倍增促进单位微生物的活性,总体微生物量并无变化。

大气  $\text{CO}_2$  升高带来的不稳定碳输入增加可能引起激发效应<sup>[19]</sup>,加速了土壤有机质降解,可能导致土壤碳库的净损失。大气  $\text{CO}_2$  倍增导致植物根系生物量增加,根系分泌物相应增加,升高了土壤碳氮比,由于真菌对 N 的需求量小于细菌,易在低 N 环境下存活<sup>[20]</sup>,有利于增强真菌在土壤微生物中的主导地位,而真菌更易分解木质素等土壤稳定碳组分,可加速土壤稳定碳库的周转率。同时  $\text{CO}_2$  的增加也促进土壤蔗糖酶活性,加速了土壤中碳水化合物的转化,增加土壤碳库周转速率,对气候变化可能带来负面影响。大气  $\text{CO}_2$  浓度和土壤水分交互作用对其酶活的影响有一定影响,但不明显。而在种植大豆组中,重度干旱能够抑制  $\text{CO}_2$  倍增对酶活的刺激作用,可能由于重度干旱诱导植物产生根系分泌物,抑制了微生物的活性。

研究结果表明,干旱能够明显降低土壤 MBC 含量,且随干旱程度的增加土壤 MBC 含量降低。重度干旱时,种植植物组中的植物碳输入反而加剧了干旱胁迫。大气  $\text{CO}_2$  倍增对土壤 MBC 含量的影响并不明显。干旱胁迫降低了土壤蔗糖酶和过氧化氢酶的活性,表明其在一定程度上抑制了土壤微生物活性。而  $\text{CO}_2$  倍增能够显著促进土壤蔗糖酶活和过氧化氢酶活,提高了土壤微生物活性。土壤酶活的提高可能会加速土壤有机质降解,加快了土壤碳库周转速率,可能会加剧全球的气候变化。而全球气候变化的加剧,又可能导致局部干旱加剧和大气中  $\text{CO}_2$  浓度进一步增加,其结果继续作用于气候变化,从

而形成了恶性循环,极大地加剧了全球气候变化。

## 参考文献:

- [1] 王 君,宋新山,王 苑. 多重干湿交替对土壤有机碳矿化的影响[J]. 环境科学与技术,2013(11):31-35.
- [2] 贾 夏,赵永华,韩士杰. 全球大气  $\text{CO}_2$  浓度升高对土壤微生物的影响[J]. 生态学杂志,2007,26(3):443-448.
- [3] 张乃莉,郭继勋,王晓宇,等. 土壤微生物对气候变暖和大气 N 沉降的响应[J]. 植物生态学报,2007,31(2):252-261.
- [4] 辛丽花,韩士杰,郑俊强,等.  $\text{CO}_2$  浓度升高对土壤微生物及土壤酶影响的研究进展[J]. 土壤通报,2006,37(6):1231-1235.
- [5] 王卫霞,罗 达,史作民,等. 岷江干旱河谷造林对土壤微生物群落结构的影响[J]. 生态学报,2014,34(4):890-898.
- [6] 贾 夏,韩士杰,赵永华,等.  $\text{CO}_2$  干扰对红松和长白赤松幼苗土壤微生物量 C 的影响[J]. 西北林学院学报,2006,21(5):43-46.
- [7] 丁 蕊,胡海波,王人潮. 半干旱区土壤酶活性与其理化及微生物的关系[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2007,31(2):13-18.
- [8] 荣兴民,陈玉成,王开运,等. 森林土壤碳氮过程研究现状和展望[J]. 内蒙古林业科技,2004,32(1):30-35.
- [9] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社,1986.
- [10] 林先贵. 土壤微生物研究原理与方法[M]. 北京:高等教育出版社,2010.
- [11] 耿玉清,王冬梅. 土壤水解酶活性测定方法的研究进展[J]. 中国生态农业学报,2012,20(4):387-394.
- [12] Klammer M, Roberts M S, Levine L H, et al. Influence of elevated  $\text{CO}_2$  on the fungal community in a coastal scrub oak forest soil investigated with terminal - restriction fragment length polymorphism analysis[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2002, 68(9): 4370-4376.
- [13] Chen X M, Liu J X, Deng Q, et al. Effects of elevated  $\text{CO}_2$  and nitrogen addition on soil organic carbon fractions in a subtropical forest[J]. Plant and Soil, 2012, 357(1/2): 25-34.
- [14] Mitchell E A D, Gilbert D, Buttler A, et al. Structure of microbial communities in sphagnum peatlands and effect of atmospheric carbon dioxide enrichment[J]. Microbial Ecology, 2003, 46(2): 187-199.
- [15] Rice C W, Garcia F O, Hampton C O, et al. Soil microbial response in tallgrass prairie to elevated  $\text{CO}_2$  [J]. Plant and Soil, 1994, 165(1): 67-74.
- [16] Hinojosa M B, Carreira J A, García - Ruíz R, et al. Soil moisture pre - treatment effects on enzyme activities as indicators of heavy metal - contaminated and reclaimed soils [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2004, 36(10): 1559-1568.
- [17] 赵光影,刘景双,王 洋,等.  $\text{CO}_2$  浓度升高对三江平原湿地活性有机碳及土壤微生物的影响[J]. 地理与地理信息科学, 2011, 27(2): 96-100.
- [18] Ross D J, Tate K R, Newton P. Elevated  $\text{CO}_2$  and temperature effects on soil carbon and nitrogen cycling in ryegrass/white clover turves of an Endoaquept soil [J]. Plant and Soil, 1995, 176(1): 37-49.
- [19] Kuzyakov Y, Friedel J K, Stahr K. Review of mechanisms and quantification of priming effects [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2000, 32(11/12): 1485-1498.
- [20] Kammann C, Grünhage L, Grütters U, et al. Response of aboveground grassland biomass and soil moisture to moderate long - term  $\text{CO}_2$  enrichment [J]. Basic and Applied Ecology, 2005, 6(4): 351-365.