

Effects of long-term atmospheric CO₂ concentration and temperature increase on carbon pool in farmland soil and microbial mechanisms

Kundezi, Jiabieke¹ Yeerna·Muheyati²

1. Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi, Xinjiang, 830000, China

2. Regional Ecological Environment Science Institute, Urumqi, Xinjiang, 830011, China

Abstract

Global climate change is significant, with the concentration of carbon dioxide in the atmosphere continuously rising and surface temperatures on Earth showing an upward trend. The interaction between CO₂ concentration and surface temperature has profound impacts on soil carbon pools in agricultural ecosystems. Soil carbon pools are the largest carbon storage in terrestrial ecosystems, and their stability is crucial for global carbon cycling and climate change. Microorganisms are key components of soil ecosystems and play a positive role in the soil carbon cycle. This paper analyzes the effects of long-term increases in atmospheric CO₂ concentration and temperature on soil carbon pools in farmland, exploring the mechanisms by which microorganisms contribute to this process.

Keywords

CO₂ concentration increase; temperature increase; farmland soil carbon pool; microbial mechanism

长期大气 CO₂ 浓度和温度升高对农田土壤碳库的影响及微生物作用机制

昆德孜·加别克¹ 叶尔那·木合亚提²

1. 新疆农业科学院, 新疆维吾尔自治区, 中国·新疆 乌鲁木齐 830000

2. 自治区生态环境科学研究院, 中国·新疆 乌鲁木齐 830011

摘 要

全球气候变化显著, 大气中的二氧化碳浓度持续升高, 地球表面温度呈现上升趋势。二氧化碳浓度、地球表面温度两个因素共同作用于农田生态系统, 对土壤碳库产生深远的影响。土壤碳库是陆地生态系统中最大的碳储存库, 自身的稳定性对全球碳循环和气候变化有至重要意义。微生物是土壤生态系统中的关键成员, 在土壤碳循环中发挥积极作用。本文分析长期大气 CO₂ 浓度升高和温度升高对农田土壤碳库的影响, 探讨微生物在此过程中的作用机制。

关键词

CO₂ 浓度升高; 温度升高; 农田土壤碳库; 微生物作用机制

1 引言

大气 CO₂ 浓度升高和温度升高成为我国环境保护领域不可忽视的环境问题, 其对生态系统产生深远的影响。农田土壤碳库是陆地生态系统中的重要组成部分, 自身的稳定性对维持全球碳平衡有重要意义。微生物是土壤碳循环的主要驱动者, 其群落结构和功能改变直接影响土壤有机质的动态变化, 对气候变化产生反馈作用。研究长期大气 CO₂ 浓度和温度升高对农田土壤碳库的影响及微生物作用机制, 能有效预测未来气候变化, 制定科学合理的农田管理措施。大气

CO₂ 浓度和温度升高对土壤碳库的影响并非孤立存在, 彼此之间存在复杂交互作用。大气 CO₂ 浓度升高增强植物的光合作用, 部分抵消温度升高对土壤碳库的负面影响。加速土壤有机质分解, 部分抵消大气 CO₂ 浓度升高对土壤碳库的正面影响。

2 大气 CO₂ 浓度升高对农田土壤碳库的影响

大气 CO₂ 浓度的升高增强当地植物的光合作用效率, CO₂ 是植物展开光合作用的底物, CO₂ 浓度增加在植物的光合作用饱和点前, 能提升植物自身的光合速率。CO₂ 浓度升高, 植物的叶片气孔对 CO₂ 的吸收增加羧化作用, 抑制自身的光呼吸, 植物的光合效率得到保障。光合效率反映在植物生物量的积累中。在高 CO₂ 浓度环境下, 玉米、小麦等

【作者简介】昆德孜·加别克(1994-), 女, 哈萨克族, 中国新疆伊犁人, 本科, 从事土壤研究。

农作物的生物量增加, 如表 1) 所示。玉米、小麦等农作物的根系生物量显著提升, 为土壤碳库提供更多的碳输入。当地植物生物量增加, 更多的植物残体根、茎、叶等输入到土壤中。植物残体腐败分解后, 将成为土壤有机质的重要来源, 对土壤碳库的积累有直接贡献。植物残体的输入量植物残体的分解速率决定土壤碳库的动态平衡。在高 CO₂ 浓度环境下, 植物残体输入量增加, 为土壤微生物提供更多碳源, 促进土壤的微生物代谢活动^[1]。

大气 CO₂ 浓度升高能改变植物根际沉积物, 影响植物植物根分泌物量, 土壤微生物的群落结构功能得到改善。在高 CO₂ 浓度环境下, 植物根际沉积物和分泌物量增加, 为土壤微生物提供更多的碳源能源, 促进当地微生物的生长代谢活动。促使土壤中的微生物群落结构向有利于有机质分解的方向转变, 加速土壤有机质的分解速率。但长期的高 CO₂ 浓度环境也会导致土壤微生物群落结构的稳定性下降, 影响土壤碳库的长期稳定。虽然大气 CO₂ 浓度升高在短期内会增加土壤碳库的积累, 但长期的高 CO₂ 浓度环境会对土壤碳库的稳定性产生负面影响。如高 CO₂ 浓度会导致植物自身的组织化学组成发生不良变化, 碳氮比改变影响植物残体的分解速率。土壤微生物群落结构的稳定性下降, 使土壤有机质分解速率产生明显波动, 影响土壤碳库的稳定。

表 1 不同 CO₂ 浓度水平下植物生物量、土壤碳含量、微生物生物量等指标的变化

CO ₂ 浓度水平	植物生物量 (g/m ²)	土壤碳含量 (g/kg)	微生物生物 量 (g/kg)
对照 (400ppm)	1500	20	1.2
中等升高 (550ppm)	1800	22	1.5
高升高 (700ppm)	2100	24	1.8

3 温度升高对农田土壤碳库的影响

当地温度升高加速土壤有机质的分解速率, 0 ~ 35℃ 范围内温度每升高 10℃, 土壤中的有机质的最大分解速率提高 2 ~ 3 倍。温度升高增强土壤微生物的活性, 加速促进微生物对有机质的分解作用。微生物是土壤有机质分解和周转驱动力, 其活动受温度影响显著。在适宜的温度范围内, 微生物的代谢活动增强, 对有机质的分解能力提高, 加速土壤有机质的分解过程。温度升高增强土壤微生物的活性, 改变土壤微生物的群落结构。温度升高导致土壤微生物网络结构更复杂, 关键节点数量增加^[2]。此种变化有利于某些微生物种群生长, 不利于其他种群生存。例如热带森林中, 温度升高导致土壤细菌和真菌群落结构发生显著变化, 细菌群落结构在连续三年采样中仍有显著变化, 真菌群落对增温的预测准确度比细菌更高。

温度升高导致的土壤有机质分解速率加快, 直接导致土壤碳产生严重损失。在热带森林中土壤温度升高 4℃, 二氧化碳排放量增加 55%, 相当于土壤有机质分解每年每公

顷损失 8.2 ± 4.2 吨碳。此种程度的碳损失对全球碳循环有重要影响, 如土壤碳库是陆地生态系统中最大的碳储存库, 与大气中二氧化碳的浓度和全球气候变化有对冲关系, 详见表 2 所示。

表 2 不同温度水平下土壤碳含量、微生物生物量、土壤呼吸速率等指标的变化

温度水平	土壤碳含量 (g/kg)	微生物生物量 (g/kg)	土壤呼吸速率 (μg CO ₂ -C/g soil/h)
对照 (20℃)	20	1.2	1.5
中等升高 (25℃)	18	1.5	2.0
高升高 (30℃)	16	1.8	2.5

4 CO₂ 浓度升高与温度升高的交互作用

长期大气 CO₂ 浓度升高与温度升高, 二者产生交互作用, 影响农田土壤碳库的动态平衡。CO₂ 浓度升高增强植物的光合作用, 促进光合碳向土壤中的输送, 增加土壤碳库的输入量。但是温度升高加速了土壤微生物的代谢活动, 土壤呼吸作用促进土壤有机质的分解, 从而增加土壤碳库的输出。CO₂ 浓度升高和温度升高对土壤碳库的影响可以相互抵消, 例如 CO₂ 浓度升高会增加土壤碳含量, 温度升高减少土壤碳含量。相关抵消作用取决于温度升高的幅度, 温度升高幅度较大时, 其对土壤碳库的负面影响可能超过 CO₂ 浓度升高的正面影响, 导致土壤碳库成为碳源^[3]。CO₂ 浓度升高会增加土壤真菌的丰度, 而温度升高则改变土壤细菌和真菌的群落结构。真菌能够分解难降解的有机质, 其丰度增加会加速土壤有机质的分解, 导致土壤碳损失。CO₂ 浓度升高与温度升高呈现交互性特点, 对土壤碳库的稳定性产生深远影响。温度升高会改变植物组织化学组成, 影响植物残体的分解速率。当地土壤微生物群落结构的稳定性下降, 会导致土壤有机质分解速率的波动, 影响土壤碳库的稳定性。

土壤中的有机质含有多种官能团, 包括疏水性酚官能团和亲水性羧基官能团等。温度升高减少疏水性酚官能团的含量, 增加了亲水性羧基官能团的含量。疏水性酚官能团是土壤有机质中一种重要的疏水基团, 能够与矿质胶体经过“键合”作用形成有机无机复合体, 实现土壤团聚体的形成稳定。温度升高, 土壤中挥发性酚含量下降的速度加快。在室温条件下挥发性酚含量下降最快, 其次是 25℃, 4℃时下降最慢。表明温度升高促进酚类物质的挥发氧化, 加速微生物对酚类物质的分解, 导致疏水性酚官能团含量的减少。模拟气候变暖的研究发现, 增温使土壤中羧基碳官能团的相对含量增加 15%。羧基官能团是亲水性基团, 其含量的增加使土壤有机质更易溶于水, 降低土壤团聚体的水稳定性。高温相对低温而言, 有机质易分解, 团聚体易受破坏, 稳定性降低。温度升高导致的疏水性酚官能团减少和亲水性羧基官能团增加, 进一步加剧土壤团聚体的破坏, 降低土壤团聚体