

周金玲,郑小东,田应兵,等.氧化剂对潜育性稻田土壤微生物生物量及有效养分的影响[J].江苏农业科学,2017,45(14):227-231.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.14.060

# 氧化剂对潜育性稻田土壤微生物生物量及有效养分的影响

周金玲<sup>1,2</sup>,郑小东<sup>2</sup>,田应兵<sup>1</sup>,陈香碧<sup>2</sup>,胡亚军<sup>2</sup>,董春华<sup>3</sup>,苏以荣<sup>2</sup>

(1. 长江大学,湖北荆州 434000; 2. 中国科学院亚热带农业生态研究所亚热带农业生态过程重点实验室,湖南长沙 410125;

3. 湖南省土壤肥料研究所,湖南长沙 410125)

**摘要:**以湖南浏阳典型潜育性稻田土壤为研究对象,选取粉末、造粒  $\text{CaO}_2$  为氧化剂,设置 3 种不同氧梯度,同时以与氧化剂同等含钙量的  $\text{CaO}_2$  为对照,模拟大田环境进行培养试验,于培养后 5、10、30、60、100 d 采样,分析氧化剂对潜育性稻田土壤微生物生物量氮、磷及铵态氮、硝态氮、Oslen 磷含量的影响。结果表明,与粉末  $\text{CaO}_2$  相比,造粒  $\text{CaO}_2$  处理土壤微生物生物量的高峰期延后,且在培养后期造粒  $\text{CaO}_2$  处理土壤微生物生物量氮、磷含量明显高于粉末  $\text{CaO}_2$  处理,其中高浓度处理最为明显。高浓度氧水平下,造粒  $\text{CaO}_2$  比粉末  $\text{CaO}_2$  更能促进潜育性稻田土壤铵态氮、硝态氮及 Oslen 磷的释放。可见,粉末  $\text{CaO}_2$  前期放氧速率较快,对潜育性稻田土壤微生物生物量及速效养分有一定的促进作用,造粒  $\text{CaO}_2$  因其特殊工艺制造,有效地缓解了氧化剂放氧速度快这一缺陷,并在培养后期仍能有效释氧。造粒  $\text{CaO}_2$  对潜育性稻田土壤在促进微生物生长及有效养分释放方面具有较好的应用潜力。

**关键词:**潜育性稻田土壤;过氧化钙;微生物生物量;有效养分

**中图分类号:** S154.3;S158 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)14-0227-04

潜育性稻田土壤由于长期淹水,常年地处低洼、排水不良造成还原物质积累,虽然本身有机质和全量养分含量高,但可被利用的养分含量低,土壤有机质周转较慢,有效养分供应不足<sup>[1-2]</sup>。微生物是土壤有机质周转的重要参与者,而长期淹水使潜育性稻田土壤透气性差,缺少氧气,致使土壤微生物代谢活性较低<sup>[3-4]</sup>,这很可能是导致潜育土壤有机质周转慢且还原性有机物质积累的关键环境因子。

通过农艺及工程措施提高土壤微生物生物量及活性,对于加快潜育性稻田土壤有机质周转具有一定的作用。前人对潜育性稻田土壤的改良做过很多研究,包括垄作、湿润灌溉、冬季晒垡、合理施肥等<sup>[5-6]</sup>,这些措施对潜育性稻田土壤均有一定的改良效果,但仍存在较大局限性,人力物力耗费大,且不能从根本上解决潜育性稻田土壤因处于特殊地势长期淹水而形成的有机质周转慢、还原物质过度累积的状况。过氧化物具有释放氧的特性,有研究表明,过氧化物(过氧化钙、过氧化镁等)可以增加土壤溶氧量,提高微生物活性,对于潜育性稻田改良具有较好的效果,但释氧较快,持续效果短暂<sup>[7]</sup>。董春华等研究表明,以粉末  $\text{CaO}_2$  为基质制成缓释氧化剂,很大

程度上延长了  $\text{CaO}_2$  释氧时间<sup>[8]</sup>。由此可见,延长过氧化物释放氧的时间,成为调控潜育性稻田有机质周转的一个关键点。

通过适当的工艺流程对  $\text{CaO}_2$  进行造粒,并以环境友好型惰性材料将其包膜,所得到的造粒  $\text{CaO}_2$  能否减缓其氧气释放、增加过氧化物可持续供氧能力、改善潜育性稻田土壤环境、促进养分释放还有待进一步研究。因此,本试验拟通过培养粉末和造粒  $\text{CaO}_2$ ,研究其对潜育性稻田土壤微生物生物量及养分释放的影响,旨在为潜育性稻田改良及合理施肥提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

供试土壤于 2016 年 4 月 26 日采自湖南省浏阳市(113°19'00.9"E,27°58'07.1"N)典型潜育性稻田。该地区属于亚热带季风湿润气候,年平均气温 16.7~17.6℃,年平均降水量 1 552 mm。采样田块为发育于板页岩的潜育性稻田,耕层潜育明显,土壤呈青灰色。采集土壤表层 0~20 cm,剔除植物根系和石块等,取 1 kg 左右过 2 mm 筛,用于土壤理化性质分析;其余土壤淹水 2 cm(保持还原性)备用。

供试土壤的基本理化性质为:pH 值 4.69,有机质含量 22.56 g/kg,全氮含量 1.15 g/kg,Oslen 磷含量 3.61 mg/kg,交换性钾含量 31.81 mg/kg,还原物质总量 21.67 cmol/kg,  $\text{Fe}^{2+}$  含量 0.61 cmol/kg,  $\text{Mn}^{2+}$  含量 76.63 mg/kg。

### 1.2 试验设计

试验选取 2 种氧化剂[粉末  $\text{CaO}_2$ (含 75%  $\text{CaO}_2$ )和造粒  $\text{CaO}_2$ (含 31.8%  $\text{CaO}_2$ )],设置 3 种浓度(含氧量分别为 0.002、0.022、0.222 g),并设置与氧化剂中相同含钙量的氧

收稿日期:2017-02-11

基金项目:国家自然科学基金(编号:41471199);国家重点研发计划(编号:2016YFD0200106-5)。

作者简介:周金玲(1990—),女,湖北武汉人,硕士研究生,研究方向为土壤养分循环与环境生态。E-mail:haol23zhou@foxmail.com。  
通信作者:苏以荣,研究员,博士生导师,研究方向为土壤生态与植物营养调控,E-mail:yrsu@isa.ac.cn;田应兵,教授,博士生导师,研究方向为土壤肥力、土壤生态与环境保护,E-mail:yingbt@sina.com。

化钙(含 95% CaO)及不添加任何物质的土壤作为对照(CK),总共 10 个处理。

称取 200 g(干土计)的土壤于高 20 cm、直径 7 cm 的 PVC 管中,加去离子水至淹水 2 cm,预培养 7 d,按以上试验处理中的设置,添加不同量氧化剂于 PVC 管中,玻璃棒搅匀,并用注射器加入一定量去离子水洗净残余土壤于管内,使之淹水 3 cm,将 PVC 管置于长 2.5 m/宽 0.8 m 的培养槽中。培养槽内填充一定量的土壤并淹水,使之与 PVC 管内土壤、淹水高度一致,将培养槽置于室外,敞口培养(本试验于 2016 年 6 月 1 日开始培养)。于培养的第 5、第 10、第 30、第 60、第 100 天(即 2016 年 6 月 5 日、2016 年 6 月 10 日、2016 年 6 月 30 日、2016 年 7 月 30 日、2016 年 9 月 8 日)采用破坏性取样(培养过程中及时补充蒸发的水分),每次取样每个处理重复 4 次。保持样品的新鲜状态,并于中国科学院亚热带农业生态研究所亚热带农业生态过程重点实验室室内尽快测定微生物生物量及铵态氮、硝态氮含量,取部分土壤风干备用,另一部分土壤于 4 ℃ 保存。

### 1.3 测定方法

理化性质土壤 pH 值用 pH 计(梅特勒 F20)测定,以水为浸提剂,水土质量比为 2.5 : 1,土壤有机质含量采用重铬酸钾氧化外加热法测定,土壤全氮含量采用半微量开氏法测定,Oslen 磷含量用 0.5 mol/L NaHCO<sub>3</sub> 浸提 - 钼锑抗比色法测定,交换性钾含量用 1 mol/L NH<sub>4</sub>OAc 浸提 - 原子吸收法测

定<sup>[9]</sup>。还原物质总量采用硫酸铝浸提 - 重铬酸钾氧化法测定,Fe<sup>2+</sup> 含量采用硫酸铝浸提 - 邻菲罗啉比色法测定,Mn<sup>2+</sup> 含量采用硫酸铝浸提 - 高碘酸钾比色法测定<sup>[10]</sup>。

微生物生物量磷用三氧甲烷熏蒸 - 0.5 mol/L NaHCO<sub>3</sub> 提取 - 钼锑抗比色法测定;微生物生物量氮用三氧甲烷熏蒸 - 0.5 mol/L K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 提取 - 流动注射氮分析仪法测定<sup>[11-13]</sup>。

硝态氮、铵态氮含量采用 0.5 mol/L K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 浸提鲜土样,滤液用流动注射分析仪 AA3(德国 SEAL)测定<sup>[14]</sup>。

### 1.4 数据处理

所有数据均采用 Excel 2003 进行处理,统计分析用 SPSS 11.0 软件进行,图用 Origin 8.5 作图软件完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 氧化剂对微生物生物量氮含量的影响

2.1.1 对微生物生物量氮的影响 图 1 为不同浓度氧化剂下潜育性稻田土壤微生物生物量氮的浓度变化。第 5 天时,低浓度粉末 CaO<sub>2</sub> 和造粒 CaO<sub>2</sub> 相差较小(图 1 - A),而中、高浓度粉末 CaO<sub>2</sub> 处理微生物生物量氮高于造粒 CaO<sub>2</sub> 处理(图 1 - B、图 1 - C)。3 种氧水平下,粉末 CaO<sub>2</sub> 在第 10 天时微生物生物量氮达到高峰,显著高于造粒 CaO<sub>2</sub> 处理,随后快速下降接近平稳。而造粒 CaO<sub>2</sub> 前期微生物生物量氮呈上升趋势,在第 60 天时达到高峰,显著高于粉末 CaO<sub>2</sub> 处理,随后有所下降,但仍高于粉末 CaO<sub>2</sub> 处理。

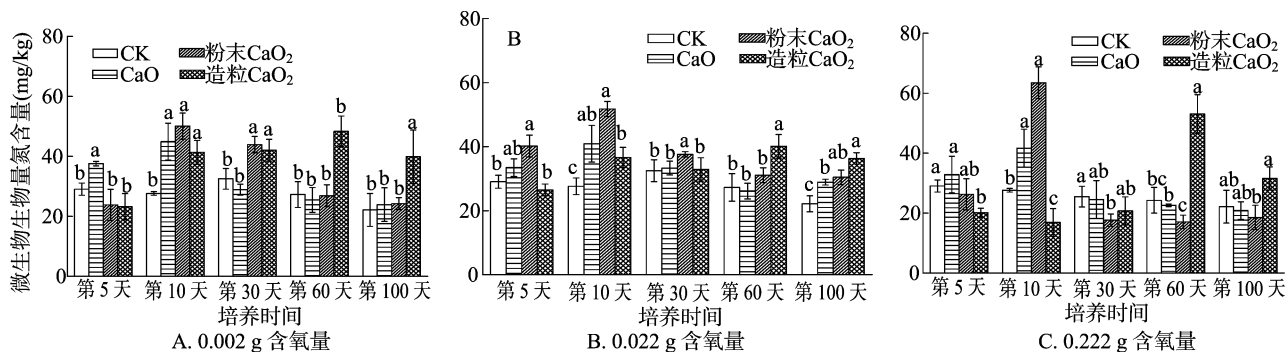


图1 不同含氧水平下氧化剂对潜育性稻田土壤微生物生物量氮含量的影响

2.1.2 氧化剂对铵态氮含量的影响 由图 2 可以看出,低、中浓度 2 种氧化剂处理的土壤铵态氮含量趋势一致(图 2 - A、图 2 - B)。从第 5 天至第 30 天,各处理铵态氮含量呈下降趋势,第 60 天明显增加,之后又呈下降趋势。在第 5 天时,3

种浓度氧水平下粉末 CaO<sub>2</sub> 处理的铵态氮含量高于其他处理。第 100 天时,低、中浓度造粒 CaO<sub>2</sub> 处理土壤铵态氮含量高于粉末 CaO<sub>2</sub> 处理;而高浓度氧水平下,从第 10 天到第 100 天造粒 CaO<sub>2</sub> 土壤铵态氮含量始终高于粉末 CaO<sub>2</sub> 处理(图 2 - C)。

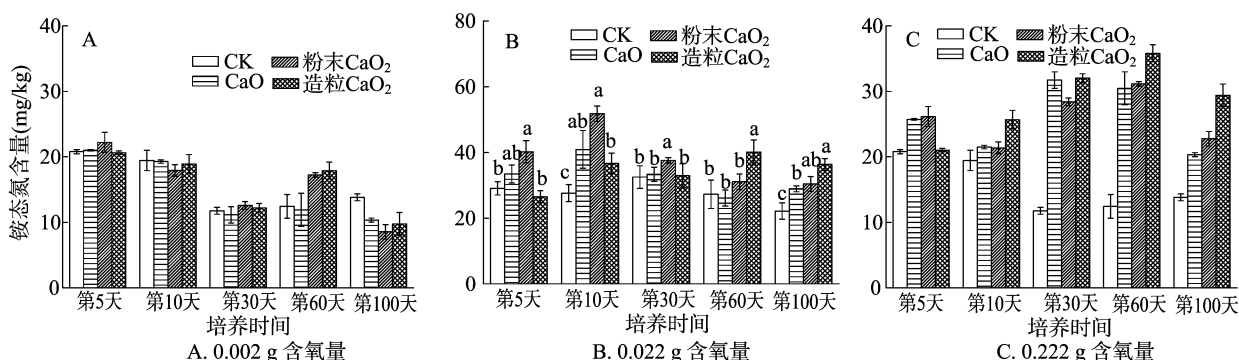


图2 不同含氧水平下氧化剂对潜育性稻田土壤铵态氮含量的影响

2.1.3 氧化剂对硝态氮含量的影响 与铵态氮含量相比,不同氧化剂处理对潜育性稻田土壤硝态氮含量的影响截然不同(图3)。在第5天时,低浓度粉末  $\text{CaO}_2$  处理土壤硝态氮含量

略高于造粒  $\text{CaO}_2$  处理(图3-A),但其他所有处理均表现为造粒  $\text{CaO}_2$  处理土壤硝态氮含量高于粉末  $\text{CaO}_2$  处理。

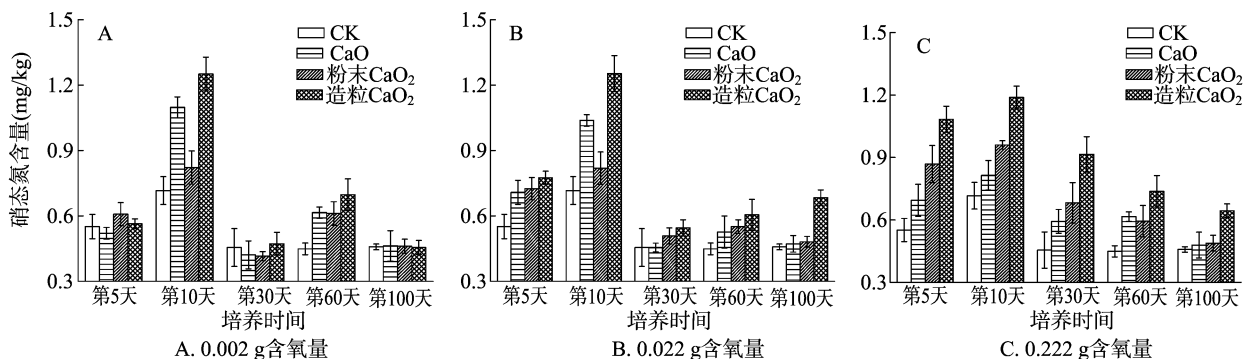


图3 不同浓度氧化剂对潜育性稻田土壤硝态氮含量的影响

2.2 氧化剂对微生物生物量磷及 Oslen 磷含量的影响

2.2.1 氧化剂对微生物生物量磷含量的影响 图4为不同浓度氧化剂水平下潜育性稻田土壤微生物生物量磷浓度变化。低、中、高粉末  $\text{CaO}_2$  处理的土壤微生物生物量磷分别于第30、第10、第10天达到高峰,而造粒  $\text{CaO}_2$  处理分别于第60、第10、第30天达到高峰。粉末  $\text{CaO}_2$  前期释氧效果较造

粒  $\text{CaO}_2$  好;3种不同氧化剂浓度下,土壤微生物生物量分别于第60、第10、第5天,表现为造粒  $\text{CaO}_2$  处理的土壤微生物生物量磷明显高于粉末  $\text{CaO}_2$  处理。由此可以看出,造粒  $\text{CaO}_2$  处理对微生物生物量磷含量的促进作用在后期比较明显。

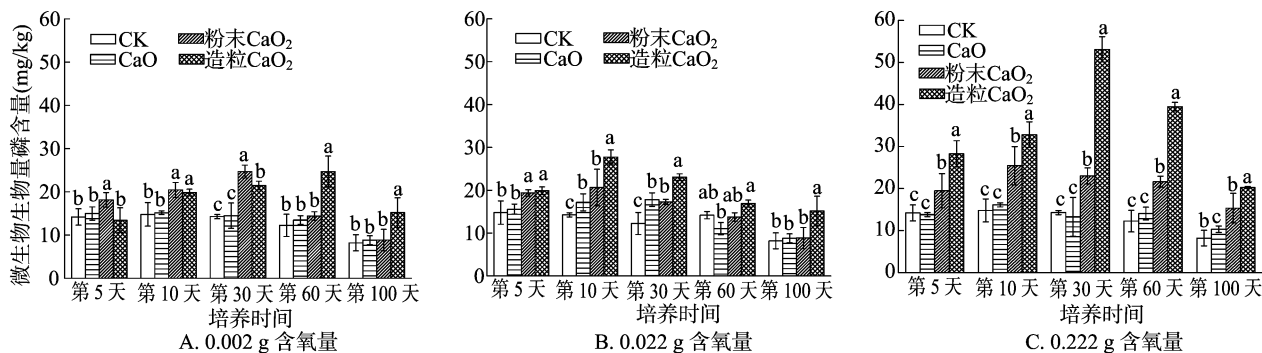


图4 氧化剂对潜育性稻田土壤微生物生物量磷含量的影响

2.2.2 氧化剂对 Oslen 磷含量的影响 低、中浓度氧化剂水平下,第5天到第60天粉末  $\text{CaO}_2$  处理和造粒  $\text{CaO}_2$  处理的土壤 Oslen 磷含量差异不显著,而在第100天时,造粒  $\text{CaO}_2$  处理的 Oslen 磷含量显著大于粉末  $\text{CaO}_2$  处理(图5-A、图5-B)。高浓度氧化剂水平下(图5-C)各处理 Oslen 磷含量差异明显,在第5天、第10天时,粉末  $\text{CaO}_2$  处理的土壤 Oslen

磷含量大于造粒  $\text{CaO}_2$  处理,且在第10天达到显著水平。而在第30天之后,造粒  $\text{CaO}_2$  处理的土壤 Oslen 磷含量大于粉末  $\text{CaO}_2$  处理,其中在第100天时两者差异达到最大。说明粉末  $\text{CaO}_2$  前期释氧效果较好,而造粒  $\text{CaO}_2$  释氧量较粉末  $\text{CaO}_2$  滞后。

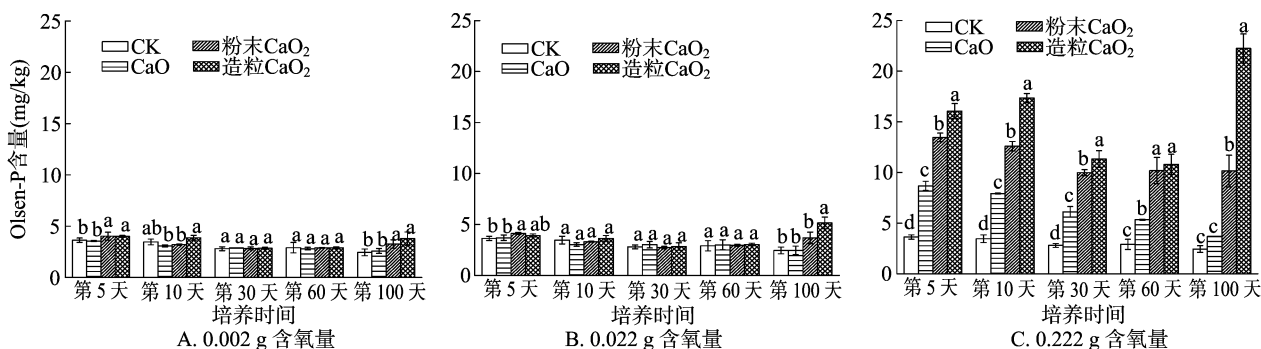


图5 不同浓度氧化剂对潜育性稻田土壤 Oslen 磷含量的影响

### 3 讨论

潜育性稻田土壤长期处于渍、冷、烂、闭的环境中,还原物质含量过高,尽管有机和无机养分总量充足,但微生物活性低,周转慢,导致水稻产量低<sup>[15-16]</sup>。CaO<sub>2</sub> 呈碱性,施入到土壤中与水结合生成氧气及碱性物质,可有效减少还原物质累积<sup>[7,17]</sup>。此外,CaO<sub>2</sub> 能够有效改善酸性土壤 pH 值,优化土壤环境<sup>[18]</sup>。因此,CaO<sub>2</sub> 对于潜育性稻田土壤的改良具有一定的意义。但有研究表明,CaO<sub>2</sub> 释氧速率较快,不足以维持水稻整个生长周期所需,且对促进土壤微生物活性及无机养分的释放具有一定的局限性<sup>[19]</sup>,周彦波等研究表明,粉末 CaO<sub>2</sub> 释氧在第 7 天到达高峰,随后呈快速下降趋势;而缓释氧化剂在第 14 天之后达到高峰,随后较长时间释氧水平一直维持该速率<sup>[20]</sup>。由此可见,不同形态 CaO<sub>2</sub> 释氧特征截然不同,这可能是导致后续微生物过程及土壤养分释放的关键驱动因子。

本研究结果显示,2 种氧化剂对潜育性稻田土壤环境都有一定的改善作用。与粉末 CaO<sub>2</sub> 相比,经过工艺混合处理的造粒 CaO<sub>2</sub>,对微生物生长和养分释放的促进作用更持久。对于潜育性稻田土壤微生物的生长及活性都依赖于氧的供应量及持续性<sup>[21-22]</sup>。粉末 CaO<sub>2</sub> 可以迅速提高土壤溶氧量,使得微生物生物量快速增加,但随后因缺乏持续供氧导致微生物活性回复到原来的较低水平,极大地限制了微生物将潜育性稻田土壤有机质转化为作物生长所必需的有效养分的能力。本试验所用的造粒 CaO<sub>2</sub> 选取惰性材料,与 CaO<sub>2</sub> 混合,制备后性质较为稳定,施入土壤中释氧速率稳定而持久,微生物生长及活性较高,有效地促进了潜育性稻田土壤有机物质周转和养分释放。相对于土壤碳、氮、磷来讲,微生物生物量碳、氮、磷属于一种活性养分库,其群落死亡后释放出来的养分是土壤有效养分的主要来源之一<sup>[23-24]</sup>。

各氧化剂对潜育性稻田土壤速效养分均有促进作用。在高浓度氧水平下,相比于粉末 CaO<sub>2</sub>,造粒 CaO<sub>2</sub> 更能促进潜育性稻田土壤铵态氮、硝态氮及 Oslen 磷的释放。这说明造粒 CaO<sub>2</sub> 对潜育性稻田土壤在促进微生物活性及养分释放方面具有较好的应用潜力。在培养前期粉末 CaO<sub>2</sub> 对微生物生物量氮、磷的影响效果优于造粒 CaO<sub>2</sub>,中后期以及高浓度造粒 CaO<sub>2</sub> 的影响效果优于粉末 CaO<sub>2</sub>,表明通过工艺造粒的 CaO<sub>2</sub> 能有效缓解 CaO<sub>2</sub> 因快速释氧造成后期不能满足土壤微生物活动需氧的缺陷。针对这一现象,于实际应用中,若单独施用粉末 CaO<sub>2</sub>,则应在作物生长中后期适当补充养分;若单施造粒 CaO<sub>2</sub>,则应在作物生长前期适当补充养分,以达到作物生长需要。

高浓度氧化剂极大地促进了潜育性稻田土壤微生物的活性。高浓度 CaO<sub>2</sub> 对土壤微生物生物量的促进作用优于低、中浓度 CaO<sub>2</sub> 氧化剂,进一步说明氧气是潜育性稻田土壤微生物量的主要影响因子。低、中浓度氧化剂土壤 Oslen 磷含量的变化并不明显,高浓度氧化剂显著促进了土壤 Oslen 磷的含量。说明低、中浓度氧化剂释放出的氧极大地促进了土壤中微生物的活性,土壤中释放出的 Oslen 磷并不能满足土壤微生物活动所需,以致于不能提高土壤本身 Oslen 磷的含量。而高浓度氧化剂相对于低、中浓度氧化剂水平下,氧较为充足,大大提高了潜育性稻田土壤中 Oslen 磷的含量。在实

际应用中可适当提高氧化剂的施用量,以促进速效养分的释放。

本研究模拟大田试验在自然环境中进行,培养时间为 100 d,跟水稻的生长周期相一致,结果具有较高参考价值。结果表明,在处理第 30 天至第 100 天,造粒 CaO<sub>2</sub> 对微生物量及养分的促进作用明显优于 CaO<sub>2</sub>,对于潜育性稻田水稻生长具有较好的促进作用。可见在潜育性稻田改良中,“以氧促微生物,进而改田”是一种较好的方法。本研究所用的高浓度是相对低、中浓度来设计的,未来可进一步研究促进微生物生长及养分释放的最佳阈值范围。

### 参考文献:

- [1] 龚子同,张效朴,韦启璠. 我国潜育性水稻土的形成、特性及增产潜力[J]. 中国农业科学,1990,23(1):45-53.
- [2] 高明,张薇,王子芳,等. 水分状况对紫色母岩发育的水稻土团聚体及有机碳分布影响[J]. 土壤学报,2008,45(5):943-949.
- [3] Hou A X, Chen G X, Wang Z P, et al. Methane and nitrous oxide emissions from a rice field in relation to soil redox and microbiological processes[J]. Soil Science Society of America Journal, 2000, 64(6): 2180-2186.
- [4] 向万胜,李卫红,童成立. 江汉平原农田渍害与土壤潜育化发展现状及治理对策[J]. 生态环境,2000,9(3):214-217.
- [5] 李大明,余喜初,柳开楼,等. 工程排水和农业措施改良鄱阳湖区潜育化稻田的效果[J]. 植物营养与肥料学报,2015,21(3):684-693.
- [6] Liu Y X, Lu H H, Yang S M, et al. Impacts of biochar addition on rice yield and soil properties in a cold waterlogged paddy for two crop seasons[J]. Field Crops Research, 2016, 191:161-167.
- [7] 余喜初,李大明,黄庆海,等. 过氧化钙及硅钙肥改良潜育化稻田土壤的效果研究[J]. 植物营养与肥料学报,2015,21(1):138-146.
- [8] 董春华,罗尊长,苏以荣,等. 一种以过氧化钙为基质乙基纤维素为包膜的缓释氧化剂及制备方法:CN105925267A[P]. 2016-04-13.
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000:79-84.
- [10] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2000:30-107.
- [11] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C [J]. Soil Biology and Biochemistry, 1987, 19(6):703-707.
- [12] Brookes P C, Powlson D S, Jenkinson D S. Measurement of microbial biomass Phosphorus in soil [J]. Soil Biology and Biochemistry, 1982, 14:319-329.
- [13] 林启美,吴玉光,刘焕龙. 熏蒸法测定土壤微生物量碳的改进[J]. 生态学杂志,1999,18(2):64-67.
- [14] 张娟,武同华,代兴龙,等. 种植密度和施氮水平对小麦吸收利用土壤氮素的影响[J]. 应用生态学报,2015,26(6):1727-1734.
- [15] 刘占军,艾超,徐新朋,等. 低产水稻土改良与管理研究策略[J]. 植物营养与肥料学报,2015,21(2):509-516.
- [16] 柴娟娟,廖敏,徐培智,等. 我国主要低产水稻冷浸田养分障碍因子特征分析[J]. 水土保持学报,2012,26(2):284-288.
- [17] 龙成凤,姚其华,范先鹏,等. 棕红壤地区冲垅冷浸田的改造技

张 洋,李 青,梅丽娟,等. 施肥方式对黄瓜连作土壤微生物区系及多样性的动态影响[J]. 江苏农业科学,2017,45(14):231-235.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.14.061

# 施肥方式对黄瓜连作土壤微生物区系及多样性的动态影响

张 洋,李 青,梅丽娟,赵海涛,封 克,胡 建

(扬州大学环境科学与工程学院,江苏扬州 225127)

**摘要:**利用稀释平板计数和 PCR-变性梯度凝胶电泳(简称 PCR-DGGE)等方法,分析化肥(FT)、普通有机肥+化肥(FC)、微生物有机肥+化肥(FB)、不施肥(CK)等不同基肥处理条件下,连作 1、3、5、7 茬黄瓜土壤细菌、放线菌、真菌数量及多样性的动态变化。结果表明:(1)随着连作茬数的增加,根际土壤微生物数量呈逐渐增加趋势;(2)与对照相比,施用化肥处理总体上明显促进了连作土壤中放线菌、真菌数量的增加,而对细菌数量的增加有明显的抑制作用,施用普通有机肥+化肥对细菌、放线菌数量的增加均有不同程度的促进作用;(3)连作及不同施肥方式对土壤细菌群落结构均能产生不同程度的影响,除对照处理外,其他施肥处理土壤细菌多样性及丰富度随着连作茬数的增加呈下降趋势,相对于化肥及普通有机肥+化肥处理,微生物有机肥+化肥处理对维持连作过程细菌多样性及丰富度具有明显作用;(4)连作均促进了 FT、FB、FC 等 3 种施肥处理根际土壤真菌多样性及丰富度的上升,但与对照相比上升幅度较小,在连作 7 茬后土壤真菌多样性及丰富度表现为 FB>FC>FT。

**关键词:**施肥方式;黄瓜连作;细菌;真菌;多样性;PCR-变性梯度凝胶电泳(PCR-DGGE)

**中图分类号:** S154.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)14-0231-05

随着我国现代农业的不断发展,设施栽培面积逐年增加并呈规模化趋势。在市场经济驱动下的商品化设施蔬菜生产中,连作障碍普遍发生。黄瓜作为设施蔬菜的主要品种之一,近年来其连作障碍的发生机制及防治受到学者们的广泛关注。已有研究表明,自毒作用、土壤理化性质劣化、土壤微生物区系失衡是黄瓜连作障碍发生的主要原因<sup>[1-2]</sup>,并且认为土壤灭菌<sup>[3]</sup>、嫁接<sup>[4]</sup>、合理轮作<sup>[5]</sup>、施用有机肥及微生物肥料<sup>[6-7]</sup>等措施可有效防止黄瓜连作障碍的发生。其中施用有机肥在平衡矿质营养、提高作物品质和产量的同时,可提高土

壤微生物活性,有利于土壤健康微生物区系的形成<sup>[8-10]</sup>。作为一种方便、低成本的农艺措施,合理施用有机肥对黄瓜连作障碍的预防与控制具有重要的实践意义。目前有关施肥方式对黄瓜连作土壤微生物区系影响的研究较少,关于不同施肥方式对黄瓜连作过程土壤微生物区系及多样性动态变化的研究更是鲜有报道<sup>[10-12]</sup>。本研究基于无机肥(化肥)、有机肥、微生物有机肥,设置不同的施肥处理,跟踪分析不同施肥条件下大棚黄瓜连作过程中土壤微生物区系及多样性的动态变化,以期对黄瓜连作土壤微生物区系的维持及连作障碍的预防及缓解提供理论基础。

收稿日期:2016-03-30

基金项目:公益性行业(农业)科研专项(编号:201103004);江苏省苏州市科技支撑计划(编号:SNG201307);江苏省常熟市科技计划(编号:CS201408)。

作者简介:张 洋(1991—),男,江苏盐城人,硕士,主要从事微生物资源农业利用研究。E-mail:1426288286@qq.com。

通信作者:胡 健,博士,教授,主要从事资源与环境方面的教学与科研工作。E-mail:huj@yzu.edu.cn。

术及效果[J]. 中国农业大学学报,1997,2(增刊1):108-111。

[18]张 静,周雪飞,钱雅洁. 过氧化钙在环境修复应用中的研究进展[J]. 环境化学,2014,33(2):321-326。

[19]葛 飞,李 权,刘海宁,等. 过氧化钙的制备与应用研究进展[J]. 无机盐工业,2010,42(3):1-4。

[20]周彦波,王英秀,周振华,等. 过氧化钙缓释氧剂的制备及其释氧特性研究[J]. 中国给水排水,2012,28(7):64-67。

[21]Wei X M,He R,Chen M,et al. Conversion of methane-derived Carbon and microbial community in enrichment cultures in response to O<sub>2</sub> availability[J]. Environmental Science and Pollution

Research,2016,23(8):7517-7528。

[22]Dilly O. Microbial respiratory quotient during basal metabolism and after glucose amendment in soils and litter[J]. Soil Biology and Biochemistry,2001,33(1):117-127。

[23]董稳军,徐培智,张仁陟,等. 土壤改良剂对冷浸田土壤特性和水稻群体质量的影响[J]. 中国生态农业学报,2013,21(7):810-816。

[24]郭建红,潘剑君,葛序娟,等. 不同农业利用方式对土壤有机碳矿化及其与有机碳组分的关系[J]. 水土保持学报,2015,29(6):178-183。