

臧祎娜,周晓丽,解东友,等. 硝化抑制剂 DCD 和 NP 对温室菜田土壤氮素转化及 N_2O 、 CO_2 排放的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(20):333-337.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.20.083

硝化抑制剂 DCD 和 NP 对温室菜田土壤氮素转化及 N_2O 、 CO_2 排放的影响

臧祎娜¹, 周晓丽^{1,2}, 解东友¹, 梁晓娜¹, 贾剑波¹, 王金焱¹, 张丽娟²

(1. 河北农业大学资源与环境科学学院, 河北保定 071000; 2. 河北省农田生态环境重点实验室, 河北保定 071000)

摘要: 研究施加 2 种不同浓度的硝化抑制剂双氰胺(dicyandiamide, 简称 DCD)、2-氯-6-(三氯甲基)吡啶(nitrapyrin, 简称 NP) 对设施菜田土壤一氧化二氮(N_2O)、二氧化碳(CO_2) 排放及 N_2O 氮素转化的影响。以河北省永清县设施菜田土壤为研究对象, 采用室内静态培养系统, 设定温度、土壤含水量分别为 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、70% WFPS (即土壤含水孔隙率, water filled pore space), 监测土壤 N_2O 、 CO_2 排放量及土壤无机氮含量, 研究 DCD、NP 对土壤氮素硝化作用的抑制效果。结果表明, 土壤只添加尿素后, N_2O 排放峰达到 $2\,430.03\ \mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{d})$, 添加含氮量的 0.1% NP、0.8% NP、5% DCD 的土壤 N_2O 排放峰值分别为 311.63 、 336.46 、 $1\,435.07\ \mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{d})$, 添加 0.1% NP 对于 N_2O 减排效果最好; 添加 0.8% NP 的土壤 CO_2 累积排放量为 $757.87\ \text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$, 明显高于其余各处理; NP 和 DCD 2 种硝化抑制剂提高了土壤铵态氮的含量, 而且添加 0.8% NP 对硝态氮的抑制效果更为明显。

关键词: 设施菜田; DCD; NP; N_2O ; CO_2 ; 氮素转化; 硝化作用; 温室气体排放; 硝化抑制剂

中图分类号: X511; S153.6⁺1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)20-0333-04

N_2O 作为重要的温室气体, 其增温效应可达 CO_2 的 298 倍^[1]。据估计, 大气每年 80% ~ 90% 的 N_2O 、5% ~ 20% 的 CO_2 来自土壤^[2]。为了追求高产, 农民过量施肥, 使氮肥的施用量持续增加, 这大大促进了温室气体的排放^[3]。与大田作物不同, 高投入高产出的经营模式使设施菜田养分投入量很高, 氮素积累现象特别明显^[4]。据统计, 至 2010 年年底, 我国设施蔬菜栽培面积已经超过 $270\ \text{hm}^2$ ^[5]; 而到 2015 年, 我国北方设施蔬菜面积突破 $102\,533\ \text{hm}^2$ ^[6]。大量投入氮肥不仅利用率较低, 造成资源浪费和面源污染, 由此还产生大量 N_2O 、 CO_2 等温室气体, 严重威胁生态系统安全。因此, 研究提高氮肥利用率及温室气体减排的途径和机制具有重要的现实意义。土壤氮素转化过程调控以及 N_2O 排放机制一直是研究的焦点, 已有的研究围绕不同施氮量及田间管理对氮素转化的影响展开^[7]。分析土壤氮素转化和循环过程, 通过施加硝化抑制剂来调控转化, 是提高氮素利用率、减排温室气体、优化农田生态系统的可行途径^[8-9]。氮肥配施双氰胺、硫代硫酸钾矿质氮库铵态氮转化量分别显著降低了 74.1% ($P < 0.01$)、16.6% ($P < 0.05$), 氮肥与这 2 种抑制剂配施均不同程度地抑制了硝化作用, 抑制率分别为 35.5% ~ 98.7%、

82.2% ~ 103.5%^[10]。同时, 也有很多研究集中于不同添加剂对露天菜地或种植小麦、玉米等粮食作物的大田中氮素转化以及 N_2O 排放的影响^[11-15]。雨养区种植春玉米的农田减量施氮同时添加硝化抑制剂双氰胺(dicyandiamide, 简称 DCD) 降低了硝态氮峰值 19.0%^[16]。连续种植 4 季蔬菜的大田在各氮肥水平处理下, 硝化抑制剂均能降低 N_2O 排放量, 抑制率为 8.75% ~ 25.28%, 且这种减排效果随着施氮量的增加而增加^[17]。

本试验通过室内静态培养, 测定培养期内 N_2O 、 CO_2 排放通量、排放总量、无机氮含量及转化率, 研究不同添加比例的硝化抑制剂 2-氯-6-(三氯甲基)吡啶(nitrapyrin, 简称 NP) 以及 DCD 对设施蔬菜田土壤氮素转化和 CO_2 排放的影响, 揭示土壤氮素损失的机制, 旨在筛选效果最优的抑制剂及其添加量, 对研制生化调控肥及农业生产应用具有现实意义。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

试验于 2015 年 8 月 30 日至 10 月 9 日在河北农业大学生命科学楼实验室进行。供试土壤选用河北省廊坊市永清县大辛阁乡北岔口村蔬菜棚(种植年限为 16 年, 前茬作物为番茄)耕层土壤, 质地为沙质黏壤土, 容重为 $1.2\ \text{g}/\text{cm}^3$, pH 值(水、土体积比 = 2.5 : 1) 为 8.0, 有机质含量为 $37.53\ \text{g}/\text{kg}$, 碱解氮含量为 $114.80\ \text{mg}/\text{kg}$, 速效磷含量为 $278.49\ \text{mg}/\text{kg}$, 速效钾含量为 $307.19\ \text{mg}/\text{kg}$ 。试验前土壤去除草、杂物, 过 2 mm 筛, 在 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ 下避光培养 1 周。

1.2 试验设计与布置

在室温 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ 下, 采用静态培养系统进行室内模拟试验。试验共设 6 个处理, 每个处理 9 个重复, 随机排列(表 1)。

收稿日期: 2017-04-19

基金项目: 河北省现代蔬菜产业技术体系(编号: 1004013); 全国大学生创新创业训练计划(编号: 201610086023); 河北省研究生创新项目(编号: 1099009)。

作者简介: 臧祎娜(1995—), 女, 河北张家口人, 主要从事环境质量评价与监控研究。E-mail: yn_zang@163.com。

通信作者: 张丽娟, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事土壤与环境研究。E-mail: lj_zh2001@163.com。

表 1 试验主要成分设计

编号	处理	含氮量 (%)	施氮量 (mg/kg)	含水量 (%)	样品 添加量
N ₀	不施氮	0	0	70	0
N ₁	尿素	46	100	70	94.36 mg
N ₂	NP(添加量为含氮量的 0.1%)	0	100	70	0.50 mL
N ₃	NP(添加量为含氮量的 0.8%)	0	100	70	4.00 mL
N ₄	DCD(添加量为含氮量的 5%)	66.7	100	70	2.17 mg

将预培养土样与不同添加物充分混匀后装入广口瓶(高 17 cm,内径 9.6 cm),广口瓶事先分别于距瓶底 2.5、5.0 cm 处标记,土壤分 2 次装入并压实到标记刻度处,使广口瓶中土层高度为 5 cm,样品容重与田间容重一致。装瓶完毕后,继续向瓶中土层喷洒蒸馏水,调节土壤含水量为田间最大持水量的 70%,盖上封口膜(Parafilm 膜,透气不透水),同时裹上黑色塑料袋避光,将样品随机放置在(25±1)℃培养箱中培养 40 d。在培养期间每 3 d 称质量 1 次,根据初始瓶质量补加去离子水以保持土壤含水量恒定。

1.3 样品采集及测定

1.3.1 N₂O 和 CO₂ 装瓶后的第 1、2、3、5、7、10、13、16、22、30、40 天采集气体。采集时间为每天 08:30—09:00,采气前揭开 Parafilm 膜 5 min,充分通气,然后塞上橡皮塞富集气体。橡皮塞上连有三通阀,通过注射器与三通阀连接可以采集广口瓶顶部的气样,连续采集 0、10、20 min 的气体各 1 针,每针 20 mL,同时记录温度。利用气相色谱仪(Agilent 7890A 型)测定 N₂O、CO₂ 气体样品浓度。

1.3.2 土壤铵态氮(NH₄⁺-N)、硝态氮(NO₃⁻-N)含量 装瓶后的第 1、3、5、7、16、22、30、40 天破坏性地采集新鲜土壤样品,过 3 mm 筛备用。称取过筛后的新鲜土壤 12 g,用 50 mL 1mol/L KCl(优级纯),按 1 g:5 mL 土水比提取无机氮。将过滤后的滤液放在胶卷盒冷冻,用三通道流动分析仪(TRRACS 2000 型)测定溶液铵态氮和硝态氮含量。

1.3.3 土壤 pH 值的测定 在试验开始、初期、试验结束时采集土壤样品,土样风干并通过 1 mm 筛,采用电位计法测定土壤 pH 值。

1.4 数据计算与统计分析

1.4.1 N₂O 通量 计算公式:

$$F_1 = 273 \div (273 + T) \times 28 \times 60 \times 24 \times 10^{-3} \times V \times dC/dt \div 22.4 \div 0.465\ 67。$$
 (1)

式中: F_1 为 N₂O 排放通量(N₂O-N),μg/(kg·d); T 为瓶内温度,℃;28 为 1 mol N₂O 分子中 N 的质量数;22.4 为 273 K 时 N₂O 摩尔体积,L/mol; V 为土壤表面上方的气体体积,L; C 为 N₂O 气体浓度,nL/L; t 为关瓶时间,min; dC/dt 为广口瓶内 N₂O 气体浓度的时间变化率,nL/(L·min)。

1.4.2 CO₂ 通量 计算公式:

$$F_2 = 273 \div (273 + T) \times 12 \times 60 \times 24 \times 10^{-3} \times V \times dC/dt \div 22.4 \div 0.465\ 67。$$
 (2)

式中: F_2 为 CO₂ 排放通量(CO₂-C),mg/(kg·d);12 为 1 mol CO₂ 分子中 C 的质量数; dC/dt 为广口瓶内 CO₂ 气体浓度随时间的变化率,nL/(L·min)。

1.4.3 土壤 NO₃⁻、NH₄⁺ 含量 计算公式:

$$M = C \times [100 + 1.24 \times w] / 24。$$
 (3)

式中: M 为土壤 NO₃⁻、NH₄⁺ 含量,mg/kg(以氮计); C 为浸提液中 NO₃⁻、NH₄⁺ 浓度,mg/L(以氮计); w 为土壤水的质量分数,%。

1.4.4 土壤表观硝化率 计算公式:

$$\text{土壤表观硝化率} = \text{NO}_3^- - \text{N 含量} / (\text{NH}_4^+ - \text{N 含量} + \text{NO}_3^- - \text{N 含量}) \times 100\%。$$
 (4)

1.4.5 统计分析 数据采用 Excel 2003、SPSS 16.0 进行方差分析与统计分析,用最小显著差异法(LSD)作多重比较。

2 结果与分析

2.1 土壤 N₂O 和 CO₂ 排放特征

2.1.1 培养期间土壤 N₂O 和 CO₂ 排放通量动态变化 由图 1-a 可知,对照 N₀ 的 N₂O 排放通量最低,N₁ 处理 N₂O 排放通量最高,在第 1 天即达到最大值 2 430.03 μg/(kg·d),之后逐渐减少;N₄ 处理 N₂O 排放通量仅次于 N₁ 处理,随时间的变化趋势与 N₁ 处理相同;N₂ 处理的 N₂O 排放通量低于 N₄ 处理,在第 1 天达到最大值,第 3 天则急剧减少,此后趋于平缓;N₃ 处理的 N₂O 排放通量峰值延后,第 3 天出峰至第 5 天后骤降,此后趋于平缓。N₂、N₃、N₄ 处理的 N₂O 排放通量峰值分别为 311.63、336.46、1 435.07 μg/(kg·d)。

由图 1-b 可知,N₀ 处理的 CO₂ 排放通量最低,在第 5 天达到峰值;N₃ 处理 CO₂ 排放通量最高,呈现先上升后缓慢下降的趋势;N₂ 处理随时间的变化趋势与 N₃ 处理大致相同,但其 CO₂ 排放通量低于 N₃ 处理。N₄ 与 N₁ 处理的排放通量相差不大,培养前期 CO₂ 排放通量呈先上升后下降趋势,后期略有上升而后趋于平缓。

2.1.2 土壤 N₂O 和 CO₂ 累积排放量 由图 2-a 可知,N₀ 处理的 N₂O 累积排放量最低,为 308.35 μg/(kg·d);N₁ 处理累积排放量最高,为 7 450.94 μg/(kg·d);N₄ 处理累积排放量比 N₁ 处理少 40.44%,且差异显著;N₂、N₃ 处理的 N₂O 累积排放量分别为 872.16、786.68 μg/(kg·d),2 种处理间差异不显著,均显著低于 N₄ 处理,与 N₀ 处理差异不显著。

由图 2-b 可知,不施氮处理 CO₂ 累积排放量为 308.02 mg/(kg·d),低于其他处理;N₃ 处理 CO₂ 累积排放量最高,为 757.87 mg/(kg·d),显著高于其他处理。N₁、N₂、N₄ 处理 CO₂ 累积排放量分别为 360.04、367.35、325.03 mg/(kg·d),均显著低于 N₃ 处理,与 N₀ 处理没有显著差异。

2.2 培养期土壤无机氮含量的动态变化

由图 3 可知,在培养期间,N₀ 处理的土壤 NO₃⁻-N 含量呈现减—增—减—增的趋势。N₁ 处理土壤 NO₃⁻-N 含量在培养前期先减少后增加,培养后期先减少后增加,总体高于其他各处理;土壤 NH₄⁺-N 含量在第 1 天最高,第 3 天及其后均为 0。N₂ 处理的土壤 NO₃⁻-N 含量在第 1 天达到最大值,高于其他处理,第 3 天降到培养期最低值,培养后期整体呈增加趋势,但均低于 N₀、N₁、N₄ 处理;土壤 NH₄⁺-N 含量总体变化趋势为先减少后增加,培养后期与 N₃ 处理相当。N₃ 处理的土壤 NO₃⁻-N 含量在培养期间均低于其他处理,总体呈现先减少后增加的趋势;而在培养期内土壤 NH₄⁺-N 含量高于 N₀、N₁、N₄ 处理。N₄ 处理土壤 NO₃⁻-N 含量与 N₁ 处

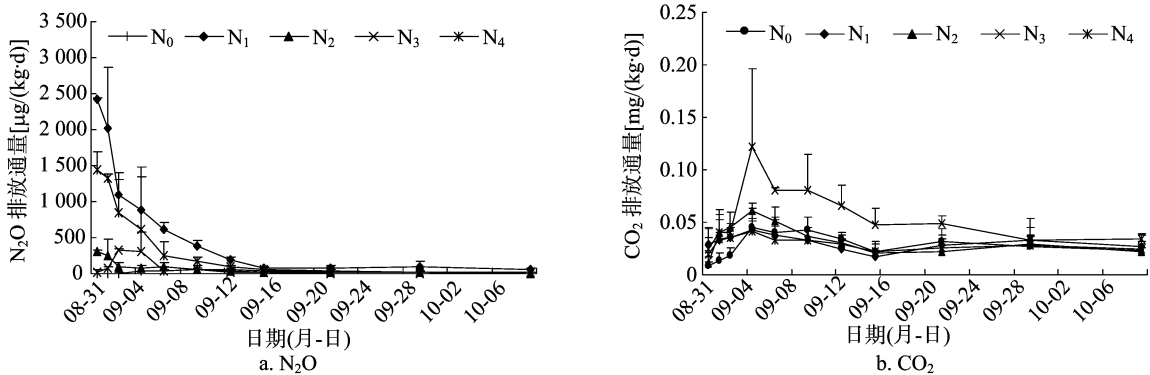


图1 N₂O 和 CO₂ 排放通量随时间的变化

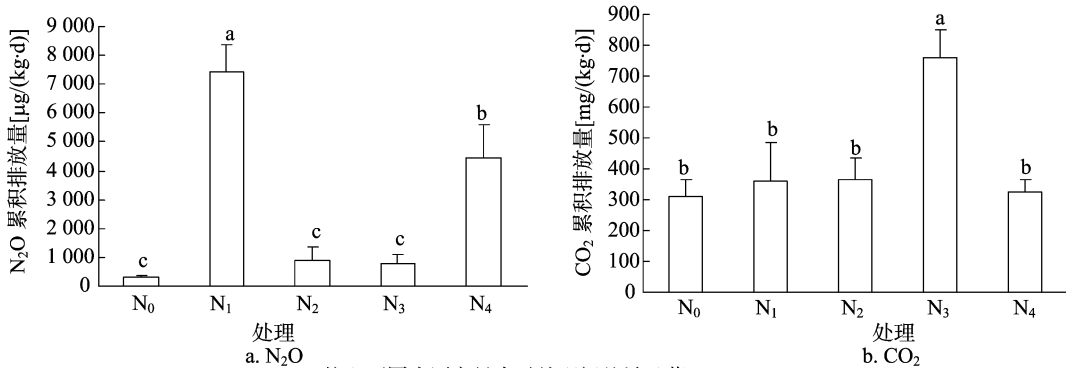


图2 N₂O 和 CO₂ 累积排放量随时间变化特征

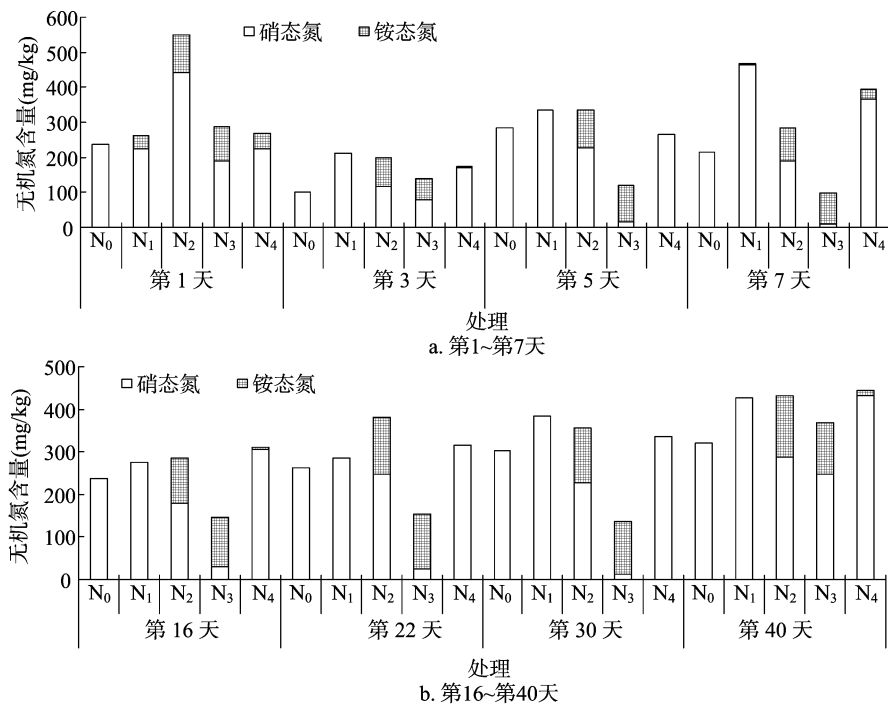


图3 土壤硝态氮、铵态氮含量

理大体相当,总体呈先减少后增加的趋势;土壤 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量在第 1 天达最大值,随后降低,第 7 天又增加,第 7 天后先减少后增加,低于 N₂、N₃ 处理。

2.3 土壤表观硝化率

由表 2 可知,N₀ 处理土壤表观硝化率在第 3 天就达到 100.0%,随后不变;N₁ 处理前期略有浮动,在第 16 天达到

100.0% 后不再变化;N₂、N₃ 处理的表观硝化率均低于其他处理,变化趋势大致相同,总体呈现先减少后增加的趋势,其中 N₃ 处理土壤表观硝化率整体最低;N₄ 处理土壤表观硝化率高于 N₂、N₃ 处理,总体呈现波动上升趋势。综上所述,N₃ 处理的效果最佳,N₂ 处理次之,N₄ 处理对 N₂O 抑制效果较差。

表 2 不同处理土壤表观硝化率的动态变化

处理	土壤表观硝化率(%)							
	第 1 天	第 3 天	第 5 天	第 7 天	第 16 天	第 22 天	第 30 天	第 40 天
N ₀	99.8	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
N ₁	86.3	99.1	100.0	99.3	100.0	100.0	100.0	100.0
N ₂	80.4	59.1	67.9	66.8	63.0	64.8	64.3	66.5
N ₃	66.0	56.7	12.9	9.3	21.4	16.1	9.3	66.9
N ₄	83.0	97.5	100.0	92.5	98.5	100.0	100.0	97.1

2.4 pH 值

由图 4 可知,培养期间 N₀ 处理的 pH 值为 7.30~8.00; N₁ 处理的 pH 值为 7.5~8.5; N₂、N₃ 处理的 pH 值高于对照处理,其中 N₃ 处理的 pH 值最高;N₄ 处理的 pH 值总体高于 N₀、N₁ 处理,且变化幅度较大。

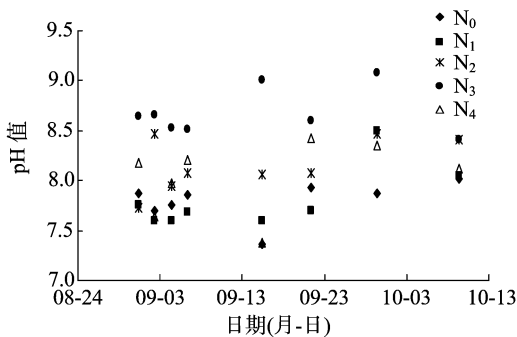


图4 培养期土壤 pH 值随时间的变化特征

3 讨论与结论

3.1 讨论

相关研究表明,设施蔬菜地典型种植模式(番茄—白菜—生菜)下,减氮优化施肥配施硝化抑制剂处理的 N₂O 年排放总量比传统施肥减少 61.13%^[17]。这与本试验结果类似,硝化抑制剂 DCD 与氮肥(N₄ 处理)配施于温室菜地中,与只施尿素的 N₁ 处理相比,土壤 N₂O 排放降低了 40.44%。杨柳青等的研究发现,华北平原石灰性潮土施加硝化抑制剂 NP、DCD 能够降低 87.4%~99.6% 的 N₂O 排放^[18]。本试验中 N₂、N₃ 处理的 N₂O 累积排放量分别为 872.16、786.68 μg/(kg·d),与 N₁ 处理(只添加尿素)相比分别下降了 88.29%、89.44%,且 2 个处理间没有显著差异,表明不同浓度的 NP 抑制 N₂O 排放的效果差异不大。

有研究表明,硝化抑制剂可选择性地抑制土壤硝化微生物的活动,有效减缓土壤中铵态氮向硝态氮的转化^[19]。NP 通过抑制土壤中氨氧化细菌的生长有效延缓了铵态氮的氧化过程,整个培养过程中土壤铵态氮含量与 pH 值呈正相关关系,与氨氧化细菌数量和硝态氮含量呈负相关关系^[20]。本试验测定土壤 CO₂ 排放量发现,N₃ 处理能显著促进土壤 CO₂ 排放,同时培养期 N₃ 处理的 pH 值最高,NP 为有机物,笔者推测 N₃ 处理可能通过影响土壤 pH 值和土壤的碳氮比(C/N)来影响土壤微生物活性,从而使 CO₂ 排放量增加,具体原因有待进一步试验验证。

相关研究表明,在红壤菜地上,与普通尿素处理相比,碧晶尿素(含 nitrapyrin)处理地表径流中铵态氮、硝态氮、无机氮的流失量分别降低 13.1%、12.9%、11.7%^[21]。姜亮等研

究发现,施用 NP 处理的东北黑土土壤 NH₄⁺-N 含量显著高于单施尿素处理,NO₃⁻-N 和 NO₂⁻-N 含量均显著低于单施尿素处理^[22]。本试验表明,添加硝化抑制剂 NP 的处理(N₂、N₃)土壤 NO₃⁻-N 含量较只施尿素的处理(N₁)显著降低,而 NH₄⁺-N 含量则有所提高;不同浓度的 NP 影响无机氮转化的能力不同,添加 0.8% NP 的处理(N₃)调控效果更优。杨威研究表明,种植番茄的温室土在优化施肥处理条件下,配施 DCD 能显著抑制土壤 NH₄⁺-N 向 NO₃⁻-N 的转化,提高氮素利用率^[23]。本试验添加 DCD 处理(N₄)与只施氮肥处理(N₁)相比土壤 NH₄⁺-N 含量有所提高。

3.2 结论

添加硝化抑制剂 NP 和 DCD 均能抑制温室菜田土壤中 N₂O 的排放,其中添加 0.8% NP 处理的抑制效果更好,其次为添加 0.1% NP 的处理,添加 5% DCD 处理的抑制效果较差。添加 0.8% NP 的处理能促进 CO₂ 排放,排放量显著高于其他处理。

添加 0.1%、0.8% NP 均明显降低了土壤中 NO₃⁻-N 含量,提高了土壤中 NH₄⁺-N 含量,其中 0.8% NP 的效果更好;添加 5% DCD 处理的土壤中 NH₄⁺-N 含量与对照相比有所增加。

参考文献:

[1] Townsend A R, Howarth R W. Fixing the global nitrogen problem [J]. Scientific American, 2010, 302(2): 64-71.
[2] Hansen J E, Lacis A A. Sun and dust versus greenhouse gases: an assessment of their relative roles in global climate change [J]. Nature, 1990, 346(6286): 713-719.
[3] 李晓密, 伦小秀, 陈琪. 不同施肥处理下冬小麦夏玉米轮作农田温室气体的排放 [J]. 环境化学, 2014, 33(4): 591-596.
[4] 雷楠, 封勇涛. 设施蔬菜的氮素资源管理 [J]. 北京农业, 2014(27): 98-99.
[5] 喻景权. “十一五”我国设施蔬菜生产和科技进展及其展望 [J]. 中国蔬菜, 2011, 1(2): 11-23.
[6] 数字三农 [J]. 农村工作通讯, 2015(20): 4.
[7] 易琼, 黄旭, 张木, 等. 氮肥施用水平及种类对生菜产量及菜地 N₂O 排放的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(10): 2019-2025.
[8] 周卉, 田光明, 李华, 等. DMPP 减少稻田土壤氮素损失的研究进展 [J]. 土壤, 2013, 45(6): 964-969.
[9] 石美, 张妹婷, 沈锋, 等. 石灰性土壤中不同硝化抑制剂的抑制效果及其对亚硝态氮累积的影响 [J]. 中国农业科学, 2011, 44(3): 500-506.
[10] 宁建凤, 崔理华, 艾绍英, 等. 两种硝化抑制剂对土壤氮转化的影响 [J]. 农业工程学报, 2015, 31(4): 144-151.

张丽平, 汪文君, 李 智, 等. 对羟基苯甲酸甲酯降解菌的初步研究[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(20): 337–340.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.20.084

对羟基苯甲酸甲酯降解菌的初步研究

张丽平, 汪文君, 李 智, 许超艳, 姜安杰, 彭 学

(江苏师范大学生命科学学院, 江苏徐州 221116)

摘要:对羟基苯甲酸(4-hydroxybenzoic acid, 4HBA)酯类是目前公认的比较安全的防腐剂, 应用于食品、化妆品、医药等的抑菌保鲜。4HBA 酯类的大量使用, 加剧了水体的污染。研究报告显示, 4HBA 酯类具有弱雌激素活性, 人体长期接触可能会诱发乳腺癌或男性不育。以 4HBA 甲酯为唯一能源, 从海洋环境中分离出能降解 4HBA 甲酯的菌株 B1, 探究 B1 菌株的生理生化等特征, 初步了解该菌对 4HBA 甲酯的降解机制, 为研究海洋环境中微生物对 4HBA 酯类的降解奠定基础。研究结果显示, B1 菌株属革兰氏阴性菌, 在 30 ℃、pH 值 7.5 左右的环境下生长良好。通过高效液相色谱可检测出该菌株对 4HBA 甲酯的降解情况。通过 16S rDNA 系统进化树分析发现, 该菌和 *Bacillus timonensis* 的相似性最高, 相似度为 99.5%。*B. timonensis* 是革兰氏阴性厌氧菌, 可从哺乳动物消化道中分离出来, 通常对人体有益。

关键词:4HBA 甲酯; 4HBA 甲酯降解菌; 海洋微生物; 革兰氏阴性菌

中图分类号: S182 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)20-0337-04

对羟基苯甲酸(4-hydroxybenzoic acid, 4HBA)酯类是一种广谱且高效的抑菌剂, 在 pH 值 3~8 内都能够有效地抑制微生物的生长, 4HBA 酯类都具有酚羟基结构, 同苯甲酸、山梨酸相比, 其抗菌性较强且安全性高, 由此被广泛应用于食品和药品领域^[1]。4HBA 酯类包括 4HBA 甲酯、4HBA 乙酯、4HBA 丙酯、4HBA 丁酯、4HBA 辛酯等。尽管 4HBA 酯类被认为是比较安全高效的防腐剂, 但因其大量使用造成的危害也越来越引起人们的重视。4HBA 酯类在食品、药品、化妆品

中的过量添加对人体产生了一定的毒性^[2], 轻者造成人体肠胃不适, 经皮肤粘膜吸收导致发炎症状, 重者则会因其中的雌性激素造成雌性荷尔蒙升高, 是男性不育的诱因, 严重危害人体健康^[3]。4HBA 酯类排放到空气或水体中, 也造成了环境污染, 潜在地威胁着人类的健康^[4-5]。4HBA 甲酯作为 4HBA 酯类的一种, 同样广泛应用于各个领域。4HBA 甲酯的杀菌效果较低, 一般与 4HBA 丙酯一同使用来提高其防腐抗菌效果。4HBA 甲酯的抑菌效果受溶液的 pH 值影响较大, 酸性的环境更有利于其防腐作用^[6]。但若遇到明胶蛋白质、甲基纤维素等高分子化合物, 其防腐效果会被抑制。4HBA 甲酯除了用作防腐杀菌剂, 同时还用于有机合成的护腐添加剂。

随着 4HBA 甲酯的大量使用与排放, 对环境 and 人体的危害也越来越受到人们的关注, 探索出一条安全且高效的降解 4HBA 甲酯的途径至关重要。在外界环境中, 目前 4HBA 酯类的降解方式有臭氧处理、光催化、光降解、紫外光解和物理

收稿日期: 2017-06-01

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 31570028); 江苏省科技厅项目(编号: BK20141148)。

作者简介: 张丽平(1992—), 女, 江苏徐州人, 硕士研究生, 主要从事环境微生物学研究。E-mail: 1224682385@qq.com。

通信作者: 彭 学, 博士, 教授, 主要从事环境微生物学研究。E-mail: pengxueinchina@163.com。

[11] 李永强, 王雅楣, 杨越超, 等. 几种硝化抑制剂和包硫尿素(SCU)对土壤 N 素形态和小麦产量的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2016, 33(3): 230–237.

[12] 元文田, 李 彦, 刘兆辉, 等. 氮肥配施硝化抑制剂对菠菜安全品质及土壤氮素的影响[J]. 江西农业学报, 2016, 28(7): 58–62.

[13] 刘建涛, 许 靖, 孙志梅, 等. 氮素调控剂对不同类型土壤氮素转化的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(10): 2901–2906.

[14] 方玉凤, 王晓燕, 庞荔丹, 等. 硝化抑制剂对春玉米氮素利用及土壤 pH 值和无机氮的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2015(6): 18–22.

[15] 朱永超, 李玉娥, 秦晓波, 等. 控释肥和硝化抑制剂对华北春玉米 NO 排放的影响[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(7): 1421–1428.

[16] 吴得峰, 姜继韶, 高 兵, 等. 添加 DCD 对雨养区春玉米产量、氧化亚氮排放及硝态氮残留的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(1): 30–39.

[17] 张 婧, 李 虎, 王立刚, 等. 京郊典型设施蔬菜地土壤 N₂O 排放特征[J]. 生态学报, 2014, 34(14): 4088–4098.

[18] 杨柳青, 季加敏, 巨晓棠. 硝化/脲酶抑制剂对石灰性潮土 N₂O 减排效果及氮素转化的比较[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(3): 605–612.

[19] 熊 舞, 夏永秋, 周 伟, 等. 菜地氮肥用量与 N₂O 排放的关系及硝化抑制剂效果[J]. 土壤学报, 2013, 50(4): 743–751.

[20] 张苗苗, 沈菊培, 贺纪正, 等. 硝化抑制剂的微生物抑制机理及其应用[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(11): 2077–2083.

[21] 许 超, 邝丽芳, 吴启堂, 等. 2-氯-6(三氯甲基)吡啶对菜地土壤氮素转化和径流流失及菜心品质的影响[J]. 水土保持学报, 2013, 27(6): 26–30.

[22] 姜 亮. 硝化抑制剂 2-氯-6(三氯甲基)吡啶微胶囊对土壤氮素转化和玉米生长的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2016: 1–57.

[23] 杨 威. 氮肥与双氰胺配施对温室番茄生长及氮素损失的影响研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2013: 1–53.