

胡 丹,李培楚,康丽霞,等. 抑制剂包膜尿素对石灰性土壤硝化及相关酶活性的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(15):231-238.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.15.032

抑制剂包膜尿素对石灰性土壤硝化 及相关酶活性的影响

胡 丹,李培楚,康丽霞,张淑英,刘 涛

(石河子大学农学院,新疆石河子 832003)

摘要:通过研究硝化抑制剂包膜尿素施入 3 种质地的石灰性土壤后铵、硝含量动态以及相关酶活性的变化,明确其对石灰性土壤氮转化及生物学活性的影响。采用室内模拟培养试验,设置不施氮肥(CK)、施用尿素(U)和抑制剂包膜尿素(CPCU)3 个处理,每个处理 4 次重复。尿素与沙、壤、黏 3 种质地的石灰性土壤以 500 mg(N)/kg(干土)混施后在 32 d 内基本完成硝化作用;同等含氮量的抑制剂包膜尿素与以上 3 种质地土壤混施后硝化时间延长至 64 d,且土壤铵态氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)含量明显高于尿素处理,硝化抑制率达 74.02% ~ 75.96%,不同质地土壤的硝化抑制作用表现为黏土 > 壤土 > 沙土,但差异不明显。施用尿素增加了土壤氮转化相关酶的活性,施用抑制剂包膜尿素则降低了部分处理的土壤蛋白酶、脲酶及羟胺还原酶活性,提高了土壤亚硝酸还原酶和硝酸还原酶活性。土壤铵、硝态氮含量与土壤氮转化相关酶活性存在一定的关联,其中,铵态氮含量与蛋白酶活性呈极显著负相关关系($P < 0.01$),硝态氮含量与蛋白酶活性相关性不显著;土壤铵、硝态氮含量与土壤羟胺还原酶活性相关性不显著,与土壤亚硝酸还原酶和硝酸还原酶活性呈极显著正相关关系。抑制剂包膜尿素的施用抑制了石灰性土壤的硝化作用,在一定程度上降低了土壤蛋白酶和脲酶活性,从而间接抑制了有机氮矿化和尿素水解,提高了土壤亚硝酸还原酶和硝酸还原酶活性,从而减少氮淋失。

关键词:硝化抑制剂;铵态氮;硝态氮;土壤酶;硝化;石灰性土壤;酶活性

中图分类号:S151.9;S158.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)15-0231-07

现代农业的发展离不开肥料的使用,作物吸收利用的氮仅占农田氮肥施入总量的 40% ~ 60%,其余部分以氮淋溶、气态氮排放等途径损失,导致氮肥利用率降低,生产成本增加,甚至污染水体,破坏臭氧层^[1]。尿素或铵态氮肥施入石灰性土壤后会在较短时间内完成硝化作用,如果作物不及时吸收就会造成一定的氮损失^[2]。缓释氮肥能有效延迟硝化,提高作物固氮能力和氮肥利用率,进而增加作物产量^[3-5]。包膜尿素作为一种缓释氮肥,氮的释放率高且释放期较长,可持续满足作物对氮的需求,从而达到“氮肥后移”的效果,且能减少氮流失^[6-7]。硝化抑制剂能够通过抑制土壤与氮转化相关微生物以减缓铵态氮向硝态氮转化,进而减少氮损失,提高土壤供氮能力。但是,硝化抑制剂施入

土壤后会因固定和降解而导致抑制时间缩短,抑制效应降低^[8-11]。硝化抑制剂包膜尿素采用抑制剂进行包膜,既可有效控制尿素溶出,又能抑制土壤硝化,降低农田铵硝径流和气态氮排放损失,保障氮的持续供应,提高旱地农田氮肥利用效率,改善农田土壤质量和增加作物产量^[12-14]。有研究显示,抑制剂包膜控释尿素的控释期可长达 60 d,降低土壤氮挥发速率 73% ~ 81%,提高作物产量 16.96% ~ 25.90%,土壤铵态氮含量超过施用尿素土壤的 1.6 ~ 2.5 倍,氮肥利用率较不包膜尿素能提高 43.08%^[15-18]。可见,抑制剂包膜尿素对于降低土壤氮损失、延长有效氮的释放以及提高氮肥利用等方面均具有较强作用。2-氯-6-(三氯甲基)吡啶(简称氯甲基吡啶)作为一种商用硝化抑制剂与尿素混合施用对抑制土壤硝化、减少氮淋失以及气体氮排放损失均具有显著的效果,尤其是在硝化作用比较强烈的石灰性土壤中,但抑制剂包膜尿素在石灰性土壤中作用效应的相关报道却并不多见^[19-24]。本研究采用土壤模拟培养试验,通过分析抑制剂包膜尿素施入沙、壤、黏 3 种质地石灰性土壤后的土壤铵态氮含量、硝态氮含量动态变化以及土壤酶活性

收稿日期:2022-10-03

基金项目:国家自然科学基金(编号:42067021);石河子大学高层次人才科研启动项目(编号:RCZK201927)。

作者简介:胡 丹(1996—),女,新疆塔城人,硕士研究生,主要从事土壤肥力调控研究。E-mail:1478751139@qq.com。

通信作者:刘 涛,博士,高级实验师,主要从事土壤养分循环与微生物调控研究。E-mail:liutao20029@163.com。

变化,揭示石灰性土壤施用抑制剂包膜尿素后的氮转化特征及相关酶的作用效应,以期包膜缓释类氮肥在干旱区农田推广应用提供一定理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试土壤取自新疆维吾尔自治区北疆滴灌农

田 0~20 cm 土层的石灰性沙土、壤土和黏土 3 种质地土壤,土壤基础理化性质见表 1。供试氮肥为尿素(纯度为 98.0%,氮含量为 46.6%),供试抑制剂包膜尿素由浙江奥复托化工有限公司提供[硝化抑制剂 2-氯-6(三氯甲基)吡啶的含量为尿素的 0.5%]。

表 1 供试土壤基础理化性状

土壤质地	pH 值	有机质含量 (g/kg)	全氮含量 (g/kg)	铵态氮含量 (mg/kg)	硝态氮含量 (mg/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)
沙土	7.9	12.2	0.74	8.5	10.9	12.2	162.5
壤土	8.0	15.8	1.11	12.7	15.8	12.3	215.6
黏土	8.1	16.6	1.14	16.1	21.6	15.0	227.4

1.2 试验设计

试验在石河子大学农学院绿洲生态农业重点实验室进行,设置不施氮肥(CK)、施用尿素(U)、施用抑制剂包膜尿素(CPCU)3 个处理,每个处理重复 4 次。将尿素和抑制剂包膜尿素分别加入 600 g 沙、壤、黏 3 种质地的风干土中充分混匀后装入培养钵内[尿素用量为 500 mg(N)/kg(干土),抑制剂包膜尿素用量按照 500 mg(N)/kg(干土)进行换算],压实土壤使其与农田土壤容重保持一致,加入去离子水使土壤含水量保持在田间持水量的 60%。将培养钵放入培养箱内,采用好气培养法在 25℃ 黑暗条件下恒温恒湿培养,每天用称重法补水 1 次。在培养开始的 1、8、16、24、32、40、48、56、64、80 d 分别取 50 g 土样过 2 mm 筛,用于土壤含水量、铵态氮和硝态氮含量的测定,取 40、80 d 土样进行酶学指标测定。

1.3 测定指标与测定方法

1.3.1 土壤养分指标测定 土壤有机质含量用重铬酸钾容量法-外加热法测定;土壤 pH 值用 pH 计测定;土壤全氮、速效磷、速效钾的含量分别采用凯氏定氮法、碳酸氢钠浸提钼锑抗比色法、醋酸铵浸提火焰光度法测定;土壤含水量用烘干法测定^[25]。土壤铵态氮、硝态氮的含量用 2 mol/L KCL 溶液浸提,全自动连续流动分析仪测定。

1.3.2 土壤酶活性指标测定 土壤蛋白酶活性采用茚三酮比色法测定^[26];脲酶活性的测定采用苯酚-次氯酸钠比色法^[27];硝酸还原酶和亚硝酸还原酶活性的测定参照武志杰等的方法^[28-29];羟胺还原酶活性的测定采用硫酸铁铵-邻菲罗啉法^[30]。

1.4 计算方法

土壤表观硝化率 = 硝态氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)含量/

$[\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量 + 铵态氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)含量] $\times 100\%$;
硝化抑制率 = $(A - B)/A \times 100\%$ 。

式中:A 为不加硝化抑制剂处理的土壤培养前后 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量之差,mg/kg;B 为添加硝化抑制剂处理培养前后 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量之差,mg/kg。

1.5 数据处理与分析

所获数据用 Excel 进行初步分析后用 Origin 2023 进行图形制作,用 SPSS 19.0 进行方差分析、差异显著性检验及相关性分析。

2 结果与分析

2.1 抑制剂包膜尿素对不同质地土壤铵、硝含量动态变化的影响

如图 1 所示,不施尿素处理(CK)的沙土、壤土、黏土铵态氮含量最低,平均为 11.74、11.41、13.27 mg/kg(图 1-A、图 1-C、图 1-E)。施用尿素(U)处理土壤 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量随培养进程而不断增加,8 d 时达到最大值,之后迅速降低,至 32 d 时与 CK 差异不明显,培养期内沙土、壤土、黏土的平均 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量较 CK 分别高 183.89%、191.12%、172.52%。抑制剂包膜尿素(CPCU)处理的沙土 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量在培养 8 d 时达到最大值,壤土和黏土 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量最大值则推后至 16 d,之后相比于 U 处理下降速度较缓,在整个培养期间明显高于 U 处理,直至培养 64 d 时与 CK、U 处理相当,培养期内 CPCU 处理沙土、壤土、黏土平均 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量较 U 处理分别高 173.47%、171.32%、198.66%。CK 的 3 种土壤硝态氮含量最低,平均为 47.22、52.28、52.80 mg/kg(图 1-B、图 1-D、图 1-F)。U 处理沙土、壤土、黏土的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量随培养进

程而迅速增加,培养期间平均含量较 CK 分别高 779.88%、699.37%、709.94%。CPCU 处理土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量增速慢于 U 处理,在 64 d 之前一直明

显低于 U 处理。培养期内 CPCU 处理沙土、壤土、黏土的平均 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量较 U 处理分别低 43.99%、45.56%、48.54%。

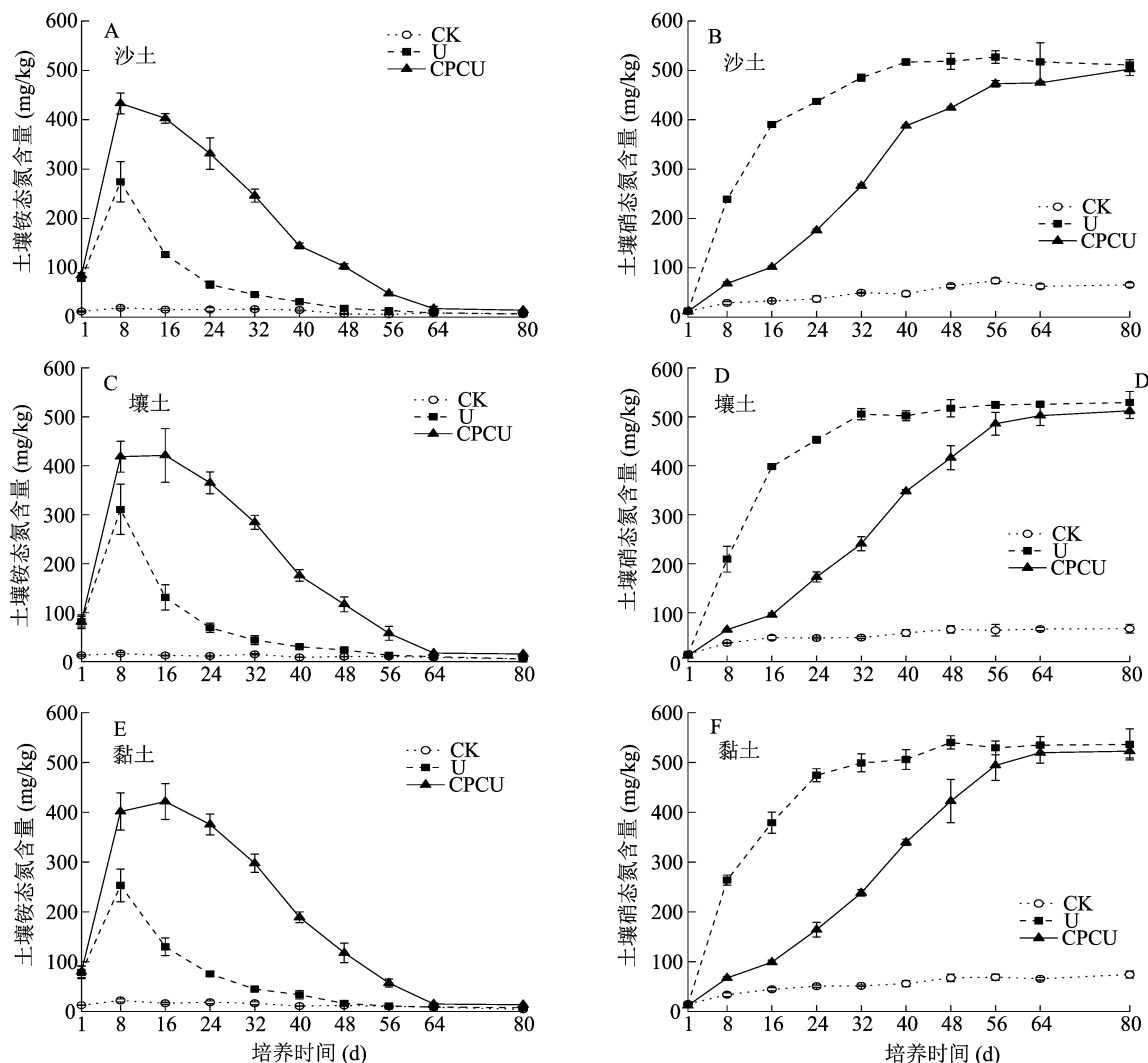


图1 石灰性沙土、壤土、黏土的铵态氮、硝态氮含量变化

2.2 抑制剂包膜尿素对不同质地土壤表观硝化率及硝化抑制率的影响

由图 2 可知,培养期间 U 处理土壤表观硝化率随培养进程增加迅速,平均表观硝化率分别为 79.99% (沙土)、79.49% (壤土)、80.45% (黏土)。CPCU 处理的土壤的表观硝化率随培养进程增速较缓(尤其在培养的 24 d 内),平均表观硝化率分别为 57.02% (沙土)、55.10% (壤土)、54.81% (黏土),并且 64 d 内一直低于 U 处理。U 处理 3 种质地土壤平均表观硝化率基本无差异,CPCU 处理沙土平均表观硝化率最高且较壤土和黏土分别高 3.48% 和 4.03%,即 3 种质地土壤的硝化作用表现为沙土 > 壤土 > 黏土,但差异不明显。

由图 3 可知,施用抑制剂包膜尿素处理 3 种土壤的硝化抑制率随培养进程均呈现先上升后降低的趋势,沙土和壤土的硝化抑制率在培养 16 d 时达到最大值,分别为 74.02% 和 75.96%,黏土的硝化抑制率则在培养 8 d 时达到最大值(74.35%)。在 80 d 培养期内,3 种土壤平均硝化抑制率分别为 34.47% (沙土)、36.31% (壤土)、37.28% (黏土)。可以看出,硝化抑制剂对 3 种土壤硝化过程的抑制作用表现为为黏土 > 壤土 > 沙土。

2.3 抑制剂包膜尿素对石灰性土壤氮转化相关酶活性的影响

由图 4-A 可知,培养末期(80 d)土壤蛋白酶活性显著($P < 0.05$)大于培养中期(40 d),可见,土

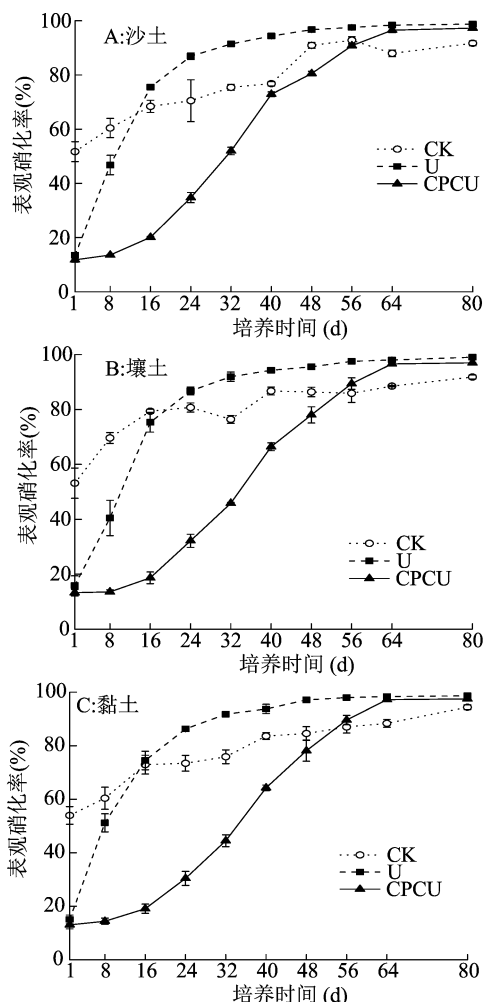


图2 石灰性沙土、壤土和黏土的表现硝化率动态变化

壤蛋白酶活性随培养进程而增加,并且不同质地土壤蛋白酶活性表现为黏土>壤土>沙土。同一质地土壤CK的蛋白酶活性多数保持较低水平,U处理蛋白酶活性高于CK和CPCU处理,但3个处理间差异均不显著,表明尿素的施用增加了土壤蛋白酶活性,而施用抑制剂包膜尿素会在一定程度上降低土壤蛋白酶活性。

沙土和壤土的U和CPCU处理土壤脲酶活性均随培养进程有所下降,黏土CK和U处理脲酶活性则均随培养进程升高,U处理3种质地土壤脲酶活性均显著高于CK(80 d黏土除外),CPCU处理土壤脲酶活性始终低于U处理(图4-B)。各处理土壤羟胺还原酶活性随着培养进程的变化不明显,在80 d时3种质地土壤羟胺还原酶活性表现为黏土>壤土>沙土;在同种质地土壤中,CPCU处理的土壤羟胺还原酶活性虽小于U处理(40 d的壤土除外),但差异不显著(图4-C)。

培养期间,各处理3种质地土壤亚硝酸还原酶

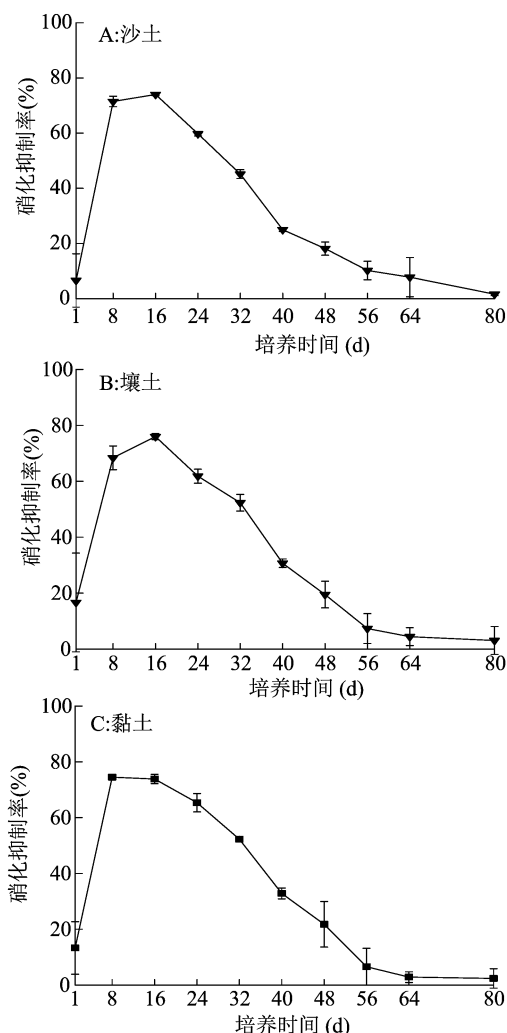


图3 石灰性沙土、壤土、黏土硝化抑制率动态变化

活性随培养时间的增加有所下降(图4-D)。其中,U和CPCU处理土壤亚硝酸还原酶活性均大于CK且沙土、壤土差异显著;CPCU处理壤土与黏土亚硝酸还原酶活性均大于U处理且差异显著,但CPCU处理沙土亚硝酸还原酶活性与U处理差异不显著。不同质地土壤硝酸还原酶活性不同,在沙、壤、黏3种土壤质地中,土壤硝酸还原酶活性依次增高,黏土中有机质含量最高,因为黏土的土壤环境更有利于反硝化的进行。CK的硝酸还原酶活性水平始终保持较低,U和CPCU处理硝酸还原酶活性均高于CK且差异显著,CPCU处理硝酸还原酶活性显著高于U处理。沙土、壤土和黏土中,各处理土壤硝酸还原酶活性随培养进程均有所降低,U处理土壤硝酸还原酶活性随培养进程降幅相对较小,而CPCU处理硝酸还原酶活性随培养进程降幅大于U处理。说明施用抑制剂包膜尿素的土壤与单施尿素土壤相比保持了更高的还原能力(图4-E)。

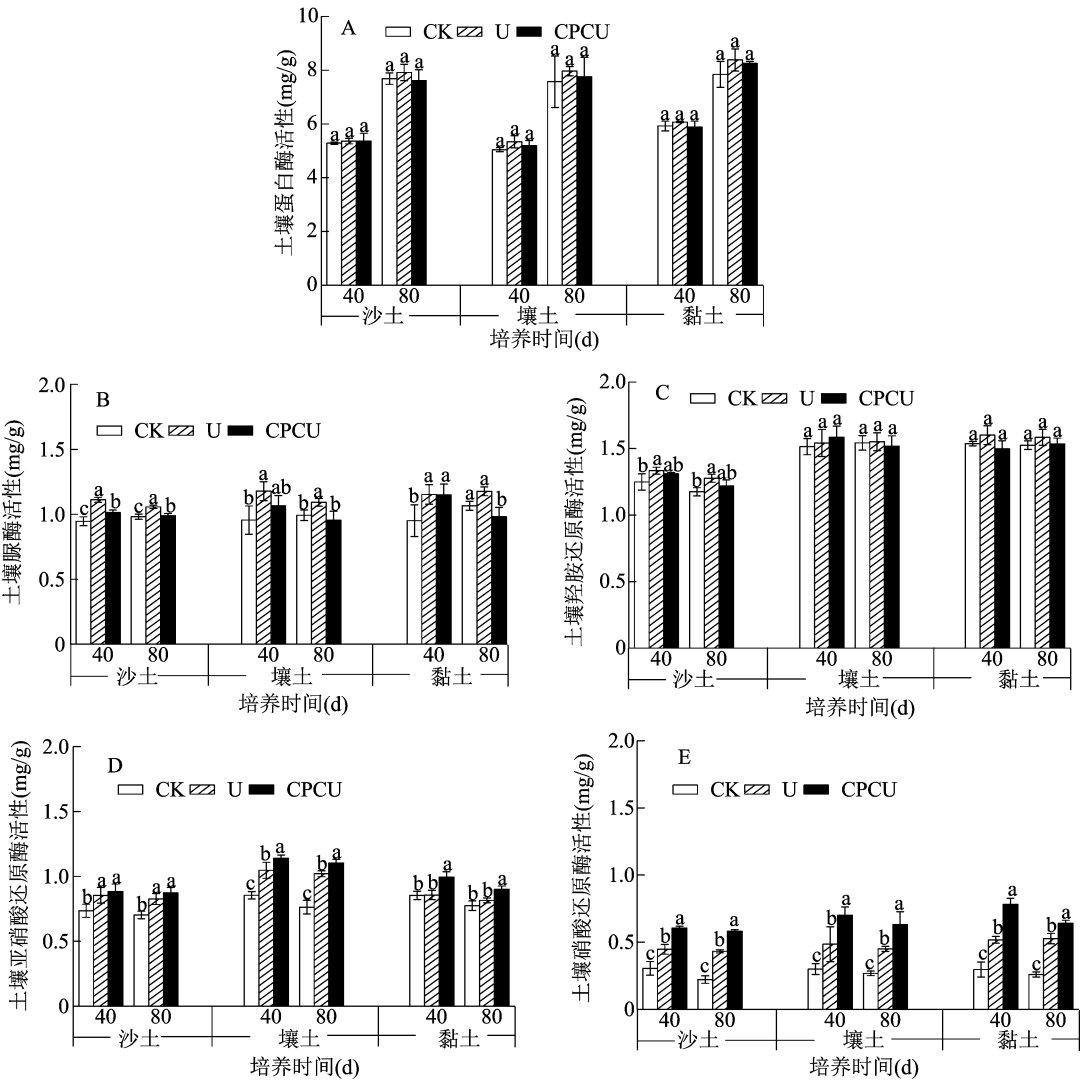


图4 石灰性沙土、壤土、黏土中酶活性变化

2.4 土壤铵态氮、硝态氮含量与土壤酶活性的相关性

由表 2 可知,铵态氮含量与蛋白酶活性呈极显著负相关关系,表明蛋白酶活性高时,铵态氮含量

则会减少。硝态氮含量与土壤脲酶活性呈极显著正相关关系。土壤铵态氮、硝态氮含量与土壤亚硝酸还原酶和硝酸还原酶活性均呈极显著正相关关系。

表 2 土壤铵态氮、硝态氮含量与相关性酶活性的关系

项目	相关系数				
	蛋白酶活性	脲酶活性	羟胺还原酶活性	亚硝酸还原酶活性	硝酸还原酶活性
铵态氮含量	-0.479 7 **	0.216 9	0.089 0	0.463 2 **	0.648 4 **
硝态氮含量	0.221 3	0.423 3 **	0.122 9	0.496 1 **	0.665 7 **

注:**表示相关性达极显著(P<0.01)水平。

3 讨论

施用包膜尿素对土壤铵、硝态氮含量会产生一

定的影响,李博凝等研究发现,包膜尿素施于不同类型土壤中,NO₃⁻-N 含量在 80 d 内持续稳定上升,NH₄⁺-N 含量变化呈现先增加后下降趋势,可见

包膜的方式能在一定程度上延缓尿素的水解和硝化^[31]。氯甲基吡啶可抑制土壤铵态氮硝化,显著降低 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量,使肥料中的氮以 NH_4^+ 的形式存在较长时间^[32]。本研究采用抑制剂包膜尿素与 3 种质地的石灰性土壤混施后,土壤 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量可持续增加到 8 ~ 16 d 才开始下降,说明氯甲基吡啶包膜间接延缓了尿素水解,且较单施尿素土壤保持更高的 NH_4^+ 含量和更低的表现硝化率,这与前人对氯甲基吡啶硝化抑制效果的相关报道^[33] 基本一致。杨柳青等研究发现,尿素添加含氮 0.8% 的氯甲基吡啶与石灰性潮土混施,土壤 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量缓慢降低至 40 d 后才完全转化为 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ^[34]。本研究中抑制剂包膜尿素在施入石灰性土壤后抑制作用可长达 64 d,其效应期明显长于氯甲基吡啶与尿素混施的硝化抑制效应期,表明抑制剂包膜的方式进一步延长了尿素水解和硝化时间,进而提高了土壤的持续供氮能力,尽管其在 64 d 内的硝化抑制率 (6.62% ~ 75.96%) 小于混施条件下的抑制率 (9.42% ~ 99.9%)^[13,18,35-36]。

土壤酶是土壤物质循环、能量流动和新陈代谢的参与者,其活性水平能反映土壤微生物的活性以及土壤养分循环状况^[37-39]。蛋白酶参与有机氮的矿化,将蛋白质和肽类物质转化为氨基酸,脲酶活性大小能反映尿素的水解速度,硝酸还原酶、亚硝酸还原酶则参与反硝化过程产生羟胺 (NH_2OH), NH_2OH 再经羟胺还原酶进一步还原成 NH_4^+ ^[40-41]。施肥在一定程度上会改变土壤酶的活性,有报道指出,施用氮肥能提高土壤脲酶和蛋白酶活性以及反硝化酶活性^[41-46]。施用硝化抑制剂和缓释尿素能降低蛋白酶和脲酶活性,增加反硝化酶活性^[47-50]。本研究中,抑制剂包膜尿素与土壤混施后土壤脲酶和蛋白酶活性较单施尿素有所降低,表明硝化抑制剂包膜尿素既间接减缓了尿素的水解,又间接抑制了土壤原有有机氮的矿化。陈利军等研究发现,硝化抑制剂可提高土壤硝酸还原酶活性,而对脲酶活性有一定抑制作用^[48],本研究与其结果一致。由于氯甲基吡啶主要抑制氨氧化过程降低羟胺浓度,进而降低了羟胺还原酶活性,羟胺浓度的降低可能会刺激反硝化的进行,致使硝酸还原酶和亚硝酸还原酶活性有所提高,但这种影响是间接的。本研究中,土壤铵态氮含量与蛋白酶活性呈极显著负相关关系,表明较高的铵态氮含量在一定程度上会抑制土壤有机氮的矿化。土壤铵态氮、硝态氮含量均与

脲酶、羟胺还原酶、亚硝酸还原酶和硝酸还原酶的活性呈正相关关系,说明土壤有效氮的增加会加速水解、硝化和反硝化过程,激发相关酶的活性^[51-52]。

4 结论

尿素以 500 mg(N)/kg(干土)与 3 种质地的石灰性土壤混施后,在 60% 田间持水量条件下完全硝化需要 32 d,同等氮含量的抑制剂包膜尿素施入土壤后,硝化过程可延缓至 64 d。抑制剂包膜尿素与 3 种质地的石灰性土壤混施后,硝化抑制率最高可达 74.02% ~ 75.96%,抑制强弱为黏土 > 壤土 > 沙土。尿素的施用提高了土壤氮转化相关酶活性,抑制剂包膜尿素的施用则在部分处理降低了土壤蛋白酶、土壤脲酶和羟胺还原酶的活性,增加了亚硝酸还原酶活性和硝酸还原酶活性。抑制剂包膜尿素与土壤混施的方式极大延缓了硝化进程,并且间接抑制了尿素水解和土壤原有有机氮的矿化,使氮素养分在土壤中得以缓慢释放。本研究可为干旱区石灰性农田土壤利用硝化抑制剂包膜缓释肥调控氮转化,促进作物氮肥高效利用提供一定的理论依据。

参考文献:

- [1] 朱兆良. 中国土壤氮素研究[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 778 - 783.
- [2] 苗娜. 施用氮肥的酸化作用对石灰性土壤无机碳损失及二氧化碳释放的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2020: 12 - 13.
- [3] 白杨, 杨明, 陈松岭, 等. 掺混氮肥配施抑制剂对土壤氮库的调控作用[J]. 应用生态学报, 2019, 30(11): 3804 - 3810.
- [4] Li G H, Cheng G G, Lu W P, et al. Differences of yield and nitrogen use efficiency under different applications of slow release fertilizer in spring maize[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2021, 20(2): 554 - 564.
- [5] 李亚莉, 陈雷, 张炎, 等. 缓释尿素与普通尿素配施对加工番茄产量和氮肥利用率的影响[J]. 新疆农业科学, 2019, 56(2): 345 - 352.
- [6] 魏蓉, 田晓飞, 翟胜, 等. 包膜尿素与保水剂配施对冬小麦生长和氮素利用的影响[J]. 土壤通报, 2020, 51(4): 936 - 942.
- [7] 斯圆丽, 朱少威, 王季丰, 等. 施用包膜尿素对水稻生长和氮磷流失的影响[J]. 水土保持学报, 2018, 32(3): 48 - 53.
- [8] 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.
- [9] Woodward E E, Edwards T M, Givens C E, et al. Widespread use of the nitrification inhibitor nitrapyrin: assessing benefits and costs to agriculture, ecosystems, and environmental health[J]. Environmental Science & Technology, 2021, 55(3): 1345 - 1353.
- [10] 王雨歌, 孟祥云, 彭思明, 等. 硝化抑制剂碧晶对灰枣产量和品质的影响[J]. 新疆农业科学, 2014, 51(10): 1803 - 1807.

- [11] Abalos D, Jeffery S, Sanz - Cobena A, et al. Meta - analysis of the effect of urease and nitrification inhibitors on crop productivity and nitrogen use efficiency[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2014, 189: 136 - 144.
- [12] 李健陵, 李玉娥, 周守华, 等. 节水灌溉、树脂包膜尿素和脲酶/硝化抑制剂对双季稻温室气体减排的协同作用[J]. 中国农业科学, 2016, 49(20): 3958 - 3967.
- [13] 李 玉, 贺明荣, 代兴龙, 等. 氮素与抑制剂双控释尿素的制备及其对土壤供氮能力和小麦产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26(9): 1612 - 1624.
- [14] Ba C, Chen S L, Yang M, et al. Effects of coated urea amended with inhibitors on improving N use efficiency and its allocation in a soil - maize system[J]. Archives of Agronomy and Soil Science, 2021, 67(3): 289 - 299.
- [15] 漆增连, 贺明荣, 代兴龙, 等. 天然橡胶与生化抑制剂联合包膜控释尿素对土壤供氮及冬小麦生长的影响[J]. 土壤学报, 2022, 59(5): 1408 - 1419.
- [16] 安文博, 孙焱鑫, 李占台, 等. 不同缓控释肥对鲜食玉米产量、品质及氨挥发的影响[J]. 应用生态学报, 2020, 31(7): 2422 - 2430.
- [17] 丁齐娜, 李东坡, 武志杰, 等. 土壤理化性质与生物活性对持续施用缓/控释尿素肥料的响应[J]. 生态学杂志, 2014, 33(7): 1769 - 1778.
- [18] 巴 闯, 杨 明, 邹洪涛, 等. 包膜/抑制剂联合调控对农田土壤 N_2O 排放和氨挥发的影响[J]. 农业环境科学学报, 2018, 37(6): 1291 - 1299.
- [19] Goh K M, Young A W. Effects of fertiliser nitrogen and 2 - chloro - 6 - (trichloromethyl) - pyridine (‘ n - serve ’) on soil nitrification, yield, and nitrogen uptake of ‘ arawa ’ and ‘ hilgendorf ’ wheats [J]. New Zealand Journal of Agricultural Research, 1975, 18(3): 215 - 225.
- [20] 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: 16 - 19.
- [21] 张忠庆, 高 强. 硝化抑制剂 2 - 氯 - 6 - 三氯甲基吡啶在农业中应用研究进展及其影响因素[J]. 中国土壤与肥料, 2022(4): 249 - 258.
- [22] 赖晶晶. 硝化抑制剂对紫色土氮转化过程及 N_2O 排放的影响[D]. 雅安: 四川农业大学, 2019: 18 - 26.
- [23] Liu T, Liang Y C, Chu G X. Nitrpyrin addition mitigates nitrous oxide emissions and raises nitrogen use efficiency in plastic - film - mulched drip - fertigated cotton field[J]. PLoS One, 2017, 12(5): e0176305.
- [24] 付 龙, 邓 浩, 代 婧, 等. 氯甲基吡啶通过抑制 AOB 降低有机施肥下碱性土壤硝化作用[J]. 绍兴文理学院学报(自然科学), 2020, 40(1): 46 - 52.
- [25] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [26] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [27] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [28] 武志杰, 雒英华, 陈利军, 等. 一种检测土壤硝酸还原酶活性的分析方法: CN101271060A[P]. 2011 - 06 - 08.
- [29] 武志杰, 孙志梅, 张丽莉. 一种检测土壤亚硝酸还原酶活性的分析方法: CN1979134A[P]. 2009 - 06 - 03.
- [30] 史云峰, 武志杰, 史 奕, 等. 土壤脲酶还原酶活性测定方法的改进[J]. 生态学杂志, 2007, 26(7): 1133 - 1137.
- [31] 李博凝, 王学江, 马 宁, 等. 包膜尿素在不同介质中氮素释放特性研究[J]. 吉林农业大学学报, 2021, 43(1): 102 - 108.
- [32] 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.
- [33] 王雪薇, 刘 涛, 褚贵新. 三种硝化抑制剂抑制土壤硝化作用比较及用量研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(1): 54 - 61.
- [34] 杨柳青, 季加敏, 巨晓棠. 硝化/脲酶抑制剂对石灰性潮土 N_2O 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.
- [35] 李兆君, 宋阿琳, 范分良, 等. 几种吡啶类化合物对土壤硝化的抑制作用比较[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(5): 561 - 565.
- [36] 顾 艳, 吴良欢, 刘彦伶, 等. 氯甲基吡啶剂型对土壤硝化的抑制效果初步研究[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(2): 251 - 258.
- [37] 郑文魁, 李成亮, 窦兴霞, 等. 不同包膜类型控释氮肥对小麦产量及土壤生化性质的影响[J]. 水土保持学报, 2016, 30(2): 162 - 167, 174.
- [38] García - Ruiz R, Ochoa V, Hinojosa M B, et al. Suitability of enzyme activities for the monitoring of soil quality improvement in organic agricultural systems[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2008, 40(9): 2137 - 2145.
- [39] Chen G F, Liu Z, Huang Y F, et al. Effects of different fertilization treatments on soil microbial biomass, soil enzyme activities and related nutrients in continuous cropping sugarcane field [J]. Agricultural Science & Technology, 2017, 18(2): 256 - 261, 324.
- [40] Watanabe K. Detection of protease genes in field soil applied with liquid livestock feces and speculation on their function and origin [J]. Soil Science and Plant Nutrition, 2009, 55(1): 42 - 52.
- [41] 王苏平, 辉建春, 林立金, 等. 施肥制度对川中丘陵区玉米不同生育期土壤反硝化酶活性的影响[J]. 水土保持研究, 2012, 19(3): 274 - 277, 283.
- [42] 张富鑫, 颜建明, 刘 阳, 等. 不同施肥模式对结球甘蓝产量、养分吸收利用及土壤酶活性的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2022(6): 73 - 81.
- [43] 巩闪闪, 刘晓静, 张志勇, 等. 不同施氮措施对冬小麦农田土壤酶活性和氮转化的影响[J]. 生态环境学报, 2020, 29(11): 2215 - 2222.
- [44] 焦亚鹏, 齐 鹏, 王晓娇, 等. 施氮量对农田土壤有机氮组分及酶活性的影响[J]. 中国农业科学, 2020, 53(12): 2423 - 2434.
- [45] Muhammad I, Yang L, Ahmad S, et al. Irrigation and nitrogen fertilization alter soil bacterial communities, soil enzyme activities, and nutrient availability in maize crop [J]. Frontiers in Microbiology, 2022, 13: 833758.
- [46] 方泽涛, 李伏生, 刘靖雯, 等. 不同灌溉模式和施氮处理下稻田

陈 语,杨世梅,张 涛,等. 紫花苜蓿绿肥还田与化肥减施对贵州黄壤温室气体排放和玉米产量的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(15):238-244.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.15.033

紫花苜蓿绿肥还田与化肥减施对贵州黄壤 温室气体排放和玉米产量的影响

陈 语^{1,2}, 杨世梅³, 张 涛², 何 燕¹, 赵秋梅³, 陈 俏¹, 高小叶¹

(1. 贵州民族大学生态环境工程学院, 贵州贵阳 550025; 2. 贵州大学新农村发展研究院, 贵州贵阳 550025;

3. 贵州大学农学院, 贵州贵阳 550025)

摘要:通过田间试验研究紫花苜蓿绿肥还田与化肥减施对贵州黄壤旱地玉米产量、温室气体排放通量及全球增温潜势(GWP)和温室气体排放强度(GHGI)的影响。设置传统施肥(CF100)、绿肥配施70%化肥(AL+CF70)、绿肥配施50%化肥(AL+CF50)及单施绿肥(AL+CF0)4个处理。结果表明,绿肥处理可显著增加CO₂平均排放速率,AL+CF50显著增加了CH₄平均排放通量速率,而AL+CF0显著降低了N₂O平均排放速率。绿肥处理均增加CO₂、CH₄累积排放量,其中AL+CF70与AL+CF0处理显著高于CF100($P<0.05$);所有处理CH₄累积通量差异不显著,但绿肥处理使CH₄累积通量由汇变为源;绿肥处理可降低N₂O排放通量,但与CF100差异不显著($P>0.05$)。绿肥配施化肥可实现玉米增产稳产,但差异不显著($P>0.05$),其中AL+CF70较CF100产量增加3.05%,而单施绿肥可显著降低玉米产量($P<0.05$),降幅56.97%。绿肥与化肥配施可增加土壤pH值、有机碳(SOC)、全氮(TN)、全磷(TP)含量,且AL+CF70处理与CF0处理TP含量达到显著差异($P<0.05$)。GWP主要由CO₂和N₂O决定,大小排序为AL+CF0>AL+CF70>AL+CF50>CF100,温室气体排放强度(GHGI)为AL+CF0>AL+CF70>AL+CF50>CF100,但AL+CF70、AL+CF50与CF100差异不显著($P>0.05$)。综合玉米产量和GHGI,AL+CF70处理可实现稳产稳排和化肥减施目标。

关键词:温室气体;绿肥;玉米产量;全球增温潜势;温室气体排放强度

中图分类号:S513.06;S181 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)15-0238-07

大气中温室气体浓度的增加是全球变暖的主

收稿日期:2022-10-04

基金项目:贵州省省级科技计划(编号:黔科合基础[2020]1Y118、黔科合基础ZK[2022]一般146);国家自然科学基金(编号:31960636);农业农村部都市农业重点实验室开放基金(编号:UA201704);大学生创新创业项目(编号:202210672068)。

作者简介:陈 语(1998—),女,重庆人,硕士研究生,研究方向为农业资源与环境研究。E-mail:yuchen1998@163.com。

通信作者:高小叶,博士,副教授,主要从事生态系统碳氮循环研究。E-mail:xiaoyegao@hotmail.com。

要原因之一。农田土壤是温室气体排放的重要来源,约占人类农业生产温室气体排放的14%^[1]。作为温室气体的重要组成部分,二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)和氧化亚氮(N₂O)分别占温室气体排放量的73.0%、18.3%和6.0%^[2]。在100年的时间尺度上,单位分子CH₄和N₂O的增温潜势分别是CO₂的27倍和273倍^[3]。我国是氮肥消费大国,氮肥用量高于欧美等发达国家^[4]。长期大量施用氮、磷、钾等化肥,会导致土壤中养分大量流失,重金属和有

N₂O排放与反硝化酶活性的关系[J]. 应用与环境生物学报, 2017,23(6):1059-1066.

[47] Zhang M Y, Wang W J, Wang J, et al. Dynamics of biochemical properties associated with soil nitrogen mineralization following nitrification inhibitor and fungicide applications[J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2017, 24(12): 11340-11348.

[48] 陈利军,武志杰,姜 勇,等. 与氮转化有关的土壤酶活性对抑制剂施用的响应[J]. 应用生态学报,2002,13(9):1099-1103.

[49] 李东坡,武志杰,梁成华,等. 缓/控释氮素肥料对土壤生物学活

性的影响[J]. 农业环境科学学报,2006,25(3):664-669.

[50] 华建峰,蒋 倩,施春健,等. 脲酶/硝化抑制剂对土壤脲酶活性、有效态氮及春小麦产量的影响[J]. 土壤通报,2008,39(1): 94-99.

[51] 邢肖毅,黄懿梅,黄海波,等. 黄土丘陵区子午岭不同植物群落下土壤氮素及相关酶活性的特征[J]. 生态学报,2012,32(5): 1403-1411.

[52] 朱 琳,李玉玺,王 寅,等. 苗期干旱胁迫下施氮对玉米氮素吸收和土壤生物化学性质的影响[J]. 水土保持学报,2021,35(4):267-274.