

周之蔚,李青山,王德权,等. 有机肥施用量对植烟黄壤碳氮矿化的影响[J]. 江苏农业科学,2024,52(7):240-247.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.07.032

有机肥施用量对植烟黄壤碳氮矿化的影响

周之蔚^{1,2,6}, 李青山³, 王德权⁴, 彭玉龙⁵, 万军⁵, 章琲琨⁶, 苗壮⁴, 徐秀红¹

(1. 中国农业科学院烟草研究所/农业农村部烟草生物学与加工重点实验室, 山东青岛 266101; 2. 中国农业科学院研究生院, 北京 100081;

3. 安庆师范大学资源环境学院, 安徽安庆, 246133; 4. 山东潍坊烟草有限公司, 山东潍坊 261205; 5. 贵州省烟草公司遵义市公司, 贵州遵义 563000; 6. 上海烟草集团有限责任公司, 上海 200082)

摘要:以典型植烟黄壤为研究对象,选取鸡粪和菜籽饼肥2种有机肥,采用室内恒温好气培养法,在有机肥不同用量(0、37.5、75.0、150.0、375.0 mg/kg)下培养56 d,比较处理间氮净矿化速率、净硝化速率、碳氮矿化特性和温室气体排放的差异。结果表明,与对照相比,增加鸡粪和菜籽饼施用量均可提高土壤净矿化速率和净硝化速率。相比于鸡粪,添加菜籽饼能延长硝态氮的释放时间。土壤氮净矿化量随鸡粪和菜籽饼施用量的增加显著增大,但土壤氮矿化率随鸡粪施用量的增加呈不断增大趋势,而随菜籽饼施用量的增加呈不断降低趋势。土壤碳矿化率随鸡粪和菜籽饼施用量的增加均呈不断降低趋势。 N_2O 排放量随有机肥施用量的增加而增大,相较于鸡粪,菜籽饼能以较低用量显著增大 N_2O 排放量。相较于鸡粪,添加菜籽饼更符合优质烤烟对硝态氮的需求规律;考虑到氮矿化率,鸡粪的用量不宜超过 337.5 kg/hm^2 ,而菜籽饼不宜超过 84.4 kg/hm^2 。

关键词:有机肥;施用量;植烟黄壤;碳氮矿化;硝化

中图分类号:S158.2;S572.06 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)07-0240-08

有机无机肥配施措施已在我国大部分植烟区得到普遍认可和应用。有机肥施用量不合理易导致植烟土壤在烟株成熟期矿化出较多无机氮,从而造成烤烟上部叶贪青晚熟^[1],增大后续鲜烟叶烘烤难度,降低烤后烟叶品质。目前,关于烤烟生产中

有机肥施用的研究,多集中在有机肥种类、碳氮比(C/N)、腐熟程度和温度等因素影响氮素矿化方面^[2-4],而有关有机肥施用量影响植烟土壤氮净矿化和硝化速率的研究相对较少。另外,烟草作为喜硝作物,在其整个生育期内表现出偏向吸收硝态氮($NO_3^- - N$)的特性,导致铵态氮($NH_4^+ - N$)肥效相比硝态氮表现出一定的滞后性,且吸收积累量相对较少^[5]。提高硝态氮在土壤无机氮中的比例可促进烟叶品质提升。大量研究表明,当烟株对硝态氮和铵态氮的吸收比例为1:1时,烟叶品质最佳^[6],所以植烟土壤氮硝化速率也是影响烟草质量的关键因素之一^[7-8]。然而目前,关于配施有机肥影响

收稿日期:2023-07-25

基金项目:中国农业科学院科技创新工程项目(编号:ASTIP-TRIC03);中国烟草总公司贵州省公司科技项目(编号:2022MX19);山东潍坊烟草有限公司科技项目(编号:潍烟技2022-38);上海烟草集团有限责任公司科技项目(编号:20223100001-40576)。

作者简介:周之蔚(1989—),男,上海人,硕士,主要从事烟草栽培、烟叶评级研究。E-mail:zhouzw@sh.tobacco.com.cn。

通信作者:徐秀红,硕士,研究员,主要从事烟叶调制加工研究。E-mail:xuxiuhong@caas.cn。

[24] Babu Y J, Li C, Froelking S, et al. Field validation of DNDC model for methane and nitrous oxide emissions from rice-based production systems of India[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2006, 74(2): 157-174.

[25] Blankinship J C, Brown J R, Dijkstra P, et al. Effects of interactive global changes on methane uptake in an annual grassland[J]. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 2010, 115(G2): G02008.

[26] Guest G, Kröbel R, Grant B, et al. Model comparison of soil processes in eastern Canada using DayCent, DNDC and STICS[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2017, 109(3): 211-232.

[27] Zou J W, Huang Y, Jiang J Y, et al. A 3-year field measurement of methane and nitrous oxide emissions from rice paddies in China: effects of water regime, crop residue, and fertilizer application[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2005, 19(2): 1-9.

[28] Ghimire R, Machado S, Bista P. Decline in soil organic carbon and nitrogen limits yield in wheat-fallow systems[J]. *Plant and Soil*, 2018, 422(1): 423-435.

[29] Sun Y N, Huang S, Yu X C, et al. Differences in fertilization impacts on organic carbon content and stability in a paddy and an upland soil in subtropical China[J]. *Plant and Soil*, 2015, 397(1): 189-200.

植烟土壤氮硝化速率的研究鲜有报道^[9-10]。因此,研究有机肥施用量增加下植烟土壤有机碳、氮矿化特征以及对硝化率的影响,对于指导烟草农业健康可持续发展具有重要意义^[11-12]。

当今世界面临的重要挑战之一便是全球气候变暖,其重要驱动因子是温室气体(CO_2 、 CH_4 和 N_2O 等)浓度的增大^[13],而农田生态系统是温室气体重要排放源。施加有机物料到土壤中虽可替代部分化肥,减少化肥用量,增大氮素利用率,提高土壤质量,但会因有机物料所含成分存在差异使其施用到农田后温室气体排放存在差异^[14]。目前,关于有机物料还田后对农田土壤温室气体排放的影响仍存在争议^[15-16],且主要以水田为研究对象,关于旱地土壤的研究较少,而针对植烟土壤的研究更少。据国家统计局统计^[17],我国 2020 年植烟面积达 88.7 万 hm^2 ,因此探究有机肥施用量增加下土壤温室气体的排放变化,对合理利用农业资源和控制化肥投入具有实际指导意义。

本研究以典型植烟黄壤为研究对象,选择鸡粪和菜籽饼 2 种有机肥开展室内培养试验,揭示有机肥施用量增加下土壤矿质氮的变化规律、碳氮矿化率的变化规律以及温室气体的排放差异,以期为我国植烟黄壤区制定科学合理的有机物料施用规范和提高烤烟产质量提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤与有机物料

土壤样品采自我国西南典型植烟黄壤区,采样点的位置、气候条件、后续处理方式和土壤理化性质详见文献^[18]。2021 年于中国农业科学院烟草研究所/农业农村部生物学与加工重点实验室开展室内培养试验。

供试有机材料为鸡粪(CM)和菜籽饼(RC)。将鸡粪和菜籽饼在 65 °C 烘箱中烘干,磨碎后过 80 目筛,置于自封袋中保存备用。鸡粪和菜籽饼的基本理化性质见表 1。

表 1 有机物料的理化性质

有机物料类型	氮含量 (%)	碳含量 (%)	C/N	pH 值	NH_4^+ - N 含量 (mg/kg)	NO_3^- - N 含量 (mg/kg)
鸡粪(CM)	5.24	25.1	4.8	7.64	799.37	2.27
菜籽饼(RC)	5.87	47.5	8.1	5.55	98.73	0.23

1.2 试验设计

选取 250 mL 透明玻璃瓶作为培养瓶,每瓶盛等量新鲜土样(质量相当于 20 g 干土),用保鲜膜将瓶口密封住,于 25 °C 恒温培养箱中预培养 1 d,激活土壤微生物活性。待预培养结束后添加不同有机肥。试验共设 9 个处理,CMN1、RCN1(鸡粪和菜籽饼添加水平为 37.5 mg/kg,以纯氮计,下同),CMN2、RCN2(鸡粪和菜籽饼添加水平为 75.0 mg/kg),CMN3、RCN3(鸡粪和菜籽饼添加水平为 150.0 mg/kg),CMN4、RCN4(鸡粪和菜籽饼添加水平为 375.0 mg/kg),CK(不添加有机肥,纯土壤培养);鸡粪和菜籽饼的实际添加量根据其含氮量进行计算。将土壤和有机肥的混合物摇匀,使其均匀地平铺在瓶底(厚度尽量保持一致),后续处理步骤同文献^[18]中室内好氧培养方法。

1.3 样品采集与测定

分别在培养 1、3、5、7、9、14、28、56 d 时采集气体样品,在培养 1、3、7、14、28、56 d 时采集土壤样品(随机从各处理中取出 3 个样品作为 3 次重复,破坏

性采样),气体和土壤样品的采集参照文献^[18]中的方法进行。

1.4 数据处理与分析

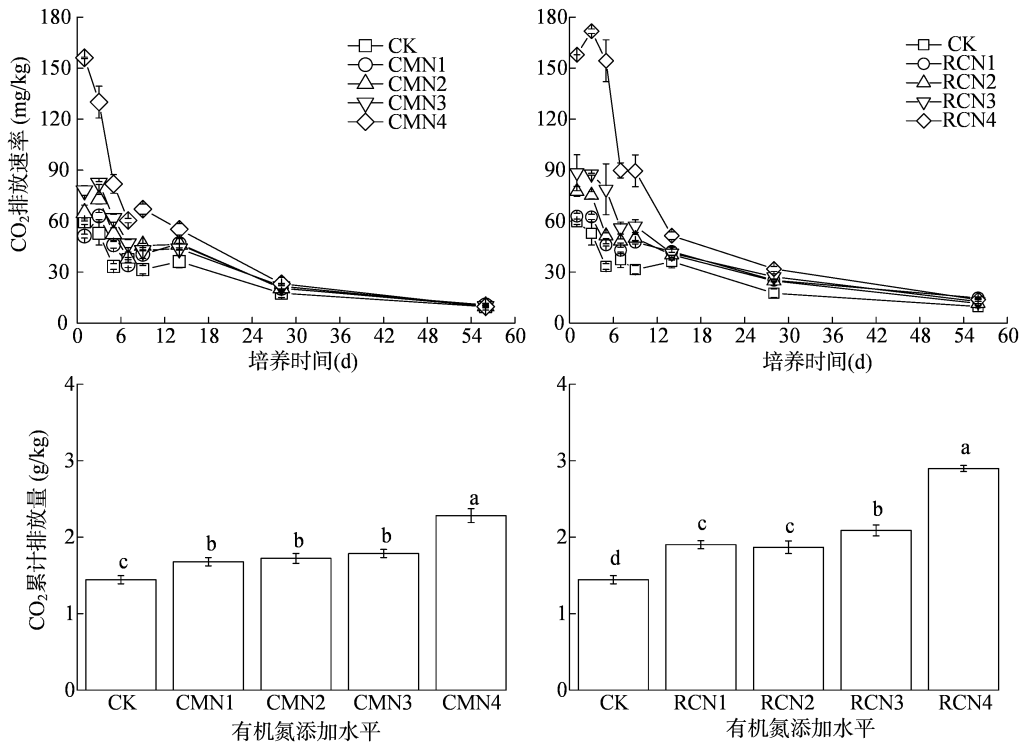
净矿化速率参照文献^[18]中的方法进行计算,净硝化速率参照文献^[19]中的方法进行计算,有机肥的碳、氮矿化量和矿化率参照文献^[20]中的方法进行计算, N_2O 和 CO_2 的排放速率和累计排放量的计算参照文献^[18]中的方法进行。

利用软件 SPSS 26.0 和 Excel 2021 进行数据处理和统计分析,采用 one-way ANOVA 和最小显著差数(LSD)法进行显著性检验,采用 Origin 2023b 进行线性回归分析。

2 结果与分析

2.1 增大有机肥用量对土壤碳矿化量的影响

由图 1 可知,在培养 1 d 或 3 d 时,各处理土壤 CO_2 排放速率达到最大值,之后逐渐降低并趋于平缓。与 CK 相比,添加 CM 和 RC 的处理土壤 CO_2 排放速率均得到提高,且随 CM 和 RC 施用量的增大



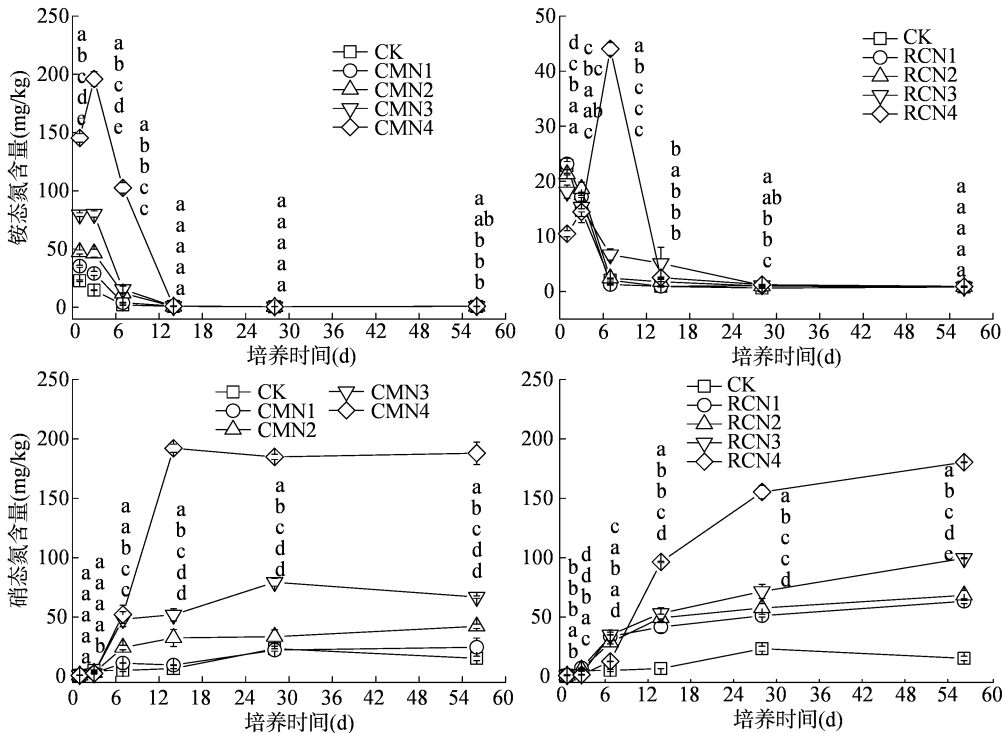
图中误差棒代表各处理的标准差;不同小写字母表示各处理间存在显著性差异($P < 0.05$)。下同

图1 有机肥处理的CO₂排放速率动态变化和累计排放量

呈增大趋势。与CK相比,添加CM和RC的处理CO₂累计排放量分别增加1.17~1.58倍和1.30~2.01倍,且差异均达到显著水平($P < 0.05$)。

2.2 增大有机肥用量土壤铵态氮和硝态氮含量变化

由图2可知,各处理土壤铵态氮含量总体随培



图中同列不同小写字母(从上而下分别对应N4、N3、N2、N1、CK)表示同一培养时间各处理间存在显著性差异($P < 0.05$)。下同

图2 有机肥处理的铵态氮和硝态氮含量动态变化

养时间的推进呈快速下降并趋于平缓的趋势(除RCN4处理外)。在培养1 d或3 d时,添加CM的处理土壤铵态氮含量达到最大值;除CMN1处理外,CMN2、CMN3、CMN4处理在培养初期(前7 d)较CK显著提高了土壤铵态氮含量($P < 0.05$)。随培养时间的推进,添加RC与CM的处理土壤铵态氮含量变化趋势并不一致,在整个培养过程中,RC处理与CM处理相比土壤铵态氮含量一直偏低。在整个培养过程中,RCN1、RCN2、RCN3处理土壤铵态氮含量与CK变化趋势一致,且RCN1、RCN2处理与CK间的差异并不明显,而RCN4处理的变化趋势则为先快速增大后快速降低并趋于平缓。

添加CM的处理硝态氮含量随培养时间的推进呈不断增大并趋于平缓趋势,与铵态氮含量的变化趋势相反。添加CM提高了土壤硝态氮含量,硝态氮的累积主要集中在培养1~14 d。添加RC的处理硝态氮含量随培养时间的推进呈不断增大趋势,但增幅不断减小。

2.3 增大有机肥用量提高了土壤净矿化速率和净矿化量

由图3可知,添加CM处理的土壤氮净矿化速率随培养时间的推进呈不断降低并趋于平缓的趋势,均在培养1 d时达到最大值。当CM施用量增

加2~10倍时,净矿化速率最大值则增大1.98~9.81倍。与CK相比,CMN2、CMN3、CMN4处理提高了整个培养阶段的土壤氮净矿化速率,且土壤氮净矿化速率随CM施用量的增加而增大。在培养结束时,土壤氮净矿化量随CM施用量的增加而增大,两者的关系可用线性方程较好地拟合($r^2 = 0.99$, $P < 0.001$)。RC处理与CM处理、CK的土壤氮净矿化速率变化趋势不一致,RCN1、RCN2、RCN3、RCN4处理的土壤氮净矿化速率呈不断增大后逐渐减小的趋势,均在培养7 d达到最大值。RC施用量增加2~10倍时,净矿化速率最大值则增大0.85~1.78倍。在培养结束时,土壤氮净矿化量随RC施用量的增加而增大,两者的关系也可用线性方程较好地拟合($r^2 = 0.98$, $P < 0.001$)。

2.4 增大有机肥用量提高了土壤净硝化速率

由图4可知,CK和有机肥处理的土壤净硝化速率随培养时间的推进呈快速增大后降低趋势。土壤净硝化速率随有机肥施用量的增加呈不断增大趋势,当CM施用量增加2~4倍时,土壤净硝化速率最大值增大2.46~9.29倍。与CK相比,CMN2、CMN3、CMN4处理增大培养7~14 d的土壤净硝化速率。同添加CM处理一样,RCN1、RCN2、RCN3处理土壤净硝化速率均在培养3~7 d达到最大值,而

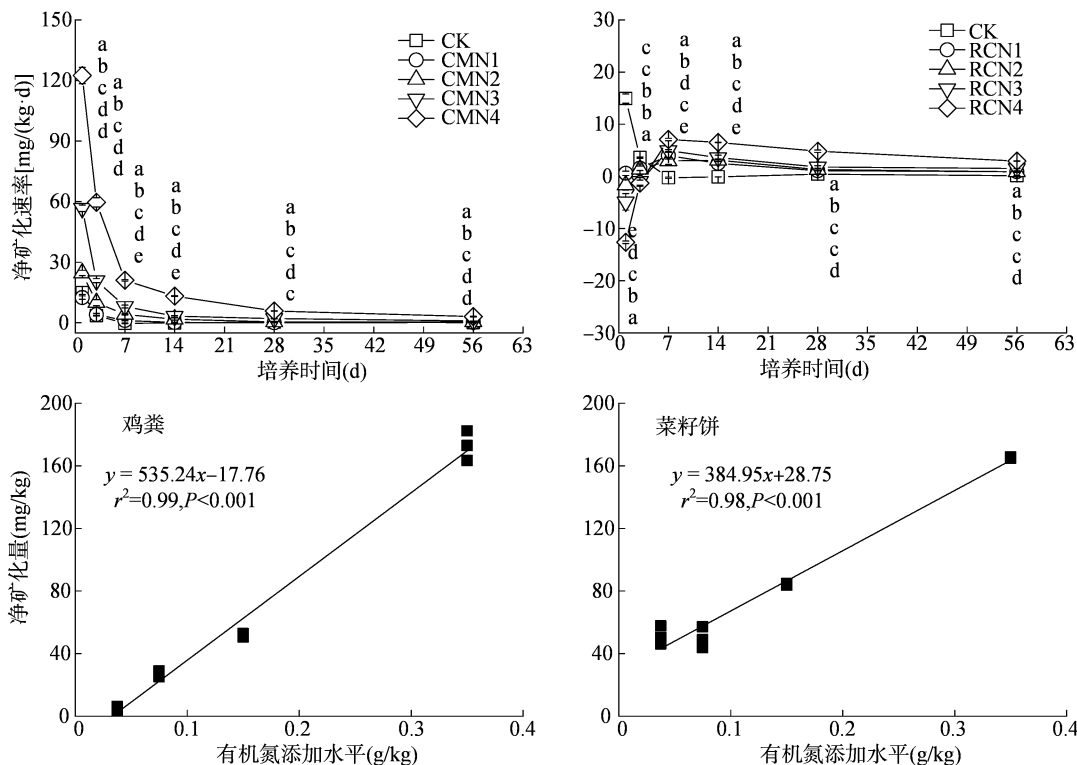


图3 有机肥处理的土壤净矿化速率和净矿化量

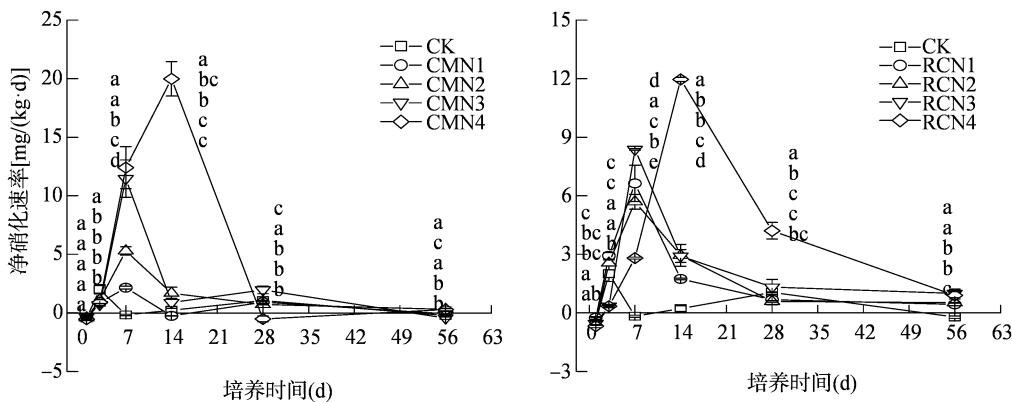


图4 有机肥处理的土壤净硝化速率动态变化

RCN4 处理在培养 14 d 达到最大值。当 RC 施用量增加 2 ~ 10 倍时,土壤净硝化速率最大值增大 0.85 ~ 1.80 倍。与 CK 相比,RCN1、RCN2 处理显著提高了培养 3 ~ 14 d 的土壤净硝化速率,RCN3、RCN4 处理则显著提高培养 7 ~ 56 d 的土壤净硝化速率。

2.5 增大有机肥用量对土壤碳、氮矿化率的影响

由图 5 可知,增加 CM 施用量可显著提高土壤氮矿化率($P < 0.05$),土壤氮矿化率随 CM 施用量增加而增大,CMN2、CMN3、CMN4 处理较 CMN1 处

理分别提高 157%、143%、229%;而增加 CM 施用量则降低土壤碳矿化率,其中 CMN1、CMN2 处理显著大于 CMN3、CMN4 处理($P < 0.05$)。增加 RC 施用量降低土壤氮矿化率($P < 0.05$),RCN2、RCN3、RCN4 处理较 RCN1 处理分别降低 51%、59%、68%;同时,增加 RC 施用量也降低土壤碳矿化率,其中 RCN1 处理显著大于 RCN2、RCN3、RCN4 处理,且 RCN2 处理显著大于 RCN4 处理($P < 0.05$)。

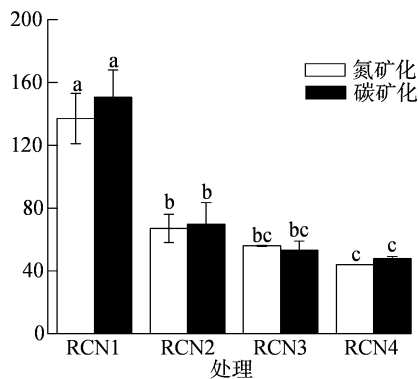
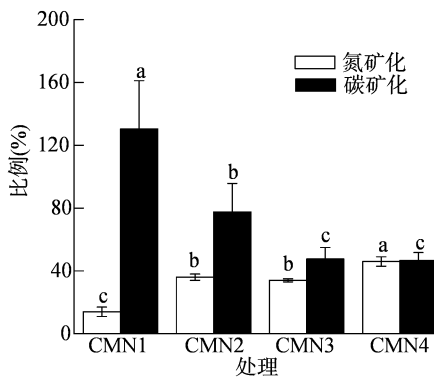


图5 增加有机肥施用量对土壤碳氮矿化率的影响

2.6 增大有机肥用量提高了 N₂O 排放速率和累计排放量

由图 6 可知,各处理土壤 N₂O 排放速率均在培养 1 d 时达到峰值,且随培养时间的推进总体上呈波动降低趋势。与 CK 相比,CMN1、CMN2、CMN3 处理降低土壤 N₂O 最大排放速率,CMN4 处理明显增大整个培养阶段土壤 N₂O 排放速率。CMN3 处理和 CMN4 处理较 CK 显著增加了 N₂O 累计排放量($P < 0.05$),增幅分别为 36.30% 和 145.84%。RCN1、RCN2、RCN3 处理明显提高培养 3 ~ 28 d 的土壤 N₂O 排放速率,RCN4 处理则显著增大整个培养阶段土壤 N₂O 排放速率。与 CK 相比,添加 RC

显著增加了 N₂O 累计排放量($P < 0.05$),增幅为 213.69% ~ 413.06%。

3 讨论

3.1 增大有机肥用量对土壤氮素矿化的影响

添加鸡粪处理在培养 1 ~ 7 d 较 CK 显著提高土壤铵态氮含量,而硝态氮含量则在培养 7 d 开始明显高于 CK。在培养 1 ~ 14 d,添加鸡粪处理的铵态氮含量呈不断减小趋势,铵态氮含量与培养时间呈负相关关系,14 d 之后的趋势为维持稳定且波动上升,这与杨蕊的研究结果^[21]一致,也与张若杨等的研究结果^[22]相同,其研究结果同样发现添加鸡粪 2

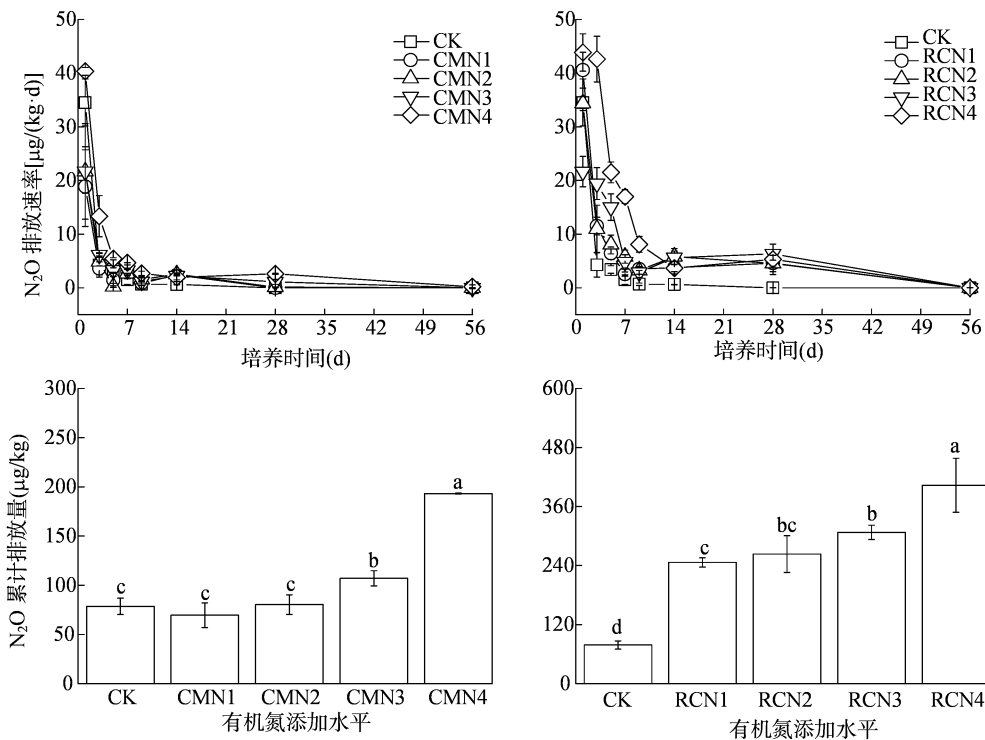


图6 有机肥处理的 N_2O 排放速率动态变化和累计排放量

周后土壤中铵态氮含量呈现维持在较低水平且呈波动上升的趋势。薛玉晨等的研究表明,添加鸡粪处理土壤硝态氮含量在培养0~56 d呈缓慢增加趋势,56~84 d呈快速增加趋势^[23],且张若杨等也得出相同结果^[22],而在本研究中,添加鸡粪处理的硝态氮含量在培养1~7 d(CMN1、CMN2、CMN3)和1~14 d(CMN4)快速增加后呈波动增长趋势,原因可能是张若杨等的研究对象为矿区复垦土壤,而本研究对象则为植烟黄壤,土壤本身的有机质含量(19.20 g/kg)高于矿区复垦土壤(5.45 g/kg),可提供相对充足的碳源,增强土壤微生物活性^[24],从而促进有机氮的矿化进程。

本研究中添加菜籽饼处理(RCN1、RCN2、RCN3)铵态氮含量的变化趋势呈先减小后平缓趋势,这与罗春燕的研究结果^[25]不一致,在其研究中添加菜籽饼处理的铵态氮含量随培养时间的推进呈先增加后减小趋势,有机质添加量的一致可能是引起差异的其中一方面原因,RCN1、RCN2、RCN3处理添加菜籽饼中的有机质总量分别为0.30、0.61、1.21 g/kg,均少于罗春燕试验中添加菜籽饼中的有机质总量(1.72 g/kg)^[25],这可能是由于有机质添加量较小时,在培养前期可降低微生物对氮素的固持。RCN4处理有机质添加总量(3.04 g/kg)高于1.72 g/kg,对应的铵态氮含量变化趋势则与罗春燕

的研究结果基本一致,表现为先快速增大后快速减小并趋于平缓的趋势。另一方面可能是由于所用菜籽饼C/N的不同,本试验中所用菜籽饼的C/N(8.1)小于罗春燕试验中所用菜籽饼的C/N(13.3),C/N越小越易激发微生物活性^[26-27],促进有机氮矿化。李孝刚等的研究也表明,向不同有机质含量的土壤中添加有机物料时,高有机质土壤中的铵态氮含量呈逐渐下降趋势,而低有机质土壤中的铵态氮含量则呈现先上升后下降趋势^[5]。可以看出,在培养前期(1~3 d),与CK相比,RCN1、RCN2、RCN3处理的铵态氮含量并未明显降低,而RCN4处理的铵态氮含量则显著降低,这与罗春燕的研究结果^[25]不一致,原因可能为在其研究中供试土壤为沙壤土,土壤有机质含量较低(1.88 g/kg),而本研究对象为植烟黄壤,有机质含量为19.20 g/kg。

3.2 增大有机肥用量对土壤净矿化、硝化速率及净矿化量的影响

烤烟品质随土壤中可供烟株吸收的硝态氮含量的增高而提升^[6],尤其当烟株吸收铵态氮和硝态氮的比例为1:1时,获得的烤烟烟叶品质最佳^[28],但不容忽视的是,不同植烟区域合适的硝态氮、铵态氮比例具有很强的地域性差异^[29]。烟株吸收硝态氮的量在移栽后前20 d相对较少,20~40 d内达到高峰,60 d后基本趋于零,这是烟草理想的硝态

氮吸收规律^[6]。本研究中,添加鸡粪和菜籽饼处理的土壤净硝化速率呈先快速增大后减小趋势,且净硝化速率随有机肥施用量增加而增大。但添加菜籽饼处理的确态氮含量变化趋势不同于添加鸡粪处理,可以看出,添加鸡粪处理的确态氮含量的增幅主要发生在培养1~14 d,而添加菜籽饼处理的确态氮含量在前14 d的增幅分别占整个培养过程内确态氮累计量的63% (RCN1)、77% (RCN2)、58% (RCN3)和55% (RCN4)。从土壤确态氮含量的动态变化趋势来看,相较于鸡粪,添加菜籽饼处理延长了确态氮的释放时间,相对更契合烟草生长发育的需氮规律^[30]。

在本研究中,添加鸡粪和菜籽饼处理均提高了土壤的净矿化速率,且有机肥施用量越大,有机氮的净矿化速率增大幅度越大,区别在于添加鸡粪处理的净矿化速率呈不断降低趋势,而添加菜籽饼处理的净矿化速率则呈先增大后减小趋势。从添加鸡粪处理的氮矿化速率来看,本研究中鸡粪的氮矿化主要集中在培养前期,这与王正银的研究结果^[31]一致,而与添加鸡粪处理不同的是,添加菜籽饼处理的氮矿化稍显滞后,主要集中在培养中期,矿化速率较慢且矿化过程相对较长。可以看出,添加菜籽饼处理(RCN2、RCN3、RCN4)在培养前期的净矿化速率为 $-0.94 \sim 12.64 \text{ mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$,这可能是由微生物对氮素的固持作用导致的^[32],至于培养后期净矿化速率的降低,原因可能是易矿化有机物质逐渐减少,微生物活性降低,从而降低了矿化速率,进而导致净矿化量降低。与CK相比,随着鸡粪施用量的增加,净矿化氮含量呈增大趋势,这与姜燕宏等的研究结果^[33]基本一致。杨蕊通过研究不同施氮量下鸡粪矿化特征同样发现,土壤中矿质氮含量随着施氮量的增加而升高^[21]。周博等的研究也表明,氮矿化量与有机肥全氮呈显著线性相关^[20]。本试验也得出一致结果,鸡粪净矿化氮含量与其有机氮添加量呈极显著正相关($r^2 = 0.99, n = 12, P < 0.001$)。添加菜籽饼处理同鸡粪处理一致,随菜籽饼施用量的增加,净矿化氮含量也呈不断增大趋势,两者也呈极显著正相关($r^2 = 0.98, n = 12, P < 0.001$)。

3.3 增大有机肥用量对土壤碳氮矿化率的影响

研究表明,当土壤及有机物料中易分解组分被微生物消耗完全后,微生物将转向去分解较难分解组分,碳组分将随有机物料的进一步分解转化为土

壤有机组分,致使碳矿化速率减缓^[34]。在本试验中,各处理土壤有机碳矿化规律表现为在培养初期土壤碳矿化速率最大,之后碳矿化速率随着时间的延长呈波动性降低至平缓变化趋势。在培养前28 d,各处理有机碳累计矿化量占整个培养过程有机碳累计矿化量的63.27% (CK)、65.08% ~ 74.60% (鸡粪)和60.00% ~ 72.30% (菜籽饼),这与庞飞等的研究结果^[35]基本一致。在本研究中,碳矿化速率的相对值和累计碳矿化量随有机物料施加量的增加而增大,这与严红等的研究结果^[36-37]一致。另外,本研究发现,随有机物料施加量的增加,碳累计矿化量虽呈增大趋势,但碳矿化率则呈降低趋势。

姜燕宏等通过室内好氧培养试验研究发现,蘑菇渣、牛粪和鸡粪的分解残留率与其添加量呈显著正相关^[33],说明其碳氮矿化率与施用量呈显著负相关关系。而本研究中,鸡粪氮矿化率随施用量增加而增加,而菜籽饼氮矿化率则随施用量增加呈降低趋势,引起结果差异的原因可能是有机物料C/N不同,本研究中鸡粪的C/N为4.8,而姜燕宏等研究中所用鸡粪的C/N为16.93,其余2种物料的C/N分别为7.46和98.20。因此,在分析同种有机物料的氮矿化特性时,除考虑施用量外,还应该注意有机物料的C/N。

4 结论

土壤氮净矿化量随鸡粪和菜籽饼施用量增加而增大,两者呈极显著正相关。土壤净矿化和硝化速率随有机肥施用量的增加呈增大趋势。土壤氮矿化率随鸡粪施用量的增加而增大,而随菜籽饼施用量的增加呈降低趋势;土壤碳矿化率随鸡粪和菜籽饼施用量的增加均降低。 N_2O 排放量随有机肥施用量的增加而增大,相较于鸡粪,菜籽饼能以较低用量显著增大 N_2O 排放量。添加菜籽饼较鸡粪更符合优质烤烟对铵态氮、硝态氮的需求规律;考虑到氮矿化率,鸡粪的施用量不宜超过 $337.5 \text{ kg}/\text{hm}^2$,而菜籽饼的施用量不宜超过 $84.4 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。

参考文献:

- [1]周冀衡,朱小平,王彦亭,等.烟草生理与生物化学[M].合肥:中国科学技术大学出版社,1996.
- [2]Liang X, Yuan J, Yang E, et al. Responses of soil organic carbon decomposition and microbial community to the addition of plant residues with different C: N ratio [J]. European Journal of Soil

- Biology, 2017, 82: 50 – 55.
- [3] 马强, 孙英杰, 王华伟, 等. 添加腐熟污泥对生活垃圾堆肥氮素转化与损失的影响[J]. 环境工程学报, 2017, 11(7): 4325 – 4330.
- [4] 邱吟霜, 王西娜, 李培富, 等. 不同种类有机肥及用量对当季旱地土壤肥力和玉米产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2019(6): 182 – 189.
- [5] 李孝刚, 彭曙光, 靳志丽, 等. 有机物料对植烟土壤氮素矿化及微生物性质的影响[J]. 土壤学报, 2021, 58(1): 225 – 234.
- [6] 张延春, 陈治锋, 龙怀玉, 等. 不同氮素形态及比例对烤烟长势、产量及部分品质因素的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(6): 787 – 792.
- [7] 吴嘉楠, 闫海涛, 彭桂新, 等. 生物质炭与氮肥配施对土壤氮素变化和烤烟氮素利用的影响[J]. 土壤, 2018, 50(2): 256 – 263.
- [8] 邵兴芳, 徐明岗, 张文菊, 等. 长期有机培肥模式下黑土碳与氮变化及氮素矿化特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(2): 326 – 335.
- [9] Pratiwi E P A, Hillary A K, Fukuda T, et al. The effects of rice husk char on ammonium, nitrate and phosphate retention and leaching in loamy soil[J]. Geoderma, 2016, 277: 61 – 68.
- [10] Garnica M, Houdusse F, Zamarreño A M, et al. The signal effect of nitrate supply enhances active forms of cytokinins and indole acetic content and reduces abscisic acid in wheat plants grown with ammonium[J]. Journal of Plant Physiology, 2010, 167(15): 1264 – 1272.
- [11] 李洪勋. 有机肥与烤烟生产关系的研究进展[J]. 中国土壤与肥料, 2007(1): 5 – 8, 12.
- [12] 王树会, 纳红艳, 陈发荣, 等. 有机肥与化肥配施对烤烟品质及土壤的影响[J]. 中国农业科技导报, 2011, 13(4): 110 – 114.
- [13] 王斌, 李玉娥, 万运帆, 等. 控释肥和添加剂对双季稻温室气体排放影响和减排评价[J]. 中国农业科学, 2014, 47(2): 314 – 323.
- [14] Kemmitt S J, Lanyon C V, Waite I S, et al. Mineralization of native soil organic matter is not regulated by the size, activity or composition of the soil microbial biomass: a new perspective[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2008, 40(1): 61 – 73.
- [15] Khosa M K, Sidhu B S, Benbi D K. Effect of organic materials and rice cultivars on methane emission from rice field[J]. Journal of Environmental Biology, 2010, 31(3): 281 – 285.
- [16] Zhu T B, Zhang J B, Yang W Y, et al. Effects of organic material amendment and water content on NO₂, N₂O, and N₂ emissions in a nitrate-rich vegetable soil[J]. Biology and Fertility of Soils, 2013, 49(2): 153 – 163.
- [17] 闫新甫, 孔劲松, 罗安娜, 等. 近20年全国烤烟产区种植规模消长变化分析[J]. 中国烟草科学, 2021, 42(4): 92 – 101.
- [18] 李青山, 王德权, 杜传印, 等. 碳源类型和添加量对植烟黄壤氮素同化的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2021, 27(6): 1091 – 1103.
- [19] 许琳, 刘跃东, 高加明, 等. 镉胁迫对不同植烟土壤硝化速率及N₂O排放的影响[J]. 中国烟草科学, 2022, 43(1): 35 – 41, 48.
- [20] 周博, 高佳佳, 周建斌. 不同种类有机肥碳、氮矿化特性研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(2): 366 – 373.
- [21] 杨蕊. 畜禽有机肥氮磷在红壤中的矿化、利用和环境风险研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2011.
- [22] 张若扬, 郝鲜俊, 韩阳, 等. 不同有机肥对采煤塌陷区土壤氮素矿化动态特征研究[J]. 水土保持学报, 2020, 34(2): 188 – 194.
- [23] 薛玉晨, 郝鲜俊, 韩阳, 等. 不同有机肥对矿区复垦土壤氮素矿化的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2020, 26(2): 378 – 385.
- [24] 郭莹, 王一明, 巫攀, 等. 长期施用粪肥对水稻土中微生物群落功能多样性的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2019, 25(3): 593 – 602.
- [25] 罗春燕. 不同水热条件下菜籽饼有机氮在烟田土壤中矿化特征研究[D]. 重庆: 西南农业大学, 2005.
- [26] Cordovil C M D S, Cabral F, Coutinho J. Potential mineralization of nitrogen from organic wastes to ryegrass and wheat crops[J]. Bioresource Technology, 2007, 98(17): 3265 – 3268.
- [27] Calderón F J, McCarty G W, Reeves J B. Analysis of manure and soil nitrogen mineralization during incubation[J]. Biology and Fertility of Soils, 2005, 41(5): 328 – 336.
- [28] 陈雪, 翟欣, 杨振智, 等. 特制有机肥提高贵州黄壤氮矿化和硝化率的研究[J]. 土壤学报, 2020, 57(4): 878 – 886.
- [29] 谢晋, 严玛丽, 陈建军, 等. 不同铵态氮硝态氮配比对烤烟产量、质量及其主要化学成分的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(4): 1030 – 1037.
- [30] 郭群召, 姜占省, 张新要, 等. 不同有机质含量土壤对烤烟生长发育和氮素积累及上部叶化学成分的影响[J]. 中国农学通报, 2006, 22(5): 254 – 257.
- [31] 王正银. 有机肥氮和碳素矿化动力学[J]. 西南农业大学学报, 1993, 15(3): 9 – 13.
- [32] Probert M E, Delve R J, Kimani S K, et al. Modelling nitrogen mineralization from manures: representing quality aspects by varying C : N ratio of sub-pools[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2005, 37(2): 279 – 287.
- [33] 娄燕宏, 诸葛玉平, 魏猛, 等. 外源有机物料对土壤氮矿化的影响[J]. 土壤通报, 2009, 40(2): 315 – 320.
- [34] 张薇, 王子芳, 王辉, 等. 土壤水分和植物残体对紫色水稻土有机碳矿化的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(6): 1013 – 1019.
- [35] 庞飞, 李志刚, 李健. 有机物料和氮添加对宁夏沙化土壤碳矿化的影响[J]. 水土保持研究, 2018, 25(3): 75 – 80.
- [36] 严红, 魏湜, 张雷, 等. 有机物料施用量对土壤CO₂排放速率的影响[J]. 大连大学学报, 2005, 26(4): 46 – 50.
- [37] Moreno-Cornejo J, Zornoza R, Faz A. Carbon and nitrogen mineralization during decomposition of crop residues in a calcareous soil[J]. Geoderma, 2014, 230/231: 58 – 63.