

施肥对紫色土夏玉米 N_2O 排放及反硝化作用的影响*曾泽彬^{1,2} 朱波^{1†} 朱雪梅³ 刘学锋² 王彦¹

(1 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041)

(2 宜宾市农业科学院, 四川宜宾 644000)

(3 四川农业大学资源环境学院, 成都 611130)

摘要 采用原状土柱-乙炔抑制培养法研究了施肥对紫色土玉米生长季土壤 N_2O 排放通量和反硝化作用的影响。结果表明: 玉米季施肥显著增加土壤 N_2O 排放和反硝化损失, 同时, 各施肥处理间 N_2O 排放与反硝化损失量差异显著。猪厩肥、猪厩肥配施氮磷钾肥、氮肥、氮磷钾肥和秸秆配施氮磷钾肥等处理的土壤 N_2O 排放量分别为 3.01、2.86、2.51、2.19 和 1.88 $kg\ hm^{-2}$, 分别占当季氮肥施用量的 1.63%、1.53%、1.30%、1.09% 和 0.88%, 反硝化损失量分别为 6.74、6.11、5.23、4.69 和 4.12 $kg\ hm^{-2}$, 分别占当季氮肥施用量的 3.97%、3.55%、2.97%、2.61% 和 2.23%, 不施肥土壤的 N_2O 排放量和反硝化损失量仅为 0.56 和 0.78 $kg\ hm^{-2}$ 。施肥是紫色土玉米生长前期(2 周内)土壤 N_2O 排放和反硝化速率出现高峰的主要驱动因子, 土壤铵态氮和硝态氮含量是影响土壤 N_2O 排放、土壤硝化和反硝化作用的限制因子, 土壤含水量是重要影响因素, 降雨是主要驱动因素。土壤 N_2O 排放量与反硝化损失量的比值介于 0.45~0.72 之间, 土壤反硝化损失量极显著高于土壤 N_2O 排放量, 说明土壤反硝化作用是紫色土玉米生长季氮肥损失的重要途径。

关键词 施肥; N_2O 排放通量; 反硝化损失; 玉米; 紫色土

中图分类号 S158.3 **文献标识码** A

土壤硝化和反硝化作用是土壤氮素循环过程的两个重要环节, 在其生物化学过程中产生的 N_2O 和 N_2 , 不仅造成氮素损失, 降低肥料当季利用率, 还会增加大气中 N_2O 浓度, 对全球气温升高产生较大的影响。因此, 土壤硝化-反硝化作用和 N_2O 排放已引起普遍关注并成为热点研究问题之一。

施肥引起的氮素硝化和反硝化气态损失量、 N_2O 排放量到底有多大, 目前的研究报道不一。研究报道, 反硝化损失是农田土壤氮素气态损失的主要途径, 不同肥料的反硝化损失量为 N 微量~100 $kg\ hm^{-2}$ [1]。有研究认为, 农田土壤反硝化损失量占氮素损失总量的 30% 左右[2]。然而也有人认为, 在温暖地区和多数热带农业生态系统中, 反硝化作用不可能是氮素损失的重要途径[3]。在小麦-玉米轮作系统中的研究结果表明, 氮肥反硝化损失率很低, 也认为反硝化作用不是氮肥损失的主要机制[4]。

目前国内在玉米地原位条件下进行的施肥对土壤硝化、反硝化损失和 N_2O 排放的影响方面已有一些研究。测得的反硝化损失量均较低, 其反硝化

损失的氮量为 1.77~10.49 $kg\ hm^{-2}$, 占肥料施用量的 0.57%~2.49% [5-7], 但从特定农田生态系统的研究仍还不够深入。四川盆地中部的紫色土丘陵区是四川省乃至全国重要的玉米、小麦等粮食生产基地之一。紫色土是该区主要耕作土壤类型, 迄今为止, 施肥对紫色土土壤硝化、反硝化作用及 N_2O 排放的影响研究甚少。因此, 研究施肥对紫色土夏玉米季土壤 N_2O 排放及反硝化作用的影响, 旨在为土壤氮素循环研究和合理施肥提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验地位于四川盆地中北部的盐亭县林山乡的中国科学院盐亭紫色土农业生态试验站(31°16' N, 105°27' E)的养分平衡试验场内[8] (图 1)。该区地形以中深丘为主, 海拔 400~600 m。气候属亚热带湿润季风气候, 气候温和, 四季分明, 多年平均气温 17.3°C, 无霜期 297 d, 多年平均降雨 836 mm, 降雨

* 国家重点基础研究发展计划课题(2012CB417101)和国家自然科学基金项目(41271321)联合资助

† 通讯作者, 朱波, 博士, 研究员, 主要从事土壤学、养分循环及面源污染控制研究。E-mail: bzhu@imde.ac.cn

作者简介: 曾泽彬(1986—), 男, 四川威远人, 农艺师, 研究方向为土壤-植物营养。E-mail: zzb19860408@126.com

收稿日期: 2012-03-01; 收到修改稿日期: 2012-09-25

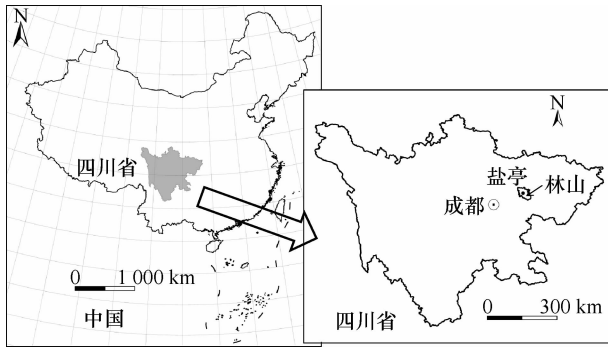


图1 试验区地理位置

Fig. 1 Location of the experiment site

主要集中于夏季,汛期暴涨暴落。

1.2 供试土壤

试验土壤为发育于侏罗系蓬莱镇组紫色砂页岩的石灰性紫色土,壤质黏土,其耕层(0~20 cm)土壤理化性质为:pH 8.28,有机质 8.75 g kg⁻¹,全氮 0.62 g kg⁻¹,全磷 0.61 g kg⁻¹,全钾 18.01 g kg⁻¹,碱解氮 42.29 mg kg⁻¹,速效磷 9.02 mg kg⁻¹,速效钾 86.35 mg kg⁻¹,土壤容重 1.33 g cm⁻³。

1.3 试验设计

试验设置 6 种施肥处理,分别为不施肥对照(CK);猪厩肥(OM);化肥 N(N);常规化肥 NPK(NPK);猪厩肥+化肥 NPK(OMNPK);秸秆+化肥 NPK(RSDNPK)。各处理肥料施用量全氮维持在同一水平,猪厩肥:0.6% N-鲜重;秸秆:(0.5% N-干重),各处理肥料施用量及秸秆还田量见表 1。肥料品种:N(碳铵),P₂O₅(过磷酸钙),K₂O(硫酸钾),农家肥(猪厩肥),秸秆(小麦秸秆)。种植作物前采用人工翻耕,厚度 20 cm 左右。施肥以穴施底肥方式一次性施入,后期不再追肥。

试验采用随机完全区组设计,每处理重复 3 次,小区面积 24 m²,坡度均为 7°。试验所需玉米品种为中单 808,属中晚熟品种,全生育期 113 d 左右,株高 260~270 cm,穗位高 1.15~1.25 m,紫色土丘陵区多年平均产量 8 352 kg hm⁻²。玉米的种植方式:穴播,每穴 1 株,行距×窝距=50 cm×40 cm。观测时间为整个玉米季,即 2010 年 6 月 7 日至 2010 年 9 月 28 日,玉米地于 6 月 2 日翻耕,玉米于 6 月 8 日施肥播种、9 月 28 日收获。

表 1 施肥处理与肥料或秸秆用量

Table 1 Fertilization regimes and application rates of fertilizer or crop residues

处理 Treatments	化肥 Chemical fertilizer (kg hm ⁻²)			猪厩肥 Pig manure (t hm ⁻²)	秸秆 Crop residues (t hm ⁻²)
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O		
CK (不施肥 No fertilizer)					
N(单施氮肥 N fertilizer)	150				
NPK(NPK 肥 Chemical N, P and K fertilizers)	150	90	36		
OM (猪厩肥 Pig manure)				25	
OMNPK (猪厩肥 + NPK 肥 Pig manure with chemical NPK fertilizers)	90	90	36	10	
RSDNPK (秸秆 + NPK 肥 Crop residues with chemical NPK fertilizers)	112.5	90	36		7.5

1.4 土壤 N₂O 气体采集与分析测试方法

试验采用原状土柱-乙炔抑制培养法^[1],用 PVC 圆管制作成的原型培养箱,底部密封,顶部用盖子封住。箱盖中部打一小孔,用聚丁烯橡胶塞塞住。采用内径为 3.2 cm、长 18 cm 的 PVC 管制成取样管以钻取土柱。根据表层土壤的实际情况,土柱长度为 14 cm。取样完成后,将土柱连同 PVC 取样管一起放入培养箱中,然后密封培养箱。原状土柱在施肥后采集以确保土壤状况与实验地一致。在每个小区四株玉米中间随机采集 8 个土柱,4 个为一组,

放入 2 个培养箱中,1 个培养箱不充乙炔气体测定土壤 N₂O 自然排放量,另 1 箱充入乙炔气体以测定反硝化损失量(乙炔浓度 10%,体积比),然后将培养箱密封埋在试验区附近,抽取周围空气,作为 N₂O 环境背景值。培养 24 h 后将培养箱取出,用 10 ml 注射器来回抽取气体 3 次混匀箱内气体,然后抽取 10 ml 气体带回实验室分析。

每次取样时测定土壤温度和含水量,计算出瓶中自由体积,同时采集土壤样品供土壤铵态氮和硝态氮含量分析。土壤铵态氮和硝态氮含量采用常

规农化分析方法测定。N₂O 气体采用气相色谱仪 (HP5890II) 分析测定。N₂O 排放速率、反硝化速率、N₂O 排放总量、反硝化损失量、N₂O-N 排放系数和土壤含水孔隙率 (WFPS) 的计算方法参照文献 [9]。

1.5 数据处理

作图采用 Origin7.5 软件完成;数据分析采用 SPSS13.0 软件完成,处理间差异采用 Duncan 多重比较法。

2 结果与分析

2.1 施肥对土壤 N₂O 排放通量的影响

土壤 N₂O 自然排放量既包括硝化作用产生的 N₂O,也包括反硝化作用产生的 N₂O。由图 2 可见,不同施肥处理对 N₂O 排放存在显著影响。OM、OMNPK、N、NPK 和 RSDNPK 处理土壤 N₂O 排放通量变化范围为 0.22 ~ 13.33、0.24 ~ 12.25、0.15 ~ 9.99、

0.20 ~ 8.71 和 0.13 ~ 7.98 mg m⁻² d⁻¹,平均排放通量分别为 2.66、2.53、2.22、1.94 和 1.67 mg m⁻² d⁻¹,与 CK 相比,分别增加了 432%、406%、344%、287% 和 233%,其大小顺序为 OM > OMNPK > N > NPK > RSDNPK,各处理间差异达到显著性水平 (0.01 < p < 0.05)。不施肥处理的排放通量变化幅度最小,可见施肥明显促进了土壤 N₂O 排放。各施肥处理的 N₂O 排放通量变化趋势基本一致,施用基肥后很快出现排放高峰,持续时间约为 2 周,并在施肥后第 6 天出现最大值 (8.71 ~ 13.33 mg m⁻² d⁻¹),随后排放量下降。在 7 月 1 日和 19 日的测定中,不同处理的 N₂O 排放通量土壤增加,其原因 6 月底和 7 月中旬分别出现了连续 3 天和 7 天的强降雨 (49 mm 和 142 mm),此时的温度又较高,使土壤处于干湿交替状态,土壤硝化与反硝化作用共同促使了土壤 N₂O 的大量产生和排放。7 月底后,各处理均未出现明显排放,低排放情况 (<0.48 mg m⁻² d⁻¹) 一直持续到玉米收获。

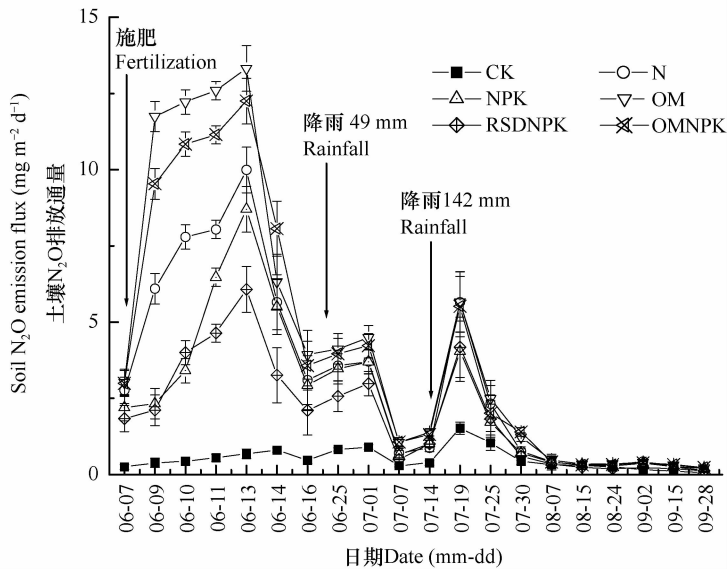


图 2 施肥对玉米生长季土壤 N₂O 排放通量的影响

Fig. 2 Effect of fertilization on soil N₂O emission flux during the maize growing

2.2 施肥对土壤反硝化速率的影响

不同施肥处理对土壤反硝化速率的影响见图 3。不同施肥处理土壤反硝化速率变化与土壤 N₂O 排放通量变化特征相似,但土壤反硝化速率明显高于土壤 N₂O 排放通量,且变幅也明显大于土壤 N₂O 排放通量。不同施肥处理土壤反硝化速率变化趋势基本一致。施肥和降雨明显促进了土壤硝化与反硝化作用。OM、OMNPK、N、NPK 和 RSD-

NPK 处理的土壤反硝化速率变化范围为 1.28 ~ 24.77、1.31 ~ 22.24、0.94 ~ 17.87、0.63 ~ 14.19 和 0.79 ~ 16.40 mg m⁻² d⁻¹,平均反硝化速率分别为 5.96、5.41、4.63、4.15 和 3.65 mg m⁻² d⁻¹,较 CK 分别增加了 755%、675%、564%、495% 和 423%,其大小顺序为 OM > OMNPK > N > NPK > RSDNPK,处理间差异达到显著水平 (0.01 < p < 0.05)。

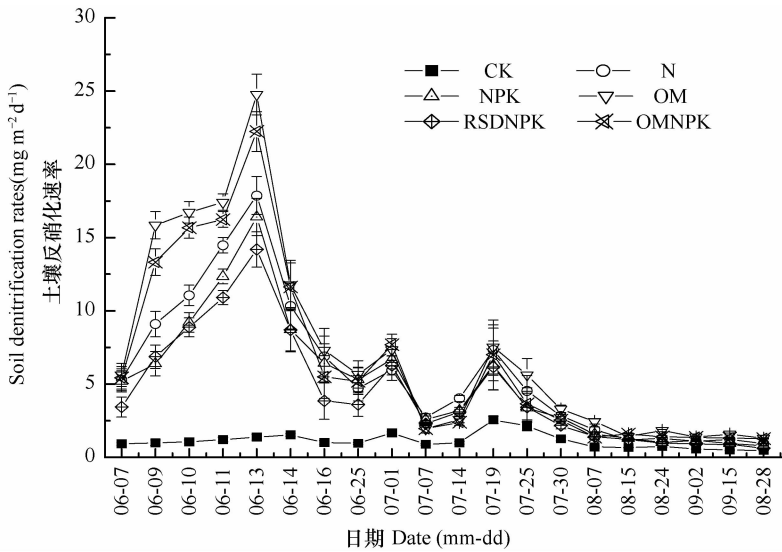


图3 施肥对玉米生长季土壤反硝化速率的影响

Fig. 3 Effect of fertilization on soil denitrification rate during the maize growing season

2.3 土壤铵态氮、硝态氮含量变化

图4为玉米季土壤铵态氮和硝态氮含量变化。肥料施入土壤后初期铵态氮、硝态氮变化最为明显。OM、OMNPK、NPK和N处理土壤铵态氮含量在施肥后第3天就达到最大值(1.42~1.80 mg kg⁻¹), RSDNPK处理推迟到施肥后第7天(1.39 mg kg⁻¹); 各处理土壤硝态氮含量在施肥后第7天达到最大值(29.90~45.25 mg kg⁻¹)。由于硝化和反硝化作

用,铵态氮含量下降很快,在施肥后一个月达到最低值,均低于0.5 mg kg⁻¹,硝态氮含量呈现出持续下降趋势,在玉米收获期达到最低值,一般低于2.0 mg kg⁻¹。除施肥引起土壤铵态氮含量变化大外,玉米生育期内处理间差异不明显,硝态氮含量在施肥前后差异较大,不同施肥处理间差异也较明显。整个玉米生育期,不施肥土壤铵态氮和硝态氮含量都低于施肥处理,施肥和降雨后这种差异更为

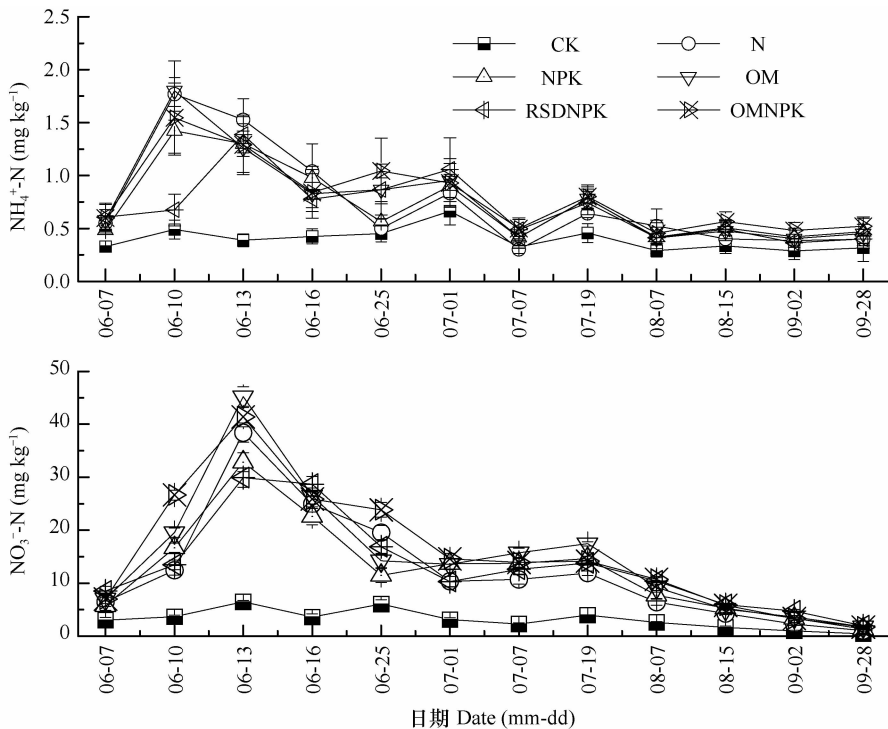


图4 玉米生长季土壤铵态氮和硝态氮含量变化

Fig. 4 Changes in soil ammonium and nitrate nitrogen contents during the maize growing season

明显。OM 处理土壤铵态氮和硝态氮含量最高,RS-DNPK 处理最低。各施肥处理土壤铵态氮和硝态氮含量总体表现为 OM > OMNPK > N > NPK > RSDNPK。与图 2、图 3 比较可知,各处理土壤铵态氮和硝态氮含量的变化趋势与土壤 N₂O 排放通量和反硝化速率的变化趋势较一致。

2.4 土壤 N₂O 排放总量和反硝化损失量

玉米生长季土壤 N₂O 排放总量和反硝化损失

量见表 2。不同施肥处理土壤 N₂O 排放总量在 0.56 ~ 3.01 kg hm⁻² 之间,反硝化损失量为 0.78 ~ 6.74 kg hm⁻²,分别占施氮量的 0.88% ~ 1.63% 和 2.23% ~ 3.97%,各处理间差异显著 ($p < 0.05$),其大小顺序为 OM > OMNPK > N > NPK > RSDNPK > CK,可见施肥明显增加了玉米季土壤 N₂O 排放量和反硝化损失量,其中以 OM 处理最明显,RSDNPK 处理最小。

表 2 玉米地 N₂O 排放总量和反硝化损失量及 N₂O/(N₂O + N₂) 比值

Table 2 Total N loss through N₂O emission and through denitrification and N₂O/(N₂O + N₂) ratio from the maize field

处理 Treatments	N ₂ O 排放量 N ₂ O emission (kg hm ⁻²)	反硝化损失量 Denitrification loss (kg hm ⁻²)	N ₂ O 排放量/ 反硝化损失量 N ₂ O emission / denitrification loss	N ₂ O 排放系数 N ₂ O emission rate (%)	反硝化排放系数 Denitrification rate (%)
CK	0.56e	0.78e	0.718a	—	—
N	2.51bc	5.23c	0.480ab	1.30	2.97
NPK	2.19cd	4.69d	0.467ac	1.09	2.61
OM	3.01a	6.74a	0.447ad	1.63	3.97
RSDNPK	1.88d	4.12d	0.456ae	0.88	2.23
OMNPK	2.86ab	6.11b	0.468af	1.53	3.55

注:表中字母为同一列数据间的多重比较结果,字母不同表示在 0.05 水平显著 Note: Each value represents the mean of three replications, the small letters means significantly different at $p \leq 0.05$

3 讨论

3.1 施肥对土壤 N₂O 排放通量和反硝化速率的影响

肥料施用对 N₂O 排放和反硝化作用的影响因所施肥料种类、施肥量的不同而差异显著。施肥后短时间内肥料氮会迅速水解为铵态氮并转化为硝态氮,造成土壤中铵态氮和硝态氮的积累(图 4),为土壤硝化和反硝化微生物提供充足的反应底物和能源,提高了土壤有机质的生物有效性,增强了土壤微生物、植物等的呼吸作用,加快了土壤氧的消耗,加速了土壤厌氧条件的形成,促进了土壤反硝化作用^[10-11],进而明显增加土壤 N₂O 排放通量和反硝化损失量(图 3)。研究表明, N₂O 的排放量会随土壤 C/N 比的增大而减小^[12]。本研究中猪厩肥处理土壤 C/N 较小,加上猪厩肥本身带入一定数量的鲜活微生物和酶^[13],使得 OM 和 OMNPK 处理土壤 N₂O 排放通量和反硝化速率明显高于 N、NPK 和 RSDNPK 处理。但由于 OM-NPK 处理中施用了 60% 的化肥,能有效调节土壤 C/N,提高了土壤生物、植物的吸氮能力和微生物的固

氮能力^[14],因此,土壤 N₂O 排放通量和反硝化速率比 OM 处理分别降低 5.0% 和 9.4%。秸秆还田与化肥混施处理中高 C/N 比的秸秆施入土壤后会进行氮素生物固定,在秸秆分解过程中产生化感物质^[15],对土壤反硝化作用具有一定的抑制作用。因此,该施肥处理中土壤 N₂O 排放通量和反硝化速率是所有施肥处理中最小的,分别为 1.67 和 3.65 mg m⁻² d⁻¹。总之,施肥显著增加了土壤 N₂O 排放通量和反硝化速率,以猪厩肥最大,猪厩肥配施氮磷钾肥次之,秸秆配施氮磷钾肥最小。说明施肥是紫色土玉米季土壤 N₂O 排放的主要调控措施。在等量氮肥条件下,秸秆还田配施化肥可抑制土壤反硝化速率,进而减少土壤 N₂O 排放和反硝化损失。

玉米生长期各处理的土壤温度变化与土壤 N₂O 排放通量和反硝化速率的变化趋势并不一致,主要原因是玉米生长期土壤温度均较高,有利于土壤微生物的生长和繁殖,从而使硝化和反硝化作用顺利进行。然而,在 7 月 30 日后(玉米抽雄期后)土壤 N₂O 排放通量和反硝化速率均处于较低水平(图 2、图 3),土壤中铵态氮和硝态氮含量也较低(图 4),而此时具备土壤硝化和反硝化作用适宜的

温度和水分条件(图5),说明土壤中无机氮(铵态氮和硝态氮)含量越高,土壤 N_2O 排放量和反硝化损失量就越大。这与前人研究结果相似^[16-17]。因此,土壤无机氮含量是紫色土玉米季土壤硝化和反硝化作用的主要限制因子。

3.2 降雨对土壤 N_2O 排放通量和反硝化速率的影响

降雨促发了2次明显的土壤 N_2O 排放和反硝

化损失峰值。6月底和7月中旬,降雨施肥处理尤其是OM和OMNPK处理影响最为明显(图2、图3),而此时土壤无机氮含量较高,说明在肥料供应充足时,土壤水分是紫色土硝化和反硝化作用的重要影响因子。土壤 N_2O 排放通量和反硝化速率的变化趋势与土壤水分含量变化趋势基本一致,土壤水分含量高,土壤 N_2O 排放通量和反硝化速率也高;反之则低。这与紫色土的其他研究结果一致^[7-9]。

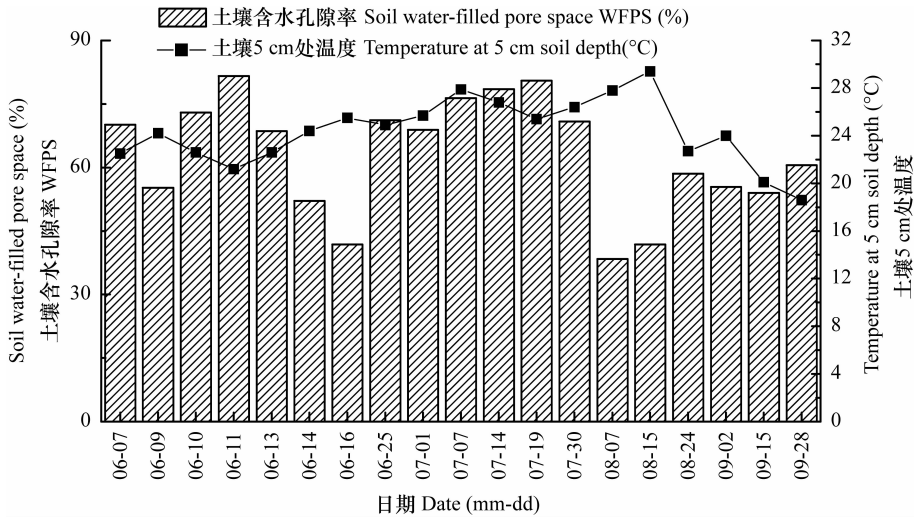


图5 玉米生长季土壤5 cm温度和水分含量变化

Fig. 5 Changes in 5cm soil temperature and WFPS during the maize growing season

3.3 土壤 N_2O 排放总量与反硝化损失量

紫色土夏玉米季土壤 N_2O 排放总量和反硝化损失量与其他类似研究结果存在较大差异。丁洪等^[5]测定的河南封丘玉米季氮肥反硝化损失率为0.70%~0.99%, N_2O 排放损失率为0.76%~0.93%;王秀斌等^[6]测得华北平原玉米季肥料反硝化损失率为1.65%~2.49%, N_2O 排放损失率为0.68%~1.04%。而张玉铭等^[18]在河北玉米地测定的氮肥反硝化损失率为0.5%~1.5%。这些研究结果中 N_2O 排放损失率和反硝化损失率均较小,且都认为土壤反硝化作用不是这些地区玉米季肥料损失的主要途径。而本研究表明,在 150 kg hm^{-2} 的施氮水平下,玉米地土壤 N_2O 排放总量为 $0.56\sim 3.01\text{ kg hm}^{-2}$,反硝化损失量为 $0.78\sim 6.74\text{ kg hm}^{-2}$,分别占当季氮肥用量的0.88%~1.63%和2.23%~3.97%, N_2O 排放损失率和肥料反硝化损失率均明显高于以上报道。造成这种差异的原因可能是本试验区降雨量大、降雨频繁,致使土壤经常处于干湿交替状态,促进了土壤硝化和反硝化作用。但本试验结果却明显低

于项虹艳等^[7]在四川紫色土玉米季所测得1.30%~3.17%和4.11%~6.61%的结果,这可能由于施用的肥料种类不同和本试验在计算土壤 N_2O 排放量和反硝化损失量时未将溶解在土壤水溶液中的 N_2O 包括在内。

本试验中土壤 N_2O 自然排放量与反硝化损失量的比值介于0.45~0.48之间,反硝化损失量与 N_2O 排放量之间差异显著($p < 0.01$),肥料损失率也较高(2.23%~3.97%),说明反硝化作用是四川盆地丘陵区紫色土玉米生长季肥料损失的重要途径。

4 结论

紫色土玉米季施肥显著增加土壤 N_2O 排放和反硝化损失,施用猪厩肥可能促进土壤反硝化作用,猪厩肥和猪厩肥配施氮磷钾肥处理的土壤 N_2O 排放量和反硝化损失量均较高,分别为 $3.01\text{、}2.86\text{ kg hm}^{-2}$ 和 $6.74\text{、}6.11\text{ kg hm}^{-2}$ 。施肥是紫色土玉米生长前期(2周内)土壤 N_2O 排放和反

硝化速率出现高峰的主要驱动因子,而土壤铵态氮和硝态氮含量变化是土壤硝化-反硝化作用和 N₂O 排放的限制因子,降雨引发的土壤含水量变化是土壤硝化-反硝化作用的重要影响因子。土壤反硝化损失量显著高于土壤 N₂O 排放量,说明土壤反硝化作用是紫色土玉米生长季氮肥损失的重要途径。秸秆还田可能是抑制紫色土现行施肥制度下土壤反硝化及 N₂O 排放损失的重要措施。

参考文献

- [1] Aulakh M S, Doran J W, Mosier A R. Soil denitrification significance, measurement and effect of management. *Advances in Soil Science*, 1992, 18:1—57
- [2] Hauck R D. Nitrogen fertilizer effects on nitrogen cycle processes. *Ecol Bull*, 1981, 33:551—562
- [3] Groffman P M. A conceptual assessment of the importance of denitrification as a source of soil nitrogen loss in tropical agro-ecosystems. *Fert Res*, 1995, 42:139—148
- [4] Mahmood T, Tahir G R. Denitrification losses from an irrigated sandy-clay loam under a wheat-maize cropping system receiving different fertilizer treatments. *Biol Fertil Soils*, 1998, 26:35—42
- [5] 丁洪,蔡贵信,王跃思,等.玉米-小麦轮作系统中氮肥反硝化损失与 N₂O 排放量. *农业环境科学学报*, 2003, 22(5):557—560. Ding H, Cai G X, Wang Y S, et al. Nitrification-denitrification loss and N₂O emission from maize-wheat rotation system in North China (In Chinese). *Journal of Agro-Environmental Science*, 2003, 22(5):557—560
- [6] 王秀斌,梁国庆,周卫,等.优化施肥下华北冬小麦/夏玉米轮作体系农田反硝化损失与 N₂O 排放特征. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15(1):48—54. Wang X B, Liang G Q, Zhou W, et al. Effect of optimized nitrogen application on denitrification losses and N₂O emissions from soil in winter wheat/summer corn rotation system in North China (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2009, 15(1):48—54
- [7] 项虹艳,朱波,王玉英,等.氮肥对紫色土夏玉米 N₂O 排放和反硝化损失的影响. *浙江大学学报:农业与生命科学版*, 2007, 33(5):574—583. Xiang H Y, Zhu B, Wang Y Y, et al. Effects of nitrogen fertilizer for maize on denitrification loss and N₂O emission in purple soil (In Chinese). *Journal of Zhejiang University: Agric & Life Sci*, 2007, 33(5):574—583
- [8] Zhu B, Wang T, Kuang F H, et al. Measurements of nitrate leaching from a hillslope cropland in the central Sichuan Basin, China. *Soil Sci Soc Am J*, 2009, 73:1 419—1 426
- [9] 张中杰,朱波,项虹艳.氮肥施用对西南地区紫色土冬小麦 N₂O 释放和反硝化作用的影响. *农业环境科学学报*, 2010, 29(10):2 033—2 040. Zhang Z J, Zhu B, Xiang H Y. Effect of nitrogen fertilizer for wheat on N₂O emission and denitrification in Purple soil (In Chinese). *Journal of Agro-Environmental Science*, 2010, 29(10):2 033—2 040
- [10] Smith K A, Thomson P E, Clayton H. Effects of temperature, water content and nitrogen fertilization on emissions of nitrous oxide by soils. *Atmos Environ*, 1998, 32:3 301—3 309
- [11] Hiroko A, Hamo T. Effect of chemical fertilizer form on N₂O, NO and NO₂ fluxes from Andisol field. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2002, 63:219—230
- [12] Gregorich E G, Rochette P, Vanden A J, et al. Greenhouse gas contributions of agricultural soils and potential mitigation practices in Eastern Canada. *Soil and Tillage Research*, 2007, 94(1):262—263
- [13] 刘恩科,赵秉强,李秀英,等.长期施肥对土壤微生物量及土壤酶活性的影响. *植物生态学报*, 2008, 32(1):126—182. Liu E K, Zhao B Q, Li X Y, et al. Biological properties and enzymatic activity of arable soils affected by long-term different fertilization systems (In Chinese). *Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(1):126—182
- [14] Sanchez L, Diez J A, Vallejo A, et al. Denitrification losses from irrigated crops in central Spain. *Soil Biol Biochem*, 2001, 33(9):1 201—1 209
- [15] 王改玲,郝明德,陈德立.秸秆还田对灌溉玉米田土壤反硝化及 N₂O 排放的影响. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(6):840—844. Wang G L, Hao M D, Chen D L. Effect of stubble incorporation and nitrogen fertilization on denitrification and nitrous oxide emission in an irrigated maize soil (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2006, 12(6):840—844
- [16] 邹国元,张福锁,巨晓棠,等.冬小麦-夏玉米轮作条件下氮素反硝化损失研究. *中国农业科学*, 2004, 37(10):1 492—1 496. Zou G Y, Zhang F S, Ju X T, et al. Study on soil denitrification in winter wheat-summer maize rotation system (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(10):1 492—1 496
- [17] Luo T X, Li H X, Wang T, et al. Influence of nematodes and earthworms on the emissions of soil trace gases (CO₂, N₂O). *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(3):993—999
- [18] 张玉铭,董文旭,曾江海,等.玉米地土壤反硝化速率与 N₂O 排放通量的动态变化. *中国生态农业学报*, 2001, 9(4):70—72. Zhang Y M, Dong W X, Zeng J H, et al. Dynamic of denitrification rate and N₂O flux in maize field (In Chinese). *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2001, 9(4):70—72

EFFECTS OF FERTILIZATION ON N₂O EMISSION AND DENITRIFICATION IN PURPLE SOIL DURING SUMMER MAIZE SEASON IN THE SICHUAN BASIN

Zeng Zebin^{1,2} Zhu Bo^{1*} Zhu Xuemei³ Liu Xuefeng² Wang Yan¹

(1 Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu Sichuan 610041, China)

(2 Academy of Agricultural Sciences of Yibin City, Yibin Sichuan 644000, China)

(3 College of Resources and Environment, Sichuan Agriculture University, Chengdu 611130, China)

Abstract The culture method of undisturbed soil cores-acetylene inhibitor was used in order to study effects of fertilization on N₂O emission fluxes and denitrification rates during summer corn growing season in purple soil in the hilly area of the central Sichuan Basin. Results show that during the season, N loss through N₂O emission and denitrification was significantly higher in purple soil with fertilization than without fertilization. Significant differences were observed between different fertilization treatments. The N₂O emission flux in Treatment OM (pig manure), OMNPK (pig manure with NPK fertilizer), N (pure N fertilizer), NPK (fertilizer NPK), and RSDNPK (crop residues returned with NPK fertilizer) was 3.01, 2.86, 2.51, 2.19 and 1.88 kg hm⁻², respectively, accounting for 1.63%, 1.53%, 1.30%, 1.09% and 0.88%, respectively, of the total fertilizer nitrogen applied to the crop. The N loss through denitrification in those treatments were 6.74, 6.11, 5.23, 4.69 and 4.12 kg hm⁻², respectively, accounting for 3.97%, 3.55%, 2.97%, 2.61% and 2.23%, respectively, of the fertilizer N applied during the season. The N loss through N₂O emission and denitrification in Treatment CK (no fertilization) was 0.56 and 0.78 kg hm⁻², respectively, only. Fertilization was obviously the main driving force of peak emergence of soil N₂O emission and denitrification in the early growth stage of corn (2 weeks) in purple soil. Inorganic N (ammonium and nitrate) content was the limiting factor of soil N₂O emission, nitrification and denitrification. Soil moisture driven by rainfall was an important influencing factor. The ratio of N losses through N₂O emission and denitrification ranged from 0.45 to 0.72. Soil N loss was significantly higher through denitrification than through N₂O emissions, which implies that the soil denitrification was the main pathway of fertilizer N loss during the maize growing season in the hilly area of purple soils.

Key words N₂O emission; Denitrification loss; Fertilization regimes; Corn; Purple soil

(责任编辑:汪叔生)