

荒漠绿洲带膜下滴灌土壤 硝化—反硝化和呼吸作用的研究

卜东升^{1,2}, 郑德明^{1*}, 姜益娟¹, 张翠丽¹

(1. 塔里木大学植物科技学院, 新疆 阿拉尔 843300; 2. 新疆农一师农科所, 新疆 阿拉尔 843300)

摘 要: 采用气压过程分离(BaPS)方法研究了覆膜和裸地(CK)土壤在常规施肥和不施肥条件下的硝化—反硝化速率和呼吸速率, 目的是探讨膜下滴灌土壤硝化—反硝化作用及呼吸作用的规律。结果表明: 覆膜与裸地土壤在两种施肥水平下的硝化—反硝化速率及呼吸速率都有明显的季节变化; 覆膜与裸地两种不同栽培措施的硝化—反硝化速率、呼吸速率差异极显著, 在相同栽培措施下, 不同施肥处理间的硝化—反硝化、呼吸速率也达极显著水平; 硝化—反硝化速率、呼吸速率在不同栽培措施和不同施肥水平下大小排列为: 覆膜>裸地, 常规施肥>不施肥。可见, 农业栽培措施和不同施肥水平对土壤硝化—反硝化及呼吸作用都有一定的影响。

关键词: 气压过程分离; 硝化速率; 反硝化速率; 呼吸速率; 覆膜

中图分类号: S143.1⁺3; S275.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)01-0012-04

土壤硝化—反硝化及呼吸作用当前是全球氮、碳循环研究的重点之一^[1,2]。土壤硝化—反硝化作用是土壤中氮素转化的两个重要过程。硝化作用的强弱直接反映了氮素的利用效率; 反硝化作用是土壤中的 NO_3^- 和 NO_2^- 被还原为 NO 、 N_2O 、 N_2 释放到大气中的过程, 造成了大气污染, 是氮素损失的主要途径^[3~5]。土壤呼吸作用是陆地生态系统土壤碳循环的一个重要组成部分, 也是土壤向大气碳输出的主要途径^[6,7]。国内外对土壤碳、氮的研究主要集中在土壤中碳、氮的存在形态及其生物有效性^[8]; 而对荒漠绿洲带膜下滴灌土壤硝化—反硝化及呼吸作用的研究还未见报道。本试验根据生产实际采取两种耕作措施(覆膜和裸地), 在常规施肥和不施肥两种条件下, 应用 BaPS 系统研究了荒漠绿洲带玉米地膜下滴灌土壤硝化—反硝化及呼吸作用

的变化规律, 对进一步研究干旱区土壤碳、氮循环机理; 提高氮肥利用率, 减少氮素流失; 探讨全球气候变化和保护生态环境都具有十分重要的意义。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于阿拉尔垦区塔里木大学农试站。阿拉尔垦区位于新疆天山南麓, 塔克拉玛沙漠北缘, 塔里木河上游南北两岸, 阿克苏河、和田河与叶尔羌河三河交汇之处的塔里木河源头($81^{\circ}03'E$, $40^{\circ}33'N$), 海拔高度 997~1 340 m, 年降水量 40.1~98.8 mm, 为典型的荒漠绿洲带, 属暖温带极端干旱气候类型^[9]。试验地土壤质地为壤土, 0~20 cm 耕层土壤基本理化性质见表 1。

表 1 土壤理化性质

Table 1 Soil physical and chemical properties

取样层次 Sample layer (cm)	有机质 Organic matter (g/kg)	全氮 Total nitrogen (g/kg)	碱解氮 Available N (mg/kg)	速效磷 Available P (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)	土壤容重 Bulk density (g/cm ³)	pH
0~20	9.29	0.557	71	36.8	139.3	1.447	8.12

1.2 试验设计

试验采取裂区设计, 共设 4 个处理, 分别为: 覆膜+常规施肥、覆膜+不施肥; 裸地+常规施肥和裸

地+不施肥(CK), 重复 3 次。小区面积为 $4.5 \times 2.5 \text{ m}^2$ 。常规施肥播种前施基肥: 尿素(含 N 46%) 272 kg/hm^2 , 过磷酸钙(含 P_2O_5 44%) 210 kg/hm^2 ,

收稿日期: 2008-05-19

基金项目: 新疆维吾尔自治区高校科研重点项目(XJEDU2007142)

作者简介: 卜东升(1980—), 男, 宁夏隆德人, 硕士研究生, 研究方向为植物营养与土壤养分。

通讯作者: 郑德明(1955—), 男, 四川涪陵人, 教授, 硕士生导师, 主要从事植物营养与土壤肥料研究。E-mail: zdm-552@sohu.com。

硫酸钾(含 K_2O 40%) 401 kg/hm^2 ;追肥苗期(5 月 20 日)施尿素 91 kg/hm^2 ,孕穗期(6 月 18 日)施尿素 182 kg/hm^2 。追肥随滴灌施入土壤。供试作物为玉米新玉 9 号,又名石玉 901,2007 年 4 月 23 日播种,行距 50 cm,株距 30 cm。

1.3 试验方法

1.3.1 气压过程分离(BaPS)方法原理 气压过程分离法(Barometric Process Separation, 简称 BaPS)适用于测定旱地土壤反硝化、总硝化和呼吸速率,仪器由德国 UMS GrmbH 公司生产,Fraunhofer Institute for Atmospherically Environment Research 研发。BaPS 技术建立在一个等温、密闭的土壤系统中,通气良好的土壤中 CO_2 、 O_2 和总的气体平衡、土壤的呼吸系数为 1 的理论前提下。在这样的一个系统中,假定只有以下几个过程跟压力相关:硝化作用,净消耗 O_2 的过程,使气压降低;反硝化作用,净 CO_2 和净的 N_xO_y (NO 、 N_2O 、 N_2)产生过程,使气压上升;土壤呼吸使气压不发生变化; CO_2 溶解于土壤水,使气压降低,根据气压的平衡反过来最终可以精确得到土壤样品的总硝化和反硝化速率。BaPS 技术是最近发展起来的测定土壤总硝化速率和反硝化速率的一种新途径,有效地避免了由同位素示踪法带来的土壤污染和由乙炔抑制法等带来的土壤原有气体组成改变等问题的出现,操作简便,且在通气良好的土壤中准确性与同位素示踪法相当^[10,11]。

1.3.2 取样及测定 试验于 2007 年 5 月 7 日开始采样,以后每 15 d 左右采土样一次,直至 8 月 6 日玉米收获共采样 6 次。样品采集为环刀原位取样,每个小区随机设置固定样方 3 个,每个样方采用环刀法分别取 0~20 cm 表层原状土样,使用 BaPS 技术测总硝化速率、反硝化速率和呼吸速率。对极少数不能立即分析的土样先放入冰箱于 0~4℃ 下保存,保存时间不超过一周。

2 结果与分析

2.1 土壤硝化—反硝化和呼吸作用的变化规律

2.1.1 土壤硝化速率的动态变化 由图 1 可见:整个生长季,覆膜与裸地土壤硝化速率的季节动态变化明显且不同。玉米出苗后随着土壤温度升高,硝化速率逐渐升高;到生长后期虽然温度较高,硝化速率却有所下降,主要是由于速效氮的耗尽使硝化作用受到底物浓度限制^[12]。从整体看,两种施肥水平覆膜土壤的硝化速率都高于裸地土壤(图 1),这可能是因为覆膜土壤温度、水分都高于裸地,而这些环

境因素有利硝化作用的进行。这与一些学者的研究结果相一致^[10,13]。整个试验期间常规施肥覆膜土壤硝化速率为 $185.50\sim626.48\text{ }\mu\text{gN}/(\text{kg}\cdot\text{h})$,平均为 $397.39\text{ }\mu\text{gN}/(\text{kg}\cdot\text{h})$,比常规施肥裸地土壤硝化速率平均高 8.8%,比覆膜不施肥土壤硝化速率平均高 22.6%。

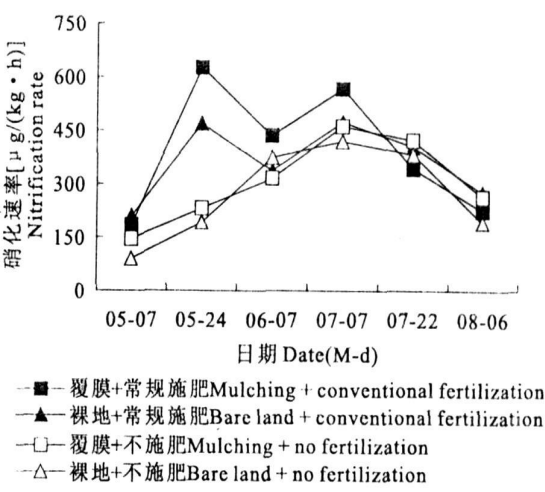


图 1 覆膜与裸地土壤硝化速率的动态变化

Fig. 1 Variance in nitrification rate of soil in plastic-film mulching and bare land

土壤中硝化作用和反硝化作用都是微生物利用含氮化合物进行生命活动的过程,因此含氮化合物的底物浓度对反应速率有影响。尿素在土壤中是通过直接水解转化成铵态氮,进一步由硝化作用转化成硝态氮发挥作用。由于苗期(5 月 20 日)与孕穗期(6 月 18 日)的 2 次追肥(尿素),土壤中的 NH_4^+ 态 N 含量增加,所以常规施肥土壤硝化速率出现两次(5 月 24 日和 7 月 7 日)高峰期(图 1)。而不施肥土壤硝化速率在裸地与覆膜下都没有出现这种现象。

2.1.2 土壤反硝化速率的动态变化 由图 2 可见:整个生长季,覆膜与裸地土壤反硝化速率季节性变化明显且不同。这类似于硝化速率的变化。反硝化作用是一个在嫌气条件下进行的微生物学过程。因而受到土壤水分和通气状况的制约,氧能抑制反硝化过程中还原酶的活性。土壤水分对反硝化的影响是水分含量通过对土壤的通气状况和土壤中的氧分压的影响而影响反硝化作用。由于地膜覆盖,膜内温度高,湿度大,从而造成一个局部或暂时性的嫌气微域环境,这有利于反硝化作用进行。整个试验期间,常规施肥覆膜土壤反硝化速率为 $69.33\sim229.8\text{ }\mu\text{gN}/(\text{kg}\cdot\text{h})$,平均为 $142.69\text{ }\mu\text{gN}/(\text{kg}\cdot\text{h})$,比常规施肥裸地土壤反硝化速率平均高 22.9%,比覆膜不施

肥土壤反硝化速率平均高 25.6%。土壤中反硝化作用受底物浓度 NO_3^- 态 N 的影响^[14]。由于苗期(5 月 20 日)与孕穗期(6 月 18 日)的两次追肥(尿素),土壤中的 NH_4^+ 态 N 含量增加, NO_3^- 态 N 也随之增加,促进了反硝化作用,所以在常规施肥下,土壤反硝化速率也出现两次高峰期(图 2),这与硝化速率变化相似。而不施肥土壤这种现象不明显。可见,施肥对硝化—反硝化作用有一定的影响。

2.1.3 土壤呼吸速率动态变化 覆膜与裸地土壤呼吸速率季节性变化明显且不同(图 3)。土壤呼吸速率季节变化的总体趋势是 6 月和 7 月较高,5 月和 8 月上旬较低。从 5 月份开始,随着玉米根系的生长,土壤呼吸速率逐渐增强,并于 7 月上旬达到最大。在一定范围,高温高湿环境条件和植株根系的增大都有利于土壤呼吸^[15],所以,后期随温度的降低,呼吸速率逐渐减小。

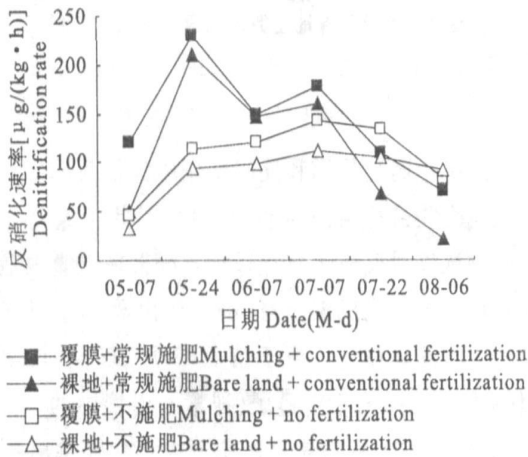


图 2 覆膜与裸地土壤反硝化速率的动态变化

Fig.2 Variance in denitrification rate of soil in plastic film mulching and bare land

2.2 不同栽培措施和不同施肥水平土壤硝化—反硝化速率及呼吸速率的变化

根据二裂式裂区实验方差分析模式^[17],将表 2 中不同栽培措施(覆膜与裸地)、不同施肥水平的土壤硝化—反硝化速率和土壤呼吸速率分别进行统计分析,并进行多重比较可得:覆膜与裸地两种不同栽培措施的土壤硝化—反硝化速率、呼吸速率差异达显著水平;同一栽培措施下,不同施肥水平间的土壤硝化—反硝化速率、呼吸速率达极显著水平;不同栽培措施与不同施肥间互作不显著。土壤硝化—反硝化速率和呼吸速率在不同耕作措施、不同施肥下:

从整体来看,两种不同施肥水平,覆膜土壤呼吸速率都高于裸地。这与张万文研究结果^[16]一致。由于覆膜具有增温蓄热、保墒效果,这些能够改善土壤耕层的温度、湿度,有利于根系或微生物活动,产生的 CO_2 量将会增加。

整个试验期间,常规施肥覆膜土壤呼吸速率为 177.3~576.48 $\mu\text{gC}/(\text{kg}\cdot\text{h})$,平均为 393.4 $\mu\text{gC}/(\text{kg}\cdot\text{h})$,比常规施肥裸地土壤平均高 26.4%,比不施肥覆膜土壤平均高 31.8%。5 月 24 日和 7 月 7 日土壤呼吸速率增高可能是玉米苗期与孕穗期的两次追肥所致(图 3)。因为施肥通常会增加土壤表层和深层的 C、N、P 含量,改变了土壤的化学元素组成,可以增加土壤中易分解有机质的量,从而增加土壤呼吸的底物,而且还可以增加土壤中根系的生物量,进而可以促进微生物分解活动和根系的呼吸^[15]。

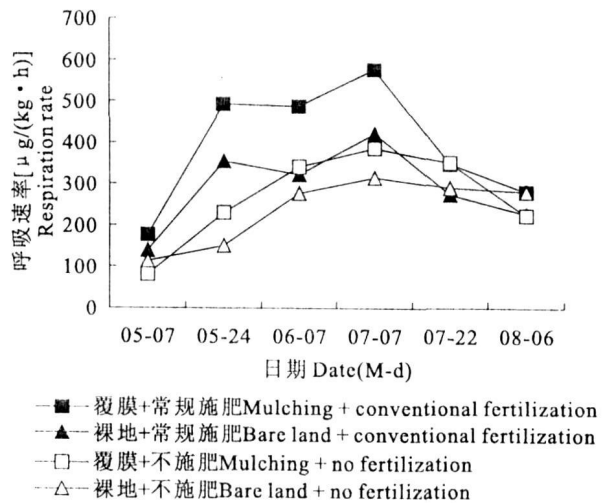


图 3 覆膜与裸地土壤呼吸速率的动态变化

Fig.3 Variance in respiration rate of soil in plastic film mulching and bare land

覆膜>裸地(CK);常规施肥>不施肥。

朱咏莉等研究报道了地膜覆盖措施使地表和耕层 0~20 cm 土层土壤 N_2O 的释放通量显著增加^[18]。杜社妮等研究认为,在玉米生长期,地膜覆盖土壤 CO_2 浓度比裸地高 6.9%~173.9%。整个生育期,地膜覆盖土壤的呼吸比裸地土壤呼吸高 23.41%~42.43%^[19]。此结果与 Repnevskaya 研究结果^[20]相一致,也与本文研究结果相一致。但是也有研究^[21,22]发现施肥不仅不会增加土壤呼吸反而会导致其下降。因此,施肥对土壤呼吸作用的影响也不能一概而论。

表 2 不同耕作措施土壤硝化—反硝化和呼吸速率及 PLSD 差异显著性

处 理 Treatments	覆膜＋常规施肥 Mulching＋conventional fertilization	裸地＋常规施肥 Bare＋conventional fertilization	覆膜＋不施肥 Mulching＋ no fertilization	裸地＋不施肥 Bare＋ no fertilization
硝化速率 $[\mu\text{gN}/(\text{kg}\cdot\text{h})]$ Nitrification rate	397.39 ^a	362.48 ^b	307.44 ^c	275.67 ^d
反硝化速率 $[\mu\text{gN}/(\text{kg}\cdot\text{h})]$ Denitrification rate	142.69 ^a	110.04 ^b	106.16 ^b	89.17 ^c
呼吸速率 $[\mu\text{gC}/(\text{kg}\cdot\text{h})]$ Respiration rate	333.63 ^A	289.5 ^B	268.42 ^C	237.85 ^D

注：a 表示在 $P=0.05$ 水平下显著；A 表示在 $P=0.01$ 水平下显著。
Note: “a” means significance at $P=0.05$ level; “A” means significance at $P=0.01$ level.

3 结 论

覆膜与裸地土壤硝化—反硝化速率及呼吸速率季节变化明显且不同。整个试验期间,硝化速率:常规施肥覆膜土壤比裸地土壤平均高 8.8%,比不施肥覆膜土壤平均高 22.6%;反硝化速率:常规施肥覆膜土壤比裸地土壤平均高 22.9%,比不施肥覆膜土壤平均高 25.6%;呼吸速率:常规施肥覆膜土壤比裸地土壤平均高 26.4%,比不施肥覆膜土壤平均高 31.8%。随着两次追肥,覆膜与裸地土壤硝化—反硝化速率及呼吸速率都有增加,可见除了覆膜是影响土壤硝化—反硝化作用及呼吸作用的主要因素外,施肥对它们也有一定的影响。硝化—反硝化速率及呼吸速率在不同栽培措施和不同施肥下大小排列为:覆膜>裸地;常规施肥>不施肥。

参 考 文 献:

[1] 俞 慎,李振高.稻田生态系统生物硝化—反硝化作用与氮素损失[J].应用生态学报,1999,10(5):5—6.
[2] Katyal J C, Xarter M F. Nitrification activity in submerged soils and its relation to denitrification loss [J]. Biol. Fertil. Soils, 1988, 7: 16—22.
[3] 于克伟,陈冠雄,Sten Struwe. 丹麦森林土壤反硝化作用的动力学分析[J].应用生态学报,1998,9(2):8—10.
[4] Dana De S K, Bruesh, R J, and Samson M L. Direct measurement of ammonia and denitrification fluxes from urea applied to rice[J]. Soil Sci. Soc. Am. J, 1991, 55: 543—548.
[5] Bruesh R J, and De Datta S K. Denitrification Losses from puddled rice soils in the tropics[J]. Bio Fertil Soils, 1990, 9: 1—13.
[6] Schimel D S. Terrestrial ecosystems and the carbon cycle[J]. Global Change Biology, 1995, (1): 77—91.
[7] 黄承才,葛 滢,常 杰,等.中亚热带东部三种主要木本群落

土壤呼吸的研究[J].生态学报,1999,19(3):324—328.
[8] 国秀丽.温度和水分对土壤碳、氮转化影响的研究[D].长春:吉林农业大学,2003.
[9] 新疆生产建设兵团·农一师土壤[R].新疆:新疆生产建设兵团农一师土壤普查办公室,1985.
[10] Ingwersen, J K. Butterbach-Bahl, R. Gasche, O. Richter & H. Papen. Barometric process separation: New method for quantifying nitrification, denitrification, and nitrous oxide sources in soils[J]. Soil Sci. Soc. Am. J, 1999, 63: 117—128.
[11] Breuer L R. Kiese & K. Butterbach-Bahl. Temperature and moisture effects on nitrification rates in tropical rain forest soils [J]. Soil Sci. Soc. Am. J, 2002, 66: 834—844.
[12] 苏维瀚,宋文质,张 桦,等.华北典型冬麦区农田氧化亚氮同量[J].环境化学,1992,11(2):26—32.
[13] 曹正梅.覆膜栽培玉米的土壤生态效应研究进展[J].山东农业大学学报,1999,30(4):8—9.
[14] 范晓晖,朱兆良.旱地土壤中的硝化—反硝化作用[J].土壤通报,2002,33(5):385—391.
[15] 张东秋,石培礼.土壤呼吸主要影响因素的研究进展[J].地球科学进展,2005,20(7):778—785.
[16] 张万文,王 萍.春玉米地膜覆盖增产因素研究[J].杂粮作物,2000,20(2):28—30.
[17] 毛达如.植物营养研究方法[M].北京:中国农业大学出版社,2001:230—231.
[18] 朱咏莉,吴金水,韩建刚.地膜覆盖对土壤中 N_2O 释放的影响[J].农业工程学报,2004, (3): 222—225.
[19] 杜社妮,白岗栓.玉米地膜覆盖的土壤环境效应[J].干旱地区农业研究,2007,25(5):56—59.
[20] Repnevskaya M A. Liberation of CO_2 from soil in the pine stands of the Kola Peninsula[J]. Soil Science, 1967, 68: 1067—1072.
[21] Haynes B E, Gower S T. Belowground carbon allocation in unfertilized and fertilized red pine plantations in northern Wisconsin[J]. Tree Physiology, 1995, 15: 317—325.
[22] Dejong E, Schappert H JV, MacDonald K B. Carbon dioxide evolution from virgin and cultivated soil as affected by management practices and climate[J]. Soil Science, 1974, 54: 299—307.

(英文摘要下转第 25 页)

Evaluation of heavy metal contents of apple orchard soil in the
major apple production area of Shaanxi

LIU Zi-long¹, ZHAO Zheng-yang², ZHANG Cui-hua², LIANG Jun², GAO Hua²

(1. College of Chemical Engineering, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China;

2. College of Horticulture, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The contents of soil heavy metals of apple orchards were monitored and analyzed on 47 soil samples in apple orchards of 16 counties of Shaanxi. The result of test showed that the detection rates of Cd, Cr, Cu, Pb, Hg and As were 100%, but the amounts were all below the permitted level of no-harmful apple producing environmental standard; according to the permitted level of green apple producing environmental standard, the values of the single-item pollution index of the soil heavy metals were all smaller than 1 except one soil sample As, whose index was 1.03. For 47 soil samples, the values of comprehensive index were all smaller than 0.56, belonging to clean grade. As is the focal point to be monitored and controlled from now on.

Key words: apple orchard soil; heavy metal pollution; Shaanxi

(上接第 15 页)

Research on nitrification—denitrification and respiration under
mulch drip irrigation in desert oasis

BU Dong-sheng^{1,2}, ZHENG De-ming^{1*}, JIANG Yi-juan¹, ZHANG Cui-li¹

(1. College of Plant Science and Technology, Tarim University, Alar, Xinjiang 843300, China;

2. Institute of Agricultural Sciences, the First Agricultural Division, Alar, Xinjiang 843300, China)

Abstract: As a new technique, BaPS (Barometric Process Separation) system was introduced to measure gross nitrification—denitrification rate and soil respiration rate of two different fertilization treatments of mulching plastic-film and bare land, and the goal was to discuss soil nitrification—denitrification and the respiration rule under mulch drip irrigation. The results show that: Soil nitrification—denitrification rate and respiration rate of the two different fertilization treatments have obvious seasonal variation. The difference of soil nitrification—denitrification rate and respiration rate of mulching plastic-film and bare land is significant. With the same cultivation measures, the difference of soil nitrification—denitrification rate and respiration rate between the two fertilization treatments was extremely significant. The decrease order of soil nitrification—denitrification rate and respiration rate of different cultivation measures and fertilization treatments are arranged as: mulching plastic-film > bare land; Conventional fertilization > No—fertilization. So, the agricultural cultivation measure and different fertilization level have certain influence on the soil nitration—denitrification and respiration.

Key words: BaPS technique; nitrification rate; denitrification rate; respiration rate; plastic-film mulching