

文章编号:1672-3317(2015)02-0016-04

# 间作群体内土壤呼吸和硝化-反硝化作用研究

高阳<sup>1</sup>, 申孝军<sup>1</sup>, 李新强<sup>1</sup>, 黄玲<sup>1</sup>, 巩文军<sup>2</sup>, 段爱旺<sup>1</sup>

(1. 中国农业科学院 农田灌溉研究所/农业部 作物需水与调控重点实验室, 河南 新乡 453002;  
2. 河南省焦作市广利灌区管理局, 河南 沁阳 454550)

**摘要:** 通过田间试验, 采用气压分离过程法(BaPS)测定了 2 个氮肥处理下, 玉米/大豆间作群体的土壤呼吸速率、硝化速率和反硝化速率。结果表明, 施氮处理根区根系生物量高于不施氮处理, 而非根系生物量差异较小。施氮处理下, 根区土壤呼吸速率约为不施氮处理的 1.1 倍, 非根区土壤呼吸差异较小。施氮处理下, 玉米和大豆条带土壤硝化速率分别约为不施氮处理的 1.71 倍和 1.82 倍。施氮和不施氮处理下, 间作条带根区硝化速率均高于非根区。反硝化作用不是试验区玉米/大豆间作系统氮肥损失的主要途径。因此, 该区加强水肥管理以控制硝化-反硝化作用, 有利于减少间作系统的氮流失和提高氮肥利用效率。

**关键词:** 硝化速率; 反硝化速率; 土壤呼吸; 气压分离过程; 间作

中图分类号: S344.2; S154.2

文献标志码: A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2015.02.004

高阳, 申孝军, 李新强, 等. 间作群体内土壤呼吸和硝化-反硝化作用研究[J]. 灌溉排水学报, 2015, 34(2): 16-19.

间套作在热带、亚热带地区具有悠久历史。豆科/非豆科间作能够促进豆科更有效地固定可再生资源——空气氮, 这些氮素将通过各种转移途径被作物所利用<sup>[1-3]</sup>。目前, 间作群体内碳/氮转化的研究多集中于豆科作物的固氮效率及其转移利用方面, 而间作群体内的碳动态的研究鲜见。因此, 有必要使用 BaPS(气压分离过程, Barometric Process Separation)研究不同氮肥处理下, 玉米/大豆间作群体的土壤硝化-反硝化及土壤呼吸作用的变化规律。对于进一步了解间作系统的土壤碳/氮循环过程、提高氮肥利用效率、减少氮素流失都具有十分重要的意义。

## 1 材料与方 法

田间试验于 2012 年 4—9 月在河南省焦作市广利灌区灌溉试验站(35.07°N, 112.92°E, 海拔 150 m)进行。试验区多年平均气温 14.5℃, 多年平均降雨量 593 mm, 无霜期 216~240 d, 日照时数 2 200~2 400 h。土壤类型属粉砂质黏土, 土质分布均匀。0~200 cm 土层平均土壤密度为 1.45 g/cm<sup>3</sup>, 田间质量持水率为 26%。耕层土壤有机质质量分数为 12.3 g/kg, 碱解氮质量分数为 66.4 mg/kg, 速效磷质量分数为 12.5 mg/kg, 速效钾质量分数为 72.6 mg/kg。

供试玉米品种为“先玉 335”, 大豆品种为“临豆 10 号”。试验设 2 个处理: 不施氮肥(N0)和施纯氮 112.5 kg/hm<sup>2</sup>(N1), 施用的肥料为尿素。间作种植模式为玉米/大豆 2:3 种植, 重复 3 次, 试验小区面积为 6 m×10 m。玉米行与大豆行相距 30 cm, 玉米行距 30 cm, 株距 30 cm, 大豆行距 30 cm, 株距 20 cm。玉米和大豆同时于 2012 年 4 月 7 日足墒播种, 玉米于 2012 年 8 月 24 日收获, 大豆于 2012 年 9 月 4 日收获。种植方向为南北行向, 充分供水, 人工除草。当土壤水分低于田间质量持水率的 70% 时进行灌水, 灌水上限为田间持水率, 灌水方式为喷灌。

收稿日期: 2013-06-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(51109213); 公益性行业(农业)科研专项(201203077)

作者简介: 高阳(1978-), 男, 副研究员, 博士, 主要从事作物水分关系研究。E-mail: yanggao.firi@gmail.com

通讯作者: 段爱旺(1963-), 男, 研究员, 博士生导师, 博士, 主要从事作物高效用水技术研究。E-mail: duanaiwang@yahoo.com.cn

使用环刀(容积 100 cm<sup>3</sup>)在分根区和非根区原位采集土壤样品,N0 和 N1 处理共 8 个采样点。每个取样点取 7 个土样。采集根区土壤样品时,将环刀紧贴植株主茎切入土壤,而非根区则在行中间切入环刀。环刀取出后,用塑料盖密封送到实验室在冰箱内 0~4 °C 保存。

采用 JL-04 型(邯郸创美仪器公司)土壤温度记录仪每 10 min 测定 0~5 cm 深度的土壤温度,土壤温度探头分别埋设在玉米行间、玉米/大豆相邻行间和大豆行间;采用 Campbell 公司生产的 253-L 土壤水势传感器监测 0~5 cm 深度的土壤水势,CR-1000 数据采集器每 10 min 记录 1 次,土壤水势探头分别埋设在玉米行间、玉米/大豆相邻行间和大豆行间;利用土壤水分特征曲线,将土壤水势数据转化为土壤含水率;采用德国 UMS GmbH 公司生产的 BaPS 系统测定土壤样品的硝化速率、反硝化速率和土壤呼吸速率,并使用 UMS GmbH 公司提供的 BaPS Calculation Sheet v2.1 分析数据。

## 2 结果与分析

### 2.1 表层土壤温度和土壤含水率

表层土壤温度和土壤含水率影响土壤呼吸作用以及硝化-反硝化作用。2012 年 5—8 月间作群体内表层土壤含水率和土壤温度的变化如图 1 所示。由图 1 可知,5—8 月,0~5 cm 深度月平均土壤温度分别为 25.17、26.04、27.79 和 29.80 °C,表层月平均土壤含水率分别为 19.12%、19.13%、19.25%和 21.88%。

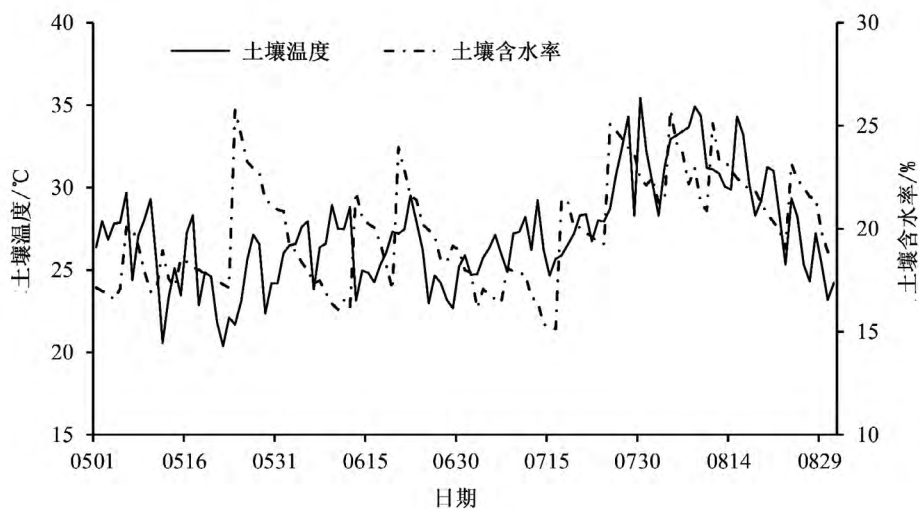


图 1 间作群体内表层(0~5 cm)土壤温度和土壤含水率的变化

### 2.2 间作群体内根区和非根区的土壤呼吸速率

2 种氮肥处理下,玉米/大豆间作群体内根区和非根区根系生物量、土壤呼吸速率和硝化速率的动态变化分别如表 1、表 2 所示。从表 1 可看出,施氮处理根区的根系生物量高于不施氮处理。2 个氮肥处理非根区根系生物量的差异较小。在玉米和大豆条带内,根区的根系生物量呈先增大后降低的变化趋势。2 个氮肥处理下,玉米根区的生物量约为大豆根区生物量的 3.1 倍。生育期内非根区根系生物量的变化规律不明显;玉米和大豆根区的根系生物量分布约为非根区根系生物量的 27 倍和 31 倍,这是由于非根区土壤距离植株较远。

表 1 玉米/大豆间作群体内根区和非根区的根系生物量 mg/cm<sup>3</sup>

日期	玉米条带非根区		玉米条带根区		大豆条带非根区		大豆条带根区	
	N0	N1	N0	N1	N0	N1	N0	N1
20120517	0.021 7	0.029 1	0.209 4	0.175 9	0.001 6	0.002 1	0.044 5	0.051 6
20120611	0.027 7	0.031 5	0.480 2	0.606 5	0.014 8	0.010 4	0.196 8	0.183 7
20120713	0.021 9	0.027 8	1.017 8	1.307 6	0.016 5	0.009 2	0.388 2	0.460 8
20120816	0.016 3	0.019 9	0.525 6	0.752 6	0.005 9	0.009 5	0.085 8	0.093 6

从表 2 可看出,根区土壤呼吸速率与根区根系生物量的变化规律相似。作物生长前期,根系生物量较小,土壤呼吸较弱;随着作物根系生物量的增加(表 1)以及气温的升高(图 1),土壤呼吸速率逐渐增强;到 8 月中旬接近成熟时,由于根系的衰老其活性下降,土壤呼吸速率也随之降低。非根区由于根系生物量较

低,土壤呼吸作用一直较弱,生育期内无明显变化规律。

表 2 玉米/大豆间作群体内根区和非根区的土壤呼吸速率和土壤硝化效率

项 目	日期	玉米条带非根区		玉米条带根区		大豆条带非根区		大豆条带根区	
		N0	N1	N0	N1	N0	N1	N0	N1
土壤呼吸速率/ ( $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )	20120517	122.30	111.23	248.90	254.86	63.45	95.54	132.66	176.06
	20120611	0.00	0.00	288.92	323.54	65.84	81.95	144.22	182.61
	20120713	149.16	164.08	0.00	500.52	90.29	97.68	295.62	335.97
	20120816	113.51	0.00	298.48	378.34	92.22	95.14	219.96	248.88
土壤硝化速率/ ( $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )	20120517	137.03	317.15	129.02	314.10	85.12	249.31	112.57	276.82
	20120611	221.71	342.55	292.19	389.76	188.56	323.50	242.54	390.44
	20120713	232.92	289.99	265.21	342.79	177.98	234.22	222.20	326.56
	20120816	117.42	217.38	137.22	232.63	119.06	151.91	130.28	232.21

N1 处理根区土壤呼吸速率高于 N0 处理,而非根区土壤呼吸速率在施肥处理间差异不显著。N1 处理玉米大豆条带根区的土壤呼吸速率约为 N0 处理的 1.1 倍。N0、N1 处理玉米条带根区土壤呼吸速率是非根区土壤呼吸速率的 2.65、2.80 倍,大豆条带根区土壤呼吸速率是非根区土壤呼吸速率的 2.54、2.55 倍。N0 和 N1 处理,玉米条带根区的根起源呼吸贡献分别为 62%和 64%;大豆条带根区的根起源呼吸贡献分别为 60%和 61%。这与已有研究结果<sup>[4-7]</sup>具有较好的一致性。

### 2.3 间作群体内根区和非根区的硝化-反硝化速率

土壤硝化速率呈现先增大后降低的变化趋势(见表 2),与表层土壤含水率和土壤温度的变化趋势基本一致。施氮处理根区和非根区土壤硝化速率均高于不施氮处理,玉米条带根区和非根区的土壤硝化速率约为 N0 处理的 1.71 倍,大豆条带根区和非根区土壤硝化速率约为 N0 处理的 1.82 倍。

土壤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。根系分泌物易降解有机物质,显著影响根系附近的微生物群体数量及活性。根区土壤具有较高的根量,微生物活动较强,而非根区则根量较少,微生物活动较弱。N0 和 N1 处理下,玉米条带根区土壤硝化速率分别为非根区的 1.14 倍和 1.10 倍,大豆条带根区土壤硝化速率为非根区的 1.24 倍和 1.31 倍。施氮和不施氮处理下根区硝化速率均高于非根区,根量是主要影响因素,这与已有研究结果<sup>[8]</sup>相一致。

对间作群体土壤反硝化速率监测结果表明,前 3 次土壤样品的反硝化速率很低,只有 8 月 16 日的反硝化速率相对较高。在间作作物生长的中前期(5—7 月)检测不到土壤反硝化速率,其主要原因是:①样品只取自表层土壤(0~4 cm),表层土壤与大气间的气体交换较快,很难达到反硝化所需要的厌氧条件;②5—7 月,表层土壤温度在 20~32 °C,不适宜反硝化微生物活动(反硝化微生物适宜温度 30~67 °C);③5—7 月,表层 0~5 cm 土壤含水率为田间持水率的 60%~70%,有利于硝化微生物活动(硝化作用适宜的含水率为 60%田间质量持水率,土壤含水率为田间持水率的 80%时,对硝化作用有一定的抑制作用)。

8 月 16 日 N0 处理下,玉米根区和非根区土壤反硝化速率分别为 29.32 和 21.02  $\mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{h})$ ,大豆根区和非根区土壤反硝化速率分别为 24.32 和 10.02  $\mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{h})$ ;N1 处理下,玉米根区和非跟区土壤反硝化速率分别为 43.23 和 41.21  $\mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{h})$ ,大豆根区和非根区土壤反硝化速率分别为 43.21 和 19.21  $\mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{h})$ 。同一施肥处理下,根区的反硝化速率略高于非根区,间作系统氮肥的反硝化损失量较低,反硝化不是氮肥损失的主要途径。

## 3 结 论

间作群体内,作物根系生长促进了土壤呼吸,玉米根区的根起源呼吸对土壤呼吸的贡献(63%)略高于大豆的根起源呼吸贡献(60%)。间作种植条件下,种间的相互作用影响间作作物根系的生长发育、根系分泌物的形成以及土壤中的微生物活动与有机质的分解速率,进而影响土壤呼吸作用,但其内在机理有待进一步研究。

作物系统氮肥的反硝化损失量较低,反硝化不是氮肥损失的主要途径。硝化作用是研究区间作农田  $\text{N}_2\text{O}$  产生的最主要途径。

## 参考文献:

- [1] Jensen E S. Grain yield, symbiotic N<sub>2</sub> fixation and interspecific competition for inorganic N in pea-barley intercrops[J]. *Plant and Soil*, 1996, 182(1):25-38.
- [2] 肖焱波, 李隆, 张福锁. 豆科/禾本科间作系统中氮营养研究进展[J]. *中国科技导报*, 2003, 5(6):44-49.
- [3] Shafi M, Bakht J, Jan M T, et al. Soil C and N dynamics and maize (*Zea may L.*) yield as affected by cropping systems and residue management in North-western Pakistan[J]. *Soil & Tillage Research*, 2007, 94(2):520-529.
- [4] Hanson P J, Edwards N T, Garten C T, et al. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration[J]. A review of methods and observations. *Biogeochemistry*, 2000, 48(1):115-146.
- [5] Lohila A, Aurela M, Regina K, et al. Soil and total ecosystem respiration in agricultural fields; Effect of soil and crop type[J]. *Plant and Soil*, 2003, 251(2):303-317.
- [6] Fu S, Chen W, Susfalk T. Rhizosphere respiration varies with plant species and phenology: A greenhouse pot experiment[J]. *Plant and Soil*, 2002, 239(1):133-140.
- [7] Kuzyakov Y, Larionova A A. Root and rhizomicrobial respiration: A review of approaches to estimate respiration by autotrophic and heterotrophic organisms in soil[J]. *Journal Plant Nutrition and Soil Science*, 2005, 168(4):503-520.
- [8] 刘巧辉. 应用 BaPS 系统研究旱地土壤硝化-反硝化过程和呼吸作用[D]. 南京: 南京农业大学, 2005.

## Soil Respiration and Nitrification-denitrification in Intercropping System

GAO Yang<sup>1</sup>, SHEN Xiaojun<sup>1</sup>, LI Xinqiang<sup>1</sup>, HUANG Ling<sup>1</sup>, GONG Wenjun<sup>2</sup>, DUAN Aiwang<sup>1</sup>

(1. Farmland Irrigation Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences/

Key Laboratory of Crop Water Use and Regulation, Ministry of Agriculture, Xinxiang 453002, China;

2. Guangli Irrigation Authority, Jiaozuo City, Henan Province, Qinyang 454550, China)

**Abstract:** Field experiments were carried out to measure soil respiration, nitrification and denitrification in the intercropping system under two nitrogen treatments using the Barometric Process Separation (BaPS) method. Results indicated that root biomass in the rhizosphere in N1 treatment was greater than that in N0 treatment. There was no significant difference for root biomass in the non-rhizosphere between two N treatments. Soil respiration rate in the rhizosphere in N1 treatment was 1.1 times compared to that in N0 treatment, while the difference of soil respiration in the non-rhizosphere between two N treatments was not significant. Soil nitrification rate in maize and soybean strips in N1 treatment was 1.71 and 1.82 times compared to that in N0 treatment, respectively. For two N treatments, soil nitrification in the rhizosphere was greater than that in the non-rhizosphere in intercropping. Denitrification was not the main way of nitrogen losses in maize/soybean intercropping in the experimental region. Therefore, it is favorable to reduce nitrogen losses and improve nitrogen fertilizer use efficiency in intercropping through enhancing water and fertilizer management in study areas.

**Key words:** nitrification rate; denitrification rate; soil respiration; barometric process separation (BaPS); intercropping