

不同施肥水平及玉米种植对土壤微生物生物量碳氮的影响^①

侯化亭^{1,2}, 张丛志², 张佳宝^{2*}, 陈效民¹

(1 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095;

2 封丘农田生态系统国家试验站, 土壤与农业可持续发展国家重点实验室 (中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008)

Effects of Fertilization and Maize Growing on Soil Microbial Biomass Carbon and Nitrogen

HOU Hua-ting^{1,2}, ZHANG Cong-zhi², ZHANG Jia-bao², CHEN Xiao-min¹

(1 College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

2 State Experimental Station of Agro-Ecosystem in Fengqiu, State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China)

摘要: 以裸地 (不种植作物) 和玉米种植的田间小区试验为平台, 研究不同施肥水平及玉米种植对土壤微生物生物量碳氮的影响。结果表明, 当不施肥时, 土壤微生物生物量碳氮含量裸地平均值分别为 175.98 mg/kg 和 26.04 mg/kg, 种植玉米小区的平均值分别为 161.65 mg/kg 和 22.70 mg/kg, 土壤微生物生物量碳氮低于裸地; 而施肥时, 裸地的土壤微生物生物量碳氮平均值的变化范围分别为 182.27~206.27 mg/kg 和 27.41~31.22 mg/kg, 种植玉米小区的变化范围分别为 194.70~235.58 mg/kg 和 35.76~44.66 mg/kg, 土壤微生物生物量碳氮高于裸地, 可见土壤碳氮的平衡对于土壤微生物生物量碳氮极为重要。裸地和玉米种植小区土壤微生物生物量碳氮均随着施肥量的增加呈现出先增加后降低的趋势, 其施氮水平拐点分别为 70 kg/hm² 和 150 kg/hm², 表明施肥水平对土壤微生物生物量碳氮具有显著影响。另外, 玉米各生育期间土壤微生物生物量碳氮也存在显著差异, 其中, 土壤微生物生物量碳氮含量在拔节期处于最低, 变动范围分别为 154.46~229.09 mg/kg 和 18.84~31.44 mg/kg; 抽雄期处于最高, 变动范围分别为 171.71~242.48 mg/kg 和 30.01~50.54 mg/kg。

关键词: 施肥; 裸地; 玉米种植; 土壤微生物生物量碳; 土壤微生物生物量氮

中图分类号: S154.2

土壤肥力对于保证粮食安全及农业的可持续发展具有重要意义。许多研究者认为作物连续种植会吸收土壤养分, 进而导致土壤肥力降低, 因此施肥是保证土壤肥力的重要措施, 并大力提倡休耕以保证土壤肥力的可持续性^[1-2]; 但也有研究者认为种植作物所产生的根系分泌物及植株残留能够增加土壤有机质含量从而提升土壤肥力^[3]。目前关于我国土壤是否需要实行休耕措施在学术界也存在着广泛的争议。

施肥及作物种植对土壤肥力均具有重要影响。土壤有机质是土壤肥力的重要指标, 而土壤微生物生物

量是土壤有机质中最活跃的部分^[4], 它可反映土壤有效养分状况和生物活性。土壤微生物生物量碳和氮是反映土壤干扰的灵敏的生物学指标^[5-6], 其数量受施肥、耕作、栽培等技术措施的影响^[7]。因此, 可以采用土壤微生物生物量碳和氮作为土壤肥力对外界影响因素的响应指标。目前, 关于施肥对作物种植条件下的土壤微生物生物量的影响已有大量研究^[8], 但见于报道的关于休耕条件下的土壤微生物生物量对施肥的响应研究则较少。因此, 本文于黄淮海平原地区典型农田进行田间小区试验, 研究土壤微生物生物量碳氮

①基金项目: 国家自然科学基金项目 (41001128) 和中国科学院知识创新工程重大项目 (KSCX2-EW-N-08) 资助。

* 通讯作者 (jzbzhang@issas.ac.cn)

作者简介: 侯化亭 (1984—), 女, 山东枣庄人, 硕士研究生, 主要从事土壤资源环境方面的研究。E-mail: yujianhouzi@163.com

在裸地及玉米种植的条件下对不同施肥水平的响应,旨在揭示施肥及玉米种植对土壤微生物生物量的耦合影响,为该地区农田是否需要休耕提供理论参考,并为农业土壤的可持续利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点概括与试验设计

田间试验于中国科学院封丘农田生态系统国家试验站内进行。该站位于黄河北岸的河南省封丘县(35°01'N, 114°24'E),地处黄淮海平原,属于半干旱半湿润季风气候。多年平均降雨量为 615 mm,且 60%~90% 分布在 6—10 月,年平均气温为 13.9℃;种植方式采用小麦-玉米轮作制度,耕层土壤类型为轻质潮土。试验小区施肥处理从 2008 年小麦季开始布置,采用小麦-玉米轮作制度。试验小区设计有裸地(不种农作物)和作物种植(小麦-玉米轮作),裸地施肥处理与作物种植处理相同,只是不种作物,如生长杂草则立即铲除。本研究从 2009 年 6 月 10 日至 9 月 24 日玉米季进行。

本研究玉米季不同施肥处理为氮磷处理,设 7 个水平,其中各处理氮肥(施用尿素,换算为纯氮计算)施用水平分别为:①F1(不施肥),②F2(30 kg/hm²),③F3(70 kg/hm²),④F4(110 kg/hm²),⑤F5(150 kg/hm²),⑥F6(190 kg/hm²),⑦F7(240 kg/hm²);各处理磷肥(施用重过磷酸钙,换算为 P₂O₅)施用量为相应氮肥的 40%。其中全部磷肥和 40% 的氮肥于播种前施入,60% 的氮肥于抽雄前作为追肥施入。每个处理 3 个重复,共 42 个小区,采用裂区随机排列。每小区 4 m×6 m,采用人工翻地和播种。

1.2 土壤样品采集

土样样品采集时间分别为:玉米种植小区采样时间根据玉米生育期进行,分别为玉米拔节期(2009-7-12)、抽雄期(2009-8-10)、乳熟期(2009-8-23)和成熟期(2009-9-24),同时进行裸地土壤样品采集。

土壤取样及处理:在每个小区用土钻取耕作层 0~20 cm 土样,随机采取 5 点土壤,混合均匀,过 2 mm 筛,捡去可见有机物,放入 4℃ 冰箱内保存,用于进行土壤微生物生物量碳、氮分析,每次土样测定前均于 25℃ 条件下预培养 24 h,用来恢复微生物活性,并且所有土样均于采样后 7 天内完成分析。

1.3 测定指标与方法

土壤微生物生物量碳、氮采用氯仿熏蒸提取法测定^[9]。测定时,称取 25 g 的新鲜土样在真空干燥器中

用氯仿蒸汽熏蒸 24 h,用反复抽真空方法除去残存氯仿后,再用 50 ml 0.5 mol/L 的 K₂SO₄ 溶液振荡 30 min,立即过滤。同时,不熏蒸的土样也用 K₂SO₄ 溶液浸提、振荡和过滤。过滤后滤液中的有机碳用重铬酸钾氧化法测定,滤液中的有机氮用半微量凯氏法测定。以熏蒸土样与未熏蒸土样提取液中测定的有机碳、氮的差值分别除以 K_{EC}(0.38)或 K_{EN}(0.45),来计算土壤微生物量碳、氮。

2 结果与分析

2.1 不同施肥水平对裸地土壤微生物生物量碳氮的影响

由表 1 可知,裸地土壤微生物生物量碳的变化范围为 172.34~222.88 mg/kg。在各采样时间,F1 处理(不施肥处理)土壤微生物生物量碳含量均处于最低水平,与其余施肥处理之间差异显著($P<0.05$)。施肥增加土壤微生物生物量碳,表明施用化肥对土壤微生物的活动具有一定促进作用,其原因可能是肥料的施用增加了微生物生长所需的氮源。另外,从 F1~F3 处理,土壤微生物生物量碳含量随着施肥量的增加而增加,但当施肥量进一步增加(F4~F7 处理)时,土壤微生物生物量碳却呈现出降低的趋势,且这种现象和 Masto 等^[10]的研究结果一致。不同施肥水平对土壤微生物生物量氮的影响与对土壤微生物生物量碳的影响一致(表 1)。在不种植作物条件下,氮肥施用达到 70 kg/hm²(F3 处理)时的土壤环境最有利于土壤微生物的繁殖生长,高肥不利于土壤微生物生物量的增加。

2.2 不同施肥水平对种植玉米土壤微生物生物量碳氮的影响

种植玉米条件下不同施肥处理对土壤微生物生物量碳氮的影响见表 2。土壤微生物生物量碳在不施肥处理(F1 处理)中最低,且随着施肥量的增加而增加,于 F5 处理时达到最高,随后在施肥量继续增加的条件(F6 和 F7 处理)逐步降低。土壤微生物生物量氮的变化趋势与土壤微生物生物量碳一致(表 2)。从方差分析结果来看,玉米各生育期的土壤微生物生物量氮从 F2~F4 处理虽随着施肥量的增加而增加,但并不显著($P>0.05$,表 2),这与土壤微生物生物量碳的变化不同(土壤微生物生物量碳在玉米各生育期从 F1~F4 处理的增长表现出显著差异),表明在施入少量氮肥时,土壤微生物同化碳的能力高于同化氮,其原因目前尚不清楚,还需进一步研究。

表 1 不同施肥条件下裸地土壤微生物生物量碳氮的变化

指标	采样时间	施氮水平						
		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
微生物生物量碳 (mg/kg)	2009-7-12	172.34 a	177.64 b	184.29 bc	177.11 b	176.14 b	174.66 b	176.1 b
	2009-8-10	180.07 b	191.26 c	222.88 d	220.63 d	218.97 d	217.42 d	216.66 d
	2009-8-23	175.12 a	182.73 b	213.13 d	209.53 cd	207.85 cd	205.24 cd	203.58 cd
	2009-9-24	176.37 a	177.43 b	204.76 c	197.23 c	193.56 c	191.72 c	184.35 b
	平均值	175.98 a	182.27 b	206.27 d	201.13 cd	199.13 cd	197.26 cd	195.17 cd
微生物生物量氮 (mg/kg)	2009-7-12	20.98 a	22.20 a	24.30 ab	23.46 a	22.27 a	22.01 a	22.04 a
	2009-8-10	34.07 b	35.89 b	39.64 bc	38.31 bc	37.98 bc	36.82 bc	36.49 bc
	2009-8-23	25.46 a	27.21 ab	30.76 b	29.79 b	28.89 b	28.34 b	27.56 ab
	2009-9-24	23.6 6a	24.56 ab	30.18 b	27.54 ab	26.46 ab	24.21 ab	23.54 a
	平均值	26.04 a	27.47 ab	31.22 b	29.78 b	28.90 b	27.85 ab	27.41 ab

注: 同行字母不同表示同一采样期不同处理间差异显著 (LSD 法检验) ($P < 0.05$)。下同。

表 2 不同施肥条件下种植玉米土壤微生物生物量碳氮的变化

测定指标	采样时期	施氮水平						
		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
微生物生物量碳(mg/kg)	拔节期	154.46 a	185.09 b	200.71 c	223.52 d	229.09 d	224.70 d	222.71 d
	抽雄期	171.71 a	201.27 bc	224.62 d	237.42 e	242.48 e	238.96 e	237.80 e
	乳熟期	161.21 a	194.62 bc	214.73 d	230.27 e	233.51 e	231.38 e	229.07 de
	成熟期	159.25 a	197.81 bc	219.10 d	232.99 e	237.22 e	235.85 e	232.07 e
	平均值	161.65 a	194.70 bc	214.79 d	231.05 e	235.58 e	232.72 e	230.41 e
微生物生物量氮(mg/kg)	拔节期	18.84 a	26.31 ab	27.14 ab	29.01 ab	31.44 b	29.64 ab	28.69 ab
	抽雄期	30.01 b	44.20 c	46.23 cd	48.09 cd	50.54 d	48.71 cd	48.13 cd
	乳熟期	22.07 a	34.54 b	36.97 b	38.21 bc	40.36 c	38.98 bc	37.76 bc
	成熟期	19.89 ab	37.97 bc	37.46 bc	41.22 c	44.28 c	40.63 c	40.62 c
	平均值	22.70 ab	35.76 bc	36.95 c	39.13 c	44.66 bc	39.49 c	38.80 bc

2.3 玉米生育期对土壤微生物生物量碳氮的影响

在玉米种植条件下, 不同生育期的土壤微生物生物量碳氮发生了显著变化(表 2)。由表 2 可知, 各施氮处理中土壤微生物生物量碳氮的变化趋势一致, 拔节期最低, 抽雄期达到最高, 随后乳熟期有所降低, 成熟期又逐渐上升。

土壤微生物生物量碳的消长反映了微生物利用土壤碳源进行自身细胞建成并大量繁殖和微生物细胞解体使有机碳矿化的过程^[11]。玉米拔节期土壤微生物生物量碳含量最低, 为 154.46 ~ 229.09 mg/kg, 至抽雄期, 土壤微生物生物量碳含量达到最高, 为 201.27 ~ 242.48 mg/kg, 较拔节期增加 14.10 ~ 23.91 mg/kg。这一点与玉米旺盛生长期一致, 因为玉米在旺盛生长期对养分需求强烈, 需要量增加, 微生物对养分的分解和代谢加快; 同时, 根系生长迅速, 根系代谢旺盛, 根系分化养分能力增强, 根系分泌物、脱落物增多, 丰富的基质促进了土壤微生物繁殖^[12]。而至乳熟期, 玉米生

殖生长加快, 需要从土壤中吸收大量养分, 各处理土壤微生物生物量碳则下降到 161.21 ~ 233.51 mg/kg, 但下降幅度不大。至成熟期玉米根系渐渐死亡, 导致土壤中有有机物质逐渐增多, 根茬继续分解, 增加营养物质和能源, 导致土壤微生物数量在玉米成熟期开始增加, 各施肥处理微生物生物量碳也随之上升, 上升至 197.81 ~ 237.22 mg/kg, 但上升幅度较小。

玉米生育期对土壤微生物生物量氮变化的影响与对土壤微生物生物量碳的影响一致。由表 2 可知, 玉米生长由拔节期至抽雄期土壤微生物生物量氮含量的变化幅度最大, 其次是抽雄期至乳熟期; 变化最小的是乳熟期至成熟期。土壤微生物生物量氮在玉米全生育期中表现为拔节期和乳熟期处于低峰, 抽雄期和成熟期处于高峰, 这与作物对养分吸收的敏感期及养分变化对微生物生命活动的影响有关。玉米拔节期和乳熟期分别为营养生长和生殖生长的关键时期, 需吸收大量的氮素养分, 这时会有一部分微生物量氮矿化出来供作物

吸收利用,使土壤微生物生物量氮减少,而对土壤养分起到调节作用^[13]。因此,土壤微生物生物量氮在玉米生长期间的变化趋势能反映玉米吸收氮素的状况。

2.4 裸地与玉米种植土壤微生物生物量碳氮的差异

从表 1 和表 2 可看出,在不施肥条件下(F1 处理),裸地土壤微生物生物量碳氮高于玉米种植小区,其原因可能有两个,一方面由于裸地处理是在原农田土壤上布置(该试验小区从 2008 年 9 月开始布置),土壤中还存在较多作物残留物根茬及根系脱落物等有机物,能够为微生物的生长提供大量能量,使得微生物固持氮素相对较多;另一方面种植玉米的小区土壤要为玉米生长提供所需的大量氮素,而 F1 处理又没有外源氮的投入,会有一部分微生物生物量氮矿化出来供作物吸收利用,进而使得微生物生物量氮减少。

在施肥处理中,裸地和玉米种植土壤的微生物生物量主要存在 3 方面的差异:①在同一施肥水平同时采样的基础上,玉米种植小区的土壤微生物生物量碳氮显著高于裸地。②土壤微生物生物量碳氮在裸地和玉米种植小区中对施肥量的响应拐点不同。在裸地中土壤微生物生物量碳氮最高时施肥量为 70 kg/hm² (F3 处理),而玉米种植土壤微生物生物量碳氮最高时的施肥量为 150 kg/hm² (F5 处理)。③与不施肥(F1 处理)相比,施肥使得种植玉米小区土壤微生物生物量增加幅度远高于裸地(表 1 和表 2)。

施肥是影响土壤微生物数量及其多样性的最重要农业措施,同时它也是影响土壤质量演化及其可持续利用最为深刻的农业措施之一^[14-15]。综合比较施肥对裸地和玉米种植小区土壤微生物生物量的影响,从土壤肥力(以土壤微生物生物量为指标)的角度来看,当种植作物时,如果不进行施肥,作物将会极大地消耗土壤肥力,此时进行休耕(不种植作物)能够提高土壤肥力;但是当施入一定量化肥时,在本研究中种植作物反而能够比裸地更能提高土壤肥力;另外,如果在本研究地区实行休耕措施时,向土壤中施入一定量肥料(纯氮 70 kg/hm²),能够更好地提升土壤肥力。

3 结论

(1) 土壤碳氮的平衡对于土壤微生物生物量碳氮极为重要。当不施肥时,玉米种植小区由于缺乏氮素,其土壤微生物生物量低于裸地;而当进行施肥处理时,裸地由于缺乏碳素,导致其土壤微生物生物量低于玉米种植小区。

(2) 施肥水平对土壤微生物生物量碳氮具有显著影响。裸地和玉米种植小区土壤微生物生物量碳氮均

随着施肥量的增加呈现出先增加后降低的趋势,其施氮水平拐点分别为 70 kg/hm² 和 150 kg/hm²。

(3) 玉米生育期对土壤微生物生物量碳氮也存在着显著影响。土壤微生物生物量碳氮在玉米拔节期最低,抽雄期达到最高,随后乳熟期有所降低,成熟期又逐渐上升,各生育期间的变化趋势能反映玉米生长及其吸收土壤养分的状况。

参考文献:

- [1] 崔和瑞,孟祥书. 基于休耕轮作的人与自然和谐的农村生态环境的构建. 三农问题研究, 2006, 22(12): 502-504
- [2] 叶一隆,许美芳,陈庭坚,黄国祯,邹韦. 休耕水稻田蓄水对土壤肥料影响试验. 水科学进展, 2002, 13(4): 478-483
- [3] 吴彩霞,傅华. 根系分泌物的作用及影响因素. 草业科学, 2009, 26(9): 24-29
- [4] Jenkinson DS, Ladd JN. Microbial Biomass in Soil: Measurement and Turnover. Soil Biochemistry, 1981, 5: 451-471
- [5] 任天志, Grego S. 持续农业中的土壤生物指标研究. 中国农业科学, 2000, 33(1): 68-75
- [6] Zhang H, Zhang GL. Microbial biomass carbon and total organic carbon of soils as affected by rubber cultivation. Pedosphere, 2003, 13(4): 353-357
- [7] 李世清,凌莉,李生秀. 影响土壤中微生物体氮的因子. 土壤与环境, 2000, 9(2): 158-162
- [8] 庞欣,张福锁,王敬国. 不同供氮水平对根际微生物量氮及微生物活度的影响. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(4): 476-480
- [9] 中国土壤学会编. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
- [10] Mastro RE, Chhonkar PK, Dhyana S, Patra AK. Changes in soil biological and biochemical characteristics in a long-term field trial on a subtropical inceptisol. Soil Biol. Biochem., 2006, 38(7): 1577-1582
- [11] 王继红. 氮磷肥对黑土玉米农田生态系统土壤微生物量碳氮的影响. 水土保持学报, 2004, 18(1): 35-38
- [12] 王忠华,叶庆富,舒庆尧,崔海瑞,夏英武,周美园. 转基因植物根系分泌物对土壤微生态的影响. 应用生态学报, 2002, 13(3): 373-375
- [13] 张成娥,梁银丽. 不同氮磷施肥量对玉米生育期土壤微生物量的影响. 中国生态农业学报, 2001, 9(2): 72-74
- [14] Plaza C, Hernandez D, Garcia-Gil JC, Polo A. Microbial activity in pig slurry-amended soils under semiarid conditions. Soil Biol. Biochem., 2004, 36(10): 1577-1585
- [15] Timo K, Stephan WFE. Microbial activity in a sandy arable soil is governed by the fertilization regime. Euro. J. Soil Biol., 2004, 40(2): 87-94