

施用控释氮肥对稻田土壤微生物生物量碳、氮的影响

罗兰芳^{1,2}, 聂 军^{1,3}, 郑圣先^{1,3,*}, 廖育林^{1,2,3}, 谢坚^{1,2,3}

(1. 湖南省土壤肥料研究所, 湖南长沙 410125; 2. 湖南农业大学资源环境学院, 湖南长沙 410128;

3. 农业部望城水稻土生态环境野外观测试验站, 湖南长沙 410125)

摘要: 借助农业部望城红壤水稻土生态环境野外观测试验站的控释氮肥试验, 研究了施用控释氮肥对水稻不同生育期间稻田土壤微生物生物量碳、氮动态变化的影响。试验共设 5 个处理: ①CK, (不施氮肥); ②Urea (施用尿素); ③CRNF (施用与处理②等氮量的控释氮肥); ④70% CRNF (施用控释氮肥, 用氮量为处理②的 70%); ⑤50% CRNF + M (施用控释氮肥和猪粪, 总氮量为处理②的 70%, 其中控释氮肥用量为处理②的 50%, 猪粪含氮量为处理②的 20%)。结果表明, 施肥后 10 d, 施氮处理土壤微生物生物量碳和氮均达最高, 随生育进程推进逐渐下降, 成熟期有一定的回升; 施肥初期, 施用等氮量的控释氮肥处理 (CRNF) 土壤微生物量碳、氮含量较尿素处理 (Urea) 分别增加 5.4% 和 22.5%, 而水稻生育中后期, 控释氮肥处理 (CRNF) 土壤微生物量碳、氮含量较尿素处理 (Urea) 下降幅度大, 该处理向地上部提供氮素营养较尿素处理高; 施氮量较高的 CRNF 处理, 土壤微生物生物量碳低于控释氮肥节氮处理 (70% CRNF), 但在大多数取样时期, 土壤微生物量氮高于控释氮肥节氮处理 (70% CRNF); 控释氮肥配施有机肥的节氮处理较其他单施化肥处理显著增加土壤微生物生物量碳、氮含量。控释氮肥与有机肥配施, 不仅能节约氮肥用量, 而且能明显地提高土壤微生物生物量碳、氮的含量。

关键词: 控释氮肥; 水稻土; 土壤微生物生物量碳; 土壤微生物生物量氮

Effect of controlled release nitrogen fertilizer on soil microbial biomass carbon and nitrogen contents

LUO Lanfang^{1,2}, NIE Jun^{1,3}, ZHENG Shengxian^{1,3,*}, LIAO Yulin^{1,2,3}, XIE Jian^{1,2,3}

1 Soil and Fertilizer Institute of Hunan Province, Changsha 410125, China

2 College of Resource and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China

3 Key Monitoring Experimental Station for Reddish Paddy Soil Eco-Environment in Wangcheng Ministry of Agriculture, Changsha 410125, China

Abstract: A field experiment was conducted at Key monitoring Experimental Station for Reddish Paddy Soil Eco-Environment in Wangcheng, Hunan to study the effect of applying controlled release nitrogen fertilizer (CRNF) on soil microbial biomass carbon (SMBC) and nitrogen (SMBN) contents. There were five treatments in this experiment: ① CK, non-N application; ② Urea, (N-source is urea); ③ CRNF, (N-source is CRNF, the same N rate as treatment ②); ④ 70% CRNF, (N-source is CRNF, 70% N rate of treatment ②); ⑤ 50% CRNF + M, (N-source are CRNF and pig manure, the same N rate as treatment ④, the nitrogen ratio of CRNF to pig manure is 5:2). Results showed that the highest contents of SMBC and SMBN in soil were detected in all treatments supplied with exogenous N at 10 d after fertilizers application, after that significantly decreased as growth stage progressed, finally a marked increase was observed at the late stage of rice growth. Results also revealed that the content of SMBN from CRNF treatment was 5.4% and 22.5% higher than those from Urea treatment; The contents of SMBC and SMBN in the CRNF treatment were decreased much more than those in the Urea treatment during rice middle and late growth stages, implying that, more nitrogen fertilizer was transferred to rice by using CRNF; In the treatments with CRNF application, the content of SMBN was positively related to the rate of N supply in most of sampling times, on contrary the content of SMBC decreased with an increase of the N rate;

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30270770); 国家科技支撑计划资助项目 (2006BAD05B09); 国际植物营养研究所 (IPNI) 资助项目 (NH-13)

收稿日期: 2009-03-24; **修订日期:** 2009-06-05

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shengxianzheng@foxmail.com

Compared to 70% CRNF, additional organic N had a remarkable impact on the contents of SMBN and SMBC. These findings suggest that a combination of CRNF and organic fertilizer can not only save the N usage but also increase the contents of SMBN and SMBC in soils.

Key Words: controlled release nitrogen fertilizer; paddy soil; microbial biomass C; microbial biomass N

氮素是植物生长所必需的营养元素,也是主要的养分限制因素。土壤中的氮素大多不能满足作物的需求,主要靠施肥予以补充和调节。现今农田肥料利用率普遍较低,不仅造成资源浪费,还带来严重的环境污染。肥料控释技术为提高肥料利用率开辟了新途径。已有研究表明,控释氮肥能提高作物产量^[1];促进作物生长发育、提高作物品质^[2]和削减稻田环境污染^[3-4],这一系列的作用效果均与控释氮肥氮素利用率较高直接相关。另有研究发现,农田微生物对无机氮肥的生物固定减少了氮肥的损失^[5],尽管土壤微生物生物量只为土壤有机质的1%—5%,但支配养分供应中,土壤微生物量不仅充当许多基础反应的生物催化剂,还相当于土壤N、P元素的快速周转库^[6],土壤微生物生物量氮的活性与消长被认为是土壤氮素内循环的本质性内容^[7]。开展控释氮肥对水稻生育期间土壤微生物生物量碳和氮(SMBC和SMBN)含量影响的研究,有助于揭示控释氮肥氮素在土壤中的转化特征,为探讨控释氮肥提高氮肥利用率提供一定的科学依据。

1— 材料与方法

1.1 试验地点描述、土壤特征和试验处理

试验在农业部红壤水稻土生态环境重点野外科学观测试验站基地的控释肥料短期定位试验中进行。试验基地位于长沙县干杉镇,北纬112°80′东经28°37′,海拔100 m,年平均温度17℃,年降雨量1370 mm,降雨多集中在每年的3—7月份,占年降雨量的50%,无霜期约为300 d。控释氮肥短期定位试验始于2005—2007年进行,种植制度为早稻—晚稻—冬季休闲。供试土壤为第四纪红土发育的水稻土,土壤分类为普通简育水耕人为土。试验前0—15 cm耕层土壤理化性质为:pH 6.3,有机质29.9 g/kg,全氮1.8 g/kg,碱解氮155.9 mg/kg,速效磷18.0 mg/kg,速效钾60.0 mg/kg。试验共设5个处理,①CK,(不施氮肥,施用磷、钾肥);②Urea(施用尿素和磷、钾肥);③CRNF(施用与尿素处理等氮量的控释氮肥和磷、钾肥);④70% CRNF(施用相当于处理②氮量70%的控释氮肥和磷、钾肥);⑤50% CRNF + M(施用相当于处理②氮量50%的控释氮肥和相当于处理②氮量20%的猪粪以及磷、钾肥),随机区组排列,3次重复,小区面积20 m²。磷肥(P₂O₅)用过磷酸钙,钾肥(K₂O)用氯化钾。肥料用量按早稻N 90 kg/hm², P₂O₅ 75 kg/hm², K₂O 118 kg/hm²;晚稻N 105 kg/hm², P₂O₅ kg/hm², K₂O kg/hm²。尿素处理的N分2次施入:70%的N于插秧前1 d做基肥施入,30%的N作分蘖肥于插秧后7—10 d追施;控释氮肥于插秧前1 d作全量基肥1次性施入;各处理的磷、钾肥全部作基肥于插秧前1 d施入。施肥后立即用铁耙耙入5 cm深的土层中。早、晚稻生育期间,各处理的农田管理措施完全相同。供试控释氮肥由湖南兴湘开发有限公司复合肥厂生产,含N 42%。

1.2 土壤采样与分析

于早稻施肥后10 d、20 d、40 d、60 d、70 d取土样,用“氯仿灭菌-0.5 mol/L K₂SO₄提取法^[8]”提取土壤微生物生物量碳、氮。熏蒸土壤按1 ml/10 g鲜土加入氯仿搅匀,在25℃黑暗条件下熏蒸24 h,再用0.5 mol/L K₂SO₄浸提。于-18℃保存,测定时溶解。碳-自动分析仪(Phoenix8000)测定土壤微生物生物量碳(SMBC),用浓H₂SO₄消化后半微量定氮法测定土壤微生物生物量氮(SMBN)。熏蒸浸提液中的碳、氮与不熏蒸浸提可溶性碳、氮之差乘一个转换系数(0.45^[8])即为土壤微生物生物量碳、氮。

1.3 数据处理与统计分析

试验数据采用SPSS10.0和EXCEL进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 水稻生育期内稻田土壤微生物生物量碳的动态变化

微生物群体处在不断的新老更替,分解外界的物质和有机体,吸收、同化无机养料,合成自身物质,同时又

向外界不断释放其代谢产物,赋予土壤肥力和生产力。土壤微生物量对土壤环境条件非常敏感,受施肥种类^[9]和方式^[10]以及土壤管理措施和植被覆盖^[11-12]等影响。图1为水稻生育期内不同处理土壤微生物量的动态变化。

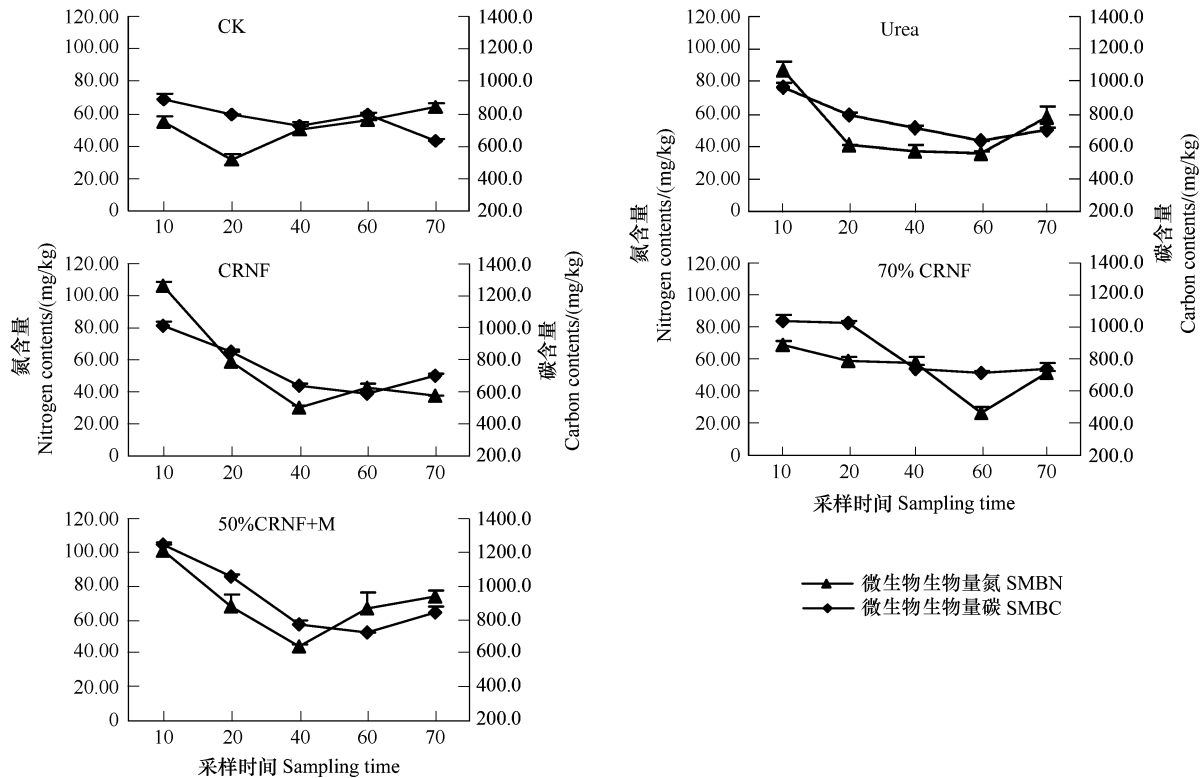


图1 早稻生长期间 SMBC 和 SMBN 的动态变化

Fig. 1 Dynamics of SMBC and SMBN in paddy soil at different growth stages of early rice

施肥后 10 d,各处理稻田土壤 SMBC 含量达到最高,对照土壤 SMBC 含量为 882.1 mg/kg,施氮肥各处理土壤 SMBC 含量分别为:尿素处理 965.9 mg/kg,控释氮肥处理(CRNF)1017.8 mg/kg,单施控释氮肥节氮处理(70% CRNF)1038.4 mg/kg,控释氮肥配施有机肥节氮处理(50% CRNF + M)1245.3 mg/kg,施氮处理土壤 SMBC 含量显著地高于不施氮肥处理(表1)。3个控释氮肥处理土壤 SMBC 较尿素处理分别增加:5.4%(CRNF)、7.5%(70% CRNF)和 28.9%(50% CRNF + M),显著地提高了土壤 SMBC 含量(表1)。施肥后 20 d,各处理 SMBC 含量均有不同程度下降,分别下降了 92.5 mg/kg(CK)、172.0 mg/kg(Urea)、169.7 mg/kg(CRNF)、13.0 mg/kg(70% CRNF)和 189.8 mg/kg(50% CRNF + M),此时期,3个控释氮肥处理土壤 SMBC 含量显著高于对照和尿素处理(表1)。施肥后 40 d,各处理土壤 SMBC 含量持续下降。施肥后 60 d,除对照外,施氮肥处理土壤 SMBC 含量下降至最低。引起的原因可能是土壤中较易矿化分解的有机碳已经消耗殆尽,为满足水稻生长发育而消耗土壤 SMBC,促使土壤 SMBC 含量降低。其中 CRNF 处理土壤 SMBC 含量最低,与其他处理间差异显著,这主要是因为 CRNF 处理地上部生物量较大,水稻吸氮量较高^[2]。施肥后 70 d(成熟期),各处理 SMBC 含量有所回升(除对照外),分别增加了 66.5 mg/kg(Urea)、106.1 mg/kg(CRNF)、34.6 mg/kg(70% CRNF)和 118.5 mg/kg(50% CRNF + M)。

2.2 控释氮肥对稻田土壤微生物生物量氮的影响

图1中,早稻生长期间不同施肥处理土壤微生物生物量氮(SMBN)含量在 25.7—106.8 mg/kg 之间,约占全氮的 1.2%—4.6%,较早地土壤 SMBN 含量高^[13],与王岩等^[14]报道结果基本一致。由于氮素是作物生长大量元素,一方面受到土壤肥力水平高低以及外源氮肥种类和投入量的影响,另一方面受到地上部作物需求

量的影响,土壤微生物氮的变化比土壤微生物碳的波动幅度大且变化复杂得多。

施肥后 10 d 各处理土壤 SMBN 含量达到最高值,随生育进程明显下降,成熟期呈现回升趋势,与土壤微生物碳的变化趋势相似。施肥后 10 d,施氮肥处理土壤 SMBN 含量较对照(CK)分别增加:59.6%(Urea)、95.6%(CRNF)、25.6%(70% CRNF)、84.0%(50% CRNF + M),与对照处理间差异显著(表 1)。施用等量氮肥的控释氮肥处理较尿素处理增加土壤微生物量氮 22.5%,同时,两个节氮控释氮肥处理中,配施有机肥的控释氮肥节氮处理(50% CRNF + M)较单施控释氮肥节氮处理(70% CRNF)增加 46.4%,处理间差异达显著水平(表 1);施肥后 20 d,各处理土壤 SMBN 含量均出现不同程度的下降,下降范围在 9.4—48.5mg/kg 之间。对照处理土壤 SMBN 含量最早降至最低,土壤氮素营养不能满足水稻生长要求,土壤微生物不得不加速自身矿化来满足水稻生长要求,说明在没有氮肥的投入的情况下,土壤微生物生物量氮也能够为作物生长提供一定量的氮素养分。施氮肥处理 SMBN 含量显著高于 CK(表 1),而 3 个施用控释氮肥的处理(CRNF、70% CRNF 和 50% CRNF + M)显著高于 Urea 处理(表 1)。施肥后 40 d,除对照外,各施氮肥处理土壤 SMBN 含量均持续下降。CRNF 处理土壤 SMBN 含量下降至最低,产生的主要原因是:该生育期是水稻氮素营养的最大效率期,地上部对氮素养分的需求量较大,说明此时微生物加快自身的矿化或死亡来释放营养物质以满足水稻的需要。水稻生育中后期(施肥 60 d 时),除 Urea 和 70% CRNF 处理外,其他处理 SMBN 含量均有不同程度升高。50% CRNF + M 处理土壤 SMBN 含量增加幅度最大,70% CRNF 处理土壤 SMBN 含量有较大幅度的下降,各处理土壤微生物量氮含量变化产生不一致的可能原因是同一采样时期水稻所处的生育期并不完全一致。生育后期(施肥后 70 d)CRNF 处理土壤 SMBN 含量略有下降,其他各处理均有不同程度增加。从表观上看,CRNF 处理土壤微生物量氮含量的下降可能说明,水稻生育后期控释氮肥还能向地上部提供一定量的氮素营养^[2]。

表 1 早稻生育期各处理间 SMBC 和 SMBN 含量方差分析

Table 1 Variance analysis of SMBC and SMBN contents of all treatments at different growth stages of early rice

处理 Treatment	SMBC					SMBN				
	10d	20d	40d	60d	70d	10d	20d	40d	60d	70d
CK	882.1 d	789.6 b	718.8 b	789.1 a	628.1 c	54.62 d	31.36 d	50.57 b	55.73 b	64.37 b
Urea	965.9 c	793.9 b	720.4 b	631.4 c	697.9 b	87.18 b	41.17 c	37.33 d	35.19 c	58.05 c
CRNF	1017.8 b	848.1 a	639.5 c	592.1 d	698.3 b	106.82 a	58.31 b	29.88 d	42.81 c	37.42 e
70% CRNF	1038.4 b	1025.4 a	737.4 a	707.3 b	741.9 b	68.61 c	59.19 b	57.14 a	25.73 d	51.12 d
50% CRNF + M	1245.3 a	1055.5 a	769.4 a	719.1 b	837.6 a	100.49 a	67.76 a	43.40 c	66.49 a	73.63 a

表中同列相同字母表示差异显著性未达到 5% 显著性水平

2.3 土壤微生物碳、氮占土壤有机碳、全氮的百分比

微生物碳/有机碳称为微生物商(SMBC/TOC),微生物商是衡量一个生态系统土壤有机碳积累或损失的一个重要指标,该值高则表示土壤碳的积累。微生物商是一个比值,它能够避免在使用绝对量或对不同有机质含量的土壤进行比较时出现的一些问题,因而土壤微生物商能够较为准确地反映土地利用和管理措施对土壤的影响^[15-16]。结果表明(表 2),水稻生长期间,土壤微生物商在 3.13%—5.92% 间波动。施肥后 10 d,各处理(70% CRNF 除外)稻田土壤微生物商最大,施氮肥处理土壤微生物商高于不施氮处理,此后随生育进程呈下降趋势,生育后期略有上升。绝大多数取样时期,3 个施用控释氮肥的处理土壤微生物商高于施用尿素处理,而施氮量较高的 Urea 和 CRNF 处理土壤微生物商低于节氮控释氮肥处理(70% CRNF 和 50% CRNF + M)。土壤微生物商值以配施有机肥的控释氮肥节氮处理(50% CRNF + M)最大。表明施用控释氮肥能一定程度提高土壤有机碳在微生物中的固定,但增加用氮量未必能促进土壤微生物对土壤有机碳的固持,而有机肥的投入能明显提高有机碳在微生物中的固定。稻田土壤微生物生物量氮占全氮(SMBN/TN)的百分比在施肥后 10 d 达最高,随着水稻的生育进程,根系吸收土壤氮素养分的能力增强,土壤微生物生物量氮的减少,其占土壤全氮的百分比也逐渐下降,但各处理下降程度不一。CK 最早降至最低,施肥 20 d 时就已降至

1.43%,说明对照土壤氮素处于缺乏状态。除 70% CRNF 处理在施肥后 60d 降至最低(1.21%)外,其他施肥处理在水稻生育中期(施肥后 40d)降至最低。整个生育期的 SMBN/TN 平均值顺序为:Urea < CK < 70% CRNF < CRNF < 50% CRNF + M。

表 2 早稻生育期间土壤微生物商动态/%

Table 2 Dynamic of soil microbial quotient at different growth stages of early rice

处理 Treatment	取样时间 Sampling time					平均
	10d	20d	40d	60d	70d	
CK	4.19	3.93	3.71	4.01	3.13	3.79
Urea	4.49	3.90	3.65	3.29	3.38	3.74
CRNF	4.91	4.09	3.20	3.30	3.35	3.77
70% CRNF	4.81	4.99	3.93	3.75	3.76	4.25
50% CRNF + M	5.92	5.28	3.77	3.65	4.27	4.58

表中同列相同字母表示差异显著性未达到 5% 显著性水平

表 3 早稻生育期间土壤 SMBN/TN 动态/%

Table 3 Percentages of SMBN to TN at different growth stages of early rice

处理 Treatment	取样时间 Sampling time					平均
	10d	20d	40d	60d	70d	
CK	2.34	1.43	2.28	2.59	2.91	2.31
Urea	3.64	1.76	1.68	1.68	2.45	2.24
CRNF	4.60	2.42	1.34	2.14	1.60	2.42
70% CRNF	2.93	2.64	2.63	1.21	2.29	2.34
50% CRNF + M	4.34	2.90	1.86	3.00	3.27	3.07

表中同列相同字母表示差异显著性未达到 5% 显著性水平

2.4 控释氮肥对稻田土壤微生物生物量碳氮比的影响

SMBC/SMBN 比通常用来表征土壤微生物群落结构特征,可用作土壤氮素供应能力和有效性的评价指示^[17]。本试验结果表明水稻各生育期内土壤 SMBC/SMBN 比在 9—29 之间变化,其比值高于其他研究者的报道^[18],这可能与植物根系活动和土壤有效养分有关。施肥后 10—20 d,测得施氮肥处理土壤 SMBC/SMBN 比低于对照(表 4),说明施氮肥处理土壤氮素的有效性较高。随着水稻生育进程的推进,水稻吸氮量不断增加,土壤有效氮含量逐渐下降,土壤微生物量氮转化为土壤有效氮供水稻吸收利用,各处理土壤 SMBC/SMBN 比增大,除 CK 处理和 70% CRNF 处理外,其他处理土壤 SMBC/SMBN 比在施肥后 40 d 升至最高。生育后期,各处理土壤 SMBC/SMBN 比均有不同程度下降。水稻根系周围微生物种群以细菌为主^[19],而真菌的生物量又较大,且不同种群的 C/N 比不一样^[20],微生物区系中细菌和真菌的比例不同,必将导致 SMBC/SMBN 比的不同。

表 4 控释氮肥对水稻生长期间稻田土壤 SMBC/SMBN 比的影响

Table 4 Effect of controlled release nitrogen fertilizer on paddy soil SMBC/SMBN ratio at different growth stages of early rice

处理 Treatment	取样时间 Sampling time				
	10d	20d	40d	60d	70d
CK	16.19 a	25.34 a	14.22 c	14.16 bc	9.76 d
Urea	11.12 b	19.29 b	19.45 ab	17.96 b	12.16 c
CRNF	9.53 c	14.65 c	21.44 a	13.87 c	18.67 a
70% CRNF	15.17 a	17.35 bc	12.93 c	28.04 a	14.52 b
50% CRNF + M	12.41 b	15.70 c	17.75 b	10.96 c	11.38 cd

表中同列相同字母表示差异显著性未达到 5% 显著性水平

3 讨论

本研究发现,试验各处理土壤微生物生物量碳和氮(SMBC、SMBN)在水稻的生育过程中均表现为施肥初期升高,随生育进程推进逐渐下降,成熟期有一定回升的变化趋势,这与曾路生^[21]报道一致,这一变化趋势的产生与水稻对养分的吸收,土壤微生物活动以及外界气温的变化有关^[22]。施肥初期(10),各施氮肥处理土壤微生物量碳、氮达到最高。其主要原因有:①施入土壤的氮肥迅速释放,土壤矿质氮含量达到最高^[23];②此时水稻正处于苗期,生长缓慢,对土壤养分的吸收能力很弱;③随着作物根系的成活,根系分泌物增多,为微生物的活动增加了能源;④土壤温度的上升,根系周围土壤微生物活性迅速增强,土壤微生物对土壤中氮素开始固持,使土壤微生物生物量增加。随着水稻生育进程的推进,水稻对土壤氮素养分的需求量迅速增加,肥料释放出来可供吸收的氮素含量下降,土壤微生物量氮成为植物有效氮的重要储备^[24],水稻生育中后期,各施氮处理 SMBN 和 SMBC 呈现急剧下降趋势。成熟期(施肥后 70 d),各处理土壤微生物生物量稍有回升。主要原因是水稻成熟后,地下根系逐渐衰老死亡,稻株通过根系分泌物和残体向土壤提供有机碳、氮,促进微生物生长,从而增加土壤微生物生物量碳、氮含量^[25]。

施用控释氮肥能提高土壤微生物生物量碳、氮含量,提高土壤有机碳的积累和土壤有效氮库储备量满足水稻生育中后期需要,同时降低了肥料氮素的损失。控释氮肥与有机肥配施,不仅更能节约氮肥用量,而且提高土壤微生物生物量碳、氮含量效果更显著。

施肥初期(10—20 d),施氮量相等的控释氮肥处理(CRNF)土壤微生物生物量碳、微生物商、微生物生物量氮显著高于尿素处理(Urea),同时控释氮肥处理(CRNF)明显降低了农田水中氮素含量^[4],减少了肥料氮素损失并降低农业面源污染;在水稻生育中期,CRNF 处理土壤 SMBN 含量下降幅度较 Urea 和 CK 处理大,甚至出现 CRNF 处理土壤 SMBN 含量低于 Urea 和 CK 处理的情况。究其原因:①控释氮肥处理水稻地上部吸氮量显著和极显著高于 Urea 和 CK 处理,土壤微生物加速自身矿化来满足水稻生长的需求;②CK 处理土壤固氮菌的数量明显高于其他处理^[19],在不施肥的情况下,土壤微生物也能通过固氮作用,为作物提供一定量的氮素养分,并维持土壤微生物生物量氮的稳定^[26]。生育后期(施肥后 70 d)CRNF 处理土壤 SMBN 含量略有下降,其他各处理均有不同程度增加。从表观上看,控释氮肥处理在水稻生育中后期能够向地上部提供较尿素处理更高量的氮素营养,从而较尿素处理提高水稻产量和氮肥利用率。控释氮肥处理土壤微生物生物量的变化特征,进一步证实了控释氮肥氮素养分的释放与水稻对氮素的吸收基本同步,为控释氮肥提高氮肥利用率提供了有利的理论依据。

施氮量较高的 Urea 和 CRNF 处理土壤 SMBC 含量均低于节氮控释氮肥处理(70% CRNF),而 Urea 和 CRNF 处理土壤 SMBN 含量却高于节氮控释氮肥处理(70% CRNF)。表明增施氮肥能一定程度的提高土壤 SMBN 的含量,但未必增加土壤 SMBC 含量。究其原因,一方面,可能是由于有机肥的使用给土壤投入了有机碳源,改善了土壤物理性状,大大刺激了土壤微生物活性,而单施化肥抑制微生物生活性,降低了土壤微生物生物量碳^[27];另一方面,施用化肥,尤其是无机氮来弥补土壤氮素的流失,会加速土壤原有有机碳的分解,降低土壤微生物生物量碳。水稻生育期内多数取样时期,配施有机肥的控释氮肥(50% CRNF + M)处理土壤微生物生物量碳、氮含量显著高于其他施氮处理。其主要原因可能是,C/N 比较高的腐熟猪粪的投入,增加了微生物可利用的有机碳源,可以使控释氮肥释放的无机氮尽可能的被同化到微生物体内,促使土壤微生物量碳、氮增加^[28]。

References:

- [1] Zheng S X, Liu D L, Nie J, Dai P A, Xiao J. Fate and recovery efficiency of controlled release nitrogen fertilizer in flooding paddy soil. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2004, 10(2): 137-142.
- [2] Luo L F, Zheng S X, Liao Y L, Nie J, Xie J, Xiang Y W. Effect of controlled release nitrogen fertilizer on protein quality of brawn rice and key enzyme activity involved in nitrogen metabolism in hybrid rice. *Chinese Journal of Rice Science*, 2007, 29(4): 318-321.
- [3] Yan X, Du L, Shi S, Xing G. Nitrous oxide emission from wetland rice soil as affected by the application of controlled-availability fertilizers and

- mid-season aeration. *Biology and Fertility of Soils*, 2000, 32: 60-66.
- [4] Ji X H, Zheng S X, Lu Y H, Liao Y L. Dynamics of floodwater nitrogen and its runoff loss, urea and controlled released nitrogen fertilizer application regulation in rice. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(12): 2521-2530.
- [5] Shen Q R, Yu L, Liu Z P, Mao Z S. Effect of combining application of organic and inorganic nitrogen fertilizers on biomass nitrogen and nitrogen supplying characteristics of coastal saline soil. *Acta Pedologica Sinica*, 1994, 31(3): 287-292.
- [6] Burger M, Jackson L E. Microbial immobilization of ammonium and nitrate in relation to ammonification and nitrification rates in organic and conventional cropping systems. *Soil Biol. Biochem.*, 2003, 35: 29-36.
- [7] Mary B, Recous S, Robin D. A method for calculating nitrogen fluxes in soil using ^{15}N tracing. *Soil Biology & Biochemistry*, 1998, 30: 1963-1979.
- [8] Wu J S, Lin Q M, Huang Q Y, Xiao H A. Soil Microbial biomass determination and its applications. Beijing: Meteorological Press, 2006: 65-74.
- [9] Inubushi K, Acquaye S, Tsukagoshi S, Shibahara F, Komatsu S. Effects of controlled release coated urea on soil microbial biomass N in paddy field examined by the ^{15}N tracer technique. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2002, 63: 291-300.
- [10] Chu H Y, Hosen Y, Yagi K, Okada K, Ito O. Soil microbial biomass and activities in a Japanese Andisol as affected by controlled release and application depth of urea. *Biol Fertil Soils*, 2005, 40: 1-8.
- [11] Wang F E, Chen Y X, Tian G M, Kumars S, He Y F, Fu Q L, Lin Q. Microbial biomass carbon, nitrogen and phosphorus in the soil profiles of different vegetation covers established for soil rehabilitation in a red soil region of southeastern China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2004, 68: 181-189.
- [12] Stark C, Condon L M, Stewart A, Di J H, O'Callaghan M. Effects of past and current crop management on soil microbial biomass and activity. *Biology and Fertility of Soils*, 2007, 43: 531-540.
- [13] Marinari S, Mancinelli R, Campiglia E, Grego S. Chemical and biological indicators of soil quality in organic and conventional farming systems in central Italy. *Ecological Indicators*, 2006, 6: 701-711.
- [14] Wang Y, Shen Q R, Shi R H, Huang D M. Changes of soil microbial biomass C, N and P and the N transformation after application of organic and inorganic fertilizers. *Acta Pedologica Sinica*, 1998, 35(2): 227-234.
- [15] Ren T Z, Grego S. Soil bioindicators in sustainable agriculture. *Scientia Agricultura Sinica*, 2000, 33(1): 68-75.
- [16] Franchini J C, Crispino C C, Souza R A, Torres E, Hungria M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, 2007, 92: 18-29.
- [17] Bai Z, Zhang M, Song D Y, Zhang D X. Effect of different fertilization on microbial community in arable mollisol. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, (7): 3244-3253.
- [18] Qiu S J, Peng P Q, Rong X M, Liu Q, Tang Q. Dynamics of soil microbial biomass and dissolved organic carbon and nitrogen under flooded condition. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(11): 2052-2058.
- [19] Luo L F, Zheng S X, Nie J, Liao Y L, Xie J, Xiang Y W, Nie J. Effect of controlled release nitrogen fertilizer on soil microbe as well as its relation to soil nitrogen fertility. *Journal of Hunan Agricultural University*, 2007, 35(5): 609-615.
- [20] Bailey V L, Smith J L, Bolton H J. Fungal-to-bacterial ratios in soils investigated for enhanced C sequestration. *Soil Biology & Biochemistry*, 2002, 34(7): 997-1007.
- [21] Zeng L S, Liao M, Huang C Y, Luo Y K, Xue D. Variation of soil microbial biomass and enzyme activities at different developmental stages in rice. *Chinese Journal of Rice Science*, 2005, 19(5): 441-446.
- [22] Li S Q, Li S X. Effects of organic materials on maintaining soil microbial biomass nitrogen. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(1): 136-142.
- [23] Xu M G, Sun X F, Zou C M, Qin D Z, Kazuyuki Y G, Yasukazu H. Effects and regional application of controlled-release fertilizer in paddy field of southern China. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11(4): 487-493.
- [24] He Z L. Soil microbial biomass and its significance in soil nutrition cycling and soil environment quality assessment. *Soils*, 1997(2): 61-69.
- [25] Goyal S, Chander K, Mundra M C, Kapoor K K. Influence of inorganic fertilizers and organic amendments on soil organic matter and soil microbial properties under tropical conditions. *Biology and Fertility of Soils*, 1999, 29: 196-200.
- [26] Chen G C, He Z L, Huang C Y. Turnover of microbial biomass C in red soils and its significance in soil fertility evaluation. *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39: 152-160.
- [27] Cao Z P, Hu C, Ye Z N, Wu W L. Impact of soil fertility maintaining practice on microbial biomass carbon in high production agro-ecosystem in northern China. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(5): 1486-1493.
- [28] Li G T, Zhang B G, Li B G. Effect of straw pretreatment on soil microbial biomass and respiration activity. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(12): 2225-2228.

参考文献:

- [1] 郑圣先,刘德林,聂军,戴平安,肖剑. 控释氮肥在淹水稻田土壤上的去向及利用率. 植物营养与肥料学报,2004, 10(2):137-142.
- [2] 罗兰芳,郑圣先,廖育林,聂军,谢坚,向艳文. 控释氮肥对水稻氮代谢关键酶活性及糙米蛋白质含量的影响. 中国水稻科学, 2007, 29(4): 318-321.
- [4] 纪雄辉,郑圣先,鲁艳红,廖育林. 施用尿素和控释氮肥的双季稻田表层水氮素动态及其径流损失规律. 中国农业科学,2006,39(12): 2521-2530.
- [5] 沈其荣,余玲,刘兆普,茆泽圣. 有机无机肥料配合施用对滨海盐土土壤生物量态氮及土壤供氮特征的影响. 土壤学报, 1994, 31(3): 287-292.
- [8] 吴金水,林启美,黄巧云,肖和艾. 土壤微生物生物量测定方法及其应用. 北京:气象出版社,2006: 65-74.
- [14] 王岩,沈其荣,史瑞和,黄东迈. 有机、无机肥料施用后土壤微生物量 C、N、P 的变化及氮素转化. 土壤学报, 1998, 35(2): 227-234.
- [15] 任天志, Stefano Grego. 持续农业中的生物指标研究. 中国农业科学, 2000, 33(1): 68-75.
- [17] 白震,张明,宋斗妍,张旭东. 不同施肥对农田黑土微生物群落的影响. 生态学报, 2008, (7):3244-3253.
- [18] 仇少君,彭佩钦,荣湘民,刘强,唐麒. 淹水培养条件下土壤微生物生物量碳、氮和可溶性有机碳、氮的动态. 应用生态学报,2006,17(11):2052-2058.
- [19] 罗兰芳,郑圣先,聂军,廖育林,谢坚,向艳文,聂军. 控释氮肥对稻田土壤微生物的影响及其与土壤氮素肥力之间的关系. 湖南农业大学学报,2007,35(5): 609-615.
- [21] 曾路生,廖敏,黄昌勇,罗运阔,薛冬. 水稻不同生育期的土壤微生物量和酶活性的变化. 中国水稻科学, 2005, 19(5): 441-446.
- [22] 李世清,李生秀. 有机物料在维持土壤微生物体氮库中的作用. 生态学报, 2001, 21(1): 136-142.
- [23] 徐明岗,孙小凤,邹长明,秦道珠,八木一行,宝川靖和. 稻田控释氮肥的施用效果与合理施用技术. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(4): 487-493.
- [24] 何振立. 土壤微生物量及其在养分循环和环境质量评价中的意义. 土壤, 1997(2): 61-69.
- [26] 陈国潮,何振立,黄昌勇. 红壤微生物生物量 C 周转及其研究. 土壤学报,2002,39:152-160.
- [27] 曹志平,胡诚,叶钟年,吴文良. 不同土壤培肥措施对华北高产农田土壤微生物生物量碳的影响. 生态学报,2006,26(5): 1486-1693.
- [28] 李贵桐,张宝贵,李保国. 秸秆预处理对土壤微生物量及呼吸活性的影响. 应用生态学报, 2003,14(12): 2225-2228.