

长期施肥对黄壤旱地及水田土壤微生物生物量碳、氮的影响

安世花¹, 罗安焕¹, 王小利¹, 夏东¹, 王兴凯¹,
段建军², 张雅蓉³, 蒋太明³

(1. 贵州大学农学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州大学烟草学院/贵州省烟草品质研究重点实验室, 贵州 贵阳 550025; 3. 农业部贵州耕地保育与农业环境科学观测试验站, 贵州 贵阳 550006)

摘要:为揭示长期施肥条件下黄壤旱地、水田土壤微生物生物量碳(SMBC)和土壤微生物生物量氮(SMBN)的差异及其影响因素,以长期定位施肥、集旱地水田为一体的贵州黄壤肥力与肥料效益监测基地为依托,采用氯仿熏蒸-K₂SO₄提取法,研究长期不施肥(CK)、单施化肥(NPK)、单施有机肥(M)、低量有机无机肥配施(0.5MNPK)、高量有机无机肥配施(MNPK)对旱地、水田 SMBC、SMBN 的影响,探讨黄壤合理利用的培肥措施。结果表明,与 CK 相比,旱地、水田土壤 SMBC 含量分别以 MNPK、M 处理的提高效果最好。相同施肥条件下,水田的 SMBC 含量是旱地的 2.5~3.7 倍。长期施用化肥、有机肥均能使 SMBN 含量增加,且均以 M 处理的提高效果最好。旱地、水田 M 处理的 SMBN 含量分别为 72.97、152.54 mg/kg。相同施肥条件下,水田的 SMBN 含量均比旱地高,且是旱地的 2.0~4.7 倍。不同施肥处理下,旱地、水田的有机碳(SOC)、全氮(TN)含量均以 MNPK 处理最高,旱地、水田的微生物熵(qMB)分别介于 0.52%~0.94%、1.87%~2.49%,旱地、水田的 SMBN/TN 值分别介于 0.59%~2.75%、2.71%~5.61%,旱地、水田的 SMBC/SMBN 值分别介于 4.27~9.26、5.79~7.37。综上,M 和 MNPK 处理是旱地、水田有效培肥措施。相同施肥条件下,水田的 SMBC、SMBN、SOC、TN 含量及 qMB、SMBN/TN 值均高于旱地。

关键词:长期施肥;旱地;水田;土壤微生物生物量;微生物熵

中图分类号: S154.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2019)06-0073-08

Effects of Long-term Fertilization on Soil Microbial Biomass Carbon and Nitrogen in Dryland and Paddy Field of Yellow Soil

AN Shihua¹, LUO Anhuan¹, WANG Xiaoli¹, XIA Dong¹, WANG Xingkai¹,
DUAN Jianjun², ZHANG Yarong³, JIANG Taiming³

(1. College of Agronomy, Guizhou University, Guiyang 550025, China;
2. College of Tobacco Science, Guizhou University/Guizhou Key Laboratory for Tobacco Quality, Guiyang 550025, China; 3. Field Monitoring Experimental Station for Cultivated Land Preservation and Agro-environment in Guizhou, Ministry of Agriculture, Guiyang 550006, China)

Abstract: In order to reveal the differences and the influencing factors of soil microbial biomass carbon (SMBC) and soil microbial biomass nitrogen (SMBN) in yellow soil dryland and paddy field under long-

收稿日期:2018-12-23
基金项目:国家自然科学基金项目(31860160,41361064);贵州省普通高等学校特色重点实验室建设项目(黔教合 KY 字[2016]001);贵州大学研究生教育创新基地建设项目(贵大研 SJJ[2015]004);贵州省农业科学院自主创新专项(黔农科院自主创新专项 2014007 号);贵州省联合基金项目(黔科合 LH 字[2015]7079 号)
作者简介:安世花(1992-),女,贵州麻江人,在读硕士研究生,研究方向:土壤有机碳矿化与分组。
E-mail:2282794706@qq.com
通信作者:王小利(1979-),女,山西吕梁人,副教授,博士,主要从事长期施肥条件下土壤有机碳演变研究。
E-mail:xlwang@gzu.edu.cn

term fertilization conditions, relied on the Guizhou yellow soil fertilizer benefit monitoring, which based on long-term locating fertilization, dryland and paddy field as a whole, used the chloroform fumigation- K_2SO_4 extraction method, studied the effect of long-term no fertilizer (CK), signal application of chemical fertilizer (NPK), signal application of organic manure (M), low application amount of organic manure combined with chemical fertilizer (0.5MNPK), high application amount of organic manure combined with chemical fertilizer (MNPK) on SMBC, SMBN of dryland, paddy field, and discussed the rational use of fertilization measures of yellow soil. The results showed that, compared with CK, the enhancement effect of SMBC content in dryland and paddy field was the best with MNPK and M treatments. Under the same fertilization condition, the SMBC content in paddy field was 2.5—3.7 times of that in dryland. Long-term application of chemical fertilizer, organic manure could increase the content of SMBN, and the enhancement effect of M treatment was the best. The SMBN content of M treatment in dryland, paddy field were 72.97, 152.54 mg/kg, respectively. Under the same fertilization condition, the SMBN content in paddy field was higher than that in dryland, and it was 2.0—4.7 times of that in dryland. Under different fertilization treatments, soil organic carbon (SOC) content and total nitrogen (TN) content in dryland and paddy field were the highest with MNPK treatment. The microbial entropy (qMB) of dryland and paddy field ranged 0.52%—0.94%, 1.87%—2.49%, respectively, SMBN/TN value of dryland and paddy field ranged 0.59%—2.75%, 2.71%—5.61%, respectively, and SMBC/SMBN value of dryland and paddy field ranged from 4.27—9.26, 5.79—7.37, respectively. In summary, M and MNPK treatments were effective fertilization measures in dryland and paddy field. Under the same fertilization treatment, the SMBC content, SMBN content, SOC content, TN content, qMB value, SMBN/TN value in paddy field were higher than that in dryland.

Key words: Long-term fertilization; Dryland; Paddy field; Soil microbial biomass; qMB

土壤有机质是土壤肥力的重要指标,而微生物作为土壤有机质与养分转化和循环的驱动力,可以反映土壤有效养分状况及其生物活性^[1-2]。微生物生物量是指土壤有机质中有生命的成分,以土壤微生物生物量碳 (SMBC)、土壤微生物生物量氮 (SMBN) 最具代表,反映土壤能量循环和养分的转移与运输。微生物熵 (qMB) 是指 SMBC 含量与土壤有机碳 (SOC) 含量的比值,能够反映土壤中的 SOC 向 SMBC 转化的效率,指示土壤的健康变化情况^[3-4]。

SMBC、SMBN 作为土壤质量的生物学指标^[5],其含量受温度、水分、pH 值、土地利用方式、施肥等因素的影响^[6-9]。国内外关于土壤微生物的研究较多,如 BOLAN 等^[10] 研究表明,有机肥替代部分化肥,不仅能为作物提供丰富的微量元素,还能调节土壤水分、养分、空气质量、土壤温度、微生物活性。LI 等^[11] 就施肥对黏壤土微生物特性的影响进行研究,结果表明,与单施化肥相比,不同有机肥配施 (猪粪+化肥、玉米秸秆还田+化肥、猪粪+玉米秸秆还田+化肥) 均能提高土壤微生物活性,也提高了 SMBC、SMBN 含量、SMBC/SMBN 值、qMB 值。同时,LI 等^[12] 研究表明,与不施肥相比,单施化肥、猪粪有机肥配施化肥、玉米秸秆配施化肥均能增加潮

土中 SMBC、SMBN 含量、qMB 值及 SMBC/SMBN 值,而高量猪粪有机肥配施化肥的效果最好。LOVELL 等^[13] 研究显示,草地 (粉质黏壤土) 不施肥处理的 SMBC、SMBN 含量显著高于施氮肥处理,其原因可能是短期 (1 a) 试验中,微生物量对施肥量变化的响应较小或根本不存在。GOYAL 等^[14] 研究表明,砂壤土 (69% 的沙子、17% 的淤泥、14% 的黏土) 中土壤有机质及可矿化碳、氮含量随施肥量增加而增加,而 SMBC、SMBN 含量以无机肥配施有机肥最高。侯化亭等^[15] 研究表明,SMBC、SMBN 含量受施肥水平和土壤碳、氮平衡的影响,且均随施肥量的增加呈现先增加后降低的趋势。徐一兰等^[1] 研究表明,与不施肥处理相比,长期不同施肥处理均能提高 SMBC、SMBN 含量和 qMB 值。王颖^[16] 研究表明,不同施肥处理对黄土 SMBC、SMBN 含量的影响差异较小,以有机肥、无机肥配施处理最高。姜佰文等^[17] 研究表明,在白浆土上有机肥、无机肥配施有利于提高 SMBC、SMBN 含量。柳玲玲等^[18] 和郭振等^[19] 研究表明,长期施肥均可提高黄壤旱地和水田 SMBC、SMBN 含量,其中,在旱地上长期施肥对 SMBC、SMBN 含量的影响趋势一致,均以有机肥、无机肥配施效果最好,在水田中 SMBC、SMBN 含量分别以有机肥、化肥配施处理及单施有机肥处理增加最多。

综上,国内外关于长期施肥对 SMBC、SMBN 含量的影响研究较多,而针对于黄壤旱地和水田的研究,则由于采样年份和测定方式的不同,可比性不强。鉴于此,本研究依托贵州黄壤肥力与肥料效益监测基地的旱地、水田长期施肥试验结果,探明不同施肥处理对黄壤旱地、水田 SMBC、SMBN 含量影响的差异,为贵州黄壤旱地和水田的养分管理提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验地位于贵州省农业科学院内(106°07'E、26°11'N),地处黔中丘陵区,平均海拔 1 071 m。气候温和、热量丰富,且热、水、光同期,属亚热带季风气候。年平均气温 15.3℃,年平均日照时数约 1 354 h,相对湿度 75.5%,全年无霜期约 270 d,年降雨量 1 100~1 200 mm。旱地、水田长期试验地的

成土母质分别为三叠系灰岩与砂页岩残积物、第四纪沉积物,旱地、水田长期试验均于 1995 年开始实施。

种植模式分别为单季玉米和单季水稻,其中旱地长期试验地种植玉米品种为交 3 单交(1995—1998 年)、黔单 10 号(1999—2000 年、2002—2003 年)、农大 108(2001 年)、黔玉 2 号(2004—2005 年)、黔单 16 号(2006—2012 年)、金玉 818(2013—2014 年)、中农大 239(2015 年)。由于试验基地灌溉设施损毁,2002—2006 年,水田长期试验地无法种植水稻,改种玉米。2007 年开始改种水稻,水稻品种为金麻粘(1993—1998 年)、农虎禾(1999—2001 年)、香两优 875(2007—2008 年)、汕优联合 2 号(2009 年)和茂优 601(2010—2015 年)。耕层(0~20 cm)初始土壤基本性质见表 1。

表 1 初始土壤基本性质
Tab. 1 Basic characteristics of initial soil

土壤类型 Soil type	土壤有机质含量/(g/kg) Soil organic matter content	TN 含量/(g/kg) Total nitrogen content	全磷含量/(g/kg) Total phosphorus content	全钾含量/(g/kg) Total potassium content	碱解氮含量/(mg/kg) Alkaline nitrogen content	有效磷含量/(mg/kg) Available phosphorus content	有效钾含量/(mg/kg) Available kalium content	pH
旱地 Dryland	15.15	0.85	0.71	13.29	67.90	15.90	109.20	5.39
水田 Paddy field	31.15	1.76	2.30	13.84	134.44	21.05	157.89	6.60

1.2 试验设计

旱地、水田长期施肥处理试验分别设 12、11 个处理,旱地、水田试验小区面积分别为 340、201 m²。采用大区对比试验,不设重复,所施化肥为尿素(含 N 46%)、普钙(含 P₂O₅ 16%)、氯化钾(含 K₂O 60%),所施有机肥为牛廐肥(含 C 413.8 g/kg、N 2.7 g/kg、P₂O₅ 1.3 g/kg、K₂O 6.0 g/kg)。每年根据有机肥的养分含量来调节化学氮肥的施用量,除处理 MNPK 外,其余施氮小区的氮肥施用量相同。在玉米、水稻

播种前,各处理按照试验方案施肥,并在各生长期再追施 2 次尿素。玉米于每年 4 月份播种,8 月中下旬收获,玉米秸秆及根茬直接还田,其余时间休闲。水稻于每年 4 月份插秧,10 月中下旬收获,其他时间休闲。旱地和水田各处理施肥量见表 2。

本研究从中各选取 5 个不同施肥处理:不施肥(CK)、单施化肥(NPK)、单施有机肥(M)、低量有机无机肥配施(0.5MNPK)和高量有机无机肥配施(MNPK)。

表 2 旱地和水田不同处理施肥量
Tab. 2 Fertilization amount of different treatments in dryland and paddy field

处理 Treatment	旱地 Dryland				水田 Paddy field			
	牛廐肥 Cow manure	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	牛廐肥 Cow manure	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
CK	0	0	0	0	0	0	0	0
NPK	0	330	165	165	0	165	83	83
M	30 555	330	159	733	61 100	165	80	337
0.5MNPK	15 278	330	162	449	30 600	165	81	225
MNPK	30 555	660	324	898	61 100	330	162	449

1.3 测定指标和方法

2017 年,在玉米、水稻收获后采集土壤样品。

将每个大区分为 3 个小区,每个小区以“S”形取 5 个点的耕层(0~20 cm)土壤,混合均匀后作为 1 次

重复,共取 3 个重复。捡除土壤中动物残体、植物落叶、根系、大颗粒石头后将土壤分为两部分。一部分过 2 mm 筛存于 4 ℃ 冰箱,用于测定 SMBC、SMBN 含量。另一部分风干后过 0.25 mm 筛,用于测定土壤 TN、SOC 含量。土壤 SOC 含量采用外加热重铬酸钾氧化法测定,土壤 TN 含量采用凯氏定氮法测定^[20],SMBC、SMBN 含量采用氯仿熏蒸-0.5 mol/L K₂SO₄ 浸提法测定^[21-22],SMBC、SMBN 的换算系数分别为 0.45、0.54^[20,23-24],qMB 值为 SMBC 含量与 SOC 含量的比值^[3-4]。

1.4 数据处理

采用 Excel 2010、SPSS 19.0 进行数据的整理和方差分析。不同处理之间采用 LSD 法进行多重比较。

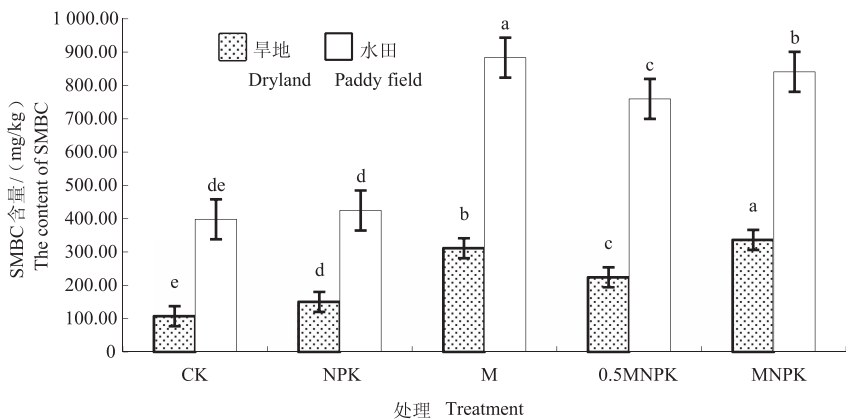
2 结果与分析

2.1 长期不同施肥处理对旱地、水田 SMBC 含量的影响

如图 1 所示,长期不同施肥处理下,旱地、水田的 SMBC 含量分别介于 107.35 ~ 336.36 mg/kg、

398.17 ~ 883.33 mg/kg。旱地不同 (CK、NPK、M、0.5MNPk、MNPk) 处理之间和水田施有机肥 (M、0.5MNPk、MNPk) 处理之间的 SMBC 含量均存在显著差异,水田 CK 和 NPK 处理的 SMBC 含量之间差异不显著。在相同处理条件下,水田的 SMBC 含量远高于旱地,其中,水田 CK、NPK、M、0.5MNPk、MNPk 处理的 SMBC 含量依次是旱地的 3.7、2.8、2.8、3.4、2.5 倍。

旱地、水田 CK 的 SMBC 含量分别为 107.35、398.17 mg/kg,与 CK 相比,施用有机肥 (M、0.5MNPk、MNPk) 处理的 SMBC 含量增加较多,其中,旱地 M、0.5MNPk、MNPk 处理的 SMBC 含量比 CK 分别提高了 189%、109%、213%;水田 M、0.5MNPk、MNPk 处理的 SMBC 含量比 CK 分别提高了 121%、91%、111%。SMBC 含量随有机肥施入量的增加而增加;施用化肥 (NPK) 处理的 SMBC 含量与 CK 相比增加较少,NPK 处理旱地、水田的 SMBC 含量比 CK 分别提高了 40%、6%。旱地 MNPk 处理提高 SMBC 含量的效果最好,水田 M 处理提高 SMBC 含量的效果最好。



不同小写字母表示同一土壤类型不同处理间差异显著 ($P < 0.05$),下同

Different lowercase letters indicate significant differences among different treatments of same soil type ($P < 0.05$), the same below

图 1 长期不同施肥处理对旱地、水田 SMBC 含量的影响

Fig. 1 Effects of different long-term fertilization treatments on content of SMBC in dryland and paddy field

2.2 长期不同施肥处理对旱地、水田 SMBN 含量的影响

如图 2 所示,旱地、水田的 SMBN 含量分别介于 11.61 ~ 72.97 mg/kg、54.22 ~ 152.54 mg/kg,且旱地、水田的 SMBN 含量在不同处理间的变化趋势相同,均以施用有机肥 (M、0.5MNPk、MNPk) 处理提高 SMBN 含量的效果较好,其中,以 M 处理的提高效果最好,旱地、水田 M 处理 SMBN 含量分别为 72.97、152.54 mg/kg。长期不同施肥处理下,旱地、水田的 SMBN 含量之间均存在显著差异。旱地、水田 CK 的 SMBN 含量分别为 11.61、54.22 mg/kg,施

用化肥 (NPK) 处理和施用有机肥 (M、0.5MNPk、MNPk) 处理的 SMBN 含量均显著高于 CK,旱地 NPK、M、0.5MNPk、MNPk 处理的 SMBN 含量分别是 CK 的 2.0、6.3、4.5、5.0 倍,水田 NPK、M、0.5MNPk、MNPk 处理的 SMBN 含量分别是 CK 的 1.3、2.8、1.9、2.3 倍。以上结果表明,长期施用化肥、有机肥均能使 SMBN 含量增加,但施用化肥增加的幅度不高,以单施有机肥增加效果最好。在相同处理条件下,旱地和水田间的 SMBN 含量差别较大,水田的 SMBN 含量均比旱地高,其中,水田 CK、NPK、M、0.5MNPk、MNPk 处理的 SMBN 含量依次是旱地的

4.7、3.1、2.1、2.0、2.1 倍。

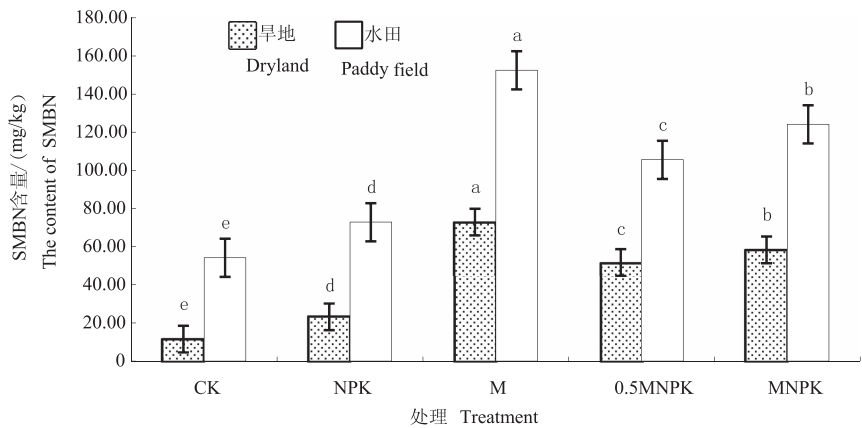


图 2 长期不同施肥处理对旱地、水田 SMBN 含量的影响

Fig. 2 Effects of different long-term fertilization treatments on content of SMBN in dryland and paddy field

2.3 长期不同施肥处理对旱地、水田土壤各属性指标的影响

如表 3 所示,长期不同施肥处理下,旱地、水田的 SOC、TN 含量均随有机肥施入量的增加而增加,且均以 MNPK 处理最高,旱地、水田 MNPK 处理的 SOC 含量分别为 35.74、42.05 g/kg,旱地、水田 MNPK 处理的 TN 含量分别为 2.83、2.98 g/kg;旱地 NPK 处理的 SOC、TN 含量低于 CK,且差异不显著。同一处理条件下,旱地的 SOC、TN 含量均低于水田,水田各处理的 SOC 含量比旱地高 3.9%~17.7%。

旱地、水田的 qMB 值分别介于 0.52%~0.94%、1.87%~2.49%,且分别以 MNPK、0.5MNPK 处理最高。旱地 NPK、M、0.5MNPK、MNPK 处理的 qMB 值与 CK 相比,水田 M、0.5MNPK 处理的 qMB 值与 CK 相比,均差异显著。旱地 NPK 与 0.5MNPK 处理之间、M 与 MNPK 处理之间的 qMB 值差异均不显著。水田的 CK、NPK、MNPK 处理之间的 qMB 值差异不

显著。长期施肥处理下,旱地和水田的 SMBN/TN 值变化趋势一致,均以 M 处理最高(旱地、水田的 SMBN/TN 值分别为 2.75%、5.61%),其后依次是 0.5MNPK、MNPK、NPK 处理,CK 最低。旱地 NPK 处理的 SMBN/TN 值与 CK 相比,水田 NPK、0.5MNPK、MNPK 处理的 SMBN/TN 值与 CK 相比,均无显著差异;旱地 M、0.5MNPK、MNPK 处理的 SMBN/TN 值与 CK 相比,水田 M 处理的 SMBN/TN 值与 CK 相比,差异显著。旱地、水田的 SMBC/SMBN 值分别介于 4.27~9.26、5.79~7.37,不同处理对 SMBC/SMBN 值的影响各不相同,但均表现为施肥处理使 SMBC/SMBN 值降低,且均以 M 处理降低幅度最大。综上,在旱地和水田中,长期施肥处理均能提高 qMB 值和 SMBN/TN 值,旱地、水田的 qMB 值分别以 MNPK、0.5MNPK 处理最高,旱地、水田的 SMBN/TN 值均以 M 处理最高。而旱地、水田的 SMBC/SMBN 值均因施肥呈下降趋势。

表 3 长期不同施肥处理对旱地、水田土壤各属性指标的影响

Tab. 3 Property index of different long-term fertilization treatments on dryland and paddy field

土壤类型	处理	SOC 含量/(g/kg)	TN 含量/(g/kg)	qMB/%	SMBN/TN/%	SMBC/SMBN
Soil type	Treatment	SOC content	TN content			
旱地	CK	20.53 ± 1.37c	1.97 ± 0.11c	0.52 ± 0.03c	0.59 ± 0.05b	9.26 ± 0.34a
	NPK	20.38 ± 0.98c	1.96 ± 0.17c	0.74 ± 0.03b	1.22 ± 0.30b	6.47 ± 0.26b
	M	34.09 ± 1.98a	2.76 ± 0.13a	0.92 ± 0.05a	2.75 ± 0.66a	4.27 ± 0.19d
	0.5MNPK	28.78 ± 1.41b	2.27 ± 0.12b	0.78 ± 0.04b	2.37 ± 0.60a	4.33 ± 0.17d
	MNPK	35.74 ± 1.54a	2.83 ± 0.17a	0.94 ± 0.04a	2.17 ± 0.63a	5.78 ± 0.37c
水田	CK	21.32 ± 1.59c	2.01 ± 0.21c	1.87 ± 0.12c	2.71 ± 0.13b	7.37 ± 0.48a
	NPK	22.09 ± 2.36c	2.02 ± 0.13c	1.94 ± 0.21c	3.76 ± 0.83ab	5.83 ± 0.13c
	M	39.68 ± 1.59a	2.84 ± 0.08a	2.23 ± 0.10b	5.61 ± 1.56a	5.79 ± 0.08c
	0.5MNPK	30.52 ± 1.02b	2.34 ± 0.12b	2.49 ± 0.07a	4.74 ± 1.38ab	6.44 ± 0.22b
	MNPK	42.05 ± 0.63a	2.98 ± 0.05a	2.00 ± 0.03c	4.38 ± 1.16ab	6.77 ± 0.24b

注:不同小写字母表示同一土壤类型不同处理间差异显著(P<0.05)。
Note: Different lowercase letters indicate significant differences among different treatments of same soil type(P<0.05)。

3 结论与讨论

本研究依托长期定位施肥,集旱地、水田为一体的贵州黄壤肥力与肥料效益监测基地。与 CK 相比,旱地不同施肥处理、水田施用有机肥处理均可显著提高土壤 SMBC 含量,旱地、水田不同施肥处理的 SMBN 含量与 CK 相比均显著提高。与 NPK 处理相比,旱地、水田 M、0.5MNPK、MNPK 处理的 SMBC、SMBN 含量都有较大提升,其中,旱地、水田的 SMBC 含量分别以 MNPK、M 处理最高,SMBN 含量均以 M 处理最高。其原因是有机肥的施用不仅为微生物提供外来碳、氮源,提高微生物活性,还改善土壤微生物的生存环境。长期施用有机肥可促进旱地、水田 SMBC、SMBN 的形成,与对黑土、红壤、黑潮土、褐土、黑垆土研究的结论基本一致^[25-29]。

旱地、水田 SOC、TN 含量随有机肥的施入量的增加而增加,且施有机肥(M、0.5MNPK、MNPK)处理的 SOC、TN 含量高于施化肥(NPK)处理,均以 MNPK 处理的 SOC、TN 含量最高(旱地 MNPK 处理的 SOC、TN 含量分别为 35.74、2.83 g/kg,水田 MNPK 处理的 SOC、TN 含量分别为 42.05、2.98 g/kg);旱地、水田施有机肥(M、0.5MNPK、MNPK)处理的 SOC、TN 含量与 CK 相比均存在显著差异,施化肥(NPK)处理的 SOC、TN 含量与 CK 相比差异不显著。本研究中,旱地 SOC、TN 含量变化趋势与张雅蓉等^[30]结论一致,以 NPK 处理最低,其原因可能是施用化肥会明显加快土壤有机质的分解,SOC、TN 含量相应降低;水田 SOC、TN 含量变化趋势与郭振等^[19]、王小利等^[31]研究结果一致。

qMB 值主要受土壤类型、耕作措施、土壤理化性质的影响,其值越大,表明能被微生物固定的 SOC 越多,SOC 的周转速率就越快^[3,32]。SMBN/TN 值可以反映微生物对土壤有效氮素的利用效率^[33]。本研究中,旱地、水田的 qMB 值分别介于 0.52%~0.94%、1.87%~2.49%,说明水田的生态环境有利于微生物活性的提高。旱地、水田的 SMBN/TN 值分别介于 0.59%~2.75%、2.71%~5.61%,说明水田中微生物对氮的利用率高于旱地。SMBC/SMBN 值的变化可以反映土壤中存在的主要微生物群落的种类^[13]。研究表明,细菌、放线菌、真菌的 SMBC/SMBN 值依次为 5:1、6:1、10:1^[11],有学者研究表明,SMBC/SMBN 值平均为 6.7:1^[34-35]。本研究中,旱地、水田的 SMBC/SMBN 值分别介于 4.27~9.26、5.79~7.37,且均以 M 处理最低。旱地 CK、NPK、M、0.5MNPK、MNPK 处理的 SMBC/SMBN 值

依次为 9.26、6.47、4.27、4.33、5.78,说明细菌、放线菌是旱地土壤的主要生物群,水田 CK、NPK、M、0.5MNPK、MNPK 处理的 SMBC/SMBN 值分别为 7.37、5.83、5.79、6.44、6.77,说明放线菌是水田土壤的主要生物群。长期施肥均能降低 SMBC/SMBN 值,M 处理下降最快,这是因为有机肥的施入提高了土壤碳源,土壤微生物活动相应加强,土壤微生物利用土壤氮素促进有机肥进一步降解,因此 SMBC/SMBN 值较低。

土壤中的碳、氮库是土壤碳、氮输入与输出平衡的结果^[36]。土壤 SOC、氮的输入来自凋落物、根系周转物和根系分泌物等,输出则主要通过呼吸形成二氧化碳。据我国第 2 次土壤普查结果显示,我国水田土壤碳密度是旱地土壤的 37.7%,且 SOC 储量和固碳潜力均高于旱地土壤^[37-39]。SMBC、SMBN、SOC、TN 含量的高低受多种因素的影响,不同土地利用方式会导致土壤的理化性质、碳氮库发生变化^[40-41],旱地、水田作物种植模式不同,也会影响土壤中碳、氮的变化。研究表明,玉米种植田土壤的 SOC 平衡量低于水稻田土壤^[30,42],说明旱地有机质的投入量低于水田,而输出量高于水田,从而导致土壤微生物生物量下降。本研究中,相同施肥条件下,水田的 SMBC、SMBN、SOC、TN 含量及 qMB、SMBN/TN 值高于旱地,依次是旱地的 2.5~3.7、2.0~4.7、1.04~1.18、1.02~1.05、2.13~3.60、2.00~4.59 倍。

综上,本研究中长期不同施肥处理均能提高旱地、水田的 SMBC、SMBN 含量。与 CK 相比,旱地、水田的 SMBC 含量分别以高量有机无机肥配施、单施有机肥处理增加最高,旱地、水田的 SMBN 含量均以单施有机肥处理增加最高。表明单施有机肥和高量有机无机肥配施是旱地、水田有效培肥措施。相同施肥条件下,水田 SMBC、SMBN、SOC、TN 含量及 qMB、SMBN/TN 值均高于旱地。

参考文献:

- [1] 徐一兰,唐海明,肖小平,等.长期施肥对双季稻田土壤微生物学特性的影响[J].生态学报,2016,36(18):5847-5855.
- [2] JENKINSON D S, DAVIDSON S A, POWLSON D S. Adenosine triphosphate and microbial biomass in soil[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1979, 11(5): 521-527.
- [3] 任天志, GREGO. 持续农业中的土壤生物指标研究[J]. 中国农业科学, 2000, 33(1): 68-75.
- [4] ZHANG H, ZHANG G L. Microbial biomass carbon and total organic carbon of soils as affected by rubber cultiva-

- tion[J]. *Pedosphere*, 2003, 13(4): 353-357.
- [5] SU P, LIU Y, WANG S, *et al.* Rapid estimation of microbial biomass in acid red soils with and without substrate incorporation[J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2018, 18(9): 2904-2913.
- [6] 张洋, 倪九派, 周川, 等. 三峡库区紫色土旱坡地桑树配置模式对土壤微生物生物量碳氮的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2014, 22(7): 766-773.
- [7] 李世清, 凌莉. 影响土壤中微生物体氮的因子[J]. *生态环境学报*, 2000, 9(2): 158-162.
- [8] ACIEGO PIETRI J C, BROOKES P C. Relationships between soil pH and microbial properties in a UK arable soil[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40(7): 1856-1861.
- [9] 蒋跃利, 赵彤, 闫浩, 等. 黄土丘陵区不同土地利用方式对土壤微生物量碳氮磷的影响[J]. *水土保持通报*, 2013, 33(6): 62-68.
- [10] BOLAN N S, ADRIANO D C, NATESAN R, *et al.* Effects of organic amendments on the reduction and phytoavailability of chromate in mineral soil[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2003, 32(1): 120-128.
- [11] LI C X, MA S C, SHAO Y, *et al.* Effects of long-term organic fertilization on soil micro-biologic characteristics, yield and sustainable production of winter wheat[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2018, 17(1): 210-219.
- [12] LI J, ZHAO B Q, LI X Y, *et al.* Effects of long-term combined application of organic and mineral fertilizers on microbial biomass, soil enzyme activities and soil fertility[J]. *Agricultural Sciences in China*, 2008, 7(3): 336-343.
- [13] LOVELL R D, JARVIS S C, BARDGETT R D. Soil microbial biomass and activity in long-term grassland: Effects of management changes[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1995, 27(7): 969-975.
- [14] GOYAL S, CHANDER K, MUNDRA M C, *et al.* Influence of inorganic fertilizers and organic amendments on soil organic matter and soil microbial properties under tropical conditions[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 1999, 29(2): 196-200.
- [15] 侯化亭, 张丛志, 张佳宝, 等. 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[J]. *土壤*, 2012, 44(1): 163-166.
- [16] 王颖. 长期施肥对旱地农田温室气体 N_2O 排放的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.
- [17] 姜佰文, 马晓东, 周宝库, 等. 有机无机肥料配施对土壤酶活性、微生物量及玉米产量影响[J]. *东北农业大学学报*, 2016, 47(5): 23-28.
- [18] 柳玲玲, 李渝, 蒋太明, 等. 长期不同施肥措施对黄壤微生物量碳及氮的影响[J]. *西南农业学报*, 2017, 30(3): 645-649.
- [19] 郭振, 王小利, 徐虎, 等. 长期施用有机肥增加黄壤稻田土壤微生物量碳氮[J]. *植物营养与肥料学报*, 2017, 23(5): 1168-1174.
- [20] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
- [21] 梁斌, 周建斌, 杨学云, 等. 长期施肥对土壤微生物生物量碳、氮及矿质态氮含量动态变化的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16(2): 321-326.
- [22] BROOKES P C, LANDMAN A, PRUDEN G, *et al.* Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1985, 17(6): 837-842.
- [23] JOERGENSEN R G. The fumigation-extraction method to estimate soil microbial biomass: Calibration of the k_{EC} value[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1996, 28(1): 25-31.
- [24] 林启美, 吴玉光, 刘焕龙. 熏蒸法测定土壤微生物量碳的改进[J]. *生态学杂志*, 1999, 18(2): 63-66.
- [25] 芦思佳, 韩晓增. 长期施肥对微生物量碳的影响[J]. *土壤通报*, 2011, 42(6): 1355-1358.
- [26] 孙凤霞, 张伟华, 徐明岗, 等. 长期施肥对红壤微生物生物量碳氮和微生物碳源利用的影响[J]. *应用生态学报*, 2010, 21(11): 2792-2798.
- [27] 刘恩科, 梅旭荣, 赵秉强, 等. 长期不同施肥制度对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2009, 14(3): 63-68.
- [28] 贾伟, 周怀平, 解文艳, 等. 长期有机无机肥配施对褐土微生物生物量碳、氮及酶活性的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(4): 700-705.
- [29] 臧逸飞, 郝明德, 张丽琼, 等. 26 年长期施肥对土壤微生物量碳、氮及土壤呼吸的影响[J]. *生态学报*, 2015, 35(5): 1445-1451.
- [30] 张雅蓉, 李渝, 刘彦伶, 等. 长期施肥对黄壤有机碳平衡及玉米产量的影响[J]. *土壤学报*, 2016, 53(5): 1275-1285.
- [31] 王小利, 周志刚, 郭振, 等. 长期施肥下黄壤稻田土壤有机碳和全氮的演变特征[J]. *江苏农业科学*, 2017, 45(14): 195-199.
- [32] 姬景红, 李杰, 李玉影, 等. 优化施肥对设施土壤微生物生物量碳氮的影响[J]. *黑龙江农业科学*, 2013

(9):31-35.

[33] 王传杰,肖婧,蔡岸冬,等. 不同气候与施肥条件下农田土壤微生物生物量特征与容量分析[J]. 中国农业科学,2017,50(6):1067-1075.

[34] ANDERSON J P E, DOMSCH K H. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils[J]. Soil Science,1980,130(4):211-216.

[35] 李新爱,肖和艾,吴金水,等. 喀斯特地区不同土地利用方式对土壤有机碳、全氮以及微生物生物量碳和氮的影响[J]. 应用生态学报,2006,17(10):1827-1831.

[36] 肖春旺,杨帆,柳隽瑶,等. 陆地生态系统地下碳输入与输出过程研究进展[J]. 植物学报,2017,52(5):652-668.

[37] 何婷婷,华璐,张振贤,等. 影响农田土壤有机碳释放的因子及固碳措施[J]. 首都师范大学学报(自然科学版),2007,28(1):66-72.

[38] 潘根兴,李恋卿,郑聚锋,等. 土壤碳循环研究及中国稻田土壤固碳研究的进展与问题[J]. 土壤学报,2008,45(5):901-914.

[39] 朱兆良. 中国土壤氮素研究[J]. 土壤学报,2008,45(5):778-783.

[40] 王小利,苏以荣,黄道友,等. 土地利用对亚热带红壤低山区土壤有机碳和微生物碳的影响[J]. 中国农业科学,2006,39(4):750-757.

[41] 郭月峰,祁伟,姚云峰,等. 土地利用方式对土壤微生物生物量碳和土壤养分的影响[J]. 北方园艺,2016(11):166-169.

[42] 张丽敏,徐明岗,娄翼来,等. 长期施肥下黄壤性水稻土有机碳组分变化特征[J]. 中国农业科学,2014,47(19):3817-3825.

(上接第 51 页)

[21] WANG H, JONES B, LI Z G, *et al.* The tomato *Aux/IAA* transcription factor *IAA9* is involved in fruit development and leaf morphogenesis[J]. Plant Cell,2005,17(10):2676-2692.

[22] SU L Y, BASSA C, AUDRAN C, *et al.* The auxin *SL-IAA17* transcriptional repressor controls fruit size via the regulation of endoreduplication-related cell expansion [J]. Plant and Cell Physiology, 2014, 55(11):1969-1976.

[23] NIGAM D, SAWANT S V. Identification and analyses of AUX-IAA target genes controlling multiple pathways in developing fiber cells of *Gossypium hirsutum* L [J]. Bioinformation,2013,9(20):996-1002.

[24] LIU M, CHEN Y, CHEN Y, *et al.* The tomato ethylene response factor *Sl-ERF. B3* integrates ethylene and auxin signaling via direct regulation of *Sl-Aux/IAA27* [J]. New Phytologist,2018,219(2):631-640.

[25] SONG Y, YOU J, XIONG L. Characterization of *OsIAA1* gene, a member of rice *Aux/IAA* family involved in auxin and brassinosteroid hormone responses and plant morphogenesis [J]. Plant Molecular Biology, 2009, 70(3):297-309.

[26] REED J W, WU M F, REEVES P H, *et al.* Three auxin response factors promote hypocotyl elongation [J]. Plant Physiology,2018,178(2):864-875.

[27] WOLBANG C M, CHANDLER P M, SMITH J J, *et al.* Auxin from the developing inflorescence is required for the biosynthesis of active gibberellins in barley stems [J]. Plant Physiology,2004,134(2):769-776.

[28] FRIGERIO M, ALABADÍ D, PÉREZ-GÓMEZ J, *et al.* Transcriptional regulation of gibberellin metabolism genes by auxin signaling in *Arabidopsis* [J]. Plant Physiology,2006,142(2):553-563.

[29] OZGA J A, YU J, REINECKE D M. Pollination-, development-, and auxin-specific regulation of gibberellin 3beta-hydroxylase gene expression in pea fruit and seeds [J]. Plant Physiology,2003,131(3):1137-1146.

[30] 石建斌,王宁,周红,等. 陆地棉中赤霉素合成途径关键酶基因的时空表达变化[J]. 华北农学报,2018,33(4):9-16.