

网络出版时间:2015-06-30 13:47

DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2015.08.014

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20150630.1347.014.html

扩蓄增容肥对塬土土壤有机碳和氮的影响

潘 婷^a,高明霞^b,孙本华^a

(西北农林科技大学 a 资源环境学院,b 水利与建筑工程学院,陕西 杨凌 712100)

[摘 要] **【目的】**研究扩蓄增容肥对土壤有机碳、氮含量的影响,为土壤扩蓄增容肥研发和施用提供科学依据。**【方法】**以有机页岩、油渣和无机化肥研制的有机无机复合型土壤扩蓄增容肥为供试肥料,采用田间试验与室内分析的方法,以不施肥为对照,比较扩蓄增容肥的不同施用量、扩蓄增容材料和传统施肥(无机化肥)对塬土耕层土壤有机碳(SOC)、全氮(TN)、可溶性有机碳(DOC)、可溶性有机氮(DON)等不同形态碳氮含量的影响。**【结果】**与不施肥处理相比,传统施肥处理和扩蓄增容肥处理均可以提高土壤有机碳(SOC)、可溶性有机氮(DON)、 NO_3^- -N 含量,而扩蓄增容肥处理还能够提高土壤易氧化有机碳(KMnO_4 -C)、可溶性有机碳(DOC)含量以及 DOC/SOC。与传统施肥处理相比,扩蓄增容肥处理可明显提高土壤 SOC 和 DOC 含量。随着扩蓄增容肥施用量的提高,土壤 SOC、TN 含量明显升高, KMnO_4 -C 有增加的趋势。所有施肥处理对土壤的微生物量碳(MBC)、微生物量氮(MBN)以及 NH_4^+ -N 含量均没有产生显著影响。**【结论】**扩蓄增容肥提高土壤 SOC 和 DOC 含量的作用较传统施肥明显,更有利于土壤肥力提升,且有效减少化肥投入并降低污染环境的风险。

[关键词] 扩蓄增容肥;土壤有机碳;可溶性有机碳;易氧化性有机碳;可溶性有机氮

[中图分类号] S156.2

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2015)08-0174-07

Effect of amendment fertilizer on organic carbon and nitrogen in loess soil

PAN Ting^a,GAO Ming-xia^b,SUN Ben-hua^a

(a College of Natural Resources and Environment ,b College of Water Resources and Architectural Engineering ,
Northwest A&F University,Yangling ,Shaanxi 712100,China)

Abstract: **【Objective】** This study explored the effects of soil amendment fertilizer on soil organic carbon and nitrogen to provide scientific basis for development and application of soil amendment fertilizer. **【Method】** Using no fertilization as control, and organic and inorganic compound soil amendment fertilizer based on organic shale, oil residue and chemical fertilizers as treatments, effects of application amount, amendment material, and traditional fertilization (chemical fertilizers) on topsoil carbon and nitrogen contents including soil organic carbon (SOC), total nitrogen (TN), dissolved organic carbon (DOC) and dissolved organic nitrogen (DON) in loess soil were studied by field experiment and lab analysis. **【Result】** Soil amendment fertilizer increased not only SOC, DON and NO_3^- -N, which was similar with traditional fertilization, but also soil easily oxidized organic carbon (KMnO_4 -C), DOC and DOC/SOC, compared with no fertilization. Soil amendment fertilizer improved soil SOC and DOC significantly compared with traditional fertilization. Soil SOC and TN were increased significantly with the increase of application amount of soil a-

[收稿日期] 2014-01-17

[基金项目] “十二五”国家“863”计划项目(2011AA100503)

[作者简介] 潘 婷(1990—),女,陕西安康人,在读硕士,主要从事土壤化学研究。E-mail: panting_@qq.com

[通信作者] 孙本华(1972—),男,江苏金湖人,副教授,博士,硕士生导师,主要从事土壤化学和土壤生态研究。
E-mail: sunbenhua@126.com

ment amendment fertilizer, and $\text{KMnO}_4\text{-C}$ had an increasing tendency. All fertilization treatments had no significant effects on soil MBC, MBN and $\text{NH}_4^+\text{-N}$. 【Conclusion】 Soil amendment fertilizer had significant effect on boosting SOC and DOC, improving soil fertility, and decreasing chemical fertilizer input, and it would also reduce the risk of environment pollution compared with traditional fertilization.

Key words: soil amendment fertilizer; soil organic carbon; dissolved organic carbon; soil easily oxidized organic carbon; dissolved organic nitrogen

碳氮含量是农田土壤肥力和质量的重要指标,关系着土地生产力和土地可持续利用性,直接影响着作物产量。长久以来关于施肥对土壤有机碳和全氮含量及其相互关系影响的研究较多^[1-2],其中土壤活性有机碳氮是近年来的研究热点^[3-4],土壤活性有机碳氮含量可在不同程度上反映土壤有机碳的有效性和土壤质量优劣^[4-5]。

土壤扩蓄增容指有效调节土壤水、热、气状况,改善土壤团粒结构、增加土壤有效空隙,抑制土壤的表面无效蒸发,有效改善土壤持水保水、固肥能力的技术^[6]。根据这项技术研制的土壤扩蓄增容肥在作物增产、土壤水分保持、水分利用效率提高等方面效果显著^[7-10];扩蓄增容肥施入土壤中,可改变土壤物理结构和化学性质,从而影响到土壤微生物活动。活性有机碳氮受土壤微生物活动影响大,在指示土壤质量和肥力变化时较灵敏,能够即时反映土壤肥力和土壤物理性质的变化。因此通过研究扩蓄增容肥对土壤活性有机碳氮含量的影响,可揭示短时间内扩蓄增容肥对土壤质量和肥力的作用机理。近年来扩蓄增容肥对于土壤培肥的效果,尤其是对土壤有机质的提升作用及土壤活性有机碳氮影响的研究仅有少量报道^[10-11]。本研究以由有机页岩、油渣和无机化肥研制的有机无机复合型土壤扩蓄增容肥为供试肥料,采用田间试验比较了扩蓄增容肥的不同施用量、扩蓄增容材料和传统施肥(无机化肥)对土壤不同形态有机碳、氮含量的影响,以深入了解扩蓄增容肥对土壤质量的影响及其作用机理,为土壤扩蓄增容肥研发和施用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验点概况及试验设计

本试验在国家黄土肥力与肥料效益监测基地进行,试验地位于黄土高原南部的陕西省杨凌示范区渭河三级阶地($\text{N } 34^{\circ}17'51''$, $\text{E } 108^{\circ}00'48''$, 海拔 534 m)。供试土壤属 M_{11} 土(土垫旱耕人为土),土壤质地为粉砂粘壤土,黄土母质。试验开始前每个小区多点采集耕层(0~20 cm)基础混合土样,进行基本理

化性质分析,基础土壤 $\text{pH } (m(\text{土}):V(\text{水})=1:1)$ 为 8.24,有机碳为 9.41 g/kg,全氮 1.10 g/kg,全磷 0.89 g/kg,全钾 10.5 g/kg,速效磷 28.1 mg/kg,速效钾 219.9 mg/kg,土壤体积质量 1.42 g/cm^3 。

试验开始于 2012-06,作物体系为夏玉米-冬小麦轮作,一年两熟。试验共设 7 个处理,分别为:1)对照(CK),不施肥;2)传统施肥(Traditional fertilization),施用尿素 489.1 kg/hm² 和过磷酸钙 600 kg/hm²,基本相当于当地的 N、P 推荐施肥量;3)同量施肥(Equal fertilizer),施用除去扩蓄增容材料的扩蓄增容肥(即未施用有机页岩),用量为 487.5 kg/hm²;4)扩蓄增容材料(Amendment material),只施用扩蓄增容材料有机页岩,用量为 262.5 kg/hm²;5)扩蓄增容肥 1 处理(Amendment fertilizer 1),扩蓄增容肥用量为 750.0 kg/hm²;6)扩蓄增容肥 2 处理(Amendment fertilizer 2),扩蓄增容肥 1 处理用量的 1.25 倍,即扩蓄增容肥用量 937.5 kg/hm²;7)扩蓄增容肥 3 处理(Amendment fertilizer 3),扩蓄增容肥 1 处理用量的 1.5 倍,即扩蓄增容肥用量 1 125.0 kg/hm²。扩蓄增容肥组成为:扩蓄增容材料有机页岩(有机 C 含量 84.0 g/kg、全氮含量 3.1 g/kg)、油渣(有机 C 含量 422.5 g/kg、全氮含量 54.8 g/kg)、尿素、二铵和磷酸二氢钾。每处理设 4 个重复,小区面积为 20 m²。所有肥料于播种前一次性施入。

1.2 样品采集与测定

于 2013-06 小麦收获后采取土样,每个小区多点随机混合,取样深度为耕层 0~20 cm。采集的土壤样品一部分风干用于土壤有机碳(SOC)、易氧化有机碳($\text{KMnO}_4\text{-C}$)和土壤全氮(TN)含量测定,一部分保存于 4 ℃ 冰箱中用于土壤微生物量碳氮和可溶性碳氮的测定。

土壤 SOC 采用丘林法测定;土壤 TN 用凯氏法测定;无机氮($\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$)含量采用 1 mol/L KCl 浸提,流动分析仪测定; $\text{KMnO}_4\text{-C}$ 含量采用 333 mmol/L 高锰酸钾氧化法测定^[12]。土壤微生物量碳(MBC)和微生物量氮(MBN)含量采用

氯仿熏蒸浸提法^[13-14]测定, $MBC\text{ (mg/kg)} = EC/0.45$, $MBN\text{ (mg/kg)} = EN/0.54$ ^[15], 其中 0.45, 0.54 分别为土壤微生物量碳和微生物量氮的系数, EC 和 EN 分别为熏蒸和未熏蒸土壤 K_2SO_4 浸提液有机碳和全氮含量的差值。土壤可溶性有机碳(DOC)采用总有机碳分析仪测定;可溶性全氮(TDN)采用碱性过硫酸钾氧化法^[16]测定;浸提液中无机氮(NO_3^- -N 和 NH_4^+ -N)含量采用流动分析仪测定;土壤可溶性有机氮(DON)=TDN-无机氮。

1.3 数据处理

试验数据均以“平均值±标准差”形式表示,采用 SPSS 18.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 施肥对土壤有机碳形态的影响

由表 1 可见,不同施肥处理间土壤 SOC 含量差异显著,除了扩蓄增容材料处理外,其他施肥处理土

壤 SOC 含量都显著高于对照,表现为扩蓄增容肥 3 处理>扩蓄增容肥 2 处理>同量施肥处理>扩蓄增容肥 1 处理>传统施肥处理>扩蓄增容材料处理>对照,说明无论是常规施肥还是施用扩蓄增容肥,都能够显著提高土壤 SOC 含量,这与吕家珑等^[17]的研究结论无机肥或者有机无机肥配施都能提高土壤 SOC 含量相一致。扩蓄增容肥不同用量对土壤 SOC 含量的影响表现为,扩蓄增容肥 3 处理>扩蓄增容肥 2 处理>扩蓄增容肥 1 处理,且扩蓄增容肥 3 处理与扩蓄增容肥 1 处理之间差异达到显著水平,说明随着扩蓄增容肥施用量的增加,土壤 SOC 含量增加。其中扩蓄增容肥 2、3 处理的土壤 SOC 含量较对照分别提高了 11.9%和 13.4%,显著高于传统施肥处理(5.9%),说明扩蓄增容肥提高土壤 SOC 含量的作用较传统施肥明显,这主要是因为扩蓄增容肥中有机页岩和油渣的作用所致。

表 1 不同施肥处理下土壤各形态有机碳的含量

Table 1 Contents of organic carbon with different forms in soil under different fertilizations

处理 Treatment	SOC/ (g · kg ⁻¹)	DOC/ (mg · kg ⁻¹)	(DOC/SOC)/%	KMnO ₄ -C/ (g · kg ⁻¹)
对照 CK	8.67±0.41 e	82.6±1.1 c	0.90±0.12 b	1.53±0.32 c
传统施肥 Traditional fertilization	9.18±0.50 cd	99.1±7.0 bc	1.06±0.05 b	1.87±0.12 abc
同量施肥 Equal fertilizer	9.39±0.23 bc	98.2±6.5 bc	1.06±0.04 b	1.98±0.25 abc
扩蓄增容材料 Amendment material	8.87±0.24 de	96.1±12.1 bc	1.09±0.17 b	1.83±0.33 bc
扩蓄增容肥 1 Amendment fertilizer 1	9.27±0.49 bcd	131.9±5.8 a	1.41±0.12 a	2.24±0.33 ab
扩蓄增容肥 2 Amendment fertilizer 2	9.70±0.39 ab	136.8±15.5 a	1.41±0.16 a	2.26±0.30 ab
扩蓄增容肥 3 Amendment fertilizer 3	9.83±0.34 a	113.3±16.8 ab	1.16±0.20 ab	2.34±0.43 a

注:SOC. 土壤有机碳;DOC. 土壤可溶性有机碳;KMnO₄-C. 土壤易氧化有机碳。同列数据后标不同小写字母者表示差异显著($P<0.05$)。下表同。

Note:SOC. Soil organic carbon;DOC. Dissolved organic carbon;KMnO₄-C. Soil easily oxidized organic carbon. Different small letters in each column mean significant difference at 0.05 level among treatments. The same below.

DOC 是土壤活性碳库的组成部分,易为微生物利用,其含量动态与土壤有机碳的累积和分解关系密切,土壤 DOC 虽仅占土壤有机碳的很小一部分,但对土壤养分的转化供应有着重要影响,其动态变化能更灵敏地反映土壤有机碳的循环与平衡趋势^[18]。由表 1 可见,7 个处理中,DOC 含量大小排序为扩蓄增容肥 2 处理>扩蓄增容肥 1 处理>扩蓄增容肥 3 处理>传统施肥处理>同量施肥处理>扩蓄增容材料处理>对照。其中扩蓄增容肥 3 个用量处理的 DOC 含量均显著高于对照,说明扩蓄增容肥能显著提高土壤 DOC 含量。扩蓄增容肥 1、扩蓄增容肥 2 和扩蓄增容肥 3 处理的土壤 DOC 含量分别较传统施肥处理提高了 33.1%,38.0%和 14.3%,且扩蓄增容肥 1 和扩蓄增容肥 2 处理的土壤 DOC 含量与传统施肥处理差异显著,表明扩蓄增容肥较

传统施肥显著提高了土壤 DOC 含量。黄威等^[4]的研究结果表明,长期施用化肥对稻田土壤 DOC 影响不大,配施有机肥有提高土壤 DOC 含量的趋势,且与长期施用化肥处理差异达到显著水平,本研究结果与之相一致。比较扩蓄增容肥 3 个用量处理土壤 DOC 含量可知,土壤 DOC 含量并未随着扩蓄增容肥施用量的增加而增大,这可能是因为随着扩蓄增容肥施用量的增加,其中氮肥的增加刺激并促进了土壤微生物对 DOC 的消耗所致^[19]。比较对照、同量施肥处理、扩蓄增容材料处理和扩蓄增容肥 1 处理土壤 DOC 含量可知,扩蓄增容肥 1 处理与对照差异显著,而同量施肥处理和扩蓄增容材料处理与对照差异不显著;扩蓄增容肥 1 处理较对照增加的土壤 DOC 含量(49.3 mg/kg)远大于同量施肥处理和扩蓄增容材料处理分别增加的总和(29.1 mg/kg),

说明无机肥料和扩蓄增容材料(有机页岩)配施在提高土壤 DOC 含量方面具有明显的正交互作用。由 DOC/SOC 的结果可见,扩蓄增容肥 1、2、3 处理的 DOC/SOC 均高于其他处理,其中扩蓄增容肥 1、2 处理的 DOC/SOC 值显著高于除扩蓄增容肥 3 处理外的其他处理,这说明扩蓄增容肥不仅有助于提高 SOC 含量,还可以增加土壤 SOC 中 DOC 所占的比例,提高土壤有机碳的利用率。

土壤 $\text{KMnO}_4\text{-C}$ 包括可溶性有机碳、轻组有机碳、微生物量碳、土壤可矿化碳以及碳水化合物^[20],在指示土壤质量和肥力变化时比土壤 SOC 更灵敏,能即时反映土壤肥力和土壤物理性质的变化^[21]。由表 1 可知,不同施肥处理土壤 $\text{KMnO}_4\text{-C}$ 含量大小排序为扩蓄增容肥 3 处理>扩蓄增容肥 2 处理>扩蓄增容肥 1 处理>同量施肥处理>传统施肥处理>扩蓄增容材料处理>对照,其中扩蓄增容肥 3 个用量处理的 $\text{KMnO}_4\text{-C}$ 含量显著高于对照,较对照提高了 46.4%~52.9%,其他 3 个处理与对照之间差异均不显著,这与李平儒等^[21]的研究结果一致。比较扩蓄增容肥 1、2、3 处理的 $\text{KMnO}_4\text{-C}$ 含量可知,随着扩蓄增容肥施用量的增加,土壤 $\text{KMnO}_4\text{-C}$ 含量增加。比较同量施肥处理、扩蓄增容材料处理、扩蓄增容肥 1 处理和对照的 $\text{KMnO}_4\text{-C}$ 含量可见,仅扩蓄增容肥 1 处理显著高于对照,而同量施肥处理和扩蓄增容材料处理与对照之间差异均不显著,说明添加了扩蓄增容材料的扩蓄增容肥,由于其中有机材料与无机材料的交互作用,从而提高了土壤 $\text{KMnO}_4\text{-C}$ 含量。

2.2 施肥对土壤氮形态的影响

由表 2 可见,扩蓄增容肥 3 处理的土壤 TN 含量最高,与对照、扩蓄增容材料处理以及扩蓄增容肥

1 处理之间差异显著,与其他处理之间差异不显著。值得注意的是,施氮量最高的传统施肥处理与对照的土壤 TN 含量差异不显著,这可能是一方面基础土壤肥力水平较高,短期的施肥对其影响较小;另一方面传统施肥有更多的氮以硝态氮形式淋溶到土壤下层,而且传统施肥处理作物的产量较高,使得其 TN 含量明显降低。比较扩蓄增容肥 3 处理与传统施肥处理可见,尽管传统施肥处理的无机 N 用量(玉米和小麦两季共施 $\text{N } 450 \text{ kg/hm}^2$)大于扩蓄增容肥 3 处理(玉米和小麦两季共施 $\text{N } 386.0 \text{ kg/hm}^2$),但是扩蓄增容肥 3 处理提高土壤全 N 的作用却明显优于传统施肥处理,这充分说明有机材料与无机材料复合的扩蓄增容肥提升土壤 TN 含量的效果比单一施用无机化肥的传统施肥处理好。关焱等^[22]指出,施入的氮肥对土壤 TN 含量的影响取决于氮肥在土壤中的净残留量,无机氮肥对土壤氮的矿化既无明显的净激发,也无明显的净残留,因此它在提高土壤 TN 含量中的作用并不明显,与无机氮肥不同,有机肥料在土壤中大多有明显的净残留,因此有助于土壤 TN 含量的提高。比较扩蓄增容肥不同用量处理的土壤 TN 含量可见,扩蓄增容肥 3 处理土壤 TN 含量与扩蓄增容肥 1 处理之间差异达到显著水平,且土壤 TN 含量大小排序为扩蓄增容肥 3 处理>扩蓄增容肥 2 处理>扩蓄增容肥 1 处理,说明随着扩蓄增容肥施用量的增加,土壤 TN 含量逐渐增大。比较同量施肥处理、扩蓄增容材料处理、扩蓄增容肥 1 处理土壤 TN 含量可见,三者之间均无显著差异,可知扩蓄增容肥 1 处理的土壤 TN 含量并未显著高于同量施肥处理,这可能与氮肥的投入量较小有关。

表 2 不同施肥处理下土壤各形态氮的含量

Table 2 Contents of nitrogen with different forms in soil under different fertilizations					
处理 Treatment	TN/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	DON/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	(DON/TN)/%	$\text{NO}_3^- \text{-N}/$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$\text{NH}_4^+ \text{-N}/$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
对照 CK	1.06±0.07 b	22.4±1.7 c	2.14±0.11 a	5.52±2.04 b	0.56±0.19 a
传统施肥 Traditional fertilization	1.12±0.06 ab	26.3±1.5 a	2.30±0.22 a	9.26±0.97 a	0.62±0.39 a
同量施肥 Equal fertilizer	1.10±0.08 ab	25.5±0.6 ab	2.22±0.08 a	7.62±0.17 ab	0.61±0.34 a
扩蓄增容材料 Amendment material	1.05±0.08 b	23.9±1.2 bc	2.28±0.18 a	5.38±0.45 b	0.51±0.24 a
扩蓄增容肥 1 Amendment fertilizer 1	1.08±0.13 b	25.1±1.5 ab	2.36±0.34 a	8.01±0.35 ab	0.40±0.41 a
扩蓄增容肥 2 Amendment fertilizer 2	1.15±0.09 ab	24.8±1.7 ab	2.16±0.20 a	8.73±0.11 a	0.80±0.54 a
扩蓄增容肥 3 Amendment fertilizer 3	1.18±0.03 a	26.5±0.8 a	2.24±0.04 a	9.16±0.78 a	0.66±0.66 a

注:TN. 土壤全氮;DON. 土壤可溶性有机氮。
Note:TN. Total nitrogen;DON. Dissolved organic nitrogen.

DON 易被微生物分解,是微生物和植物的潜在可利用氮源。由表 2 可见,不同施肥处理的土壤 DON 含量有一定差异,除扩蓄增容材料处理外,其他施肥处理都与对照差异显著,说明传统施肥和扩蓄增容肥处理都能提高土壤 DON 含量。陈武荣等^[23]的研究结果显示,施用高量无机肥以及无机肥配施秸秆和猪粪等有机物质都能显著提高土壤 DON 含量,本研究结果与之一致。各处理 DON 含量大小排序为扩蓄增容肥 3 处理>传统施肥处理>同量施肥处理>扩蓄增容肥 1 处理>扩蓄增容肥 2 处理>扩蓄增容材料处理>对照。传统施肥处理和扩蓄增容肥 3 处理对土壤 DON 含量提高幅度较大,分别较对照提高了 17.4%和 18.3%。比较同量施肥处理、扩蓄增容材料处理、扩蓄增容肥 1 处理和对照的土壤 DON 含量可知,扩蓄增容肥 1 处理与同量施肥处理之间没有显著差异,但是都显著高于对照,扩蓄增容材料处理与对照差异不显著,说明扩蓄增容材料对土壤 DON 含量没有明显影响。各处理之间的 DON/TN 没有显著差异。Smith 等^[24]指出,施肥虽然对土壤各形态氮的绝对含量有很大影响,但不管是施用化肥还是有机肥,土壤氮素的组成(各形态氮占土壤全氮的比例)却变化不大。王岩等^[25]对有机肥兔粪尿和化肥硫酸铵的残留氮对土壤氮各组分贡献的研究结果也得出了相似的结论。扩蓄增容肥能够提高土壤 DOC 和 DON 含量,这可能是因为扩蓄增容肥中有机物料提供的有机胶体作为有机无机复合体的物质基础,有助于形成活性钙离

子,增加腐殖质含量,带来更多有益功能团,从而提高了土壤中的碳源和能源,促进可溶性碳、氮的生成^[26]。

由表 2 还可以看出,传统施肥处理与扩蓄增容肥 3 处理的 NO₃⁻-N 含量均较高,其次是扩蓄增容肥 2 处理,这 3 个处理与对照和扩蓄增容材料处理差异显著。结合施氮量可知,土壤 NO₃⁻-N 含量受无机氮肥施用量的影响较大。值得注意的是,扩蓄增容肥 3 个用量处理的无机氮肥施用量虽然分别仅为传统施肥的 81.7%,68.0%,54.7%,但其 NO₃⁻-N 含量也较高,这说明扩蓄增容物质对表层土壤 NO₃⁻-N 含量的提高有一定作用。土壤 NH₄⁺-N 含量各处理之间差异不显著,没有明显的规律,这与高强等^[27]的研究结果一致。

2.3 施肥对土壤微生物量碳氮含量的影响

微生物量碳(MBC)、微生物量氮(MBN)被认为是土壤活性养分的储存库,植物生长可利用养分的重要来源^[28]。由表 3 可以看出,尽管对照土壤 MBC 和 MBN 含量均低于其他施肥处理,但差异均不显著,同时各处理之间 MBC/SOC 和 MBN/TN 均无显著性差异。这可能是因为本试验所采用的土壤具有较高的基础养分含量,短期施肥对土壤 MBC 和 MBN 含量的影响还没有显现,随着施肥时间的延长,也可能会出现明显差异,这还有待进一步研究。Bardgett 等^[29]和 Lovell 等^[30]的结果也表明,高量施用化肥,可使土壤中保持较高的速效养分浓度,但并不利于微生物的生长活动。

表 3 不同施肥处理下土壤微生物量碳氮的含量

Table 3 Soil MBC and MBN contents under different fertilizations

处理 Treatment	MBC/ (mg · kg ⁻¹)	MBN/ (mg · kg ⁻¹)	(MBC/SOC)/%	(MBN/TN)/%
对照 CK	309.0±19.8 a	22.5±3.4 a	3.62±0.19 a	1.92±0.28 a
传统施肥 Traditional fertilization	313.4±20.8 a	24.1±4.6 a	3.50±0.21 a	2.25±0.13 a
同量施肥 Equal fertilizer	319.3±32.2 a	23.5±5.3 a	3.42±0.31 a	1.97±0.50 a
扩蓄增容材料 Amendment material	325.3±49.9 a	27.9±4.8 a	3.68±0.48 a	2.68±0.30 a
扩蓄增容肥 1 Amendment fertilizer 1	323.8±2.6 a	25.8±3.0 a	3.50±0.19 a	2.44±0.50 a
扩蓄增容肥 2 Amendment fertilizer 2	322.8±11.3 a	25.9±4.8 a	3.21±0.08 a	2.20±0.47 a
扩蓄增容肥 3 Amendment fertilizer 3	323.2±3.3 a	24.5±6.1 a	3.37±0.10 a	2.12±0.50 a

注:MBC. 土壤微生物量碳;MBN. 土壤微生物量氮。
Note:MBC. Soil microbial biomass carbon;MBN. Soil microbial biomass nitrogen.

3 结 论

本研究结果表明,与不施肥处理(对照)相比,传统施肥处理仅显著提高了土壤 SOC、DON 和 NO₃⁻-N 含量,而扩蓄增容肥处理还能够提高土壤 KMnO₄-C、DOC 和 DOC/SOC。与传统施肥处理相

比,扩蓄增容肥处理的土壤 SOC 和 DOC 含量明显提高。随着扩蓄增容肥施用量提高,土壤 SOC、TN 含量明显升高,KMnO₄-C 也呈增加的趋势。所有施肥处理对土壤的 MBC、MBN 以及 NH₄⁺-N 含量均没有产生显著影响。扩蓄增容肥提高土壤 SOC 和 DOC 含量的作用较传统施肥明显,更有利于土壤肥

力提升,且可有效减少化肥投入并降低污染环境的风险。

[参考文献]

[1] 刘 畅,唐国勇,童成立,等. 不同施肥措施下亚热带稻田土壤碳、氮演变特征及其耦合关系 [J]. 应用生态学报,2008,19(7):1489-1493.
Liu C, Tang G Y, Tong C L, et al. Evolvement characteristics and coupling relationship of soil organic carbon and total nitrogen in subtropical paddy field ecosystem under different fertilization practices [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(7):1489-1493. (in Chinese)

[2] 曹莹菲,刘庆芳,刘 克,等. 长期不同施肥对红壤碳氮含量的影响 [J]. 干旱地区农业研究,2010,28(2):187-190.
Cao Y F, Liu Q F, Liu K, et al. The effects of long-term different fertilization on carbon and nitrogen content in Lou soil [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2010, 28(2):187-190. (in Chinese)

[3] 展 茗,曹凑贵,江 洋,等. 不同稻作模式下稻田土壤活性有机碳变化动态 [J]. 应用生态学报,2010,21(8):2010-2016.
Zhan M, Cao C G, Jiang Y, et al. Dynamics of active organic carbon in a paddy soil under different rice farming modes [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(8):2010-2016. (in Chinese)

[4] 黄 威,陈安磊,王 卫,等. 长期施肥对稻田土壤活性有机碳和氮的影响 [J]. 农业环境科学学报,2012,31(9):1854-1861.
Huang W, Chen A L, Wang W, et al. Effect of long-term fertilization on active organic carbon and nitrogen in paddy soils [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2012, 31(9):1854-1861. (in Chinese)

[5] 徐明岗,于 荣,王伯仁. 土壤活性有机质的研究进展 [J]. 土壤肥料,2000(6):3-7.
Xu M G, Yu R, Wang B R. Progress on the study of soil active organic matter [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2000(6):3-7. (in Chinese)

[6] 冯 浩,吴普特,杜 健,等. 一种生活炉渣制备的土壤扩蓄增容剂及其生产方法: 中国, ZL200710017801. 9 [P]. 2007-10-10.
Feng H, Wu P T, Du J, et al. An agent to enhance soil water storage and retention capacity prepared from household slag and it's production method: China, ZL200710017801. 9 [P]. 2007-10-10. (in Chinese)

[7] 王 珍,冯 浩,吴普特,等. 土壤扩蓄增容肥对春玉米产量及水分利用效率的影响 [J]. 农业工程学报,2009,25(11):114-119.
Wang Z, Feng H, Wu P T, et al. Effects of soil amendment fertilizers on yield and water use efficiency of spring maize [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(11):114-119. (in Chinese)

[8] 周立峰,冯 浩,杜 健. 干旱条件下土壤扩蓄增容肥保水增产效应研究 [J]. 灌溉排水学报,2011,30(1):65-68.
Zhou L F, Feng H, Du J. Effects of soil amendment fertilizers on holding soil water and increasing yield in dry condition [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2011, 30(1):65-68. (in Chinese)

[9] 王翠翠,冯 浩,杜 健. 土壤扩蓄增容肥对冬小麦棵间蒸发和水分利用效率的影响 [J]. 水土保持通报,2010,30(2):129-132.
Wang C C, Feng H, Du J. Effects of soil amendment fertilizer on soil evaporation and water use efficiency of winter wheat [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2010, 30(2):129-132. (in Chinese)

[10] 陈连海,冯 浩,杜 健. 土壤扩蓄增容肥对土壤养分含量及小麦产量影响的试验研究 [J]. 生态经济,2009(2):6-10.
Chen L H, Feng H, Du J. Study on the effect of soil fertility and yield of the soil magnistorage compatibilizer [J]. Ecological Economy, 2009(2):6-10. (in Chinese)

[11] 汪吉东,张永春,俞美香,等. 不同有机无机肥配合施用对土壤活性有机质含量及 pH 值的影响 [J]. 江苏农业学报,2007,23(6):573-578.
Wang J D, Zhang Y C, Yu M X, et al. Effect of combined organic and inorganic fertilizer on labile organic matter and acidity of soil [J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2007, 23(6):573-578. (in Chinese)

[12] Lefroy R D B, Blair J G, Strong W M. Changes in soil organic matter with cropping as measured by organic carbon fractions and ¹³C natural isotope abundance [J]. Plant and Soil, 1993, 155/156(1):399-402.

[13] Christianson C B. Factors affecting N release of urea from reactive layer coated urea [J]. Fertilizer Research, 1988, 16:273-284.

[14] Salman O A. Polymer coating on urea prills to reduce dissolution rate [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1988, 36:616-621.

[15] 奚振邦. 水稻营养与施肥 [M]. 上海:上海科学技术文献出版社,1990:54-61.
Xi Z B. Rice nutrition and fertilization [M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Literature Publishing House, 1990:54-61. (in Chinese)

[16] Goertz H M. Technology development in coated fertilizers: Workshop on controlled release fertilizer [M]. Israel: Haifa Technion, 1993:158-164.

[17] 吕家珑,张一平,王旭东,等. 长期单施化肥对土壤性状及作物产量的影响 [J]. 应用生态学报,2001,12(4):569-572.
Lü J L, Zhang Y P, Wang X D, et al. Effect of long-term single application of chemical fertilizer on soil properties and crop yield [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2001, 12(4):569-572. (in Chinese)

[18] 焦 坤,李忠佩. 红壤稻田土壤溶解有机碳含量动态及其生物降解特征 [J]. 土壤,2005,37(3):272-276.
Jiao K, Li Z P. Dynamics and biodegradation of dissolved organic carbon in paddy soils derived from red clay [J]. Soils, 2005, 37(3):272-276. (in Chinese)

[19] Chantigny M H, Angers D A, Prevost D, et al. Dynamics of soluble organic C and C mineralization in cultivated soils with

varying N fertilization [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1999,31:543-550.

[20] 王 晶,谢宏图,朱 平,等. 土壤活性有机质(碳)的内涵和现代分析方法概述 [J]. *生态学杂志*,2003,22(6):109-112.
Wang J,Xie H T,Zhu P,et al. Connotation and modern analysis method for active soil organic matter (carbon) [J]. *Chinese Journal of Ecology*,2003,22(6):109-112. (in Chinese)

[21] 李平儒,任卫东,李志军,等. 长期施肥管理对壤土全碳和易氧化有机碳的影响 [J]. *西北农业学报*,2010,19(12):194-201.
Li P R,Ren W D,Li Z J,et al. Effects of long-term fertilization and management on total organic carbon and readily oxidizable organic carbon in Lou soil [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*,2010,19(12):194-201. (in Chinese)

[22] 关 焱,宇万太,李建东. 长期施肥对土壤养分库的影响 [J]. *生态学杂志*,2004,23(6):131-137.
Guan Y,Yu W T,Li J D. Effects of long-term fertilization on soil nutrient pool [J]. *Chinese Journal of Ecology*,2004,23(6):131-137. (in Chinese)

[23] 陈武荣,刘 勤,禹洪双,等. 长期不同施肥处理水稻土溶解性有机质组分含量及其特性研究 [J]. *水土保持学报*,2010,24(6):111-116.
Chen W R,Liu Q,Yu H S,et al. Fractions and characteristics of dissolved organic matter in long-term fertilization paddy soils [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*,2010,24(6):111-116. (in Chinese)

[24] Smith S J,Young L B. Distribution of nitrogen forms in virgin and cultivated soil [J]. *Soil Science*,1975,120(5):354-360.

[25] 王 岩,蔡大同,史瑞和. 肥料残留氮的有效性及其与形态分布的关系 [J]. *土壤学报*,1993,30(1):19-25.
Wang Y,Cai D T,Shi R H. Availability of fertilizer residual-N and its relationship with distribution of residual N fractions [J]. *Acta Pedologica Sinica*,1993,30(1):19-25. (in Chinese)

[26] 樊晓刚,金 轲,李兆君,等. 不同施肥和耕作制度下土壤微生物多样性研究进展 [J]. *植物营养与肥料学报*,2010,16(3):744-751.
Fan X G,Jin K,Li Z J,et al. Soil microbial diversity under different fertilization and tillage practices: A review [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*,2010,16(3):744-751. (in Chinese)

[27] 高 强,唐艳凌,巨晓棠,等. 长期不同施肥处理对土壤活性氮库的影响 [J]. *水土保持学报*,2009,23(2):96-98.
Gao Q,Tang Y L,Ju X T,et al. Effect of long-term fertilization on soil reactive nitrogen pool [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*,2009,23(2):96-98. (in Chinese)

[28] Roy S,Singh J S. Consequences of habitat heterogeneity for availability of nutrients in a dry tropical forest [J]. *Journal of Ecology*,1994,82:503-509.

[29] Bardgett R D,Whitkaer J B,Frankland J C. The effect of collembolan grazing on fungal activity in differently managed upland pastures: A microcosm study [J]. *Biology and Fertility of Soils*,1993,16(4):255-262.

[30] Lovell R D,Javris S C,Bardgett R D. Soil microbial biomass and activity in long-term grassland: Effect of management changes [J]. *Soil Biology and Biochemistry*,1995,27(7):969-975.