

不同培肥措施下种植制度及撂荒对土壤 微生物量碳氮的影响*

梁斌¹ 周建斌^{1,2**} 杨学云¹ 艾娜¹

(1.西北农林科技大学资源环境学院 杨凌 712100;

2.黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室 杨凌 712100)

摘要 以黄土高原南部半湿润易旱区已进行 17 年的田间定位试验为研究对象,研究了不同培肥措施(不施肥、施用氮磷钾及氮磷钾与有机肥配合施用)下两种种植制度(一年 1 熟及一年两熟)和撂荒对土壤微生物量碳、氮(SMBC、SMBN)及可溶性有机碳、氮(SOC、SON)等含量的影响。结果表明,与一年 1 熟的小麦-休闲种植制度相比,一年两熟小麦-玉米轮作提高了 0~10 cm 土层 SMBC、SMBN、有机碳(TOC)、全氮(TN)和土壤 SOC、SON 的含量,而对 10~20 cm 土层上述测定指标影响不大。与不施肥(CK)或单施化肥处理(NPK)下小麦-休闲和小麦-玉米轮作方式相比,撂荒处理显著提高了 0~10 cm 土层各测定指标的含量。不同培肥措施相比,氮磷钾配施有机肥显著提高了 0~10 cm、10~20 cm 土层 SMBC、SMBN 含量;NPK 处理 0~10 cm 土层 SMBN 含量显著增加,10~20 cm 土层 SMBN 和 0~10 cm、10~20 cm 土层 SMBC 含量增加但未达显著水平。不同培肥措施和种植制度对 SMBC/TOC 和 SMBN/TN 的比例无明显影响。

关键词 种植制度 培肥措施 撂荒 土壤微生物量碳 土壤微生物量氮

中图分类号: S154;S157 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2009)02-0209-06

Effect of different crop rotation systems and continuous fallow on soil microbial biomass carbon and nitrogen under different fertilizer treatments

LIANG Bin¹, ZHOU Jian-Bin^{1,2}, YANG Xue-Yun¹, AI Na¹

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Northwest A & F University, Yangling 712100, China;

2. State Key Laboratory for Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Yangling 712100, China)

Abstract Crop rotation affects the amount and quality of crop residue returned into the soil. In this study, a 17-year long-term field experiment was conducted to study the effect of different crop rotation systems [continuous fallow(CF), wheat and summer fallow (WF), and wheat and maize rotation (WM)] under various fertilization treatments on the contents of soil microbial biomass carbon (SMBC), soil microbial biomass nitrogen (SMBN), soluble organic carbon (SOC) and soluble organic nitrogen (SON). Compared with WF rotation, WM rotation increases SMBC, SMBN, SOC, SON, total organic carbon (TOC) and total nitrogen (TN) contents in the 0~10 cm layer soil, but this is not so obvious in the 10~20 cm soil layer. CF also significantly increases SMBC, SMBN, SOC, SON, TOC and TN contents in the 0~10 cm soil layer in comparison with treatments without fertilizer (CK) or with chemical fertilizer (NPK) under both WF and WM rotations. The effect of different fertilizer treatments on the level of SMBC, SMBN, SOC and SON is in the following order: MNPk>NPK>CK. Crop rotation systems and fertilizer treatments have insignificant effect on SMBC/TOC and SMBN/TN ratios in the soil.

Key words Crop rotation system, Fertilization, Continuous fallow, Microbial biomass C, Microbial biomass N

(Received March 4, 2008; accepted May 21, 2008)

* 国家自然科学基金项目(40571087, 40773057 和 30370288)和黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金(10501-160)资助

** 通讯作者: 周建斌(1964~), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事植物营养与旱地水肥调控研究。E-mail: jbzhou@nwsuaf.edu.cn

梁斌(1983~), 男, 硕士, 主要从事土壤微生物量方面的研究。E-mail: liangbin306@hotmail.com

收稿日期: 2008-03-04 接受日期: 2008-05-21

土壤微生物量碳、氮是土壤有机碳、氮中较为活跃的组分之一。近 20 余年,国内外研究者就不同土壤及不同施肥措施下土壤微生物量碳、氮含量及转化等开展了不少研究^[1-6],结果表明,土壤微生物量碳、氮与土壤养分的转化和供应以及温室效应气体的释放等有密切关系。因此,土壤微生物量及所含养分被越来越多的研究者用于评价耕作栽培、施肥等措施对土壤性质的影响^[7],监测退化土壤不同植被的恢复效果^[8],以及气候变化对生态环境质量影响的重要指标之一^[9]。

因土地资源缺乏,我国大部分地区都结合当地条件采取了一年 1 熟、两熟或多熟的种植制度,不同种植制度下归还到土壤的有机物数量和特性不同,但关于不同种植制度对土壤中微生物量碳、氮含量影响的研究尚少见报道。国外新近有研究报道^[10],与小麦-休闲种植制度相比,玉米-休闲-小麦轮作和玉米-黍-小麦轮作制度显著提高了 0~5 cm 土层土壤微生物量碳、氮的含量。本研究以在黄土高原南部半湿润易旱区进行了 17 年的长期定位试验点为研究对象,研究了该区常见的冬小麦-夏玉米轮作、冬小麦-休闲和撂荒^[11]3 种不同种植制度下土壤微生物量碳、氮含量及其与土壤其他碳、氮组分的关系,旨在揭示种植制度对土壤肥力影响的相关机理。

1 材料与方法

1.1 研究地区概况

供试土壤采自国家黄土土壤肥力与肥料效益长期监测基地。监测基地位于陕西省杨陵区头道塬,属温带大陆性季风气候,海拔 524 m,年均气温 13 °C,年均降水量 632 mm 且主要集中在 7、8、9 月,年蒸发量 1 400 mm,冬春易旱。土壤类型为褐土类,壤土亚类,红油土属。该试验田始建于 1990 年,试验开始时耕层土壤基本理化性状为有机质 10.92 g·kg⁻¹,全氮 0.83 g·kg⁻¹,碱解氮 61.32 mg·kg⁻¹,速效磷 9.57 mg·kg⁻¹,速效钾 191.2 mg·kg⁻¹,pH 8.62。

1.2 田间试验设计

长期定位试验共设 24 个处理,本研究分别选取小麦-玉米轮作和小麦-休闲处理中的对照(不施肥,CK)、氮磷钾肥(NPK)、氮磷钾+有机肥(MNPK) 3 个处理,加上一个撂荒(长年不耕作,不种植,CF)处理,共 7 个处理。其中氮肥为尿素,磷肥为过磷酸钙,钾肥为氯化钾,小麦生长期间分别施 N 165 kg·hm⁻²、P₂O₅ 57.6 kg·hm⁻²、K₂O 68.5 kg·hm⁻²,有机肥施用牛廐肥(施用量按含氮量折合成纯氮,

MNPK 处理中施氮量与 NPK 处理相同,但 70%来源于牛廐肥),化肥和廐肥均于小麦播种前一次性施入。在小麦-玉米轮作处理中,于玉米小喇叭口期在 NPK 和 MNPK 处理中追施 N 187.5 kg·hm⁻²、P₂O₅ 24.6 kg·hm⁻²、K₂O 77.8 kg·hm⁻²,CK 处理不追肥。小区面积为 196 m² (14 m×14 m),采样时将每个小区按面积划分为 3 个等份,作为 3 次重复。

1.3 样品采集

分别于小麦苗期(2006 年 12 月上旬)、拔节期(2007 年 4 月上旬)、灌浆期(5 月中旬)、收获后(6 月上旬)在试验田相应处理内按 0~10 cm 和 10~20 cm 两层采集耕层土壤,每小区沿对角线方向取混合样,带回实验室捡去作物残根和小石头,过 2 mm 筛,然后将土样分为两部分,一部分风干用于测定土壤理化性质,另一部分保存在 4 °C 冰箱中,用于土壤可溶性有机碳、氮和微生物量碳、氮的测定。

1.4 测定项目与方法

土壤微生物量碳、氮的测定采用氯仿熏蒸浸提法^[12,13]:用 0.5 mol·L⁻¹ K₂SO₄ 浸提经氯仿熏蒸和未熏蒸土样(水土比 4:1),过滤后滤液中的有机碳用 TOC-5050 分析仪测定,全氮用过硫酸钾氧化比色法测定^[14,15];土壤微生物量碳、氮含量以熏蒸和未熏蒸的有机碳、全氮含量之差分别除以 k_{EC} 和 k_{EN} 得到,其中 $k_{EC}=0.45$ ^[16]、 $k_{EN}=0.54$ ^[17]。

土壤可溶性有机碳、氮测定:用 0.5 mol·L⁻¹ K₂SO₄ 浸提土样(水土比 4:1),浸提液经 0.45 μm 滤膜过滤后,滤液中的可溶性有机碳(SOC)用 TOC-5050 分析仪测定,可溶性总氮(TSN)用过硫酸钾氧化比色法测定^[14,15],矿质态氮用流动分析仪测定,滤液中的可溶性有机氮(SON)为可溶性总氮与矿质态氮之差。

采用单因素方差分析检验不同处理之间的差异,如果差异显著,则进一步采用 LSD 法进行多重比较,方差分析及多重比较在 SAS7.1 程序中进行,相关性分析在 EXCEL2003 中进行。

2 结果与分析

2.1 种植制度对土壤有机碳及全氮含量的影响

由表 1 可知,经 17 年种植后同一培肥措施下小麦-玉米轮作 0~10 cm 土层有机碳(TOC)和全氮(TN)含量高于小麦-休闲处理,CK、NPK 和 MNPK 3 处理下土壤有机碳含量的增幅分别为 12.99%、23.50% 和 31.50%,达显著水平。全氮含量的增幅分别为 6.06%、29.73% 和 22.67%,除 CK 外,其他处理均达显著水平。而 10~20 cm 土层,除 MNPK 处理小麦-休闲种植制度下土壤 TOC、TN 含量显著高于小麦

表 1 不同培肥措施和种植制度下土壤有机碳(TOC)、全氮(TN)及可溶性有机碳、氮(SOC、SON)含量
Tab.1 Contents of TOC, TN, SOC and SON in the different crop rotation systems and fertilizer treatments

土层 Soil layer (cm)	项目 Item	CK		NPK		MNPk		撂荒 Continuous fallow
		小麦-休闲 Wheat-fallow	小麦-玉米 Wheat-maize	小麦-休闲 Wheat-fallow	小麦-玉米 Wheat-maize	小麦-休闲 Wheat-fallow	小麦-玉米 Wheat-maize	
0~10	TOC (g · kg ⁻¹)	7.16e	8.09d	8.68d	10.72c	13.84b	18.20a	11.29c
	TN (g · kg ⁻¹)	0.99d	1.05d	1.11d	1.44c	1.72b	2.11a	1.50c
	SOC (mg · kg ⁻¹)	46.68f	48.24f	66.95e	73.85d	111.96b	141.13a	92.26c
	SON (mg · kg ⁻¹)	4.65d	5.84c	6.09c	7.18b	11.20a	12.06a	8.02b
10~20	TOC (g · kg ⁻¹)	6.91d	6.35d	7.82c	7.68c	13.38a	11.40b	7.87c
	TN (g · kg ⁻¹)	0.95d	0.89d	1.04c	1.07c	1.54a	1.38b	1.02c
	SOC (mg · kg ⁻¹)	40.40c	36.72c	52.35b	50.25b	83.64a	80.62a	51.92b
	SON (mg · kg ⁻¹)	4.84cd	4.10d	5.13c	5.98b	7.82a	7.54a	5.51bc

同行不同小写字母为 LSD 检验在 0.05 水平上差异显著, $n=3$ 。The different small letters in the same row show significant difference at $P=0.05$ level according to LSD test.

- 玉米轮作外, 其他培肥措施下两种种植制度间土壤 TOC、TN 含量差异未达显著水平。

撂荒处理(CF)土壤 0~10 cm 及 10~20 cm 土层土壤 TOC 和 TN 的含量显著高于未施肥时小麦-玉米轮作和小麦-休闲处理, 0~10 cm 土层土壤 TOC 和 TN 的含量也显著高于施用 NPK 化肥时小麦-休闲处理, 与 NPK 处理中小麦-玉米轮作方式土壤 0~10 cm 及 10~20 cm 的 TOC 和 TN 含量无显著差异。撂荒处理中 TOC 和 TN 含量显著低于 MNPk 处理。

2.2 种植制度对土壤可溶性有机碳、氮含量的影响

与小麦-休闲种植制度相比, CK、NPK 和 MNPk 3 种培肥措施下小麦-玉米轮作处理 0~10 cm 土层 SOC 含量分别增加 3.34%、10.31%和 26.05%, 除 CK 处理中的增幅未达显著水平外, NPK 和 MNPk 处理中的增幅均达显著水平。CK 和 NPK 培肥处理中小麦-玉米轮作土壤 0~10 cm 土层 SON 含量也显著高于小麦-休闲处理, 而 MNPk 处理中小麦-玉米轮作不同土层 SON 含量与小麦-休闲处理无显著差异。不同培肥措施相比, 0~10 cm 和 10~20 cm 土层 SOC、SON 含量高低均为 MNPk>NPK>CK, 除小麦-休闲制度中 10~20 cm 土层 CK 和 NPK 之间 SON 含量差异未达显著水平外, 其他处理两两之间的差异均达显著水平。

撂荒处理 0~10 cm 土层 SOC 和 SON 含量显著高于 CK 两种种植制度和 NPK 培肥措施中的小麦-休闲种植制度, 而显著低于 MNPk 处理中两种种植制度。在 10~20 cm 土层撂荒处理 SOC 和 SON 含量高于 CK 处理, 与 NPK 培肥处理无显著差异, 但显著低于 MNPk 处理。

2.3 种植制度对土壤微生物量碳含量的影响

由表 2 可知, 在小麦苗期, CK 处理中小麦-玉米轮作与小麦-休闲相比 SMBC 含量相差不大, 但

在小麦拔节期和收获后小麦-玉米轮作可显著提高 0~10 cm 土层 SMBC 含量; NPK 和 MNPk 施肥措施下小麦-玉米轮作也使小麦各生育期 0~10 cm 土层 SMBC 含量增加, 小麦全生育期平均增幅分别为 41.26%、19.09%和 9.23%。而 10~20 cm 土层, 除 CK 处理中小麦-玉米轮作较小麦-休闲中土壤 SMBC 含量显著降低外, 其他培肥措施下不同种植制度中土壤 SMBC 含量差异未达显著水平。不同培肥措施相比, MNPk 处理 SMBC 含量显著高于 CK 和 NPK 处理。与不施肥对照相比, NPK 处理使 0~10 cm 和 10~20 cm 土层 SMBC 含量也有所增加。

不同时期相比(表 2), 除不培肥措施下小麦-休闲处理小麦拔节期 SMBC 含量较苗期有所降低外, 其他各处理中随着小麦的生长, 0~10 cm 土层 SMBC 含量逐渐升高, 其中 MNPk 培肥措施两种种植制度和 NPK 培肥措施下小麦-玉米轮作方式在拔节期 SMBC 含量显著高于苗期。

长期撂荒处理土壤 0~10 cm 土层 SMBC 平均含量显著高于 CK、NPK 处理, 但低于 MNPk 处理; 随生长时期的进行, 撂荒处理土壤 SMBC 含量有降低趋势, 原因尚待研究。

2.4 种植制度对土壤微生物量氮含量的影响

由表 3 可知, 与小麦-休闲种植制度相比, 各培肥措施中小麦-玉米轮作使 0~10 cm 土层小麦生育期 SMBN 平均含量显著升高, 而 10~20 cm 土层, 除 CK 培肥措施下小麦-玉米轮作方式使 SMBN 含量显著降低外, 其他培肥措施下两种种植制度对土壤 SMBN 含量的影响无显著差异。不同土层相比, 0~10 cm 土层 SMBN 含量显著高于 10~20 cm 土层。不同培肥措施相比 0~10 cm、10~20 cm 土层 SMBN 全生育期平均含量的顺序为 MNPk>NPK>CK, 除 10~20 cm 土层小麦-休闲中 CK 和 NPK 之间差异不显

表 2 不同培肥措施和种植制度下土壤微生物量碳含量

Tab. 2 Contents of soil microbial biomass carbon in the different crop rotation systems and fertilizer treatments $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

土层 Soil layer (cm)	处理 Treatment	CK		NPK		MNPk		撂荒 Continuous fallow
		小麦-休闲 Wheat-fallow	小麦-玉米 Wheat-maize	小麦-休闲 Wheat-fallow	小麦-玉米 Wheat-maize	小麦-休闲 Wheat-fallow	小麦-玉米 Wheat-maize	
0~10	苗期 Third-leaf	321.9Ac	315.1ABc	346.4Ac	351.7Bc	585.5Bb	679.8Ba	695.3Aa
	拔节期 Shooting	240.0ABd	407.5Ac	424.5Ac	479.9Ac	724.5Aab	752.2Aa	573.6Abc
	收获后 Harvested	119.4Bd	240.0Bc	203.7Bcd	344.9Bb	425.4Ca	463.4Ba	368.4Bab
	平均 Average	227.1d	320.8c	324.9c	392.2c	578.4b	631.8a	545.8b
10~20	苗期 Third-leaf	225.0Ac	208.8Ac	251.9Abc	250.3Abc	374.9Aa	346.5Aab	255.5Abc
	拔节期 Shooting	212.3Ac	164.3Ac	294.9Abc	258.5Abc	460.4Aa	390.6Aab	232.4Ac
	收获后 Harvested	158.5Bb	132.9Ab	253.0Aab	206.9Aab	327.8Aa	230.9Bab	150.7Ab
	平均 Average	198.6de	168.7e	266.6c	238.6cd	387.7a	322.6b	212.9de

大写字母表示同列之间的比较,小写字母表示同行之间的比较,不同字母为 LSD 检验在 0.05 水平上差异显著, $n=3$, 下同。The differences among different stages are shown by capital letters in the same treatment; differences among different treatments are shown by small letters in the same stage. The significant differences at $P=0.05$ are shown by different letters in the table. The same below.

表 3 不同培肥措施和种植制度下土壤微生物量氮的含量

Tab. 3 Contents of soil microbial biomass nitrogen in the different crop rotation systems and fertilizer treatments $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

土层 Soil layer (cm)	处理 Treatment	CK		NPK		MNPk		撂荒 Continuous fallow
		小麦-休闲 Wheat-fallow	小麦-玉米 Wheat-maize	小麦-休闲 Wheat-fallow	小麦-玉米 Wheat-maize	小麦-休闲 Wheat-fallow	小麦-玉米 Wheat-maize	
0~10	苗期 Third-leaf	42.10Ab	37.52Bb	40.06Bb	43.03Cb	87.81Ba	89.57Ba	75.66Ba
	拔节期 Shooting	43.27Af	51.70Ae	54.15Ae	65.73ABd	113.49Aa	105.68Ab	86.46Ac
	灌浆期 Filling	43.41Ad	40.10Bd	48.63ABd	58.29Bc	83.77Bb	100.13ABa	81.57ABb
	收获后 Harvested	28.12Be	48.21ABcd	41.13Bd	70.68Ab	76.93Bb	97.65ABa	53.97Cc
	平均 Average	39.22f	44.40e	45.99e	59.43d	90.50b	98.26a	74.42c
10~20	苗期 Third-leaf	29.79ABb	27.18Ab	33.58ABb	30.91ABb	47.97ABa	45.05ABa	29.18Ab
	拔节期 Shooting	33.65Ab	24.50ABc	36.76Ab	35.55Ab	52.20Aa	53.37Aa	29.06Abc
	灌浆期 Filling	24.85Bcd	22.51Bd	29.15Bbc	25.33Bcd	35.11Bab	35.57Ba	22.27Bd
	收获后 Harvested	31.39ABc	26.81ABc	33.18ABc	39.55Ab	44.79ABab	49.05ABa	28.42Ac
	平均 Average	29.92bc	25.26d	33.17b	32.84b	45.02a	45.76a	27.22cd

著外,其他处理之间差异均达显著水平。

不同时期相比,不同培肥措施下小麦-休闲处理土壤 SMBN 含量多在小麦拔节期达较高水平,而小麦收获时这一种植制度土壤 SMBN 含量相对较低。不同培肥措施下小麦-玉米轮作种植制度土壤 SMBN 含量的变化有所不同,不同土壤 SMBN 含量在苗期相对较低,小麦收获时相对较高。

撂荒处理 0~10 cm 土层 SMBN 含量显著高于 CK 和 NPK 处理下的小麦-休闲和小麦-玉米轮作种植制度,但低于 MNPk 处理的两种种植制度;10~20 cm 土层撂荒处理 SMBN 含量与 CK 处理下两种种植制度相差不大,显著低于 NPK 和 MNPk 培肥措施中的两种种植制度。撂荒处理 0~10 cm 土层 SMBN 含量较 10~20 cm 土层的增加幅度显著高于其他施肥处理,这与该处理土壤长期处在未耕作状态有关。

2.5 土壤微生物量碳、氮与土壤其他不同有机碳及氮素组分间的关系

微生物量碳占有有机碳的百分比又称为微生物

商^[18]。任天志等^[18]认为,在标示土壤过程或土壤健康变化时,微生物商要比微生物碳或全碳单独应用有效得多,因为商是一个比值,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。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^[19,20]。本研究表明(表 4),黄土区农田生态系统 0~20 cm 土层 SMBC/TOC 的比例在 2.03%~4.10%之间, SMBN/TN 范围为 2.64%~5.25%;方差分析表明,0~10 cm 土层 SMBC/TOC、SMBN/TN 显著大于 10~20 cm 土层 SMBC/TOC、SMBN/TN。培肥措施和种植制度对 SMBC/TOC 和 SMBN/TN 比值无显著影响。

由表 5 可见,土壤微生物量碳、氮含量不仅与土壤有机碳、全氮含量,而且与土壤可溶性有机碳、氮含量间呈极显著正相关关系。土壤微生物量碳、氮与土壤有机碳、全氮含量显著相关,说明土壤有机质含量是土壤微生物量碳、氮含量的基础。土壤微生物量碳、氮与土壤可溶性有机碳、氮含量显著

表 4 不同培肥措施和种植制度下 SMBC/TOC、SMBN/TN 比值的变化
Tab.4 Ratios between SMBC and TOC, SMBN and TN in different crop systems and fertilizations %

土层 Soil layer (cm)	项目 Item	CK		NPK		MNPk		撂荒 Continuous fallow
		小麦-休闲 Wheat-fallow	小麦-玉米 Wheat-maize	小麦-休闲 Wheat-fallow	小麦-玉米 Wheat-maize	小麦-休闲 Wheat-fallow	小麦-玉米 Wheat-maize	
0~10	SMBC/TOC	2.89±0.22	3.21±0.38	2.69±0.54	2.60±0.22	3.01±0.48	2.99±0.41	4.10±0.22
	SMBN/TN	4.04±0.21	4.23±0.09	4.14±0.43	3.96±0.41	5.25±0.09	4.59±0.07	5.09±0.21
10~20	SMBC/TOC	2.22±0.24	2.03±0.26	2.60±0.26	2.54±0.23	2.84±0.30	2.68±0.03	2.04±0.25
	SMBN/TN	3.16±0.15	2.84±0.12	3.18±0.05	3.09±0.20	2.89±0.19	3.20±0.37	2.64±0.20

表 5 土壤微生物量碳、氮含量与有机碳、全氮及可溶性有机碳、氮含量相关性分析
Tab.5 Correlation coefficients between the SMBC, SMBN, and TOC, TN, SOC, and SON in the soils at the different crop rotation systems and fertilizations

项目 Item	土壤微生物量碳 Soil microbial biomass C (y)	土壤微生物量氮 Soil microbial biomass N (y)
TOC (x)	$y=0.031x-40.68, r=0.849^{**}, n=14$	$y=0.005x-9.933, r=0.873^{**}, n=14$
TN (x)	$y=0.317x-128.2, r=0.890^{**}, n=14$	$y=0.059x-26.22, r=0.916^{**}, n=14$
SOC (x)	$y=4.514x+29.84, r=0.761^{**}, n=42$	$y=0.694x+0.624, r=0.856^{**}, n=56$
SON (x)	$y=53.85x-45.57, r=0.818^{**}, n=42$	$y=8.602x-9.897, r=0.783^{**}, n=56$

**表示达 0.01 极显著水平, r 为相关系数, n 为样本容量。 ** means significance at $P<0.01$, r is the correlation coefficient, n is the sample size.

相关, 反映了土壤微生物量碳、氮与土壤 SOC 和 SON 的紧密关系, 一方面, SOC 和 SON 是微生物代谢产物的重要组成部分^[21], 另一方面, SOC 和 SON 也是微生物生长可以利用的营养物质。如有研究表明^[22], 可溶性有机物中有 10%~40% 的组分能够直接被微生物分解利用。

3 讨论

本研究表明, 不同培肥措施下小麦-玉米轮作土壤有机碳和全氮含量显著高于小麦-休闲种植制度, 这与前人的研究结果一致^[10,23,24]。Acosta-Martinez 等研究表明^[10], 与小麦-休闲种植制度相比, 玉米-休闲-小麦轮作和玉米-黍-小麦轮作制度土壤 0~5 cm 土层 SMBC、SMBN 含量提高, 而在 5~15 cm 土层无差异。本研究发现, 与小麦-休闲相比, 不同培肥措施下小麦-玉米轮作显著提高了 0~10 cm 土层小麦生育期 SMBC 和 SMBN 的平均含量; 小麦-玉米轮作还显著提高了不同培肥措施 0~10 cm 土层 SOC 和 SON 的含量。可见在研究地区, 增加种植强度不仅提高了土壤有机质含量, 还提高了有机质中较为活跃的组分微生物量碳、氮及可溶性有机碳、氮的含量。土壤有机质及其活性组分含量增加的可能原因一是与小麦-休闲相比, 小麦-玉米轮作方式每年通过作物地上部分残体、根系和根系分泌物给土壤中补充了大量不同性质的有机物质, 提高了土壤有机质含量, 促进了微生物的生长繁衍^[23,25,26]; 二是小麦-休闲种植制度夏季休闲期间正值雨季, 且土壤温度高, 土壤微生物的分解作用强, 导致土

壤有机质、微生物量碳、氮含量降低^[27]。

Acosta-Martinez 等^[10]研究发现, 撂荒 15 年处理土壤 0~5 cm 土层 SMBC、SMBN 含量比种植作物处理提高 1.4~3 倍。本研究表明, 耕作土壤撂荒 17 年后可提高 0~10 cm 土层 SMBC、SMBN 含量, 且提高了土壤有机碳、全氮、SOC、SON 含量。撂荒处理土壤有机质及其活性组分含量的增加与这一处理长期未受到人为活动的干扰, 每年有大量植物残体归还土壤有关。说明黄土高原地区减少人为活动的影响, 利用自然作用恢复地力, 具有明显效果。

与撂荒处理相比, 不施肥或单施化肥处理小麦-休闲和小麦-玉米轮作制度均降低了土壤 0~10 cm 土层土壤有机碳、全氮、SMBC、SMBN、SOC、SON 的含量。国外有研究表明, 与长期未耕作土壤相比, 耕作使土壤损失 75% 的氮素和 89% 的碳素^[28]。但化肥与有机肥配合处理两种种植制度下 0~10 cm 土层土壤的 SMBC、SMBN、土壤有机碳、全氮、SOC、SON 含量显著增加, 10~20 cm 土壤各测定指标的增加也多达显著水平。这是因为化肥与有机肥配合施用, 给土壤补充了有机碳源, 促进了土壤微生物的活动和繁殖旺盛^[29,30]; 另外, 化肥配施有机肥促进了作物生长, 为土壤及土壤微生物提供充足的有机物质。可见不同种植制度下, 采用化肥与有机肥配合施用措施是防止土壤退化, 提高土壤肥力的有效措施。

本研究发现, 小麦-玉米轮作方式由于每年向土壤中补充了更多的有机物质, 因此, 0~10 cm 土层土壤 SMBC、SMBN、土壤有机碳、全氮、SOC、

SON 的含量显著高于小麦-休闲种植制度。一个地区适宜的种植制度与当地光、热、水等资源有关。黄土高原地区干旱缺水,土壤瘠薄,因此,不少地区采用小麦-休闲这一轮作方式,以保蓄水分及增加土壤有效养分含量。若能够在小麦收获时采取高留茬或秸秆覆盖等还田方式,给土壤中补充有机物质,则可达到保蓄水分、增加土壤有效养分含量,提高土壤质量“双赢”的生产目的。

参考文献

- [1] 汪文霞, 周建斌, 严德翼, 等. 黄土区不同类型土壤微生物量碳、氮和可溶性有机碳、氮的含量及其关系[J]. 水土保持学报, 2006, 20(6): 103-106
- [2] Tu C., Louws F. J., Creamer N. G., *et al.* Responses of soil microbial biomass and N availability to transition strategies from conventional to organic farming systems [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2005, 113: 206-215
- [3] Hatch D. J., Lovell R. D., Antil R. S., *et al.* Nitrogen mineralization and microbial activity in permanent pastures amended with nitrogen fertilizer or dung [J]. *Biol. Fertil. Soils*, 2000, 30: 288-293
- [4] Jenkinson D. S., Powlson D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1976, 8: 209-213
- [5] 李云乐, 乔玉辉, 孙振钧, 等. 不同土壤培肥措施下农田有机物麦秸分解的数学模型研究[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(3): 61-63
- [6] 李红梅, 关春林, 周怀平, 等. 施肥培肥措施对春玉米农田土壤氮挥发的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(5): 76-79
- [7] Powlson D. S., Hirsch P. R., Brookes P. C. The role of soil microorganisms in soil organic matter conservation in the tropics [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2001, 61: 41-51
- [8] 刘满强, 胡锋, 何园球, 等. 退化红壤不同植被恢复下土壤微生物量季节动态及其指示意义[J]. 土壤学报, 2003, 40(6): 937-944
- [9] Johnson D., Campbell C. D., Lee J. A., *et al.* Arctic microorganisms respond more to elevated UV-B radiation than CO₂ [J]. *Nature*, 2002, 416: 82-83
- [10] Acosta-Martinez V., Mikha M. M., Vigil M. F. Microbial communities and enzyme activities in soils under alternative crop rotations compared to wheat-fallow for the Central Great Plains [J]. *Applied Soil Ecology*, 2007, 37: 41-52
- [11] 马祥华, 焦菊英. 黄土高原植被恢复与土壤环境相互作用研究进展[J]. 水土保持研究, 2004, 11(4): 157-161
- [12] Vance E. D., Brookes P. C., Jenkinson D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1987, 19: 703-707
- [13] 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 & Biochemistry*, 1985, 17: 837-842
- [14] 周建斌, 李生秀. 碱性过硫酸钾氧化法测定溶液中全氮含量氧化剂的选择[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(3): 299-304
- [15] 杨绒, 赵满兴, 周建斌. 过硫酸钾氧化法测定溶液中全氮含量的影响条件研究[J]. 西北农林科技大学学报, 2005, 33(12): 107-111
- [16] Wu J., Joergensen R. G. Measurement of soil microbial biomass C by fumigation-extraction—An automated procedure [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1990, 22: 1167-1169
- [17] He Z. L. Researching status and trend of soil microbial biomass measurement methods [J]. *Advances in Soil Science*, 1994, 22(4): 36-44
- [18] 任天志, Grego S. 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
- [19] Franchini J. C., Crispino C. C., Souza R. A., *et al.* Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil [J]. *Soil and Tillage Research*, 2007, 92: 18-29
- [20] Marinari S., Mancinelli R., Campiglia E., *et al.* Chemical and biological indicators of soil quality in organic and conventional farming systems in Central Italy [J]. *Ecological Indicators*, 2006, 6(4): 701-711
- [21] Magill A. H., Aber J. D. Variation in soil net mineralization rates with dissolved organic carbon additions [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2000, 32: 597-601
- [22] Kalbitz K., Solinger S., Park J. H., *et al.* Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: A review [J]. *Soil Science*, 2000, 165(4): 277-304
- [23] Moore J. M., Klose S., Tabatabai M. A. Soil microbial biomass carbon and nitrogen as affected by cropping systems [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2000, 31: 200-210
- [24] 党廷辉. 黄土旱塬区轮作培肥试验研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(3): 44-48
- [25] Kelley K. W., Long J. H., Todd T. C. Long-term crop rotations affect soybean yield, seed weight, and soil chemical properties [J]. *Field Crops Res.*, 2003, 83: 41-50
- [26] Robinson C. A., Cruse R. M., Ghaffarzadeh M. Cropping systems and nitrogen effects on Mollisol organic carbon [J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1996, 60: 264-269
- [27] Acosta-Martinez V., Zobeck T. M., Gill T. E., *et al.* Enzyme activities and microbial community structure in semiarid agricultural soils [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2003, 38: 216-227
- [28] Knops J. M. H., Tilman D. Dynamics of soil nitrogen and carbon accumulation for 61 years after agricultural abandonment [J]. *Ecology*, 2000, 81(1): 88-98
- [29] 朱丽霞, 章家恩, 刘文高. 根系分泌物与根际微生物相互作用研究综述[J]. 生态环境, 2003, 12(1): 102-105
- [30] 赵满兴, 周建斌, 陈竹君, 等. 有机肥中可溶性有机碳、氮含量及其特性[J]. 生态学报, 2007, 27(1): 397-403