

保护性耕作对麦-豆轮作土壤有机碳全氮及微生物量碳氮的影响

汪娟, 蔡立群, 毕冬梅, 王新建, 张仁陟

(甘肃农业大学资源与环境学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要:通过设置在甘肃省定西市李家堡镇的保护性耕作措施长期定位试验,共设4个处理(T:传统耕作;NT:免耕无覆盖;TS:传统耕作+秸秆还田;NTS:免耕+秸秆覆盖),采用春小麦豌豆双序列轮作(即小麦→豌豆→小麦和豌豆→小麦→豌豆,本文中所指春小麦地、豌豆地分别指2008年种植春小麦、豌豆的轮作次序),于2008年3月中旬对春小麦、豌豆双序列轮作下的土壤有机碳、全氮、土壤微生物量碳及土壤微生物量氮含量进行了采样测定。结果表明,经过7a的轮作后,两种轮作次序下,0~30 cm土层中土壤有机碳、全氮、土壤微生物量碳、土壤微生物量氮含量均有在免耕+秸秆覆盖、传统耕作+秸秆还田处理较免耕不覆盖、传统耕作处理高的趋势,且其含量均随着土壤深度的增加而降低。其中,土壤微生物量碳含量在两种轮作次序下的排序均为:免耕+秸秆覆盖(NTS)>传统耕作+秸秆还田(TS)>免耕不覆盖(NT)>传统耕作(T);而土壤微生物量氮含量在春小麦地和豌豆地的排序则分别表现为:免耕+秸秆覆盖(NTS)>传统耕作+秸秆还田(TS)>传统耕作(T)>免耕不覆盖(NT)和免耕+秸秆覆盖(NTS)>传统耕作+秸秆还田(TS)>免耕不覆盖(NT)>传统耕作(T)。同时,微生物量碳、微生物量氮与有机碳和全氮均呈显著正相关,说明提高土壤有机质、全氮含量的保护性耕作模式有利于土壤微生物量碳与氮的积累。

关键词:保护性耕作;有机碳;全氮;微生物量碳;微生物量氮

中图分类号:S344.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2009)07-1516-06

Effects of Conservation Tillage on the SOC、TN、SMBC and SMBN in Two Sequence Rotation Systems with Spring Wheat and Pea

WANG Juan, CAI Li-qun, BI Dong-mei, WANG Xin-jian, ZHANG Ren-zhi

(College of Resources & Environmental Sciences, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Soil microbial biomass has been identified as an appropriate index to denote the soil quality by many researchers because of its good indicative function. The effects of conservation tillage on soil organic carbon(SOC), total nitrogen(TN), soil microbial biomass carbon(SMBC) and microbial biomass nitrogen(SMBN) were investigated in a field experiment, which consisted of four treatments(T:conventional tillage; NT:no-tillage with no straw cover; TS:conventional tillage with straw; NTS:no-tillage with stubble retention) and two sequence rotation systems with spring wheat and pea at the Gansu Agricultural University's farm in Dingxi. "The spring field" and "the pea field" represented the order of rotation spring wheat and pea had been planted in 2008. The results showed that after 7 years, SOC, TN, SMBC and SMBN of 0~30 cm soil layer which under no-tillage with stubble retention(NTS) and conventional tillage with straw(TS) treats all had been higher than the ones under no-tillage with no straw cover(NT) and conventional tillage(T) treats. Moreover, the contents of SOC, TN, SMBC and SMBN were decreasing with soil layer being deepened. In the 0~30 cm soil layer of the spring wheat field the contents of SMBC and SMBN followed the order in the treatments:NTS>TS>NT>T while NTS>TS>NT>T, NTS>TS>NT>T in the pea field. Moreover, there were significant positive correlations among SMBC, SMBN, SOC and TN. It proved that conservation tillage which could improve the contents of SOC and TN were also beneficial to SMBC and SMBN's accumulations.

Keywords: conservation tillage; soil organic carbon; soil total nitrogen; soil microbial biomass carbon; soil microbial biomass nitrogen

收稿日期:2008-11-20

基金项目:ACIAR项目(SMCN(LWR2)/1999094);国家科技支撑计划项目(2006BAD15B06);国家自然科学基金项目(40771132)

作者简介:汪娟(1985—),女,安徽省安庆人,在读硕士研究生,主要从事保护性耕作研究。E-mail:wendy1003@126.com

通讯作者:张仁陟 E-mail:zhangrz@gsau.edu.cn

土壤微生物作为土壤有机质的降解者和植物营养物质的活性库,在土壤和植物群落内部及全球物质循环中发挥着重要的作用。同时,人们常将土壤微生物量碳、氮视为直观反映土壤微生物活性及土壤肥力状况的重要指标^[1]。土壤微生物尽管所占比例很小,但由于其对外界条件变化敏感,其大小、活性、组成及周转强烈受生物因素(耕作、施肥、土地利用变化、土壤污染等人为因素及植被类型)和非生物因素(环境温度、湿度、土壤类型等)影响,因而能够及时反映土壤质量状况。因此,土壤微生物量碳(SMBC)、土壤微生物量氮(SMBN)已成为国际土壤与植物营养学研究的热点问题^[2-4]。黄土高原干旱、半干旱雨养农业区常年以传统耕作方式对土壤进行翻耕,作物秸秆大量移出后常导致表土暴露,特别是加速了土壤有机质的分解、增加了土壤侵蚀和养分流失,使耕地质量日趋下降^[5-6]。而国内外广泛研究的以少、免耕为代表的各种保护性耕作措施在提高土壤有机物质输入量,减少土壤有机质矿化分解,增加土壤养分有效性等方面均具有明显效果^[7-9]。2001 年 8 月,甘肃农业大学在位于黄土高原西部的定西市李家堡镇设置了长期定位试验,研究不同保护性耕作措施对土壤物理、化学及生物学特性的影响,以筛选出适合的保护性耕作模式并加以推广。本文对 2008 年作物播种期耕层(0~30 cm)土壤有机碳、全氮、微生物量碳及微生物量氮含量进行了测定,旨在为深入了解保护性耕作措施对于干旱、半干旱区土壤微生物学特性的影响,评价其在该地区的适应性,实现农业可持续发展提供可靠的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区位于黄土高原半干旱丘陵沟壑区,平均海拔 2 000 m,年均太阳辐射 591.89 kJ·cm⁻²,日照时数 2 476.6 h,年均气温 6.4 ℃,≥0 ℃积温 2 933.5 ℃,≥10 ℃积温 2 239.1 ℃;无霜期 140 d。多年平均降水 390.9 mm,年蒸发量 1 531 mm,干燥度 2.53,保证率的降水量为 365 mm,变异系数为 24.3%,为典型的雨养农业区。土壤为典型的黄绵土,土质绵软,土层深厚,质地均匀;0~200 cm 土壤容重平均为 1.17 g·cm⁻³,凋萎含水率 7.3%,饱和含水率 21.9%。

1.2 试验设计

试验始于 2001 年 8 月,共设 4 个处理,3 次重复,共 24 个小区,小区面积 4 m×20 m,随机区组排列。采用春小麦豌豆双序列轮作,即小麦→豌豆→小

麦和豌豆→小麦→豌豆。本文中所指春小麦地、豌豆地分别指 2008 年种植春小麦、豌豆的轮作次序,具体处理方式如表 1。

表 1 试验处理描述
Table 1 Treatments description

代码 Code	处理 Treatments	操作方法 Operation
T	传统耕作	作物收获后至冻结前三耕两耢,翻耕深度依次为 20、10 和 5 cm
NT	免耕不覆盖	全年不耕作,播种时用免耕播种机一次性完成播种和施肥,收获后用 2,4-D 丁酯除草
TS	传统耕作+秸秆还田	耕作方式同 T,在第一次耕作的同时将前茬作物秸秆翻入土中
NTS	免耕+秸秆覆盖	耕作、播种和除草方法同 NT,收获后前茬作物秸秆全部归还小区

供试作物为春小麦和豌豆。其中春小麦品种为“定西 35 号”,播量 187.5 kg·hm⁻²,行距 20 cm。施纯氮 105 kg·hm⁻²、P₂O₅ 105 kg·hm⁻²,所有肥料均作为基肥在播种时施入,播期为 2008 年 3 月中旬,收获期为 2008 年 8 月中旬。豌豆品种为“绿农 1 号”,播量 180 kg·hm⁻²,行距 22.5 cm。施纯氮 20 kg·hm⁻²、P₂O₅ 105 kg·hm⁻²,所有肥料均作为基肥在播种时施入,播期为 2008 年 3 月下旬,收获期为 2008 年 7 月中旬。

1.3 样品采集和测定

2008 年春小麦和豌豆播种前,在各小区分别取 0~5 cm,5~10 cm,10~30 cm 土层的土样,每个小区均取 3 点样混合。土样采回后,一部分置于冰箱(4 ℃左右)内,用于测定土壤水分,微生物量碳、氮含量,另一部分风干用于常规分析。

土壤微生物量碳、氮含量采用氯仿熏蒸浸提法^[8-9]测定。土壤微生物量碳 BC(mg·kg⁻¹)= EC/0.38;土壤微生物量氮 BN(mg·kg⁻¹)= EN/0.45^[10]。其中 0.38 和 0.45 分别为土壤微生物量碳和氮的系数;EC 和 EN 分别为熏蒸和未熏蒸土壤 K₂SO₄ 浸提液有机碳和全氮含量的差值。

土壤有机碳的测定采用重铬酸钾容量法——外加热法^[11],全氮的测定采用半微量凯氏法^[11]。

1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 绘制图表,采用 SPSS 13.0 软件对数据进行相关分析和 Duncan 多重比较,显著度水平为 0.05。

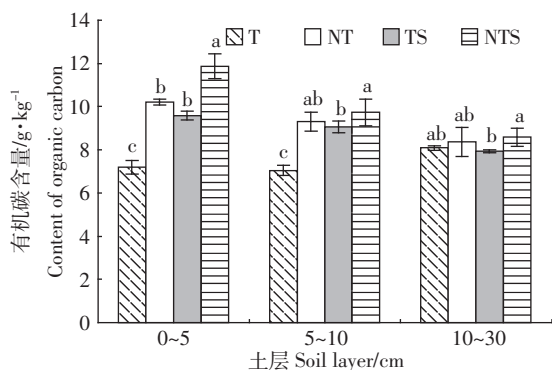
2 结果与分析

2.1 不同耕作对土壤有机碳的影响

图 1 和图 2 是不同耕作对春小麦地和豌豆地耕

层土壤有机碳分布的影响。由图可知:在春小麦地 0~5 cm 土层中,NTS 处理下土壤有机碳含量分别比 TS、NT、T 处理的高 2.29、1.66、4.69 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,且其差异均达到了显著水平;5~10 cm 土层中,各处理土壤有机碳含量排序为 $\text{NTS}>\text{NT}>\text{TS}>\text{T}$,其中 NTS 处理与 TS、T 处理间的差异达到了显著水平;10~30 cm 土层中,仅 NTS 与 TS 处理间有机碳含量有显著差异而其他处理间无明显差异。将上述各个层次有机碳含量加权求和后得到 0~30 cm 土层中有机碳含量排序为: $\text{NTS}>\text{NT}>\text{TS}>\text{T}$ 。

在豌豆地 0~5 cm 和 5~10 cm 土层中,TS、NTS 处理下土壤有机碳含量均比 T、NT 处理的高,且均呈 $\text{TS}>\text{NTS}>\text{T}>\text{NT}$ 的趋势,而在 10~30 cm 土层中,保护性耕作的各处理土壤有机碳含量均高于传统耕作处



不同小写字母代表处理间 $P<0.05$ 水平差异显著。

T:传统耕作; NT:免耕无覆盖; TS:传统耕作+秸秆还田; NTS:免耕+秸秆覆盖。下同。

Different small letters stand for significance at $P<0.05$ among treatments. T:conventional tillage with no straw; NT:no-tillage no straw cover; TS:conventional tillage with straw incorporated; NTS:no-tillage with straw cover. The same below.

图 1 春小麦地耕层土壤有机碳分布

Figure 1 Distribution of soil organic carbon in spring wheat field

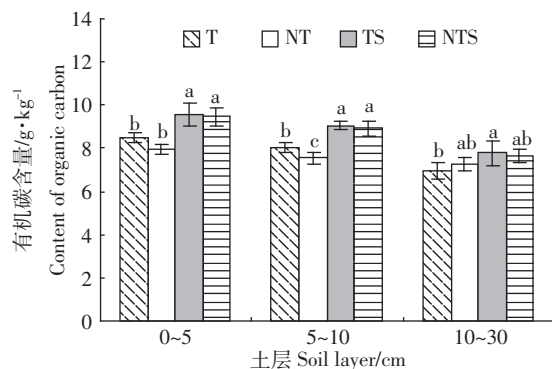


图 2 豌豆地耕层土壤有机碳分布

Figure 2 Distribution of soil organic carbon in pea field

理,但除 TS 与 T 处理间达到显著水平外,其他各处理间并无显著差异。将上述各个层次有机碳含量加权求和后得到 0~30 cm 土层中有机碳含量排序为: $\text{TS}>\text{NTS}>\text{T}>\text{NT}$ 。

2.2 不同耕作对土壤全氮的影响

土壤全氮包括所有形式的有机和无机氮素,是土壤氮素总量和供应植物有效氮素的源和库,其含量能够综合反映土壤的氮素状况。图 3 和图 4 是不同耕作对春小麦和豌豆地耕层土壤全氮分布的影响。

由图可知:在春小麦地中,0~5 cm 土层中,NTS 处理全氮含量分别比 TS、NT、T 处理的高 12.3%、12.4%、13.6%,且其差异均达到显著水平,同时 TS、NT 又显著高于 T 处理;在 5~10 cm 土层中,NTS 处理的全氮含量显著高于 T 处理,但 TS、NT 处理与 T 处理间差异不显著;在 10~30 cm 土层,各处理大小排序同 5~10 cm 土层,但处理间差异均不显著。

在豌豆地中,0~5 cm 土层中,NTS 处理全氮含量分别比 TS、NT、T 处理高 6.3%、15.2%和 25.3%,其中,NTS、NT 处理与 T 处理间差异达到了 5%的显著水平;5~10 cm 土层中,NTS、TS、NT 均与 T 处理差异达

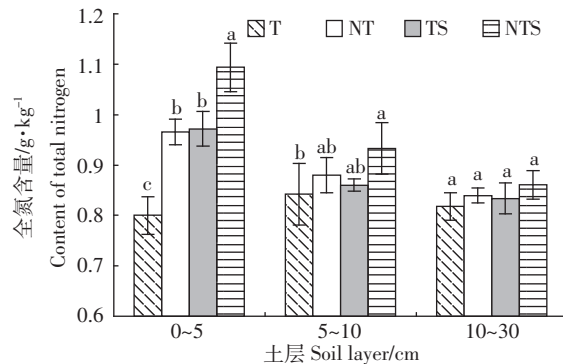


图 3 春小麦地耕层土壤全氮分布

Figure 3 Distribution of soil total nitrogen in spring wheat field

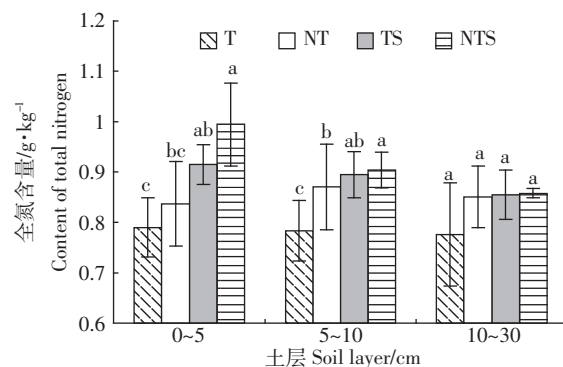


图 4 豌豆地耕层土壤全氮分布

Figure 4 Distribution of soil total nitrogen in pea field

到了显著水平,但NTS、TS、NT间并无显著差异;10~30 cm土层中,各处理间土壤全氮含量均无显著差异,但其大小排序同上一层。

2.3 不同耕作对土壤微生物量碳的影响

SMBC的消长反映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。图5和图6是不同耕作对春小麦和豌豆地SMBC分布的影响。

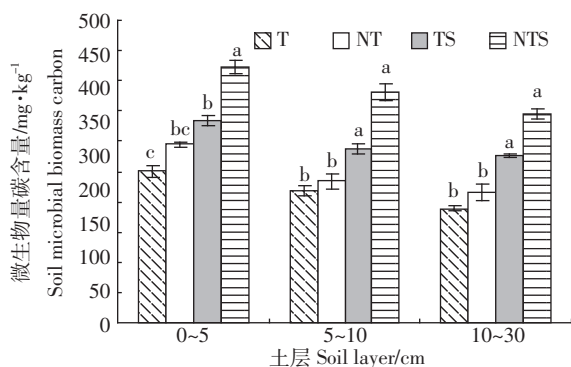


图5 春小麦地耕层土壤微生物量碳分布

Figure 5 Distribution of SMBC in spring wheat field

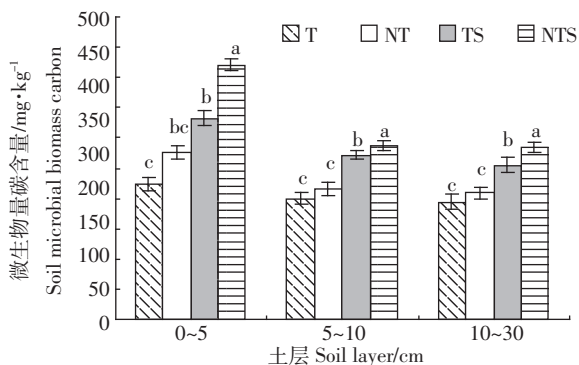


图6 豌豆地耕层土壤微生物量碳分布

Figure 6 Distribution of SMBC in pea field

由图可知,在春小麦地0~5 cm土层中,NTS处理的SMBC显著高于其他处理,且TS处理与T处理下SMBC的差异也达到了显著水平;5~10 cm土层中,NTS、TS处理的SMBC显著高于NT、T处理;10~30 cm土层中,各处理SMBC表现与5~10 cm土层中相似。

在豌豆地0~5 cm土层中,NTS处理的SMBC显著高于其他处理,且TS处理与T处理下SMBC的差异也达到了显著水平;5~10 cm土层中,NTS处理下SMBC显著高于其他处理,且TS与NT、T处理下SMBC差异也达到了5%的显著水平;10~30 cm土层中,各处理SMBC的趋势与5~10 cm土层中相似。

2.4 不同耕作对土壤微生物量氮的影响

SMBN的含量是土壤微生物对氮素矿化与固持作用的综合反映。图7和图8是不同耕作对春小麦和豌豆地SMBN含量分布的影响。

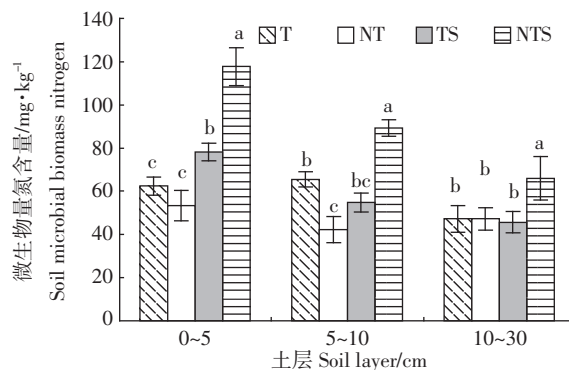


图7 春小麦地耕层土壤微生物量氮分布

Figure 7 Distribution of SMBN in spring wheat field

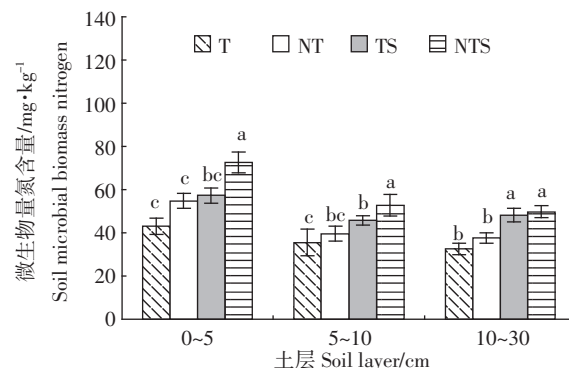


图8 豌豆地耕层土壤微生物量氮分布

Figure 8 Distribution of SMBN in pea field

由图可知:在春小麦地0~5 cm土层中,NTS处理的SMBN显著高于其他处理,且TS处理与T、NT处理下SMBN的差异也达到了显著水平;5~10 cm土层中,NTS处理的SMBN显著高于其他处理,但T的SMBN显著高于NT处理;10~30 cm土层中,NTS处理的SMBN显著高于其他处理,各处理SMBN表现为NTS>NT、T>TS。

在豌豆地0~5 cm土层中,NTS处理的SMBN显著高于其他处理,但TS、NT、T处理间差异不显著;5~10 cm土层中,NTS处理下SMBN显著高于其他处理,且TS的SMBN也显著高于T处理;10~30 cm土层中,NTS、TS处理的SMBN显著高于T、NT处理,各处理SMBN含量呈NTS>TS>NT>T趋势。

2.5 土壤SOC、TN、C/N、SMBC、SMBN间的关系

研究者一般认为,土壤有机质与微生物量碳或微生物量氮有密切的正相关关系^[12]。表2是春小麦、豌豆

豆地耕层土壤有机质、全氮、C/N、微生物量碳、氮相关系数矩阵,由表可知,无论何种轮作次序,微生物量碳、微生物量氮与有机碳和全氮均呈显著正相关,说明提高土壤有机质、全氮含量有利于土壤微生物碳与氮的积累。

表 2 春小麦、豌豆地耕层土壤有机质、全氮、C/N、微生物量碳、氮相关系数矩阵

Table 2 Correlation coefficients of organic matter, total nitrogen, microbial biomass carbon and nitrogen of soil tillage layer in spring wheat and pea field

		SOC	TN	C/N	SMBC	SMBN
春小麦 Spring wheat	SOC	1				
	TN	0.854**	1			
	C/N	0.909**	0.563	1		
	SMBC	0.828**	0.874**	0.598*	1	
	SMBN	0.626*	0.683*	0.403	0.835**	1
豌豆 Pea	SOC	1				
	TN	0.648*	1			
	C/N	0.539	-0.290	1		
	SMBC	0.727**	0.790**	0.040	1	
	SMBN	0.734**	0.893**	-0.053	0.927**	1

注:* 显著性水平 0.05; ** 显著性水平 0.01。

Note: * stand for significance at $P < 0.05$; ** stand for significance at $P < 0.01$.

3 讨论与结论

(1) 经过连续 7 a 不同耕作结合春小麦-豌豆轮作后,各处理耕层土壤有机碳含量产生了较大的差异。但无论何种轮作次序,土壤有机碳含量均随着土壤深度的增加而减少,且均有 NTS、TS 处理的土壤有机碳含量均较 T 处理高的趋势。但 NT 处理土壤总有机碳含量在春小麦地中比 T 处理高,在豌豆地中比 T 处理低,可见秸秆覆盖或还田对土壤总有机碳含量的提高效果比较稳定,这与蔡立群等的研究结果一致^[13]。其可能原因是测试年份 P→W→P 序列种植的作物是豌豆,其前茬作物春小麦的秸秆产量较 W→P→W 序列的前茬作物豌豆的秸秆产量高^[14],秸秆还田后导致土壤总有机碳含量呈现此趋势。

(2) 在两种轮作次序下,保护性耕作的 3 个处理在各土层中的全氮含量均较传统耕作处理的高。对 3 个土层全氮含量加权求和结果表明,0~30 cm 土壤全氮含量均表现为 NTS>TS>NT>T 的趋势,且其含量随土壤深度的增加而减少,这与土壤有机碳含量变化的趋势相似。土壤全氮含量在剖面上的这种分布格局

与土壤植物残留物在土层中的分布密切相关。其主要原因在于土壤全氮主要来源于土壤植物残体分解与合成所形成的有机质,而土壤有机质强烈影响土壤微生物量的数量和活性^[15],并且植物(主要是农作物)残留物也主要集中在 0~30 cm 土层内,且随深度增加而减少。李香真等^[16]认为,土壤有机碳、全氮含量在一定程度上反映了土壤环境因子组合的最佳程度;土壤有机质水平高,微生物所受胁迫小,有利于微生物群落的发展。因此,10~30 cm 土层以上,尤其是表层土壤中植物残留物分解合成形成的有机质相对集中,相应的全氮含量也就明显高于下层。

(3) 在两种轮作次序下,0~30 cm 土层中微生物量碳、氮含量都是 NTS、TS 处理明显大于 NT、T 处理。土壤微生物量碳、氮含量均表现为:0~5 cm>5~10 cm>10~30 cm。表明免耕秸秆覆盖与秸秆还田比免耕不覆盖对土壤微生物量碳的增加影响更稳定,此结果与宋明伟等^[16]的研究结果相似。其原因可能是 NTS 处理不扰动土层,植物残体主要积累在表土层中,相应地可供微生物维持生命活动的能量充足;同时,长期免耕结合秸秆覆盖使植物根系多集中分布于表土层,根系分泌的大量低分子量的根系分泌物也促进了土壤微生物的繁衍,使其生命活动旺盛,从而导致该土层中土壤微生物生物量碳含量高于其他处理。不同土层土壤微生物量氮在春小麦地和豌豆地的排序出现不同的原因可能是种植的作物根系分布及根系分泌物在土壤中的积累不同及前茬作物残体的不同,从而使土壤微生物得到的 C 源数量及性质不同。本试验数据及结果与之前文献略有所差异,一方面是因为经过 7 a 保护性耕作后土壤有机碳、全氮、微生物量碳氮含量均有所提高,但大体趋势保持一致,表明保护性耕作能够有效改善土壤质量,有利于土地的持续利用和农业的可持续发展,适合在甘肃中部半干旱农业区推广;另一方面是由于在农田生态系统中,土壤微生物量的变化主要受到环境条件(干湿、温度变化)和作物生长等综合影响,采样时间,不同的轮作年份,以及当年的气候状况,降雨量,都可成为影响微生物量变化的因素。

(4) 在两种轮作次序下,微生物量碳、微生物量氮与有机碳和全氮均呈显著正相关,说明提高土壤有机质、全氮含量有利于土壤微生物碳与氮的积累。

参考文献:

- [1] 王继红,刘景双,于君宝,等. 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[J]. 水土保持学报, 2004, 18(1): 35-38.

- WANG Ji-hong, LIU Jing-shuang, YU Jun-bao, et al. Effect of fertilizing N and P on soil microbial biomass carbon and nitrogen of black soil corn agroecosystem[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18(1):35-38.
- [2] Macarty G W, Meisinger J J, Jenniskens F M M. Relationships between total-N, biomass-N and active-N in soil under different tillage and N fertilizer treatments[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1995, 27(10):1245-1250.
- [3] Hernández-Hernández R M, Lopez-Hernández D. Microbial biomass, mineral nitrogen and carbon content in savanna soil aggregates under conventional and no-tillage[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, 34:1563-1570.
- [4] Templer P, Findlay S, Lovett G. Soil microbial biomass and nitrogen transformations among five tree species of the Catskill Mountains[J]. *New York, USA. Soil Biology and Biochemistry*, 2003, 35:607-613.
- [5] 李香真, 曲秋皓. 蒙古高原草原土壤微生物量碳氮特征[J]. *土壤学报*, 2002, 39(1):97-104.
- LI Xiang-zhen, QU Qiu-hao. Soil microbial biomass carbon and nitrogen in Mongolian grassland[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(1):97-104.
- [6] 姜培坤, 周国模. 侵蚀型红壤植被恢复后土壤微生物量碳、氮的演变[J]. *水土保持学报*, 2006, 20(1):112-127.
- JIANG Pei-kun, ZHOU Guo-mo. Changes in soil microbial biomass carbon and nitrogen under eroded red soil by vegetation recovery[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(1):112-127.
- [7] 唐国勇, 黄道友, 童成立, 等. 土壤氮素循环模型及其模拟研究进展[J]. *应用生态学报*, 2005, 16(11):2208-2212.
- TANG Guo-yong, HUANG Dao-you, TONG Cheng-li, et al. Research advances in soil nitrogen cycling models and their simulation [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(11):2208-2212.
- [8] 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 Biol Biochem*, 1985, 17:837-842.
- [9] Jenkinson D S, Powlson D S. The effect of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass[J]. *Soil Biol Biochem*, 1976, 8:209-213.
- [10] Jenkinson D S. Determination of microbial biomass carbon and nitrogen in soil[C]//Wilson J R, et al. *Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems*. CAB International, 1988:368-386.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 第三版. 北京:中国农业出版社, 1999:30-35.
- BAO Shi-dan. *Soil agro-chemistry analysis (The third edition)*[M]. Beijing:China Agricultural Press, 1999:30-35.
- [12] Sparling G P. The soil biomass[M]//Vaughan D, Malcolm R E. *Soil organic matter and biological activity*. Martinus Nijhoff/Dr Jun k W Publishers, Netherlands, 1984:223-262.
- [13] 蔡立群, 齐 鹏, 张仁陟. 保护性耕作对麦-豆轮作条件下土壤团聚体组成及有机碳含量的影响[J]. *水土保持学报*, 2008, 22(2):141-145.
- CAI Li-qun, QI Peng, ZHANG Ren-zhi. Effects of conservation tillage measures on soil aggregates stability and soil organic carbon in two sequence rotation system with spring wheat and field pea[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 22(2):141-145.
- [14] 孙利军, 张仁陟, 蔡立群. 黄土高原半干旱区保护性耕作经济适应性评价[J]. *干旱地区农业研究*, 2006, 24(5):18-19.
- SUN Li-jun, ZHANG Ren-zhi, CAI Li-qun. Evaluation of economic adaptability of conservation tillage in the semi-arid areas of Loess Plateau[J]. *Agricultural Research in the Arid Area*, 2006, 24(5):18-19.
- [15] M S VA'Squez-Murrieta, Govaerts B, Dendooven L. Microbial biomass C measurements in soil of the central highlands of Mexico[J]. *Appl Soil Ecol*, 2007, 35:432-440.
- [16] 宋明伟, 李爱宗, 蔡立群, 等. 耕作方式对土壤有机碳库的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2008, 27(2):622-626.
- SONG Ming-wei, LI Ai-zong, CAI Li-qun, et al. Effects of different tillage methods on soil organic carbon pool[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(2):622-626.