

不同耕作措施对麦—豆轮作条件下土壤有机碳库与微生物商的影响

毕冬梅, 张仁陟*, 汪娟, 王新建, 蔡立群

(甘肃农业大学资源与环境学院, 甘肃兰州 730070)

摘要: 以长期定位试验为基础, 对麦—豆轮作次序下不同耕作措施间的土壤有机碳、易氧化碳以及微生物生物量碳进行了测定, 计算了土壤微生物商在各个序列中变化并对土壤各级有机碳库进行了相关分析。结果表明: 两种轮作次序下传统耕作结合秸秆还田、免耕不覆盖、免耕秸秆覆盖与传统耕作不覆盖相比更有利于土壤有机碳库含量的提高, 同时各处理表层有机碳含量明显高于其它层次并且随着土层的增加而递减。相关分析结果显示, 土壤活性有机碳较很大程度上依赖土壤有机碳的含量, 同时也说明易氧化碳与微生物都在一定程度上表征了土壤中活性较高部分的有机碳含量。不同耕作处理的土壤微生物商均表现为 NIS、NT、TS 处理大于 T 处理, 和不同耕作处理下土壤总有机碳含量的变化趋势一致。相较于其它处理免耕秸秆覆盖的土壤微生物商在各个序列中变化最明显, 说明免耕秸秆覆盖对土壤有机碳含量的增加和土壤有机质的累积的贡献最大。

关键词: 耕作措施; 轮作; 土壤有机碳; 易氧化碳; 微生物生物量碳

中图分类号: S 153.6 S 157.4⁺² **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)06-0011-06

土壤中的有机碳库与无机碳库都是陆地生态系统重要的碳库, 土壤有机碳(soil organic carbon, SOC)在很大程度上影响着土壤结构的形成和稳定性、土壤的缓冲性能和持水性能以及植物营养的生物有效性, 起着缓解和调节与土壤退化及土壤生产力有关的一系列土壤过程, 是土壤质量评价和土地可持续利用管理中的重要指标, 也是表征土壤肥力高低的重要指标之一。土壤有机碳的含量是进入土壤的生物残体等有机物质的输入与以土壤微生物分解作用为主的有机物质的损失之间的平衡。作为土壤中重要的胶结物质, 土壤有机碳影响土壤的物理性质和土壤的保肥与供肥性能, 对土壤酸碱和有毒物质具有缓冲能力, 是土壤良好的缓冲剂, 其含量直接影响土壤肥力和作物产量的高低^[1]。引起土壤有机碳库的最初变化主要是易分解、矿化部分, 即活性碳部分。土壤活性碳是指土壤中移动快、稳定性差、易氧化、矿化, 并对植物和土壤微生物活性较高的那部分有机碳^[2], 土壤活性有机碳占土壤有机碳含量的比例总体上不高, 但是对于维持土壤肥力及土壤碳储量变化方面具有重要性, 而且与土壤生产力密切相关^[3,4], 影响土壤的生态效应^[5]。土壤活性碳直接参与土壤生物化学转化过程^[6], 它们也是土壤微生物活性能源和土壤养分的驱动力^[7], 可以在土壤总

有机碳变化之前反映土壤微小的变化, 与全量有机碳相比, 它可以更好地反映土壤有机碳的有效性, 指示土壤质量^[8], 因而它们是评价土壤碳库平衡和土壤化学、生物化学肥力保持的重要指标。土壤活性有机碳含量高低直接影响土壤微生物的活性, 对调节土壤养分分流有很大影响, 并且对土壤耕作措施的反映很明显。

甘肃中部干旱农业区, 常年以传统耕作措施为主, 土壤过度翻耕、作物秸秆大量移出, 导致表土暴露和土壤结构的破坏, 特别是加速了土壤有机碳的分解, 同时增加了土壤侵蚀、水分和养分流失, 耕地质量日趋退化, 因此传统耕作已难以维持土地的持续利用和农业的可持续发展。在该地区实行保护性耕作, 能够提高土壤有机碳、改善土壤结构、提高土壤肥力, 为了农业的可持续发展和水土保持的需要, 保护性耕作已成为该区农业发展的必然趋势^[8,9]。本研究依托甘肃农业大学设置在黄土高原西部定西市李家堡镇的长期定位试验, 以传统耕作为对照, 针对传统耕作措施所存在的问题, 重点研究保护性耕作对旱地农田土壤有机碳含量的影响, 以期为该地区选择适当的耕作方式以及维持土地的持续利用提供科学实践依据。

收稿日期: 2009-04-28

基金项目: 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: 毕冬梅(1983—), 女, 甘肃武威人, 在读硕士, 主要从事土壤生态学方面的研究。E-mail: mandyb@163.com.

* 通讯作者: 张仁陟, 男, 教授, 博士生导师。E-mail: zhangrz@gsau.edu.cn.

1 材料与方法

1.1 试区概况

试验设在陇中黄土高原半干旱丘陵沟壑区的定西县李家堡乡麻子川村。试区属中温带偏旱区,平均海拔 2 000 m 左右,年均太阳辐射 594.7 kJ/cm²,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 2.53,80%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。试区农田土壤为典型的黄绵土,土质绵软,土层深厚,质地均匀,贮水性能良好;试验初期 0~200 cm 土壤容重平均为 1.17 g/cm³,凋萎含水率 7.3%,饱和含水率 21.9%。

1.2 试验设计与参试作物

试验共设 4 个处理,采取春小麦-豌豆双序列轮作,即春小麦-豌豆-春小麦(W-P-W 序列)和豌豆-春小麦-豌豆(P-W-P 序列),共 24 个小区,3 次重复,小区面积 80 m²(4 m×20 m),随机区组排列。

处理 1:T 传统耕作不覆盖(conventional tillage with no straw)——试验地在前茬收获后三耕两耩。八月份收获后马上进行第一次耕作,八月底和九月份分别进行第二、三次耕作,耕深依次为 20 cm、10 cm 和 5 cm。九月份第三次耕后耩一次,十月份冻结前再耩一次。这是定西地区很典型的耕作措施。

处理 2:NT 免耕不覆盖(no tillage with no straw cover)——整个试验期免耕,不覆盖任何材料。

处理 3:TS 传统耕作结合秸秆还田(conventional tillage with straw incorporated)——试验地耕耩同 T,前茬作物收获的所有秸秆脱粒后切成 5 cm 左右翻埋入土。

处理 4:NIS 免耕秸秆覆盖(no tillage with straw cover)——耕作、播种和除草方法同 NT,从 8 月至翌年 3 月地面覆盖前茬作物秸秆,前茬作物收获的所有秸秆脱粒后立即还原小区。

供试作物为春小麦和豌豆。其中春小麦品种为定西 35 号,每年 3 月中旬播种,收获期为同年 8 月中旬,播种量 187.5 kg/hm²,各处理均施 N 105 kg/hm²(尿素+二铵),P₂O₅ 105 kg/hm²(过磷酸钙+二铵);豌豆为绿农 1 号,每年 3 月下旬播种,收获期为同年 7 月中旬,播种量 180 kg/hm²,各处理均施 N 20 kg/hm²(尿素+二铵),P₂O₅ 105 kg/hm²(过磷酸钙+二铵),所有肥料均由中国农业大学研制的免耕播种机在播种时同时施入。春小麦行距 20 cm,豌豆

行距 22.5 cm,播深均为 7 cm。2001 年 8 月试验布置时,TS 和 NIS 处理所用的覆盖材料为当年产的小麦秸秆用量为 6 750 kg/hm²。

TS 和 NIS 所用的秸秆为上一年新鲜的小麦秸秆,经翻晒后切成 5 cm 左右均匀撒布于小区内,休闲期的田间杂草用 2,4-D 丁酯杀除,未除净的杂草在计数后,手工拔除。收获时取样 20 株进行考种,各小区除去边行 0.5 m 后单打单收,并以各小区打碾产量为准折算成每公顷产量。

1.3 土样采集

土壤样品的采集与处理:2008 年 3 月上旬即作物播种前与 2008 年 8 月中旬即作物收获后进行取样。用土钻取 0~5 cm、5~10 cm、10~30 cm 土层土样。每个小区用蛇形取样法随机选取 5 个样品混合均匀,新鲜土样过 2 mm 钢筛后,一部分自然风干,用于土壤理化指标和土壤有机碳的测定,另一部分于冰箱内冷藏 4℃,(<72 h) 用于微生物生物量碳的测定。

1.4 测定项目及分析方法

土壤总有机碳含量采用重铬酸钾外加热法^[19];土壤全氮采用凯氏消煮法测定^[19];土壤易氧化碳采用 KMnO₄(333 mmol/L)氧化法测定^[19];土壤微生物生物量碳(MBC)采用氯仿熏蒸-K₂SO₄浸提法(FE)^[19]。

数据分析:采用 Microsoft Excel 绘制图表,采用 SPSS 13.0 软件对数据进行差异显著性检验和分析。

2 结果与分析

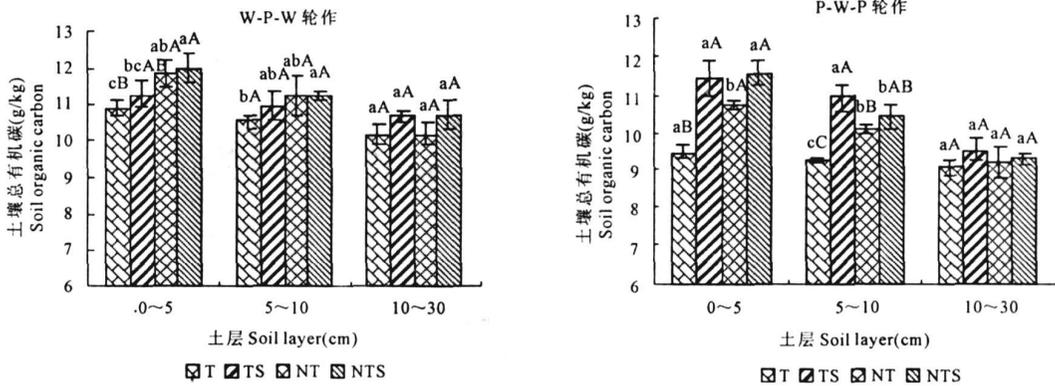
2.1 不同耕作措施对麦-豆轮作条件下土壤总有机碳含量的影响

图 1 是不同耕作措施对两种轮作次序下不同土层土壤总有机碳含量的测定结果。

由图 1 可以看出,在 W-P-W 轮作下,土壤通过 TS、NT、NIS 处理以后土壤有机碳含量较 T 处理增加,其中 NIS 处理增加最为明显。0~5 cm 土层中 NT、NIS 处理有机碳含量与 T 处理差异极显著($P < 0.01$),分别比 T 处理高 1.09 g/kg、0.95 g/kg,TS 处理有机碳含量与 NIS 处理差异显著($P < 0.05$),TS 和 T 处理间有机碳含量差异不显著但比 T 处理高 0.4 g/kg;在 5~10 cm 土层中只有 NIS 处理有机碳含量与 T 处理差异显著,TS、NT 和 T 处理间有机碳含量差异不显著,且 TS、NT、NIS 处理有机碳含量分别比 T 处理有机碳含量高 0.42 g/kg、0.68 g/kg、0.73 g/kg;在 10~30 cm 土层中各处理间有机碳含量差异不显著但保护性耕作的固碳效果依然显现,

TS、NT、NIS 处理有机碳含量比 T 处理分别提高了 4.80%、0.19%、5.27%。在 0~30cm 土层中有机碳的含量表现为 NIS > NT > TS > T, 与 T 处理相比, TS

处理有机碳含量提高了 1.31g/kg, NT 处理有机碳含量提高了 1.65g/kg, NIS 处理有机碳含量提高了 2.36g/kg。



注:不同大、小写字母分别表示处理间 $LSD_{0.01}$ 和 $LSD_{0.05}$ 水平差异显著。下同。

Note: Different capital and small letters stand for significant difference in same phase at $LSD_{0.01}$ and $LSD_{0.05}$ respectively. They are the same as below.

图 1 不同耕作措施对土壤有机碳的影响

Fig. 1 Effect of different tillage ways on soil organic carbon

在 P-W-P 轮作下, 0~5cm 土层中 TS、NT、NIS 处理有机碳含量与 T 处理间差异极显著, NT 处理有机碳含量与 TS、NIS 处理间差异显著, TS 和 NIS 处理间有机碳含量差异不显著; 在 5~10cm 土壤中, TS、NT、NIS 处理有机碳含量与 T 处理间差异也极显著, 其中 TS 和 NT 处理间有机碳含量差异显著, NIS 处理有机碳含量和 TS、NT 处理间差异不显著; 在 10~30cm 土层中, 各处理间有机碳含量差异不显著, TS、NT 和 NIS 处理间有机碳含量分别为 9.51g/kg、9.21g/kg、9.28g/kg 均比 T 处理有机碳含量 9.06g/kg 有所提高。在 0~30cm 土层中有机碳的含量为 TS > NIS > NT > T, 与 T 处理相比, TS 处理有机碳含量提高了 14.65%, NT 处理有机碳含量提高了 7.98%, NIS 处理有机碳含量提高了 12.53%。

两种轮作下, NIS、TS、NT、T 处理土壤剖面有机碳变化趋势一致, 都是随着土层的增加有机碳含量逐渐减少, 其中 NIS 处理土壤有机碳随着土层的增加而递减在这个序列中变化最明显, 并且表层有机碳含量明显高于其它层次。就秸秆覆盖或还田的两个处理来说, NIS 处理更有利于土壤有机碳含量的增加和土壤有机碳的累积, 这与其他研究结果一致^[3]。不同土壤层次下, TS、NT、NIS 处理与 T 处理相比有机碳含量均较高, 由于 T 处理使表层以下土壤不断暴露在土壤表面, 经干湿交替, 改变了土壤状

况(通气、水分、温度等), 使有机碳积累的条件发生了改变, 为土壤有机碳转化创造了有利条件。另一方面, 地上部分因随收获而取走, 也是 T 处理土壤有机碳降低的一个重要因素。TS 处理虽然也对土壤进行了翻耕, 但是收后作物秸秆进行了还田, 直接补充了土壤有机碳。T 处理和 NT 处理相比, NT 处理有利于土壤有机碳含量的增加, NT 处理虽然地上部分也随收获而取走, 但是减少了对土壤的翻耕, 降低了土壤有机碳转化, 为土壤有机碳的积累提供了条件。

2.2 不同耕作措施对麦-豆轮作条件下土壤活性有机碳含量的影响

2.2.1 不同耕作措施对土壤易氧化碳含量的影响

图 2 是不同耕作措施下土壤易氧化碳含量的测定结果。由图 2 可看出, W-P-W 轮作下, 0~5cm 土壤中 NT、NIS 与 T 处理间土壤易氧化碳含量差异极显著; TS 处理土壤活性有机碳含量与 T 处理差异显著, TS 与 NIS 处理间土壤易氧化碳含量差异极显著, 相差 0.28g/kg; 5~10cm 土壤中 NIS 处理与 T 处理土壤易氧化碳含量差异极显著; TS 处理和 NT 处理间易氧化碳含量差异不显著; T、TS、NT 和 NIS 处理间易氧化碳含量分别为 0.97g/kg、1.08g/kg、1.26g/kg、1.12g/kg。10~30cm 土壤中 NIS 处理与 T、TS、NT 处理间易氧化碳含量差异极显著, 其中 TS 与 T 处理间易氧化碳含量差异显著。

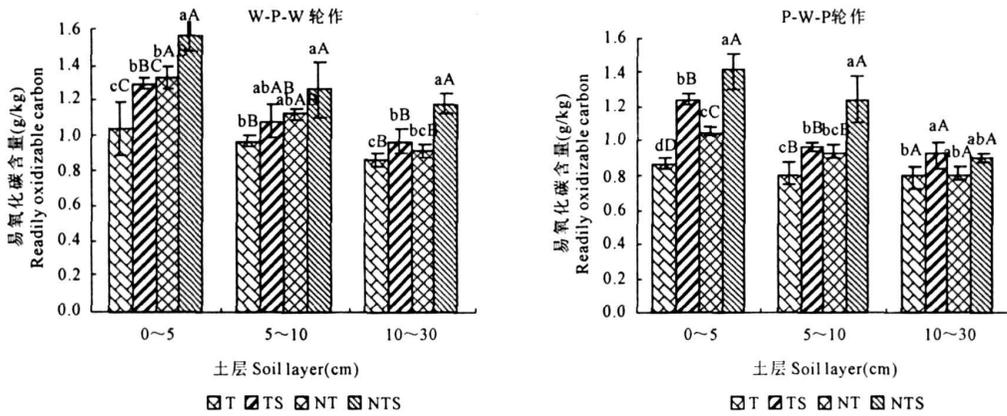


图 2 不同耕作措施对土壤易氧化碳的影响

Fig. 2 Effect of different tillage ways on readily oxidizable carbon

P-W-P 轮作下, 0~5 cm 土壤中 T、TS、NT、NTS 处理间土壤易氧化碳含量分别为 0.87 g/kg、1.24 g/kg、1.06 g/kg、1.41 g/kg 且与各处理间差异极显著; 5~10 cm 土壤中 NTS 处理土壤易氧化碳含量与 T、TS、NT 处理差异极显著; TS 处理与 T 处理间易氧化碳含量差异显著。10~30 cm 土壤中 TS 处理土壤易氧化碳含量与 T 差异显著, 其它处理间易氧化碳含量差异不显著, 与 T 处理相比, TS 处理有机碳含量提高了 16.46%, NT 处理有机碳含量提高了 2.53%, NTS 处理有机碳含量提高了 13.92%。在 0~30 cm 土层中易氧化碳含量大小排列顺序: NTS > TS > NT > T (NTS、TS 处理与此轮作序列下土壤有机碳的排序相反, 但其含量依然非常接近, 其值分别为 3.55 g/kg、3.13 g/kg、2.81 g/kg、2.47 g/kg)。

易氧化碳是土壤有机碳中易氧化、分解的碳, 稳定性相对较差, 其含量高低很大程度上决定了土壤供肥性。易氧化态碳占总有机碳比率越高, 说明养分循环越快, 但对土壤有机物质积累不利。两种轮作下, 土壤剖面易氧化碳变化趋势一致, 都是随着土壤层次的增加而逐渐降低。其中 0~30 cm 土壤中 NTS、NT、TS 处理表层土壤中易氧化碳含量均高于 T 处理。总体来看, NTS、NT、TS 比 T 处理的易氧化碳含量高, 有助于土壤肥力的提高, 耕作措施对土壤易氧化碳含量在土壤剖面上的分布层次的影响较为明显。

2.2.2 不同耕作措施对微生物生物量碳含量的影响 图 3 是不同耕作措施下土壤微生物生物量碳的测定结果。

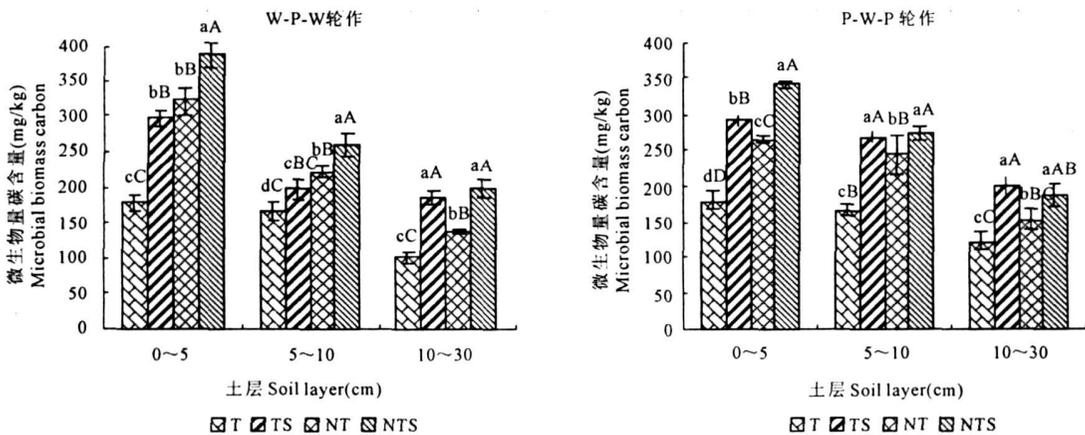


图 3 不同耕作措施对土壤微生物生物量碳的影响

Fig. 3 Effect of different tillage ways on microbial biomass carbon

土壤微生物作为土壤有机质和土壤养分 (N、P、S 等) 转化和循环的驱动力, 参与土壤中有机物质的分解、腐殖质的形成、土壤养分转化和循环等各个生化过程, 土壤微生物生物量碳含量能敏感地反映活

性有机碳库的变化, 是评价土壤肥力和生态环境质量的重要指标^[14]。由图 3 可以看出, 耕作措施对土壤微生物生物量碳含量的影响很明显。W-P-W 轮作下, 0~5 cm 土层中 TS、NT、NTS 处理与 T 处理

间土壤微生物量碳含量差异极显著, NIS 处理与 TS、NT 处理土壤微生物生物量碳含量差异极显著, TS 处理与 NT 处理土壤微生物生物量碳含量差异不显著; 5~10cm 土层中 NIS、NT 处理与 T 处理间土壤微生物量含量差异极显著, NIS 处理与 NT 处理间土壤微生物量含量差异极显著, T、TS、NT、NIS 各处理间土壤微生物量碳含量差异显著。10~30cm 土层中 TS、NT、NIS 处理与 T 处理间土壤微生物量碳含量差异极显著, NT 处理与 TS、NIS 处理间土壤微生物量含量差异极显著, TS 处理与 NIS 处理间土壤微生物量含量差异不显著。在 0~30cm 土层中土壤微生物生物量碳的含量是 NIS > TS > NT > T。

P-W-P 轮作下, 0~5cm 土层中各处理间土壤微生物量含量差异极显著; 5~10cm 土层中 NIS、TS 处理与 NT、T 处理间土壤微生物量碳含量差异极显著, NIS 处理和 TS 处理土壤微生物生物量碳含量差异不显著, NT 处理与 T 处理土壤微生物生物量碳含量差异显著; 10~30cm 土层中 NIS、TS 处理与 T 处理土壤微生物量碳含量差异极显著, NT 处理与 T 处理土壤微生物生物量碳含量差异显著, TS 与 NT 处理土壤微生物生物量碳含量差异极显著, TS 处理和 NIS 处理间土壤微生物生物量碳含量差异不显著。在 0~30cm 层次中土壤微生物生物量碳的含量是 NIS > TS > NT > T。

从分析可知, 在两种轮作下不同耕作措施对土壤微生物生物量碳含量影响不同, NIS、TS 处理和 NT 处理土壤微生物生物量碳含量均高于 T 处理下土壤微生物生物量碳含量, NIS、TS 处理和 NT 处理有利于提高土壤微生物生物量碳含量的提高和累积。

2.3 土壤微生物商

有研究者认为用微生物商来表示土壤过程或土壤质量的变化, 较单独应用微生物生物量碳或土壤有机总碳要有效得多^[13], 它能够避免在使用绝对量或有机质含量不同的土壤进行比较时出现的一些问

题。微生物商是指土壤微生物生物量碳与土壤有机碳总量的比值。

由表 1 可以看到不同土层的微生物商因耕作措施不同而异, 在 W-P-W 轮作下, 各处理土壤微生物商均表现为表土层高于亚表层, 就同一土层而言, 0~5cm 层次与 5~10cm 层次中土壤微生物商均表现为 NIS > NT > TS > T, 10~30cm 层次中微生物商变化趋势与其它两土层略有不同, 但总体趋势仍为 TS、NT、NIS 处理大于 T 处理。P-W-P 轮作下, 在 0~5cm 层次微生物商表现为 NIS > NT = TS > T, 其中 NIS 处理微生物商明显高于其它处理, 在 5~10cm 层次中微生物商是表现为 NIS > TS > T > NT, 10~30cm 层次中微生物商为 TS > NIS > NT > T。

表 1 不同耕作措施对土壤微生物商的影响

Table 1 Effect of tillage ways on microbial quotient

轮作 Rotation	处理 Treatment	0~5cm	5~10cm	10~30cm
W-P-W	T	0.016	0.016	0.010
	TS	0.026	0.018	0.017
	NT	0.027	0.020	0.013
	NIS	0.032	0.023	0.018
P-W-P	T	0.019	0.018	0.013
	TS	0.025	0.024	0.021
	NT	0.025	0.017	0.017
	NIS	0.030	0.026	0.020

两种轮作下, 不同耕作处理的土壤微生物商均表现为 NIS、NT、TS 处理大于 T 处理, 和不同耕作处理下土壤总有机碳含量的变化趋势一致, 其中 NIS 处理土壤微生物商在各个序列中变化最明显, 并且表层明显高于其它层次。

2.4 土壤易氧化碳(ROC)、土壤微生物生物量碳(MBC)与土壤有机碳(SOC)的关系

图 4 是不同轮作次序下土壤有机碳与各活性有机碳间的相关关系。

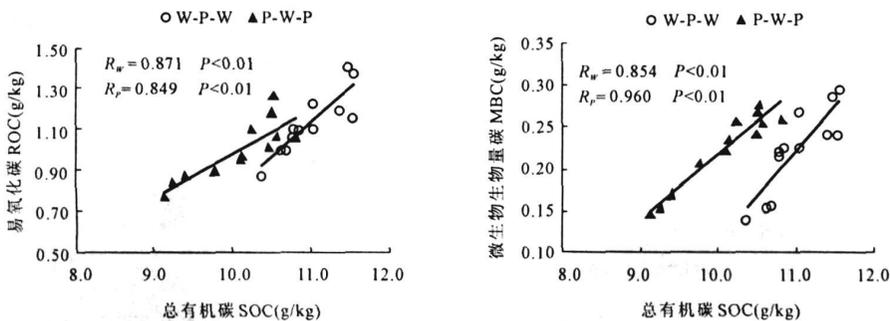


图 4 不同轮作次序下各级土壤碳库相关关系

Fig. 4 The correlations of the different organic carbon pools of the whole soil under different rotation sequence

如图所示, W-P-W 轮作下, SOC 与 ROC 相关性 ($R_w=0.871, P<0.01$) 高于 SOC 与 MBC 相关性 ($R_w=0.854, P<0.01$); P-W-P 轮作下, SOC 与 ROC 相关性 ($R_p=0.960, P<0.01$) 低于 SOC 与 MBC 相关性 ($R_p=0.849, P<0.01$)。两种轮作次序下 SOC 与 ROC 均具有较高的相关性且 $R_w>R_p$, 不同耕作措施下土壤的 SOC 与 ROC 和 MBC 之间均达到极显著的正相关关系。

3 结论与讨论

1) 两种轮作下, 免耕或秸秆覆盖处理下的土壤有机碳含量均高于传统耕作处理, 其中免耕秸秆覆盖处理显著增加土壤有机碳含量, 更有利于土壤有机碳的累积。传统耕作使表层以下新土壤不断暴露在土壤表面导致较差的土壤结构, 使有机碳积累的条件发生了改变, 加速了土壤有机碳的转化, 造成活泼的有机碳不断地被矿化损失。另外, 地上部分随收获而被取走也是传统耕作土壤有机碳明显降低的原因之一。

2) 不同耕作处理下土壤表层有机碳含量明显高于其它层次, 并且随着土层的增加而递减。土地进行不同的耕作后土壤表层有机碳含量的变化比较大, 这主要是由于耕作措施不同而导致的有机物质投入的数量和质量及其对土壤的耕作频率与土壤有机碳相关的程度有关, 进一步说明免耕和秸秆覆盖对土壤有机碳库有明显的影响。

3) 两种轮作次序下, 免耕秸秆覆盖、免耕不覆盖和秸秆还田处理土壤微生物量碳含量均高于传统耕作处理, 这种趋势在表层尤为明显。其原因可能是免耕处理不扰动土层, 作物残体和根系主要集中积累分布在 0~5 cm 土层, 覆盖处理由于进行秸秆还田, 向土壤微生物提供了足够的碳源和能源, 促进了土壤微生物的繁衍, 增加了土壤中微生物数量, 提高了微生物的活性^[19], 从而将秸秆中的碳同化为微生物量碳。

4) 不同耕作处理下的土壤易氧化碳、土壤微生物生物量碳与土壤总有机碳含量的变化趋势相一致。相关分析结果显示, 两种轮作下土壤的微生物量碳、易氧化态碳与土壤总有机碳含量间相关性均达极显著水平, 土壤活性有机碳较大程度上依赖土壤有机碳的含量, 同时也说明易氧化碳与微生物生物量碳之间虽然表述与测定方法不同, 但它们都在一定程度上表征了土壤中活性较高部分的有机碳含量, 可反映出有机质的有效性。这与 Wander^[9] 的研究结论相一致。

5) 土壤有机碳含量高低直接影响土壤微生物的活性, 因此土壤活性有机碳对调节土壤养分流有很大影响, 对土壤耕作措施的反映很明显。合理的农业耕作措施可以提高土壤有机物质的输入量, 减少土壤有机碳的矿化分解, 增加土壤有机碳含量^[17]。保护性耕作对土壤有机碳含量的影响是显而易见的。试验地由传统耕作转变为免耕后, 对土壤的耕作次数明显减少, 减少了对土壤的扰动, 土壤结构和通气状况得到了改善, 降低了土壤有机碳的分解使得土壤稳态碳的含量提高, 同时土壤秸秆覆盖在地表, 增加了土壤有机碳的投入, 使土壤生物增加, 土壤肥力改善。轮作结合秸秆还田有效地降低了传统种植制度对土壤有机碳的衰减效应。

参考文献:

- [1] 沈宏, 曹志洪, 胡正义. 土壤活性有机碳的表征及其生态效应[J]. 生态学杂志, 1999, 18(3): 32-38.
- [2] 方精云. 全球生态学: 气候变化与生态响应[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [3] Blair G J, Lefroy R D B. Soil C fractions based on their degree of Oxidation and the development of a C management index for agricultural systems[J]. Aust J Agri Res, 1995, 46: 1459-1466.
- [4] Jenkinson, Rayner J H. The turnover of soil organic matter in some of the rothamsted classical experiments[J]. Soil Sci, 1977, 123: 298-305.
- [5] 金峰, 杨浩, 赵其国. 土壤有机碳储量及影响因素研究进展[J]. 土壤, 2000, 1(3): 11-17.
- [6] Wander M M, Traina S J, Sinner B R, et al. Organic and conventional management effects on biologically active soil organic matter pools[J]. Soil Science Society of America Journal, 1994, 58: 1130-1139.
- [7] 倪进治, 徐建民, 谢正苗, 等. 不同有机肥料对土壤生物活性有机质组分的动态影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(4): 374-378.
- [8] 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, (2): 141-145.
- [9] 郭清毅, 黄高宝, Guangli Li, 等. 保护性耕作对旱地麦豆双序列轮作农田土壤水分利用效率的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(3): 165-169.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 30-34.
- [11] 徐明岗, 于荣, 王伯仁. 土壤活性有机质的研究进展[J]. 土壤, 2000, (1): 15-18.
- [12] Vance E D, Brooks P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C[J]. Soil Biol Biochem, 1987, 19(6): 703-707.
- [13] 李琳, 李素娟, 张海林, 等. 保护性耕作下土壤碳库管理指数的研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(3): 106-109.
- [14] 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碳、氮的影响[J]. 水土保持学报, 2004, 18(1): 35-38.

(下转第 22 页)

Interactions of water management and nitrogen application on photosynthetic character and kernel yield and nitrogen use efficiency and water use efficiency in wheat

WANG Xiao yan^{1,2}, WANG Dong², YU Zhen wen^{2*}

(1. College of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434025, China; 2. Key Laboratory of

Crop Physiology, Ecology and Production, Ministry of Agriculture, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China)

Abstract: The Interactions of water management and nitrogen application on photosynthetic character and kernel yield and nitrogen use efficiency and water use efficiency in the high yielding conditions were studied. The results showed that: (1) In the same irrigation rate, the photosynthetic rate, sucrose phosphate synthase (SPS) activity and sucrose content in flag leaf and kernel yield increased, but kernel weight, nitrogen (N) harvest index and N apparent recovery rate decreased as the nitrogen application rate increased. (2) In the same nitrogen application rate, the photosynthetic rate, SPS activity and sucrose content in flag leaf of W¹, W² and W³ showed no significant difference during 0~14d after anthesis; but which of W³ were higher than W¹ and W² significantly 21 days after anthesis. The kernel weight of W¹ and W² had no significant difference, but all higher than W³. (3) In N⁰ and N¹ levels, the yield of W³ were higher than W¹ and W², but it was quite the contrary under N² level the N apparent recovery rate and N productive efficiency of different treatments presented as: W⁰ < W¹, W² < W³; while water use efficiency of different treatments were presented as: W³ < W² < W¹ < W⁰. In this experiment, with water irrigated at pre sowing, jointing and anthesis, and 210 kg/hm² nitrogen applied, the yield, water use efficiency and nitrogen use efficiency were higher.

Keywords: wheat interactions of water management and nitrogen application; photosynthetic character; kernel yield; water use efficiency; nitrogen use efficiency

(上接第 16 页)

- [15] 宇万太, 马强, 赵鑫, 等. 不同土地利用类型下土壤活性有机碳库的变化[J]. 生态学杂志, 2007, 26(12): 2013-2016.
- [16] 彭佩钦, 张文菊. 洞庭湖典型湿地土壤碳、氮和微生物碳、氮及其垂直分布[J]. 水土保持学报, 2005, 19(1): 49-53.
- [17] Hadin J L, Kessel D E, Maddux L D, et al. Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen[J]. Soil Science Society of

America Journal, 1990, 54: 448-452.

- [18] 张超兰, 徐建民. 添加莠去津的土壤微生物量碳氮磷对外源有机无机物质的响应[J]. 水土保持学报, 2004, 18(4): 57-60.
- [19] 梁爱珍, 张晓平, 杨学明. 耕作措施对耕层黑土有机碳库储量的短期影响[J]. 中国农业科学, 2006, 39(6): 1287-1293.

Effect of different tillage patterns on organic carbon pool and microbial quotient in two sequence rotation system with spring wheat and field pea

BI Dong mei, ZHANG Ren zhi^{*}, WANG Juan, WANG Xin jian, CAI Li qun

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

Abstract: Based on a long term experiment, the soil organic carbon (SOC), readily oxidizable carbon (ROC) and microbial biomass carbon (MBC) of two sequence rotation systems with spring wheat and field pea in soil layer under different tillage patterns were studied. The results showed that the content of soil organic carbon (SOC) pool in conventional tillage with straw incorporated (TS), no till without straw cover (NT), no till with straw cover (NIS) were more than conventional tillage with no straw (T), and the content of SOC in 0~5cm soil layer was higher than other layers, and decreased with the soil depth, especially in NIS. Correlation analysis showed that the indicator of ROC and MBC had the same response to the long term tillage methods with SOC. They were significantly correlated to SOC. The accumulation of microbial quotient with NIS was more than other tillage patterns. The results demonstrated that the activity of the carbon in soil of NIS was higher and could convert easily.

Keywords: tillage pattern; sequence rotation system; soil organic carbon; readily oxidizable carbon; microbial biomass carbon