

黑河流域保护性耕作对农田土壤 微生物量碳、氮和有机质的调控

张凤云^{1,2}

(1. 菏泽学院 资源与环境系, 山东 菏泽 274000; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 为了探讨黑河流域保护性耕作对土壤生产力的影响, 设计 20 cm 留茬(NS₂₀), 20 cm 留茬压倒(NPS₂₀), 40 cm 留茬(NS₄₀), 40 cm 留茬压倒(NPS₄₀)和传统耕作(CT)5 个处理, 研究了黑河流域保护性耕作对农田土壤有机质、土壤微生物量 C、土壤微生物量 N 以及作物产量和水分利用效率的影响。结果表明, 保护性耕作农田 0—20 cm 土层土壤有机质、土壤微生物量 C 和 N 的含量均高于传统耕作, 且其在剖面中的变化趋势基本一致, 即随土层深度增加下降; 土壤微生物量 N 有明显的“表聚现象”; 相关分析表明土壤有机质和土壤微生物量 C 之间显著正相关($r=0.85, p<0.05$), 与土壤微生物量 N 之间无明显的相关关系($r=0.47, p>0.05$); 保护性耕作提高了春小麦的产量, NPS₂₀ 和 NPS₄₀ 增产效果最好, 较 CT 分别增产 53.08% 和 46.59%, 与 CT 之间差异达到极显著水平; 保护性耕作提高了春小麦的水分利用效率(WUE), NPS₂₀, NS₄₀, NPS₄₀, NS₂₀ 分别较 CT 的 WUE 提高了 58.02%, 43.40%, 47.27%, 23.78%。

关键词: 保护性耕作; 土壤有机质; 土壤微生物量; 水分利用效率

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)01-0093-05

中图分类号: S345

Changes of Soil Organic Matter, Soil Microbial Biomass Carbon and Nitrogen Under Conservation Tillage in Heihe River Basin

ZHANG Feng-yun^{1,2}

(1. Department of Resources and Environment Science, Heze University, Heze, Shandong 274000, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: To explore the effects of conservation tillage on soil productivity, a field experiment with the five treatments of no-tillage with 20 cm(NS₂₀) and 40 cm(NS₄₀) standing stubble, no-tillage with 20 cm(NPS₂₀) and 40 cm(NPS₄₀) pressed stubble and conventional tillage, and conventional tillage(CT) were carried out to study the changes of soil organic matter(SOM), soil microbial biomass carbon(MBC), soil microbial biomass nitrogen(MBN), crop yield and water use efficiency(WUE) in the Heihe River Basin. Results showed that SOM, MBC and MBN in 0—20 cm soil layer under conservation tillage, which decreased with increasing soil depth under conservation tillage, were higher than that under CT. MBN significantly accumulated in surface soil under conservation tillage. Correlation analysis showed that MBC was remarkably correlated to SOM($r=0.85$ and $p<0.05$), while there were no significant correlation between MBN and SOM($r=0.47$ and $p>0.05$). Conservation tillage improved grain yield and WUE compared to CT. NPS₂₀ and NPS₄₀ had the best yield effects, increasing grain yield by 53.08% and 46.59% compared to CT, respectively. WUEs in NPS₂₀, NS₄₀, NPS₄₀ and NS₂₀ were increased by 58.02%, 43.40%, 47.27% and 23.78%, respectively.

Keywords: conservation tillage; soil organic matter; soil microbial biomass; water use efficiency

土壤有机质是土壤肥力的物质基础, 而土壤微生物是土壤中活的有机质部分, 是土壤有机质和养分循环转化的驱动力^[1-2]。土壤微生物对土壤养分对植物有效性及其在陆地生态系统的循环有深刻的影响。

收稿日期: 2013-01-30

修回日期: 2013-03-19

资助项目: 国家科技支撑计划项目“西北旱区农业水土资源潜力与高效利用模式集成及应用”(2011BAD29B09); 菏泽学院基金项目“作物粒重形成过程的归一化 logistic 方程拟合研究”(XYJJKT-7)

作者简介: 张凤云(1979—), 女(汉族), 甘肃省武威市人, 博士, 讲师, 主要从事节水农业方面的研究。E-mail: fy Zhang197991@163.com。

土壤微生物量 C(MBC)和土壤微生物量 N(MBN)作为表征土壤生态系统中物质和能量流动的重要参数,对土壤环境变化极为敏感,被广泛用于评价土壤环境质量和微生物群落状态与功能的变化^[3]。研究其变化规律,对了解土壤养分转化和循环及培肥地力具有重要意义^[4]。

黑河流域灌区水资源短缺、土壤沙化严重,生态环境极为脆弱,是中国风沙危害最严重的地区之一,也是国家进行生态恢复建设的重点区域。免耕大大减少了对地表的人为扰动,同时采用秸秆、残茬或其他植被覆盖,以减少蒸发和土壤侵蚀,达到保土、保水、增肥和改善土壤结构的目的。目前,针对旱地保护性耕作的研究主要集中于作物产量^[5]、水分效应^[6]、土壤养分^[7]等方面,有关保护性耕作实施后对土壤微生物量变化的研究相对较少,在水浇地上的研究则更少。本文以黑河流域实施不同保护性耕作措施的农田为研究对象,从土壤微生物学角度分析保护性耕作对农田土壤有机质、土壤微生物量及作物产量和水分利用效率(WUE)的影响,旨在揭示保护性耕作措施对改善土壤质量、提高作物产量的微生物学作用机制,为该地区保护性耕作的适应性评价、农田土壤肥力培育和土地生产力的提高提供数据支撑和理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

于 2003—2004 年在甘肃农业大学保护性耕作定位试验点甘肃河西走廊的张掖市二十里铺乡 7 号村进行田间试验。该试验区位于黑河中游东岸,地理坐标 100°26'E,38°55'N,海拔 1 440~1 600 m,属大陆性干旱气候地带,年均温 7.3 °C,多年平均降水量 110 mm,蒸发量 2 291 mm。全年日照时数 2 800~3 300 h,年太阳辐射 620.03 kJ/cm²,≥10 °C 的年积温 3 000~3 200 °C,昼夜温差 12~16 °C,平均冻土深度 120 cm,无霜期 148 d。

试验以当地主栽春小麦品种“张春 20”为供试作物,3 月 19 号播种,7 月 19 号收获。试验地土壤类型为灌漠土,0—20 cm 土层土壤养分状况为:有机质 17.36 g/kg,全氮 0.77 g/kg,碱解氮 49.2 mg/kg,全磷 0.014 g/kg,速效磷 9.11 mg/kg,速效钾 93.95 mg/kg,阳离子代换量为 8.02 cmol/kg,pH 值为 8.83。

试验共设 5 个处理(表 1),3 次重复,小区面积 192 m²(24 m×8 m),栽培管理与大田相同。春小麦于 3 月中旬播种,试验过程中不施用农家肥,肥料都用作底肥:纯 N 213.3 kg/hm²,P₂O₅ 90 kg/hm²。

表 1 保护性耕作试验处理

代码	试验处理	操作方法
CT	传统耕作	作物收获后至冻结前三耕两耩
NS ₂₀	20 cm 留茬	免耕,播种时用免耕播种机一次性完成施肥和播种,收获时留 20 cm 茬,之后用 2,4-D 和草甘磷除草
NS ₄₀	40 cm 留茬	耕作、播种、除草方法同 NS ₂₀ ,收获时留 40 cm 茬
NPS ₂₀	20 cm 留茬压倒	耕作、播种、除草、留茬方法同 NS ₂₀ ,休闲期将茬压倒
NPS ₄₀	40 cm 留茬压倒	耕作、播种、除草、留茬方法同 NS ₄₀ ,休闲期将茬压倒

1.2 测定项目与方法

1.2.1 样品采集 在小麦收获期,各小区以蛇形取样法分三层(0—5,5—10,10—20 cm)多点采集混合土样,一部分过 2 mm 筛,用无菌封口塑料袋包装,置于 4 °C 冰箱中保存以备测定土壤微生物量 C, N 之用;另取部分带回实验室风干,过 0.25 mm 筛,用于测定土壤有机质。

1.2.2 土壤微生物量 C, N 测定 微生物量 C, N (SMBC, SMBN)测定采用氯仿熏蒸浸提法^[8]。将待测新鲜土样装入烧杯,置于 25 °C 的黑暗密闭的容器中预培养 7 d,称取培养后新鲜土样 20 g 两份。一份放入装有氯仿和碱液的真空干燥器中,用真空泵抽气至氯仿沸腾,保持氯仿沸腾 5 min 后关闭真空干燥器阀门,在 25 °C 黑暗条件下培养 24 h,培养后移走氯仿,抽气直至

无氯仿味;另一份以蒸馏水代替氯仿同条件下培养。然后,用 0.5 mol/L 的 K₂SO₄ 提取(土:水=1:2)浸提 30 min。提取液中有机 C 的测定用重铬酸钾—硫酸消煮,硫酸亚铁滴定法^[9];有机 N 采用半微量凯氏定氮法测定;微生物量 C, N 根据下列计算方法^[10]: SMBC = 2.64 × EC, SMBN = 1.85 × EN。其中 2.64 和 1.85 是转化系数,EC 和 EN 分别是熏蒸与未熏蒸土样 K₂SO₄ 浸提液中有机 C 和有机 N 含量的差值。

1.2.3 土壤有机质测定 采用重铬酸钾外加热法测定土壤有机质含量^[11]。

1.2.4 作物耗水量 作物耗水量采用水量平衡法估算^[12]。在作物播种前和收获后,以 20 cm 为一层采用烘干法测定 2 m 土体内土壤含水量,并采用如下公式计算作物耗水量:

$$E_T = SWD + P + I - D + W_g - R \quad (1)$$

式中: E_T ——作物耗水量(mm); SWD ——生育期土壤水分变化量(mm); P ——降雨量(mm); I ——灌溉量(mm); D ——灌溉后土壤水向下层流动量(mm),受土壤结构和灌水量影响, $D = \alpha I$, α 为转换系数,本试验 α 取0.1; W_g ——深层地下水利用量(mm),当地下水位低于4 m以下时, W_g 可以忽略; R ——地表径流(mm)。本试验地地下水水位9 m,且无地表径流, W_g 和 R 均可忽略。

1.2.5 产量、水分利用效率 在收获期,各小区单打单收,测定小区产量,折合单位面积产量。水分利用效率(WUE)的计算:

$$WUE = Y / E_T \quad (2)$$

式中:WUE——水分利用效率(kg/m³); Y ——籽粒

产量(kg/hm²); E_T ——作物耗水量(mm)。

试验数据采用 Excel 2003 和 DPS v 6.55 分析。

2 结果与分析

2.1 保护性耕作对农田土壤有机质的影响

保护性耕作显著影响土壤有机质含量(表2)。NPS₄₀,NS₄₀,NPS₂₀和NS₂₀处理0—20 cm土壤有机质较CT分别提高0.29%,6.74%,11.23%和7.62%。在保护性耕作处理中,随土层深度增加土壤有机质含量下降,且留茬高度越大,不同土层之间的差异越大。不同处理间有机质含量20 cm留茬处理>40 cm留茬处理>传统耕作;相同留茬高度的处理中,压倒残茬和不压倒处理土壤有机质含量的变化次序不同。

表2 不同耕作措施下的土壤有机质

%

土层深度/cm	NPS ₄₀	NS ₄₀	NPS ₂₀	NS ₂₀	CT
0—5	1.903abA	1.893abA	1.922aA	1.948aA	1.731bA
5—10	1.692bB	1.762bB	2.015aA	1.805bB	1.745bB
10—20	1.578bB	1.851aA	1.800aAB	1.798aAB	1.681abAB
平均	1.724cC	1.835bB	1.912aA	1.850bB	1.719cC

注:同一行中不同小写字母表示在0.05水平差异,同一行中不同大写字母表示在0.01水平差异。下同。

2.2 农田土壤微生物量 C

保护性耕作显著影响了农田土壤微生物量 C 的空间分布(表3)。从表3可以看出,保护性耕作处理土壤微生物量 C 含量随着土层的加深明显降低,与传统耕作相比,同一土层微生物量 C 表现不同。耕层0—5 cm土壤微生物量 C 以NPS₄₀最高,较CT增加44.74%,之后依次为NS₂₀,NS₄₀和NPS₂₀,分别较CT

增加42.99%,22.32%和21.43%。在5—10 cm,土壤微生物量 C 较CT有所降低,其中以NS₂₀下降最多,达43.08%,与CT之间差异显著,其次为NPS₄₀,NPS₂₀和NS₄₀,分别较CT下降20.34%,12.90%和1.07%。10—20 cm除NS₂₀外,保护性耕作其他处理较CT土壤微生物量增大。

表3 不同耕作措施下的土壤微生物量 C

mg/kg

土层深度/cm	NPS ₄₀	NS ₄₀	NPS ₂₀	NS ₂₀	CT
0—5	73.60aA	62.20aA	61.745aA	72.71aA	50.85aA
5—10	60.19abA	74.75aA	65.81abA	43.01bA	75.56aA
10—20	40.88cB	63.55abAB	75.01aA	67.65abAB	50.79bcAB
平均	58.22	66.83	67.52	61.12	59.07

2.3 土壤微生物量 N

表4为不同耕作措施下的土壤微生物量 N 含量,不同土层土壤微生物量 N 的变异很大,有明显的“表聚现象”。保护性耕作农田表层0—5 cm和亚表层5—10 cm土壤微生物量 N 含量均大于CT,但由于作物和土壤微生物之间 N 素竞争影响了微生物的 N 同化,在根系密度较大的5—20 cm,土壤微生物量 N 含量明显受作物生长的影响,在留茬高度相同的条

件下,压倒处理土壤微生物量 N 含量低于立茬处理。

对土壤有机质与微生物体组分之间的相关分析表明,土壤有机质和土壤微生物量 C 之间显著正相关($r=0.85, p<0.05$),与土壤微生物量 N 之间无明显的相关关系($r=0.47, p>0.05$)。

2.4 作物产量和 WUE

保护性耕作提高了春小麦的产量。从表5可以

看出, NPS₂₀ 和 NPS₄₀ 增产效果最好, 较 CT 分别增产 53.08% 和 46.59%, 与 CT 之间差异达到极显著水平; NS₄₀ 增产 40.81%, 差异显著; NS₂₀ 较 CT 增产 19.93%, 差异不显著。

表 4 不同耕作措施下的土壤微生物量 N

mg/kg

土层深度/cm	NPS ₄₀	NS ₄₀	NPS ₂₀	NS ₂₀	CT
0—5	29.68aA	23.32aA	27.70aA	23.56aA	22.55aA
5—10	19.46aA	21.01aA	13.48aA	21.09aA	10.86aA
10—20	9.47bA	9.51bA	16.69abA	20.48aA	14.78abA
平均	19.54A	17.95A	19.29A	21.71A	16.06A

保护性耕作增加了作物的耗水量, 但不同处理麦田耗水量差异不大(表 5)。3 月下旬到 7 月下旬为作物生长季节, 降水较少, 蒸发蒸腾强烈, 土壤水分大量

支出。从表 5 可以看出, 保护性耕作增加了小麦生育期土壤水分支出, 保护性耕作各处理作物生育期耗水量均程度不同地高于 CT。

表 5 不同耕作措施下的春小麦产量和水分利用效率

项目	NPS ₄₀	NS ₄₀	NPS ₂₀	NS ₂₀	CT
生育期耗水量/mm	446.35a	440.23a	434.35a	434.40a	431.38a
产量/(kg·hm ⁻²)	5 887.35ab	5 654.03ab	6 146.85 a	4 815.68bc	3 863.48c
WUE/(kg·m ⁻³)	1.319ab	1.284ab	1.415a	1.109bc	0.896c

保护性耕作提高了春小麦的水分利用效率(WUE)。NPS₂₀, NS₄₀, NPS₄₀, NS₂₀ 水分利用效率分别较 CT 提高 58.02%, 43.40%, 47.27% 和 23.78%。

3 讨论

研究结果表明, 保护性耕作增加了农田土壤有机质含量, 且随土层深度增加, 保护性耕作农田土壤有机质含量减小, 而传统耕作各土层之间有机质含量差异不大。该结果与 McQuaid 等^[13] 和 Needelman 等^[14] 的研究结果一致。造成这种现象的可能原因有: 一是保护性耕作表土层较传统耕作增加的有机物料为土壤有机质的转化提供了充足的物质基础^[15]; 二是传统耕作地表有限的秸秆均匀分布在整个耕层, 而保护性耕作中转化形成的有机质主要分布在土壤表层, 减小了土壤微生物和地表有机物料的接触面积, 从而导致有机质矿化速度较慢, 有利于表土层有机质的积累^[16]。但是并非地表覆盖量越大土壤有机质含量越大。主要是地表留茬后, 虽然增加了土壤有机质的物质来源, 但随着留茬高度的增加, 秸秆将更多的太阳辐射反射出去, 由此引起的土壤温度变化反过来又影响了有机物料的分解, 当地表覆盖量过大时, 土壤温度成为影响有机质转化的决定因素; 在相同高度留茬处理中, 压倒处理对太阳辐射的反射量大于立茬处理, 对土壤温度的影响更大。

土壤微生物量碳的消长, 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^[17]。与 Wright 等^[18] 在保护性耕作农田土壤微生物量 C 含量的研究结果相同, 本试验结果表明保护性耕作能显著提高 0—5 cm 土层土壤微生物量 C, 而降低 5—10 cm 土壤微生物量 C。说明保护性耕作有利于土壤养分调控, 在作物需要养分较少的土层能固结较多养分, 而在作物根系需要较多养分的土层能释放养分供作物利用。并且由保护性耕作所引起的土壤微生物量 C 的变化与土壤含水量的变化有一定程度的一致性。有研究也得出了类似的结论: 土壤微生物与土壤含水量呈极显著正相关^[19]。保护性耕作显著提高土壤微生物量 N 含量, 且受作物生长的影响, 在留茬高度相同的条件下, 形成产量越高的处理, 土壤微生物量 N 含量越低。

徐阳春等^[20] 通过长期定位试验, 刘苗等^[21] 通过对农牧交错带不同施肥措施土壤剖面生物量动态变化研究表明, 土壤微生物生物量碳、氮与土壤有机碳之间均呈极显著的正相关, 但本研究结果表明, 土壤有机质和土壤微生物量 C 之间显著正相关, 与土壤微生物量 N 之间无明显的相关关系。这表明土壤有机质是影响土壤微生物量的重要因素, 有机质含量高, 能够为微生物在进行自身合成与代谢过程中提供足够的碳源和能源^[22]; 土壤有机质和土壤微生物量 C 可以作为评价土壤质量的有效指标。

保护性耕作较传统耕作措施有明显的增产并提高小麦水分利用效率的作用。20 cm 留茬压倒处理由于其对耕层土壤有机质、土壤微生物量 C 和 N 的

显著影响,同时具有最高的 WUE 和最好的增产效果,平均 WUE 和产量较传统耕作分别增加 58% 和 53%。

[参 考 文 献]

- [1] 吴永胜,马万里,李浩,等. 内蒙古退化荒漠草原土壤有机碳和微生物生物量碳含量的季节变化[J]. 应用生态学报,2010,21(2):312-316.
- [2] Glaciela K, Odair A, Mariangela H. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2010,42(1):1-13.
- [3] Hungria M, Franchini J C, Brandão-Junior O, et al. Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil-tillage and two crop-rotation systems [J]. *Applied Soil Ecology*,2009,42(3):288-296.
- [4] 王群,尹飞,郝四平,等. 下层土壤容重对玉米根际土壤微生物数量及微生物量碳、氮的影响[J]. 生态学报,2009,29(6):3096-3104.
- [5] Baumhardt R L, Jones O R. Residue management and tillage effects on soil-water storage and grain yield of dryland wheat and sorghum for a clay loam in Texas[J]. *Soil and Tillage Research*, 2002,68(2):71-82.
- [6] 李玲玲,黄高宝,张仁陟,等. 不同保护性耕作措施对旱作农田土壤水分的影响[J]. 生态学报,2005,25(9):2326-2332.
- [7] 江晶,张仁陟,海龙. 耕作方式对黄绵土无机磷形态的影响[J]. *植物营养与肥料学报*,2008,14(2):387-391.
- [8] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass carbon [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1987,19(6):703-707.
- [9] 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.
- [10] Inubushi K, Brookes P C, Jenkinson D S. Soil microbial biomass C, N and ninhydrin-N in aerobic and anaerobic soils measured by the fumigation-extraction method [J]. *Soil Biology and Biochemistry*,1991,23(8):737-741.
- [11] 南京农业大学. 土壤农化分析[M]. 2 版. 北京:农业出版社,1986:33-36.
- [12] 张胜全,方保停,王志敏,等. 春灌模式对晚播冬小麦水分利用及产量形成的影响[J]. *生态学报*,2009,29(4):2035-2044.
- [13] McQuaid B F, Olson G L, Lal R, et al. *Soil Quality Indices of Piedmont Sites Under Different Management Systems*[M]// *Soil Processes and the Carbon Cycle*. Boca Raton Florida: CRC Press, 1998:427-433.
- [14] Needelman B A, Wander M M, Bollero G A, et al. Interaction of tillage and soil texture: Biologically active soil organic matter in Illinois[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1999,63(5):1326-1334.
- [15] Melero S, Vanderlinden K, Carlos R J, et al. Soil biochemical response after 23 years of direct drilling under a dryland agriculture system in southwest Spain[J]. *The Journal of Agricultural Science*, 2009,147(1):9-15.
- [16] Salinas-García J R, Velázquez-García J de J, Gallardo-Valdez M, et al. Tillage effects on microbial biomass and nutrient distribution in soils under rain-fed corn production in central-western Mexico [J]. *Soil and Tillage Research*, 2002,66(2):143-152.
- [17] 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.
- [18] Wright A L, Honsa F M, Matocha J E. Tillage impacts on microbial biomass and soil carbon and nitrogen dynamics of corn and cotton rotations[J]. *Applied Soil Ecology*, 2005,29(1):85-92.
- [19] Bijayalaxmi D N, Yadava P S. Seasonal dynamics in soil microbial biomass C, N and P in a mixed-oak forest ecosystem of Manipur, North-east India [J]. *Applied Soil Ecology*, 2006,31(3):220-227.
- [20] 徐阳春,沈其荣,冉炜. 长期免耕与施用有机肥对土壤微生物量碳、氮、磷的影响[J]. *土壤学报*,2002,39(1):89-96.
- [21] 刘苗,孙建,刘景辉,等. 农牧交错带不同施肥措施土壤剖面生物量动态变化[J]. *水土保持学报*,2010,24(1):159-166.
- [22] 张海燕,肖延华,张旭东,等. 土壤微生物量作为土壤肥力指标的探讨[J]. *土壤通报*,2006,37(3):422-425.