

秸秆覆盖与表土耕作对东北黑土根区土壤环境的影响

汪可欣¹ 付强¹ 张中昊¹ 姜辛² 郝忠瑾¹

(1. 东北农业大学水利与建筑学院, 哈尔滨 150030; 2. 黑龙江省水利水电勘测设计研究院, 哈尔滨 150001)

摘要: 为探索秸秆覆盖模式及表土耕作方式对东北黑土根区土壤环境调控效应, 设置浅松覆盖(STS)、免耕覆盖(NTR)、浅松覆盖+压实(SCTS)、免耕覆盖+压实(NCTR)及翻耕秸秆不还田(对照 TC)5个处理, 分析其对黑土区土壤水、热、养分及物理特性时空动态变化的影响。结果表明: 相对于传统耕作, 秸秆覆盖与土壤压实结合可改善土壤物理结构, 春播期、秋收期0~50 cm土层容重分别降低1.32%~4.06%、0.81%~1.64%, 0~30 cm土层有机质与速效养分含量分别提高4.89%~20.74%、1.94%~40.37%与7.18%~30.26%、1.22%~28.09%, 0~70 cm土层生长期墒情增加6.83%~13.84%, 调控苗期0~10 cm土层温度日温差减小0.5~2.8℃, 且对表层各因素影响高于底层。秸秆覆盖模式可降低机械压实所引起的负效应, 从高效可持续方面综合分析本试验条件下浅松压实覆盖(SCTS)在改善根区土壤环境方面具有一定优势, 研究成果可为东北黑土区覆盖耕作措施实施提供参考依据。

关键词: 东北黑土; 秸秆覆盖; 耕作方式; 土壤水分; 土壤养分

中图分类号: S152 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)03-0131-07

Effects of Straw Mulching Mode and Tillage Methods on Soil Environment of Root Zone in Northeast Black Soil

Wang Kexin¹ Fu Qiang¹ Zhang Zhonghao¹ Jiang Xin² Hao Zhongjin¹

(1. School of Water Conservancy and Civil Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China

2. Water Conservancy and Hydropower Survey Design Institute of Heilongjiang Province, Harbin 150001, China)

Abstract: In order to study the influence of different straw mulching modes and surface tillage adjustment measures on environmental regulation of root zone of the northeast black soil, field experiments were conducted under five tillage practices of surface tillage with straw mulching (STS), no-tillage with straw mulching (NTR), surface tillage with straw mulching and compaction (SCTS), no-tillage with straw mulching and compaction (NCTR) and conventional tillage (contrast TC) for analyzing time and space dynamic change of soil moisture, heat, nutrient and physical properties by straw mode and surface tillage measures. The results showed that: straw mulching with surface tillage could improve soil physical structure on seeding stage and harvest stage, the soil bulk density of 0~50 cm soil layer was reduced from 1.32% to 4.06% and 0.81% to 1.64%, the soil organic matter and available nutrients of 0~30 cm soil layer were increased from 4.89% to 20.74%, 1.94% to 40.37%, 7.18% to 30.26% and 1.22% to 28.09%, the soil moisture of 0~70 cm soil layer was increased from 6.83% to 13.84%, the daily soil temperature difference at seeding stage of 0~10 cm soil layer was reduced from 0.5℃ to 2.8℃ than that of comparison TC, so the effect of surface soil layer was higher than that of the bottom layer. Under the experimental condition, SCTS has advantages on regulation soil environment of root zone for high efficient and sustainable comprehensive evaluation. Research results provide reference basis for promoting implementation of covering cultivation measures on the northeast black earth area.

Key words: northeast black soil; straw mulching; tillage method; soil moisture; soil nutrient

收稿日期: 2015-10-28 修回日期: 2015-12-24

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(51109037)、黑龙江省博士后项目(LBH-Z10247)、黑龙江教育厅科学技术研究项目(12521033)、东北农业大学博士启动基金项目(2010RCB64)、东北农业大学“青年才俊”项目(518025)、东北农业大学大学生SIPT计划项目(201410224144)和黑龙江省粮食产能提升协同创新中心项目

作者简介: 汪可欣(1980—), 女, 副教授, 主要从事水土资源开发利用与管理研究, E-mail: wangkexin0224@126.com

通信作者: 付强(1973—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事农业水土资源高效利用、冻融土壤水热作用机理研究, E-mail: fuqiang@neau.edu.cn

引言

土壤环境的合理生产能力补偿与良性循环利用是确保旱作区农业增产的关键技术^[1]。相关研究表明:耕作、覆盖、施肥、灌溉、土壤改良等方法均是改善营养因素及环境状况并快速调节土壤经济肥力的有效方式^[2-7]。梁建财等^[8]系统研究了不同秸秆覆盖模式对秋浇后盐渍化土壤的冻融特性及秋浇灌水质量的影响,得到覆盖措施显著影响土壤冻结融化推进过程可提高春播期土壤储水量及降低耕层土壤含盐量的结论。巩杰等^[9]、陈素英等^[10]、王兆伟等^[11]均提出秸秆覆盖影响近地表气象要素和热量平衡,具有抑制土表蒸发和稳温作用。蔡太义等^[12]详细对比分析了不同秸秆覆盖量对春玉米田蓄水保墒的增产效应。LIN 等^[13]、刘世平等^[14]、JORDÁN 等^[15]研究发现秸秆覆盖模式水热肥均满足作物发芽的种床环境要求,且土壤有机质含量与 N、P、K 含量均较常规耕作有提高。张兴义等^[16]、MARI 等^[17]、迟仁立等^[18]通过田间压实对比试验提出土壤压实显著影响土壤物理性质、土壤有效水、土壤养分及作物生长及产量,且不同程度压实具有系统累积效应。在以上研究中,较少考虑覆盖模式与耕作方式结合对土壤水、肥、热因子的影响,且少见二者耦合措施对东北黑土根区土壤环境动态影响的相关研究报道。

本文通过分析秸秆覆盖与土壤压实结合模式下东北黑土土壤物理性质、土壤墒情、土壤养分的变化,探讨玉米主要生长区水、热、养分动态变化规律,旨在揭示不同覆盖耕作模式对根区土壤环境的影响及差异原因,为实现黑土区耕地资源的合理、高效利用及改善生态环境提供理论及推广依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2011—2012 年在东北农业大学香坊试验基地进行(东经 126°45′、北纬 45°43′)。该试验区位于黑龙江省哈尔滨市香坊区境内,平均海拔高程 138 m,属于典型寒温带大陆性季风气候区,具有冬季寒冷干燥、春季多风少雨、夏季温暖湿润的特点。多年平均气温 3.5℃,无霜期 135 d,多年平均日照时数 2 636 h,多年平均水面蒸发量 796.3 mm,多年平均降水量 545.7 mm。试验区土质为黑土,表层大部分为团状及粒状结构,土层疏松,持水量大,地下水埋深大于 10 m,供试土壤为典型黑土,耕作层平均土壤容重为 1.39 g/cm³,土壤基础肥力为:有机质质量比 8.09 g/kg,碱解氮质量比 70.54 mg/kg,速效

磷质量比 11.71 mg/kg,速效钾质量比 193.07 mg/kg。

1.2 试验方案与测定项目

试验在玉米田地进行(种植品种:东方红 919,种植行距、株距分别为 70 cm、45 cm),外源基肥选用磷酸二铵(150 kg/hm²)、硫酸钾(120 kg/hm²),水源采用天然降水。试验采用随机机组设计,选取覆盖方式为免耕覆盖与浅松覆盖,每种覆盖方式下分别设置压实与不压实 2 种模式,同时将传统耕作设为对照,具体实施方案见表 1。试验区总面积 1 800 m²,各处理重复 3 次。试验实施过程中,除耕作方式不同外,农业栽培管理措施均相同。

表 1 试验方案

Tab.1 Schedule of experimental design scheme	
耕作方式	具体处理
浅松覆盖 (STS)	秋收后将机械粉碎为 5~10 cm 的粉碎秸秆覆盖于地表,并采用凿形犁松土入耕层 0~20 cm 内,次年春季免耕播种
浅松覆盖 + 压实(SCTS)	秋收后将机械粉碎为 5~10 cm 的粉碎秸秆覆盖于地表,采用凿形犁松土入耕层 0~20 cm 内,并采用机械压实,次年春季免耕播种
免耕覆盖 (NTR)	秋收后直接将秸秆压倒覆盖地表,次年春季免耕播种
免耕覆盖 + 压实(NCTR)	秋收后直接将秸秆压倒覆盖地表,采用机械压实,次年春季免耕播种
传统耕作 (TC)	秋收后去茬移走秸秆,采用铧式翻耕并耙地,次年春季耙地播种

土壤容重:采用环刀法(环刀体积为 100 cm³)测定,测试期为休闲期,取样深度为 50 cm;土壤墒情:施测周期为 5~7 d,降雨前后加测一次,监测深度为地表以下 70 cm,其中 0~10 cm 采用土钻烘干法,10~70 cm 采用管式土壤水分仪(TRIME-T3/T3C 型)监测;土壤温度:采用数字式地温计(xn777SP-E-17 型)测定,测试期为播种-出苗期,测试深度为 0~15 cm;土壤肥力:均采用土壤农化常规分析法测定,测试期为播种前及秋收后,选取指标为碱解氮(扩散法)、有机质(重铬酸钾-硫酸氧化法)、速效磷(碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法)、速效钾(1 mol/L 乙酸铵浸提-原子吸收法),Z 型取样深度为 30 cm。

1.3 数据处理与分析

采用 Microsoft Excel 2010 及 Surfer 8.0 进行数据计算及图形绘制,采用 SPSS 11.0 统计软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 土壤容重对秸秆耕作覆盖方式的响应

土壤容重是评价农业土壤为作物生长发育提供

机械支撑作用能力优劣的重要参数之一,同时也是土壤物理性质的一个易获取的常用指标,可综合反映土壤结构、紧实程度、通气状况及土体内生物活动,并且影响着土壤团聚体内营养元素的释放和固定^[19]。由2011—2012年玉米土壤容重变化对比(图1)可知:2011年秋季仅STS处理土壤容重低于对照TC,其他处理均略高,此后经过冻融期各处理0~50 cm土层土壤容重均发生了改变,STS、SCTS、NTR、NCTR及TC分别降低0.02、0.05、0.04、0.06、0.01 g/cm³。0~20 cm土层容重1.16~1.28 g/cm³,均处在适宜的播种土壤容重范围内。数据显示:经冻融后,压实处理(SCTS、NCTR)土壤容重下降3.59%~4.06%,较不压实处理(STS、NTR)高2.13%~2.27%,较对照TC高2.98%~3.45%,经方差分析各处理间差异不显著($P=0.971>0.05$)。此外覆盖方式对土壤容重略有影响,免耕覆盖(NCTR、NTR)较浅松覆盖(SCTS、STS)降幅增加0.47%~1.61%。以上说明黑土经冻融后土壤容重均呈下降趋势,且墒情高、降幅大,这与刘佳等研究成果具有一致性^[20],因此冻融条件下覆盖与压实结合可使土壤容重缓慢下降,能够保障播种期对土壤结构的要求。

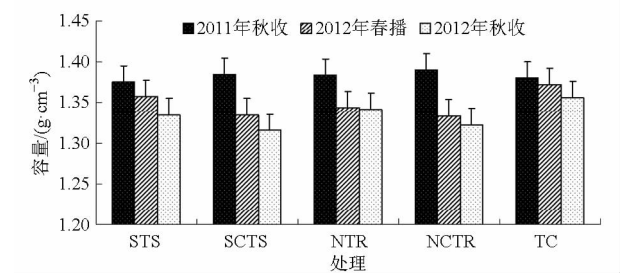


图1 0~50 cm土层容重均值年际变化
Fig. 1 Inter annual variation of bulk density mean of 0~50 cm soil layer

对比图2、3:2012年春播期各处理0~50 cm土层容重均呈现由地表向下缓慢增大趋势,秋收期土壤容重均值有所下降,降幅介于0.81%~1.64%,仅NCTR降幅最小,低于对照TC,其中STS降幅最大,SCTS、NTR次之,处理间差异不显著($P=0.864>0.05$)。此外各处理间土壤层次对土壤容重也有明显影响,对比年内两季(春播、秋收)数据显示经玉米生长期后浅松覆盖(SCTS、STS)地下0~20 cm土层容重呈现上升趋势,地下20~50 cm土层容重呈现下降,而免耕覆盖(NTR、NCTR)具有相似规律,但转折点下移至地下30 cm。0~20 cm土层,STS与SCTS处理土壤容重平均值分别为1.21 g/cm³和1.28 g/cm³,涨幅分别为3.89%、1.07%;20~50 cm土层容重平均值分别为1.42 g/cm³和1.38 g/cm³,降幅分别为4.53%、

3.04%。0~30 cm土层NTR与NCTR处理土壤容重平均值分别为1.31 g/cm³和1.28 g/cm³,涨幅分别为5.61%、1.65%;30~50 cm土层容重平均值1.38 g/cm³和1.36 g/cm³,降幅分别为7.31%、4.14%。可见生育期耕层容重变幅与覆盖及耕作方式有关,经压实处理变幅减小。

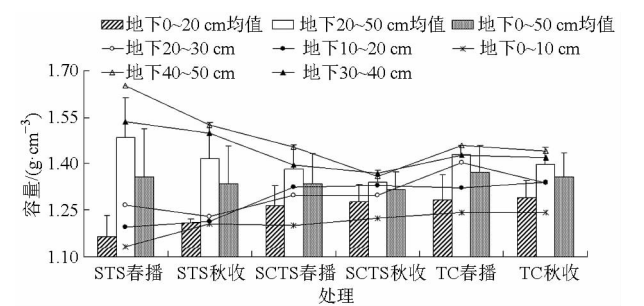


图2 浅松覆盖0~50 cm土层容重分布对比
Fig. 2 Comparison of bulk density distribution in 0~50 cm soil layer of STS and SCTS

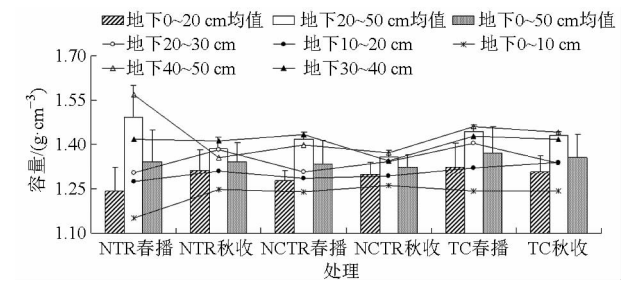


图3 免耕覆盖0~50 cm土层容重分布对比
Fig. 3 Comparison of bulk density distribution in 0~50 cm soil layer of NTR and NCTR

由上述分析可知:适当覆盖耕作方式可以有效降低作物生育期土壤容重,调节通气性,创造利于作物对水分、养分的吸收且满足作物生理进程的物质基础,其中浅松覆盖效果优于免耕覆盖,且随着生育期延长深层效果明显,但压实作用随生育期延长效果逐渐不显著。

2.2 土壤墒情对秸秆覆盖方式的响应

土壤墒情既影响作物生长发育同时也调控着土壤肥力的转化^[21],在本试验条件下,其时空分布差异是基于覆盖耕作方式不同对土壤水分运动的阻力不同所导致,其规律与土壤容重变化相悖。0~70 cm土壤水分动态变化如图4、5所示(图中10 cm数据为0~10 cm数据均值),均表明在玉米生育期内4种覆盖耕作处理的土壤含水率均比对照TC高6.33%~17.10%,且免耕覆盖(NTR、NCTR)优于浅松覆盖(STS、SCTS);压实覆盖(SCTS、NCTR)优于未压实覆盖(STS、NTR)。0~30 cm土层土壤水分较为活跃,其含水率变化波动较大,丰水期和亏水期各处理区域均受到明显的影响。丰水期及亏水期压实处理(SCTS、NCTR)土壤水分较未压实处理(STS、

NTR)增幅提高 0% ~ 3.43%,降幅减少 0.22% ~ 3.32%,较对照 TC 增幅提高 0.59% ~ 3.85%,降幅减少 0.49% ~ 3.63%;免耕覆盖(NTR、NCTR)较浅松覆盖(STS、SCTS)增幅提高 0.64% ~ 4.54%,降幅减少 0.02% ~ 3.41%,较对照 TC 增幅提高 0.73% ~ 7.44%,降幅减少 0.25% ~ 5.36%;30 cm 以下土层土壤水分相对较为稳定,变化波动较小,仅在长期亏水时略有改变。4 种覆盖处理显示 NCTR 在保墒增墒效果最优、NTR 次之、STS 最小,但均高于对照 TC。

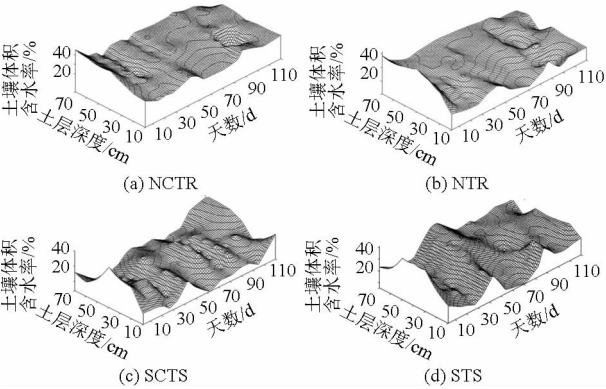


图 4 0 ~ 70 cm 土壤墒情分布变化

Fig. 4 Comparison of soil moisture distribution variation in 0 ~ 70 cm soil layer

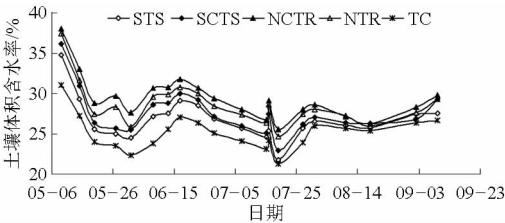


图 5 0 ~ 70 cm 土壤墒情均值变化

Fig. 5 Comparison of soil moisture mean variation in 0 ~ 70 cm soil layer

分析原因:本研究试验数据显示受到冻融作用影响,压实处理容重相对降幅略大,孔隙度增大,易于融雪降雨等水分向下迁移,此外地表覆盖不利于生育期地表土壤热量吸收及水分输送,进而对表土蒸发起到一定阻隔^[22],且雨季覆盖层截流集雨效果逐渐体现,这与陈素英等^[10]的结论相似,因此得到免耕覆盖与压实相结合的土壤墒情始终处于较高水平的结论。

2.3 土壤温度对秸秆耕作覆盖方式的响应

土壤热状况对作物生长及微生物活动有极其重要的影响,同时土壤温度也直接影响到土壤中水、气的保持和运动以及其他一些物理过程。高纬度旱地苗期耕层温度作为作物物质基础形成的关键因子直接影响各种生物化学过程,间接导致植物生长发育及土壤形成的差异^[23]。图 6 为本试验条件下玉米

出苗期典型日表层土壤温度日动态变化,呈现出覆盖与土壤压实结合的调温作用具有一定的规律性。对比不同土层土壤温度,表层 5 cm 以上土层温度变化明显高于 5 cm 以下,升温时段(8:00—14:00)与降温时段(14:00—20:00)土层温度变化均呈现出浅松覆盖高于免耕覆盖,压实处理高于未压实处理,且免耕覆盖具有较为明显的降温效果,而压实处理则具有一定增温作用。其中 0 ~ 5 cm 土层日均温 SCTS、STS 分别比对照 TC 高 1.64℃、0.67℃;NCTR、NTR 分别平均比对照 TC 低 1.04℃、2.43℃;而 0 ~ 10 cm 土层日均温仅 NTR 比对照 TC 低 1.93℃,此外各处理日均温均比对照 TC 低 0.5 ~ 2.8℃。经 SPSS 分析,0 ~ 5 cm 土层温度覆盖作用差异显著(覆盖: $P=0.045<0.05$,压实: $P=0.391>0.05$,覆盖与压实交互作用: $P=0.439>0.05$);0 ~ 10 cm 土层温度压实作用差异显著(覆盖: $P=0.117>0.05$,压实: $P=0<0.05$,覆盖与压实交互作用: $P=0.377>0.05$)。产生上述差异的原因为:覆盖方式差异直接阻碍热辐射透过率与土壤散热量,覆盖层对土壤升温及降温均产生明显抑制作用,即低温时有“增温效应”,高温时有“降温效应”,这与员学锋等^[24]研究具有相似结论。此外压实处理土壤墒情始终居高,一般情况下土壤导热率及热扩散率与土壤墒情呈正相关^[25],进而利于下层土壤热量吸收及传递,从而影响深层土层温度变化,可见适当的覆盖耕作措施可以有效地改善苗期耕层土壤温度,满足玉米生根发芽需要。

2.4 土壤养分对秸秆覆盖方式的响应

不同的秸秆还田方式会影响秸秆的腐解及腐解后各种营养元素的有效性,土壤肥力累积动态影响特征显示:4 种覆盖方式对土壤有机质、速效磷、速效钾、碱解氮在 0 ~ 30 cm 不同土层的分布上具有显

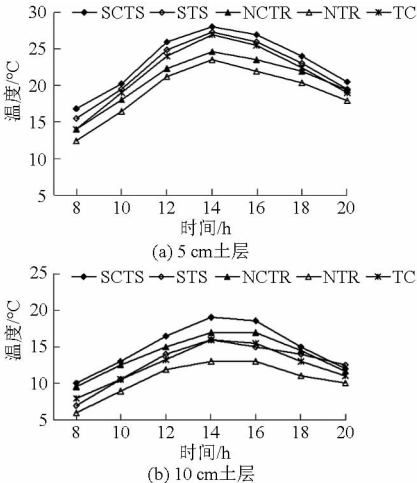


图 6 苗期 5 cm、10 cm 地温日变化

Fig. 6 Daily changes of 5 cm and 10 cm soil temperature

著影响,见图 7、8。春播期和秋收期 4 种措施该土层有机质含量均高于对照 TC,其中表层 0~10 cm 土壤有机质质量分数分别提高 9.47%~25.10% 和 7.70%~29.25%,表层 10~20 cm 土壤有机质质量分数分别提高 3.46%~19.21% 和 5.89%~25.10%,表层 20~30 cm 土壤有机质质量分数分别提高 1.09%~18.02% 和 5.83%~27.57%,各处理表层差异显著性见表 2。此外相同覆盖方式下,同一土层压实处理(NCTR、SCTS)有机质质量分数较非压实处理(NTR、STS)提高了 3.72%~18.46% (春播期)、0.14%~20.54% (秋收期);不同覆盖方式下,SCTS 有机质质量分数分别较 NCTR 处理降低 8.17%~9.99% (春播期)和 10.40%~15.93% (秋收期),而非压实处理方式则呈现相反规律,STS 有机质质量分数略高于 NTR 处理,增幅仅为 0.77%~

3.66% 和 0.71%~3.39%。形成该分布特点主要原因可能是:秸秆覆盖措施增加了有机物料的数量,因而 4 种处理的有机质含量均有提高,同时浅松覆盖通过表层耕作有利于秸秆与下层土壤的充分接触,易于有机质均匀分布,而免耕方式避免了土壤扰动、秸秆等有机物料直接进入表层而导致表层土壤有机质含量高。休闲期压实处理使表层土壤毛细管和表层团粒结构发生一定的改变^[16],受冻融作用影响土壤容重下降、孔隙增大可改善土壤中有机质降解条件所需的水分、氧气及温度。以上说明免耕覆盖措施有利于有机质表层积聚,浅松覆盖易于有机质耕作层均匀分布且对提高土壤有机质含量效果更佳。此外压实处理对促进秸秆腐化形成有机质具有一定的积极作用,且与免耕覆盖方式结合效果更显著。

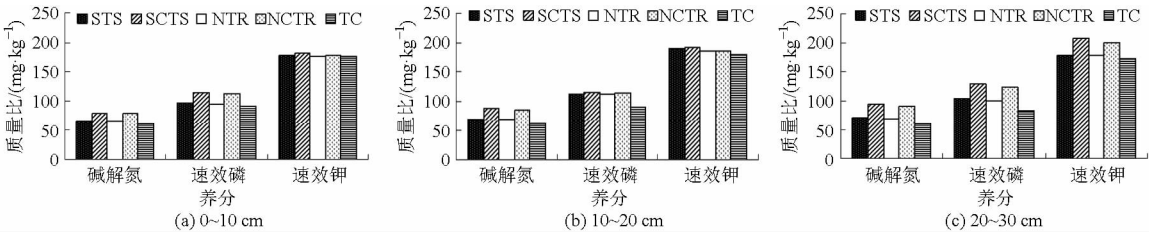


图 7 0~30 cm 土层春播期速效养分对比
Fig. 7 Soil available nutrient in 0~30 cm soil layer for spring sowing period

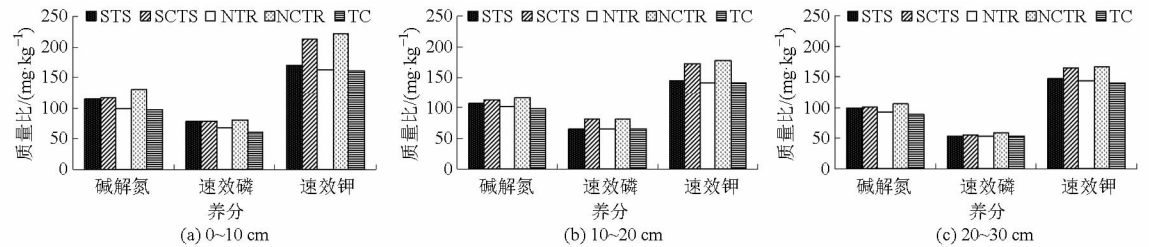


图 8 0~30 cm 土层秋收期速效养分对比
Fig. 8 Soil available nutrient in 0~30 cm soil layer for harvested period

表 2 0~30 cm 土层有机质质量分数

	soil layer						%
处理	春播期			秋收期			
	0 ~	10 ~	20 ~	0 ~	10 ~	20 ~	
	10 cm	20 cm	30 cm	10 cm	20 cm	30 cm	
STS	2.411 ^c	2.341 ^b	2.305 ^b	2.782 ^c	2.698 ^c	2.601 ^b	
SCTS	2.530 ^b	2.428 ^b	2.450 ^b	2.811 ^b	2.836 ^b	2.605 ^b	
NTR	2.326 ^c	2.319 ^b	2.287 ^b	2.690 ^c	2.679 ^c	2.571 ^b	
NCTR	2.755 ^a	2.698 ^a	2.670 ^a	3.229 ^a	3.165 ^a	3.099 ^a	
TC	2.202 ^d	2.263 ^b	2.262 ^b	2.498 ^d	2.530 ^d	2.429 ^c	

注:表中数据为实测数据四舍五入取 3 位小数后结果。

不同覆盖耕作措施对土壤有效养分含量的影响与有机质具有相似规律。试验数据显示春播期相同土层 STS、SCTS、NTR 和 NCTR 的碱解氮质量比较对照 TC 分别提高 5.81%~15.24%、25.17%~

55.83%、5.43%~14.42% 和 24.82~49.32%;速效磷质量比较对照分别提高 6.57%~22.95%、26.07%~54.32%、4.10%~21.71% 和 23.12%~47.22%;速效钾质量比较对照分别提高 0.51%~5.23%、3.35%~20.46%、0.13~3.44% 和 0.32~16.01%。相同覆盖方式下压实处理(SCTS、NCTR)较非压实处理(STS、NTR)可增加 0~10 cm 土层碱解氮质量比 18.30%~18.39%、速效磷质量比 18.27%~18.59%、速效钾质量比 0.19%~2.82%,可增加 10~20 cm 土层碱解氮质量比 24.44%~27.95%、速效磷质量比 2.54%~3.04%、速效钾质量比 0.35%~0.72%,可增加 20~30 cm 土层碱解氮质量比 30.51%~35.22%、速效磷质量比 23.72%~26.32%、速效钾质量比 12.15%~16.01%。不同覆盖模式下,0~10 cm 土层碱解氮、

速效磷及速效钾质量比浅松覆盖 (STS、SCTS) 处理分别较免耕覆盖模式 (NTR、NCTR) 提高 0.28% ~ 0.36%、2.32% ~ 2.65% 和 0.38% ~ 3.02%, 10 ~ 20 cm 土层分别提高 0.66% ~ 3.49%、1.02% ~ 0.53% 和 2.89% ~ 2.51%, 20 ~ 30 cm 土层分别提高 0.72% ~ 4.18%、2.66% ~ 4.60% 和 0.38% ~ 3.69%。

秋收期 4 种处理 0 ~ 30 cm 土层速效磷和速效钾含量均低于春播期, 仅碱解氮略高, 但 3 种速效养分含量均高于对照 TC。相同覆盖方式经压实处理对耕层土壤速效养分的提高仍然具有正效应, 碱解氮、速效磷及速效钾质量比分别比未压实处理提高 1.37% ~ 31.35%、0.59% ~ 23.43% 和 12.45% ~ 36.31%。但秋收期覆盖方式对速效养分的分布影响具有不同一性, 其中碱解氮、速效磷及速效钾质量比 STS 较 NTR 分别高 5.24% ~ 13.30%、0.01% ~ 13.36% 和 1.77% ~ 3.69%。而 SCTS 碱解氮、速效磷和速效钾质量比均低于 NCTR, 分别低 3.56% ~ 10.98%、1.57% ~ 5.06% 和 0.66% ~ 3.78%。

经 SPSS 分析春播期压实及覆盖处理均对下层土壤速效养分含量影响明显 (碱解氮: $P = 0 < 0.05$ 、速效磷: $P = 0.002 < 0.05$ 、速效钾: $P = 0.218 > 0.05$), 而秋收期则差异不显著 (碱解氮: $P = 0.054 > 0.05$ 、速效磷: $P = 0.055 > 0.05$ 、速效钾: $P = 0.077 > 0.05$)。上述差异产生的原因可能由于试验区地处东北部, 覆盖和压实方式结合可以适当调节地表温度、土壤空气和水分入渗消长平衡, 另土壤具有较好的保肥力和缓冲性, 因此 4 种处理 0 ~ 30 cm 土层碱解氮、速效钾及速效磷均优于对照传统耕作。但免耕因养分不宜与下层土壤相融, 导致深层速效养分分解能力不及浅松覆盖。由前述分析可知, 浅松覆盖对降低土壤容重具有一定优势, 可以确保下层土壤通气良好、氧气充足、有机质分解快, 进而促进释放较多的速效养分。

3 结 论

(1) 覆盖与压实结合耕作方式对土壤的体积质量具有一定影响, 春播期 0 ~ 50 cm 土层土壤容重 4 种处理平均降幅为 1.32% ~ 4.06%, 均高于传统耕作的降幅 1.23%, 受冻融影响免耕降幅最高, 且压实处理有积极作用, 土层间分布呈现上升趋势; 秋收期平均降幅为 0.81% ~ 1.64%, 土层间分布呈现表层升深层降趋势, 免耕覆盖土层间差异大, 但浅松覆盖降幅效果显著, 且随着生育期延长深层效果明显, 压实未显积极作用。

(2) 覆盖与压实结合耕作方式的差异导致土壤墒情时空分布特点与土壤容重变化规律相悖。地表覆盖截雨抑蒸效果优, 有助于耕层土壤增墒保墒能力提高, 其中免耕覆盖优于浅松覆盖, 经压实处理后效果更为显著。保墒效果由优到劣依次为 NCTR、NTR、SCTS、STS、TC。

(3) 覆盖与压实结合耕作方式可调控播种-出苗期 0 ~ 10 cm 土层温度, 覆盖降温效果明显, 而压实处理则有一定增温作用。4 种处理中浅松压实覆盖温度变化敏感, 免耕覆盖在 14:00 降温最为明显。此外 5 cm 土层温度受覆盖影响显著, 而 10 cm 土层温度则受土壤压实影响显著。

(4) 覆盖与压实结合的耕作方式均促进了 0 ~ 30 cm 土层土壤有机质和速效养分的提高, 且前期差异显著, 其中春播期可分别提高有机质质量比 4.89% ~ 20.74%、碱解氮质量比 9.61% ~ 40.37%、速效磷质量比 17.09% ~ 35.07%、速效钾质量比 1.94% ~ 9.69%; 秋收期可分别提高有机质质量比 7.18% ~ 30.26%、碱解氮质量比 3.27% ~ 23.59%、速效磷质量比 3.71% ~ 22.13%、速效钾质量比 1.22% ~ 28.09%。此外免耕覆盖易于表层土壤有机质富集, 浅松覆盖则易于根区深层速效养分分解, 压实耕作方式则具有进一步的促进作用。

参 考 文 献

- 王顺霞, 王占军, 左忠, 等. 不同覆盖方式对旱地玉米田土壤环境及玉米产量的影响[J]. 旱区资源与环境, 2004, 18(9): 134 ~ 137.
WANG Shunxia, WANG Zhanjun, ZUO Zhong, et al. Effects of difference mulching on the soil environment and maize yield in rain fed land[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2004, 18(9): 134 ~ 137. (in Chinese)
- 王峰, 孙景生, 刘祖贵, 等. 不同灌溉制度对棉田盐分分布与脱盐效果的影响[J]. 农业机械学报, 2013, 44(12): 121 ~ 127.
WANG Feng, SUN Jingsheng, LIU Zugui, et al. Effect of different irrigation scheduling on salt distribution and leaching in cotton field[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(12): 121 ~ 127. (in Chinese)
- 吴忠东, 王全九. 微咸水连续灌溉对冬小麦产量和土壤理化性质的影响[J]. 农业机械学报, 2010, 41(9): 36 ~ 43.
WU Zhongdong, WANG Quanjiu. Effect of saline water continuous irrigation on winter wheat yield and soil physicochemical property [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(9): 36 ~ 43. (in Chinese)
- PANG Huancheng, LI Yuyi, YANG Jinsong, et al. Effect of brackish water irrigation and straw mulching on soil salinity and crop yields under monsoonal climatic conditions [J]. Agricultural Water Management, 2010, 97(12): 1971 ~ 1977.
- LI Rong, HOU Xianqing, JIA Zhikuan, et al. Effects on soil temperature, moisture, and maize yield of cultivation with ridge and

- furrow mulching in the rainfed area of the Loess Plateau, China[J]. *Agricultural Water Management*,2013,116:101 – 109.
- 6 余坤,冯浩,李正鹏,等. 秸秆还田对农田土壤水分及冬小麦耗水特征的影响[J]. *农业机械学报*,2014,45(10):116 – 121.
YU Kun, FENG Hao, LI Zhengpeng, et al. Effects of different pretreated straw on soil water content and water consumption characteristics of winter wheat [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*,2014,45(10):116 – 121. (in Chinese)
- 7 MULUMBA L N, LAL R. Mulching effects on selected soil physical properties[J]. *Soil and Tillage Research*,2008,98(1):106 – 111.
- 8 梁建财,史海滨,李瑞平,等. 覆盖对盐渍土壤冻融特性与秋浇灌水质量影响研究[J]. *农业机械学报*, 2015,46(4):98 – 105.
LIANG Jiancai, SHI Haibin, LI Ruiping, et al. Effect of mulching on salinized soil freezing and thawing characteristics and autumn irrigation quality[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*,2015,46(4):98 – 105. (in Chinese)
- 9 巩杰,黄高宝,陈利顶,等. 旱作麦田秸秆覆盖的生态综合效应研究[J]. *干旱地区农业研究*,2003,21(3):69 – 73.
GONG Jie, HUANG Gaobao, CHEN Liding, et al. Comprehensive ecological effect of straw mulch on spring wheat field in dry land area[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2003, 21(3): 69 – 73. (in Chinese)
- 10 陈素英,张喜英,刘孟雨. 玉米秸秆覆盖麦田下的土壤温度和土壤水分动态规律[J]. *中国农业气象*,2002,23(4):34 – 37.
CHEN Suying, ZHANG Xiyi, LIU Mengyu. Soil temperature and soil water dynamics in wheat field mulched with maize straw [J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2002, 23(4):34 – 37. (in Chinese)
- 11 王兆伟,郝卫平,龚道枝,等. 秸秆覆盖量对农田土壤水分和温度动态的影响[J]. *中国农业气象*,2010,31(2):244 – 250.
WANG Zhaowei, HAO Weiping, GONG Daozhi, et al. Effect of straw mulch amount on dynamic changes of soil moisture and temperature in farm land[J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2010, 31(2):244 – 250. (in Chinese)
- 12 蔡太义,贾志宽,黄耀威,等. 不同秸秆覆盖量对春玉米田蓄水保墒及节水效益的影响[J]. *农业工程学报*,2011,27(1):238 – 243.
CAI Taiyi, JIA Zhikuan, HUANG Yaowei, et al. Effect of different straw mulch rates on soil water conservation and water-saving benefits in spring maize field[J]. *Transactions of the CSAE*,2011,27(1):238 – 243. (in Chinese)
- 13 LIN Jing, LIU Yanfen, LI Baofa, et al. Effect of ridge-till and no-till mulching modes in Northeast China on soil physicochemical properties [J]. *Transactions of the CSAE*,2014,30(23):58 – 64.
- 14 刘世平,陈后庆,聂新涛,等. 稻麦两熟制不同耕作方式与秸秆还田土壤肥力的综合评价[J]. *农业工程学报*,2008,24(5):51 – 55.
LIU Shiping, CHEN Houqing, NIE Xintao, et al. Comprehensive evaluation of tillage and straw returning on soil fertility in a wheat-rice double cropping system [J]. *Transactions of the CSAE*,2008,24(5):51 – 55. (in Chinese)
- 15 JORDÁN A, ZAVALA L M, GIL J. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain [J]. *CATENA*,2010,81(1):77 – 85.
- 16 张兴义,隋跃宇. 土壤压实对农作物影响概述[J]. *农业机械学报*,2005,36(10):161 – 164.
ZHANG Xingyi, SUI Yueyu. Summarization on the effect of soil compaction on crops[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*,2005,36(10):161 – 164. (in Chinese)
- 17 MARI G R, JI Changying, ZHOU Jun. Effects of soil compaction on soil physical properties and nitrogen, phosphorus, potassium uptake in wheat plants [J]. *Transactions of the CSAE*,2008,24(1):74 – 79.
- 18 迟仁立,左淑珍,夏平,等. 不同程度压实对土壤理化性状及作物生育产量的影响[J]. *农业工程学报*,2001,17(6):39 – 43.
CHI Renli, ZUO Shuzhen, XIA Ping, et al. Effects of different level compaction on the physicochemical characteristics of soil and crop growth[J]. *Transactions of the CSAE*,2001,17(6):39 – 43. (in Chinese)
- 19 刘勇,李国雷,林平,等. 华北落叶松人工幼、中龄林土壤肥力变化[J]. *北京林业大学学报*,2009,31(3):17 – 23.
LIU Yong, LI Guolei, LIN Ping, et al. Changes of soil fertility in young and middle aged *Larix principis-rupprechtii* plantations [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2009,31(3):17 – 23. (in Chinese)
- 20 刘佳,范昊明,周丽丽,等. 冻融循环对黑土容重和孔隙度影响的试验研究[J]. *水土保持学报*,2009,23(6):186 – 189.
LIU Jia, FAN Haoming, ZHOU Lili, et al. Study on effect of freeze-thaw cycle on bulk density and porosity of black soil[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*,2009,23(6):186 – 189. (in Chinese)
- 21 徐海. 旱地农田土壤有效养分与水分时空耦合关系研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2008.
- 22 陈素英,张喜英,裴冬,等. 秸秆覆盖对夏玉米田棵间蒸发和土壤温度的影响[J]. *灌溉排水学报*,2004,23(4):32 – 34.
CHEN Suying, ZHANG Xiyi, PEI Dong, et al. Soil evaporation and soil temperature in maize field mulched with wheat straw [J]. *Journal of Irrigation and Drainage*,2004,23(4):32 – 34. (in Chinese)
- 23 张敬涛,刘婧琦,赵桂范,等. 免耕栽培不同秸秆覆盖量下土壤温度变化研究[J]. *中国农学通报*,2015,31(27):224 – 228.
ZHANG Jingtao, LIU Jingqi, ZHAO Guifan, et al. Study on soil temperature variation of no-till cultivation with different amounts of stalk mulch[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*,2015,31(27):224 – 228. (in Chinese)
- 24 员学锋,吴普特,汪有科,等. 免耕条件下秸秆覆盖保墒灌溉的土壤水、热及作物效应研究[J]. *农业工程学报*, 2006, 22(7):22 – 26.
- 25 李毅,邵明安,王文焰,等. 质地对土壤热性质的影响研究. [J]. *农业工程学报*,2003,19(4):62 – 65.
LI Yi, SHAO Ming'an, WANG Wenyan, et al. Influence of soil textures on the thermal properties [J]. *Transactions of the CSAE*, 2003,19(4):62 – 65. (in Chinese)