

秸秆深还对土壤水分转移及产量的影响

邱立春¹, 孙跃龙¹, 王瑞丽¹, 张旭东², 窦森³, 关松³, 郭聃³

(1. 沈阳农业大学工程学院, 沈阳 110866; 2. 辽宁省农业机械化研究所, 沈阳 110161; 3. 吉林农业大学, 长春 130118)

摘要: 采用田间试验方法, 将玉米秸秆切段、粗粉碎、细粉碎、细粉碎后压粒和细粉碎后氨化处理, 研究玉米秸秆深施还田对土壤水分转移及产量的影响。结果表明, 秸秆粉碎程度越细, 吸水能力越强, 深施后土壤渗水速度越快; 粉碎的秸秆较其他处理更能促进土壤水分垂直方向转移; 各处理的蓄水能力表现为粉碎状秸秆处理>段状秸秆处理>CK(不施秸秆), 且细粉碎、细粉碎后氨化处理在还田初期就能呈现出明显的蓄水效果; 秸秆粉碎状态越细, 深施后土壤容重减小的速度和幅度越大, 细粉碎处理和细粉碎后氨化处理能在还田初期对减小土壤容重产生明显作用, 播种后 25 d, 土壤容重减小幅度最大, 分别达 0.052 和 0.045 g/cm³; 秸秆深施还田有效提高玉米产量, 产量排序为细粉碎>细粉碎后氨化处理>粗粉碎>细粉碎后压粒>秸秆切段>CK(不施秸秆), 其中细粉碎处理对玉米产量的增加影响最明显。

关键词: 玉米; 秸秆粉碎; 深施还田; 土壤含水率; 土壤容重

中图分类号: S513.047

文献标识码: A

Influence of Deep-buried Maize Stalks on Soil Moisture Transfer and Maize Yield

QIU Li-chun¹, SUN Yue-long¹, WANG Rui-li¹, ZHANG Xu-dong², DOU Sen³, GUAN Song³, GUO Dan³

(1. College of Engineering, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866;

2. Liaoning Institute of Agricultural Mechanization, Shenyang 110161;

3. Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

Abstract: By field plot contrastive experiments to study the effect of deep-buried maize stalks on soil moisture transfer and maize yield, maize stalks were deeply buried in the soil after being cut into sections(D), roughly smashed(C), finely smashed(X), compressed(Y) and ammoniated(AX). The results showed that the more finely stalks were grinded, the stronger water absorbing capacity and soil water penetration rate were more. And the smashed stalks could more easily promote soil water transfer vertically. The capacities of storing water were smashed stalks > columnar > CK. X as well as AX presented evident storing ability at the beginning. The finer the stalks were smashed, the faster and wider range the soil bulk density decreased. And the smashed stalks(X) and ammoniated stalks(AX) generated obvious result on decreasing soil bulk density at the start, respectively decreasing by 0.052 and 0.045 g/cm³ after 25 d seeding. The deep returning to the field of maize stalks can improve the maize yield effectively. The order of different treatments were X>AX>C>Y>D>CK. X contributed the most on maize yield increase higher than CK.

Key words: Maize; Smashed stalk; Return deep to field; Soil moisture; Soil bulk density

收稿日期: 2015-10-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(51175354)、国家“973”项目(2011CB10053)

作者简介: 邱立春(1957-), 男, 主要从事农业机械化工程的科研与教学工作。E-mail: qlccn@126.com

王瑞丽为本文通讯作者。E-mail: rlwangsynd@163.com

秸秆还田可以改善土壤结构, 恢复地力, 对促进农业良性循环、粮食增产和改善农业生态环境具有重要意义。

发达国家早已重视秸秆的还田利用, 美国平均每年产生农作物秸秆量达 4.5 亿 t, 其中, 秸秆还田量占 68%; 英国秸秆直接还田量占秸秆总产量的 73%^[1]。我国年产秸秆约 8.2 亿 t, 而用于还田的秸秆量不足 15%^[2, 3]。除了秸秆还田利用率低的问题以

外,秸秆还田方式也存在一定问题。目前国内存在的秸秆还田方式主要为覆盖还田和翻压还田。翻压还田使秸秆还田深度不稳定,如果秸秆较浅易造成苗期缺水;秸秆地表覆盖还田腐解速度缓慢,且会妨碍田间管理;覆盖或浅埋还田的秸秆在腐解的过程中,可能形成微生物与作物争夺N元素和氧气的现象,造成作物根系缺氧、烂根和根部病虫害。

秸秆深施还田能有效摒弃上述还田方式的弊端。研究表明,秸秆粉碎可显著加快秸秆的分解速率,有效减小土壤体积质量,增强土壤耐旱性;秸秆深还可增加深层土壤含水量,增大活土层厚度,减小土壤容重,增加作物产量^[4]。本文通过对玉米秸秆处理成秸秆段、细碎末、压缩颗粒及氨化后深施还田,研究玉米秸秆深施还田后对土壤水分转移、蓄水能力、土壤容重及玉米产量的影响,为秸秆深还技术的农艺规范和机具设计提供参考价值。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试秸秆为上季玉米秸秆(品种为辽丹565),经自然风干再储存于干燥室内,秸秆C/N比为56.73。

试验前对供试的玉米秸秆进行5种不同的处理:①将秸秆切割成长10~20 cm的秸秆段(D);②用小型粉碎机将秸秆打碎长度为15~20 mm的粗碎末(C);③将秸秆粉碎平均长度为2 mm的细碎末(X);④用秸秆颗粒压缩机将部分秸秆细碎末压成平均直径6 mm、平均长度20 mm的圆柱状压缩颗粒(Y),颗粒平均密度为0.77 g/cm³;⑤对部分细碎末进行氨化处理,得到氨化后的细碎末(AX)。氨化方法为控制秸秆C/N为25,将秸秆细碎末过2 mm筛后,向其喷洒占其干质量0.99%的尿素和4%的氢氧化钙(过量),溶液总质量占秸秆干质量的25%,喷洒液与细碎末均匀混合后置于密闭自封袋中,再放入恒温箱中48 h,同时控制温度40℃。氨化完成后取出进行试验。

1.2 试验设计

1.2.1 试验地点

秸秆深还试验地点选在沈阳农业大学旱田试验基地,2014年5月29日进行秸秆深施还田和播种,5月28日至10月6日进行各项试验指标的测定。

1.2.2 试验小区划分

将试验地块平均分成18个小区,小区长3 m,宽1.2 m,各开成大垄双行,大垄间距80 cm,行距40 cm,大垄间沟宽不大于20 cm。

1.2.3 试验设计

2014年试验设6个处理(C、AX、Y、X、D和对照

CK,不施秸秆),每个小区设置1个处理,每个处理重复3次。在6条大垄中心(即大垄两苗带之间)分别开宽20 cm的沟槽,深度为30 cm。开沟完成后立即投放秸秆,除CK外,每个小区投放秸秆1.152 kg(处理前),投放秸秆后保证秸秆既不被刻意压紧也不过于松散。秸秆投放后将沟槽用土填平,适度镇压。对照只将土填回镇压,不放秸秆。2015年进行茬间免耕播种。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤含水率的测定

(1)降雨后土壤含水率的测定

测定时间:秸秆深还后等待自然降雨,再经120 h的非降雨时段对土壤进行测定,选取6月2日(还田后4 d)、6月18日(还田后20 d)、7月17日(还田后49 d)和8月23日(还田后86 d)的4次降雨,6月2日、7月17日和8月23日的降雨量分别为14.5 mm、10.8 mm和19.1 mm(一般降雨);6月18日的降雨量为76.6 mm(强降雨)。

测定位置:每次降雨后24 h、60 h和120 h分别测量距秸秆条带中心线15 cm处两侧(垄顶位置)的0~5 cm、6~10 cm、11~15 cm和16~20 cm的4个土层的土壤含水率,沟槽两侧各取3组土样测含水率,含水率的测量值取6次测量的平均值。

测定方法:土壤含水率均采用烘干法(105℃)测定^[5]。

(2)非降雨时期土壤含水率的测定

播种前1 d开始,每15 d测定1次距秸秆条带中心线两侧15 cm处的0~10 cm和11~20 cm深度的土壤含水率。测量方法同上,共测定8次,取平均值。逢降雨日则在地表明显干燥时再测量。

1.3.2 土壤容重的测定

测定时间:播种当天(播种前)、播种后25、50、75、100、125 d。测定深度为0~30 cm,每5 cm分层,每层3次重复,取平均值,所有层次(共6组)取平均值。测定位置:播种前对整个试验区域采用5点法采集土样测定;播种后在距秸秆条带中心线15 cm处两侧各测3组土壤容重数据。

测定方法:土壤容重用环刀法测定。

1.3.3 其他指标测定

采用千粒重法测玉米产量,结果换算为每公顷产量^[6]。

1.4 数据处理

采用SPSS17.0对实验数据进行处理,采用LSD最小显著法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 秸秆深还对土壤水分的影响分析

2.1.1 降雨后不同处理土壤水分转移情况分析

对降雨后不同时间土层含水率的对比,分析不同的处理方法对土壤水分转移情况的影响。

从图1、图2和图3可以看出,降雨后24 h,不同处理土壤含水率随土层深度的增加而递减;降雨后60 h和120 h的土壤含水率则随土层深度增加而增大,表明降雨后24 h仍然处于水分下渗和吸收阶段。降雨后24 h,0~5 cm土层X和AX的土壤含水率均显著低于其他处理;5~10 cm土层C、X、AX、Y处理的土壤含水率均显著低于D和CK;11~15 cm和16~20 cm土层的各处理土壤含水率差异均不显著。结果表明,不同处理的吸水能力为X、AX>C、Y>D、CK,即秸秆粉碎程度越细,其吸水能力越强,土壤渗水速度越快。玉米因秸秆质软而比土壤具有更强的吸水能力,降雨后能更快地吸收土壤水分使得浅层土含水率比CK小。粉碎状秸秆比段状秸秆颗粒小,这种小孔隙结构能增强秸秆的毛细管作用,所以吸水更快。D与CK处理各土层含水率差异不明显是由于段状秸秆能快速吸水的部位仅为叶和断口截面等部位,与粉碎处理相比吸水速度相对缓慢。

降雨后60 h,各试验组地表已明显干燥,且土壤含水率随深度加深而增加,表明降雨后60 h雨水下渗已经结束,土壤水分蒸发速度大于吸收速度。6月2日降水后0~5 cm土层C、X和AX处理的土壤含水率均高于其余组且差异显著;7月17日降水后0~5 cm的C、X、AX和Y处理的含水率均显著高于D和CK处理;8月23日降水后0~5 cm土层C、X、Y处理的土壤含水率显著大于D和CK。3次降雨后60 h的6~20 cm各处理的含水率结果一致,5~10 cm和10~15 cm对照的土壤含水率均小于其他处理且显著;16~20 cm所有处理之间差异不显著。可以看出,降雨后60 h在深层土水分相对充裕的情况下,各粉碎处理的浅层土含水量较大,秸秆处理在6~15 cm土层中的含水量大于对照。粉碎的秸秆较段状秸秆和不施秸秆(CK)更能促进土壤水竖直方向的转移,补充表层土水分,即释水效果更显著,释水速度为粉碎秸秆>秸秆段和秸秆压缩颗粒>不施秸秆(CK)。随着秸秆粉碎程度的增大其比表面积增大,与周围土壤的接触更充分,表层土壤在水分蒸发后会在土壤中产生向上的水势差,粉碎状秸秆与浅层土壤的充分接触一定程度上增多了水分向上运移的通道,因而各粉碎处理的表层土含水率更大。0~5 cm

深度AX含水率与CK差异不显著,可能与氨化粉末的腐解有关。

降雨后120 h,土壤水持续蒸发,地表出现干裂现象,土壤紧实度增大。0~5 cm和11~15 cm秸秆各处理的土壤含水率均高于CK且显著;6~10 cm深度AX处理(8月23日降雨除外)、X、Y处理的土壤含水率还显著高于C和D处理;16~20 cm深度Y和CK处理的土壤含水率分别显著高于和低于其他各组,且Y与CK处理之间的差异达到了极显著水平。由此可见,降雨后120 h土壤含水量显著减小,由于缺水,各土层土壤水势的绝对值显著增大,而土层之间水势之差减小。因此在降雨后120 h土壤水分竖直方向转移微弱,秸秆对土壤水分的影响以蓄水作用为主。此外,秸秆压缩颗粒在16~20 cm含水率最大可能由于其在降雨后吸水膨胀,但受土壤挤压力的限制,膨胀后的密度依然较大,所以秸秆位置较深,再加上富水的状况,使得深层土水分的散失缓慢。

6月18日强降雨后24 h、60 h和120 h的各深度土层的含水率如图4所示。降雨后24 h,CK在各个深度土层的土壤含水率均高于其余各组,0~5 cm和6~10 cm的土壤含水率由大到小依次为CK>Y>D>C>X>AX,其中CK与AX处理之间的差异达到极显著水平。11~15 cm的土壤含水率由大到小依次为CK>Y>D>X>C>AX,其中只有X和C处理之间的差异不显著。16~20 cm深度CK的土壤含水率显著大于其他各组,其余差异不显著。因强降雨后大量积水增加了水分重力势的作用,土壤渗水速度加快,其中CK已饱和。结果表明,秸秆较土壤具有更强的吸水和持水作用,还田后能显著扩充土壤水库,且粉碎状秸秆吸水效果较D和Y更好,AX的吸水效果最显著。

降雨后60 h,0~5 cm深度CK的土壤含水率仍然显著大于其他各处理;5~10 cm Y处理的土壤含水率显著大于D和CK处理。11~15 cm深度C、X、Y、AX处理的土壤含水率显著大于CK,但D和CK处理的差异不显著。16~20 cm的各处理的含水率差异不显著。秸秆深还田能使土壤水分呈明显的梯度分布,浅层土较深层土含水少,反映了各处理土壤水分竖直方向的转移效果,转移速度为粉碎秸秆>段状秸秆>不施秸秆(CK)。因为秸秆在深层土中形成相对松软的结构,使浅层土壤水分更容易下渗,所以秸秆深还田可以在强降雨后60 h时使0~10 cm土层保持适宜作物生长的含水量范围,避免作物根系处于洪涝的环境中。

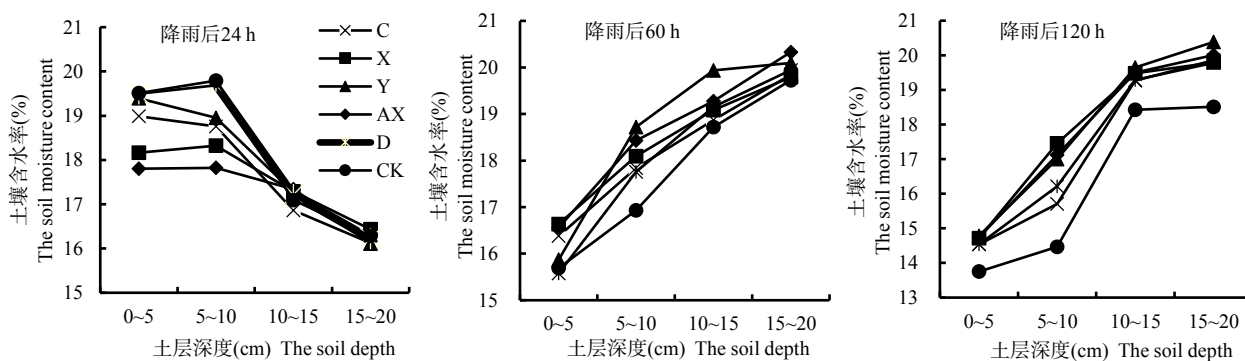


图1 6月2日降雨后土壤含水率变化

Fig.1 Soil moisture change after the rain in June 2

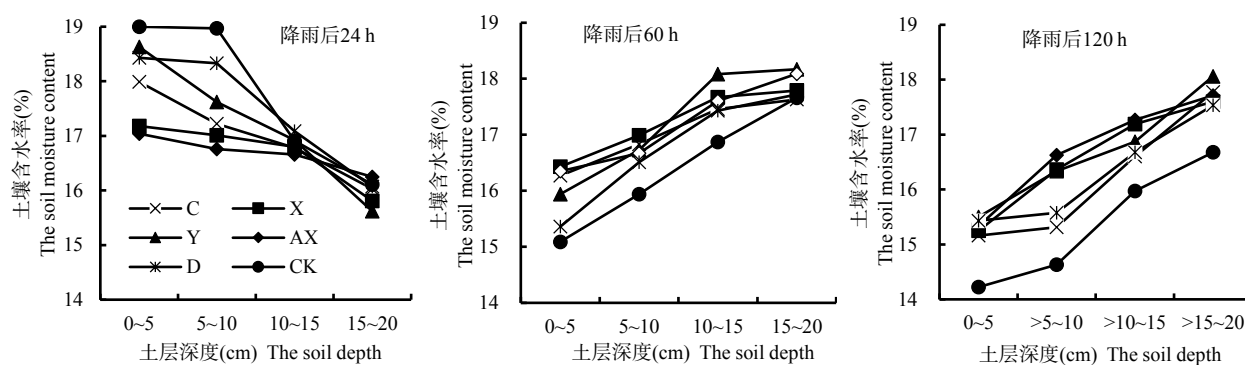


图2 7月17日降雨后土壤含水率变化

Fig.2 Soil moisture change after the rain in July 17

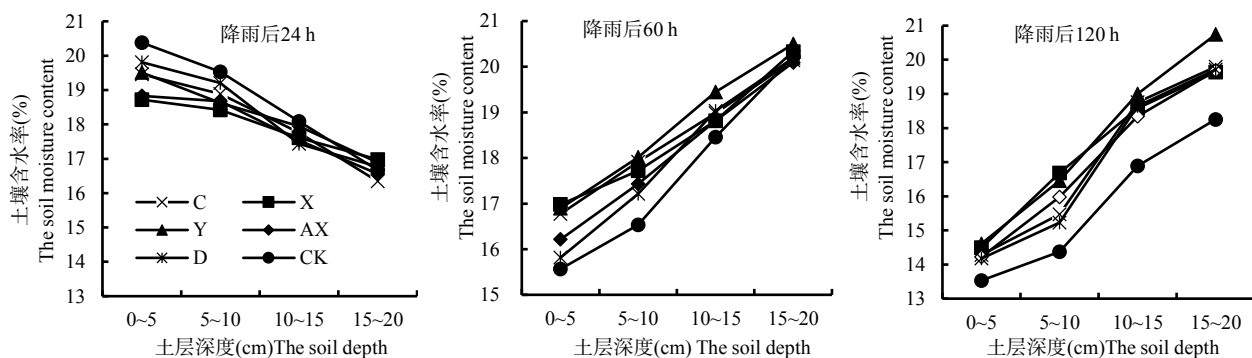


图3 8月23日降雨后土壤含水率变化

Fig.3 Soil moisture change after the rain in August 23

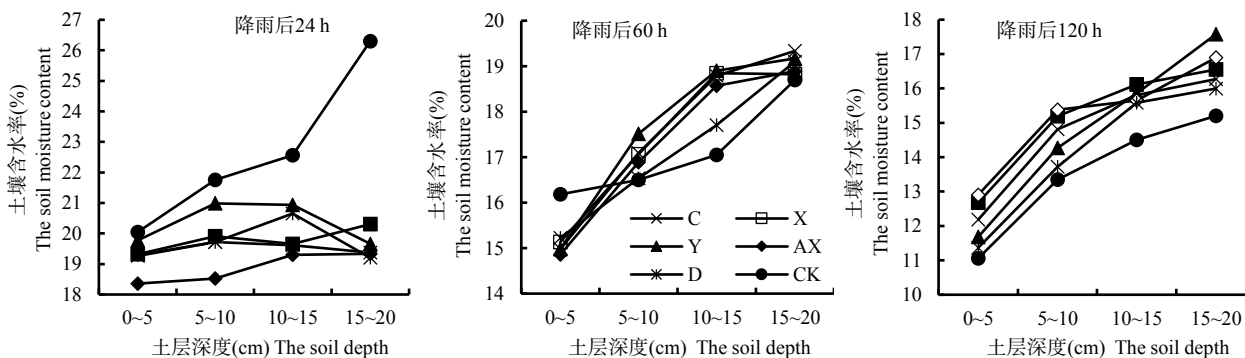


图4 6月18日强降雨后土壤含水率变化

Fig.4 Soil moisture change after the strong rain in June 18

强降雨 120 h 后, 0~5 cm 和 6~10 cm 深度 C、X、AX 处理的土壤含水率显著高于 D 和 CK 处理; 11~15 cm 和所有秸秆处理含水率显著高于 CK, 其中 16~20 cm 深度 Y 的土壤含水率与 CK 差异达到极显著水平。

2.1.2 秸秆深还后在非降雨不同时期的蓄水效果分析

2014 年辽宁省遭遇了较大旱情。秸秆还田后 0~120 d 内的土壤含水率情况如图 5 所示。0~10 cm 土层、11~20 cm 土层含水量在不同时期的波动基本趋于一致, 且所有秸秆处理的土壤含水率均不同程度大于不施秸秆(CK)。结果显示, 段状秸秆的蓄水能力虽好于不施秸秆(CK), 但在各个时期其蓄水能力整体上不如粉碎状的秸秆; AX 处理在前 45 d 的蓄水效果显著好于除 X 外的其他处理, 但 46~120 d 其蓄水效果明显下降; X 处理在前 90 d 都有较好的

蓄水效果, 90 d 后下降; C 和 Y 处理在前 60 d 蓄水效果并不突出, 60 d 后逐渐凸显, 90~120 d 期间 C 和 Y 处理的蓄水效果尤其突出。非降雨时期不同处理含水率差异体现了蓄水能力的差异, 从试验结果可以看出, 各处理的蓄水能力粉碎状秸秆处理>段状秸秆处理>不施秸秆(CK); X、AX 处理在还田初期就能呈现出明显的蓄水效果。从蓄水效果来看, AX 处理较 X 处理并未呈现出明显优势, 反而从 60 d 以后逐渐显示出劣势。虽然秸秆蓄水能力随秸秆粉碎程度增大而增大, 但其腐解速度也越快。秸秆因腐解而蓄水能力减弱, AX 处理腐解最迅速, 所以其蓄水显著期也最短暂, 仅 50 d 左右。C 和 Y 处理在中、后期的蓄水效果逐渐突出可能是由于 C、Y 较 AX、X 处理腐解相对缓慢, AX、X 处理逐渐腐解失效凸显了 C、Y 处理的蓄水能力, 但秸秆压缩成颗粒后能否减缓其腐解速度还有待于进一步研究。

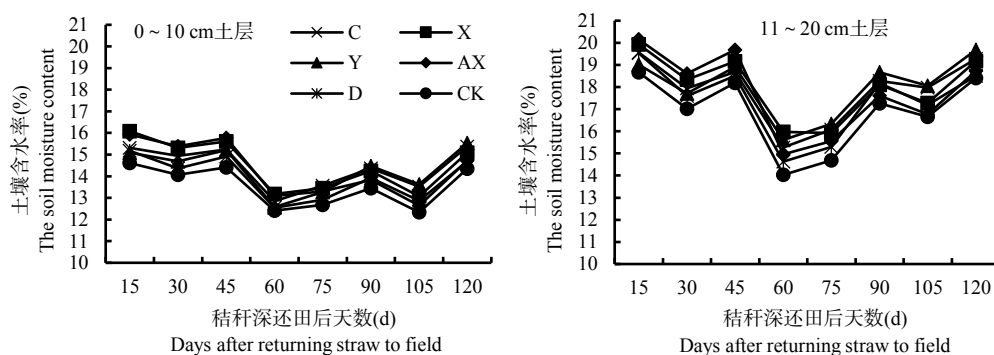


图5 还田后 0~20 cm 土层各处理含水率的变化

Fig.5 Change of soil moisture 0-20 mm with time after stalks buried

2.2 秸秆深还对土壤容重的影响

土壤自身理化性质影响土壤蓄水性是通过影响孔隙状况与比表面积来实现的^[7]。土壤土壤孔隙度直接影响土壤容重, 秸秆还田后腐解作用会使土壤颗粒细化并增大土壤孔隙度。

播种前和播种后 25 d、50 d、75 d、100 d、125 d 的土壤容重如图 6 所示。播种后 0~75 d 内所有处理土壤容重均呈减小趋势。播种后 25 d, 由于春耕在一定程度上打破了犁底层结构, 所以各处理的土壤容重具有显著减小, 除 Y 以外所有秸秆处理较不施秸秆(CK)土壤容重减小幅度较大, 且达到显著水平, 其中, AX 和 X 处理的土壤容重较播种前减小幅度最大, 分别达 0.045 和 0.052 g/cm³。播种后 50 d, 所有试验组土壤容重较播种后 25 d 均再次减小。X、AX 处理的土壤容重减小幅度显著小于其他处理, 减小量分别为 0.040 和 0.056 g/cm³。X、AX 和 C 处理的土壤容重值显著小于 Y 和不施秸秆(CK), 其他处理差

异不显著。播种后 75 d, C、X、Y 和 D 处理的土壤容重再次减小, AX 和 CK 处理的土壤容重较播种后 50 d 略增, 土壤容重数值从小到大的顺序为 AX<X<C<D<Y<不施秸秆(CK)。播种后 100 d, 只有 Y 处理的土壤容重较播种后 75 d 有显著的减小, 其他处理均不同程度有所增加, 土壤容重数值排序为 X<AX<C<Y<D<不施秸秆(CK)。播种后 125 d, 各处理的土壤容重较播种后 100 d 变化均不同程度增大。

结果说明, 秸秆深还田有助于减小土壤容重, 且秸秆粉碎状态越细, 对土壤容重变化的影响越大, 土壤容重的减小幅度也越大(Y 除外); 秸秆碎末氮化后能在还田初期就对减小土壤容重产生明显效果。秸秆深还田后其有机成分被微生物逐渐分解, 微生物活动产生的代谢产物作用于秸秆附近一定范围区域的土壤, 使土壤理化性质发生改变, 继而使土壤孔隙度增大, 土壤容重减小。秸秆还田初期腐解作用相对剧烈^[8], 所以土壤容重减小效果明显。秸秆颗粒

越细,孔隙越多,为微生物提供的活动空间也越大,腐解速度自然也越快^[9],对土壤容重的影响越早。秸秆碎末氮化后腐解速度最快,使其对减小土壤容重的作用时间大大提前,而50 d后对土壤容重增大的抑制作用微弱。D处理的腐解速度比较缓慢,土壤容重的总变化梯度最小。

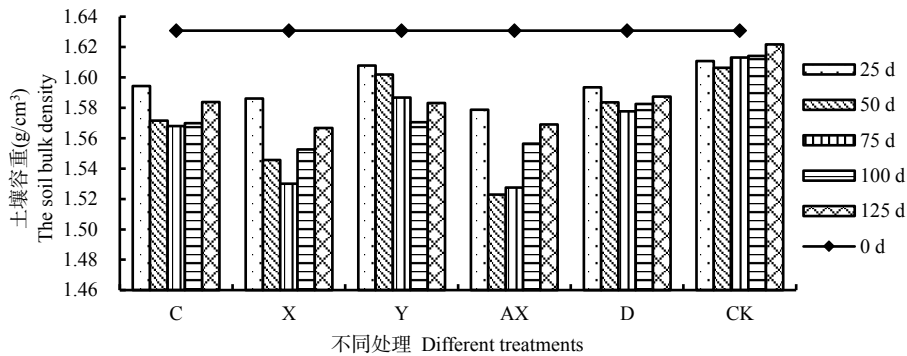


图6 不同时期的土壤容重变化

Fig.6 Soil bulk density change of various treatments during different periods

2.3 秸秆深还对玉米产量的影响效果分析

由表1可知,2014年各处理的穗长、行粒数和千粒重排序均为X>AX>C>Y>D>不施秸秆(CK);穗粗排序为AX>X>C>Y>D>不施秸秆(CK);穗行数排序为AX>X=C>Y>D>不施秸秆(CK);秃尖长度排序为AX<X<C<Y<D<不施秸秆(CK)。X处理的玉米产量最高达10 640 kg/hm²,与不施秸秆(CK)相比增长了10.32%;其次为AX处理,产量为10 430 kg/hm²,与对照不施秸秆(CK)相比增长了8.22%;C处理的产量为10 350 kg/hm²,与不施秸秆(CK)相比增长了7.37%;Y处理产量为10 320 kg/hm²,与不施秸秆(CK)相比增长了7.08%;D处理产量为9 830 kg/hm²,与

不施秸秆(CK)相比增长了1.93%。
2015年各处理玉米穗长和千粒重依次为X>AX>C>Y>D>CK处理;行粒数依次为X=AX>C=Y=D>CK处理;穗粗依次为AX>X>C>Y>D>CK处理;穗行数依次为X=AX=C=Y>D>CK处理;秃尖长度依次为AX<X<C<Y<D<CK处理。X处理的产量最高达10 850 kg/hm²,与对照相比增长了18.45%;其次为AX处理,产量为10 640 kg/hm²,与对照相比增长了16.20%;C处理的产量为10 560 kg/hm²,与对照相比增长了15.28%;Y处理产量为10 530 kg/hm²,与对照相比增长了14.97%;D处理产量为10 020 kg/hm²,与对照相比增长了9.44%。

表1 秸秆深还不同秸秆处理的玉米产量
Table 1 Maize yield by different treatments

	处 理 Treatment	穗 长	穗 粗	穗行数	行粒数(粒)	秃尖长	千粒重(g)	产 量	与CK相比产量增加(%) Increase in production compared with CK
		(mm) Ear length	(mm) Ear diameter	(行) Rows	Kernels per row	(mm) Bald tip length	1 000-grain weight	(kg/hm ²) Yield	
2014年	C	187.6	49.4	14	36	14.5	426.5	10 350	7.37
	X	192.1	51.2	14	37	12.8	438.0	10 640	10.32
	Y	184.7	49.3	14	36	15.7	425.4	10 320	7.08
	AX	191.3	53.7	14	37	10.2	429.8	10 430	8.22
	D	182.0	49.2	13	36	16.3	404.8	9 830	1.93
	CK	175.2	47.1	13	34	20.6	365.2	9 640	—
2015年	C	187.7	49.8	14	36	14.3	426.8	10 560	15.28
	X	192.2	51.7	14	37	12.7	438.2	10 850	18.45
	Y	184.9	49.7	14	36	15.5	425.5	10 530	14.97
	AX	191.4	54.2	14	37	10.1	429.9	10 640	16.20
	D	182.2	49.6	13	36	16.1	405.0	10 020	9.44
	CK	174.2	46.3	13	33	20.8	365.1	9 160	—

因此,秸秆深还田可有效提高玉米产量,秸秆细粉碎对玉米产量的增加效果最为明显,排序为 $X>AX>C>Y>D>$ 不施秸秆(CK)。秸秆粉碎后深还田比段状秸秆更能提高玉米产量,细碎末状的秸秆深还田对玉米产量的增加效果最为明显。干旱年份的玉米产量与土壤水分关系更密切,氨化处理的秸秆碎末虽能够加速腐解并为作物提供较多的N元素,但是较早腐解减弱了其中、后期的蓄水能力,所以AX处理的玉米产量比X处理少。

3 结论与讨论

作物秸秆是世界上数量最多的农业副产品,我国是农业大国,也是秸秆资源最为丰富的国家之一,每年产生的农作物秸秆量占世界总量的30%。秸秆还田是一种重要的农作措施,通过秸秆还田技术可以缓解有机肥料不足的压力,减少化肥过量施用的不良影响。研究表明,向土壤中添加粉碎秸秆类有机质能够显著改良土壤结构,进而通过改良土壤水分特性,达到增加土壤水分有效库容的目的^[11,12]。路文涛^[13]在宁南旱区通过研究秸秆还田对土壤水分及作物生产力的影响的研究,结果表明,在3年秸秆还田定位试验中随秸秆还田量由高到低,作物水分利用效率分别较不施秸秆(CK)有显著提高,在宁南半干旱区采用秸秆还田能较好地储蓄土壤水分,利于土壤水库的扩蓄增容,且对提高作物产量和作物水分利用效率有显著效果。邹洪涛^[14]研究不同玉米秸秆深还田对辽西半干旱区试验,结果表明,与不施秸秆相比,秸秆深还田各处理土壤含水量、容重均优于对照,秸秆深还田对提高耕层土壤含水量,改善土壤结构。本研究结果表明,在一般降雨和强降雨后,秸秆粉碎程度越细,其吸水能力越强(Y除外)。吸水能力排序为 $X、AX>C、Y>D、$ 不施秸秆(CK);粉碎处理由浅层土向深层渗水和由深层土向浅层土释水速度也更快。通过对非降雨的不同时期土壤水分含量的比较,蓄水能力排序为粉碎状处理>段状处理>不施秸秆(CK)。

秸秆的施用对降低土壤容重、增加孔隙度有积极作用。李传友^[15]的研究结果表明,粉碎并氨化秸秆施入土壤后,能显著降低耕层(0~15 cm)土壤的容重,增加土壤孔隙度,但对耕层以下土壤容重及孔隙度改善效果不明显。本研究的试验结果进一步证明,玉米秸秆深还田有助于减小土壤容重,秸秆粉碎状态越细,对土壤容重的影响越迅速,土壤容重的减小幅度也越大(Y除外);细粉碎处理和细粉碎后氨化处理能在还田初期就对减小土壤容重产生明显作

用,播种后25 d,土壤容重减小幅度最大,分别达0.052和0.045 g/cm³。

秸秆还田可以提高土壤肥力,供给作物生长所必要的养分,从而提高玉米的产量^[16~18]。秸秆深还田可以有效提高玉米产量,其中秸秆细碎末深还田对玉米产量的增加效果最为明显。

参考文献:

- [1] 李万良,刘武仁. 玉米秸秆还田技术研究现状及发展趋势[J]. 吉林农业科学, 2007, 32(3): 32-34.
Li W L and Liu W R. Research status and development trends of giving the straws back to the field technique on maize[J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 2007, 32(3): 32-34. (in Chinese)
- [2] 林青山,何艳峰,刘金森,等. 秸秆热解气化技术在提高秸秆利用率方面的优势分析[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(14): 4399-4403, 4410.
Lin Q S, He Y F, Liu J M, et al. The comparative advantage analysis of straw pyrolysis and gasification technology in utilization of straw [J]. Journal of Anhui Agri. Sci., 2014, 42(14): 4399-4403, 4410. (in Chinese)
- [3] 王增丽,王 珍,冯 浩. 秸秆粉碎氨化还田对土壤体积质量及持水特性的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(11): 211-215.
Wang Z L, Wang Z, Feng H. Effects of pulverized and ammoniated straw on soil bulk density and water-holding characteristics[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(11): 211-215. (in Chinese)
- [4] 张海云,王振同,路广平,等. 秸秆深埋蓄水抗旱耕作技术研究[J]. 山西水土保持科技, 2001(2): 23-25.
Zhang H Y, Wang L T, Lu G P, et al. Research on farming technology of water- conserve and drought-relief by burying straw into deep soil[J]. Soil and Water Conservation Science and Technology in Shanxi, 2001(2): 23-25. (in Chinese)
- [5] 王国梁,刘国彬,党小虎. 黄土丘陵区不同土地利用方对土壤含水率的影响[J]. 农业工程学, 2009, 25(2): 31-35.
Wang G L, Liu G B, Dang X H. Effects of land use on soil water in loess hilly and gully region of China[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(2): 31-35. (in Chinese)
- [6] 王喜艳,窦 森,张恒明,等. 玉米秸秆持水深埋对辽西瘠薄耕地土壤养分及玉米产量的影响[J]. 西北农业学报, 2014, 23(5): 76-81.
Wang X Y, Dou S, Zhang H M, et al. Effects of waterlogged maize stalk deep returning on soil nutrients and maize yields of barren farmland in west Liaoning province[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2014, 23(5): 76-81. (in Chinese)
- [7] 李 卓,吴普特,冯 浩,等. 容重对土壤水分蓄持能力影响模拟试验研究[J]. 土壤学报, 2010, 47(4): 611-620.
Li Z, Wu P T, Feng H, et al. Simulated experiment on effects of soil bulk density on soil water holding capacity[J]. Acta Pedologica Sinica, 2010, 47(4): 611-620. (in Chinese)
- [8] 戴志刚,鲁剑巍,李小坤,等. 不同作物还田秸秆的养分释放特征试验[J]. 农业工程学报, 2010, 26(6): 272-276.
Dai Z G, Lu J W, Li X K, et al. Nutrient release characteristics of different crop straws manure[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(6): 272-276. (in Chinese)

- [9] 王 静,黄 毅. 辽西旱农区秸秆还田保水效果及对玉米生长的影响[J]. 山西农业科学, 2012, 42(2): 113-116.
- Wang J, Huang Y. Effects of different ways of straw counters-field to the corn growth and dryland soil water maintain in western Liaoning[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2012, 42(2): 113-116. (in Chinese)
- [10] 孔德刚,张 帅,常晓慧,等. 坡耕地中秸秆深施蓄水效果的试验研究[J]. 东北农业大学学报, 2011, 42(2): 48-53.
- Kong D G, Zhang S, Chang X H, et al. Experimental study on accumulating water effect by burring straw deeply in sloping field[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2011, 42(2): 48-53. (in Chinese)
- [11] 杨志臣,吕贻忠,张凤荣,等. 秸秆还田和腐熟有机肥对水稻土培肥效果对比分析[J]. 农业工程学报, 2008, 24(3): 214-218.
- Yang Z C, Lü Y Z, Zhang F R, et al. Comparative analysis of the effects of straw-returning and decomposed manure on paddy soil fertility betterment[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(3): 214-218. (in Chinese)
- [12] Pascual J A, Garcia C, Hernandez T. Comparison of fresh and composted organic waste in their efficacy for the improvement of arid soil quality[J]. Bioresource Technology, 1999, 68(3): 255-264.
- [13] 路文涛,贾志宽,张 鹏,等. 秸秆还田对宁南旱作农田土壤活性有机碳及酶活性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(3): 522-528.
- Lu W T, Jia Z K, Zhang P, et al. Effects of straw returning on soil labile organic carbon and enzyme activity in semi-arid areas of Southern Ningxia, China[J]. Journal of Agro-environment Science, 2011, 30(3): 522-528. (in Chinese)
- [14] 邹洪涛,马迎波,徐 萌,等. 辽西半干旱区秸秆深还田对土壤含水量、容重及玉米产量的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2012, 43(4): 494-497.
- Zou H T, Ma Y B, Xu M, et al. Effect of corn stalk returning to soil on soil water content, bulk density and corn yields in semiarid area of Western Liaoning province[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2012, 43(4): 494-497. (in Chinese)
- [15] 李传友. 秸秆还田方式对农田土壤结构及冬小麦产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(3): 294-301.
- Li C Y. Effects of straw return methods on soil structure and winter wheat yield[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2015, 23(3): 294-301. (in Chinese)
- [16] 战秀梅,彭 靖,李秀龙,等. 耕作及秸秆还田方式对春玉米产量及土壤理化性状的影响[J]. 华北农学报, 2014, 29(3): 204-209.
- Zhan X M, Peng J, Li X L, et al. Effects of tillage and crop residues incorporation on spring maize yield and physical and chemical properties of soil[J]. Acta Agriculturae Boreali-somica, 2014, 29(3): 204-209. (in Chinese)
- [17] 刘 玲,刘 振,杨贵运,等. 不同秸秆还田方式对土壤碳氮含量及高油玉米产量的影响[J]. 水土保持学报, 2014, 28(5): 187-192.
- Liu L, Liu Z, Yang G Y, et al. Effects of different modes of straw returned on contents of soil carbon and nitrogen and yield of high oil maize[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2014, 28(5): 187-192. (in Chinese)
- [18] 王 珍,冯 浩,吴普特,等. 土壤扩蓄增容肥对春玉米产量及水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(11): 114-119.
- Wang Z, Feng H, Wu P T, et al. Effects of soil amendment fertilizers on yield and water use efficiency of spring maize[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(11): 114-119. (in Chinese)

(责任编辑:李万良)