

DOI: 10.5846/stxb201409071766

吴俊松, 刘建, 刘晓菲, 杨海水, 王小华, 许明敏, 魏亚凤, 卞新民. 稻麦秸秆集中沟埋还田对麦田土壤物理性质的影响. 生态学报, 2016, 36(7):

Wu J S, Liu J, Liu X F, Yang H S, Wang X H, Xu M M, Wei Y F, Bian X M. Effects of rice and wheat straw ditch-buried returns on the soil physical properties of wheat fields. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(7):

稻麦秸秆集中沟埋还田对麦田土壤物理性质的影响

吴俊松¹, 刘建², 刘晓菲¹, 杨海水¹, 王小华¹, 许明敏¹, 魏亚凤², 卞新民^{1,*}

¹ 南京农业大学 农学院, 南京 210095

² 江苏沿江地区农业科学研究所, 南通 226541

摘要:通过 5.5 年的大田定位试验, 将上季秸秆全量沟埋还田, 设置秸秆沟埋还田深度为 20 cm、40 cm 以及免耕秸秆不还田(对照)3 个处理. 研究秸秆沟埋还田对麦田土壤水势、温度的影响以及长期秸秆沟埋还田方式下, 沟埋还田 20 cm 处理各埋草沟土壤容重、总孔隙度的变化. 结果表明: 秸秆沟埋还田具有降低土壤容重, 增加土壤总孔隙度的作用, 随着还田时间的增加, 这种作用逐渐降低. 当降雨量较大(26.6 mm)时, 沟埋还田各处理水势值在短时间内上升的较快, 而对照则相对较慢; 当降雨量较小(10 mm)时, 沟埋还田 40 cm 处理水势值上升速度大于沟埋还田 20 cm, 对照处理最慢; 降雨过后的 12 天内, 沟埋还田各处理水势值下降速度较对照更快; 连续 40 天各处理土壤水势日均值大小为对照>沟埋还田 40 cm>沟埋还田 20 cm. 土壤 0—15 cm 温度日较差大小为沟埋还田 20 cm>对照>沟埋还田 40 cm, 土壤 20 cm 处日较差对照最大; 沟埋还田 20 cm 处理 0—15 cm 以及沟埋还田 40 cm 处理 0—20 cm 土壤日均温高于对照, 沟埋还田 20 cm 处理 20 cm 处土壤日均温与对照较为接近. 在沿江稻麦轮作地区, 秸秆集中沟埋还田具有较好的改善土壤物理性质的作用.

关键词:稻麦秸秆; 沟埋还田; 容重; 总孔隙度; 水势; 温度

Effects of rice and wheat straw ditch-buried returns on the soil physical properties of wheat fields

WU Junsong¹, LIU Jian², LIU Xiaofei¹, YANG Haishui¹, WANG Xiaohua¹, XU Mingmin¹, WEI Yafeng², BIAN Xinmin^{1,*}

¹ College of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

² Institute of Agricultural Science Research in the Yangtze River in Jiangsu, Nantong 226541, China

Abstract: Straw usually refers to the aboveground part of crops after grain harvesting and is the main byproduct of crop production. Straw return is considered an effective way of recycling crop straw residues. In this study, a 5.5-year field experiment was conducted to evaluate different total straw returning methods using the following treatments: ditch-buried return at 20 cm and at 40 cm soil depths and the control treatment of conventional tillage with no straw return. The amount of rice and wheat straw returned was 2 kg/m² and 1 kg/m², respectively. This study investigated the soil water potential and soil temperature at the different ditch-buried return depths, as well as the effect of long-term ditch-buried returns to a depth of 20 cm on the bulk density and total porosity of soils. Our results suggested that a ditch-buried return to a depth of 20 cm could reduce soil bulk density and increase total porosity compared with the control treatment. The beneficial effects on soil structure were present even after 4.5 years. The effect gradually declined as the length of time after straw return increased. In the 0—7 cm soil layer, the bulk density and total porosity of ditch-buried return at 20 cm and 40 cm depth gradually

基金项目: 农业部公益性行业(农业)科研专项(200803028); 环保公益性行业科研专项(201109024)

收稿日期: 2014-09-07; 网络出版日期: 2015-

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: bjxlm@163.com

became closer to the control treatment. However, there were significant differences between both ditch-buried straw return depths and the control treatment in the 7—14 cm soil layer. When rainfall was high (26.6 mm), the variation in soil water potentials of the ditch-buried return to depths of 20 cm and 40 cm were 15.7 kPa and 14.8 kPa, respectively, within two hours, whereas the change in the soil water potential of control treatment was 2.2 kPa. This indicates that the soil water potentials of ditch-buried return to depths of 20 cm and 40 cm show a faster increase than the control treatment. When rainfall was low (10 mm), the water potential of ditch-buried return to a depth of 40 cm showed a faster increase than that of ditch-buried return to a depth of 20 cm, which was faster than the control treatment. It was found that the water potentials of ditch-buried return to depths of 20 cm and 40 cm decreased rapidly and were lower than the control treatment 12 days after rainfall. The changes in soil water potentials for both ditch-buried straw returns and the control treatment were 187.62 kPa, 141.38 kPa, and 104.48 kPa, respectively. The soil water potential of each treatment over 40 consecutive days was control treatment > ditch-buried return 40 cm > ditch-buried return 20 cm. On average, the soil water potentials of ditch-buried return to depths of 20 cm and 40 cm were significantly lower than those of the control treatment ($P < 0.05$). The soil diurnal temperature range was ditch-buried return 20 cm > control treatment > ditch-buried return 40 cm, when measured at a soil depth of between 0 and 15 cm. However, it was highest for the control treatment at 20 cm soil depth. In addition, ditch-buried straw return to a depth of 20 cm increased the mean daily temperature in the 0—15 cm soil layer, and ditch-buried straw return to a depth of 40 cm increased mean daily temperature in the 0—20 cm soil layer. The mean daily temperature at 20 cm soil depth of ditch-buried return to a depth of 20 cm was close to that of the control treatment. In summary, ditch-buried straw return improves soil physical properties in a rice-wheat rotation system in the Yangtze River delta agricultural regions.

Key Words: rice and wheat straw; ditch-buried return; bulk density; total porosity; soil water potential; soil temperature

农作物秸秆是一种宝贵的可再生资源,具有很大的利用价值^[1]。路文涛^[2]等经过四年研究发现,秸秆还田可以降低土壤容重,提高土壤孔隙度。随秸秆还田量的降低,土壤容重降低幅度随之减小,土壤孔隙度增加幅度减小。土壤水势能够反映土壤对水分的吸纳能力及作物可利用的土壤水分状况^[3]。在长江中下游地区,长期施行免耕、少耕,土壤耕层紧实,过多的降水导致麦田排水困难,土壤湿度大,因而成为限制小麦产量的重要因子。土壤温度直接作用于作物根系的生长发育,从而影响作物对养分的吸收利用^[4]。刘春晓^[5]研究表明,秸秆沟埋还田增大了埋草沟上层土壤温度变化幅度,对埋草沟下层土壤具有保温作用。冬小麦在初春拔节时期,对环境温度变化较为敏感,适宜的土壤温度对于增加冬小麦产量具有重要意义^[6]。秸秆还田作为一种秸秆处理方式已有多项研究,传统的秸秆还田存在诸多弊端,如降低作物出苗率,影响作物苗期生长^[7];还田过浅,秸秆分解快,不利于土壤碳汇的积累^[8];不利于土壤耕作层的加深等。秸秆集中沟埋还田是一种将当季收获的作物秸秆以整秆的方式集中埋于试验沟中,通过逐季更换埋草沟的位置实现全田土壤渐进式深耕的新技术体系。已有的研究表明,秸秆沟埋还田具有加深耕层、改善土壤结构、协调土壤水肥气热,降低CO₂排放量,增加碳储汇^[9-10]等特点;由于秸秆整株深埋,秸秆腐解慢^[11],因而残留的秸秆相当于肥料库,能够不断地向土壤中释放养分。关于秸秆集中沟埋还田不同深度对麦田土壤物理性质影响的研究报道较少。为此,于2008年起在沿江地区进行定位试验,通过设置不同秸秆还田深度,研究秸秆沟埋还田对土壤水势、温度的影响以及长期秸秆沟埋还田对不同还田时间的埋草沟土壤容重、总孔隙度的变化,探索秸秆沟埋还田的特点,为稻麦两熟地区秸秆集中沟埋还田技术的推广提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2008年10月起在江苏沿江地区农业科学研究所水稻试验田进行,该地区属北亚热带季风气候区,

雨热同季,年平均气温为 14.8 ℃,年平均无霜期 215 d, $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的活动积温为 5223 ℃, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的活动积温 3810 ℃;日照充足,年平均日照时数 2007.3 h,日照百分率 45%;水汽充足,降水充沛,年平均降水量 1049.8 mm,年均降水日数 135.7 d。供试土壤类型为潮土,2008 年 10 月试验开始时的前茬作物为水稻。供试土壤 0—20 cm 主要理化性质:容重 1.4 g/cm³;砂粒(2—0.05)占 22.10%,粘粒(<0.002)占 12.68%,粉粒(0.05—0.002)占 65.22%;有机质 20.45 g/kg;总氮 1.62 g/kg;速效磷 12.75 mg/kg;速效钾 44.41 mg/kg;pH 值 7.5。

1.2 试验设计

试验设置秸秆集中沟埋还田深度为 20 cm、40 cm 以及免耕秸秆不还田(对照)三个处理。每个处理三次重复。于 2008 年 10 月开始,将当季收获的作物秸秆以整秆的方式埋于对应的埋草沟中。小区面积为 3 m×6 m,每个小区设三条相同埋草沟,相同埋草沟间距为 2 m,沟宽 20 cm,沟长 3 m。以当地水稻秸秆量 10000 kg/hm 为参照还田量,折算为秸秆沟埋量 6 kg/沟,即每条埋草沟掩埋 6 kg 秸秆,小麦秸秆还田量为 5000 kg/hm,折算为秸秆沟埋量 3 kg/沟。小区埋草沟示意图(图 1)及挖沟埋草工艺图(图 2)如下(以沟埋还田 20 cm 为例)。沟埋还田 40 cm 处理过程与沟埋还田 20 cm 一致,区别仅仅是埋草沟的深度不一样(沟埋还田 40 cm 的沟深为 40 cm)。第 1 条埋草沟为 2008 年 10 月收获的水稻秸秆,设在小区北缘。第 2 条埋草沟所埋秸秆为 2009 年 6 月份收获的小麦秸秆,位置位于第 1 条埋草沟的南边,间距为 1 m,第 3 条埋草沟(埋水稻秸秆)在第 1 条埋草沟的南边,相距 40 cm。第 4 条埋草沟(埋小麦秸秆)第 2 条埋草沟的南边,相距 40 cm,以此类推。当小区埋草沟全部埋完时,再从第 1 条埋草沟开始,即 5 年一个循环。试验沟覆土完毕后采用免耕机浅旋,深度约为 5 cm。试验采用稻麦两熟种植制度,水稻品种为南粳 44,小麦品种为扬麦 13。稻麦生长过程中田间管理与当地常规生产管理相同。

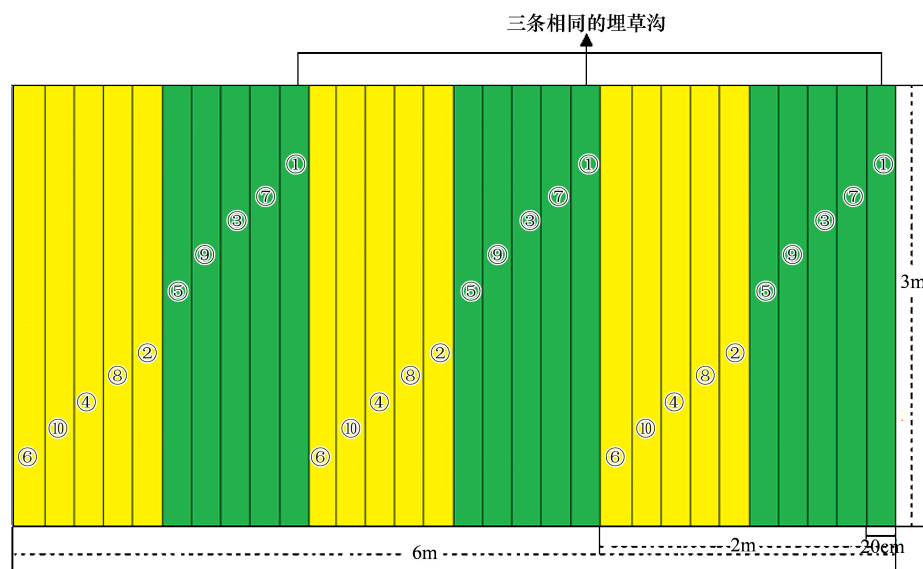


图 1 小区埋草沟示意图

Fig. 1 Straw ditch distribution in experimental plot

①—⑩代表不同埋草沟,①代表第一季埋草沟,以此类推;绿色表示埋水稻秸秆的埋草沟,黄色代表埋小麦秸秆的埋草沟

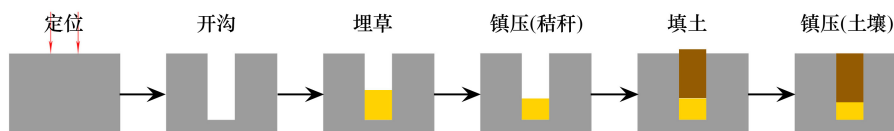


图 2 埋草过程工艺图

Fig. 2 Process drawing for straw ditch-buried return

1.3 测定方法

1.3.1 土壤容重与总孔隙度

于 2013 年 6 月小麦收获后,用环刀法^[12]测定沟埋还田 20 cm 处理各埋草沟(共 9 条埋草沟)及对照的土壤容重。环刀规格:容量为 100 cm³,高度为 4.5 cm,内径为 5.5 cm。总孔隙度根据茂荣^[13]的测定方法测得。取样位置为每条埋草沟的中间,取样深度分为 0—7 cm、7—14 cm,取样过程中未取到秸秆。

1.3.2 土壤水势

于 2014 年 4 月 18 日—5 月 28 日连续 40 天,采用 Tensiomark II 型水势传感器测量沟埋还田 20 cm、沟埋还田 40 cm 两个处理的第 8 条(即还田时间为 22 个月)埋草沟以及对照的土壤水势,测量深度为 15 cm,此处无秸秆。测量时间间隔为 1 小时。降雨量采用 SM-1 型不锈钢雨量计测量,测量口径为 20 cm。当天的降雨量值为前一天 18:00 至当天 18:00 降雨量总和。

1.3.3 土壤温度

于小麦拔节期,采用 HW 型土壤温度自动记录仪连续 15 天测定土壤温度。测量的处理为沟埋还田 20 cm、沟埋还田 40 cm 以及对照。选择每个处理的第 1 条(此埋草沟埋草时间距测量时仅 6 个月,即已埋 2 次秸秆)埋草沟,测量该埋草沟及对照处理 5 cm、10 cm、15 cm 及 20 cm 处土壤温度。测量时间间隔为 30 min,日均温为当天每 30 min 测定值的平均值,日较差为当天测定的最高温度与最低温度的差值。

1.4 数据分析

试验数据采用 Microsoft Excel 2007 进行整理及绘制图表,用 SPSS 17.0 进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 长期秸秆集中沟埋还田方式下,沟埋还田 20 cm 处理各埋草沟土壤容重及总孔隙度的变化

由图 3 可以得出,沟埋还田 20 cm 处理各埋草沟 0—7 cm、7—14 cm 土壤容重均低于对照。在 0—7 cm,还田 6 个月及还田 24 个月的埋草沟土壤容重与对照差异显著,较对照分别降低 17.1%、7.9%。其余埋草沟差异均不显著。在 7—14 cm,除还田时间为 36 个月的埋草沟较对照差异不显著性外。其余各埋草沟均达显著性差异,且埋水稻秸秆及小麦秸秆的各埋草沟土壤容重均随还田时间的增加而逐渐增大,但各埋草沟之间未全部达到显著性差异。

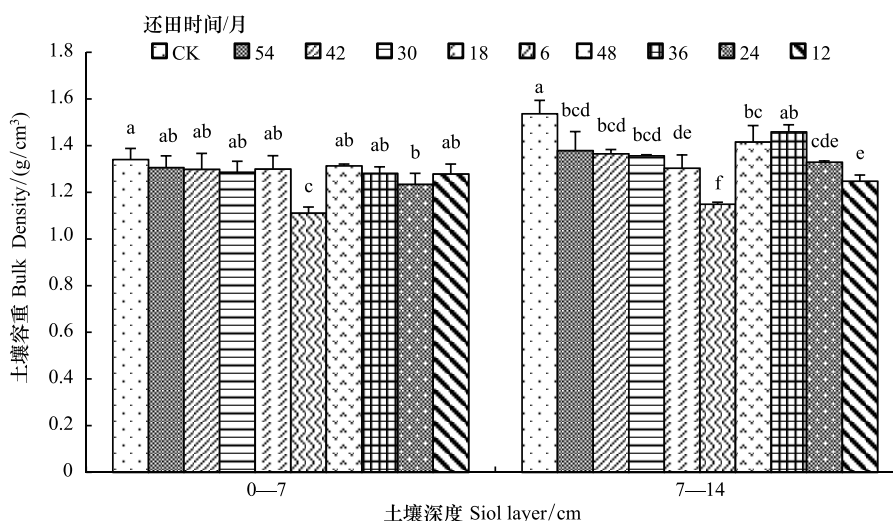


图 3 不同还田时间对埋草沟土壤容重的影响

Fig. 3 Variation of soil bulk density as affected by different straw time

不同小写字母表示同一土壤层次不同处理间差异显著($P < 0.05$)还田时间为 54、42、30、18、6 个月的埋草沟所埋秸秆为水稻秸秆,其余均为小麦秸秆。

由图 4 可知,沟埋还田 20 cm 处理各埋草沟 0—7 cm、7—14 cm 土壤总孔隙度均高于对照。在 0—7 cm,各埋草沟较对照均未达显著性差异。在 7—14 cm,各埋草沟土壤总孔隙度较对照达显著性差异,埋水稻秸秆的各埋草沟总孔隙度较对照相比增加幅度为 9.2%—14.0%,且以还田 6 个月时,总孔隙度增加最多。埋小麦秸秆的各埋草沟土壤总孔隙度较对照增加幅度为 12.6%—15.1%。各埋草沟之间均未达到显著性差异。随还田时间的增加,埋水稻秸秆及小麦秸秆的各埋草沟土壤总孔隙度总体呈降低的趋势。

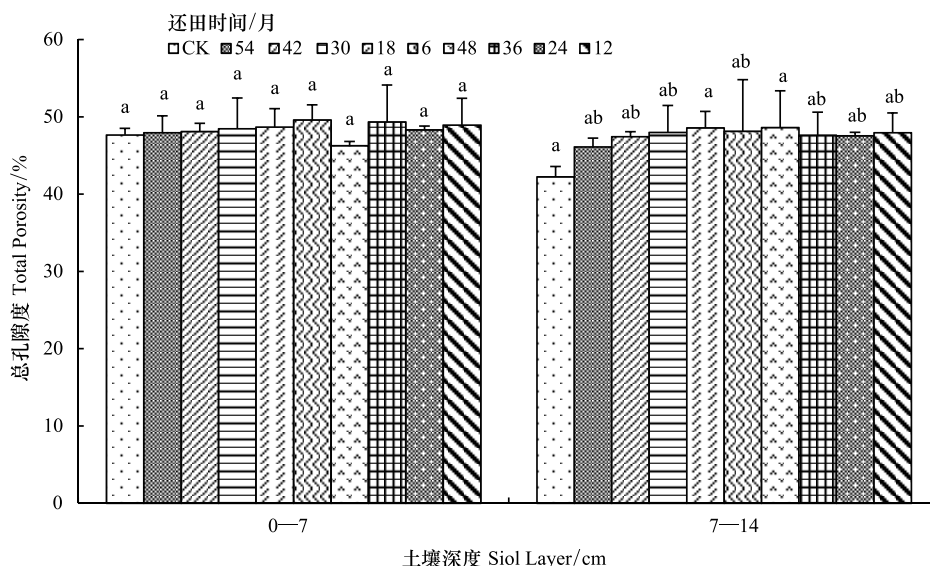


图 4 不同还田时间对埋草沟土壤总孔隙度的影响

Fig. 4 Variation of soil total porosity as affected by different straw time

不同小写字母表示同一土壤层次不同处理间差异显著 ($P < 0.05$), 还田时间为 54、42、30、18、6 个月的埋草沟所埋秸秆为水稻秸秆, 其余均为小麦秸秆。

2.2 秸秆集中沟埋还田 20 cm、40 cm 对土壤水势的影响

2.2.1 降水量为 26.6 mm 各处理土壤水势变化情况

由图 5 可知,在降雨前,土壤水势对照 > 沟埋还田 20 cm > 沟埋还田 40 cm,在降雨的 2 个小时内(23:00 到 01:00),沟埋还田 40 cm 水势值从 -18.3 kPa 上升到 -3.5 kPa,变化量为 14.8 kPa,沟埋还田 20 cm 水势从 -17.2 kPa 上升到 -1.5 kPa,变化量为 15.7 kPa,对照水势从 -15.6 kPa 上升到 -13.4 kPa,变化量为 2.2 kPa。由此可见,沟埋还田 40 cm、沟埋还田 20 cm 处理水势值变化较大,而对照水势变化量较小。表明沟埋还田 40 cm、沟埋还田 20 cm 在这 2 个小时内水势值上升的较快,而对照则上升缓慢。在 02:00 时,对照的水势值为 -6.5 kPa,仍低于沟埋还田 40 cm 的 -3.5 kPa 及沟埋还田 20 cm 的 -1.1 kPa。至 04:00,对照的水势值趋于稳定,此时水势值为沟埋还田 20 cm > 对照 > 沟埋还田 40 cm。

2.2.2 降水量为 10 mm 各处理土壤水势变化情况

由图 6 可知,在降雨量较小(10 mm)的情况下,对照和沟埋还田 20 cm 水势呈不断上升的趋势,水势变化量较小,在降雨的 12 小时内(06:00 至 17:00)水势变化量分别为 16.2 kPa、20.7 kPa。沟埋还田 40 cm 在此段时间内水势变化量为 130.4 kPa,为对照的 8 倍,为沟埋还田 20 cm 的 6.3 倍。在 17:00 以后,沟埋还田 40 cm 水势开始降低,沟埋还田 20 cm 及对照的水势值继续升高。至 00:00 各处理水势值沟埋还田 40 cm > 对照 > 沟埋还田 20 cm。

2.2.3 降水后 12 天内各处理土壤水势变化情况

由图 7 可得出,在降雨结束后(降水量 6 mm)的 5 天内(4 月 28 日—5 月 2 日),土壤水势值大小为沟埋还田 20 cm > 对照 > 沟埋还田 40 cm,在第 5 天—第 6 天(5 月 2 日—5 月 3 日),沟埋还田 40 cm 土壤水势开始高于对照,此时土壤水势值大小为沟埋还田 20 cm > 沟埋还田 40 cm > 对照;在第 6 天—第 7 天(5 月 3 日—5 月 4

日),沟埋还田 40 cm 土壤水势继续升高,并高于沟埋还田 20 cm,此时土壤水势值大小为沟埋还田 40 cm>沟埋还田 20 cm>对照;在第 7 天—第 8 天(5 月 4 日—5 月 6 日),水势值大小为沟埋还田 40 cm>对照>沟埋还田 20 cm;第 8 天以后,各处理水势值差异开始增大,水势值对照>沟埋还田 40 cm>沟埋还田 20 cm。

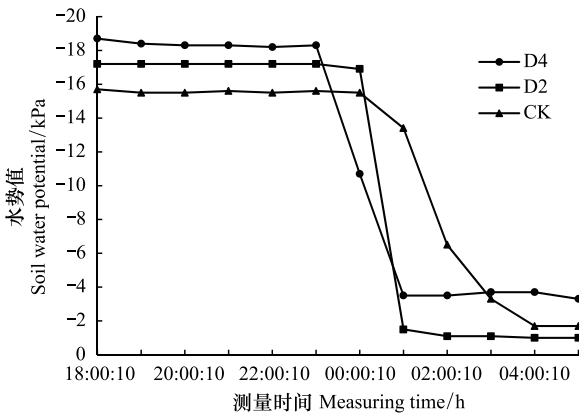


图 5 降雨前后 12 小时内各处理水势变化值 (降水量 26.6 mm)
Fig. 5 Variation of soil water potential of different treatment in 12 hours around rainfall (precipitation 26.6 mm)

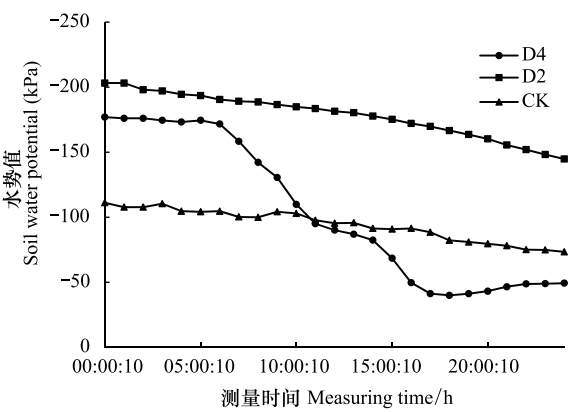


图 6 降水前后 25 小时内各处理水势变化值 (降水量 10 mm)
Fig. 6 Variation of soil water potential of different treatment in 25 hours around rainfall (precipitation 10 mm)

2.2.4 连续 40 天各处理土壤水势日均值

由表 1 可以得出,连续 40 天,各处理土壤水势日均值大小为对照>沟埋还田 40 cm>沟埋还田 20 cm,且各处理间差异显著。沟埋还田 20 cm、沟埋还田 40 cm 处理较对照降低幅度分别为 118.4%、88.3%。

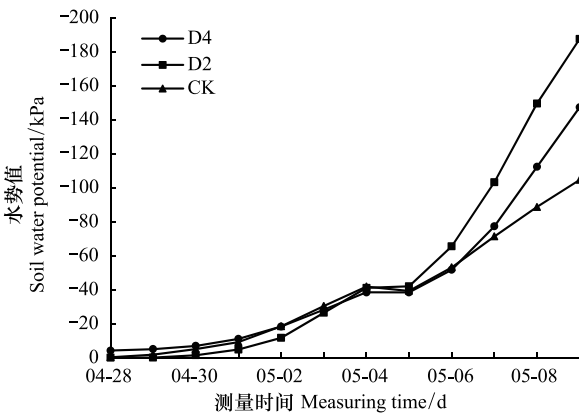


图 7 降雨后 12 天内各处理土壤水势变化值
Fig. 7 Variation of soil water potential of different treatment in 12 days after rainfall

表 1 连续 40 天各处理土壤水势日均值

Table 1 The daily average soil water potential of each treatment for 40 days

处理 Treatments	水势值 (kPa) Soil waterpotential
沟埋还田 20 cm Ditch-buried return 20 cm	-68.75c
沟埋还田 40 cm Ditch-buried return 40 cm	-59.28b
对照 Conventional returning	-31.48a

不同小写字母表示同一土壤层次不同处理间差异显著 ($P<0.05$)

2.3 秸秆集中沟埋还田 20 cm、40 cm 对土壤日较差及日均温的影响

由图 8 可知,土壤日较差随土层的加深而逐渐降低。土壤 5 cm 处,沟埋还田 40 cm 处理土壤日较差最低,沟埋还田 20 cm 及对照土壤日较差高于沟埋还田 40 cm。当日较差较高时,这种差异更加明显。在土壤 10 cm 层,土壤日较差呈现出沟埋还田 20 cm>对照>沟埋还田 40 cm 的规律,仅在 4/16、4/26、4/27 日表现为沟埋还田 40 cm>对照。在土壤 15 cm 处,沟埋还田 20 cm 处理土壤日较差最高,当日较差较高时,沟埋还田 40 cm 高于对照,当日较差较低时,沟埋还田 40 cm 低于对照。沟埋还田 20 cm 及对照日较差变化范围相对较大,分别为 0.4—2.6℃、0.2—1.6℃。土壤 20 cm 处日较差值较小,总体上表现为对照日较差较高。

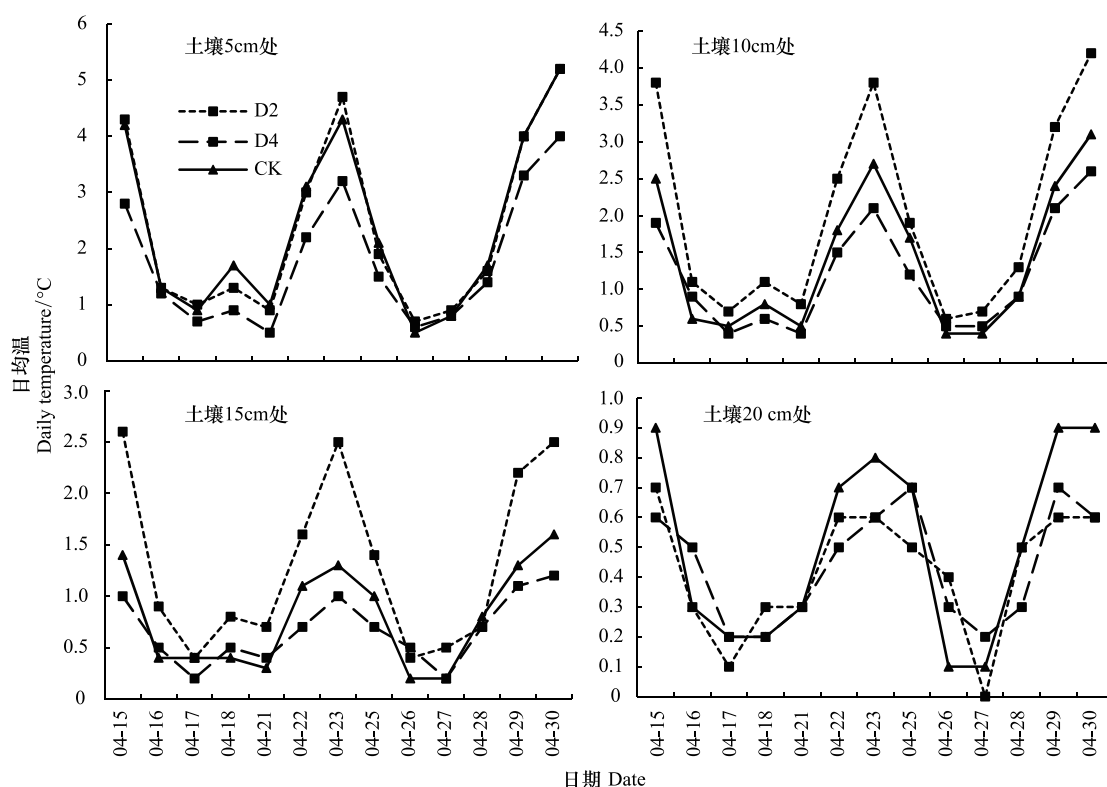


图 8 不同处理土壤日较差变化特征

Fig. 8 Variation of soil daily range as affected by different treatment

由图 9 可知,土壤 5 cm 处,对照的日均温最低,沟埋还田 20 cm 处理土温最高.当日均温较高时,对照与其它处理相比,温差更为明显,在 4/17 日,沟埋还田 20 cm、沟埋还田 40 cm 分别较对照高 0.62℃、0.35℃.4/25—4/27 日,沟埋还田 20 cm、沟埋还田 40 cm 分别较对照高 0.60℃—0.72℃、0.19℃—0.58℃.土壤 10 cm 处,当日均温较低时,沟埋还田 20cm 要低于对照;当日均温较高时,沟埋还田 20 cm 要高于对照.沟埋还田 40 cm 处理土壤日均温则较低,仅在 4/27—4/28 日高于对照.土壤 15 cm 处,沟埋还田 20 cm 及沟埋还田 40 cm 土壤日均温要高于对照,对照日均温最低.沟埋还田 20 cm、沟埋还田 40 cm 与对照日均温最高差值分别为 0.87、0.70.在土壤 20 cm 处,沟埋还田 40 cm 处理土壤日均温一直较高,其与对照的差值范围在 0.18℃—0.57℃.沟埋还田 20 cm 与对照日均温相近,差异较小.

3 讨论与结论

3.1 秸秆集中沟埋还田对土壤容重及总孔隙度的影响

土壤容重、孔隙度等是作物生长的重要土壤环境条件,起到调节土壤中水、气、热状况等作用^[14].关于秸秆沟埋还田不同深度对埋草沟土壤容重、孔隙度的影响前人已有研究^[15],其研究侧重于比较不同还田深度的埋草沟土壤容重、孔隙度的差异,其结果表明,秸秆沟埋还田 20 cm、40 cm 时,越靠近秸秆层,土壤容重降幅越大,孔隙度增幅也越大.本文侧重于研究长期秸秆沟埋还田方式下,不同还田时间的埋草沟土壤容重、孔隙度变化的情况.本研究表明,秸秆沟埋还田具有降低麦田土壤容重,增加土壤总孔隙度的作用,且这种作用在还田 54 个月时,表现仍为明显,这表明秸秆沟埋还田在降低土壤容重和增加土壤总孔隙度方面具有长效的作用.本研究中,埋水稻秸秆和小麦秸秆的埋草沟土壤容重有一定差异,这可能是由于还田时间的长短不同造成的,而受不同秸秆类型的影响较小.随着还田时间的增加,土壤紧实度逐渐增加,从而导致土壤容重逐渐增高,总孔隙度逐渐降低,直至接近对照水平.在 0—7 cm,各埋草沟与对照相比,土壤容重和总孔隙度差异不

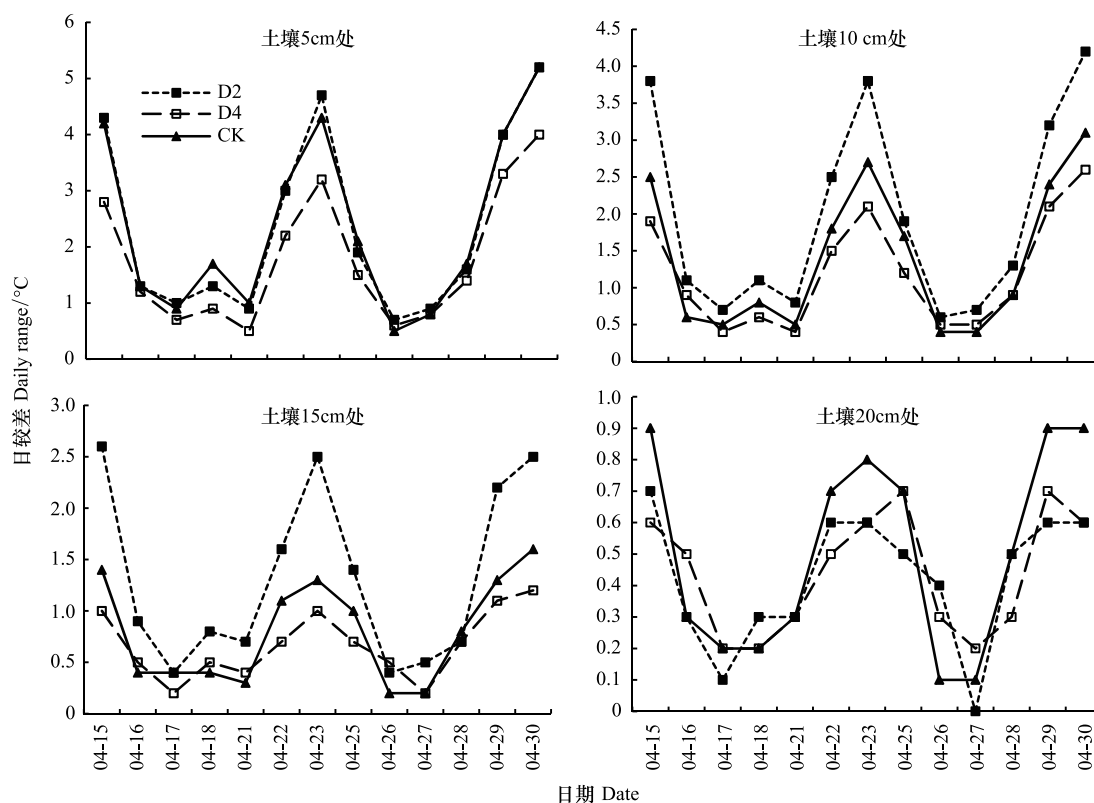


图9 不同处理土壤日均温变化特征

Fig. 9 Variation of soil daily temperature as affected by different treatment

显著,这可能是由于耕作措施对土壤表层扰动较大的原因,这与慕平^[16]等研究结果一致。综上表明秸秆沟埋还田在改善土壤环境条件方面确有积极的作用。

3.2 秸秆集中沟埋还田对土壤水势的影响

土壤水分含量是指土壤中水分数量的多少,通常用体积百分数、质量百分数等来表示。土壤水分含量虽然能够表示土壤中水分数量的多少,但并不能表示土壤中植物可利用的水分含量大小^[17]。土壤水势是表征土壤干旱程度以及土壤水分对植物有效性的重要指标,用水势描述土壤中水分对作物的有效性能避免土壤质地的影响,因而具有较好的代表性^[18]。本试验结果表明:在降雨时的短时间内,会有大量雨水进入埋草沟,这是由于沟埋还田 20 cm、沟埋还田 40 cm 处理土壤较为疏松,土壤导水率较好,有利于水分的入渗^[19],此时土壤水势急剧升高;在降水结束后,大量雨水由埋草沟进入大田的排水沟中,土壤水势快速下降。即表明秸秆沟埋还田具有较好的排水降渍效果。当降雨量较小时(10 mm),沟埋还田 40 cm 处理水势在降雨的短时间内上升速率高于沟埋还田 20 cm 和对照,说明沟埋还田 40 cm 处理在降雨量较小时,仍具备较好的排水降渍效果。这可能是由于沟埋还田 20 cm 处理 0—20 cm 土壤疏松,在 20 cm 以下则相对紧实,因此在越靠近 20 cm 处,土壤含水量越高,水势相对较高,这在一定程度上阻碍了上层土壤水分的下渗,使得水分入渗速率降低。沟埋还田 40 cm 处理由于埋草沟较深,降雨能够在短时间内进入埋草沟深层土壤中,因而在降雨量较小时,上层水分入渗速率仍较快,水势值变化较沟埋还田 20 cm 更快。在降雨停止后的较长时间内,沟埋还田 20 cm 处理土壤水势值先高于沟埋还田 40 cm,后低于沟埋还田 40 cm,这可能是由于降雨结束后的前一段时间内,沟埋还田 20 cm 处理埋草沟中积累的水分高于沟埋还田 40 cm 处理,因而水势值高于沟埋还田 40 cm 处理。后期埋草沟中剩余的水分由下部不断向上部蒸发散失,一方面由于沟埋还田 20 cm、沟埋还田 40 cm 埋深不同导致秸秆腐解速度不一,沟埋还田 40 cm 处理秸秆腐解速度相对较慢^[11],因而秸秆残留量多,其水分总含量高于沟埋还田 20 cm 处理^[20];另一方面,沟埋还田 20 cm 处理 20 cm 以下紧实,沟埋还田 40 cm 处理由于下层

(20—40 cm)土壤疏松,导致下层土壤水分向上层蒸发速率较快^[21],上层土壤中水分含量相对较高,因而沟埋还田 40 cm 处理上层土壤水势高于沟埋还田 20 cm 处理。综上结果表明,秸秆沟埋还田具有较好的排水降渍效果,在降雨量较小或降水结束后短期内沟埋还田 40 cm 处理排水降渍效果较好,而从长期效果来看,沟埋还田 20 cm 处理效果最好。

3.3 秸秆集中沟埋还田对土壤温度的影响

土壤温度是影响作物生长的重要生态因子,对作物根系水分、养分等吸收有重要影响^[22]。杨滨娟等研究表明,较对照相比,秸秆还田配施化肥后在 8:00 和 20:00 时提高了土壤温度,在 14:00 时降低了土壤温度,并且具有降低整日低温变化幅度的作用^[23]。Ramakrishna^[24]等研究表明,秸秆覆盖还田主要影响 10 cm 以内土温,而对深层土温的调控作用较小。本研究表明,在小麦拔节期,秸秆沟埋还田具有增大沟埋还田 20 cm 处理秸秆层以上 0—15 cm 土壤日较差的作用,这是由于秸秆层的存在,一方面吸收了较多的上层土壤热量,另一方面,秸秆下层土壤热量不能有效的传递到秸秆上层土壤中^[25]。秸秆沟埋还田 40 cm 时,秸秆上层 0—20 cm 土壤日较差反而较低,这可能是由于沟埋还田 40 cm,翻动土壤较深,使得 0—40 cm 土壤较为疏松,白天温度高时,进入土壤深层的热量较多,夜晚温度降低时,下层土壤热量可以较快的向上层传送,使得上层土壤温差变化较小。因而沟埋还田 40 cm 有降低表层土壤日较差的作用。秸秆沟埋还田还具有增加沟埋还田 20 cm 处理 0—15 cm 以及沟埋还田 40 cm 处理 0—20 cm 土壤日均温的作用,这与埋草沟具有较好的排水降渍效果及降低土壤容重,增加土壤孔隙度有较大关系。一方面,排水降渍较好,导致埋草沟中土壤含水量低,由于水的比热容较高,土壤含水量少,在吸收了同样的热量之后,土壤温度上升的越高;另一方面,土壤容重低,土壤孔隙度高,表明土壤通气性较好,有利于水分的蒸发,降低了土壤含水量,同样有利于土壤温度的增加。沟埋还田 20 cm 处理在 20 cm 处较为特殊,此处秸秆上层土壤较为疏松,下层土壤较为紧实,形成类似于排水沟的结构,因此此处秸秆和土壤湿度大。同时,秸秆的腐解也会产生一定的热量^[26],这些因素的综合作用一方面导致温度变化幅度较小,土壤日较差低于对照;另一方面,土壤日均温较小,其值与对照较为接近。秸秆沟埋还田增加了沟埋还田 20 cm 处理秸秆层以上土壤日较差,其对作物生长的影响仍有待进一步研究。

参考文献 (References):

- [1] 王宁堂,王军利,李建国.农作物秸秆综合利用现状、途径及对策. 陕西农业科学, 2007, (2): 112-115.
- [2] 路文涛, 秸秆还田对宁南旱作农田土壤理化性状及作物产量的影响[D]. 西安: 西北农林科技大学, 2011.
- [3] Hedge DM. Effect of soil matric potential method of irrigation and nitrogen fertilization on yield quality nutrient uptake and water use of radish (*Raphanus sativus* L.). Irrigation Science, 1987, 8(1): 13-22.
- [4] 谢文,郑元红,胡娟,陆笛,申玲. 毕节地区小麦秸秆覆盖还土试验研究. 贵州农业科学, 2002, 30(5): 17-20.
- [5] 刘春晓. 稻麦两熟制秸秆沟埋还田作用特点研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2010.
- [6] 徐海成,尹燕桦,蔡铁,倪英丽,杨卫兵,彭佃亮,杨东清,王振林. 冬小麦拔节期不同茎蘖对低温胁迫的反应及抗冻性评价. 应用生态学报, 2013, 24(8): 2197-2204.
- [7] 刘阳. 玉米秸秆还田对接茬冬小麦生长、衰老及土壤碳氮的影响. 西安: 西北农林科技大学, 2008.
- [8] 刘世平,陈文林,聂新涛,张洪程,戴其根,霍中洋,许轲. 麦稻两熟地区不同埋深对还田秸秆腐解进程的影响. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(6): 1049-1053.
- [9] 高文玲,卞新民,吴洁,郭伟,李胜,杜磊,石建福. 沟埋还田方式下不同埋草量对冬季稻 CO₂ 排放的影响. 农业系统科学与综合研究, 2011, 27(3): 295-300.
- [10] 查良玉,吴洁,仇忠启,段华平,曹伟召,杜磊,卞新民. 秸秆机械集中沟埋还田对农田净碳排放的影响. 水土保持学报, 2013, 27(3): 229-236.
- [11] 李新举,张志国,李贻学. 土壤深度对还田秸秆腐解速度的影响. 土壤学报, 2001, 38(1): 135-138.
- [12] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
- [13] 卫茂荣. 一次取样连续测定土壤物理性质的方法. 辽宁林业科技, 1990, (1): 56-57.
- [14] 江永红,宇振荣,马永良. 秸秆还田对农田生态系统及作物生长的影响. 土壤通报, 2001, 32(5): 209-213.
- [15] 朱琳,刘春晓,王小华,孙勤芳,卞新民. 水稻秸秆沟埋还田对麦田土壤环境的影响. 生态与农村环境学报, 2012, 28(4): 399-403.

- [16] 慕平, 张恩和, 王汉宁, 方永丰. 连续多年秸秆还田对玉米耕层土壤理化性状及微生物量的影响. 水土保持学报, 2011, 25(5): 81-85.
- [17] 周绍松, 李永梅, 郑毅, 周敏. 大麦/蚕豆间作对土壤水势的影响. 土壤通报, 2009, 40(3): 487-491.
- [18] 贺军奇. 土壤水势与桃树生命互作过程试验研究[D]. 西安: 西北农林科技大学, 2008.
- [19] 张亚丽, 李怀恩, 张兴昌. 土壤质地对坡地土壤水分运动与转化特征的影响研究. 灌溉排水学报, 2008, 27(6): 27-30.
- [20] 马永良, 师宏奎, 张书奎, 吕润海. 玉米秸秆整株全量还田土壤理化性状的变化及其对后茬小麦生长的影响. 中国农业大学学报, 2003, 8(增刊): 42-46.
- [21] 崔向新, 蒙仲举, 高永, 王剑然, 刘志国, 秦清船. 不同粒径砾石覆盖对土壤水分蒸发的影响. 中国农村水利水电, 2009, (3): 21-23.
- [22] 易建华, 贾志红, 孙在军. 不同根系土壤温度对烤烟生理生态的影响. 中国生态农业学报, 2008, 16(1): 62-66.
- [23] 杨滨娟, 黄国勤, 钱海燕. 秸秆还田配施化肥对土壤温度、根际微生物及酶活性的影响. 土壤学报, 2014, 51(1): 150-157.
- [24] Ramakrishna A, Tam HM, Wani S P, Long T D. Effect of mulch on soil temperature, moisture, weed, infestation and yield of groundnut in northern Vietnam. Field Crops Research, 2006, 95(2/3): 115-125.
- [25] 陈素英, 张喜英, 裴冬, 孙宏勇. 秸秆覆盖对夏玉米田棵间蒸发和土壤温度的影响. 灌溉排水学报, 2004, 23(4): 32-36.
- [26] 强学彩. 秸秆还田量的农田生态效应研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2003.