

深松耕作和秸秆还田对农田土壤物理特性的影响

张丽¹, 张中东², 郭正宇², 宫帅², 王若男¹, 陶洪斌¹, 王璞¹

(1. 中国农业大学 农学与生物技术学院, 北京 100093; 2. 山西农业科学院 玉米研究所, 山西 忻州 034000)

摘要: [目的] 为了增加中国干旱半干旱地区农田土壤蓄水保墒能力。[方法] 采用野外试验和室内分析相结合的方法研究了深松和深松结合秸秆还田耕作技术对晋中北部地区两种主要类型土壤物理特性的影响。[结果] 深松可以打破土壤犁底层, 显著降低黏土和壤土 10—30 cm 土层范围内的土壤容重; 调节土壤孔隙度, 增加了黏土 10—30 cm 土层范围内的土壤总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度, 同时增加壤土 10—30 cm 土层土壤总孔隙度、毛管孔隙度和 20—30 cm 土层土壤非毛管孔隙度; 改善黏土和壤土 20—30 cm 土层土壤固、液、气 3 相状况; 深松结合连年秸秆还田进一步优化了壤土耕层环境, 同时显著降低了玉米拔节期土壤地表结皮的厚度和紧实度。[结论] 深松结合连年秸秆还田和深松耕作技术可以缓解土壤板结状况, 增加降雨入渗。

关键词: 玉米; 深松; 秸秆还田; 土壤物理性状

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)01-0102-05

中图分类号: S153

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.01.019

Effects of Subsoiling Tillage and Straw Returning to Field on Soil Physical Properties

ZHANG Li¹, ZHANG Zhongdong², GUO Zhengyu²,

GONG Shuai², WANG Ruonan¹, TAO Hongbin¹, WANG Pu¹

(1. College of Agriculture and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Institute of Maize, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Xinzhou, Shanxi 034000, China)

Abstract: [Objective] In order to increase soil moisture conservation in arid and semi-arid areas of China. [Methods] Field experiment combined with indoor analysis was conducted in fluvo-aquic soil (clay) and cinnamon soil (loam) in North Central Shanxi Province. [Results] Subsoiling tillage broke the plow layer, significantly reduced soil bulk density at 10—30 cm soil layer and regulated soil porosity, including increasing soil total porosity, capillary porosity and non-capillary porosity at 10—30 cm soil layers on clay soil. Moreover, soil total porosity and capillary porosity at 10—30 cm soil layer, non-capillary porosity at 20—30 cm soil layer on loam soil were increased. Subsoiling tillage improved soil solid, liquid and gas phase conditions at 20—30 cm soil layer both on clay and loam. Subsoiling tillage with straw incorporated further optimized the farming environment, significantly reduced crust thickness and compaction of surface soil on the jointing stage of maize. [Conclusion] Subsoiling tillage with straw incorporated and subsoiling tillage can alleviate soil hardening conditions of the farming ground and increased rainfall infiltration.

Keywords: maize (*Zea mays* L.); subsoiling tillage; returning straw to field; soil physical properties

在目前的耕作方式下, 耕层变浅, 土壤容重增加, 犁底层加厚是造成作物产量不高、不稳的重要因素^[1]。犁地层的存在阻隔了降水的渗入, 使土壤蓄水保墒能力减弱, 易形成地表积水或径流, 造成大量水土流失, 也阻隔了地下水上升, 使作物根系集中分布在浅层, 导致根系吸水吸肥能力变差^[2]。另一方面, 随着农田化肥投入量的增加, 其负面影响也逐渐凸现出来: 土壤理化性质恶化, 土壤供肥能力和保水性能

差^[3], 这在很大程度上限制了降水生产潜力的发挥和农业生产的可持续发展。作为保护性耕作技术的深松作业和秸秆还田技术被很多学者认为是农田蓄水保墒的有效措施^[4-8]。但针对晋中北部旱作条件下, 深松和深松结合秸秆还田对土壤蓄水能力影响的研究鲜见报道。本文通过对不同耕作方式的研究, 探讨适合晋中北部地区的耕作方法, 为改善耕层结构, 改良土壤理化性质和提高农田蓄水保墒能力提供理论依据。

收稿日期: 2014-02-24

修回日期: 2014-03-14

资助项目: 国家“十二五”公益性行业(农业)科技项目“主要农作物抗御季节性干旱技术与示范”(201203031)

第一作者: 张丽(1981—), 女(满族), 内蒙古自治区赤峰市人, 博士研究生, 研究方向为作物抗逆栽培。E-mail: zhangli920@163.com。

通信作者: 王璞(1957—), 男(汉族), 山西省朔州市人, 博士, 教授, 主要从事作物超高产、高光效、抗逆生理等方面研究。E-mail: wangpu@163.net。

1 材料和方法

1.1 试验设计

试验于 2013 年在山西省忻州市忻府区小檀村(北纬 38°27', 东经 112°43')和新路村(北纬 38°25', 东经 112°40')进行。该地海拔 858.3 m, 年均降雨量 431.7 mm, 冬春干旱, 降雨一般集中在 6—9 月, 四季多风, 春季风大; 年均温度 9.07 °C, ≥ 0 °C 积温 3 905.2 °C, ≥ 10 °C 积温 3 522.5 °C, 全年无霜期 176 d。小檀村土壤类型为潮土, 质地为黏性; 新路村土壤类型为褐土, 质地为壤性。两地试验田均近 20 a 没有进行深翻或深松作业。

试验设置 5 个处理, 黏土: 春季深松(S₁)和春季旋耕(CK₁); 壤土: 秋季深松结合秸秆粉碎还田(SS), 秋季深松(S₂)和春季旋耕(CK₂)。两地的深松方式均采用条带深松, 间距 50 cm, 深松深度 30 cm, 深松后随即进行镇压。旋耕深度为 12 cm。秸秆还田方式采用秸秆粉碎机将秸秆粉碎全部还田, 长度小于 10 cm; 深松处理和对照地的秸秆于春季移至地外。小区面积为 4 m×6 m=24 m², 每处理 3 次重复, 采用随机区组排列。播种前基施复合肥(氮磷钾成分 12~18~15), 其中 N 90 kg/hm², P₂O₅ 135 kg/hm², K₂O 112 kg/hm²; 玉米大喇叭口期追施纯 N 140 kg/hm²。供试玉米品种为先玉 335, 播种密度 5.7 万株/hm², 行距 50 cm。2013 年 4 月 28 日播种, 9 月 29 日收获。全年旱作不灌溉。其他耕作栽培措施均同大田生产。

1.2 测定方法

土壤物理指标测定: 土壤容重和孔隙度的测定采用环刀法^[9], 环刀直径为 100 cm³。每个处理取 5 层, 10 cm 取一层, 每层均取 3 点于播前进行测定。土壤紧实度采用杭州托普仪器有限公司生产的数字式土壤紧实度仪测定^[10], 测定深度为 40 cm, 每

2.5 cm 记录 1 次, 8 次重复。土壤结皮厚度采用游标卡尺^[11], 于玉米拔节期进行测定。土壤三相比通过播前土壤含水量、容重、总孔隙度计算得出^[12]。

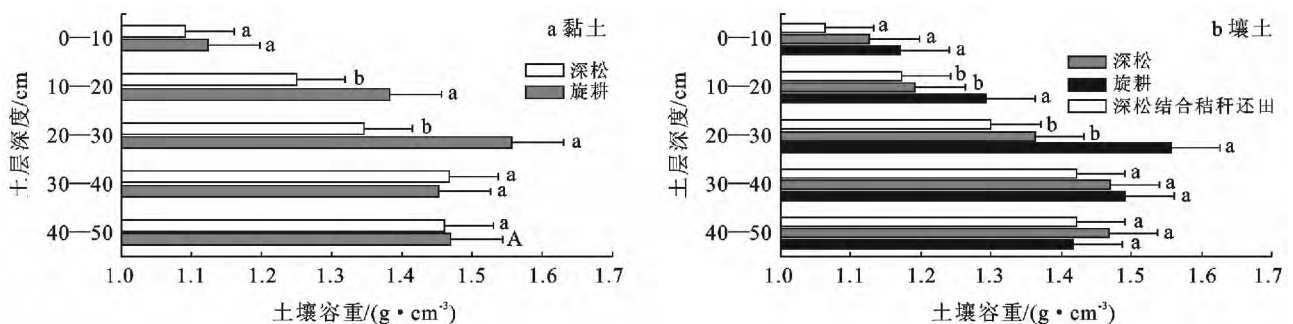
1.3 数据处理

采用 Microsoft Excel 2010 和 SPASS 19 统计软件进行数据处理和分析, 并采用 Duncan 新复极差法进行多重比较; Sigmaplot 10.0 制图。

2 结果与分析

2.1 土壤容重

图 1a 表明: 深松处理后 0—40 cm 土层范围内, 黏土的土壤容重随土壤深度的增加而增大, 40—50 cm 土层深处变化不大; 而未经深松过的土壤在 30 cm 土层土壤容重达最大值, 之后有所降低。深松处理和对照在 10—30 cm 土层土壤容重间的差异达最大, 未深松处理在 10—20 和 20—30 cm 土层土壤容重分别达到了 1.38 和 1.56 g/cm³, 深松后分别为 1.25 和 1.35 g/cm³, 依次较对照降低了 9.42% 和 13.46% ($p < 0.05$)。图 1b 表明, 壤土深松结合秸秆还田处理和对照及深松处理和对照土壤容重与图 1 黏土表现趋势一致, 而深松结合秸秆还田处理在 0—50 cm 土层范围内各层土壤容重又低于深松处理, 但无显著差异。在 10—20 和 20—30 cm 土层, 未深松处理的土壤容重分别达到了 1.29 和 1.56 g/cm³, 深松结合秸秆还田处理和深松处理分别为 1.17, 1.30, 1.19 和 1.36 g/cm³, 较对照依次降低了 9.33%, 16.42%, 7.90% 和 12.38% ($p < 0.05$)。可见, 无论黏土还是壤土, 特别是在 20—30 cm 土层深处的土壤容重较高, 土壤较为坚实, 远远超出适宜容重 1.1~1.3 g/cm³ 的指标^[1], 深松打破了犁地层, 明显降低了 10—30 cm 土层的土壤容重, 为作物生长和根系发育创造了一个良好的土壤环境, 深松结合秸秆还田的耕作方式更进一步优化了耕层土壤环境。

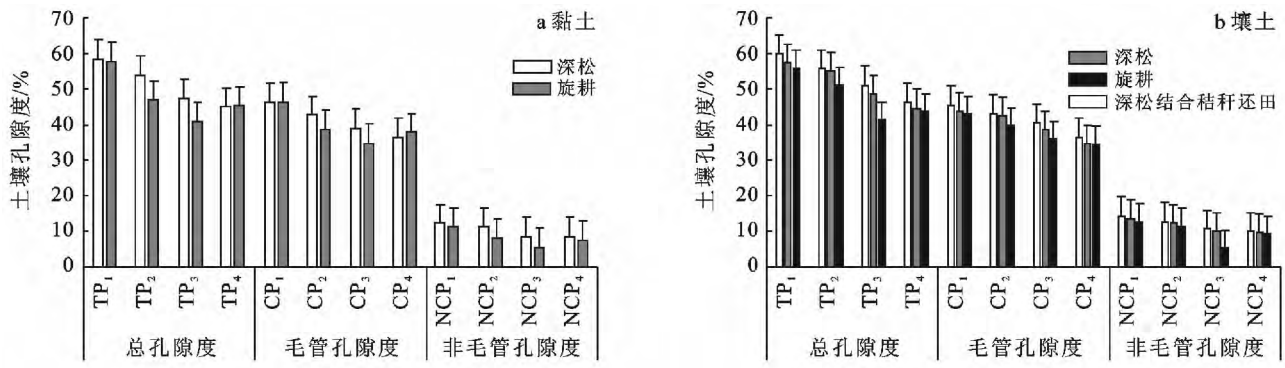


注: 同一行不同小写字母表示不同处理间土壤容重差异显著 ($p < 0.05$)。

图 1 深松结合秸秆还田及深松 0—50 cm 土层播前土壤容重垂直分布

通过图 2a 可知,黏性土壤深松后 10—30 cm 土层范围内,土壤总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度变化幅度相对较大,在 10—20 cm 土层内,深松处理土壤总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度分别达到了 53.91%,42.62%和 11.29%,较未深松处理依次升高了 15.01%,10.37%和 36.76% ($p < 0.05$);20—30 cm 土层内,深松处理土壤总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度分别达到了 47.42%,38.93%和 8.48%,较未深松处理依次增加了 15.93%,12.08%和 50.87% ($p < 0.05$)。0—10 和 30—40 cm 土层变化不大。通过图 2b 可知,壤土深松结合秸秆还田处理和深松处理后土壤 0—40 cm 土层范围内,土壤总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度均不同程度的增

加,其中土壤总孔隙度在 10—20 和 20—30 cm 土层均分别达到了 55.70%,54.99%和 50.95%,48.58%,与对照相比分别增加了 8.92%,7.55%和 23.31%,17.58% ($p < 0.05$);土壤毛管孔隙度在 10—20 和 20—30 cm 土层分别达到了 42.95%,42.54%和 40.38%,38.62%,与对照相比分别增加了 7.99%,6.95%和 12.64%,7.75% ($p < 0.05$);土壤非毛管孔隙度在 20—30 cm 土层分别达到了 10.58%和 9.96%,与对照相比分别增加了 93.27%和 82.08% ($p < 0.01$);土壤总孔隙度和土壤毛管孔隙度和在 0—10 和 30—40 cm 土层及土壤非毛管孔隙度在 0—20 和 30—40 cm 土层及虽然亦有所增加,但与对照相比差异均不明显。



注: TP₁—TP₄: 0—40 cm 土壤总孔隙度; CP₁—CP₄: 0—40 cm 土壤毛管孔隙度; NCP₁—NCP₄: 0—40 cm 土壤非毛管孔隙度。

图 2 深松结合秸秆还田和深松对土壤 0—40 cm 土层土壤孔隙度的影响

由此可见,深松主要增加了黏土 10—30 cm 土层范围内的土壤总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度;增加了壤土 10—30 cm 土层范围内土壤总孔隙度和毛管孔隙度以及 20—30 cm 土层土壤非毛管孔隙度,其中,无论黏土还是壤土,均以大幅度提高土壤非毛管孔隙度最为明显。因此,深松对土壤孔隙结构的影响主要以增加土壤非毛细管比例为主。土壤非毛细管的增加,一方面加强了土壤的渗水能力,减少了地表径流,削弱了水土流失的潜在威胁,另一方面也减少了因毛细管作用引起的土壤深层水分蒸发,既改善了土壤气体交换条件,又达到了蓄水保墒的效果。

2.2 土壤三相比

旱作农业理想的土壤三相比是固相 50%,液相和气相各占 25%^[13],调节合理三相比进而为作物生长提供良好的水、热、气、肥条件也是耕作和培肥的最终目的。以往通常用土壤容重、孔隙度、硬度、湿度、机械组成等单相、双相指标来描述土壤的结构性能,没有将土壤三相作为一个有机整体来考虑,不能够充分理解广义的土壤结构与功能。本文将土壤三相比作为一个整体置于二维三系图 3 中分析,可直观看出

深松作业下农田土壤三相的变化情况。

由图 3 可以看出,深松作业对 20—30 cm 土层土壤三相的影响比较明显 ($p < 0.05$),深松处理后,黏土和壤土土壤三相比均迅速向理想三相比逼近,效果较为明显。与对照相比,黏土总体趋势表现为:固相、液相比例降低,气相比例大幅增加;其中,固相比例从 59.11%降低至 52.59%,液相比例从 31.23%降低至 23.60%,气相比例相应升高,由 9.66%升高至 23.81%,主要表现为气相的增长。壤土与对照相比,深松结合秸秆还田和深松处理 20—30 cm 土层土壤三相比总体趋势表现为:固相比例降低,气相比例增加,液相比例变化不大,主要表现为固、气相比例的消长;其中,深松结合秸秆还田处理和深松处理固相比例从 57.48%分别降低至 49.05%和 51.42%,气相比例由 18.97%依次升高至 28.04%和 26.89%,由此看出,深松作业本身对农田土壤 20—30 cm 土层起到了疏松改良的作用,气相比例的大幅增加有效的改善了土壤 20—30 cm 土层的通气状况,调节了土壤三相比的关系,改善了土壤水、肥、气、热状况,为作物的生长发育创造了一个良好的土壤环境。

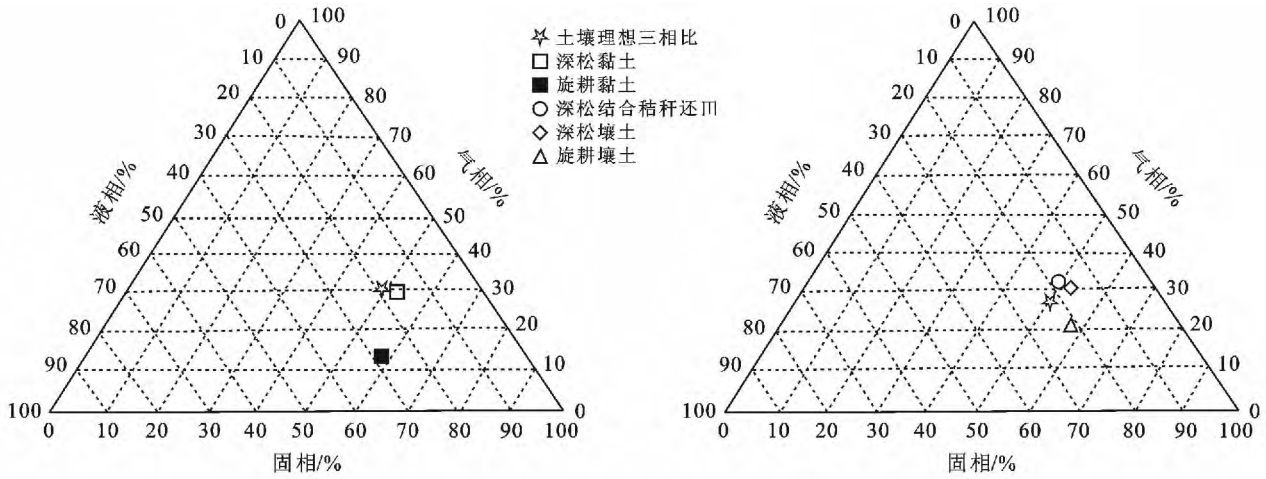
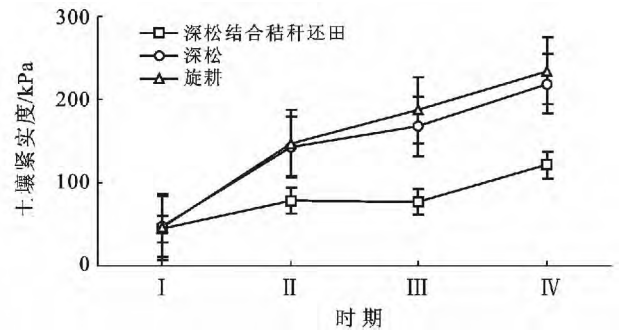
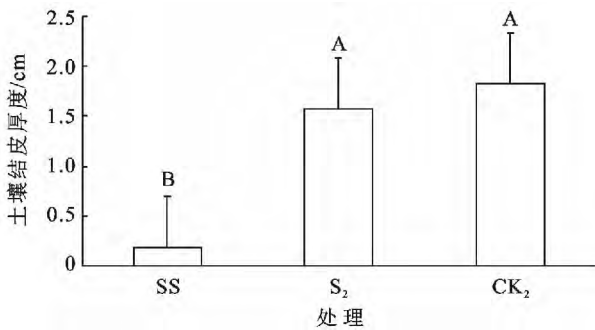


图 3 深松结合秸秆还田和深松土壤 20—30 cm 土层范围内土壤三相比的变化

2.3 表层土壤厚度和紧实度

土壤板结在表层形成薄厚及其形状各异的结皮,结皮的紧实度对土壤性质产生着不同程度的影响。图 4a 表明,玉米拔节期,深松结合秸秆还田处理的土

壤表层结皮厚度相对较薄,仅为 0.18 cm,而深松处理和对照的相对较厚,分别达到了 1.57 和 1.83 cm,与前者相比差异均达显著水平 ($p < 0.01$),深松处理和对照差异不明显。



注: I. 播前; II. 拔节期; III. 吐丝期; IV. 灌浆期。不同大写字母表示不同处理间土壤结皮厚度差异极显著 ($p < 0.01$)。

图 4 深松结合秸秆还田和深松对表层土壤(0—2.5 cm)结皮厚度和紧实度的影响

图 4b 表明, (1) 在玉米播种期,由于田间耕作措施的影响,3 个处理地表土壤紧实度相差不大;随着生育进程的推进,表层土壤紧实度逐渐升高,播种至拔节期深松处理和对照升高的幅度较大,而深松结合秸秆还田处理升高的幅度相对较小。特别是在玉米拔节期,深松结合秸秆还田处理和对照处理的土壤紧实度分别达到了 78.73 和 147.21 kPa,较播前分别增加 177.16%和 315.81% ($p < 0.01$)。随着气温逐渐升高,深松处理及对照由于地表土壤裸露较多,播种至玉米拔节期降雨时,雨滴直接拍打地表较多,雨后太阳暴晒,这可能是造成地表土壤紧实度在玉米拔节期迅速升高的原因。地表土壤紧实度高,土壤板结严重,地表径流加大,土壤纳雨保墒能力降低。而拔节期正是玉米需水的关键期,此期间缺水对玉米生长将产生非常不利的影 响,既影响玉米的长势也影响雌雄穗的分化,对玉米产量潜力的发挥造成一定的影响。

拔节到吐丝期,各处理表层紧实度升高的幅度较播种至拔节期略显下降,这可能由于此阶段茂盛的植株枝叶减缓了雨水对地表的冲溅,同时枝叶的遮蔽也减少了阳光对雨后地表的暴晒。(2) 在玉米各生育时期,深松结合秸秆还田处理表层土壤的紧实度均低于深松处理和对照,而深松处理又低于对照。在玉米拔节期,深松结合秸秆还田处理表层土壤紧实度分别较深松处理和对照降低了 45.03%和 46.52% ($p < 0.01$),抽雄吐丝期和灌浆期分别降低了 54.24%,59.09%和 44.59%,44.18% ($p < 0.01$)。深松处理和对照土壤表层紧实度在各个生育期相差不大,说明了连年的秸秆粉碎还田对于土壤表层结构的保护和改善发挥了主要作用。土壤的管理措施不同,其所形成的结皮的厚度均不相同。由此可以看出,秸秆还田对于表层土壤结构影响很大,对于没有植被保护的土壤,耕作少的土壤在降水以后,形成的结皮较厚且较为密实,

土壤紧实度相对较高;在有植被保护时土壤结皮的结皮较为均一,结皮比较松脆,土壤紧实度相对较低。说明耕作和地面覆盖情况对于土壤表层结构的保护和改善具有极为重要的作用

3 讨论与结论

(1) 容重是土壤的重要物理性质,它影响到土壤的孔隙度与孔隙大小分布以及土壤的穿透阻力。随土壤容重的增加,土壤团粒结构丧失、土壤孔隙减小、土壤变得紧密坚实,导致土壤渗透性能降低^[14]。本研究中深松与深松结合秸秆还田处理,显著降低了土壤 10—30 cm 土层范围内的土壤容重,有利于作物根系的下扎和对土壤深层水分的利用,提高了作物抵御干旱、半干旱区时常发生的季节性干旱的能力。这与齐华等^[15]的研究结果一致。

(2) 土壤的孔隙状况是土壤结构的重要指标,其大小、数量及分配可以反映土壤结构的好坏。影响孔隙性的主要因素有土壤质地、土壤容重、人为干扰的强度等。土壤孔隙的组成直接影响土壤通气透水性和根系穿插的难易程度,并且对土壤中水、肥、气、热和微生物活性等发挥着不同的调节功能。本研究中,深松明显提高了土壤非毛细管的比例,一方面加强了土壤的渗水能力,减少了地表径流,削弱了水土流失的潜在威胁,另一方面也减少了因毛细管作用引起的土壤深层水分蒸发,既改善了土壤气体交换条件,又达到了蓄水保墒的效果。

(3) 土壤三相比影响土壤的通气、透水、供水、保水等物理性质,亦影响土壤的 pH 值、阳离子交换量、盐基饱和度等化学性质,故为评价土壤水、肥、气、热相互关系的重要参数^[16]。深松作业对土壤三相的影响比较明显,深松和深松结合秸秆还田处理下 20—30 cm 土层土壤三相比均非常接近理想三相比。深松打破了犁地层,改善了土壤的水、肥、气、热状况,为作物的生长发育创造了一个良好的土壤环境。

(4) 由于多年来中国重用地轻养地的掠夺式生产方式,表层土壤结构遭到了破坏,土壤板结现象普遍且较为严重。Singer 等^[17]认为土壤结皮是在雨滴冲溅和土壤黏粒分散作用下,土表孔隙度被堵塞后形成或挟沙水流流经地表时细小颗粒沉淀而形成的一层很薄的土表硬壳。土壤表层由于地表结皮,减少了降雨入渗和地表糙度,增加了地表径流^[18],显著增加表土的抗溅蚀能力^[19]。本试验中,深松结合秸秆还田明显的降低了农田表层土壤的紧实度和玉米拔节期土壤表层结皮厚度,缓解了土壤板结状况,提高了农田土壤的纳雨保墒能力。深松和深松结合秸秆还

田对土壤容重、土壤孔隙度、土壤紧实度、土壤三相及土表结皮厚度有一定的影响,同时,对土壤有机质、pH 值以及氮、磷、钾等养分元素也会发生很大的变化^[20-22]。分析深松结合连续多年作物秸秆还田后土壤养分的变化,有利于人工指导农田的输出与补给,有的放矢地合理利用土壤资源。在中国秸秆春季露天焚烧现象较为普遍,屡屡造成重大火灾,同时也降低了土壤水分和养分^[23],因此需要尽快提升作物秸秆利用技术。农业循环经济既是一种新的经济发展概念,也是现代农业一个新的增长点。在发展循环经济的过程中,农作物秸秆已经成为不可或缺的重要资源。因此在以后的试验中将要进一步研究深松结合连续多年作物秸秆还田对土壤化学性质的影响,从而全面了解深松结合连续多年作物秸秆还田后土壤性质的变化。

[参 考 文 献]

- [1] 张世煌,李少昆.国内外玉米产业技术发展报告(2009)[M].北京:中国农业科学技术出版社,2010:106-107.
- [2] 舒馨,朱安宁,张佳宝,等.保护性耕作对潮土物理性质的影响[J].中国农学通报,2014,30(6):175-181.
- [3] 王晓娟.旱地有机培肥对土壤质量的影响及玉米生长的响应[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2012.
- [4] Pagliai M, Vignozzi N, Pellegrini S. Soil structure and the effect of management practices [J]. Soil and Tillage Research, 2004,79(2):131-143.
- [5] 丁昆仑.耕作措施对土壤特性及作物产量的影响[J].农业工程学报,2000,16(3):28-28.
- [6] 宋日,吴春胜,牟金明,等.深松对玉米根系生长发育的影响[J].吉林农业大学学报,2000,22(4):73-75.
- [7] 王振忠,吴敬民,陈留根,等.稻麦两熟地区秸秆全量直接还田施肥技术的增产培肥效果[J].江苏农业学报,2003,19(3):151-156.
- [8] 蔡典雄,王小彬,张志田,等.寿阳旱农区保护耕作体系研究[J].干旱地区农业研究,1998,16(3):41-46.
- [9] 陈立新.土壤试验实习教程[M].哈尔滨:东北林业大学出版社,2005:51-55.
- [10] 张兴义,隋跃宇,孟凯.农田黑土机械压实及其对作物产量的影响[J].农机化研究,2002(4):64-67.
- [11] 王翠萍,廖超英,孙长忠,等.黄土地表生物结皮对土壤贮水性能及水分入渗特征的影响[J].干旱地区农业研究,2009,27(4):54-64.
- [12] 沈其荣,谭金芳,钱晓青.土壤肥科学通论[M].北京:高等教育出版社,2001:7-8.
- [13] Lal R, Shukla M K. Principles of Soil Physics[M]. New York: Marcel Dekker, Inc, 2004:15-19.
- [14] 罗珠珠,黄高宝,张国盛.保护性耕作对黄土高原旱地表土容重和水分入渗的影响[J].干旱地区农业研究,2005,23(4):7-11.

(下转第 117 页)

- [2] 戴亚南,张鹰.江苏沿海地区海洋灾害类型及其防治探讨[J].生态环境,2006,15(6):1417-1420.
- [3] 赵育鹏,鲁小珍,艾鹏,等.江苏省沿海沙质海岸现状及防护林蚀耐盐树种选择基本原则[J].安徽农业科学,2013,41(10):4433-4435.
- [4] 万福绪,韩玉洁.苏北沿海防护林优化模式研究[J].北京林业大学学报,2004,26(2):31-36.
- [5] 汪灵丹,张日清.榉树的研究进展[J].广西林业科学,2006,34(4):188-191.
- [6] 陈益泰,陈雨春,黄一青,等.抗风耐盐常绿树种弗吉尼亚栎引种初步研究[J].林业科学研究,2007,20(4):542-546.
- [7] 王树凤,陈益泰,孙海菁,等.盐胁迫下弗吉尼亚栎生长和生理生化变化[J].生态环境,2008,17(2):747-750.
- [8] 孙金环.金叶女贞扦插生根试验研究[J].河北林业科技,2005,2(1):9-10.
- [9] 蔡平,毛建萍,陆小燕,等.金叶女贞假尾孢病害的生物学特性和杀菌剂筛选[J].江苏林业科技,2005,32(2):5-7.
- [10] 樊后保,臧润国.女贞种子和幼苗对模拟酸雨的反应[J].林业科学,2000,36(6):90-94.
- [11] 高俊凤.植物生理学实验技术[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [12] Fischer R A, Turner N C. Plant productivity in the arid and semiarid zones[J]. Annual Review of Plant Physiology, 1978,29(1):277-317.
- [13] Mukherjee S P, Choudhuri M A. Implication of hydrogen peroxide-ascorbate system on membrane permeability of water stressed Vigna seedlings[J]. New Phytologist, 1985,99(3):355-360.
- [14] 房全孝,陈雨海,李全起,等.灌溉对冬小麦水分利用效率的影响研究[J].农业工程学报,2004,20(4):34-39.
- [15] 狄晓艳,朱小琪,马建平,等.土壤水分胁迫对 5 个种源油松光合特性的影响[J].植物研究,2009(5):539-543.
- [16] 刘淑明,陈海滨,孙长忠,等.黄土高原主要造林树种的抗旱性研究[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2003,31(4):149-153.
- [17] 史小玲,薛立,任向荣,等.华南地区 4 种阔叶幼苗水分胁迫条件下的抗旱性初探[J].林业科学研究,2012,24(6):760-767.
- [18] 王瑞霞,王素琴,李少宏,等.不同扦插处理对爬地柏成活率的影响[J].现代农业科技,2009(19):220-220.
- [19] 景茂,曹福亮,汪贵斌,等.土壤水分含量对银杏光合特性的影响[J].南京林业大学学报:自然科学版,2005,29(4):83-86.

(上接第 106 页)

- [15] 齐华,刘明,张卫健,等.深松方式对土壤物理性状和玉米根系分布的影响[J].华北农学报,2012,27(4):191-196.
- [16] 田大伦,陈书军.樟树人工林土壤水文—物理性质特征分析[J].中南林学院学报,2005,25(2):1-6.
- [17] Singer M J. Physical properties of arid region soils [M]. Skujins J(ed). Semiarid and deserts; soil resource and reclamation New York; Marcel Dekker, 1991:81-109.
- [18] 王国梁,刘国彬,周生路.黄土丘陵沟壑区小流域植被恢复对土壤稳定入渗的影响[J].自然资源学报,2003,18(5):529-535.
- [19] 龙怀玉,蒋以超,李韵珠.褐土与潮土吸附动力学研究[J].土壤学报,2000,37(4):563-568.
- [20] 王喜艳,张亚文,冯燕,等.玉米秸秆深层还田技术对土壤肥力和玉米产量的影响研究[J].干旱地区农业研究,2013,31(6):103-107.
- [21] 朱利群,张大伟,卞新民.连续秸秆还田与耕作方式轮换对稻麦轮作田土壤理化性状变化及水稻产量构成的影响[J].土壤通报,2011,42(1):81-85.
- [22] 杨帆,李荣,崔勇,等.我国南方秸秆还田的培肥增产效应[J].中国土壤与肥料,2011(1):10-14.
- [23] 董水丽,王海仓.焚烧秸秆对土壤养分及水分的影响[J].陕西农业科学,2011,57(3):90-92.

(上接第 110 页)

- [12] 肖德全,孙继文,邵振海.玉米施硅钙肥效果分析[J].植保技术,2005(6):8-9.
- [13] 贺立源,江世文.小麦施用硅钙肥效应的研究[J].土壤肥料,1999(3):8-11.
- [14] 安钰,李明,张清云,等.外援钙对甘草种子萌发及幼苗生长的影响研究[J].宁夏农林科技,2011,52(9):89-90,94.
- [15] 张清云,李强,蒋齐,等.氮磷钾互作效应对甘草产量影响的研究[J].土壤通报,2009,40(5):1119-1122.
- [16] 王巧娥,沈金灿,于文佳,等.甘草中甘草酸的微波萃取[J].中草药,2003,34(5):407-409.
- [17] 李炳奇,汪河滨,李学禹,等.超声法联合提取甘草黄酮和甘草酸的研究[J].山东中医杂志,2005,24(1):38-40.
- [18] 国家药典委员会.中华人民共和国药典[S].北京:化学工业出版社,2001:65-66.