

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.10.007

手扶拖拉机专用深松机果园试验*

高茂盛¹ 薛少平² 廖允成³ 刘根全⁴

(1. 西北农林科技大学林学院, 陕西杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学机械与电子工程学院, 陕西杨凌 712100;
3. 西北农林科技大学农学院, 陕西杨凌 712100; 4. 延安市洛川农业科学研究所, 洛川 727400)

【摘要】 设计了手扶拖拉机配套的专用深松机,并在苹果园进行了田间对比试验。试验结果表明,深松作业降低了苹果园土壤容重,改善了土壤孔隙状况,土壤贮水库容增加,深松两年后果园土壤0~1 m土层内贮水量较耕翻处理高24.8 mm。深松第3年土壤有机质、全氮含量分别较翻耕及旋耕高0.70 g/kg、0.18 mg/kg及0.43 g/kg、0.16 mg/kg。手扶拖拉机专用深松机作为一种果园土壤耕作机械在渭北地区有较好的推广前景。

关键词: 深松机 手扶拖拉机 设计 试验

中图分类号: S222.12⁺⁹ 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2010)10-0035-05

Experiment of Subsoiling Technique in Apple Orchard

Gao Maosheng¹ Xue Shaoping² Liao Yuncheng³ Liu Genquan⁴

(1. College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

2. College of Mechanical and Electric Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

3. College of Agronomy, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

4. Luochuan Agriculture Science Institute, Luochuan 727400, China)

Abstract

The subsoiler drawn by walking tractor was designed, and the orchard contrast experiment was carried out. The result showed that the soil bulk density was decreased; the soil porosity condition was improved; the water content in soil was enhanced within 1m layer; the soil organic matter and soil total nitrogen also enhanced after subsoiled. The subsoiler special for walking tractor as a new type of orchard soil management measures in Weibei area will has good prospects for promotion.

Key words Subsoiler, Walking tractor, Design, Experiment

引言

以渭北为代表的黄土高原苹果业已成为促进区域经济发展、解决“三农”问题,改善生态环境的支柱产业^[1]。但长期实施以翻耕和旋耕为主的土壤管理方式,土壤耕作层以下形成犁底层,并呈现加厚趋势,降雨不能较快入渗于土壤,形成地表径流,加之地表无覆盖,加大降雨的非目标性输出,土壤保水能力开始下降,苹果产量和品质受控于年度和季

节降雨^[2-3]。因此,在果园中实施节水型耕作技术对缓解渭北旱作苹果园土壤深层干燥化,实现水资源高效持续利用具有重要意义。

保护性耕作技术是相对于传统翻耕、裸露休闲的一种新型耕作技术,它通过少耕、免耕和地表生物覆盖,以增加土壤水分,减轻土壤风蚀和水蚀,减缓土地退化,从而能有效抑制沙尘暴,促进农业可持续发展^[4]。但多年实施保护性耕作后出现土壤变硬,容积密度增大,作物根系发育受阻,作物产量下降的

收稿日期: 2009-10-09 修回日期: 2010-01-05

* 国家自然科学基金资助项目(30871492)、教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-07-0700)和“十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAD15B06)

作者简介: 高茂盛, 博士生, 主要从事保护性耕作技术及机理研究, E-mail: hsgms@163.com

通讯作者: 廖允成, 教授, 博士生导师, 主要从事农业资源利用及农业生态教学与研究, E-mail: yunchengliao@163.com

现象^[5]。深松作为保护性耕作关键技术之一,它利用深松铲疏松土壤,加深耕层而不翻转土壤,其改善土壤结构、提高土壤肥力及蓄水保墒能力在农田已得到较好的验证^[6~11]。受果园树体的限制,较大型耕作机械无法进入,目前果园土壤耕作机械均为手扶拖拉机,加之目前关于深松机的设计主要针对大、中型拖拉机^[12~14],较小的深松机也只能悬挂在小型四轮拖拉机后边配套使用。适合果园土壤深松的相关研究未见报道,因此研发一种结构简单、操作方便,便于推广应用的手扶拖拉机专用深松机并探明其应用效果是当前渭北旱作苹果园土壤管理模式研究亟待解决的问题。

1 专用深松机结构与工作原理

手扶拖拉机专用深松机主要由机架、深松铲、调节轮、调节板、轮轴、上安装销及下连接板组成,如图1所示。深松铲安装在机架的前端,限位轮销轴通过机架的两端连接轮轴连接板。轮轴的两端分别安装调节轮,调节手柄穿过机架及连接轴与调节板连接。上安装销的一端与连接轴连接,另一端与手扶拖拉机的牵引装置连接。下连接板的一端与机架前端的连接板销轴连接,另一端与手扶拖拉机的底盘连接。

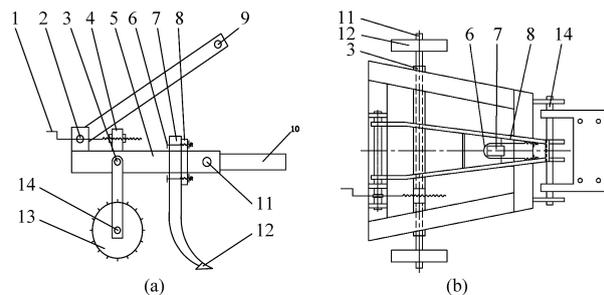


图1 手扶拖拉机专用深松机结构简图

Fig. 1 Structure of walking tractor's subsoiler

(a) 主视图 (b) 俯视图

1. 调节手柄 2. 连接轴 3. 限位轮销轴 4. 调节板 5. 机架
6. U形螺栓 7. 铲柄 8. 连接板 9. 上安装销 10. 下连接板
11. 连接板销轴 12. 铲尖 13. 调节轮 14. 轮轴

将连接轴与手扶拖拉机的牵引装置连接,下连接板与手扶拖拉机的底盘连接,作业时将挂钩从手扶拖拉机的扶手上取下,由手扶拖拉机牵引深松机作业,作业完成后将挂钩挂回拖拉机的扶手上,方便行走。作业过程中,可以转动调节手柄改变调节板与地面的角度来调整深松的深度。当调节板与地面垂直时深松深度最浅,倾斜角度越大深松深度越深。

手扶拖拉机专用深松机主要工作参数为:深松深度40 cm,作业行数1行,深松铲数量1个,配套手

扶拖拉机动力8.82~11.03 kW。

2 试验材料与方法

2.1 试验目的

通过对比三种土壤耕作方式(深松、翻耕、旋耕)下果园土壤孔隙、水分及养分的变化情况,确定手扶拖拉机专用深松机在果园土壤管理中的应用效果,分析其可行性。

2.2 试验地条件

试验区位于渭北旱塬中部的洛川县,该区域属暖温带半湿润大陆性季风气候,平均海拔1 100 m。年均气温9.2℃,日照时数2 552 h,年总辐射量55.41 kJ/cm²,大于10℃的积温3 040℃。多年平均降雨量622 mm,且主要集中于6~9月份,占全年平均降水量的80%左右,具有典型的季节性干旱特点。

试验区供试果园为12年树龄的富士(*Malus pumila* Mill),砧木为楸子,处于盛果期,栽植密度2.5 m×4.0 m。试验前0~40 cm土层基础养分含量为:有机质6.3 g/kg,全氮0.37 mg/kg,碱解氮(N)17.88 mg/kg,速效磷(P)14.47 mg/kg,速效钾(K)110.7 mg/kg,土壤质地为黄土母质发育成的疏松黑垆土。试验果园每年施肥量:尿素650 kg/hm²、过磷酸钙600 kg/hm²、硫酸钾310 kg/hm²,不施有机肥。土壤管理方式为翻耕(深度30 cm),地表无覆盖,旱作。

试验用动力牵引机为延安市南泥湾手扶拖拉机厂生产的时风牌手扶拖拉机(11.03 kW),驱动轮直径16 cm,轮距54 cm。

2.3 试验设计和测定项目

试验于2007年3月~2009年9月在延安市洛川农业科学研究所苹果园试验基地进行。试验设置三种土壤耕作处理,分别为土壤深松、土壤翻耕及土壤旋耕,动力牵引机均为手扶拖拉机。各处理具体设置如下:①土壤深松:在离树基1 m处进行土壤深松,手扶拖拉机驱动轮贴近前一个深松沟进行作业,深松宽度10 cm,深松行间距40~50 cm,深松深度为40 cm。②土壤翻耕:试验期间每年翻耕时间同土壤深松处理,采用手扶拖拉机牵引铧式犁进行翻耕作业,翻耕深度为25~30 cm。③土壤旋耕:旋耕时间同土壤深松及翻耕处理,采用手扶拖拉机牵引旋耕机进行作业,旋耕深度10~15 cm。随机区组设计,重复3次,小区面积为16 m×16 m。各小区除试验处理外其他管理措施一致。

土壤贮水特征参数测定:每小区选取树冠及长势比较一致的苹果树3株,距树干1.20~1.50 m处设置取样点。采用环刀法测定0~60 cm(20 cm为

一层)土层土壤孔隙度和持水率等土壤贮水特征参数^[15],计算 0~60 cm(20 cm 为一层)土层的土壤吸持贮水量、滞留贮水量和饱和贮水量为

$$W_c = 1\ 000p_c h \quad (1)$$

$$W_{nc} = 1\ 000p_{nc} h \quad (2)$$

$$W_t = 1\ 000p_t h \quad (3)$$

式中 W_c 、 W_{nc} 、 W_t ——土壤吸持、滞留、饱和贮水量,mm

p_c 、 p_{nc} 、 p_t ——毛管、非毛管、总孔隙度,%

h ——土层深度,m

土壤含水率测定:取样点与土壤贮水特征参数测定相同,采用土钻对 0~1 m 土壤进行分层(20 cm)取样测定土壤含水率,计算土壤贮水量^[16]。

$$v = 1\ 000\rho h w \quad (4)$$

式中 v ——土壤贮水量,mm

w ——土壤含水率,%

ρ ——土壤容重密度,g/cm³

土壤养分测定:对各处理土壤 0~20 cm 土层的土壤有机质,土壤全氮进行测定,土壤有机质测定采用重铬酸钾容量法^[17]、土壤全氮测定采用半微量开氏蒸馏法^[17]。

表 1 各耕作处理 0~60 cm 土层土壤容重密度、孔隙度及土壤贮水特征参数

Tab. 1 Soil bulk density, porosity and characteristic of water-holding of different tillage in 2007, 2008 and 2009

测定项目	处理	2007 年			2008 年			2009 年		
		0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm
土壤容重密度/g·cm ⁻³	深松	1.35 ^{aA}	1.39 ^{bB}	1.35 ^a	1.33 ^a	1.37 ^{bB}	1.35 ^a	1.32 ^a	1.32 ^{bB}	1.34 ^a
	翻耕	1.32 ^{bB}	1.42 ^{aA}	1.35 ^a	1.32 ^a	1.42 ^{aA}	1.35 ^a	1.32 ^a	1.42 ^{aA}	1.35 ^a
	旋耕	1.33 ^{bB}	1.42 ^{aA}	1.35 ^a	1.33 ^a	1.42 ^{aA}	1.35 ^a	1.33 ^a	1.42 ^{aA}	1.35 ^a
土壤总孔隙度/%	深松	49.18 ^b	47.67 ^a	49.18 ^a	49.69 ^a	48.17 ^{aA}	49.18 ^a	50.06 ^a	50.06 ^{aA}	49.31 ^a
	翻耕	50.06 ^a	46.42 ^b	49.18 ^a	50.06 ^a	46.42 ^{bB}	49.18 ^a	50.06 ^a	46.29 ^{bB}	48.93 ^a
	旋耕	49.94 ^{ab}	46.29 ^b	49.18 ^a	49.94 ^a	46.29 ^{bB}	49.18 ^a	49.94 ^a	46.54 ^{bB}	48.93 ^a
毛管孔隙度/%	深松	28.54 ^a	29.09 ^{aA}	27.72 ^a	28.52 ^a	29.11 ^{aA}	27.73 ^a	27.79 ^{bB}	29.01 ^{aA}	27.69 ^a
	翻耕	28.52 ^a	28.94 ^{bB}	27.72 ^a	28.54 ^a	28.97 ^{bB}	27.73 ^a	27.79 ^{bB}	28.87 ^{bA}	27.67 ^a
	旋耕	28.53 ^a	28.96 ^{bB}	27.67 ^b	28.52 ^a	28.96 ^{bB}	27.67 ^b	28.48 ^{aA}	28.67 ^{cB}	27.57 ^b
非毛管孔隙度/%	深松	20.65 ^b	18.58 ^{aA}	21.46 ^a	21.17 ^a	19.07 ^{aA}	21.45 ^a	22.28 ^{aA}	21.05 ^{aA}	21.62 ^a
	翻耕	21.54 ^a	17.47 ^{bB}	21.46 ^a	21.52 ^a	17.45 ^{bB}	21.45 ^a	22.27 ^{aA}	17.42 ^{bB}	21.26 ^a
	旋耕	21.41 ^a	17.34 ^{bB}	21.52 ^a	21.41 ^a	17.34 ^{bB}	21.51 ^a	21.45 ^{bB}	17.87 ^{bB}	21.36 ^a
饱和贮水量/mm	深松	98.36 ^b	95.35 ^{aA}	98.36 ^a	99.37 ^a	96.35 ^{aA}	98.36 ^a	100.13 ^a	100.13 ^{aA}	98.62 ^a
	翻耕	100.13 ^a	92.83 ^{bB}	98.36 ^a	100.13 ^a	92.83 ^{bB}	98.36 ^a	100.13 ^a	92.58 ^{bB}	97.86 ^a
	旋耕	99.87 ^a	92.58 ^{bB}	98.36 ^a	99.87 ^a	92.58 ^{cB}	98.36 ^a	99.87 ^a	93.08 ^{cB}	97.86 ^a
吸持贮水量/mm	深松	57.07 ^a	58.19 ^a	55.45 ^a	57.03 ^a	58.21 ^{aA}	55.46 ^a	55.57 ^{bB}	58.02 ^{aA}	55.37 ^{aA}
	翻耕	57.04 ^a	57.89 ^b	55.43 ^a	57.09 ^a	57.94 ^{bB}	55.47 ^a	55.59 ^{bB}	57.75 ^{bA}	55.35 ^{aA}
	旋耕	57.05 ^a	57.91 ^b	55.33 ^b	57.05 ^a	57.91 ^{bB}	55.34 ^b	56.97 ^{aA}	57.35 ^{cB}	55.15 ^{bB}
滞留贮水量/mm	深松	41.29 ^b	37.16 ^{aA}	42.92 ^a	42.34 ^a	38.14 ^{aA}	42.90 ^a	44.55 ^{aA}	42.11 ^{aA}	43.24 ^a
	翻耕	43.09 ^a	34.94 ^{bB}	42.92 ^a	43.04 ^a	34.89 ^{bB}	42.90 ^a	44.54 ^{aA}	34.83 ^{bB}	42.51 ^a
	旋耕	42.82 ^a	34.67 ^{bB}	43.03 ^a	42.83 ^a	34.67 ^{bB}	43.02 ^a	42.91 ^{bB}	35.74 ^{bB}	42.71 ^a

注:表中同列大写字母与小写字母分别代表差异极显著($p < 0.01$)或显著($p < 0.05$)。

3 试验结果与分析

3.1 土壤容重密度

容重密度是反映土壤状况的重要指标,其性状的优劣不仅影响土壤水、气、热状况,而且还影响土壤水、养分的迁移及果树根系生长,进而影响果树的生长发育。在同一气候和土壤条件下,其主要受植被及耕作等外部因素的影响。各耕作处理下土壤容重密度、孔隙度、贮水量变化如表 1 所示。2007~2009 年试验期间,在土壤垂直剖面(0~60 cm)上,翻耕和旋耕处理土壤容重密度变化特征一致,均呈现先增后减的变化规律。出现这种情况的主要原因是该区果园长期进行翻耕,导致果园土壤 20~40 cm 土层形成犁底层。深松处理在 2007 年和 2008 年出现先增后减的变化规律,2009 年出现逐渐增加的趋势,20~40 cm 土层土壤容重密度下降,试验进行 3 年后,深松耕作打破了 20~40 cm 土层犁底层。各耕作处理 0~20 cm 及 40~60 cm 土层土壤容重密度差异不显著,不同耕作方式对土壤容重密度的影响主要集中在 20~40 cm 土层,深松耕作显著降低了 20~40 cm 土层土壤容重密度。

3.2 土壤贮水库容

土壤孔隙度是由土壤容积密度和密度决定的,对于相同类型的土壤,密度是相对恒定的,在其他条件相同的情况下,土壤容积密度决定了孔隙度的大小,由于耕作各处理改变了果园土壤容积密度,对土壤孔隙度产生了明显的影响(表1)。耕作没有改变土壤孔隙状况的基本状态,土壤毛管孔隙度均大于非毛管孔隙度。耕作处理对土壤孔隙度的影响与容积密度相同,主要影响20~40 cm土层土壤孔隙度。2009年20~40 cm土层土壤毛管和非毛管孔隙度均以深松为最大,深松耕作改善了土壤孔隙状况,与其他处理达到差异显著。翻耕和旋耕深度分别在25 cm和10 cm左右,翻耕20 cm土层以下形成犁底层,长期旋耕土壤耕层逐渐变浅,犁底层加厚。

土壤水分蓄存可分为吸持贮存和滞留贮存,吸持贮水量和滞留贮水量两者合称为土壤饱和贮水量。吸持贮水主要供给植物根系吸收、叶面蒸腾或土壤蒸发,能为植物提供必须的水肥条件,具有重要的生理生态功能。滞留贮存是饱和土壤中自由重力水在非毛管孔隙中的暂时贮存,是土壤快速贮水场所,反映了非毛管孔隙对降水的短期停滞量^[18],具有较高的水分保持与涵养功能。同土壤容积密度及孔隙度一样,耕作对土壤贮水库容的影响主要集中在20~40 cm土层,深松2年后土壤的贮水库容(饱和贮水量、吸持贮水量,滞留贮水量)显著提高,翻耕及旋耕压实了20~40 cm土层,土壤容积密度增加,孔隙度减小,土壤贮水库容减小。2009年深松处理20~40 cm土层土壤饱和贮水量、吸持贮水量及滞留贮水量分别较翻耕和旋耕处理高7.55、0.27、7.28和7.05、0.67、6.38 mm。

3.3 土壤贮水量

试验区域6月份降雨量开始增多,7~9月份是该地区的降雨高峰期,2007年及2008年的6~10月份降雨量为475.4和438.6 mm,分别占到全年降雨量的78.4%和79.8%。高效集蓄该时段自然降水、提高土壤贮水量以备来年果树生长所需,是该区域旱作苹果园土壤水分管理的关键。

2007、2008年苹果收获后,对三种土壤耕作处理下土壤0~1 m土层内土壤贮水量进行了测定(表2)。由于深松作业明显改善了土壤孔隙状况,降低了土壤容积密度,特别是20~40 cm土层容积密度显著下降,打破了20~40 cm土层土壤犁底层,形成虚实并存的土壤结构,自然降水入渗速率较快,土壤贮水量显著提高。而翻耕及旋耕由于犁底层的存在,降水不能较好地入渗,降水由于蒸发和地表径流而损失掉。三种耕作方式1 m土层内土壤贮水量大

小依次为深松、翻耕、旋耕,呈现随耕作深度加深而增加的趋势。2008年10月耕翻处理与旋耕处理1 m土层内土壤贮水量明显低于2007年10月份,而深松处理2年的土壤1 m土层内贮水量相同,显示了其较强的保蓄水性能。

表2 2007、2008年10月份各耕作处理果园土壤0~1 m土层内土壤贮水量

Tab.2 Soil poundage of different tillages in October 2007 and 2008 mm

测定时间	深松	翻耕	旋耕
2007-10	306.2 ± 2.5 ^{aa}	295.6 ± 1.7 ^{bb}	292.1 ± 2.9 ^{bb}
2008-10	305.5 ± 2.9 ^{aa}	270.7 ± 4.5 ^{cb}	278.8 ± 2.4 ^{bb}

注:表中同行大写字母与小写字母分别代表差异极显著($p < 0.01$)或显著($p < 0.05$)。

3.4 土壤有机质、全氮

土壤有机质含量反映了地力水平,是作物生长与产量的基础,土壤有机质含量的增加对增加土壤肥力、减少碳排放具有重要的意义。不同耕作方式对果园0~20 cm土层土壤有机质含量的影响,如表3所示。2007年三种耕作方式下土壤有机质含量差异不显著,2008年不同耕作方式进行两年后,土壤有机质含量开始出现差异,深松处理土壤有机质含量达到9.33 g/kg,较翻耕(8.74 g/kg)及旋耕(9.02 g/kg)高0.59 g/kg和0.31 g/kg,2009年深松较翻耕及旋耕高0.70 g/kg和0.43 g/kg。

表3 各耕作处理果园土壤0~20 cm土层土壤有机质、全氮含量

Tab.3 Effect of tillages on soil organic matter and total N within 20 cm layer

测定项目	处理	2007年	2008年	2009年
土壤有机质含量/g·kg ⁻¹	深松	9.11 ^a	9.33 ^a	9.41 ^{aa}
	旋耕	9.02 ^a	9.02 ^b	8.98 ^{bb}
	翻耕	8.76 ^a	8.74 ^b	8.71 ^{bb}
土壤全氮含量/mg·kg ⁻¹	深松	0.56 ^a	0.63 ^a	0.65 ^{aa}
	旋耕	0.51 ^a	0.49 ^{ab}	0.49 ^{bb}
	翻耕	0.48 ^a	0.43 ^b	0.47 ^{bb}

果园土壤全氮含量在2007年各耕作处理没有显著差异;2008年开始出现显著差异,以深松作业土壤全氮含量最高,深松处理与旋耕处理没有显著差异,但与翻耕相比达到显著差异;2009年深松处理与旋耕及翻耕处理全氮含量差异显著,翻耕与旋耕差异不显著。

4 结论

(1) 深松减少了对果园土壤的扰动次数及动力

消耗,果园实施深松作业后,打破了土壤犁底层,显著降低了20~40 cm 土层土壤容重,增加了土壤孔隙度及贮水库容量,提高了土壤保蓄水性能。

有机质含量较翻耕及旋耕高0.70 g/kg和0.43 g/kg,0~20 cm 土层土壤全氮含量较翻耕及旋耕高0.18 mg/kg和0.16 mg/kg。

(2) 果园深松作业3年后,0~20 cm 土层土壤

参 考 文 献

- 李会科,张广军,赵政阳,等. 渭北黄土高原旱地果园生草对土壤物理性质的影响[J]. 中国农业科学,2008,41(7): 2 070~2 076.
Li Huike, Zhang Guangjun, Zhao Zhengyang, et al. Effects of different herbage on soil quality characteristics of non-irrigated apple orchard in Weibei loess plateau[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008,41(7): 2 070~2 076. (in Chinese)
- 李玉山,黄明斌,杨新民. 黄土区渭北旱塬苹果基地对区域水循环的影响[J]. 地理学报,2001,56(1):7~13.
Li Yushan, Huang Mingbin, Yang Xinmin. Effect of apple base on regional water cycle in Weibei upland of the loess plateau [J]. Acta Geographic Sinica, 2001, 56(1):7~13. (in Chinese)
- 马孝义,王文娥,康绍忠,等. 陕北、渭北苹果降水产量关系与补灌时期初步研究[J]. 中国农业气象,2002,23(1): 25~28.
Ma Xiaoyi, Wang Wene, Kang Shaozhong, et al. The relationship between apple production and rainfall and the compensation irrigation period in north Shaanxi and Weibei[J]. Agricultural Meteorology, 2002, 23(1):25~28. (in Chinese)
- Hammond R B. Long-term conservation tillage studies: impact of no-till on seedcorn maggot[J]. Crop Protection, 1997, 16(3):221~225.
- 郭新荣. 土壤深松技术的应用研究[J]. 山西农业大学学报,2005,25(1):74~77.
Guo Xinrong. Application study on technique of the soil deep loosening[J]. J. Shanxi Agric. Univ., 2005,25(1):74~77. (in Chinese)
- 何进,李洪文,高焕文. 中国北方保护性耕作条件下深松效应与经济效益研究[J]. 农业工程学报,2006,22(10):62~67.
He Jin, Li Hongwen, Gao Huanwen. Subsoiling effect and economic benefit under conservation tillage mode in Northern China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006,22(10):62~67. (in Chinese)
- 贾洪雷,马成林,刘昭辰,等. 北方旱作农业区蓄水保墒耕作模式研究[J]. 农业机械学报,2007,38(12):190~194.
Jia Honglei, Ma Chenglin, Liu Zhaochen, et al. Overview of study on the tillage mode of water storage and soil moisture conservation for dry farming region in Northern China[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007,38(12):190~194. (in Chinese)
- 李就好,谭中文,罗锡文,等. 耕作和覆盖方式对旱地甘蔗生产的影响[J]. 农业机械学报,2004,35(9):70~74.
Li Jiuhao, Tan Zhongwen, Luo Xiwen, et al. Effects of tillage and mulch methods on sugarcane production[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004,35(9):70~74. (in Chinese)
- 苏子友,杨正礼,王德莲,等. 豫西黄土坡耕地保护性耕作保水效果研究[J]. 干旱地区农业研究,2004,22(3):6~8.
Su Ziyu, Yang Zhengli, Wang Delian, et al. Effect of conservation tillage on water conserving on loess slope-land in west He'nan Province[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2004,22(3):6~8. (in Chinese)
- Pikul J L, Aase J K. Water infiltration and storage affected by subsoiling and subsequent tillage[J]. Soil Science Society of America Journal, 2003, 67(3):859~866.
- Cornrlis W M, Wu H, Lu J, et al. The water balance as affected by conservation and conventional tillage practices on slope fields in the dry lands of North China[C]//Proceedings of 12th International Soil Conservation Organization Conference. Beijing:Tsinghua University Press, 2002,638~643.
- 朱瑞祥,张军昌,薛少平,等. 保护性耕作条件下的深松技术试验[J]. 农业工程学报,2009,25(6):145~147.
Zhu Ruixiang, Zhang Junchang, Xue Shaoping, et al. Experimentation about subsoiling technique for conservation tillage [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009,25(6):145~147. (in Chinese)
- 赵伟,张文春,周志立,等. 深松旋耕组合作业机的研究与试验研究[J]. 农业工程学报,2007,23(1):125~128.
Zhao Wei, Zhang Wenchun, Zhou Zhili, et al. Development and experimental research of combined subsoiling and rotary tilling set [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007,23(1):125~128. (in Chinese)
- 鲁力群,李其昀,赵静. 深松旋耕沟播联合作业机深松技术[J]. 山东理工大学学报:自然科学版,2003,17(6):72~75.
Lu Liqun, Li Qiyun, Zhao Jing. Subsoiling technique of subsoiler-rototiller-seeder combine[J]. Journal of Shandong University of Technology: Sci. & Tech., 2003,17(6):72~75. (in Chinese)

- 2 喻黎明, 吴普特, 范兴科. 模糊综合评判在评价喷头水力性能中的应用[J]. 节水灌溉, 2001(3):7~8.
Yu Liming, Wu Pute, Fan Xingke. Application of fuzzy comprehensive evaluation in sprinkler performances[J]. Water Saving Irrigation, 2001(3):7~8. (in Chinese)
- 3 林中卉. 喷灌压力管网系统水力特性的模拟模型研究[J]. 节水灌溉, 1995(2):20~25.
Lin Zhonghui. A study on the simulation model of hydraulic characteristics in pipe-net system for sprinkler irrigation[J]. Water Saving Irrigation, 1995(2):20~25. (in Chinese)
- 4 韩文霆, 吴普特, 杨青, 等. 喷灌水量分布均匀性评价指标比较及研究进展[J]. 农业工程学报, 2005, 21(9):172~177.
Han Wenting, Wu Pute, Yang Qing, et al. Advances and comparisons of uniformity evaluation index of sprinkle irrigation[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(9):172~177. (in Chinese)
- 5 范永申, 黄修桥, 仵峰, 等. 喷灌和软管灌溉两用机组水量分布特性与试验[J]. 农业机械学报, 2009, 40(11):74~77.
Fan Yongshen, Huang Xiuqiao, Wu Feng, et al. Experiment and analysis on water distribution uniformity of machine of sprinkling irrigation and hose irrigation dual purpose[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(11):74~77. (in Chinese)
- 6 赵凤娇, 王福军. 管道式喷灌系统水力解析的改进前进(EFSM)算法[J]. 农业工程学报, 2005, 21(7):73~76.
Zhao Fengjiao, Wang Fujun. Extended forward step method for hydraulic analysis of pipeline sprinkler irrigation system[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(7):73~76. (in Chinese)
- 7 白丹. 机压喷灌干管管网优化[J]. 农业机械学报, 1996, 27(3):52~57.
Bai Dan. The optimum design of sprinkler main pipe network with pump[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1996, 27(3):52~57. (in Chinese)
- 8 万年华, 胡铁松, 尹正杰. 基于遗传算法的喷灌管网优化设计[J]. 节水灌溉, 2005(4):1~3.
Wan Nianhua, Hu Tiesong, Yin Zhengjie. Genetic algorithms for optimal design of sprinkler pipe network[J]. Water Saving Irrigation, 2005(4):1~3. (in Chinese)
- 9 侯永胜. 多喷头轻小型移动式喷灌机组优化配套研究[D]. 北京: 中国农业机械化科学研究院, 2007.
Hou Yongsheng. Study on optimizing of configuration for the small-scale movable sprinkler irrigation equipment (SMSIE) with multiple sprinkler[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, 2007. (in Chinese)
- 10 张国祥. 微灌毛管水力学研究——微灌水力设计计算方法探讨之一[J]. 节水灌溉, 1990(2):9~16.
Zhang Guoxiang. Hydraulic research in micro irrigation lateral-one of the computation methods in micro irrigation hydraulic designing[J]. Water Saving Irrigation, 1990(2):9~16. (in Chinese)
- 11 李昌隆, 陈晓波, 程鹏. 并行多目标遗传算法在控制系统优化中的应用[J]. 微计算机信息, 2005, 21(12):18~19.
Li Changlong, Chen Xiaobo, Cheng Peng. Parallel multi-objective genetic algorithm and application in control system optimization[J]. Control & Automation, 2005, 21(12):18~19. (in Chinese)

(上接第 39 页)

- 15 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1983.
- 16 鲁向晖, 隋艳艳, 王飞, 等. 秸秆覆盖对旱地玉米休闲田土壤水分状况影响研究[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(3):156~159.
Lu Xianghui, Sui Yanyan, Wang Fei, et al. Study on soil water status of maize's fallow under straw mulch in dry land[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2008, 22(3):156~159. (in Chinese)
- 17 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2001.
- 18 刘霞, 张光灿, 李雪蕾, 等. 小流域生态修复过程中不同森林植被土壤入渗与贮水特征[J]. 水土保持学报, 2004, 18(6):1~5.
Liu Xia, Zhang Guangcan, Li Xuelei, et al. Characteristics of soil infiltration and water-holding of different forest vegetation in ecological rehabilitation of small watershed[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2004, 18(6):1~5. (in Chinese)
- 19 贾洪雷, 陈忠亮, 马成林, 等. 北方旱作农业区耕作体系关键技术[J]. 农业机械学报, 2008, 39(11):59~63.
Jia Honglei, Chen Zhongliang, Ma Chenglin, et al. Key technologies for the tillage system in area of dry farming of Northern China[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(11):59~63. (in Chinese)