

# 玉米施水播种增加灌水下渗的松土方法和试验

杨有刚, 冯 涛, 张 炜\*

(西北农林科技大学机械与电子工程学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 研究了下插式土壤松耕方法, 分析了其工作原理、理想的刀具结构和合适的松土距离为 50~70 mm, 并用这种方法松土后进行了施水试验。结果表明: 灌水入渗深度比未耕地或旋耕地对应值平均增加 20 mm 以上, 且土壤湿润区整体下移约 13 mm, 灌水水平方向和垂直方向入渗深度的比值由 1.3 降低到 0.8, 而且, 土壤紧实度和含水率均满足玉米施水播种的需要。这种方法有效增加了玉米施水播种灌溉水的下渗深度, 减少了水分蒸发。

**关键词:** 施水播种; 水分蒸发; 土壤松耕; 灌水入渗深度; 节水

中图分类号: S222 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2013)06-0243-05

## New approach for increasing irrigation water penetration into soil during water added corn seeding

YANG You-gang, FENG Tao, ZHANG Wei\*

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Based on knowledge of mechanical theory and structure of soiling tools, the authors calculated optimal subsoiling condition (distance of successive cutting points from 50 and 70 mm) and tested the hypothesis by irrigation model using the novel horizontal-type subsoiling technique. The results showed that the depth of water penetration increased at least 20 mm more than untilled soil or ploughed soil by rotary tillage. In addition, the top of the wetted soil was 13 mm away from the surface of soil and the ratio of horizontal infiltration distance to vertical infiltration depth of irrigation water decreased from 1.3 to 0.8. By the virtue of this current technique, the density and water percentage of soil meet the requirement of seeding corn by water. In conclusion, the present technique increased the depth of water penetration and reduced water evaporation effectively during water added corn seeding.

**Keywords:** water added seeding; water evaporation; subsoil; irrigation water infiltration depth; water saving

中国是全世界 13 个贫水国之一<sup>[1-2]</sup>, 农田灌溉水利用系数平均为 0.43<sup>[3]</sup>, 而世界农田水分利用效率最高可达 0.7<sup>[4]</sup>, 因此, 抗旱和节水是一个永久不变的课题。各种节水效果明显的灌溉方法, 都有一定的缺陷<sup>[5-8]</sup>, 如滴灌成本较高, 管道易堵塞<sup>[9-10]</sup>, 而从作物生理角度出发进行的调亏灌溉研究, 目前还无法解决种子发芽出苗的问题等<sup>[11-14]</sup>。在中国北方干旱半干旱地区, 机械化坐水播种, 是具有中国特色的施水播种抗旱方法, 是春旱严重时玉米抢种保苗的重要手段, 在许多地区得到应用和推广, 特别是各种穴灌穴播施水播种机, 间歇施水方式不但节省灌水, 而且有效减少补水运水次数, 进而减少了机具对土壤的压实, 优势非常明显。但是, 目前这类机具主要适应于翻耕好的耕地和砂土地, 对于茬地或实施保护性耕作的粘壤土地来说, 机具打穴困难, 在种穴周围土壤的压实较严重。而且, 已有资

料表明, 传统的施水播种, 土壤湿润区 (参见图 1) 水平方向尺寸 S 是垂直方向 h 的 1.5~2.5 倍<sup>[15-16]</sup>, 灌水下渗深度浅, 水分蒸发散失量大。因此, 本文在探索合理的土壤松耕技术的基础上, 使玉米种床下土壤松耕后孔隙率增加, 引导灌水快速下渗, 提高灌水下渗深度, 为施水播种技术进一步节水增效探索另一种新途径。

## 1 新型土壤松耕方法和刀具切土距离的试验确定

### 1.1 下插式土壤松耕方法的基本原理

保护性耕作以其显著的社会经济效益<sup>[17-18]</sup>, 在许多国家得到推广。只松不翻不搅乱上下土层、尽量减少对土壤的扰动是保护性耕作对土壤松耕技术的基本要求<sup>[19]</sup>。现有松耕方法中, 有较强碎土能

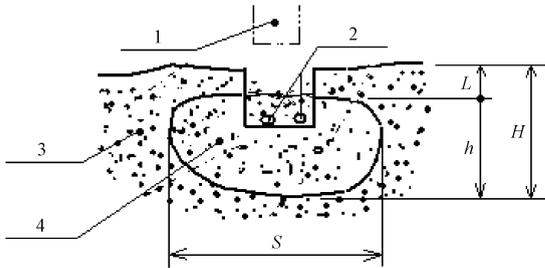
收稿日期: 2013-06-05

基金项目: 陕西省省级果业专项资金项目 (K332021313)

作者简介: 杨有刚 (1961—), 男, 教授, 主要从事耕作技术与装备的研究。E-mail: yangyougang@nwsuaf.edu.cn。

\* 通信作者: 张 炜 (1960—), 男, 主要从事现代农业装备和耕作技术的研究。E-mail: yayogang@aliyun.com。

力的旋耕法,因对土壤扰动过大而被禁用,以深松铲、凿型铲<sup>[20]</sup>为主要工作部件的各种铲式松耕法,前期通过对西北旱区粘壤土质的试验说明,土壤松耕后,施水播种灌水下渗深度增加不明显<sup>[21]</sup>。

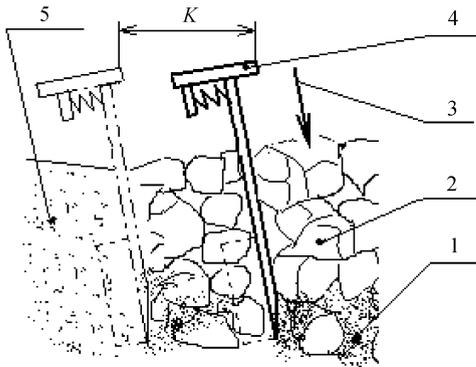


注:1.播种机施水管位置;2.种子;3.干土区;4.湿润区  
Note: 1. Water pipe of seeder; 2. Seed; 3. Dry soil area; 4. Wet soil area

图 1 施水播种土壤湿润区示意

Fig.1 The wet soil area of water added corn seeding

本文提出了一种下插式土壤松耕方法,如图 2 所示,松土原理是:“Y”型松土刀具(参见图 2 中 4 以及图 3)向下插入土壤中切土,然后水平向前移动一个距离  $K$  后,再一次下插切土,如此循环,刀具下插时切土,回程时借助其粘土作用,将部分土壤撕裂成块状,并使部分土块适当转位而相互支撑形成许多大空隙。施水播种时,灌水在重力作用下,通过这些大空隙优先快速下渗,有效减少灌水侧向入渗量,达到增加灌水下渗深度的目的。



注:1.松土后下部细碎土壤;2.松土后上部小块体;3.松土刀运动方向;4.松土刀具;5.未耕土壤

Note: 1. Fine grained soil near the bottom area of loosened soil; 2. Small clod near the top area of loosened soil; 3. Direction of cutter; 4. Cutter; 5. Unploughed soil

图 2 下插式土壤松耕方法

Fig.2 The method of loosening soil by plug in soil vertically

如图 3 所示,“Y”型刀具纵向总长 220 mm,切土有效长度可达 180 mm,端面结构尺寸为:三个刀刃互成 120°夹角,每个刀刃长 30 mm,刀具刃部和表面进行了普通砂轮打磨处理。工作原理是曲柄滑块带

动刀具上下往复运动工作<sup>[22]</sup>。



图 3 “Y”型松土刀具

Fig.3 The “Y” cutter

## 1.2 合适的切土距离

如图 2 所示,切土距离  $K$  过大,会形成较大的土块,影响播种和出苗,切土距离  $K$  过小,会形成大量的细碎土壤(图 2 中的 1),减小了土壤中的孔隙率,影响灌水下渗。另外,根据下插式土壤松耕原理可知,土壤大孔隙的形成是由一定尺寸的土块相互支撑形成的,在满足施水播种湿润区一定含水率的条件下,大孔隙的孔径和孔度,决定于土壤松耕后土块的大小,实际生产中,决定松耕机具工作参数的是土块大小,而不是测定过程较复杂的大孔隙孔径和孔度,因此,试验测定的是前后两次刀具下插的不同间隔距离所得的土块大小。这也方便实际生产时,可根据土壤土质、原始含水率和坚实度等,随时调整土壤松耕机具的工作参数。因此,要对合适的切土距离进行初步试验。

1.2.1 试验条件和方法 本文涉及的试验,均选在陕西杨凌西北农林科技大学拖拉机实验室试验地进行,土壤为塿土,重壤质,属于黄土母质上发育的农业土壤。由于是多年未耕土壤,表面较硬,深层较松软,试验时测得土壤含水率约为 10%,平均容重在  $1.0 \sim 1.3 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  范围。

为了获得相对准确的试验数据,人工手持刀具下插松土,深度 150 mm,刀具松土前后间隔距离  $K$  分别取 40 mm、50 mm、60 mm、70 mm、80 mm 和 90 mm,每个切土距离对应下插切土 30 次。然后,将每个对应切土距离松好的土壤周围未切土刨开,观察每一刀所切土块,测量并记录不同土块的大小、质量和相对比例等参数。试验发现:细碎土壤入渗速度低,下渗深度小,最大尺寸大于 40 mm 的部分土壤块体渗水后破碎不理想,这两种土壤结构应尽量减少,因此,试验时将土块最大尺寸范围分为: < 10 mm 的细碎土、10 ~ 30 mm、30 ~ 40 mm 和 > 40 mm 四个区间段。

1.2.2 试验结果和分析 图4为不同切土距离  $K$  对应的土壤结构的试验结果,每个点数据是下插切土30次的平均值。由图可知,切土距离越小,碎土所占比例越大,大尺寸土块所占比例减小。刀具前后切土距离改变时,最大尺寸(每个土块三维尺寸中最大者,下同)在10~40 mm范围内的土壤块体,在土壤中所占比例变化不大。切土距离约 < 50 mm时,有较高的碎土量;切土距离 > 70 mm时,最大尺寸 > 40 mm的大土块含量急剧增加。因此,“Y”型刀具松土前后间隔距离  $K$  取50~70 mm较合适。

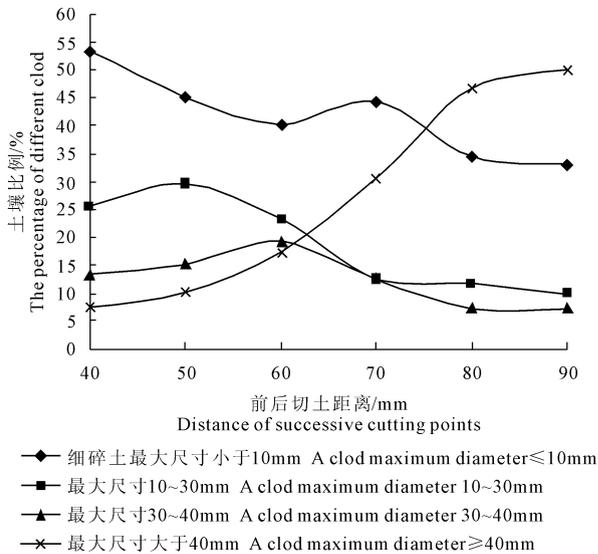


图4 “Y”型刀松土后的土壤结构与切土距离的关系  
Fig.4 The relation between distance of successive cutting points and structure of soil after loosening soil with the “Y” cutter

需要说明的是,由于松土试验受土壤土质、坚实度、含水率和含杂等因素的影响,特别是人为因素如切土速度、刀具前后晃动幅度和频率等的影响,上述试验结果和生产实际会有一定差别。实际生产时,应针对不同地域的土壤土质和松土条件,按照实测细碎土壤和最大尺寸 > 40 mm的块体含量最少为原则,确定刀具的切土距离。

### 1.3 松耕后种床土壤的特征

1.3.1 土块容重的测定 土壤的松紧程度是一个重要的物理指标,关系到植物根系的稳固、保水保墒、通气透水性、微生物活动和养分转化等。因此,需要测定土壤容重,将这种方法松耕后的土块与未松耕试验地原始土壤的松紧程度进行比较。

试验条件和方法:试验地点和土质同前。试验时测得土壤含水率约为10%,由于玉米出苗的临界含水率约为14%,含水率过小刀具对土壤的挤压作用不明显,过大播种时不必施水,因此,10%的土壤原始含水率基本可以说明问题。

土块容重采用蜡封法<sup>[23]</sup>测量,未松耕试验地土壤的原始容重采用环刀法。

试验结果:所切土块容重均值为  $1.237 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,而未松耕试验地土壤的原始容重均值为  $1.224 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,两者相差不大,说明用这种松土方式松土,刀具对土壤的挤压作用不是很大,切下的土块由于刀具挤压力的作用而导致的紧实度增加不明显。

1.3.2 土块渗水后的特征 最大尺寸  $\leq 40$  mm的土块,经灌水入渗试验后,块体基本破碎而变为碎土泥浆(参见图5),说明这些土块渗水后块体基本消失。

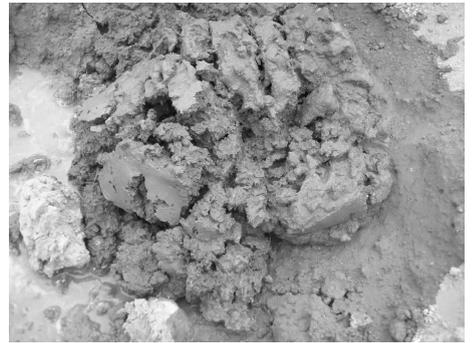


图5 最大尺寸平均为40 mm的土块渗水后效果

Fig.5 The consequence of infiltration through the soil composed of clods no larger than 40 mm diameter

通过上述两个试验可知:人工形成土壤大孔隙的下插式松耕方法,刀具的挤压作用不明显,因而土壤紧实度不会增加。松耕产生的土壤块体,遇水后基本破碎消失。说明这种方法施水播种后的土壤状态,与传统方法没有大的差别,符合农艺对种床土壤的基本要求,因此,单就土壤状态来说,可以推断:该方法对玉米发芽、出苗和幼苗的生长没有特殊的影响。

## 2 灌水入渗效果的试验

通过对本文介绍的下插式土壤松耕、常规旋耕和未耕地三种土壤进行田间穴施水试验结果进行比较,获得这种下插式土壤松耕方法对玉米穴施水播种,提高灌水入渗深度的实际应用效果。

### 2.1 试验条件和方法

地点同前,土壤原始含水率约10%,容重在  $1.0 \sim 1.3 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 范围。土壤的旋耕处理选用南昌春花175型旋耕机,牵引动力为上海50型轮式拖拉机。

2.1.1 灌水入渗深度的试验方法 选择三块试验地,其中一块用下插式疏松土壤,另一块旋耕,松土深度都是150 mm,第3块试验地不松土。其中,用下插式疏松土壤的试验地,根据前述“Y”型刀具的

松土试验结果,松土前后间隔距离取 50~70 mm 较合适,因此,在该试验中,刀具松土距离取中间值 60 mm。

首先,分别在三块试验地,比照玉米穴播的成穴尺寸,种穴径 $\times$ 深大约为 60 mm $\times$ 60 mm,参照玉米播种的株距要求,间隔 200 mm 挖穴 30 个,共 90 个穴。然后,人工用敞口杯倒水入穴,每穴施水量 200 ml,施水后立即回填土,未压实。为了使水痕较明显,易于测量水入渗后湿土范围和形状,施水 20 min 后扒开穴周围的干土,测量湿润区上表面到地面的距离,以及湿润区纵向和横向尺寸。最后,对三块不同试验地,各自所得的 30 个施水和土壤湿润区数据进行平均,得出这 3 个均值的比较结果。

**2.1.2 土壤湿润区含水率的测量** 在下插式土壤松耕方法松后的土壤试验地,穴施水 20 min 后,在土壤湿润区取样 20 个,每个取样质量(湿重)100 g,将试样在 105℃ 条件下烘干 24 h,然后称重记录,求得初始含水率。同理,求得 7 d 后湿润区含水率。

## 2.2 试验结果和分析

**2.2.1 土壤湿润区上表面到地面的距离  $L$**  参见图 1,旋松和未耕地土壤穴灌水后第一个区别是:灌水大约 1 h 后,未耕地土壤施水处回填土湿润明显,表面有明显的水痕,而旋松回填土的表面多处是干土,部分有湿痕。说明这两种土壤穴施水后,旋松土壤灌水湿润区下移,但不明显,原因是未耕地土壤密实,灌水入渗慢,易浸湿回填土。

“Y”型刀具松土与旋耕松土比较,灌水明显比后者下渗快,整个施水试验过程几乎看不到穴中发生积水现象,原因主要是“Y”型刀具提起时,一些土块被带起,聚集于穴的上层,细碎土壤通过土块间隙向下流动(见图 2 中的 1 所示),上部土壤结构的过水通道较大,水下渗较快。灌水大约 1 h 后,“Y”型刀具松过的土壤施水处没有发现明显的湿润痕迹,测量可知,下插式土壤松耕方法,穴灌水后土壤湿润区明显下移,比旋松和未耕地土壤灌水湿润区平均低大约 13 mm。

**2.2.2 不同试验地土壤穴施水入渗深度  $h$  的比较**

由表 1 可见,下插式土壤松耕方法松土后,由于土壤大孔隙的形成,挖穴施水后,土壤湿润区纵向尺寸均值为 120 mm,考虑到湿润区整体下移约 13 mm,总入渗深度可达 133 mm,比旋耕土壤对应水入渗深度值大 28 mm,比未耕地对应值大 23 mm,若记入土壤湿润区整体下移量,则  $S/H$  平均由 1.3 降低到了 0.8。由此可见,下插式土壤松耕法具有较高的灌水入渗深度。

表 1 不同试验地穴施水土壤湿润区尺寸/mm

Table 1 The wet soil sizes after adding water to soils with different structures

试验地 Experimental field	湿润区横向尺寸 $S$ 均值 The mean width of wet area	湿润区纵向尺寸 $h$ 均值 The mean depth of wet area
下插式松土地 New ripping method	110	120
旋耕地 Rotary tillage	145	105
未耕地 Untilled land	140	110

另外,种床的旋耕土壤过于细碎,挖穴的进一步压实,以及灌水的瞬间冲击,都导致水入渗深度不如未耕地。而且,下插式尽管形成了孔隙,但挖穴刀具的挤压和扰动,使许多碎土填充了部分孔隙,因而水入渗深度仅比未耕地多 1 cm 左右,但整体深度增加到 23 mm 以上。其它两种松土方法,由于灌水下渗速度小,覆土后灌水很快向上入渗,因此,土壤湿润区没有整体下移的现象发生。

一般来说,玉米播种深度是 30 mm 稍浅,80 mm 稍深,50 mm 左右最合适。表 1 显示这种方法所得湿润区纵向尺寸均值为 120 mm,加上整体下移的 13 mm,湿土深度可大于 130 mm,很好适应了玉米的播种深度及一定时间的水分需要。

**2.2.3 下插式土壤松耕施水后土壤湿润区含水率**

下插式土壤松耕地挖穴施水 20 min 后,湿土含水率均值为 19.45%,7 d 后湿土含水率均值为 17.42%,满足玉米出苗最低含水率 14% 的农艺要求。其它两种方法对应含水率分别为旋耕处理 21.1% 和 15.16%,未耕处理 20.6% 和 14.93%,其中 20 min 后湿土含水率,稍高于下插式土壤,是因为水入渗范围小的缘故,而 7 d 后湿土含水率低于下插式土壤,可见下插式土壤松耕法,可以降低灌水蒸发,而且,时间越长优势越明显。

## 3 结论

1) 提出的新型下插式土壤松耕方法,可有效增加灌水入渗深度,减少水分蒸发,施水播种时不必覆膜,避免了白色污染。

2) 针对黄土旱区粘壤土质的试验可知:松土挖穴施水后,土壤湿润区整体下移约 13 mm,总入渗深度可达 133 mm,比旋耕土壤对应水入渗深度值大 28 mm,比未耕地对应值大 23 mm。若计入测量误差,这种土壤松耕方法,可使水入渗深度比未耕地或旋耕地对应值至少大 20 mm。若记入土壤湿润区整体

下移量,那么灌水水平方向和垂直方向入渗深度的比值,由1.3降低到了0.8。说明这种土壤松耕新方法,可有效增加灌溉水下渗深度,为玉米施水播种减少水分蒸发提供了新途径。

3) 首先,这种方法松土后,土壤紧实度未增加,形成的小土块遇水后基本破碎消失,符合农艺对种床土壤的基本要求。其次,这种方法形成的种床土壤,可有效增加玉米施水播种灌溉水下渗深度,减少水分蒸发。第三,松土挖穴施水20 min后,土壤含水率均值为19.45%,7 d后土壤含水率均值为17.42%,满足玉米出苗最低含水率14%的农艺要求。而且,7 d后湿土含水率高于其它两种方法,可见下插土土壤松耕法,可以降低灌水蒸发。总之,在种床土壤状态、含水率等方面,这种方法与传统方法比较,没有明显的差别,均满足玉米出苗的农艺要求,但是可以推断:在相同的耐旱时间前提下,这种方法耗水量更少。

4) 这种土壤松耕方法,提高灌水下渗深度的实质是形成了土壤块体,进而人为形成土壤孔隙,使灌水下渗深度增加。但是,土壤孔隙的获得会受到各种因素的影响,进而影响灌水入渗深度,而且,田间试验条件又不易控制,这些都会导致各参数的测定可能存在一定误差,因此,本文在此只是介绍了一种提高灌水下渗深度的新方法。

5) 根据试验条件,这种土壤松耕方法和施水播种研究结果,仅适应西北干旱半干旱地区的黄土土质,在其它地区的可行性,还需进一步研究。

**致谢:**根据加拿大马尼托巴大学陈瑛教授的建议,我们又做了一些补充研究,为此向她表示衷心感谢。

#### 参考文献:

[1] Lei Kampeng, Zhou Shaoqi. Per capita resource consumption and resource carrying capacity: A comparison of the sustainability of 17 mainstream countries[J]. *Energy Policy*, 2012,42:603-612.

[2] Liu Yu, Huang Jikun, Wang Jinxia, et al. Determinants of agricultural water saving technology adoption: an empirical study of 10 provinces of China[J]. *Ecological Economy*, 2008,4:80-90.

[3] 马俊义,王 瑛. 以色列农业发展经验对中国农业节水技术启示[J]. *世界农业*, 2010,374(6):31-34.

[4] 王志真,任传栋. 由灌溉水利利用系数谈节水灌溉[J]. *水利天地*, 2012,(11):39-41.

[5] Barragan J, Li. Cots, Monserrat J, et al. Water distribution uniformity

ty and scheduling in micro-irrigation systems for water saving and environmental protection[J]. *Biosystems Engineering*, 2010,107(3):202-211.

[6] Giulia Vico, Amilcare Porporato. From rainfed agriculture to stress - avoidance irrigation; I. A generalized irrigation scheme with stochastic soil moisture[J]. *Advances in Water Resources*, 2011,34(2):263-271.

[7] Abraham N, Hema P S, Saritha E K, et al. Irrigation automation based on soil electrical conductivity and leaf temperature[J]. *Agricultural Water Management*, 2000,45(2):145-157.

[8] Zhang Naiqian, Wang Maohu, Wang Ning. Precision agriculture: a worldwide overview[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2002,36(2/3):113-132.

[9] Nazirbay Ibragimov, Steven R. Evett, Yusupbek Esanbekov, et al. Water use efficiency of irrigated cotton in Uzbekistan under drip and furrow irrigation[J]. *Agricultural Water Management*, 2007,90(1-2):112-120.

[10] 李宗尧. 节水灌溉技术(第一版)[M]. 北京:中国水利水电出版社,2010.

[11] Sui - Kwong Yau, Musa Nimah, Mohamad Farran. Early sowing and irrigation to increase barley yields and water use efficiency in Mediterranean conditions [J]. *Agricultural Water Management*, 2011,98(12):1776-1781.

[12] Fapohunda H O, Kemper W D, Heerman D F. Effect of drying on soil strength and corn emergence[J]. *Irrigation Science*, 1985,6(3):149-158.

[13] Farooq Muhammad, Wahid Abdul, Ahmad Nazir, et al. Comparative efficacy of surface drying and re-drying seed priming in rice: changes in emergence, seedling growth and associated metabolic events[J]. *Paddy and Water Environment*, 2010,8(1):15-22.

[14] Baumhardt R L, Unger P W, Dao T H. Seedbed surface geometry effects on soil crusting and seedling emergence[J]. *Agronomy Journal*, 2004,96(4):1112-1117.

[15] 杨有刚. 施水播种灌水入渗和土壤松耕方法的研究[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2010:8-9.

[16] 李子强,郭维东,杨天恩. 坐水播种时耕层土壤水分再分布的数值分析[J]. *安徽农业科学*, 2006,34(1):108-109,195.

[17] 张西群,贾素梅,张辉辰,等. 旱区春玉米施水覆膜播种应用效果研究[J]. *河北农业科学*, 2008,12(1):18-20.

[18] 李 明,闫凯兵. 旱农地区玉米保护性耕作技术模式的试验研究[J]. *农业技术与装备*, 2010,281:40-42.

[19] 丁健伟. 对保护性耕作探讨及新型机具的研究[J]. *农业机械*, 2009,16:75-77.

[20] 王立祥. 耕作学[M]. 重庆:重庆出版社,2001:156.

[21] 杨有刚,薛少平,杨 青,等. 2BSSF-3型浅松间歇施水播种机的实验研究[J]. *农业工程学报*, 2008,24(2):136-139.

[22] 杨有刚,张 宏,冯 涛,等. 土壤浅深松联合松耕机设计和浅松土试验[J]. *机械工程学报*, 2012,48(19):163-168.

[23] 彭新华,张 斌,李江涛,等. 对多孔介质物体孔隙度-蜡封法改进的探讨——以土壤团聚体为例[J]. *土壤通报*, 2003,34(1):19-20.