

# 衡水试验场冬小麦田土壤水流动系统分析\*

汪丙国<sup>1</sup>, 靳孟贵<sup>1</sup>, 方连玉<sup>2</sup>, 张德忠<sup>2</sup>

(1 中国地质大学, 武汉 430074; 2 河北省第三水文地质工程地质大队, 衡水 053000)

**摘要:** 以土壤水流动系统理论为指导, 进行了缩行密植、沟播、秸秆覆盖、不同灌水定额等多种措施的综合试验研究。研究表明不同灌水定额(375, 525 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>)对产量的影响较小, 这主要与该地的土壤结构有关; 沟播处理、缩行密植等优化土壤水流动系统技术, 均能较大幅度地提高作物的产量和水分生产率; 而秸秆覆盖处理由于受气候因素的影响, 没有达到预期的效果, 有待进一步的研究。

**关键词:** 土壤水流动系统; 缩行密植; 沟播; 秸秆覆盖

中图分类号: S 152.75

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2001)01-0089-04

## Analysis of Soil Water Flow System of the Winter-wheat Cropland in Hengshui Experimental Area

WANG Bing-guo<sup>1</sup>, JIN Meng-gui<sup>1</sup>, FANG Lian-yu<sup>2</sup>, ZHANG De-zhong<sup>2</sup>

(1 China University of Geosciences, Wuhan, 430074, PRC;

2 The Third Unit on Hydrology and Engineering Geology in Hebei Province, Hengshui, 053000, PRC)

**Abstract:** Many general measures such as row-spacing-reduced and close planting, furrow growing, straw mulch and different irrigation quota treatment are synthetically tested on the basis of soil water flow system. The experimental results indicate that irrigation quota has the less influence on the yield. Such measures as row-spacing-reduced and close planting and furrow growing are propitious to optimize soil water flow system and they can greatly increase crop's yield and water use efficiency. But straw mulch does not achieve the due effect because of the weather factor. It should be further studied in the future.

**Key words:** soil water flow system; row-spacing-reduced and close planting; furrow growing; straw mulch

目前, 国内外关于旱地农业节水措施的研究很多<sup>[1, 2]</sup>, 由于其机理的研究不深不透, 很少上升到土壤水流动系统的高度进行研究和分析, 而且缺乏多种配套措施的综合试验研究。本文以土壤水流动系统理论为指导, 以试验为基础, 展开缩行密植、沟播、秸秆覆盖、不同灌水定额等多种优化土壤水流动系统措施的综合试验研究, 以提高土壤水分利用率, 探讨旱地农业节水的潜力, 为农业-水资源-环境的可持续发展服务<sup>[3]</sup>。

## 1 试验场概况

衡水试验场位于衡水市东南郊区, 占地 0.33 hm<sup>2</sup>。试验田内设有灌溉输水暗管系统(含灌溉水量计量系统), 以及土壤水分、养分、农学等观测系统。试验场附近设有气象站、潜水动态观测孔。深层地下水位埋深 85~90 m, 潜水为咸水, 水位埋深 3.5 m 左右(1999年9月)。试验场土壤为浅褐色盐碱潮土。包气带岩性: 0~45 cm 粉质黏土; 45~145 cm 黏

\* 收稿日期: 1999-12-15

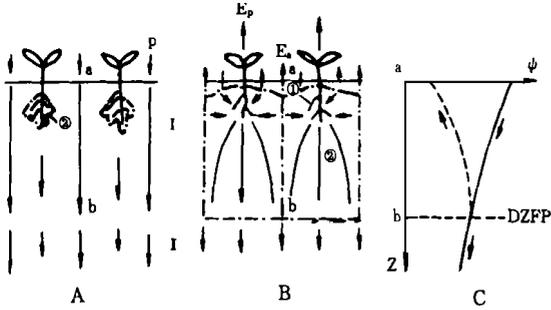
国家地质调查项目——河北平原土壤利用技术研究资助。

作者简介: 汪丙国(1974-), 男, 硕士生, 现就读于中国地质大学(武汉)研究生院。

土; 145 ~ 370 cm 粉土。田间持水量: 0 ~ 40 cm 22.0%, 40 ~ 100 cm 31.8%。

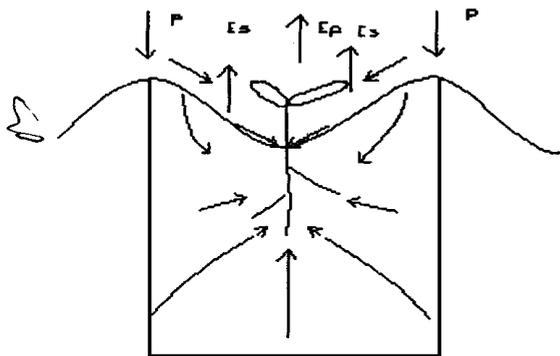
## 2 试验原理

根据包气带土壤水流运动特点, 可把土壤水渗流区分为常年下渗区(最深零通量面以下)和变向流动区(最深零通量面以上), 在变向流动区内, 水流方向随上边界条件而变化, 降水时上边界为一面源, 蒸发时上边界变为面汇, 把以作物根层为中心的汇流区称为根系汇流系统, 将其上部分称为土面蒸发流动系统, 如图 1 所示<sup>[4]</sup>。土壤水调控主要是调控其边界条件, 降雨时增加降水入渗源强度, 蒸发时减弱土面蒸发面汇的强度, 同时可改变其下边界条件, 使得作物吸收土壤水的下边界下移, 从而缩小土面蒸发流动系统, 扩大根系汇流系统, 使更多的水分供给作物根系。



A、降水入渗条件; B、蒸发条件; C、ab 总水势分布; 变向流动区; 常年下渗区; 土面蒸发流动系统 ④根系汇流系统(点划线为土壤水流动系统边界);  $E_p$ 、蒸腾(汇);  $E_s$ 、蒸发(汇);  $P$ 、降水入渗(源); DZFP、最深零通量面

图 1 包气带土壤水流动系统示意图<sup>[3]</sup>

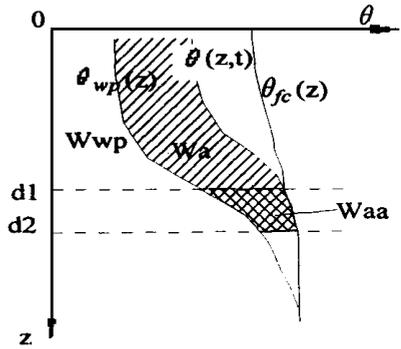


$E_p$ 、蒸腾;  $E_s$ 、蒸发;  $P$ 、降水

图 2 沟播优化土壤水流动系统示意图

通常土壤水主要表现为垂向运移, “沟播沟灌”则可以人为调整, 优化土壤水流动模式, 变垂向运移为垂侧向运移, 使更多的水分向作物根系汇流, 形成

局部优化的根系汇流系统(如图 2 所示)。缩行密植选用耐旱、分蘖少的作物品种进行缩行种植, 促使作物根系深扎, 使得作物利用土壤水的范围下移, 有利于作物利用深部土壤水, 扩大了根系汇流系统, 增加可利用土壤水资源(如图 3 所示)<sup>[5]</sup>; 同时利用小麦自身增加田间覆盖, 抑制裸间蒸发, 缩小土面蒸发流动系统, 在干旱条件下形成有利于作物生长的优化的土壤水流动系统。秸秆覆盖则相当于在土壤表层形成一薄层的高渗透性、低导热性介质, 一般具有改良土壤介质、增加土壤储水性能、调节地温、减少裸间蒸发等作用<sup>[6]</sup>, 改良土面蒸发流动系统, 从而达到优化土壤水流动系统的目的。



$\theta_{wp}(z)$ 、 $\theta(z)$ 、 $\theta_{fc}(z)$  分别为土壤的凋萎含水量、实际含水量和田间持水量;  $W_a$  为可利用土壤水;  $W_{wp}$  为无效水;  $W_{aa}$  为下边界下移后增加的可利用土壤水;  $d_1$ 、 $d_2$  分别为下边界下移前后作物利用土壤水的潜在利用深度

图 3 土壤水分常数示意图

## 3 试验方案设计

试验田东西宽 17 m, 南北长 160 m, 采用围捻法将试验田分割成 7 m × 8 m 的 25 个小区。田块分布如图 4 所示。

保护区		保护区
2- 2		
2- 1		2- 3
2- 3		2- 2
2- 2	8 7	2- 1
2- 1	6 5	9 2- 3
1- 1	1	3 1- 3
1- 2	2	4 1- 4
1- 4		1- 1
1- 2		1- 3
1- 3		1- 2
1- 1		1- 4
1- 2		1- 3
1- 4		1- 1
保护区		保护区

地下水水位观测孔

1 中子仪监测孔及孔号

1- 1、1- 2、1- 3、1- 4 缩行密植深部土壤水利用配套技术处理; 2- 1、2- 2、2- 3 沟播覆盖优化土壤水流动模式配套技术处理

图 4 衡水试验场试验布置图

### 3.1 缩行密植深部土壤水利用配套技术

本试验设 4 个处理, 4 次重复。

处理 1-1: 缩行密植土壤水利用技术, 即通过缩行密植, 利用小麦自身增加田间覆盖, 同时促进小麦根系深扎利用深部土壤水。底墒水  $600 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ , 浇拔节水和灌浆水各  $525 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。

处理 1-2: 缩行密植, 底墒水  $600 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ , 浇拔节水和灌浆水各  $375 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。

处理 1-3: 缩行密植, 底墒水  $600 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ , 播后盖秸秆, 浇拔节水和灌浆水各  $375 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。

处理 1-4: 缩行密植, 底墒水  $600 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ , 播后盖秸秆, 不灌水。

### 3.2 沟播覆盖优化土壤水流动模式配套技术

该试验设 3 个处理, 3 次重复。

处理 2-1: 沟播盖秸秆。用沟播机进行播种, 每沟两行小麦, 播后覆盖半腐烂的秸秆  $4500 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。灌溉设计: 底墒水  $600 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ , 浇拔节水和灌浆水各  $450 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。

处理 2-2: 沟播不盖秸秆。灌溉设计: 同处理 2-1。

处理 2-3: 平播(目前习惯种法)对照。灌溉设计: 同处理 2-1。

以上两试验处理的播种、施肥等情况如表 1 所示。

表 1 播种及施肥方案

	缩行小麦	沟播小麦
播期	10月16日	10月17日
播量/ ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	300	233
品种	石 7159	96C <sub>1</sub> -3
底肥	磷酸二铵 $375 \text{ kg}/\text{hm}^2$ , 尿素 $150 \text{ kg}/\text{hm}^2$	
追肥	拔节期尿素 $300 \text{ kg}/\text{hm}^2$	

### 3.3 监测

(1) 进行农学、气象及土壤水分的观测, 获取作物生长期生长动态资料、作物考种资料、气象观测资料以及土壤含水量资料。

(2) 水分监测采用 L520 智能型土壤水分中子仪<sup>[7]</sup>及土壤水分探测器(MP406)相配合的方法, 表层用 MP406 进行监测, 表层以下用中子仪进行监测。各处理选一个田块进行土壤剖面水分监测, 除沟播处理田块设置两组监测剖面分别监测沟和垄的含水量外, 其它各处理都设置一组土壤水分监测剖面, 监测深度分别为 5, 10, 20, 30, 40, 50, 70, 90, 100, 140, 170, 200, 230, 260, 300 cm, 监测方式一般两天一次, 下雨及灌溉后每天一次, 监测时间一般为上午

8:00。

## 4 试验结果分析

### 4.1 产量分析

由于 1999 ~ 2000 年冬小麦生育期降雨量仅 57.8 mm, 气候干旱, 河北平原冬小麦普遍减产。据河北衡水农科所试验田大面积产量统计, 平均产量仅为  $4500 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。衡水土壤水利用技术试验田块产量统计(见表 2)反映出以下特点:

表 2 1999 ~ 2000 年衡水试验场冬小麦各处理产量统计表

田块编号	产量/ ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	最高产量/ ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	平均产量/ ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	基本苗数/ ( $\text{万} \cdot \text{hm}^{-2}$ )
1-1	5354			-
	5339			-
	4926	5691	5327	414
	5691			470
1-2	5060			374
	5397	5897	5190	453
	5897			411
	4412			434
1-3	4353			402
	5118	5736	5081	-
	5118			-
	5736			431
1-4	1971			500
	2397	3647	2783	-
	3647			546
	3117			453
2-1	4271			312
	4167	4271	4134	428
	3966			437
	4167			329
2-2	4238	4238	4132	341
	3992			419
	3072			312
	3239	3398	3234	327
2-3	3398			392

备注: “-”表示未作调查。

(1) 在缩行密植深部土壤水利用配套技术处理中, 以平均产量来计, 灌水田块的产量都达到了  $4500 \text{ kg}/\text{hm}^2$  以上, 而不灌水的处理田块仅为  $2783 \text{ kg}/\text{hm}^2$ , 其产量最低。在该试验中, 高灌水定额( $525 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ )相对于低灌水定额( $375 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ )而言, 灌水定额对产量的影响不大, 高灌水定额的小麦产量比低灌水定额仅高出  $137 \text{ kg}/\text{hm}^2$ ; 而覆盖秸秆的田块比不覆盖秸秆的田块产量却低  $109 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。

(2) 在沟播覆盖优化土壤水流动模式配套技术处理中, 沟播对产量的影响较平播增产显著, 单产量高出约  $900 \text{ kg}/\text{hm}^2$ , 秸秆覆盖与否对小麦产量几乎没有影响。

从河北平原小麦收成看, 1999 ~ 2000 年度冬小麦产量普遍较低, 主要受气候因素影响。除此之外,

试验田小麦产量不高的原因可能还有地力薄、底墒水灌水量偏大、播种期晚,致使小麦基本苗不足等。

从上述产量分析可知,尽管秸秆覆盖的效果没有表现出来,但缩行密植、沟播处理等优化土壤水流动系统技术所起的作用却是显而易见的。

#### 4.2 水分生产率分析

小麦根系吸收土壤水的深度为 2 m 左右,土壤水储量计算以 2 m 为准<sup>[8]</sup>。衡水试验场冬小麦田不同处理的水分生产率如表 3 所示,从表中可以看出:在缩行密植深部土壤水利用处理田块中,以灌两水

各 375 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 的水分生产率最高为 2.14 kg/m<sup>3</sup>,其次为灌两水各 375 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>、播后盖秸秆的处理(水分生产率 1.81 kg/m<sup>3</sup>),其三为灌两水各 525 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 的处理(水分生产率 1.54 kg/m<sup>3</sup>),不灌水处理的水分生产率最低为 1.36 kg/m<sup>3</sup>。在沟播覆盖优化土壤水流动模式处理中,以不盖秸秆处理的水分生产率最高为 1.51 kg/m<sup>3</sup>;其次为盖秸秆处理,水分生产率 1.49 kg/m<sup>3</sup>;平播处理的水分生产率最低,仅为 1.32 kg/m<sup>3</sup>。

表 3 1999~2000 度衡水试验场冬小麦水分生产率分析

土壤水利用技术	田块编号	配套处理措施	播种时刻土壤水储量 /mm	成熟时刻土壤水储量 /mm	生育期间土壤水储量的变化量 /mm	实际灌水量 / (m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	生育期降水量 /mm	产量 / (kg·hm <sup>-2</sup> )	耗水量 / (m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	水分生产率 / (kg·m <sup>-3</sup> )
缩行密植深部土壤水利用配套技术	1-1	灌两水各 525 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>	756.25	578.46	178.19	1125	57.8	5354	3481	1.54
	1-2	灌两水各 375 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>	723.79	641.11	82.67	955	57.8	5060	2360	2.14
	1-3	灌两水各 375 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>	726.32	633.91	92.40	904	57.8	4353	2406	1.81
	1-4	不灌水、播后盖秸秆	691.02	603.38	88.04	0	57.8	1971	1454	1.36
沟播覆盖优化土壤水流动模式配套技术	2-1	沟播盖秸秆、灌两水各 450 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>	774.52	680.42	94.10	1351	57.8	4271	2870	1.49
	2-2	沟播不盖秸秆、灌两水各 450 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>	734.13	651.16	82.79	1352	57.8	4167	2760	1.51
	2-3	平播、灌两水各 450 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>	761.93	706.23	57.7	1187	57.8	3072	2322	1.32

从上述分析可知,在缩行密植试验中,灌水定额大(525 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>)的田块与灌水定额小(375 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>)的田块相比较,其水分生产率却相对较小,而不灌水的田块水分生产率最低,这主要与该地的土壤结构有关。试验场 0~0.45 m 为亚黏土,0.45~1.45 m 为黏土,1.45~3.7 m 为粉土,上部亚黏土及黏土,质地黏重、细腻,储水能力较强,含水量较大但多以结合水的形式存在,其无效库容也大,可供作物吸收利用的水量极其有限,不灌水的田块水分生产率最低则说明该地土壤水利用的潜力有限,需要补充灌水。而灌水定额大又容易产生地表渍水,不利于作物生长,其产生的无效蒸发也大,有时还会产生深层渗漏,造成无效损失,相比较而言,灌水定额以 375 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 较为合理。

沟播、缩行密植处理等优化土壤水流动系统技术均能提高水分生产率,而覆盖处理却没能提高水分生产率,反而有所下降。就其原因从土壤水流动系统的角度来看,在沟播处理中,“沟播沟灌”可以形成优化的根系汇流系统,有利于提高土壤水分的利用

效率;缩行密植不仅可以减少棵间蒸发,缩小蒸发流动系统,而且能够增加可利用的土壤水资源,扩大根系汇流系统,在干旱条件下形成有利于作物生长的优化的土壤水流动系统,从而提高土壤水分利用率;而秸秆覆盖由于作物生长期干旱少雨,生长期降雨量仅 57.8 mm,相当于平水年的 50%,次降雨量几乎都小于 10 mm,秸秆覆盖差不多截留了作物生育期的全部降雨量,造成截留蒸发的无效损失严重,秸秆覆盖虽能减少棵间蒸发,但由于干旱少雨,土壤缺水较为严重,其作用也就不甚明显,没有达到预期的效果,有待进一步的研究。

## 5 结 论

根据试验结果和上述分析可得出以下结论:

(1) 缩行密植处理中,灌水定额(525 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 与 375 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 差别)对产量影响不大,灌水定额大的处理水分生产率相对较小,这主要与该地的土壤质地结构有关。

(下转第 141 页)

同理将各次测试结果列表, 计算出各项的回归系数与偏差平方和。结果也可看出, 四因素  $Z_1$ 、 $Z_2$ 、 $Z_3$ 、 $Z_4$  的回归系数绝对值和偏差平方和均明显大于其它各列。方差分析结果表明, 影响柞蚕场土壤冲刷量大小的主要因素依次是  $Z_4$ 、 $Z_1$ 、 $Z_3$ 、 $Z_2$ , 其作用均达及显著水平, 回归方程为:

$$y_{\text{冲刷量}} = 5.34 + 1.196Z_1 + 0.886Z_2 + 1.179Z_3 - 1.363Z_4$$

将式中变量  $Z_i$  用原变量  $R$ 、 $S$ 、 $W$ 、 $C$  代换, 得土壤冲刷量回归方程:

$$y_{\text{冲刷量}} = 0.0016R + 0.098S + 29.47W - 6.49C - 0.339$$

回归方程建立后, 同样与基准水平进行吻合度检验和复相关系数计算, 得出该方程与基准水平吻合良好, 并很好地反映了四因子与柞蚕场冲刷量之间的关系。

## 5 结 语

随着对柞蚕场开发力度不断加大, 水土流失问

致谢: 参加本项研究的还有: 黄毅, 李晓华同志。

题也愈渐突出, 最终导致蚕场生产力的下降以及生态环境的破坏。因此只有对频繁的经济活动所造成的水土流失进行定量分析与评价, 才能有的放矢地制定相应的治理规划和配置各种治理管护措施, 以达到保护蚕场资源, 发展蚕业生产之目的。本项研究得出了柞蚕场土壤侵蚀数学模型, 为蚕场的土壤侵蚀评价提供了可靠而实用的方法, 从而解决了蚕场土壤侵蚀量的计算问题。在应用上, 只要具备模型中各因素的基本资料, 就可以快速准确地计算出任一地块或蚕场土壤侵蚀量, 并能对其未来的趋势作出较为准确的预测, 体现了模型在应用上具有较强的科学性和实用性。由于研究中因素的选择和水平的确定, 充分考虑了辽东山区的自然地理特征及蚕场的具体情况, 且试验区的选择具有典型性和代表性, 所以该模型在整个辽东山区柞蚕场的土壤侵蚀评价上可广泛应用。

(上接第 92 页)

术均能较为显著地增加产量和水分生产率。

(2) 沟播及缩行密植等优化土壤水流动系统技

### 参考文献:

- [1] 吴景社, 李久生, 李英能, 等. 21 世纪节水农业中的高新技术重点研究领域[J]. 农业工程学报, 2000(1): 9~13.
- [2] 李英能. 节水农业新技术[M]. 江西: 江西科学技术出版社, 1998.
- [3] 王会肖, 刘昌明. 作物水分利用效率内涵及研究进展[J]. 水科学进展, 2000(1): 99~104.
- [4] 靳孟贵, 张人权, 高云福, 等. 土壤水流动系统及其应用初探[J]. 中国农村水利水电, 1998(5): 7~10.
- [5] 靳孟贵, 张人权, 高云福, 等. 土壤水资源的特性及若干指标[J]. 地质科技情报, 1997(2): 73~78.
- [6] 逢焕成. 秸秆覆盖对土壤环境及冬小麦产量状况的影响[J]. 土壤通报, 1999(4): 174~175.
- [7] 郑大玮, 马思延. 应用中子仪开展旱地农田土壤水分研究[J]. 干旱地区农业研究, 1999(3).
- [8] 靳孟贵, 张人权, Ian Simmers, 等. 土壤水资源评价的研究[J]. 水利学报, 1999(8): 30~34.