

# 应用农田水量平衡模型估算土壤水渗漏量<sup>\*</sup>

龚元石 李保国

(北京农业大学土壤和水科学系 北京 100094)

**提 要** 建立了一个农田水量平衡模型,并据于模型假设的条件,模拟计算了在冬小麦-夏玉米及冬小麦-裸地条件下历年1m土层土壤水渗漏量。结果表明,土壤水渗漏量与季节内降水量呈正相关,但在不同作物种植制度下有不同的相关关系式。不同水文频率年型下的渗漏量具有明显的差异,湿润年型下比干旱年型下的渗漏量多70~140mm,冬小麦-裸地比冬小麦-夏玉米种植条件下的渗漏量多30~50mm。

**关键词** 农田水量平衡 土壤水渗漏 模拟模型

**分类号** P641.2

## 1 引 言

农田土壤水分平衡是指在一定时间内,作物根系层范围一定深度内得到的水分和损失的水分之间的平衡关系。根据这个原理建立的农田水量平衡模型,在估算土壤水分贮量、制订农田灌溉计划、预报作物产量以及区域水资源评价等方面得到了广泛应用<sup>[1,2,3]</sup>。

季风气候影响下的华北平原,降水在年内分配不均,冬小麦生长季内降水量小,属不产流的旱季,土壤根层渗漏量等于零<sup>[4]</sup>。区域内主要粮食作物之一夏玉米的生长期正是跨多雨的湿季。在这期间,一部分降水未被作物利用而渗漏至根层以下。从土壤水的时空调节角度来看,雨季内土壤水的渗漏量,可贮存于下层土壤或补给地下水,到了作物生长的旱季,这部分渗漏水量可通过抽地下水灌溉而补给到作物生长的根层中,从而完全或部分得到利用。因此,正确估算土壤水渗漏量及其与其它水均衡要素的关系,对区域水资源的合理利用、土壤水的调节及作物的合理布局都有十分重要的理论意义和实际价值。

## 2 材料与方法

### 2.1 农田水量平衡模型

通过对黄淮海平原水量平衡的宏观分析<sup>[5]</sup>,该地区水量交换主要在垂直方向上,在水平方向上的交换很少。因此,对于华北平原农业耕地平坦的农田可忽略其地面径流。由于不断开采地下水,除沿海一带和黑龙港部分地区的地下水埋深小于2m~3m外,其它地区的地下水

本文于1993年11月5日收到,1994年5月21日收到修改稿。

\* 属国家自然科学基金会资助项目的部分内容。

埋深一般大于 3m。据此，本模型假定地下水位较深，不考虑毛管上升水对根系层的补给。华北平原灌溉前农田 1m 土层水量平衡方程可用下式来表示：

$$\Delta W = R_a - SI - ET_a \quad (1)$$

式中  $R_a$  为降水量 (mm)； $SI$  为 1m 土层土壤水渗漏量 (mm)； $ET_a$  为农田实际蒸散量 (mm)； $\Delta W$  为 1m 土层土壤贮水量变化 (mm)。根据式 (1) 可计算逐日 (第  $i$  天) 1m 土层土壤贮水量  $W_i = W_{i-1} + R_a - SI_i - ET_a$  (2)

## 2.2 边界条件的假定

2.2.1 下边界渗漏水量 ( $SI$ ) 土壤水渗漏量可通过如下的假定进行计算：

(1) 当 1m 土层土壤贮水量低于或等于田间持水量 ( $FK$ )，即  $W_i \leq FK$  时，则

$$SI_i = 0 \quad (3)$$

(2) 当 1m 土层土壤贮水量大于田间持水量，即  $W_i > FK$  时，则

$$SI_i = W_i - FK \quad (4)$$

2.2.2 农田实际蒸散量 ( $ET_a$ ) 农田实际蒸散量主要取决于农田潜在蒸散量 ( $ET_p$ ) 以及制约蒸发蒸腾过程的土壤水分状况，在模型中分两种情况考虑：

(a) 当  $R_{a_i} \geq ET_{p_i}$  时，或  $R_{a_i} < ET_{p_i}$  但  $W_{p_{i-1}} \geq 50\% \cdot nFK$  时， $ET_{a_i} = ET_{p_i}$  (5)

(b) 当  $R_{a_i} < ET_{p_i}$ ，且  $W_{p_{i-1}} < 50\% \cdot nFK$  时，

$$ET_{a_i} = R_{a_i} + W_{i-1} * (1 - e^\beta) \quad (6)$$

$$\beta = (R_{a_i} - ET_{p_i}) / nFK$$

式中  $W_p$  为土壤有效水量 (mm)； $nFK$  为土壤最大有效水量 (mm)。

联合国粮农组织建议用参考作物蒸散量 ( $ET_0$ ) 和作物特性对作物需水的影响即作物系数 ( $K_c$ ) 来计算农田潜在蒸散量<sup>[6]</sup>： $ET_p = K_c * ET_0$  (7)

在实际情况下，华北平原在夏季不可能存在完全的裸地 (即不长任何植被)。所以本文假定裸地的作物系数为常数，且相当于夏玉米播种或幼苗期的作物系数。计算参考作物蒸散量选用联合国粮农组织公布的 Penman 修正式<sup>[7]</sup>，该公式曾有人用以计算华北平原的参考作物蒸散量<sup>[8]</sup>。

2.2.3 灌溉期及灌溉量的确定 以 1m 土层土壤有效水量 ( $W_p$ ) 降至最大有效水量 ( $nFK = 180\text{mm}$ ) 的 45% 作为灌溉的水分指标，每次模拟的灌水定额为 50mm。随着蒸发蒸腾失水，当 1m 土层土壤有效水量再次降至 45% $nFK$  时，再次进行模拟灌水。在模拟过程中，假定只有在作物的需水关键期缺水才进行灌水。华北平原冬小麦的需水关键期为越冬前及返青至乳熟期，夏玉米需水关键期为拔节至灌浆期。

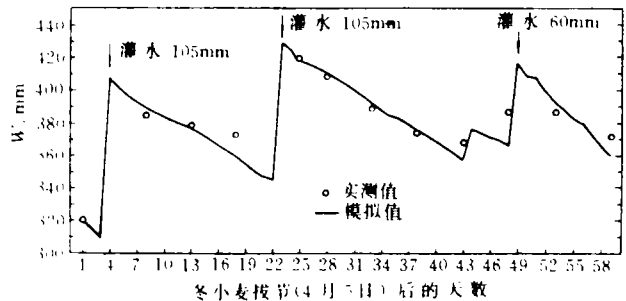


图 1 1m 土层土壤贮水量 ( $W$ ) 模拟值与实测值比较  
(作物：冬小麦，河北省曲周县，1986 年)

Fig. 1. Comparison of simulated and measured soil water storage ( $W$ ) for one meter depth soil horizon (crop: winter wheat, Quz Zhou county of Hebei province, 1986)

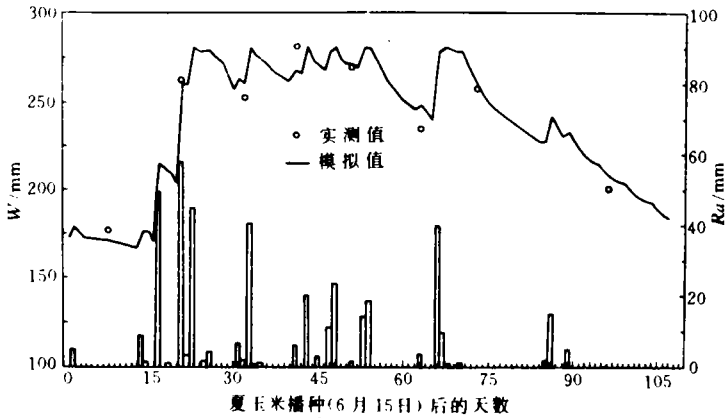


图2 1m上层土壤贮水量(W)模拟值与实测值比较  
(作物:夏玉米,北京,1993年)

Fig. 2. Comparison of simulated and measured soil water storage (W) for one meter depth soil horizon (crop: summer maize, Beijing, 1993)

### 2.3 模型的验证

为了检验模型的有效性,利用已建立的模型模拟计算了田间条件下1m土层土壤贮水量的变化,并与实测结果进行了对比。田间灌溉试验布置在北京农业大学曲周试验站及北京农业大学内科学园地,曲周试验区内1m土层为重壤及粘土(最大贮水量约440mm),种植冬小麦;北京试验区1m土层为轻壤土(最大贮水量的300mm),种植夏玉米。田间土壤水分状况用中子仪监测(曲周试验区)及打钻取土法(北京试验区)。1m土层土壤贮水量经各层次实测土壤水分含量乘以土层厚度而得。从图1及图2中可以看出,模拟值与实测结果基本一致,这说明所建立的模型用以计算土壤水分的贮量及模拟土壤水分的变化是可信的。

### 2.4 土壤水渗漏量的计算

根据建立的农田水量平衡模型,利用华北平原内北京、邢台及沧州近40年逐日气象资料,模拟计算了在冬小麦—夏玉米及冬小麦—裸地作物种植制度下的土壤水分变化。在模拟过程中,当1m土层土壤贮水量大于田间持水量时,则产生渗漏(见(3)式和(4)式)。把作物生长季内的渗漏量累加起来,即为该作物种植制度下的渗漏量。将历年的渗漏量进行逐年排频分析,得到在干旱年型(75%)、平常年型(50%)及湿润年型(25%)下的渗漏量。

## 3 结果与讨论

### 3.1 土壤水渗漏量与降水量的关系

根据北京、邢台和沧州1951年~1989年土壤水渗漏量的模拟结果,冬小麦生长季内1m土层土壤水渗漏量除个别年份外,一般都等于零。在冬小麦—夏玉米作物种植制度下的夏玉米生长季内(6月至9月),1m土层土壤水渗漏量与季节内降水量呈正相关。当季节内降水量大时,土壤水渗漏量也大,反之亦然。然而,土壤水渗漏还与季节内降水分配、降水强度以及前期土壤水分含量有关,因此,有些年份虽然季节内降水量很接近,但土壤水渗漏量却有很大差异。尽管如此,1m土层土壤水渗漏量与季节降水量还是呈比较好的相关关系。图3和

图 4 分别为北京地区夏玉米农田及裸地 1m 土层土壤水渗漏量与季节内降水量的关系曲线以及拟合的相关关系式 ( $r$  为相关系数), 邢台、沧州地区 1m 土层土壤水渗漏量与季节内降水量的相关曲线也有类似特征, 拟合的相关关系式分别为:

邢台地区 夏玉米:  $SI = 0.72R_a - 204$ ,  $r^2 = 0.85$ ; 裸地:  $SI = 0.82R_a - 221$ ,  $r^2 = 0.92$ 。  
 沧州地区 夏玉米:  $SI = 0.578R_a - 177$ ;  $r^2 = 0.71$ ; 裸地:  $SI = 0.71$ ;  $R_a - 186$ ;  $r^2 = 0.89$ 。

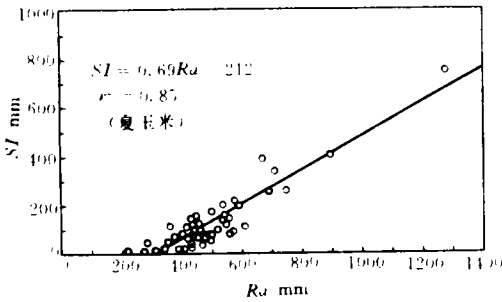


图 3 1m 土层土壤水渗漏量 (SI) 与季节内降水量 ( $R_a$ ) 的相关曲线 (北京)

Fig. 3. Correlation curve of percolation (SI) for one meter depth soil horizon and seasonal precipitation ( $R_a$ ) in Beijing

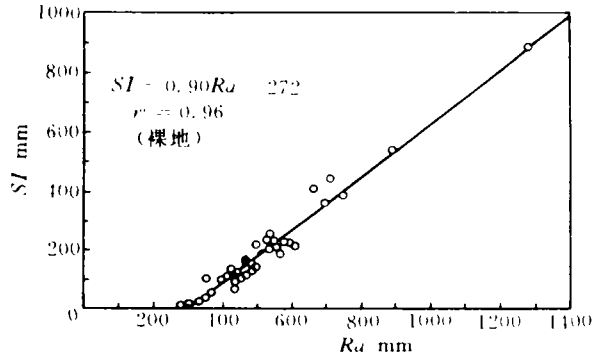


图 4 1m 土层土壤水渗漏量 (SI) 与季节内降水量 ( $P$ ) 的相关曲线 (北京)

Fig. 4. Correlation curve of percolation (SI) for one meter depth soil horizon and seasonal precipitation ( $R_a$ ) in Beijing

### 3.2 不同水文频率年型及不同种植制度下渗漏量的比较

在冬小麦—夏玉米未种植条件下, 北京地区夏季 1m 土层土壤水渗漏量在湿润年型下 (25%) 为 181mm, 中等年型下 (50%) 为 90mm, 干旱年型下 (75%) 为 49mm (表 2), 湿

表 2 不同水文频率年型及不同种植制度下夏季土壤水渗漏量

Table 1. The soil water percolation under the different hydrologic year types and various cropping systems

地 区	水文频率年型	降水量 (mm)	渗漏量 (mm)	渗漏量 (mm)
		(6 月-9 月)	(冬小麦—夏玉米)	(冬小麦—裸地)
北 京	湿润年型 (25%)	359	181	229
	中等年型 (50%)	472	90	141
	干旱年型 (75%)	364	49	96
邢 台	湿润年型 (25%)	443	74	108
	中等年型 (50%)	360	33	48
	干旱年型 (75%)	268	0	0
沧 州	湿润年型 (25%)	590	143	207
	中等年型 (50%)	470	87	117
	干旱年型 (25%)	387	6	60

润年型下比干旱年型下的渗漏量多 132mm。邢台地区湿润年型下比干旱年型下的渗漏量多

74mm, 沧州地区湿润年型下比干旱年型下的渗漏量多 137mm。在冬小麦—裸地种植制度下, 1m 土层土壤水渗漏量具有以上特征, 即湿润年型下比干旱年型下的渗漏量要大, 这种差异在沧州地区为 147mm, 北京地区为 133mm, 邢台地区为 108mm。从表 2 中还可以得出, 不同种植制度下, 1m 土层土壤水渗漏量也有较大的差异, 冬小麦—裸地条件下夏季的渗漏量比冬小麦—夏玉米种植条件下的渗漏量要大, 这种差异在北京地区约 50mm, 邢台地区为 0~34mm, 沧州地区为 30~64mm。

## 4 结 语

(1) 本文根据建立的华北平原农田水量平衡模型, 模拟计算了北京、沧州和邢台地区多年逐日土壤贮水量及 1m 土层土壤水渗漏量。华北平原冬小麦生长季内 1m 土层土壤水渗漏量等于零, 土壤水渗漏只发生在雨量充沛的夏季 (6 月~9 月), 且渗漏量与季节内降水量呈正相关。

(2) 不同水文频率年型及不同作物种植制度下的渗漏量有明显的差异。根据北京、沧州和邢台地区计算结果来看, 湿润年型下的渗漏量多 70~140mm, 在相同的水文频率年型下, 冬小麦—裸地比冬小麦—夏玉米种植条件下的渗漏量要大。

(3) 从土壤水的调节角度来看, 由于冬小麦—裸地比冬小麦—夏玉米种植制度下渗漏量多 30~50mm, 同时可免去约 50mm 夏玉米的灌溉水量。因此, 共约 80~100mm 的水量可供下茬的冬小麦, 这个结论对区域作物合理布局与调整有一定的参考价值。本模型适用于华北平原大部分地区, 具体应用时, 对于地下水埋深较浅的地区, 应考虑地下水的上补作用, 对模型进行修正。

## 参 考 文 献

- 1 Gong Yuanshi. Abschaetzung des Bewaesserungsbedarfs fuer landwirtschaftliche Nutzflaechen in der Huabei-Ebene der VR China. ISSN 0942-0754, Heft 8. 1993, 1~20
- 2 Stegman E C. Corn grain yield as influenced by timing of evapotranspiration deficits. Irrigation Science. 1982, (3): 75~87
- 3 沈振荣等. 水资源科学实验与研究. 北京: 科学技术出版社, 1992. 67~288
- 4 刘昌明, 孙仁华. 黄淮海平原农田水量平衡的计算. 黄淮海平原治理与开发研究文集. 北京: 科学出版社. 1985, (1): 91~103
- 5 石元春, 辛德惠等. 黄淮海平原的水盐运动和旱涝盐碱的综合治理. 石家庄: 河北人民出版社, 1983. 16~20
- 6 联合国粮食与农业组织. 作物需水量 (中译本), 1977: 1~10
- 7 Fre're M and G F Popov. Agrometeorological crop monitoring and forecasting. Plant Production and Protection Paper No. 17, FAO, Rome. 1979. 41~45
- 8 陈玉民, 郭国双等. 中国主要农作物需水量等值线图研究. 北京: 中国农业科技出版社, 1993. 1~5

## Using Field Water Balance Model to Estimate the Percolation of Soil Water

Gong Yuanshi and Li Baoguo

*(Department of Soil and Water Science, Beijing Agricultural University, Beijing 100094)*

**Abstract:** A field water balance model has been developed in this paper. With the assumed boundary conditions, the long-term annual percolation of soil water (PSW) is simulated for one-meter depth soil horizon for cropping systems of winter wheat/summer maize and winter wheat/bare soil. The results show that PSW is expressed as a linear function of seasonal precipitation, which is different in various cropping systems. PSW changes significantly in different hydrologic year types, which is 70~140mm more in humid years than in dry years. While in the winter wheat/bare soil it is 30~50mm more than in the winter wheat/summer maize.

**Key words:** field water balance; percolation of soil water; simulation model.