

# Green-Ampt 模型参数简化及与土壤物理参数的关系

刘姗姗<sup>1,2</sup>, 白美健<sup>1,2\*</sup>, 许迪<sup>1,2</sup>, 李益农<sup>1,2</sup>, 胡卫东<sup>3</sup>

(1. 国家节水灌溉工程技术研究中心(北京), 北京 100048; 2. 中国水利水电科学研究院水利研究所, 北京 100048;  
3. 新疆兵团水利局节水办, 乌鲁木齐 830002)

**摘要:** 简化模型表达形式从而减少参数个数, 对于 Green-Ampt 入渗模型的实际应用具有重要的现实意义。该文通过推导湿润锋处平均基质吸力与 Philip 模型中土壤吸湿率关系基础上提出了简化的 Green-Ampt 入渗模型, 基于新疆 222 兵团两块壤质土壤田块上土壤水分入渗试验资料, 分析了 Green-Ampt 简化入渗模型参数与土壤物理参数之间的关系, 建立了模型参数与土壤物理参数之间的定量经验转换函数。结果表明, 入渗参数  $A$  (组合参数) 与土壤初始含水率呈对数负相关, 相关系数为 0.77,  $A$  与土壤紧实度和黏粒含量均呈指数负相关, 相关系数分别为 0.70 和 0.74。饱和导水率  $K_s$  与土壤紧实度和黏粒呈指数负相关, 相关系数分别为 0.74 和 0.73。 $A$  和  $K_s$  与土壤初始含水率、土壤紧实度和黏粒含量呈高度和中度多元线性相关, 相关系数分别为 0.9 和 0.79。研究表明 Green-Ampt 简化入渗模型能够在一定精度下分析土壤入渗过程。

**关键词:** 土壤, 入渗, 模型, Green-Ampt 入渗模型, 土壤物理参数, 入渗参数, 转换函数

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.01.020

中图分类号: S152.7; S275.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-01-0106-05

刘姗姗, 白美健, 许迪, 等. Green-Ampt 模型参数简化及与土壤物理参数间关系[J]. 农业工程学报, 2012, 28(1): 106-110.

Liu Shanshan, Bai Meijian, Xu Di, et al. Parameters simplification of Green-Ampt infiltration models and relationships between infiltration and soil physical parameters[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(1): 106-110. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

合理确定土壤入渗参数可为灌溉系统评价和设计提供科学依据。国内外学者围绕土壤入渗参数的确定开展了大量研究工作, 多数成果是根据灌水资料对土壤入渗参数进行估算<sup>[1]</sup>, 个别试图通过已知的土壤物理特性参数直接估算入渗参数<sup>[2-3]</sup>。土壤初始含水率、土壤质地与结构、土壤有机质等土壤物理特性参数对土壤入渗特性影响显著<sup>[4-7]</sup>, 通过建立两者间的函数关系, 从而实现由土壤物理特性参数估算入渗参数, 可为区域灌溉系统性能评价中入渗参数的确定提供有效工具。

Green-Ampt 入渗模型(简称 G-A 模型)因具有一定的物理含义被广泛应用, 但其为具有多参数的隐函数形式, 入渗参数如湿润锋处平均土壤基质吸力  $S_f$  等不易测得, 给实际应用带来诸多不便, 为此, 围绕该模型的简化求解开展了相关研究。刘继龙等根据 Philip 公式中参数与 G-A 模型参数间的关系以及土壤宏观毛管长度参数的概念, 提出了不同条件下 G-A 模型累积入渗量与时间的显函数关系<sup>[8]</sup>。

张振华等根据入渗率和实际湿润锋、累积入渗量的关系, 利用图形拟合得到 G-A 模型关键参数  $S_f$  和饱和导水率  $K_s$ , 提出了 G-A 模型入渗率的显式近似解<sup>[9-10]</sup>。以上研究侧重在对 G-A 模型参数进行推导分析的基础上结合入渗试验资料估算入渗参数。由于土壤入渗特性与土壤物理特征密切相关, 且 G-A 入渗模型参数具有物理含义, 则基于土壤物理参数估算 G-A 入渗参数具有一定的理论意义和应用价值。鉴于 G-A 模型所含参数较多, 本文在推导湿润锋处平均基质吸力与 Philip 模型中土壤吸湿率关系基础上, 将 G-A 模型简化为两参数模型, 根据田间入渗试验资料, 分析简化后的 G-A 模型参数与土壤初始含水率、土壤紧实度、小于 0.01 mm 的土壤颗粒含量间关系, 提出基于土壤物理特性参数估算入渗参数的定量经验转换函数。

## 1 田间试验与方法

### 1.1 试验畦田基本情况

田间入渗试验于 2010 年 5 月冬小麦第 1 次返青灌前, 在新疆阜康市 222 兵团 2 块 200 m×43 m 的畦田内进行, 阜康市属中温带大陆性干旱气候, 冬季时间长, 春秋季节不明显, 夏季酷热, 昼夜温差大, 年均温 6.6℃, 年降水量 164 mm, 年蒸发量 2 000 mm 左右。试验畦田表层 40 cm 土层土壤质地为壤土, 小于 0.01 mm 的土壤颗粒含量变化范围为 12.4%~78.1%, 土壤初始质量含水率变化范围为 12.9%~22.1%。

### 1.2 试验设计与观测方法

在每个试验田块内根据沿畦田宽度和长度方向测点

收稿日期: 2011-04-08 修订日期: 2011-09-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(50909100); 农业科技成果转化基金项目(2009GB23320486)

作者简介: 刘姗姗(1987-), 女, 汉, 山东济南人, 主要从事地面灌溉技术研究。北京 国家节水灌溉工程技术研究中心/中国水利水电科学研究院水利研究所, 100048。Email: Liushanshan198705@163.com

\*通信作者: 白美健(1974-), 女, 四川人, 高级工程师, 博士, 主要从事节水灌溉技术研究。北京 国家节水灌溉工程技术研究中心/中国水利水电科学研究院水利研究所, 100048。Email: baimj@iwhr.com

间距等距原则布置 15 个测点, 沿畦田宽度方向布置 3 条测线, 每条测线上 5 个测点。在每个测点处对土壤水分入渗过程, 入渗试验前土壤初始质量含水率, 土壤紧实度和土壤颗粒组成进行观测。土壤水分入渗过程的观测采用双套环入渗设备, 外环直径 45 cm、内环直径 30 cm、套环高 30 cm, 安装时将双套环插入表土 20 cm。试验期间, 采用马氏瓶为内环供水, 使内环水头维持在 6cm 记录不同时间马氏瓶内水位变化, 入渗开始 10 min 内每隔 1 min 记录 1 次, 10 min 后每隔 3 min 记录 1 次, 当水位变化相对稳定, 即连续 3~5 个读数所得马氏瓶内水位下降速率保持稳定时, 则认为该点土壤水分入渗过程基本稳定, 结束观测。土壤紧实度采用 SC900 数字式紧实度仪进行测量, 在每个测点双套环安装位置周围选取 3 个点, 沿土壤深度方向, 每隔 2.5 cm 紧实度仪自动记录 1 个读数, 直到表层下 45 cm。分析时取 3 个测点 45 cm 土层的平均观测值代表该入渗测点处的土壤紧实度值。土壤初始含水率和土壤颗粒组成采用取土法进行观测, 在各入渗测点处, 分别在 0~20 cm 和 >20~40 cm 土层取土样, 将部分土样装入铝盒中供室内用烘干法观测土壤初始质量含水率, 将另一部分装入样品袋中供室内利用吸管法分析土壤颗粒组成。

## 2 结果与分析

### 2.1 G-A 模型参数简化

G-A 入渗模型通常采用下式描述<sup>[11]</sup>

$$I = (\theta_s - \theta_i) z_f \quad (1)$$

$$t = \frac{\theta_s - \theta_i}{K_s} \left[ z_f - (S_f + H) \ln \frac{z_f + S_f + H}{S_f + H} \right] \quad (2)$$

式中,  $I$  为累积入渗深度, mm;  $\theta_s$  为饱和质量含水率, %;  $\theta_i$  为初始质量含水率, %;  $z_f$  为湿润锋的位置, mm;  $t$  为入渗时间, h;  $K_s$  为饱和导水率, mm/h;  $H$  为地表积水深度, mm;  $S_f$  为湿润锋处平均基质吸力, mm。

由公式 (1) 可得到

$$z_f = \frac{I}{\theta_s - \theta_i} \quad (3)$$

将公式 (3) 代入公式 (2) 中整理得到,

$$t = \frac{I}{K_s} - \frac{(\theta_s - \theta_i)(S_f + H)}{K_s} \ln \frac{I + (\theta_s - \theta_i)(S_f + H)}{(\theta_s - \theta_i)(S_f + H)} \quad (4)$$

Swartzendruber<sup>[12]</sup>研究认为 G-A 模型中湿润锋处平均基质吸力  $S_f$  可用下式表示

$$S_f = \frac{1}{K(\Psi_0)} \int_{\psi_n}^0 k(\Psi) d\Psi \quad (5)$$

式中,  $K(\Psi_0)$  表示基质势  $\Psi_0$  对应的土壤导水率, mm/h;  $k(\psi)$  表示土壤基质势表示的土壤导水率函数;  $\psi_n$  为土壤基质势的下限, mm。

土壤宏观毛管长度  $\lambda_c$  定义如下<sup>[13-16]</sup>

$$\lambda_c = \frac{1}{K(\Psi_0) - K(\Psi_n)} \int_{\psi_n}^0 k(\Psi) d\Psi \quad (6)$$

式中,  $K(\Psi_n)$  表示基质势  $\Psi_n$  对应的土壤导水率, mm/h;  $\psi_0$  为土壤基质势的上限, mm。

当土壤初始含水率  $\theta_i$  (对应于  $\Psi_n$ ) 很低时, 则土壤导水率  $K(\Psi_n)$  很小, 取为 0, 则式 (6) 变为

$$\lambda_c = \frac{1}{K(\Psi_0)} \int_{\psi_n}^0 k(\Psi) d\Psi \quad (7)$$

在 G-A 模型假定中, 湿润锋后的土壤是处于饱和状态的, 即  $\Psi_0$  对应的含水量为饱和含水量  $\theta_s$ , 则  $\Psi_0 = 0$ , 式 (7) 变为

$$\lambda_c = \frac{1}{K(\psi_0)} \int_{\psi_n}^0 k(\psi) d\psi \quad (8)$$

因此, 在 G-A 模型假设条件下,  $S_f = \lambda_c$ 。

White 和 Sully<sup>[17]</sup>认为式 (8) 可写为下面的形式

$$\lambda_c = bS^2 / (\Delta\theta\Delta K) \quad (9)$$

式中,  $S$  表示吸湿率, mm/h<sup>1/2</sup>;  $\Delta\theta = \theta(\Psi_0) - \theta(\Psi_n)$ , %, 其中  $\theta(\Psi_0)$  和  $\theta(\Psi_n)$  分别表示基质势  $\Psi_0$  和  $\Psi_n$  对应的含水率, %;  $\Delta K = K(\Psi_0) - K(\Psi_n)$ , mm/h;  $b$  是介于 0.5 与  $\pi/4$  之间的常数, 其值取决于土壤水扩散率函数的形状, 一般可取为 0.55。

因此  $S_f$  可以表示为

$$S_f = \lambda_c = bS^2 / (\Delta\theta\Delta K) \quad (10)$$

式中,  $\Delta\theta = \theta_s - \theta_i$ , %;  $\Delta K = K(\Psi_0) - K(\Psi_n) = K(\Psi_0) = K_s$ , mm/h, 则  $S_f$  也可以表示为

$$S_f = bS^2 / (\theta_s - \theta_i) K_s \quad (11)$$

在式 (4) 中, 令

$$(\theta_s - \theta_i)(S_f + H) = A \quad (12)$$

当入渗时间  $t$  较长时可忽略  $H$ , 同时将式 (12) 代入式 (4), 再将式 (11) 代入式 (12) 可得 G-A 简化参数模型如下

$$\begin{cases} t = \frac{I}{K_s} - \frac{A}{K_s} \ln(1 + \frac{I}{A}) \\ A = (\theta_s - \theta_i) S_f = \frac{bS^2}{K_s} \end{cases} \quad (13)$$

简化后的 G-A 模型只包括入渗参数  $K_s$  和  $A$ ,  $A$  与土壤吸湿率和饱和导水率相关。

### 2.2 简化的 G-A 模型参数求解

G-A 模型中累计入渗量与入渗时间  $t$  的关系为隐函数, 本文根据田间土壤水分入渗过程实测数据, 采用实测的土壤水分相对稳定入渗率代替饱和导水率  $K_s$ , 利用非线性回归方法, 拟合估算参数  $A$ 。本研究借助 SPSS 统计软件中非线性回归模块进行分析, 根据建构的模型表示式与参数初始值, 利用迭代方法计算入渗参数  $A$ 。

### 2.3 土壤入渗特性与土壤物理参数间关系

分析单个土壤物理参数对土壤入渗特性的影响基础上, 分析多参数对其综合影响。

对于不同参数间的相关关系主要采用相关系数  $R$  描述其相关程度, 通常  $|R| \geq 0.8$ , 表明高度相关;  $0.5 \leq |R|$

<0.8, 为中度相关; 0.3≤|R|<0.5, 为低度相关; |R|<0.3, 视为不相关<sup>[18]</sup>。

### 2.3.1 土壤入渗能力与土壤物理参数间关系

本次试验中当入渗时间达到为 90 min 左右时, 土壤水分入渗过程基本趋于稳定, 故选取 90 min 累积入渗深度作为土壤入渗能力的评价指标。图 1 分别给出 90 min 累积入渗深度随土壤初始含水率、土壤紧实度和直径小于 0.01 mm 的土壤颗粒含量的变化曲线且给出了相应的经验函数关系式及相系数。

图 1 结果表明, 土壤初始含水率、土壤紧实度和直径小于 0.01 mm 的土壤颗粒含量对土壤水分累积入渗深度影响显著, 90 min 土壤水分累积入渗深度随三者的增加而减

少。与土壤初始含水率间呈对数函数关系, 相系数为 0.77, 中度相关; 与土壤紧实度和直径小于 0.01 mm 的土壤颗粒含量间呈指数函数关系, 相系数分别为 0.70 和 0.74, 呈中度相关。给定时间内土壤水分累积入渗量与入渗速度密切相关, 而土壤初始含水率、土壤紧实程度和土壤黏粒含量大小与土壤入渗速度密切相关。土壤初始含水率越大土壤基质势越大, 土壤水吸力小, 所产生的基质势梯度小, 土壤入渗速度慢; 土壤紧实度越大土壤孔隙率越小, 土壤水流运动受制于小孔隙, 导致土壤水分入渗率小; 同样物理性黏粒含量高的土壤, 颗粒细微, 固体相表面积大, 表面能高, 吸附能力强, 粒间孔隙小, 吸水、保水性能强, 土壤水流运动缓慢, 土壤水分入渗率小。

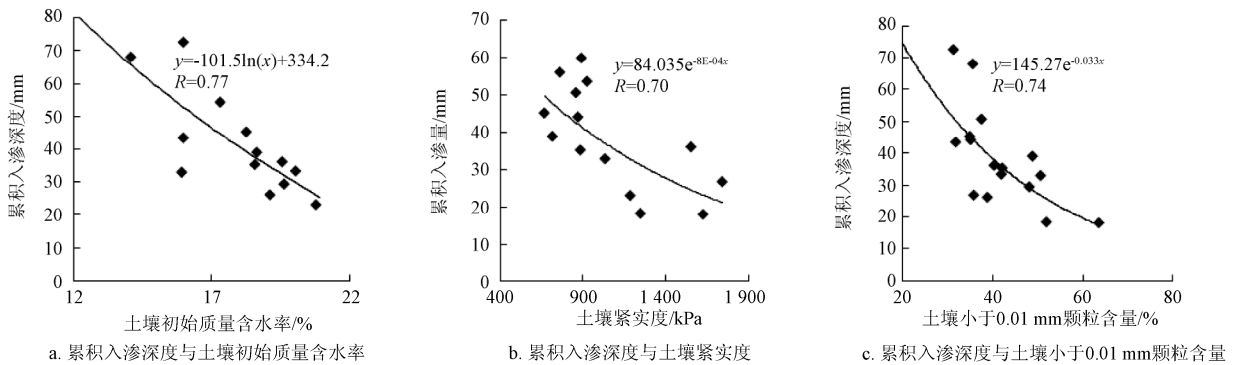


图 1 90 min 累积入渗深度与土壤物理参数间关系

Fig. 1 The relationships between cumulative infiltration after 90 minutes and soil physical parameters

### 2.3.2 饱和导水率 $K_s$ 与土壤物理参数间关系

图 2 分别给出土壤饱和导水率  $K_s$  与土壤初始含水率、土壤紧实度和直径小于 0.01 mm 的土壤颗粒含量间关系曲线且给出了相应的函数关系及相系数。结果表明  $K_s$  随土壤初始含水率的变化趋势不明显, 主要因为  $K_s$  表示土壤中

水分处于饱和状态下单位势梯度下的水流量, 与土壤含水率初始条件关系不大。但土壤紧实度和黏粒含量对土壤饱和导水率  $K_s$  影响显著, 随着紧实度和土壤黏粒含量的增加  $K_s$  逐渐减小。结果表明  $K_s$  与紧实度和土壤黏粒含量间呈指数函数关系, 相系数分别为 0.74 和 0.73, 呈中度相关。

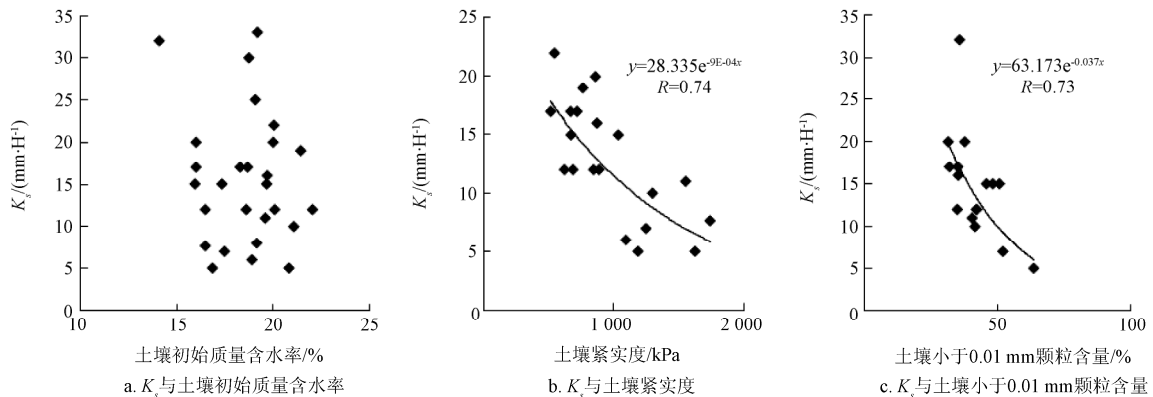


图 2 饱和导水率  $K_s$  与土壤物理参数间关系

Fig. 2 The relationships between saturated hydraulic conductivity  $K_s$  and soil physical parameters

### 2.3.3 入渗参数 $A$ 与土壤物理参数间关系

图 3 分别给出 G-A 简化参数模型中入渗参数  $A$  与土壤初始含水率、土壤紧实度和直径小于 0.01 mm 的土壤颗粒含量间关系曲线且给出了相应的函数关系式及相系数。结果表明, 各土壤物理参数对  $A$  影响显著, 主要因为在 G-A 简化参数模型中  $A$  为综合参数, 且分析得出

$A = bS^2/K_s$ , 式中土壤吸湿率  $S$  与土壤初始含水率、土壤紧实程度和土壤黏粒含量有关, 而  $K_s$  也与土壤紧实程度和土壤黏粒含量密切相关。图 3 和表 3 结果表明  $A$  随着土壤初始含水率的增加而减小, 二者具有幂函数负相关关系, 相系数为 0.75; 随着土壤紧实度的增加  $A$  逐渐增大, 两者符合指数正相关关系, 相系数为 0.73; 随

着直径小于 0.01 mm 的土壤颗粒含量的增加而增大, 两者符合幂函数正相关关系, 相关系数为 0.74。A 与单个土壤物理参数间基本呈中度相关关系。

2.3.4 G-A 简化参数模型中入渗参数的转换函数

前面单因素分析结果表明, G-A 简化参数模型中饱和导水率  $K_s$  受土壤紧实度和土壤黏粒含量影响显著, 而入渗参数 A 与土壤初始含水率、土壤紧实度和黏粒含量关系明显。实际灌溉过程中, 各因素对土壤入渗能力的影响同时存在, 故通过多元线性回归建立根据土壤物理参数值估算入渗参数的定量经验转换函数。

表 4 给出了 A 和  $K_s$  与各土壤物理参数间的定量经验

转换函数。图 4 给出了实测与估算所得入渗参数间的对比图。结果表明, 入渗参数 A 和  $K_s$  与 3 个土壤物理参数均呈多元线性相关关系, 相关系数分别为 0.90 和 0.79。

表 4 入渗参数 A 和饱和导水率  $K_s$  的定量经验转换函数  
Table 4 The quantitative experience conversion function for infiltration parameters A and  $K_s$

土壤物理参数	转换函数	相关系数
入渗参数 A	$y_1=4.796-2.017x_1+0.008x_2+1.044x_3$	0.90**
饱和导水率 $K_s$	$y_2=26.599-0.006x_2-0.187x_3$	0.79**

注:  $x_1$  为土壤初始含水率, %;  $x_2$  为土壤紧实度, kPa;  $x_3$  为直径小于 0.01 mm 的土壤颗粒含量, %;  $y_1$  为入渗参数 A;  $y_2$  为饱和导水率  $K_s$ 。\*\*表示显著水平为 0.01。

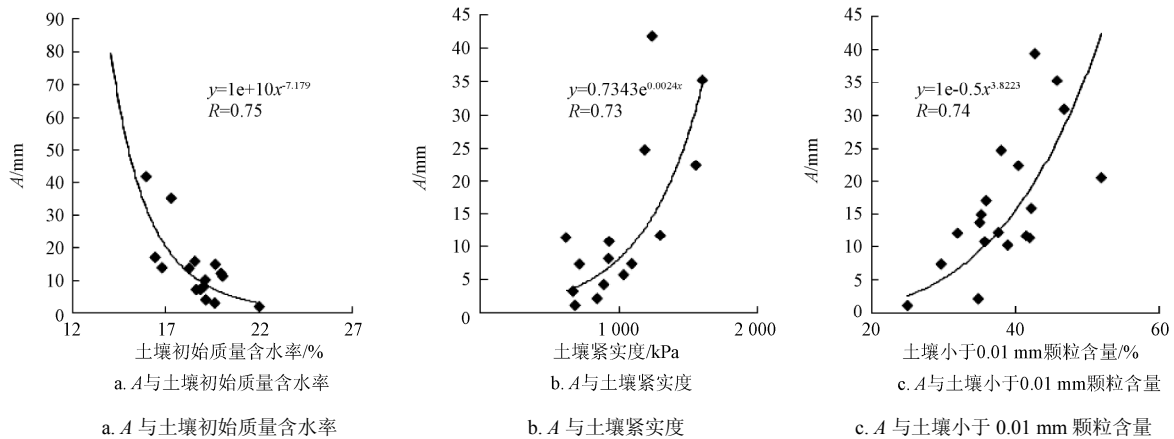


图 3 G-A 简化模型中入渗参数 A 与土壤物理参数间关系曲线  
Fig. 3 The relationships between infiltration parameter A and soil physical parameters

3 结论

在推导湿润锋处平均基质吸力与 Philip 模型中土壤吸湿率关系基础上, 对复杂的 G-A 入渗模型参数进行简化, 更易于分析土壤物理参数与土壤入渗参数的定量转换函数关系。在给定时间内, 土壤累积入渗量受土壤初始含水率, 土壤紧实度和土壤黏粒含量影响显著, 随着三者的增加土壤入渗能力减小。G-A 简化参数模型中入渗参数 A 受土壤初始含水率, 土壤紧实度和土壤黏粒含量影响显著, A 与三者呈高度多元线性相关, 相关系数为 0.90; 而土壤饱和导水率  $K_s$  主要与土壤紧实度和土壤黏粒含量相关,  $K_s$  与二者呈中度多元线性相关, 相关系数为 0.79, 两参数整体估算误差在 10%左右。因此, 根据 A 和  $K_s$  与土壤物理参数之间的定量经验转换函数对入渗参数值进行估算具有一定可行性, 但鉴于不同的土壤质地条件, 其函数形式会存在一定差异, 故有必要在不同类型土壤条件下开展试验研究, 进一步探讨其转换函数关系。

[参 考 文 献]

[1] 董孟军, 白美健, 李益农, 等. 地面灌溉土壤入渗参数及糙率系数确定方法研究综述[J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(1): 129—132.  
Dong Mengjun, Bai Meijian, Li Yinong, et al. A Review on the methods of determining infiltration parameters and roughness coefficient for surface irrigation[J]. Journal of

Irrigation and Drainage, 2010, 29(1): 129—132. (in Chinese with English abstract)  
[2] 张光辉, 邵明安. 用土壤物理特性推求 Green-Ampt 入渗模型中吸力参数  $S_f^*$  [J]. 土壤学报, 2000, 37(4): 553—557.  
Zhang Guanghui, Shao Mingan. Using soil physical properties to determine the absorptive parameters  $S_f^*$  in Green-Ampt[J]. Acta Pedologica Sinica, 2000, 37(4): 553—557. (in Chinese with English abstract)  
[3] Wosten J A M, Pachepsky Y A, Rawls W J. Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics[J]. Journal of Hydrology, 2001, 251(3/4): 123—150.  
[4] 解文艳, 樊贵盛. 土壤含水量对土壤入渗能力的影响[J]. 太原理工大学学报, 2004, 35(3): 272—275.  
Jie Wenyan, Fan Guisheng. Influence of moisture content on infiltration characteristics in field soils [J]. Journal of Taiyuan University of Technology, 2004, 35(3): 272—275. (in Chinese with English abstract)  
[5] 李雪转, 樊贵盛. 土壤有机质含量对土壤入渗能力及参数影响的试验研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(3): 188—190.  
Li Xuezhuan, Fan Guisheng. Influence of organic matter content on infiltration capacity and parameters in field soils[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(3): 188—190. (in Chinese with English abstract)  
[6] 解文艳, 樊贵盛. 土壤质地对土壤入渗能力的影响[J]. 太原理工大学学报, 2004, 35(5): 537—540.

- Jie Wenyan, Fan Guisheng. Influence of soil structure on infiltration characteristics in field soils[J]. Journal of Taiyuan University of Technology, 2004, 35(5): 537—540. (in Chinese with English abstract)
- [7] 解文艳, 樊贵盛. 土壤结构对土壤入渗能力的影响[J]. 太原理工大学学报, 2004, 35(4): 381—384.
- Jie Wenyan, Fan Guisheng. Influence of soil structure on infiltration characteristics of soil[J]. Journal of Taiyuan University of Technology, 2004, 35(4): 381—384. (in Chinese with English abstract)
- [8] 刘继龙, 马孝义, 张振华. 不同条件下 Green-Ampt 模型累积入渗量显函数的适用性[J]. 应用基础与工程科学学报, 2010, 18(1): 11—18.
- Liu Jilong, Ma Xiaoyi, Zhang Zhenhua. Applicability of explicit function on cumulative infiltration of Green-Ampt model under different conditions[J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2010, 18(1): 11—18. (in Chinese with English abstract)
- [9] 张振华, 谢恒星, 刘继龙, 等. 基于图形特征的 Green-Ampt 入渗模型关键参数的  $S_f$  和  $K_s$  的简化求解[J]. 土壤学报, 2006, 43(2): 203—208.
- Zhang Zhenhua, Xie Hengxing, Liu Jilong, et al. A simplified solution to key parameters  $S_f$  and  $K_s$  in graphics-based Green-Ampt infiltration model[J]. Acta Pedologica Sinica, 2006, 43(2): 203—208. (in Chinese with English abstract)
- [10] 张振华, 潘英华, 蔡焕杰, 等. Green-Ampt 模型入渗率显式近似解研究[J]. 农业系统科学与综合研究, 2006, 22(4): 308—311.
- Zhang Zhenhua, Pan Yinghua, Cai Huanjie, et al. Approximate explicit solution to infiltration rate of Green-Ampt infiltration formula[J]. System Science and Comprehensive Studies in Agriculture, 2006, 22(4): 308—311. (in Chinese with English abstract)
- [11] 雷志栋, 杨诗秀, 谢森传. 土壤水动力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1988.
- [12] Swartzendruber D. Derivation of a two-term infiltration equation from the Green-Ampt model[J]. Journal of Hydrology, 2000, 236(3/4): 247—251.
- [13] Bouwer H. A study of final infiltration rates from cylinder infiltrometers and irrigation furrows with an electrical resistance network[J]. Transactions 7<sup>th</sup> International Congress of Soil Science, 1960, 1(7): 448—456.
- [14] Bouwer H. Unsaturated flow in ground-water hydraulics[J]. Journal Hydraulics Division, American Society of Civil Engineers, 1964, 90(HY5): 121—144.
- [15] Philip J R. Reply to “comments on “steady infiltration from spherical cavities”[J]. Soil Science Society of America Journal, 1985, 49(3): 788—789.
- [16] Raats P A C, Gardner comparison of empirical relationships between pressure head and hydraulic conductivity and some observation on radially symmetric flow[J]. Water Resource Research, 1971, 7(4): 921—928.
- [17] White I, Sully M J. Macroscopic and microscopic capillary length and time scales from field infiltration[J]. Water Resource Research, 1987, 23(8): 1514—1522.
- [18] 刘大海, 李宁, 晁阳. SPSS15.0 统计分析从入门到精通[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.

## Parameters simplification of Green-Ampt infiltration models and relationships between infiltration and soil physical parameters

Liu Shanshan<sup>1,2</sup>, Bai Meijian<sup>1,2</sup>, Xu Di<sup>1,2</sup>, Li Yinong<sup>1,2</sup>, Hu Weidong<sup>3</sup>

(1. National Center of Efficient Irrigation Engineering and Technology Research, Beijing 100048, China;

2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100048, China;

3. Water Conservation Office of Xinjiang Corps Water Conservancy Bureau, Urumqi 830002, China)

**Abstract:** Simplifying the Green-Ampt infiltration model type and reducing its number of parameters have important significance for the practical application of the model. Based on the derivation of the relationship between the average matrix potential suction of the wetting front and the soil sorptivity of Philip model, the simplified Green-Ampt infiltration model was proposed. Using the field observed data obtained from two loam soil fields of 222 corps in Xinjiang province, the relationships between parameters of simplified Green-Ampt model and soil physical parameters were analyzed and then the quantitative experience conversion function was constructed. Results showed that infiltration parameter  $A$  was logarithm negative correlated with initial water content, and the correlation coefficient was 0.77.  $A$  was exponential negative correlated with soil compaction and clay content, and the coefficient was 0.70 and 0.74 respectively. Saturated hydraulic conductivity  $K_s$  was exponential negative correlation with soil compaction and clay content, and the coefficient was 0.74 and 0.73 respectively. High multiple linear correlation was found between  $A$  and soil physical parameters, and the correlation coefficient was 0.90. There was medium multiple linear correlation between  $K_s$  and soil physical parameters, and the correlation coefficient was 0.79. The average relative error between observed data and infiltration parameters obtained by experience conversion function was about 10%. The results indicated that the simplified Green-Ampt model has certain precision in simulating the soil infiltration process.

**Key words:** soils, infiltration, models, Green-Ampt infiltration model, soil physical parameters, infiltration parameters, conversion function