

线性根系吸水模型在土壤-作物系统中的应用*

田哲旭

王 坚

(中国农业科学院土壤肥料研究所, 北京 100081)

(中国农业大学资环学院)

摘要: 在土壤-作物系统中,根系吸水模型是连接土壤和作物的桥梁,然而又是最难处理的一个环节。按植物生长发育规律模拟根系在各个土层中生长速率和绝对量分布的方法,难以获得满意的结果。将几个影响根系吸水的因素综合起来考虑,用线性方程进行描述,建立根系吸水模型,是近些年来出现的一个较为简捷的新途径。本文通过对北京地区冬小麦田间试验的实际测定与模拟结果相比较,证明了在土壤-作物系统中采用线性根系吸水模型可取得较为理想的结果。

关键词: 土壤-作物系统; 根系吸水模型; 水分胁迫

中图分类号: S152.75

根在土壤水-作物-大气循环体(SPAC)中起着重要的作用。土壤中的水分常因灌水、降雨、蒸发和蒸腾而发生频繁的时空变化,建立一个科学的根系吸水模型对土壤-作物系统模型的精确度和有效性将是至关重要的。目前模型种类很多,主要分两个大类,一类是解释性模型,对作物整个生长发育过程的规律逐段地进行解析;另一类是描述性模型,不考虑作物生长的内在过程,而对生长发育中的各种现象进行描述。如美国的 CERES 系统,根据作物生长规律计算根系的生长速率和生长量的绝对值,进而计算根与土壤之间的物质交换,但这样作往往得不到满意的结果。近年来许多研究者开始采用函数描述形式,表达根系吸水过程和特点,效果较好。本文着重探索线性根系吸水模型在土壤-作物系统中的有效性。

1 材料和方法

1.1 线性根系吸水模型 早在 1978 年 Feddes^[1]就提出了根系吸水的线性关系式:

$$S_{\max} = T_p / Z_r \quad (1)$$

式中, S_{\max} 为充分供水条件下即不受土壤含水量限制时的根吸水率($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$)

T_p 为作物潜在蒸腾($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$)

Z_r 为扎根深度 (cm)

式(1)把根系在各个土层的吸水量描述成均一的,这与实际情况不符。因为在最大根深处根系为零,吸水也为零;而在近地表处根系密度最大,根系吸水量也应最多。Hoogland, et al.^[2]提出如下线性关系式:

$$F(z) = a - b|Z_r| \quad |Z| < |Z_r| \quad (2)$$

式中, $F(z)$ 为吸水系数, a, b 为常数, Z_r 为最大根深。公式(2)的问题在于系数 a, b 难以确定,因而影响了它的应用性。为了避开这个难点,Prasad^[3]对式(2)进行了改造,建立了从表层到最大根深处根系吸水呈线性递减的模型,如图 1 所示。该线性关系可表达如下式:

投稿日期: 1995-05-02

* 国家自然科学基金资助项目

$$F(z) = 2(1 - z/Z_r) / Z_r \tag{3}$$

式(3)是目前被广泛引用的一个线性方程,常在描述性模型中用以计算各土层含水量的消长。根系实际吸水受土壤阻力、根阻力和大气蒸发力等因素所制约。当根层有效含水率较高时,土壤对水进入根系的阻力较小,于是大气蒸发力成为影响作物蒸腾的主要因素;当土壤水基模势降至-0.08 MPa 以下时,开始对根吸水产生胁迫。此外,随着作物的生长发育,根系逐渐衰老,吸水性也必然降低和出现胁迫。因此在应用线性根系吸水模型时还需确定土壤水胁迫和根系衰老胁迫因子。

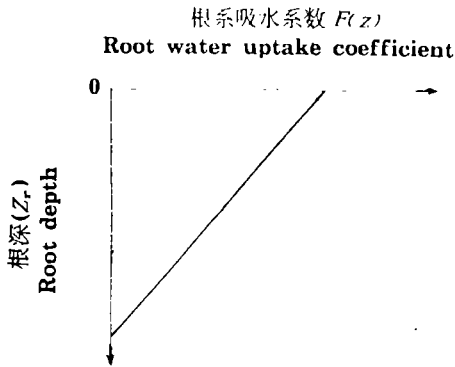


图1 根系吸水系数 $F(z)$ 与根深的函数关系
Fig.1 Root water uptake coefficient $F(z)$ as a function of root depth

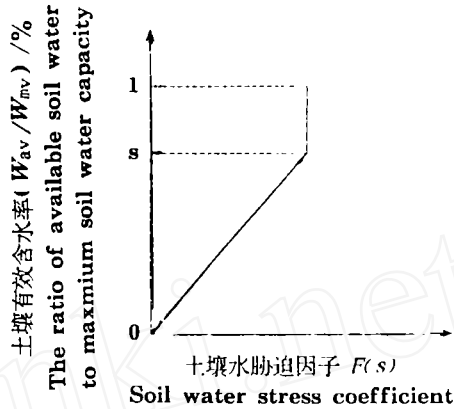


图2 土壤水胁迫因子与土壤有效水率之间的函数关系
Fig.2 The function relation between soil water stress factor and soil water availability

1.1.1 水分胁迫因子 土壤水胁迫因子可通过一个双线性函数给出,如图2所示。这里有一个阀值点 s ,当土壤有效含水率大于该值时,对根系吸收不产生胁迫;当有效含水率低于该阀值时,土壤对根吸水的胁迫与土壤有效含水率呈反相关(Ritchie, Mccree and Fernandez)^[4,5]。限制因子 $F(s)$ 可通过如下线性关系求得:

$$W_{av}/W_{mv} > s \quad F(s) = 1 \tag{4}$$

$$W_{av}/W_{mv} \leq s \quad F(s) = 1/s \times W_{av}/W_{mv} \tag{5}$$

W_{mv} 为土壤最大有效储水量 (mm)

W_{av} 为土壤实际有效储水量 (mm)

s 即为阀值点,对于不同的土壤和作物该值是不同的。

按照 Slabber's^[6] 建立的计算蒸腾胁迫因子 S_p 的方程:

$$S_p = 0.94 + (0.26 \times \Psi_{cl} / T_p) \tag{6}$$

式中, S_p 为蒸腾胁迫因子

Ψ_{cl} 为作物萎蔫临界水势,约-1.0 MPa 左右,对不同作物该值不一样,阀值点 s 可按下式计算:

$$s = 0.5S_p \tag{7}$$

在进行土壤-作物系统模拟时,应根据土壤的剖面特性选取一定土层深度,分成若干层

次,分别计算根系在其中的吸水量。

1.1.2 根系衰老胁迫因子 作物的生长发育主要与积温和有关,作物的每一作物品种的各发育阶段所需积温是一定的。当作物发育到生长阶段后期,随积温增加逐渐衰老而趋于成熟,根系也同步衰亡,其吸水性也随之降低。由于根系衰老而产生的根吸水胁迫因子,可与积温成线性相关。

$$\text{当 } \sum T < \sum T_0 \text{ 时 } F(T) = 1 \tag{8}$$

$$\text{当 } \sum T \geq \sum T_0 \text{ 时 } F(T) = 2(1 - \sum T / (\sum T_m - T_0)) / (\sum T_m - \sum T_0) \tag{9}$$

式中, $\sum T$ 为作物的积温, $\sum T_m$ 为作物整个生长季所需积温, $\sum T_0$ 为作物开始衰老的积温。

1.1.3 作物实际蒸腾 作物实际蒸腾可以通过潜在蒸腾、根系吸水系数、根系衰老胁迫因子和土壤水分胁迫因子综合计算得到:

$$T_a = \int_0^{Z_r} T_p \times F(z) \times F(T) \times F(s) dz \tag{10}$$

T_a 为作物的实际蒸腾 ($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$)

公式(10)便是线性根系吸水模型,可将它直接纳入土壤-作物系统中,逐日模拟各土层的水分动态。

1.2 试验条件 冬小麦田间试验布置在北京农业大学科学园内。土壤为草甸褐土,轻壤。试验分高灌水区(整个生育期灌水 210 mm)和低灌水区(灌水 160 mm),3 个

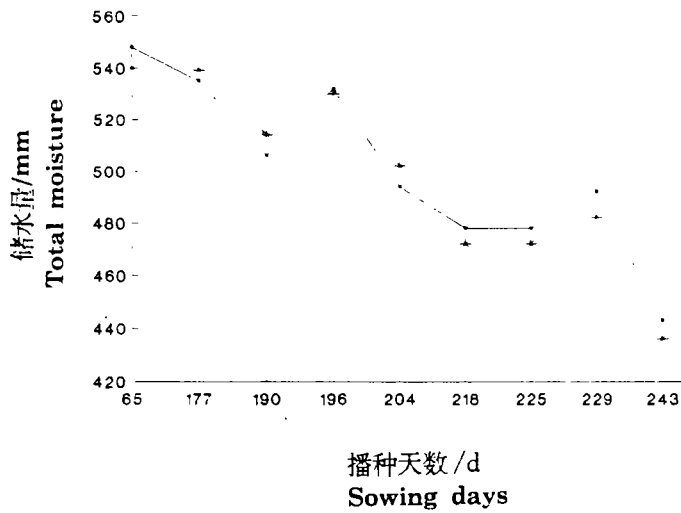


图 3 高灌水区 2 m 土层储水量田间实测值与模拟值比较
Fig. 3 The comparison between actually measured total soil moisture of 2m soil profile in wheat field and simulation value in high irrigation treatment

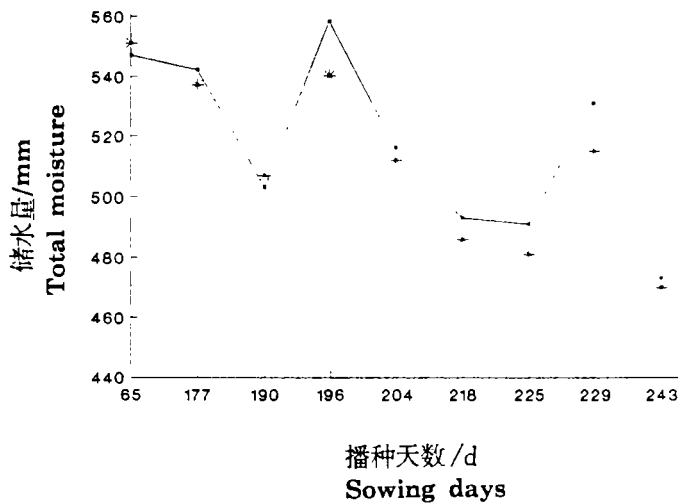


图 4 低灌水区 2 m 土层储水量田间实测值与模拟值比较
Fig. 4 The comparison between actually measured total soil moisture of 2m soil profile in wheat field and simulation value in low irrigation treatment

平行。小区面积为 10 m×4 m,小区内埋设中子管和张力计以测定土壤剖面的含水量和土水势。

2 模型验证与分析

在冬小麦整个生育期应用线性根系吸水模型模拟的结果表明,麦田 2 m 土体内总储水量与实际测定的结果很接近,无论在高灌水区 and 低灌水区,模拟值与实测值之间的误差最大不超过 5%(见表 1 和图 3,图 4),这对甚为复杂的土壤水动态来说,可算较为满意。如果对各个土层的含水量(体积含水量 θ_v)进行比较,分别画出不同生育阶段的土壤含水量剖面分布图(见图 5 和图 6),两图分别给出了高、低两种灌水处理,播种 177 d, 204 d 和 234 d 的 2 m 土层各层含水量的实测值与模拟值,图中曲线为模拟值曲线,散点为实测值,可以看到模拟与

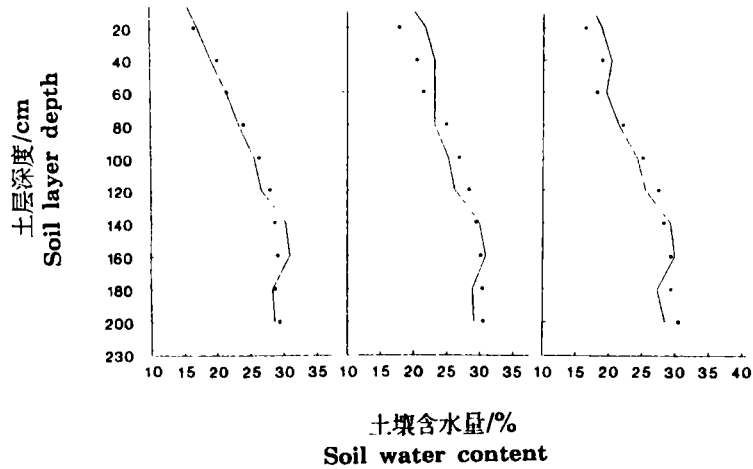


图 5 高灌区 2 米土层不同深度含水量的实测值与模拟值的比较
Fig. 5 The comparison between actually measured soil water content of different depth in 2 meters profile and the simulation value in high irrigation treatment.

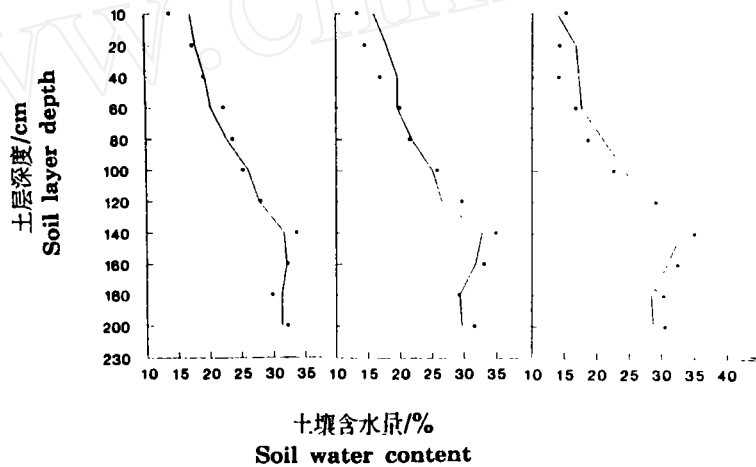


图 6 低灌区 2 米土层不同深度含水量的实测值与模拟值的比较
Fig. 6 The comparison between actually measured soil water content of different depth in 2 meters profile and the simulation value in low irrigation treatment.

实测结果也较为一致。但表层 0~20 cm 的含水量差别较大些,这可能由于试验区处于干旱-半干旱季风气候区,4~5 月间风速很大,无论用 Taylor-Preistly 或 Penman-Monteith 方程,都难以精确模拟大气蒸发力的结果。这尚待今后研究和改进。

1990~1993 年在同一地块布置了 3 次同样的试验,3 年的检验结果基本一致。

3 结论

在一般天气条件下,将线性根系吸水模型用于土壤-作物系统中能够较准确地模拟田间的实际耗水状况。无论 2 m 土体的储水量或者各个土层的含水率在时空上的变化,其计算

表 1 土壤中实测储水量(mm)与模拟值的比较(2m 土体)
Table 1. The comparison between actually measured total soil water moisture of
2 meters soil profile in wheat field and simulation value.

播种天数 Sowing days	低灌水区 Low irrigation treatment			高灌水区 High irrigation treatment		
	实测值 Measured values	模拟值 Simulation values	误差% Error/%	实测值 Measured values	模拟值 Simulation values	误差% Error/%
	65	548	540	-1.5	551	547
177	535	539	0.7	537	542	0.9
190	506	514	1.6	507	503	-0.8
196	532	530	-0.4	540	558	3.3
204	494	502	1.6	512	516	0.8
218	478	472	-1.3	486	493	1.4
225	478	472	-1.3	481	491	2.1
229	492	482	-2.1	515	531	3.0
243	423	436	1.6	470	473	0.6

值和实测值都基本一致。因此可以认为,用较为简捷的线性根系吸水模型来描述复杂的土壤根系吸水过程可能取得较为理想的结果,这对土壤-作物系统的广泛应用是十分有益的。

参 考 文 献

- 1 Feddes R A, Kowalik P J, Zaradny H. Simulation of field water use and crop yield. Pudoc Wageningen, 1978, 189
- 2 Hoogland J C, Feddes R A, Belmans C. Root water uptake model depending on soil water pressure head and maximum extraction rate. Acta Horti, 1981, 119: 123~131
- 3 Mccree K J, Ferndandez C J. Simulation model for studying physiological water stress response of whole plants. Crop Sci, 1989, 29: 353~360
- 4 Prasad R. A linear root water uptake model. J Hydrol, 1986, 99: 297~306
- 5 Ritchie J T. Soil water availability. Plant and Soil, 1981, 58: 327~338
- 6 Slabbers P J. Practical prediction of actual evapotranspiration. Irrig Sci, 1980, 1: 185~196

The Application of Linear Root Water Uptake Model in Soil-Plant System

Tian Zhexu

(Soil and Fertilizer Institute, CAAS, Beijing 100081)

Wang Jian

(China Agricultural University)

Abstract: In soil-plant system, linear root water uptake model is a linkage between soil and plant. It is a key difficulty to establish a root water uptake model which used satisfactorily. The simulation of absolute root quantity, according to plant growth pattern, can not do well to obtain satisfactory results. One of the most research methods used in recent years is to use linear equation to describe several factors comprehensively and set up root water uptake model. This article through the comparison between measured results in winter wheat field in Beijing area and simulation values, demonstrated that using linear root water uptake model in soil-plant system can obtain satisfactory results.

Key words: soil-plant system; root water uptake model; water stress