

小管出流灌溉方式下日光温室番茄水分生产函数模型研究

王文娟, 王铁良, 李 波, 王 斌, 陈天博

(沈阳农业大学 水利学院, 辽宁 沈阳 110866)

摘 要:以“达尔文”番茄为试材,采用了 Jensen 模型和 Stewart 模型,研究日光温室小管出流条件下番茄水分生产函数的变化规律。结果表明:从敏感系数、模型的拟合优度、残差平方和 F 检验结果方面来看, Jensen 模型最符合番茄的水分生产函数。其苗期、开花期、结果期、结果盛期和结果后期敏感系数分别为 0.005、0.039、0.102 和 0.012。

关键词:日光温室;番茄;水分生产函数

中图分类号:S 641.226.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2012)03-0040-03

如何利用有限的水资源通过高效的节水灌溉方式使作物获得最大的产量、最佳的经济效益是目前的研究热点,而研究作物水分生产函数是解决该方法之一^[1]。目前,就我国对作物水分生产函数进行的试验研究情况来看,郑健等^[2]研究了日光温室膜下滴灌条件下小型西瓜的产量影响因素通径分析和水分生产函数,采用 E601 型蒸发器蒸发量控制灌溉水量,利用 Jensen 模型进行水分生产函数求解,建立了西瓜的水分生产函数。王加蓬等^[3]研究了日光温室膜下滴灌条件下甜瓜的耗水规律、产量和水分生产函数,应用 Jensen 模型拟合了甜瓜的水分生产函数。孙宇光等^[4]采用纸筒盆栽的方法,利用 Jensen 模型进行水分生产函数求解,建立了甜菜的水分生产函数。

该试验在温室内采用桶栽方式和小管出流的灌溉方法针对秋、冬茬番茄展开研究。旨在获得上述条件下番茄各个生育阶段的水分敏感系数,确定番茄水分生产函数模型,为优化温室番茄灌溉制度奠定基础^[5]。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试番茄品种为荷兰的“达尔文”,以秋、冬茬进行试验,定植期在 9 月下旬,秧苗处在四叶一心至五叶一心期。

第一作者简介:王文娟(1987-),女,硕士,现从事温室节水灌溉技术和理论的研究工作。E-mail: wangwenjuan20061987@126.com。

责任作者:王铁良(1965-),男,博士,教授,现从事节水灌溉和生态环境工程研究工作。

基金项目:辽宁省科技厅农业攻关重大资助项目(2008212003);沈阳市科技局农业攻关资助项目(F10-092-3-00)。

收稿日期:2011-11-03

1.2 试验区概况

该试验在沈阳农业大学水利学院综合试验基地日光温室中进行,试验土壤为棕壤,土壤容重 $\gamma=1.52 \text{ g/cm}^3$,田间持水量为 $\theta_t=40.9\%$ (体积含水率)。试验土壤理化性质见表 1。

表 1 试验土壤基本理化性质

全氮	全磷	全钾	碱解氮	速效磷	速效钾	有机质	pH
$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	
2.59	2.34	30.25	102.42	1196.97	326.25	19.6	6.38

1.3 试验方法

1.3.1 番茄水分胁迫设计 试验共设 13 个处理,设 1 个为清水对照,3 次重复。将番茄生长期划分为苗期、开花期、结果期、结果盛期、结果后期 4 个阶段。灌水量计算公式:

$$Q=(\theta_t-\theta_s) \times s \times h \times p \quad (1),$$

式中: Q 为番茄的灌溉水量, m^3 ; θ_t 为田间持水量,即土壤含水量上限值; θ_s 为土壤体积含水量,即实测土壤含水量平均值; s 为试验小区面积, m^2 ; h 为番茄的计划湿润层深度, m ; p 为试验小区内土壤湿润比,小管出流取 $p=0.9$ 。

作物耗水量是指作物在任一土壤水分条件下的植株蒸腾量、棵间蒸发量以及构成植株体的水量之和。番茄各阶段耗水量由水量平衡法计算,其公式如下:

$$ET_i=I_i+P_i+W_i-W_{i+1}-K_i \quad (2),$$

$$W_i=10 \times H \times (\theta_i-\theta_w) \quad (3),$$

$$W_{i+1}=10 \times H \times (\theta_{i+1}-\theta_w) \quad (4),$$

式中: ET_i 为第 i 生育阶段内的作物耗水量, mm ; I_i 为第 i 生育阶段作物灌水量, mm ; P_i 为第 i 生育阶段内降水量, mm ,温室内无降雨,此项为零; W_i 、 W_{i+1} 为第 i 生育阶段初、末土壤含水量, mm ; K_i 为第 i 生育阶段渗漏

量,mm;H 为计划湿润层深,mm; θ_w 为凋萎含水率,%; θ_i 、 θ_{i+1} 为第 i 生育阶段初、末土壤体积含水率,%。

作物水分生产函数是根据作物的水分与产量之间的数量关系来建立不同类型的模型。简单分类如下,(5)是以作物需水量为变量,得出不同生育阶段不同程度的水分亏缺与产量的关系;(6)是建立作物生长过程干物质累计量与不同水分状况之间的关系。该本文将采用加法模型 Stewart 模型和乘法模型 Jensen 模型为代表的水分生产函数模型,这 2 种模型对敏感系数进行求解,其数学表达式如下:

$$\frac{Y_a}{Y_m} = \prod_{i=1}^n \left(\frac{ET_a}{ET_m} \right)^{\lambda_i} \tag{5},$$

$$\frac{Y_a}{Y_m} = 1 - \sum_{i=1}^n A_i \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m} \right)_i \tag{6},$$

式中: Y_a 为实际腾发量对应的作物实际产量,kg/hm²; Y_m 为潜在腾发量对应的作物潜在产量,即充分供水条件下的作物产量,kg/hm²; ET_{ai} 、 ET_{mi} 分别为第 i 阶段的实际腾发量、潜在腾发量,mm; λ_i 、 A_i 为第 i 生育阶段的水分敏感指数; n 为划分的作物生育期阶段数; i 为作物生育期阶段编号。

根据番茄不同生育阶段根系活动范围的变化,主要根群分布于 30 cm 的土层中,试验设计中控制的土壤湿润层深度不同,苗期 20 cm、开花着果期 40 cm、结果盛期 40 cm、结果后期 40 cm,水量平衡按 40 cm 土层计算。以灌水控制下限范围作为控制土壤水分的指标,各阶段的水分处理方案见表 2。

表 2 水分胁迫试验设计

处理	苗期/%	开花着果期/%	结果盛期/%	结果后期/%
CK	80~85	80~85	80~85	80~85
1	50~55	75~80	80~85	75~80
2	60~65	75~80	80~85	75~80
3	70~75	75~80	80~85	75~80
4	70~75	50~55	80~85	75~80
5	70~75	60~65	80~85	75~80
6	70~75	70~75	80~85	75~80
7	70~75	75~80	50~55	75~80
8	70~75	75~80	60~65	75~80
9	70~75	75~80	70~75	75~80
10	70~75	75~80	80~85	50~55
11	70~75	75~80	80~85	60~65
12	70~75	75~80	80~85	70~75
计划湿润层/cm	20	40	40	40

注:土壤含水率下限以田间持水率的百分数计,上限均为田间持水率。

1.3.2 试验小区布置 采用桶栽方式,桶高 60 cm,直径 50 cm,装土高度 50 cm,双层桶底,间隔 10 cm,上层有 7 孔,达到通气渗水的作用。底层有 1 个孔外接滤水管,可将渗水排出;桶内由下到上采用“纱网+卵石+纱

网+土壤”的方法,土壤层层压实,并放入 TDR 测管来监测土壤含水量的变化。定植后在桶上布置小管出流并覆膜,灌水量由水表控制,棵间蒸发量可不计。试验小区布置见图 1。

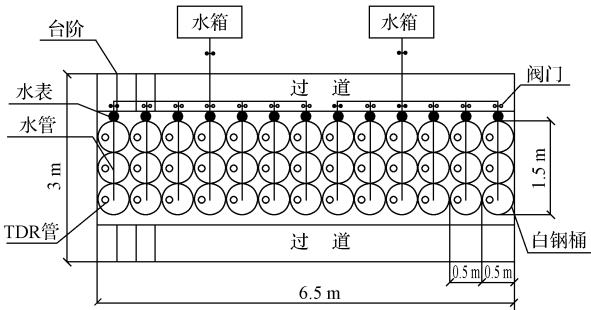


图 1 日光温室桶栽布置图

1.4 项目测定

形态指标测定:每隔 5 d 用钢尺逐棵测定株高、游标卡尺测定茎粗;产量的测定:果实成熟过程中,用电子称称重累计求和,得出总产量;土壤含水率的测定:采用时域反射仪每隔 5 d 测定 1 次,灌水前后加测,测定深度为 10、20、30 和 40 cm。该文采用 Spss 软件中的非线性回归分析计算模型中的敏感系数。

2 结果与分析

2.1 番茄各阶段需水量及产量

由表 3 可知,水分利用效率比较高的 3 个处理依次为 4、6、10,产量比较高的 3 个处理依次为 5、8、3,结果表明,适当的水分亏缺有利于提高番茄的水分利用效率和产量。

表 3 番茄各阶段需水量及产量

序号	全生育期需水量/mm	产量/kg·hm ⁻²	水分利用效率/kg·m ⁻³
CK	221.05	52 000.93	23.52
1	163.36	49 500.14	30.30
2	198.84	52 441.61	26.37
3	207.44	56 326.96	27.15
4	118.80	49 550.82	41.71
5	278.62	60 050.27	21.55
6	143.82	52 003.18	36.16
7	217.37	55 600.29	25.58
8	178.10	59 936.31	33.65
9	186.84	55 000.39	29.44
10	162.32	50 000.27	35.13
11	189.49	50 950.41	26.89
12	237.82	41 500.84	17.45

2.2 日光温室番茄水分生产函数

由表 4 可知,各生育期 λ 值从高到低的阶段顺序依次为:Stewart 模型中苗期>结果盛期>开花着果期>结果后期,Jensen 模型中结果盛期>开花着果期>结果

后期>苗期。 λ 值越高,作物对水分的需求就越高,对缺水越敏感,如果遭受水分胁迫,将不可避免地造成减产。Stewart 模型中出现不合理现象,即番茄结果后期的敏感系数为负值,实际生产中番茄的产量不会随着缺水量的增加而逐渐提高。根据 R^2 分析可得,Stewart 模型的拟合优度低于 Jensen 模型的拟合优度^[6]。 $F > F_{0.01}$,说明回归方程达到极显著水平,Stewart 模型中 $F < F_{0.01}$,Jensen 模型中 $F > F_{0.01}$,其产量和蒸腾量之间存在线性关系,模型合理。根据 S 分析可知,Stewart 模型的残差平方和低于 Jensen 模型的残差平方和。根据试验结果,利用 Jensen 模型来求解水分敏感指数,得出秋冬茬番茄的番茄水分生产函数模型为:

$$\frac{Y_a}{Y_m} = \left(\frac{ET_1}{ET_m}\right)_1^{0.005} + \left(\frac{ET_1}{ET_m}\right)_2^{0.039} + \left(\frac{ET_1}{ET_m}\right)_3^{0.102} + \left(\frac{ET_1}{ET_m}\right)_4^{0.012}$$

式中角标分别代表番茄的 4 个生育期阶段。

表 4 试验分析参数

敏感系数	苗期	开花结果期	结果盛期	结果后期	R^2	F	S
Stewart 模型	0.135	0.016	0.053	-0.178	0.539	4.31	0.223
Jensen 模型	0.005	0.039	0.102	0.012	0.743	99.21	0.192

3 结论

通过温室内小管出流灌溉方式下针对番茄的试验

研究得到了番茄不同生育阶段的水分敏感指数,分别为 0.005、0.039、0.102 和 0.012,结果证实了 Jensen 连乘模型模拟温室番茄水分生产函数的有效性,这一变化规律符合番茄的耗水规律。可见,番茄结果盛期、开花结果期的 λ 值都很高,说明该生育阶段对水分需求的敏感程度较高,如果此阶段遭受水分胁迫,将不可避免地造成番茄生产的减产。基于此初步研究成果,可将水资源有效地分配给番茄对水分的敏感时期,以达到优化灌溉的目的。

参考文献

- [1] 马世林,王铁良,张玉龙.日光温室青椒滴灌最佳灌水下限组合试验研究[J].中国农村水利水电,2010(2):62-64.
- [2] 郑健,蔡焕杰,王健.日光温室西瓜产量影响因素通径分析及水分生产函数[J].农业工程学报,2009,25(10):30-34.
- [3] 王加蓬,蔡焕杰,王健,等.温室膜下滴灌甜瓜需水量与水分生产函数研究[J].灌溉排水学报,2009,28(2):45-47.
- [4] 孙宇光,王立坤,马永胜,等.半干旱区甜菜水分生产函数试验研究[J].节水灌溉,2009(3):12-14.
- [5] 王喜芹,李波,王铁良.日光温室青椒水粉生产函数试验研究[J].北方园艺,2010(19):44-46.
- [6] 徐淑贞,张双宝,鲁俊奇,等.日光温室滴灌番茄蓄水规律及水分生产函数的研究与应用[J].节水灌溉,2001(4):26-28.

Water Production Function of Tomato with Irrigation Method of Small Tube in Greenhouse

WANG Wen-juan, WANG Tie-liang, LI Bo, WANG Bin, CHEN Tian-bo

(College of Water Conservancy, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110866)

Abstract: Taking the 'Daerwen' tomato as test material, the change of water production function of tomato was studied with irrigation method of small tube in greenhouse by the same time commonly-used Jensen model and Stewart model were analyzed. The results showed that the Jensen model best fitted the water production function of tomato in terms of the performance of sensitive coefficient, goodness-of-fit of model, squared residuals and F-test, and the sensitive coefficient of seedling period; flowering period, fruiting period and post-fruiting period were respectively 0.005, 0.039, 0.102 and 0.012.

Key words: greenhouse; tomato; water production function