

日光温室青椒水分生产函数试验研究

王喜芹, 李波, 王铁良, 赵莹, 王斌

(沈阳农业大学 水利学院, 辽宁 沈阳 110161)

摘要:以青椒为试验材料研究在日光温室中青椒的水分生产函数。试验将青椒的生育期分为苗期、开花着果期、结果期3个阶段,以土壤体积含水率作为灌水控制指标。采用回归分析方法和SPSS数据分析应用软件,分别分析了现有的国际上应用广泛的Jensen模型、Stewart模型、Singh模型3个水分生产函数模型。从敏感系数、模型的拟合优度、残差平方和和F检验结果方面来看,Jensen模型所得到的结果最符合青椒的水分生产函数,其敏感系数苗期、开花着果期、结果期分别为0.152、0.308、0.334。

关键词:日光温室;青椒;水分生产函数

中图分类号:S 641.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2010)19-0044-03

影响作物产量的因素有水量、肥料、种子、光照、温度等,作物水分生产函数是假设肥料、种子、光照、温度等处于相同条件下,单独研究水和产量的关系。国外从20世纪60年代以来对作物水分生产函数进行了较为系统的试验研究,取得了较大程度的进展。在模型形式上,从开始的产量和总灌水量模型,到产量和总蒸发蒸腾量绝对值模型,到产量和总蒸发蒸腾量相对值模型,再到考虑供水时间对产量影响的分阶段相对值模型,使得作物水分生产函数模型结构日趋合理,拟合精度逐渐提高^[3]。我国是从20世纪80年代以来开始对作物水分生产函数进行的试验研究,目前水分生产函数在水稻、玉米、小麦、棉花等大田作物上研究较多,而在日光温室中的研究较少。2000年徐淑贞等^[4]研究了在滴灌条件下日光温室番茄的水分生产函数后,到目前为止我国又先后研究了日光温室黄瓜、甜菜、甜瓜、西瓜等作物的水分生产函数^[6-10]。现对日光温室沟灌条件下青椒水分生产函数进行试验研究,其得到的结论和青椒3个生育期的敏感系数,可以为合理制定日光温室青椒的灌溉制度提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验地基本情况

试验于2009年5月5日至8月23日在沈阳农业大学水利学院综合试验基地日光温室中进行,温室覆盖无

滴聚乙烯薄膜,整个试验小区净面积为27 m²。试验区位于北纬41°46',东经123°27',海拔44.7 m。试验土质为棕壤土,平均土壤容重为1.52,田间持水率为40.3% (体积百分数),pH 6.8;有机质含量10.31 g/kg;全氮含量为1.13 g/kg;全钾含量为20 g/kg;全磷含量为1.07 g/kg;碱解氮含量为56.86 mg/kg;速效磷含量为47.48 mg/kg;速效钾含量为140.13 mg/kg;地下水埋深大于5 m。试验材料为青椒,品种为美国绿封大甜椒。

1.2 试验设计

1.2.1 试验小区布置 共设10个处理,3次重复,其中1个为充水对照处理,为了防止不同处理间水分、养分相互渗漏,试验小区用60 cm深的塑料薄膜隔开,每个试验小区的面积为1.5 m×1.5 m=2.25 m²,试验小区行距50 cm,株距30 cm,小区布置如图1所示。灌水方式采用沟灌。为了确定温室内不同位置光照强度对青椒产量的影响,在试验小区附近沿温室跨度方向设置一个观测小区,其垄长度和温室跨度相同。

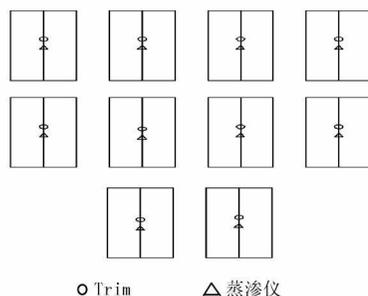


图1 青椒水分生产函数试验小区布置

1.2.2 青椒水分胁迫设计 试验将青椒全生育期分为苗期、开花着果期和结果期3个阶段。各阶段水分处理

第一作者简介:王喜芹(1986),女,硕士,现从事温室节水灌溉技术和理论的研究工作。

通讯作者:李波(1969),女,博士,副教授,现从事温室节水灌溉技术和理论的研究工作。

基金项目:辽宁省科技厅农业攻关重大资助项目(20080112-311)。

收稿日期:2010-07-02

表 1 青椒水分胁迫设计 %

处理	苗期	开花着果期	结果期
CK	85~90	85~90	85~90
1	45~50	85~90	85~90
2	55~60	85~90	85~90
3	65~70	85~90	85~90
4	85~90	45~50	85~90
5	85~90	55~60	85~90
6	85~90	65~70	85~90
7	85~90	85~90	45~50
8	85~90	85~90	55~60
9	85~90	85~90	65~70

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。

试验方案见表 1。

1.2.3 观测指标和测试方法 各处理土壤含水率采用德国进口的时域反射仪(TDR)测定,并定期采用土钻取土、烘干法测定校正,每 3 d 测量 1 次,灌水前后加测土壤含水率。试验采用卷尺测量株高、电子尺测量茎粗、钢尺测量叶面积,均每 3 d 测量 1 次。在青椒整个生育期内分别测定各小区的产量并累积。

表 2 各处理青椒需水量及产量

编号	苗期需水量/mm	开花着果期需水量/mm	结果期需水量/mm	全生育期需水量 /mm	产量 /kg·hm ⁻²	水分生产效率 /kg·m ⁻³
	(5.5~6.13)	(6.14~7.17)	(7.18~8.23)			
CK	134.48	143.72	59.41	337.61	14 582.57	4.32
1	0.16	157.67	146.21	304.04	8 074.31	2.66
2	1.28	96.36	135.12	232.76	8 040.27	3.45
3	4.26	101.98	126.96	233.20	8 562.20	3.67
4	25.91	32.24	115.07	173.22	9 088.34	5.25
5	48.12	86.83	141.12	276.08	14 043.03	5.09
6	150.88	92.34	77.02	320.25	15 809.87	4.94
7	173.58	104.35	24.98	302.92	8 916.71	2.94
8	158.75	109.82	32.71	301.28	11 051.03	3.67
9	154.85	121.25	43.32	319.42	18 134.32	5.68

2.3 青椒产量沿温室跨度的变化

日光温室内在空间上青椒的长势差异显著。日光温室内不同位置青椒苗期的株高如图 2 所示,其中纵坐标表示株高,横坐标表示温室内的不同位置。从散点图中可知,温室内不同位置青椒的株高大致呈二次抛物线型。通过对沿温室跨度方向设置的观测小区的茎粗和产量进行相关分析,得到日光温室中间的茎粗和产量均最大,为了减小由于光照强度对青椒产量的影响,对产量增加了一个修正系数,即前、中、后产量的比值为 1.24 : 1 : 1.03。

3 青椒水分生产函数建模

3.1 水分生产函数模型

静态模型是描述作物最终产量(干物质或籽粒产量)与水分的宏观关系,而不考虑作物生长发育过程中干物质是如何积累的微观机制^[1]。基于表 2 试验数据,分别采用 Jensen 模型、Stewart 模型、Singh 模型确定青椒不同生育阶段的需水敏感系数。三模型分别为:

2 结果与分析

2.1 蒸发蒸腾量的确定

青椒各阶段蒸发蒸腾量由水量平衡法计算,其公式如下:

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

式中: ET_i —第 i 生育阶段青椒蒸发蒸腾量(mm); I_i —第 i 生育阶段青椒灌水量(mm); P_i —第 i 生育阶段降水量(mm),温室内无降雨,此项为零; W_i 、 W_{i+1} —第 i 生育阶段初、末土壤含水量(mm); K_i —第 i 生育阶段渗漏量(mm)。

2.2 青椒各阶段需水量和产量

经计算青椒各阶段需水量和产量结果见表 2。由表 2 可知,产量最高的 3 个水分处理依次为 9、6、CK,水分利用效率最高的 3 个水分处理依次为 9、4、5。说明分生育期适当的水分亏缺不仅有利于提高水分的利用效率,而且有助于提高青椒的产量。

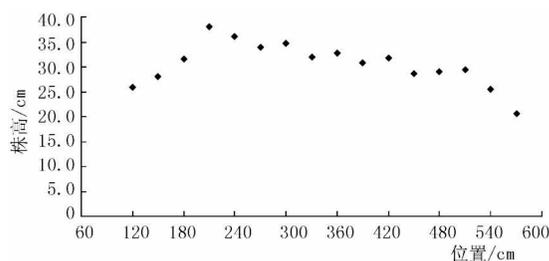


图 2 日光温室内沿南北方向不同位置青椒的株高

$$\frac{Y_a}{Y_m} = \prod_{i=1}^n \left[\frac{ET_a}{ET_m} \right]_i^{\lambda_i} \quad (2)$$

$$\frac{Y_a}{Y_m} = 1 - \sum_{i=1}^n A_i \left[1 - \frac{ET_a}{ET_m} \right]_i \quad (3)$$

$$\frac{Y_a}{Y_m} = 1 - \sum_{i=1}^n B_i \left[1 - \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m} \right)_i^{b_i} \right] \quad (4)$$

式中: Y_a —各处理条件下的实际产量(kg/hm²); Y_m —正常灌溉处理下的产量(kg/hm²); ET_a —各处理条件下第 i 阶段的实际蒸发蒸腾量(mm); ET_m —正常灌溉条件下第 i 阶段的蒸发蒸腾量(mm); i —阶段编号; λ_i 、 A_i 、 B_i —

各模型中青椒产量对缺水的反应系数或敏感系数, b_0 —经验系数, Singh 等人认为: $b_0=2$ 。

3.2 水分生产函数模型求解

3.2.1 SPSS 软件简介 SPSS 是当今世界上公认和流行的综合统计分析软件, 它具有强大的统计分析功能、操作界面简便、分析结果用清晰简练的表格和精美生动形象的二维、三维图像来表达, 受到了社会各界统计分析人员的喜爱。目前, SPSS 软件广泛的应用于通讯、医疗、银行、证券、保险、制造、商业、市场研究、科研、教育等多个领域和行业。

3.2.2 青椒水分生产函数求解结果 采用 SPSS 软件回归分析中的非线性回归分析计算模型中的敏感系数, 同时可得到拟合优度 R^2 、残差平方和 S 。其中, 敏感系数越大说明在这个阶段供水不足对产量的影响越大, 即需水量越大。拟合优度越大, 说明模型拟合的越好。残差平方和越小, 表明实测值与回归估计值的差越小, 即模型越好。计算结果如表 3 所示。根据计算可看到, 表 3 青椒生育期各阶段敏感系数与回归方程显著性检验

生育期	Jensen 模型 λ 值	Stewart 模型 A 值	Singh 模型 B 值
苗期	0.152	0.938	-0.448
开花着果期	0.308	0.219	0.516
结果期	0.334	0.461	0.045
R^2	0.746	0.498	0.321
S	0.197	0.269	0.363
F	99.39	23.06	1.38

Jensen 模型的敏感系数表现为结果期 > 开花着果期 > 苗期; Stewart 模型表现为苗期 > 结果期 > 开花着果期; Singh 模型在苗期的敏感系数为负值, 意味着产量会随着缺水的增加而增加, 这很不合理, 可以先剔除 Singh 模型。Jensen 模型的拟合优度最高, Stewart 模型次之, Singh 模型的拟合优度最小。Jensen 模型的残差平方和最小, Stewart 模型次之, Singh 模型的残差平方和最大。从回归效果来看, Jensen 模型和 Stewart 模型的 $F > F_{0.01}(3, 5) = 12.1$, Singh 模型的 $F < F_{0.01}(3, 5) = 12.1$, 说明 Jensen 模型和 Stewart 模型的产量和蒸发蒸腾量之间存在

在线性关系, 其模型是合理的。综上分析, 结果表明 Jensen 模型能较好的表现青椒在各生育阶段水分亏缺与产量之间的量化关系。故推荐沟灌条件下温室青椒水分生产函数模型为

$$\frac{Y_a}{Y_m} = \left(\frac{ET_a}{ET_m} \right)_1^{0.152} \cdot \left(\frac{ET_a}{ET_m} \right)_2^{0.308} \cdot \left(\frac{ET_a}{ET_m} \right)_3^{0.334} \quad (5)$$

4 结论

通过试验研究了温室内沟灌条件下青椒的水分生产函数, 初步得出以下结论: 生育期内适当的水分亏缺有利于提高水分的利用效率和提高青椒的产量; 推荐采用 Jensen 模型建立青椒水分生产函数; 通过分析可知青椒在 3 个生育内的水分敏感系数分别为 0.152、0.308、0.334。作物水分生产函数的研究受试验设计、试验条件、试验管理以及地域性和时域性等各因素的影响, 综合考虑各因素影响的情况下, 所得到的水分生产函数模型会有一定的差异, 因此对于青椒的水分生产函数还有待于进一步研究。

参考文献

- [1] 李远华, 罗金耀. 节水灌溉理论与技术[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2003.
- [2] 陈亚新, 康绍忠. 非充分灌溉原理[M]. 北京: 水利电力出版社, 1995.
- [3] 康绍忠. 农业水土工程概论[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- [4] 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.
- [5] 杨旭东, 白云岗, 张江辉, 等. 塔里木盆地棉花水分生产函数模型研究[J]. 南水北调与水利科技, 2008, 6(4): 110-112.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 翟胜, 梁银丽, 王巨媛, 等. 干旱半干旱地区日光温室黄瓜水分生产函数的研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(4): 136-139.
- [9] 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.
- [10] 王立业, 苏芳莉, 王铁良, 等. 湿地芦苇水分生产函数试验研究[J]. 中国农村水利水电, 2009(5): 65-67.

Experimental Study on Water Production Function of Pepper in Greenhouse

WANG Xi-qin, LI Bo, WANG Tie-liang, ZHAO Ying, WANG Bin

(College of Water Resources Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110161)

Abstract: This paper studied and presented on water production function of pepper in greenhouse under furrow irrigation. The whole growing season of pepper was divided into 3 stages of seedling period, flowering and fruiting period. Irrigation intervals was based on the measured soil moisture content in this research. Both regression analysis method and SPSS software were used to respectively analyze the widely-used models in the world: Jensen model, Stewart model and Singh model. According to the performance of sensitive coefficient, goodness-of-fit of model, squared residuals and F-test, the Jensen model went well along with the pepper water-use relationship, and seedling, flowering and fruiting period of the sensitive coefficients were 0.152, 0.308, 0.334 respectively.

Key words: greenhouse; pepper; water production function