

温室滴灌西瓜作物系数的计算及模拟

叶澜涛¹ 彭世彰¹ 张瑞美¹ 瞿益民²

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室 江苏 南京 210098 ;
2. 南通市崇川区水利科学研究院 江苏 南通 226014)

摘要 根据设施栽培蔬菜需水量试验资料 , 采用 FAO-56 推荐的单作物系数法计算了大棚西瓜的温室系数。以温室内气象因素为变量对西瓜作物温室系数进行了模拟。结果表明 , 作物温室系数与温室内气象因素表现出较好的线性与非线性多项式关系 , *F* 检验结果也表明两者之间表现出显著相关性。

关键词 设施栽培 温室系数 大棚西瓜种植

中图分类号 : S627 文献标识码 : A 文章编号 : 1006-7647(2007) 05-0023-03

Calculation and simulation of crop coefficients of watermelons by greenhouse drip irrigation // YE Lan-tao¹ , PENG Shi-zhang¹ , ZHANG Rui-mei¹ , QU Yi-min² (1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering , Hohai University , Nanjing 210098 , China ; 2. Chongchuan Institute of Hydraulic Science of Nantong City , Nantong 226014 , China)

Abstract : Based on the experimental data of water requirement in installation cultivation of vegetables , the greenhouse coefficient of watermelons by greenhouse cultivation was calculated by single crop coefficient approach recommended by FAO-56. The simulation of the greenhouse coefficient of watermelons with the meteorological parameter in greenhouse as variable demonstrates that there are good linear- and nonlinear-multinomial relationships between the greenhouse coefficient of crops and the meteorological parameter in greenhouse. *F* test result shows that the two factors are of high correlation.

Key words : installation cultivation ; greenhouse coefficient ; greenhouse watermelon cultivation

1 问题的提出

作物系数是用参考蒸发蒸腾量间接估算作物蒸发蒸腾量法中的重要参数之一 , 可描述作物本身生物学特性、产量水平以及土壤耕作条件等对作物需水量的影响。目前 , 国内外学者根据作物蒸发蒸腾量和参考作物蒸发蒸腾量的比值研究了各种作物的作物系数值^[1-6]。西瓜是我国除少数寒冷地区外 , 南北方均栽培的优良果品。为了提高西瓜品质和建立合理的灌溉制度 , 有关西瓜需水量及需水规律的研究越来越受到人们的关注。肖娟等^[7]对咸水滴灌条件下西瓜的作物系数进行了研究 , 建立了作物系数和需水系数之间的函数关系。Orqaz 等^[8]研究认为 , 温室滴灌条件下 , 西瓜的蒸发蒸腾量明显小于露天条件下的作物蒸发蒸腾量 , 但是由于反季节非加热温室下种植西瓜 , 其作物系数与露天条件下的作物系数大致相同。Miranda 等^[9]根据蒸渗仪实测的蒸发蒸腾量和用彭曼-蒙蒂斯(Penman-Monteith) 方程得

到的参考作物蒸发蒸腾量分别计算露天生长条件下西瓜的作物系数。然而 , 在实际生产中通常无法得到足够的温室气象资料来计算温室内的参考作物蒸发蒸腾量。针对生产实践 , 本文引入温室系数的概念 , 并利用单作物系数法计算温室系数 , 同时综合考虑温室内各气象因素对西瓜生长发育的影响 , 提出了涵盖日蒸发量、气温、相对湿度、地温等棚内气象因素的温室系数公式 , 以期对温室作物需水量的计算提供依据。

2 试验区概况和试验方法

2.1 试验区概况

试验区位于江苏省南通市境内(东经 120°56' , 北纬 32°01')。该地区属亚热带和暖温带季风气候区 , 年平均气温 15 ℃ 左右 , 年日照时数 2 100 ~ 2 200 h , 年降水量 1 000 ~ 1 600 mm , 年无霜期 226 d。土壤质地 0 ~ 80 cm 为轻壤土 , 80 ~ 160 cm 为砂壤土 , 通透性较好。

基金项目 河海大学院士学科建设基金(4021E7)

作者简介 叶澜涛(1982—) , 女 , 天津蓟县人 , 硕士研究生 , 从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail : yltao@hhu.edu.cn

通讯作者 彭世彰(1959—) , 男 , 教授 , 博士 , 博士生导师 , 从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail : szpeng@hhu.edu.cn

水利水电科技进展 2007 27(5) Tel 025-83786335 E-mail : jz@hhu.edu.cn http : // hkb . hhu . edu . cn

2.2 试验方法

采用温室内测筒与大田相结合的方法进行西瓜需水量试验。每棚作垄 4 行,行株距 50 cm × 50 cm,每棚 240 株(计 59 株/hm²);测筒面积 1 925 cm²(55 cm × 35 cm),筒深 60 cm,每筒种植 1 株西瓜秧。在筒内外 0~30 cm 土壤水分一致的条件下(约占田间持水量的 70%~85%),即充分供水的条件下,设置 2 个重复。生育期内,用负压计测量结果计算土壤水吸力,以观测田间水分的变化。试验品种为台湾“小兰”西瓜 4 月 10 日移栽,6 月 27 日采摘,生育期为 79 d。

采用定期称重的方法,根据水量平衡原理计算作物需水量,按 SLB—90《灌溉试验规范》的要求开展试验,同时观测水量平衡计算的各个要素。

需水量计算公式如下:

ET_c = (G_1 - G_2 + G_i + G_p - G_c) / S (1)

式中:ET_c 为作物实际需水量,mm;G_1 为时段开始时的土壤容器总质量,kg;G_2 为时段末时的土壤容器总质量,kg;G_i 为 i 时段内向土壤容器内的灌水量,kg;G_p 为时段内落入土壤容器内的降水量,kg;G_c 为时段内土壤容器中的土表及底层排水量之和,kg;S 为土壤容器内的水平截面积,m²,这里为 0.1925 m²。

G_1 和 G_2 采用 TGT-500 型台式磅秤测定,G_i 为人工测量记录。由于作物生长在设施大棚内,其 G_p 和 G_c 为零。通过试验站的气象站每日定时观测记录大棚外空气与地面的最高、最低、平均温度,风速、风向、相对湿度、降雨量以及 Ø20 和 E601 蒸发皿蒸发量。同时在大棚内观测空气温度和地面温度、空气湿度、Ø20 蒸发皿蒸发量。日照时数在气象站查抄。

3 西瓜温室系数的计算

作物需水量的大小与气象条件、土壤水分状况、作物种类及其生长发育阶段、农业技术措施、灌溉排水措施等有关。这些因素对需水量的影响既错综复杂又相互联系。FAO-56 推荐的单作物系数法中将以上因素量化成参考作物蒸发蒸腾量、土壤水分胁迫系数和作物系数 3 个相对独立的因素^[10]。

3.1 参考作物蒸发蒸腾量的计算

根据棚外气象观测资料,采用 FAO-56 推荐的 Penman-Monteith 公式(式(2))计算生长期日内参考作物蒸发蒸腾量,式中各项符号的意义与计算方法见文献^[10]。

ET_0 = (0.408Δ(Rn - G) + (900 / (T + 273)) U_A (e_a - e_d)) / (Δ + λ(1 + 0.34U_2)) (2)

3.2 温室西瓜的作物系数 K_c

Allen 等^[9]指出 K_c 的变化主要由其具体的作物特征来决定,受气象条件的影响有限。这使得作物系数标准值可以在不同地区间、不同气候条件下转换使用。研究表明,作物系数最重要的影响因素是作物自身的生理生态指标,例如作物种类、品种、生育阶段以及冠层状况等。由此,可以认为同种作物在温室和露天大田环境下的作物系数值相同。选取 FAO-56 推荐的西瓜生育期内 4 个生育阶段的 3 个典型值作为温室西瓜的实际作物系数。

3.3 温室系数的确定

与露天情况相比,大棚温室内作物生长环境发生了很大的变化;“水分-土壤-植物-空气”系统有着独特的封闭或半封闭型特点:室内增温保温及小气候效应显著;由于覆盖,室内光照强度明显弱于室外;由于封闭,室内空气流动性差,风速接近于零且空气相对湿度经常接近于饱和;由于自然降水受到阻隔,土壤水分运动方向由下至上的蒸发作用比露地强^[11]。因此,考虑温室与露天的较大差别,引入温室系数,得到温室西瓜的需水量计算公式为

ET_c = K_g K_s K_c ET_0 (3)

式中:K_g 为温室系数;K_s 为土壤水分胁迫系数,由于试验过程中没有出现明显的水分亏缺,因此取 K_s = 1;K_c 为实际作物系数,取 FAO-56 推荐值;ET_0 为温室外参考作物蒸发蒸腾量,mm。

如表 1 所示,温室西瓜的实际作物需水量表现出前期较小、中期较大、后期有所减少的变化规律,与露天情况^[9]相比,西瓜作物需水量在整个生育期内有着相同的变化规律,但是数值较露天小很多。其原因主要是由于温室内相对湿度较大,空气流通较慢,太阳辐射强度较小,作物蒸发蒸腾量较小。与其相对应,引入的温室系数在整个生育期内基本小于 1,也就说明了温室内的西瓜需水量小于露天的需水量,能够很好地体现需水量在温室内外差别。

表 1 温室西瓜作物系数

时 间	作物实际 需水量/mm	参考作物蒸发 蒸腾量/mm	FAO-56 推荐 的作物系数	温室 系数
4 月中旬	0.82	3.05	0.40	0.67
4 月下旬	1.18	2.02	0.40	1.46
5 月上旬	1.68	2.24	0.70	1.07
5 月中旬	2.44	3.52	1.00	0.69
5 月下旬	2.49	3.02	1.00	0.82
6 月上旬	2.60	2.66	1.00	0.98
6 月中旬	2.04	2.86	0.88	0.81
5 月下旬	1.80	2.71	0.75	0.89
全生育期	1.88	2.76	0.77	0.92

4 西瓜作物温室系数的模拟

考虑温室环境内的光、温、湿、气、土 5 个环境因

素对作物生长发育的综合影响,建立了基于温室内气象因素的温室系数的模拟公式。

a. 多因素线性公式：

$$K_g = a_0 + a_1 E_0 + a_2 T + a_3 R_H + a_4 T_{地高} + a_5 T_{地低} + a_6 T_{地0}$$
 (4)

式中： E_0 为水面蒸发量，mm； T 为气温，℃； R_H 为相对湿度，%； $T_{地高}$ ， $T_{地低}$ ， $T_{地0}$ 分别为地面最高、最低和 0 cm 处的温度，℃； $a_0 \sim a_6$ 为回归系数。

各温室气象因素如表 2 所示。

表 2 温室内气象因素汇总

时 间	20 蒸发器 蒸发量/mm		棚内 气温/ ℃	棚内 相对 湿度/%	棚内温度/℃		
	合计	日均值			$T_{地高}$	$T_{地低}$	$T_{地0}$
4 月中旬	30.2	3.0	19.1	86.6	39.5	8.7	20.5
4 月下旬	20.4	2.0	18.0	90.0	32.0	11.6	20.5
5 月上旬	20.8	2.1	21.3	87.3	37.2	16.1	22.5
5 月中旬	28.2	2.8	25.1	82.9	41.9	18.9	25.0
5 月下旬	20.4	1.9	24.2	88.5	35.3	18.0	24.5
6 月上旬	12.8	1.3	24.2	92.1	31.3	18.4	23.4
6 月中旬	11.4	1.1	25.3	93.0	32.0	20.0	25.0
6 月下旬	5.3	0.8	24.8	94.0	28.0	20.6	23.8

b. 多因素非线性公式

$$K_g = a_0 + a_1 e^{E_0} + a_2 T + a_3 \ln R_H + \frac{a_4}{T_{地高}} + \frac{a_5}{T_{地低}} + \frac{a_6}{T_{地0}}$$
 (5)

线性与非线性公式的回归参数及统计结果如表 3 所示，以温室内气象因素为自变量对西瓜 K_g 进行线性多项式拟合， F 检验结果： $F = 63.812 > F_{0.01}$ ，回归方程水平极显著。标准误差为 0.080，全生育期绝对相对误差达到 5.0%。计算温室西瓜拟合温室系数与实际温室系数的差异， t 检验得 $P(T \leq t) = 0.49 > 0.05$ ，结果之间差异不显著。

以温室内气象因素为自变量对西瓜 K_g 进行非线性多项式拟合， F 统计量 $F = 94.989 > F_{0.01}$ ，回归方程水平极显著。标准误差为 0.067，绝对相对误差为 5.7%。计算温室西瓜拟合温室系数与实际温室系数的差异， t 检验得 $P(T \leq t) = 0.50 > 0.05$ ，结果之间差异不显著。

表 3 以温室内气象因素为自变量的西瓜 K_g 方程回归系数

计算公式	回归系数							R^2	n
	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6		
线性公式	4.7338	0.2566	-0.2231	-0.0100	-0.0596	0.1045	0.0872	0.9141	8
非线性公式	12.9031	-0.0104	-0.1465	-1.8366	27.4900	-10.6393	-9.5280	0.9406	8

注： $F_{0.01} = 12.246$ ， $F_{0.05} = 5.591$ ， $F_{0.1} = 3.589$ 。

分析表明，由温室气象数据拟合的西瓜温室系数的线性关系和非线性关系中，拟合值与实测值均较接近。作物温室系数与温室气象因素之间较好的关系为西瓜温室系数的估算提供了简便途径。

5 结 论

a. 温室内空气流通性较差，接受的太阳辐射较少，与露天西瓜相比，温室西瓜在生长发育过程中所需水量明显减少。笔者引入了温室系数，建立了温室西瓜作物需水量的计算公式。

b. 温室西瓜的温室系数与温室气象因素之间表现出很好的线性和非线性关系， F 检验结果表明，两者之间表现出显著相关性。温室气象因素的非线性拟合结果更加接近温室系数的实际值。

c. 温室作物需水量的变化除了受环境因素影响外，还取决于作物自身的生理生态指标的变化，应该加强研究温室系数与作物叶面积指数和冠层状况等生理生态指标对温室作物需水量的综合影响，建立数据模型来指导实践。

参考文献：

[1] 杨晓光, BOUMAN B A M, 张秋平, 等. 华北平原旱稻作物系数试验研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(2): 37-41.

[2] 张振华, 蔡焕杰, 杨润亚, 等. 沙漠绿洲灌区膜下滴灌作物需水量及作物系数研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(5): 97-100.

[3] 彭世彰, 索丽生. 节水灌溉条件下作物系数和土壤水分修正系数试验研究[J]. 水利学报, 2004(1): 17-21.

[4] 孙景生, 刘祖贵, 张寄阳, 等. 风沙区春小麦作物系数试验研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(6): 55-58.

[5] 齐述华, 李子忠, 龚元石. 应用农田水量平衡原理计算三种蔬菜的需水量和作物系数[J]. 中国农业大学学报, 2002, 19(1): 71-76.

[6] 丁加丽, 彭世彰, 徐俊增, 等. 控制灌溉条件下水稻蒸发蒸腾量及作物系数试验研究[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2006, 34(3): 239-242.

[7] 肖娟, 雷廷武, 李光永, 等. 西瓜和蜜瓜咸水滴灌的作物系数和耗水规律[J]. 水利学报, 2004(6): 118-124.

[8] ORQAZ F, FERNANDEZ M D. Evapotranspiration of horticultural crops in an unheated plastic greenhouse[J]. Agricultural Water Management, 2005, 77(2): 81-96.

[9] MIRANDA F R, OLIVEIRA J J G. Evapotranspiration and crop coefficients for watermelon in the Northeast of Brazil[J]. Trans of the ASAE, 2000, 2: 3315-3324.

[10] ALLEN R G, PEREIRA L S, RAES D, et al. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requiremen[M]. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998.

[11] 李援农. 保护地节水灌溉技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.

(收稿日期: 2006-09-19 编辑: 高建群)