

基于温度和太阳辐射的番茄果型果径模拟模型*

滕 林¹,程智慧^{1*},赖琳玲¹,陈学进¹,冯武焕²

(1. 西北农林科技大学 园艺学院,陕西杨凌 712100; 2. 西安市农业技术推广中心,西安 710061)

摘 要: 根据塑料大棚内番茄果实生长与温度和太阳辐射的关系,建立了以环境影响因子积为尺度的设施番茄果实果径及果型指数模拟模型,并用独立的试验数据进行了检验。验证结果表明,设施番茄第一到第五序果果径的模拟值与实测值之间的回归估计标准误差(RMSE)分别为 1.14、0.68、1.06、1.30 和 0.78 cm;果型指数的模拟值与实测值之间的回归估计标准误差(RMSE)分别为 0.053、0.035、0.035、0.094 和 0.142。模型对设施番茄各序果果实的果径和果型指数的模拟值与实测值的符合度较好,实用性较强,可以为设施番茄生产提供理论依据和决策支持。

关键词: 果径;有效积温;有效光合辐射;番茄

中图分类号:S641.2 文献标识码:A 文章编号:1004-1389(2010)05-0141-04

Simulation Model of Tomato Fruit Diameter and Fruit Shape Index Based on Temperature and Solar Radiation

TENG Lin¹,CHENG Zhihui^{1*},LAI Linling¹,CHEN Xuejin¹ and FENG Wuhuan²

(1. College of Horticulture,Northwest A&F University,Yangling Shaanxi 712100,China;
2. Xi'an Agricultural Technology Extension Senter,Xi'an 710061,China)

Abstract: In this study,two models of fruit diameter and fruit shape index in greenhouse tomato were developed based on the effects of temperature and solar radiation on fruit growth using total effective accumulated temperature and PAR (TEP) as prediction index. Other planting data was collected in greenhouse to validate the model. The results showed that,the root mean squared error (RMSE) between the simulated and measured values of fruit diameter on the 1st to 5th sequence fruit was 1.14 cm,0.68 cm,1.06 cm,1.30 cm and 0.78 cm,respectively;RMSE between the simulated and measured values of fruit shape index on the 1st to 5th sequence fruit was 0.053,0.035,0.035,0.094 and 0.142, respectively. The simulated values of tomato fruit diameter and fruit shape index agreed well with the measured ones. The models developed in this study are applicable and can provide theoretical basis and decision support for the production of greenhouse tomato.

Key words: Fruit diameter; Effective accumulated temperature; Photosynthetically active radiation (PAR); Tomato

番茄是设施栽培的主要作物之一。随着人们生活水平的提高,对蔬菜的需求已经从单纯的追求数量种类,上升为对蔬菜品质的关注。果径及果型指数作为果实外观品质的重要指标,其大小

直接影响到果实的商品性。
温度和太阳辐射是影响设施内蔬菜作物果实生长的重要环境因子。这两个因子都影响同化产物的生产和积累^[1],而同化产物供应直接影响设

* 收稿日期:2009-10-28 修回日期:2009-12-20
基金项目:国家“十一五”科技攻关项目(2007BAD79B01)。
作者简介:滕 林,男,硕士,研究方向为蔬菜栽培生理生态。
* 通讯作者:程智慧,男,教授,博士生导师,主要从事蔬菜栽培生理生态和生物技术研究。Email:chengzh@nwsuaf.edu.cn

施内作物的果实横纵径的增长及果型指数的变化。目前,关于设施内作物果实生长的模拟,主要是通过以果实发育周期为基础的源库理论来模拟^[2],如 Heuvelink 将番茄果实生长周期定义为日平均温度的函数^[3]。但设施番茄果实的生长不仅受到温度的影响,同时也受到太阳辐射的影响。王丽艳^[4]研究表明番茄鲜质量和果径与太阳辐射呈正相关。杨延杰、朱延姝研究都认为随光照强度的减弱,番茄的平均单果质量和产量均降低^[5-6]。本研究采用综合光合有效辐射和温度的光温指标,量化设施番茄果实果型指数与温度和光照的关系,为设施番茄栽培和环境优化提供理

论依据。

1 材料与方法

1.1 材 料

供试材料为陕西关中地区春茬主栽品种金棚与粉冠。

1.2 试验设计

试验于 2008-04—2008-08 在陕西杨凌东卫店村 2 个常规钢架结构塑料薄膜大棚内进行。其中棚 1 数据用于模型的建立,棚 2 数据用于模型的检验。两棚参数见表 1。

表 1 大棚参数
Table 1 Several parameters of each greenhouse

试验棚 Plastic tunnel	品种 Variety	长度/m Length	跨度/m Width	高度/m Height	株距/cm Planting distance	行距/cm Row space
1	金棚 Jinpeng	30.0	7.5	2.1	30	50
2	粉冠 Fenguan	40.0	7.5	1.9	30	48

4 月 12 日定植于棚内。金棚与粉冠均为无限生长型,采用单杆整枝,侧枝及时摘除;肥水及病虫害防治均按常规栽培管理进行。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 环境数据的获取 设施内环境数据采用河北邯郸清胜电子科技有限公司生产的空气温湿度光照记录仪自动采集。自定植之日起将仪器安装进棚内,悬挂高度始终保持在整体植株冠层距地面 2/3 处,采集项目为设施内空气温度和太阳辐射。数据采集频率为每小时 1 次。

1.3.2 作物生长数据的获取 自番茄进入结果期开始,棚内随机选择 20 株番茄,采用游标卡尺进行测定,精度 0.01 mm,每隔 7 d 测量一次各序果果实的纵径与横径。

1.4 模型描述

温度和辐射是影响番茄果实生长的重要环境因子。依据多因子积效原理,将某一生长发育时期内总的有效积温 $TEAT$ (Total Effective Accumulated Temperature)及总的光和有效辐射 $TPAR$ (Total Photosynthetically Active Radiation)的乘积定义为环境影响因子积 TEP (Total Effective Accumulated Temperature and PAR)。

$$TETA = \sum_{i=1}^n (T_i - T_b)$$
 (1)

$$TPAR = \sum_{i=1}^n (Q \times 0.5)$$
 (2)

$$TEP = TETA \times TPAR$$
 (3)

式中, n 为某生育阶段总天数(d); T_i 为第 i 天日平均温度($^{\circ}C$); T_b 为设施番茄果实生长下限温度,在番茄成株期取值为 $15^{\circ}C$; Q 为 1 d 内太阳总辐射 [$J/(m^2 \cdot d)$];0.5 为光合有效辐射在太阳总辐射中的比例。

果型指数 FSI (Fruit Shape Index)为果实纵径 FLD (Fruit Longitudinal Diameter)与果实横径 FD (Fruit Diameter)之比。

计算式为: $FSI = FLD / FD$ (4)

1.5 模型验证

采用检验模型常用的统计方法一回归估计标准误差(Root Mean Square Error, $RMSE$)对模拟值和实测值之间的符合度进行统计分析。 $RMSE$ 值越小,表明模拟值与实测值的一致性越好,模拟值与实测值之间的偏差越小,即模型的模拟结果越准确、可靠。因此, $RMSE$ 能够很好地反映模型的预测精度。计算式为:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (OBSi - SIMi)^2}{n}}$$
 (5)

式中, $OBSi$ 为实测值; $SIMi$ 为模型模拟值; n 为样本容量。

2 结果与分析

2.1 基于环境影响因子积的番茄果径及果型指数的模拟

番茄果实的膨大受多方面条件及因素制约,

其中温度和太阳辐射是两个重要的影响因子。由图 1 可知,随着坐果后累计环境影响因子积的增加,各序果的果径相应增大。当环境影响因子积增大到一定值后,果径增幅减慢,并趋于稳定。说明番茄果实发育变化动态呈类似于单“S”型曲线

的变化规律,这符合特等^[7]的研究结果。另外,各序果的果型指数随坐果后累计的环境影响因子积的增加而普遍减小,说明番茄果实的横向生长速率高于纵向生长速率。

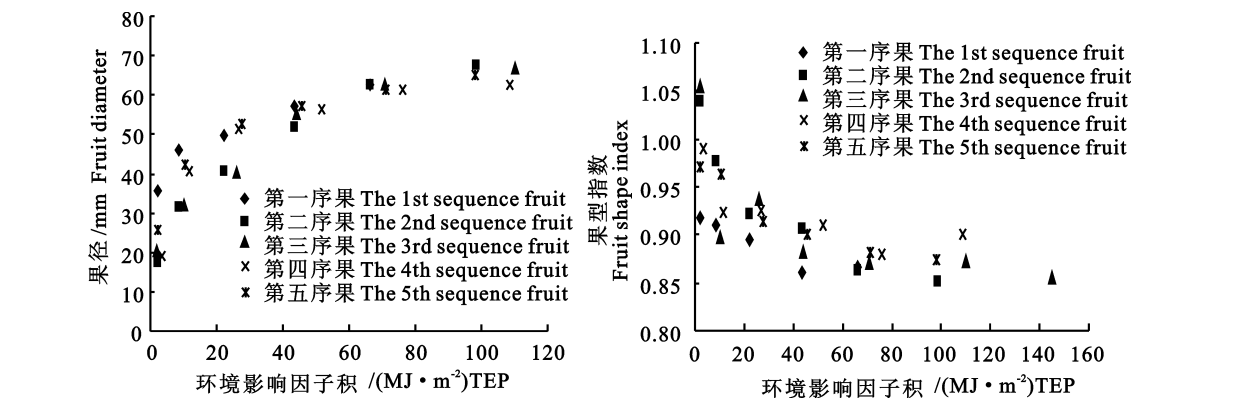


图 1 番茄各序果实的果径、果型指数与坐果后累计环境影响因子积的关系

Fig. 1 Relationships of fruit diameters and fruit shape indexes with accumulative TEP after fruit setting

根据棚 1 内番茄果径及果型指数数据,结合大棚内所得温度及太阳辐射数据,对各序果坐果后累计的环境影响因子积及番茄果实果径及果型指数数据进行拟合,得出环境影响因子积与番茄果实果径及果型指数的数学关系,见表 2。

2.2 果径及果型指数的模拟验证

利用与建模数据独立的棚 2 的数据,根据公式(4)~(5)及表 2 内公式,计算番茄不同果序果实的果径及果型指数,并与实测值进行线性相关分析。由表 3 可知,各序果果实的果径、果型指数模拟值与实测值间线性关系公式中斜率均接近于 1,截距均接近于 0; R^2 分别为 0.9956、0.9777、0.9150、0.9349、0.9936 和 0.9144、0.9195、0.9041、0.9611、0.9280。反映出模拟值与实测值较好的一致性,显示了较为平行的、拟合性好的变化趋势。

表 2 番茄果径及果型指数与环境影响因子积间的数学关系

Table 2 The mathematical formula of fruit diameters and fruit shape indexes with accumulative TEP			
果序 Sequence of fruit		数学关系公式 Mathematical formula	R^2
果径 Fruit diameter	$j=1$	$FD_j=31.57\times TEP_j^{0.1586}$	0.9835
	$j=2$	$FD_j=13.61\times TEP_j^{0.3568}$	0.9927
	$j=3$	$FD_j=15.95\times TEP_j^{0.3101}$	0.9842
	$j=4$	$FD_j=12.77\times TEP_j^{0.3737}$	0.9783
	$j=5$	$FD_j=22.13\times TEP_j^{0.2457}$	0.9763
果型指数 Fruit shape index	$j=1$	$FSI_j=2E-05\times TEP_j^2-0.0021\times TEP_j+0.925$	0.9601
	$j=2$	$FSI_j=-0.0499\times \ln(TEP_j)+1.081$	0.9884
	$j=3$	$FSI_j=1.091\times TEP_j^{-0.05}$	0.9714
	$j=4$	$FSI_j=-0.0302\times \ln(TEP_j)+1.024$	0.9521
	$j=5$	$FSI_j=1E-05\times TEP_j^2-0.0023\times TEP_j+0.978$	0.9781

注: FD_j 为第 j 序果的果径(mm); FSI_j 为第 j 序果的果型指数; TEP_j 为第 j 序果从坐果开始积累的环境影响因子积($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$)。

表 3 番茄各序果实的果径、果型指数模拟值与实测值的比较

Table 3 Comparison between simulated and observed fruit diameters and fruit shape indexes values in tomato			
果序 Sequence of fruit		数学关系公式 Mathematical formula	R^2
果径 Fruit diameter	1	$Y=0.8876X+1.7364$	0.9956
	2	$Y=1.1953X-0.8459$	0.9777
	3	$Y=1.1996X-0.1332$	0.9150
	4	$Y=1.3197X-0.1423$	0.9349
	5	$Y=1.0462X+0.5908$	0.9936
果型指数 Fruit shape index	1	$Y=0.7190X+0.4138$	0.9144
	2	$Y=1.8091X-0.7252$	0.9195
	3	$Y=1.7543X-0.6904$	0.9041
	4	$Y=0.9151X-0.0087$	0.9611
	5	$Y=1.0788X-0.2223$	0.9280

另外,采用模型检验常用的回归估计标准误差统计方法,对模拟值和实测值进行符合度统计分析可知:果径模拟模型对各序果果径的模拟值与实测值之间的 $RMSE$ 分别为 1.14 cm、0.68 cm、1.06 cm、1.30 cm 和 0.78 cm, $RMSE$ 值较小,说明该模型可以较为准确地模拟番茄果径的大小。果型指数模拟模型对各序果果型指数的模拟值与实测值之间的 $RMSE$ 分别为 0.053、0.035、0.035、0.094 和 0.142, $RMSE$ 值较小,说明该模型可以较为准确地模拟番茄的果型指数。

3 讨 论

目前,对于设施内番茄果实生长的模拟,主要是基于单一的时间^[8]或温度^[3]所建立,模拟过程复杂且模拟效果与实际生产相差较大。温度和辐射是影响果实生长发育的两个重要因子,也是设施生产中容易调控的两个环境因子,以这两个因子的协同效果为尺度来进行果实生长模拟具有更实际的意义。倪纪恒等^[2]研究表明,综合光合有效辐射和温度的光温指标——辐热积来模拟温室黄瓜果实的生长与单纯以有效积温进行模拟相比,有效地提高了模拟精度。本研究综合考虑有效积温及有效光合辐射两个环境因子,建立了设施番茄各序果实果径及果型指数的模拟模型,并对其进行了验证。总体看来, $RMSE$ 值较小,模拟效果较为准确。

本试验采用的金棚与粉冠为全国各蔬菜产区的番茄主栽品种^[9-10],具有单果质量大,结果率高,果实商品性好的特点,适合全年不同设施类型及不同茬次栽培。另外,除温度和辐射等因素对番茄果实生长的影响外,水分及营养条件对番茄果实发育也有影响。研究表明,水分及肥料的亏缺对番茄果实单果质量、果径及产量均有较大影响^[11-14]。本研究选取目前生产上最常用的塑料薄

膜大棚及品种,由农户直接进行生产管理,假设试验是在肥水充足条件下进行的,所建模型更符合生产实际,具有实用价值。

参考文献:

- [1] 山东农业大学. 蔬菜栽培学总论[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [2] 倪纪恒,陈学好,陈春宏,等. 用辐热积法模拟温室黄瓜果实生长[J]. 农业工程学报,2009,25(5):192-196.
- [3] Heuvelink E. Tomato Growth and Yield; Quantitative Analysis and Synthesis[D]. Phd Dissertation, Wageningen Agriculture University, The Netherlands, 1996.
- [4] 王丽艳,邱立春,郭树国. 温室环境对番茄生长影响的参数优化[J]. 北方园艺,2009(4):132-133.
- [5] 杨延杰,李天来,林 多,等. 光照强度对番茄生长及产量的影响[J]. 青岛农业大学学报:自然科学版,2007,24(3):199-202.
- [6] 朱延姝,冯 辉,高绍森. 弱光对番茄生长发育及产量的影响[J]. 中国蔬菜,2006(2):11-13.
- [7] 符 特,罗新兰,李天来,等. 日光温室番茄果实鲜重与横纵径数学关系研究[J]. 北方园艺,2007(5):10-12.
- [8] 徐 刚,张昌伟,李德翠,等. 温室长季节栽培番茄发育动态模拟模型的研究[J]. 农业工程学报,2005,21(S):243-246.
- [9] 宋 丽. 金鹏一号番茄春大棚高产栽培技术[J]. 现代园艺,2009(5):32.
- [10] 张文兴. 番茄新品种——粉冠、红冠2号[J]. 上海蔬菜,2004(5):77.
- [11] 姜凤超,刘孟雨,乔匀周,等. 亏缺灌溉及叶面喷锌对番茄产量品质及水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(3):60-65.
- [12] 王克磊,蒋芳玲,吴 震,等. 水分和光照互作对番茄生长发育和生理特性的影响[J]. 西北农业学报,2009,18(4):208-212.
- [13] 虞 娜,张玉龙,张玉玲,等. 灌溉和施肥对温室番茄产量和品质影响效应的研究[J]. 中国土壤与肥料,2009,(4):31-35.
- [14] 高艳明,李建设,曹云娥. 日光温室番茄滴灌营养液土培试验研究[J]. 西北农业学报,2006,15(6):121-126.