

甜瓜苗期温度与水分驱动生长发育 模拟模型的建立与验证^{*}

李建明, 邹志荣, 王忠红

(西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘 要] 根据甜瓜生物学特点与积温学原理, 经过12次温室内试验, 建立并验证了温室甜瓜苗期有效积温与基质水分双因子驱动的生长发育模拟模型。结果表明, 甜瓜苗期完成出苗期、子叶展平期、两片真叶期、四片真叶期的有效积温为22 3, 83 2, 110 9和105 2, 基质相对含水量对幼苗生长发育的影响符合logistic函数式。模型验证结果显示, 该模型具有较高的精确性、机理性和实用性。

[关键词] 温室栽培; 甜瓜栽培; 幼苗生长; 生长发育模型

[中图分类号] S652 901

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2006)08-0129-04

作物发育模型是精确模拟预测植株生长发育的有效工具, 是生产管理和决策管理技术的一个重要组成部分^[1]。近年来, 国内外针对农作物进行了大量的生长发育模拟模型研究, 但就温室蔬菜作物生长发育模型的研究还相对较少^[2]。工厂化育苗是温室蔬菜生产的主要技术内容之一, 是一项专业化的独立生产过程。温室幼苗生长模型是温室生产智能化管理的技术核心^[3-4]。目前, 对以工厂化育苗为目标, 专业化的甜瓜幼苗发育模拟研究尚未见报道。本研究建立了温度与水分双因子驱动的甜瓜幼苗生长发育模拟模型, 以期为温室甜瓜整体模型的建立积累材料, 为工厂化育苗生产及经营管理提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与方法

1.1.1 材 料 试验选用郁金香、陕甜1号、一品天下和优选早蜜4个甜瓜品种, 其中郁金香和优选早蜜为早熟品种, 陕甜1号 and 一品天下为中熟品种。种子均由陕西省蔬菜研究所提供。

1.1.2 试验设计与处理 试验于2003-07开始至2005-06结束, 共进行了12次育苗试验与观察, 其中2003-07~2004-11的9次试验在西北农林科技大学北校区节水灌溉中心日光温室进行, 2005-03~2005-06的3次试验在杨凌国家节水灌溉示范中心

的日光温室及陕西省设施农业工程研究中心实验室进行。

(1) 室内出苗期有效积温试验。将人工气候箱温度分别设置为12, 16, 20, 24, 28和32, 将已播种的营养钵放入, 观察出苗时间, 并计算每一温度下每个品种的有效积温。每处理每品种样品量为30钵。

(2) 大田有效积温试验。以温室内温度自然变化为处理, 分期播种, 播种时间分别为2003-08-04和08-30; 2004-03-02, 03-18, 04-02, 04-20, 07-22, 08-07和09-11; 2005-03-04, 03-28和04-20。试验小区面积3 m², 育苗数300株, 重复3次, 参试4个品种共有12个小区3 600株。观察出苗时间, 叶片出现、展平时间, 并计算各播期每个品种的有效积温。以4个品种有效积温的平均值为不同播种期的有效积温值。

(3) 灌溉水分上限对发育进程的影响试验。先后进行了2次水分试验, 播种时间为2004-08-07和2005-04-20, 共设4个水分处理, 即基质相对含水量分别为50%~60%, 50%~70%, 50%~80%和50%~90%, 当基质相对含水量降至饱和含水量的50%时, 补水至各处理基质相对含水量。试验均为3次重复, 12个小区, 小区面积、育苗数和观察项目同有效积温试验。

1.1.3 田间管理 育苗基质采用草炭、蛭石按体积比2:1混合, 再加入少量河沙、杀虫剂和复合肥配

^{*} [收稿日期] 2006-01-09

[基金项目] 西北农林科技大学青年基金项目(200530)

[作者简介] 李建明(1966-), 男, 陕西洛川人, 副教授, 硕士生导师, 博士, 主要从事设施园艺工程与栽培生理生态研究。E-mail: lijianming66@nw.suaf.edu.cn

制而成;育苗钵选用10 cm × 10 cm 塑料钵。将甜瓜种子用55 ℃ 温水浸种10 min, 再在30 ℃ 左右水中继续浸种6~8 h, 然后置于25 ℃ 的催芽箱中催芽, 待露白后进行播种, 播种前基质先浇透水, 然后进行点播, 再盖1.5~2 cm 基质, 覆上薄膜, 采用涌泉灌溉法灌溉, 待子叶出土后揭去薄膜进行喷灌。除水分试验外, 其他试验的水分管理按常规进行, 以充分满足幼苗生长对水分的需求为原则。一般每2 d 浇1次水。

按照标准营养液配方, 在子叶展平后喷洒营养液, 子叶期以1/4 标准营养液浓度喷洒, 一片真叶以1/2 标准营养液浓度喷洒, 两片真叶后以全浓度标准营养液喷洒。

1.1.4 植株生长形态观测及气象数据的采集与处理 幼苗子叶展平后, 在每小区随机固定标记10个植株, 每天观察1次植株叶片数与植株形态, 到第四片真叶完全展开(4叶1心)时结束。环境温度、湿度、气体不进行控制, 利用气象站监测环境温度、光辐射, 气象站每小时记录1次。有效积温用下式计算:

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

式中, T_i 为第*i*天每小时温度值的平均值; T_b 为生长下限温度, 在甜瓜出苗阶段取值18^[5-6], 其他3个阶段取值12^[5-6], TU 为*n* d 的总有效积温。

1.2 甜瓜幼苗生长发育系统分析与模型构建

1.2.1 甜瓜幼苗生长发育系统分析 由1粒甜瓜种子生长发育成为1棵健壮的幼苗植株, 在形态上主要经过发芽期、出苗期、子叶展平与子叶生长、第一、二、三、四片真叶出现与生长、茎的生长等过程。发芽期和出苗期的形态变化主要受品种遗传特性及环境水分、温度和气体因子的影响, 而在品种、栽培基质和气体等因素相对一致的条件下, 主要受环境温度和水分调节与制约。在子叶展平与子叶生长、及第一、二、三、四片真叶出现与生长的过程中, 除受上述条件影响外, 还受到环境光照(光辐射)和基质

营养条件的影响。本研究在其他环境条件相对一致的情况下, 以有效积温与水分驱动研究结果建立甜瓜苗期发育模型。

1.2.2 甜瓜幼苗生长发育模型的构建 从播种到成苗, 将甜瓜幼苗发育过程划分为出苗期、子叶展平期、两片真叶期和四片真叶期4个阶段, 不同阶段用发育指数和形态指标表示。发育指数分别记为1, 2, 3, 4, 形态指标分别为幼苗顶点出土、两片子叶展平且第一片真叶露心、两片真叶展平且第三片真叶露心、四片真叶展平且第五片真叶露心。

$$DVS_d = DVS_{d-1} + DR_i \quad (2)$$

$$DR_i = DRM_i \cdot TU_{id} \cdot DWSTR \cdot DNUSTR \quad (3)$$

$$DRM_i = 1/DV_i \quad (4)$$

式中, DVS_d 为幼苗当天的生长发育进程; DVS_{d-1} 为幼苗前1天的生长发育进程; DR_i 为幼苗第*i*阶段当天的发育速度; DRM_i 为幼苗完成第*i*阶段的标准发育速度; TU_{id} 为幼苗第*i*阶段某天的有效积温; $DWSTR$ 为水分影响因子参数; $DNUSTR$ 为育苗基质营养影响参数, 本模型中以充分营养供给, 取值为1; DV_i 为幼苗完成第*i*阶段所需要的总有效积温。

依据积温学说^[7], 作物完成某一发育阶段的总有效积温 DV_i 是相对固定不变的。在该模型中, 当 DVS_d 分别为1, 2, 3, 4整数时, 分别代表甜瓜完成出苗期、子叶展平期、两片真叶期、四片真叶期; 当 DVS_d 为非整数时, 说明处在某一阶段的发育过程中。

2 甜瓜幼苗生长发育模型参数的确定

2.1 有效积温对甜瓜苗期生长发育的影响参数

2.1.1 出苗期有效积温影响参数 在人工气候箱内对催芽后甜瓜种子模拟大田播种, 在温度控制条件下观察出苗情况并计算有效积温, 结果见表1。

表1 不同温度下不同甜瓜品种出苗期的有效积温

Table 1 Efficiency accumulated temperature at different muskmelon varieties and different temperatures in seedling period

品种 Variety	12	16	20	24	28	32
陕甜1号 Shantian number 1	0	0	18	18	20	21
一品天下 Yipintianxia	0	0	18	18	20	21
优选早蜜 Youxuan Zaomi	0	0	18	18	20	21
郁金香 Yujianxiang	0	0	18	18	20	21

由表1可以看出, 不同甜瓜品种在不同温度下出苗期的有效积温相对一致, 试验中的差异主要来

源于结果统计中统计时间及认识判断的误差, 因此可以初步认为, 出苗期下限温度大于18 ℃ 的有效积

温为 20 。

2 1 2 田间试验有效积温统计分析 对 2003~2004 年的 9 次育苗试验结果进行统计, 结果见表 2。由表 2 可以看出, 甜瓜完成幼苗不同生长阶段的有效积温相对稳定, 计算得到出苗期、子叶展平期、两片真叶期和四片真叶期的有效积温平均值分别为 22 3, 83 2, 110 9 和 105 2 , 以此作为模型完成不同生长阶段积温的参数值。结合表 1 和表 2 可以看出, 田间试验出苗期的有效积温较培养箱试验出苗

期有效积温高, 这一方面是由于培养箱内昼夜持续保持较高温度, 而田间温度处于变化状态; 另一方面由于田间覆盖基质较厚, 受其他因素影响较大, 而培养箱内受其他因素影响较小, 因此本模型中有效积温参数确定以田间试验结果为准。由表 2 还可以看出, 不同播种期的有效积温也存在差异, 这可能是由于试验观察误差及水肥、光照、温差等其他因子影响所致。

表 2 甜瓜不同播种期不同生长阶段的有效积温

Table 2 Efficiency accumulated temperature at different sowing times and different growth periods

播种期 Date of sowing	出苗期 Seedlings coming out phase	子叶展平期 Cotyledon unfold phase	两片真叶期 Two leave phase	四片真叶期 Four leave phase	合计 Total
2003-08-04	21 5	88	116		
2003-08-30	22	86	116		
2004-03-02	27	82	110		
2004-03-18	22	82	102		
2004-04-02	21	81	110	113	325
2004-04-20	20	82	110	108	320
2004-07-22	22	82	120	102	326
2004-08-07	23	83	114	104	324
2004-09-11	22	83	100	99	304
平均 Average	22 3	83 2	110 9	105 2	321 6

2 2 不同水分处理对甜瓜幼苗发育期的影响参数

已有研究^[8]表明, 甜瓜苗期水分管理的灌溉上限以土壤相对含水量为 80%~ 90% 为宜, 一般为 60%~ 90%。在 2004-08-07~ 09-08 的不同灌溉上限水分处理试验中, 植株发育指数在 301 有效积温期内有一定差异, 结果见表 3。对观察数据进行回归

分析, 得水分影响参数函数式为:

$$DWSTR = \frac{1}{1 + e^{7.2349 - 14.8611x}}, R = 0.9823 \quad (5)$$

式中, x 为基质相对含水量(%); $DWSTR$ 为灌溉上限对幼苗生长发育的影响参数。

表 3 不同水分处理甜瓜生长发育进程观察与发育指数

Table 3 Observation and development index of plant development progression at different water treatments

水分处理 Water treatment	植株发育进程形态观察 Observe shape of plant development progression	发育指数 Development index
60%	第三片真叶展开, 部分植株第四片真叶出现 Third leaf outspread, and fourth leaf of some plants appear	3 6
70%	第三片真叶展开, 全部植株第四片真叶出现 Third leaf outspread, and fourth leaf of all plants appear	3 8
80%	第四片真叶展开, 部分植株第五片真叶露心 Fourth leaf outspread, and fifths leaf of some plants appear	3 9
90%	第四片真叶展开, 全部植株第五片真叶露心 Fourth leaf outspread, and fourth leaf of all plants appear	4

3 甜瓜幼苗生长发育模型的验证

于 2005-03-04~ 05-24 分 3 次在日光温室进行甜瓜育苗试验, 观察项目同 2003~ 2004 年的 9 次试验, 以这 3 次试验结果对已建立的甜瓜幼苗生长发育模型进行验证。验证用国际上惯用的均方差法

$RMSE$ 对模拟值与观测值之间的符合程度进行分析, $RMSE$ 值越小, 表明误差越小。 $RMSE$ 值由式 (6) 计算, 结果见表 4。

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (OBS_i - SIM_i)^2}{n}} \quad (6)$$

式中, $RMSE$ 为均方差; OBS_i 为观测值; SM_i 为模拟值; n 为样本容量。

表4 甜瓜幼苗各生育阶段的预测误差

Table 4 Forecast error of muskmelon seedling in different growth phases

发育阶段 Development phase	优选早蜜			一品天下			$RMSE$
	实测值/d Measured value	模拟值/d Simulated value	绝对误差/d Absolute error	实测值/d Measured value	模拟值/d Simulated value	绝对误差/d Absolute error	
出苗期 Seedlings coming out phase	3	2.5	0.5	3.5	2.5	1.0	0.8
子叶展平期 Cotyledon unfold phase	6	7	1.0	8	7	1.0	1.1
两片真叶期 Two leave phase	14	13	1.0	15	13	2.0	2.1
四片真叶期 Four leave phase	22	21	1.0	25	21	4.0	2.8

表4结果表明,甜瓜幼苗生长发育模型在出苗期、子叶展平期、两片真叶期和四片真叶期4个不同生育阶段的均方差值分别为0.8、1.1、2.1和2.8。其中,中熟品种一品天下的绝对误差最大达到4 d,早熟品种优选早蜜各生育阶段的绝对误差均 ≤ 1 d,显示模型对温室甜瓜整个生育期及各生育阶段的预测具有较高的精确性。

4 讨论

科学地预测作物生长发育时期,在生产及理论研究中具有重要意义。前人^[9-10]利用积温学说原理对作物生长发育期已作了较为广泛的研究,但基本仅考虑了有效积温这一个因子,而将其他环境因素假设为理想条件,这与现实生产有一定差距。本研究

在考虑温度的同时还考虑了水分因子的影响,与单一的水分或温度研究相比较,与生产现实相对符合。

国内外针对甜瓜生长的专业性模型研究相对较少,个别研究^[10]是针对作物全生育期的。在幼苗生长的不同时期,植株完成不同的生理变化,而目前尚未见到对苗期进行较为精确划分的模拟研究。本研究根据甜瓜生物学特点与积温学原理,建立了温室甜瓜苗期有效积温与基质水分双因子驱动的生长发育模拟模型。模型验证结果表明,模型预测的绝对误差对早熟品种相对较小,而对中熟品种(最大误差达到4 d)相对较大,说明品种遗传因素对模型的预测性影响较大,而本模型影响因子组成中未考虑品种因素,这有待于进一步研究完善。

[参考文献]

- [1] Marcelis F M. Modelling biomass production and yield of horticultural crops: a review [J]. Wageningen Netherlands Scientia Horticulturae, 1998, 74: 83-111.
- [2] Challa Hugo, Heuvelink E P. Photosynthesis driven crop growth model for greenhouse cultivation: advance and bottle-necks[C]//Larsen R U. Workshop on greenhouse crop models A Inarip Sweden: ISHS, 1996: 9-21.
- [3] 李建明, 邹志荣. 温室园艺作物生长模型的研究现状[J]. 河南农业大学学报, 2003, 37(12): 33-35.
- [4] 孙忠富, 陈人杰. 温室作物模型与控制管理技术研究[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(4): 1-3.
- [5] 丁长命, 毛金富, 王建富. 厚皮甜瓜的生态特征与栽培技术[J]. 浙江农业科学, 1998(3): 45-47.
- [6] 别之龙, 汪李平. 蔬菜设施栽培专题讲座: 第五讲 长江流域西甜瓜春季设施栽培技术[J]. 长江蔬菜, 2005(5): 46-48.
- [7] 潘学标. 作物模型原理[M]. 北京: 气象出版社, 2003.
- [8] 王淑琴, 邹志荣. 温室甜瓜苗期节水灌溉上限指标研究[J]. 陕西农业科学, 2003(5): 27-30.
- [9] Challa Hugo. Growth of vegetative plant organs: the result of interacting ontogenetic patterns[J]. Acta Hort, 1997, 435: 160-168.
- [10] 施泽平. 温室甜瓜生长模型的研究与栽培管理专家系统的建立[D]. 南京: 南京农业大学, 2005.

(下转第138页)

- [6] 王军平. 小麦矮腥黑穗病菌的生物学和流行学初步研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2003
- [7] 单卫星, 陈受宜, 吴立人, 等. 中国小麦条锈菌流行小种的RAPD分析[J]. 中国农业科学, 1995, 28(5): 1-7.
- [8] 陈作红, 张志光, 张天晓. 鹅膏菌属真菌RAPD分析及亲缘关系的研究[J]. 菌物系统, 2000, 19(2): 51-55
- [9] 甘丽萍. 小麦白粉菌RAPD分析及不同白粉菌种间亲缘关系研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2004
- [10] 周永力, 吕国忠, 刘伟成, 等. 采用PCR-RFLP和RAPD对球壳孢目真菌系统学的研究[J]. 菌物系统, 1998, 17(2): 160-163

RAPD phylogenetic study of 12 powdery mildews from different hosts

GAN Liping^{1,2}, WANG Sheng-rong²

(1 Biological Department, Chongqing Three Gorges University, Wanzhou, Chongqing 404000, China;

2 Plant Protection Department, College of Life Science, Gansu Agriculture University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: Phylogeny of powdery mildews collected from different hosts were studied with RAPD. The results show that: (1) 45 loci were obtained through amplification with 5 primers, of which the polymorphic frequency of 38 polymorphic loci were 84.4%. (2) The results with PopGene 32 of Shannon and Nei were 0.5114 and 0.3395 respectively with polymorphic frequency 97.8%, which are higher than that of Shan-weixing method. Clustering analysis showed that there were two nodes in 12 species. Heredity relationship was compared, but there was a minor similarity in position of some species between RAPD and traditional morphological classification. It indicates that morphological study is required to study phylogeny of powdery mildews with other methods except molecular marker.

Key words: powdery mildew (*Erysipales*); phylogenetic study; RAPD; clustering analysis

(上接第132页)

Abstract ID: 1671-9387(2006)08-0129-EA

Simulating, modeling and validating of greenhouse muskmelon seedling growth and development by temperature and water driving

LI Jian-ming, ZOU Zhi-rong, WANG Zhong-hong

(College of Horticulture, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: According to the biological characteristics of muskmelon and temperature accumulation principle, greenhouse muskmelon seedling growth and development model is simulated and validated after 12 experiments in greenhouse. The result shows that when muskmelon finishes seedling prouting, cotyledon spreading, shooting 2 and 4 leaves separately, the valid accumulated temperatures are 22.3, 83.2, 110.9, 105.2. The parameter functional formula showing the influence of media relative water content on seedling development is logistic. The validating result of the model shows that the model is of high accuracy, mechanism and practicability.

Key words: greenhouse culture; muskmelon culture; seedling growth; growth and development model