

## 日光温室黄瓜叶片和果实相关参数的模拟

李化龙<sup>1,2</sup> 陈端生<sup>1</sup> 杨合法<sup>1</sup>

(1. 中国农业大学 农学与生物技术学院,北京 100094; 2. 陕西 咸阳农业气象研究所,陕西 咸阳 712034)

**摘要** 为建立黄瓜叶面积和果实干鲜重的模拟模型,采用定株非破坏性观测和随机取样方法,系统观测了日光温室内黄瓜不同播期整个生育期的叶长、叶宽、叶面积及果长、果径、果实体积和干鲜重。运用几何解析方法,建立了与黄瓜叶片特征相适应的叶面积模拟模型,其结果对实测值有很好的拟合性;比叶重模拟结果表明,叶片比叶重随叶面积的增加趋于减小,在叶片充分展开后其值稳定在  $0.31 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$  左右;以黄瓜果长、果径为参数建立的果实体积和鲜重模拟模型的结果与实际值相当一致,相关系数达  $R^2=0.996$ ;果实干物质含量的模拟结果受采收期果实含水量的影响较大。所建模型与待建的黄瓜光合作用模拟模型相联接,可实现对黄瓜群体结构和果实产量的预测,是日光温室黄瓜生长发育系统模型的子模型之一。

**关键词** 模拟;叶面积;果重;黄瓜;日光温室

中图分类号 S 627.5

文章编号 1007-4333(2003)S0-0076-04

文献标识码 A

### Simulation of related parameters of cucumber leaf and fruit in sunlight greenhouse

Li Hualong<sup>1,2</sup>, Chen Duansheng<sup>1</sup>, Yang Hefa<sup>2</sup>

(1. College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100094, China;

2. Xianyang Institute of Agroneteology, Shaanxi Xianyan 712034, China)

**Abstract** In order to establish the simulation models of cucumber leaf area and fruit weight, some non-destructive and random sampling methods were used to measure the length, width and area of the leaves and the length, circumference, volume and fresh and dry weight of the fruit with different seeding times in sunlight greenhouse. With geometry analysis method, a method with clear physical meaning was established for simulation. The simulated results were fitted very well with the measured values. The simulated ratio of cucumber leaf dry matter to leaf area tended to reduce with increasing the leaf area, and stabilized around  $0.31 \text{ mg}/\text{cm}^2$ . Using the parameters of length and circumference of fruit, the simulation model of fresh weight of the fruit provided an accurate estimation of the fresh weight and volume when the leaf was fully expended. The correlation coefficient ( $r$ ) was 0.996. The simulated dry matter content was great influenced by the fruit water content during the maturity period. Furthermore, connected with the simulation model of photosynthesis, the model could forecast the cucumber canopy architecture and fruit output.

**Key words** simulation; leaf area; fruit weight; cucumber; sunlight greenhouse

运用适宜的作物生长模拟模型科学合理地安排生产和调控作物生长环境的微气候要素,对充分发挥设施农业优质高效的生产功能具有重要作用。黄瓜是我国设施农业生产中重要的主栽品种之一,建立日光温室条件下黄瓜生产、发育和产量形成过程的计算机模拟模型,并在此基础上形成日光温室黄瓜生产管理决策专家系统,不仅可使生产经营者的种植管理实现科学化、合理化和规模化,而且可为其提供有关黄瓜生长发育进程、果实上市期、可上市量等大量先期预测信息,从而为提高设施农业的自动化管理水平和生产效益提供技术基础<sup>[1]</sup>。基于计算

机科学、栽培学、农业经济学、控制工程学及作物生长发育和产量形成等综合动态研究成果基础上的设施农业模式化栽培系统,所建模型主要应用于温室环境条件下光、热、水、气等环境因素的自动化调控、生产周期的安排,产量和上市期的预测、经济效益的估算等方面,显示出很强的实用性<sup>[2,3]</sup>。我国作物模式化栽培模型的研究也取得了一些成果,主要集中于粮、棉等大田农作物方面<sup>[4~6]</sup>,蔬菜设施栽培方面的模型研究尚处于起始阶段<sup>[7,8]</sup>。本研究对温室黄瓜整个生育期叶片和果实的相关生物学参数的模拟模型的建立进行了探讨,是建立日光温室黄瓜生长

收稿日期:2003-10-08

作者简介:李化龙,高级工程师;陈端生,教授,博士生导师,联系作者,主要从事设施园艺和环境工程研究。

发育和产量形成系统模拟模型的基础性研究之一。

### 1 试验材料和方法

试验在中国农业大学曲周试验站日光温室进行。温室东西长 50 m,南北宽 8 m,钢骨架结构,透光材料为 0.08 mm 的 EVA 高效能转光流滴膜。供试品种为荷兰水果性黄瓜秋香 F1。分别于 2002-09-07—09-23 和 2003-02-02—02-24 每隔 5~7 d 进行分期营养钵育苗,幼苗第 3~4 片真叶展开时定植。采用起垄大小行栽培方式,大行行距 0.8 m,小行 0.6 m,株距 0.3 m。每处理选择 5 株黄瓜进行定株活体观测,观测每 3 d 一次;每 10 d 进行一次取样观测,每次 1~3 株。定株活体观测项目有:各节位叶片的叶长( $L_L$ )、叶宽( $W_L$ )、果实长( $L_F$ )、果实直径( $D_F$ )。果实生长到商品果采收标准时(瓜条长 12 cm,直径 2.8 cm 左右)适时采收,分别取样测量果实直径、周长( $C_F$ )、体积( $V_F$ )及鲜重( $M_F$ )和干重( $DM_F$ )。取样观测项目有:各节位叶片叶长、叶宽、叶面积( $S_L$ ),各节位果实果长、果实直径及干物重。黄瓜鲜果体积采用量筒排水法测定;果长、果实直径采用直尺测量,果径周长用柔性尺子测得;果实直径及果径周长为瓜条中部测值。叶宽为叶片上部肩宽测值,叶长为叶片基部至叶尖的距离<sup>[9,10]</sup>。

黄瓜定植前施入经 EM 发酵腐熟的牛粪 8 m<sup>3</sup>,生物有机肥 52 kg(有机质含量 38.6%,氮、磷、钾含量分别为 4.0%、3.5%、1.39%),磷酸二铵 40 kg。整个生育期水肥管理充分满足黄瓜生长需求。病虫害防治按常规方法进行。

黄瓜植株四叶以下节位的花芽、幼果及时摘除,所有节位不留侧枝,主茎自第 5 节开始每节留一雌花。

夜间温度偏低时,采用自动卷帘保温被覆盖保温,温度偏高时由通风口通风降温。

### 2 结果与讨论

#### 2.1 黄瓜叶片相关参数的模拟

2.1.1 黄瓜叶片面积的模拟 叶面积指数是描述作物群体结构的重要参数,实际应用中作物叶面积多采用长×宽值作因子进行回归估算<sup>[11]</sup>:

$$S_L = a + b \times L_L \times W_L \quad (1)$$

该方法基于叶片形状为近似矩形的假设,适用于小麦、玉米等叶片类似矩形形状的作物叶面积计算(图 1)。黄瓜叶片形状与小麦、玉米等作物叶片

的形状是完全不同的 2 个类型,仍采用上述方法对其叶面积进行估算,存在物理意义不清楚问题。

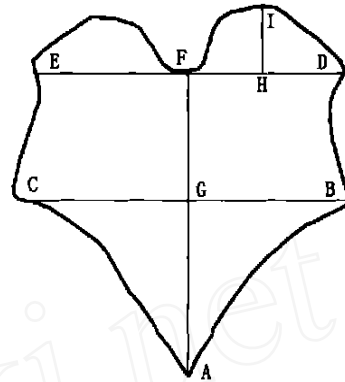


图 1 黄瓜叶片叶面积模拟解析图  
Fig. 1 Analysis chart of area simulation of cucumber leaf

观察正常黄瓜叶片形态发现,黄瓜叶片可分解成 3 个几何部分,即上部的三角形区、中部的梯形区和下部的弧形区,3 部分面积分别以等腰三角形、等腰梯形和圆弧面积的几何计算公式计算相应面积,3 部分面积之和即为整个叶片的面积:

$$L_s = S_{ABC} + S_{BDEC} + 2 \times S_{FID} \quad (2)$$

其中:

$$S_{ABC} = 1/2 L_L \times GA \quad (3)$$

$$S_{BDEC} = (L_L + ED) \times FG/2 \quad (4)$$

$$S_{FID} = \arcsin \left[ \frac{8 \times ED \times IH}{ED^2 + 16 \times IH^2} \right] \times \left[ \frac{ED^2 - 16 \times IH^2}{32 \times IH} \right]^2 - \frac{ED \times (ED^2 - 16 \times IH^2)}{128 \times IH} \quad (5)$$

(3)、(4)、(5) 式中各线段长度与  $L_L$ 、 $W_L$  存在相关关系,可由  $L_L$ 、 $W_L$  求得:

$$ED = -1.94 + 0.54 \times W_L + 0.57 \times L_L \quad (6)$$

$$R^2 = 0.990$$

$$n = 23$$

$$FG = -1.33 - 0.47 \times W_L + 1.04 \times L_L \quad (7)$$

$$R^2 = 0.909$$

$$n = 23$$

$$IH = -0.643 + 0.352 \times W_L - 0.061 \times L_L - 0.00421 \times L_L \times W_L \quad (8)$$

$$R^2 = 0.945$$

$$n = 23$$

$$AG = L_L - FG = 1.33 + 0.47 \times W_L - 0.04 \times L_L \quad (9)$$

建立实测叶面积值和由 (3)、(4)、(5) 式计算所

得值的回归模型,得到黄瓜单叶叶面积的几何计算模式:

$$L_s = 1.525 + 1.039 \times (S_{ABC} + S_{BDEC} + 2 \times S_{FID}) \quad (10)$$

$$R^2 = 0.986$$

$$n = 108$$

(10) 回归检验  $F = 3313.1 > F_{0.01}$ , 具有较高的模拟精度(图2)。

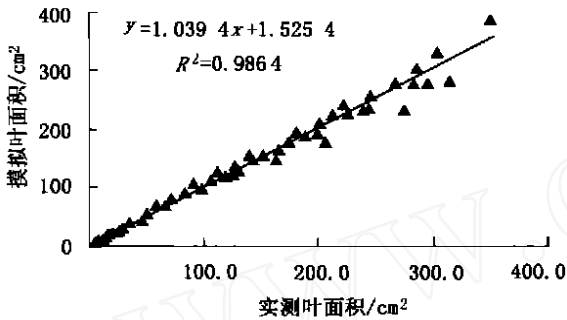


图2 黄瓜叶面积的模拟结果

Fig. 2 Comparison of modeled and actual measured result of cucumber leaf area

2.1.2 黄瓜叶片比叶重的模拟 黄瓜叶片比叶重( $P_{LW}$ )是估算群体叶面积的重要参数。图3表明,叶片比叶重与叶面积成指数关系,随叶面积的增大,比叶重趋于减小。

$$P_{LW} = 5.087 \times L_s^{-0.1389} \quad (11)$$

$$R^2 = 0.646$$

$$n = 110$$

结合光合作用模拟模型给出的光合产物在叶片中的分配量,运用(11)式可模拟出作物叶面积的日增长量:

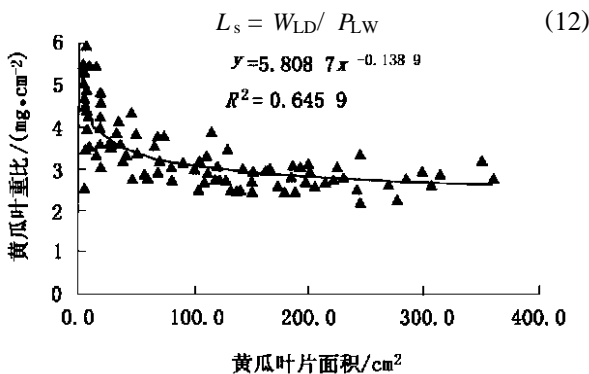


图3 黄瓜叶片叶重比的模拟

Fig. 3 Simulation of proportion of cucumber leaf dry matter to leaf area

式中: $W_{LD}$ 为光合产物在叶片中的日分配量。为了简化计算,可将比叶重 $P_{LW}$ 取常数值( $P_{LW} = 3.1 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$ )计算。

## 2.2 黄瓜果实相关参数的模拟

2.2.1 黄瓜果实体积的模拟 黄瓜果实为一近似的圆柱体,以圆柱体体积计算公式为基础建立黄瓜果实体积的模拟方程:

$$V_F = 2.633 + 0.792 L_F \times (C_F/2)^2 \quad (13)$$

$$R^2 = 0.922, \quad n = 126$$

$$V_F = 1.801 + 0.880 \times (D_F/2)^2 \times L_F \quad (14)$$

$$R^2 = 0.913, \quad n = 126$$

式中: $L_F$ 为黄瓜果实长度(cm); $C_F$ 为黄瓜果径周长(cm); $D_F$ 为黄瓜果实直径(cm); $V_F$ 为黄瓜鲜果模拟体积( $\text{cm}^3$ )。

2.2.2 黄瓜果实鲜重的模拟 黄瓜果实鲜重是描述黄瓜商品产量的重要参数,其值可由黄瓜的鲜果体积数据模拟获得:

$$W_F = 0.200 + 0.978 \times V_{F1} \quad (15)$$

$$R^2 = 0.996, \quad n = 104$$

式中: $W_F$ 为果实鲜重(g), $V_{F1}$ 为果实实测体积( $\text{mL}$ ),其回归系数在物理意义上表示黄瓜鲜果的比重( $P_F = 0.978 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ),其值与实测值基本一致(图4)。

2.2.3 黄瓜果实干物重的模拟 黄瓜果实干物质含量取决于其鲜重量与含水率。商品果实的含水率在93%~97%之间变动,其值与果实的大小和所着生节位相关性不明显。为计算黄瓜鲜果的干物质含量,假定鲜果含水率为常量,取其平均值 $R_{FM} = 0.95$ ,则果实干物质量为:

$$W_{FD} = 0.048 + 1.100 \times V_F \times P_F \times (1 - R_{FM}) \quad (16)$$

$$R^2 = 0.940, \quad n = 258$$

式中: $W_{FD}$ 黄瓜果实干物重(g), $P_F$ 鲜果比重, $0.978 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ;  $R_{FM}$ 鲜果含水率, $0.95 \text{ g/g}$ 。

从幼果期黄瓜果实干物质模拟结果可以看出(图5),黄瓜果实干物质含量模拟方程的模拟结果与实测值具有较好的拟合性。

将(16)式与黄瓜群体光合作用模拟模型接口,获得光合产物在果实中的分配总量,可计算求得黄瓜群体的鲜果产量:

$$W_F' = -0.062 + 1.016 \times \frac{W_{FD}}{1 - R_{FD}} \quad (17)$$

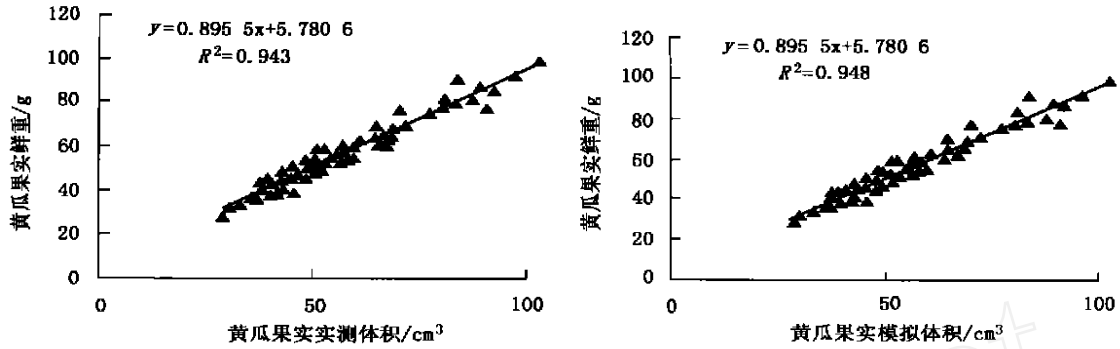


图4 黄瓜果实鲜重的模拟

Fig. 4 Simulation of cucumber fresh fruit weight

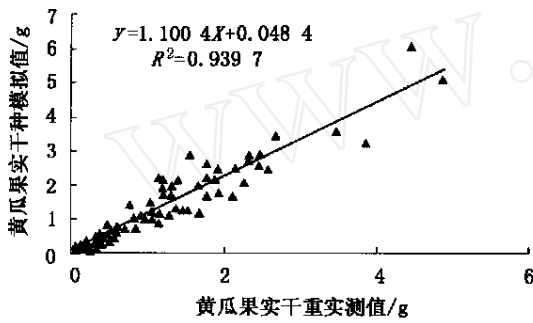


图5 黄瓜果实干重模拟

Fig. 5 Simulation of dry matter of cucumber fruit

## 参 考 文 献

- [1] 陈青云. 节能型日光温室光温环境的动态模拟及其应  
用[J]. 农业工程学报, 1995, 11(增刊): 126 ~ 131
- [2] Marcelis L F M, Heuvelink E, Goudriaan J. Modeling  
biomass production and yield of horticultural crops: a review  
[J]. Scientia Horticulturae, 1988(74): 83 ~ 111
- [3] Gary C, Jones J W, Tchamitchian M. Crop modeling in horti-  
culture: state of the art [J]. Scientia Horticulturae, 1988  
(74): 3 ~ 20
- [4] 陈华, 张立中, 方娟. 小麦发育动态模拟模型的初步研  
究[J]. 中国农业气象, 1995, 16(1): 1 ~ 4
- [5] 高粱之, 金之庆, 黄耀, 等. 水稻计算机模拟模型及其  
应用之一: 水稻钟模型——水稻发育动态的计算机模  
型[J]. 中国农业气象, 1989, 10(3): 3 ~ 15
- [6] 刘文, 王恩利, 韩湘玲. 棉花生长发育的计算机模拟模  
型研究初探[J]. 中国农业气象, 1992, 13(6): 3 ~ 15
- [7] 薛玲宝, 姜敦云. 果菜类蔬菜生长发育及产量形成模型  
的研究进展[J]. 中国蔬菜, 2001(1): 48 ~ 50
- [8] 孙忠富, 陈仁杰. 温室园艺作物生长发育模型研究现状  
与发展趋势[J]. 园艺学报, 2001, 28(增刊): 700 ~ 704
- [9] Marcelis L F M. Non-destructive measurements and analysis of  
the cucumber fruit [J]. Journal of Horticultural Science,  
1992, 67(4): 457 ~ 464
- [10] Marcelis L F M. Fruit shape in cucumber as influenced by  
position within the plant, fruit load and temperature [J]. Sci-  
entia Horticulturae, 1994(56): 299 ~ 308
- [11] 张亚红, 陈端生, 黄晚华. 日光温室黄瓜群体结构参数  
及群体内辐射分布分析[J]. 农业工程学报, 2003, 19  
(1): 172 ~ 176

## 3 结 论

1) 用几何解析的方法, 将黄瓜叶片分解成三角形区、梯形区、圆弧区 3 部分分别求算其面积, 得到清晰的叶面积模拟模型:  $L_s = 0.1843 + 1.385 \times S_{ABC} + 0.71767 \times S_{ABFG} + 0.643326 \times S_{FID}$ 。

2) 叶片比叶重与叶面积成对数变化趋势, 随叶片的扩展, 比叶重基本稳定在  $P_{LW} = 3.1 \text{ mg cm}^{-2}$  左右。

3) 以黄瓜瓜长及果径数据建立的果实鲜重模拟模型取得了与实测值基本一致的结果; 果实干物重受其含水率波动影响, 模拟结果不如鲜重的拟合性好。

4) 叶面积和干物质模拟模型与光合作用模型相链接, 得到黄瓜叶面积和果实产量日增长模型, 为黄瓜群体结构和果实产量的预测奠定了基础。