

大花蕙兰营养生长期植株生长与辐热积关系的模拟模型研究

文磊¹, 谭美², 王四清^{1,*}

(¹北京林业大学园林学院, 北京 100083; ²丽江师范高等专科学校生命科学系, 云南丽江 674100)

摘要: 根据光照辐射和温度对大花蕙兰生长状况的影响, 通过‘明月’和‘梦幻’两个品种在两个温室中的试验, 建立了以辐热积为指标的温室大花蕙兰生长指标预测模型, 并使用独立的试验数据对模型进行检验。结果表明: 模型对于大花蕙兰两个品种‘明月’和‘梦幻’母球、子球、孙球植株最长叶长、假鳞茎直径、展叶数的预测值与实际观测值的决定系数 (R^2) 分别高于 0.98、0.98、0.95; 回归估计标准误差 (RMSE) 分别低于 2.06 cm、0.85 mm、1.21 片; 预测相对误差 (RSE) 分别低于 4.8%、2.8%、8.8%。表明该模型对以上生长指标的预测精度较高, 可为温室大花蕙兰生产中的光照和温度的调控提供理论依据。

关键词: 大花蕙兰; 营养生长期; 生长指标; 辐热积; 模拟模型

中图分类号: S 682.31

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2014) 05-1001-08

Study on Stimulation Model of Growth Condition of *Cymbidium hybridum* Vegetative Growth Period Based on Production of Thermal Effectiveness and PAR

WEN Lei¹, TAN Mei², and WANG Si-qing^{1,*}

(¹College of Landscape Architecture, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; ²Department of Life Science, Lijiang Teachers College, Lijiang, Yunnan 674100, China)

Abstract: Product of thermal effectiveness and PAR (TEP) is an important method in the crop growth simulation models. The growth condition including the longest leaf-length, pseudobulb diameter and the number of unfolding leaf, is an important index in *Cymbidium*'s vegetative growth period. The aim of this study is to investigate the effects of both temperature and photosynthetically active radiation on the growth condition of *Cymbidium hybridum* vegetative growth period. According to the characteristic of growth and development of *Cymbidium* responding to temperature and light, *Cymbidium* Hiroshima Golden Cup ‘Sunny Moon’ and *Cymbidium* Great Flower ‘Marie Laurencin’ were used as experimental materials to study the growth and development simulation of *Cymbidium* in the greenhouse by the method of TEP. The results showed that the predicted results, including the longest leaf-length, pseudobulb diameter and the number of unfolding leaf, accorded well with the observed ones. The decision coefficient (R^2) of predicted

收稿日期: 2013-12-20; 修回日期: 2014-03-11

基金项目: 国家‘十二五’科技支撑计划课题 (2011BAD12B02-01)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: wangsiqing547@sina.com)

values and actual measured values of the cue ball, cormel, sun ball's longest leaf-length, pseudobulb diameter, the number of unfolding leaf of the two varieties were respectively higher than 0.98, 0.98, 0.95; The regression estimation standard error (RMSE) were respectively lower than 2.06 cm, 0.85 mm, 1.21; The relative prediction error (RSE) were lower than 4.8%, 2.8%, 8.8%. The simulation model is applicable with few parameters, and can provide an effective method to predict the growth condition of *Cymbidium*'s vegetative growth period and decision support for the light and temperature management of greenhouse *Cymbidium*'s production.

Key words: *Cymbidium hybridum*; vegetative growth period; growth condition; TEP; stimulation model

作物生长模拟是以系统分析原理和计算机模拟技术来定量描述作物生长、发育、产量形成过程及对环境反应(杨宁和廖桂平, 2003), 是辅助温室作物生产环境优化调控和实现温室作物栽培管理优化与标准化的有力工具(李永秀等, 2005)。从目前看来, 作物生长模拟研究还主要集中在大田作物以及一些重要的经济作物, 对温室花卉的研究还比较薄弱。Pramuk 和 Runkle (2005) 利用日均温和每日光量累积对鸡冠花和凤仙花的生长发育状况进行了模拟。徐国彬等(2006)首次将温度热效应和光照有效辐射整合起来, 提出了辐热积(Product of thermal effectiveness and PAR, TEP)的概念, 通过试验发现不同扦插期的温室盆栽一品红完成同一生育期所需的累积辐热积基本一致。明村豪等(2012)基于辐热积构建了黄瓜幼苗壮苗指标与光照和温度变化的关系, 模型能对黄瓜幼苗健壮程度有较准确的预测。

大花蕙兰(*Cymbidium hybridum*)是兰属中一部分附生性种类的杂交种(朱根发, 2004), 目前中国大花蕙兰主要采用组织培养技术进行繁殖, 其生长缓慢, 生育期较长, 对于生长条件要求较高, 从组培苗出瓶到开花需要 3 ~ 4 年的时间。大花蕙兰在进行花芽分化发育之前有很长的一段营养生长期, 这个阶段各代苗形成足够的叶片和肥大的假鳞茎, 为花芽分化储备充足的营养。因此, 在大花蕙兰生长过程中如何调控温室内的环境条件来控制其生长发育过程则是在生产中遇到的主要难题。本研究中采用辐热积法(TEP)建立大花蕙兰营养生长期的生长模拟模型可以对大花蕙兰营养生长期的生长状态进行预测。

1 材料与方法

1.1 材料与设计

试验于 2009 年 12 月至 2011 年 3 月在北京林业大学科技股份有限公司固安基地的现代化连栋温室内进行。试验材料为大花蕙兰品种‘明月’(*Cymbidium Hiroshima Golden Cup* ‘Sunny Moon’)和‘梦幻’(*Cymbidium Great Flower* ‘Marie Laurencin’)的组培苗(无性繁殖苗)。

选取生长健壮、长势基本一致、叶片完整、较少枯梢及黄叶、叶质肥厚的大花蕙兰小苗、1 年生苗和 2 年生苗, 采用盆栽方式, 栽培基质为腐熟松树皮, 置于 60 cm 高的铁丝网床上。小苗苗龄 6 个月, 苗高 18 cm 左右, ‘明月’ 8 片叶, ‘梦幻’ 6 片叶, 栽植于 12 cm × 12 cm 的营养钵中; 1 年生苗萌发第 2 代新芽, 一个母球带两个子芽, ‘明月’ 芽长 17 cm, 展开 4 片叶, ‘梦幻’ 芽长 5 cm, 未展叶, 栽植于 15 cm × 18 cm 的黑色塑料盆中; 2 年生苗萌发第 3 代新芽, 两个子球带两个孙芽, 芽长 17 cm, ‘明月’ 展开 4 片叶, ‘梦幻’ 未展叶, 栽植于 18 cm × 22 cm 的黑色塑料盆中。

试验分两部分, 试验 1 在连栋温室 A 内进行, 试验 2 在连栋温室 B 内进行, A、B 两栋温室南

北分布。南面 A 温室单拱长 55 m, 宽 35 m, 高 5 m, 覆盖 18 丝的利得膜; 北面 B 温室单拱长 45 m, 宽 30 m, 高 5 m, 玻璃覆盖。采用地热温泉水取暖进行温室加温, 利用风机和水帘进行温室降温。试验 1 所得数据用来建立模型, 试验 2 所得数据用来验证模型。试验采用完全随机设计, 将两个品种各苗龄试验苗随机排列在苗床上, 两个温室内试验材料的布置方式相同。试验过程中大花蕙兰的日常栽培管理和温室常规生产相同。

1.2 测定项目与方法

试验期间用 ZDR 系列温度照度自动记录仪监测温室内环境数据, 采集 A、B 两个连栋温室内大花蕙兰冠层上方的空气温度和光照强度, 采集频率为每 30 min 1 次。仪器距植株高 30 cm, 每 3 个月调整 1 次。

试验 1 每个品种每个苗龄分别选取 5 株生长相对一致的植株, 每月测定母球(一代苗)、子球(二代苗)、孙球(三代苗)的最长叶长、假鳞茎直径、展叶数等生长指标。样本数量: ‘明月’母球 $n=5$ 个, 子球 $n=10$ 个, 孙球 $n=10$ 个; ‘梦幻’母球 $n=5$ 个, 子球 $n=5$ 个, 孙球 $n=10$ 个, 3 次测量, 取平均值。试验 2 每个品种每个苗龄分别选取 2 株生长相对一致的植株, 每月测定 1 次母球、子球、孙球的最长叶长、假鳞茎直径、展叶数等生长指标。样本数量: ‘明月’母球 $n=2$ 个, 子球 $n=4$ 个, 孙球 $n=4$ 个; ‘梦幻’母球 $n=2$ 个, 子球 $n=2$ 个, 孙球 $n=4$ 个, 3 次测量, 取平均值。最长叶长为从植株基部开始至最长叶片的叶尖的长度, 假鳞茎直径用游标卡尺测量假鳞茎最大处的直径, 展叶数是指假鳞茎上所有大于 5 cm 的功能叶的数量。

1.3 辐热积的计算

采用综合了温度热效应和光合有效辐射的辐热积 (Production of effectiveness and PAR, TEP) 为预测指标。大花蕙兰在某一生长阶段内的累积辐热积 (TEP) 由该阶段内的日辐热积累积 (DTEP) 的总和而得到:

$$\text{TEP} = \sum \text{DTEP} \quad (1)$$

$$\text{DTEP}(i) = [\sum \text{RTE}(i, j) / 24] \times \text{PAR}(i) \quad (2)$$

$$\text{RTE}(T) = \begin{cases} 0 & T < T_b \\ (T - T_b) / (T_{ob} - T_b) & T_b \leq T < T_{ob} \\ 1 & T_{ob} \leq T \leq T_{ou} \\ (T_m - T) / (T_m - T_{ou}) & T_{ou} < T \leq T_m \\ 0 & T > T_m \end{cases} \quad (3)$$

DTEP(i) 为大花蕙兰在第 i 天的日辐热积 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2}$), RTE(i, j) 为在第 i 天内第 j 小时的相对热效应, PAR(i) 为第 i 天到达植株冠层上方的日总光合有效辐射 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$); RTE(T) 为温度为 T 时的相对热效应, T 为每小时的平均温度, T_b 、 T_m 、 T_{ob} 、 T_{ou} 分别为大花蕙兰发育下限温度、发育上限温度、最适下限温度、最适上限温度(曹卫星和罗卫红, 2003)。根据相关文献资料(卢思聪, 1994; 熊兆成和黄萍萍, 2004)得到大花蕙兰在营养生长期的发育下限温度: 5 °C; 最适下限温度: 15 °C; 最适上限温度 25 °C; 发育上限温度: 30 °C。通过观测到的温度和光照数据, 结合每日相对热效应和日总光合有效辐射的计算方法(李永秀 等, 2005; 潘瑞炽, 2006)及以上 3 个公式可以计算出大花蕙兰在各生长发育阶段所需要的累积辐热积。

1.4 模型的检验方法

用试验 2 所得数据对模型进行验证, 首先根据模型计算出模拟值, 然后用回归估计标准误差

RMSE (root mean squared error, RMSE) 和预测相对误差 RSE (relative prediction error, RSE) 对模型模拟值和实际观测值之间的符合度进行统计分析 (袁昌梅 等, 2005), 回归估计标准误差 RMSE 和预测相对误差 RSE 分别用公式 (4) 和 (5) 计算:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{OBS}_i - \text{SIM}_i)^2}{n}} \quad (4)$$

$$\text{RSE} (\%) = \text{回归估计标准误差} / \text{实测样本平均值} \times 100 \quad (5)$$

上式中, OBS_i 为实际观测值, SIM_i 为模型模拟值, n 为样本容量。

2 结果与分析

2.1 各形态指标与累积辐热积的关系

在温室大花蕙兰的商品化生产中, 形态指标 (最长叶长, 假鳞茎直径, 展叶数等) 最能反映生长状况, 所以对其与辐热积的关系进行模拟是有所必要的。

用试验 1 的环境数据以及公式 (1)、(2) 和 (3) 计算得到生理辐热积, 建立起最长叶长、假鳞茎直径和展叶数的实测值与生理辐热积之间的关系 (图 1, 表 1 ~ 表 3)。

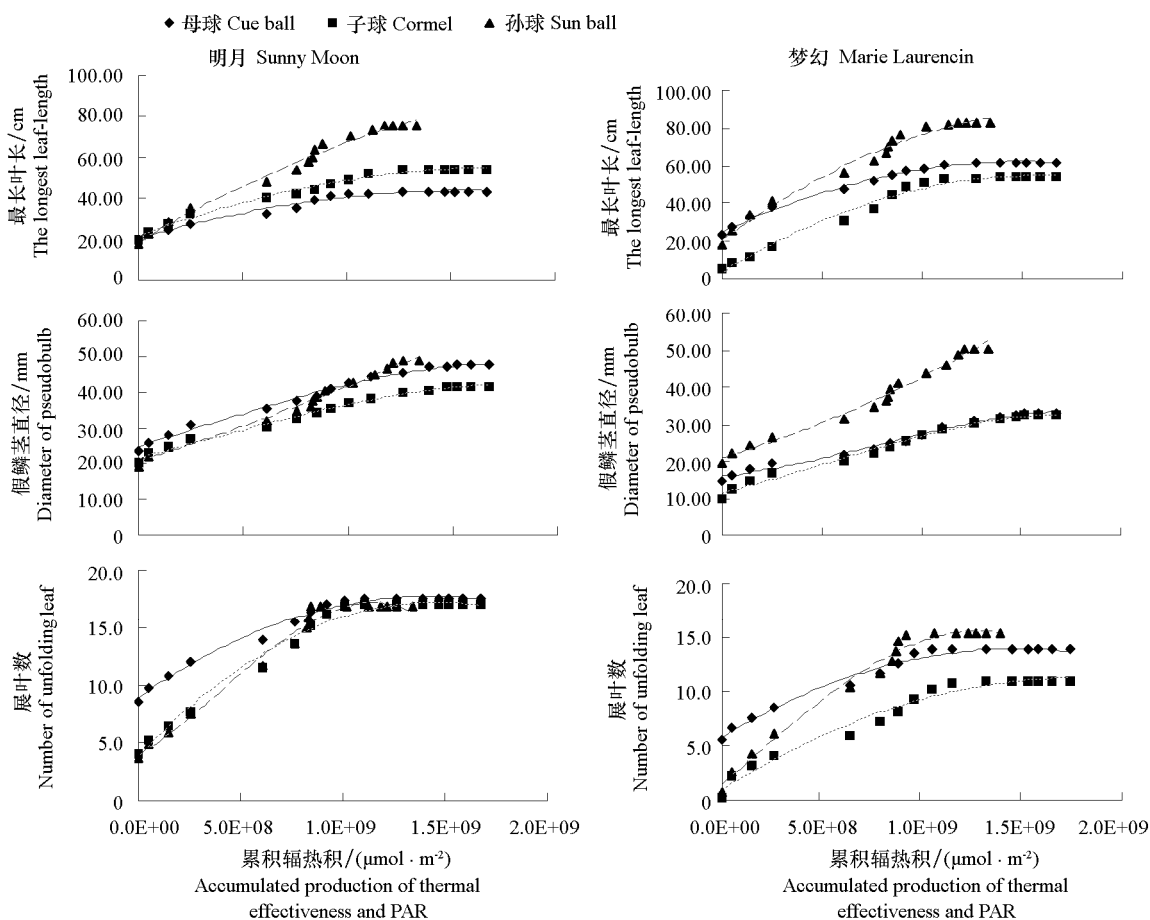


图 1 大花蕙兰两个品种最长叶长、假鳞茎直径和展叶数与辐热积的拟合曲线

Fig. 1 Relationship between the longest leaf-length, diameter of pseudobulb, unfolding leaf number of two cultivars of *Cymbidium hybridum* and TEP

表 1 最长叶长 (L) 与辐热积 (TEP) 的最优拟合方程及参数
Table 1 Optimal fitting equations and parameters of the longest leaf-length and TEP

品种 Cultivar		回归方程 Regression equation	R^2	SE
明月 Sunny Moon	母球 Cue ball	$L = 19.976 + 3.029E - 8TEP - 9.668E - 18TEP^2$	0.989	0.981
	子球 Cormel	$L = 21.211 + 3.866E - 8TEP - 1.105E - 17TEP^2$	0.988	1.413
	孙球 Sun ball	$L = 18.957 + 5.949E - 8TEP - 1.124E - 17TEP^2$	0.986	2.520
梦幻 Marie Laurencin	母球 Cue ball	$L = 24.899 + 4.978E - 8TEP - 1.654E - 17TEP^2$	0.995	1.002
	子球 Cormel	$L = 3.413 + 6.514E - 8TEP - 2.057E - 17TEP^2$	0.986	2.341
	孙球 Sun ball	$L = 20.855 + 7.744E - 8TEP - 2.177E - 17TEP^2$	0.986	2.845

表 2 假鳞茎直径 (D) 与辐热积 (TEP) 的最优拟合方程及参数
Table 2 Optimal fitting equation and parameters of the diameter of pseudobulb and TEP

品种 Cultivar		回归方程 Regression equation	R^2	SE
明月 Sunny Moon	母球 Cue ball	$D = 24.819 + 1.799E - 8TEP + 1.986E - 18TEP^2 - 2.680E - 27TEP^3$	0.993	0.783
	子球 Cormel	$D = 21.585 + 1.533E - 8TEP + 1.654E - 18TEP^2 - 2.075E - 27TEP^3$	0.989	0.859
	孙球 Sun ball	$D = 20.789 + 1.801E - 8TEP + 2.859E - 18TEP^2$	0.989	1.112
梦幻 Marie Laurencin	母球 Cue ball	$D = 15.964 + 5.480E - 9TEP + 1.013E - 17TEP^2 - 4.304E - 27TEP^3$	0.989	0.756
	子球 Cormel	$D = 11.461 + 1.302E - 8TEP + 5.917E - 18TEP^2 - 3.671E - 27TEP^3$	0.990	0.844
	孙球 Sun ball	$D = 20.943 + 1.579E - 8TEP + 5.792E - 18TEP^2$	0.986	1.337

表 3 展叶数 (N) 与辐热积 (TEP) 的最优拟合方程及参数
Table 3 Optimal fitting equation and parameters of unfolding leaf number and TEP

品种 Cultivar		回归方程 Regression equation	R^2	SE
明月 Sunny Moon	母球 Cue ball	$N = 8.922 + 1.233E - 8TEP - 4.306E - 18TEP^2$	0.989	0.357
	子球 Cormel	$N = 3.908 + 1.828E - 8TEP - 6.275E - 18TEP^2$	0.988	0.570
	孙球 Sun ball	$N = 3.983 + 1.027E - 8TEP + 1.212E - 17TEP^2 - 9.619E - 27TEP^3$	0.985	0.667
梦幻 Marie Laurencin	母球 Cue ball	$N = 5.826 + 1.145E - 8TEP - 4.032E - 18TEP^2$	0.986	0.379
	子球 Cormel	$N = 0.957 + 1.202E - 8TEP - 3.509E - 18TEP^2$	0.977	0.609
	孙球 Sun ball	$N = 1.466 + 1.652E - 8TEP + 1.258E - 18TEP^2 - 4.368E - 27TEP^3$	0.986	0.686

从图 1 和表 1 ~ 表 3 看出, 大花蕙兰 ‘明月’、‘梦幻’母球、子球、孙球植株的最长叶长、假鳞茎直径和展叶数均随着辐热积的增加而增大。从增长速率来看, 孙球各指标的增长较母球、子球快, 这是因为母球是出瓶 6 个月的组培苗, 已经过了生长旺盛期, 而 1 年苗萌发的子芽和 2 年苗萌发的孙芽开始都快速生长, 当终止叶出现后, 生长速度减慢, 球茎则逐渐停止生长。

2.2 模型检验结果与分析

用与建模相对独立的试验 2 所得数据按公式 (1)、(2) 和 (3) 计算得到试验期间的辐热积, 再按试验 1 中大花蕙兰最长叶长、假鳞茎直径、展叶数与辐热积的最优拟合方程计算得到不同品种母球、子球、孙球植株的最长叶长、假鳞茎直径、展叶数的模型预测值。从图 2 中可以看出, 最长叶长和假鳞茎直径的 (实测值, 预测值) 数据点集中分布在 1:1 线附近, 预测效果较好, 展叶数的预测后期偏离了 1:1 线, 这是因为大花蕙兰在终止叶长出后, 叶片数就不再增加而达到最大值, 与模拟模型略有差异。

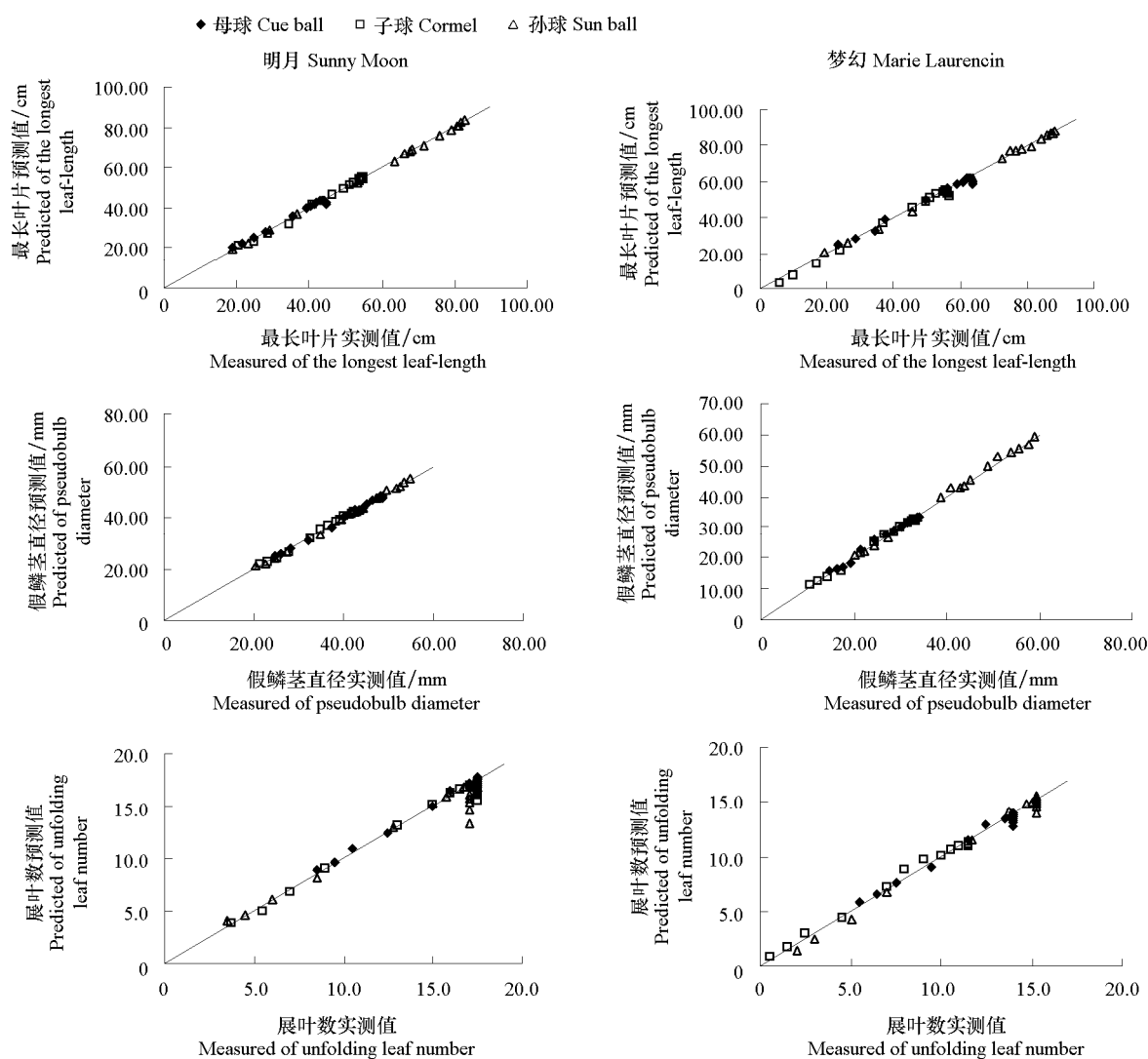


图 2 大花蕙兰最长叶长、假鳞茎直径、展叶数实测值与预测值的比较

Fig. 2 Comparison between measured and simulated values of the longest leaf-length, pseudobulb diameter, unfolding leaf number of *Cymbidium hybridum*

对大花蕙兰两个品种母球、子球和孙球的最长叶长、假鳞茎直径、展叶数的模拟值和实测值之间的符合度进行统计分析, 模拟值与实测值之间的决定系数 (R^2)、回归估计标准误差 (RMSE) 和预测相对误差 (RSE) 见表 4。

通过对模型的拟合度的检验可以看出, 大花蕙兰两个品种不同苗龄的最长叶长、假鳞茎直径、展叶数的模拟值与实测值的符合度较好, 误差较小, ‘明月’ 和 ‘梦幻’ 母球、子球、孙球最长叶长、假鳞茎直径、展叶数的预测值与实际观测值的决定系数 (R^2) 分别高于 0.98、0.98、0.95; 回归估计标准误差 (RMSE) 分别低于 2.06 cm、0.85 mm、1.21 片; 预测相对误差 (RSE) 分别低于 4.8%、2.8%、8.8%, 模型对大花蕙兰各项生长指标的预测精度较高。

表 4 最长叶长、假鳞茎直径、展叶数模拟值与实测值决定系数、回归估计标准误差和预测相对误差
Table 4 R^2 , RMSE and RSE between measured and simulated values of the longest leaf-length, pseudobulb diameter and unfolding leaf number of *Cymbidium hybridum*

品种 Cultivar		最长叶长 The longest leaf-length			假鳞茎直径 Pseudobulb diameter			展叶数 Unfolding leaf number		
		R^2	RMSE/cm	RSE/%	R^2	RMSE/mm	RSE/%	R^2	RMSE	RSE/%
明月	母球 Cue ball	0.98	0.98	2.6	0.99	0.71	1.7	0.98	0.38	2.5
Sunny Moon	子球 Cormel	0.99	0.80	1.8	0.99	0.65	1.8	0.98	0.73	5.2
	孙球 Sun ball	0.99	0.50	0.8	0.99	0.59	1.4	0.95	1.21	8.8
梦幻	母球 Cue ball	0.98	1.85	3.5	0.98	0.74	2.7	0.98	0.49	4.1
Marie Laurencin	子球 Cormel	0.99	2.06	4.8	0.99	0.73	2.8	0.99	0.40	4.8
	孙球 Sun ball	0.99	1.28	1.9	0.99	0.85	2.1	0.99	0.48	4.0

注: R^2 为决定系数, RMSE 是回归估计标准误差, RSE 是预测相对误差。

Note: R^2 represents for decision coefficient, RMSE represents for root mean squared error, and RSE represents for relative prediction error.

3 讨论

在栽培方式一定的条件下, 光照和温度是影响大花蕙兰生长发育的两个重要因子, 也是温室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大花蕙兰生长模拟更具实际意义。在中国北方地区对于光照和温度进行合理的调控, 以达到对大花蕙兰子球、孙球的生长发育进行有效控制, 为大花蕙兰花芽生长、开花阶段提供更充足的营养, 进而对大花蕙兰的开花时间和开花质量有一定的预测作用。

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 (倪纪恒 等, 2009)。本研究中根据大花蕙兰的生长对温度和光照强度的反应, 建立了基于辐热积的大花蕙兰营养生长期生长状况预测模型。建立的模型可以通过温室内温度、光合有效辐射预测温室大花蕙兰最长叶长、假鳞茎直径、展叶数等生长指标。经过检验, 模型对两个品种不同苗龄的最长叶长、假鳞茎直径、展叶数的模拟值与实际观测值的符合度较好, 误差较小, 模型预测精度高, 参数少且容易获取, 具有较强实用性, 可以为温室大花蕙兰生长的控制和环境的优化调控提供科学依据和决策支持。

模型对展叶数的预测精度不如对最长叶长和假鳞茎直径的预测精度高、对展叶数的预测误差较大的原因是因为大花蕙兰不同品种的叶片数不同, 不同苗龄的假鳞茎着生的叶片数量、大小也不同, 但每个假鳞茎的叶片数有限, 当终止叶出现后, 叶片数就不再增加, 展叶数后期很长一段时期内随辐热积累积而保持不变, 因此此模型展叶数后期预测不够准确, 这是大花蕙兰品种及生长特性使然。

本研究中采用的是北方地区市场上受欢迎的大花蕙兰品种, 除了温光条件外, 肥、水条件、栽植密度、留芽方式等也是影响大花蕙兰生长的重要因素 (卢思聪, 1994)。本研究中所建立的模型是在肥水充足、种植密度适宜等正常生产管理的温室环境中建立的, 所建模型更适应于温室实际生产, 具有实用价值。

References

- Cao Wei-xing, Luo Wei-hong. 2003. Crop system simulation and intelligent management. Beijing: Higher Education Press: 27 - 28. (in Chinese)
曹卫星, 罗卫红. 2003. 作物系统模拟及智能管理. 北京: 高等教育出版社: 27 - 28.
- Li Yong-xiu, Luo Wei-hong, Ni Ji-heng, Chen Yong-shan, Xu Guo-bin, Jin Liang, Dai Jian-feng, Chen Chun-hong. 2005. Simulation of leaf area, photosynthetic rate and dry matter production in greenhouse cucumber based on product of thermal effectiveness and photosynthetically active

- radiation. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 21 (12): 131 - 136. (in Chinese)
- 李永秀, 罗卫红, 倪纪恒, 陈永山, 徐国彬, 金 亮, 戴剑锋, 陈春宏. 2005. 用辐射积分法模拟温室黄瓜叶面积、光合速率与干物质产量. 农业工程学报, 21 (12): 131 - 136.
- Lu Si-cong. 1994. Chinese and exotic *Cymbidium*. Beijing: Jindun Publishing House: 75 - 77. (in Chinese)
- 卢思聪. 1994. 中国兰与洋兰. 北京: 金盾出版社: 75 - 77.
- Ming Cun-hao, Jiang Fang-ling, Wang Guang-long, Hu Hong-min, Zhou Xue-chao, Wu Zhen. 2012. Simulation model of cucumber healthy indexes based on radiation and thermal effectiveness. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 28 (9): 109 - 113. (in Chinese)
- 明村豪, 蒋芳玲, 王广龙, 胡宏敏, 周学超, 吴 震. 2012. 黄瓜壮苗指标与辐射积关系的模拟模型. 农业工程学报, 28 (9): 109 - 113.
- Ni Ji-heng, Chen Xue-hao, Chen Chun-hong, Xu Qiang, Zhao Da-qiu. 2009. Simulation of cucumber fruit growth in greenhouse based on production of thermal effectiveness and photosynthesis active radiation. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 25 (5): 192 - 196. (in Chinese)
- 倪纪恒, 陈学好, 陈春宏, 徐 强, 赵大球. 2009. 用辐射积分法模拟温室黄瓜果实生长. 农业工程学报, 25 (5): 192 - 196.
- Pan Rui-chi. 2006. Plant Physiology. 4th ed. Beijing: Higher Education Press: 54 - 99. (in Chinese)
- 潘瑞炽. 2006. 植物生理学. 4 版. 北京: 高等教育出版社: 54 - 99.
- Pramuk L A, Runkle E S. 2005. Modeling growth and development of celosia and impatiens in response to temperature and photosynthetic daily light integral. Journal of the American Society for Horticultural Science, 130 (6): 813 - 818.
- Xiong Zhao-cheng, Huang Ping-ping. 2004. Culture and management techniques for *Cymbidium hybridum*. Journal of Minxi Vocation College, 3 (1): 87 - 88. (in Chinese)
- 熊兆成, 黄萍萍. 2004. 大花蕙兰的栽培管理技术. 闽西职业大学学报, 3 (1): 87 - 88.
- Xu Guo-bin, Luo Wei-hong, Chen Fa-di, Li Yong-xiu, Wei You-gang. 2006. Effects of temperature and solar radiation on *Euphorbia pulcherrina* development and main quality indices. Acta Horticulturae Sinica, 33 (1): 168 - 171. (in Chinese)
- 徐国彬, 罗卫红, 陈发棣, 李永秀, 魏猷刚. 2006. 温度和辐射对一品红发育及主要品质指标的影响. 园艺学报, 33 (1): 168 - 171.
- Yuan Chang-mei, Luo Wei-hong, Zhang Sheng-fei, Dai Jian-feng, Jin Liang. 2005. Simulation of the development of greenhouse muskmelon. Acta Horticulturae Sinica, 32 (2): 262 - 267. (in Chinese)
- 袁昌梅, 罗卫红, 张生飞, 戴剑锋, 金 亮. 2005. 温室网纹甜瓜发育模拟模型研究. 园艺学报, 32 (2): 262 - 267.
- Zhu Gen-fa. 2004. *Cymbidium*. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press: 54 - 55. (in Chinese)
- 朱根发. 2004. 大花蕙兰. 广州: 广东科技出版社: 54 - 55.
- Yang Ning, Liao Gui-ping. 2003. Advance in growth simulation of crops. Crops Research, (5): 255 - 257. (in Chinese)
- 杨 宁, 廖桂平. 2003. 作物生长模拟研究进展. 作物研究, (5): 255 - 257.