

温室标准切花菊发育模拟与收获期预测模型研究

杨再强^{1,2}, 罗卫红¹, 陈发棣³, 顾俊杰⁴, 李向茂¹, 丁琪峰¹, 赵才标⁴, 陆亚凡⁴

(¹南京农业大学农学院, 南京 210095; ²西昌学院园艺系, 西昌 615013; ³南京农业大学园艺院, 南京 210095; ⁴上海鲜花港, 上海 201303)

摘要:【目的】建立一个可以预测温室标准切花菊现蕾和收获期的模拟模型, 为温室切花菊温光调控提供决策支持。【方法】根据菊花 (*Chrysanthemum morifolium* Ramat.) 发育对光温反应的特性, 提出了生理辐热积 (physiological product of thermal effectiveness and PAR, PTEP) 的概念, 通过不同扦插期和不同品种的试验, 建立了以生理辐热积 (PTEP) 为尺度的温室标准切花菊发育模型, 并用独立的试验数据对模型进行了检验。【结果】模型对从扦插到定植、短日处理、现蕾和收获期的模拟预测值与实测值的符合度较好, 预测值与实测值间 1:1 线的回归估计标准误差 RMSE 分别为 2.3、2.9、1.2 和 3.2 d, 预测精度明显高于以有效积温为尺度的发育模型 (RMSE 分别为 3.0、12.5、12.5 和 15.6 d)。【结论】本研究建立的模型能较准确地预测标准切花菊各个发育阶段出现的时间与收获期, 可以为中国温室标准切花菊周年生产的光温调控提供理论依据和决策支持。

关键词: 菊花; 生理辐热积; 发育; 模拟; 收获期

A Simulation Model for Predicting the Development Stage and Harvesting Date of Standard Cut Chrysanthemum in Greenhouse

YANG Zai-qiang^{1,2}, LUO Wei-hong¹, CHEN Fa-di³, GU Jun-jie⁴, LI Xiang-mao¹, DING Qi-feng¹,
ZHAO Cai-biao⁴, LU Ya-fan⁴

(¹ College of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095; ² Department of Horticulture, Xichang College, Xichang 615013; ³ College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095; ⁴ Shanghai Flower Port Co.Ltd, Shanghai 201303)

Abstract: 【Objective】 In order to optimize the climate control for standard cut chrysanthemum production in greenhouse, a simulation model for predicting standard, cut chrysanthemum development and harvesting date was developed. 【Method】 Based on the effects of photo-thermal conditions on chrysanthemum development, the concept of physiological product of thermal effectiveness and PAR (PTEP) and its calculation method were proposed and used to predict cut chrysanthemum development stages. Experiments with different varieties and cutting dates were carried out in greenhouses to collect data to develop and to validate the model. 【Result】 The results show that the simulated results agree well with the observed ones. Based on the 1:1 line, the root mean squared error (RMSE) from cutting to planting, beginning of the short-day length treatment, bud break and harvesting date were, respectively, 2.3, 2.9, 1.2 and 3.2 days. The prediction accuracy of the model developed in this study is significantly higher than that of the growth degree days (GDD) base model (RMSE is 3.0, 12.5, 12.5 and 15.6 days, respectively, from cutting to planting, beginning of the short-day length treatment, bud break and harvesting date). 【Conclusion】 It can be concluded that the model developed in this study can give satisfactory prediction of standard cut chrysanthemum development and harvesting date and can be used for decision making for the optimization of the climate control for standard cut chrysanthemum production in greenhouse.

Key words: *Chrysanthemum morifolium*; Physiological product of thermal effectiveness and PAR; Development; Simulation; Harvest date

收稿日期: 2006-04-06; 接受日期: 2007-01-05

基金项目: 国家“十一五”“863”计划项目 (2006AA10Z218); 上海市科技兴农四新项目 (沪农科推字 2003 第 1-2-1 号)

作者简介: 杨再强 (1967-), 男, 副教授, 博士研究生。研究方向为观赏园艺植物信息系统模拟与决策。通讯作者罗卫红 (1962-), 女, 教授, 研究方向为设施生态系统模拟与管理。Tel: 025-84399100; E-mail: lwh@njau.edu.cn

0 引言

【研究意义】菊花 (*Chrysanthemum morifolium* Ramat.) 是中国的四大名花之一, 也是中国近年来主要的出口花卉。2004 年中国标准切花菊出口数量占切花菊出口总量的 90% 以上^[1]。采用温室生产切花菊可以周年满足国内外市场的需求。如何按时生产出合格的产品是温室切花菊生产者面临的关键技术问题。准确模拟切花菊的发育阶段和预测其收获期是温室切花菊生产决策和环境优化控制的基础, 也是提高切花菊生产经济效益的重要手段之一。【前人研究进展】国外已有温室切花菊发育模拟和收获期预测的研究报道主要是针对多头小菊^[2,3], 对标准菊花的模拟研究鲜见报道。影响菊花发育的主要因素有温度和光照, 不同菊花品种发育要求的最适温度范围不同^[4]。在最适温度范围内, 菊花的发育速率保持恒定^[5]。Cockshull 等^[6]研究表明, 菊花从定植到开花所需要的时间随辐射强度增加而非线性地缩短, 特别是对光敏感的菊花品种在低光照强度下发育延迟, 在高光照强度下发育提前。Hiden 等^[7]根据菊花对温度和光照的反应提出了温室多头菊花发育预测模型。该模型以日平均气温和日辐射量为输入变量, 预测恒温条件下多头菊从短日处理到完全开花所需要的天数。Larsen 等提出了基于温度和光合有效辐射的温室多头菊花的发育模型^[8,9], 模型中用指数方程描述温度和辐射强度与最大发育速率的关系, 检验结果表明, 模型在 18~24℃ 范围内预测效果较好, 在其它温度范围适用性较差。徐国彬等提出了度量温室盆栽一品红发育速率的综合光温指标——辐热积^[10], 发现不同扦插期的温室盆栽一品红完成同一生育阶段所需的辐热积基本一致。【本研究切入点】国内关于温室菊花发育模拟和收获期预测的研究尚未见报道。国外现有温室菊花发育模型主要针对加温温室多头切花菊品种。而中国的气候条件与国外差异很大, 且大多数切花菊生产是在不加温的温室和塑料大棚中生产, 温室内温度变化范围超过了国外已有模型适用的范围。因此, 国外已有的温室菊花发育模型不能应用于中国温室标准切花菊发育阶段的模拟预测。【拟解决的关键问题】菊花发育速率和现蕾与开花时间主要受温度、日照长度和光照强度共同作用^[11]。本研究基于不同菊花品种的光温反应特性, 利用不同扦插期和不同短日性菊花品种的试验资料, 建立可以预测各个发育阶段和收获期的温室标准切花菊发育模型, 为中国温室标准切花菊周年生产的光温调

控提供理论依据和决策支持。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料与amp;设计

试验于 2005 年 3 月至 12 月在上海市鲜花港企业发展有限公司的 venlo 型温室和 GLP (622) 内保温式双层连栋大棚进行。试验分为 5 部分, 每部分试验采用规格为 4 cm×4 cm×10 cm 的穴盘育苗, 扦插育苗基质为椰糠、泥炭和石砂 (3 种成分的体积比为 4 : 3 : 3)。扦插和定植后每天夜间 (20: 00~1: 00) 用 200 W 白炽灯补光 5 h。在株高达 60 cm 到菊花收获期间进行短日处理, 日照长度为 10 h。Venlo 温室内用基质栽培, 基质为蛭石和珍珠岩 (体积比 1 : 1), 采用自动灌溉系统进行营养液滴灌。连栋大棚内试验为土壤, 采用滴灌。定植密度采用不同品种在该地区的常规规定植密度 (温室为 42 株/m, 连栋大棚为 64 株/m)。

试验 1 于 2005 年 3~6 月在连栋大棚内进行。供试材料为相对短日性夏菊品种: 精云 (*Chrysanthemum morifolium* Ramat. cv. Jingyun), 于 3 月 21 日扦插, 4 月 6 日定植, 6 月 20 日开始短日处理。

试验 2 于 2005 年 4~8 月在连栋大棚内进行。供试品种为精云和相对短日性夏菊品种优香 (*Chrysanthemum morifolium* Ramat. cv. Youxiang)。试验分 2 批, 分别于 4 月 2 日和 4 月 18 日扦插, 4 月 17 日和 5 月 1 日定植, 精云于 6 月 6 日和 6 月 17 日开始短日处理, 优香于 6 月 17 日和 7 月 6 日短日处理。

试验 3 于 2005 年 5~9 月在 venlo 温室内进行。供试材料为优香, 于 5 月 5 日扦插, 5 月 17 日定植, 7 月 19 日开始短日处理。

试验 4 于 2005 年 7~1 月在 venlo 型温室内进行, 供试材料为绝对性短日性秋菊品种: 秀芳 (*Chrysanthemum morifolium* Ramat. cv. Xiufang)。试验分 2 批, 分别于 7 月 2 日和 7 月 25 日扦插, 7 月 20 日和 8 月 10 日定植, 9 月 13 日和 10 月 10 日开始短日处理。

试验 5 于 2005 年 7~12 月在连栋大棚内进行, 供试材料为绝对性短日性秋菊品种: 神马 (*Chrysanthemum morifolium* Ramat. cv. Jingba)。试验分 2 批, 分别于 7 月 25 日和 8 月 20 日扦插, 8 月 9 日和 9 月 5 日定植, 9 月 29 日和 11 月 5 日开始短日处理。

试验 2、4 的第 1 批和试验 5 的第 2 批次的数据用于建立模型, 其它批次的试验用于验证模型。

1.2 生育阶段的观测和温室环境数据的获取

试验期间每天对菊花发育状况进行观测, 并记录各个生育阶段的起始日期。Venlo 型自控温室内空气温度、太阳辐射由温室计算机控制系统自动采集。连栋大棚的环境数据由数据采集器 (datalogger, Campbell Scientific CR10X) 自动采集温室内 1.5 m 高处空气温度和菊花冠层上方的太阳辐射, 采集频率为每 10 s 1 次, 存储每 30 min 的平均值。太阳辐射乘以转换因子 0.5 转化为光合有效辐射 (photosynthetically active radiation, PAR, 波长 400~700 nm) [12]。

2 模型的构建

2.1 生育阶段的划分

根据切花菊生长发育特性及出口日本的切花菊质量标准 [1], 将全生育期分为 4 个阶段: (1) 扦插到定植: 从嫩枝扦插到出现 6 片真叶, 根系长达 2 cm, 苗高达 6 cm; (2) 定植到短日处理: 菊花株高达 60 cm 时进行短日处理; (3) 短日处理到现蕾: 50% 花蕾直径达到 4 mm (在显微镜下观察为花冠分化初期) 时记为现蕾; (4) 现蕾到收获: 花蕾直径达到 2 cm, 舌状花瓣长 1.5 cm, 茎粗 6.5 mm, 即达到收获标准。

2.2 辐热积与生理辐热积的计算

菊花是典型的短日照植物。菊花短日性又分为相对短日性和绝对短日性 [13]。相对短日性菊花的花芽分化可以在任何日照长度下发生, 在长日照下开花延迟。绝对性短日照菊花只有当日照长度短于其所需的临界值时, 花芽才能分化。温室切花菊生产过程中, 光照长度完全由人工进行补光或遮光来控制, 即在生长前期 (花芽分化前) 通过补光保证每天光照长度大于开花所需的临界光照时间 13.5 h, 当植株达到一定高度 (60 cm) 后, 采用遮光保证每天光照时间维持开花所需的最适宜光照时间, 以使植株能及时花芽分化和按时开花。在光照长度完全由人工控制的温室菊花生产

中, 菊花发育速率主要由温度热效应、光合有效辐射和光周期效应共同决定。因此, 采用累积辐热积 [10] (accumulated product of thermal effectiveness and PAR, TEP) 作为预测切花菊发育速率的指标。切花菊不同发育时期的累积辐热积 (TEP) 根据文献 [10] 可由公式 (1) ~ (2) 计算:

$$TEP(i) = \sum_{i=m}^n DTEP(i) \quad (1)$$

(1) ~ (2) 式中 TEP (i) 表示菊花从第 m 到第 n 天的累积辐热积 (MJ·m⁻²), DTEP (i) 为第 i 日辐热积 (MJ·m⁻²)。日辐热积计算公式为:

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

PAR (i) 为第 i 天总光合有效辐射 (MJ·m⁻²·d⁻¹), RTE (i, j) 为 i 天内第 j (j=1~24) 小时的相对热效应, 可以根据菊花发育所需的三基点温度和实际室内气温观测数据来计算, 其具体计算方法公式为:

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

公式 (3) 中 RTE (T) 为温度为 T 的相对热效应, T 为每小时的平均温度, T_b 为菊花生长下限温度, T_{ob} 为菊花生长最适下限温度, T_{ou} 为生长最适上限温度, T_m 为生长上限温度。菊花各生育时期的三基点温度见表 1 [14~17]。

利用试验 2、试验 4 的第 1 批和试验 5 的第 2 批次的的数据, 根据公式 (1) ~ (3), 计算得到各品种到达不同生育阶段的辐热积 (图 1-A)。由于辐热积指标没有考虑光周期效应和基本发育因子 (basic development factor, 简称 BD), 不同基因型品种在短

表 1 切花菊各生育时期的三基点温度 [14~17]

Table 1 Minimum, optimum and maximum temperature of different development stages of cut chrysanthemum

生育期 Development stages		最低温度 T _b (°C)	最适下限 T _{ob} (°C)	最适上限 T _{ou} (°C)	最高温度 T _m (°C)
扦插到定植 Cutting to planting		10	18	25	32
定植到短日处理 Planting to the beginning of short day length treatment	白天 Day	10	20	25	35
	夜间 Night	10	16	20	30
短日处理到现蕾 Beginning of Short day length treatment to bud break	白天 Day	10	16	20	28
	夜间 Night	10	18	23	32
现蕾到收获 Bud break to harvesting date		10	18	25	35

日处理前的营养生长阶段所需要的累积辐热积有很大差异(图 1-A)。为了统一不同基因型菊花品种的发育进程尺度,在此提出综合光周期、光合有效辐射、温度效应和基本发育因子的指标—生理辐热积(physiological TEP, PTEP)的概念。生理辐热积(PTEP)定义为在日长、光合有效辐射和温度均最适的条件下,短日菊花完成某发育阶段所需的累积辐热积。基本发育因子是品种特定参数^[18],用来调节不同品种的发育速率。将绝对短日照切花菊品种中发育最快的品种基本发育因子定为 1,相对短日照切花菊品种中发育最慢的品种定为 0.4,其它品种的基本发育因子取值在 1~0.4 之间。在短日处理前菊花主要进行营养生长,其生长速率由温度、光合有效辐射和基本发育因子(BD₁)决定。短日处理后发育进程由于温度、光合有效辐射、日照长度和品种特性的共同影响,因此菊花发育速率由辐热积(TEP)、光周期效应(RPE)和基本发育因子(BD₂)共同决定。则生理辐热积(PTEP)可按公式(4)~(6)计算:

$$PTEP = \begin{cases} TEP \times BD_1 & PTEP < SD \\ TEP \times RPE \times BD_2 & PTEP \geq SD \end{cases} \quad (4)$$

$$BD_1 = TEP_s / TEP_{si} \quad (5)$$

$$BD_2 = TEP_h / TEP_{hi} \quad (6)$$

(4)~(6)式中 RPE 为每日光周期效应,在短日处理阶段光照长度控制在 10 h,低于菊花临界日长 13.5 h, RPE=1,在其它日照长度下 RPE 取值的具体

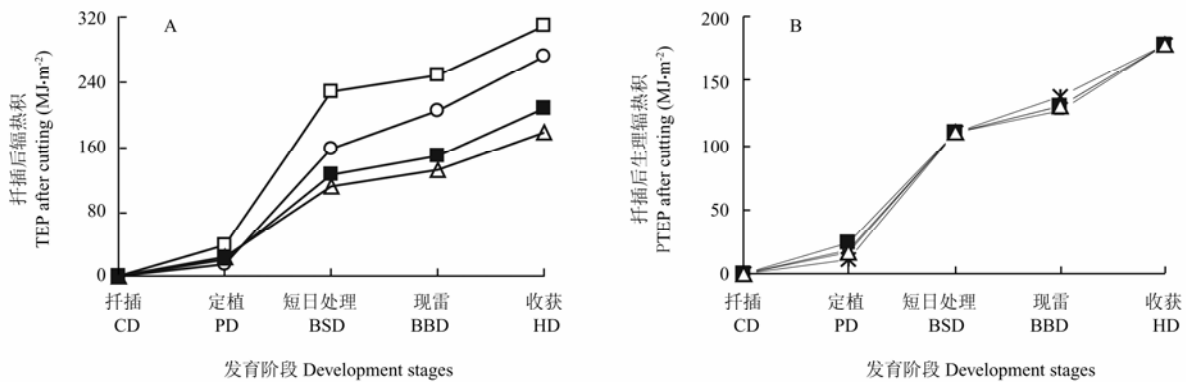
计算方法见参考文献[19]; BD₁ 为短日处理前品种的基本发育因子; TEPs 为基本发育因子为 1 的品种(本试验为神马)从扦插到短日处理所需的累积辐热积。TEPsi 为 i 品种从扦插到短日处理所需的累积辐热积; BD₂ 为短日处理后的基本发育因子,TEPh 为基本发育因子为 1 的品种从短日处理到收获的累积辐热积,TEPhi 为 i 品种从短日处理到收获的累积辐热积。SD 为基本发育因子为 1 的品种从扦插到达短日处理所需的生理辐热积,为模型待定参数。本研究中,用试验 5 第 1 批数据按公式(1)~(3)计算得到基本发育因子为 1 的品种神马从扦插到短日处理所需的生理辐热积(即公式 4 中的 SD)为 109 MJ·m⁻²。

用试验 2、4 的第 1 批和试验 5 的第 2 批次的数据用公式(1)~(6)进行计算得到各品种完成各个生育期所需的生理辐热积(图 1-B)。从图 1-B 可以看出,各品种完成同一生育期所需的生理辐热积基本一致。因此,采用生理辐热积这一指标可以预测不同品种完成各生育期的天数及到达收获期的日期。

2.3 模型的验证

用回归估计标准误(root mean squared error, RMSE)对模拟值和观测值之间的符合度进行统计分析^[19]公式(7)。

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (OBS_i - SIM_i)^2}{n}} \quad (7)$$



○ 精云; □ 优香; ■ 神马; △ 秀芳。CD=扦插日期; PD=定植日期; BSD=短日处理开始日期; BBD=现蕾期; HD=收获期
 ○ Jingyun; □ Youxiang; ■ Jingba; △ Xiufang. CD: cutting date; PD: planting date; BSD: beginning of short day length treatment; BBD: bud break date; HD: harvesting date

图 1 标准切花菊不同品种完成各个发育阶段所需的辐热积 (A) 和生理辐热积 (B)

Fig. 1 Product of thermal effectiveness and PAR (TEP) (A) and physiological TEP (PTEP) (B) required for different development stages of different cultivars of standard cut chrysanthemum

(7) 式中, OBS_i 为实际观测值, 也就是完成某个生育期的天数, SIM_i 为模型模拟值, n ($=23$) 为样本容量。

3 结果与分析

3.1 完成各生育期所需的生理辐热积

分别用试验 2、试验 4 的第 1 批和试验 5 的第 2 批次的试验数据以及表 1 的三基点温度, 利用公式

(1) ~ (6), 计算得到各品种的基本发育因子和各品种完成不同生育阶段的实际发育天数和所需的生理辐热积, 从扦插到定植、定植到短日处理、短日处理到现蕾和现蕾到收获等 4 个生育阶段所需要的生理辐热积分别为 24、86、21 和 47 $MJ \cdot m^{-2}$, 本试验的绝对短日照品种神马 (7~11 月种植) 完成各生育阶段的实际天数分别为: 14、51、15 和 24 d, 其它品种见表 2。

表 2 标准切花菊不同品种完成各发育阶段所需的实际天数和生理辐热积

Table 2 Actual duration (days) and physiological product of thermal effectiveness and PAR (PTEP) of different development stages of different cultivars of standard cut chrysanthemum

品 种 Cultivars	扦插~定植 CP	定植~短日 PS	短日~现蕾 BB	现蕾~收获 BH	合计 Total	基本发育因子 Basic development factor	
						BD ₁	BD ₂
神马 Jingba (d)	14	51	15	24	104	1	1
秀芳 Xiufang (d)	16	53	25	26	120	0.87	0.87
精云 Jingyun (d)	16	50	17	20	103	0.69	0.60
优香 Youxiang (d)	15	60	18	29	122	0.48	0.85
PTEP ($MJ \cdot m^{-2}$)	24	86	21	47	178		

CP, PS, BB, BH 分别表示扦插到定植, 定植到短日处理, 短日处理到现蕾, 现蕾到收获。BD₁ 和 BD₂ 分别为扦插到短日处理和短日处理到收获两阶段品种的基本发育因子

CP, PS, BB, BH means from cutting to planting, from planting to beginning of short day length treatment, from beginning of short day length treatment to bud break, from bud break to harvesting date, respectively. BD₁ and BD₂ is, the basic development factor from cutting to beginning of short day length treatment, and from beginning of short day length treatment to harvesting date respectively

3.2 模型检验

利用与建模相独立的试验数据对模型进行检验。首先根据公式 (1) ~ (3) 计算出上述各个试验期间每天的辐热积和累积辐热积。然后根据公式 (4) ~ (6) 和表 2 中所确定的不同品种完成各生育期所需的生理辐热积, 反演计算出上述各个试验中菊花完成各生育

期所需的天数即为模拟值。4 个品种从扦插到达定植、短日处理、现蕾和收获等时期的模拟值与实际观测值见图 2-A。从扦插到达定植、短日处理、现蕾和收获期模拟值与观测值间基于 1:1 线的决定系数 $R^2=0.99$, 回归统计标准误 RMSE 分别为 2.3、2.9、1.2 和 3.2 d。

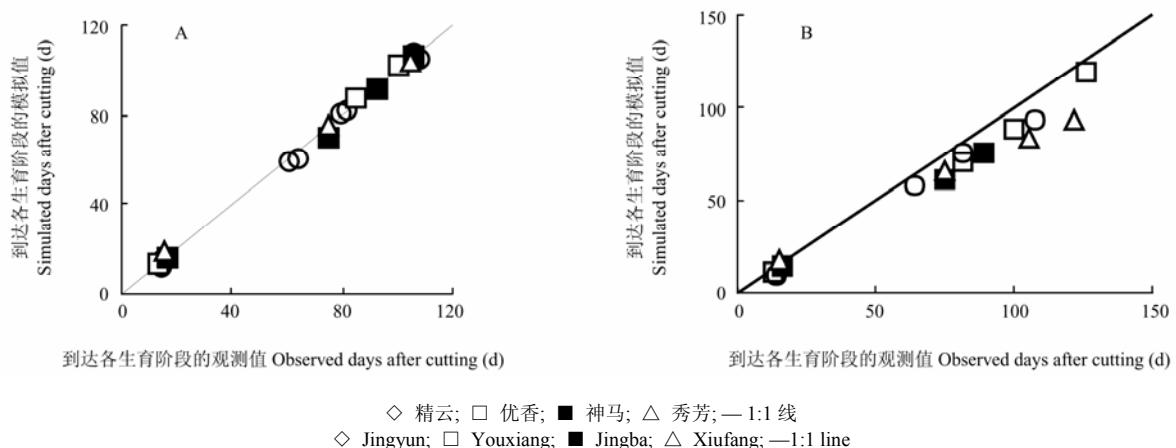


图 2 切花菊从扦插到达各发育阶段天数模拟值 [用生理辐热积 (A) 和有效积温 (B)] 与实测值比较

Fig. 2 Comparison between simulated [using PTEP (A) and GDD (B)] and observed days from cutting to different development stages of standard cut chrysanthemum

3.3 与有效积温法预测效果比较

分别用试验 2、试验 4 的第 1 批次和试验 5 的第 1 批次试验数据计算得到各品种从扦插到收获所累积的有效积温, 精云为 $1160.0^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$, 优香为 $1779.3^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$, 神马为 $1573.4^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$, $1667.4^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$, 用与建模相独立的试验数据对模型进行检验。结果表明, 扦插到到达定植、短日处理、现蕾和收获期的模拟值与观测值间 1:1 线的决定系数 (R^2) 为 0.91, 回归估计标准误 (RMSE) 分别为 3.0、12.5、12.5 和 15.5 d (图 2-B)。用有效积温预测温室菊花发育的误差明显高于用生理辐射积温预测的结果。

4 讨论

影响植物发育的温度条件中, 温差对感温品种(如小麦)的发育有促进作用^[20], 它通过增加干物质积累而间接促进发育进程^[21]。本模型没有考虑温差对菊花发育的影响。温差是否对菊花发育有影响今后需要进一步的试验研究。

在本研究的试验 2 和 3 中, 品种‘优香’ (*Chrysanthemum morifolium* Ramat. cv. Youxiang) 在连栋大棚和 venlo 温室中定植密度不同, 根据试验地不同设施类型该品种的标准定植密度, 连栋大棚和 venlo 温室分别为 64 株/m 和 42 株/m。但观测结果表明, 这两种定植密度下的植株完成各发育阶段所需的时间没有显著差异。这是因为 42~64 株/m 密度范围内, 不影响植株上部功能叶片对光周期的反应。但在其它定植密度下, 密度是否对菊花发育进程存在影响尚有待进一步的试验研究来证明。

在光温变化同步的条件下(如在大田作物生产中), 积温法是一种较为简便和实用的预测作物发育的方法。但在本研究中, 积温法在预测温室菊花发育进程时误差较大(图 2-B), 其主要原因是由于人工加温和降温措施使温室内温度与辐射存在不同步的情况, 因此用单一积温指标无法准确预测温室作物的发育进程。同时, 积温法是假定发育速度与温度之间呈线性关系, 而未考虑高温对作物发育的滞迟作用。实际上作物发育速率在发育的最适下限温度与最适上限温度之间基本保持不变, 而在最适上限温度与发育上限温度之间随温度升高而下降^[19]。本研究的生理辐射积温综合了温度、光照强度、光周期和基本发育因子对短日菊花发育的共同作用, 克服了积温法的局限, 从而提高了预测精度。本研究建立的模型适合长江中下游地区的 venlo 温室和连栋大棚中无水肥胁迫条件下

标准切花菊生育期和收获期的预测, 模型在其它地区、其它类型温室(如日光温室)和其它水肥状况下的应用尚有待进一步的多点试验资料对模型进行校正和检验。

5 结论

本研究建立的基于生理辐射积温的温室标准切花菊发育模拟模型, 通过输入温室内平均气温, 辐射强度、日照长度及品种基本发育因子, 可以准确预测肥水充足条件下温室标准切花菊的生育期和收获期。模型预测精度高, 实用性强, 可以为温室菊花周年生产光温调控的优化提供决策支持。但模型在其它地区和其它类型温室的应用尚需多点试验资料对模型进行校正和检验。

References

- [1] 陈 林. 日本菊花市场调查与分析. 温室园艺, 2005(3): 14-16.
Chen L. The market research and analysis of chrysanthemum in Japan. *Greenhouse Horticulture*, 2005(3):14-16. (in Chinese)
- [2] Karlsson M G, Heins R D, Erwin J E, Berghage R D, Carlson W H, Biernbaum J A. Irradiance and temperature effects on time of development and flower size in chrysanthemum. *Scientia Horticulturae*, 1989, 39: 257-267.
- [3] Pearson S, Hadley P, Wheldon A E. A reanalysis of the effects of temperature and irradiance on time to flowering in chrysanthemum (*Dendranthema grandiflora*). *Scientia Horticulturae*, 1993, 68: 89-97.
- [4] Adams SR, Pearson S, Hadley P. The effect of temperature on inflorescence initiation and subsequent development in chrysanthemum cv. Snowdon (*Chrysanthemum*×*morifolium*. Ramat). *Scientia Horticulturae*, 1998, 77: 59-72.
- [5] Khattak AM, Pearson S. The effects of light and temperature on growth and development of chrysanthemum cvs Bright Golden Anne and Snowdon. *Acta Horticulturae*, 1997, 435: 113-121.
- [6] Cockshull K E, Kofranek A M. High temperatures delay flowering, produce abnormal flowers, and retard stem growth of cut-flower chrysanthemum. *Scientia Horticulture*, 1994, 56: 217-234.
- [7] Cecilia Hidén, Rolf U Larsen. Predicting flower development in greenhouse grown chrysanthemum. *Scientia Horticulturae*, 1994, 58: 123-138.
- [8] Rolf U Larsen, Cecilia Hiden. Predicting leaf unfolding in flower induced shoots of greenhouse grow chrysanthemum. *Scientia Horticulturae*, 1995, 63: 225-239.
- [9] Larsen R U, Persson L. Modelling flower development in greenhouse

- chrysanthemum cultivars in relation to temperature and response group. *Scientia Horticulturae*, 1999, 80: 73-89.
- [10] 徐国彬, 罗卫红, 陈发棣, 李永秀, 魏猷刚, 陈冬. 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*, 2006, 33(1): 168-171.
- Xu G B, Luo W H, Chen F D, Li Y X, Wei Y G, Chen D. The effect of temperature and salor radiation on *Euphrbia pllcherrima* development and main quality indeces. *Acta Horticulture Sinica*, 2006, 33(1): 168-171. (in Chinese)
- [11] 马月萍, 戴思兰. 植物花芽分化机理研究进展. *分子植物育种*, 2003, 1: 539-545.
- Ma Y P, Dai S L. Flower bud differentiation mechanism of anthophyta. *Molecular Plant Breeding*, 2003, 1: 539-545. (in Chinese)
- [12] Goudriaan J, van Laar H H. *Modeling Potential Crop Growth Processes*. Amsterdam: Kluwer Academic Publishers, 1994: 29- 118.
- [13] 郭志刚, 张伟. 菊花. 北京: 中国林业出版社, 2000: 19-24.
- Guo Z G, Zhang W. *Chrysanthemum*. Beijing: Chinese Forest Press. 2000: 19-24. (in Chinese)
- [14] 张源能. 菊花. 福州:福建科学技术出版社, 2000: 18-20.
- Zhang Y N. *Chrysanthemum*. Fuzhou: Fujian Science and Technology Press, 2000:18-20. (in Chinese)
- [15] 李情中, 马鸿翔, 余桂红. 菊花. 南京: 江苏科学技术出版社, 2000: 17-18.
- Li Q Z, Ma H X, Yu G H. *Chrysanthemum*. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 2000: 17-18. (in Chinese)
- [16] 熊济华. 菊花. 上海: 上海科学技术出版社, 1998: 22-38.
- Xiong J H. *Chrysanthemum*. Shanghai: Shanghai Sciences Technology Press, 1998: 22-38. (in Chinese)
- [17] 梁丽, 李刚. 菊花. 长春: 延边出版社, 2002: 55-60.
- Liang L, Li G. *Chrysanthemum*. Changchun: Yanbian Press, 2002: 55-50. (in Chinese)
- [18] 曹卫星, 罗卫红. 作物系统模拟和智能管理. 北京: 华文出版社, 2000: 46-50.
- Cao W X, Luo W H. *Crop System Simulation and Intelligent Management*. Beijing: Huawen Press, 2000: 46-50. (in Chinese)
- [19] 袁昌梅, 罗卫红, 张生飞, 戴剑锋, 金亮. 温室网纹甜瓜发育模拟模型研究. *园艺学报*, 2005, 32: 262-267.
- Yuan C M, Luo W H, Zhang S F, Dai J F, Jin L. Simulation of the development of greenhouse muskmelon. *Acta Horticulture Sinica*, 2005, 32: 262-267. (in Chinese)
- [20] 吴姝, 张树源, 沈永刚. 昼夜温差对小麦生长特性的影响. *作物学报*, 1998, 24: 333-336.
- Wu S, Zhang S Y, Shen Y G. Influence of temperature difference between day and night on the growth characteristics in wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 1998, 24: 333-336. (in Chinese)
- [21] 李国景, Benoit F, Ceustermans F. 昼夜温度对温室甜椒植株生长发育和产量的影响. *浙江大学学报*, 2004, 30: 487-491.
- Li G J, Benoit F, Ceustermans F. Influence of day and night temperature on the growth, development and yield of greenhouse sweet paper. *Journal of Zhejiang University*, 2004, 30: 487-491. (in Chinese)

(责任编辑 曲来娥)