

## 日光温室多头切花菊品质模拟

李玉发, 房伟民, 陈发棣, 石常磊

(南京农业大学 园艺学院, 江苏 南京 210095)

**摘要:** 通过不同品种和定植期试验, 根据温光对菊花 *Dendranthema × grandiflora* 品质的影响, 初步建立了以生理辐射热积 (PTEP) 为尺度的日光温室多头切花菊外观品质预测模型, 并用独立的试验数据对模型进行了检验。结果表明: 模型对日光温室多头切花菊株高、展叶数、单株叶面积、茎粗和花径的模拟值与实测值的符合度较好, 模拟值与实测值基于 1:1 线的决定系数 ( $R^2$ ) 和相对预测误差 ( $E_{RP}$ ) 分别为 0.99, 0.99, 0.94, 0.87, 0.92 和 7.2%, 6.9%, 10.2%, 5.6%, 18.2%, 模型预测精度较高。图 2 表 3 参 14

**关键词:** 园艺学; 日光温室; 多头切花菊; 外观品质; 生理辐射热积; 预测模型

**中图分类号:** 682.1+1      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-5692(2010)03-0404-06

## A quality prediction model for spray cut chrysanthemums in a solar greenhouse

LI Yu-fa, FANG Wei-min, CHEN Fa-di, SHI Chang-lei

(College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, Jiangsu, China)

**Abstract:** Based on chrysanthemum quality due to temperature and light differences as well as experiments with different spray cut chrysanthemum cultivars ('Mengbai', 'Qinglu', 'Cuilian', 'Hanfen' and 'Lv Fengwo') and planting dates (April, May, and June), a preliminary quality prediction model for solar greenhouse spray cut chrysanthemums with a physiological product of thermal effectiveness and PAR (photosynthetically active radiation) as the measurement scales was developed. The indexes including plant height, leaf number, leaf area of individual plant, stem diameter, flower diameter were observed. The model was then validated with independent data. Simulated results showed that based on a 1:1 line, the coefficient of determination ( $R^2$ ) and percent relative prediction error ( $E_{RP}$ ), respectively, for plant height (0.99, 7.2%), leaf number (0.99, 6.9%), leaf area (0.94, 10.2%), stem diameter (0.87, 5.6%), and flower diameter (0.92, 18.2%), agreed well with the observed data. This high precision model could supply a theoretical basis for optimizing: 1) temperature and light management and 2) a decision support system for production of spray cut chrysanthemums in a solar greenhouse. [Ch, 2 fig. 3 tab. 14 ref.]

**Key words:** horticulture; solar greenhouse; spray cut chrysanthemum; external quality; physiological product of thermal effectiveness and PAR (photosynthetically active radiation); prediction model

菊花 *Dendranthema × grandiflora* 是世界四大切花之一, 种类繁多。多头切花菊因其花型美丽、颜色丰富、保鲜期长等已成为欧美和日本等花卉市场的主要花卉种类之一<sup>[1]</sup>。近年来, 随着开拓国际市场的需要及国内消费的增加, 中国多头切花菊生产日益扩大, 但中国出口菊花生产企业原多生产单头

收稿日期: 2009-05-19; 修回日期: 2009-09-10

基金项目: 农业部引进国际先进农业科学技术计划(948 计划)滚动项目(2008-G3); 江苏省科技成果转化专项资金项目(DA2007111); 江苏省科学技术攻关项目(BE2007305)

作者简介: 李玉发, 硕士, 从事花卉栽培研究。E-mail: yufafeiya@163.com。通信作者: 房伟民, 副教授, 从事花卉栽培与遗传育种研究。E-mail: fangwm@njau.edu.cn

菊,多头切花菊的栽培技术落后,产品品质无法与国外企业竞争,亟须一套适合本土气候和设施的多头切花菊生产技术管理体系,而品质模拟是实现温室切花菊品质管理调控的基础。出口切花菊对其株高、展叶数、茎粗和花径有严格的要求,而单株叶面积直接影响植株生长势。与此有关的预测模型国外已有部分研究,如夜温和昼温与节间长度和高度<sup>[2-4]</sup>、日均有效辐射和日均温度与叶面积<sup>[5]</sup>、日均温度与花径<sup>[6]</sup>等的预测模型。Lee 等<sup>[7]</sup>建立了光合作用驱动生长模型,发现菊花定植后的叶面积与种植密度、日均温度和光合有效辐射线性相关;Larsen 等<sup>[8]</sup>用直线方程和逻辑斯蒂方程描述多头菊展叶数与定植后天数的关系,经检验用逻辑斯蒂方程描述精确度较高;在一定温度和辐射强度内,菊花的展叶数与日平均温度和日辐射强度线性相关<sup>[9-10]</sup>。在花的品质方面,有研究表明花径和鲜质量与夜温、昼温和光照强度有关,光照强度在  $1.8 \sim 21.6 \text{ mol} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$  范围内、温度为  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  条件下,花径随光强线性增加<sup>[9]</sup>。国内仅见单头菊品质预测模型建立的报道<sup>[11]</sup>,多头切花菊品质预测模型尚未见报道,多头菊与单头菊品质要求和生产方式不一,单头菊品质模型尚难于指导多头切花菊的生产。国外多头切花菊品质模型多模拟单一品质指标,且适用于当地气候与设施条件下多头菊生产,中国的气候和设施条件与国外差异很大,超出了国外模型的应用范围。本研究采用不同扦插期和不同发育特点的多头切花菊品种,建立日光温室多头切花菊外观品质模型,预测其株高、展叶数、单株叶面积、茎粗和花径等品质指标,为中国日光温室多头切花菊生产决策和温光优化调控提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试材料

试验材料为多头型切花菊品种‘蒙白’‘Mengbai’,‘清露’‘Qinglu’,‘翠莲’‘Cuilian’,‘汉粉’‘Hanfen’,‘绿蜂窝’‘Lü Fengwo’,均取自南京农业大学菊花品种资源保存中心。样苗均为高  $5 \sim 6 \text{ cm}$ 、具叶  $3 \sim 4$  片、根系长  $2 \text{ cm}$  的扦插苗。200 株·品种<sup>-1</sup>,3 次重复。定植后夜间 21:30 - 2:30 用高压钠灯(650 W)补光 5 h,灯间距为  $1.5 \text{ m}$ ,高  $2.5 \text{ m}$ 。株高达  $50 \text{ cm}$  至采收期间进行短日照处理,17:30 至翌日 7:30 用黑色塑料膜遮光。种植密度为  $54 \text{ 株} \cdot \text{m}^{-2}$ ,土培。对实验材料进行统一管理。

### 1.2 试验设计

试验于 2008 年 3 - 10 月在江苏省宿迁市日昌升园艺有限责任公司的加温型日光温室(长  $60 \text{ m} \times$  宽  $8 \text{ m}$ )内进行。试验分为 3 部分。试验 1:‘蒙白’‘清露’‘翠莲’‘汉粉’‘绿蜂窝’分别于 4 月 10 日、4 月 9 日、4 月 9 日、4 月 13 日、4 月 9 日定植,株高达  $50 \text{ cm}$  时,即分别于 5 月 8 日、5 月 9 日、5 月 15 日、5 月 22 日、5 月 15 日开始短日照处理;试验 2:‘蒙白’‘清露’‘翠莲’‘汉粉’‘绿蜂窝’分别于 5 月 7 日、5 月 7 日、5 月 10 日、5 月 10 日、5 月 7 日定植,株高达  $50 \text{ cm}$  时,即分别于 6 月 2 日、6 月 4 日、6 月 9 日、6 月 15 日、6 月 8 日开始短日照处理;试验 3:‘蒙白’‘清露’‘翠莲’‘汉粉’‘绿蜂窝’分别于 6 月 7 日、6 月 7 日、6 月 9 日、6 月 9 日、6 月 7 日定植,株高达  $50 \text{ cm}$  时,即分别于 7 月 12 日、7 月 11 日、7 月 21 日、7 月 22 日、7 月 25 日开始短日照处理。试验 1 数据用于建立模型,试验 2 和试验 3 数据用于模型验证。

### 1.3 测定项目及方法

1.3.1 温室环境数据获取 温室内环境数据由数据采集器(Datalogger, Campbell Scientific CR10X)自动采集,包括温室内  $1.5 \text{ m}$  高处空气温度和菊花冠层上方的太阳辐射,数据每  $10 \text{ s}$  采集 1 次,存储每  $30 \text{ min}$  平均值。

1.3.2 作物数据观测 选择  $10 \text{ 株} \cdot \text{品种}^{-1} \cdot \text{处理}^{-1}$  生长相对一致的植株挂牌,隔  $3 \sim 5 \text{ d}$  测定 1 次株高(植株基部至生长点)、茎粗(植株下部第 6、7 片叶中部)、功能叶叶片数和叶长(含叶柄长度)及现蕾至采收期植株顶端花蕾直径或花直径。现蕾期为 50%植株顶端花蕾直径达  $4 \text{ mm}$ ,采收期为 50%植株顶端两花蕾最外层花瓣完全展平,花色鲜艳。对试验 1 和试验 3 隔  $10 \text{ d}$  取样  $3 \text{ 株} \cdot \text{品种}^{-1}$ ,用描叶法测定所有功能叶的叶面积<sup>[12]</sup>。

## 2 模型构建

### 2.1 生理辐热积的计算

在栽培方式一定的情况下,影响菊花品质的主要因素是温度和光合有效辐射,因而采用综合光温指标——生理辐热积(physiological product of thermal effectiveness and PAR,  $P_{\text{TEP}}$ )来预测菊花品质。生理辐热积可按式(1)~(5)计算<sup>[11]</sup>:

$$P_{\text{DTEP}(i)} = [(\sum R_{\text{TE}}(i, j))/24] \times P_{\text{AR}(i)}; \quad (1)$$

$$P_{\text{TEP}(i)} = \sum_{i=m}^n D_{\text{DTEP}(i)}; \quad (2)$$

$$P_{\text{PTEP}} = \begin{cases} P_{\text{TEP}} \times B_{\text{D}_1} & P_{\text{PTEP}} < S_{\text{D}} \\ P_{\text{TEP}} \times R_{\text{PE}} \times B_{\text{D}_2} & P_{\text{PTEP}} \geq S_{\text{D}} \end{cases}; \quad (3)$$

$$B_{\text{D}_1} = P_{\text{TEP}_1}/P_{\text{TEP}_{1k}}; \quad (4)$$

$$B_{\text{D}_2} = P_{\text{TEP}_2}/P_{\text{TEP}_{2k}}. \quad (5)$$

式中:  $P_{\text{PTEP}}$  为菊花不同发育阶段的生理辐热积( $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ );  $P_{\text{TEP}(i)}$  为从第  $m$  天到第  $n$  天的累积辐热积( $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ );  $P_{\text{DTEP}(i)}$  为第  $i$  天的日辐热积( $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ );  $P_{\text{AR}(i)}$  为第  $i$  天的总光合有效辐射( $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ );  $R_{\text{PE}}$  为每日光周期效应。本试验短日照处理阶段日照长度为 10 h, 低于菊花临界日长 13.5 h, 故  $R_{\text{PE}} = 1$ ;  $B_{\text{D}_1}$  和  $B_{\text{D}_2}$  分别为短日照处理前后品种的基本发育因子;  $P_{\text{TEP}_1}$  和  $P_{\text{TEP}_2}$  分别为基本发育因子为 1 的品种(本试验为‘蒙白’)从定植到短日照处理与短日照处理到采收所需的累积辐热积;  $P_{\text{TEP}_{1k}}$  和  $P_{\text{TEP}_{2k}}$  分别为  $k$  品种从定植到短日照处理与短日照处理到采收所需的累积辐热积;  $S_{\text{D}}$  为模型待定参数;  $R_{\text{TE}}(i, j)$  为第  $i$  天第  $j$  ( $j = 1 \sim 24$ ) 小时的相对热效应。据菊花发育所需的三基点温度(表 1)<sup>[11]</sup>和实际气温观测数据计算, 见式(6):

$$R_{\text{TE}(T)} = \begin{cases} 0 & (T < T_{\text{b}}) \\ (T - T_{\text{b}})/(T_{\text{ob}} - T_{\text{b}}) & (T_{\text{b}} \leq T < T_{\text{ob}}) \\ 1 & (T_{\text{ob}} \leq T \leq T_{\text{b}}) \\ (T_{\text{m}} - T)/(T_{\text{m}} - T_{\text{ou}}) & (T_{\text{ou}} < T \leq T_{\text{m}}) \\ 0 & (T > T_{\text{m}}) \end{cases}. \quad (6)$$

式(6)中:  $T$  为平均温度;  $T_{\text{b}}$  为菊花生长下限温度;  $T_{\text{ob}}$  为菊花生长最适下限温度;  $T_{\text{ou}}$  为生长最适上限温度;  $T_{\text{m}}$  为生长上限温度。

据公式(1)~(2)及(4)~(6),用试验 1 的数据计算,各品种定植到短日照处理和短日照处理到采收的辐热积及基本发育因子见表 2,  $S_{\text{D}}$  为  $88.9 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

### 2.2 单片叶面积模拟

用试验 1 和 3 取样的叶面积和叶长数据,得到不同品种单片叶面积与叶长的关系模型(式 7)和参

表 1 切花菊各发育阶段的三基点温度

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

发育阶段		$T_{\text{b}} / ^\circ\text{C}$	$T_{\text{ob}} / ^\circ\text{C}$	$T_{\text{ou}} / ^\circ\text{C}$	$T_{\text{m}} / ^\circ\text{C}$
扦插到定植		10	18	25	32
定植到短日照处理	白天	10	20	25	35
	夜间	10	16	20	30
短日照处理到现蕾	白天	10	18	23	32
	夜间	10	16	20	28
现蕾到采收		10	18	25	35

表 2 多头切花菊不同品种短日照处理前后阶段辐热积和基本发育因子

Table 2 Product of thermal effectiveness and PAR( $P_{\text{TEP}}$ ) and the basic development factors( $B_{\text{D}}$ ) before and after short day treatment of different spray cut chrysanthemum cultivars

品种	扦插至短日照处理		短日照处理至采收	
	$P_{\text{TEP}} / (\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2})$	$B_{\text{D}_1}$	$P_{\text{TEP}} / (\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2})$	$B_{\text{D}_2}$
蒙白	88.9	1.00	107.9	1.00
绿蜂窝	111.9	0.79	136.2	0.79
清露	95.7	0.93	124.0	0.87
翠莲	99.7	0.89	132.0	0.81
汉粉	117.4	0.75	108.9	0.99

数(表 3)。

$$A_{lk} = A_k \times L_L^2 \quad (7)$$

式(7)中,  $A_{lk}$  表示品种  $k$  的单叶叶面积( $\text{cm}^2$ ),  $L_L$  表示叶长( $\text{cm}$ ),  $A_k$  为品种  $k$  的叶面积系数。

### 2.3 品质的模拟

用试验 1 的数据及公式(1)~(6)计算得到各处理的生理辐热积, 建立株高、展叶数、叶面积、茎粗和花径的实测值与生理辐热积之间的关系(图 1), 各品质指标与生理辐热积的关系模型为:

$$H = -0.12 + 104.08 / \{1 + \exp[-(P_{\text{PTEP}} - 66.88) / 21.71]\}, \quad R^2 = 0.99, E_s = 3.23(\text{cm}); \quad (8)$$

$$N = -1.22 + 59.81 / \{1 + \exp[-(P_{\text{PTEP}} - 61.16) / 27.96]\}, \quad R^2 = 0.99, E_s = 2.10; \quad (9)$$

$$A = 19.05 + 1\,821.09 / \{1 + \exp[-(P_{\text{PTEP}} - 62.44) / 19.88]\}, \quad R^2 = 0.97, E_s = 90.09(\text{cm}^2); \quad (10)$$

$$D_s = -0.000\,2 \times P_{\text{PTEP}}^2 + 0.056 \times P_{\text{PTEP}} + 2.40, \quad R^2 = 0.96, E_s = 0.28(\text{mm}); \quad (11)$$

$$D_f = \begin{cases} 0, & P_{\text{PTEP}} < 94.16 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \\ 0.38 \times \exp(0.025 \times P_{\text{PTEP}}), & P_{\text{PTEP}} \geq 94.16 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \end{cases}, \quad R^2 = 0.95, E_s = 2.3(\text{mm}). \quad (12)$$

式中:  $H$  为株高( $\text{cm}$ );  $N$  为植株定植后的单株展叶数;  $A$  为单株叶面积( $\text{cm}^2$ );  $D_s$  为茎粗( $\text{mm}$ );  $D_f$  为花径( $\text{mm}$ );  $P_{\text{PTEP}}$  为定植后生理辐热积( $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ );  $R_2$  为决定系数;  $E_s$  为标准误差。

表 3 不同品种的叶面积系数

品种	叶面积系数 $A_k$	样本数	标准误差 $E_s$	决定系数 $R^2$
绿蜂窝	0.251	182	1.58	0.96
清露	0.272	185	2.30	0.94
翠莲	0.249	168	2.36	0.90
汉粉	0.303	153	2.44	0.94
蒙白	0.227	172	2.30	0.96

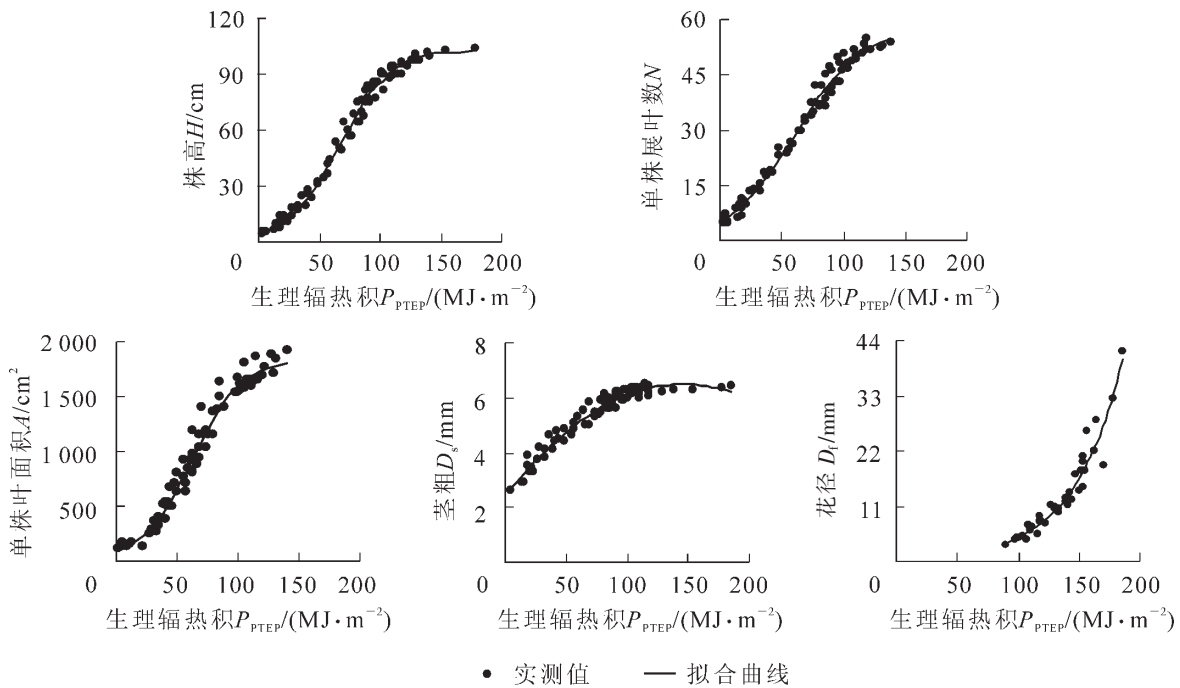


图 1 多头切花菊品质与生理辐热积的关系

Figure 1 Relationship between quality of spray cut chrysanthemum and physiological product of thermal effectiveness and PAR ( $P_{\text{PTEP}}$ )

### 2.4 模型的验证

用相对预测误差(relative prediction error,  $E_{\text{RP}}$ )对模拟值和观测值之间的符合度进行统计分析, 可用公式(13)计算, 其中回归估计标准误的计算参考 Cao 等<sup>[13]</sup>的方法。

$$E_{\text{RP}}(\%) = \frac{\text{回归估计标准误}}{\text{实测样本平均值}} \times 100\% \quad (13)$$

## 2.5 结果与分析

用试验2和试验3的数据按公式(1)~(6)分别计算得到不同处理的生理辐射热积,再分别按公式(8)~(12)计算得到各处理的株高、展叶数、叶面积、茎粗和花径的模型预测值,模拟值与实测值基于1:1线的决定系数( $R^2$ )分别为0.99, 0.99, 0.94, 0.87, 0.92;相对预测误差( $E_{RP}$ )分别为7.2%, 6.9%, 10.2%, 5.6%, 18.2%(图2),表明本模型对日光温室多头切花菊各项品质指标的预测精度较高。

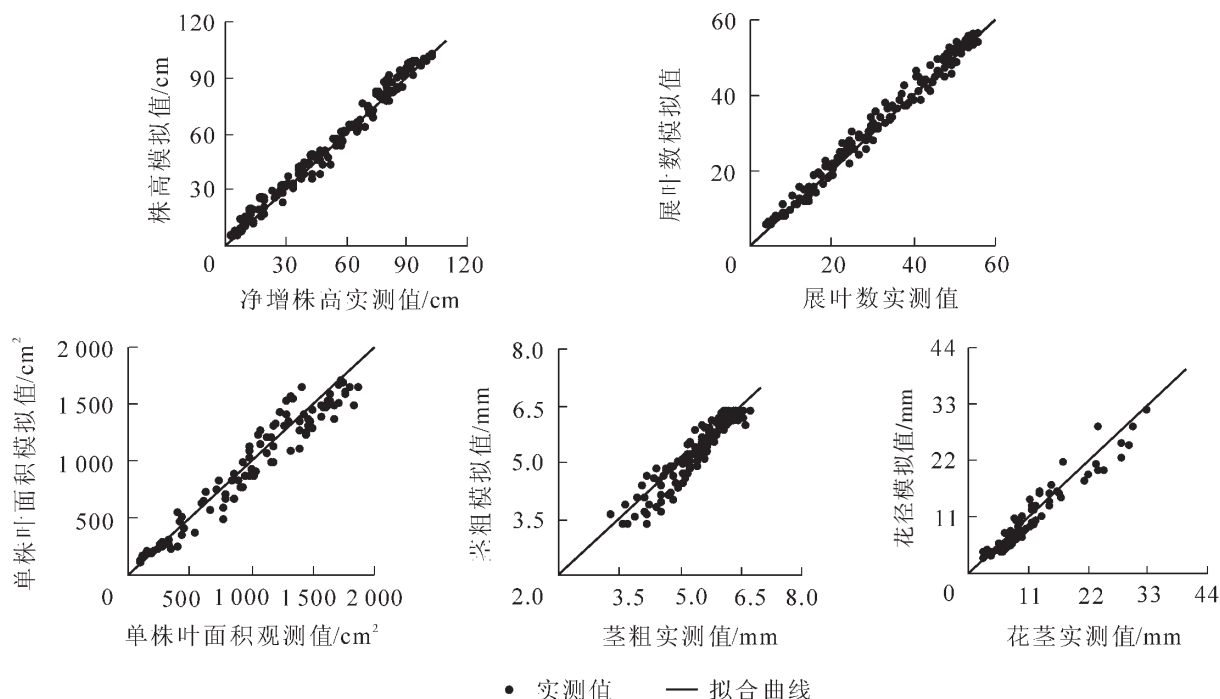


图2 多头切花菊品质的模拟值与实际观察值比较

Figure 2 Comparison between the simulated and observed quality of spray cut chrysanthemum

## 3 讨论

杨再强等<sup>[11]</sup>对单头菊品质模型研究认为,单头菊展叶数、叶面积、株高、茎粗、节间长和花径预测值与实测值之间基于1:1线的决定系数( $R^2$ )分别为0.99, 0.98, 0.98, 0.92, 0.87和0.88,预测相对误差( $E_{RP}$ )分别为5.5%, 6.5%, 5.9%, 4.1%, 11.2%和12.4%。从本实验模拟结果看,多头菊与单头菊单株叶面积、茎粗和花径模拟公式完全不同。多头菊与单头菊单株展叶数和株高与生理辐射热积同成S曲线关系,但模型参数不同,显然单头菊品质预测模型不能应用到多头菊上。从模拟精度看,多头菊茎粗模型模拟精度稍高于单头菊,其余品质模型模拟精度稍低于单头菊。多头菊与单头菊生产方式和品质要求不同,多头菊栽培过程中不需要摘心和抹芽处理,管理粗放,导致多头菊个体生长差异较单头菊大,这可能是其品质模拟精度略低于单头菊的原因。

关于多头菊品质的模拟,Larsen等<sup>[8]</sup>用逻辑斯蒂方程描述了多头菊展叶数与定植后的关系,模型适用温度为9~27℃,光照强度为0.8~7.8 mol·d<sup>-1</sup>·m<sup>-2</sup>;Margit等<sup>[6]</sup>提出了多头菊花径预测模型,用一元回归方程和Monomolecular生长函数分别描述了从现蕾到破蕾,破蕾到完全开花2个阶段花径与日均温度的关系,模型适用于单一品种。生理辐射热积能较好地综合温光对品质的互作效应,并通过品种基本发育因子调整不同品种的发育速率,因此,基于生理辐射热积的预测模型克服了已有模型的局限,适用范围较广,对株高、展叶数、茎粗、单株叶面积和花径的预测精度较高。除以上品质指标,单株着花数也是多头菊重要的品质指标,但受品种分枝性、开放整齐度等的影响很大,难以单纯用生理辐射热积统一模拟,且目前生产上花数量没有成为品质影响的主要问题,故该项指标没有列入。

本模型对单株叶面积和花径的预测精度低于株高、展叶数和茎粗。菊花单株叶面积为单株所有叶片面积的总和。多头菊叶片数目多而累计测量误差大,可能是其预测误差较大的主要原因。花径除受

日均温度和辐射影响,还受绝对昼温和夜温的影响<sup>[14]</sup>,本模型未将此考虑在内,另外,现蕾初期花径较小,测量误差较大也导致花径预测误差较大,因而,进一步定量研究绝对昼温和夜温对花径的影响很有意义。除温光条件外,肥水条件和定植密度也是影响菊花外观品质的重要因素。本研究建立的日光温室多头切花菊外观品质预测模型,通过输入温室内温度、光合有效辐射和品种参数,可较准确预测无水肥胁迫条件下日光温室多头切花菊主要品质指标,并对多头菊在江苏北部及气候相近的华东等地区日光温室生产的温光优化调控提供理论依据和决策支持。模型在其他地区、肥水和种植密度条件下的应用,尚需进一步试验。

#### 参考文献:

- [1] 陈林. 国际多头菊花市场调查与分析[J]. 温室园艺, 2005 (8): 20 - 22.  
CHEN Lin. Research and analysis of the international market of chrysanthemum[J]. *Greenhouse Hortic*, 2005 (8): 20 - 22.
- [2] LANGTON F A, COCKSHULL K E. Is stem extension determined by DIF or by absolute day night temperature?[J] *Sci Hortic*, 1997, **69**: 229 - 237.
- [3] JACOBSON B M, WILLITS D H. Developing relationships between environmental variables and stem elongation in chrysanthemum [J]. *Trans ASAE*, 1998, **41**: 825 - 832.
- [4] CARALHO S M P, HEUVELINK E, CASCALS R, *et al.* Effect of day and night temperature on internode and stem length in chrysanthemum: is everything explained by DIF[J]. *Ann Bot*, 2002, **90**: 11 - 18.
- [5] ACOCK B, CHARLES E D A, SAWYER S. Growth response of a chrysanthemum crop to the environment(Ⅲ) Effects of radiation and temperature on dry matter partitioning and photosynthesis [J]. *Ann Bot*, 1979, **44**: 289 - 300.
- [6] NOTHNAGL M, KOSIBA A, LARSEN R U. Predicting the effect of irradiance and temperature on the flower diameter of greenhouse grown *Chrysanthemum* [J]. *Sci Hortic*, 2004, **99**: 319 - 329.
- [7] LEE J H, HEUVELINK E. Simulation of leaf area development based on dry matter partitioning specific leaf area for cut chrysanthemum [J]. *Ann Bot*, 2003, **91**: 319 - 327.
- [8] LARSEN R U, HIDDEN C. Predicting leaf unfolding in flower induced shoots of greenhouse grown chrysanthemum [J]. *Sci Hortic*, 1995, **63**: 225 - 239.
- [9] KARLSSON M G, HEINS R D, ERWIN J E, *et al.* Irradiance and temperature effects on time of development and flower size in chrysanthemum [J]. *Sci Hortic*, 1989, **39**: 257 - 267.
- [10] KARLSSON M G, HEINS R D, ERWIN J E, *et al.* Temperature and photosynthetic photon flux influence chrysanthemum shoot development and flower initiation under short-day conditions [J]. *J Am Soc Hortic Sci*, 1989, **114**: 158 - 163.
- [11] 杨再强, 罗卫红, 陈发棣, 等. 基于光温的温室标准切花菊品质预测模型[J]. 应用生态学报, 2007, **18** (4): 877 - 882.  
YANG Zaiqiang, LUO Weihong, CHEN Fadi, *et al.* Quality prediction model of greenhouse standard cut chrysanthemum based on light-temperature effect [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2007, **18** (4): 877 - 882.
- [12] 倪纪恒, 罗卫红, 李永秀, 等. 温室番茄叶面积与干物质生产地模拟[J]. 中国农业科学, 2005, **38** (8): 1629 - 1635.  
NI Jiheng, LUO Weihong, LI Yongxiu, *et al.* Simulation of leaf area and dry matter production in greenhouse tomato [J]. *Sci Agric Sin*, 2005, **38** (8): 1629 - 1635.
- [13] CAO Weixing, MOSS D N. Modelling phasic development in wheat: a conceptual integration of physiological components [J]. *J Agric Sci*, 1997, **129**: 163 - 172.
- [14] CARALHO S M P, HEUVELINK E. Influence of greenhouse climate and plant density on external quality of chrysanthemum (*Dendranthema grandiflorum* (Ramat.) Kitamura): first steps towards a quality model [J]. *Hortic Sci Biotechnol*, 2001, **76**: 249 - 258.