

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 14 期 Vol.31 No.14 **2011**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 14 期

2011 年 7 月 (半月刊)

目 次

厦门市三个产业土地利用变化的敏感性·····	黄 静,崔胜辉,李方一,等 (3863)
黄河源区沙漠化及其景观格局的变化·····	胡光印,董治宝,逯军峰,等 (3872)
岩溶山区景观多样性变化的生态学意义对比——以贵州四个典型地区为例·····	罗光杰,李阳兵,王世杰,等 (3882)
基于城市地表参数变化的城市热岛效应分析·····	徐涵秋 (3890)
北京市土地利用生态分类方法·····	唐秀美,陈百明,路庆斌,等 (3902)
长白山红松臭冷杉光谱反射随海拔的变化·····	范秀华,刘伟国,卢文敏,等 (3910)
臭冷杉生物量分配格局及异速生长模型·····	汪金松,张春雨,范秀华,等 (3918)
渔山岛岩礁基质潮间带大型底栖动物优势种生态位·····	焦海峰,施慧雄,尤仲杰,等 (3928)
食物质量差异对树麻雀能量预算和消化道形态特征的影响·····	杨志宏,邵淑丽 (3937)
桂西北典型喀斯特区生态服务价值的环境响应及其空间尺度特征·····	张明阳,王克林,刘会玉,等 (3947)
隔沟交替灌溉条件下玉米根系形态性状及结构分布·····	李彩霞,孙景生,周新国,等 (3956)
不同抗病性茄子根系分泌物对黄萎菌的化感作用·····	周宝利,陈志霞,杜 亮,等 (3964)
镉在草-菇-土系统中的循环与生物富集效应·····	翁伯琦,姜照伟,王义祥,等 (3973)
鄱阳湖流域泥沙流失及吸附态氮磷输出负荷评估·····	余进祥,郑博福,刘娅菲,等 (3980)
柠条细根的分布和动态及其与土壤资源有效性的关系·····	史建伟,王孟本,陈建文,等 (3990)
土壤盐渍化对尿素与磷酸脲氮挥发的影响·····	梁 飞,田长彦 (3999)
象山港海域细菌的分布特征及其环境影响因素·····	杨季芳,王海丽,陈福生,等 (4007)
近地层臭氧对小麦抗氧化酶活性变化动态的影响·····	吴芳芳,郑有飞,吴荣军,等 (4019)
抑制剂和安全剂对高羊茅根中酶活性和菲代谢的影响·····	龚帅帅,韩 进,高彦征,等 (4027)
南苜蓿高效共生根瘤菌土壤的筛选·····	刘晓云,郭振国,李乔仙,等 (4034)
汉江上游金水河流域土壤常量元素迁移模式·····	何文鸣,周 杰,张昌盛,等 (4042)
基于地理和气象要素的春玉米生育期栅格化方法·····	刘 勤,严昌荣,梅旭荣,等 (4056)
日光温室切花郁金香花期与外观品质预测模型·····	李 刚,陈亚茹,戴剑锋,等 (4062)
冀西北坝上旱干区南瓜油葵间作的水分效应·····	黄 伟,张俊花,李文红,等 (4072)
专论与综述	
鸟类分子系统地理学研究进展·····	董 路,张雁云 (4082)
自然保护区空间特征和地块最优选择方法·····	王宜成 (4094)
人类活动是导致生物均质化的主要因素·····	陈国奇,强 胜 (4107)
冬虫夏草发生的影响因子·····	张古忍,余俊锋,吴光国,等 (4117)
自然湿地土壤产甲烷菌和甲烷氧化菌多样性的分子检测·····	余晨兴,全 川 (4126)
研究简报	
塔里木河上游典型绿洲不同连作年限棉田土壤质量评价·····	贡 璐,张海峰,吕光辉,等 (4136)
高山森林凋落物分解过程中的微生物生物量动态·····	周晓庆,吴福忠,杨万勤,等 (4144)
生物结皮粗糙特征——以古尔班通古特沙漠为例·····	王雪芹,张元明,张伟民,等 (4153)
不同海拔茶园害虫、天敌种群及其群落结构差异·····	柯胜兵,党凤花,毕守东,等 (4161)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 306 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-07



封面图说:内地多呈灌木状的沙棘,在青藏高原就表现为高大的乔木,在拉萨河以及雅鲁藏布江沿岸常常可以看到高大的沙棘林和沼泽塔头湿地相映成趣的美丽景观。

彩图提供:陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

李刚,陈亚茹,戴剑锋,罗卫红,赵统利,朱朋波. 日光温室切花郁金香花期与外观品质预测模型. 生态学报, 2011, 31 (14): 4062-4071.

Li G, Chen Y R, Dai J F, Luo W H, Zhao T L, Zhu P B. A model for predicting flowering date and external quality of cut tulip in solar greenhouse. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31 (14): 4062-4071.

日光温室切花郁金香花期与外观品质预测模型

李 刚¹, 陈亚茹¹, 戴剑锋¹, 罗卫红^{1,*}, 赵统利², 朱朋波²

(1. 南京农业大学农学院, 南京 210095; 2. 连云港市农业科学研究所, 江苏连云港 222006)

摘要:建立日光温室切花郁金香花期与外观品质预测模型,以期通过调节种植期和种植密度,实现日光温室切花郁金香生产的光温优化调控。以郁金香品种世界珍爱(*Tulip gesneriana* cv ‘World Favorite’)和金检阅(*Tulip gesneriana* cv ‘Golden Parade’)为试材,通过不同种植期和不同密度的栽培试验,定量分析了种植期和密度对郁金香发育进程及外观品质动态的影响。在此基础上,以单株吸收辐射热积(Photo-thermal Index, *PTI*)为尺度,建立了日光温室切花郁金香花期与外观品质预测模型,并用独立的试验数据对模型进行了检验。结果表明,模型对郁金香花期和各外观品质指标的预测效果较好。模型对各生育时期的预测值与实测值之间的决定系数 R^2 为 0.95,对萌芽期、展叶期、现蕾期和采收期的预测值与实测值的回归估计标准误 *RMSE* 分别为 0.7、1.3、2.9、1d。模型对株高、展叶数、茎基长、茎基粗、花颈长、花颈粗、花蕾长和花蕾直径的预测值与实测值之间 R^2 分别为 0.97、0.97、0.98、0.98、0.98、0.97、0.98 和 0.97, *RMSE* 分别为 30.8、0.2、3.5、0.1、5.5、0.1、1.2mm 和 0.4mm。模型对 A、B、C 级出花率的预测值与实测值之间的 R^2 分别为 0.95、0.97、0.96, *RMSE* 分别为 0.8%、0.3%、0.9%。建立的模型预测精度较高、参数少,可为日光温室切花郁金香生产中种植期和种植密度的优化提供理论依据和决策支持。

关键词:切花郁金香;温度;光合有效辐射;模型;花期;品质

A model for predicting flowering date and external quality of cut tulip in solar greenhouse

LI Gang¹, CHEN Yaru¹, DAI Jianfeng¹, LUO Weihong^{1,*}, ZHAO Tongli², ZHU Pengbo²

1 College of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

2 Agricultural Scientific Research Institute of Lianyungang, Lianyungang 222006, China

Abstract: Radiation and temperature are the major environmental factors affecting flowering date and external quality traits of flower crops. The aim of this study is to develop a model for predicting the flowering date and external quality traits of cut tulip grown in solar greenhouses for the purpose of optimizing radiation and temperature conditions inside solar greenhouses through adjusting planting date and planting density. Three experiments with different planting dates and densities were conducted in a solar greenhouse located at Lianyungang, Jiangsu (34°42' N, 119°30' E) during 2007 and 2008. Two tulip cultivars (*Tulip gesneriana* cvs ‘World Favorite’ and ‘Golden Parade’) were used in the experiments. During each experiment, photosynthetically active radiation (*PAR*) and air temperature above the canopy inside the solar greenhouse were automatically monitored, and crop data of development and external quality traits were collected for model development and validation. After planting, 4 development stages (sprouting, leaf unfolding, flower bud visible and harvesting) were observed. After sprouting stage, 5 plants of each plot (15 plants per density treatment) were randomly selected for non-destructive measurements once every 3 days. The non-destructive measurements include plant height, number of unfolding leaf per plant, length of basilar stem, diameter of basilar stem, length of flower neck, diameter of flower neck, length of

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40975070);公益性行业(气象)科研专项资助项目(GYHY200906023)

收稿日期:2010-05-15; **修订日期:**2010-10-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lwh@njau.edu.cn

flower bud, diameter of flower bud, length and width of individual leaf. Statistical information on the relative yield of different rank was also collected at harvest. The integrated effects of PAR and temperature (depending on planting date and density) on the development and external quality traits of cut tulip crops were quantified according to the experimental data. Based on these quantitative relationships, a photo-thermal model was developed to predict the flowering date and external quality traits of cut tulip grown in the solar greenhouse. Independent experimental data were used to validate the model. The results showed that our model gave satisfactory predictions of flowering date and external quality traits of cut tulip crops. The determination coefficient (R^2) between the predicted and observed development stages was 0.95, and the root mean squared error (RMSE) between the predicted and observed days of sprouting, leaf unfolding, flower bud visible and harvesting were 0.7d, 1.3d, 2.9d and 1d, respectively. The R^2 and RMSE between the predicted and the measured values of external quality traits were, respectively, 0.97 and 30.8mm for plant height, 0.98 and 0.2 for number of unfolding leaf per plant, 0.98 and 3.5mm for basilar stem length, 0.98 and 0.1mm for diameter of basilar stem, 0.98 and 5.5mm for length of flower neck, 0.97 and 0.1mm for diameter of flower neck, 0.98 and 1.2mm for bud length, 0.97 and 0.4mm for bud diameter, 0.95 and 0.8% for relative yield of rank A, 0.97 and 0.3% for relative yield of rank B, and 0.96 and 0.9% for relative yield of rank C. The model developed in this study may be used for optimizing planting date and density for cut tulip production in solar greenhouses.

Key Words: cut tulip; temperature; PAR; model; flowering date; external quality

郁金香(*Tulip gesneriana* L.)是百合科郁金香属球根花卉,是世界著名鲜切花之一^[1]。在我国淮河流域及其以北地区,主要采用不加温的日光温室生产切花郁金香,供应年宵鲜切花市场。花期和外观品质决定了日光温室花卉生产的经济效益,而光、温是影响花卉作物花期和外观品质的重要环境因子^[2]。如何在没有加温和补光设备的日光温室中按时生产出合格的切花产品,是我国日光温室花卉生产面临的首要问题。目前日光温室花卉生产中,只能通过调节种植期和种植密度来调控花期与外观品质,但种植期和种植密度的确定以经验方法为主。由于不同地区以及同一地区不同季节的光温条件存在差异,导致在某地区获得的生产经验在其它地区的应用效果较差,影响了我国日光温室花卉生产中花期与外观品质调控技术的标准化进程。花期与外观品质预测模型,可以预测不同光温和种植密度条件下花卉作物的花期与外观品质,是优化日光温室花卉作物光温调控的有力工具。关于花卉作物花期与外观品质预测模型的研究,国内外已有关于菊花^[3-8],一品红^[9-10]和月季^[11]等切花的研究报道。这些研究为建立其它花卉作物花期与外观品质预测模型提供了参考。关于种植密度^[12]、种植时间^[13]和光质^[14]对郁金香生长及外观品质的影响,国内外已有一些研究报道。但这些研究主要是一些定性结果,难以直接用于日光温室郁金香种植密度和种植时间的优化。而关于切花郁金香花期和外观品质预测模型的研究,国内外尚鲜有报道。

本研究以郁金香品种世界珍爱(*Tulip gesneriana* cv ‘World Favorite’)和金检阅(*Tulip gesneriana* cv ‘Golden Parade’)为试材,通过不同种植期和种植密度的试验,明确在肥水供应充足条件下,不同种植期和不同密度对郁金香发育进程及外观品质动态的影响。在此基础上,以单株吸收辐射热积(Photo-thermal Index, PTI)为尺度,建立日光温室切花郁金香花期与外观品质预测模型,为通过种植期和种植密度的优化,实现日光温室切花郁金香花期与外观品质的光温调控提供理论依据和决策支持。

1 材料和方法

1.1 试验设计

试验于2007年11月—2008年2月在江苏省徐淮地区连云港市农业科学研究所试验基地(34°42' N, 119°30' E)日光温室内进行。日光温室东西长96m、跨度7m、脊高3.5m,北墙高度2.6m,朝向为南偏西5°,前屋面为钢架结构,棚膜为0.1×10⁻³m厚的聚氯乙烯抗老化无滴膜。每天16:00至翌日8:00采用长9m、宽1.2m、厚0.03m的草帘保温。草帘采用中置电动摆杆伸缩卷帘机自动收放。

供试切花郁金香品种为世界珍爱 (*Tulip gesneriana* cv 'World Favorite') 和金检阅 (*Tulip gesneriana* cv 'Golden Parade'), 系从荷兰进口的种球 (根据种球说明书, 种球生产商出售的种球已经采用 5℃ 低温完成了春化处理), 种球周径 (0.12 ± 0.12) m, 采用土栽方式种植。日光温室内土壤容重为 $1.26 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, pH 值为 7.11, EC 值为 1.24 mS/cm。试验设 3 个密度处理: 80 株/m²、100 株/m²、120 株/m², 小区面积 6 m², 每处理 3 个重复, 共 9 个小区, 随机区组排列。其他栽培管理方式按常规进行。

试验一于 2007 年 11 月 23 日种植, 采收期: 世界珍爱为 2008 年 1 月 13 日, 金检阅为 2008 年 1 月 22 日。

试验二于 2007 年 12 月 10 日种植, 采收期: 世界珍爱为 2008 年 1 月 26 日, 金检阅为 2008 年 2 月 1 日。

试验三于 2007 年 12 月 27 日种植, 采收期: 世界珍爱为 2008 年 2 月 13 日, 金检阅为 2008 年 2 月 16 日。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 日光温室环境数据的获取

日光温室环境数据由数据采集器 Datalogger (CR1000, Campbell Scientific Inc., USA) 自动采集。试验区在日光温室中的位置如图 1 所示, 在试验区的东、南、西、北和中间 5 个方位 (即图中的 A、B、C、D、E) 畦面上方各放置 1 个百叶箱 (内置温湿度传感器), 采集距畦面 1.5 m 处的空气温度, 试验区的中心放置辐射仪 (E 处), 采集日光温室内冠层上方的光合有效辐射 (PAR)。所有数据采集频率为每 60s 一次, 存储每 30min 的平均值。空气温度传感器为热电偶, 光合有效辐射传感器为 LI-190SL (LI-COR Inc, USA)。本文中所用温度数据为图 1 中 A、B、C、D、E 5 个测点的平均值。

试验期间日光温室内温度和光照条件如图 2 所示。从图 2 可以看出, 生根后, 切花郁金香所遇到的日光温室内的光、温条件 3 个试验期间存在明显差异。

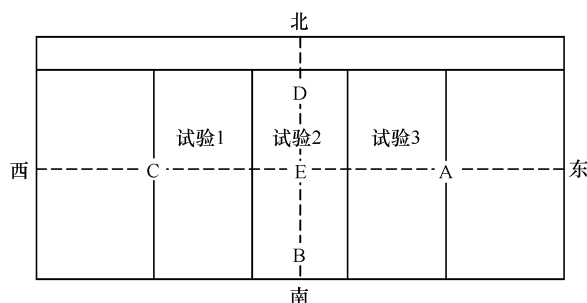


图 1 光照和气温测量点在日光温室内的分布

Fig. 1 Sensor distribution for PAR and air temperature measurements in the solar greenhouse

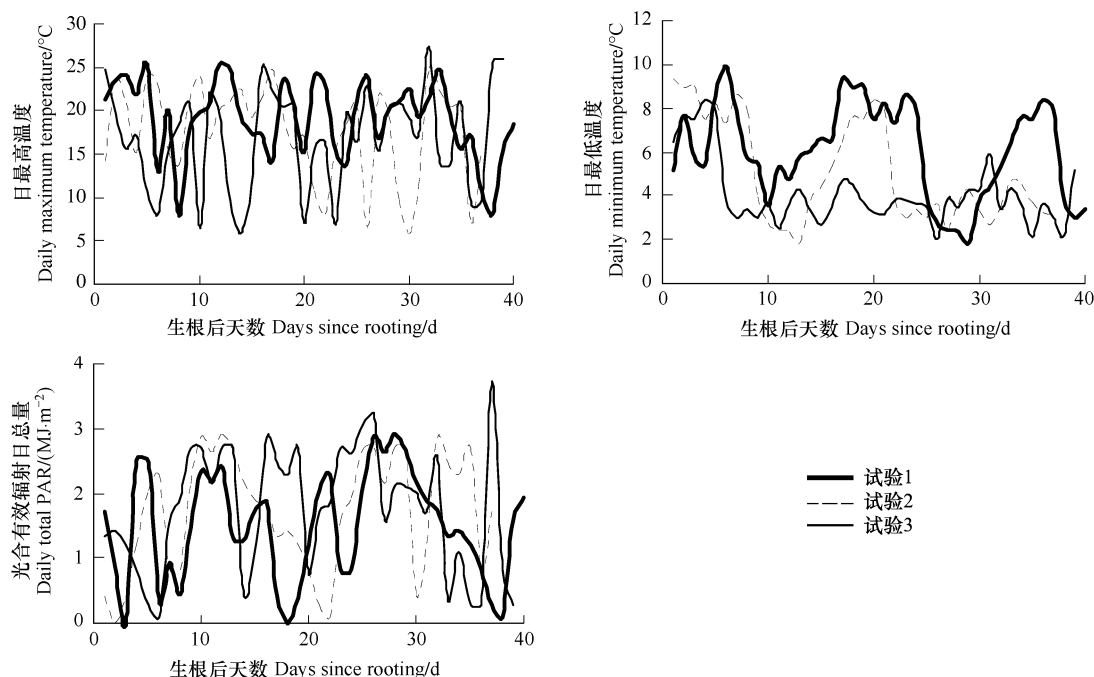


图 2 生根后日光温室内日最高温度、日最低温度和光合有效辐射日总量

Fig. 2 Daily maximum temperature, minimum temperature, and daily total PAR since rooting

1.2.2 生育期的观测

试验期间每天观测郁金香生长发育状况,并记录各个发育阶段的起始日期。根据取样观测,种球种植后,当植株叶芽出土达到 10mm 时,种球已经生根。因此,植株叶芽出土达到 10mm 用作生根的标准。郁金香的整个生育阶段可分为生根期(从种植到 80% 植株叶芽出土 10mm)、萌芽期(从叶芽出土 10mm 到 80% 植株第一片叶开始展开(即叶片长度达 80mm 时))、展叶期(从第一片叶展开到 80% 植株最后一叶展开)、现蕾期(从叶片展开到 80% 植株花蕾完全露出)、采收期(从花蕾露出到 80% 植株花蕾开始露色但还未展开)。

1.2.3 外观品质的测定及成花率和出花率的统计

从萌芽后开始,每处理各重复分别选取 5 株(各处理 15 株)挂牌进行定株观测,每隔 3d 测量 1 次,项目包括株高、展叶数(叶片长度达 80mm 时开始展开)、茎基长度(从地面至第一叶鞘的距离)、茎基粗度(从地面往上 30mm 处的粗度)、叶片长度和宽度,并记录展叶和达到最大叶长的日期。当叶长日增长量小于 1mm 时视为该叶片达到最大叶长。现蕾后测量花颈长度(从第四叶鞘至花蕾基部的距离)、花颈粗度(花蕾基部以下 50mm 处的粗度)、花蕾长度和直径(花蕾中部的最大直径)。

出花率指采收时,外观品质分别达到郁金香切花各级别标准(表 1)的植株数占统计总植株数的百分比。具体计算方法是,采收时(花蕾开始露色但还未展开)从各处理中随机抽取 100 株,参考《日本农林水产省郁金香鲜切花标准》^[15](表 1),统计各处理中达到 A、B、C 各级别标准的植株数,从而计算得到 A、B、C 各个级别标准的出花率(%)。

表 1 日本农林水产省郁金香鲜切花标准^[15]

Table 1 Ranking standard for cut tulip (<i>Tulipa gesneriana</i> L.) set by Japanese Ministry of Agriculture, Forestry and Fishery			
评价事项 Assessment items	A 级 Rank A	B 级 Rank B	C 级 Rank C
花茎叶平衡度 Balance degree among flower, stem and leaf	极好	良好	一般
花型与花色 Type and color of flower	品种原特性表现极好	品种原特性表现良好	品种原特性表现一般
病虫害 Pest damage	没有	几乎没	极少有
损伤等 Injury	没有	几乎没	极少有
剪切时间 Cutting time	适时	适时	适时
总长度 Length of cut plant	>40cm	40—35cm	34—30cm

2 模型的构建

2.1 单株吸收辐热积的计算

温度和辐射是影响植物生长发育最关键的两个环境因子^[16],种植密度是影响郁金香生长和外观品质的重要栽培条件措施之一。本模型采用单株吸收辐热积(Photo-thermal Index, PTI)来量化温度、光照和密度对日光温室切花郁金香生长动态的综合影响。单株吸收辐热积定义为单株吸收的光合有效辐射日总量与日平均相对热效应(RTE)的乘积。日平均相对热效应为一天内各小时相对热效应平均值,可根据公式(1)^[17]利用日光温室内空气温度(图 1 中 5 个测点 A、B、C、D、E 的平均值)和郁金香 3 基点温度来计算。

$$RTE(i) = (1/24) \sum_{h=1}^{24} RTE(T_j)$$

(1)

公式(1)中, $RTE(i)$ 为第 i 天的日平均相对热效应, $RTE(T_j)$ 为一天中第 j 小时的相对热效应, T_j 为一天中第 j 小时日光温室内空气温度(℃)。根据文献^[18-22],郁金香各生育期的 3 基点温度见表 2。

每日冠层吸收的光合有效辐射,可根据文献^[23]计算如下:

$$PAR(i) = PAR \times (1 - \exp(-k \times LAI(i-1)))$$

(2)

公式(2)中, $PAR(i)$ 为第 i 天冠层吸收的光合有效辐射日总量($MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$), PAR 为第 i 天日光温室内冠层上方的光合有效辐射日总量($MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$), k 为郁金香冠层的消光系数,根据试验资料定为 0.74, $LAI(i-1)$ 为第 $i-1$ 天的叶面积指数,每日叶面积指数计算方法见文献^[24]。定义 $LAI(0)$ 为萌芽时郁金香的叶面积指数,

是模型的输入参数。根据试验一的观测数据,80 株/m²,100 株/m²,120 株/m²个密度处理的 $LAI(0)$ 分别取值为 0.10,0.12,0.14。

表 2 切花郁金香各生育期 3 基点温度^[18-22]

Table 2 Minimum, optimum and maximum temperature for cut tulip growth and development at different development stage

生育期 Development stage		最低温度/℃ Minimum temperature	最适温度/℃ Optimum temperature	最高温度/℃ Maximum temperature
生根期 Rooting stage		4	8—11	25
萌芽期 Sprouting stage	白天 day	4	9—13	25
	夜间 night	4	6—10	25
展叶期 Leaf unfolding stage	白天	4	15—18	25
	夜间	4	12—15	25
现蕾期 Bud visible stage	白天	4	17—20	25
	夜间	4	14—17	25
采收期 Harvesting stage	白天	4	17—20	25
	夜间	4	14—17	25

每日冠层吸收的辐热积为:

$$DPTI(i) = RTE(i) \times PAR(i) \quad (3)$$

公式(3)中, $DPTI(i)$ 为第*i*天冠层吸收的辐热积(MJ/m²), $RTE(i)$ 为第*i*天的日平均相对热效应, $PAR(i)$ 为第*i*天冠层吸收的光合有效辐射日总量(MJ·m⁻²·d⁻¹)。

在一定生长阶段内,切花郁金香单株累积吸收的辐热积为:

$$PTI = (\sum DPTI(i)) / \rho \quad (4)$$

公式(4)中, PTI 为一定生长阶段内单株累积吸收的辐热积(MJ/株), ρ 为种植密度(株/m²)。

2.2 生育阶段和花期的模拟

利用试验一的数据,根据公式(1)—(4)计算郁金香不同品种完成各生育阶段所需的单株吸收辐热积。根据日光温室室内温度和入射光合有效辐射的数据,以及郁金香完成各生育阶段所需的单株吸收辐热积,可以反演出种植后到达各生育期的日期^[17](表3)。

表 3 郁金香不同品种完成各生育期所需的单株吸收辐热积

Table 3 Photo-thermal index (PTI) required by different development stages of cut tulip

生育期 Development stage	世界珍爱 World Favorite's PTI/(MJ/株)	金检阅 Golden Parade's PTI/(MJ/株)
萌芽期 Sprouting stage	0.00	0.00
展叶期 Leaf unfolding stage	0.54	0.84
现蕾期 Bud visible stage	1.64	2.91
采收期 Harvesting stage	1.20	1.66

2.3 外观品质的模拟

郁金香的外观品质主要由株高、展叶数、茎基长度和粗度、花颈长度和粗度、花蕾长度和直径构成。根据试验一的数据,株高与单株吸收辐热积的关系可用指数线性生长方程(5)^[23]进行描述(图3)。

$$H = (c_m / r_m) \ln[1 + \exp(r_m (PTI - PTI_b))] \quad (5)$$

公式(5)中, H 为株高(mm), c_m 为株高增长速率(mm·(MJ/株)⁻¹), r_m 为相对增长速率(mm·mm⁻¹·(MJ·株⁻¹)⁻¹), PTI 为萌芽后单株吸收辐热积(MJ·株⁻¹), PTI_b 为从萌芽到植株冠层封行的单株吸收辐热积(MJ·株⁻¹)。根据试验一的数据确定参数 c_m 、 r_m 、 PTI_b 的值,品种世界珍爱分别为3388.6mm·(MJ·株⁻¹)⁻¹、111.7mm·mm⁻¹·(MJ·株⁻¹)⁻¹、0.01MJ·株⁻¹,品种金检阅分别为2748.4mm·(MJ·株⁻¹)⁻¹、90.04mm·mm⁻¹·

$(\text{MJ} \cdot \text{株}^{-1})^{-1}$ 、 $0.03 \text{MJ} \cdot \text{株}^{-1}$ 。

其他指标与单株吸收辐射热积的关系可用负指数方程(6)^[7]描述(图3)。

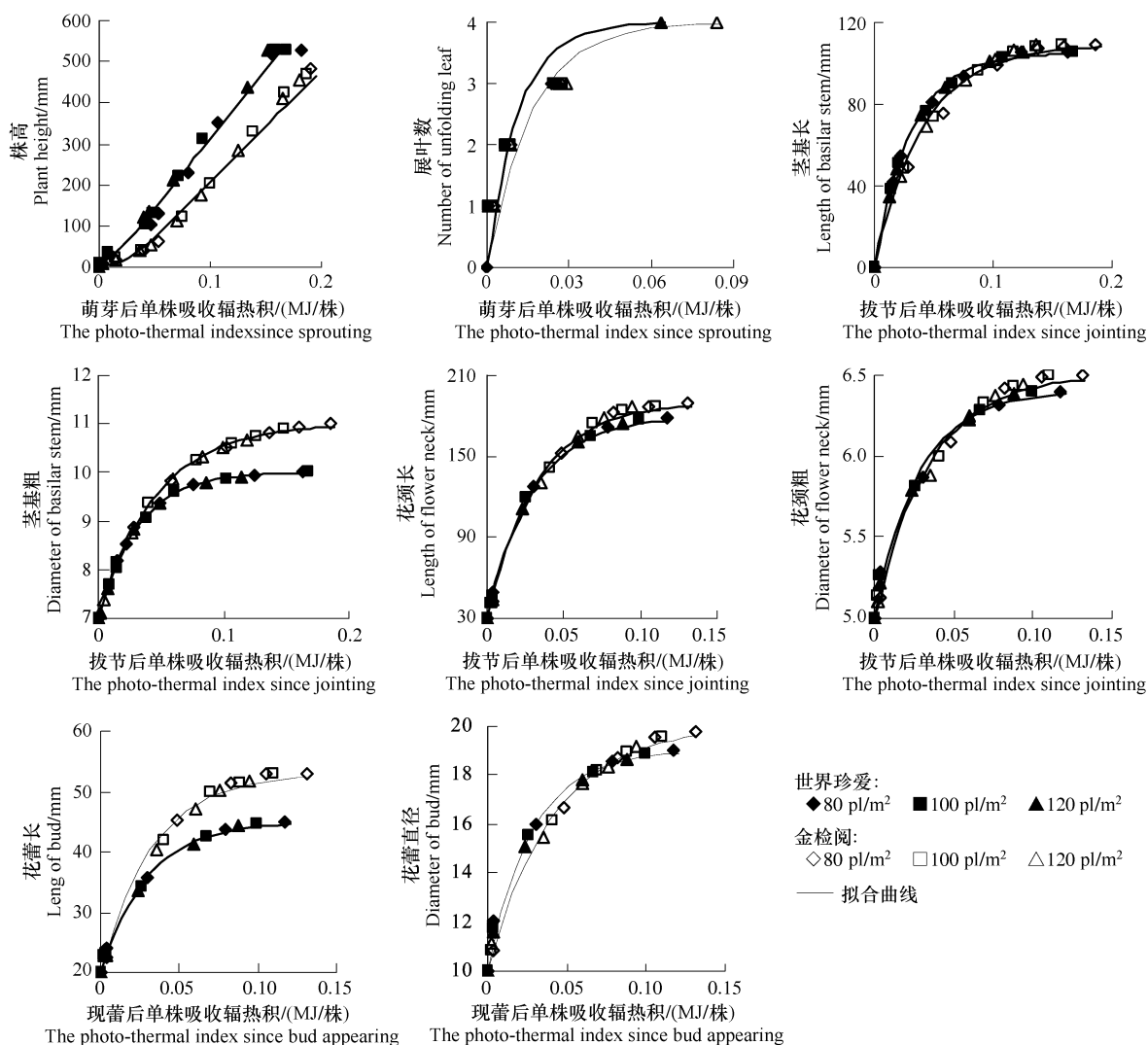


图3 株高、展叶数、茎基长、茎基粗、花颈长、花颈粗、花蕾长、花蕾直径与单株吸收辐射热积的关系

Fig. 3 Relationship between plant height, number of unfolding leaf, length of basilar stem, diameter of basilar stem, length of flower neck, diameter of flower neck, length of bud, diameter of bud and the photo-thermal index (PTI) since cut tulip organs measurable

$$Y = Y_{\max} \times (1 - \exp(-r \times PTI / Y_{\max})) + Y_0 \quad (6)$$

公式(6)中, Y 为外观指标达到采收时的测量值,即展叶数、茎基长和粗(mm)、花颈长和粗(mm)、花蕾长和直径(mm); $Y_{\max}$ 为各外观品质指标的最大增长量; r 为外观指标的增长速率($\text{mm}/(\text{MJ} \cdot \text{株}^{-1})$); PTI 为各指标从可以测量至采收期间单株吸收辐射热积($\text{MJ}/\text{株}$); Y_0 为各外观指标开始测量时的初始值(mm)。根据试验一数据确定的不同品种的模式参数($Y_{\max}$, Y_0 , r) (表4)。

2.4 出花率模型

根据公式(1)–(4)计算生产中不同种植密度和种植时间的郁金香整个生育期累积的单株吸收辐射热积,利用不同种植期和不同种植密度采收时统计的出花率,建立两个供试品种的A、B、C级郁金香的出花率与单株吸收辐射热积之间关系(图4)。

$$R_A = R_0 + a \times PTI \quad (7)$$

$$R_B = R_0 + b \times PTI \quad (8)$$

$$R_C=R_f-R_A-R_B$$

(9)

公式(7)—(9)中, R_A 为A级郁金香的出花率(%); R_0 为郁金香的初始出花率16.7%(每一级的初始出花率(%)=初始成花率(%) $\times 1/3$,因郁金香种球种植前已完成花芽分化,初始成花率为50%); a 为与品种相关的拟合系数,根据试验资料,品种世界珍爱和金检阅的 a 值分别为254.3、199.6; PTI 为萌芽后到采收时单株累积吸收的辐热积(MJ/pl)。 R_B 为B级郁金香的出花率(%); b 为品种相关的拟合系数,根据试验资料,品种世界珍爱和金检阅的 b 值分别为71.8、67.8。 R_C 为C级郁金香的出花率(%); R_f 为成花率(%),根据试验统计结果,采收时两个品种各处理的成花率均为98%。

表4 公式(6)中针对不同品种和品质指标的参数值

Table 4 Values of parameters in equation (6) for different cultivars of cut tulip

外观指标 External quality index	世界珍爱‘World Favorite’		金检阅‘Golden Parade’		初始值 Y_0 Initial values
	最大值 $Y_{\max}$	增长速率 r	最大值 $Y_{\max}$	增长速率 r	
	Maximum	Rate	Maximum	Rate	
展叶数 Number of unfolding leaf	4	345	4	246	0
茎基长 Length of basilar stem/mm	105	3355.3	109	2624.6	0
茎基粗 Diameter of basilar stem/mm	3	95.2	4	86.8	7
花颈长 Length of flower neck/mm	149	4992.2	160	4890.5	30
花颈粗 Diameter of flower neck/mm	1.4	50.7	1.5	43.9	5
花蕾长 Length of bud/mm	25	844.4	33	1001.2	20
花蕾直径 Diameter of bud/mm	9	323.0	10	243.2	10

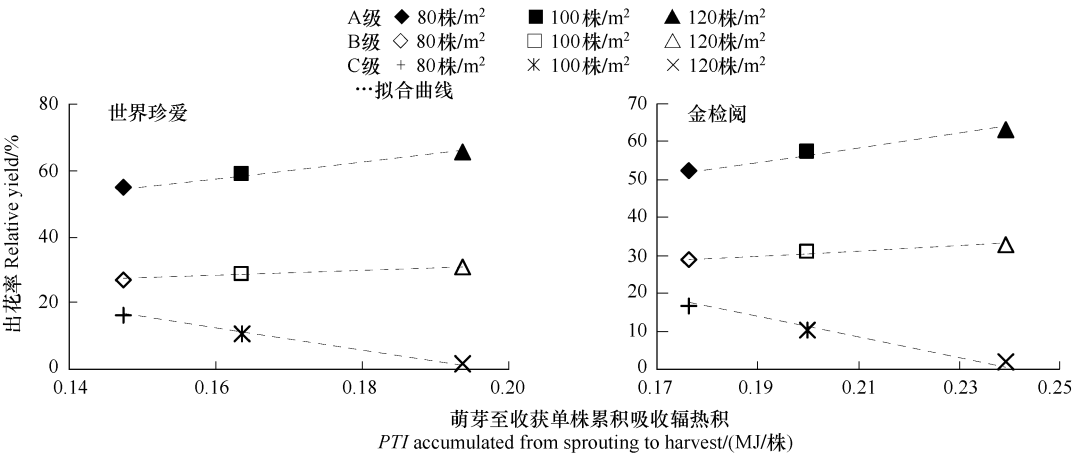


图4 郁金香出花率与从萌芽至采收的单株吸收辐热积的关系

Fig. 4 Relationship between relative yield in different rank and the photo-thermal index (PTI) accumulated from sprouting to harvest

2.5 模型检验方法

采用回归估计标准误(root mean squared error, $RMSE$)对预测值和实测值之间的符合度进行分析, $RMSE$ 可用下列公式(10)计算:

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

(10)

式中, OBS_i 为实测值, SIM_i 为模型预测值, n 为样本容量。

3 模型的检验

利用与建模数据相独立的试验二、三的环境数据,根据公式(1)—(4)计算出种植后单株累积吸收的辐热积;根据郁金香完成各生育阶段所需的单株吸收辐热积(表3),反演出种植后到达各生育期的日期,与实测值

进行比较;根据公式(5)一(6)和表4的参数,分别预测试验二、三各处理的株高、节间数、茎基长度和粗度、花颈长度和粗度、花蕾长度和直径,分别与实测值进行比较;由公式(7)一(9)分别预测出试验二、三各处理采收时 A、B、C 级的出花率,并与实测值进行比较。结果表明,模型对郁金香花期、各外观品质指标和出花率的预测效果均较好。模型对各生育时期的预测值与实测值基于 1:1 线的决定系数 R^2 为 0.95,萌芽期、展叶期、现蕾期、采收期的预测值与实测值的回归估计标准误 $RMSE$ 分别为 0.7、1.3、2.9、1d;模型对株高、节间数、茎基长度、茎基粗度、花颈长度、花颈粗度、花蕾长度和花蕾直径的预测值与实测值之间基于 1:1 线的 R^2 分别为 0.97、0.97、0.98、0.98、0.98、0.97、0.98、0.97, $RMSE$ 分别为 30.8、0.2、3.5、0.1、5.5、0.1、1.2mm 和 0.4mm;模型对 A、B、C 级出花率的预测值与实测值之间的 R^2 分别为 0.95、0.97、0.96, $RMSE$ 分别为 0.8%、0.3%、0.9% (图 5)。

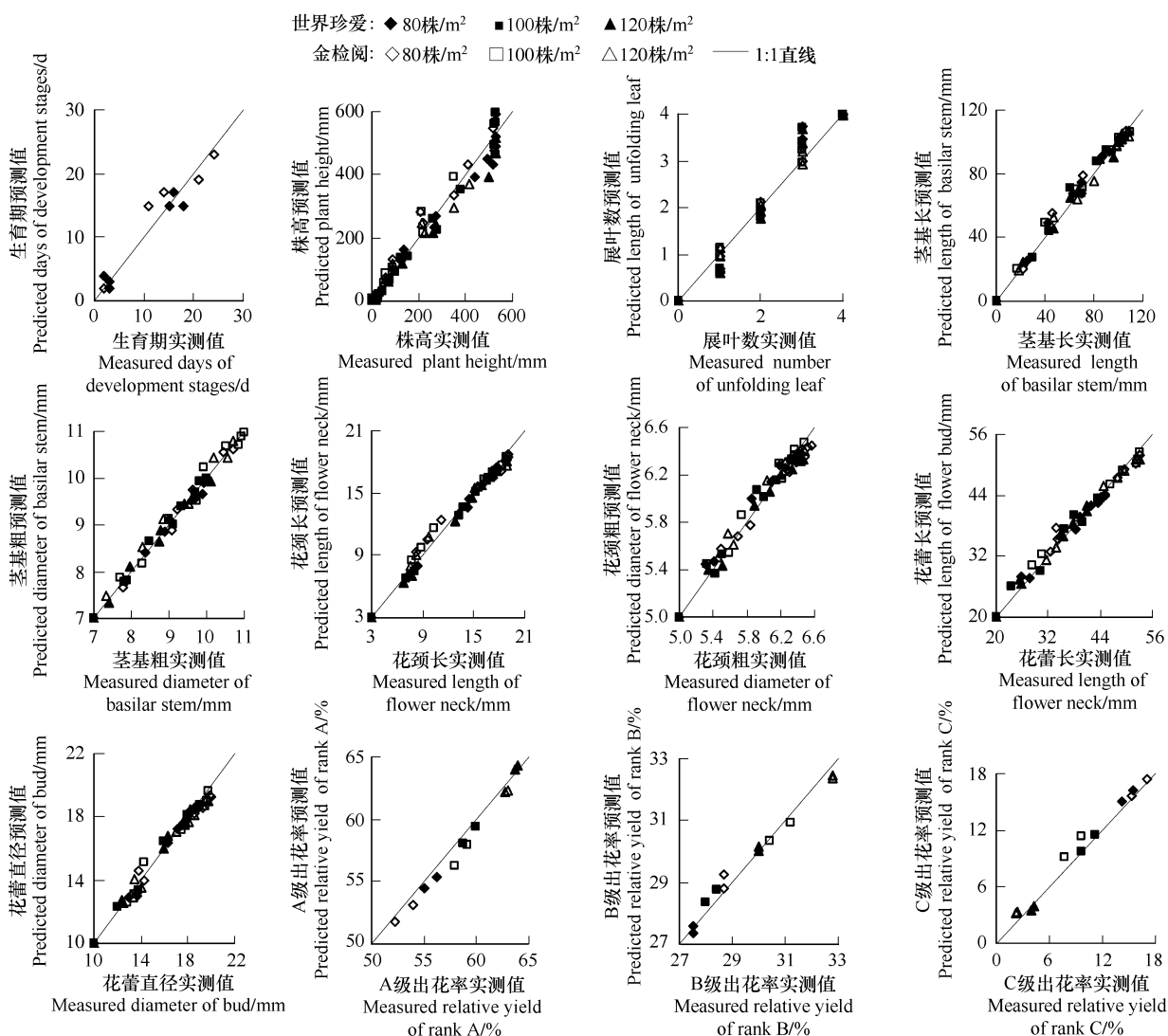


图 5 郁金香各生育期天数、各外观品质指标以及出花率的预测值和实测值比较

Fig. 5 Comparison between predicted and observed values on different development stages, external quality indices and relative yield of cut tulip

4 讨论与结论

本研究的模型在计算温度热效应(公式(1))时,所采用的 3 基点温度是代表作物分布区域的总体温度状况。由于日光温室的特殊结构,导致温室内的光照和温度分布(特别是水平方向)不均匀^[25]。为此,监测了试验作物分布区域不同位置的气温(图 1),模型中采用的实测温度数据是各个测点气温的平均值,从而提高

了其对于日光温室内作物分布区域总体温度状况的代表性,降低了因日光温室内温度分布不均匀,用单点温度测值带来的温度热效应计算误差。考虑到光合有效辐射传感器昂贵,在试验和生产中不可能在同一个日光温室内安装多个光合有效辐射仪,本模型在计算辐射积(公式(2)—(3))时,采用的光合有效辐射(PAR)是日光温室内作物分布区域中间点的测值,从而提高了模型的便用性。

不同地区以及同一地区不同季节的光温条件存在差异。同一地区同一季节种植的作物因种植密度和生长时期(叶面积指数)的不同而导致作物冠层中每个植株接受到的光合有效辐射(PAR)不同。从图2可以看出,3个试验期间切花郁金香所遇到的日光温室内的光、温条件存在明显差异。采用试验一的数据建立模型,采用试验二和试验三的数据对模型进行检验。结果表明模型对日光温室栽培郁金香各个生育时期出现的时间、外观品质动态和出花率的预测效果均较好。这是由于本模型采用单株吸收的辐射积作为预测指标,综合考虑了光、温、叶面积指数(公式(2))和种植密度(公式(4))对郁金香发育、外观品质和出花率的影响,从而提高了模型的普适性和预测精度。根据日光温室内的光温数据、种植期和种植密度信息,本模型可以预测郁金香从种植到达各个生育时期的时间、各外观品质指标形成动态和切花产品的出花率。但模型在其它地点应用的可靠性,尚需要进一步不同地点的试验数据对模型进行校正和检验。

在实际生产过程中,大多数日光温室内没有安装温度和光照传感器。今后进一步建立日光温室内小气候预测模型,则可以根据室外气象条件利用该模型预测室内小气候状况。将日光温室内小气候预测模型与本研究建立的模型相结合,则可以实现利用室外气象数据,预测日光温室不同种植期和种植密度下,切花郁金香的花期和各级别产品出花率;也可根据用户设定的花期和各级别切花出花率目标,调节切花郁金香种植密度和种植时间,以达到预期生产目标。从而为日光温室切花郁金香生产中,根据不同生产目标来选择适宜的种植时间和种植密度提供理论依据和决策支持。

切花郁金香的生长发育及外观品质不仅受到温度、光照和种植密度的影响,还会受到肥水条件、品种特性和种球规格等因子的影响。本试验是在肥水条件适宜的条件下进行的,而模型在切花郁金香其它品种、种球规格以及肥水限制条件下的应用,还需进一步试验来对模型进行校正和检验。

References:

- [1] Landscape Research Group of Beijing Forestry University. Floriculture. Beijing: Chinese Forestry Publishing House, 1988: 354-359.
- [2] Yousefi B, Tabaei-Aghdaei S R, Darvish F, Assareh M H. Flower yield performance and stability of various *Rosa damascena* Mill. landraces under different ecological conditions. *Scientia Horticulturae*, 2009, 121(3): 333-339.
- [3] Heuvelink E P, Lee J H, Carvalho S M P. Modelling visual product quality in cut chrysanthemum. *Acta Horticulturae*, 2001, 566: 77-84.
- [4] Heuvelink E, Lee J H, Buiskool R P M, Ortega L. Light on cut chrysanthemum: measurement and simulation of crop growth and yield. *Acta Horticulturae*, 2002, 580: 197-202.
- [5] Carvalho S M P, Heuvelink E, Cascals R, van Kooten O. Effect of day and night temperature on internode and stem length in chrysanthemum: is everything explained by DIF? *Annals of Botany*, 2002, 90(1): 111-118.
- [6] Carvalho S M P. Effects of Growth Conditions on External Quality of Cut Chrysanthemum: Analysis and Simulation. Wageningen: Wageningen University, 2003.
- [7] Yang Z Q, Luo W H, Chen F D, Gu J J, Li X M, Ding Q F, Zhao C B, Lu Y F. Quality prediction model of greenhouse standard cut chrysanthemum based on light-temperature effect. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(4): 877-882.
- [8] Yang Z Q, Dai J F, Luo W H, Chen F D, Gu J J, Ding Q F, Mo D, Jiang B B. Effects of stem numbers per ground area on the quality of standard cut chrysanthemum morifolium in greenhouse: simulation model. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(3): 575-582.
- [9] Xu G B, Luo W H, Chen F D, Li Y X, Wei Y G, Chen D. Effect of temperature and solar radiation on *Euphorbia pulcherrima* development and main quality indices. *Acta Horticulturae Sinica*, 2006, 33(1): 168-171.
- [10] Zhang H J, Dai J F, Luo W H, Zhuang K M, Wei Y G, Zhang O. Model for simulating development and growth of pot planted poinsettia (*Euphorbia pulcherrima*) growth in greenhouse. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2009, 25(11): 241-247.
- [11] Colomer R P G, Gonzalez-Real M M, Baille A. Dry matter production and partitioning in rose (*Rosa hybrida*) flower shoots. *Scientia Horticulturae*, 2006, 107(3): 284-291.

- [12] Van der Valk G G M, Timmer M J G. Plant density in relation to tulip bulb growth. *Scientia Horticulturae*, 1974, 2(1): 69-81.
- [13] Khan F U, Jhon A Q, Khan F A, Mir M M. Effect of planting time on flowering and bulb production of tulip under polyhouse conditions in Kashmir. *Indian Journal of Horticulture*, 2008, 65(1): 79-82.
- [14] Shen H X, Shen M, Cheng J H, Li N N, Zhang J. Effect of supplemental lighting with different light quality on growth and bloom of tulip. *Journal of Beijing University of Agriculture*, 2007, 22(1): 20-22.
- [15] Standard for cut flowers of Japan's ministry of agriculture. *Agricultural Engineering Technology: Greenhouse Horticulture*, 2006, (2): 64-65.
- [16] Heuvelink E, Marcelis L F M. Influence of assimilate supply on leaf formation in sweet pepper and tomato. *Journal of Horticultural Science*, 1996, 71(3): 405-414.
- [17] Yuan C M, Luo W H, Zhang S F, Dai J F, Jin L. Simulation of the development of greenhouse muskmelon. *Acta Horticulturae Sinica*, 2005, 32(2): 262-267.
- [18] Guo Z G, Zhang W. *Cut Flower Productive Technology Series: Flowering Bulbs*. Beijing: Tsinghua university press, 1999: 16-17.
- [19] Nelson P V, Niedziela C E Jr. Effect of ancymidol in combination with temperature regime, calcium nitrate, and cultivar selection on calcium deficiency symptoms during hydroponic forcing of tulip. *Scientia Horticulturae*, 1998, 74(3): 207-218.
- [20] Nelson P V, Niedziela C E Jr. Effects of calcium source and temperature regime on calcium deficiency during hydroponic forcing of tulip. *Scientia Horticulturae*, 1998, 73(2/3): 137-150.
- [21] Nelson P V, Kowalczyk W, Niedziela C E Jr, Mingis N C, Swallow W H. Effects of relative humidity, calcium supply, and forcing season on tulip calcium status during hydroponic forcing. *Scientia Horticulturae*, 2003, 98(4): 409-422.
- [22] Skrzypek E, Miyamoto K, Saniewski M, Ueda J. Jasmonates are essential factors inducing gummosis in tulips; mode of action of jasmonates focusing on sugar metabolism. *Journal of Plant Physiology*, 2005, 162(5): 495-505.
- [23] Goudriaan J, van Laar H H. *Modelling Potential Crop Growth Processes*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1994: 10-13.
- [24] Xu R, Dai J, Luo W, Yin X, Li Y, Tai X, Han L, Chen Y, Lin L, Li G, Zou C, Du W, Diao M. A photothermal model of leaf area index for greenhouse crops. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2010, 150(4): 541-552.
- [25] Luo W. Roles and prospects of models in traditional chinese solar greenhouse crop and climate management. *Acta Horticulturae*, 2006, 718: 245-253.

参考文献:

- [1] 北京林业大学园林系教研组. 花卉学. 北京: 中国林业出版社, 1988: 354-359.
- [7] 杨再强, 罗卫红, 陈发棣, 顾俊杰, 李向茂, 丁琪峰, 赵才标, 陆亚凡. 基于光温的温室标准切花菊品质预测模型. *应用生态学报*, 2007, 18(4): 877-882.
- [8] 杨再强, 戴剑锋, 罗卫红, 陈发棣, 顾俊杰, 丁琪峰, 莫丹, 姜贝贝. 单位面积杆数对温室标准切花菊品质影响的预测模型. *应用生态学报*, 2008, 19(3): 575-582.
- [9] 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.
- [10] 张红菊, 戴剑锋, 罗卫红, 庄克明, 魏猷刚, 章鸥. 温室盆栽一品红生长发育模拟模型. *农业工程学报*, 2009, 25(11): 241-247.
- [14] 沈红香, 沈漫, 程继鸿, 李娜娜, 张婧. 不同光质补光处理对郁金香生长和开花的影响. *北京农学院学报*, 2007, 22(1): 20-22.
- [15] 日本农林水产省鲜切花标准(二). *农业工程技术: 温室园艺*, 2006, (2): 64-65.
- [17] 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(2): 262-267.
- [18] 郭志刚, 张伟. 切花生产技术丛书-球根类. 北京: 清华大学出版社, 1999: 16-17.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 14 July, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

The sensitivity of Xiamen's three industrial sectors to land use changes	HUANG Jing, CUI Shenghui, LI Fangyi, et al (3863)
Desertification and change of landscape pattern in the Source Region of Yellow River	 HU Guangyin, DONG Zhibao, LU Junfeng, et al (3872)
Comparison of ecological significance of landscape diversity changes in karst mountains: a case study of 4 typical karst area in Guizhou Province	 LUO Guangjie, LI Yangbing, WANG Shijie, et al (3882)
Analysis on urban heat island effect based on the dynamics of urban surface biophysical descriptors	 XU Hanqiu (3890)
Primary exploration on the ecological land use classification in Beijing	TANG Xiumei, CHEN Baiming, LU Qingbin, et al (3902)
Changes of spectral reflectance of <i>Pinus koraiensis</i> and <i>Abies nephrolepis</i> along altitudinal gradients in Changbai Mountain	 FAN Xiuhua, LIU Weiguo, LU Wenmin, et al (3910)
Biomass allocation patterns and allometric models of <i>Abies nephrolepis</i> Maxim	 WANG Jinsong, ZHANG Chunyu, FAN Xiuhua, et al (3918)
Niche analysis of dominant species of macrobenthic community at a tidal flat of Yushan Island	 JIAO Haifeng, SHI Huixiong, YOU Zhongjie, et al (3928)
The influence of different food qualities on the energy budget and digestive tract morphology of Tree Sparrows <i>passer montanus</i>	 YANG Zhihong, SHAO Shuli (3937)
The response of ecosystem service values to ambient environment and its spatial scales in typical karst areas of northwest Guangxi, China	 ZHANG Mingyang, WANG Kelin, LIU Huiyu, et al (3947)
Root morphology characteristics under alternate furrow irrigation	LI Caixia, SUN Jingsheng, ZHOU Xinguo, et al (3956)
Allelopathy of the root exudates from different resistant eggplants to verticillium wilt (<i>Verticillium dahliae</i> Kleb.)	 ZHOU Baoli, CHEN Zhixia, DU Liang, et al (3964)
Biological cycle and accumulation of lanthanum in the forage-mushroom-soil system	 WENG Boqi, JIANG Zhaowei, WANG Yixiang, et al (3973)
Evaluation of soil loss and transportation load of adsorption N and P in Poyang Lake watershed	 YU Jinxiang, ZHENG Bofu, LIU Yafei, et al (3980)
Effects of soil resource availabilities on vertical distribution and dynamics of fine roots in a <i>Caragana korshinskii</i> plantation	 SHI Jianwei, WANG Mengben, CHEN Jianwen, et al (3990)
Effects of soil salinization on ammonia volatilization characteristics of urea and urea phosphate	 LIANG Fei, TIAN Changyan (3999)
Distribution of marine bacteria and their environmental factors in Xiangshan Bay	 YANG Jifang, WANG Haili, CHEN Fusheng, et al (4007)
Concentration of O ₃ at the atmospheric surface affects the changes characters of antioxidant enzyme activities in <i>Triticum aestivum</i>	 WU Fangfang, ZHENG Youfei, WU Rongjun, et al (4019)
Effects of inhibitor and safener on enzyme activity and phenanthrene metabolism in root of tall fescue	 GONG Shuaishuai, HAN Jin, GAO Yanzheng, et al (4027)
Screening of highly-effective rhizobial strains on Alfalfa (<i>Medicago polymorpha</i>) in soil	 LIU Xiaoyun, GUO Zhenguo, LI Qiaoxian, et al (4034)
Geochemical evolution processes of soil major elements in the forest-dominated Jinshui River Basin, the upper Hanjiang River	 HE Wenming, ZHOU Jie, ZHANG Changsheng, et al (4042)
Integrating geographic features and weather data for methodology of rasterizing spring maize growth stages	 LIU Qin, YAN Changrong, MEI Xurong, et al (4056)
A model for predicting flowering date and external quality of cut tulip in solar greenhouse	 LI Gang, CHEN Yaru, DAI Jianfeng, et al (4062)
Moisture effect analysis of pumpkin and oil sunflower intercropping in semi-arid area of northwest Hebei Province	 HUANG Wei, ZHANG Junhua, LI Wenhong, et al (4072)
Review and Monograph	
Theoretical backgrounds and recent advances in avian molecular phylogeography	DONG Lu, ZHANG Yanyun (4082)
A review on spatial attributes of nature reserves and optimal site-selection methods	WANG Yicheng (4094)
Human activities are the principle cause of biotic homogenization	CHEN Guoqi, QIANG Sheng (4107)
Factors influencing the occurrence of <i>Ophiocordyceps sinensis</i>	ZHANG Guren, YU Junfeng, WU Guangguo, et al (4117)
Molecular detection of diversity of methanogens and methanotrophs in natural wetland soil	SHE Chenxing, TONG Chuan (4126)
Scientific Note	
Soil quality assessment of continuous cropping cotton fields for different years in a typical oasis in the upper reaches of the Tarim River	GONG Lu, ZHANG Haifeng, LÜ Guanghui, et al (4136)
Dynamics of microbial biomass during litter decomposition in the alpine forest	 ZHOU Xiaoqing, WU Fuzhong, YANG Wanqin, et al (4144)
The aerodynamic roughness length of biological soil crusts: a case study of Gurbantungut Desert	 WANG Xueqin, ZHANG Yuanming, ZHANG Weimin, et al (4153)
Differences among population quantities and community structures of pests and their natural enemies in tea gardens of different altitudes	KE Shengbing, DANG Fenghua, BI Shoudong, et al (4161)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 14 期 (2011 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 14 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元