

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第17期 Vol.32 No.17 **2012**

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 32 卷 第 17 期

2012 年 9 月 (半月刊)

目 次

基于生物生态因子分析的长序榆保护策略.....	高建国,章 艺,吴玉环,等 (5287)
闽江口芦苇沼泽湿地土壤产甲烷菌群落结构的垂直分布.....	余晨兴,仝 川 (5299)
涡度相关观测的能量闭合状况及其对农田蒸散测定的影响.....	刘 渡,李 俊,于 强,等 (5309)
地下滴灌下土壤水势对毛白杨纸浆林生长及生理特性的影响.....	席本野,王 焯,邸 楠,等 (5318)
绿盲蝽危害对枣树叶片生化指标的影响.....	高 勇,门兴元,于 毅,等 (5330)
湿地资源保护经济学分析——以北京野鸭湖湿地为例.....	王昌海,崔丽娟,马牧源,等 (5337)
湿地保护区周边农户生态补偿意愿比较.....	王昌海,崔丽娟,毛旭峰,等 (5345)
湿地翅碱蓬生物量遥感估算模型.....	傅 新,刘高焕,黄 舸,等 (5355)
增氮对青藏高原东缘典型高寒草甸土壤有机碳组成的影响.....	郑娇娇,方华军,程淑兰,等 (5363)
大兴安岭 2001—2010 年森林火灾碳排放的计量估算.....	胡海清,魏书精,孙 龙 (5373)
基于水分控制的切花百合生长预测模型.....	董永义,李 刚,安东升,等 (5387)
极端干旱区增雨加速泡泡刺群落土壤碳排放.....	刘殿君,吴 波,李永华,等 (5396)
黄土丘陵区土壤有机碳固存对退耕还林草的时空响应.....	许明祥,王 征,张 金,等 (5405)
小兴安岭 5 种林型土壤呼吸时空变异	史宝库,金光泽,汪兆洋 (5416)
疏勒河上游土壤磷和钾的分布及其影响因素.....	刘文杰,陈生云,胡凤祖,等 (5429)
COII 参与茉莉酸调控拟南芥吲哚族芥子油苷生物合成过程	石 璐,李梦莎,王丽华,等 (5438)
Gash 模型在黄土区人工刺槐林冠降雨截留研究中的应用	王艳萍,王 力,卫三平 (5445)
三峡水库消落区不同海拔高度的植物群落多样性差异.....	刘维湄,王 杰,王 勇,等 (5454)
基于 SPEI 的北京低频干旱与气候指数关系	苏宏新,李广起 (5467)
山地枣树茎直径对不同生态因子的响应.....	赵 英,汪有科,韩立新,等 (5476)
幼龄柠条细根的空间分布和季节动态	张 帆,陈建文,王孟本 (5484)
山西五鹿山白皮松群落乔灌木层的种间分离.....	王丽丽,毕润成,闫 明,等 (5494)
长期施肥对玉米生育期土壤微生物量碳氮及酶活性的影响.....	马晓霞,王莲莲,黎青慧,等 (5502)
基于归一化法的小麦干物质积累动态预测模型.....	刘 娟,熊淑萍,杨 阳,等 (5512)
上海环城林带景观美学评价及优化策略	张凯旋,凌焕然,达良俊 (5521)
旅游风景区旅游交通系统碳足迹评估——以南岳衡山为例.....	窦银娣,刘云鹏,李伯华,等 (5532)
一种城市生态系统现状评价方法及其应用.....	石惠春,刘 伟,何 剑,等 (5542)
黄海中南部细纹狮子鱼的生物学特征及资源分布的季节变化.....	周志鹏,金显仕,单秀娟,等 (5550)
蓝藻堆积和螺类牧食对苦草生长的影响.....	何 虎,何宇虹,姬娅婵,等 (5562)
黑龙江省黄鼬冬季毛被分层结构及保温功能.....	柳 宇,张 伟 (5568)
虎纹蛙选择体温和热耐受性在个体发育过程中的变化	樊晓丽,雷焕宗,林植华 (5574)
水丝蚓对太湖沉积物有机磷组成及垂向分布的影响	白秀玲,周云凯,张 雷 (5581)
专论与综述	
城市绿地生态评价研究进展.....	毛齐正,罗上华,马克明,等 (5589)
全球变化背景下生态学热点问题研究——第二届“国际青年生态学者论坛”	万 云,许丽丽,耿其芳,等 (5601)
研究简报	
雅鲁藏布江高寒河谷流动沙地适生植物种筛选和恢复效果.....	沈渭寿,李海东,林乃峰,等 (5609)
学术信息与动态	
生态系统服务时代的来临——第五届生态系统服务伙伴年会述评	吕一河,卫 伟,孙然好 (5619)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 334 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 36 * 2012-09	



封面图说: 带雏鸟的白枕鹤一家——白枕鹤是一种体型略小于丹顶鹤的优美的鹤。体羽蓝灰色,腹部较深,背部较浅,脸颊两侧红色,头和颈的后部及上背为白色,雌雄相似。其虹膜暗褐色,嘴黄绿色,脚红色。白枕鹤常常栖息于开阔平原芦苇沼泽和水草沼泽地带,有时亦出现于农田和海湾地区,尤其是迁徙季节。主要以植物种子、草根、嫩叶和鱼、蛙、软体动物、昆虫等为食。繁殖区在我国北方和西伯利亚东南部。我国白枕鹤多在黑龙江、吉林、内蒙古繁殖,与丹顶鹤的繁殖区几乎重叠,为国家一级保护动物。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201202040144

董永义, 李刚, 安东升, 罗卫红. 基于水分控制的切花百合生长预测模型. 生态学报, 2012, 32(17): 5387-5395.

Dong Y Y, Li G, An D S, Luo W H. Predicting the effects of soil water potential on the growth of cut lily. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(17): 5387-5395.

基于水分控制的切花百合生长预测模型

董永义^{1,2}, 李 刚¹, 安东升¹, 罗卫红^{1,*}

(1. 南京农业大学农学院, 南京 210095; 2. 内蒙古民族大学农学院, 通辽 028042)

摘要: 光合作用与干物质生产是观赏植物外观品质形成的基础。水分是影响植物光合作用与干物质生产的重要因子。为定量研究水分对切花百合光合作用与干物质生产的影响, 以切花百合品种‘索邦’(*Lilium* ‘Sorbonne’) 为试验材料, 于 2009 年 3 月至 2010 年 1 月在南京的连栋温室内开展了不同定植期和不同水分处理的栽培试验, 以基于光温的温室花卉生长动态预测模型为基础, 定量分析了不同定植期和不同水分处理条件下切花百合叶面积指数、光合速率和干物质生产的动态影响, 并确定了切花百合正常生长的临界基质水势, 建立了基质水势对切花百合光合速率和干物质生产影响的动态预测模型。结果表明, 本文所建模型对切花百合叶片最大总光合速率和植株总干质量的预测效果较好, 模型对叶面积指数、叶片最大总光合速率和植株干物质量的预测值与实测值之间的决定系数(r^2) 分别为 0.97、0.96、0.94, 相对根均方差($rRMSE$) 分别为 7.12%、4.37%、11.14%。该模型能较好地预测水分对切花百合叶片最大总光合速率和植株总干质量的动态影响, 可为进一步优化切花百合生产的水分管理提供决策支持。

关键词: 切花百合; 基质水势; 干物质生产; 模型

Predicting the effects of soil water potential on the growth of cut lily

DONG Yongyi^{1,2}, LI Gang¹, AN Dongsheng¹, LUO Weihong^{1,*}

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

2 College of Agriculture, Inner Mongolia University for Nationalities, Tongliao Inner Mongolia 028042, China

Abstract: Photosynthesis and dry matter production are essential for guaranteeing the external quality of ornamental plants. Water is the important factor affecting plant photosynthesis and dry matter production. The aim of this study was to quantitatively investigate the effects of water on photosynthesis and dry matter production of *Lilium*. For this purpose, experiments of *Lilium* ‘Sorbonne’ with three planting dates and four levels of water treatment were conducted in a greenhouse in Nanjing from March 2009 to January 2010. During each planting date, the four levels of water treatment were, respectively, -4—-10 kPa, -10—-15 kPa, -15—-25 kPa and -25—-40 kPa. The plot of an area of 0.8 m² for each water treatment with three replicas was arranged in a randomized block design. In each water treatment, substrate water potential at 0.1 m below the substrate surface was monitored using tension meters (with 3 replicas). When the substrate water potential reached its designed lower limit value, the crops were irrigated until reaching the designed upper limit value. Substrate water potential at 0.1 m below the substrate surface and the corresponding gravimetric soil water content were measured to establish the substrate water potential and gravimetric water content relationship curve. This curve was then used to determine the amount of water required for irrigation in each treatment. Photosynthetically active radiation and air temperature above the canopy inside the greenhouse were monitored automatically every 10 s and the half-hourly averaged

基金项目: 国家自然科学基金项目(4975070); 公益性行业(气象)科研专项经费项目(GYHY200906023); 国家科技支撑计划(2006BAD07B05); 内蒙古民族大学博士科研启动基金(BS261)

收稿日期: 2012-02-04; 修订日期: 2012-06-14

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

data were recorded using a datalogger (CR1000; Campbell Scientific Inc.). During each experiment, leaf net photosynthesis rate of the 1st—3th leaves (counting from the top downward) were measured using the photosynthesis system (LI-COR 6400; LI-COR Inc), and 3 plants in each plot were sampled to measured leaf area index and plant dry weight at different development stages. Based on the experimental data, effects of substrate water potential on the dynamics of leaf photosynthesis rate and leaf area index were quantified. These quantitative relationships were then integrated into a photosynthetically driven dry matter production model to predict the effects of substrate water potential on dry matter production of cut lily. Independent experimental data were used to validate the model. The results showed that leaf photosynthesis rate, leaf area index and plant dry matter production decreased significantly when substrate water potential is below -15 kPa. Therefore, the critical substrate water potential for the normal growth of cut lily was determined as -15 kPa. Comparison between the simulated and measured results showed that the coefficient of determination (r^2) between the simulated and the measured values of leaf area index, the maximal leaf gross photosynthesis rate and the dry matter mass were 0.97, 0.96, 0.94, respectively; and the relative root mean square error ($rRMSE$) between the simulated and the measured values of leaf area index, the maximal leaf gross photosynthesis rate and the dry matter mass were 7.12%, 4.37%, 11.14%, respectively. The model developed in this study gives satisfactory predictions of the maximal leaf gross photosynthesis rate and the dry matter production of cut lily, hence, can be used for optimizing water management for cut lily production.

Key Words: cut lily; substrate water potential; dry matter production; model

切花百合素有“球根花卉之王”的美誉,是世界五大鲜切花之一^[1]。水分不仅直接影响花卉作物生长,还可以通过影响土壤养分、温度、湿度等诸多因子间接影响花卉作物生长,因而是花卉作物栽培中的基本调控手段^[2-6]。目前我国温室百合生产中,水分管理基本上是以经验为主,灌水次数、数量和时间上均存在一定盲目性和随意性。灌水过多不仅浪费水资源,而且造成温室内湿度过大导致病害发生。灌水过少则会影响植株生长和光合作用,导致产量和品质下降^[7-8]。因此,水分精确管理是提高百合产量与品质、节约水资源、降低生产成本的关键技术之一。

光合作用与干物质生产是观赏植物外观品质形成的基础。而水分是影响植物光合作用与干物质生产的重要因子。明确观赏植物正常生长的临界土壤或基质水分含量,准确预测水分对光合作用与干物质生产的影响,是进一步预测水分对观赏植物产量和外观品质影响,实现观赏植物生产中水分精确管理的前提。Lin等^[9]建立了土壤水势对温室切花菊生长、干物质分配及外观品质的影响的模型。Pierre等^[10]分段拟合了太阳花叶片扩展速率与可移动水的线性函数关系。周艳宝等^[11]研究了水分对日光温室独本菊生长的动态的模拟。这些研究为研究建立水分对其它观赏植物生长的影响提供了有效的方法和思路。关于百合生长模型或管理模型研究,目前国内外已有一些报道。如Ewin等^[12]和Paul等^[13]分别建立了百合发育模型。Fisher等^[14-16]开发了百合生产管理决策支持系统。Xu等^[17]建立了包括百合在内的温室作物叶面积指数模型。但已有的这些模型中均没有考虑水分因子的影响,从而限制了这些模型在百合水分管理方面的应用。关于百合对水分的敏感性(临界土壤或基质水分含量)的研究鲜有报道。因此,本文以中国栽培面积最大的切花百合品种‘索邦’为试材,通过不同定植期和基质水势的栽培试验,定量分析了水分条件和光温环境因子对切花百合叶面积指数、叶片光合速率和干物质生产的影响,明确切花百合正常生长的临界基质水势。在此基础上,建立基于基质水势的切花百合生长动态预测模型,以期优化温室切花百合生产的水分管理提供决策支持。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2009年3月至翌年1月在南京市农科所PC太阳光板连栋花卉温室内进行。温室东西走向,长28 m,按南北朝向分为2跨,每跨8 m,檐高3 m,拱高5 m。苗床长25 m,宽1.7 m,高1 m。

试验分 3 个部分。其中:试验 I 于 2009 年 3—6 月进行,3 月 26 日定植,4 月 23 日开始水分处理,6 月 15 日采收切花;试验 II 于 2009 年 4—7 月进行,4 月 20 日定植,5 月 17 日开始水分处理,7 月 4 日采收切花;试验 III 于 2009 年 9 月至翌年 1 月进行,9 月 27 日定植,10 月 20 日开始水分处理,翌年 1 月 21 日采收切花。供试品种均为由荷兰引进的切花百合‘索邦’(*Lilium Oriental Hybrids* cv. ‘Sorbonne’),种球周径 0.14—0.16 m。采用基质盆栽,盆钵尺寸:盆口直径 0.18 m,盆底直径 0.12 m,盆高 0.14 m;基质体积配比为 2(河沙):1(草炭):1(园土),容重 $1.08 \times 10^6 \text{ g/m}^3$,pH 值 6.5,EC 值 76 mS/m。每盆植 1 株,盆钵摆放密度 36 株/ m^2 。每个试验均设 4 个水分处理,即: -4—-10 kPa、-10—-15 kPa、-15—-25 kPa、-25—-40 kPa,3 次重复,共 12 个小区,小区面积 0.8 m^2 ,随机区组设计。在水分处理期间,各处理水势维持在其预设区间内。当基质水势达到各处理下限时补水至其上限。通过绘制基质水分特征曲线,将基质水势转化为质量含水量(%),采用称量法确定各处理的灌溉量。

试验 I 的数据用于建立模型,试验 II、III 的数据用于检验模型。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 基质水分特征曲线测定

百合茎生根主要集中在栽培基质的浅表层,本研究采用张力计测定距基质表面 0.1 m 深处不同质量含水量的水势,绘制基质水分特征曲线(图 1)并用式(1)加以拟合。

$$WP = 1.10 + 26.33 \times \exp(-SMC/23.09) \quad R^2 = 0.98, SE = 1.36 \text{ kPa}, n = 16 \quad (1)$$

式中,WP 为基质水势(kPa);SMC 为基质质量相对含水量(%).

1.2.2 各器官干重测定

于切花百合整个生育期内每隔 10—15 d 从各处理每重复中分别取 3 株共 9 株生长健壮、均匀一致的植株进行破坏性取样。每株按照叶位顺序依次测量叶片长度;采用精度为 0.1 mg 的天平(FA1004,上海光学仪器研究所)分别称取茎生根、鳞茎、茎、叶片、花(如果有的话)的鲜重,按器官分装信封内,在烘箱 105 °C 下杀青 15 min,75 °C 下烘至恒重,分别称取各器官干重。

1.2.3 环境数据测定

温室环境数据由数据采集器 CR1000 (Campbell Scientific Inc)自动采集。采集内容包括切花百合冠层上方的光合有效辐射 PAR (Li200X, Li-Cor Inc) 和温室内部 1.5 m 高处气温(°C)。采集频率 1 次/10 s,存储每 30 min 的平均值。

1.2.4 叶片净光合速率测定

自切花百合展叶结束到现蕾阶段(共 5 个生育期),每个生育期内选 3 个晴天(即 3 次),用 Li-6400 便携式光合仪测定花苞下第 1—3 片叶的净光合速率($P_n, \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$),每处理每重复各选 3 株进行测定。即每处理每个生育期测定 3 次,每处理 5 个生育期共测定 15 次。高温季节(日最高气温高于 28 °C)测定时间从 9:00—10:30 结束;温度适宜期(日最高气温在 15—25 °C)在 10:00—11:30 结束;然后制作光响应曲线。测量叶片净光合速率时,冠层上方 CO_2 浓度为 $(380 \pm 20) \mu\text{mol/mol}$ 。饱和光强($1500 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)下功能叶片最大净光合速率($P_{n,\max}, \mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)从测定的光响应曲线中提取。

采用的是 SPASS v19.0 软件进行试验数据的统计分析与曲线拟合。

2 模型的描述

2.1 光温指数的计算

干物质生产动态受光、温和水分的影响。光、温对干物质生产动态的影响可用光温指数^[17]来描述。光温

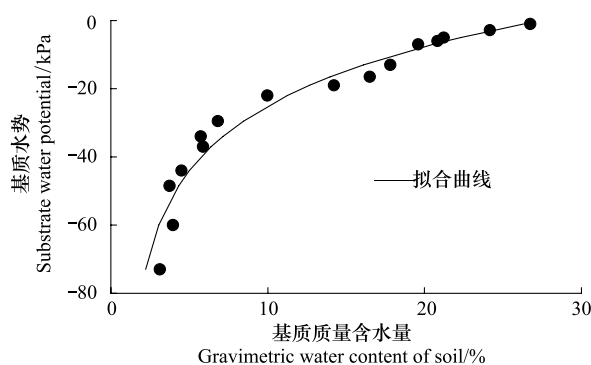


图 1 基质水分特征曲线

Fig. 1 Relationship between water potential and gravimetric water content of the substrate

指数(photo-thermal index, PTI, MJ/m²)为每日相对热效应与作物冠层截获的日总光合有效辐射(PAR)的乘积。根据文献^[17],第*j*天的累积光温指数(*PTI_j*)可用下式计算:

$$PTI_j = \left(\frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} TT_{i,j} \right) \times PAR_{int,j} \quad (2)$$

$$PAR_{int,j} = PAR_j \times (1 - \exp(-k \times LAI_{j-1})) \quad (3)$$

式中,*TT_{i,j}*为第*j*天第*i*小时(*i*=1—24)的相对热效应;*PAR_{int,j}*为第*j*天冠层截获的总光合有效辐射(MJ·m⁻²·d⁻¹);*PAR_j*为第*j*天冠层上方的总光合有效辐射(MJ·m⁻²·d⁻¹);*k*为消光系数,本研究中取*k*=0.702;*LAI_{j-1}*为第*j*-1天的叶面积指数。

$$TT_T = \frac{P_{n,max}(T)}{P_{n,max}(T_0)} \quad (4)$$

式中,*TT_T*为温度*T*(℃)时的相对热效应;*P_{n,max}*(*T*)为气温*T*时饱和光强(1500 μmol CO₂·m⁻²·s⁻¹)下的最大叶片净光合速率;*P_{n,max}*(*T₀*)是适温(*T₀*)和饱和光强(1500 μmol CO₂·m⁻²·s⁻¹)下的叶片最大净光合速率。根据本文测定的叶片净光合速率光响应曲线和温度数据(图2),*P_{n,max}*(*T*)可用式(5)计算:

$$P_{n,max}(T) = \begin{cases} 0 & T < T_{min} \\ P_{n,max}(T_0) \times \sin\left(\frac{\pi}{2} \times \frac{T - T_{min}}{T_0 - T_{min}}\right) & T_{min} \leq T < T_0 \\ P_{n,max}(T_0) \times \sin\left(\frac{\pi}{2} \times \frac{T_{max} - T}{T_{max} - T_0}\right) & T_0 \leq T \leq T_{max} \\ 0 & T > T_{max} \end{cases} \quad (5)$$

式中,*T*为温室内气温;*T_{min}*、*T₀*和*T_{max}*分别是*P_{n,max}*的下限、最适和上限温度,根据图2依次取5、20和30℃。

某时期内(第1天到第*m*天)的累积光温指数*PTI_{sum}*(MJ/m²)可用下式计算:

$$PTI_{sum} = \sum_{j=1}^m PTI_j \quad (6)$$

2.2 叶面积指数的模拟

叶面积指数采用下式^[18]进行模拟(图3):

$$LAI_j = LA_j \times d \quad (7)$$

$$LA_j = \left(\sum_{n=1}^N LA_{n,j} \right) \quad (8)$$

$$LAI = LAI_{max} \times \left(1 - \exp\left(-b \times \frac{PTI_{sum}}{LAI_{max}}\right) \right) \quad (9)$$

式中,*LAI*为叶面积指数,m²/m²; *j*为出苗后的天数;*LAI_j*为第*j*天的叶面积指数,m²/m²; *LAI_{max}*为叶面积指数最大值,m²/m²; *LA_j*为第*j*天时的单叶面积,m²; *LA_{n,j}*为第*n*个叶位在第*j*天的叶面积,m²; *PTI_{sum}*为出苗到采收累积的光温指数,MJ/m²; *b*为叶面积指数增加速率(m²/m⁻²)/(MJ/m²); *d*为种植密度,根据试验确定为36株/m²。

从图3可以看出,不同水分条件下的切花百合‘索邦’叶面积指数存在显著差异,当基质水势下降到-15 kPa以下时,叶面积指数明显下降。基质水势达到-15 kPa以上时,叶面积指数变化不明显。

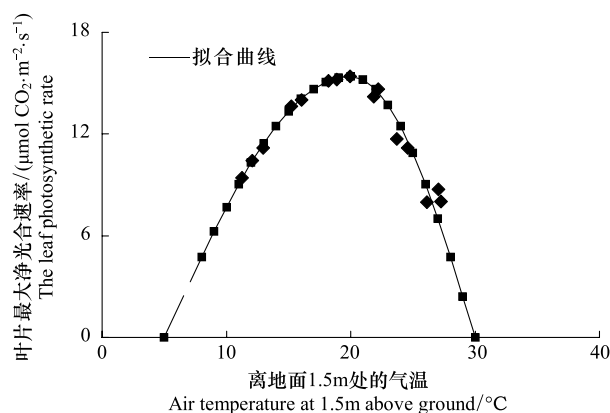


图2 叶片最大净光合速率(从光响应曲线提取的饱和光强下的值)与温室内1.5 m高处气温的关系

Fig. 2 Relationship between maximum leaf net photosynthetic rate of *Lilium* 'Sorbonne' (values derived from the measured PAR response curve of *P_n* under saturated PAR conditions) and air temperature at 1.5 m above ground inside the greenhouse

2.3 叶片总光合速率的模拟

单叶总光合速率可以用下式来模拟(图4):

$$P_g = P_{g,\max} \times \left(1 - \exp\left(-\varepsilon \times \frac{PAR}{P_{g,\max}}\right) \right) \quad (10)$$

式中, P_g 为单叶总光合速率($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), $P_{g,\max}$ 为单叶最大总光合速率($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), 根据用 Li-6400 测定的结果, 其值受水分因素影响; ε 为初始光能利用率($\mu\text{mol CO}_2/\mu\text{mol}$), 其值亦受水分条件影响^[19]; PAR 为冠层吸收的光合有效辐射($\mu\text{mol m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)。单叶最大光合速率 $P_{g,\max}$ ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 可用下式计算

$$P_{g,\max} = P_{n,\max} + R_d \quad (11)$$

式中, $P_{g,\max}$ 为单叶最大总光合速率($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), $P_{n,\max}$ 为单叶最大净光合速率($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), R_d 为暗呼吸速率($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), R_d 的取值由试验 I 中 P_n 的光响应曲线确定。根据试验 I 的观测资料, 不同水分条件下的光响应曲线(图4)。当基质水势在-15 kPa 以下时, 叶片总光合速率明显下降。

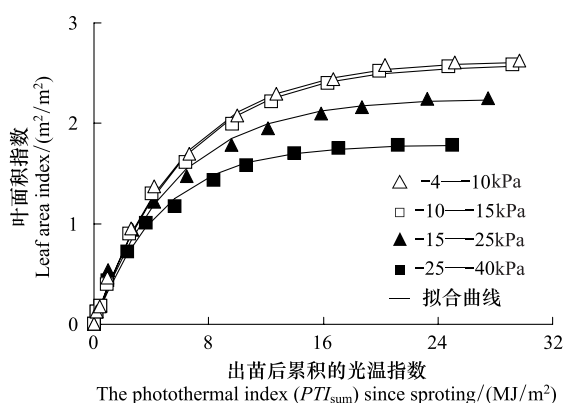


图3 不同水分条件下切花百合叶面积指数与出苗后累积光温指数的关系

Fig.3 Relationship between leaf area index and the photothermal index (PTI_{sum}) accumulated since sprouting under different substrate water potential conditions

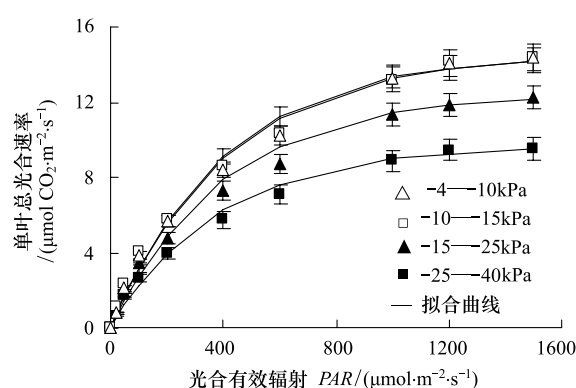


图4 不同水分条件下的光响应曲线

Fig.4 PAR response curve of leaf gross photosynthetic rate under different substrate water potential conditions

2.4 水分对叶片最大总光合速率影响的模拟

根据试验 I 观测资料的拟合结果, 切花百合‘索邦’单叶最大总光合速率($P_{g,\max}$)和初始光能利用率(ε)与基质水势(WP)的关系(图5), 当基质水势小于-15 kPa 时, 叶片最大总光合速率和初始光能利用率与基质水势均呈线性递减的关系。对单叶最大总光合速率和初始光能利用率与基质水势的数据进行拟合得到二者的关系:

$$P_{g,\max} = \begin{cases} P_{g,\max}(0) & (WP \leq WP_c) \\ P_{g,\max}(0) \times [1 - 0.013(WP - WP_c)] & (WP > WP_c) \end{cases} \quad R^2=0.99 \quad SE=0.102 \quad (12)$$

$$\varepsilon = \begin{cases} \varepsilon(0) & (WP \leq WP_c) \\ \varepsilon(0) \times [1 - 0.012(WP - WP_c)] & (WP > WP_c) \end{cases} \quad R^2=0.99 \quad SE=0.0004 \quad (13)$$

式中, $P_{g,\max}$ 为单叶最大总光合速率($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), $P_{g,\max}(0)$ 为无水分胁迫的最大总光合速率($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), 根据试验 I 的观测数据确定为 $14.56 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; ε 为初始光能利用率($\mu\text{mol CO}_2/\mu\text{mol}$), $\varepsilon(0)$ 为无水分胁迫的初始光能利用率($\mu\text{mol CO}_2/\mu\text{mol}$), 根据试验 I 的观测数据确定为 $0.036 \mu\text{mol CO}_2/\mu\text{mol}$; WP 为基质水势(kPa), WP_c 为临界下限水势(kPa), 根据试验 I 的观测数据确定为-15 kPa。

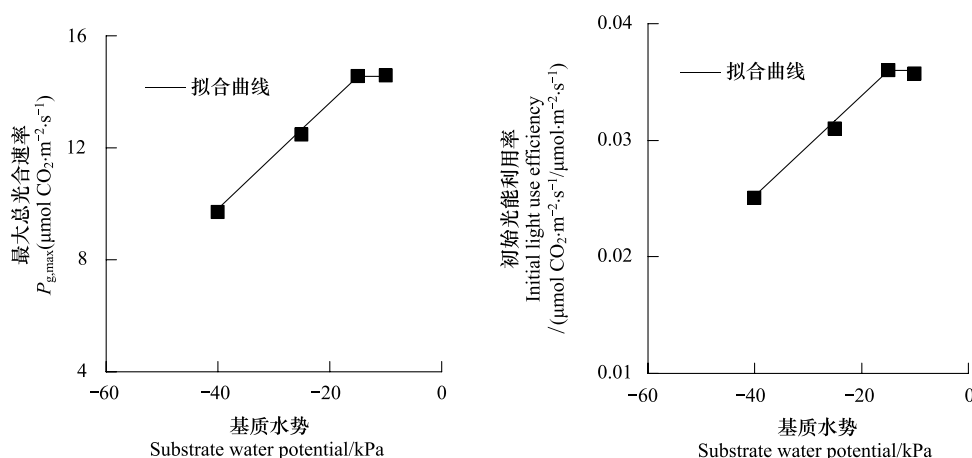


图5 切花百合叶片最大总光合速率和初始光能利用率与基质水势的关系

Fig. 5 Relationship of the maximal gross photosynthesis rate and initial light use efficiency to substrate water potential

2.5 冠层光合作用的计算

模型采用高斯积分法计算每日冠层光合作用速率。依据高斯积分法把冠层叶片分为3层,将每层瞬时同化速率加权求和得出整个冠层的瞬时同化速率,在此基础上再计算每日的冠层光合作用速率^[20]。分别用下式计算:

$$LGUSS_i = DIS_i \times LAI \quad (i=1,2,3) \quad (14)$$

$$IL_i = PAR \times k \times \exp(-k \times LGUSS_i) \quad (i=1,2,3) \quad (15)$$

$$FGL_i = P_{g,max} \times \left(1 - \exp\left(-\varepsilon \times \frac{IL_i}{P_{g,max}}\right)\right) \quad (i=1,2,3) \quad (16)$$

$$TFG = \left(\sum (FGL_i \times WT_i)\right) \times LAI \quad (i=1,2,3) \quad (17)$$

$$DTGA = \sum TFG_i \quad (t=1,2,\dots,24) \quad (18)$$

式中, $LGUSS_i$ 为切花百合‘索邦’冠层顶部至深度*i*处的叶面积指数(LAI),其值受水分影响; DIS_i 为高斯积分法的距离系数,其值见表1; IL_i 为冠层中第*i*层吸收的光合有效辐射($\mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), k 为冠层消光系数,取值为0.702, FGL_i 为第*i*层的瞬时光合作用速率($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$); TFG 为整个冠层的瞬时光合速率($\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), WT_i 为高斯三点积分法积分的权重^[21],其值见表1; TFG_i 为第*t*时刻的冠层光合速率, $DTGA$ 为冠层1d的总光合量($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)。

表1 高斯积分三点法的权重值(weight value, WT)和距离系数(distance coefficient, DIS)

Table 1 The Gaussian Weights and distances for the order 3

<i>i</i>	1	2	3
WT_i	0.277778	0.444444	0.277778
DIS_i	0.112702	0.5	0.887298

2.6 呼吸作用的计算

在作物生长模型中,呼吸作用一般分为维持呼吸和生长呼吸^[21],生长呼吸在干物质增长速率的计算式中考虑。维持呼吸强度与植物体干物质质量成正比,且与温度有关,可用下式计算^[19]:

$$R_m = R_{m,25} \times DMT \times Q_{10}^{(TL-25)/10} \quad (19)$$

式中, R_m 为维持呼吸消耗($\text{g CH}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$), $R_{m,25}$ 为25℃时切花百合的维持呼吸系数,在本模型中取0.01 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$, DMT 为切花百合‘索邦’总干重(g/m^2), TL 为叶片的温度(℃),一般可用气温代替, Q_{10} 取值

为 $2^{[19]}$ 。

2.7 干物质生产的计算

干物质增长速率的计算可用下式计算^[19]：

$$\Delta DMT = (30 \times 10^{-6} \times DTGA - R_m) / G \quad (20)$$

式中, ΔDMT 为干物质增长速率 ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$); $DTGA$ 为每天冠层的总光合量 ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$); G 为每生产 1 g 干物质所需 CH_2O 的量, 取值为 $1.45 \text{ g/g}^{[19]}$; 30×10^{-6} 是 $\mu\text{mol CH}_2\text{O}$ 的分子量。由初始干物量与每天的干物质增长速率, 可计算任意一天的总干物量 $BIOMASS(\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1})$ ：

$$BIOMASS_{i+1} = BIOMASS_i + \Delta W \quad (21)$$

式中, $BIOMASS_{i+1}$ 为第 $i+1$ 天的总干物质量 (g/m^2), $BIOMASS_i$ 为第 i 天的总干物质量 (g/m^2)。

2.8 模型检验方法

采用预测值与观测值之间的决定系数 (coefficient of determination, r^2) 和相对根均方差 (relative root mean square error, $rRMSE$) 对模型进行验证。其中, r^2 用于分析符合度, $rRMSE$ 用于评价精确度, 公式如下^[18]。

$$r^2 = \frac{\left(\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y}) \right)^2}{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2} \quad (22)$$

$$rRMSE = \frac{1}{\bar{x}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x - y)^2}{n}} \quad (23)$$

式中, x 为实测值; y 为预测值; $\bar{x}$ 为实测平均值; $\bar{y}$ 为预测平均值; n 为样本容量。

3 结果与分析

3.1 水分对最大总光合速率和植株干物质质量的影响及临界水势的确定

试验结果表明, 百合植株叶片最大总光合速率和初始光能利用率 (图 5) 均随着基质水势的升高而增加。当基质水势达到 -15 kPa 时, 最大总光合速率和初始光能利用率随着基质水势的升高而不再增加。因此, -15 kPa 可以作为切花百合‘索邦’水分管理的临界水势, 即当基质水势降至 -15 kPa 时应及时灌溉。

3.2 模型检验结果

采用与建模资料 (试验 I) 相独立的试验 II、试验 III 的资料和同期的光温资料, 利用式 (1) — (21) 分别预测出各水分处理的切花百合‘索邦’叶面积指数^[18]、最大总光合速率和植株干物质质量, 并将计算值与实测值进行比较 (图 6)。可以看出, 模型对切花百合‘索邦’的叶面积指数^[18]、叶片最大总光合速率和植株干物质质量的预测值与实测值之间的决定系数 (r^2) 分别为 $0.97, 0.96, 0.94$, 相对根均方差 ($rRMSE$) 分别为 $7.12\%、4.37\%、11.14\%$ 。

4 讨论与结论

本研究针对目前切花百合对水分敏感性信息不明确、现有的百合生长发育模型没有考虑水分影响、不能应用于百合生产的水分管理问题, 在前期建立的干物质模型基础上, 利用不同定植期、不同水分处理试验资料, 明确了切花百合正常生长的临界基质水势, 在此基础上, 进一步建立了水分对最大光合速率和干物质生产影响的预测模型, 为进一步建立水分对温室切花百合产量和外观品质影响预测模型奠定了基础。与已有的百合生长发育模型相比, 本研究建立的模型综合考虑了光照、温度和水分对百合生长的影响, 特别是以普适性较强的基质水势作为预测指标, 克服了以土壤相对含水量作为预测指标只能应用于同一土壤或基质类型的局限, 可以应用于预测不同类型土壤或基质栽培条件下切花百合生长动态的预测。

由于本研究采用的百合品种属于光周期不敏感品种, 因此在计算百合发育进程时我们没有考虑光周期的影响。当模型应用于光周期敏感品种时, 需要进一步在计算光温指数 (公式 (2)) 中考虑品种的相对光周期效应。此外, 切花百合的栽培品种很多, 本研究只是针对切花百合‘索邦’品种确定了模型参数。当模型应用于其他类型品种时, 还需要根据新的品种试验数据对模型参数进行校正和检验。今后进一步针对各主要栽培品

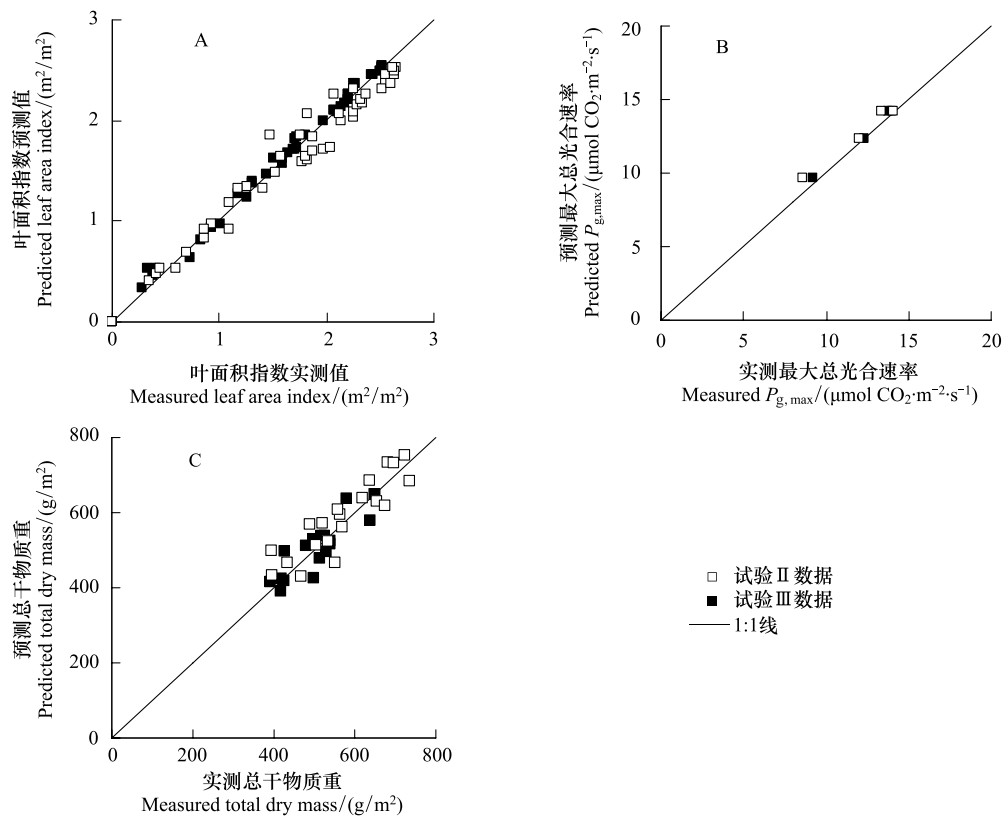


图6 不同水分条件下切花百合植株的叶面积指数、最大总光合速率和植株干物质质量预测值与实测值比较

Fig. 6 Comparison between predicted and measured leaf area index, $P_{g, \max}$ and dry matter mass under different substrate water potential conditions

种确定模型参数,并建立品种参数库,则本研究建立的模型可以为不同品种切花百合生产的水分优化管理提供决策支持。

References:

- [1] Guo Z G, Zhang Z W. Bulb Flowers. Beijing: China Forestry Science and Technology Press, 2000, 1-105.
- [2] Raviv M, Blom T J. The effect of water availability and quality on photosynthesis and productivity of soilless-grown cut roses. *Scientia Horticulturae*, 2001, 88(4): 257-276.
- [3] Katsoulas N, Kittas C, Dimokas G, Lykas Ch. Effect of irrigation frequency on rose flower production and Quality. *Biosystems Engineering*, 2006, 93(2): 237-244.
- [4] Roh M Y, Lee Y B. Control of amount and frequency of irrigation according to integrated solar radiation in cucumber substrate culture. *Acta Horticulturae*, 1996, 440: 332-337.
- [5] Caballero M, Mansito P, Zieslin N, Rodrigo J, Melián J, Renz O. Water use and crop productivity of roses growing on volcanic lapilli (picon) in Canary Islands. *Acta Horticulturae*, 1996, 424: 41-44.
- [6] Per P L, Moot D L, McNeil D L. A canopy photosynthesis model to predict the dry matter production of cocksfoot pastures under varying temperature, nitrogen and water regimes. *Grass and Forage Science*, 2003, 58(4): 416-430.
- [7] Zhang Y J, Xie Z K, Zhao X Y, An L P, Gao H. Effects of water stress on photosynthetic characteristics chlorophyll fluorescence, and dry matter of Oriental lilies. *Journal of Desert Research*, 2011, 31(4): 884-888.
- [8] You W Z, Hans K, Fang W M, Cheng H Z. Effects of air humidity on the growth and quality of cut flower of oriental hybrids lilies. *Acta Horticulturae Sinica*, 2009, 36(4): 527-532.
- [9] Lin L, Li W W, Shao J Q, Luo W H, Dai J F, Yin X Y, Zhou Y B, Zhao C J. Modelling the effects of soil water potential on growth and quality of cut chrysanthemum (*Chrysanthemum morifolium*). *Scientia Horticulturae*, 2011, 130(1): 275-288.
- [10] Casadebaig P, Debaeae P, Lecoeur J. Thresholds for leaf expansion and transpiration response to soil water deficit in a range of sunflower

- genotypes. *European Journal of Agronomy*, 2008, 28(4): 646-654.
- [11] Zhou Y B, Dai J F, Lin L, Luo W H, Zhao C J, Qiao X J, Liu K X. Quantifying the effects of water on growth dynamics of standard cut chrysanthemum in solar greenhouse. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(11): 176-182.
- [12] Erwin J E, Heins R D. Temperature effects on liliu development rate and morphology from the visible bud stage until anthesis. *American Society of Horticultural Science*, 1990, 11(4): 644-646.
- [13] Fisher P R, Lieth J H. Variability in flower development of Easter lily (*Lilium longiflorum Thunb.*): model and decision-support system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2000, 26(1): 53-64.
- [14] Fisher P R, Lieth J H, Heins R D. Modeling flower bud elongation in Easter lily (*Lilium longiflorum Thunb.*) in response to temperature. *HortScience*, 1996, 31(3): 349-352.
- [15] Fisher P R, Heins R D, Ehler N, Lieth J H, Brogaard M, Karisen P. A decision-support system for real-time management of Easter Lily (*Lilium longiflorum Thunb.*) scheduling and height-II. Validation. *Agricultural Systems*, 1997, 54(1): 39-55.
- [16] Fisher P R, Heins R D, Ehler N, Lieth J H. A decision-support system for real-time management of Easter Lily (*Lilium longiflorum Thunb.*) scheduling and height-I. System description. *Agricultural Systems*, 1997, 54(1): 23-37.
- [17] 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 for leaf area index of greenhouse crops. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2010, 150(4): 541-552.
- [18] Dong Y Y, Li G, An D S, Luo W H. Simulation model for predicting the effects of substrate water potential on leaf area of cut lily. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(3): 191-197.
- [19] Dayan E, Van Keulen H, Jones J W, Zipori I, Shmuel D, Challa H. Development, calibration and validation of a greenhouse tomato growth model: I. Description of the model. *Agricultural Systems*, 1993, 43(2): 145-161.
- [20] Goudriaan J, van Laar H H. Modeling Potential Crop Growth Processes. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1994.
- [21] Gijzen H. Simulation of photosynthesis and dry matter production of greenhouse crops. Simulation Report CABO-TT. Nr. 28, Wageningen, The Netherlands. 1992.

参考文献:

- [1] 郭志刚, 张志伟. 种球花卉. 北京: 中国林业科学技术出版社, 2000, 1-105.
- [7] 张亚娟, 谢忠奎, 赵学勇, 安丽萍, 高宏. 水分胁迫对东方百合光合特性、叶绿素荧光参数及干物质积累的影响. *中国沙漠*, 2011, 31(4): 884-888.
- [8] 尤伟忠, Hans K, 房伟民, 成海钟. 空气湿度对东方百合生长和切花品质的影响. *园艺学报*, 2009, 36(4): 527-532.
- [11] 周艳宝, 戴剑锋, 林球, 罗卫红, 赵春江, 乔晓军, 刘克信. 水分对日光温室独本菊生长动态影响的模拟. *农业工程学报*, 2008, 24(11): 176-181.
- [18] 董永义, 李刚, 安东升, 罗卫红. 水分对切花百合叶面积影响的预测模型研究. *农业工程学报*, 2012, 28(3): 191-197.

CONTENTS

Conservation strategies for <i>Ulmus elongata</i> based on the analysis of biological and ecological factors	GAO Jianguo, ZHANG Yi, WU Yuhuan, et al (5287)
Vertical distribution of methanogen community structures in <i>Phragmites australis</i> marsh soil in the Min River estuary	SHE Chenxing, TONG Chuan (5299)
Energy balance closure and its effects on evapotranspiration measurements with the eddy covariance technique in a cropland	LIU Du, LI Jun, YU Qiang, TONG Xiaojuan, et al (5309)
Effects of soil water potential on the growth and physiological characteristics of <i>Populus tomentosa</i> pulpwood plantation under subsurface drip irrigation	XI Benye, WANG Ye, DI Nan, et al (5318)
Physiological indices of leaves of jujube (<i>Zizyphus jujuba</i>) damaged by <i>Apolygus lucorum</i>	GAO Yong, MEN Xingyuan, YU Yi, et al (5330)
Economic analysis of wetland resource protection: a case study of Beijing Wild Duck Lake	WANG Changhai, CUI Lijuan, MA Muyuan, et al (5337)
Comparative studies on the farmers' willingness to accept eco-compensation in wetlands nature reserve	WANG Changhai, CUI Lijuan, MAO Xufeng, et al (5345)
Remote sensing estimation models of <i>Suaeda salsa</i> biomass in the coastal wetland	FU Xin, LIU Gaohuan, HUANG Chong, LIU Qingsheng (5355)
Effects of N addition on soil organic carbon components in an alpine meadow on the eastern Qinghai-Tibetan Plateau	ZHENG Jiaojiao, FANG Huajun, CHENG Shulan, et al (5363)
Estimating carbon emissions from forest fires during 2001 to 2010 in Daxing'anling Mountain	HU Haiqing, WEI Shujing, SUN Long (5373)
Predicting the effects of soil water potential on the growth of cut lily	DONG Yongyi, LI Gang, AN Dongsheng, et al (5387)
Rain enrichment-accelerated carbon emissions from soil in a <i>Nitraria sphaerocarpa</i> community in hyperarid region	LIU Dianjun, WU Bo, LI Yonghua, et al (5396)
Response of soil organic carbon sequestration to the "Grain for Green Project" in the hilly Loess Plateau region	XU Mingxiang, WANG Zheng, ZHANG Jin, et al (5405)
Temporal and spatial variability in soil respiration in five temperate forests in Xiaoxing'an Mountains, China	SHI Baoku, JIN Guangze, WANG Zhaoyang (5416)
Distributions pattern of phosphorus, potassium and influencing factors in the upstream of Shule river basin	LIU Wenjie, CHEN Shengyun, HU Fengzu, et al (5429)
COI1 is involved in jasmonate-induced indolic glucosinolate biosynthesis in <i>Arabidopsis thaliana</i>	SHI Lu, LI Mengsha, WANG Lihua, et al (5438)
Modeling canopy rainfall interception of a replanted <i>Robinia pseudoacacia</i> forest in the Loess Plateau	WANG Yanping, WANG Li, WEI Sanping (5445)
The differences of plant community diversity among the different altitudes in the Water-Level-Fluctuating Zone of the Three Gorges Reservoir	LIU Weiwei, WANG Jie, WANG Yong, et al (5454)
Low-frequency drought variability based on SPEI in association with climate indices in Beijing	SU Hongxin, LI Guangqi (5467)
Response of upland jujube tree trunk diameter to different ecological factors	ZHAO Ying, WANG Youke, HAN Lixin, et al (5476)
The spatial distribution and seasonal dynamics of fine roots in a young <i>Caragana korshinskii</i> plantation	ZHANG Fan, CHEN Jianwen, WANG Mengben (5484)
Interspecific segregation of species in tree and shrub layers of the <i>Pinus bungeana</i> Zucc. ex Endl. community in the Wulu Mountains, Shanxi Province, China	WANG Lili, BI Runcheng, YAN Ming, et al (5494)
Effects of long-term fertilization on soil microbial biomass carbon and nitrogen and enzyme activities during maize growing season	MA Xiaoxia, WANG Lianlian, LI Qinghui, et al (5502)
A model to predict dry matter accumulation dynamics in wheat based on the normalized method	LIU Juan, XIONG Shuping, YANG Yang, et al (5512)
Optimization strategies and an aesthetic evaluation of typical plant communities in the Shanghai Green Belt	ZHANG Kaixuan, LING Huanran, DA Liangjun (5521)
Carbon footprint evaluation research on the tourism transportation system at tourist attractions; a case study in Hengshan	DOU Yindi, LIU Yunpeng, LI Bohua, et al (5532)
An urban ecosystem assessment method and its application	SHI Huichun, LIU Wei, HE Jian, et al (5542)
Seasonal variations in distribution and biological characteristics of snailfish <i>Liparis tanakae</i> in the central and southern Yellow Sea	ZHOU Zhipeng, JIN Xianshi, SHAN Xiujuan, et al (5550)
Effects of cyanobacterial accumulation and snail grazing on the growth of <i>vallisneria natans</i>	HE Hu, HE Yuhong, JI Yachan, et al (5562)
The structure and thermal insulation capability of <i>Mustela sibirica manchurica</i> winter pelage in Heilongjiang Province	LIU Yu, ZHANG Wei (5568)
Ontogenetic shifts in selected body temperature and thermal tolerance of the tiger frog, <i>Hoplobatrachus chinensis</i>	FAN Xiaoli, LEI Huanzong, LIN Zhihua (5574)
The influence of tubificid worms bioturbation on organic phosphorus components and their vertical distribution in sediment of Lake Taihu	BAI Xiuling, ZHOU Yunkai, ZHANG Lei (5581)
Review and Monograph	
Research advances in ecological assessment of urban greenspace	MAO Qizheng, LUO Shanghua, MA Keming, et al (5589)
Ecological hot topics in global change on the 2 nd International Young Ecologist Forum	WAN Yun, XU Lili, GENG Qifang, et al (5601)
Scientific Note	
Screening trial for the suitable plant species growing on sand dunes in the alpine valley and its recovery status in the Yarlung Zangbo River basin of Tibet, China	SHEN Weishou, LI Haidong, LIN Naifeng, et al (5609)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

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 32 卷 第 17 期 (2012 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 17 (September, 2012)

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:1000717	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@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.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