

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 12 期 Vol.33 No.12 **2013**

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 33 卷 第 12 期 2013 年 6 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 森林低温霜冻灾害干扰研究综述 李秀芬, 朱教君, 王庆礼, 等 (3563)
- 碱蓬属植物耐盐机理研究进展 张爱琴, 庞秋颖, 阎秀峰 (3575)

个体与基础生态

- 中国东部暖温带刺槐花期空间格局的模拟与预测 徐琳, 陈效速, 杜星 (3584)
- 长白山林线树种岳桦幼树叶功能型性状随海拔梯度的变化 胡启鹏, 郭志华, 孙玲玲, 等 (3594)
- 油松天然次生林居群遗传多样性及与产地地理气候因子的关联分析 李明, 王树香, 高宝嘉 (3602)
- 施氮对木荷 3 个种源幼苗根系发育和氮磷效率的影响 张蕊, 王艺, 金国庆, 等 (3611)
- 围封对内蒙古大针茅草地土壤碳矿化及其激发效应的影响 王若梦, 董宽虎, 何念鹏, 等 (3622)
- 干热河谷主要造林树种气体交换特性的坡位效应 段爱国, 张建国, 何彩云, 等 (3630)
- 生物降解对黑碳及土壤上苯酚脱附行为的影响 黄杰勋, 莫建民, 李非里, 等 (3639)
- 3 个树种对不同程度土壤干旱的生理生化响应 吴芹, 张光灿, 裴斌, 等 (3648)
- 冬小麦节水栽培群体“穗叶比”及其与产量和水分利用的关系 张永平, 张英华, 黄琴, 等 (3657)
- 不同秧苗素质和移栽密度条件下臭氧胁迫对水稻光合作用、物质生产和产量的影响 彭斌, 李潘林, 周楠, 等 (3668)
- 根域限制下水氮供应对膜下滴灌棉花叶片光合生理特性的影响 陶先萍, 罗宏海, 张亚黎, 等 (3676)
- 光照和生长阶段对菖蒲根系泌氧的影响 王文林, 王国祥, 万寅婧, 等 (3688)
- 植物病原菌拮抗性野生艾蒿内生菌的分离、筛选和鉴定 徐亚军, 赵龙飞, 陈普, 等 (3697)
- 不同生物型棉蚜对夏寄主葫芦科作物的选择 肖云丽, 印象初, 刘同先 (3706)
- 性别和温度对中华秋沙鸭越冬行为的影响 曾宾宾, 邵明勤, 赖宏清, 等 (3712)

种群、群落和生态系统

- 基于干扰的汪清林区森林生态系统健康评价 袁菲, 张星耀, 梁军 (3722)
- 洞庭湖森林生态系统空间结构均质性评价 李建军, 刘帅, 张会儒, 等 (3732)

景观、区域和全球生态

- 川西米亚罗林区不同海拔岷江冷杉生长对气候变化的响应 徐宁, 王晓春, 张远东, 等 (3742)
- 2001—2010 年内蒙古植被净初级生产力的时空格局及其与气候的关系 穆少杰, 李建龙, 周伟, 等 (3752)
- 地形因子对盐城滨海湿地景观分布与演变的影响 侯明行, 刘红玉, 张华兵, 等 (3765)
- 毛乌素沙地南缘植被景观格局演变与空间分布特征 周淑琴, 荆耀栋, 张青峰, 等 (3774)
- 贵州白鹇湖沉积物中孢粉记录的 5.5 kaB. P. 以来的气候变化 杜荣荣, 陈敬安, 曾艳, 等 (3783)

典型河谷型城市春季温湿场特征及其生态环境效应..... 李国栋,张俊华,王乃昂,等 (3792)

秦岭南北近地面水汽时空变化特征..... 蒋 冲,王 飞,喻小勇,等 (3805)

露天矿区景观生态风险空间分异..... 吴健生,乔 娜,彭 建,等 (3816)

基于 Holdridge 和 CCA 分析的中国生态地理分区的比较 孔 艳,江 洪,张秀英,等 (3825)

资源与产业生态

中国农业生态效率评价方法与实证——基于非期望产出的 SBM 模型分析 潘 丹,应瑞瑶 (3837)

舟山市东极大黄鱼养殖系统能值评估..... 宋 科,赵 晟,蔡慧文,等 (3846)

不同基因型玉米间混作优势带型配置..... 赵亚丽,康 杰,刘天学,等 (3855)

气候与土壤对烤后烟叶类胡萝卜素和表面提取物含量的影响..... 陈 伟,熊 晶,陈 懿,等 (3865)

城乡与社会生态

成都市沙河主要绿化树种固碳释氧和降温增湿效益 张艳丽,费世民,李智勇,等 (3878)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 326 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 33 * 2013-06



封面图说: 长白山南坡的岳桦林——长白山岳桦林位于海拔约 1700—2000m 之间的山坡。这种阔叶林分布在针叶林带的上面,成为山地森林的上缘种类,在世界山地森林中实属罕见。岳桦能够顽强地抗御长白山潮湿、寒冷、强风等恶劣气候因素,在严酷的环境条件下形成纯林,是与其独特的生长发育机理密切相关的。岳桦的枝干颇具韧性,在迎风处,由于风吹雪压,树干成片地向背风侧倾斜,这种特性使它能不畏风雪,顽强生存。随着海拔的升高,岳桦林也逐渐矮化,这是岳桦林保护自身生存,适应大自然的结果。

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

DOI: 10.5846/stxb201209281359

徐琳, 陈效逯, 杜星. 中国东部暖温带刺槐花期空间格局的模拟与预测. 生态学报, 2013, 33(12): 3584-3593.

Xu L., Chen X. Q., Du X. Simulation and prediction of spatial patterns of *Robinia pseudoacacia* flowering dates in eastern China's warm temperate zone. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(12): 3584-3593.

中国东部暖温带刺槐花期空间格局的模拟与预测

徐 琳, 陈效逯*, 杜 星

(北京大学城市与环境学院, 地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871)

摘要:模拟刺槐开花日期与气温之间的空间关系, 对于揭示蜜源植物物候空间格局形成的生态机制和掌握养蜂生产的时宜, 具有重要的科学意义。利用中国东部暖温带 26 个站点 1986—2005 年的刺槐开花始期、盛期和末期数据, 建立了基于日均温的多年平均和逐年物候空间模型, 模拟多年平均和逐年刺槐开花日期的空间格局, 并对模型进行了空间外推检验。进而, 将 1986—2005 年 8 km×8 km 分辨率的日均温格点数据代入多年平均和逐年物候空间模型, 得到连续地理空间多年平均和逐年刺槐开花日期的空间格局, 并尝试设计了研究区内转地放蜂的适宜路线。结果表明: 中国东部暖温带 1986—2005 年多年平均及逐年最佳期间日均温的空间格局分别控制着多年平均和逐年刺槐开花日期的空间格局。各地多年平均刺槐开花日期的空间序列与最佳期间日均温的空间序列呈显著负相关 ($P < 0.001$), 多年平均气温-物候空间模型对刺槐开花始期、盛期和末期的方差解释量分别为 87%、86% 和 77%, 模拟的均方根误差 (RMSE) 分别为 2.5、2.7 d 和 4.1 d。同样, 各地逐年刺槐开花日期的空间序列与最佳期间日均温的空间序列均呈显著负相关 ($P < 0.05$), 逐年气温-物候空间模型对刺槐开花始期、盛期和末期的方差解释量分别介于 44%—94%、57%—92% 和 39%—84% 之间, 模拟的平均 RMSE 分别为 3.9、4.0 d 和 5.4 d。预测得到的连续地理空间多年平均刺槐开花日期呈现出自南向北、从平原向丘陵和山地逐渐推迟的空间演进特征。据此, 中国东部暖温带地区转地放蜂可以沿西线、中线和东线进行, 放蜂的大致持续时间可达 40—50 d。此外, 预测得到的连续地理空间 1986—2005 年期间刺槐开花始期、盛期和末期的线性趋势以提前为主, 呈显著提前的面积分别占总面积的 78%、26% 和 32%。

关键词:刺槐; 花期; 气温-物候空间模型; 空间响应; 空间预测; 转地放蜂

Simulation and prediction of spatial patterns of *Robinia pseudoacacia* flowering dates in eastern China's warm temperate zone

XU Lin, CHEN Xiaoqiu*, DU Xing

College of Urban and Environmental Sciences, Laboratory for Earth Surface Processes of the Ministry of Education, Peking University, Beijing 100871, China

Abstract: Modeling spatial relationships between *Robinia pseudoacacia* flowering date and air temperature is crucial for revealing the ecological mechanism of spatial patterns of honey plant phenology and knowing well the right time of bee keeping production. Using *Robinia pseudoacacia* phenology data of beginning of flowering (BF), full flowering (FF) and end of flowering (EF) at 26 stations of eastern China's warm temperate zone during 1986 to 2005, we established daily mean temperature-based multi-year mean and yearly spatial phenology models to simulate multi-year mean and yearly spatial patterns of *Robinia pseudoacacia* flowering dates, and validated these models by extensive spatial extrapolation. Then, we substituted gridded daily mean temperature data with the spatial resolution of 8 km into the multi-year mean and yearly spatial phenology models, and obtained spatial patterns of multi-year and yearly *Robinia pseudoacacia* flowering dates over continuous geographic coverage during 1986 to 2005. Moreover, we attempted to project suitable routes of migratory beekeeping within the study area. The results show that spatial patterns of multi-year mean and yearly temperatures within

基金项目:国家自然科学基金项目(41071027, 40871029); 中国博士后科学基金项目(2012M520105)

收稿日期:2012-09-28; **修订日期:**2013-03-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: cxq@pku.edu.cn

the optimum length period control spatial patterns of multi-year mean and yearly *Robinia pseudoacacia* flowering dates, respectively in eastern China's warm temperate zone during 1986 to 2005. Spatial series of multi-year mean *Robinia pseudoacacia* flowering dates correlate negatively with spatial series of multi-year mean temperature within the optimum length period ($P < 0.001$) at the 26 stations. The multi-year mean spatial phenology models explained 87% of variance in BF date with a root mean square error (RMSE) of 2.5 days, 86% of variance in FF date with a RMSE of 2.7 days, and 77% of variance in EF date with a RMSE of 4.1 days. Similarly, spatial series of *Robinia pseudoacacia* flowering dates correlate negatively with spatial series of daily mean temperature within the optimum length period in each year ($P < 0.05$) at the 26 stations. The explained variances of yearly spatial phenology models to BF, FF and EF dates are between 44%—94%, 57%—92% and 39%—84%, respectively. The mean RMSEs of yearly simulation of BF, FF and EF dates are 3.9 days, 4.0 days and 5.4 days, respectively. The predicted multi-year mean *Robinia pseudoacacia* flowering dates over continuous geographic coverage show a delayed spatial progression from south to north, and from plains to hills and mountains. Therefore, migratory beekeeping can be implemented along with west, middle and east routes in eastern China's warm temperate zone with durations between 40 day and 50 days. In addition, the predicted linear trends in BF, FF and EF dates over continuous geographic coverage from 1986 to 2005 indicate a dominant advancement and the areas with significant advancement account for 78%, 26% and 32% of the total area, respectively.

Key Words: *Robinia pseudoacacia*; flowering date; temperature-phenology spatial model; spatial response; spatial prediction; migratory beekeeping

开花是植物繁殖的关键环节,一年中花期的早晚和长短直接影响花的授粉机率、座果率以及果实成熟和种子传播的时间,进而决定着物种间的共存与竞争关系^[1]。因此,模拟植物开花期与气候因子之间的关系,对于揭示植物开花的生态机制和预测植物开花期对气候变化的响应,具有重要的科学意义。在我国暖温带地区,刺槐是初夏的主要蜜源植物之一,其栽种面积大,分布区域广,泌蜜丰富,蜜质优良^[2],模拟和预测刺槐开花期的空间格局及其时间动态,对于合理安排蜂群转地追花取蜜,还具有重要的实践意义。

以往根据气候因子建立的植物物候统计模型都是对单站植物物候时间序列的模拟^[3-13],而对区域植物物候空间序列的模拟研究重视不够^[14-15]。在模拟物候期的选择方面,虽有对植物花期的模拟研究^[1,3,6,16],但对整个开花过程不同阶段的模拟研究并不多见^[1]。由于气候因子和植物花期响应的空间差异明显,所以,对植物开花期与气候因子之间空间关系的模拟,将有助于揭示植物开花期空间差异产生的生态机制和植物花期对气候因子空间差异响应的特征,并可为植物花期的空间预测,提供重要的科学依据和手段。

植物物候期空间序列的传统模拟方法是建立站点地理位置信息(经度、纬度和海拔高度)与站点多年平均物候期之间的多元回归方程^[17-22],该方法的缺点是无法揭示植物物候空间格局的年际变化特征及其对气候空间差异的响应,因此,Xu 和 Chen 利用 3 个月的站点平均气温取代经、纬度和海拔高度,建立了基于月均温的气温-物候空间模型,弥补了基于站点地理位置的物候空间模型的不足^[15]。为了更加准确和合理地确定植物物候期与气温之间的空间关系,Xu 和 Chen 又提出了基于日均温的最佳期间气温-物候空间模型,该模型的基本假设是,一个物候现象的发生日期主要受到它发生期间及其之前一个特定长度期间内日平均气温的影响^[23]。据此,该文分析了榆树(*Ulmus pumila*)展叶始期和落叶末期与日均温的空间统计关系,作为诊断物候对气温空间差异响应的依据。本文在上述研究的基础上,尝试将最佳期间气温-物候空间模型应用于刺槐花期空间格局的模拟,以验证该方法对其他植物种和物候期的适用性,并进一步实现从点到面的刺槐花期空间格局的预测。本文的主要目的是:(1)建立和检验基于日均温的最佳期间气温-物候空间模型,揭示多年平均和逐年刺槐开花期对气温空间差异的响应速率;(2)将基于格点的逐日日均温数据代入最佳期间气温-物候空间模型,预测连续地理空间多年平均和逐年刺槐开花期的空间格局,并分析其空间差异和年际变化特征;(3)根据连续地理空间多年平均和逐年刺槐开花期的空间格局,确定研究区域内保证放蜂时间最长的适宜转地放

蜂路线。

1 材料与方法

1.1 研究区域与物种选择

本文以中国气候区划^[24]中的暖温带湿润和亚湿润大区作为研究的区域(图1),面积约占全国陆地总面积的10.9%。其地势自西向东逐渐降低,主要地形单元包括陇中高原、秦岭山地、关中盆地、黄土高原东南缘、山西高原、伏牛山地、华北平原、山东丘陵、燕山山地、辽西丘陵和辽东丘陵,海拔最高可达3200 m,最低在100 m以下。受东部季风的影响,水热条件的季节性变化鲜明,且空间差异显著,从而导致植物物候也具有明显的时空变化特征^[25],因此,适于进行植物物候对气温空间差异的响应研究。

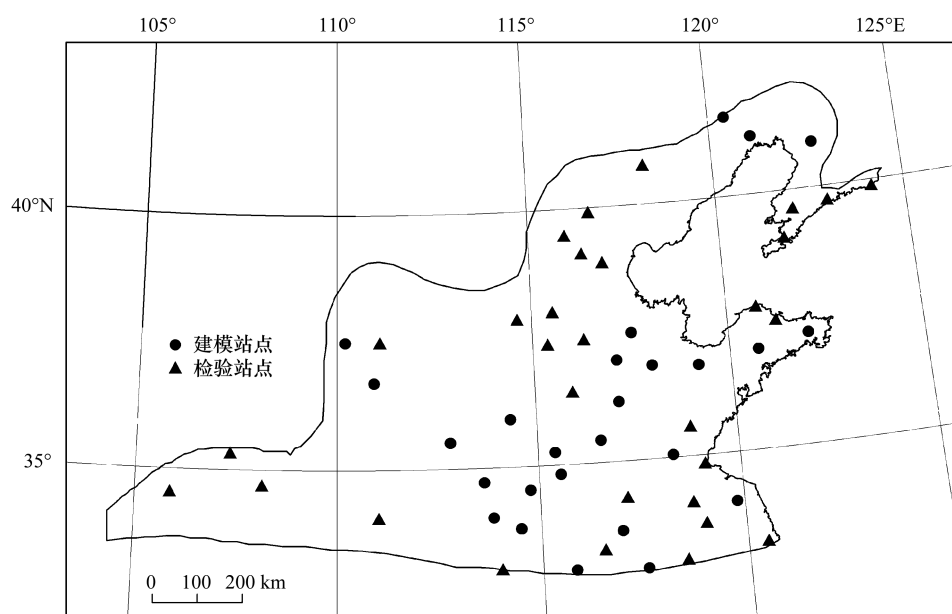


图1 刺槐物候站点的位置

Fig. 1 Location of phenological stations for *Robinia pseudoacacia*

刺槐(*Robinia pseudoacacia*)又名洋槐,属豆科(Leguminosae)刺槐属(*Robinia*),为落叶乔木,原产于美国东部山区,19世纪末经欧洲引种至中国,现已成为中国暖温带季风区广泛分布的常见树木和优良造林树种,具有生长快,喜光,耐寒,耐旱和适应性强等特点^[26]。在对气候变化的响应方面,研究表明,刺槐花盛期的早晚与春季气温的高低关系密切^[27]。因此,以刺槐作为暖温带季风区的指示性树种,以刺槐的开花期作为气候变化的敏感指示器,研究植物物候的空间模拟与预测是适宜的。

1.2 物候与气象数据

本文所用刺槐花期数据取自中国气象局农业气象观测网的自然物候观测数据集,该物候观测网始建于1980年,是中国地面站点最多的物候观测网络系统^[28],观测内容包括28种木本植物、1种草本植物和11种动物的物候期,以及一些气象和水文现象^[29]。为了揭示刺槐花期空间格局对气温的响应,选择刺槐开花始期、开花盛期和开花末期作为指示物候期,其中,开花始期的观测标准是“观测树上有一朵或同时几朵花的花瓣开始完全开放”,开花盛期的观测标准是“观测树上有一半以上的花蕾都展开花瓣”,开花末期的观测标准是“观测树上的花瓣凋谢脱落留有极少数的花”^[29]。根据站点刺槐花期观测数据的准确性程度和时间序列的完整性程度,以1986—2005年期间刺槐花期观测年数大于或等于16 a为标准,筛选出研究区域内的26个站点作为建模站点,将刺槐花期观测年数小于16 a的29个站点作为模型的检验站点,站点的地理分布见图1。

研究区内1986—2005年113个气象站点的逐日平均气温数据取自中国气象数据共享服务网([http://](http://www.ecologica.cn)

cdc.cma.gov.cn/)。由于部分物候观测站附近没有平行的气象观测或平行的气象观测序列不完整,所以,我们利用专业气象插值软件 ANUSPLIN 4.2^[30] 和 8 km×8 km 分辨率的数字高程(DEM)数据,对 1986—2005 年逐日地面观测的日均温进行空间插值,进而,根据缺失气象数据的物候站点经、纬度信息,提取当地逐日日均温数据,从而获得全部物候站点 1986—2005 年的完整日均温数据。

1.3 最佳期间气温-物候空间模型

本文采用计算最佳期间日均温的方法进行刺槐开花期的统计模拟,其基本计算过程为:首先,将区域内各站某一年(或多年平均)物候最早和最晚发生日期之间的时段定义为基本长度期间(bLP);其次,从该年(或多年平均)基本期间的最早发生日期向后以 1 d 为步长取一系列滑动长度期间(mLP),最大滑动长度期间为 60 d,依次计算所有完整长度期间内(bLP+1 d,bLP+2 d,bLP+3 d,……,bLP+60 d)日平均气温的空间序列,完整长度期间(LP)定义为:

$$LP = bLP + mLP \quad (1)$$

第三,分别计算该年(或多年平均)所有完整长度期间内日平均气温空间序列与刺槐开花期空间序列之间的相关系数;最后,将最大相关系数(绝对值)所对应的日平均气温定义为最佳长度期间的日均温,建立该年(或多年平均)最佳期间气温-物候空间模型。

在对回归模型的模拟和预测能力进行评价时,采用方差解释量(R^2)及其显著性检验和均方根误差(RMSE)作为指标,RMSE 的计算公式为:

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

式中, pre_i 和 obs_i 为第 i 个站点的模拟(预测)值和观测值; n 为站点数。上述数据处理是在 IDL 8.0 软件平台上编程实现的。

2 结果与讨论

2.1 多年平均刺槐开花日期空间格局的模拟与检验

各地多年平均刺槐开花始期、盛期和末期空间序列与最佳期间日平均气温空间序列之间均呈显著负相关(图 2),表明一个地点多年平均最佳期间日均温越高,该地多年平均刺槐花期越早。影响刺槐开花始期、盛期和末期的最佳期间长度分别为 31、35 d 和 40 d。多年平均最佳期间气温-物候空间模型对多年平均刺槐开花始期、盛期和末期的方差解释量分别为 87%、86% 和 77%,模拟精度(RMSE)分别为 2.5、2.7 d 和 4.1 d。多年平均模型的回归系数显示,最佳期间日均温在空间上升高或降低 1℃,刺槐开花始期、盛期和末期分别提前

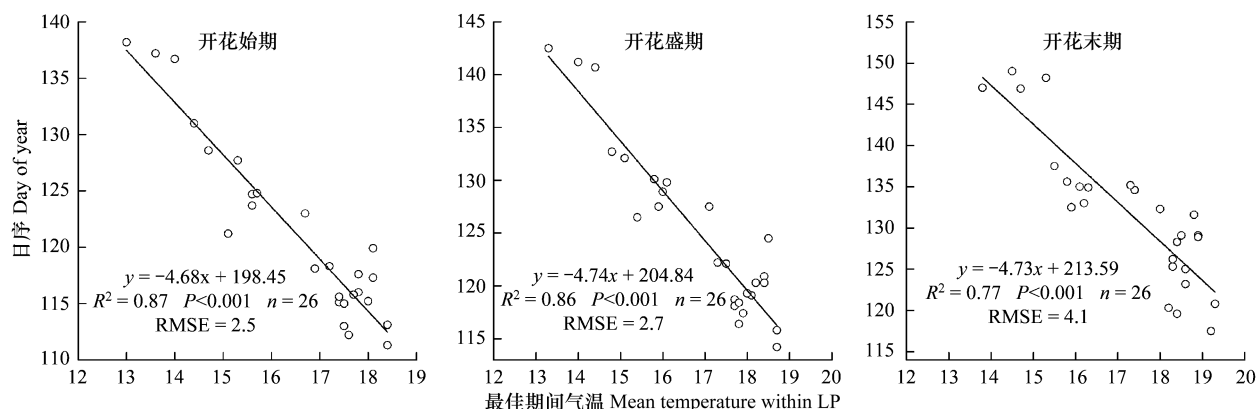


图 2 多年平均刺槐开花日期与最佳期间日均温之间的空间相关-回归分析

Fig. 2 Spatial correlation and regression analysis between annual mean flowering date of *Robinia pseudoacacia* and annual mean daily temperature within the optimum LP

或推迟 4.68、4.74 d 和 4.73 d。由此可见,多年平均最佳期间日均温的空间格局控制着多年平均刺槐花期的空间格局。

为了检验多年平均最佳期间气温-物候空间模型在物候空间外推预测方面的可靠性,将刺槐花期观测年数大于或等于 10 a 的 10 个非建模站点上的多年平均最佳期间日均温数据代入上述气温-物候空间模型,估算在这些非建模站点上的多年平均刺槐开花始期、盛期和末期的日期,并与各地多年平均刺槐开花始期、盛期和末期的实测日期进行对比(图 3)。结果显示,多年平均刺槐开花始期、盛期和末期外推检验的 RMSE 分别为 4.4、6.9 d 和 5.1 d,分别比模型模拟的 RMSE 大 1.9、4.2 d 和 1 d。由此可见,上述模型对研究区域内非建模站点多年平均刺槐开花日期的外推预测效果良好。相对来说,模型对刺槐开花始期和末期的外推预测效果优于对刺槐开花盛期的外推预测效果。

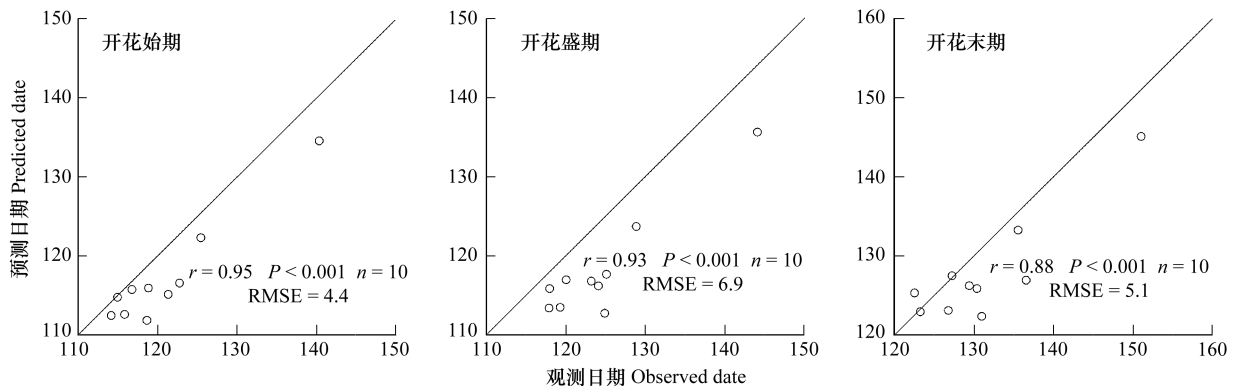


图 3 多年平均气温-物候空间模型的外推检验

Fig. 3 External validation of multi-year mean air temperature-phenology spatial models

a: 开花始期; b: 开花盛期; c: 开花末期

2.2 逐年刺槐开花日期空间格局的模拟与检验

各地逐年刺槐开花始期、盛期和末期空间序列分别与相应年份的最佳期间日均温空间序列呈显著负相关 ($P < 0.001$, 表 1), 影响逐年刺槐开花始期、盛期和末期空间格局的最佳期间长度分别为 38—76、33—80 d 和 39—124 d (图 4)。

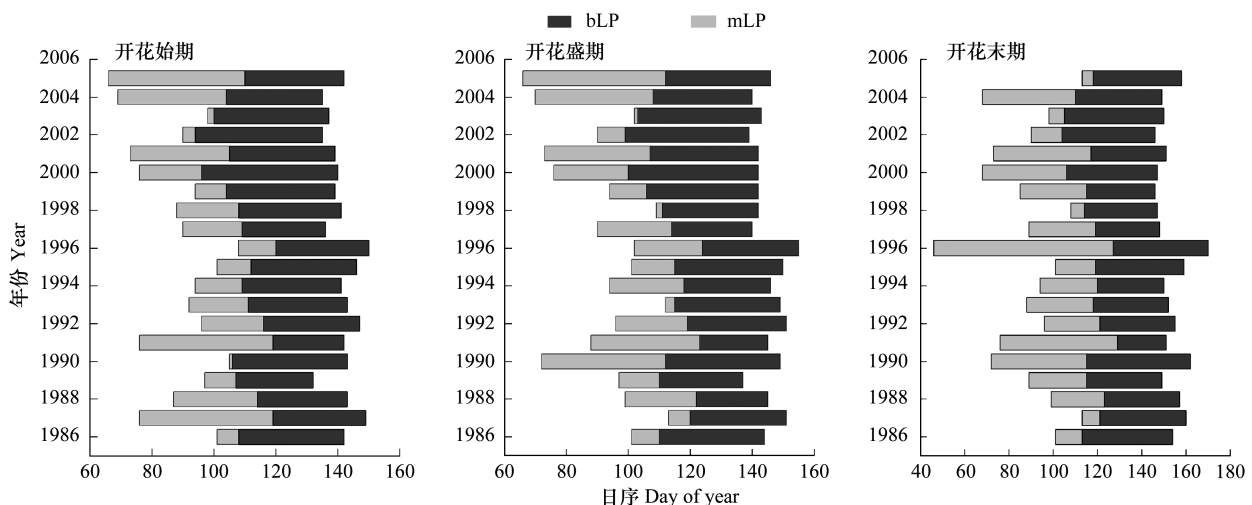


图 4 逐年日均温的最佳期间

Fig. 4 Yearly optimum LP of daily mean temperature

逐年最佳期间气温-物候空间模型对刺槐开花始期、盛期和末期的方差解释量分别介于 44%—94%、57%—92% 和 39%—84% 之间,模拟的平均 RMSE 分别为 3.9、4.0 d 和 5.4 d。

表 1 逐年刺槐开花日期与最佳期间日均温之间的空间相关-回归分析

Table 1 Spatial correlation and regression analysis between flowering date of *Robinia pseudoacacia* and daily mean temperature within the optimum LP in each year

年份 Year	开花始期的模拟 BF simulation			开花盛期的模拟 FF simulation			开花末期的模拟 EF simulation		
	方差解释量 R^2	斜率/(d/℃) Slope	均方根 误差/d RMSE	方差解释量 R^2	斜率/(d/℃) Slope	均方根 误差/d RMSE	方差解释量 R^2	斜率/(d/℃) Slope	均方根 误差/d RMSE
1986	0.93 ***	-4.5	2.6	0.91 ***	-4.5	2.5	0.83 ***	-4.8	4.5
1987	0.94 ***	-3.8	2.0	0.92 ***	-2.9	2.7	0.84 ***	-3.2	4.6
1988	0.87 ***	-4.6	2.5	0.92 ***	-6.1	2.2	0.82 ***	-6.6	4.5
1989	0.76 ***	-4.0	3.6	0.75 ***	-4.3	3.7	0.67 ***	-4.5	4.9
1990	0.77 ***	-3.1	3.8	0.78 ***	-4.0	3.6	0.78 ***	-4.9	4.5
1991	0.75 ***	-3.1	3.2	0.70 ***	-2.7	3.0	0.73 ***	-3.3	3.5
1992	0.73 ***	-3.3	5.0	0.77 ***	-3.5	4.9	0.76 ***	-3.7	5.6
1993	0.87 ***	-4.0	3.4	0.84 ***	-3.8	4.0	0.78 ***	-5.3	4.9
1994	0.75 ***	-3.0	4.0	0.81 ***	-2.9	3.5	0.70 ***	-3.0	5.1
1995	0.83 ***	-4.0	4.1	0.85 ***	-4.0	3.8	0.75 ***	-3.6	4.9
1996	0.76 ***	-2.9	4.2	0.69 ***	-4.0	5.0	0.52 ***	-2.4	7.0
1997	0.67 ***	-2.6	4.2	0.65 ***	-2.4	4.0	0.59 ***	-2.2	5.7
1998	0.81 ***	-4.1	4.1	0.83 ***	-4.0	3.9	0.70 ***	-5.1	6.0
1999	0.75 ***	-4.1	4.2	0.70 ***	-4.2	4.7	0.73 ***	-5.2	4.7
2000	0.79 ***	-3.9	5.5	0.75 ***	-3.7	5.9	0.74 ***	-3.3	5.4
2001	0.80 ***	-3.9	5.2	0.75 ***	-3.7	5.5	0.79 ***	-4.0	5.4
2002	0.91 ***	-5.2	4.0	0.90 ***	-5.4	4.1	0.84 ***	-5.3	5.2
2003	0.44 ***	-3.3	5.8	0.57 ***	-5.6	5.7	0.39 ***	-3.8	7.3
2004	0.84 ***	-4.0	3.6	0.82 ***	-4.1	3.8	0.75 ***	-4.8	5.3
2005	0.85 ***	-3.3	3.9	0.82 ***	-3.5	4.2	0.63 ***	-5.3	8.0
均值			3.9			4.0			5.4

*** $P < 0.001$

由此可见,某一年最佳期间日均温的空间格局在很大程度上控制着该年刺槐开花日期的空间格局。逐年模型的回归系数显示,最佳期间日均温在空间上升高或降低 1℃,刺槐开花始期、盛期和末期提前或推迟的幅度分别为 2.6—5.2、2.4—6.1 d 和 2.2—6.6 d。

为了检验逐年最佳期间气温-物候空间模型在物候空间外推预测方面的可靠性,将每年具有刺槐花期观测数据的所有非建模站点上的最佳期间日均温数据代入相应年份的气温-物候空间模型,估算在这些非建模站点上的每年刺槐开花始期、盛期和末期的日期,并与各地相应年份刺槐开花始期、盛期和末期的实测日期进行对比(表 2)。每年用于检验的站点数介于 8—17 个之间,20a 间涉及的站点总数为 29 个(图 1)。结果显示,刺槐开花始期、盛期和末期外推检验的平均 RMSE 分别为 7.3、8.1 d 和 9.7 d,分别比模型模拟的平均 RMSE 大 3.4、4.1 d 和 4.3 d。总体上看,这些模型对研究区域内非建模站点逐年刺槐开花日期的预测效果尚好。

2.3 刺槐开花日期及其线性趋势的空间格局

鉴于多年平均和逐年气温-物候空间模型对刺槐开花日期的外推预测效果较好,将 1986—2005 年 8 km×8 km 分辨率的多年平均和逐年日均温格点数据分别代入多年平均和逐年最佳期间气温-物候空间模型,计算得到 1986—2005 年多年平均刺槐开花日期的空间格局(图 5)和逐年刺槐开花日期的空间格局。在此基础上,还计算生成了刺槐开花日期线性趋势及其显著性水平的空间格局(图 6)。

表 2 逐年气温-物候空间模型的外推检验

Table 2 External validation of yearly air temperature-phenology spatial models

年份 Year	站点数 Number of stations	开花始期的检验 BF validation		开花盛期的检验 FF validation		开花末期的检验 EF validation	
		相关系数	均方根误差 /d	相关系数	均方根误差 /d	相关系数	均方根误差 /d
		<i>r</i>	RMSE	<i>r</i>	RMSE	<i>r</i>	RMSE
1986	9	0.88 **	6.3	0.94 ***	6.7	0.95 ***	9.5
1987	10	0.78 **	7.1	0.66 *	8.4	0.68 *	8.7
1988	11	0.73 *	7.7	0.74 **	15.8	0.78 **	21.6
1989	11	0.87 ***	3.3	0.80 **	4.5	0.82 **	6.0
1990	17	0.65 **	11.0	0.78 ***	8.0	0.80 ***	9.0
1991	14	0.71 **	5.7	0.83 ***	9.6	0.27	7.9
1992	15	0.87 ***	7.1	0.91 ***	6.2	0.84 ***	6.4
1993	14	0.89 ***	5.8	0.82 ***	6.5	0.79 ***	9.0
1994	11	0.92 ***	7.3	0.85 ***	8.6	0.86 ***	8.6
1995	11	0.87 ***	9.0	0.87 ***	9.3	0.88 ***	10.0
1996	11	0.59	10.1	0.58	12.2	0.64 *	9.9
1997	11	0.92 ***	8.4	0.95 ***	8.1	0.84 **	6.6
1998	11	0.97 ***	8.8	0.96 ***	4.5	0.88 ***	9.2
1999	11	0.84 **	5.8	0.87 ***	5.6	0.89 ***	3.6
2000	11	0.94 ***	6.6	0.91 ***	6.7	0.76 **	10.2
2001	11	0.91 ***	8.7	0.92 ***	7.8	0.73 *	11.9
2002	10	0.84 **	6.9	0.92 ***	5.0	0.74 *	10.0
2003	8	0.87 **	4.7	0.88 **	10.9	0.89 **	4.9
2004	11	0.80 **	8.5	0.76 **	11.1	0.61 *	21.6
2005	10	0.90 ***	6.8	0.93 ***	6.1	0.89 ***	8.8
均值			7.3		8.1		9.7

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$

由多年平均刺槐开花日期的空间格局可以看出,我国东部暖温带刺槐开花始期、盛期和末期均呈现出自南向北、从平原向丘陵和山地逐渐推迟的空间格局。刺槐开花的最早日期发生在华北平原南部和西部边缘,以及关中盆地;最晚日期出现在秦岭西段、陇中高原、山西高原、燕山山地和辽东丘陵。由多年平均刺槐开花始期和末期计算的花期长度空间分布表明,各地刺槐花期长度相差不大,介于 8.3—12.2 d 之间,平均长度为 9.3 d,标准差为 0.6 d。

1986—2005 年期间刺槐开花日期线性趋势的空间格局显示(图 6),研究区域内未出现刺槐开花日期显著推迟的现象。除华北平原中部、燕山山地、辽西走廊和辽东半岛部分地区以外,大部分地区的刺槐开花始期呈显著提前的趋势,面积约占全区总面积的 78%,提前趋势最大的地区位于山西高原的北部、黄土高原的西南缘和秦岭山地西段,达到 6—9 d/10a;开花盛期和末期显著提前的区域面积明显小于开花始期,分别占全区总面积的 26% 和 32%,显著提前趋势最大的地区与开花始期大致重叠。

将本文对刺槐开花日期的空间模拟结果与 Chen 和 Xu 采用相同方法对榆树展叶期的空间模拟结果进行比较,可以看出,基于日均温的最佳期间气温-物候空间模型,在模拟树木营养生长物候期(榆树展叶期)和生殖生长物候期(刺槐花期)空间序列方面均具有较高的模拟和外推预测精度,这表明两种不同植物的不同物候期对气温空间差异响应的生态机制具有某种一致性。由此可见,基于日均温的最佳期间气温-物候空间模型在描述气温与树木物候期之间的空间关系方面,具有一定的普适性。此外,需要指出的是,最佳期间气温-物候空间模型还存在着一定的误差,说明刺槐开花日期的空间格局还可能受到其他气象因子如光周期、降水量等的影响。

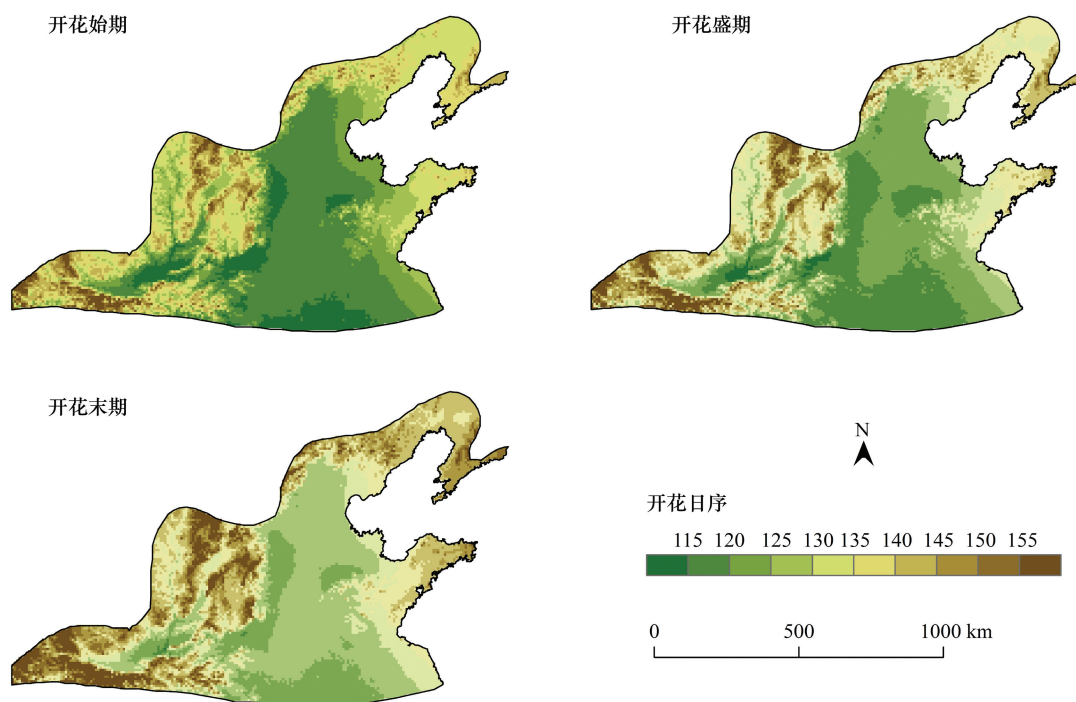


图5 基于多年平均气温-物候空间模型预测的刺槐开花日期空间格局

Fig. 5 Spatial patterns of *Robinia pseudoacacia* flowering dates predicted by multi-year mean air temperature-phenology spatial models

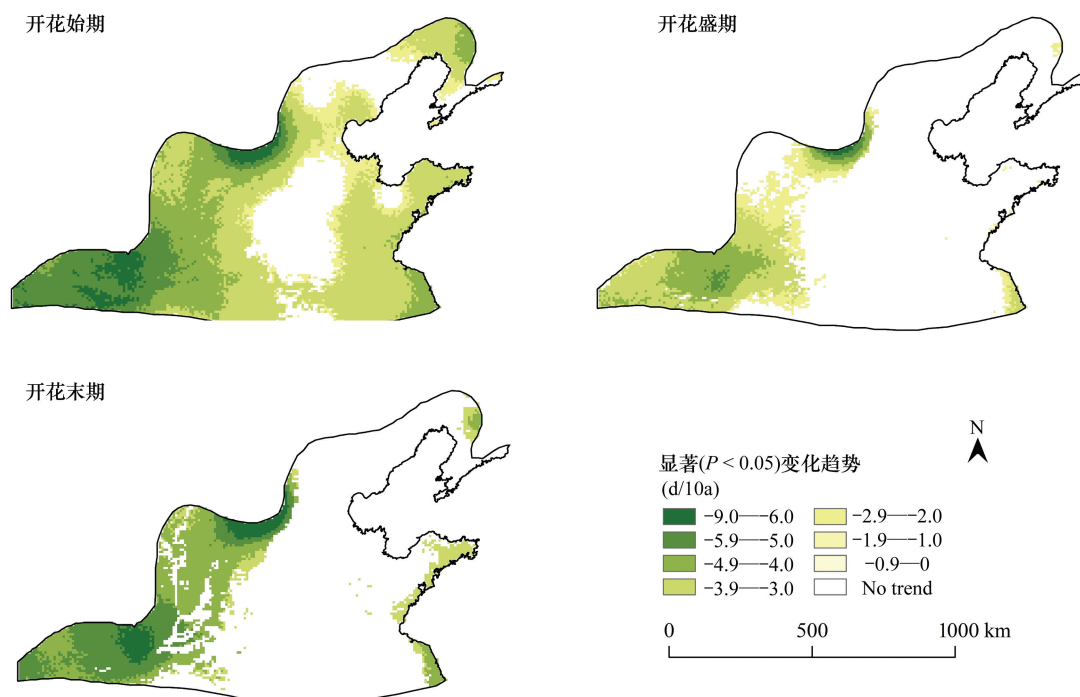


图6 1986—2005年刺槐开花日期显著线性趋势的空间格局($P < 0.05$)

Fig. 6 Spatial patterns of significant linear trend ($P < 0.05$) of *Robinia pseudoacacia* flowering dates from 1986 to 2005

2.4 转地放蜂路线的初步设计

根据上述多年平均刺槐开花始期、盛期和末期的空间格局(图5),初步设计出以下几条转地放蜂的路线:

(1) 西线 根据地形和刺槐的分布,沿地势和坡向追花取蜜,实行山地小转地放蜂。具体安排是:4月上

旬在关中盆地放蜂,之后可向北进入黄土高原东缘和山西高原或向西进入陇中高原和秦岭山地西段,放蜂的大致持续时间在 40 d—50 d。

(2) 中线 沿京九线、京广线和京哈线自南向北进行大转地放蜂,沿线地形较为平坦。具体安排是 4 月中旬从河南、安徽北部出发,5 月上旬途径河北、北京、天津,约在 5 月中旬到达辽东半岛,放蜂的大致持续时间约为 40 d;

(3) 东线 第一条路线是 4 月中旬从江苏南部出发,沿京沪线和京哈线经山东、河北、天津至北京,之后与中线汇合在 5 月中旬进入辽东半岛。第二条路线是 4 月下旬从山东济南附近的平原地区出发,沿胶济线和蓝烟线在山东丘陵地区转地放蜂,最后,可乘轮渡于 5 月中旬进入辽东半岛。这两条放蜂路线的大致持续时间约为 40 d。

此外,从 1986—2005 年刺槐开花日期的线性趋势(图 6)来看,大部分地区的刺槐开花始期呈显著提前的趋势,以山西高原的北部、黄土高原西南缘和秦岭山地西段提前的幅度最大,说明在过去的 20a 间,刺槐开花始期已经受到了气候变化的影响,相应地,在放蜂时间上亦应做出适当的调整。有鉴于此,在未来转地放蜂路线的选择方面,还需要结合当年前期的天气预报合理地安排放蜂路线和出行时间。应该指出,上述放蜂路线只是根据刺槐一种蜜源植物花期的空间演进过程设计的,而在实际的转地放蜂安排上,还需要统筹考虑这一期间内其他蜜源植物的花期,这就需要进一步研究其他重要蜜源植物花期空间格局的模拟和预测,从而设计出更为实用的转地放蜂路线。

3 结论

本文通过建立基于最佳期间日均温的气温-物候空间模型,模拟并预测了中国东部暖温带地区刺槐开花日期的空间格局,主要结论如下:

(1) 中国东部暖温带 1986—2005 年多年平均及逐年最佳期间平均气温的空间格局分别控制着多年平均和逐年刺槐开花日期的空间格局。

(2) 各地多年平均刺槐开花日期的空间序列与最佳期间日均温的空间序列呈显著的负相关关系,多年平均气温-物候空间模型对刺槐开花始期、盛期和末期的方差解释量分别为 87%、86% 和 77%,模拟的 RMSE 分别为 2.5、2.7 d 和 4.1 d。这些模型对研究区域内非建模站点多年平均刺槐开花日期的外推预测效果良好。

(3) 各地逐年刺槐开花日期的空间序列与最佳期间日均温的空间序列均呈显著负相关关系,逐年气温-物候空间模型对刺槐开花始期、盛期和末期的方差解释量分别介于 44%—94%、57%—92% 和 39%—84% 之间,模拟的平均 RMSE 分别为 3.9、4.0 d 和 5.4 d。这些模型对研究区域内非建模站点逐年刺槐开花日期的预测效果尚好。

(4) 利用多年平均和逐年气温-物候空间模型估算的全区刺槐开花日期空间格局显示,我国东部暖温带刺槐开花日期呈自南向北、从平原向丘陵和山地逐渐推迟的空间格局。1986—2005 年期间刺槐开花始期、盛期和末期的线性趋势以提前为主,呈显著提前的区域面积分别占全区总面积的 78%、26% 和 32%。

(5) 中国东部暖温带地区转地放蜂可以沿西线、中线和东线进行,放蜂的大致持续时间可达 40—50 d。

致谢: 感谢中国气象局气候资料室提供植物物候数据。

References:

- [1] Fitter A H, Fitter R S R. Rapid changes in flowering time in British plants. *Science*, 2002, 296: 1689-1691.
- [2] Xu W L. *Nectariferous plants of China*. Harbin: Heilongjiang Science and Technology Press, 1983.
- [3] Harding P H, Cochrane J, Smith L P. Forecasting the flowering stages of apple varieties in Kent, England, by the use of meteorological data. *Agric Meteorol*, 1976, 17: 49-54.
- [4] Schwartz M, Marotz G. An approach to examining regional atmosphere-plant interactions with phenological data. *J Biogeogr*, 1986, 13: 551-560.
- [5] Bradley N L, Leopold A C, Ross J, Huffaker W. Phenological changes reflect climate change in Wisconsin. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1999, 96: 9701-9704.

- [6] Sparks T H, Jeffree E P, Jeffree C E. An examination of the relationship between flowering times and temperature at the national scale using long-term phenological records from the UK. *Int J Biometeorol*, 2000, 44: 82-87.
- [7] Chmielewski F M, Rötter T. Response of tree phenology to climate change across Europe. *Agric For Meteorol*, 2001, 108: 101-112.
- [8] Matsumoto K, Ohta T, Iwasawa M, Nakamura T. Climate change and extension of the *Ginkgo biloba* L. growing season in Japan. *Global Change Biol*, 2003, 9: 1634-1642.
- [9] Menzel A. Plant phenological anomalies in Germany and their relation to air temperature and NAO. *Clim Change*, 2003, 57: 243-263.
- [10] Gordo O, Sanz J J. Impact of climate change on plant phenology in Mediterranean ecosystems. *Global Change Biol*, 2010, 16: 1082-1106.
- [11] Xu Y Q, Lu P L, Yu Q. Impacts of climate change on first flowering dates of *Robinia pseudoacacia* L. and *Syringa amurensis* Rupr. in China. *J Beijing Forestry Univ*, 2004, 26: 94-97.
- [12] Chen X Q, Qi X R, A S, Xu L. Spatiotemporal variation of plant community aspections in the north-subtropical zone of eastern China. *Acta Ecol Sin*, 2011, 31: 3559—3568.
- [13] Chen X Q, Xu L. Phenological responses of *Ulmus pumila* (Siberian Elm) to climate change in temperate zone China. *Int J Biometeorol*, 2012, 56: 695-706.
- [14] Chen X Q, Hu B, Yu R. Spatial and temporal variation of phenological growing season and climate change impacts in temperate eastern China. *Glob Change Biol*, 2005, 11: 1118-1130.
- [15] Xu L, Chen X Q. Spatial modeling of the *Ulmus pumila* growing season in China's temperate zone. *Sci China Earth Sci*, 2012, 55: 656-664.
- [16] Yang G D, Chen X Q. Prediction of the *Robinia pseudoacacia* L. flowering in North China. *Apicul China*, 1990, 2: 29-30.
- [17] Nakahara M. Phenology. Tokyo: Kawadesyobo Press, 1948.
- [18] Gong G F, Jian W M. On the geographical distribution of phenodate in China. *Acta Geog Sin*, 1983, 38(3): 33-40.
- [19] Zheng J Y, Ge Q S, Hao Z X. Climate change impacts on plant phenological changes in China in recent 40 years. *Chinese Sci Bull*, 2002, 47(20): 1582-1587.
- [20] Park-Ono H S, Kawamura T, Yoshino M. Relationships between flowering date of cherry blossom (*Prunus yedoensis*) and air temperature in East Asia. In: Proceeding of the 13th International Congress of Biometeorology 1993 September 12-18, Calgary, 1993. 207-220.
- [21] Rötter T, Chmielewski F M. Phenological maps of Europe. *Clim Res*, 2001, 18(3): 249-257.
- [22] Hense A, Glowienka-Hense R, Müller M, et al. Spatial modelling of phenological observations to analyse their interannual variations in Germany. *Agric For Meteorol*, 2002, 112(3/4): 161-178.
- [23] Chen X Q, Xu L. Temperature controls on the spatial pattern of tree phenology in China's temperate zone. *Agric For Meteorol*, 2012, 154: 195-202.
- [24] Chen X J. A new approach to the climate division of China. *Acta Meteoro Sin*, 1982, 40:35-48.
- [25] Chen X Q. East Asia // Schwartz MD, ed. Phenology: an integrative environmental science. Kluwer, Dordrecht, 2003: 11-25.
- [26] Ding C S. Robinia // Wei Z, ed. Flora Reipublicae Popularis Sinicae, Tomus 40, Science Press, Beijing, 1986: 228-231.
- [27] Chen X Q, Zhang F C. Spring phenological change in Beijing in the last 50 years. *Chinese J Agrometeorol*, 2001, 22: 1-5.
- [28] Chen X Q. Phenological observation in China // Hudson I L, Keatley M R, eds. Phenological Research: Methods for Environmental and Climate Change Analysis. Dordrecht Heidelberg London New York: Springer, 2009: 35-38.
- [29] China Meteorological Administration. Observation Criterion of Agricultural Meteorology. Beijing: China Meteorological Press, 1993.
- [30] Hutchinson M F. Anusplin Version 4.2 User Guide, 2002.

参考文献:

- [2] 徐万林, 中国蜜源植物. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1983.
- [11] 徐雨晴, 陆佩玲, 于强. 气候变化对我国刺槐、紫丁香始花期的影响. *北京林业大学学报*, 2004, 26: 94-97.
- [12] 陈效述, 亓孝然, 阿杉, 徐琳. 我国东部北亚热带植物群落季相的时空变化. *生态学报*, 2011, 31: 3559-3568.
- [15] 徐琳, 陈效述. 中国温带榆树生长季节的空间模拟. *中国科学: 地球科学*, 2012, 42: 545-554.
- [16] 杨国栋, 陈效述. 华北地区刺槐花期的物候测报. *中国养蜂*, 1990, 2: 29-30.
- [18] 龚高法, 简慰民. 我国植物物候的地理分布. *地理学报*, 1983, 38(3): 33-39.
- [19] 郑景云, 葛全胜, 郝志新. 气候增暖对我国近 40 年植物物候变化的影响. *科学通报*, 2002, 47(20): 1582-1587.
- [24] 陈咸吉. 中国气候区划新探. *气象学报*, 1982, 40:35-48.
- [26] 丁陈森. 刺槐属 // 韦直. 中国植物志, 第四十卷, 科学出版社, 北京, 1986: 228-231.
- [27] 陈效述, 张福春. 近 50 年北京春季物候的变化及其对气候变化的响应. *中国农业气象*, 2001, 22: 1-5.
- [29] 国家气象局. 农业气象观测规范. 北京: 气象出版社, 1993.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 12 Jun. ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Research on the disturbance of frost damage to forests LI Xiufen, ZHU Jiaojun, WANG Qingli, et al (3563)
- Advances in salt-tolerance mechanisms of *Suaeda* plants ZHANG Aiqin, PANG Qiuying, YAN Xiufeng (3575)

Autecology & Fundamentals

- Simulation and prediction of spatial patterns of *Robinia pseudoacacia* flowering dates in eastern China's warm temperate zone
..... XU Lin, CHEN Xiaoqiu, DU Xing (3584)
- Response of leaf functional traits of *Betula ermanii* saplings to the altitudinal Variation
..... HU Qipeng, GUO Zhihua, SUN Lingling, et al (3594)
- Analysis of genetic diversity of chinese pine (*Pinus tabulaeformis*) natural secondary forest populations and correlation with theirs
habitat ecological factors LI Ming, WANG Shuxiang, GAO Baojia (3602)
- Nitrogen addition affects root growth, phosphorus and nitrogen efficiency of three provenances of *Schima superba* in barren soil
..... ZHANG Rui, WANG Yi, JIN Guoqing, et al (3611)
- Effect of enclosure on soil C mineralization and priming effect in *Stipa grandis* grassland of Inner Mongolia
..... WANG Ruomeng, DONG Kuanhu, HE Nianpeng, et al (3622)
- Effects of slope position on gas exchange characteristics of main tree species for vegetation restoration in dry-hot valley of Jingsha
River DUAN Aiguo, ZHANG Jianguo, HE Caiyun, et al (3630)
- Impacts of biodegradation on desorption of phenol adsorbed on black carbon and soil
..... HUANG Jiexun, MO Jianmin, LI Feili, et al (3639)
- Physiological and biochemical responses to different soil drought stress in three tree species
..... WU Qin, ZHANG Guangcan, PEI Bin, et al (3648)
- The ear-leaf ratio of population is related to yield and water use efficiency in the water-saving cultivation system of winter wheat
..... ZHANG Yongping, ZHANG Yinghua, HUANG Qin, et al (3657)
- Effects of ozone stress on photosynthesis, dry matter production and yield of rice under different seedling quality and plant density ...
..... PENG Bin, LI Panlin, ZHOU Nan, et al (3668)
- Effects of water and nitrogen under root restriction on photosynthetic characters of cotton plants grown with under-mulch drip
irrigation TAO Xianping, LUO Honghai, ZHANG Yali, et al (3676)
- The influence of light and growth stage on oxygen diffusion capacity of *Acorus calamus* roots
..... WANG Wenlin, WANG Guoxiang, WAN Yinjing, et al (3688)
- Isolation, screening and characterization of phytopathogen antagonistic endophytes from wild *Artemisia argyi*
..... XU Yajun, ZHAO Longfei, CHEN Pu, et al (3697)
- Performance of the two host-biotypes of *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) on different cucurbitaceous host plants
..... XIAO Yunli, YIN Xiangchu, LIU Tongxian (3706)
- The effects of gender and temperature on the wintering behavior of Chinese merganser
..... ZENG Binbin, SHAO Mingqin, LAI Hongqing, et al (3712)

Population, Community and Ecosystem

- Assessment indicators system of forest ecosystem health based on the disturbance in Wangqing forestry
..... YUAN Fei, ZHANG Xingyao, LIANG Jun (3722)
- Heterogeneity evaluation of forest ecological system spatial structure in Dongting Lake
..... LI Jianjun, LIU Shuai, ZHANG Huiru, et al (3732)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Climate-growth relationships of *Abies faxoniana* from different elevations at Miyaluo, western Sichuan, China
..... XU Ning, WANG Xiaochun, ZHANG Yuandong, et al (3742)

- Spatial-temporal distribution of net primary productivity and its relationship with climate factors in Inner Mongolia from 2001 to 2010 MU Shaojie, LI Jianlong, ZHOU Wei, et al (3752)
- Influences of topographic features on the distribution and evolution of landscape in the coastal wetland of Yancheng
..... HOU Minghang, LIU Hongyu, ZHANG Huabing, et al (3765)
- Vegetation landscape pattern change and characteristics of spatial distribution in south edge of Mu Us Sandy Land
..... ZHOU Shuqin, JING Yaodong, ZHANG Qingfeng, et al (3774)
- Climate change recorded mainly by pollen from baixian lake during the last 5.5kaB. P.
..... DU Rongrong, CHEN Jing'an, ZENG Yan, et al (3783)
- Characteristics of temperature field, humidity field and their eco-environmental effects in spring in the typical valley-city
..... LI Guodong, ZHANG Junhua, WANG Naiang, et al (3792)
- Spatial and temporal variation of surface water vapor over northern and southern regions of Qinling Mountains
..... JIANG Chong, WANG Fei, YU Xiaoyong, et al (3805)
- Spatial variation of landscape eco-risk in open mine area WU Jiansheng, QIAO Na, PENG Jian, et al (3816)
- The comparison of ecological geographica regionlization in China based on Holdridge and CCA analysis
..... KONG Yan, JIANG Hong, ZHANG Xiuying, et al (3825)
- Resource and Industrial Ecology**
- Agricultural eco-efficiency evaluation in China based on SBM model PAN Dan, YING Ruiyao (3837)
- The emergy analysis of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) aquaculture system around Dongji island in Zhoushan
..... SONG Ke, ZHAO Sheng, CAI Huiwen, et al (3846)
- Optimum stripe arrangement for inter-cropping and mixed-cropping of different maize (*Zea mays* L.) genotypes
..... ZHAO Yali, KANG Jie, LIU Tianxue, et al (3855)
- Effects of climate and soil on the carotenoid and cuticular extract content of cured tobacco leaves
..... CHEN Wei, XIONG Jing, CHEN Yi, et al (3865)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- Carbon sequestration and oxygen release as well as cooling and humidification efficiency of the main greening tree species of
Sha River, Chengdu ZHANG Yanli, FEI Shimin, LI Zhiyong, et al (3878)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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

本期责任副主编 吴文良

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 33 卷 第 12 期 (2013 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 12 (June, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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: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@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 90.00 元