

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第13期 Vol.31 No.13 **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 13 期 2011 年 7 月 (半月刊)

目 次

我国东部北亚热带植物群落季相的时空变化	陈效速, 亓孝然, 阿 杉, 等 (3559)
华北低丘山地人工林蒸散的季节变化及环境影响要素	黄 辉, 孟 平, 张劲松, 等 (3569)
东北东部 14 个温带树种树干呼吸的种内种间变异	许 飞, 王传宽, 王兴昌 (3581)
RS 和 GIS 支持的洪河地区湿地生态健康评价	王一涵, 周德民, 孙永华 (3590)
应用光合色素研究广西钦州湾丰水期浮游植物群落结构	蓝文陆, 王晓辉, 黎明民 (3601)
基于不可替代性的青海省三江源地区保护区功能区划研究	曲 艺, 王秀磊, 栾晓峰, 等 (3609)
融雪时间对大卫马先蒿生长和繁殖特性的影响	陈文年, 吴 彦, 吴 宁, 等 (3621)
巴郎山刺叶高山栎叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 对海拔高度的响应	冯秋红, 程瑞梅, 史作民, 等 (3629)
宁南半干旱与半干旱偏旱区苜蓿草地土壤水分与养分特征	任晶晶, 李 军, 王学春, 等 (3638)
南岭小坑藜蒴群落地上部分生物量分配规律	李 根, 周光益, 王 旭, 等 (3650)
放牧对五台山高山、亚高山草甸牧草品质的影响	章异平, 江 源, 刘全儒, 等 (3659)
短期增温对贡嘎山峨眉冷杉幼苗生长及其 CNP 化学计量学特征的影响	羊留冬, 杨 燕, 王根绪, 等 (3668)
锰胁迫对垂序商陆叶片形态结构及叶绿体超微结构的影响	梁文斌, 薛生国, 沈吉红, 等 (3677)
土荆芥挥发油对蚕豆根尖细胞的化感潜力	胡琬君, 马丹炜, 王亚男, 等 (3684)
喀斯特城市杨树人工林微量元素的生物循环	王新凯, 田大伦, 闫文德, 等 (3691)
大兴安岭林区多孔菌的区系组成与种群结构	崔宝凯, 余长军 (3700)
铜绿微囊藻和斜生栅藻非稳态营养盐限制条件下的生长竞争特性	赵晓东, 潘 江, 李金页, 等 (3710)
陆地棉萌发至三叶期不同生育阶段耐盐特性	王俊娟, 王德龙, 樊伟莉, 等 (3720)
基于模式生物秀丽隐杆线虫的三丁基锡生态毒性评价	王 云, 杨亚楠, 简风雷, 等 (3728)
大庆油田石油开采对土壤线虫群落的影响	肖能文, 谢德燕, 王学霞, 等 (3736)
若尔盖高寒草甸退化对中小型土壤动物群落的影响	吴鹏飞, 杨大星 (3745)
洞庭湖湿地土壤环境及其对退田还湖方式的响应	刘 娜, 王克林, 谢永宏, 等 (3758)
渭北旱塬苹果园地产量和深层土壤水分效应模拟	张社红, 李 军, 王学春, 等 (3767)
黄土丘陵区不同土地利用下土壤释放 N_2O 潜力的影响因素	祁金花, 黄懿梅, 张 宏, 等 (3778)
东北中部地区水稻不同生育时期低温处理下生理变化及耐冷性比较	宋广树, 孙忠富, 孙 蕾, 等 (3788)
硫对成熟期烤烟叶绿素荧光参数的影响	朱英华, 屠乃美, 肖汉乾, 等 (3796)
高温强光对温州蜜柑叶绿素荧光、D1 蛋白和 Deg1 蛋白酶的影响及 SA 效应	邱翠花, 计玮玮, 郭延平 (3802)
覆膜对土壤-莴苣体系氮素分布和植物吸收的影响	李丽丽, 李非里, 刘秋亚, 等 (3811)
基于空间分带的崇明东滩水鸟适宜生境的时空动态分析	范学忠, 张利权, 袁 琳, 等 (3820)
驯鹿对苔藓植物的选择食用及其生境的物种多样性	冯 超, 白学良 (3830)
北京城市绿地调蓄雨水径流功能及其价值评估	张 彪, 谢高地, 薛 康, 等 (3839)
专论与综述	
冻土甲烷循环微生物群落及其对全球变化的响应	倪永清, 史学伟, 郑晓吉, 等 (3846)
哺乳动物毛被传热性能及其影响因素	郑 雷, 张 伟, 华 彦 (3856)



封面图说: 滇金丝猴是我国特有的世界珍稀动物之一, 属国家一级重点保护物种。仅生活在滇藏交界处的高寒云冷杉林中, 是我国川、滇、黔三种金丝猴中唯一具有和人类一样美丽红唇的金丝猴。手中的松萝是它最喜爱的食物之一。

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

陈效速, 元孝然, 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(13): 3559-3568.

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 Ecologica Sinica, 2011, 31(13): 3559-3568.

我国东部北亚热带植物群落季相的时空变化

陈效速*, 元孝然, 阿杉, 徐琳

(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: 研究我国东部亚热带植物群落物候与气候变化的关系, 对于揭示东部季风区生态系统对气候变化响应的整体特征和空间分异, 具有重要的科学意义。利用物候累积频率拟合法对盐城、武汉、合肥、屯溪 1982—1996 年的植物群落季相阶段进行划分, 并分析了季相阶段的时空变化及其与气温的统计关系。结果表明: (1) 各站多年平均变绿期、旺盛光合期和休眠期初日均有随海拔升高而推迟的倾向, 而多年平均季相阶段长度的空间分异特征不明显。休眠期初日随海拔升高而推迟的事实表明, 树木秋季叶变色和落叶除受到气温的影响外, 还可能与光照和霜等其它环境因素有关, 从而使得海拔升高对秋季物候期提早的影响有所削弱, 其生态机制有待进一步研究。(2) 各站变绿期初日以提前为主, 长度以延长为主; 旺盛光合期和凋落期初日均以提前为主, 长度延长与缩短参半; 休眠期初日提前与推迟参半, 长度以缩短为主。(3) 各站变绿期和旺盛光合期初日与前期平均气温多呈显著负相关, 而凋落期和休眠期初日与前期平均气温相关不显著。利用最佳时段气温-物候回归模型重建的 1982—2006 年季相阶段初日的时间序列显示, 盐城、武汉和屯溪的变绿期初日呈显著提前的趋势, 盐城、合肥和武汉旺盛光合期初日也呈显著提前的趋势。在 2002—2006 年期间, 各站变绿期和旺盛光合期初日均表现出明显推迟的倾向, 与各地该时段前期平均气温呈下降的倾向一致。(4) 从北亚热带各站到温带北部的哈尔滨, 平均每向北 1 个纬度, 多年平均变绿期和旺盛光合期初日分别显著推迟 2.7—4.0 d 和 1.8—2.8 d, 而长度则多呈不显著缩短的趋势; 凋落期初日提前不显著, 但长度显著缩短 1.8—2.6 d; 休眠期初日显著提前 2.9—3.3 d, 且长度显著延长 5.8—7.0 d。总体上看, 上述观测事实符合植物物候空间变化的一般规律, 即在生长季节前半段, 低纬地区的植物物候早于高纬地区; 在生长季节后半段, 高纬地区的植物物候早于低纬地区。

关键词: 植物群落季相; 时空变化; 气温-物候回归模型; 时间序列外推; 纬向变化速率

Spatiotemporal variation of plant community aspections in the north-subtropical zone of eastern China

CHEN Xiaogui*, QI Xiaoran, A Shan, XU Lin

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

Abstract: Studying relationships between plant community phenology and climate change in subtropical zone of eastern China is crucial for revealing integral characteristics and spatial differences of ecosystem responses to climate change in the Eastern Monsoonal Region. The authors used simulating method of phenological cumulative frequency to identify aspection stages of the plant community at Yancheng, Wuhan, Hefei and Tunxi during the period 1982—1996, and analyze their spatiotemporal variation and statistical relationship with air temperature. At individual stations, annual mean onset dates of greenup, active photosynthesis and dormancy stages display a delayed tendency with increased altitudes but annual mean durations of the aspection stages do not indicate obvious spatial differentiation. The delayed tendency in the dormancy onset date with increased altitudes indicates that autumn leaf coloration and leaf fall dates of trees may also correlate to other environmental factors except air temperature, such as light and frost, which may reduce the effect of altitude increase to autumn phenophase advancement. Further studies may focus on ecological mechanisms of the above result. During the study

基金项目: 国家自然科学基金项目(40871029, 40671028)

收稿日期: 2010-12-02; 修订日期: 2011-05-03

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

period, the greenup onset date and duration mostly advanced and lengthened; the active photosynthesis and senescence onset dates dominantly advanced but the durations of both stages were prolonged and shortened at two stations, respectively; the dormancy onset date advanced and was delayed at two stations, respectively, but the dormancy duration was mostly shortened. Furthermore, the greenup and active photosynthesis onset dates correlate negatively with preceding mean temperatures at all stations, whereas the senescence and dormancy onset dates correlate nonsignificantly with preceding mean temperatures. Based on the time series of onset dates of the aspection stages from 1982 to 2006 reconstructed by the optimum air temperature-phenology regression equations, the greenup onset dates significantly advanced at Yancheng, Wuhan and Tunxi, and the active photosynthesis onset dates also significantly advanced at Yancheng, Hefei and Wuhan. It is worth noting that the greenup and active photosynthesis onset dates at the above stations represent an obviously delayed tendency during 2002 and 2006, which is consistent with a decreased tendency in preceding mean air temperature during the same period at the stations. From the 4 stations of the north-subtropical zone to Harbin in the north of the temperate zone, the annual mean onset dates of greenup and active photosynthesis stages show a significant delay at a rate of 2.7—4.0 days and 1.8—2.8 days per latitudinal degree northwards, respectively, but the durations of the both stages display mostly a nonsignificant shortening; the annual mean onset date and duration of senescence stage represent a nonsignificant advancement but a significant shortening at a rate of 1.8—2.6 days per latitudinal degree northwards, respectively; the annual mean onset date and duration of dormancy stage indicate a significant advancement at a rate of 2.9—3.3 days and a significant lengthening at a rate of 5.8—7.0 days per latitudinal degree northwards. Generally speaking, the above observation is consistent with the common rules in spatial variation of plant phenology, namely, plant phenophases appear earlier in lower latitudes than in higher latitudes during the first half period of the growing season, whereas plant phenophases occur earlier in higher latitudes than in lower latitudes during the latter half period of the growing season.

Key Words: plant community aspection; spatiotemporal variation; air temperature-phenology regression model; time series extrapolation; latitudinal changing rate

植物的生长季节是指在一年内某种植物生长发育的期间^[1],通常以该植物春季展叶日期到秋季叶变色或落叶日期之间的天数予以度量^[2-4],它大致指示着其光合作用的时期。植物的物候季节则是指生长季节内植物生长发育的不同阶段,通常以单种植物物候期发生日期^[5]或多种植物物候期发生日期的频率及累积频率^[6-8]予以确定。在非生物环境影响方面,许多研究表明,植物生长季节和物候季节初日、终日及长度的年际变化主要受到气候因子的控制^[3,9-10],因此,它们便成为陆地生态系统对气候变化快速响应的重要状态变量。

到目前为止,大部分的植物物候研究集中在植物个体的层次。由于温带地区的植物物候变化显著,且观测数据比较丰富,所以,国内外有关植物个体物候的研究集中于温带,而对亚热带和热带物候的研究则较少^[11]。近年来,对地中海气候区植物个体物候的研究弥补了上述欠缺^[12-13],其结果表明,亚热带西岸植物物候对气候变化的响应特征与欧洲温带^[14]相似。应该指出,这种基于植物个体的传统物候学研究存在着两方面的局限性,一是研究对象为单种植物物候期,由于各地观测的植物种不同,其物候季节和生长季节的含义便不同,因而难于在广大地域内进行其对气候变化响应的比较;二是同一种植物不同物候期的发生在时间上是间断的,不能反映在物候期之间的时段内植物生长发育的状况及其对气候变化的响应^[15]。开展植物群落物候的研究,有助于克服上述局限性,在揭示广大地域内植物群落季相阶段和生长季节演变整体特征及其对气候变化的响应^[16]、研制地面物候与遥感相结合的植被生长季节划分方法^[17-19]和验证卫星遥感植被生长季节观测结果的可靠性等方面^[20],具有重要的科学价值。由于观测到的植物物候现象发生日期与其他树木、草本植物和农作物的相应物候现象发生日期之间具有显著的相关性^[5,21],所以,研究所观测的植物群落季相阶段和生长季节演变及其与气候变化的关系,对于揭示一个地方或区域的景观季相演变特征并推测未来气候变化情景下农林牧业生产的时宜,还具有显著的实践意义。

早期划分植物群落物候季节的物候频率统计法^[6]分别以单站芽膨大、开花、展叶、叶变色和落叶等物候期发生日期的特定累积频率值作为划分不同季节的指标,反映了不同季节植物群落的典型季相特征。此后,陈效速和曹志萍^[7]提出物候频率分布型法,采用单站所有植物物候期发生日期的混合样本计算频率和累积频率,并通过经验地确定累积频率和频率曲线的拐点划分季节,反映了不同季节植物群落的整体季相特征。为了提高物候季节划分的准确性,陈效速和韩建伟^[8]又提出物候累积频率拟合法,通过建立数学模型计算物候累积频率曲线的曲率变化率最大值,定量地划分植物群落的物候季节,并揭示了我国东部温带地区植物群落季相的时空演变特征及其与气候因子的关系。在上述工作的基础上,进一步研究欧亚大陆东岸亚热带植物群落季相变化及其与气候因子的关系,将为揭示我国东部季风区更大范围内生态系统季节动态对气候变化响应的整体特征、空间演进速率和空间分异性质,提供植物物候方面的重要证据。

1 研究区域、数据及方法

1.1 站点的选择

本研究所用的植物物候数据取自中国科学院物候观测网,这一数据集的最大特点是观测的植物种类较为丰富。由于该观测网在 1997 年停止运行,使物候时间序列间断,且 1982 年之前亚热带站点的物候观测不连续,所以,本文仅利用 1982—1996 年的物候观测数据进行植物群落季相阶段的划分。

按照观测植物的丰富性、观测数据的准确性和时间序列的连续性等原则,选择盐城(33°21'N, 120°06'E, 1.8 m)、合肥(31°51'N, 117°17'E, 40 m)、武汉(30°38'N, 114°04'E, 30 m)、屯溪(29°50'N, 118°21'E, 180 m)为研究的样本站,这 4 个站的纬度差异不到 4°,从东到西大致横跨了我国北亚热带的东部地区。该区域地形比较平坦,包括了苏北平原、皖中平原和江汉平原等地形单元,除屯溪站以外,地势都在 40m 以下。受季风气候的影响,区内气温、降水、风向等具有显著的季节变化,天然植被为常绿、落叶阔叶混交林和常绿阔叶林,植物的物候变化比较明显。许多研究表明,植物物候变化的空间差异性一般小于气温、降水等气候要素,在平原地区更是如此,因此,采用样本站点的植物群落物候变化概括一个地方和区域的季相特征是可行的^[3-4, 19, 22-27]。

1.2 物候与气候数据

植物物候数据包括上述 4 个站点 1982—1996 年所有观测树木的芽始膨大期、芽开放期、展叶始期、展叶盛期、花序或花蕾出现期、开花始期、开花盛期、开花末期、果实成熟期、果实脱落开始期、果实脱落末期、叶始变秋色期、叶全变秋色期、落叶始期、落叶末期等 15 个物候期的发生日期。虽然各地的观测树种不尽相同,但均根据《中国物候观测共同观测种类及地方性观测种类名称表》确定^[28],可以认为是当地植物群落具有代表性的样本。其中,各站的观测植物种数分别为盐城 32 种、合肥 25 种、武汉 22 种、屯溪 64 种(以 1988 年的观测为准,年际间略有差别)。1982—1988 年的数据取自《中国动植物物候观测年报》第 8—11 号^[29-32],1989—1996 年的数据由中国科学院地理科学与资源研究所提供。除武汉缺失 1983 年后半年和 1987 年全年的数据之外,其他站点 15a 的物候数据完整。为了保证数据的准确,对原始数据进行了严格的审查,主要依据和步骤如下:

(1) 计算各站点所有植物物候期的观测年数、平均日期和标准差,作为数据审查的基本统计量。

(2) 为了保证统计分析的可靠性,根据统计年数尽可能多的原则,删除各地短于 8a 的所有植物物候期观测数据。

(3) 为了保证数据的准确性,根据植物物候发生的顺序相关性规律^[33],删除同种植物不同物候期发生日期中存在不正常时间倒置的观测数据。

(4) 为了保证数据的准确性,根据植物物候发生的准年周期性规律^[33],认为异常偏早和偏晚的数据为误测,故删除所有植物物候期发生日期超出其平均日期加减 1.5 倍标准差的观测数据。

由于前期气温是影响植物生长发育的关键因子^[3, 8, 10],所以,本文选取上述 4 个物候站临近气象站的 1982—2006 年逐日平均气温作为气候数据,它们可以较好地代表所研究植物群落的气温状况。此外,根据各

地 1982—1996 年日平均气温数据和植物群落季相阶段初日的划分结果,通过建立最佳时段气温-物候回归模型,进行季相阶段初日时间序列的外推估计,以弥补近 10a 植物物候数据的缺失。

1.3 季相阶段的划分方法

物候累积频率拟合法的思路是,将一个地方数十种代表性树木的各种物候现象发生日期的观测数据组成混合样本,直接计算混合样本所有物候现象按出现时间的早晚顺序和以候(5d 为一候)为统计时段的频数、频率和累积频率。每年的物候频数和频率曲线通常都有春季和秋季两个波峰,其累积频率曲线表现为两个前后相连的近似生长曲线^[7],它们较好地反映了“休眠—变绿—旺盛光合”的植物群落生长过程和“旺盛光合—凋落—休眠”的植物群落衰退过程。为了划分植物群落的季相阶段,需对春季和秋季的累积频率曲线分别进行拟合。首先,计算并绘制逐年物候现象发生日期的频数曲线(图 1);其次,求出每年物候频数曲线春、秋季波峰之间的分割点(图 1 各点),并分别绘制分割后的各段累积频率曲线;第三,利用 Logistic 生长曲线拟合累积频率(图 2a),并求出每条拟合曲线上的两个曲率变化率最大的点,春季累积频率拟合曲线上曲率变化率最大点对应的日期代表植物群落变绿期和旺盛光合期的初日,秋季累积频率拟合曲线上曲率变化率最大点对应的日期代表植物群落凋落期和休眠期的初日(图 2b,点 A 和 B)^[8]。

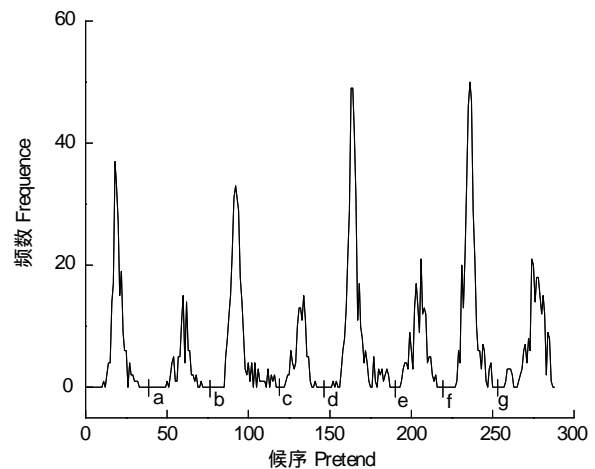


图 1 物候频数曲线的分割

Fig. 1 Segmentation of phenological frequency curves

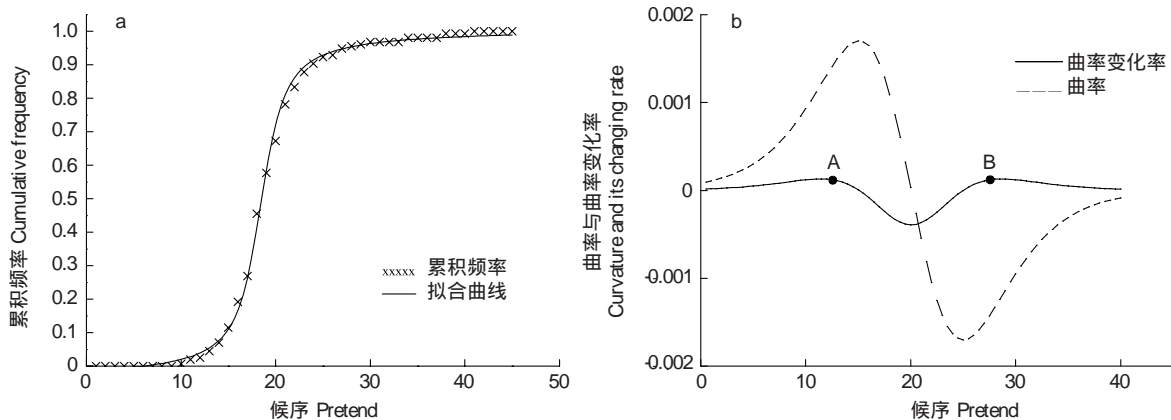


图 2 物候累积频率的拟合 (a) 和季相转折点的确定 (b)

Fig. 2 Simulating cumulative frequencies of phenophases (a) and determining turning points of aspects (b)

将曲率变化率最大的点定为季相转折点,主要考虑到曲率变化率最大的点即为曲线弯曲程度改变最大的点,也就是物候现象发生日期的累积频率变化最迅速的点。生长曲线的计算公式为:

$$y(t) = \frac{1}{1 + e^{-a+bt}} \quad (1)$$

式中, t 是以候为单位的时间, $y(t)$ 是在 t 时间的物候累积频率值, a 和 b 是拟合的参数。曲率 k 的计算公式为:

$$k = \frac{b^2 z(1-z)(1+z)^3}{[(1+z)^4 + (bz)^2]^{\frac{3}{2}}} \quad (2)$$

式中, $z = e^{-a+bt}$, 曲率变化率 k' 的计算公式为:

$$k' = b^3 z \left\{ \frac{3z(1-z)(1+z)^3 [2(1+z)^3 + b^2 z]}{[(1+z)^4 + (bz)^2]^{\frac{5}{2}}} - \frac{(1+z)^2(1+2z-5z^2)}{[(1+z)^4 + (bz)^2]^{\frac{3}{2}}} \right\} \quad (3)$$

1.4 最佳时段气温-物候回归模型

该模型由 Matsumoto 等提出^[34],其基本假设是某个植物物候期发生日期的年际波动受到其发生之前特定时段内日平均气温的控制,建模的关键是找到影响该植物物候发生日期的最佳时段日平均气温。本文将这一模型应用于气温与植物群落季相阶段初日之间统计关系的确立。具体的步骤为:首先,计算一个站点 1982—1996 年某个季相阶段初日的多年平均日期;其次,从该季相阶段初日的多年平均日期起算,以 1d 为步长向后逐日滑动计算日平均气温,并计算各时段内的日平均气温与该季相阶段初日的相关系数,以最大相关系数对应的时段为最佳时段;最终,得到适用于该季相阶段初日的最佳时段气温-物候回归模型。各地的回归模型主要用于进行当地统计时段外(1997—2006 年)各季相阶段初日时间序列的外推估计,以揭示近 10a 来我国东部北亚热带植物群落季相年际变化和线性趋势的特征。

2 季相阶段的划分结果

2.1 季相阶段的空间差异

4 个站点植物群落季相阶段的划分结果表明,各站季相阶段多年平均初日和长度的空间差异明显。变绿期初日大致呈随海拔升高而推迟的倾向,从海拔最低的盐城到海拔最高的屯溪,相差 11 d;各站变绿期长度的差别不大,介于 67—71 d 之间。旺盛光合期初日也呈随海拔升高而推迟的倾向,从盐城到屯溪,相差 12 d;其长度的差别较大,以合肥最短,盐城最长,相差 28d。凋落期初日的变化无一定之规,盐城最晚,合肥最早,相差 20 d;相应的凋落期长度以盐城最短,合肥最长,相差 32 d。休眠期初日也呈随海拔升高而推迟的倾向,从盐城到屯溪,相差 16 d;而休眠期长度的差异不大,介于 94—99 d 之间(表 1)。

表 1 各站季相阶段的平均初日和长度

Table 1 Mean onset date and duration of aspection stages at each site

站点 Station	年数/a Number of years	变绿期 Greenup stage		旺盛光合期 Active photosynthesis stage		凋落期 Senescence stage		休眠期 Dormancy stage	
		初日 Onset date	长度/d Duration	初日 Onset date	长度/d Duration	初日 Onset date	长度/d Duration	初日 Onset date	长度/d Duration
		盐城	15	02-22	70	05-03	136	09-16	60
武汉	13	02-28	67	05-06	121	09-04	81	11-24	96
合肥	15	03-05	67	05-11	108	08-27	92	11-27	98
屯溪	15	03-05	71	05-15	122	09-14	78	12-01	94

2.2 季相阶段的趋势变化

1982—1996 年季相阶段初日线性趋势的空间和季节差异均非常显著(表 2)。总体上看,各地变绿期、旺盛光合期和凋落期初日均以提前为主,而休眠期初日提前与推迟的站点各半。其中,盐城各季相阶段初日均呈显著提前的趋势;屯溪变绿期初日呈显著提前的趋势,旺盛光合期和休眠期初日呈显著推迟的趋势;合肥和武汉各季相阶段初日的线性趋势均不显著。

季相阶段长度的线性趋势也存在着明显的空间和季节差异。总的来说,变绿期长度以延长为主,休眠期长度以缩短为主;旺盛光合期和凋落期长度延长和缩短的站点各半,趋势变化的方向正好相反。其中,盐城变绿期和凋落期长度呈显著缩短的趋势,而旺盛光合期和休眠期长度呈显著延长的趋势;屯溪正好相反,变绿期和凋落期长度呈显著延长的趋势,而旺盛光合期和休眠期长度呈显著缩短的趋势;合肥仅休眠期长度呈显著缩短的趋势;武汉各季相阶段长度的线性趋势均不显著(表 3)。

3 季相阶段初日的模拟与外推

3.1 气温-物候统计模拟

各地变绿期初日与前期平均气温均呈显著负相关关系,表明前期平均气温越高,变绿期开始越早;平均气

温越低,变绿期开始越晚,这与温带地区二者的相关性一致。利用最佳影响时段平均气温建立的最优回归方程对 1982—1996 年变绿期初日模拟的均方根误差 (RMSE) 为 3.7—5.3d。旺盛光合期初日与前期平均气温的显著负相关出现在盐城、合肥和武汉 3 个站点,这一结果也与温带地区二者的相关性一致。利用最优回归方程对 1982—1996 年旺盛光合期初日模拟结果的 RMSE 为 3.4—6.3d(表 4)。

表 2 1982—1996 年各站季相阶段初日的线性趋势

Table 2 Linear trends of aspection stage onset dates at each site from 1982 to 1996

站点 Station	年数/a Number of years	变绿期初日/(d/a) Greenup onset date	旺盛光合期初日/(d/a) Active photosynthesis onset date	凋落期初日/(d/a) Senescence onset date	休眠期初日/(d/a) Dormancy onset date
盐城	15	-1.382****	-2.057****	-1.232****	-3.889****
合肥	15	-0.489	-0.086	-0.786	+0.700
武汉	13	-0.346	-0.170	-0.009	-0.104
屯溪	15	-1.111**	+1.664****	+0.086	+0.839****

* : $P < 0.1$, ** : $P < 0.05$, *** : $P < 0.01$, **** : $P < 0.001$

表 3 1982—1996 年各站季相阶段长度的线性趋势

Table 3 Linear trends of aspection stage durations at each site from 1982 to 1996

站点 Station	年数/a Number of years	变绿期长度/(d/a) Greenup duration	旺盛光合期长度/(d/a) Active photosynthesis duration	凋落期长度/(d/a) Senescence duration	休眠期长度/(d/a) Dormancy duration
盐城	15	-0.675**	+0.825*	-2.657****	+2.521****
合肥	15	+0.404	-0.700	+1.486	-1.175**
武汉	13	+0.176	+0.272	-0.094	-0.341
屯溪	15	+2.775****	-1.5795***	+0.754*	-1.936****

同样,与温带地区相似,各地凋落期和休眠期初日与前期平均气温之间的相关系数均未通过显著性检验,这很可能与树木秋季叶变色和落叶除受到气温变化的影响外,还受其它环境因素如日照和霜等的影响有关^[3,10]。

表 4 各站变绿期和旺盛光合期初日与前期平均气温之间的相关回归分析

Table 4 Correlation and regression analyses between greenup/active photosynthesis onset dates and preceding mean air temperatures at each site

站点 Station	变绿期初日与前期平均气温 Greenup onset date and preceding mean air temperature			旺盛光合期初日与前期平均气温 Active photosynthesis onset date and preceding mean air temperature		
	最大相关系数 Maximum correlation coefficient	均方根误差 RMSE	最优回归方程 Optimum regression equation	最大相关系数 Maximum correlation coefficient	均方根误差 RMSE	最优回归方程 Optimum regression equation
盐城	-0.582**	5.3	$y = 63.63 - 4.82x$	-0.747***	6.3	$y = 196.63 - 12.12x$
合肥	-0.686***	4.5	$y = 76.11 - 1.22x$	-0.721***	6.2	$y = 220.57 - 10.19x$
武汉	-0.774***	3.7	$y = 85.96 - 5.38x$	-0.637**	3.4	$y = 178.33 - 5.25x$
屯溪	-0.786***	4.8	$y = 95.71 - 4.59x$	-0.396	—	—

3.2 时间序列外推估计

为了揭示近 10a 来气候变化对我国东部北亚热带植物群落季相变化的影响,利用上述 7 个回归方程和各站点 1997—2006 年的逐日平均气温资料,外推估计出相应站点 1997—2006 年的变绿期和旺盛光合期初日,并重建了 1982—2006 年变绿期和旺盛光合期初日的时间序列。线性趋势分析显示,盐城、武汉和屯溪的变绿期初日均呈显著提前的趋势,平均提前速率分别为 0.29 d/a ($P < 0.05$)、0.47 d/a ($P < 0.05$) 和 0.40 d/a ($P < 0.05$),而合肥变绿期初日的提前趋势不显著。对比表 2 中 1982—1996 年各地变绿期初日的线性趋势,

可以看出,1982—2006年盐城、合肥和屯溪变绿期初日提前的线性趋势明显减小,而武汉变绿期初日提前的线性趋势略有增大(表2,图3)。此外,在2002—2006年期间,盐城、武汉和屯溪变绿期初日均表现出明显推迟的倾向(图3),与各地该时段前期平均气温呈下降的倾向基本一致。

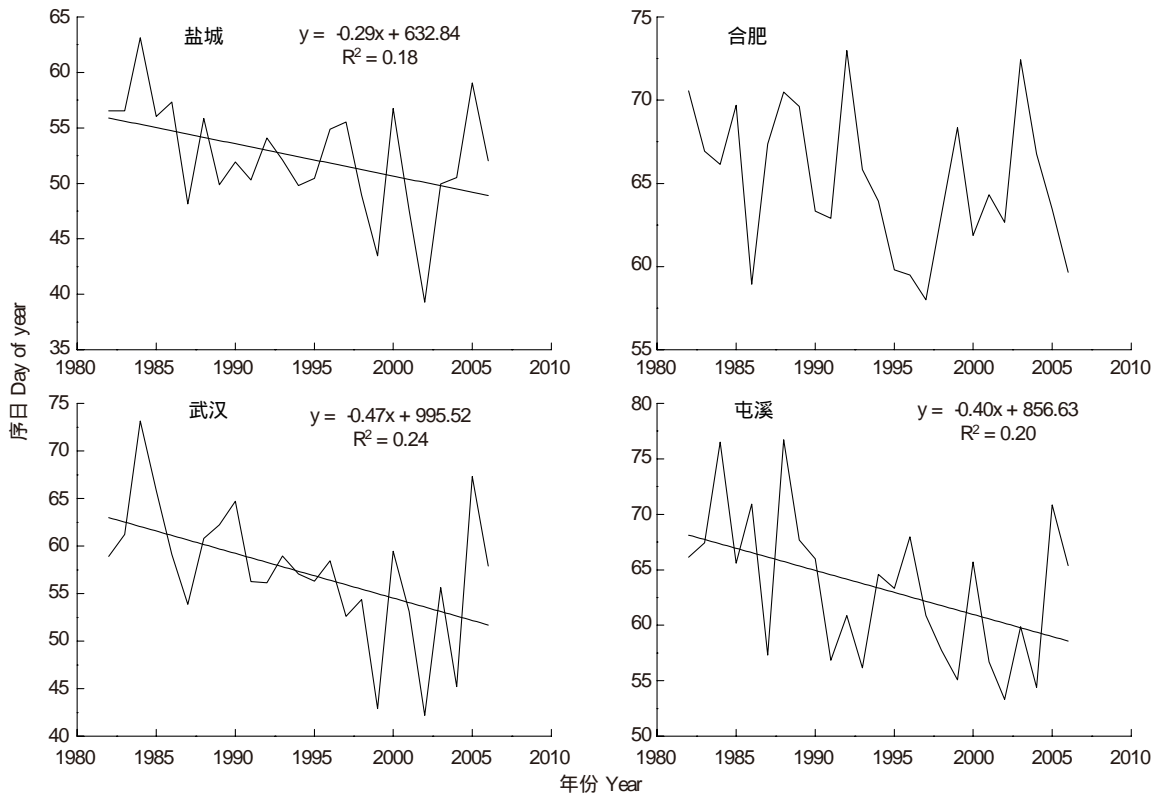


图3 各站变绿期初日的线性趋势

Fig. 3 Linear trends of greenup onset dates at each site

此外,盐城、合肥和武汉的旺盛光合期初日均呈显著提前的趋势,且平均提前速率明显大于变绿期初日,分别达到 1.0 d/a ($P < 0.01$)、 0.85 d/a ($P < 0.01$)和 0.62 d/a ($P < 0.01$)。与1982—1996年旺盛光合期初日的线性趋势相比(表2),1982—2006年合肥和武汉旺盛光合期初日提前的线性趋势明显增大,而盐城旺盛光合期初日提前的线性趋势明显减小(表2,图4)。与变绿期初日相似,2002—2006年各地旺盛光合期初日也呈明显推迟的倾向(图4),与该时段前期平均气温呈下降的倾向基本一致。

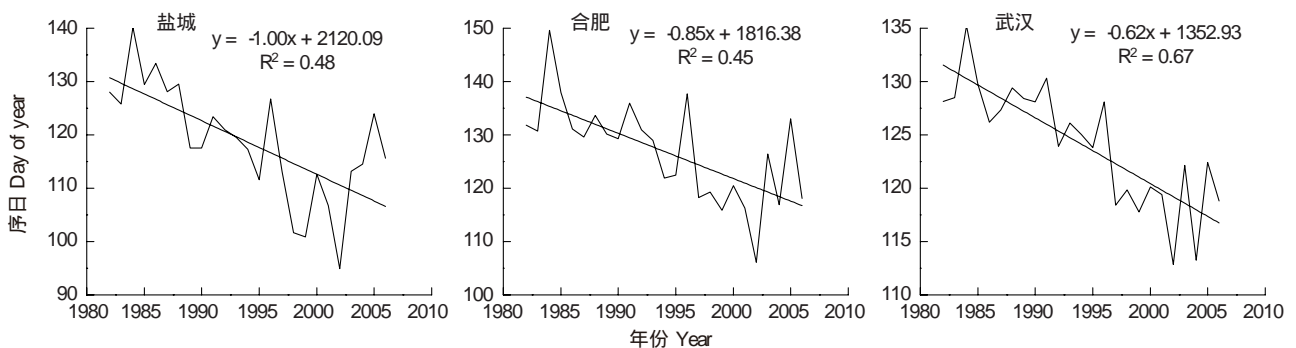


图4 各站旺盛光合期初日的线性趋势

Fig. 4 Linear trends of active photosynthesis onset dates at the each site

4 北亚热带与温带季相阶段的比较

4.1 季相阶段的空间差异

将北亚热带和温带植物群落季相阶段划分结果^[8]的站点均值进行比较,可以发现,北亚热带的变绿期和旺盛光合期初日比温带明显提前,其幅度分别为 18 d 和 15 d;北亚热带凋落期初日比温带略有提前,而休眠期初日则明显推迟,其幅度为 15 d。相应地,北亚热带变绿期、旺盛光合期和凋落期长度均比温带延长,且延长的幅度依次增加;休眠期长度则明显缩短。以变绿期开始到凋落期结束为生长季节,则北亚热带的生长季节比温带延长了 33 d(表 5)。

表 5 北亚热带和温带季相阶段的比较

Table 5 Comparison of aspection stages between the north-subtropical zone and the temperate zone

气候带 Climate zone	变绿期 Greenup stage		旺盛光合期 Active photosynthesis stage		凋落期 Senescence stage		休眠期 Dormancy stage		生长季节 Growing season
	初日 Onset date	长度 Duration	初日 Onset date	长度 Duration	初日 Onset date	长度 Duration	初日 Onset date	长度 Duration	长度 Duration
	温带 Temperate zone	30-19	65	05-23	109	09-09	61	11-09	130
北亚热带 North-subtropical zone	03-01	68	05-08	122	09-07	78	11-24	97	268

4.2 季相阶段的空间演进

为了揭示我国东部北亚热带至温带地区植物群落季相阶段初日和长度的空间演进特征,将北亚热带盐城、合肥、武汉、屯溪 4 个站的季相阶段初日和长度的多年平均值分别与温带哈尔滨、牡丹江、盖县、北京、邢台、洛阳 6 个站的季相阶段初日和长度的多年平均值组成 4 个空间序列($n=7$),建立季相阶段初日和长度与站点纬度之间的线性回归方程。结果表明,在北亚热带 4 个站点与哈尔滨之间,平均变绿期和旺盛光合期初日的纬向变化速率均为正值,且线性回归方程均通过了显著性检验,平均每向北 1 个纬度,变绿期推迟 2.7—4.0 d,旺盛光合期推迟 1.8—2.8 d;平均凋落期和休眠期初日的纬向变化速率均为负值,且各地休眠期初日的线性回归方程均通过了显著性检验,平均每向北 1 个纬度,休眠期提前 2.9—3.3 d。相应的变绿期和旺盛光合期长度的纬向变化速率均为负值,但线性回归方程多不显著;凋落期长度的纬向变化速率也均为负值,且除盐城至哈尔滨之外,均呈显著缩短,平均每向北 1 个纬度,缩短 1.8—2.6 d;休眠期长度的纬向变化速率均为正值,且均呈显著延长,平均每向北 1 个纬度,延长 5.8—7.0 d(表 6)。

表 6 季相阶段初日和长度的纬向变化速率/(d/(°))

Table 6 Latitudinal changing rate of onset date and duration of aspection stages

范围 Range	变绿期 Greenup stage		旺盛光合期 Active photosynthesis stage		凋落期 Senescence stage		休眠期 Dormancy stage	
	初日 Onset date	长度 Duration	初日 Onset date	长度 Duration	初日 Onset date	长度 Duration	初日 Onset date	长度 Duration
	盐城-哈尔滨	3.970***	-1.143	2.779***	-4.575**	-1.796	-1.256	-3.022***
合肥-哈尔滨	3.147***	-0.886	2.217***	-2.874	-0.657	-2.637**	-3.267***	6.439***
武汉-哈尔滨	3.140***	-0.797	2.304***	-3.203	-0.900	-1.998**	-2.874***	6.037***
屯溪-哈尔滨	2.737***	-0.939	1.761**	-3.068	-1.306	-1.778**	-3.062***	5.822***

5 结论与讨论

本文利用植物物候累积频率拟合法对我国东部北亚热带 4 个站点进行了植物群落季相阶段划分的尝试,揭示了季相阶段时空差异的特征,并通过建立气温-物候回归模型,延长了变绿期和旺盛光合期初日的时间序列,主要结论及其讨论如下:

(1) 各站多年平均变绿期、旺盛光合期和休眠期初日均有随海拔高度的升高而推迟的倾向,而多年平均季相阶段长度的空间差异特征不明显。休眠期初日随海拔升高而推迟的事实表明,树木秋季叶变色和落叶除

受到气温变化的影响外,还与光照和霜等其它环境因素有关^[3,10],从而使得海拔升高引起的气温下降对秋季物候期提早的影响有所削弱,具体的生态物候机制有待进一步研究。

(2)在季相阶段的线性趋势变化方面,各站 1982—1996 年期间变绿期初日以提前为主,长度以延长为主;旺盛光合期和凋落期初日均以提前为主,长度延长与缩短参半,但同一站点两种季相阶段长度趋势变化的方向正好相反;休眠期初日提前与推迟参半,长度以缩短为主。

(3)各站变绿期和旺盛光合期初日与前期平均气温大多呈显著负相关关系,而凋落期和休眠期初日与前期平均气温的相关性均不显著,这一结果与温带地区一致,说明无论在温带还是亚热带,生长季节前半段的植物群落季相变化主要受到气温的控制。基于最优回归方程外推重建的 1982—2006 年变绿期和旺盛光合期初日时间序列显示,盐城、武汉和屯溪的变绿期初日呈显著提前的趋势,盐城、合肥和武汉的旺盛光合期初日也呈显著提前的趋势。

(4)从北亚热带各站到温带北部的哈尔滨,平均每向北 1 个纬度,变绿期和旺盛光合期初日分别显著推迟 2.7—4.0 d 和 1.8—2.8 d,而长度均呈缩短的趋势但多不显著;凋落期初日提前不显著,但长度显著缩短 1.8—2.6 d(盐城至哈尔滨除外);休眠期初日显著提前 2.9—3.3 d,且长度显著延长 5.8—7.0 d。总体上看,上述结果符合植物物候期空间变化的一般规律^[35],即在生长季节前半段,低纬地区的植物物候早于高纬地区;在生长季节后半段,高纬地区的植物物候早于低纬地区。值得指出的是,植物群落季相的空间演进速率比单种植物物候期的空间演进速率所体现的物候季节变化更为宏观且综合,从而为植物群落物候与卫星遥感相结合的大尺度植被生长季节时空外推估计,提供了地面实况的可靠信息^[17-20]。

References:

- [1] Wang J Y. *Agricultural Meteorology*. Milwaukee: Pacemaker Press, 1963: 108-108.
- [2] Schnelle F. *Die Vegetationszeit von Waldbaeumen in Deutschen Mittelgebirgen*. Erlangen: Selbstverlag der Fränkischen Geographischen Gesellschaft in Kommission bei Palm and Enke, 1973: 5-5.
- [3] Chmielewski F M, Rötter T. Response of tree phenology to climate change across Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2001, 108(2): 101-112.
- [4] Chen X Q, Hu B, Yu R. Spatial and temporal variation of phenological growing season and climate change impacts in temperate eastern China. *Global Change Biology*, 2005, 11(7): 1118-1130.
- [5] Zhu K Z, Wan M W. *Phenology*. Beijing: Science Press, 1980: 62-68.
- [6] Yang G D, Chen X Q. A preliminary study on phenological seasons in the Beijing area. *Journal of Beijing Teachers' College*, 1980, 1(2): 110-119.
- [7] Chen X Q, Cao Z P. Frequency distribution pattern of plant phenophases and its application to season determination. *Scientia Geographica Sinica*, 1999, 19(1): 21-27.
- [8] Chen X Q, Han J W. Seasonal aspect stages of plant communities and its spatial-temporal variation in temperate eastern China. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(2): 336-346.
- [9] Chen X Q, Pan W F. Relationships among phenological growing season, time-integrated normalized difference vegetation index and climate forcing in the temperate region of eastern China. *International Journal of Climatology*, 2002, 22(14): 1781-1792.
- [10] Menzel A. Plant phenological anomalies in germany and their relation to air temperature and NAO. *Climate Change*, 2003, 57(3): 243-263.
- [11] Hatta H, Damaedi D. *Phenology and Growth Habits of Tropical Trees*. Tokyo: National Science Museum, 2005.
- [12] Gordo O, Sanz J J. Long-term temporal changes of plant phenology in the Western Mediterranean. *Global Change Biology*, 2009, 15(8): 1930-1948.
- [13] Gordo O, Sanz J J. Impact of climate change on plant phenology in Mediterranean ecosystems. *Global Change Biology*, 2010, 16(3): 1082-1106.
- [14] Menzel A, Sparks T H, Estrella N, Koch E, Aasa A, Ahas R, Alm-Kübler K, Bissolli P, Braslavskú O, Briede A, Chmielewski F M, Crepinsek Z, Curnel Y, Dahl Å, Defila C, Donnelly A, Filella Y, Jatczak K, Måge F, Mestre A, Nordli Ø, Peñuelas J, Pirinen P, Remišová V, Scheffinger H, Striz M, Susnik A, van Vliet A J H, Wielgolaski F E, Zach S, Züst A. European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology*, 2006, 12(10): 1969-1976.
- [15] Gu L H, Post W M, Baldocchi D D, Black T A, Verma S B, Vesala T, Wofsy S C. *Phenology of vegetation photosynthesis*// Schwartz M, ed. *Phenology: An Integrative Environmental Science*. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers, 2003: 467-485.
- [16] Chen X Q. *Assessing phenology at the biome level*// Mark S, ed. *Phenology: An Integrative Environmental Science*. Dordrecht, Boston, London:

- Kluwer Academic Publishers, 2003; 285-300.
- [17] Chen X Q, Tan Z J, Schwartz M D, Xu C X. Determining the growing season of land vegetation on the basis of plant phenology and satellite data in Northern China. *International Journal of Biometeorology*, 2000, 44(2): 97-101.
- [18] Chen X Q, Xu C X, Tan Z J. An analysis of relationships among plant community phenology and seasonal metrics of Normalized Difference Vegetation Index in the northern part of the monsoon region of China. *International Journal of Biometeorology*, 2001, 45(4): 170-177.
- [19] Chen X Q, Yu R. Spatial and temporal variations of the vegetation growing season in warm-temperate eastern China during 1982 to 1999. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(1): 41-51.
- [20] Ding D, Chen X Q. A study on surface validation of the satellite-derived vegetation growing season in China: a case of the temperate steppe area and the warm temperate deciduous broad-leaved forest area. *Remote Sensing Technology and Application*, 2007, 22(3): 382-388.
- [21] Lieth H. *Phenology and Seasonality Modeling*. New York: Springer-Verlag, 1974; 8-8.
- [22] Menzel A, Fabian P. Growing season extended in Europe. *Nature*, 1999, 397(6721): 659-695.
- [23] Bradley N L, Leopold A C, Ross J, Huffaker W. Phenological changes reflect climate change in Wisconsin. *Proceedings of National Academy of Sciences*, 1999, 96(17): 9701-9704.
- [24] Beaubien E G, Freeland H J. Spring phenology trends in Alberta, Canada: links to ocean temperature. *International Journal of Biometeorology*, 2000, 44(2): 53-59.
- [25] Schwartz M D, Chen X Q. Examining the onset of spring in China. *Climatic Research*, 2002, 21(2): 157-164.
- [26] Zheng J Y, Ge Q S, Hao Z X. Climate change impacts to plant phenological changes in China in recent 40 years. *Chinese Science Bulletin*, 2002, 47(20): 1582-1587.
- [27] Wolfe D W, Schwartz M D, Lakso A N, Otsuki Y, Pool R M, Shaulis N J. Climate change and shifts in spring phenology of three horticultural woody perennials in northeastern USA. *International Journal of Biometeorology*, 2005, 49(5): 303-309.
- [28] Institute of Geography at Chinese Academy of Sciences. *Yearbook of Chinese Animal and Plant Phenological Observation No. 1*. Beijing: Science Press, 1963.
- [29] Institute of Geography at Chinese Academy of Sciences. *Yearbook of Chinese Animal and Plant Phenological Observation No. 8*. Beijing: Geology Press, 1988.
- [30] Institute of Geography at Chinese Academy of Sciences. *Yearbook of Chinese Animal and Plant Phenological Observation No. 9*. Beijing: Geology Press, 1989.
- [31] Institute of Geography at Chinese Academy of Sciences. *Yearbook of Chinese Animal and Plant Phenological Observation No. 10*. Beijing: Survey and Mapping Press, 1989.
- [32] Institute of Geography at Chinese Academy of Sciences. *Yearbook of Chinese Animal and Plant Phenological Observation No. 11*. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1992.
- [33] Yang G D, Chen X Q. *Phenological Calendars and Their Applications in the Beijing Area*. Beijing: Capital Normal University Press, 1995.
- [34] Matsumoto K, Ohta T, Irasawa M, Nakamura T. Climate change and extension of the *Ginkgo biloba* L. growing season in Japan. *Global Change Biology*, 2003, 9(11): 1634-1642.
- [35] Gong G F, Jin W M. On the geographical distribution of phenolate in China. *Acta Geographica Sinica*, 1983, 38(1): 33-40.

参考文献:

- [5] 竺可桢, 宛敏渭. 物候学. 北京: 科学出版社, 1980; 62-68.
- [6] 杨国栋, 陈效速. 北京地区物候季节的初步研究. 北京师院学报: 自然科学版, 1980, 2: 110-119.
- [7] 陈效速, 曹志萍. 植物物候期的频率分布型及其在季节划分中的应用. 地理科学, 1999, 19(1): 21-27.
- [8] 陈效速, 韩建伟. 我国东部温带植物群落的季相及其时空变化特征. 植物生态学报, 2008, 32(2): 336-346.
- [19] 陈效速, 喻蓉. 1982—1999年我国东部暖温带植被生长季节的时空变化. 地理学报, 2007, 62(1): 41-51.
- [20] 丁登, 陈效速. 我国遥感植被生长季节的地面检验研究——以温带草原和暖温带落叶阔叶林区为例. 遥感技术与应用, 2007, 22(3): 382-388.
- [26] 郑景云, 葛全胜, 郝志新. 气候变暖对我国近40年植物物候变化的影响. 科学通报, 2002, 47(20): 1582-1587.
- [28] 中国科学院地理研究所. 中国动植物物候观测年报第1号. 北京: 科学出版社, 1963.
- [29] 中国科学院地理研究所. 中国动植物物候观测年报第8号. 北京: 地质出版社, 1988.
- [30] 中国科学院地理研究所. 中国动植物物候观测年报第9号. 北京: 地质出版社, 1989.
- [31] 中国科学院地理研究所. 中国动植物物候观测年报第10号. 北京: 测绘出版社, 1989.
- [32] 中国科学院地理研究所. 中国动植物物候观测年报第11号. 北京: 中国科学技术出版社, 1992.
- [33] 杨国栋, 陈效速. 北京地区的物候日历及其应用. 北京: 首都师范大学出版社, 1995.
- [35] 龚高法, 简慰民. 我国植物物候期的地理分布. 地理学报, 1983, 38(1): 33-40.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 13 July, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Spatiotemporal variation of plant community aspections in the north-subtropical zone of eastern China	CHEN Xiaoqiu, QI Xiaoran, A Shan, et al (3559)
Seasonal variations and environmental control impacts of evapotranspiration in a hilly plantation in the mountain areas of North China	HUANG Hui, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (3569)
Intra- and inter-specific variations in stem respiration for 14 temperate tree species in northeastern China	XU Fei, WANG Chuankuan, WANG Xingchang (3581)
Assessment of the ecological health of wetlands in Honghe supported by RS and GIS techniques	WANG Yihan, ZHOU Demin, SUN Yonghua (3590)
Phytoplankton community structure in Qinzhou Bay during flood season by analysis of HPLC photosynthetic pigment signatures	LAN Wenlu, WANG Xiaohui, LI Mingmin (3601)
Irreplaceability-based function zoning of nature reserves in the Three Rivers Headwater Region of Qinghai Province	QU Yi, WANG Xiulei, LUAN Xiaofeng, et al (3609)
Effects of snowmelt timing on individual growth and reproduction of <i>Pedicularis davidii</i> var. <i>pentodon</i> on the eastern Tibetan Plateau	CHEN Wennian, WU Yan, WU Ning, et al (3621)
Response of foliar $\delta^{13}\text{C}$ of <i>Quercus spinosa</i> to altitudinal gradients	FENG QiuHong, CHENG Ruimei, SHI Zuomin, et al (3629)
Soil water and nutrient characteristics of alfalfa grasslands at semi-arid and semi-arid prone to drought areas in southern Ningxia	REN Jingjing, LI Jun, WANG Xuechun, et al (3638)
Aboveground biomass of natural <i>Castanopsis fissa</i> community at the Xiaokeng of NanLing Mountain, Southern China	LI Gen, ZHOU Guangyi, WANG Xu, et al (3650)
Impacts of grazing on herbage quality of the alpine and subalpine meadows within Wutai Mountain	ZHANG Yiping, JIANG Yuan, LIU Quanru, et al (3659)
Short-term effects of warming on growth and stoichiometrical characteristics of <i>Abies fabiri</i> (Mast.) Craib seedling in Gongga mountain	YANG Liudong, YANG Yan, WANG Genxu, et al (3668)
Manganese stress on morphological structures of leaf and ultrastructures of chloroplast of a manganese hyperaccumulator, <i>Phytolacca americana</i>	LIANG Wenbin, XUE Shengguo, SHEN Jihong, et al (3677)
Allelopathic potential of volatile oil from <i>Chenopodium ambrosioides</i> L. on root tip cells of <i>Vicia faba</i>	HU WanJun, MA Danwei, WANG Yanan, et al (3684)
Contents and cycling of microelements in Karst urban poplar plantations	WANG Xinkai, TIAN Dalun, YAN Wende, et al (3691)
Fungal flora and population structure of polypores in the Great Xingan Mountains	CUI Baokai, YU Changjun (3700)
Growth competition characteristics of <i>Microcystis aeruginosa</i> Kutz and <i>Scenedesmus obliquus</i> (Turp.) Kutz under non-steady-state nutrient limitation	ZHAO Xiaodong, PAN Jiang, LI Jinye, et al (3710)
The characters of salt-tolerance at different growth stages in cotton	WANG Junjuan, WANG Delong, FAN Weili, et al (3720)
Assessment of tributyltin ecotoxicity using a model animal nematode <i>Caenorhabditis elegans</i>	WANG Yun, YANG Yanan, JIAN Fenglei, et al (3728)
Effect of oil exploitation on soil nematode communities in Daqing Oilfield	XIAO Nengwen, XIE Deyan, WANG Xuexia, et al (3736)
Effect of habitat degradation on soil meso- and microfaunal communities in the Zoigê Alpine Meadow, Qinghai-Tibetan Plateau	WU Pengfei, YANG Daxing (3745)
Characteristics of the soil environment of Dongting Lake wetlands and its response to the converting farmland to lake project	LIU Na, WANG Kelin, XIE Yonghong, et al (3758)
Modeling the changes of yield and deep soil water in apple orchards in Weibei rainfed highland	ZHANG Shehong, LI Jun, WANG Xuechun, et al (3767)
Potential soil N_2O emissions and its controlling factors under different land use patterns on hilly-gully loess plateau	QI Jinhua, HUANG Yimei, ZHANG Hong, et al (3778)
Comparison between physiological properties and cold tolerance under low temperature treatment during different growing stages of rice in northeast central region of China	SONG Guangshu, SUN Zhongfu, SUN Lei, et al (3788)
Effect of sulfur on chlorophyll fluorescence of flue-cured tobacco at maturation stage	ZHU Yinghua, TU Naimei, XIAO Hanqian, et al (3796)
Effects of high temperature and strong light on chlorophyll fluorescence, the D1 protein, and Deg1 protease in Satsuma mandarin, and the protective role of salicylic acid	QIU Cuihua, JI Weiwei, GUO Yanping (3802)
Effect of plastic film mulching on the distribution and translocation of nitrogen in soil-lettuce system	LI Lili, LI Feili, LIU Qiuya, et al (3811)
An analysis on spatio-temporal dynamics of suitable habitats for waterbirds based on spatial zonation at Chongming Dongtan, Shanghai	FAN Xuezhong, ZHANG Liqun, YUAN Lin, et al (3820)
The bryophyte consumed by reindeers and species diversity of bryophyte in reindeer habitats	FENG Chao, BAI Xueliang (3830)
Evaluation of rainwater runoff storage by urban green spaces in Beijing	ZHANG Biao, XIE Gaodi, XUE Kang, et al (3839)
Review and Monograph	
Advances in methane-cycling microbial communities of permafrost and their response to global change	NI Yongqing, SHI Xuwei, ZHENG Xiaoji, et al (3846)
Heat transfer property of mammal pelage and its influencing factors	ZHENG Lei, ZHANG Wei, HUA Yan (3856)

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 13 期 (2011 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 13 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
主 管 中国科学技术协会
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

Editor-in-chief FENG Zong-Wei
Supervised by China Association for Science and Technology
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@espg.net

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

订 购 全国各地邮局
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

Domestic All Local Post Offices in China
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