

近 50 年北京树木物候对气候变化的响应

徐雨晴^{1,2}, 陆佩玲¹, 于 强^{3*}

(1. 北京林业大学资源与环境学院, 北京 100083; 2. 中国科学院植物研究所植被数量生态学重点实验室, 北京 100093; 3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 采用统计学方法探讨了北京地区 1963~1988 年间 20 种树木芽萌动期及 1950~2000 年间 4 种树木开花期的变化及其对气温变化的响应情况。结果表明, 北京树木芽萌动的早晚主要受冬季气温的影响, 冬季及秋末气温的升高使春芽萌动有提前的效应。萌芽早的树木萌动期长, 萌芽晚的树木萌动期短, 前者对温度的变化反应更敏感, 且前者的萌动期长度随着萌动期间(主要在早春)气温的升高而缩短, 后者的萌动期长度随着初冬、秋末平均最低气温的升高而延长。始花前 2~9 旬, 特别是前 5 旬(主要是 3~4 两个月), 气温对始花期影响最显著, 该时段内始花期对气温的变化反应最敏感。北京春温升高开花期提前, 春温每升高 1℃, 开花期平均提前 3.6 天。春季树木开花物候与春季气温的年际、年代间的波动基本对应, 但波动幅度不一致。

关键词: 萌动; 开花; 物候; 气候变化; 响应

文章编号: 1000-0585(2005)03-0412-09

1 引言

一般情况下, 植物物候的早晚波动主要受气温影响: 春季芽的萌动主要受临界低温的影响, 低温有利于打破芽的休眠^[1]; 春季树木的展叶、开花主要受春季气温升高的影响; 秋季的树木开花和黄落叶等主要是由于气温下降到一定的界限引起的^[2]。近几十年来, 许多地区的气温都发生了显著的变化, 并使植物开始和结束生长的日期发生了相应的变化, 植物对全球变暖的响应表现为春季物候期提前, 秋季物候期推迟, 生长季相对延长^[2~6]。

植物物候期的早晚与气温状况息息相关, 在植物各生长发育期的前期, 各种物候期的开始日期与其前期气温之间有显著的相关性^[3,7]。在国外, 特别是在欧洲, 对这方面的研究比较全面且深入, 但在我国却尚少涉及。本文利用中国科学院物候观测网络的物候资料及现代气象资料分析了北京地区物候期早晚与气温高低之间的相关关系, 重点探讨北京 20 种树木萌动期(1963~1988 年)及 4 种树木开花期(1950~2000 年)与气温之间的相关性, 意在探求出春季树木物候对气候变化的响应情况及最显著响应的时段。本研究是建立在国内外花期对气候变化的响应研究的基础上, 主要用相关分析法探讨开花期和萌芽期对气温变化的响应。

收稿日期: 2004-03-02; 修订日期: 2004-07-02

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(49890330)

作者简介: 徐雨晴(1977-), 女, 湖北浠水县人, 博士生。主要从事气候变化方面的研究。

*通讯作者: 于强(1962-), 男, 博士, 研究员, 博士生导师。E-mail: yuq@igsnr.ac.cn

2 资料简介

本研究中,北京站点位于 40°11' N, 116°20' E, 海拔 50~60 m, 所用的物候资料取自中国科学院物候观测网。依据序列长、连续性较好、物候现象较为明显、易于观测且在北京普遍分布的原则选取了 2 种物候期: 芽萌动期、开花期及以下树种: 加拿大杨 (*Populus canadensis* Moench)、板栗 (*Castanea mollissima* Blume.)、榆树 (*Ulmus pumila* L.)、桑树 (*Morus alba* L.)、玉兰 (*Magnolia denudata* Desr.)、杏树 (*Prunus armeniaca* L.)、山桃 (*Prunus salicina* Lindl.)、合欢 (*Albizzia julibrissin* Durazz.)、紫荆 (*Cercis chinensis* Bge.)、槐树 (*Sophora japonica* L.)、刺槐 (*Robinia pseudoacacia* L.)、紫藤 (*Wistaria sinensis* Sweet.)、栾树 (*Koelreuteria paniculata* Laxm.)、木槿 (*Hibiscus syriacus* L.)、梧桐 (*Firmiana simplex* W. F. Wight)、紫薇 (*Lagerstroemia indica* L.)、紫丁香 (*Syringa amurensis* Rupr.)、白蜡 (*Fraxinus chinensis* Roxb.)、旱柳 (*Salix matsudana* Koidz.)、臭椿 (*Ailanthus altissima* Swingle.)。所用的气象资料来自中国气象局整编的同期逐日气温资料。

3 结果与结论

3.1 树木芽萌动期与气温之间的关系

3.1.1 树木芽膨大期对其前期气温变化的响应 满足一定的低温条件后芽才能被打破休眠,才具有生长能力,解除休眠后萌芽的早晚与气温的高低息息相关。近几十年来,全球的气温发生了明显的升高^[8-10],这对芽萌动期可能会产生影响。为了探求出芽萌动期对气温变化的响应,首先分析了 1963~1988 年间北京地区 20 种树木芽的萌动期的变化趋势(见表 1)。

表 1 北京树木芽萌动期变化趋势

Tab 1 Changing trends of budding period in Beijing

树木名称	榆树	旱柳	山桃	加杨	紫丁香	杏树	紫荆	玉兰	刺槐	桑树
始膨大期 (月-日)	2-21	3-2	3-2	3-5	3-8	3-14	3-20	3-20	3-23	3-24
膨大期变化系数	0.044	0.613 **	0.214	0.643 **	-0.328	0.498 *	-0.112	0.36	-0.007	-0.424 *
萌动期长度 (天)	51	35	36	39	29	34	31	28	28	31
长度变化系数	0.099	-0.497 *	-0.253	-0.358	0.281	-0.497 *	0.242	-0.305	0.242	0.489 *
树木名称	白蜡	栾树	臭椿	木槿	紫藤	板栗	槐树	梧桐	合欢	紫薇
始膨大期 (月-日)	3-26	3-27	3-31	3-31	3-31	4-4	4-7	4-8	4-13	4-16
膨大期变化系数	0.179	0.128	-0.173	-0.242	-0.111	0.23	0.460 *	-0.440 *	0.323	-0.007
萌动期长度 (天)	25	19	23	27	29	21	17	24	23	22
长度变化系数	-0.135	0.063	-0.029	0.266	0.294	-0.309	0.038	0.459 *	-0.313	0.327

注: ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$, 正值表示该物候有推迟(延长)趋势,负值表示该物候有提前(缩短)趋势(以下表同)。 2-21: 表示多年平均日期是 2 月 21 日。

各树木的萌芽早晚差异较大,但多数集中在 3 月上旬至 3 月下旬。萌芽期的多年变化趋势不一致,本研究从中选取了有显著变化趋势的树种进行分析,进一步探讨了梧桐芽膨大期(4-8)及槐树芽膨大期(4-7)与 4 月上旬以前、桑芽膨大期(3-24)与 3 月中旬以

前多旬气温之间的相关关系（见表 2），结果显示，春季树木芽膨大期与萌动前冬季及秋末气温之间有显著的相关性，而与春季气温之间几乎没有显著的相关性。即北京树木芽的萌动早晚主要受萌动前冬季气温高低的影响，而受春季气温波动的影响很小，冬季及秋末气温的升高使芽提前萌动。此外，萌芽较早的物种主要受冬季平均最低气温而不是平均最高气温的影响。

树木萌芽前气温最显著升高的时期与芽萌动最显著提前的时期并不对应。芽的膨大期与萌动前的气温之间几乎都成负相关关系，即萌芽前的气温升高有利于芽的萌动期提前到来。比较特殊的是槐树和桑树，它们的芽的膨大期与气温之间有一定的正相关，特别是与平均最低温度之间，虽然相关性没有达到显著性水平，但其生理意义不可忽视，即低温有利于打破休眠而使芽萌动期提前，此处的最低温度可能就是打破休眠的临界低温。

3.1.2 北京树木芽萌动期长度对气温变化的响应 为了探讨芽萌动期长度与气温之间的关系，分析了 1963~1988 年间北京 20 种树木芽萌动期的变化趋势及其与萌动结束前的气温之间的关系。如表 1 所示，树木芽萌动期长短不一，从 17 天到 51 天。这些树木中，只有梧桐、桑树、杏和旱柳的萌动期有明显的变化趋势。前两者有延长趋势，而后两者有缩短趋势。

表 2 芽萌动期与萌动前气温之间的相关关系

Tab 2 The correlation between budding dates and pre-budding air temperature

	梧 桐			槐 树			桑 树		
	T _{ave}	T _{max}	T _{min}	T _{ave}	T _{max}	T _{min}	T _{ave}	T _{max}	T _{min}
4 月上旬	-0.250	-0.201	-0.238	0.090	0.060	0.249			
~3 下旬	-0.129	-0.085	-0.182	-0.233	-0.324	0.003			
~3 中旬	-0.036	-0.012	-0.085	-0.418	-0.504 *	-0.169	-0.118	-0.067	0.009
~3 月上旬	-0.096	-0.049	-0.160	-0.378	-0.489 *	-0.129	-0.064	-0.001	0.098
~2 下旬	-0.200	-0.154	-0.219	-0.452 *	-0.540 *	-0.224	-0.155	-0.033	-0.122
~2 中旬	-0.280	-0.213	-0.316	-0.403	-0.542 *	-0.109	-0.131	0.043	-0.189
~2 月上旬	-0.448 *	-0.381	-0.449 *	-0.194	-0.393	0.104	-0.298	-0.115	-0.347
~1 下旬	-0.481 *	-0.448 *	-0.448 *	-0.133	-0.296	0.101	-0.332	-0.134	-0.372
~1 中旬	-0.415	-0.406	-0.358	-0.137	-0.324	0.101	-0.376	-0.149	-0.396
~1 月上旬	-0.428 *	-0.398	-0.371	-0.161	-0.353	0.070	-0.442 *	-0.177	-0.454 *
~12 下旬	-0.379	-0.355	-0.337	-0.203	-0.392	0.010	-0.430 *	-0.217	-0.432 *
~12 中旬	-0.419	-0.360	-0.393	-0.220	-0.422	0.006	-0.446 *	-0.233	-0.437 *
~12 月上旬	-0.481 *	-0.458 *	-0.431 *	-0.217	-0.438	0.013	-0.459 *	-0.246	-0.450 *
~11 下旬	-0.518 *	-0.511 *	-0.438 *	-0.194	-0.393	0.020	-0.479 *	-0.230	-0.480 *
~11 中旬	-0.472 *	-0.466 *	-0.395	-0.188	-0.367	0.027	-0.494 *	-0.264	-0.484 *
~11 月上旬	-0.508 *	-0.519 *	-0.413	-0.143	-0.336	0.068	-0.510 *	-0.303	-0.466 *

注：T_{ave}：平均气温，T_{max}：平均最高气温，T_{min}：平均最低气温（以下表同）。

芽萌动期是从芽开始膨大物候相出现之日起至展叶始物候相出现之日止的时期^[11]。本研究选取了 1963~1988 年间北京地区萌动期发生了显著性变化的物种，主要分析了旱柳萌动期（3-2~4-5）与 4 月上旬以前，杏树萌动期（3-14~4-17）与 4 月中旬以前，梧桐萌动期（4-8~5-2）、桑萌动期（3-24~4-24）与 4 月下旬以前（见表 3）多旬平均气温、

平均最高气温和平均最低气温变化之间的关系, 分析结果及结论如下:

旱柳的芽萌动和结束都较早, 萌动期所持续的天数相对较长(见表 1)。旱柳芽的萌动长度与萌动期间的气温(特别是平均最高气温及平均最低气温)之间相关性较强, 而与萌动前(秋末、冬季)的气温之间的相关性不强, 随着离萌动期的逐渐远离, 相关性逐渐减弱。芽萌动期长度随着芽萌动期间气温的升高而缩短。

表 3 芽萌动期长度与展叶(结束萌动)前气温之间的相关关系

Tab 3 The correlation between budding days and air temperature before leaf expansion

	梧 桐			桑 树			旱 柳		
	T _{ave}	T _{max}	T _{min}	T _{ave}	T _{max}	T _{min}	T _{ave}	T _{max}	T _{min}
4 月下旬	-0.213	-0.197	-0.335	-0.007	-0.032	-0.031			
~4 中旬	-0.253	-0.259	-0.322	0.038	-0.066	0.159			
~4 月上旬	-0.129	0.168	-0.133	-0.017	-0.111	0.123	-0.626 **	-0.596 **	-0.611 **
~3 月下旬	-0.191	-0.228	-0.144	-0.105	-0.227	0.056	-0.632 **	-0.561 **	-0.645 **
~3 月中旬	-0.222	-0.255	-0.167	-0.098	-0.217	0.020	-0.625 **	-0.569 **	-0.620 **
~3 月上旬	-0.157	-0.222	-0.066	-0.111	-0.252	0.011	-0.543 *	-0.468 **	-0.526 *
~2 月下旬	-0.043	-0.117	0.045	0.032	-0.222	0.147	-0.439	-0.322	-0.462 *
~2 月中旬	0.033	-0.046	0.101	0.009	-0.203	0.207	-0.373	-0.255	-0.384
~2 月上旬	0.144	0.058	0.199	0.095	-0.123	0.290	-0.386	-0.232	-0.387
~1 月下旬	0.171	0.104	0.205	0.117	-0.112	0.300	-0.351	-0.162	-0.391
~1 月中旬	0.119	0.056	0.135	0.128	-0.133	0.300	-0.382	-0.160	-0.421
~1 月上旬	0.144	0.063	0.164	0.218	-0.085	0.387	-0.327	-0.085	-0.364
~12 月下旬	0.096	0.014	0.119	0.238	-0.034	0.370	-0.232	0.020	-0.304
~12 月中旬	0.136	0.020	0.179	0.278	-0.008	0.403	-0.213	0.045	-0.295
~12 月上旬	0.196	0.096	0.219	0.345	0.062	0.450 *	-0.206	0.037	-0.275
~11 月下旬	0.192	0.112	0.194	0.347	0.048	0.453 *	-0.228	0.037	-0.301
~11 月中旬	0.147	0.066	0.158	0.363	0.083	0.452 *	-0.192	0.112	-0.299
~11 月上旬	0.177	0.096	0.182	0.402	0.127	0.465 *	-0.187	0.097	-0.277

梧桐和桑树的芽开始和结束萌动都较晚, 整个萌动期长度相对较短。桑树萌动期长度与上年秋末、初冬到萌动结束期间的平均最低气温之间有显著的相关性, 与此期间的平均气温及平均最高气温之间的相关性弱。故萌动晚、萌动期长度较短的物种对平均气温及平均最高气温的变化反应不敏感, 而对平均最低气温的变化反应敏感, 且上年初冬、秋末的平均最低气温的升高使部分树种的萌动期有延长的趋势。

故此, 萌动早、萌动期长的树木芽的萌动期长度比萌动晚、萌动期短的树木芽的萌动期长度对温度的变化反应更敏感。前者受萌动期间平均气温、平均最高气温及平均最低气温 3 种温度的影响, 芽萌动期长度随之升高而缩短; 后者受初冬、秋末的平均最低气温的影响, 芽萌动期长度随之升高而延长。

1963~1988 年, 萌动结束前平均气温, 平均最低气温及平均最高气温都升高了, 其中平均最低气温有显著的升高, 而平均最高气温升高不显著。温度升高最显著的时期与芽萌动期长度最大变化的时期并不完全对应。芽萌动结束前的平均气温及平均最低气温最显

著升高时，对应的芽萌动长度变化不是最大，即平均气温及平均最低气温与芽萌动长度变化不相对应；芽萌动结束前的平均最高气温变化最显著时，对应着萌动期长度变化最大，即平均最高温度与芽萌动期长度变化相对应。

3.2 树木始花期与气温之间的关系

3.2.1 树木始花期与其前多旬气温之间的关系 1950~2000年，山桃始花期(3-26)与3月下旬以前、杏始花期(4-5)与4月上旬以前及紫丁香始花期(4-13)与4月中旬以前的多旬气温之间有显著的相关性(相关系数如图1所示)，温度越高开花越早。始花前2~9旬气温的高低对始花期的早晚影响非常大，特别是始花前5旬的气温对之影响最大，可以认为该时段是始花物候对气温变化反应最敏感的时段。

3.2.2 树木始花期与不同季节的气温之间的关系 本研究中划分有4个季节，由于不同物种在春季开花期早晚差异较大，又把春季进一步划分为早春和晚春。为了找出气温对始花期产生显著影响的季节，对始花期与其前期不同季节的气温之间做了相关分析。如表4所示，北京树木始花期与始花前春季气温之间有极显著的负相关性，与上年冬、夏、秋季气温间的相关性依次减弱。早春(3~4两个月)的气温对始花期影响最大，越远离始花期，温度对始花期的影响越弱。故此，始花期的早晚与春季，特别是早春气温的高低关系最密切，与冬季气温次之。春温及冬温的升高使始花期有提前的效应。

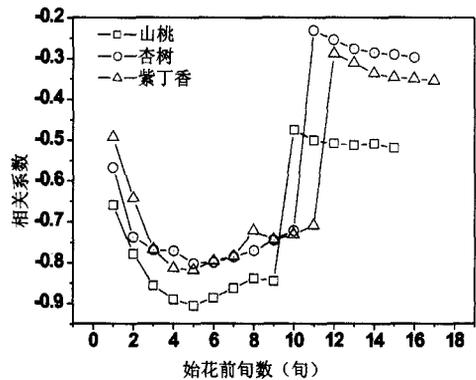


图1 3种树木始花期与始花前气温间的相关系数
Fig.1 The correlation coefficient between first-flowering dates of three species and pre-flowering air temperature

表4 树木始花期与不同季节的气温之间的相关关系

Tab 4 The correlation between first-flowering dates and air temperature in different seasons

	T ₃₋₅	T ₃₋₄	T ₄₋₅	T _{6-8(上1年)}	T _{9-11(上1年)}	T _{上12-当2}
山桃	-0.750 **	-0.798 **	-0.426 **	-0.386 **	-0.281	-0.292 *
杏树	-0.673 **	-0.708 **	-0.437 **	-0.198	-0.080	-0.315 *
紫丁香	-0.802 **	-0.819 **	-0.634 **	-0.292 *	-0.146	-0.414 *

注：T₃₋₅：当年3~5月平均气温；T_{上12-当2}：上年12月~当年2月平均气温。

3.2.3 树木春季开花期对春季气温变化的响应 1950~2000年，北京春季气温有上升趋势，树木物候相应地表现有提前趋势。以上分析出春季气温对始花期的影响最大，为了解具体的影响程度，对北京50年间山桃、杏树、紫丁香的始花期及刺槐盛花期与春季(3~5月)气温之间的关系做了更进一步的探讨。如图2、3所示，北京树木春季开花物候与春季气温之间有极显著的相关性，各树木开花期随着春季气温的升高而提前，具体表现为春季气温每升高1℃，山桃始花期提前4.4天、杏始花期提前3.1天、紫丁香始花期提前4.1天、刺槐盛花期提前3.3天，北京树木春季开花期平均提前3.6天。

北京树木春季开花物候的年际波动与春季气温的年际波动基本对应，特别是70年代

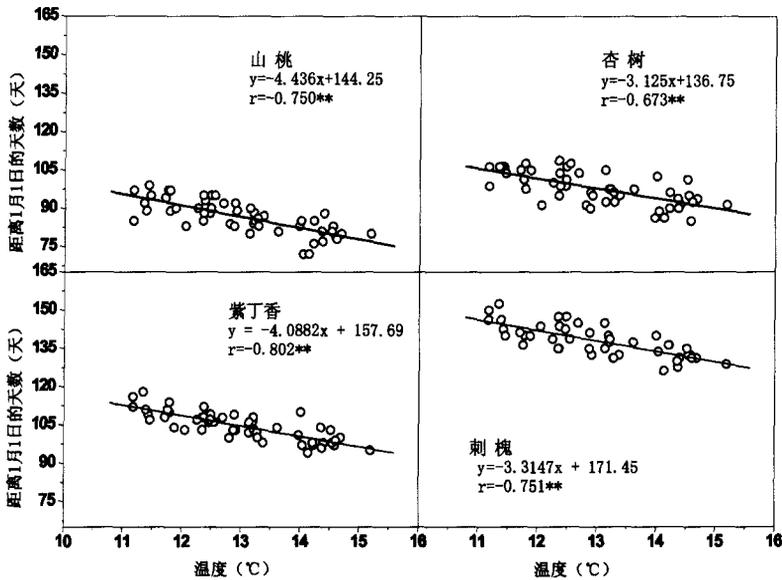


图 2 四种树木开花期与春季气温之间的关系

Fig. 2 The relationship between four tree flowering dates and air temperature in spring

以后，这种对应关系更加明显，它们之间成负相关，即春季气温升高的年份对应春季开花物候提前的年份，春季气温降低的年份对应着春季开花物候推迟的年份（见图 3）。

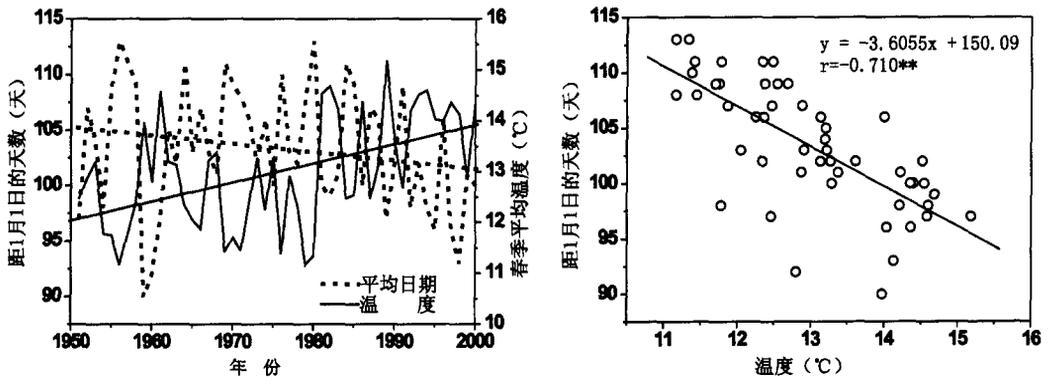


图 3 春季气温与 4 种树木春季物候平均值的变化趋势及相关关系

Fig. 3 Changing trends and correlation between air temperature and average days of four tree phenology in spring

另外，北京地区春季开花物候与春季气温随年代间的波动对应也较好。上世纪 50 ~ 60 年代，春季平均气温随年代升高，此期间春季开花物候提前；60 ~ 70 年代，春季平均气温随年代降低，春季开花物候相应推迟；70 年代以后，春季平均气温随年代持续上升，春季开花物候相应地一直持续有提前趋势。但是，对应的各年代的春季开花物候值与春季

平均气温值差异幅度不一致，如 50~80 年代，春季气温随年代有较大幅度的上升，但物候期的提前幅度却相对较小。90 年代，春季气温较 80 年代升幅小，但物候的提前幅度却相对要大一些，总体来说，各年代间春季气温平均值的差异幅度大，而开花物候期平均值的差异幅度则相对较小（见图 4）。这与郑景云等所得的结论基本上一致^[7]。

4 讨论

1963~1988 年间不同种树木芽萌动期相应的表现有提前、推迟和变化不明显三种趋势，这与 Kramer^[12]、Linko-salo^[13]、Chuine^[14]、Frank^[15] 及郑景云等^[16] 对春季物候及生长季的研究结论相一致。所不同的是，他们研究的年平均气温对应地有升高、降低和变化不明显三种变化趋势，而本研究中的年平均气温变化趋势不显著，这可能是由于所取的时间段太短，样本数较少的缘故，但是气温和物候间的关系却并不因此而受到影响。

冬季气温对物候的影响的结论还不尽相同：张福春^[2]、陈效速等^[17] 认为，冬季气温偏高不利于冬季芽的休眠，反而使开花期推迟。而 Sparks 等^[18] 的研究却显示出冬季气温升高，有些物种的开花期表现出提前的趋势，这与 Jodriego 等^[19] 的开花前最高及平均温度的升高能加速花芽发育，从而使开花期提前的结论相一致。本研究中萌芽及开花期与冬季气温之间成负相关，即冬季气温的升高使萌芽及开花期提前，该结论与 Sparks 等的结论较为一致。只有槐树芽膨大开始期与冬季平均最低气温间表现出一定的正相关，虽然趋势不是很显著，但是其生理意义不可忽视，表现为最低气温的降低有利于打破休眠而使芽提前萌动。依此推测，萌芽前，当打破芽的休眠所需要的低温条件满足后，芽具备萌动的能力，随后气温的升高会加速植物芽发育，各物候期相应地提前。冬季气温对物候期的影响还有待从机理上进行深入的研究。

本研究中萌芽早晚与萌芽前 3~8 旬的气温之间有显著的相关性（见表 2），始花期的早晚与始花前 5 旬左右的气温的相关性最显著，这与 Ahas 等^[20] 的物候开始期与该物候前 2~3 个月之间的温度相关性很强的结论基本一致。另有对梅、杏、李、桃等的调查发现，气温与树木开花早晚关系最密切的时期，杏是盛花前 30~40 天，李是 40~50 天，大部分果树在盛花前 40 天左右的平均气温或平均最高气温越高，则开花越早^[21]，本研究的结论与之也相吻合。

5 结论

利用统计分析，探讨了北京地区多种树木芽萌动期、开花期与其前期气温之间的相关关系，主要结论如下：

- (1) 1963~1988 年间，北京树木芽的开始萌动主要受萌动前冬季气温高低的影响，

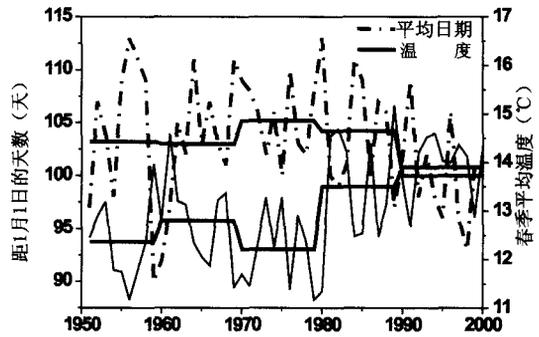


图 4 4 种树木物候平均（点画线）、春季气温（细实线）及年代平均值（粗实线）的变化

Fig 4 Changes in the values of four tree average dates (Dash dot), spring air temperature (Thin line) and ages (Bold line)

而受春季气温波动的影响很小, 冬季及秋末气温升高使春芽提前萌动。

(2) 萌动早、萌动期长的树木比萌动晚、萌动期短的树木的芽萌动对温度变化的反应更敏感。前者萌动期长度随着萌动期间(早春)气温的升高而缩短, 后者萌动期长度随着初冬、秋末平均最低温度的升高而延长。

(3) 始花前 5 旬(主要是 3~4 两个月)的气温对始花期的影响最大, 该时期是影响始花物候的敏感时期。北京地区春季气温每升高 1℃, 树木春季开花期平均提前 3.6 天。

(4) 树木开花物候与春季气温的年际波动基本对应, 即春季气温升高的年份对应开花物候提前的年份, 春季气温降低的年份对应开花物候推迟的年份。它们随年代间的波动对应也较好, 但对应的春季开花物候值与春季平均气温值各年代间的差异幅度不一致, 总体来说, 前者差异幅度小, 后者差异幅度相对较大。

参考文献:

- [1] Hänninen H. Effects of climatic change on trees from cool and temperate regions: an ecophysiological approach to modelling of bud burst phenology. *Can. J. Bot.*, 1995, 73: 183~199.
- [2] 张福春. 气候变化对中国木本植物物候的可能影响. *地理学报*, 1995, 50(5): 403~408.
- [3] Menzel A. Trends in phenological phases in Europe between 1951 and 1996. *Int. J. Biometeorol.*, 2000, 44(2): 76~81.
- [4] Menzel A, Fabian P. Growing season extended in Europe. *Nature*, 1999, 397(6721): 659.
- [5] Beaubien E G, Freeland H J. Spring phenology trends in Alberta, Canada: links to ocean temperature. *Int. J. Biometeorol.*, 2000, 44(2): 53~59.
- [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(2): 82~87.
- [7] 郑景云, 葛全胜, 赵会霞. 近 40 年中国植物物候对气候变化的响应的研究. *中国农业气象*, 2003, 24(1): 28~32.
- [8] 傅国斌, 李克让. 全球变暖与湿地生态系统的研究进展. *地理研究*, 2001, 20(1): 120~126.
- [9] 方修琦, 余卫红. 物候对全球变暖响应的研究综述. *地球科学进展*, 2002, 17(5): 713~719.
- [10] 王绍武, 龚道溢. 对气候变暖问题争议的分析. *地理研究*, 2001, 20(2): 153~160.
- [11] 杨国栋, 陈效速. 木本植物物候相组合分类研究. *林业科学*, 2000, 36(2): 40.
- [12] Kramer K, Leinonen I, Loustau D. The importance of phenology for the evaluation of climate change on growth of boreal, temperate and Mediterranean forest ecosystem: an overview. *Int. J. Biometeorol.*, 2000, 44(2): 67~75.
- [13] Linkosalo K. Analyses of the spring phenology of boreal trees and its responses to climate change. Dissertation. Faculty of Agriculture and Forestry, University of Helsinki. Department of Forest Ecology Publications, 2000, 22: 55.
- [14] Chuine I, Cour P, Rousseau D D. Selecting models to predict the timing of flowering of temperate trees: implication for tree phenology modeling. *Plant Cell Environ.*, 2000, 22: 1~13.
- [15] Frank M, Chmielewski, Thomas R. Response of tree to climate change across Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2001, 108(2): 101~112.
- [16] 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): 1584~1587.
- [17] 陈效速, 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): 1~5.
- [18] Sparks T H, Carey P K, Combes J. First leafing dates of trees in Surrey between 1947 and 1996. *Lond. Nat.*, 1997, 76: 15~20.

- [19] Jodrigo J , Herrero M. Effects of pre-blossom temperatures on flower development and fruit set in apricot. *Scientia Horticulture* , 2002 , 92(2) : 125 ~ 135.
- [20] Ahas R , Jaagus J , Aasa A. The phenological calendar of Estonia and its correlation with mean air temperature. *Int. J. Biometeorol.* , 2000 , 44(4) : 159 ~ 166.
- [21] 张秀英, 胡东燕. 桃花花期预报的探讨. *北京林业大学学报* , 1995 , 17(4) : 88 ~ 93.

Response of tree phenology to climate change for recent 50 years in Beijing

XU Yu-qing^{1,2} , LU Pei-ling¹ , YU Qiang³

- (1. Institute of Resource and Environment , Beijing Forestry University , Beijing 100083 , China ;
2. Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology , Institute of Botany , CAS , Beijing 100093 , China ;
3. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research , CAS , Beijing 100101 , China)

Abstract : Statistic methods are applied to investigate the response of phenology to recent climatic changes in Beijing. This study focuses on the correlation between budding dates of 20 species and air temperature for the period 1963 ~ 1988 and between flowering dates of 4 species and air temperature for the period 1950 ~ 2000. It shows that the germination is mostly influenced by winter air temperature but not by spring air temperature , the warmer winter and late autumn temperature leads to an earlier beginning of sprouting. The earlier species which spend longer time in budding are more sensitive to air temperature changes than the later ones which need shorter time to sprout , at the same time , a higher temperature in early spring leads to fewer days for the former to complete sprouting and a higher temperature in late autumn and early winter leads to more days for the latter to complete sprouting. Air temperature of 20-90 days before flowering influences flowering dates very much , and especially that of 50 days before flowering , mainly from March to April , does the most. And during this period , flowering events are most sensitive to air temperature changes . Warmer temperature in spring causes earlier flowering , and an increase of air temperature by 1 °C leads to an advance of flowering by 3.6 days. On the other hand , the observed trends in annual and ten-year fluctuation in flowering phenology correspond well with air temperature in spring , that is , a higher temperature in spring leads to an advance of flowering dates and a lower temperature in spring means a delay of flowering events , while the extent isn't the same. In general , a deviation in air temperature is bigger than that in tree phenology.

Key words : budding ; flowering ; climate change ; phenology ; response