

论树木物候生长季节与气温生长季节的关系 ——以德国中部 Taunus 山区为例^{*}

陈效述

(北京大学城市与环境学系, 北京, 100871)

摘 要

探讨了 Taunus 山区 3 个地点的树木物候生长季节与气温生长季节年际波动特征之间的关系。结果表明, 在不同地形部位上, 物候生长季节长度与气温 10℃ 持续期在振幅、波形和趋势方面存在明显差异, 二者的相关系数均未达到显著的水平。因此, 尽管这两种生长季节的多年平均初、终日期和长度是接近的, 但就个别年份而言, 它们不具有可比性和相互替代性。在低海拔山麓地带, 物候生长季节长度与气温 5℃ 持续期正相关显著, 而与气温 5℃ 初日负相关显著, 说明物候生长季节具有对较长时期内气温波动响应的特点, 特别受到早春气温高低的显著影响, 表现为春季气温越高, 5℃ 初日越早, 当年物候生长季节越长; 春季气温越低, 5℃ 初日越晚, 当年物候生长季节越短对应关系。据此, 春季气温的高低就成为诊断低海拔地区植被生长季节长度对气候变化响应的一种前期征兆。此外, 还建立了春季物候期与无霜期之间的区域统计模式, 用以进行区内缺乏气象资料地点的无霜期估算。

关键词: 树木物候, 生长季节, 气温, 无霜期, 德国中部。

1 引 言

生长季节, 就其最本质的含义而言, 是指“一年中某种作物可以生长的天数”^[1]。但是由于作物生长发育期资料的缺乏, 所以到目前为止, 生长季节的具体划分通常是采用日平均气温作为指标, 即以日平均温稳定高于(春季)和低于(秋季)某一界限值的时段划定生长季节。采用这种替代方法的依据是, 温带地区植物的生长发育主要受到气温的调控^[2~4]。在气温界限值的确定方面, 欧美各国常采用 5~10℃ 之间的一个气温值^[5~8], 也有一些美国的文献中采用无霜期(指日最低气温高于 0℃ 的期间)^[9, 10], 这种生长季节可以称为气温生长季节。利用气温生长季节代替植物生长季节的缺陷在于, 植物的生长发育除主要受到气温的控制外, 还受到诸如降水、日照、土壤温度等其他环境因素的影响^[11]。由于无法排除这些因素的“干扰”, 所以在只考虑气温单一因素的作用时, 同一气温指标在不同地区的物候学效应便是不等同的。如在日本, 杜鹃、棣棠、紫藤等开花时的气温就存在随纬度和海拔的升高而降低的趋势^[12]。而在瑞士的大部分地区, 若用无霜期的指标划分生长

^{*} 初稿时间: 1998 年 3 月 5 日; 修改稿时间: 1999 年 7 月 22 日。
资助课题: 国家自然科学基金(批准号 49771076)和德国弗里德里希·瑙曼基金会(Friedrich-Nau mann-Stiftung)。

季节,则其开始时间要到5月底,在海拔较高的区域,甚至整个夏季都处于霜期内,然而在这期间,自然界却早已经花开叶绿了^[13]。这正说明植物生长季节是植物对环境因素季节变化的一种综合反映。

较早进行气温生长季节与植物生长季节关系研究的当属德国农业气象学家 F. Schnelle。在农作物生长季节方面,他提出采用夏大麦播种到冬小麦播种日期之间的天数,作为农业上可利用的生长季节^[14];在树木生长季节方面,他提出以在欧洲广泛分布的森林优势树种欧洲山毛榉(*Fagus sylvatica*)、欧洲白栎(*Quercus robur*)和垂枝桦(*Betula pendula*)的展叶与叶变色日期划分生长季节的观点,称之为树木物候生长季节,并认为,它们大体表示日平均气温稳定通过8℃的时段^[15],从而肯定了物候生长季节与气温生长季节多年平均值的可对比性。

同时,美国生态学家 R. Reader 等在对北卡罗来纳州山麓区植物物候观测的基础上,提出以佛罗里达木(*Cornus florida*)和加拿大紫荆(*Cercis canadensis*)的开花始日期以及北美鹅掌楸(*Liriodendron tulipifera*)和红花槭(*Acer rubrum*)50%叶片始变秋色日期作为划分生长季节起讫的指标,并分析了1970~1971年物候生长季节天数与气温大于0℃天数(不结冰期)之差的分布特征。结果表明,在该州西部山区,不结冰时期短于树木的生长季节;而在山麓和滨海平原区,不结冰时期则长于树木的生长季节^[16]。由此断定,气温生长季节与树木物候生长季节的对应关系在不同地区是不一致的。

近年来,随着全球气候变化对于生态系统影响的研究日益深入,一些学者试图利用年平均气温和大气CO₂浓度的季节振幅推北半球生长季节长度的趋势^[17],并利用归一化植被指数(NDVI)的变化予以佐证^[18]。然而,由于气温只是影响植物生长发育的主要生态因子之一,而遥感测量的结果也仅只反映了广大地域内植被变绿的一个侧面,所以在没有与地面植物生长季节实测资料进行比较之前,这种对陆地植被生长季节长度估计的可靠性仍无法予以验证。因此,利用气温和遥感资料对生长季节进行大范围的估计,必须基于对地面实验区物候与气候相互关系的定量分析,这已经成为学术界的一种共识^[19,20]。

有鉴于此,文中在前人工作的基础上,着重于揭示树木物候生长季节与气温生长季节的动态关系,旨在论证二者之间的不可替代性质,找出影响物候生长季节的气候预兆因素,并探索春季物候期与气温生长季节之间的定量关系,为陆地植被生长季节和气温生长季节的估算提供一些有益的思路。

2 统计分析

2.1 研究区域与观测资料的选取

Taunus 山区位于德国中部偏西,法兰克福西北约20 km处。它的西、南、北三面分别为莱茵河谷、美因河谷和拉恩河谷所分割,地形边界十分清晰。最高峰大费尔德贝格山位于其南部边缘,海拔高度为881 m,向西北方向,地势逐渐下降至250 m左右;最高峰以南,山势陡降至海拔90 m的美因河谷^[21]。

Taunus 山区的范围虽然不大,但地势的变化却较大,使得物候与气候的差异十分显著。因此,对区内不同海拔高度上物候和气温生长季节相互关系的揭示,将具有对德国中部广大地域的代表性。为了减小坡向的影响,选择其最高峰的南坡作为研究的区域,并确

定位于山麓地带的盖森海姆(Geisenheim, 49°59' N, 7°58' E, 90 m)、山体中部的柯尼希施泰恩(Koenigstein, 50°11' N, 8°28' E, 340 m) 和山体上部的小费尔德贝格(Kleiner Feldberg, 50°13' N, 8°27' E, 820 m) 为研究的样地点, 这些地点都具有近 40 a 的物候-气温平行观测资料。

在指示性植物种和物候期的选择方面, 文中采用垂枝桦、欧洲山毛榉和欧洲白栎的展叶始期和叶始变秋色期分别作为树木物候生长季节开始与结束的标志。这 3 种树木的天然分布范围从北德平原直到阿尔卑斯山区, 其中垂枝桦和欧洲山毛榉的分布高度可达 1200 ~ 1400 m, 已接近阿尔卑斯山的雪线位置, 欧洲白栎的分布高度略低一些, 为 900 m。由此可见, 利用这些树种的物候期划分生长季节, 具有广泛的空间可比性。

在气温生长季节的确定方面, 采用日平均气温稳定(5 日平均) 5 和 10 的期间。由于树木物候生长季节的长度正好介于这两种气温生长季节长度之间, 所以以此来讨论物候和气温生长季节的关系是适宜的。此外, 还收集了一些早春开花植物的花期和全年无霜期的资料, 对利用物候估算无霜期的方法进行了探讨。

2.2 物候生长季节与气温生长季节平均值之间的关系

通过计算各地 1951 ~ 1990 年期间物候生长季节初、终日期及其长度的平均值(表 1), 得出两点认识。其一, 在同一地点, 3 种树木生长季节的相对长短没有一定之规, 例如在海拔较低的盖森海姆和昆尼西斯坦两地, 以垂枝桦的生长季节为最长; 然而在小费尔德贝格山顶, 垂枝桦的生长季节却短于欧洲山毛榉的生长季节。其二, 3 种树木生长季节长度与海拔高度的关系十分明显, 例如平均每上升 100 m, 垂枝桦的生长季节缩短约 6 d。相应的欧洲山毛榉和欧洲白栎生长季节的垂直递减率分别为 3.0/100(d/m) 和 7.6/100(d/m)。

表 1 物候生长季节初、终日期及其长度的平均值

	垂枝桦			欧洲山毛榉			欧洲白栎		
	开始	结束	长度	开始	结束	长度	开始	结束	长度
盖森海姆	4.12	10.10	181	4.24	10.40	163	4.22	10.10	171
柯尼希施泰恩	4.20	10.20	165	5.10	10.70	159	5.10	10.90	152
小费尔德贝格	5.14	9.28	137	5.13	10.10	141	- - -	- - -	- - -

依据 5 日滑动平均法计算的各地点气温生长季节初、终日期及其长度的平均值表明, 无论是气温 5 还是气温 10 的生长季节, 其初日均随海拔升高而推迟, 终日则随海拔升高而提前, 平均每上升 100 m, 5 生长季节缩短约 8.6 d, 10 生长季节缩短约 8.9 d, 垂直递减率明显大于物候生长季节(表 2)。

表 2 气温生长季节初、终日期及其长度的平均值

	日均温 5			日均温 10		
	初日(月、日)	终日(月、日)	长度(d)	初日(月、日)	终日(月、日)	长度(d)
盖森海姆	3.8	11.18	255	4.18	10.15	180
昆尼西斯坦	3.28	11.9	226	4.30	10.9	162
小费尔德贝格	4.16	10.25	192	5.27	9.19	115

比较表 1 和表 2 可知, 3 种树木的物候生长季节与气温生长季节初、终日期及其长度的对应关系, 在不同的海拔高度上是变化的。例如在山麓地带的盖森海姆, 垂枝桦的生长

季节与气温 10 的生长季节最接近;在山体中部的昆尼西斯坦,垂枝桦的生长季节早已在气温低于 10 时即开始,而欧洲山毛榉的生长季节与气温 10 的生长季节最为接近;到了小费尔德贝格山顶,各种树木的生长季节均明显长于气温 10 的生长季节。由此可见,树木物候生长季节的开始和结束日期所对应的日均温数值有随着海拔高度的增加而降低的趋势,也即在海拔较高的地区,树木在较低的气温条件下进入展叶始期和叶始变秋色期。这样就缩小了山麓和山顶在树木物候生长季节开始与结束日期方面的差距,是造成物候生长季节长度的垂直递减率比气温生长季节长度的垂直递减率明显减小的直接原因。

2.3 物候生长季节与气温生长季节年际波动之间的关系

为了考察两种生长季节在时间演变方面的关系,分别计算了物候与气温生长季节长度、气温生长季节长度、以及与物候生长季节长度之间的相关系数(见表 3)。

表 3 生长季节长度之间的相关分析

X	物候 1	物候 2	物候 3	物候 1	物候 2	物候 3	5	物候 1	物候 1	物候 2
Y	5	5	5	5	10	10	10	物候 2	物候 3	物候 3
盖森海姆	0.445* *	0.32*	0.416* *	0.291	0.029	0.24	0.348*	0.374*	0.561* * *	0.426* *
柯尼希施泰恩	- 0.007	0.103	0.091	0.072	0.109	0.178	- 0.041	0.269	0.303	0.615* * *
小费尔德贝格	0.443	0.311	- - - -	0.031	0.289	- - - -	0.054	0.644* *	- - - -	- - - -

表注: 1: 垂枝桦; 2: 欧洲山毛榉; 3: 欧洲白栎; * 相关显著性水平为 0.05; * * 相关显著性水平为 0.01; * * * 相关显著性水平为 0.001

由表 3 可以看出:

(1) 在不同海拔高度上, 3 种树木物候生长季节长度与气温 10 持续期之间相关关系均不显著, 说明二者尽管平均起讫日期和长度大致相当, 但它们在多年波动特征方面存在着明显的差别(见图 1~3):

- ① 气温生长季节的年际波动幅度明显大于树木物候生长季节的年际波动幅度。
- ② 树木物候生长季节和气温生长季节长度的变化不同步, 如欧洲山毛榉生长季节较

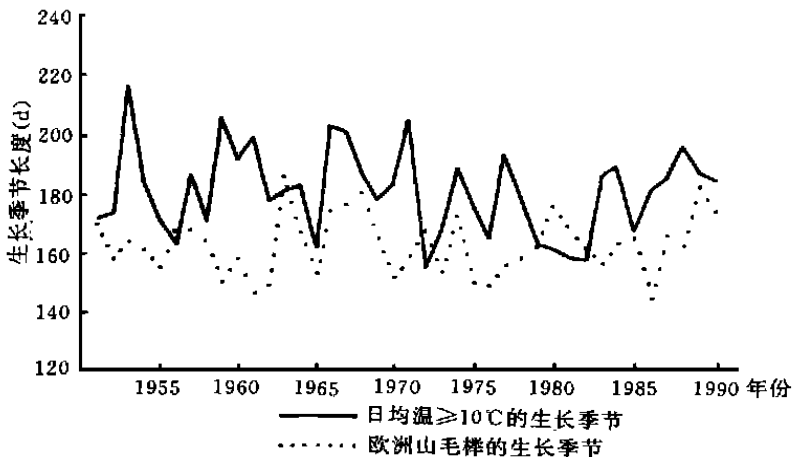


图 1 盖森海姆物候与气温生长季节的年际变化

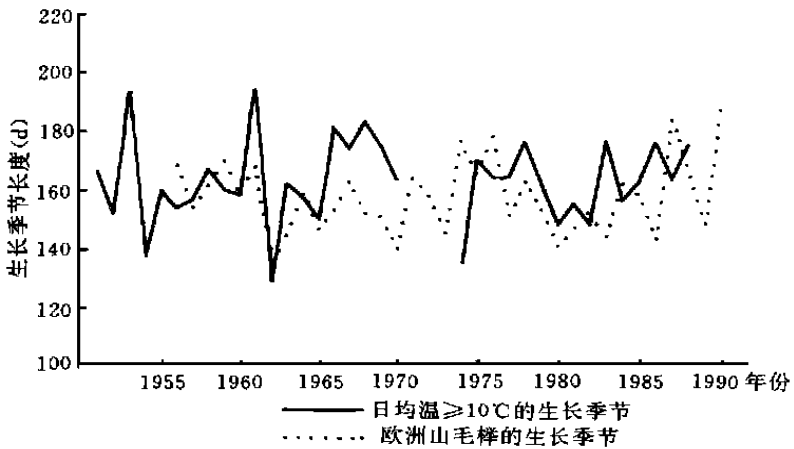


图2 柯尼希施泰恩物候与气温生长季节的年际变化

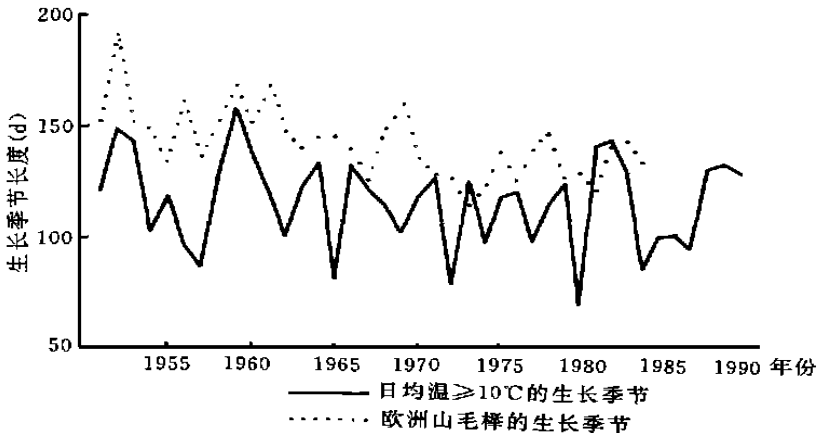


图3 小费尔德贝格物候与气温生长季节的年际变化

长的年份往往对应气温生长季节较短的年份,反之亦然。

③气温生长季节的长度均显示出一种微弱的负线性趋势,而树木物候生长季节长度的变化趋势,在不同地点的表现则是不一致的。以欧洲山毛榉为例,在盖森海姆无线性趋势的显示;在昆尼西斯坦表现为微弱的正线性趋势;在小费尔德贝格则表现为明显的负线性趋势。

(2)在低海拔山麓地带,3种树木物候生长季节的长度与气温 5 持续期之间具有显著的正相关关系,表明物候生长季节长度是更长时段气温变化的一种反映。表4的数据更进一步显示出,这里气温 5 生长季节的初日与物候生长季节长度之间具有显著的负相关关系。也即早春气温越高,气温 5 生长季节和物候生长季节开始越早,当年物候生长季节越长;早春气温越低,气温 5 生长季节和物候生长季节开始越迟,当年物候生长季节越短。这与对中国华北春季物候期早晚和物候持续期长短关系的研究结果是一致的^[22]。然而,在较高的地形部位上,物候生长季节长度与气温 5 持续期之间的相关程

度均未达到显著的水平,相应的那里气温 5 生长季节初日与物候生长季节长度之间的相关程度亦有所降低(表 4)。由此可见,物候生长季节长度对于早春气温变化的响应受到地势的限制,这是高海拔水热组合对物候的影响性质明显不同于低海拔的一种表现^[11]。而气温 10 初日与各种树木物候生长季节长度之间的相关,在不同的海拔高度上均不显著(表 4)。

表 4 气温生长季节初日与物候生长季节长度之间的相关分析

X	5 初日	5 初日	5 初日	10 初日	10 初日	10 初日
Y	物候生长季 1	物候生长季 2	物候生长季 3	物候生长季 1	物候生长季 2	物候生长季 3
盖森海姆	- 0.487* *	- 0.331*	- 0.486* *	- 0.246	- 0.002	- 0.232
柯尼希施泰恩	- 0.041	- 0.304	- 0.331	- 0.140	- 0.250	- 0.326
小费尔德贝格	- 0.542*	- 0.337	- - - -	0.202	- 0.243	- - - -

表注: 1: 垂枝桦; 2: 欧洲山毛榉; 3: 欧洲白栎; * 相关显著性水平为 0.05; * * 相关显著性水平为 0.01; * * * 相关显著性水平为 0.001。

(3) 气温 5 和气温 10 生长季节长度之间的相关系数一般较小,除低海拔的山麓地带外,均达不到相关显著的水平,说明利用不同界限值划分的气温生长季节,其长度的多年波动特征差异显著,稳定性和可比性较差。

(4) 3 种树木物候生长季节长度之间的相关系数明显大于气温生长季节长度之间的相关系数,其中,除山体中部有两对物候生长季节长度之间的相关程度较低和山顶欧洲白栎资料缺失外,其余各对物候生长季节长度之间的相关系数均达到显著的水平。可见不同树种物候生长季节长度的多年波动特征具有趋同的特点,其稳定性和可比性较好。

表 5 春季植物始花期与全年无霜期长度之间的相关系数

地点	物候期	无霜期
盖森海姆	欧洲榛子始花	- 0.5127* * *
	雪花莲始花	- 0.7548* * *
	款冬始花	- 0.6604* * *
	黄花儿柳始花	- 0.7900* * *
	连翘始花	- 0.7183* * *
	欧洲榛子始花	- 0.6993* * *
柯尼希施泰恩	雪花莲始花	- 0.6116* * *
	款冬始花	- 0.4750*
	黄花儿柳始花	- 0.3630*
	连翘始花	- 0.6023* * *
小费尔德贝格	欧洲榛子始花	- 0.5346*
	雪花莲始花	- 0.6810* * *
	款冬始花	- 0.5646* * *
	黄花儿柳始花	- 0.5200* *

表注: * 相关显著性水平为 0.05; * * 相关显著性水平为 0.01; * * * 相关显著性水平为 0.001。

2.4 春季植物物候期与无霜期之间的关系

研究表明,春季植物始花日期与其发生前和发生期间两个月的霜日数(日最低气温低于 0 的天数)具有显著的正相关关系,即春季霜日越多,其间发生的植物始花日期越晚;

春季霜日越少,其间发生的植物始花日期越早^[11]。由于春季霜日数还与全年无霜期之间存在着显著的负相关关系,所以,可以推断,春季植物始花日期与全年无霜期之间也应存在某种负相关的关系。有鉴于此,计算了各地5种春花植物的始花日期与当地无霜期长度之间的相关系数。结果表明(表5),二者确实存在着显著的负相关关系,即某一年春季始花期发生越早,该年无霜期就越长;春季始花期发生越晚,该年无霜期就越短。根据这种统计关系,可以用物候生长季节开始的早晚作为指示当年气温生长季节长短的一种前期征兆,并估算当年无霜期的天数。

为了使无霜期的估算能够涵盖一定的区域范围,依照作者对中国华北地区物候预测模式的研究思路^[22],分别组成了物候期和无霜期的时空序列,每个时空序列由3个地点时间序列的加和组成。在此基础上,利用相关、回归分析方法,便可以在物候期和无霜期时空序列之间建立起区域统计模式。由图4~7可知,欧洲榛子(*Corylus avellana*)、雪花莲(*Galanthus nivalis*)和黄花儿柳(*Salix caprea*)始花期与无霜期之间存在着二次抛物线的关系,而款冬(*Tussilago farfara*)始花期与无霜期之间的关系则呈直线。这些回归方程表示,物候期(x)在时空序列中的较早发生日期,通常是较低海拔处(如在盖森海姆)物候偏早年份的记录,对应的那里该年无霜期长度(y)往往较长;反之,这些物候期(x)在时空序列中的较晚发生日期,则通常是较高海拔处(如在小费尔德贝格)物候偏晚年份的记录,对应的那里该年无霜期长度(y)相应较短。方程的剩余标准差介于15至26 d之间。

由于这4个回归方程概括了Taunus山最高峰南坡3个不同海拔高度上植物始花日期与无霜期长度之间的关系,并且这种关系具有随空间位置和海拔高度的不同逐渐变化的特点,所以,理论上讲,这些方程所揭示的统计关系不仅适用于参与计算的3个样本地点,而且在保证一定精度的条件下,适用于这些地点所限定的高度范围内(90~800 m)其它一些地方。当然,回归方程外推的前提条件之一是这些地点上述植物始花日期的多年变

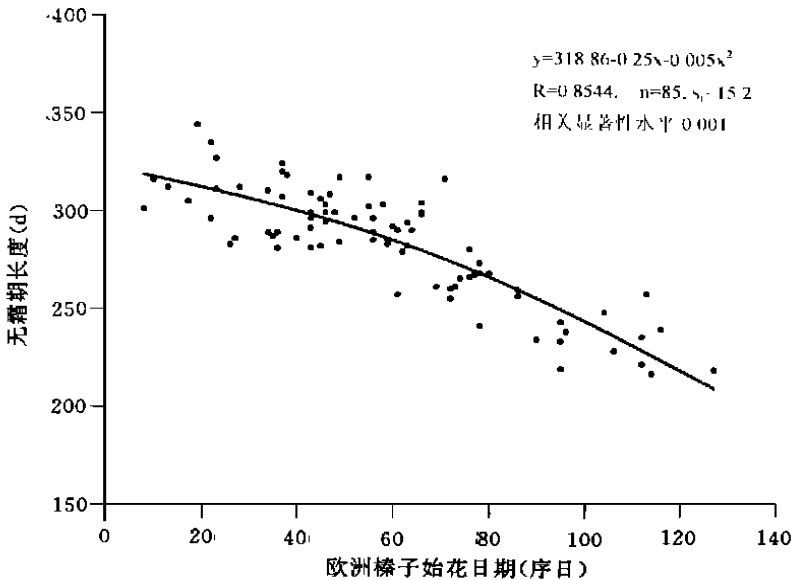


图4 欧洲榛子始花期与无霜期之间的回归分析

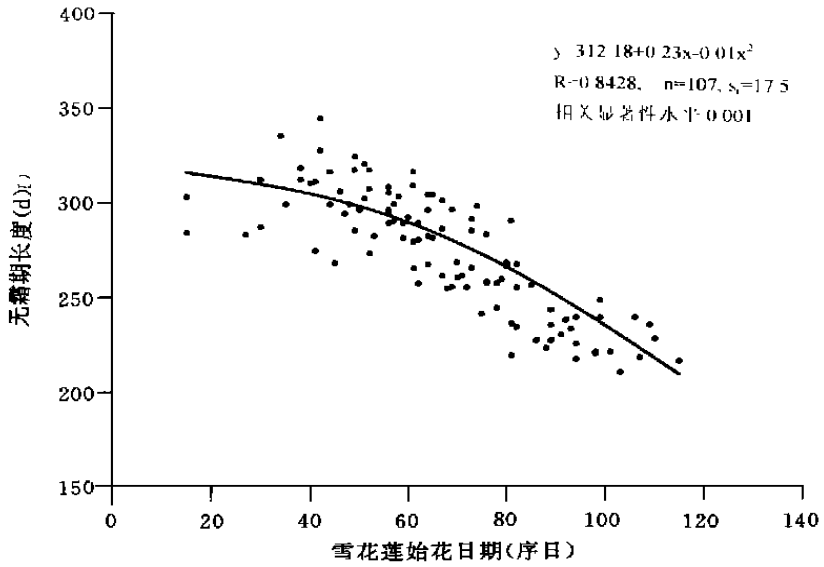


图5 雪花莲始花期与无霜期之间的回归分析

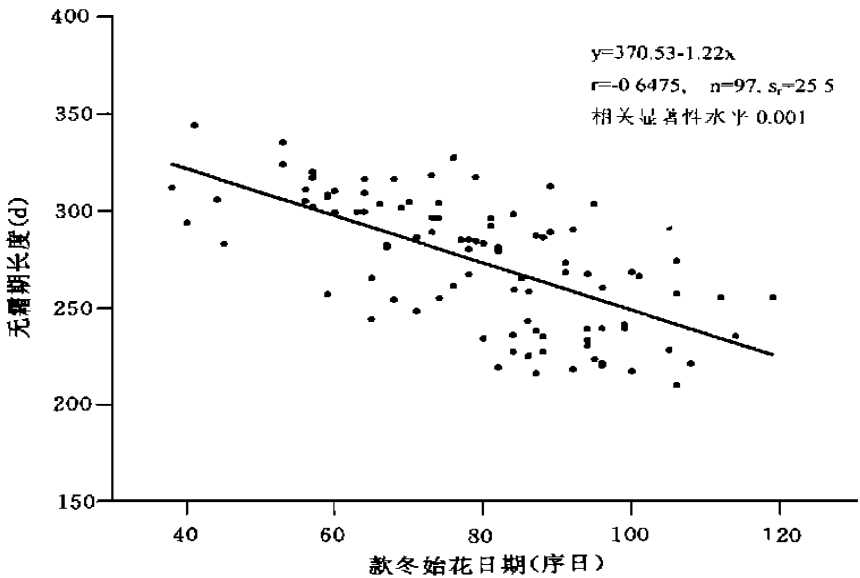


图6 款冬始花期与无霜期之间的回归分析

幅应不超过这些方程中自变量所限定的时段。

3 结果讨论

3.1 关于生长季节

(1) 文中的研究表明, 树木物候生长季节长度与在时段上大致重叠的气温 10 持续期在年际波动振幅、波形和趋势方面存在明显差异, 二者之间的相关系数均未达到相

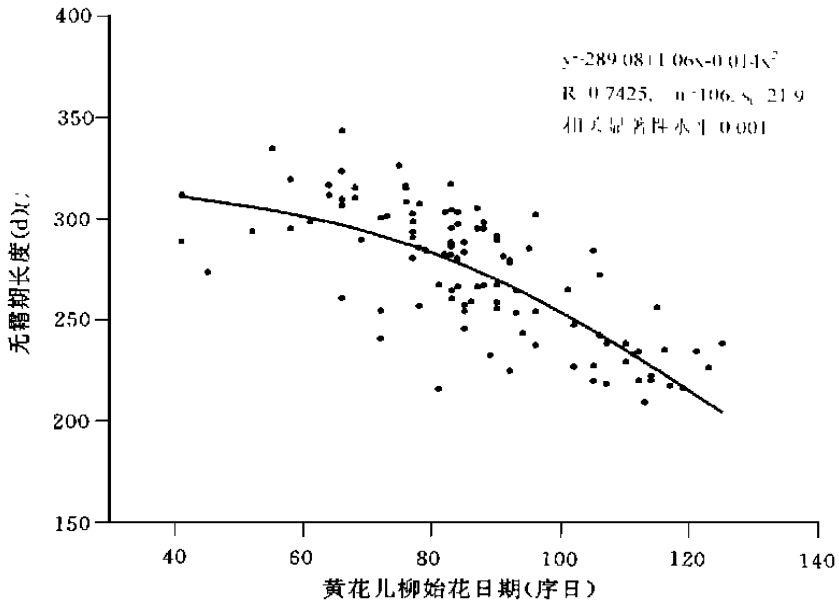


图7 黄花儿柳始花期与无霜期之间的回归分析

关显著的水平。可见,以往在农业气象上仅根据平均起讫日期的时间重叠,用气温生长季节代替植物生长季节的做法是不恰当的,就个别年份来说,两种生长季节不具有相互替代性。产生这两种生长季节相关性差的原因首先是它们的生理生态含义不同。物候生长季节是植物生长期和光合期的具体体现,而气温生长季节则是对于温周期的一种描述,二者是完全不同意义上的时间阶段度量方法。其次是两种生长季节划分指标的变化特征不同。植物物候期的变化是各种环境条件年周期性变化和植物体生理内源节律协调的综合表现,尽管各年物候期发生的早晚不同,但它们都遵循着顺序相关性和准年周期性的规律^[23~25],随机性较小;而气温则是一个随机性较大的变量,表现为每年春季增温和秋季降温的形式可以截然不同,从而使利用不同界限温度值划分的各种生长季节,其波动特征差别显著,可比性差(表3)。因此,早在20世纪70年代末,就有人对气温生长季节划分的客观性提出了质疑,认为它不宜作为气候波动的一种指示器^[10]。

(2) 在海拔较低的地点,树木物候生长季节长度与气温 5℃ 持续期之间呈显著的正相关关系,与气温 5℃ 初日之间呈显著的负相关关系,而且后者的相关程度高于前者(表3,表4)。这一结果表明,气温 5℃ 生长季节开始的早晚,即早春气温的高低,是影响当年物候生长季节长度的重要因子。因此,在海拔较低的平原地区,春季气温的高低是诊断植被生长季节长短对气候变化响应的前期征兆。由于春季气温可以在当年生长季节开始之初观测到,所以用它来估计植被生长季节长度变化的趋势比用年平均气温更为可行^[17]。

(3) 鉴于不同树种生长季节长度的波动特征具有趋同的特点(表3),利用森林优势树种的生长季节便可以较好地代表植物群落和植被的生长季节。因此,在地表与遥感信息相结合的分析中,可以通过确定森林优势树种的生长季节起讫日期与 NDVI 数值季节动态之间的关系,估算陆地植被生长季节的变化趋势。

3.2 关于无霜期的估算

利用文中建立的区域统计模式,可以进行区内没有气象资料地点的无霜期估算。现以威斯巴登南气象站(50°04'N, 08°16'E, 海拔 145 m)为例,说明回归方程在空间外推预测中的可能精度。检验时段为 1973~1989年,自变量取当地前春开始的指示物候雪花莲始花期(图 5)。

由图 8 可知,无霜期估算值与观测值的平均绝对误差为 11.4 d,小于该回归方程的剩余标准差(17.5 d)。利用其它回归方程估算该站无霜期的长度,也得出了大致类似的结果,这里不再赘述。应该指出的是,这种估算在海拔适中且邻近 3 个样本点的地方,可靠性会高一些;估算一个地方多年平均的无霜期长度亦会比估算某一年无霜期的长度,可靠性要高。此外,需要指出的是,为了确定上述方程在各地实际应用的效果,应该依邻近气象站的数据或通过短期的气象观测对估算结果进行必要的检验。

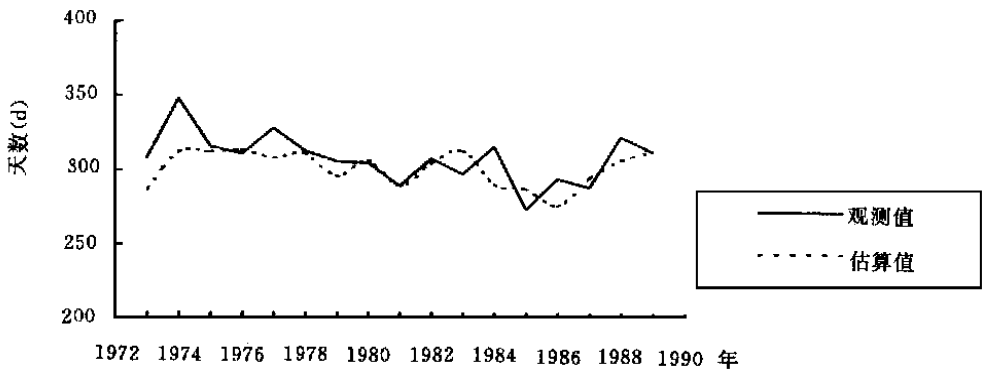


图 8 威斯巴登南气象站无霜期估算结果与观测结果的比较

建立区域统计模式更重要的作用在于对研究区域内未来年份无霜期的预测,根据在中国华北地区的类似研究,统计模式时间序列外推预测的准确性与空间外推预测的准确性大致为同一水平^[22]。因此,利用上述模式对区内一些地点的无霜期进行预测时,在多数情况下,其绝对误差应当能够保证在方程拟合值加减 1 倍剩余标准差(15~26 d)的范围之内。

参考文献

- 1 Wang J Y. Agricultural meteorology. Pacemaker Press, Milwaukee, 1963, 108
- 2 Melillo J M, Callaghan T V, Woodward F I, et al. Effects on Ecosystems. in Houghton J T, Jenkins G J, Ephraums J J (Eds) Climate Change: The IPCC scientific assessment. Cambridge Univ. Press, 1990, 282-310
- 3 Hodges T. Temperature and Water Stress Effects on Phenology. in Hodges T (Ed) Predicting Crop Phenology. CRC Press, Boston, 1991, 7-13
- 4 Chen X Q. Phaenologische und klimatologische Raumgliederung Westdeutschlands. Geographische Rundschau, 1995, 47: 312-317
- 5 van Eimern J, und Haeckel H. Wetter- und Klimakunde, Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, 1979, 139-159
- 6 Gensler G A. Der Begriff der Vegetationszeit, Diss. Samedan und St. Moritz, 1946, 145
- 7 Primault B. Etude meso-climatique du Canton de Vaud, Cahiers de l'aménagement regional 14, Office cantonal

- vaudoise de l'urbanisme Lausanne, 1972, 186
- 8 Griffiths J F (Ed), Handbook of Agricultural Meteorology, Oxford University Press, 1994, 176- 178
- 9 Smith J W. Agricultural Meteorology, the effect of weather on crops, Rural Text Books Series, New York, 1920, 304
- 10 Brinkmann W A R. Growing season length as an indicator of climatic variations? Climatic Change, 1979, 2: 127-138
- 11 Chen X Q. Untersuchung zur zeitlich - raemlichen Aehnlichkeit von phaenologischen und klimatologischen Parametern in Westdeutschland und zum Einfluss geoekologischer Faktoren auf die phaenologische Entwicklung im Gebiet des Taunus, Berichte des Deutschen Wetterdienstes, Nr. 189, Offenbach am Main, 1994, 1- 116
- 12 日本农业气象学会编. 农业气象学基础. 侯宏森译. 北京: 科学出版社, 1964, 334 ~ 352
- 13 Defila D. Pflanzenphaenologie der Schweiz, Diss. Zurich, 1991, 23: 105- 108
- 14 Schnelle F. Landwirtschaftlich- phaenologischer Jahresablauf in den deutschen und europaeischen Agrargebieten. in Hartke W. und Wilhelm, F (Eds), Tagungsbericht und wissenschaftliche Abhandlungen des Deutschen Geographentages, Wiesbaden, 1962, 276- 284
- 15 Schnelle F. Die Vegetationszeit von Waldbaeumen in deutschen Mittelgebirgen: Ihre Klimaabhaengigkeit und raemliche Differenzierung, Erlanger Geographische Arbeiten. Heft 32, Erlangen, 1973, 2- 12
- 16 Reader R, Radford J S , Lieth H. Modeling Important Phytophenological Events in Eastern North America, in Lieth, H(Ed), Phenology and Seasonality Modeling, Springer- Verlag. 1974, 329- 342
- 17 Keeling C D, Chin J F S, Whorf T P. Increased activity of northern vegetation inferred from atmospheric CO₂ measurements. Nature, 1996, 382, 146- 149
- 18 Myneni R B, Keeling C D, Tucker C J, et al. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. Nature, . 1997, 386, 698- 702
- 19 Schwartz M D. Monitoring gbbal change wih phenology: the case of the spring green wave. Int J Biometeorol. 1994, 38: 18- 22
- 20 Schwartz M D. Spring index models: an approach to connecting satellite and surface phenology. in: Lieth H. & Schwartz, M. D (Eds) Phenology in Seasonal Climates I, Backhuys, Netherlands. 1997, 23- 38
- 21 Meynen E, Schmithuesen J, et al. Handbuch der naturraemlichen Gliederung Deutschlands. Bad Godesberg, 1962, 432- 443
- 22 陈效速. 华北地区春夏季的物候季节节奏研究. 地理科学, 1990, 10(2): 69 ~ 76
- 23 Lieth H. Purposes of a Phenobgical Book, in Lieth H. (Ed), Phenology and Seasonality Modeling, Springer- Verlag. 1974, 3- 19
- 24 可桢, 宛敏渭. 物候学. 北京: 科学出版社, 1980. 79: 110
- 25 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. 7 ~ 8

RELATIONSHIPS BETWEEN GROWING SEASONS DETERMINED BY TREES' PHENOLOGY AND AIR TEMPERATURE: THE CASE OF THE TAUNUS MOUNTAIN AREA IN CENTRAL GERMANY

Chen Xiaoqi

(*Department of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing, 100871*)

Abstract

The true growing season is defined as the number of days in a year in which a crop can grow. However, the common measure of the growing season has been the number of days between the first date and the last date of the daily mean temperature above a threshold value such as 5 or 10 etc.. In this paper the temporal relationships between growing seasons determined by trees' phenology (the period between the dates of leaf emergence and the date of leaf coloration by *Fagus sylvatica*, *Quercus robur* and *Betula pendula*) and air temperature (the period of the daily mean temperature above 5 and 10) has been analysed using the time series from 1951 to 1990 at Geisenheim, Koenigstein and Kleiner Feldberg in the Taunus Mountain area.

The correlation analysis shows that there is no significant correlation between the lengths of growing seasons of phenology and temperature (10 at the three sites, based on which the growing season defined by the daily mean temperature (10 can not represent and replace the growing season of forest trees although the average beginning and ending dates and the average lengths of the two kinds of growing seasons are very similar.

However, there is a significant positive correlation between the lengths of growing seasons based on phenology and temperature (5 and a significant negative correlation between the first date of the period of temperature (5 and the length of the phenological growing season at the lower elevation. This result indicates that variations in phenological growing season are influenced by changes in temperature, especially in spring temperature, for a longer period, namely, the higher the spring temperature is, the longer the phenological growing season will be; the lower the spring temperature is, the shorter the phenological growing season will be. Therefore, the temperature in spring is an earlier indication for detecting responses of the growing season of land vegetation to climate change.

According to the significant correlation between the first flowering dates in spring (x) and the frost-free period (y) of whole year at different elevations, four linear and polynomial regression equations have been established. On the basis of these equations, the frost-free period can be estimated for sites at which there is no climatological data.

Key Words: Growing season, Trees' phenology, Air temperature, Frost-free period, Central Germany.