

中国兰科植物结实物候与主要气候因子关系初探

张娜^{1a,2}, 孙露^{1b}, 张伟^{1a}, 张石宝^{1a,①}

(1. 中国科学院昆明植物研究所; a. 资源植物与生物技术重点实验室, b. 东亚植物多样性与生物地理学重点实验室, 云南 昆明 650201;
2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 对 1951 年至 2012 年中国兰科 (Orchidaceae) 植物具果标本的时空分布、结实物候年变化以及结实物候与主要气候因子的关系进行分析。结果表明: 供试兰科植物标本主要分布在东经 100°~120°、北纬 20°~30° 区域, 标本数量随海拔升高而减少。整体上看, 兰科植物结实物候的年变化不显著, 附生型和兼性附生型种类结实物候的年变化也不显著, 但地生型种类结实物候的年变化却显著, 每 10 年提前 1.2 d。全部种类以及附生型和地生型种类的结实物候随当月平均气温、当月平均最低气温和当月平均最高气温升高而显著提前, 但随当月降水量和当月平均空气相对湿度降低而显著推迟; 而兼性附生型种类的结实物候随 3 个气温因子升高无明显变化, 但随当月降水量和当月平均空气相对湿度降低分别显著推迟和显著提前。推测气温升高和降水量减少的双重作用导致兰科植物结实物候的年变化不显著。附生型种类的结实物候与当月降水量的拟合方程斜率的绝对值小于地生型种类, 但与其他气候因子的拟合方程斜率的绝对值均大于地生型种类。研究结果显示: 中国兰科植物的结实物候在 1951 年至 2012 年间整体上无明显变化, 气温和水分条件是影响兰科植物结实物候的重要气候因子。地生型种类的结实物候对降水量变化更敏感, 而附生型种类的结实物候对气温和空气相对湿度变化更敏感。

关键词: 兰科植物; 结实物候; 气候因子; 标本

中图分类号: Q948.112; Q949.71⁺8.43 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2021)05-0001-09
DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2021.05.01

Preliminary study on relationship between fruiting phenology of Orchidaceae in China and major climatic factors ZHANG Na^{1a,2}, SUN Lu^{1b}, ZHANG Wei^{1a}, ZHANG Shibao^{1a,①} (1. Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences; a. Key Laboratory of Economic Plants and Biotechnology, b. Key Laboratory for Plant Diversity and Biogeography of East Asia, Kunming 650201, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2021, 30(5): 1-9

Abstract: In present study, fruiting phenology of Orchidaceae in China was analyzed. The time-spatial data was obtained from specimens with fruits during 1951-2012, the annual changes in fruiting phenology and the relationship between fruiting phenology and major climatic factors were analyzed. The data assemblage reveals that the test Orchidaceae specimens are mainly distributed in the areas of E100°-120° and N20°-30°, and specimen numbers are decreased with the increase of altitude. Overall, there is no significant annual variation of fruiting phenology of Orchidaceae, and is also no significant annual variation of fruiting phenology of epiphytic and facultative epiphytic species, but the annual variation of fruiting phenology of terrestrial species is significantly, with an advance of 1.2 d per 10 years. The fruiting phenology of all species and epiphytic and terrestrial species are significantly advanced with the increase of monthly mean temperature, monthly mean minimum temperature, and monthly mean maximum temperature, whereas are significantly delayed with the decrease of monthly precipitation and monthly

收稿日期: 2021-02-05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31970361)

作者简介: 张娜 (1995-), 女, 陕西咸阳人, 硕士研究生, 从事植物生理生态学研究。

①通信作者 E-mail: sbzhang@mail.kib.ac.cn

引用格式: 张娜, 孙露, 张伟, 等. 中国兰科植物结实物候与主要气候因子关系初探[J]. 植物资源与环境学报, 2021, 30(5): 1-9.

mean relative air humidity. For facultative epiphytic species, there is no significant trend with the increase of three temperature factors, but is significantly delayed with the decrease of monthly precipitation and significantly advanced with the decrease of monthly mean relative air humidity. Based on the results, present study infers that no significant difference in fruiting phenology is due to conflict influence of temperature increasing and precipitation decreasing. For the absolute value of slope of fitting equation between fruiting phenology of epiphytic species and monthly precipitation is smaller than that of terrestrial species, but the absolute value of slope of fitting equation between fruiting phenology of epiphytic species and other climatic factors is larger than that of terrestrial species. Consequently, the fruiting phenology of Orchidaceae in China does not present an obvious annual trend during 1951–2012, the temperature and moisture conditions are major impact factors on fruiting phenology of Orchidaceae. Furthermore, fruiting phenology of terrestrial species is more related to precipitation, while epiphytic species is more related to temperature and relative air humidity.

Key words: Orchidaceae; fruiting phenology; climatic factor; specimen

物候是反映植物响应气候变化的重要指标。100多年来,全球气候变化加剧,这可能对陆地生态系统产生显著影响^[1]。研究发现,环境因子对植物的发芽、开花及结果等物候影响显著^[2-6]。例如:温度每升高1℃,黑龙江省52种木本植物的出叶期和开花期分别提前3.11和2.87 d^[4]。充沛的降水能促进紫薇(*Lagerstroemia indica* Linn.)提早开花^[5]。但是,不同种类和发育阶段植物的开花和结实物候对环境因子的响应存在差异^[7-8]。例如:全年变暖使喜马拉雅地区树形杜鹃(*Rhododendron arboreum* Smith)开花提前,而秋季变暖则使其开花延迟^[9];温度升高,绶草[*Spiranthes sinensis* (Pers.) Ames]的花期在潮湿地区提前,但在干旱地区推迟^[10]。结实物候对植物的繁衍具有重要影响,是认识气候变化对植物影响的重要指标^[11],因此,加强植物结实物候研究对于理解植物对气候的响应具有重要意义。

兰科(Orchidaceae)是有花植物的第2大科,具有多样化的形态和生态适应特征^[12]。约70%的兰科种类生长在树木或岩石上^[13],并与真菌和传粉昆虫形成密切甚至特异的协同进化关系^[14],因此,兰科植物对真菌和传粉昆虫的依赖程度较高,对环境变化敏感。许多兰科植物因具有重要的观赏价值和药用价值而遭到过度采挖^[15],生境被严重破坏,野生资源日趋减少。目前,所有野生兰科植物均被列入《野生动植物濒危物种国际贸易公约》(CITES)的保护范畴。研究兰科植物的结实物候变化及其与环境因子的关系有助于认识其对全球环境变化的响应,并为制定有效的保护策略提供参考依据。

植物标本记录着采集时的历史信息(如生长状况和地理分布等),成为能够提供植物历史表型的

“时间胶囊”^[16],在研究植物物候对环境变化的响应上具有重要价值^[17-18]。中国是世界上兰科植物较丰富的国家,约有1600种^[19]。多年来,国内科研工作者采集了大量的兰科植物标本,为研究兰科植物的结实物候提供了重要的基础资料。本研究利用这些兰科植物标本信息采集地当年当月气候因子数据,分析了供试兰科植物结实物候的年变化及其与采集地主要气候因子的关系,以期了解中国兰科植物结实物候的变化规律及其对各气候因子变化的响应,开拓标本数据在兰科植物物候研究中的应用,为预测兰科植物对全球气候变化的响应及物种保护提供参考。

1 研究方法

1.1 兰科植物结实物候信息的获取与整理

从中国数字植物标本馆(<http://www.cvh.ac.cn/>)、国家标本平台(<http://www.nsii.org.cn/>)和中国科学院昆明植物标本馆(KUN)获得1951年至2012年采集的兰科植物标本信息。对获得的原始标本信息进行筛选,选出采集信息(包括物种鉴定信息、采集地点及采集日期等)完整并准确且具果实的标本;参照《Flora of China》^[20]中的兰科植物名录,对选出的标本信息进行校对,共获得4377条标本信息,涵盖89属306种。利用百度地图官方api(<http://lbsyun.baidu.com/>)中提供的正向地理解码功能导出采集地BD09坐标系,采用官方坐标转换公式将BD09坐标系转换成WGS84坐标系,利用ArcGIS软件栅格处理模块(值提取至点)从中国地形DEM栅格图中提取采集地坐标点对应的高程信息。

为了便于统计分析,参照相关研究^[5,21]的方法对

标本的结实物候进行数据转换,将每份标本的采集日期转换为1~366之间的整数。计算每份标本的结实物候与该种类平均结实物候的差值,对数据进行中心化处理,消除种间差异,据此进行后续分析。

1.2 气候数据的获取

根据相关研究结果^[3,5,10],温度、降水量和空气相对湿度是影响植物物候的主要气候因子,因此,本研究选取标本采集地的当月平均气温、当月平均最低气温、当月平均最高气温、当月降水量和当月平均空气相对湿度进行研究。这些气候因子数据均来源于中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>),为756个气象站点在1951年1月至2012年11月的月数据。由于本研究涉及的气象站点密度远小于 $8 \times 10^{-9} \text{ m}^{-2}$ ^[22],故采用普通克里金法(ordinary Kriging method)^[23]提取各气候因子数据。提取数据时,先用普通克里金法制作当年当月的的气候数据栅格图,再利用值提取至点的方法将气候信息与物候信息进行匹配。匹配完成后,利用ArcGIS软件中“地统计向导”模块的插值模型的自动交叉验证功能检验匹配结果的可信度。

1.3 统计分析

根据《Flora of China》^[20],将兰科植物的生活型分成附生型、地生型(包括腐生型)和兼性附生型,分别有147、143和16种。对全部标本及不同生活型标本进行分析。分析前,利用Rv.3.6.1软件中stats程序包的qqnorm函数检测兰科植物结实物候的正态性。结果显示:结实物候呈正态分布。利用简单线性回归分析法分析兰科植物的结实物候与采集地当月平均气温、当月平均最低气温、当月平均最高气温、当

月降水量和当月平均空气相对湿度的关系。利用Rv.3.6.1软件中stats程序包的lm函数进行线性拟合,并利用ggplot2程序包的ggplot函数绘图。

2 结果和分析

2.1 兰科植物的时空分布

对供试兰科植物标本的时空分布进行统计,结果(表1)表明:从采集地的经度和纬度看,这些标本主要分布在东经 $100^{\circ} \sim 120^{\circ}$ 、北纬 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 区域,与兰科植物的实际分布状况一致。从采集地的海拔看,这些标本的分布随海拔升高而减少。从采集月份看,这些标本的采集月份主要集中在7月和8月。

2.2 兰科植物结实物候的年变化

基于所有供试标本对中国兰科植物的结实物候进行统计,结果(图1)表明:整体上看,兰科植物结实物候的年变化不显著。从不同生活型看,附生型和兼性附生型种类结实物候的年变化均不显著,但地生型种类结实物候的年变化却显著($P < 0.05$)。从拟合线性方程的斜率看,地生型种类的结实物候每10年提前1.2 d。

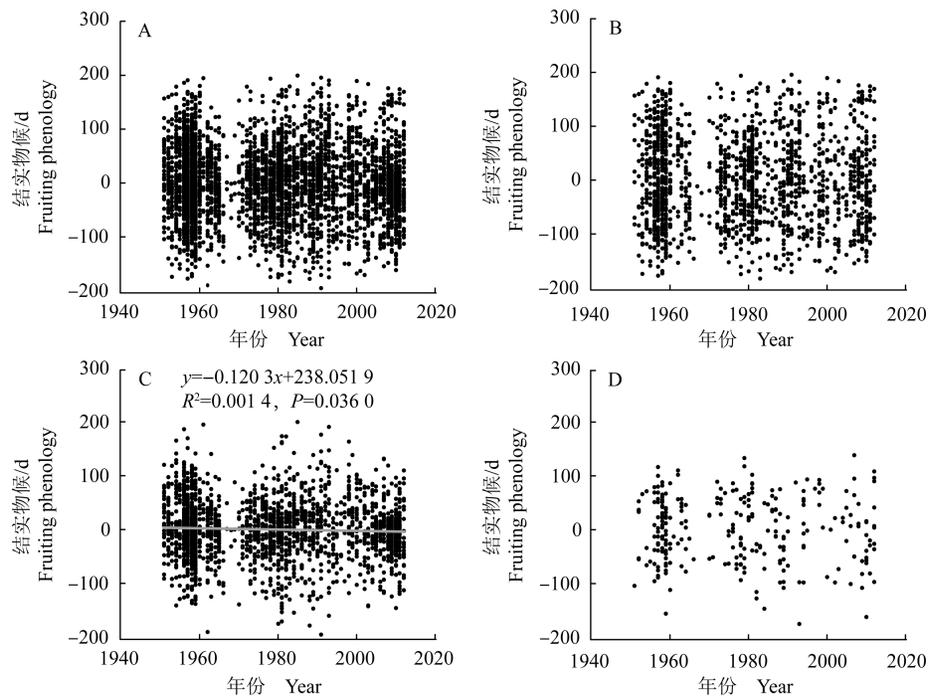
2.3 兰科植物结实物候与气候因子的关系

2.3.1 与气温的关系 本研究发现,在1951年至2012年间,采集地的当月平均气温、当月平均最低气温和当月平均最高气温均呈上升趋势(数据未展示)。基于标本数据的中国兰科植物结实物候与采集地当月平均气温、当月平均最低气温和当月平均最高气温的关系分别见图2、图3和图4。结果表明:随

表1 供试中国兰科植物标本的时空分布

Table 1 Spatial and temporal distribution of test specimens of Orchidaceae in China

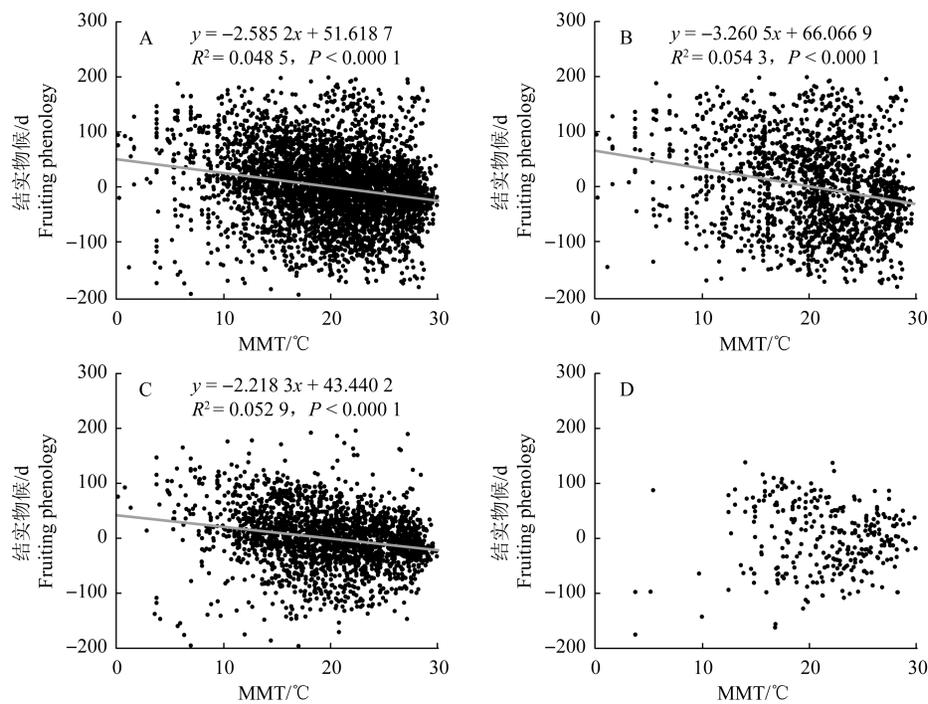
经度 Longitude (Long)	标本数量 Specimen number	纬度 Latitude (Lat)	标本数量 Specimen number	海拔/m Altitude (Alt)	标本数量 Specimen number	采集月份 Collection month	标本数量 Specimen number
$E70^{\circ} \leq \text{Long} < E80^{\circ}$	1	$N15^{\circ} \leq \text{Lat} < N20^{\circ}$	185	$0 \leq \text{Alt} < 1\ 000$	2\ 297	1月 January	69
$E80^{\circ} \leq \text{Long} < E90^{\circ}$	72	$N20^{\circ} \leq \text{Lat} < N25^{\circ}$	1\ 608	$1\ 000 \leq \text{Alt} < 2\ 000$	1\ 273	2月 February	62
$E90^{\circ} \leq \text{Long} < E100^{\circ}$	603	$N25^{\circ} \leq \text{Lat} < N30^{\circ}$	1\ 829	$2\ 000 \leq \text{Alt} < 3\ 000$	504	3月 March	128
$E100^{\circ} \leq \text{Long} < E110^{\circ}$	2\ 362	$N30^{\circ} \leq \text{Lat} < N35^{\circ}$	533	$3\ 000 \leq \text{Alt} < 4\ 000$	245	4月 April	251
$E110^{\circ} \leq \text{Long} < E120^{\circ}$	1\ 228	$N35^{\circ} \leq \text{Lat} < N40^{\circ}$	121	$4\ 000 \leq \text{Alt} < 5\ 000$	58	5月 May	338
$E120^{\circ} \leq \text{Long} < E130^{\circ}$	105	$N40^{\circ} \leq \text{Lat} < N45^{\circ}$	67			6月 June	441
$E130^{\circ} \leq \text{Long} < E140^{\circ}$	6	$N45^{\circ} \leq \text{Lat} < N50^{\circ}$	30			7月 July	703
		$N50^{\circ} \leq \text{Lat} < N55^{\circ}$	4			8月 August	789
						9月 September	521
						10月 October	527
						11月 November	417
						12月 December	131



A: 全部 All; B: 附生型 Epiphytic type; C: 地生型 Terrestrial type; D: 兼性附生型 Facultative epiphytic type.

图1 基于标本数据的中国兰科植物结实物候在1951年至2012年间的年变化

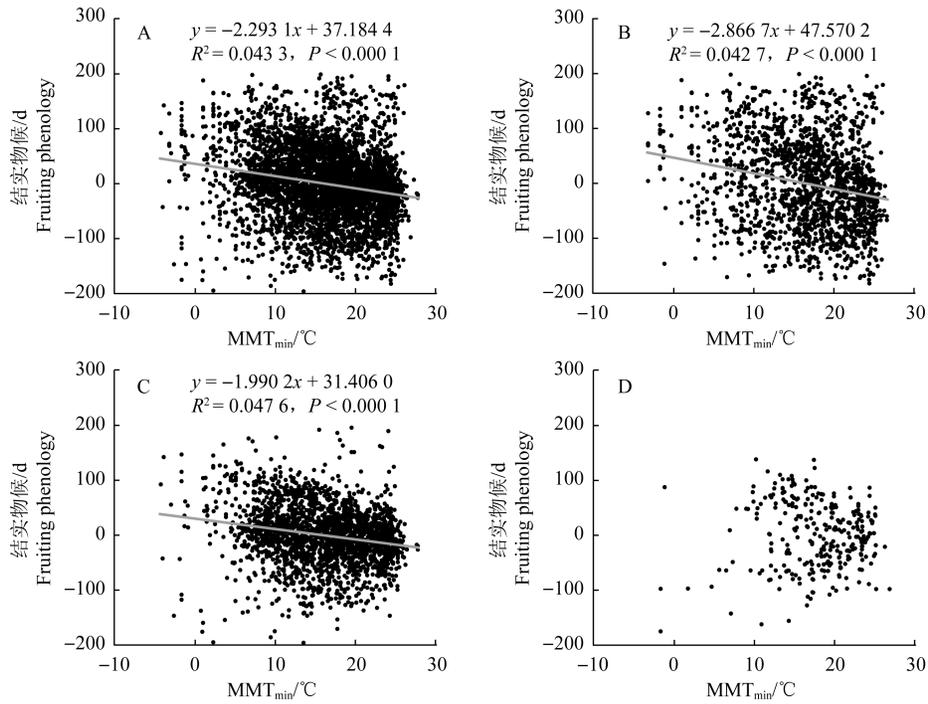
Fig. 1 Annual variation in fruiting phenology of Orchidaceae in China during 1951–2012 based on specimen data



A: 全部 All; B: 附生型 Epiphytic type; C: 地生型 Terrestrial type; D: 兼性附生型 Facultative epiphytic type.

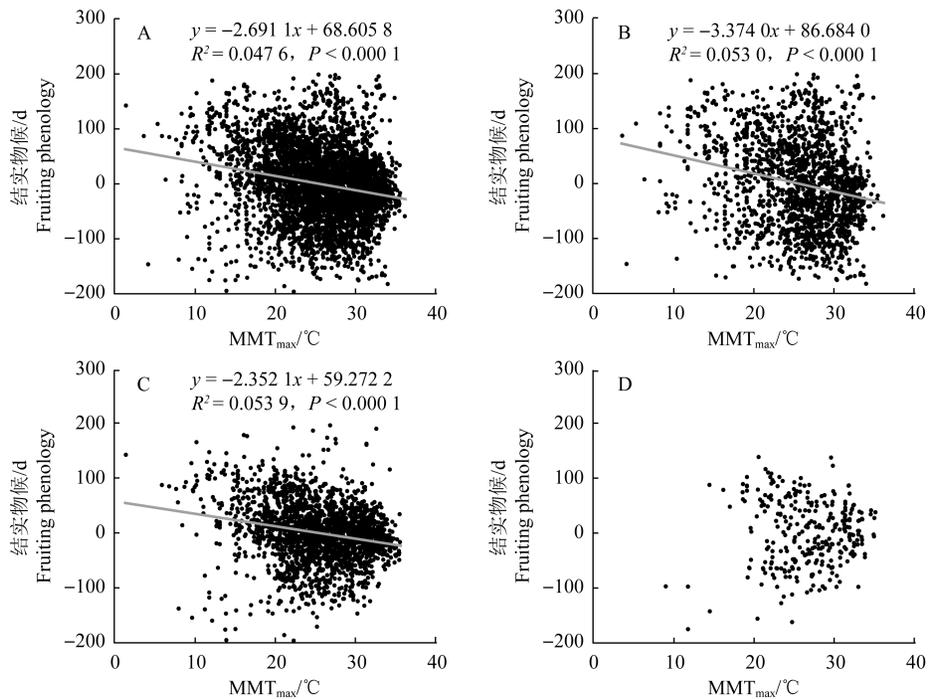
图2 基于标本数据的中国兰科植物结实物候与采集地当月平均气温(MMT)的关系

Fig. 2 Relationship between fruiting phenology of Orchidaceae in China and monthly mean temperature (MMT) of locations based on specimen data



A: 全部 All; B: 附生型 Epiphytic type; C: 地生型 Terrestrial type; D: 兼性附生型 Facultative epiphytic type.

图 3 基于标本数据的中国兰科植物结实物候与采集地当月平均最低气温 (MMT_{min}) 的关系
 Fig. 3 Relationship between fruiting phenology of Orchidaceae in China and monthly mean minimum temperature (MMT_{min}) of locations based on specimen data



A: 全部 All; B: 附生型 Epiphytic type; C: 地生型 Terrestrial type; D: 兼性附生型 Facultative epiphytic type.

图 4 基于标本数据的中国兰科植物结实物候与采集地当月平均最高气温 (MMT_{max}) 的关系
 Fig. 4 Relationship between fruiting phenology of Orchidaceae in China and monthly mean maximum temperature (MMT_{max}) of locations based on specimen data

着采集地当月平均气温、当月平均最低气温和当月平均最高气温的升高,全部兰科植物的结实物候显著 ($P<0.05$) 提前,附生型和地生型种类的结实物候也显著提前,而兼性附生型种类的结实物候却无显著变化趋势。

从拟合线性方程的斜率看,采集地当月平均气温每升高 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$,全部兰科植物的结实物候提前 2.6 d,附生型和地生型种类的结实物候分别提前 3.3 和 2.2 d;采集地当月平均最低气温每升高 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$,全部兰科植物的结实物候提前 2.3 d,附生型和地生型种类的结实物候分别提前 2.9 和 2.0 d;采集地当月平均最高气温每升高 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$,全部兰科植物的结实物候提前 2.7 d,附生型和地生型种类的结实物候分别提前 3.4 和 2.4 d。

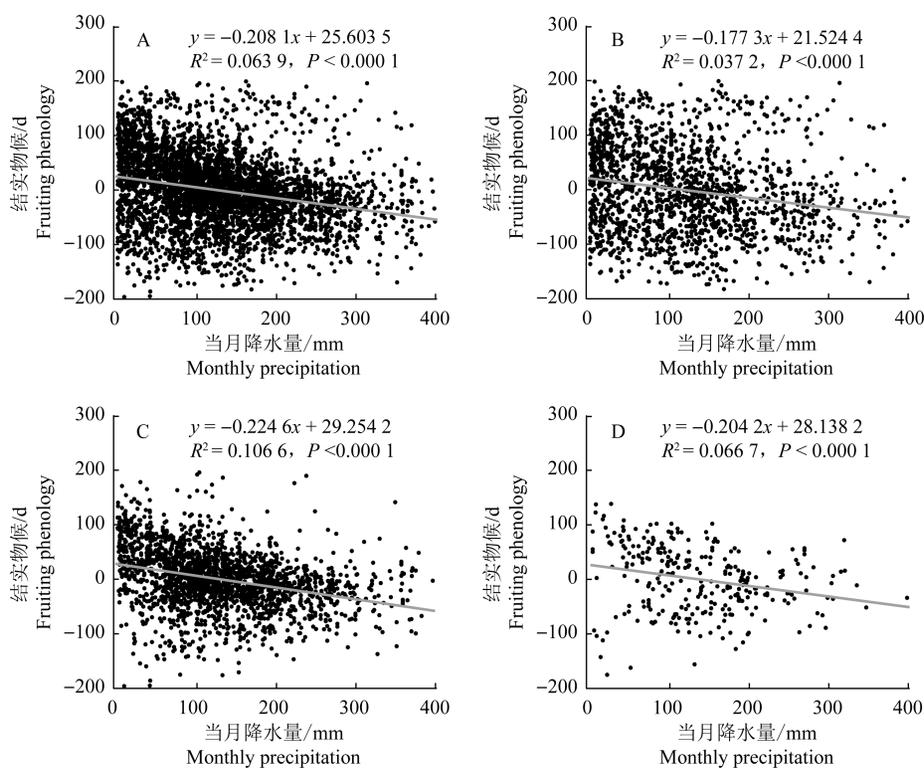
2.3.2 与降水量的关系 本研究发现,在 1951 年至 2012 年间,采集地的当月降水量呈下降趋势(数据未展示)。基于标本数据的中国兰科植物结实物候与采集地当月降水量的关系见图 5。结果表明:随着采集地当月降水量的降低,全部兰科植物以及附生型、

地生型和兼性附生型 3 种生活型种类结实物候的变化趋势一致,均表现为显著推迟。

从拟合线性方程的斜率看,采集地当月降水量每减少 10 mm,全部兰科植物的结实物候推迟 2.0 d,附生型、地生型和兼性附生型种类的结实物候分别推迟 1.8、2.2 和 2.0 d。

2.3.3 与空气相对湿度的关系 本研究发现,在 1951 年至 2012 年间,采集地的当月平均空气相对湿度也呈下降趋势(数据未展示)。基于标本数据的中国兰科植物结实物候与采集地当月平均空气相对湿度的关系见图 6。结果表明:随着采集地当月平均空气相对湿度的降低,全部兰科植物以及附生型和地生型种类的结实物候均显著推迟,而兼性附生型种类的结实物候却显著提前。

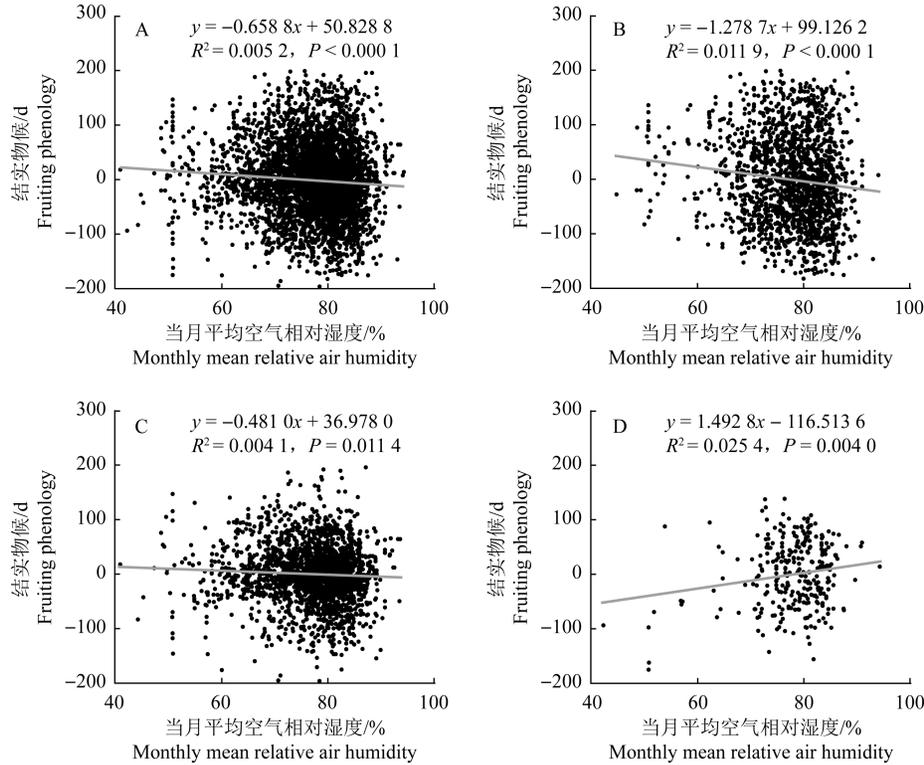
从拟合线性方程的斜率看,采集地当月平均空气相对湿度每降低 1%,全部兰科植物的结实物候推迟 0.6 d,附生型和地生型种类的结实物候分别推迟 1.3 和 0.5 d,而兼性附生型种类的结实物候提前 1.5 d。



A: 全部 All; B: 附生型 Epiphytic type; C: 地生型 Terrestrial type; D: 兼性附生型 Facultative epiphytic type.

图 5 基于标本数据的中国兰科植物结实物候与采集地当月降水量的关系

Fig. 5 Relationship between fruiting phenology of Orchidaceae in China and monthly precipitation of locations based on specimen data



A: 全部 All; B: 附生型 Epiphytic type; C: 地生型 Terrestrial type; D: 兼性附生型 Facultative epiphytic type.

图 6 基于标本数据的中国兰科植物结实物候与采集地当月平均空气相对湿度的关系

Fig. 6 Relationship between fruiting phenology of Orchidaceae in China and monthly mean relative air humidity of locations based on specimen data

3 讨论和结论

已有研究表明: 在 1961 年至 2012 年间, 豆科 (Fabaceae) 植物的结实期无明显变化^[24], 而华北珍珠梅 [*Sorbaria kirilowii* (Regel) Maxim.] 的结实期则呈提前趋势^[25], 说明不同物种的结实物候变化趋势不一致。在 1951 年至 2012 年间, 供试兰科植物标本采集地的当月平均气温、当月平均最低气温和当月平均最高气温均表现为上升趋势, 当月降水量和当月平均空气相对湿度则表现为下降趋势, 而兰科植物的结实物候整体上无显著变化, 推测这是气温和降水量的变化趋势相反的缘故。气温升高使兰科植物的结实物候提前, 而降水量下降使兰科植物的结实物候推迟, 二者同时作用使其单独影响效应被抵消。值得注意的是, 在兰科植物的 3 种生活型中, 只有地生型种类结实物候的年变化显著, 表现为提前, 这可能是由于地生型兰科植物主要分布在高海拔或高纬度地区^[26], 而高纬度和高海拔地区的温度偏低, 生长在这

些地区的植物往往对温度变化的敏感度较低海拔或低纬度地区植物高^[27]。

温度是影响植物物候变化的重要因子之一^[28], 但气温变化对不同物种结实物候的影响存在差异。例如: 随着温度升高, 山槐 [*Albizia kalkora* (Roxb.) Prain] 和野皂荚 (*Gleditsia microphylla* Gordon ex Y. T. Lee) 等物种的果实成熟期提前, 而光叶山楂 (*Crataegus dahurica* Koehne ex Schneid.) 和华北忍冬 (*Lonicera tatarinowii* Maxim.) 等物种的果实成熟期则推迟^[29]; 文冠果 (*Xanthoceras sorbifolium* Bunge)^[30] 和黑果枸杞 (*Lycium ruthenicum* Murray)^[31] 的果期亦随温度升高而提前。本研究中, 供试的兰科植物全部种类以及附生型和地生型种类的结实物候均随采集地的当月平均气温、当月平均最低气温和当月平均最高气温表现出一致的变化趋势, 即这些兰科植物的结实物候随采集地当月平均气温、当月平均最低气温和当月平均最高气温的升高而显著提前。比较发现, 3 种生活型种类的结实物候对气温变化的响应存在一定差异。随采集地当月平均气温、当月平均最低气温和

当月平均最高气温的升高,附生型种类结实物候的提前幅度最大。可见,气温是影响中国兰科植物结实物候的一个重要气候因子。

水分(包括降水量和空气相对湿度等因子)对植物的物候具有重要影响。降水量增大可使植物的物候期提前^[25,30,32];空气相对湿度过低会导致金丝小枣(*Ziziphus jujuba* Mill.)出现落花、“焦花”现象,而空气相对湿度升高则有利于金丝小枣的开花和结实^[33]。本研究中,供试全部兰科植物以及地生型和附生型种类的结实物候均随采集地当月降水量和当月平均空气相对湿度的降低而显著推迟。值得注意的是,不同生活型兰科植物的结实物候与各气候因子的拟合方程斜率的绝对值存在差异,仅附生型种类的结实物候与当月降水量的拟合方程斜率的绝对值小于地生型种类,该生活型种类的结实物候与其他气候因子的拟合方程斜率的绝对值均大于地生型,说明不同生活型兰科植物的结实物候对气候因子变化的响应存在一定差异,地生型种类对降水量变化更敏感,而附生型种类对气温和空气相对湿度变化更敏感。究其原因,附生型植物的根系裸露在空气中,吸收的水分主要来自空气;地生型植物的根系生长在土壤中,吸收的水分主要来自土壤。与地生型和附生型种类不同,兼性附生型种类的结实物候随采集地当月平均空气相对湿度的降低而提前,这可能是不同种类兰科植物对空气相对湿度变化的响应差异所致,也可能与该类型兰科植物标本数量较少有关,具体原因有待进一步探究。可见,水分条件是影响中国兰科植物结实物候变化的另一个重要气候因子。

本研究利用标本数据初步探讨了中国部分兰科植物结实物候的变化及其与5个主要气候因子的关系,但由于标本信息获取受限,尚未获取台湾省兰科植物标本,且部分标本(1950年前)缺少相匹配的环境数据,未能开展全面、系统的研究,使得研究结论存在一定的局限性,后续研究将增加标本数据覆盖范围,以期得出更全面的结论。

致谢:中国科学院昆明植物研究所朱光福同学和毕迎凤老师、中国地震局地震研究所刘禹同学以及中国农业大学胡文浩老师均对本研究提供了大量帮助,在此一并表示感谢!

参考文献:

- [1] SCHWARTZ M D. Phenology: an Integrative Environmental Science [M]. 2nd ed. Berlin: Springer Netherlands, 2003: 1-5.
- [2] 储吴樾, 范俊俊, 张往祥. 观赏海棠花期物候稳定性及其对温度变化的响应[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2020, 44(5): 49-54.
- [3] 刘俊, 王胜宏, 金蒙蒙, 等. 基于微博大数据的2010~2018年中国桃花观赏日期时空格局研究[J]. 地理科学, 2019, 39(9): 1446-1454.
- [4] DU Y, CHEN J, WILLIS C G, et al. Phylogenetic conservatism and trait correlates of spring phenological responses to climate change in northeast China[J]. Ecology and Evolution, 2017, 7: 6747-6757.
- [5] 陈发军, 杨银华, 柳继尧, 等. 川南城市园林中紫薇开花物候变化特征及其影响因素[J]. 生态学杂志, 2017, 36(7): 1841-1846.
- [6] 张毅, 敖妍, 刘觉非, 等. 文冠果物候期对环境因子的响应[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2019, 43(5): 30-36.
- [7] DU Y, MAO L, QUEENBOROUGH S A, et al. Macro-scale variation and environmental predictors of flowering and fruiting phenology in the Chinese angiosperm flora [J]. Journal of Biogeography, 2020, 47: 2303-2314.
- [8] MILLER-RUSHING A J, KATSUKI T, PRIMACK R B, et al. Impact of global warming on a group of related species and their hybrids: cherry tree (Rosaceae) flowering at Mt. Takao, Japan[J]. American Journal of Botany, 2007, 94(9): 1470-1478.
- [9] HART R, SALICK J, RANJITKAR S, et al. Herbarium specimens show contrasting phenological responses to Himalayan climate [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2014, 111(29): 10615-10619.
- [10] SONG Z, FU Y H, DU Y, et al. Global warming increases latitudinal divergence in flowering dates of a perennial herb in humid regions across eastern Asia [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2021, 296: 108209.
- [11] GALLINAT A S, PRIMACK R B, WAGNER D L. Autumn, the neglected season in climate change research [J]. Trends in Ecology and Evolution, 2015, 30(3): 169-176.
- [12] GRAVENDEEL B, SMITHSON A, SLIK F J, et al. Epiphytism and pollinator specialization: drivers for orchid diversity? [J]. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 2004, 359: 1523-1535.
- [13] ZHANG S B, DAI Y, HAO G Y, et al. Differentiation of water-related traits in terrestrial and epiphytic *Cymbidium* species [J]. Frontiers in Plant Science, 2015, 6: 260.
- [14] SELOSSE M A. The latest news from biological interactions in orchids: in love, head to toe [J]. New Phytologist, 2014, 202: 337-340.
- [15] 檀芙蓉. 藤山自然保护区兰科植物物种资源及其保护 [J]. 中国野生植物资源, 2006, 25(3): 23-26.
- [16] KOSKI M H, MACQUEEN D, ASHMAN T L. Floral pigmentation has responded rapidly to global change in ozone and temperature [J]. Current Biology, 2020, 30: 1-7.
- [17] WILLIS C G, ELLWOOD E R, PRIMACK R B, et al. Old plants, new tricks: phenological research using herbarium specimens [J].

- Trends in Ecology and Evolution, 2017, 32(7): 531-546.
- [18] DUAN Y W, REN H B, LI T, et al. A century of pollination success revealed by herbarium specimens of seed pods [J]. *New Phytologist*, 2019, 224(4): 1512-1517.
- [19] ZHOU X, CHENG Z, LIU Q, et al. An updated checklist of Orchidaceae for China, with two new national records [J]. *Phytotaxa*, 2016, 276(1): 1-148.
- [20] WU Z Y, RAVEN P H, HONG D Y. *Flora of China*; Vol. 25 [M]. Beijing: Science Press, 2009: 1-506.
- [21] MUNSON S M, LONG A L. Climate drives shifts in grass reproductive phenology across the western USA [J]. *New Phytologist*, 2017, 213: 1945-1955.
- [22] 蒋育昊, 刘鹏举, 夏智武, 等. 站点密度对复杂地形 PRISM 月降雨空间插值精度的影响 [J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2017, 41(4): 115-120.
- [23] 宋亚男, 王秀兰, 冯仲科. 区域气象要素的空间插值方法比较研究: 以华北地区为例 [J]. *山东林业科技*, 2014(6): 1-6.
- [24] FAVA W S, DA CUNHA N L, LORENZ A P. Reproductive phenology of *Leptolobium dasycarpum* and *L. elegans* across the Brazilian savanna based on herbarium records [J]. *Flora*, 2019, 255: 34-41.
- [25] 潘世成, 祁军, 张学炎, 等. 兴隆山自然保护区华北珍珠梅物候期对水热条件的响应 [J]. *草业科学*, 2016, 33(9): 1818-1824.
- [26] ZHANG S B, CHEN W Y, HUANG J L, et al. Orchid species richness along elevational and environmental gradients in Yunnan, China [J]. *PLOS ONE*, 2015, 10(11): e0142621.
- [27] LI L H, ZHANG Y L, WU J S, et al. Increasing sensitivity of alpine grasslands to climate variability along an elevational gradient on the Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 678: 21-29.
- [28] 王连喜, 陈怀亮, 李琪, 等. 植物物候与气候研究进展 [J]. *生态学报*, 2010, 30(2): 447-454.
- [29] 陈菲菲, 周志强, 张玉红, 等. 黑龙江木本植物果实成熟期对气象变化的响应 [J]. *东北林业大学学报*, 2017, 45(7): 18-21.
- [30] 敖妍, 张宁, 赵磊磊, 等. 不同分布区文冠果物候期的差异及其与地理-气候因子和结实性状的相关性 [J]. *植物资源与环境学报*, 2017, 26(2): 27-34.
- [31] 刘克彪, 郭春秀, 张元恺, 等. 不同种源黑果枸杞物候期和生长差异及其与地理-气候因子的相关性分析 [J]. *植物资源与环境学报*, 2019, 28(4): 41-48.
- [32] 翟佳, 袁凤辉, 吴家兵. 植物物候变化研究进展 [J]. *生态学杂志*, 2015, 34(11): 3237-3243.
- [33] 李连起, 邢同瑄, 李秀芬, 等. 金丝小枣物候期与气候条件关系的研究 [J]. *林业科技通讯*, 1998(4): 25-26.

(责任编辑: 佟金凤)



欢迎订阅 2022 年《植物资源与环境学报》

《植物资源与环境学报》为江苏省中国科学院植物研究所和江苏省植物学会联合主办的学术刊物,国内外公开发行。本刊为全国中文核心期刊(北大核心)、中国科技核心期刊和中国科学引文数据库核心期刊(CSCD 核心),并为 BA(预评)、CAB、BCI、JST、中国生物学文摘、中国环境科学文摘、中国科学引文数据库、万方数据——数字化期刊群、中国学术期刊(光盘版)、超星期刊域出版平台和中文科技期刊数据库等国内外著名刊库收录。2013 年荣获“首届江苏省新闻出版政府奖·期刊奖”及江苏省精品科技期刊项目;2015 年荣获“第六届江苏省科技期刊金马奖·精品期刊奖”;2015 年至 2021 年均荣获江苏省精品科技期刊项目。

本刊围绕植物资源与环境两个中心命题,报道我国植物资源的考察、开发利用和植物物种多样性保护,自然保护区与植物园的建设和管理,植物在保护和美化环境中的作用,环境对植物的影响以及与植物资源和植物环境有关学科领域的原始研究论文、研究简报和综述等。凡从事植物学、生态学、自然地理学以及农、林、园艺、医药、食品、轻化工和环境保护等领域的科研、教学、技术人员及决策者均可以从本刊获得相关

学科领域的研究进展和信息。

本刊为双月刊,大 16 开本,2022 年起每期 100 页。全国各地邮局均可订阅,邮发代号 28-213,每期定价 26 元,全年定价 156 元。国内统一连续出版物号 CN 32-1339/S,国际标准连续出版物号 ISSN 1674-7895。若错过征订时间或需补齐 1992 年至 2020 年各期,请直接与编辑部联系邮购。1992 年至 1993 年每年 8 元;1994 年至 2000 年每年 16 元;2001 年至 2005 年每年 24 元;2006 年至 2008 年每年 40 元;2009 年至 2011 年每年 60 元;2012 年至 2019 年每年 80 元;2020 年至 2021 年每年 120 元;2022 年每年 156 元(均含邮资,如需挂号另付挂号费 3 元;快递到付)。地址:江苏省南京市中山门外江苏省中国科学院植物研究所内(邮编 210014);电话:025-84347014;QQ:2219161478;E-mail:zwzybjb@163.com。投稿邮箱网址: <http://zwzy.cnbg.net>。

本刊已开通微信公众号,欢迎您扫码关注。

