

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2016.01.008

短期增温对入侵植物一年蓬开花物候与繁殖分配的影响^①

张斯斯^{1,2}, 肖宜安^{1,2,3}, 邓洪平¹,
闫小红², 黄海裙^{2,4}, 廖明²

1. 西南大学 生命科学学院, 重庆 400715; 2. 井冈山大学 生命科学学院, 江西 吉安 343009;
3. 江西省生物多样性与生态工程重点实验室, 江西 吉安 343009; 4. 江西农业大学 农学院, 南昌 330045

摘要: 全球气候变暖和生物入侵是影响生物多样性和生态系统功能的 2 个重要因素. 本文以我国入侵较早、分布范围广、危害较严重的杂草植物一年蓬 *Erigeron annuus* 为研究对象, 采用开顶式增温生长室模拟增温方法, 研究了温度升高对入侵植物一年蓬开花物候和生物量累积及分配的影响. 结果表明: 一年蓬开花时间为 5 月初至 9 月中旬, 短期增温处理后, 一年蓬个体的开花振幅曲线呈单峰曲线, 开花振幅到达高峰之前, 增温处理的开花比例比对照的开花比例极显著高 ($p < 0.01$), 具有较高的开花振幅. 增温对一年蓬的开花物候有显著影响. 极显著提前其始花日和开花高峰日 ($p < 0.01$), 且增加高峰日的开花数 ($p < 0.01$), 延长了花期持续时间 ($p < 0.05$), 同时增加了其种子大小及质量 ($p < 0.05$). 在增温条件下, 显著降低了一年蓬的叶生物量和叶质量比, 但显著增加了根叶比 ($p < 0.05$). 在增温条件下, 一年蓬通过提前开花、开大量的花、延长花期持续时间、增加其种子大小和质量, 从而增加了繁殖投资, 并通过生物量分配投资优化配置来适应气温升高, 提高了一年蓬的适应性和入侵性.

关键词: 短期增温; 一年蓬; 开花物候; 生物量分配

中图分类号: Q949.783.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2016)01-0053-07

以全球平均气温升高和大气 CO₂ 等温室气体浓度升高为主要特征的全球变化正持续影响着陆地生态系统的结构和功能, 威胁着人类的生存与健康, 因而成为世界各国政府和科学家最为关注的环境问题^[1]. 近 100 年来全球平均气温约上升了 0.3~0.6 °C 左右, 据 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 预测, 到 2100 年全球平均气温将升高 1.4~4.0 °C^[2]. 已有许多研究表明气候变暖已经引起本土物种的物候发生显著的转移^[3]、植物群落组成^[4]、地理分布^[5]和物种丰富度^[6]的变化. 类似于本地物种, 全球气候变化可能导致外来生物大规模地入侵与快速扩散, 土著种被破坏, 生物多样性下降, 原来的生态系统受到影响, 导致严重的经济和生态环境问题^[7]. 目前大多数学者研究气候变化和生物入侵对生物多样性的影响常是单独评估, 较少关注气候变化与入侵植物之间整合的影响^[8-9].

一年蓬 *Erigeron annuus* 为菊科飞蓬属 1 年生或 2 年生草本, 原产于北美洲, 最早于 19 世纪 80 年代在上海郊区发现, 此后广泛分布于我国吉林、河北、河南、江西、山东等地, 常生于路边旷野或山坡荒地^[10]. 国内外对一年蓬的研究主要集中在其化感作用^[11]、药理活性^[12]及扩散动态^[13]等方面, 而关于气候

① 收稿日期: 2014-01-26

基金项目: 国家自然科学基金(31060069, 31360099); 江西省生物多样性与生态工程重点实验室基金和江西省高水平学科基金.

作者简介: 张斯斯(1989-), 女, 海南保亭人, 硕士研究生, 主要从事植物生态学研究.

通信作者: 邓洪平, 教授.

变暖对其物候及繁殖分配影响的研究还没有报道. 目前国内外进行模拟增温对入侵植物影响的研究仅针对紫茎泽兰 *Eupatorium adenophorum*^[14]、矢车菊 *Centaurea maculosa*^[15]、蓟 *Thistle*^[16]、北美车前 *Plantago virginica*^[17] 少数几个入侵种的报道. 鉴于一年蓬是我国入侵较早、分布范围广、危害较严重的杂草之一^[18], 且环境因子和植物特性之间的互作对控制该物种的入侵十分重要^[19-20]. 为此本文通过开展气候变暖对一年蓬开花物候及繁殖分配影响的研究, 了解入侵种一年蓬在气候变暖环境下的响应策略, 将为预测未来入侵植物发展趋势, 进而为进一步研究外来入侵植物的入侵机制、预测其潜在的分布范围及综合治理提供资料来源和理论依据.

1 材料和方法

1.1 开顶式增温生长室(OTCs)

开顶式增温生长室(OTCs)建立在江西省吉安市井冈山大学生物园内(25°58′32″—27°57′50″ N、113°46′—115°56′ E). 该地地处赣江中游, 罗霄山脉中段, 年平均气温为 17.1~18.6 °C, 年平均降水量为 1 487 mm. 春寒冬冷, 夏热秋爽, 初夏多雨, 伏秋干燥, 具有四季分明、雨热同季、无霜期长等气候特点.

参照国际冻原计划(ITEEX)模拟增温效应对植被影响的研究方法, 建造开顶式增温小室(OTC). 每个增温 OTC 高 90 cm, 顶部面积为 1 m², 底面积为 2 m², 四周用 PC 板(透光率约 78%)密闭. 由于 OTC 四周 PC 板阻挡作用, 室内风速降低、空气湍流减弱, 使热量不易散失, 起到聚热作用.

1.2 试验材料

试验所用一年蓬均采自井冈山大学校园内. 2013 年 3 月初在井冈山大学校园内采集一年蓬长势相当的 1 年生实生苗, 将实生苗统一移栽到内径 21 cm, 高 21 cm 试验盆中, 每盆 1 株, 用菜园土、河沙和草炭土(按 1:1:1 比例混匀)作为栽培基质, 移栽后将所有盆栽摆放整齐, 在自然环境下放置 2 周, 以保证幼苗存活和生长, 随后把花盆移入开顶式增温生长室内进行温度升高处理. 整个试验处理期间, 进行除草、浇水等日常管理.

1.3 试验处理

本试验设有 OTC 温度升高和自然温度条件作为对照 2 个处理. 每个处理 4 个重复, 每个重复 5 株. 连续处理时间从 2013 年 3 月下旬至 9 月下旬, 共计 6 个月.

1.4 开花物候

在每个样方观察每个植物的开花情况, 每种植物的开花物候从个体和种群水平进行详细观察. 以全部植株为整体, 从植株中第一个花序开花开始, 分别记录各植株的开花时间和开花数量, 之后每隔 3 d 对各处理植株的开花情况进行观察记录, 直到全部植株结束开花停止记录.

个体水平的物候参数以所标记的全部个体的平均值计算. 根据开花数观测计算开花物候参数有始花时间及当日花数, 终花日期及当日花数, 开花高峰日期(该植株 50% 的花开放时的日期)及当日花数, 个体(或种群)总花期长度和平均花期长度, 平均开花振幅(单位时间开花数, 用花数/株/d 表示)和开花同步性. 具体方法参照 Dafni 等^[21]的划分, 其中始花日期则为第 1 个开花植株的开花日期, 个体开花数大于 50% 时为开花高峰期, 无花序开花时为谢花期; 种群水平则分别为 25% 的个体开花时视为始花, 50% 的个体达到开花高峰时视为种群开花高峰期, 95% 的植株开花结束时视为种群花期结束.

同步性指数(Synchrony index, S_i)检测开花同步性高低, 参照肖宜安等^[22]计算同步性指数.

$$S_i = 1/(n-1)[1/f] \sum_{j=1}^n e_j \neq i$$

式中 e_j 为个体 i 和 j 花期重叠时间(d), f_i 表示个体 i 开花的总时间(d), n 表示样地中个体总数. S_i 的变异范围为 0~1, 0 表示种群内个体花期无重叠, 1 表示种群内个体完全重叠.

在本研究中以 5 月 1 日为第一天(记为 1), 5 月 2 日为第 2 天(记为 2), 以此类推.

1.5 生物量分配

待所有植株花期结束后, 采用全部收获法将植株分成根、茎、叶和花序, 然后将各部分样品带回室内, 于 80 ℃ 下烘干至恒定质量, 称取各株根、茎、叶和花序的生物量, 并计算以下指标:

根质量比(Root mass ratio, RMR)=根生物量/总生物量
茎质量比(Stem mass ratio, SMR)=茎生物量/总生物量
叶质量比(Leaf mass ratio, LMR)=叶生物量/总生物量
根叶比(Root/leaf ratio, RLR)=根生物量/叶生物量
根冠比(Root/shoot ratio, R/S)=地下(根)生物量/地上生物量

1.6 千粒质量与种子形态测定

采集植物成熟的种子, 将种子放于室内风干, 去除杂质, 分别置于信封中在干燥通风处储存(温度为室温)以备用. 随机选取 1 000 粒种子为一组, 用万分之一电子天平称量, 重复 10 次, 计算种子千粒的质量. 每个物种选取 40 粒种子, 用游标卡尺测定种子的长和宽.

1.7 数据统计分析

数据和统计分析均用 Excel 2003 和 SPSS11.5 统计软件完成. 采用成对 t 检验(T-test)分析不同处理间各参数差异的统计学意义.

2 结果与分析

2.1 温度变化

由图 1 可以看出, 实验期间 OTC 的月平均气温比对照提高了 1.6 ℃, 达到了增温效果.

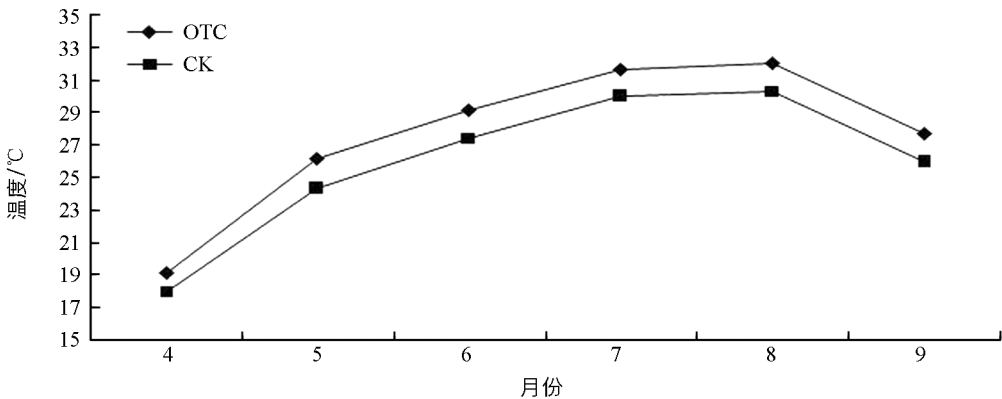


图 1 不同处理月间平均气温的变化

2.2 开花物候

一年蓬 OTC 和 CK 处理间个体和种群开花的始花日期、开花高峰日、花期持续时间、终花日期、花期同步指数等开花物候参数见表 1. 就种群水平而言, 增温处理 5 月 19 日始花, 6 月 12 日进入开花高峰期, 8 月 31 日终花, 开花持续时间 105 d; 对照 5 月 23 日始花, 对照 6 月 24 日进入开花高峰期, 8 月 27 日终花; 开花持续 97 d. 增温的始花时间和盛花时间较对照提前, 终花时间较对照推迟, 延长了花期持续时间.

在个体水平上, 增温处理 5 月 8 日始花, 对照 5 月 16 日始花, 增温始花日极显著早于对照($p<0.01$). 增温处理 6 月 12 日盛花, 对照 6 月 20 日盛花, 增温开花高峰日显著早于对照($p<0.01$), 且开花高峰日的花数显著多于对照($p<0.01$). 增温处理 8 月 2 日终花, 对照 8 月 10 日终花, 增温比对照终花日提前 8 d, 但差异不具有统计学意义($p>0.05$), 增温比对照的花期持续时间显著延长($p<0.05$). 另外, 开花同步性指数($p>0.05$)、单株花序数($p>0.05$)在不同处理间差异不具有统计学意义.

一年蓬不同处理的开花振幅曲线如图 2. 一年蓬增温 and 对照处理间的开花物候进程响应存在差异, OTC 处理开花比例逐渐上升至高峰, 然后缓慢下降, 呈单峰曲线. 而对照处理的开花比例呈先缓慢上升, 到达高峰后迅速下降, 再上升, 再下降的趋势, 出现了 3 个高峰的波动期, 最后缓慢下降. 在开花振幅到达

高峰之前，增温处理的开花比例比对照的开花比例极显著高($p<0.01$)，具有较高的开花振幅。

表 1 一年蓬个体和种群的开花物候(数据为平均值±标准误)

观察项目	增 温	对 照
个体水平		
始花日期	8±0.71A (May 8)	16±1.36B (May 16)
始花范围	3~15	3~27
花期持续时间/d	84±4.40a	82±2.89b
持续时间范围	53~133	61~105
开花高峰日	43±1.43A (June 12)	51±1.41B (June 20)
开花高峰日花数	23±1.041A	16±0.819B
开花同步指数	0.85±0.02a	0.87±0.01a
终花日期	94±1.58a (August 2)	102±2.96a (August 10)
平均开花振幅	2.53	2.33
单株花序数	205±17.53a	191±11.28a
群体水平		
始花日期	May 19	May 23
开花高峰期	June 12	June 24
开花高峰日花数	304	231
终花日期	August 31	August 27
花期持续时间/d	105	97
开花振幅	1.91	1.86

注：不同字母表示不同处理间差异具有统计学意义，其中 A 和 B 表示处理间差异极具有统计学意义，a 和 b 表示处理间差异具有统计学意义。

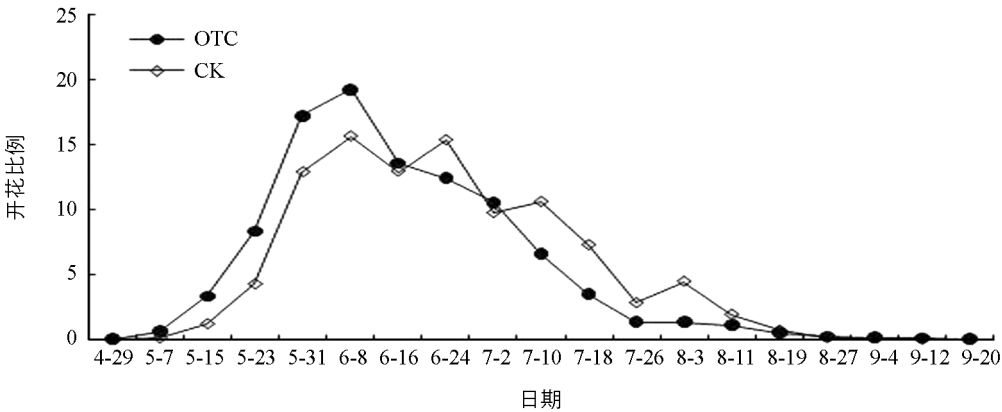


图 2 一年蓬开花物候曲线

2.3 增温对一年蓬生物量的影响

表 2 显示，增温使一年蓬的叶生物量显著降低($p<0.05$)，但对根生物量、茎生物量、叶生物量和花序生物量没有显著影响($p>0.05$)。

表 2 短期增温对一年蓬生物量的影响

	根生物量	茎生物量	叶生物量	花生物量	总生物量
OTC(Mean±SE)	0.538±0.05	1.99±0.14	0.19±0.01	0.23±0.05	2.95±0.15
CK(Mean±SE)	0.536±0.05	2.01±0.01	0.26±0.02	0.28±0.28	3.11±0.05
<i>p</i>	0.977	0.865	0.006	0.371	0.363

注：表 2 中数值为平均值±标准误。

2.4 增温对一年蓬生物量分配格局的影响

由表 3 可知, 在增温条件下, 一年蓬的生物量大部分分配于茎, 占总生物量的 67%, 比对照增加了 3% ($p>0.05$). 一年蓬生物量向根分配的数量较低, 根质量比为 17.7%, 比对照增加了 0.2%, 差异不具有统计学意义($p>0.05$). 增温处理的一年蓬分配于叶的生物量最少, 叶质量比仅为 6.7%, 比对照显著减少了 1.7% ($p<0.05$), 增温处理的一年蓬根叶比显著增加($p<0.05$), 对根冠比无影响($p>0.05$).

表 3 短期增温对一年蓬生物量分配的影响

	根质量比	茎质量比	叶质量比	根叶比	根冠比
OTC(Mean±SE)	0.177±0.008	0.67±0.016	0.067±0.005	3.19±0.30	0.19±0.004
CK(Mean±SE)	0.175±0.01	0.64±0.012	0.084±0.005	2.13±0.13	0.19±0.11
<i>p</i>	0.896	0.261	0.018	0.021	0.998

注: 数值为平均值 ±标准误.

由表 4 可知, 短期增温后, 一年蓬种子千粒质量为(0.025±0.000)g, 与对照相比, 短期增温显著增加了种子大小和千粒质量($p<0.05$).

表 4 短期增温对一年蓬种子的影响

	千粒质量/g	种子长/mm	种子宽/mm
OTC(Mean±SE)	0.025±0.000	1.078±0.007	0.509±0.005
CK(Mean±SE)	0.024±0.000	1.051±0.015	0.497±0.003
<i>p</i>	0.022	0.015	0.035

注: 数值为平均值 ±标准误.

3 讨 论

植物的开花物候和花部结构不仅对传粉者的访花行为、自花/异花授粉程度雌/雄性适合度等具有重要影响^[23-24], 而且会进一步影响植物的繁殖能力^[25]. 温度在决定植物生活周期中扮演着重要角色. 本研究实验结果显示, 增温处理使一年蓬始花日和开花高峰日比对照极显著提前, 这与许多植物通过提前始花日来响应气候变暖^[26]的研究一致. 这是因为植物的生理活动是一系列的生化反应, 温度会使酶的活性发生变化, 温度升高可促进酶的活性, 从而加快植物的物候进程; Elzinga 等^[27]研究表明较早和较集中的开花通常具有较高的适合度, 且研究还表明温度升高使一年蓬显著延长了花期持续时间, 显著增加了开花高峰日的开花数, 在开花进程高峰前较对照开花比例显著增加. 肖宜安等^[22]对长柄双花木的研究表明花序始花日越早, 花序越能够有更长的时间形成新花, 增加开花数量并显著延长开花时间, 开花数量多、开花早和花期长均被认为是更有利于吸引更多的传粉者和提高传粉效率的一种生殖策略. 本研究中发现短期增温少量增加了一年蓬的单株花序数, 但对种子大小影响显著, 千粒质量也显著增加, 种子大小和质量的增加能够保证种子的萌发和幼苗的生长, 增强繁殖能力, 是对环境的适应, 提高了延续后代的概率^[28]. 这些都表明增温使一年蓬的繁殖能力增加.

温度控制着生态系统中的许多生物化学反应速率, 能通过改变植物群落的小环境气候而直接或间接影响植物的生长发育及生物量生产^[29]. 在本研究中, 增温对一年蓬向根、茎和花序分配的生物量影响不显著, 但显著减少了分配到叶的生物量, 根叶比显著增加. Melillo 等^[30]认为, 增温后土壤含水量减少或植物呼吸作用增强都能导致植物净初级生产力下降. 这可能是增温降低土壤含水量, 从而导致水分吸收减少. 因此, 为了避免生理干旱带来的不利影响, 一年蓬可能通过减少叶的生物量为代价来控制水分损失, 以达到植物水分平衡来适应环境. 根叶比是反映植物水分吸收和水分损失之间平衡的重要指标, 增温使一年蓬增加了水分的吸收, 减少了水分的损失. 一年蓬在温度升高环境条件下, 使其不同的表型结构对环境选择作出反应, 在植物生长与繁殖, 种群生存与维持等功能方面实现种群个体各器官生物量投资的优化配置来适应多样化的环境.

一年蓬通过增加繁殖投资, 对生物量分配投资优化配置来适应气温升高, 提高了一年蓬的适应性, 至少是提高了其在全球气候变暖背景下的定居能力, 进而提高了其在群落中的竞争能力, 从而提高了入侵性.

参考文献:

- [1] EKLÖF J S, ALSTERBERG C, HAVENHAND J N, et al. Experimental Climate Change Weakens the Insurance Effect of Biodiversity [J]. *Ecology Letters*, 2012, 15(8): 864—872.
- [2] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. The Fourth Assessment Report of Working Group [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [3] FITTER A H, FITTER R S R. Rapid Changes in Flowering Time in British Plants [J]. *Science*, 2002, 296(5573): 1689—1691.
- [4] OLESEN J M, JORDANO P. Geographic Patterns in Plant-Pollinator Mutualistic Networks [J]. *Ecology*, 2002, 83(9): 2416—2424.
- [5] CARRARO G, KLÖTZLI F, WALTHER G R, et al. Observed Changes in Vegetation in Relation to Climate Warming [M]. Berlin: Springer Netherlands, 1999.
- [6] KLEIN J A, HARTE J, ZHAO X. Decline in Medicinal and Forage Species with 314 Warming is Mediated by Plant Traits on the Tibetan Plateau [J]. *Ecosystems*, 2008, 11(5): 775—789.
- [7] 钟永德, 李 迈, KRAEUCHI N. 地球暖化促进植物迁移与入侵 [J]. *地理研究*, 2004, 23(3): 347—356.
- [8] WILLIAMS A L, WILLS K E, JANES J K, et al. Warming and Free-Air CO₂ Enrichment Alter Demographics in Four Co-Occurring Grassland Species [J]. *New Phytologist*, 2007, 176(2): 365—374.
- [9] VERLINDEN M, NIJS I. Alien Plant Species Favoured Over Congeneric Natives Under Experimental Climate Warming in Temperate Belgian Climate [J]. *Biological Invasions*, 2010, 12(8): 2777—2787.
- [10] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 第 74 卷 [M]. 北京: 科学出版社, 1985: 295—296.
- [11] 方 芳, 茅 玮, 郭水良. 入侵杂草一年蓬的化感作用研究 [J]. *植物研究*, 2005, 25(4): 449—452.
- [12] 李 新, 张庆康, 高 坤. 一年蓬的化学成分研究 [J]. *西北植物学报*, 2004, 24(11): 2096—2099.
- [13] 王 瑞, 王印政, 万方浩. 外来入侵植物一年蓬在中国的时空扩散动态及其潜在分布区预测 [J]. 2010, 29(6): 1068—1074.
- [14] HE W M, LI J J, PENG P H. A Congeneric Comparison Shows That Experimental Warming Enhances the Growth of Invasive *Eupatorium adenophorum* [J]. *PLOS one*, 2012, 7(4): 1—5.
- [15] HE W M, LI J J, PENG P H. Simulated Warming Differentially Affects the Growth and Competitive Ability of *Centaurea Maculosa* Populations from Home and Introduced ranges [J]. *PLOS one*, 2012, 7(1): 1—8.
- [16] ZHANG R, JONGEJANS E, SHEA K. Warming Increases the Spread of an Invasive Thistle [J]. *PLOS one*, 2011, 6(6): 1—6.
- [17] 张万灵, 肖宜安, 闫小红, 等. 模拟增温对入侵植物北美车前生长及繁殖投资的影响 [J]. *生态学杂志*, 2013, 32(11): 2959—2965.
- [18] 李振宁, 解 焱. 中国外来入侵种 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2002.
- [19] 石胜璋, 田茂洁, 刘玉成. 重庆外来入侵植物调查研究 [J]. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 2004, 29(5): 863—866.
- [20] 杨 丽, 邓洪平, 韩 敏, 等. 入侵植物对重庆生态环境的风险分析评价 [J]. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 2008, 33(1): 72—76.
- [21] DAFNI A, KEVAN P C, HUSBAND B C. Practical Pollination Biology [M]. Ontario: Enviroquest Ltd., 3—26.
- [22] 肖宜安, 何 平, 李晓红. 濒危植物长柄双花木开花物候与生殖特性 [J]. 2004, 24(1): 14—21.
- [23] SOBREVILA C, WOLFE L M, MURCIA C. Flower Polymorphism in the Beach Plant [J]. *Ipomoea imperati* (Vahl.) Grisebach (Convolvulaceae). *Biotropica*, 1989, 21(1): 84—88.
- [24] AEGISDÖTTIR H H, THÖRHALLSDÖTTIR T E. Breeding System Evolution in the Arctic: a Comparative Study of *Campanula uniflora* in Greenland and Iceland [J]. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 2006, 38(3): 305—312.
- [25] HARDER L D, BARRETT S C H. Pollen Dispersal and Mating Patterns in Animal-Pollinated Plants [M]. *Floral Biology: Studies on Floral Evolution in Animal-Pollinated Plants*, 1996.
- [26] ABU-ASAB M S, PETERSON P M, SHETLER S G, et al. Earlier Plant Flowering in Spring as a Response to Global Warming in the Washington, DC, Area [J]. *Biodiversity and Conservation*, 2001, 10(4): 597—612.
- [27] ELZINGA J A, ATLAN A, BIERE A, et al. Time After Time: Flowering Phenology and Biotic Interactions [J]. *Trends in Ecology and Evolution*, 2007, 22(8): 432—438.

[28] CHAMBER J C, MACMAHON J A, HAEFNER J H. Seed Entrapment in Alpine Ecosystems: Effects of Soil Particle Size and Diaspore Morphology [J]. Ecology, 1991, 72(5): 1668—1677.

[29] ZHANG L R, NIU H S, WANG S P, et al. Effects of Temperature Increase and Grazing on Stomatal Density and Length of Four Alpine Kobresia Meadow Species, Qinghai-Tibetan Plateau [J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(24): 6961—6969.

[30] MELILLO J M, MCGUIRE A D, KICKLIGHTER D W, et al. Global Climate Change and Terrestrial Net Primary Production [J]. Nature, 1993, 363(6426): 234—240.

Effects of Short-Term Warming on Flowering Phenology and Reproductive Allocation of *Erigeron annuus*

ZHANG Si-si^{1,2}, XIAO Yi-an^{1,2,3}, DENG Hong-ping¹,
YAN Xiao-hong², HUANG Hai-qun^{2,4}, LIAO Ming²

1. School of Life Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;
2. College of Life Science, Jinggang Mountains University, Ji'an Jiangxi 343009, China;
3. Key Laboratory for Biodiversity Science and Ecological Engineering of Jiangxi Province, Ji'an Jiangxi 343009, China;
4. College of Agronomy, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China

Abstract: Global warming and biological invasion are the key processes affecting biodiversity and the functions of the ecosystems. Open-top chamber (OTC) was used in an experiment reported in this paper to study the effects of simulated warming on the flowering phenology and reproductive allocation of *Erigeron annuus*, an alien invasive plant species which invaded China many years ago, is now widely distributed in the country and has caused serious damage. *E. annuus* flowered from May to September in the OTC and, as compared with the control, the flowering amplitude of *E. annuus* individual plants showed a single-peak curve and had a relatively higher flowering amplitude. Short-term warming significantly affected the flowering phenology of *E. annuus* on individual and population levels, advanced the onset time of flowering and the peak flowering date ($p<0.01$) and prolonged the flowering duration ($p<0.05$). Short-term warming significantly decreased the leaf biomass and leaf-weight ratio of the plant and significantly increased its root/leaf ratio (RLR, $p<0.05$). In summary, short-term warming significantly advanced the flowering of the invasive plant *E. annuus*, prolonged its flowering duration, and increased its flower number and seed size and quality, thus enhancing its reproduction investment and invasiveness.

Key words: short-term warming; *Erigeron annuus*; flowering phenology; biomass allocation

责任编辑 夏 娟

