

# 近 51 a 来额济纳旗绿洲胡杨年生长长期对气候变化的响应

赵敏丽, 刘普幸, 朱小娟, 侯成成

(西北师范大学 地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 利用额济纳旗绿洲胡杨林分布区内的气象站点 1960—2010 年的日平均气温和日平均最低、最高气温的数据, 采用气候倾向率和相关分析等方法, 研究了胡杨年生长长期开始日、终止日、生长期天数、展叶始期、叶黄始日的变化特征及其对气候变化的响应。结果表明, 近 51 a 来研究区胡杨年生长长期有开始日提早, 终止日推后, 年生长长期延长, 展叶始期提前, 叶黄始日微推后的变化趋势。相关分析结果显示, 胡杨年生长长期开始日受 3 月平均气温影响最大, 终止日受 10 月平均气温影响最大, 胡杨生长期与 3—11 月平均气温呈显著正相关关系。4 月平均气温对胡杨展叶始期的影响最大, 且展叶始期与 4 月平均温度的负相关关系最显著, 相关系数达  $0.678\ 2(\alpha=0.001)$ 。胡杨叶黄始日受 9 月平均气温的影响最大, 且平均气温越高, 胡杨叶黄始日越推迟。可见, 研究区内胡杨对气候变化的响应比较明显。

**关键词:** 额济纳旗; 胡杨; 年生长长期; 气候变化

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)05-0205-05

中图分类号: Q948.112

## Response of *Populus Euphratica*'s Annual Growth Period to Climate Change in Ejina Banner's Oasis over the Last 51 Years

ZHAO Min-li, LIU Pu-xing, ZHU Xiao-juan, HOU Cheng-cheng

(College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

**Abstract:** Based on the average daily temperature, average daily maximum and minimum temperature data from the weather stations of Ejina Banner in the oasis of Ejina Banner in the 1960—2010s, the methods like climate trending rate and correlation analysis were used to analyze the varying characteristics of beginning and ending dates of annual growth period, day number of growth period, and beginning dates of leaf expansion and yellow leaf stage for the *Populus euphratica*, as well as its response to climate change. Results showed that in the recent 51 years, the beginning date of annual growth was becoming earlier, but the ending date was becoming later; the annual growth period was prolonged; and the beginning date of leaf unfolding was becoming earlier and the beginning date of yellow leaf stage, slightly later. Correlation analysis shows that the beginning date of annual growth was greatly influenced by the average temperature in March and the ending date, by the average temperature in October. There was a significantly positive correlation between the growth period and the average temperature from March to November. The average temperature in April had a significant influence on the beginning date of leaf unfolding, and the correlation between them was negative with a correlation coefficient as high as  $0.678\ 2(\alpha=0.001)$ . The average temperature in September had a maximum influence on the beginning date of yellow leaf stage. The higher average temperature in September, the later the beginning date of yellow leaf stage was. Therefore, there was an obvious response of the *Populus euphratica* to climate change in the study area.

**Keywords:** Ejina Banner; *Populus euphratica*; annual growth period; climate change

气候变暖已经成为一个全球性的问题, 根据 IPCC 第 4 次评估报告, 过去的 100 a 全球地表温度

上升了  $0.74\ ^\circ\text{C}^{[1]}$ 。众多学者对中国气候变化及其影响做了大量的研究, 结果显示, 中国气候变化尤其是

收稿日期: 2011-10-21

修回日期: 2011-11-28

资助项目: 国家自然科学基金项目“河西绿洲天然胡杨林生长的水盐过程和衰退机制研究”(40961035); 甘肃省自然科学基金项目“河西绿洲天然胡杨林生长的水盐过程和衰退机制研究”(0803RJZA094)

作者简介: 赵敏丽(1987—), 女(汉族), 河北省曲阳县人, 硕士研究生, 研究方向为干旱区域环境与绿洲建设。E-mail: zml870907@yahoo.com.cn.

通信作者: 刘普幸(1964—), 女(汉族), 山西省平遥县人, 教授, 博士, 从事干旱区域环境与绿洲建设、树轮水文学等研究工作。E-mail: fmlpx@nwnu.edu.cn.

地表气温度的变化趋势与北半球的变化趋势大致相似,但在具体的变化过程与幅度上又与全球气候变化存在着差异<sup>[2-4]</sup>。近年来,随着气候变暖,植物物候季节和生长季节时空变化及其对全球气候变化的响应,已成为物候学研究的热点问题<sup>[5]</sup>。大量研究表明<sup>[6-14]</sup>,气候变暖对植物的春秋季物候、生长期等都产生了显著影响。在过去的 40,50 a,全球特别是欧美国家关于植物气候变化的研究已经取得了很大的进展,结果表明,在北纬 45°~70°N 生长季延长了 8 d;在欧洲国际物候园展叶提前了 6 d,叶变色平均推迟了 4.8 d,即平均年生长季增长了 10.8 d;国际物候园物候资料研究表明,在 2—4 月变暖 1 °C 将导致植物生长季提前 7 d,年平均气温增加 1 °C 将导致生长季节延长 5 d<sup>[6-8]</sup>。国内研究也取得了一定的成果,东北地区 1980—2005 年木本植物展叶初期提前幅度为 0.23 d/a,枯黄初期平均推后 0.19 d/a,生长季平均延长幅度为 0.30 d/a<sup>[9]</sup>。朴世龙等<sup>[10]</sup>基于归一化植被指数 (NDVI) 预测,我国温带森林年平均气温每升高 1 °C,春季植物生长季就提前 7.5 d,秋季叶变色期就推迟 3.8 d。常兆丰等<sup>[11]</sup>对民勤沙生植物园的主要植物物候特性研究表明,自 1974 年以来,当地中生植物春季物候期平均提前了 9.0 d,落叶末期平均推迟了 3 d;旱生植物春季物候期平均提前了 6.5 d,落叶末期平均推迟了 3.9 d。平均温度是影响郑州 4 种乔木物候期最为显著的气候因子,温度每升高 1 °C,春季物候平均提前 6 d 左右,绿叶期延长 9.5~18.6 d<sup>[12]</sup>。20 世纪 80 年代以后,我国春季平均温度上升 0.5 °C,春季物候期平均提前 2 d;平均温度上升 1 °C,春季物候期平均提前 3.5 d<sup>[13]</sup>。胡杨林作为干旱荒漠绿洲区唯一天然乔木和优势建群种,具有耐盐碱,抗风沙,抗大气干旱等独特的特性,对维系当地生态平衡具有不可替代的作用<sup>[14]</sup>。因此,研究胡杨对气候变化的响应,对干旱区的生态环境良性循环和可持续发展具有重要的意义。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

额济纳旗绿洲位于黑河下游,地处 39°52′—42°47′N, 97°10′—103°7′E,海拔高度 898~1 958 m。深居内陆,气候极端干旱,基本属大陆性极端干旱气候<sup>[15]</sup>。多年平均气温 8.3 °C,年平均降水量 35.6 mm,主要天然植被有胡杨 (*Populus euphratica* Oliv)、怪柳 (*Tamarix ramosissima*)、梭梭 (*Haloxyylon ammodendron*)、白刺 (*Nitraria tangutorum*)、沙拐枣 (*Calligonum mongolicum*)、骆驼刺 (*Alhagi sparsifolia*)、苦豆子 (*Sor-*

*phora alopecuroides*) 等。土壤类型主要有灰棕漠土、风沙土、潮土、盐土和草甸土等。境内植被稀疏,沿河两岸的河岸胡杨林是该区域唯一的天然乔木,是我国仅次于塔里木河的第 2 大胡杨林分布区,也是世界上仅存的 3 大胡杨林区之一<sup>[16]</sup>。

本文选取额济纳旗气象站点 (101°04′E, 41°57′N, 海拔 940.5 m) 1960 年 1 月 1 日至 2010 年 12 月 31 日日平均气温、日平均最低、最高气温数据,数据来源于国家气象信息中心的共享网。

### 1.2 研究方法

根据胡杨生长期自春天叶芽膨胀开始,到冬初叶黄脱落,开始日的日平均气温  $\geq 5$  °C 左右,终止日日平均气温  $< 5$  °C 为标准确定胡杨生长期的始日和终日<sup>[17]</sup>。胡杨叶芽膨大,苞片开裂,长出卷曲褶皱形的小叶,之后,即出现一部分叶面平展的叶片,为展叶始期,此时日平均气温达到 14 °C<sup>[17]</sup>。胡杨树叶由绿色变为淡黄色,进而变成黄色称叶变色,以树叶开始变黄的日平均温度  $< 18.5$  °C<sup>[17]</sup> 为叶黄始日。对胡杨的生长期开始日、终止日、生长期、展叶始期、叶黄始日用下式求线性趋势线斜率。

$$y = kx + b$$

式中:  $y$ ——趋势线方程;  $k$ ——趋势线的斜率;  $x$ ——年份 ( $x = 1, 2, \dots, 50$ );  $b$ ——趋势线的截距。同时对 3, 4, 9, 10, 3—11 月平均气温、最低气温、最高气温与相对应的胡杨生长期开始日、展叶始期、叶黄始日、生长期终止日、生长期进行相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 胡杨年生长期对气候变化的响应

近 51 a 来,额济纳旗绿洲胡杨年生长期有开始日提早,终止日推后,生长期天数延长的趋势(图 1)。其中,开始日和终止日变化倾向率分别为  $-1.54$  d/10 a ( $\alpha = 0.02$ ),  $1.74$  d/10 a ( $\alpha = 0.01$ ),变化显著,51 a 分别提前和推后了 8, 9 d。额济纳期绿洲胡杨年平均生长期开始日为 3 月 25 日,最早为 1997 年和 2008 年的 3 月 8 日,最晚为 1962 年的 4 月 10 日;1960s—1970s 胡杨开始日由 3 月 26 日推迟到 3 月 29 日,推迟了 3 d,之后开始日逐渐提早,到 2000s 提早到 3 月 21 日,分别比 1960s, 1970s, 1980s 分别提早了 5, 8 和 5 d,这说明研究区胡杨生长期开始日的年代际变化显著。胡杨年生长期开始日在 1970s 比 1960s 有所推迟,这响应了 1970s 北半球温度不断下降,而 1980s 以后胡杨年生长期开始日开始逐渐提早与全球气温不断升高,气候变暖的事实相一致<sup>[18]</sup>。额济纳旗的胡杨年平均生长期终止日为 10 月 25 日,最早为 1987 年 10 月 13 日,最晚为 1998 年 11 月 13 日;

1960s—1970s 胡杨终止日由 10 月 25 日提前到 10 月 22 日,提前了 3 d,之后终止日逐渐推迟,到 2000s 推迟到 10 月 30 日,分别比 1960s,1970s 和 1980s 分别推迟 8,5 和 4 d。年生长期天数总体有延长的趋势,其变化倾向率为 3.3 d/10 a( $\alpha=0.001$ ),变化趋势显著,51 a 共计延长了 12 d。其平均年生长期为 215 d,最短在 1987 年,为 200 d,最长在 2008 年,长达 248 d;1960s—1970s 生长期从 214 d 缩短到 207 d,

1970s—1980s 生长期由 208 d 延长到 212 d,1980s 以后又逐渐延长,到 2000 s 延长到了 225 d,比 1990s 延长了 5 d。同样地,在 1970s 终止日提前和生长期天数缩短,而在 1980s 以后又逐渐推后与延长,响应了气候在 1970s 全球温度尤其北半球偏冷,1980s 以后全球气候开始变暖<sup>[18-19]</sup>的事实。同时,反映出研究区胡杨生长期的变化对气候变化的响应十分敏感,进一步印证了植被是气候的一面镜子的观点。

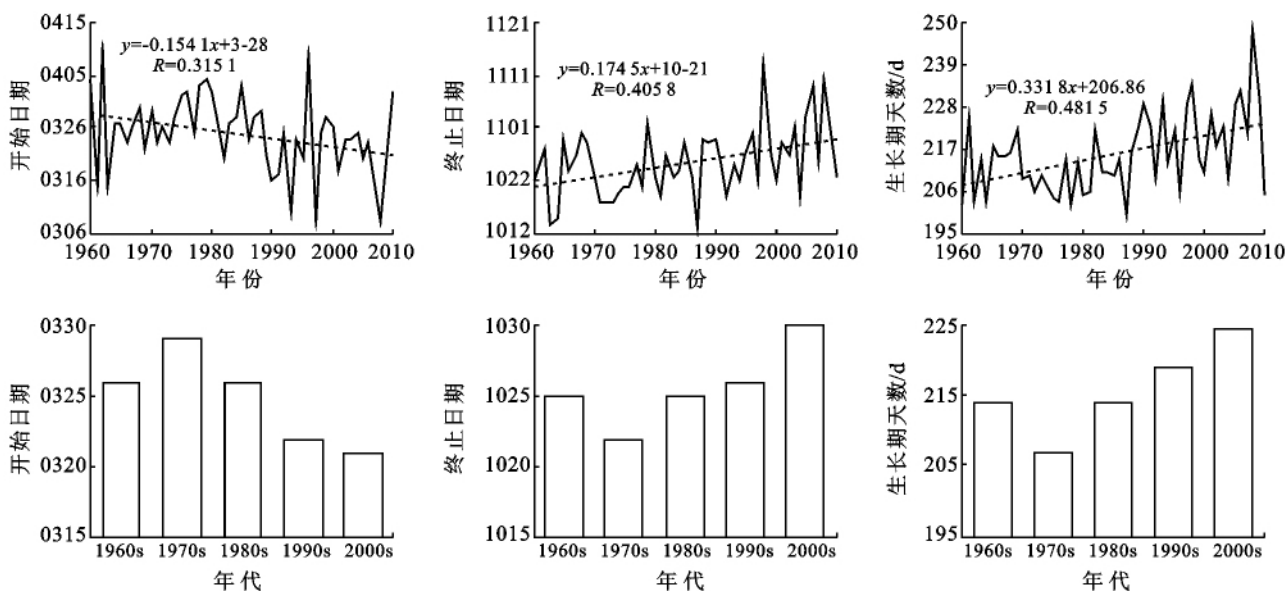


图 1 额济纳旗绿洲胡杨年生长期变化趋势

### 2.2 胡杨展叶始期对气候变化的响应

近 51 a 来,额济纳旗展叶始期有微弱提前的趋势(图 2),其变化倾向率为  $-0.387/10a$ ,51 a 共计提前了 2d。展叶始期平均为 4 月 22 日,最早为 1999 年和 2009 年的 4 月 7 日,最晚为 1963,1975 年和 1976 年的 5 月 5 日;从年代际变化来看,研究区内胡杨展叶始期从 1960s 到 1970s 由 4 月 19 日推迟到 4 月 25

日,推迟了 6 d,从 1970s—1980s,又从 4 月 25 日提前到 4 月 24 日,1980s 以后又逐渐提前,到 2000s 提前到 4 月 19 日,分别比 1970s,1980s 和 1990s 提前了 6,5 和 3 d。

胡杨展叶始期在 1970s 推迟,又在 1980s 以后逐渐提前,与“从 20 世纪 80 年代中后期开始,全国平均增温速率有加大趋势<sup>[19]</sup>”的事实相一致。

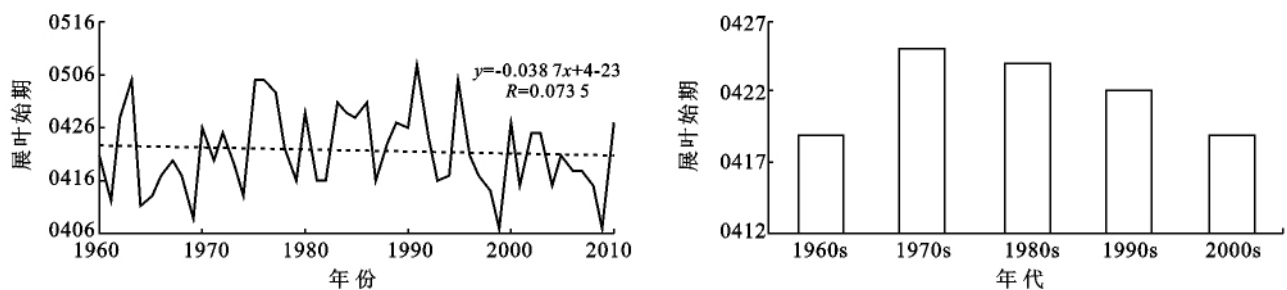


图 2 额济纳旗绿洲胡杨展叶始期的变化趋势

### 2.3 胡杨叶黄始日对气候变化的响应

近 51 a 来,额济纳旗绿洲胡杨叶黄始日有微弱的推迟趋势(图 3),变化倾向率为  $0.66 d/10 a$ ,51 a 共计推迟了 3 d。其年平均叶黄始日为 9 月 15 日,最早为 1986 年的 9 月 2 日,最晚为 1996 年的 9 月 26 日;叶黄

始日年代际变化趋势微弱,1960s—1970s 叶黄始日从 9 月 13 日提前到 9 月 12 日,这响应了全球温度尤其北半球偏冷<sup>[18]</sup>。1980s 以后逐渐推迟,到 2000s 推迟到 9 月 16 日,比 1980s 推迟了 1 d,变化趋势微弱。这响应了“35°N 以北地区 80 年代的早期开始变暖<sup>[20]</sup>”的事实。

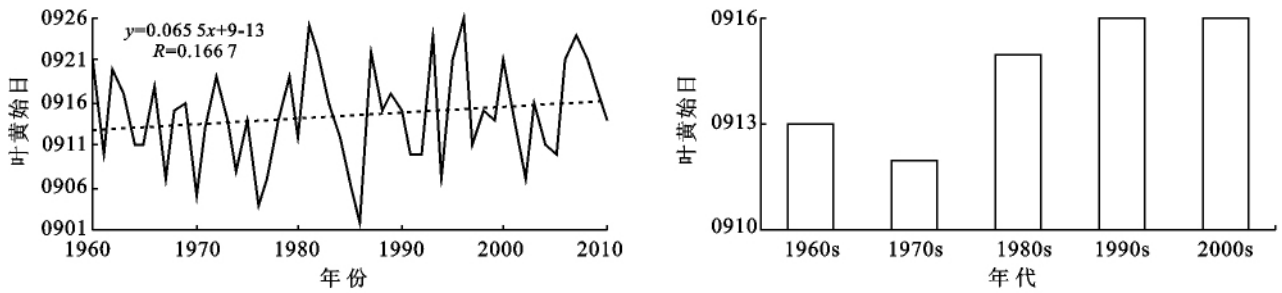


图 3 额济纳旗绿洲胡杨叶黄始日变化趋势

2.4 胡杨生长期与月平均气温的相关分析

为进一步讨论胡杨生长期与其对应的气温之间的响应关系,本文选取了 3,2—3,10,9—10,10—11,3—11 月等不同时段平均气温、平均最高、最低气温与相应的胡杨生长期开始日、终止日、生长期天数进行相关分析(图 4),结果表明,胡杨年生长期开始日受 3 月平均气温影响最大,终止日受 10 月平均气温影响最大,且胡杨生长期开始日与 3 月的平均温度呈

显著负相关关系,相关系数分别高达 0.701 1 ( $\alpha=0.001$ ),即 3 月气温越高,胡杨生长期开始日提前越早;与 10 月平均气温呈显著正相关关系,相关系数分别高达 0.699 8( $\alpha=0.001$ ),即 10 月平均气温越高,生长期终止日推迟越迟;同时,胡杨生长期天数与 3—11 月平均气温呈显著正相关关系,相关系数分别高达 0.596 0,超过了 99% 的置信度水平,即生长期所对应的月平均气温越高,生长期延长越长。

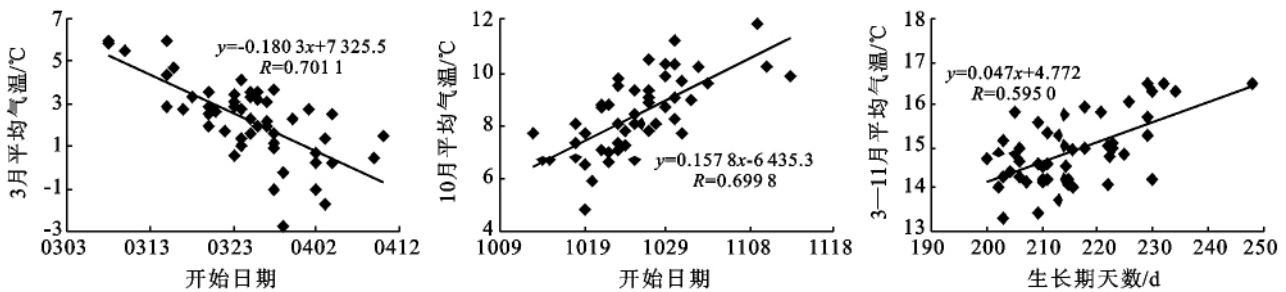


图 4 额济纳旗绿洲胡杨年生长期与月平均气温的相关分析

2.5 胡杨展叶始期与月平均气温的相关分析

为进一步讨论气候变化对胡杨展叶始期的影响,同样地,选取研究区 4,4—5,5 月平均气温、最高气温、最低气温与相对应的胡杨展叶始期进行相关分析(图 5)。结果表明,胡杨展叶始期受 4 月平均气温的影响最大,且展叶始期与 4 月平均温度呈显著的负相关关系,即 4 月平均气温越高,展叶始期越提前,相关系数为 0.678 2( $\alpha=0.001$ )。

选取研究区 8,8—9,9 月平均气温、最高气温、最低气温与相对应的胡杨叶黄始日进行相关分析(图 6),结果显示,9 月平均气温对胡杨叶黄始日的影响最大,且叶黄期开始日与 9 月平均温度的正相关关系最显著,相关系数高达 0.418 1( $\alpha=0.01$ )。

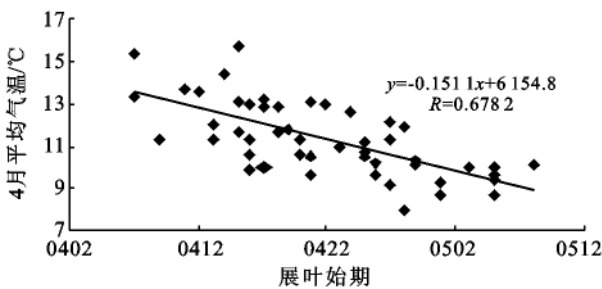


图 5 额济纳旗绿洲胡杨展叶始期与月平均气温的相关分析

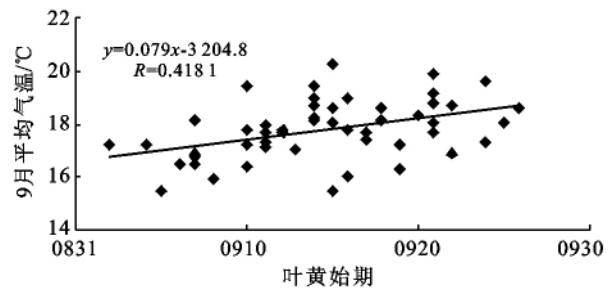


图 6 额济纳旗绿洲胡杨叶黄始日与月平均气温的相关分析

2.6 胡杨叶黄始日与平均气温的相关分析

为进一步讨论胡杨叶黄始日对气候变化的响应,

3 结论

(1) 近 51 a 来,额济纳旗绿洲胡杨年生长期开始日有明显提前,终止日明显推迟,生长期天数延长的趋势。年代际变化也较明显,以 2000s 变化最显著,

并与1970s全球温度偏冷,1980s全球气候变暖的事实相吻合。

(2) 近51 a来,额济纳旗绿洲胡杨展叶始期有微弱提前,叶黄始日呈微推后的趋势,这与夏秋季气温增温变化不显著的结论相一致。

(3) 相关分析结果显示,胡杨年生长期开始日受3月平均气温影响最大,终止日受10月平均气温影响最大,胡杨生长期与3—11月平均气温呈显著正相关关系,都超过了99%的置信度水平。

(4) 4月平均气温对胡杨展叶始期的影响最大,且展叶始期与4月平均温度呈负相关关系最显著,相关系数高达0.678 2( $\alpha=0.001$ ),9月平均气温对胡杨叶黄始日的影响最大,且平均气温越高,胡杨叶黄始日越推迟。

由于资料和数据限制,通过这种方法得到胡杨生长期各个阶段的开始日期和终止日期有一定的不确定性,在今后的研究中,将结合观测数据和其他气象资料(日照时数、相对湿度、风速等)以及胡杨的生物学机制做进一步研究,同时,尽可能地考虑研究区内的地形、水分、土壤等各要素对胡杨生长的影响。

#### [参 考 文 献]

- [1] IPCC. Climate change synthesis report[M]// Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 2-5.
- [2] 丁一汇,戴晓苏. 中国近百年来的温度变化[J]. 气象, 1994, 20(12): 19-26.
- [3] 雷 Wen, 查尔斯 A. Lin. 全球气候变化及其影响[J]. 水科学进展, 2003, 14(5): 667-674.
- [4] 郭志梅, 缪启龙, 李雄. 中国北方地区近50年来气温变化特征的研究[J]. 地理科学, 2005, 25(4): 448-454.
- [5] 陈效迷, 喻蓉. 1982—1999年我国东部暖温带植被生长季节的时空变化[J]. 地理学报, 2007, 62(1): 41-50.
- [6] Menzel A, Fabian P. Growing season extended in Europe[J]. Nature, 1999, 397(6721): 659.
- [7] Chmielewski F M, Rötzer T. Response of tree phenology to climate change across Europe[J]. Agriculture and Forest Meteorology, 2001, 108(2): 101-112.
- [8] 李荣平, 周广胜. 1980—2005年中国东北木本植物物候特征及其对气温的响应[J]. 生态学杂志, 2010, 29(12): 2317-2326.
- [9] Piao S L, Fang J Y, Zhou L M, et al. Variations in satellite-derived phenology in China's temperate vegetation[J]. Global Change Biology, 2006, 12(4): 672-685.
- [10] 常兆丰, 邱国玉, 赵明, 等. 民勤荒漠区植物物候对气候变暖的响应[J]. 生态学报, 2009, 29(10): 5195-5206.
- [11] 柳晶, 郑有飞, 赵国强, 等. 郑州植物物候对气候变化的响应[J]. 生态学报, 2007, 27(4): 1471-1479.
- [12] 陆佩玲, 于强, 贺庆棠. 植物物候对气候变化的响应[J]. 生态学报, 2006, 26(3): 923-928.
- [13] 刘普幸, 张克新. 近55 a来河西走廊荒漠绿洲区季节变化特征及其对胡杨年生长期的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(3): 882-888.
- [14] 裴顺祥, 郭泉水, 辛学兵, 等. 国外植物物候对气候变化响应的研究进展[J]. 世界林业研究, 2009, 22(6): 31-37.
- [15] 张艳武, 冯起, 吕世华, 等. 额济纳旗绿洲夏末典型晴天小气候特征分析[J]. 高原气象, 2005, 24(4): 516-521.
- [16] 刘普幸, 陈发虎, 勾晓华, 等. 额济纳旗近100 a来胡杨年表的建立与响应分析[J]. 中国沙漠, 2005, 25(5): 764-768.
- [17] 魏庆莒. 胡杨[M]. 北京: 中国林业出版社, 1990: 15-37.
- [18] 衣育红, 王绍武. 80年代全球气候突然变暖[J]. 科学通报, 1992, 37(6): 528-531.
- [19] 任国玉, 郭军, 徐铭志, 等. 近50年中国地面气候变化基本特征[J]. 气象学报, 2005, 63(6): 942-956.
- [20] 陈隆勋, 周秀骥, 李维亮, 等. 中国近80年来气候变化特征及其形成机制[J]. 大气科学, 2004, 62(5): 634-646.