

胡杨、灰叶胡杨开花生物学特性研究

周正立*, 李志军, 龚卫江, 高山

(塔里木大学植物科技学院, 新疆阿拉尔 843300)

摘要: 从居群水平研究了胡杨、灰叶胡杨不同居群的开花物候特征。结果表明: 胡杨、灰叶胡杨各居群均表现为雄株开花物候早于雌株, 一般可授期开始较散粉期晚 1~4 d, 结束较散粉期晚 2~5 d, 并且居群散粉期和可授期的重叠期较长。在同一居群内, 胡杨、灰叶胡杨同性单株间开花期的不一致性较高。两个种相比较, 胡杨居群的开花进程比灰叶胡杨居群早 2~5 d, 并且从每日开花株数累积分布来看, 胡杨散粉期、可授期为双峰型, 灰叶胡杨为单峰型。

关键词: 胡杨; 灰叶胡杨; 开花物候

中图分类号: Q142.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-470X(2005)02-0163-06

Study on the Flowering Phenology in *Populus euphratica* and *Populus pruinosa*

ZHOU Zheng-Li*, LI Zhi-Jun, GONG Wei-Jiang, GAO Shan

(College of Plant Science and Technology, Tarim University, Alar, Xinjiang 843300, China)

Abstract: Flowering phenology characteristic of *Populus euphratica* and *Populus pruinosa* in different populations was studied. The results showed that: flowering phenology of male trees was earlier than that of female ones in all populations of *P. euphratica* and *P. pruinosa*. Generally, the beginning of female bud burst time was 1—4 days later and the end was 2—5 days later than those of male bud burst time, respectively. The overlap period of male and female bud burst time was longer. In the same population, the inconsistency of inflorescence were relatively high among same gender of *P. euphratica* or *P. pruinosa*. Compared *P. euphratica* with *P. pruinosa*, flowering time of *P. euphratica* population was 2—5 days earlier than that of *P. pruinosa*. According to cumulative distribution of flowering individuals each day, the male and female bud burst time of *P. euphratica* was bimodal type, and that of *P. pruinosa* was unimodal type.

Key words: *Populus euphratica*; *Populus pruinosa*; Flowering phenology

植物开花物候(flowering phenology)的研究是植物生殖生态学的一个重要内容^[1-3]。开花物候包括花芽的形成与发育、始花期、盛花期及持续时间等过程。有研究表明不同的物候特征对植物的生殖成功均有重要影响^[4], 如始花期^[5-7]和开花同步性^[8-10], 并认为开花同步性是提高植物生殖成功的重要因素^[11-13], 也是植物选择倾向于早期开花的证据^[14-16]。因此, 在许多有花植物种群内, 开花物候被

认为是一个很重要的适合度因子^[17]。

胡杨(*Populus euphratica*)、灰叶胡杨(*Populus pruinosa*)作为新疆干旱荒漠区植被的主要建群种和优势种, 对稳定区域生态环境有着重要的作用。早在 1993 年 6 月召开的联合国粮农组织(FAO)林木基因资源专家组例会上, 胡杨就被确定为全世界最急需优先保护的林木基因资源。目前, 对于胡杨的研究主要集中于遗传学特性^[18, 19]、生理生态特

收稿日期: 2004-10-09, 修回日期: 2005-01-11。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30060007)。

作者简介: 周正立(1970—), 男, 讲师, 硕士学位, 林学专业。

* 通讯作者。

性^[20-23]、苗木培育^[24,25]等方面,而开花物候方面,仅魏庆营^[26]、尹林克等^[27]从个体水平进行了初步的研究。本研究即在前人工作的基础上,通过改进开花物候观察方法,以从居群水平的角度更深入地了解胡杨、灰叶胡杨两个种及同一种雌、雄株间开花生物学特性的差异,阐明胡杨、灰叶胡杨花的形态特征及居群开花物候特征适应环境条件的生殖策略,为胡杨、灰叶胡杨居群恢复、保护和更新提供理论依据。

1 研究区自然概况

研究地点分别设在塔里木河上游的13团天然胡杨林、13团人工灰叶胡杨林、16团天然灰叶胡杨林、9团胡杨、灰叶胡杨人工混交林、塔里木河中游轮台县天然胡杨林及叶尔羌河中下游的阿瓦提县天然胡杨林、农三师48团天然灰叶胡杨林内。研究地点的生境条件已有详细报道^[28]。

2 研究方法

2.1 标准地选设

在林分踏查的基础上,根据标准地的选择原则^[29],在中、壮龄林分中选择有代表性的地段,设立标准地,标准地面积 0.25 hm^2 ,呈正方形。共设立标准地12块。

2.2 标准木选择

对标准地内林木按性别进行每木检尺,分别确定平均直径与平均高。在每个标准地内按与平均直径相差不超过 $\pm 5\%$ 、冠形匀称、无偏冠及大的枯梢与枯枝现象的标准,分别选择雌、雄标准木各15株,挂牌标记。若不足,则按标准地方向在标准地外选择。

2.3 开花物候观察方法

由于单株树冠上不同层次和不同方位花芽的发育状态不同,有的花芽在萌动,有的花芽已进入开放阶段或开花阶段。因此以单株为单位每天观察记录单株树体上花芽所呈现的状态(萌动、开放或开花、花序脱落)、单株上花芽的开花顺序及单个花序上花的开花顺序,并使用下述标准描述记录开花进程:①花芽萌芽期(从芽膨大到芽苞鳞片开裂为止);②花芽开放期(从芽苞鳞片开裂露出花序顶端至花序停止伸长开始下垂为止);③开花期(雄花序从下垂散粉到散粉结束,雌花序从下垂柱头呈现最扩展状态到柱头萎焉为止)。对各单株开花进程进行汇总,可得出居群花期全程天数、开花天数及单株平均花期、单株平均开花天数、散粉期和可授期。与此同时,结

合单株开花进程观察,从芽开放期定株挂牌观察雌雄花动态,每隔2 d采集与挂牌花序发育状况一致的花序10个,每个花序上取3朵花,用游标卡尺测量雌花子房直径、柱头宽度和雄花花药的长度,直到柱头萎焉或花药开始散粉为止。

3 结果与分析

3.1 胡杨、灰叶胡杨雌雄花及花序的形态特征

胡杨、灰叶胡杨均为雌雄异株植物,花单性,柔荑花序,雌、雄性花均为无被花。雄花花药多数且离生,雌花柱头均三裂,雄花花药和雌花柱头为深红色或黄绿色。对两个种不同居群花数量特征的调查表明,胡杨、灰叶胡杨花朵花药数平均为22.860个/朵、26.170个/朵;花序花朵数雄花序分别是26.755朵/花序、29.698朵/花序,雌花序分别是21.803朵/花序、19.531朵/花序^[30]。

3.2 开花习性 & 开花动态

胡杨、灰叶胡杨的雌雄花芽形态上有差别,雌花芽短粗,雄花芽瘦长,外面均有鳞片包被。雌雄株进入开花物候时,雌雄花芽明显膨大(花芽尚未从鳞片露出),接着芽苞的鳞片裂开,花芽(花序顶端)露出。通过2~3 d的生长,花序轴迅速伸长,花轴上的小花排列由紧密变得疏松,每朵雄花的花药由小变大,花药之间也由紧密变得疏松;每朵雌花的三裂柱头由最初的紧贴在一起变为逐渐开展外翻,柱头表面也逐渐变得湿润,柱头表面积由小逐渐增大。到花序伸长停止至下垂,花轴上的小花发育成熟。此时,花药由原来的深紫红或黄绿色变为泛黄色,花药开始散粉,至散粉结束,花轴脱落。而雌花柱头发育到最充分状态时表面湿润呈水渍状,柱头表面直径由芽刚开放时的 0.160 cm 增加到 0.450 cm ,子房最宽处直径由 0.120 cm 增加到 0.176 cm 。雌花在开花5~6 d后则表现出柱头开始萎焉,柱头由深紫红色或黄绿色变成暗绿色,子房则明显膨大,预示着受精作用完成。

无论是胡杨还是灰叶胡杨,其雌雄株开花顺序均表现为树冠顶部花先开放,接着中部、下部依次开放。单个花序上花朵开放顺序是由花轴基部向顶部依次开放的。

3.3 胡杨、灰叶胡杨不同居群的开花物候差异

根据各居群雌、雄30株代表植物的开花物候期观察结果,统计居群开花天数、单株开花物候平均天数及单株平均开花天数,结果见表1。

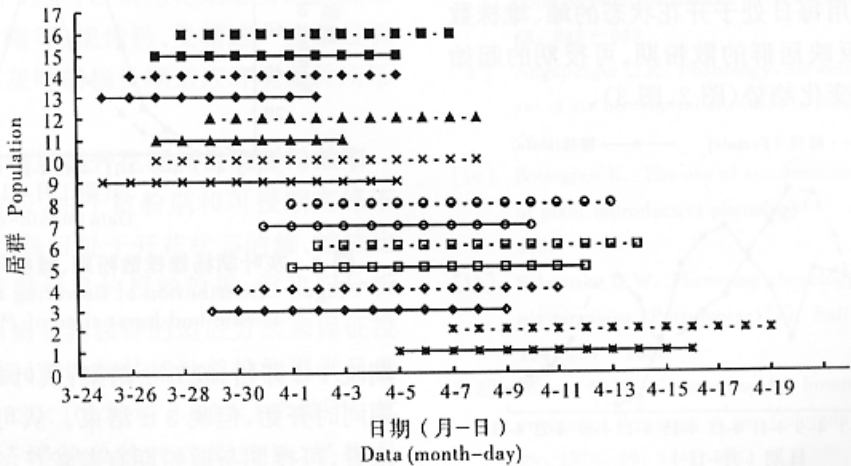
表 1 胡杨、灰叶胡杨不同居群开花物候(2001 年)
Table 1 Flowering phenology of *P. euphratica* and *P. pruinosa* in different populations (Year 2001)

树种 Species	居群 Population	性别 Sex	居群开花物候 Flowering phenology of population	全程天数 Overall days	居群开花天数 Flowering days of population	单株物候平均天数 Average phenology days of individual	单株平均开花天数 Average flowering days of individual
胡杨 <i>P. euphratica</i>	阿瓦提 Awati	♂	3.19~4.3	16	8	13.73	4.77
		♀	3.21~4.8	19	11	17.89	7.00
	轮台 Luntai	♂	3.15~4.5	22	10	17.50	6.50
		♀	3.19~4.7	20	11	16.90	7.00
	13 团 13 corps	♂	3.20~4.5	17	12	14.00	6.16
		♀	3.22~4.8	18	13	14.00	7.20
	9 团 9 corps	♂	3.16~4.2	18	9	13.00	4.59
		♀	3.17~4.5	20	11	10.85	4.78
灰叶胡杨 <i>P. pruinosa</i>	13 团 13 corps	♂	3.22~4.9	19	12	16.00	6.47
		♀	3.24~4.11	21	13	19.40	6.67
	9 团 9 corps	♂	3.21~4.10	21	11	20.24	6.82
		♀	3.23~4.13	22	13	20.39	7.15
	16 团 16 corps	♂	3.26~4.16	22	12	17.67	7.72
		♀	3.27~4.19	24	13	17.80	8.00
	48 团 48 corps	♂	3.18~4.12	22	12	14.41	4.94
		♀	3.21~4.14	24	13	14.98	5.21

由表 1 可以看出,在同一年份胡杨或灰叶胡杨各居群间开花物候的始期、终期是不同的。胡杨开花物候始期较早的是 9 团人工林和轮台县天然林,阿瓦提天然林和 13 团天然林依次较晚;灰叶胡杨开花物候始期较早的是 48 团天然林,其次是 9 团天然林、13 团人工林和 16 团天然林。胡杨各居群花期全程历时 16~22 d,灰叶胡杨全程历时 19~24 d,并且居群开花天数、单株平均花期、单株平均开花天数也都有所不同。两个种相比较,通常胡杨居群的开花进程比灰叶胡杨居群早 2~5 d,并且同一地点的居群

花期全程历时、居群开花天数、单株物候平均天数均稍低于灰叶胡杨。此外,两个种的不同居群单株平均开花天数、居群开花天数均表现为雌株多于雄株,但雄株开花物候早于雌株开花物候。

对胡杨、灰叶胡杨不同居群开花期的进一步分析表明,胡杨、灰叶胡杨各居群均表现出可授期开始较散粉期开始晚 1~4 d,结束较散粉期结束晚 2~5 d,居群散粉期和可授期的重叠期较长(见图 1)。从居群开花天数和平均单株开花天数的差异,可以得出胡杨、灰叶胡杨同一居群内同性单株间开花期的不一致性较高。



纵轴中,居群 1~8 为灰叶胡杨,9~16 为胡杨
Populations 1 to 8 were *P. pruinosa*, and populations 9 to 16 were *P. euphratica* in y axis
1. 16 团(16 corps)♂; 2. 16 团(16 corps)♀; 3. 13 团(13 corps)♂; 4. 13 团(13 corps)♀; 5. 48 团(48 corps)♂; 6. 48 团(48 corps)♀; 7. 9 团(9 corps)♂; 8. 9 团(9 corps)♀; 9. 13 团(13 corps)♂; 10. 13 团(13 corps)♀; 11. 阿瓦提(Awati)♂; 12. 阿瓦提(Awati)♀; 13. 9 团(9 corps)♂; 14. 9 团(9 corps)♀; 15. 轮台(Luntai)♂; 16. 轮台(Luntai)♀

图 1 胡杨、灰叶胡杨不同居群散粉期、可授期

Fig. 1 Pollen dispersion period and pollination period of *P. euphratica* and *P. pruinosa* in different populations

3.4 胡杨、灰叶胡杨开花物候年际变化特点

对胡杨、灰叶胡杨同龄人工混交林连续 3 年花期物候观测结果表明(表 2),胡杨开花物候始期年度间最小相差 1~3 d,最大相差 13~16 d;灰叶胡杨年度间最小相差 2 d,最大相差 10 d。在 2001 年的观察中发现,4 月 6~8 日正是灰叶胡杨进入开花期的阶段,由于这 3 d 突然出现大幅度降温导致单株开花期延长。而 2003 年灰叶胡杨花期比 2001 年、2002 年晚 8~10 d,但花期各阶段的温度都较高,因此单

株物候平均天数、单株平均开花天数都随之减少。实际上居群开花期天数的多少是温度、湿度、降雨和风速等因素综合作用的结果,一般温度越高、风速越大、花期持续时间就越短。处于同一立地条件下的同龄胡杨、灰叶胡杨在不同年份均表现出胡杨的开花物候早于灰叶胡杨,雄株开花物候早于雌株。在气候、生理因素相同的情况下,开花物候主要受遗传控制^[31],这反映出两个种遗传特性方面的差异。

表 2 胡杨、灰叶胡杨人工混交林不同年份开花物候比较
Table 2 Comparison on flowering phenology of mixture plantation of *P. euphratica* and *P. pruinosa* in different years

年份 Year	树种 Species	性别 Sex	居群开花物候 Flowering phenology of population	全程天数 Overall days	居群开花天数 Flowering days of population	单株物候平均天数 Average phenology days of individual	单株平均开花天数 Average flowering days of individual
2001	胡杨 <i>P. euphratica</i>	♂	3.16~4.2	18	9	13	4.59
		♀	3.17~4.5	20	11	10.85	4.78
	灰叶胡杨 <i>P. pruinosa</i>	♂	3.21~4.1	21	11	20.24	6.82
		♀	3.23~4.13	22	13	20.39	7.15
2002	胡杨 <i>P. euphratica</i>	♂	3.17~4.4	19	10	17.18	5.71
		♀	3.20~4.7	19	13	16.54	6.23
	灰叶胡杨 <i>P. pruinosa</i>	♂	3.23~4.13	22	11	18.71	6.59
		♀	3.25~4.16	23	13	13.42	6.92
2003	胡杨 <i>P. euphratica</i>	♂	3.29~4.20	23	17	10	4
		♀	4.1~4.22	22	19	9	6
	灰叶胡杨 <i>P. pruinosa</i>	♂	4.1~4.19	19	12	10.36	4
		♀	4.3~4.23	21	15	8.88	5.75

3.5 胡杨、灰叶胡杨居群散粉、授粉规律

2003 年对人工混交林开花植株进行逐一调查,胡杨雌、雄株分别是 94、100 株,灰叶胡杨雌、雄株分别是 124、136 株。用每日处于开花状态的雌、雄株数(每日累计值)来反映居群的散粉期、可授期的起始时间、持续时间及变化趋势(图 2、图 3)。

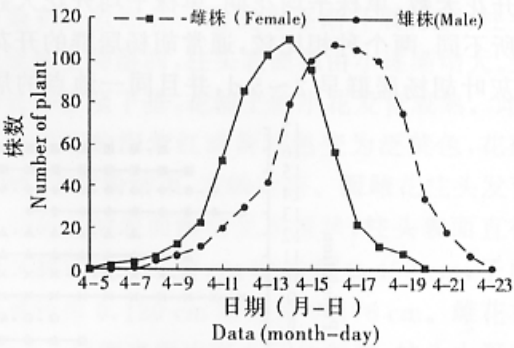
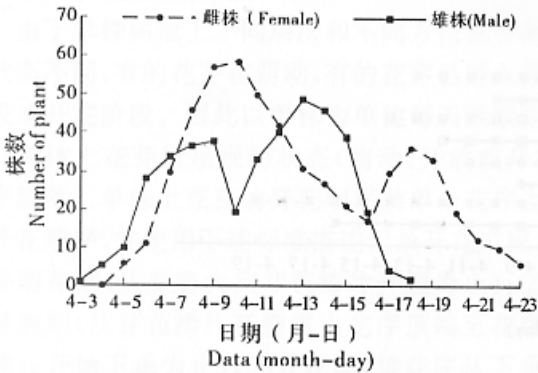


图 2 胡杨雄株散粉期、雌株可授期株数分布图
Fig. 2 Distribution of flowering trees of male and female bud burst time of *P. euphratica*

从图 2、图 3 可以看出,无论是胡杨还是灰叶胡杨,其可授期均滞后于散粉期。胡杨的可授期较散粉

图 3 灰叶胡杨雄株散粉期、雌株可授期株数分布图
Fig. 3 Distribution of flowering trees of male and female bud burst time of *P. pruinosa*

期晚 1 d 开始,晚 5 d 结束;灰叶胡杨可授期与散粉期同时开始,但晚 3 d 结束。从可授期、散粉期历时来看,可授期与散粉期有着较长的重叠期,并且可授期均长于散粉期,胡杨、灰叶胡杨的可授期、散粉期分别为 20、15 d 和 19、16 d。从每日开花株数累积分布来看,胡杨散粉期、可授期为双峰型,灰叶胡杨为单峰型。峰值的出现说明每日开花株数是不同的,反映了居群中雌或雄性单株间开花期的不同步性。

4 结论与讨论

4.1 胡杨、灰叶胡杨花、花序适应生殖的形态特点

胡杨、灰叶胡杨雌、雄花均为无被花,这是花适应风媒传粉的主要特征。从花序组成来看,雌、雄花序花朵数较多。对雄株来讲,雄花花药多数,能提供大量小而轻的花粉,并且散粉时相对集中,在风力作用下利于形成密度较大的花粉云,以提高传粉效率。对雌株来讲,较多的雌花集中在柔软的花轴上,在风力作用下随花轴在空中摆动,利于雌花接受来自各个方向的花粉,并且雌花形态上的显著特点是具有硕大的柱头三裂外翻,从芽开放期到开花期柱头表面直径与子房直径的比由 1.330 增加到 2.557,为接受花粉提供了较大的表面积,进而提高了授粉效率。

4.2 胡杨、灰叶胡杨居群开花物候期特点

在同一年份,尽管胡杨、灰叶胡杨各居群间开花物候的起止时期、居群开花天数、单株开花物候平均天数、单株平均开花天数都不同,但胡杨、灰叶胡杨各居群均表现为可授期滞后于散粉期。一般可授期开始较散粉期晚 1~4 d,结束较散粉期晚 2~5 d,并且居群散粉期和可授期的重叠期较长。此外,在同一居群内,胡杨、灰叶胡杨同性单株间开花期的不一致性较高。这种单株开花期的不一致性导致居群的开花天数较长,可保证在较长的时间段内都有雄株陆续散粉,确保在不同时间发育成熟的雌花完成授粉、受精作用;另一方面单株开花期的不一致,预示着传粉、授粉相对不集中,这可以避免花期恶劣的自然条件(如急骤降温,大雨等)使传粉、受精这一生殖过程中断,这也是胡杨、灰叶胡杨长期适应环境条件所形成的一种生殖策略。

4.3 胡杨、灰叶胡杨居群开花期特点与授粉效率

在整个开花阶段,由于散粉期和可授期高峰不完全吻合,可能会因每日处于开花状态的雌、雄株比例不同而影响到居群每日的授粉效果,但我们分析认为,胡杨、灰叶胡杨有其独特的适应方式来保证授粉效果。其一,胡杨、灰叶胡杨雄性单株能提供足量的花粉,分别为 8.83×10^8 粒和 2.93×10^9 粒^[30];其二,胡杨、灰叶胡杨雌株单株开花期较长,平均是 6.5 和 6.8 d,并且雌株开花前处于芽开放阶段的花序上的小花柱头已处于开展状态,可以接受花粉,也就是说雌花柱头有一个大于 6 d 的接受花粉的阶段,它可以接受较雌花开花早几天的雄花花粉,也可接受较雌花开花晚几天的花粉;其三,我们对胡杨、灰叶胡杨花粉生活力的研究表明,在常温下(20℃)

花粉生活力分别能保持 20、30 d^[32],这就是说只要花粉能被传到处于开放阶段的雌蕊柱头上,花粉活力是能维持到雌花进入开花阶段而实现受精作用。因此在开花期每日雌、雄株比例不协调的情况下,胡杨、灰叶胡杨雄株通过提供足量花粉及花粉活力持续时间长,雌株通过花的形态、雌株授粉期长来保证授粉效率。

参考文献:

- [1] Whitehead D R. Wind pollination: some ecological and evolutionary perspectives[A]. In: Real L ed. Pollination Biology[M]. Orlando: Academic Press, 1983.
- [2] Willson M F. Plant Reproductive Ecology[M]. New York: John Wiley & Sons, 1983.
- [3] Lovett Doust J, Lovett Doust L. Plant Reproductive Ecology: Patterns and Strategies[M]. Oxford: Oxford University Press, 1988.
- [4] Rathcke B, Lacey E P. Phenological patterns of terrestrial plants[J]. *Ann Rev Ecol Syst*, 1985, **16**: 179 - 214.
- [5] Dieringer G. Variation in individual flowering time and reproductive success of *Agalinis strictifolia* (Scrophulariaceae) [J]. *Amer J Bot*, 1991, **78**: 497 - 503.
- [6] Galen C, Stanton M L. Consequences of emergence phenology for reproductive success in *Ranunculus adoneus* (Ranunculaceae) [J]. *Amer J Bot*, 1991, **78**: 978 - 988.
- [7] Ollerton J, Diaz A. Evidence for stabilizing selection acting on flowering time in *Arum maculatum* (Araceae): the influence of phylogeny on adaptation [J]. *Oecologia*, 1999, **119**: 340 - 348.
- [8] Prinack R B. Variation in the phenology of natural populations of montane shrubs in New Zealand [J]. *J Ecol*, 1980, **68**: 849 - 962.
- [9] Augspurger C K. Phenology, flowering synchrony, and fruit set of six neotropical shrubs [J]. *Biotropica*, 1983, **16**: 257 - 267.
- [10] Bolmgren K. The use of synchronization measures in studies of plant reproductive phenology [J]. *Oikos*, 1998, **82**: 411 - 415.
- [11] Schemske D W. Flowering phenology and seed set in *Claytonia virginica* (Portulacaceae) [J]. *Bull Torrey Bot Club*, 1977, **104**: 254 - 263.
- [12] Waser N M. Competition for hummingbird pollination and sequential flowering in two Colorado wildflowers [J]. *Ecology*, 1978, **59**: 934 - 944.
- [13] Thomson J D. Skewed flowering distributions and pollinator attraction [J]. *Ecology*, 1980, **61**: 572 - 579.
- [14] Campbell D R. Measurement of selection in a hermaphroditic plant: variation in male and female pollination success [J]. *Evolution*, 1989, **43**: 182 - 193.
- [15] Campbell D R. Effects of floral traits on sequential components of fitness in *Ipomopsis aggregate* [J]. *Amer Natur*,

- 1991, 137: 713-737.
- [16] Kelly C A. Reproductive phenologies in *Lobelia inflata* (Lobeliaceae) and their environmental control[J]. *Amer J Bot*, 1992, 79: 1126-1133.
- [17] 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]. *生态学报*, 2004, 24(1): 14-21.
- [18] 孙雪新, 刘榕, 康向阳. 胡杨花粉辐射杂交可配性与杂种选育[J]. *遗传*, 1995, 17(5): 24-26.
- [19] 董玉芝, 白根本. 用同工酶研究胡杨天然群体遗传结构[J]. *东北林业大学学报*, 1998, 26(5): 16-20.
- [20] 马焕成, 冯衍枝, 王沙生. 胡杨抗盐机理初探[J]. *北京林业大学学报(英文版)*, 1996, 5(2): 31-40.
- [21] 马焕成, 王沙生, 蒋湘宁. 胡杨气体交换特性[J]. *西南林学院学报*, 1998, 18(1): 24-32.
- [22] 袁书艳, 胡青, 陈雪梅, 李悦, 蒋湘宁. 茉莉酸在胡杨细胞耐盐性中的作用[J]. *北京林业大学学报*, 2002, 24(3): 66-69.
- [23] 马焕成, 王沙生, 蒋湘宁. 盐胁迫下胡杨的光合和生长响应[J]. *西南林学院学报*, 1998, 18(1): 33-41.
- [24] 李毅. 胡杨无性系苗期年生长动态分析[J]. *甘肃农业大学学报*, 1996, 31(3): 252-256.
- [25] 谷瑞升, 蒋湘宁, 郭仲琛. 胡杨离体器官发生及试管无性系的建立[J]. *植物学报*, 1999, 41(1): 29-33.
- [26] 魏庆营. 胡杨[M]. 北京: 中国林业出版社, 1990. 1-99.
- [27] 尹林克, 王焯. 灰杨在吐鲁番地区的生长发育规律[J]. *干旱区研究*, 1991(3): 56-62.
- [28] 李志军, 刘建平, 于军, 周正立. 胡杨、灰叶胡杨生物生态学特性调查[J]. *西北植物学报*, 2003, 23(7): 1292-1296.
- [29] 孟宪宇. 测树学[M]. 第2版. 北京: 中国林业出版社, 1996. 58-64.
- [30] 刘建平, 周正立, 李志军, 龚卫江, 高山, 于军. 胡杨、灰叶胡杨花空间分布及数量特征研究[J]. *植物研究*, 2004, 24(3): 278-283.
- [31] 张华新, 陈丛梅. 油松无性系开花物候特点的研究[J]. *林业科学研究*, 2001, 14(3): 288-296.
- [32] 李志军, 于军, 徐崇志, 徐雅丽, 段黄金. 胡杨、灰叶胡杨花粉成分及生活力的比较研究[J]. *武汉植物学研究*, 2002, 20(6): 453-456.