

两种鹅掌楸繁殖成效的比较

冯源恒, 李火根*, 杨建, 王晓阳, 王贝, 姚俊修

(南京林业大学林木遗传与生物技术省部共建教育部重点实验室, 南京 210037)

摘要: 通过交配设计结合花部性状调查对鹅掌楸(*Liriodendron chinense* Sarg.)与北美鹅掌楸(*L. tulipifera* Linn.)的繁殖资源分配与繁殖成效进行了比较。结果表明, 鹅掌楸通过增加繁殖器官的数目以提高繁殖成效, 而北美鹅掌楸则通过提高繁殖器官功效来保障繁殖成效。根据不同交配组合的子代出苗率分析表明, 鹅掌楸总体的雄性繁殖成效高于北美鹅掌楸, 而雌性繁殖成效低于北美鹅掌楸。

关键词: 鹅掌楸; 北美鹅掌楸; 交配设计; 繁殖资源; 繁殖成效

中图分类号: Q945.53

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2010)01-0009-06

Comparison of Reproduction Success of *Liriodendron chinense* Sarg. and *L. tulipifera* Linn.

FENG Yuan-heng, LI Huo-gen*, YANG Jian, WANG Xiao-yang, WANG Bei, YAO Jun-xiu

(Key Laboratory of Genetics & Biotechnology, Ministry of Education, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: The resources allocation and reproductive success were compared between *Liriodendron chinense* and *L. tulipifera* based on mating design trial and floral characteristics. Six adult trees, 3 from *L. chinense* and 3 from *L. tulipifera*, were chosen as mating parents. By comparing the floral characteristics between *Liriodendron chinense* and *L. tulipifera*, we found that there was a significant interspecies difference existing in both reproductive strategy and reproductive success. To ensure their reproductive success, *L. chinense* seems to pursue the strategy of augment to the number of reproductive organ, while *L. tulipifera* takes the way of improvement for the reproductive efficiency. Overall, the male reproductive success of *L. chinense* was higher than that of *L. tulipifera*, while its female reproductive success was lower than *L. tulipifera*.

Key words: *Liriodendron chinense* Sarg.; *L. tulipifera* Linn.; Mating design; Reproductive resources; Reproductive success

繁殖是进化过程的核心^[1], 因此, 繁育系统 (breeding system) 研究一直是进化生物学的热点之一。繁育系统指控制种群或分类群内自体受精或异体受精相对频率的各种生理、形态机制。繁育系统分为有性和无性两大类^[2]。有性繁育植物可以通过雄性(花粉)和雌性(种子)两种繁殖途径来传递自身基因, 其繁殖成效由繁殖资源分配策略和交配系统共同决定。繁殖资源的分配为繁殖过程提供了基础“资源”, 而交配系统则决定着繁殖资源的利用效率, 即利用繁殖资源通过交配系统实现

繁殖成效。

鹅掌楸(*Liriodendron chinense* Sarg.)和北美鹅掌楸(*L. tulipifera* Linn.)是鹅掌楸属仅存的两个种。鹅掌楸是我国特有树种, 北美鹅掌楸国内也有大量引种, 二者种间可配性高, 是研究植物系统进化、交配系统和基因流的理想材料^[3]。开展对鹅掌楸属树种繁育系统的研究对于探索鹅掌楸属的进化机制及种间基因渐渗具有重要意义。本文对鹅掌楸与北美鹅掌楸的雌雄繁殖资源的分配及雌雄繁殖适合度进行分析, 以揭示二者的繁殖策略, 期望为

鹅掌楸杂交育种及遗传资源管理提供参考依据。

1 材料和方法

1.1 亲本选择及雌雄繁殖资源数量观察

实验所用材料来自江苏句容南京林业大学下蜀实习林场的鹅掌楸种源试验林。试验林包含有 12 个鹅掌楸 (*Liriodendron chinense* Sarg.) 种源和 5 个北美鹅掌楸 (*L. tulipifera* Linn.) 种源, 1993 年 3 月造林, 已进入盛花期和盛果期^[4]。在试验林内随机选 3 株成年鹅掌楸(分别来自福建武夷山 WYS、浙江富阳 FY 和江西庐山 LS) 和 3 株成年北美鹅掌楸(分别来自南卡罗来纳 NK, 密苏里 MSL 和路易斯安那 LYS) 作为亲本。

2007 年 4 月下旬, 采集每个亲本相同树冠部位未开放的花苞 10~20 朵, 水培 2 d 后雄蕊成熟时, 测定每朵花的雄蕊数目、雄蕊长度、花药长度、花粉重量、花粉数量、柱头数目、雌蕊长度、柱头区长度等性状, 计算花药长度与雄蕊长度比、柱头区长度与雌蕊长度比、P/O(花粉/胚珠比) 及单个雄蕊的花粉重量与数量。每朵花取 3 个雄蕊, 测量雄蕊长度与花药长度并取平均值。每个亲本称取花粉 20 mg, 溶于 2 mL 水中, 再稀释 50 倍配成悬浮液, 吸取 5 μ L 在显微镜下观察计数, 每份样品制片 3 次, 全视野观察, 取平均值作为单位重量的花粉数量。

1.2 花粉活力测定

2007 年 5 月上旬, 采集每个亲本相同树冠部位未开放的花苞 5~8 朵, 水培 2 d 后收集花粉, 用 10% 蔗糖 + 50 mg L⁻¹ 硼酸 + 1% 琼脂培养基培养花粉 2.5 h^[5], 显微观察花粉萌发状况。每份样品制片 3 次, 每次观察 4 个视野, 取平均萌发率作为花粉活力。

1.3 交配设计及子代培育

2007 年 5 月上旬, 在试验林内选取鹅掌楸、北美鹅掌楸各 4 株(包含上述 6 个亲本 WYS, FY, LS, MSL, NK, LYS) 进行种间杂交和北美鹅掌楸种内交配设计。同年 10 月采集聚合果, 共获得 47 个组合种子。从中选出以 6 个待测亲本为母本或父本的种间交配组合各 18 个(其中相同亲本组合 12 个, 不同亲本组合 24 个), 用以测定各亲本的雌、雄性繁殖适合度。为保证交配类型的一致, 与 WYS、FY 和 LS 交配的北美鹅掌楸亲本相同, 与 NK、MSL 和

LYS 交配的鹅掌楸亲本也相同。以 12 个北美鹅掌楸种内交配组合为对照。2008 年 3 月播种, 同年 6 月统计各交配组合子代的出苗率。

1.4 雌雄繁殖适合度的测定

每个组合筛选相对饱满的种子进行出苗率测定, 每重复每个组合 100 粒种子, 重复 4 次。以 4 次重复的平均值作为各组合的出苗率。

根据各组合的出苗率估算各亲本及 2 种鹅掌楸的雌雄繁殖适合度。本试验以相对适合度估算方法计算各亲本(或物种)的雌、雄性繁殖适合度^[1-2], 即某一亲本(或物种)的出苗数与出苗率最高的亲本(或物种)的出苗数的比值。

1.5 统计分析方法

由于本试验考察的繁殖性状较多, 采用因子分析进行降维处理。因子分析是将多个变量综合为少数几个因子的一种统计分析方法, 即用最少的因子来概括和解释最大量的观测事实。因子分析的原理与方法参照于秀林^[6]的方法。

采用 SASv8.1 软件进行统计分析, 方差分析采用 GLM、ANOVA 程序, 因子分析和因子得分分析采用 FACTOR、PRINT 程序。

2 结果和分析

2.1 雌性繁殖资源分配

鹅掌楸花朵柱头数平均为 100.6 个, 最多的 135 个, 最少的 62 个; 柱头区长度平均为 1.70 cm, 最长 2.4 cm, 最短 1.3 cm; 雌蕊长度平均为 2.89 cm, 最长 3.6 cm, 最短 2.5 cm。柱头区长度占雌蕊群总长度的 59%。

北美鹅掌楸花朵柱头数平均为 73.68 个, 最多的 107 个, 最少的 34 个; 柱头区长度平均为 1.71 cm, 最长 2.5 cm, 最短 1.2 cm; 雌蕊长度平均为 3.37 cm, 最长 4.4 cm, 最短 2.6 cm。柱头区长度占雌蕊群总长度的 51%。

方差分析表明, 鹅掌楸与北美鹅掌楸的柱头数和雌蕊长度差异达极显著水平 ($P < 0.001$, 表 2), 但柱头区长度差异不显著。这表明在长度相当的柱头区内, 鹅掌楸比北美鹅掌楸的柱头密度更大。

2.2 雄性繁殖资源分配

鹅掌楸花朵雄蕊数平均为 48.55 枚, 最多的 58 枚, 最少的 34 枚; 花药平均长度为 1.54 cm, 最长 2.2 cm, 最短 1.1 cm; 雄蕊平均长度为 2.57 cm, 最长 3.1 cm,

表 1 鹅掌楸与北美鹅掌楸花部特性

Table 1 The flora characteristics of *L. chinense* and *L. tulipifera*

	亲本 Parents					
	LS	WYS	FY	MSL	LYS	NK
柱头数 Number of stigma	108.65	100.05	93.2	78.09	73.62	69.33
柱头区长度 Stigma area length (cm)	1.81	1.72	1.58	1.76	1.49	1.88
雌蕊长度 Pistil length (cm)	2.85	2.96	2.86	3.42	3.07	3.61
柱头区长度/雌蕊长度 Stigma area length/pistil length	0.64	0.58	0.55	0.51	0.49	0.52
雄蕊数 Number of stamens	48.55	51.05	36.9	41.57	30.15	34.24
花药长度 Anther length (cm)	1.47	1.51	1.65	2.24	1.95	2.05
雄蕊长度 Stamen length (cm)	2.46	2.55	2.69	3.51	3.2	3.37
花药长度/雄蕊长度 Anther length/stamen length	0.6	0.59	0.61	0.64	0.61	0.61
花粉重量 Pollen weight (mg)	68.25	66	51.4	129.09	53.81	97.71
单位花粉数量 Pollen number per unit ($\times 1000 \text{ mg}^{-1}$)	70	53	48.33	110.33	84.33	138
花粉数量 Number of pollen ($\times 1000$)	4777	3498	2484	14242	4537	13484
花粉活力 Pollen vitality (%)	89	75	95	96	83	89
单位雄蕊花粉重量 Pollen weight per stamen (mg)	1.4	1.29	1.4	3.11	1.79	2.84
P/O ($\times 10^3$)	22.32	17.33	13.85	92.18	31.22	10.19

表 2 鹅掌楸与北美鹅掌楸雌性繁殖性状方差分析表

Table 2 Variance analysis of female reproductive traits between *L. chinense* and *L. tulipifera*

		性状 Characters	DF	F	P
鹅掌楸 <i>L. chinense</i>	柱头数 Number of stigma		2	2.66	0.081
	柱头区长度 Length of stigma area		2	3.40	0.0423
	雌蕊长度 Length of pistil		2	0.78	0.4637
北美鹅掌楸 <i>L. tulipifera</i>	柱头数 Number of stigma		2	2.11	0.1288
	柱头区长度 Length of stigma area		2	19.87	<0.001
	雌蕊长度 Length of pistil		2	22.84	<0.001
种间柱头数 Number of stigma of interspecies			1	88.92	<0.001
种间柱头区长度 Length of stigma area of interspecies			1	0.45	0.5041
种间雌蕊长度 Pistil length of interspecies			1	55.89	<0.001

最短 1.9 cm。花药长度占雄蕊总长度的 60%。花粉重量平均为 61.88 mg, 最大 133 mg, 最小 26 mg; 平均有 3.59×10^6 粒花粉, 花粉活力为 86.33%。单位雄蕊花粉重量为 1.36 mg, 最大的 2.66 mg, 最小的 0.70 mg。

北美鹅掌楸花朵雄蕊数平均为 35.32 枚, 最多的 48 枚, 最少的 24 枚; 花药长度平均为 2.08 cm, 最长 2.6 cm, 最短 1.4 cm; 雄蕊长度平均为 3.36 cm, 最长 4.3 cm, 最短 2.7 cm。花药长度占雄蕊长度的 62%。花粉重量平均为 93.54 mg, 最大的 184 mg, 最小的 30 mg; 平均有 10.75×10^6 粒花粉, 花粉活力为 89.33%。单位雄蕊花粉重量平均为 2.58 mg, 最大 4.20 mg, 最小 1.03 mg。

方差分析结果表明, 鹅掌楸与北美鹅掌楸在雄蕊数、花药长度、雄蕊长度、花粉重量及单位雄蕊花

粉重量等性状上差异显著(表 3), 而花粉数量与花粉活力差异不显著。虽然北美鹅掌楸的雄蕊数量少于鹅掌楸, 但其它雄性繁殖性状均高于鹅掌楸, 说明北美鹅掌楸在雄性繁殖资源的投入上要高于鹅掌楸。从单位花粉数量上看, 北美鹅掌楸花粉小而花粉数量多。

2.3 雌雄繁殖资源分配策略

依据 Cruden 的标准, 鹅掌楸与北美鹅掌楸都属于专性异交^[7]。鹅掌楸雌蕊群柱头数明显多于北美鹅掌楸, 但花粉重量与数量都小于北美鹅掌楸, 因而鹅掌楸的 P/O 也小于北美鹅掌楸(表 1), 表明北美鹅掌楸的繁殖资源分配策略更有利于异交。

利用 SASv8.1FACTOR 程序对雄蕊数目(X_1)、雄蕊长度(X_2)、柱头数目(X_3)、雌蕊长度(X_4)、花粉

表 3 鹅掌楸与北美鹅掌楸雄性繁殖性状方差分析

Table 3 Variance analysis of female reproductive traits of *L. chinense* and *L. tulipifera*

性状 Characters		DF	F	P
鹅掌楸 <i>L. chinense</i>	雄蕊数 Number of stamens	2	66.39	<0.001
	花药长度 Anther length	2	5.09	0.0102
	雄蕊长度 Stamen length	2	4.52	0.0163
	花粉质量 Pollen weight	2	18.95	<0.001
	单位雄蕊花粉质量 Pollen weight of a single stamen	2	79.87	<0.001
北美鹅掌楸 <i>L. tulipifera</i>	雄蕊数 Number of stamens	2	95.33	<0.001
	花药长度 Anther length	2	16.79	<0.001
	雄蕊长度 Stamen length	2	9.78	0.002
	花粉质量 Pollen weight	2	54.07	<0.001
	单位雄蕊花粉质量 Pollen weight of a single stamen	2	30.28	<0.001
种间雄蕊数 Number of stamens of interspecies	1	120.79	<0.001	
种间花药长度 Anther length of interspecies	1	241.68	<0.001	
种间雄蕊长度 Stamen length of interspecies	1	303.86	<0.001	
种间花粉质量 Pollen weight of interspecies	1	18.95	<0.001	
种间花粉数量 Number of pollen of interspecies	1	10.20	0.0331	
种间花粉活力 Pollen vitality of interspecies	1	0.21	0.6724	
种内单株间单位雄蕊花粉质量 Pollen weight of a single stamen of interspecies	1	79.87	<0.001	

重量(X_5)、花粉数量(X_6)、单位雄蕊花粉重量(X_7)、花粉活力(X_8)、P/O (X_9)等 9 个性状进行因子分析,前两个因子贡献率达到 96.46%,第一个因子(Factor 1)在雄蕊长度、雌蕊长度、花粉重量、花粉数量、单位雄蕊花粉重量、花粉活力、P/O 等 7 项指标上有较大的载荷(表 4),可见第一个因子是繁殖器官功效因子,第二个因子(Factor 2)在雄蕊数目、柱头数目 2 项指标上有较大的载荷,可见第二个因子是繁殖器官数量因子。利用 SASv8.1PRINT 程序进行因子得分分析发现 3 株鹅掌楸在 Factor 1 的平均得分为-0.58,在 Factor 2 的平均得分为 0.68;北美鹅掌楸在 Factor 1 的平均得分为 0.57,在

Factor 2 的平均得分为-0.68。由此可见,鹅掌楸通过增加繁殖器官的数量来提高繁殖成效,而北美鹅掌楸则通过提高繁殖器官的功效来保证繁殖成效。

2.4 子代出苗率

鹅掌楸作为母本的子代出苗率为 11.61%,作为父本的为 14.24%,平均 12.92%。北美鹅掌楸作为母本的子代出苗率为 17.78%,作为父本的为 11.61%,平均 14.70%。

对照中,NK、MSL 和 LYS 为母本的子代出苗率为 15.99%,低于种间交配组合,说明鹅掌楸有更好的雄性繁殖成效;三者为父本的子代出苗率为

表 4 因子分析结果

Table 4 The results of factor analysis

性状 Characters	Factor 1	Factor 2
雄蕊数目 Number of stamen (X_1)	-0.07045	0.97717
雄蕊长度 Stamen length (X_2)	0.70929	-0.67334
柱头数目 Number of stigmas (X_3)	-0.49820	0.85293
雌蕊长度 Pistil length (X_4)	0.84056	-0.48204
花粉重量 Pollen weight (X_5)	0.98867	0.00099
花粉数量 The number of pollen (X_6)	0.80997	-0.50174
单位雄蕊花粉重量 Pollen weight per stamen (X_7)	0.90955	-0.41050
花粉活力 Pollen vitality (X_8)	0.45952	-0.12737
P/O (X_9)	0.91543	-0.38037

18.18%, 高于种间交配组合, 说明北美鹅掌楸有更好的雌性繁殖成效。

2.5 繁殖适合度分析

6 个亲本中, FY 的雄性繁殖适合度最高, MSL 的最低仅为 0.51(表 5)。雌性繁殖适合度最高的为 LYS, FY 的最低仅为 0.07。LYS 的总体繁殖适合度最高, 而 MSL 的最低。用 SASv8.1 ANOVA 程序进行方差分析, 结果表明 6 个亲本的雄性繁殖适合度的平均方差为 0.028, 明显小于雌性繁殖适合度(0.106), 各亲本间雄性繁殖适合度的差异小于雌性繁殖适合度。北美鹅掌楸雄性繁殖适合度是鹅掌楸的 0.82, 鹅掌楸的雌性繁殖适合度是北美鹅掌楸的 0.65; 鹅掌楸总体的雄性繁殖成效高于北美鹅掌楸, 雌性繁殖成效低于北美鹅掌楸。

表 5 鹅掌楸与北美鹅掌楸的繁殖适合度

Table 5 The reproductive fitness of *L. chinense* and *L. tulipifera*

亲本 Parents	雄性 Male	雌性 Female	总体 Total
LS	0.86	0.59	0.72
WYS	0.90	0.51	0.68
FY	1.00	0.07	0.41
MSL	0.51	0.21	0.33
LYS	0.85	1.00	1.00
NK	0.89	0.58	0.72
<i>L. tulipifera</i>	0.82	1.00	1.00
<i>L. chinense</i>	1.00	0.65	0.87

3 讨论

3.1 鹅掌楸属雌雄繁殖资源分配的策略

黄双全等对 3 个鹅掌楸自然群体的研究表明, 在低效传粉环境中的鹅掌楸群体花粉粒偏小, 花粉数量提高, 使花粉库的容量得以增加; 同时减少胚珠投资, 以缓解低效传粉影响(增大授粉的几率)增加受精机会。而花粉输出率较高的群体将资源较大程度配置到雌性功能上, 发育较多的胚珠; 同时花粉粒大小和变异的增大, 提高了繁殖适合度^[8]。但本研究中, 北美鹅掌楸对花部诱物的投资, 如花的形态、大小、颜色及蜜汁等性状都优于鹅掌楸, 更易于吸引传粉者, 有更高的花粉输出率, 但也采取花粉粒偏小、提高花粉数量、增加花粉库容量的策略。这说明增加花部诱物的投资与增加花粉库的容量二者并不相互干扰, 因为产生大量的花粉也是对传粉昆虫的诱惑。此外, 本研究表明在有充足花粉保证授粉的情况下, 鹅掌楸发育较多的胚珠, 其

雌性繁殖适合度要低于胚珠较少的北美鹅掌楸, 说明配置较多的胚珠不一定能提高生殖适合度。

花部诱物资源具有优势的北美鹅掌楸选择了发育较少的雄蕊与柱头的策略, 增加对每个雄蕊与胚珠繁殖能量投入, 使单位雄蕊的花粉产量增加并提高胚珠的生活力。花部诱物资源不具优势的鹅掌楸选择了发育较多的花部器官的策略, 提高柱头分布密度, 使传粉者来访时有较多柱头可以授粉, 同时降低了单位雄蕊的花粉产量以保障花粉品质。这两种繁殖策略在繁殖成效上体现为单花胚珠较少的北美鹅掌楸获得了更高的雌性繁殖适合度, 单花花粉量较少的鹅掌楸得到了较好的雄性繁殖成效。

3.2 鹅掌楸属的繁育系统

鹅掌楸属植物的花为雌雄异熟、雌蕊先熟, 花药为外向药, 这些特征有效避免了自花授粉, 其交配系统类型属于专性异交。北美鹅掌楸的 P/O 高于鹅掌楸, 表明北美鹅掌楸有更强的异交倾向, 这与孙亚光的研究结论相符^[9-10]。本试验繁殖适合度的测算是控制授粉条件下进行的, 繁殖成效不受花粉量限制, 而以往研究表明鹅掌楸结实率可能受花粉限制^[11], 可以推测在专性异交的交配系统下, 拥有花部诱物优势且花粉产量更高的北美鹅掌楸的雄性繁殖适合度可能更高。而在鹅掌楸属混合林自然繁衍子代中北美鹅掌楸占绝对优势也与此推测相吻合。因此在建立鹅掌楸种质资源库及鹅掌楸种子园时, 应注意对北美鹅掌楸进行隔离。在鹅掌楸天然分布区引种北美鹅掌楸, 其与鹅掌楸天然群体的距离须大于北美鹅掌楸的最大传粉距离。

此外, 本研究的雄性繁殖适合度与我们通过鹅掌楸属花粉竞争交配设计测算的雄性繁殖适合度存在一定差异, 这表明在两种花粉混合授粉时可能存在花粉竞争, 并且种内花粉在竞争中占有优势。

3.3 繁殖成效与杂种鹅掌楸种子园的建立

本试验的 6 个鹅掌楸亲本在雌、雄繁殖成效上存在较大的差异, 如 MSL 的雄性繁殖成效最低, 繁殖适合度为 0.51; FY 的雌性繁殖成效最低, 繁殖适合度仅 0.07。鉴于此, 在建立鹅掌楸杂交种子园时, 建园亲本的选择不但要考虑亲本的生长性状, 也要考虑亲本的繁殖能力, 即在生长性状优异的亲本中选择繁殖成效较高的个体作为种子园的建园

亲本。

参考文献

- [1] Zhang D Y(张大勇). Life History of Plant Evolution and Ecology of Reproduction [M]. Beijing: Science Press, 2004: 96-97.(in Chinese)
- [2] Wang C Y(王崇云), Dang C L(党承林). Plant mating system and its evolutionary mechanism in relation to population adaptation [J]. J Wuhan Bot Res(武汉植物学研究), 1999, 17(2): 163-172.(in Chinese)
- [3] Wang Z R(王章荣). The Hybridization and Utilization of *Liriodendron*, Chinese [M]. Beijing: Forestry Press, 2005: 70-73.(in Chinese)
- [4] Li H G(李火根), Chen L(陈龙), Liang C Y(梁呈元), et al. A case study on provenance testing of tulip tree (*Liriodendron* spp.) [J]. China For Sci Techn(林业科技开发), 2005, 19(5): 13-16.(in Chinese)
- [5] Xu J(徐进), Wang Z R(王章荣). Genetic variation of floral character and pollen viability of *Liriodendron* hybrid and its parents [J]. J Plant Resour Environ(植物资源与环境学报), 2001, 10(2): 31-34.(in Chinese)
- [6] Yu X L(于秀林), Ren X S(任雪松). Multivariate Statistical Analysis [M]. Beijing: China Statistics Press, 1999. (in Chinese)
- [7] Cruden R W. Intraspecific variation in pollen-ovule ratios and nectar secretion-preliminary evidence of ecotypic variation [J]. Ann Miss Bot Gard, 1976, 63(2): 277-289.
- [8] Huang S Q(黄双全), Guo Y H(郭友好). Pollination environment and sex allocation in *Liriodendron chinense* [J]. Acta Ecol Sin(生态学报), 2000, 20(1): 49-52.(in Chinese)
- [9] Sun Y G(孙亚光), Li H G(李火根). SSR on the use of molecular markers *Liriodendron* open-pollinated offspring of the male parent analysis [J]. Chin Bull Bot(植物学通报), 2007, 24(5): 590-596.(in Chinese)
- [10] Sun Y G(孙亚光), Li H G(李火根). Variations of male reproductive success and sexual selection among individuals of the experimental population of *Liriodendron* revealed by SSR markers [J]. Mol Plant Breed(分子植物育种), 2008, 6(1): 79-84.(in Chinese)
- [11] Fang Y M(方炎明), You L X(尤录祥), Fan R W(樊汝汶). Fecundity of natural and cultivated populations of *Liriodendron chinense* (Hemsl.) Sarg. [J]. J Plant Resour Environ(植物资源与环境学报), 1994, 3(3): 9-13.(in Chinese)