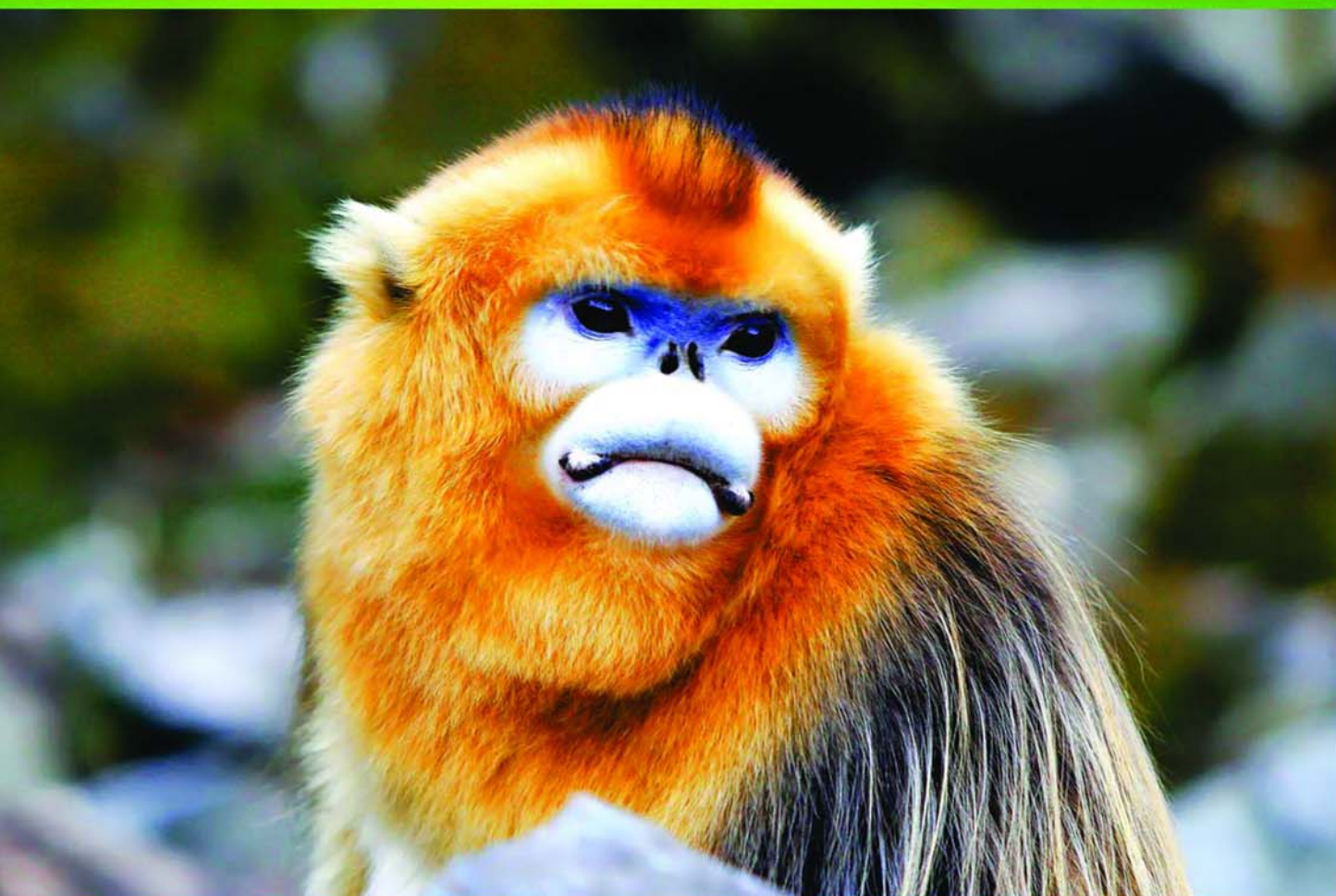


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第2期 Vol.32 No.2 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 2 期

2012 年 1 月 (半月刊)

目 次

北部湾秋季底层鱼类多样性和优势种数量的变动趋势	王雪辉,邱永松,杜飞雁,等 (333)
中国大陆鸟类和兽类物种多样性的空间变异	丁晶晶,刘定震,李春旺,等 (343)
粉蝶盘绒茧蜂中国和荷兰种群学习行为及 EAG 反应的比较	王国红,刘 勇,戈 峰,等 (351)
君主绢蝶的生物学及生境需求	方健惠,骆有庆,牛 犇,等 (361)
西南大西洋阿根廷滑柔鱼生物学年间比较	方 舟,陆化杰,陈新军,等 (371)
城市溪流中径流式低坝对底栖动物群落结构的影响	韩鸣花,海燕,周 斌,等 (380)
沉积再悬浮颗粒物对马氏珠母贝摄食生理影响的室内模拟	栗志民,申玉春,余南涛,等 (386)
太平洋中西部海域浮游植物营养盐的潜在限制	徐燕青,陈建芳,高生泉,等 (394)
几株赤潮甲藻的摄食能力	张清春,于仁成,宋静静,等 (402)
高摄食压力下球形棕囊藻凝聚体的形成	王小冬,王 艳 (414)
大型绿藻浒苔藻段及组织块的生长和发育特征	张必新,王建柱,王乙富,等 (421)
链状亚历山大藻生长衰亡相关基因的筛选	仲 洁,隋正红,王春燕,等 (431)
太湖春季水体固有光学特性及其对遥感反射率变化的影响	刘忠华,李云梅,吕 恒,等 (438)
程海富营养化机理的神经网络模拟及响应情景分析	邹 锐,董云仙,张祯祯,等 (448)
沙质海岸灌化黑松对蛀食胁迫的补偿性响应	周 振,李传荣,许景伟,等 (457)
泽陆蛙和饰纹蛙蝌蚪不同热驯化下选择体温和热耐受性	施林强,赵丽华,马小浩,等 (465)
麦蚜和寄生蜂对农业景观格局的响应及其关键景观因子分析	赵紫华,王 颖,贺达汉,等 (472)
镉胁迫对芥蓝根系质膜过氧化及 ATPase 活性的影响	郑爱珍 (483)
生姜水浸液对生姜幼苗根际土壤酶活性、微生物群落结构及土壤养分的影响	韩春梅,李春龙,叶少平,等 (489)
九州虫草菌丝体对 Mn 的耐性及富集	罗 毅,程显好,张聪聪,等 (499)
土霉素暴露对小麦根际抗生素抗性细菌及土壤酶活性的影响	张 昊,张利兰,王 佳,等 (508)
氮沉降对杉木人工林土壤有机碳矿化和土壤酶活性的影响	沈芳芳,袁颖红,樊后保,等 (517)
火炬树雌雄母株克隆生长差异及其光合荧光日变化	张明如,温国胜,张 瑾,等 (528)
湖南乌云界自然保护区典型生态系统的土壤持水性能	潘春翔,李裕元,彭 亿,等 (538)
祁连山东段高寒地区土地利用方式对土壤性状的影响	赵锦梅,张德罡,刘长仲,等 (548)
沙质草地生境中大型土壤动物对土地沙漠化的响应	刘任涛,赵哈林 (557)
腾格里沙漠东南缘可培养微生物群落数量与结构特征	张 威,章高森,刘光琇,等 (567)
塔克拉玛干沙漠南缘玉米对不同荒漠化环境的生理生态响应	李 磊,李向义,林丽莎,等 (578)
内蒙古锡林河流域羊草草原 15 种植物热值特征	高 凯,谢中兵,徐苏铁,等 (588)
不同密度条件下芨芨草空间格局对环境胁迫的响应	张明娟,刘茂松,徐 驰,等 (595)
环境因子对巴山冷杉-糙皮桦混交林物种分布及多样性的影响	任学敏,杨改河,王得祥,等 (605)
海藻酸铈配合物对毒死蜱胁迫下菠菜叶片抗坏血酸-谷胱甘肽循环的影响	栾 霞,陈振德,汪东风,等 (614)
城市化进程中城市热岛景观格局演变的时空特征——以厦门市为例	黄聚聪,赵小锋,唐立娜,等 (622)
基于遥感和 GIS 的川西绿被时空变化研究	杨存建,赵梓健,任小兰,等 (632)
亚热带城乡复合系统 BVOC 排放清单——以台州地区为例	常 杰,任 远,史 琰,等 (641)
研究简报	
不同水分条件下毛茛苔草枯落物分解及营养动态	侯翠翠,宋长春,李英臣,等 (650)
大山雀对巢箱颜色的识别和繁殖功效	张克勤,邓秋香,Justin Liu,等 (659)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 330 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2012-01	



封面图说: 雄视——中国的金丝猴有川、黔、滇金丝猴三种,此外还有越南和缅甸金丝猴两种。金丝猴是典型的森林树栖动物,常年栖居于海拔 1500—3300m 的亚热带山地、亚高山针叶林、针阔叶混交林,常绿落叶阔叶混交林中,随着季节的变化,只在栖息的生境中作垂直移动。川金丝猴身上长着柔软金色长毛,十分漂亮。个体大,嘴角处有瘤状突起的是雄性金丝猴的特征。川金丝猴只分布在中国的四川、甘肃、陕西和湖北省。属国家一级重点保护、CITES 附录一物种。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201011291702

张明如, 温国胜, 张瑾, 李国会, 曹帮华. 火炬树雌雄母株克隆生长差异及其光合荧光日变化. 生态学报, 2012, 32(2): 0528-0537.

Zhang M R, Wen G S, Zhang J, Li G H, Cao B H. Differences in clonal growth between female and male plants of *Rhus typhina* Linn. and their diurnal changes in photosynthesis and chlorophyll fluorescence. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(2): 0528-0537.

火炬树雌雄母株克隆生长差异及其光合荧光日变化

张明如¹, 温国胜^{2,*}, 张瑾², 李国会³, 曹帮华⁴

(1. 浙江农林大学 旅游与健康学院, 临安 311300; 2. 浙江农林大学林业与生物技术学院, 临安 311300;

3. 中国林业科学研究院荒漠化研究所, 北京 100091; 4. 山东农业大学 林学院, 泰安 271000)

摘要:火炬树(*Rhus typhina* Linn.)是兼有雌雄异株和克隆生长特性的外来木本植物。分别探讨火炬树雌雄母株克隆繁殖扩散能力的特点,分析其光合荧光反应的差异。采用 CIRAS-2 光合仪和 FMS-2 便携调制式荧光仪,并结合样圆调查法,比较火炬树雌雄母株的克隆分株数量和形态生长指标、光合生理参数的日变化特征,揭示火炬树雌雄异株的资源利用效率和对午间强光缓冲保护能力的雌雄差异。研究结果表明:1)火炬树雄性母株的克隆分株形态生长指标及数量均超过了雌性母株,且雄性母株形成克隆分株的年龄早于雌性母株 1a;2)火炬树雄性母株的光能、水分和 CO₂ 利用效率和净光合速率均高于雌性母株,此结果为雄性母株克隆生长奠定了较为充足的营养基础;3)在晴天自然光的条件下,火炬树雄性母株未出现光抑制,而雌性母株出现了光抑制现象,非光化学猝灭系数(q_N)日变化特征显示雌性母株的热耗散程度较高。因此,火炬树雄性母株的克隆生长力强于雌性母株。

关键词:火炬树;克隆生长;雌雄异株;资源利用效率

Differences in clonal growth between female and male plants of *Rhus typhina* Linn. and their diurnal changes in photosynthesis and chlorophyll fluorescence

ZHANG Mingru¹, WEN Guosheng^{2,*}, ZHANG Jin², LI Guohui³, CAO Banghua⁴

1 School of Tourism and Health, Zhejiang Agriculture and Forestry University, Lin'an 311300, China

2 School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang Agriculture and Forestry University, Lin'an 311300, China

3 Institute of Desertification Studies, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

4 Forestry College, Shandong Agriculture University, Tai'an 271000, China

Abstract: Because resources are limited, plants must allocate resources between growth and reproduction to maximize lifetime fitness. The clonal reproduction pattern of male plants may be different from that of females: the female plants may have to allocate resources to both seed production and clonal reproduction, while the male plants may have to allocate resources only to clonal growth. The Staghorn sumac (*Rhus typhina* Linn.) is an exotic tree species in China; it is dioecious and grows clonally. We hypothesized (1) that the clonal growth of male plants of *R. typhina* is greater than that of the female plants and (2) that this ecological difference can be explained by male plants either allocating a high proportion of photosynthetic products to clonal growth or males having a higher net photosynthetic rate. Finally, we hypothesized that (3) female and male plants of *R. typhina* may differ in the number of the clonal ramets, their photosynthetic physiological parameters, and their fluorescence parameters.

In order to explore whether male and female plants of *R. typhina* had different colonization abilities and to analyze their diurnal changes in photosynthesis and chlorophyll fluorescence, we measured growth indicators and used a CIRAS-2

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30771709)

收稿日期:2010-11-29; 修订日期:2011-06-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wgs@zafu.edu.cn

portable photosynthesis system and a FMS-2 PAM-2100 Chlorophyll Fluorometer. Growth indicators, chlorophyll content, and diurnal changes in photosynthetic parameters of both female and male plants growing in a sample plot were compared and analyzed.

Based on the above, we can reveal the resources utilization efficiency of male and female plants of *R. typhina* and the buffering abilities to strong light between the male and female plants of *R. typhina* at noon. The results showed that: 1) Male plants were superior to females in clonal growth as indicated by ramet size and ramet number, and they produced clonal ramets one year earlier than females. 2) Males used light energy, water, and CO_2 more efficiently than females, and their net photosynthetic rate (P_n) was higher. This observation explains why male plants of *R. typhina* were better able to use resources than females. 3) Under natural conditions, the potential efficiency of primary conversion of light energy of PS II (F_v/F_m) for the male plants decreased smoothly and the non-photochemical quenching coefficient (q_N) increased slowly in measuring period. However, the minimum value of the F_v/F_m for the female plant occurred at 11:00, and the peak value of q_N occurred at the same time. Therefore, although the male plant did not show obvious light photoinhibition, but female did. Based on the diurnal changes of the nonphotochemical quench (q_N) under high light intensity, female plants were better able to dissipate heat than male plants.

Our results demonstrated that the light utilization efficiency, water use efficiency, carbon utilization efficiency, and net photosynthetic rate of male plants of *R. typhina* were all higher than those of female plants. Thus, male plants are able to allocate more resources to clonal growth. Male plants exhibit greater clonal growth and higher numbers of ramets than female plants, which suggests that male plants of *R. typhina* are dominant in monodominant communities of this plant.

Key Words: *Rhus typhina*; clonal growth; dioecious; resource utilization efficiency

雌雄异株系指雌雄性别功能在个体水平上分离的一种性系统,在被子植物中广泛分布^[1]。一般地,雌性个体在繁殖方面投入的光合产物和氮素等矿质营养的比例较高,而雄性个体则在生长方面投入的较多。此种生态现象属于植物生长与繁殖过程的消长与制约,被称为雌雄植物个体生长和繁殖之间的权衡关系。植物生长与繁殖过程存在权衡关系^[2],在于植物生长空间资源的有限性、光合同化产物总量的限制性,结果植物资源配置必然在生长与繁殖两个基本过程产生协调与制约。然而,对于具有雌雄异株特性的克隆植物而言,雌雄株的繁殖格局则应有所不同:雌株营种子生产和克隆繁殖生长的双重功能,雄株营克隆繁殖生长的单一功能。

火炬树(*Rhus typhina* Linn.)是兼具雌雄异株和克隆繁殖双重特性的外来木本植物,其克隆繁殖扩散的生态现象和生态后果已经引起学术界的广泛关注,并形成两种对立的学术观点^[3]:一派认为,火炬树属于典型的入侵种;另一派则指出,尚无充分证据证明火炬树目前或将来会对北京地区的自然生态系统构成威胁^[4]。

上述围绕火炬树产生的激烈争论表明:双方的研究角度和判断依据存在差异,因而提出了不同的观点。事实上,2006年前后国内外有关学者以火炬树为研究材料展开了多角度的探索,研究成果集中于:1)火炬树克隆繁殖扩散力极强^[5],与其克隆分株前后端水平侧根直径不对称发育^[6]、光合产物输送存在优先分配中心和次优先分配中心的机制^[6-7]有一定关系;在黄土高原和太行山低山丘陵区不同生境类型,火炬树生物量的分配格局以地上部分高于地下^[6,8-9]。2)在撂荒地上经克隆繁殖其分株呈集群分布格局^[10],火炬树枝叶侧向生长快于树高生长^[11],结果有利于提早覆盖退化生境从而引发斑块式群落演替^[12]。3)火炬树根蘖繁殖对本土乔木树种尚无显著的抑制效应^[13],但由于火炬树单优群落光截留与多级分层吸收^[14]以及火炬树克隆分株利用弱光的能力超过了荆条克隆分株^[15],结果对本土灌木树种会产生较强的排挤效应。4)火炬树营养生长与种子生产的相互影响^[16]、雌性植株由于果实(种子)生产而付出的繁殖代价^[17]导致克隆分株数量减少。注意到,前三项研究成果是在未区分火炬树雌雄异株的前提下取得的,实际上种群不同个体^[18]、乃至种群内雌雄株之间利用资源的能力均有差异,而研究成果4)虽然考虑了火炬树雌雄异株的生物学特性,进而比较研究

火炬树雌雄株的繁殖投入与策略,但是尚未从光合生态生理的角度揭示火炬树雌雄株繁殖投入差异的原因。据此,提出如下研究假设:火炬树雄株克隆生长超过雌株克隆生长,其机制可能在于光合产物较多地用于克隆生长或光合产物积累较高,结果雌雄母株克隆分株数量、光合生理参数和荧光参数均呈现一定的差异。

1 材料与方法

1.1 调查地段自然地理概况

测定地段位于泰安医学院新校区香山。样地位于泰山南麓,地处暖温带半湿润大陆性季风气候区,雨热同季。全年太阳辐射总量为 $117.9 \times 4.18 \text{ J/cm}^2$,年平均日照时数 2527.9 h,年平均气温 13°C ,年平均降水量 675.3 mm,无霜期平均为 195 d。

测定地段植被类型为疏灌草丛,或为刺槐(*Robinia pseudoacacia* L.)、火炬树等人工单优群落所替代。此外,尚种植有黑松(*Pinus thunbergii* Parl.)、紫叶李(*Prunus ceracifera* Ehrh. cv. *Atropurpurea* Jacq.)等树种。疏灌草丛残存的灌木为酸枣(*Zizyphus jujuba* Mill.)、荆条(*Vitex negundo* var. *heterophylla*)、黄栌(*Cotinus coggygria* Scop)、达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*)等,草本植物有白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)、黄背草(*Themeda japonica*)等。土壤类型主要为褐土。

1.2 测定材料

火炬树移栽时间为 2005 年春,株行距约 $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$,苗龄为 1 a,栽植后截干高约 0.8 m。经克隆繁殖或根蘖更新的 1—3 a 分株呈群团状分布,形成一定数量的火炬树单优群落。在立地条件一致火炬树雌、雄母株各自集中分布的地段,分别选取生长势良好的火炬树雌、雄母株各 22 株,作为样圆测定的中心。其中,各选择 5 株火炬树雌雄待测样株树冠中部的成熟叶片,测定其光合与荧光日进程。

1.3 测定方法

1.3.1 形态指标及克隆分株数量测定

基于取样代表性的原则^[19],分别以火炬树雌、雄母株为中心,各设立样圆 22 个,半径为 1.4 m,对样圆中火炬树雌、雄母株及其克隆分株进行生长测定,对于克隆分株性别确定困难可借助挖根的方法加以判断。测定指标包括年龄、株高、冠幅(EW、SN)、地径、克隆分株株数以及克隆分株的水平侧根前后端直径^[6]。

1.3.2 气体交换、叶绿素荧光及叶绿素相对含量测定

选择火炬树雌雄株母株树冠南侧中部功能叶片,测定光合参数、叶绿素荧光参数和叶绿素相对含量。测定时间为 2008 年 9 月 4 日 9:00—17:00,光合参数及叶绿素荧光参数每 2 h 测定 1 次,共测定 5 次。使用日产 SPAD-502 叶绿素含量计测定其叶绿素含量。测定当天为晴天。

其中,利用 CIRAS-2 光合仪测定光合有效辐射(photosynthetically active radiation, PAR)、净光合速率(net photosynthetic rate, P_n)、蒸腾速率(transpiration, Tr)、气孔导度(stomatal conductance, G_s)、胞间 CO_2 浓度(substomatal CO_2 concentration, C_i)。

利用 FMS-2 便携调制式荧光仪测定初始荧光(F_0)、最大荧光(F_m)、光化学猝灭系数(qP)、非光化学猝灭系数(qN)和最大光化学量子产量(F_v/F_m)。

1.3.3 数据处理方法

指标计算:

$$\text{水分利用率(water use efficiency, WUE)} = P_n / Tr$$

$$\text{CO}_2 \text{ 利用率(CO}_2 \text{ use efficiency, CUE)} = P_n / C_i$$

$$\text{光能利用率(light use efficiency, LUE)} = P_n / PAR$$

$$\text{Yield} = (F_m' - F_t) / F_m' \text{ [20]}$$

$$\text{ETR} = \varphi \text{PS II} \times 0.85 \times 0.5 \times PAR \text{ [20]}$$

常规数据处理和制图分别利用 Excel2003 和 Origin8 完成。借助于 SPSS13 对火炬树雌雄母株及其克隆分株形态生长指标进行显著性 t 检验。

2 结果分析

2.1 火炬树克隆分株数量特征差异

火炬树母株产生克隆分株的年龄和克隆分株的数量随母株性别而不同。所调查的火炬树 1—3 a 的克隆分株分别是 2008、2007 和 2006 年 3 个年度的生长期形成的。由图 1 知,火炬树雌雄母株产生克隆分株的数量差异明显,雄性母株周围的克隆分株数量高于雌性母株,特别是 2a 的克隆分株数量具有极显著差异 ($P < 0.01$)。其中,3a 克隆分株均为火炬树雄性母株克隆生长形成。

2.2 火炬树雌雄株形态生长差异

火炬树雌雄母株及其克隆分株的形态生长均有一定的差异。火炬树雌、雄母株生长特点主要表现为(表 1):雌株株高大于雄株,但雄株的胸径、冠幅高于雌株,其中冠幅呈极显著差异 ($P < 0.01$),表明雄株覆盖地面的速度远高于雌株。比较雌雄性克隆分株的生长特点可知(表 2):1a 雌雄性克隆分株株高、冠幅具有显著差异 ($P < 0.05$),由此预示着火炬树雄性克隆分株的树冠侧向扩展能力及向上生长能力较强,雌性克隆分株的树冠向上生长能力以及侧向生长能力相对较弱。

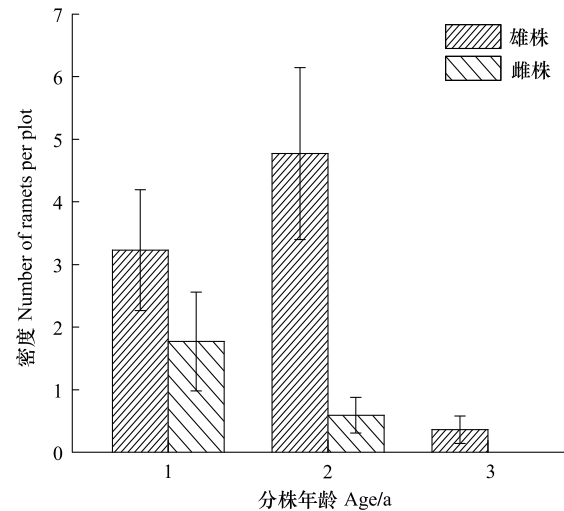


图 1 火炬树雌雄克隆分株数量比较

Fig. 1 Comparison of ramet numbers of male and female genets of *Ruth typhina*

表 1 火炬树雌雄母株生长特征(平均值±标准误差)($n=22$)

Table 1 Growth characteristics of male and female genets of *Ruth typhina* (Average±SE) ($n=22$)

母株性别 Male or female	胸径 DBH/cm	株高 Height/cm	冠幅 Crown width/cm
♂	1.81±0.24	173.77±9.47	125.66±9.22 **
♀	1.66±0.17	181.18±7.62	93.59±7.76 **

* * 表示 $p < 0.01$

表 2 火炬树雌雄分株生长特征(平均值±标准误差)

Table 2 Growth characteristics of male and female clonal ramets of *Ruth typhina* (Average±SE)

克隆分株 性别 Sex of clonal ramets	年龄 Age/a	地径 BSD /cm	株高 Height /cm	冠幅 Crown width /cm	前端水平 侧根直径 RDF/cm	后端水平 侧根直径 RDB/cm	水平侧根 前后端直径差 D=RDF-RDB /cm	水平侧根前 后端直径比 RDF/RDB
♂	1	0.61±0.09	32.76±4.25 *	30.42±3.95 *	0.74±0.09	0.49±0.07	0.25	1.51
♀	1	0.57±0.07	26.81±3.51 *	25.09±3.52 *	0.76±0.09	0.53±0.08	0.23	1.43
♂	2	0.96±0.12	47.24 ±7.54	40.50±5.16	1.09±0.16	0.61±0.11	0.48	1.79
♀	2	0.97±0.12	35.50±3.00	38.54±3.71	1.10±0.14	0.69±0.11	0.41	1.59
♂	3	1.12±0.14	65.00±10.24	45.56±4.61	1.31±0.21	0.79±0.13	0.52	1.66

* $P < 0.05$

2.3 火炬树雌雄母株光合生理参数日变化特征

测定地段的光合有效辐射呈现上午较高而午后快速下降的日变化格局(图 2)。因此,火炬树雌雄母株的气体交换参数和资源利用效率亦表现为相应的日变化特征(图 3)。

火炬树性别显著影响净光合速率、蒸腾速率、胞间 CO_2 浓度、气孔导度、胞间 CO_2 浓度/大气 CO_2 浓度比值的变化以及光能、 CO_2 和水分的利用效率。雄性母株的净光合速率、蒸腾速率和气孔导度高于雌性母株,而胞

间 CO_2 浓度、胞间 CO_2 浓度/大气 CO_2 浓度比值却以雌性母株高于雄性母株。火炬树雄性母株的光能利用效率、 CO_2 利用效率和水分利用效率程度不同地超过了雌性母株,但 3 种资源利用效率的变化趋势具有一定的差异:光能利用效率从 9:00 至 13:00 略有下降,然后迅速上升,至 17:00 达到测定时段的最大值; CO_2 利用效率和水分利用效率变化曲线基本呈现“M”型日变化特征。

2.4 火炬树雌雄母株荧光参数日变化特征

F_0 表示经暗适应的 PS II 反应中心完全开放时的荧光强度,一般 PS II 反应中心出现可逆活性下降甚至不可逆活性降低的程度愈大,则引起 F_0 增加量愈多。由图 4 可知,火炬树雌雄母株的初始荧光 (F_0) 随光合有效辐射量的增加均呈下降的趋势,说明 PS II 反应中心雌雄母株未受到强光和高温的危害。火炬树雌性母株 F_0 高于雄性母株,呈现为上午差值较大,傍晚差值减少。需要注意的是,雄性母株 F_0 谷值出现的时间早于雌性母株。

最大荧光 (F_m) 指经暗适应的 PS II 反应中心全部关闭时的荧光强度,PS II 光化学效率 (F_v/F_m) 是表示经过充分暗适应的植物叶片 PS II 最大的量子效率指标。由图 4 知, F_m 和 F_v/F_m 呈缓慢的下降趋势,所不同的是雌株的 F_v/F_m 不仅明显低于雄株,且在 11:00 出现谷值。

Yield 可表征植物光合电子传递的量子产量,亦可作为植物叶片光合电子传递速率快慢的相对指标,而 ETR 为表观电子传递效率。在测定时段内, yield 值 9:00 较高,且出现两个谷值,到 17:00 恢复,表明火炬树雌雄母株叶片早晚的光合电子传递的量子产量尚未受到抑制;而 ETR 则出现台阶式降低的变化特征。

光化学猝灭系数 (qP) 表示 PS II 天然色素吸收的光能用于光化学电子传递的份额,非光化学猝灭系数 (qN) 则表示 PS II 天然色素吸收的光能以热能的形式耗散掉的光能部分。PS II 反应中心吸收过量的光能,通过及时耗散可起到保护光合机构的作用。随着光合有效辐射和气温的增加, qP 不断下降至 13:00 出现最低值,说明 PS II 的传递活性下降、光合电子传递和光合原初反应过程受到抑制,之后 qP 逐渐回升,以雄性母株回升较快; qN 以雌性母株在 11:00 出现峰值,而雄性母株 qN 呈缓慢上升的变化趋势,表明火炬树雌性母株 PS II 色素吸收了过量的光能,雄性母株 PS II 色素吸收光能相对较少。

因此,火炬树雌雄母株具有不同的荧光参数日变化特征。初始荧光 (F_0)、最大荧光 (F_m)、PS II 光化学效率 (F_v/F_m)、表观电子传导速率 (ETR) 的日变化均以雄性母株高于雌性母株;除 11:00 外,雄性母株的 PS II 非环式电子传递效率 (ϕ_{PSII}) 和 PS II 实际光化学量子产量 (Yield) 高于雌性母株;测定日上午的光化学猝灭系数 (qP)、非光化学猝灭系数 (qN) 以雄性母株高于雌性母株,而下午则相反。

3 讨论和结论

3.1 讨论

雌雄异株植物的繁殖投资可以从两个方面来归纳分析。其一,对于雌雄异株营种子繁殖的植物而言,雌株繁殖投入比例较高,而雄株繁殖投入比例较低;其二,兼有克隆生长和种子繁殖双重特性的植物,其克隆生长与有性繁殖之间可能存在权衡^[21];对克隆生长的资源投入将会减少对有性繁殖的资源投入。实际上,雌雄异株的克隆植物在其生长发育的过程中,资源应在生长、种子生产和分株形成三者之间存在权衡关系^[22],亦即克隆分株的形成会减少母株在有性繁殖和生长方面的资源投入。

火炬树作为一种独特的外来木本植物,兼有雌雄异株(性别二态)和克隆生长的两种特征。研究表明:火炬树雄性母株产生的克隆分株数量明显多于雌性母株,而且雄性母株产生克隆分株的年龄早于雌性母株。此

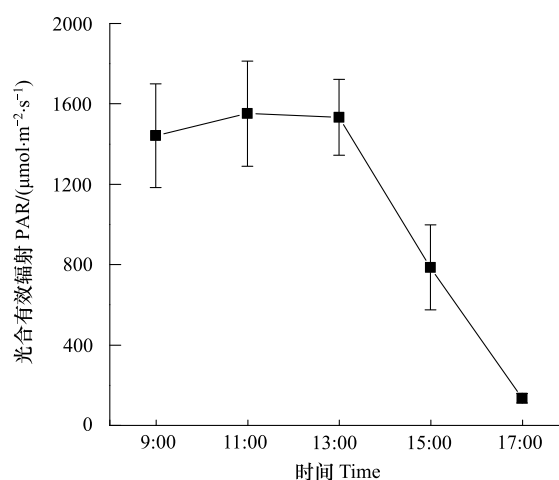


图2 光合有效辐射日变化

Fig. 2 Diurnal changes of PAR

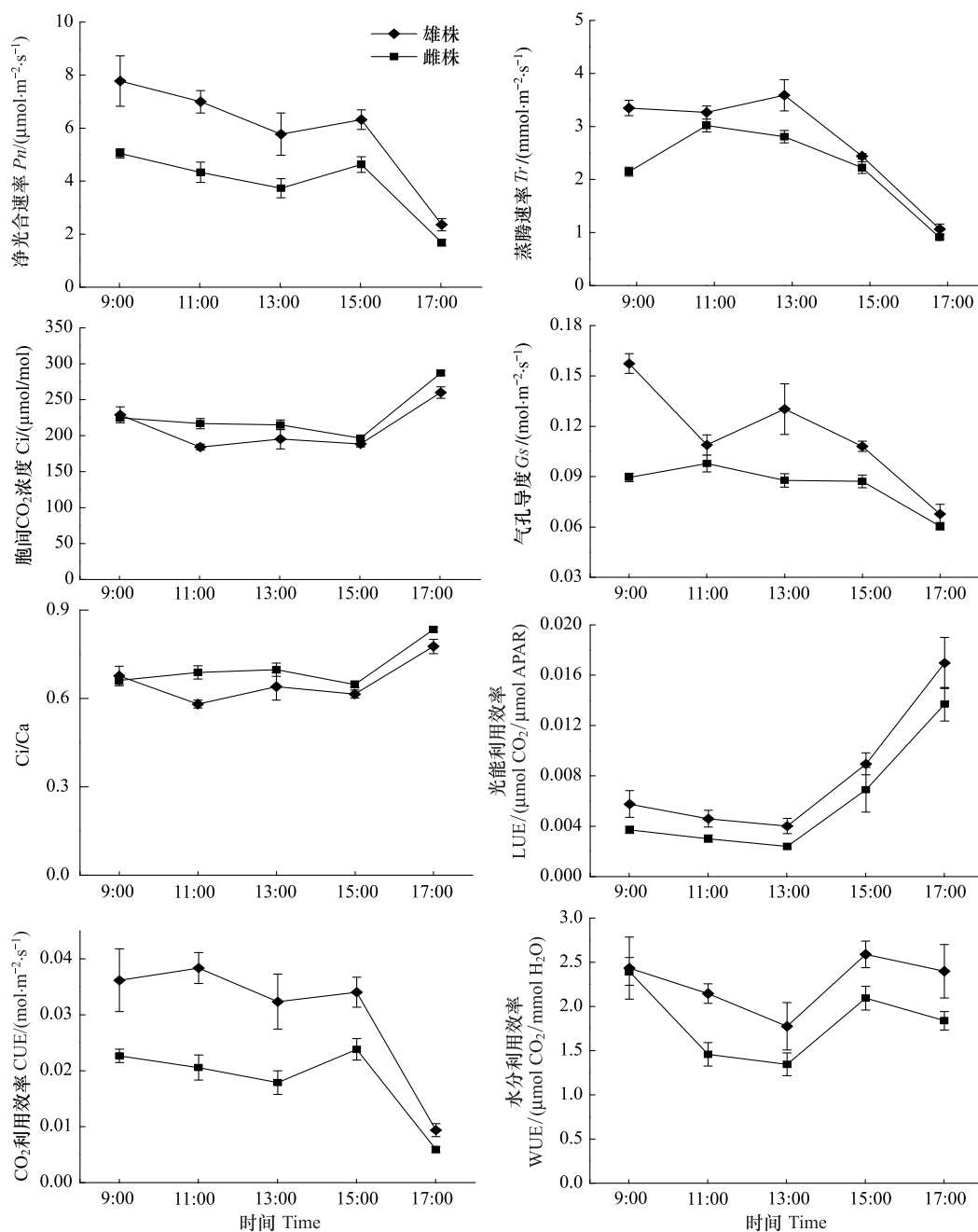


图3 火炬树雌雄母株气体交换与资源利用效率日变化

Fig. 3 Diurnal changes of gas exchanges and resource use efficiency of male and female clonal genets of *Rhus typhina*

研究结果证实了火炬树克隆繁殖过程中将趋于偏雄性比例性别构成假说^[17]的火炬树单优群落。

火炬树雄性母株克隆分株数量多于雌性母株(图1),还与雄性母株叶片叶绿素含量高于雌性母株有关(图5)。叶绿素含量较高,意味着捕获太阳辐射的能力较强。事实上,火炬树雄性母株的 P_n 、 Tr 、 G_s 、LUE、CUE 和 WUE 均超过了雌性母株,而 C_i 和 C_i/C_a 却以雌性母株高于雄性母株,结果表明雄性母株积累的光合产物较多。其中,火炬树光合产物优先积累分配的中心之一为火炬树水平侧根的前端直径^[7],进而为火炬树克隆分株的形成奠定了营养物质基础。所以,雄性克隆分株的株高、冠幅和水平侧根前后直径差值均高于雌性母株的克隆分株(表2)。通常认为木本植物雄株个体比雌株大,在于雌株更高的繁殖投入必然导致更高的代价,结果表现为个体较小^[23-24],而火炬树雄性母株经克隆繁殖产生的克隆分株数量多于雌性母株。所以基

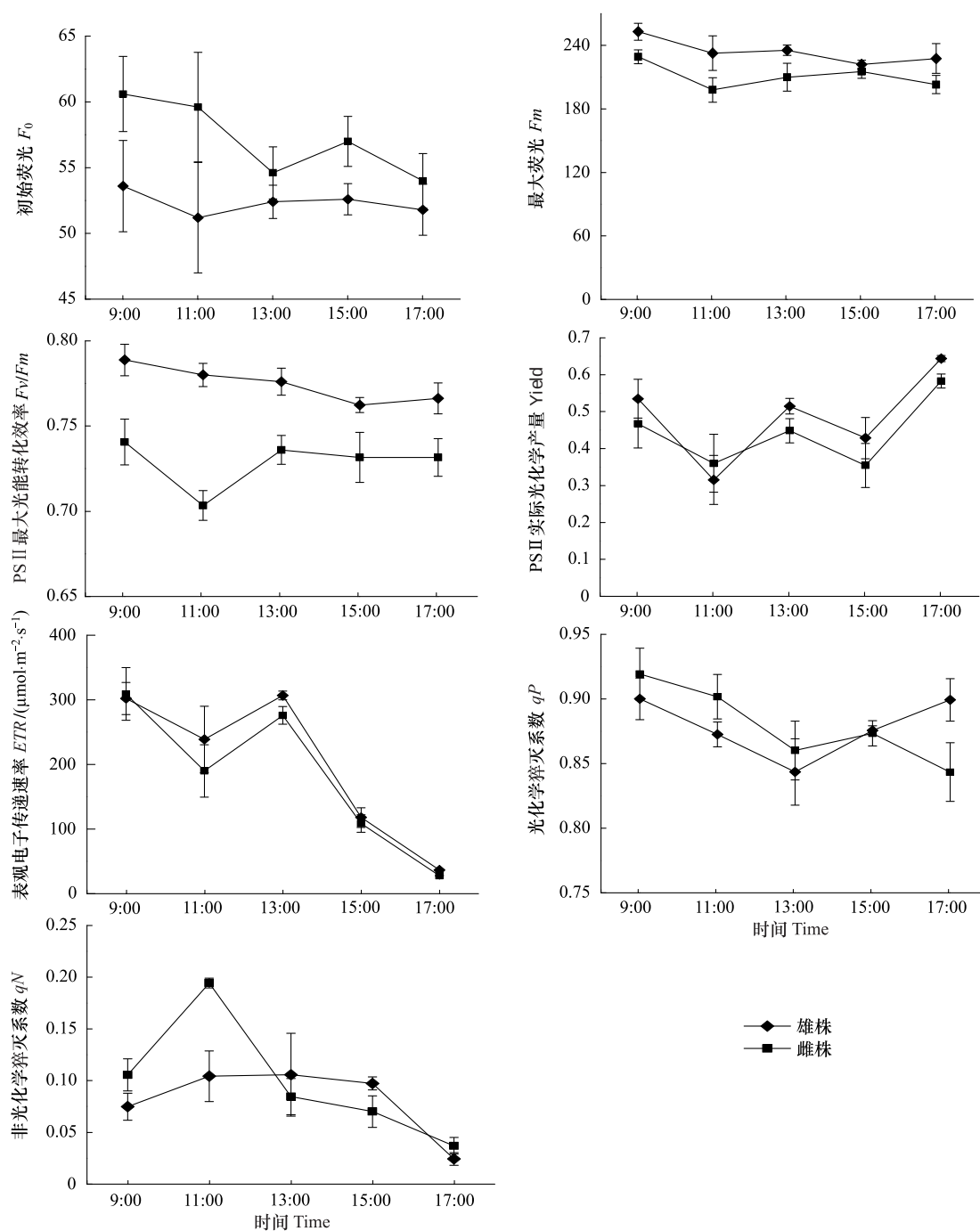


图4 火炬树雌雄母株叶绿素荧光参数日变化

Fig. 4 Diurnal changes of chlorophyll fluorescence parameters of male and female clonal genets of *Rhus typhina*

于代价理论,推测火炬树雄性母株的生物量应低于雌性母株。显然,该推测有待今后从雌雄异株的角度比较研究火炬树生物量分配格局加以验证。

PS II 最大光能转换效率(F_v/F_m)降低是光合作用受到抑制时的显著特征,通常被视为光抑制发生的判断标准^[25]。在自然光照的条件下,火炬树雌性母株在 11:00 时出现光抑制现象,而雄性母株尚未出现明显的光抑制现象,11:00 时之后火炬树雌性母株光抑制现象得到显著的缓和。此外,热耗散可以防御光抑制对光合结构的破坏^[26],热耗散的程度通常可用非光化学猝灭系数(q_N)来表征^[25,27],图 4 表明火炬树雄性母株非光化学猝灭系数(q_N)呈现缓慢的增加,而雌性母株的非光化学猝灭系数(q_N)在 11:00 出现一个明显的峰值,

与其 PS II 最大光能转换效率 (F_v/F_m) 谷值出现的时间完全一致。由此可以进一步的推测:此种荧光参数日变化特征是否与母株、分株相连后产生的生理整合机理有关,是值得研究的。

火炬树雌雄母株及其克隆分株的生长、克隆分株的数量、光合荧光日进程的变化特征必然与火炬树的繁殖投入、繁殖生长过程的资源配置对策有内在的联系,火炬树雄性母株的光能利用效率、水分利用效率和碳利用效率以及净光合速率较高,有利于资源配置到克隆分株生长及其数量的增加,而雌性母株的光能、水分和碳利用效率以及净光合速率较低,加之资源优先用于种子生产,因此资源配置于克隆分株生长及其数量方面将更为有限。而且,火炬树种子由于种皮的不透水性而降低其发芽势^[28],在研究测定地段同样未见到火炬树种子更新幼苗。所以,自然条件下火炬树以无性(克隆)繁殖为主要方式^[17,29],而种子更新困难,同时火炬树雄性母株的克隆分株生长和分株数量均高于雌性母株,预示着火炬树单优群落必然以雄性分株占据优势地位。

兼有种子繁殖和克隆繁殖双重特性的植物,如果其扩散能力和有效定居能力是超常的,特别是属于外来植物种更应谨慎选择使用,因为这样的外来植物往往会自然逃逸成为入侵力极强的植物种,如加拿大一枝黄花^[30]、互花米草^[31]和紫茎泽兰^[32]等。众多的入侵植物属于根茎类的克隆植物^[33]。火炬树种子更新相对困难,克隆繁殖力相对于国内一些入侵力极强的植物较弱,但扩散的现状与态势依然不能漠视,因为在人为栽植方式推动下扩大了火炬树的栽植地范围,然后借助于克隆繁殖向四周扩散蔓延^[34],亦即火炬树由散生分布通过克隆繁殖可以逐步扩散有效占据栽植地段^[29],生境肥沃时其克隆性为密集型,生境贫瘠时则呈现为游击型。密集型分布方式导致形成相当数量的火炬树单优群落,在华北地区已经排挤占据一定范围的低山丘陵地段的疏灌草丛并扩散侵入农田。

3.2 结论

样地调查数据分析结果表明,火炬树雄性母株的克隆分株生长及其数量均超过了雌性母株,且雄性母株形成克隆分株的年龄早于雌性母株。

火炬树雄性母株的光能、水分和碳利用效率以及净光合速率均超过了雌性母株,表明雄性母株利用生境资源的能力较强,且资源积累分配的格局主要用于克隆分株生长和数量增加。

荧光测定数据分析结果显示,在晴天自然光的条件下,火炬树雄性母株 PS II 最大光能转换效率 (F_v/F_m) 平缓下降,非光化学猝灭系数 (q_N) 呈缓慢增加,而雌性母株在 11:00 时出现谷值,非光化学猝灭系数 (q_N) 则出现峰值。

References:

- [1] Zhang D Y. Life History Evolution and Reproductive Ecology in Plants. Beijing: Science Press, 2004: 96-180.
- [2] Zhao Z G, Du G Z, Ren Q J. Size dependent reproduction and sex allocation in five species of ranunculaceae. Acta Phytocologica Sinica, 2004, 28(1): 9-16.
- [3] Beijing Ecological Society. *Rhus typhina*, an introduced plant, has not threatened the natural ecosystems in Beijing — a summary of the second workshop of “new century ecological forum” of Beijing ecological society. Journal of Plant Ecology, 2006, 30(1): 190-190.
- [4] Chen Z Z, Dong B H, Yang Z G. Investigation about Staghorn Sumac (*Rhus typhina*) in Beijing Area. Forest Resources Management, 2006, (1): 54-58.

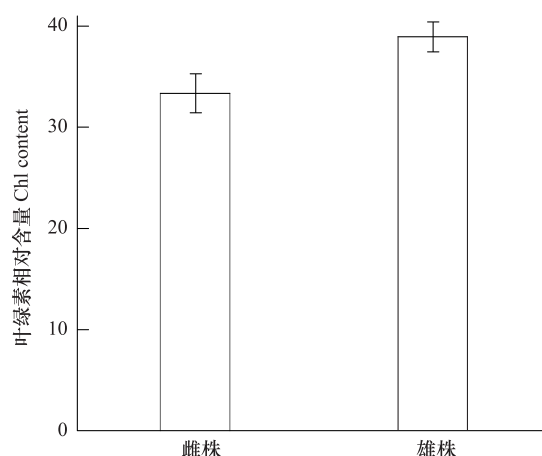


图5 火炬树雌雄母株叶绿素含量比较 ($n=22$)

Fig. 5 Comparison of chlorophyll content between male and female clonal genets of *Rhus typhina* ($n=22$)

- [5] Luken J O. Gradual and episodic changes in the structure of *Rhus typhina* clones. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 1990, 117(3) : 221-225.
- [6] Zhang M R, Zhai M P, Wang X Y, Jia L M, Shen Y B. A Study on the characteristics of the growth and the biomass of clonal ramets in *Rhus typhina*. *Scientia Silvae Sinicae*, 2004, 40(3) : 39-45.
- [7] Zhang M R, Zhai M P, Yin C J, Wen G S. Analysis on asymmetry of horizontal lateral root diameter in clonal ramets of *Rhus typhina*. *Scientia Silvae Sinicae*, 2005, 41(6) : 65-71.
- [8] Ma S T, Liu G Q, Li W H, Wang D H, Wang H Z, Yi X H. Study on biomass in *Rhus typhina* artificial forest at different sites. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry: Natural Science Edition*, 2003, 31(6) : 36-38.
- [9] Zhang Z J, Jiang C D, Zhang J Z, Zhang H J, Shi L. Ecophysiological evaluation of the potential invasiveness of *Rhus typhina* in its non-native habitats. *Tree Physiology*, 2009, 29(11) : 1307-1316.
- [10] Foster B L, Gross K L. Temporal and spatial patterns of woody plant establishment in Michigan old fields. *American Midland Naturalist*, 1999, 142(2) : 229-243.
- [11] Zhang M R, Wen G S, Yan W H, Hou P, Zhai M P, Zhang J. Growth strategy of *Rhus typhina* clonal ramets in the hilly area of the Taihang Mountains. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2008, 25(3) : 282-288.
- [12] Luken J O, Thieret J W. Sumac-directed patch succession on northern Kentucky (USA) roadside embankments. *Transactions of the Kentucky Academy of Science*, 1987, 48(3/4) : 51-54.
- [13] Zhang C H, Zheng Y Q, Li J L, Yan H P, Wang L. Dispersal of staghorn sumac in Beijing areas. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(5) : 978-985.
- [14] Lafleur P M, Farnsworth A G. Light interception and canopy radiation balance of staghorn sumac (*Rhus typhina*). *Canadian Journal of Forest Research*, 2008, 38(6) : 1695-1700.
- [15] Zhang M R, Yu Y W, Zhai M P, Yao J, Wang X Y. Photosynthetic differences between understory clonal ramets of *Rhus typhina* and *Vitex negundo* var. *heterophylla* in Taihang Mountain area of China. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2007, 24(1) : 1-6.
- [16] Luken J O. Interactions between seed production and vegetative growth in staghorn sumac *Rhus typhina* L. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 1987, 114(3) : 247-251.
- [17] Doust J L, Doust L L. Modules of production and reproduction in a dioecious clonal shrub, *Rhus typhina*. *Ecology*, 1988, 69(3) : 741-750.
- [18] Wang Y, Du G Z, Guo S Q, Zhao Z G. Trade-off between size and number of capitulum and seed in *Saussurea japonica*: effects of resource availability. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2009, 33(4) : 681-688.
- [19] Ma K M, Zhang J Y, Guo X D, Fu B J. Plant diversity distribution of mountains in rural landscapes: the combined influences of topography and land use. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, 26(5) : 575-588.
- [20] Li X, Feng W, Z X C. Advances in chlorophyll fluorescence analysis and its uses. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2006, 26(10) : 2186-2196.
- [21] Zhang Y F, Zhang D Y. Asexual and sexual reproductive strategies in clonal plants. *Journal of Plant Ecology*, 2006, 30(1) : 174-183.
- [22] Prati D, Schmid B. Genetic differentiation of life history traits within population of the clonal plant *Ranunculus reptans*. *Oikos*, 2000, 90(3) : 442-456.
- [23] Obeso J R. Costs of reproduction in *Illex aquifolium*: effects at tree, branch and leaf levels. *Journal of Ecology*, 1997, 85(2) : 159-166.
- [24] Nicotra A B. Reproductive allocation and the long-term costs of reproduction in *Sipanura grandiflora*, a dioecious neotropical shrub. *Journal of Ecology*, 1999, 87(1) : 138-149.
- [25] Demmig-Adams B, Adams W W III. Photoprotection and other responses of plants to high light stress. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 1992, 43 : 599-626.
- [26] Xu D Q, Shen Y G. Diurnal variations in the photosynthetic efficiency in plants. *Acta Phytophysiological Sinica*, 1997, 23(4) : 410-416.
- [27] Krause G H, Weis E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 1991, 42 : 313-349.
- [28] Norton C R. The use of gibberellic acid, ethephon and cold treatment to promote germination of *Rhus typhina* Linn. seeds. *Scientia Horticulturae*, 27(1/2) : 163-169.
- [29] Wang G M, Jiang G M, Yu S L, Li Y H, Liu H. Invasion possibility and potential effects of *Rhus typhina* on Beijing municipality. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2008, 50(5) : 522-530.
- [30] Huang H, Guo S L. Study on reproductive biology of the invasive plant *Solidago Canadensis*. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(11) : 2795-2803.
- [31] Yao Y H, Qing H, An S Q, He J, Wang Y. Growth and biomass allocation of differently-aged populations of *Spartina alterniflora*. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(19) : 5200-5208.
- [32] Lu P, Sang W G and Ma K P. Progress and prospects in research of an exotic invasive species *Eupatorium adenophorum*. *Acta Phytocologica Sinica*

Sinica, 2005, 29(6): 1029-1037.

[33] Tang J B, Xiao Y, An S Q. Advance of studies on rhizomatous clonal plants ecology. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(11): 3028-3036

[34] Zeng J J, Xiao Y A, Sun M. Reproductive traits associated with invasiveness in *Coreopsis lanceolata*. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010, 34(8): 966-972.

参考文献:

[1] 张大勇. 植物生活史进化与繁殖生态学. 北京: 科学出版社, 2004: 96-180.

[2] 赵志刚, 杜国祯, 任青吉. 5 种毛茛科植物个体大小依赖的繁殖分配和性分配. 植物生态学报, 2004, 28(1): 9-16.

[3] 北京生态学学会. 火炬树未对北京地区的自然生态系统构成威胁——《新世纪北京生态论坛》第二届学术研讨会纪要. 植物生态学报, 2006, 30(1): 190-190.

[4] 陈佐忠, 董保华, 杨宗贵. 北京地区火炬树的调查. 林业资源管理, 2006, (1): 54-58.

[6] 张明如, 翟明普, 王学勇, 贾黎明, 沈应柏. 火炬树克隆植株生长和生物量特征的研究. 林业科学, 2004, 40(3): 39-45.

[7] 张明如, 翟明普, 尹昌君, 温国胜. 火炬树克隆分株前后端水平侧根直径不对称性分析. 林业科学, 2005, 41(6): 65-71.

[8] 马松涛, 刘广全, 李文华, 王海迪, 王宏哲, 衣学慧. 不同立地类型火炬树人工林生物量初步研究. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2003, 31(6): 36-38.

[11] 张明如, 温国胜, 颜文洪, 侯平, 翟明普, 张瑾. 太行山低山丘陵区火炬树克隆分株的生长策略. 浙江林学院学报, 2008, 25(3): 282-288.

[13] 张川红, 郑勇奇, 李继磊, 阎海平, 王玲. 北京地区火炬树的萌蘖繁殖扩散. 生态学报, 2005, 25(5): 978-985.

[15] 张明如, 俞益武, 翟明普, 姚军, 王学勇. 火炬树克隆分株与荆条克隆分株的光合日进程差异. 浙江林学院学报, 2007, 24(1): 1-6.

[18] 汪洋, 杜国祯, 郭淑青, 赵志刚. 凤毛菊花序、种子大小和数量之间的权衡: 资源条件的影响. 植物生态学报, 2009, 33(4): 681-688.

[19] 马克明, 张洁瑜, 郭旭东, 傅伯杰. 农业景观中山体的植物多样性分布: 地形和土地利用的综合影响. 植物生态学报, 2002, 26(5): 575-588.

[20] 李晓, 冯伟, 曾晓春. 叶绿素荧光分析技术及应用进展. 西北植物学报, 2006, 26(10): 2186-2196.

[21] 张玉芬, 张大勇. 克隆植物的无性与有性繁殖对策. 植物生态学报, 2006, 30(1): 174-183.

[30] 黄华, 郭水良. 外来入侵植物加拿大一枝黄花繁殖生物学研究. 生态学报, 2005, 25(11): 2795-2803.

[31] 姚懿函, 清华, 安树青, 何军, 王玉. 不同建群时间下互花米草种群生长及生物量分配. 生态学报, 2010, 30(19): 5200-5208.

[32] 鲁萍, 桑卫国, 马克平. 外来入侵种紫茎泽兰研究进展与展望. 植物生态学报, 2005, 29(6): 1029-1037.

[33] 汤俊兵, 肖燕, 安树青. 根茎克隆植物生态学研究进展. 生态学报, 2010, 30(11): 3028-3036.

[34] 曾建军, 肖宜安, 孙敏. 入侵植物剑叶金鸡菊的繁殖特征及其与入侵性之间的关系. 植物生态学报, 2010, 34(8): 966-972.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.32 ,No.2 January ,2012(Semimonthly)

CONTENTS

Dynamics of demersal fish species diversity and biomass of dominant species in autumn in the Beibu Gulf, northwestern South China Sea	WANG Xuehui, QIU Yongsong, DU Feiyan, et al (333)
Spatial variation in species richness of birds and mammals in mainland China	DING Jingjing, LIU Dingzhen, LI Chunwang, et al (343)
Comparative study on learning behavior and electroantennogram responses in two geographic races of <i>Cotesia glomerata</i>	WANG Guohong, LIU Yong, GE Feng, et al (351)
Biological characteristics and habitat requirements of <i>Parnassius imperator</i> (Lepidoptera: Parnassidae)	FANG Jianhui, LUO Youqing, NIU Ben, et al (361)
Annual variability in biological characteristics of <i>Illex argentinus</i> in the southwest Atlantic Ocean	FANG Zhou, LU Huajie, CHEN Xinjun, et al (371)
The impact of run-of stream dams on benthic macroinvertebrate assemblages in urban streams	HAN Minghua, YU Haiyan, ZHOU Bin, et al (380)
Effect of suspended sediment on the feeding physiology of <i>Pinctada martensii</i> in laboratory	LI Zhimin, SHEN Yuchun, YU Nantao, et al (386)
Potential nutrient limitation of phytoplankton growth in the Western and Central Pacific Ocean	XU Yanqing, CHEN Jianfang, GAO Shengquan, et al (394)
Ingestion of selected HAB-forming dinoflagellates	ZHANG Qingchun, YU Rencheng, SONG Jingjing, et al (402)
Formation of aggregation by <i>Phaeocystis globosa</i> (Prymnesiophyceae) in response to high grazing pressure	WANG Xiaodong, WANG Yan (414)
Growth and reproduction of the green macroalga <i>Ulva prolifera</i>	ZHANG Bixin, WANG Jianzhu, WANG Yifu, et al (421)
Screening of growth decline related genes from <i>Alexandrium catenella</i>	ZHONG Jie, SUI Zhenghong, WANG Chunyan, et al (431)
Analysis of inherent optical properties of Lake Taihu in spring and its influence on the change of remote sensing reflectance	LIU Zhonghua, LI Yunmei, LU Heng, et al (438)
Neural network modeling of the eutrophication mechanism in Lake Chenghai and corresponding scenario analysis	ZOU Rui, DONG Yunxian, ZHANG Zhenzhen, et al (448)
The compensatory growth of shrubby <i>Pinus thunbergii</i> response to the boring stress in sandy coast	ZHOU Zhen, LI Chuanrong, XU Jingwei, et al (457)
Selected body temperature and thermal tolerance of tadpoles of two frog species (<i>Fejervarya limnocharis</i> and <i>Microhyla ornata</i>) acclimated under different thermal conditions	SHI Linqiang, ZHAO Lihua, MA Xiaohao, et al (465)
Effects of landscape structure and key landscape factors on aphids-parasitoids-hyper parasitoids populations in wheat fields	ZHAO Zihua, WANG Ying, HE Dahan, et al (472)
Effects of cadmium on lipid peroxidation and ATPase activity of plasma membrane from Chinese kale (<i>Brassica alboglabra</i> Bailey) roots	ZHENG Aizhen (483)
Effects of ginger aqueous extract on soil enzyme activity, microbial community structure and soil nutrient content in the rhizosphere soil of ginger seedlings	HAN Chunmei, LI Chunlong, YE Shaoping, et al (489)
Manganese tolerance and accumulation in mycelia of <i>Cordyceps kyuusyuensis</i>	LUO Yi, CHENG Xianhao, ZHANG Congcong, et al (499)
Influence of oxytetracycline exposure on antibiotic resistant bacteria and enzyme activities in wheat rhizosphere soil	ZHANG Hao, ZHANG Lilan, WANG Jia, et al (508)
Effects of elevated nitrogen deposition on soil organic carbon mineralization and soil enzyme activities in a Chinese fir plantation	SHEN Fangfang, YUAN Yinghong, FAN Houbao, et al (517)
Differences in clonal growth between female and male plants of <i>Rhus typhina</i> Linn. and their diurnal changes in photosynthesis and chlorophyll fluorescence	ZHANG Mingru, WEN Guosheng, ZHANG Jin, et al (528)
Soil water holding capacity under four typical ecosystems in Wuyunjie Nature Reserve of Hunan Province	PAN Chunxiang, LI Yuyuan, PENG Yi, et al (538)
The effect of different land use patterns on soil properties in alpine areas of eastern Qilian Mountains	ZHAO Jinmei, ZHANG Degang, LIU Changzhong, et al (548)
Responses of soil macro-fauna to land desertification in sandy grassland	LIU Rentao, ZHAO Halin (557)
Characteristics of cultivable microbial community number and structure at the southeast edge of Tengger Desert	ZHANG Wei, ZHANG Gaosen, LIU Guangxiu, et al (567)
Physiological and ecological responses of maize to different severities of desertification in the Southern Taramakan desert	LI Lei, LI Xiangyi, LIN Lisha, WANG Yingju, et al (578)
Characterization of caloric value in fifteen plant species in <i>Leymus chinensis</i> steppe in Xilin River Basin, Inner Mongolia	GAO Kai, XIE Zhongbing, XU Sutie, et al (588)
Spatial pattern responses of <i>Achnatherum splendens</i> to environmental stress in different density levels	ZHANG Mingjuan, LIU Maosong, XU Chi, et al (595)
Effects of environmental factors on species distribution and diversity in an <i>Abies fargesii</i> - <i>Betula utilis</i> mixed forest	REN Xuemin, YANG Gaihe, WANG Dexiang, et al (605)
Effects of alginate cerium complexes on ascorbate- glutathione cycle in spinach leaves under chlorpyrifos stress	LUAN Xia, CHEN Zhende, WANG Dongfeng, et al (614)
Analysis on spatiotemporal changes of urban thermal landscape pattern in the context of urbanisation: a case study of Xiamen City	HUANG Jucong, ZHAO Xiaofeng, TANG Lina, et al (622)
The analysis of the green vegetation cover change in western Sichuan based on GIS and Remote sensing	YANG Cunjian, ZHAO Zijian, REN Xiaolan, et al (632)
An inventory of BVOC emissions for a subtropical urban-rural complex: Greater Taizhou Area	CHANG Jie, REN Yuan, SHI Yan, et al (641)
Scientific Note	
Litter decomposition and nutrient dynamics of <i>Carex lasiocapa</i> under different water conditions	HOU Cuicui, SONG Changchun, LI Yingchen, et al (650)
Nest-box color preference and reproductive success of great tit	ZHANG Keqin, DENG Qiuxiang, Justin Liu, et al (659)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 32 卷 第 2 期 (2012 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 2 2012

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元