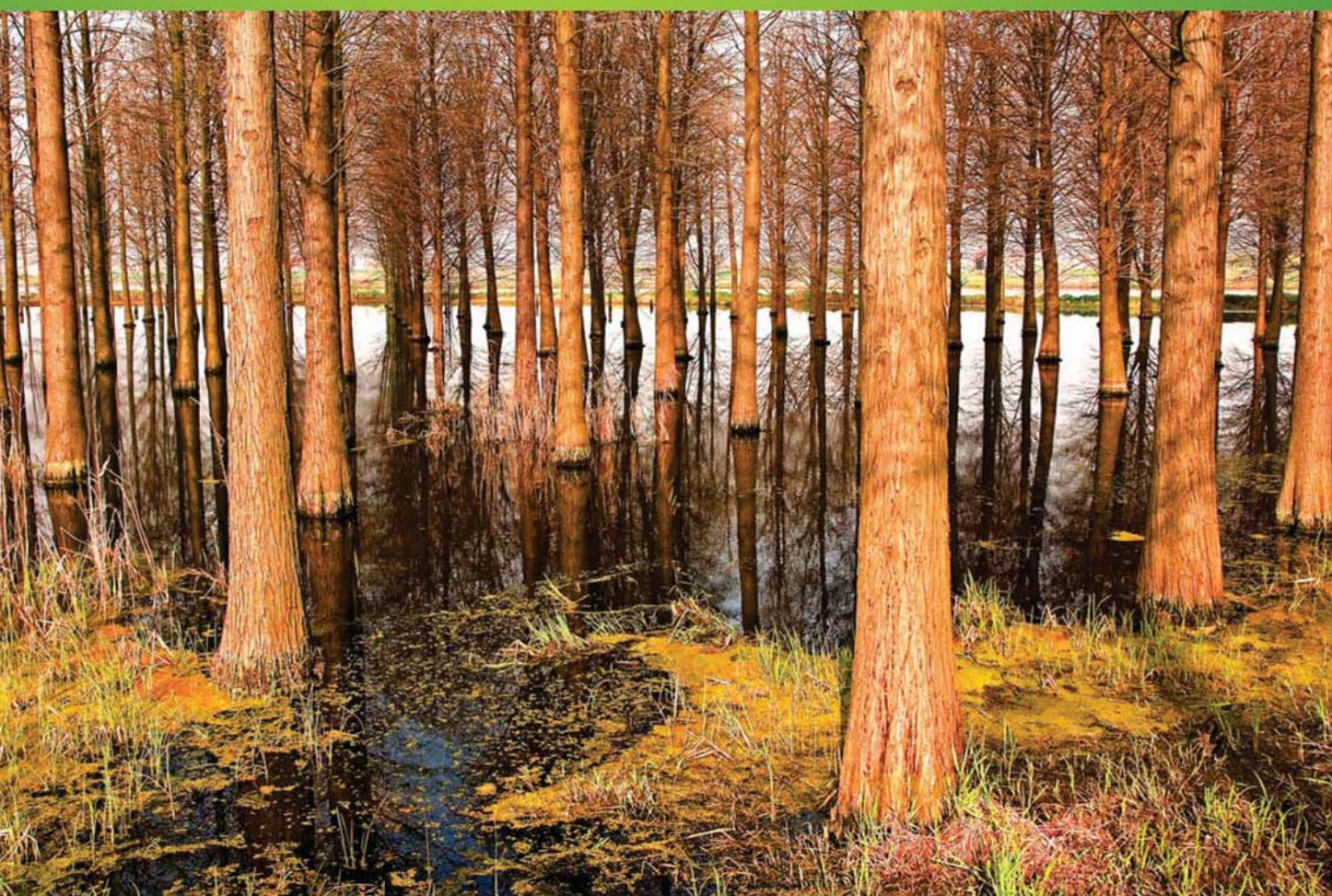


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第3期 Vol.32 No.3 **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



生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

中国科学院科学出版基金资助出版

第 32 卷 第 3 期

2012 年 2 月 (半月刊)

目 次

夏季可可西里雌性藏原羚行为时间分配及活动节律	连新明, 李晓晓, 颜培实, 等 (663)
热带印度洋黄鳍金枪鱼渔场时空分布与温跃层的关系	杨胜龙, 张禹, 张衡, 等 (671)
洪湖水体藻类藻相特征及其对生境的响应	卢碧林, 严平川, 田小海, 等 (680)
广西西端海岸四种红树植物天然种群生境高程	刘亮, 范航清, 李春千 (690)
高浓度 CO ₂ 引起的海水酸化对小珊瑚藻光合作用和钙化作用的影响	徐智广, 李美真, 霍传林, 等 (699)
盖度与冠层水深对沉水植物水盾草光谱特性的影响	邹维娜, 袁琳, 张利权, 等 (706)
基于 C-Plan 规划软件的生物多样性就地保护优先区规划——以中国东北地区为例	栾晓峰, 孙工棋, 曲艺, 等 (715)
城市化对本土植物多样性的影响——以廊坊市为例	彭羽, 刘雪华, 薛达元, 等 (723)
利用红外相机调查北京松山国家级自然保护区的野生动物物种	刘芳, 李迪强, 吴记贵 (730)
基于树木起源、立地分级和龄组的单木生物量模型	李海奎, 宁金魁 (740)
千岛湖社鼠种群遗传现状及与生境面积的关系	刘军, 鲍毅新, 张旭, 等 (758)
气候变化对内蒙古草原典型植物物候的影响	顾润源, 周伟灿, 白美兰, 等 (767)
中国西北典型冰川区大气氮素沉降量的估算——以天山乌鲁木齐河源 1 号冰川为例	王圣杰, 张明军, 王飞腾, 等 (777)
植被类型对盐沼湿地空气生境节肢动物功能群的影响	童春富 (786)
黔西北铅锌矿区植物群落分布及其对重金属的迁移特征	邢丹, 刘鸿雁, 于萍萍, 等 (796)
云南中南部季风常绿阔叶林恢复生态系统萌生特征	苏建荣, 刘万德, 张志钧, 等 (805)
筑坝扩容下高原湿地拉市海植物群落分布格局及其变化	肖德荣, 袁华, 田昆, 等 (815)
三峡库区马尾松根系生物量的空间分布	程瑞梅, 王瑞丽, 肖文发, 等 (823)
兴安落叶松林生物量、地表枯落物量及土壤有机碳储量随林分生长的变化差异	王洪岩, 王文杰, 邱岭, 等 (833)
内蒙古放牧草地土壤碳固持速率和潜力	何念鹏, 韩兴国, 于贵瑞 (844)
不同林龄马尾松凋落物基质质量与土壤养分的关系	葛晓改, 肖文发, 曾立雄, 等 (852)
不同丛枝菌根真菌侵染对土壤结构的影响	彭思利, 申鸿, 张宇亭, 等 (863)
不同初始含水率下粘质土壤的入渗过程	刘目兴, 聂艳, 于婧 (871)
不同耕作措施的温室气体排放日变化及最佳观测时间	田慎重, 宁堂原, 迟淑筠, 等 (879)
外源铅、铜胁迫对不同基因型谷子幼苗生理生态特性的影响	肖志华, 张义贤, 张喜文, 等 (889)
温度和盐度对吉富品系尼罗罗非鱼幼鱼鳃 Na ⁺ -K ⁺ -ATPase 活力的联合效应	王海贞, 王辉, 强俊, 等 (898)
基于元胞自动机的喀斯特石漠化格局模拟研究	王晓学, 李叙勇, 吴秀芹 (907)
边缘细胞对荞麦根尖铝毒的防护效应和对细胞壁多糖的影响	蔡妙珍, 王宁, 王志颖, 等 (915)
川中丘陵区人工柏木防护林适宜林分结构及水文效应	龚固堂, 黎燕琼, 朱志芳, 等 (923)
基于 AHP 与 Rough Set 的农业节水技术综合评价	翟治芬, 王兰英, 孙敏章, 等 (931)
基于 DMSP/OLS 影像的我国主要城市群空间扩张特征分析	王翠平, 王豪伟, 李春明, 等 (942)
生态旅游资源非使用价值评估——以达赉湖自然保护区为例	王朋薇, 贾竞波 (955)
专论与综述	
基于有害干扰的森林生态系统健康评价指标体系的构建	袁菲, 张星耀, 梁军 (964)
硅对植物抗虫性的影响及其机制	韩永强, 魏春光, 侯茂林 (974)
研究简报	
光照条件、植株冠层结构和枝条寿命的关系——以桂花和水杉为例	占峰, 杨冬梅 (984)
Bt 玉米秸秆还田对小麦幼苗生长发育的影响	陈小文, 祁鑫, 王海永, 等 (993)
汶川大地震灾后不同滑坡体上柏木体内非结构性碳水化合物特性	陈博, 李志华, 何茜, 等 (999)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 344 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2012-02



封面图说: 难得的湿地乔木——池杉池杉为落叶乔木, 高达 25 米, 主干挺直, 树冠尖塔。树干基部膨大, 常有屈膝状吐吸根, 池杉为速生树, 强阳性, 耐寒性较强, 耐干旱, 更极耐水淹, 多植于湖泊周围及河流两岸, 是能在在水里生长的极少数的大乔木之一, 故有湿地乔木之称。池杉原产美国弗吉尼亚沼泽地, 中国于本世纪初引种到江苏等地, 之后大量引种南方各省, 尤其是长江南北水网地区作为重要造树和园林树种而大量栽种。

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

DOI: 10.5846/stxb201104270559

占峰, 杨冬梅. 光照条件、植株冠层结构和枝条寿命的关系: 以桂花和水杉为例. 生态学报, 2012, 32(3): 984-992.

Zhan F, Yang D M. Relationships among light conditions, crown structure and branch longevity: a case study in *Osmanthus fragrans* and *Metasequoia glyptostroboides*. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(3): 984-992.

光照条件、植株冠层结构和枝条寿命的关系 ——以桂花和水杉为例

占 峰^{1,2}, 杨冬梅^{1,*}

(1. 浙江师范大学化学与生命科学学院, 金华 321004; 2. 桐城高等师范专科学校, 桐城 231400)

摘要:根据衰老理论的代谢率假说,生物寿命与其代谢率有关,个体大小相同的生物体,在质量较好的微生境中通常比较差生境中具有更高的代谢速率。因此,生物体在资源供给较差的生境中通常比资源供给较充足的生境中具有更长的寿命。枝条是木本植物冠层构建的基本单元之一,如果枝条遵循代谢率假说,则可推测在光照较好环境下的植物枝条或小枝将比其在遮荫环境下具有更短的寿命,即枝条寿命与光照条件成反比。以常绿物种桂花(*Osmanthus fragrans*)和落叶物种水杉(*Metasequoia glyptostroboides*)为研究对象,通过测量不同光照环境下,植株大小(株高和胸径)、冠层深度、冠层轮廓(冠层深度/冠层宽度)、相对冠层宽度(冠层宽度/植株高度)以及植株凋落枝条寿命等性状,探讨了光照条件对成年植株冠层形态结构和植株枝条寿命的影响。调查发现:1)枝条的寿命在遮荫条件下显著高于全光照条件下,与理论预测吻合;2)随遮荫程度增加,植株冠层深度和冠层轮廓增加,相对冠层宽度减小;3)枝条的平均寿命与植株冠层深度和冠层轮廓成正比,与植株相对冠层宽度成反比。这表明光照条件可能通过改变植株冠层结构来影响枝条寿命。未来需要进一步研究枝条生物量分配、叶片光合能力和呼吸速率在不同生活型物种之间的差异,以便更全面的理解枝条寿命与生境质量之间的关系。

关键词:衰老理论; 顶端优势; 枝条寿命; 冠层结构; 生活史对策; 光环境

Relationships among light conditions, crown structure and branch longevity: a case study in *Osmanthus fragrans* and *Metasequoia glyptostroboides*

ZHAN Feng^{1,2}, YANG Dongmei^{1,*}

1 College of Chemistry and Life Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China

2 Tongcheng Teachers College, Anhui Tongcheng 231400, China

Abstract: According to the rate of living theory of aging, the longevity of living organisms should be negatively correlated with body metabolic rate. For the organisms having the same body size, the metabolic rate is usually greater in favorable habitats than in poor-quality sites, as demonstrated in many previous studies. Therefore, it is expected that organisms would live longer in environments with low-resource availability than in their counterparts. Specifically, we hypothesize that plant branches or twigs would live shorter in sun-lit microhabitats than in shaded or partial-shaded ones. This hypothesis is consistent with the recently established leaf and wood economic spectrums, in which leaf longevity is positively associated with leaf mass per area but negatively with leaf nitrogen content and photosynthetic capacity that often characterize favorable sites. A similar hypothesis has also been interspecifically tested to be true at whole-individual level of tree species, where long-lived species are often associated with low respiration rates.

In order to test the above hypothesis, we in this study examined the effects of light level on branch longevity and on the

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(31000193)

收稿日期: 2011-04-27; 修订日期: 2011-09-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yangdm@zjnu.cn

relationship between crown shape and the longevity for an evergreen species (*Osmanthus fragrans*) and a deciduous species (*Metasequoia glyptostroboides*) in Nanjing, southeast China. We measured plant size (height and diameter at breast height), crown depth (i. e. vertical crown length) that was obtained by plant height minus under branch height, crown profile that was calculated as the ratio of crown depth to crown width, and relative crown width that was defined as the ratio of crown width to plant height; we also determined the longevity of shed branches by bud scales for plants (with similar size) grown in different light conditions (under full sun light/unshaded, partial shaded, fully shaded).

In both species, branch longevity was found to be significantly greater for plants living in the fully-shaded environments than for those grown in open sites; the longevity increased with increasing shading level, consistent with the theoretical prediction. Crown depth and crown profile increased, but relative crown width decreased with increasing shading level in both species, i. e. shading tended to result in narrow and deep plant crowns. In addition, branch longevity was positively correlated with crown depth and crown profile but negatively with relative crown width in both species, and branch longevity was positively related to relative crown depth in *O. fragrans*, not in *M. glyptostroboides*. The possible underlying mechanism is that shading might have increased the level of apical dominance but decreased the self-shading level of crown interior (as reflected by increased crown profile and decreased crown width), which potentially led to low metabolic rates.

These results collectively suggest that the morphological responses of plant crowns to light may largely account for the variation in branch longevity under different shading levels. However, the current study did not address the importance of life form to plant metabolic rates and organism longevity despite two different species being investigated. Future studies need to examine branch biomass allocation, leaf photosynthetic capacity and respiration rates to fully understand the relationship between branch longevity and habitat quality for species differing in life forms.

Key Words: ageing theory; apical dominance; branch longevity; crown structure; life history strategy; light condition

衰老理论的代谢速率假说(the rate of living theory of aging, ROL)认为,所有动物在他们的一生当中,每克组织的能量支出总量是相同的,但能量支出的速率不一样,因此代谢速率与寿命呈负相关关系^[1-2]。动物的比较生态学研究表明此假说在同一进化分枝内的种间水平上是成立的,但在不同进化分枝(例如鸟类和哺乳动物)间比较时有时缺乏预测能力^[1-2]。最近这一假说在植物上也得到了验证。例如 Issartel 和 Coiffard^[1]通过对 15 个物种的主茎(代表个体)的代谢速率(呼吸速率)与寿命的关系研究发现,茎的寿命与其代谢速率呈显著的负相关。与动物不同的是,植物是构件集合体,构件的寿命与个体不同,但仍可能与代谢率假说的预测一致。例如叶的经济学谱研究发现,单位叶面积干重低、养分含量高、光合速率高的叶片通常寿命较短^[3]。虽然最近木材经济学谱也在建立中^[4],但是枝条的寿命和代谢率关系是否遵循这一假说还不清晰。

枝条是木本植物构建的生理独立单位^[5-6],也是植株冠层内部结构的基本单元^[7]。枝条的自然脱落是许多木本植物所共有的一个特征^[8-9]。按照代谢率假说,枝条寿命,即枝条在植株上存留时间的长短,与枝条的代谢速率(如呼吸速率)呈反比;枝条寿命的长短能反映植株的生长活力^[10]。由于要在种间大规模测定枝条水平的代谢速率存在时间和劳力上的困难,通常采用的一个替代方法是通过比较不同生境条件中的枝条寿命来间接推断枝条寿命与代谢率的关系。例如同一种物种在光照条件较好的情况下,枝条支持的叶片光合能力较强,代谢速率相对较高,其枝条寿命则应低于生长在光照较弱生境中的植株。这一推论与前期一些物种的观察一致。例如西黄松(*Pinus ponderosa*)在光照、水分和养分较好的生境中,短枝条只能保留 4—5a,而在胁迫生境下,短枝条能保留 8a^[10]。Mori 等^[11]的研究也发现,荫蔽环境下枝条的平均寿命比光照环境下显著延长。即便如此,现有关于枝条寿命与生境质量关系的研究仍然少见;对于环境因子(如光照)影响枝条寿命的机制也不清楚。

枝条自然脱落通常是植株冠层内枝条死亡的主要方式^[12-14]。当植株个体发育到一定阶段后,冠层内部存在一个“自我修剪”的过程^[8-9],并且与环境因素如光照,养分和水分有效性密切相关^[15-18]。一般地,自我荫

蔽程度高的植株个体,冠层内部枝条自然修剪现象频繁,相应地枝条寿命较短^[17]。而冠层内部枝条之间的自我荫蔽程度主要与植株冠层形态特征有关,冠层越深、幅度越小的植株个体,其自我荫蔽程度则越弱,反之亦然^[18]。另外,在通常情况下,光照条件的变化能改变植物冠层形态结构,例如林窗下的个体与同龄的林下个体相比,通常树高和冠幅较大,但树高/冠幅相对较小^[19]。因此可以推测光照条件可能通过改变树冠形态结构、自我荫蔽程度来间接调节枝条寿命。但光照条件、树冠结构、枝条寿命三者间的关系还鲜有报道。

本研究以常绿物种桂花(*Osmanthus fragrans*)和落叶物种水杉(*Metasequoia glyptostroboides*)两个物种为研究对象,调查了不同光照条件下成年植株冠层特征和枝条寿命,分析了光照条件对冠层结构的影响,以及冠层结构与枝条寿命的关系。主要目的是:1) 检验光照条件与植物枝条寿命的关系与代谢率假说是否一致;2) 研究光照条件、冠层结构与枝条寿命三者间的关系,从而探讨光照条件影响枝条寿命的生态适应机制。

1 材料与方法

1.1 实验对象

本实验选取了南京市常见的两种木本植物,水杉(*Metasequoia glyptostroboides*)和桂花(*Osmanthus fragrans*)为实验对象。水杉属杉科水杉属的落叶乔木,小枝对生,具长枝与脱落性短枝;桂花属木犀科木犀属的常绿灌木或小乔木。

研究区位于南京中山陵景区和明孝陵景区。南京地属北亚热带季风气候区,雨热同季。年平均气温 15.0—15.5 °C,7 月份平均气温 28.0—28.5 °C,1 月份平均气温 1.0—2.5 °C,年均降水量 950—1150 mm,适宜植物生长的无霜期 225 d 左右。

1.2 实验取样

水杉凋落枝条数量受到寒潮影响较大,当温度不发生剧烈变化时,水杉的凋落枝条较少,但当寒潮来临时,大量的枝条脱落。因此在非寒潮期的 9—12 月,每月收集 1 次凋落枝条,而在 1—4 月间在每次寒潮后第 2 天,对其凋落物进行统计。桂花的凋落枝条常年较少,且枝条凋落时间集中在秋季,在 9—12 月份对桂花的当年凋落枝条进行了统计与收集,调查频率为每月 1 次。虽然在其他季节也有水杉和桂花的枝条凋落,但是凋落量很少,本研究没有进行统计。

对所有调查凋落物的个体,分别测量并记录树木的树高、胸径、枝下高、冠幅以及受遮荫程度等,并收集植株个体周围的凋落枝条。

胸径用植株主干离地表面 1.3 m 处直径来表示;冠幅通过测量树冠水平方向上最长和最短宽度来表示。植株高度和枝下高采用测高仪测量,枝下高小于 2 m 的采用卷尺直接测定。植物受遮蔽的程度主要根据对目标植株周围冠幅受到其他植株或者建筑物遮蔽情况确定。根据观察结果,将遮荫程度分为三类。将分布相对独立、冠幅没有受到明显遮蔽的个体划分为不受遮荫,即相当于全光照条件下生长的个体;将分布在较为密集的大树中间、冠幅扩展明显受到周围高大树木限制的个体划分为完全遮荫类型;而将那些周围受到较高建筑物或大树影响的、但冠幅在一定方向上仍有扩展空间的个体划分为部分遮荫的类型。

共调查 30 棵水杉和 29 棵桂花成年的胸径相近的个体,所选定个体要求与周围同种的其他个体有足够间距,以保证所调查的凋落物不是来自于其他个体。调查方法随时间和物种而改变,对于桂花,以及非寒潮期间的水杉,收集树下的全部凋落枝条,带回实验室统计;对于寒潮期间的水杉,则采取样方收集法,即随机设置 3 个以上的 1 m×1 m 的样方,收集其中的全部枝条,带回实验室统计。在实验室分别用直尺或游标卡尺测定枝条的长度和直径,根据芽鳞痕确定枝条的年龄。

1.3 数据分析

通过所测量指标,根据 Mori 等^[11]和 Osunkoya 等^[18]中所述方法,计算如下植物冠层形态结构参数:

植株冠层宽度(Crown width, CW) = $1/2 \times (\text{最长冠幅宽度} + \text{最短冠幅宽度})$

植株冠层深度(Crown depth, CD) = 植株高度 - 枝下高

植株冠层轮廓(Crown profile, CP) = 冠层深度/冠层宽度

相对冠层宽度(Relative crown width, RCW)=冠层宽度/植株高度

相对冠层深度(Relative crown depth, RCD)=冠层深度/植株高度

单棵植株凋落小枝平均寿命主要是通过下面公式进行计算:

$$L = \sum_{i=1}^n (X_i \times D) / \sum_{i=1}^n X_i$$

式中, X_i 为 i 年生凋落枝条的个数, L 为凋落枝条的平均龄级。

利用 SPSS16.0 统计软件(SPSS Inc, Chicago)对所有数据进行分析,采用单因素方差分析(One-Way ANOVA)分析不同遮荫程度下,植株凋落枝条寿命、植株冠层特征的差异性,并进行 LSD 多重比较。为了确定冠层特征与凋落枝条寿命的关系,对冠层特征与凋落枝条寿命进行回归分析。

2 结果

2.1 遮荫对植株凋落枝条寿命的影响

水杉和桂花物种的凋落枝条的平均寿命均表现出随着遮荫程度的增加而增加的趋势(图1)。随着遮荫程度的增强,水杉凋落枝条的平均寿命显著增加(图1);桂花在不受遮荫和部分遮荫情况下无显著差异,而完全遮荫时,其凋落枝条的平均寿命显著高于前两种情况(图1)。

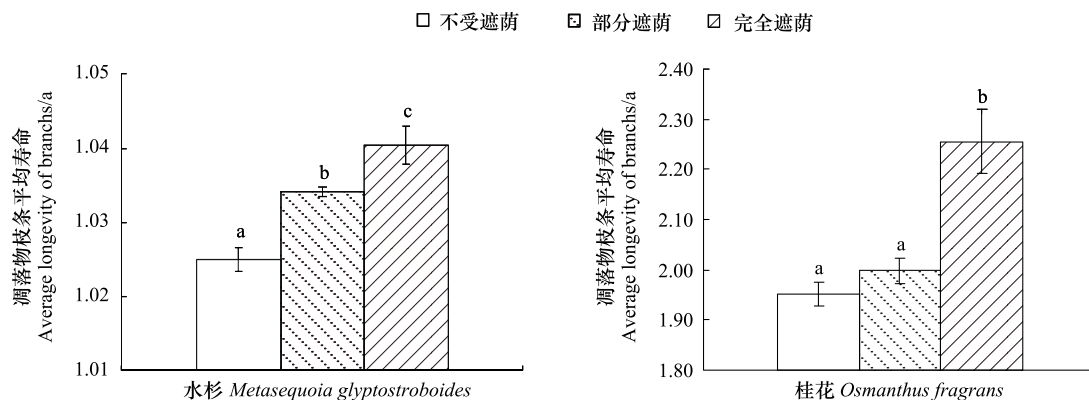


图1 不同遮荫程度对水杉和桂花凋落枝条寿命的影响(平均值±标准误)

Fig.1 Effects of shading on branch longevity of plants (mean ±SE)

不同字母表示在物种内,不同遮荫程度间差异显著($P<0.05$)

2.2 遮荫对植株冠层特征的影响

随着遮荫程度的增强,水杉和桂花植株的冠层深度和冠层轮廓都显著增加,而相对冠层宽度均显著降低(表1)。水杉植株的相对冠层深度在各个遮荫程度间无显著差异;而桂花表现出相对冠层深度随着遮荫程度的增加而增加(表1)。

表1 遮荫对水杉和桂花植株冠层特征的影响(平均值±标准误)

Table 1 Effects of shading on plant crown traits of *Metasequoia Glyptostroboides* and *Osmanthus fragrans* (mean ±SE)

物种 Species	遮荫程度 Shading levels	冠层深度/m CD	冠层轮廓 CP	相对冠层宽度 RCW	相对冠层深度 RCD
水杉 <i>Metasequoia glyptostroboides</i>	不受遮荫 Unshaded	12.409±0.768 a	1.830±0.186 a	0.457±0.039 b	0.766±0.012 a
	部分遮荫 Partial shaded	14.500±0.471 ab	2.517±0.195 b	0.321±0.026 a	0.769±0.012 a
	完全遮荫 Wholly shaded	15.300±0.889 b	2.600±0.287 b	0.334±0.045 a	0.762±0.010 a
桂花 <i>Osmanthus fragrans</i>	不受遮荫 Unshaded	4.000±0.393 a	0.810±0.077 a	0.761±0.044 b	0.585±0.027 a
	部分遮荫 Partial shaded	4.300±0.226 ab	0.809±0.038 a	0.752±0.028 b	0.602±0.018 a
	完全遮荫 Wholly shaded	5.250±0.509 b	1.207±0.109 b	0.590±0.053 a	0.674±0.014 b

不同字母表示在物种内,不同遮荫程度间差异显著($P<0.05$)

2.3 凋落枝条寿命与植株冠层特征的关系

2.3.1 凋落枝条寿命与植株冠层深度的关系

水杉和桂花的凋落枝条的寿命与植株的冠层深度均呈极显著正相关(分别为水杉 $R^2=0.435$, $P<0.001$; 桂花 $R^2=0.243$, $P=0.007$)(图2),即植株凋落枝条的平均寿命随着植株冠层深度的增加而增加。

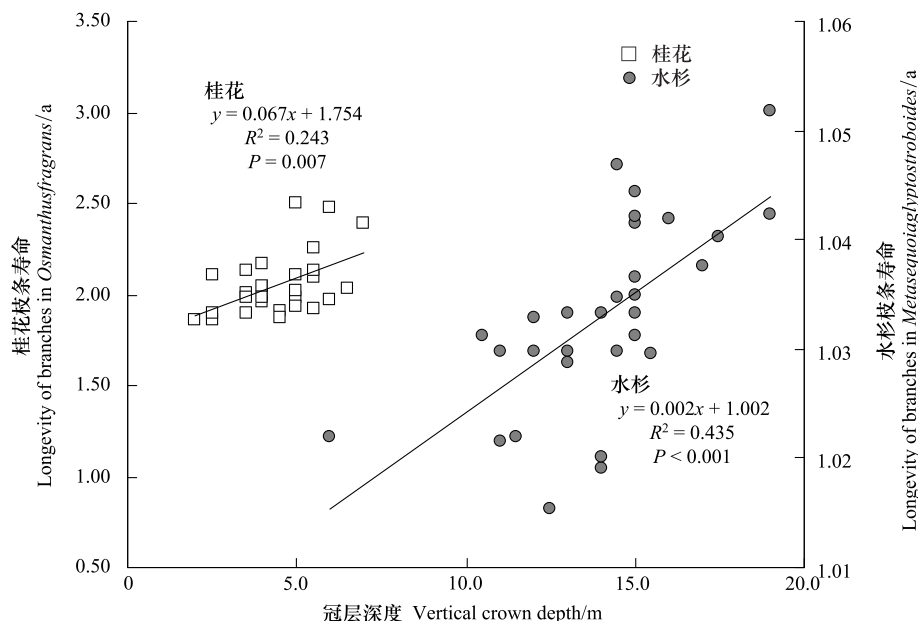


图2 水杉和桂花枝条寿命与冠层深度的关系

Fig. 2 The relationship between branch longevity and vertical crown depth in *Metasequoia Glyptostroboides* and *Osmanthus fragrans*

2.3.2 凋落枝条寿命与植株冠层轮廓的关系

水杉和桂花的凋落枝条的寿命与植株的冠层轮廓均呈极显著正相关关系(分别为水杉 $R^2=0.343$, $P=0.001$; 桂花 $R^2=0.364$, $P=0.001$)(图3),即植株冠层深度与冠层宽度比值越大,植株凋落枝条的平均寿命越长。

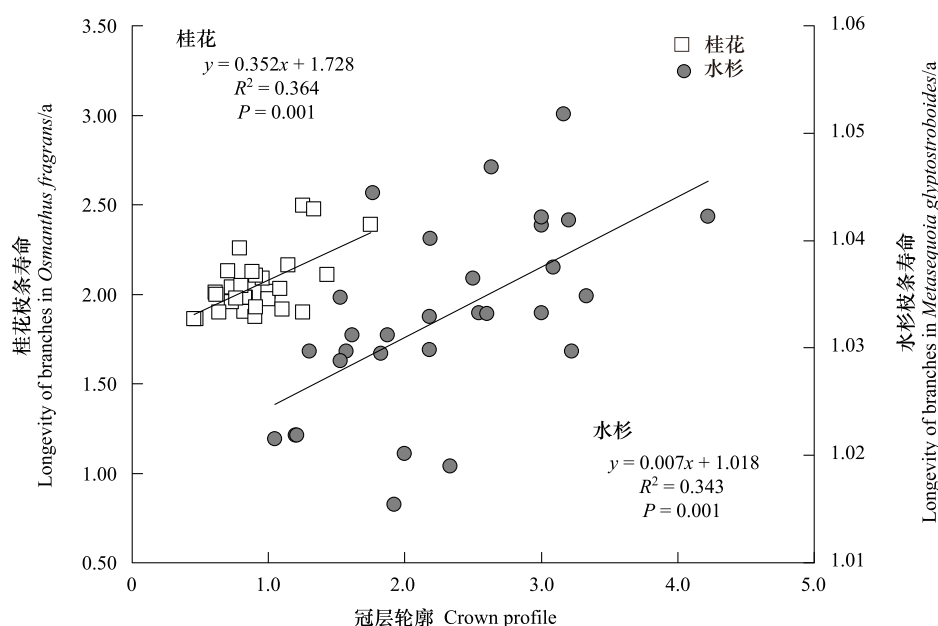


图3 水杉和桂花枝条寿命与冠层轮廓的关系

Fig. 3 The relationship between branch longevity and crown profile in *Metasequoia Glyptostroboides* and *Osmanthus fragrans*

2.3.3 凋落枝条寿命与植株相对冠层宽度的关系

水杉和桂花的凋落枝条的寿命与植株的相对冠层宽度均呈极显著的负相关关系(分别为水杉 $R^2 = 0.372, P < 0.001$; 桂花 $R^2 = 0.272, P = 0.004$) (图4), 即植株凋落枝条的平均寿命随着植株相对冠层宽度的增加而缩短。

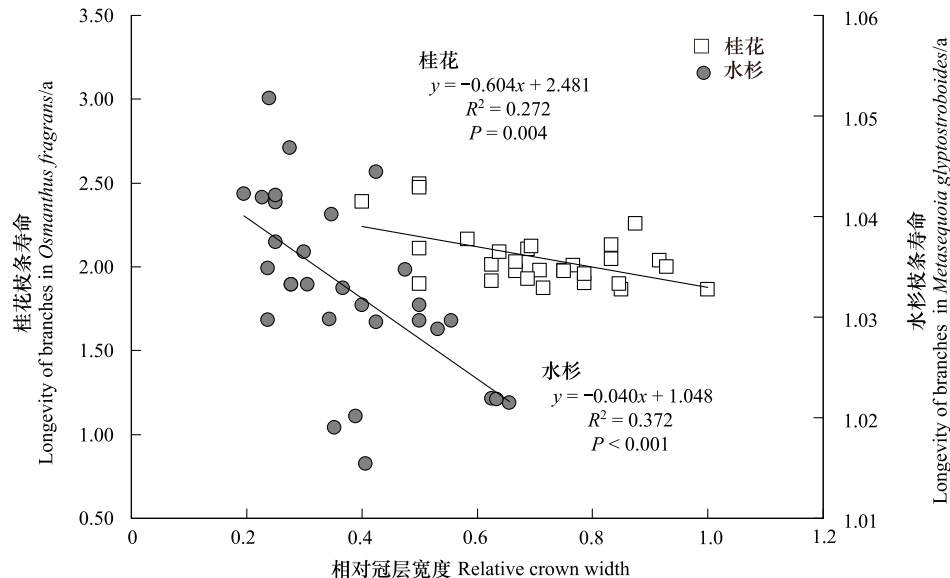


图4 水杉和桂花枝条寿命与相对冠层宽度的关系

Fig. 4 The relationship between branch longevity and relative crown width in *Metasequoia Glyptostroboides* and *Osmanthus fragrans*

2.3.4 凋落枝条寿命与植株相对冠层深度的关系

桂花的凋落枝条寿命与植株的相对冠层深度呈显著的正相关关系($R^2 = 0.171, P = 0.026$), 即随着植株相对冠层深度的增加, 植株凋落枝条的平均寿命越长(图5)。而水杉的凋落枝条寿命与植株相对冠层深度无显著相关关系($P = 0.435$)。

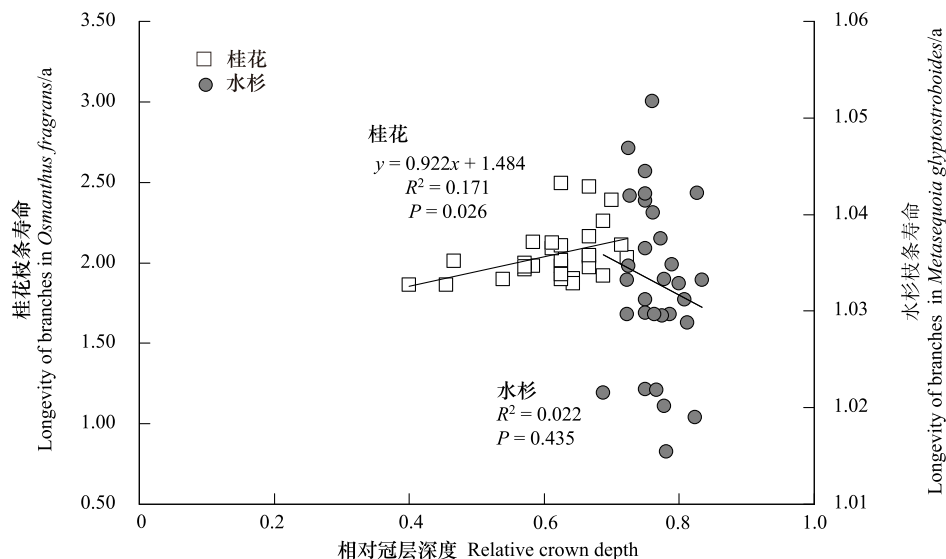


图5 水杉和桂花枝条寿命与相对冠层深度的关系

Fig. 5 The relationship between branch longevity and relative crown depth in *Metasequoia Glyptostroboides* and *Osmanthus fragrans*

3 讨论

本研究结果表明,无论是常绿树种桂花还是落叶树种水杉,植株枝条的寿命均与植株所处外部环境遮荫程度有关,即随着遮荫程度的增加,枝条的寿命增加。这一关系与动物衰老理论的代谢率假说的预测一致,也与前人的研究结论一致^[10-11]。这说明,在枝条水平上也可能存在一个类似于叶片水平上的经济学谱,即在较差生境中枝条周转速度慢、寿命长。

植株上枝条寿命与光照条件的关系可以从植物对光的适应性反应来解释^[20]。首先,在不同光照环境下,植株有可能通过改变生物量在叶片和茎之间分配来影响枝条的寿命。因为,植株上的叶片和枝条在不同的光环境条件下表现出极大的可塑性^[11, 21-22],枝条能通过改变其上所附生的叶片的生长速率来对光照变化做出反应^[17]。在阴生环境下,植株上的叶片周转速率慢^[23-24],植株在叶生长上的生物量分配减少。例如,Mori 和 Takeda^[25]的研究结果表明,与光照环境下的幼苗植株相比,在阴生环境下幼苗植株的针叶质量与枝条质量的比率更低、侧枝上枝条茎质量所占的比例更高。叶是光合作用的器官,是枝条代谢的主体,叶生物量分配的下降通常意味着枝条总体代谢速率的下降,这与衰老理论预测的荫蔽条件下低代谢率、高寿命是一致的。其次,在低光环境下,枝条需要更长的寿命来保证正的净碳获取。低光环境下植物有可能通过以下两方面的变化来改变枝条的碳获取能力。一方面,通过延缓叶片的衰老速率使枝条保持稳定的碳获取能力。与高光环境下相比,低光环境下叶片的光合速率和光合氮利用效率随叶龄的增加而下降的速率(即衰老速率)更慢^[26],从而在叶片数量和叶面积一定的情况下使整个枝条的碳获取能力下降的速率减慢,碳获取时间延长。另一方面,低光条件下叶片和枝条的呼吸消耗减弱,再加上叶片建成消耗的减少^[25],使得老枝条的维持成本较低。这样,较稳定的光合碳获取能力和较低的成本消耗使低光条件下的枝条能一定程度上提高碳获取效率。最后,低光条件下延长枝条寿命可能是植物提高养分利用效率的一个手段。尽管老枝条的光合碳获取能力较低,但如果脱落,要经过很长一段时间才能通过凋落物养分循环的方式被植物吸收利用^[27],而延长枝条的寿命可以使更多的养分被保留在树冠上,延长了养分的使用时间,间接地提高了枝条的养分利用效率^[26]。需要特别说明的是,以上所述的低光条件是指植物所处的外界光照条件,而不是指植物冠层内部的自我荫蔽程度。如研究结果所示,植物在低光照下的自我荫蔽程度反而比高光照时低,但这并不能代表植物在整体上的光照条件和代谢水平。

光照对枝条寿命的影响可能是光照条件影响到植株冠层结构的间接结果。本研究发现,植株所处的光照环境不仅影响了枝条的寿命,也改变了植株的冠层结构,而且冠层结构与枝条寿命呈显著相关,这无疑暗示光照条件可能通过改变植株冠层结构影响枝条寿命。

植株的冠层结构是动态变化的。不同光环境下,植株叶片和枝条的形态^[21,28]、侧枝生长^[29]和树冠形态^[30]等都表现出高度的可塑性。低光条件下,植株冠层深度增加而相对冠层宽度减小可能是顶端优势随植株荫蔽程度的增加而增加的结果。对不耐荫的物种来说,光照越弱,植株的顶端优势越强,植株冠层多呈窄的塔形结构^[19],因此在荫蔽环境下,这些植株具有较深的冠层深度和较窄的相对冠层宽度。这与本文中对两种不耐荫植物(水杉和桂花)^[31-32]的研究结果是一致的。这种冠层结构可能具有一定的适应意义。低光条件下,不耐荫物种叶片的垂直排列(如较高的相对冠层深度所指示)可以使更多的光到达树冠深层,提高光照分配的均匀度,增加树冠的总体光合能力^[33]。因此,低光条件下的枝条排列通常趋向于增加植株相对冠层深度、减小冠幅,这样既能减少在茎上的投资消耗(因为依赖增大冠幅提高叶面积要求较高的茎比例),又能降低冠层内部的自我荫蔽程度^[18]。同时,低光条件下的这种冠层结构还有利于植物在树高生长上取得优势(如较低的相对冠层宽度所指示),从而度过不利时期。另外,冠层内部相对一致的光照条件可以减缓叶片氮含量和光合速率随叶片年龄增加而下降的速率^[34],从而提高整个树冠的碳获取能力。

光照条件改变所导致的冠层结构变化,可能进一步引起枝条寿命发生变化。叶片的研究表明,光合速率随叶龄的增加而下降,一般是因为冠层上部长出的新叶所形成的冠层内部自我荫蔽的结果,而不是生理退化^[35-36]。同样,冠层内自我荫蔽程度的增加导致枝条的碳同化能力的下降可能是促使枝条脱落的重要因素。

例如 Dewit 和 Reid^[10]就指出植物枝条的脱落速率与植物的个体发育阶段相联系。在非常年老和非常年幼的植株上,由于末端枝条的总数都非常少,自我荫蔽程度低,凋落的枝条寿命较高;相反,在成年阶段,末端小枝数量大,自我荫蔽严重,凋落的枝条寿命较低。由此可以看出,冠层内自我荫蔽程度的下降会导致枝条寿命的延长。虽然本研究在实验取样时有意避开了特别年幼和年老的植株,但基本机制可能与此相同,即当外界光照条件较差时,植物个体内部自我荫蔽程度降低,枝条寿命延长。另外,自我荫蔽程度的下降会使冠层内的光照分配更加均匀,使冠层内部枝条之间的相互竞争减弱。根据枝条生长的相关性抑制假说,枝条的死亡不仅和枝条自身的条件有关,而且还要受到同一植株个体上其它枝条生长状态的影响^[14,37]。枝条之间因为争夺同化产物而彼此竞争,植株可能通过脱落生产能力较弱的枝条,将更多的资源分配到那些生长状况较好的枝条,提高被保留枝条的光合效率和碳获取能力,达到收益的最大化^[13]。所以,在低光条件下,由于植株自我荫蔽程度下降,枝条间的竞争作用减弱,枝条寿命延长。这一现象在前人研究中也得到了证实。例如,高光照射的树木上阴生枝条比全荫蔽环境下植株上的阴生枝条更容易脱落^[38],冠层边缘阴生枝条比冠层中部阴生枝条的更容易脱落^[33]。类似地,耐荫物种挪威云杉(*Picea abies*)的相对冠层深度(即冠层深度/株高,0.76)比先锋针叶物种欧洲赤松(*Pinus sylvestris* L.)(0.62)长^[39],枝条寿命也比欧洲赤松长^[40]。这些与本研究发现的低光照个体的枝条寿命长相仿。这种现象都可归因于枝条之间的竞争强度和结果随个体光照减弱而减弱。

综上所述,植物枝条寿命的长短与其生存的光照环境有关,与有关动物衰老理论的预测是一致的。对光照条件、植株冠层结构和枝条寿命关系的分析表明,外部光照环境可能通过改变植株的冠层结构进而影响到枝条寿命。当然,许多其它的外部环境因素如养分和水分的有效性,以及植株自身的遗传基因^[13-14]都会影响到枝条寿命,只有在对枝条的生理和形态变化机制进行更详细的研究后才能对枝条寿命的控制机制有一个更清楚的认识。最后需要指出的是,虽然叶的经济学谱^[3]的发展已经成熟,茎的经济学谱^[4]也在建立之中,但是枝条的寿命及其与其他功能属性的关系还知之甚少。

References:

- [1] Issartel J, Coiffard C. Extreme longevity in trees: live slow, die old?. *Oecologia*, 2011, 165(1): 1-5.
- [2] Pearl R. The Rate of Living. New York: Knopf, 1928.
- [3] Wright I J, Reich P B, Westoby M, Ackerly D D, Baruch Z, Bongers F, Baruch Z, Bongers F, Cavender-Bares J, Chapin T, Cornelissen J H C, Diemer M, Flexas J, Garnier E, Groom P K, Gulias J, Hikosaka K, Lamont B B, Lee T, Lee W, Lusk C, Midgley J J, Navas M, Niinemets Ü, Oleksyn J, Osada N, Poorter H, Poot P, Prior L, Pyankov V I, Roumet C, Thomas S C, Tjoelker M G, Veneklaas E J, Villar R. The worldwide leaf economics spectrum. *Nature*, 2004, 428(6985): 821-827.
- [4] Chave J, Coomes D, Jansen S, Lewis S L, Swenson N G, Zanne A E. Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecology Letters*, 2009, 12(4): 351-366.
- [5] Watson M A, Casper B B. Morphogenetic constraints on patterns of carbon distribution in plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1984, 15(1): 233-258.
- [6] Sprugel D G, Hinckley T M, Schaap W. The theory and practice of branch autonomy. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1991, 22(1): 309-334.
- [7] Osada N, Tatenos R, Mori A, Takeda H. Changes in crown development patterns and current-year shoot structure with light environment and tree height in *Fagus crenata* (Fagaceae). *American Journal of Botany*, 2004, 91(12): 1981-1989.
- [8] Millington W, Chaney W. Shedding of shoots and branches//Kozlowski T T, ed. *Shedding of Plant Parts*. New York: Academic Press, 1973: 149-204.
- [9] Kramer P J, Kozlowski T T. *Physiology of Woody Plants*. New York: Academic Press, 1979.
- [10] Dewit L, Reid D M. Branch abscission in balsam poplar (*Populus balsamifera*): characterization of the phenomenon and the influence of wind. *International Journal of Plant Sciences*, 1992, 153(4): 556-564.
- [11] Mori A S, Mizumachi E, Sprugel D G. Morphological acclimation to understory environments in *Abies amabilis*, a shade-and snow-tolerant conifer species of the Cascade Mountains, Washington, USA. *Tree Physiology*, 2008, 28(5): 815-824.
- [12] Buck-Sorlin G H, Bell A D. A quantification of shoot shedding in pedunculate oak (*Quercus robur* L.). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 1998, 127(4): 371-391.
- [13] Takenaka A. Shoot growth responses to light microenvironment and correlative inhibition in tree seedlings under a forest canopy. *Tree Physiology*, 2000, 20(14): 987-991.

- [14] Henriksson J. Differential shading of branches or whole trees: survival, growth, and reproduction. *Oecologia*, 2001, 126(4): 482-486.
- [15] Addicott F, Lyon J. Physiological ecology of abscission//Kozlowski T T, ed. *Shedding of Plant Parts*. New York: Academic Press, 1973: 85-124.
- [16] Avila G, Araya S, Riveros F, Kummerow J. Secondary root and stem growth in a Chilean matorral shrub (*Colliguaya odorifera* Mol.). *Oecologia Plantarum*, 1978, 13(4): 367-373.
- [17] Mahall B B, Wilson C S. Environmental induction and physiological consequences of natural pruning in the chaparral shrub *Ceanothus megacarpus*. *Botanical Gazette*, 1986, 147(1): 102-109.
- [18] Osunkoya O O, Omar-Ali K, Amit N, Dayan J, Daud D S, Sheng T K. Comparative height crown allometry and mechanical design in 22 tree species of Kuala Belalong rainforest, Brunei, Borneo. *American Journal of Botany*, 2007, 94(12): 1951-1962.
- [19] Cline M G. Apical dominance. *The Botanical Review*, 1991, 57(4): 318-358.
- [20] Umeki K, Seino T, Lim E M, Honjo T. Patterns of shoot mortality in *Betula platyphylla* in northern Japan. *Tree Physiology*, 2006, 26(5): 623-632.
- [21] Sprugel D G, Brooks J R, Hinckley T M. Effects of light on shoot geometry and needle morphology in *Abies amabilis*. *Tree Physiology*, 1996, 16(1/2): 91-98.
- [22] Robakowski P, Montpied P, Dreyer E. Plasticity of morphological and physiological traits in response to different levels of irradiance in seedlings of silver fir (*Abies alba* Mill). *Trees-Structure and Function*, 2003, 17(5): 431-441.
- [23] Niinemets Ü, Lukjanova A. Needle longevity, shoot growth and branching frequency in relation to site fertility and within-canopy light conditions in *Pinus sylvestris*. *Annals of Forest Science*, 2003, 60(3): 195-208.
- [24] Pensa M, Jalkanen R. Variation in needle longevity is related to needle-fascicle production rate in *Pinus sylvestris*. *Tree Physiology*, 2005, 25(10): 1265-1271.
- [25] Mori A, Takeda H. Architecture and neighbourhood competition of understorey saplings in a subalpine forest in central Japan. *Écoscience*, 2003, 10(2): 217-224.
- [26] Escudero A, Mediavilla S. Decline in photosynthetic nitrogen use efficiency with leaf age and nitrogen resorption as determinants of leaf life span. *Journal of Ecology*, 2003, 91(5): 880-889.
- [27] Aerts R. Nutrient resorption from senescing leaves of perennials: are there general patterns?. *Journal of Ecology*, 1996, 84(4): 597-608.
- [28] Stenberg P, Smolander H, Sprugel D, Smolander S. Shoot structure, light interception, and distribution of nitrogen in an *Abies amabilis* canopy. *Tree Physiology*, 1998, 18(11): 759-767.
- [29] Klinka K, Wang Q, Kayahara G J., Carter R E, Blackwell B A. Light-growth response relationships in Pacific silver fir (*Abies amabilis*) and subalpine fir (*Abies lasiocarpa*). *Canadian Journal of Botany*, 1992, 70(10): 1919-1930.
- [30] King D A. Branch growth and biomass allocation in *Abies amabilis* saplings in contrasting light environments. *Tree Physiology*, 1997, 17(4): 251-258.
- [31] Chi J. Comparison of ecology habits of Taxodiaceae species. *Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology*, 1990, 10(3): 46-53.
- [32] Hao R M, Zang D K, Xiang Q B. Investigation on natural resources of *Osmanthus fragrans* Lour. at Zhouluocun in Hunan. *Acta Horticulturae Sinica*, 2005, 32(5): 926-929.
- [33] Hikosaka K. Leaf canopy as a dynamic system; ecophysiology and optimality in leaf turnover. *Annals of Botany*, 2005, 95(3): 521-533.
- [34] Kitajima K, Mulkey S S, Wright S J. Variation in crown light utilization characteristics among tropical canopy trees. *Annals of Botany*, 2005, 95(3): 535-547.
- [35] Kitajima K, Mulkey S S, Wright S J. Decline of photosynthetic capacity with leaf age in relation to leaf longevities for five tropical canopy tree species. *American Journal of Botany*, 1997, 84(5): 702-708.
- [36] Ackerly D. Self-shading, carbon gain and leaf dynamics: a test of alternative optimality models. *Oecologia*, 1999, 119(3): 300-310.
- [37] Kozlowski T T, Kramer P J, Pallardy S G. *The Physiological Ecology of Woody Plants*. San Diego: Academic Press, 1991.
- [38] Stoll P, Schmid B. Plant foraging and dynamic competition between branches of *Pinus sylvestris* in contrasting light environments. *Journal of Ecology*, 1998, 86(6): 934-946.
- [39] Muukkonen P, Lehtonen A. Needle and branch biomass turnover rates of Norway spruce (*Picea abies*). *Canadian Journal of Forest Research*, 2004, 34(12): 2517-2527.
- [40] Kärkkäinen M. *Puutieteen Perusteet*. Hmeenlinna: Metsälehti Kustannus, 2003.

参考文献:

- [31] 迟健. 杉科树种生态习性的比较. *浙江林业科技*, 1990, 10(3): 46-53.
- [32] 郝日明, 臧德奎, 向其柏. 湖南省浏阳市周洛村桂花峡野生桂花资源调查. *园艺学报*, 2005, 32(5): 926-929.

CONTENTS

Behavioural time budgets and diurnal rhythms of the female Tibetan gazelles in the Kekexili National Nature Reserve	LIAN Xinming, LI Xiaoxiao, YAN Peishi, et al (663)
The relationship between the temporal-spatial distribution of fishing ground of yellowfin tuna (<i>Thunnus albacares</i>) and thermocline characteristics in the tropic Indian Ocean	YANG Shenglong, ZHANG Yu, ZHANG Heng, et al (671)
Characteristics of algous facies of planktonic algae in lake honghu and its response to habitat	LU Bilin, YAN Pingchuan, TIAN Xiaohai, et al (680)
Tide elevations for four mangrove species along western coast of Guangxi, China	LIU Liang, FAN Hangqing, LI Chungan (690)
Effects of CO ₂ -induced seawater acidification on photosynthesis and calcification in the coralline alga <i>Corallina pilulifera</i>	XU Zhiguang, LI Meizhen, HUO Chuanlin, et al (699)
Impacts of coverage and canopy water depth on the spectral characteristics for a submerged plant <i>Cabomba caroliniana</i>	ZOU Weina, YUAN Lin, ZHANG Liquan, et al (706)
Prioritizing biodiversity in conservation planning based on C-Plan: a case study from northeast China	LUAN Xiaofeng, SUN Gongqi, QU Yi, et al (715)
Effects of urbanization on indigenous plant diversity: a case study of Langfang City, China	PENG Yu, LIU Xuehua, XUE Dayuan, et al (723)
Using infra-red cameras to survey wildlife in Beijing Songshan National Nature Reserve	LIU Fang, LI Diqiang, WU Jigui (730)
Individual tree biomass model by tree origin, site classes and age groups	LI Haikui, NING Jinkui (740)
Population genetics of <i>Niviventer confucianus</i> and its relationships with habitat area in Thousand Island Lake region	LIU Jun, BAO Yixin, ZHANG Xu, et al (758)
Impacts of climate change on phenological phase of herb in the main grassland in Inner Mongolia	GU RunYuan, ZHOU Weican, BAI Meilan, et al (767)
Atmospheric nitrogen deposition in the glacier regions of Northwest China: a case study of Glacier No. 1 at the headwaters of Urumqi River, Tianshan Mountains	WANG Shengjie, ZHANG Mingjun, WANG Feiteng, et al (777)
Effects of vegetation type on arthropod functional groups in the aerial habitat of salt marsh	TONG Chunfu (786)
The plant community distribution and migration characteristics of heavy metals in tolerance dominant species in lead/zinc mine areas in Northwestern Guizhou Province	XING Dan, LIU Hongyan, YU Pingping, et al (796)
Sprouting characteristic in restoration ecosystems of monsoon evergreen broad-leaved forest in south-central of Yunnan Province	SU Jianrong, LIU Wande, ZHANG Zhijun, et al (805)
Distribution patterns and changes of aquatic communities in Lashihai Plateau Wetland after impoundment by damming	XIAO Derong, YUAN Hua, TIAN Kun, et al (815)
Spatial distribution of root biomass of <i>Pinus massoniana</i> plantation in Three Gorges Reservoir area, China	CHENG Ruimei, WANG Ruili, XIAO Wenfa, et al (823)
Differences in biomass, litter layer mass and SOC storage changing with tree growth in <i>Larix gmelinii</i> plantations in Northeast China	WANG Hongyan, WANG Wenjie, QIU Ling, et al (833)
Soil carbon sequestration rates and potential in the grazing grasslands of Inner Mongolia	HE Nianpeng, HAN Xingguo, YU Guirui (844)
Relationships between litter substrate quality and soil nutrients in different-aged <i>Pinus massoniana</i> stands	GE Xiaogai, XIAO Wenfa, ZENG Lixiong, et al (852)
Compare different effect of arbuscular mycorrhizal colonization on soil structure	PENG Sili, SHEN Hong, ZHANG Yuting, et al (863)
The infiltration process of clay soil under different initial soil water contents	LIU Muxing, NIE Yan, YU Jing (871)
Diurnal variations of the greenhouse gases emission and their optimal observation duration under different tillage systems	TIAN Shenzhong, NING Tangyuan, CHI Shuyun, et al (879)
Effects of exogenous pb and cu stress on eco-physiological characteristics on foxtail millet seedlings of different genotypes	XIAO Zhihua, ZHANG Yixian, ZHANG Xiwen, et al (889)
Combined effect of temperature and salinity on the Na ⁺ -K ⁺ -ATPase activity from the gill of GIFT tilapia juveniles (<i>Oreochromis niloticus</i>)	WANG Haizhen, WANG Hui, QIANG Jun, et al (898)
Pattern simulation of karst rocky desertification based on cellular automata	WANG Xiaoxue, LI Xuyong, WU Xiuqin (907)
The role of root border cells in protecting buckwheat root apices from aluminum toxicity and their effect on polysaccharide contents of root tip cell walls	CAI Miaozhen, WANG Ning, WANG Zhiying, et al (915)
The suitable stand structure and hydrological effects of the cypress protection forests in the central Sichuan hilly region	GONG Gutang, LI Yanqiong, ZHU Zhifang, et al (923)
Comprehensive evaluation of agricultural water-saving technology based on AHP and Rough Set method	ZHAI Zhifen, WANG Lanying, SUN Minzhang, et al (931)
Analysis of the spatial expansion characteristics of major urban agglomerations in China using DMSP/OLS images	WANG Cuiping, WANG Haowei, LI Chunming, et al (942)
Evaluation of non-use value of ecotourism resources: a case study in Dalai Lake protected area of China	WANG Pengwei, JIA Jingbo (955)
Review and Monograph	
Assessment indicators system of forest ecosystem health based on the harmful disturbance	YUAN Fei, ZHANG Xinyao, LIANG Jun (964)
Role of silicon in regulating plant resistance to insect herbivores	HAN Yongqiang, WEI Chunguang, HOU Maolin (974)
Scientific Note	
Relationships among light conditions, crown structure and branch longevity: a case study in <i>Osmanthus fragrans</i> and <i>Metasequoia glyptostroboides</i>	ZHAN Feng, YANG Dongmei (984)
Effects of maize straw with Bt gene return to field on growth of wheat seedlings	CHEN Xiaowen, QI Xin, WANG Haiyong, et al (993)
Studies of non-structural carbohydrates of <i>Cupressus funebris</i> in different landslides after Wenchuan Earthquake	CHEN Bo, LI Zhihua, HE Qian, et al (999)

《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 3 期 (2012 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 3 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