应用与环境生物学报 2010, **16**(4): 462~467
Chin J Appl Environ Biol=ISSN 1006-687X
2010-08-25
DOI: 10.3724/SP.J.1145.2010.00462

两种光照生境下4种常绿阔叶树的单位叶面积干重、光合能力与化学防御物质含量比较*

柳凤娟[1] 向 双[1] 阳小成[2] 孙书存[1]**
([1]中国科学院成都生物研究所 生态恢复重点实验室 成都 610041)
([2]成都理工大学材料与化学化工学院 成都 610059)

摘 要 亚热带常绿阔叶林下分布着可塑性强的耐荫植物, 其叶片应对外界干扰的防御对策至少有物理性防御和化学性防御两种, 这两种防御代价在一定的昆虫取食压力下在理论上应该存在权衡. 为检验这种权衡是否普遍存在, 分别测定了重庆缙云山4个常绿物种——光叶山矾(*Symplocos lancifolia*)、四川山矾(*S. setchuensis*)、四川毛蕊茶(*Camellia lawii*)和细枝柃(*Eurya loquaiana*)在林窗和林下两种对照光环境下个体叶片的光饱和下的净光合速率、叶面积干重和部分化学防御物质含量. 结果表明, 4个物种生活在林窗的个体单位叶面积干重、叶片氮含量和单位面积净光合速率通常高于林下的个体, 但是单位质量和单位面积的总酚含量和C/N值却低于林下的个体. 蛋白质和非结构性碳水化合物含量在不同生境中没有显著差异. 因为不同物种叶片对光照条件的响应不同, 不同参数的变化在两种生境间的差异并不完全一致. 本研究结果在一定程度上暗示了物种在林窗和林下分别倾向于采取物理和化学性防御对策, 并初步证实了两种防御强度之间存在权衡关系. 图4 参40

关键词 单位叶面积干重; 生活史权衡; 物理防御; 化学防御; 亚热带常绿阔叶林
CLC Q945.79

Comparison of Leaf Mass per Area, Photosynthetic Capacity and Chemical Defense Traits of Four Evergreen Broad-leaved Tree Species under Contrasting Light Conditions*

LIU Fengjuan[1], XIANG Shuang[1], YANG Xiaocheng[2] & SUN Shucun[1]**
([1] *ECORES Lab, Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences*, Chengdu 610041, China)
([2]*College of Material and Chemistry & Chemical Engineering, Chengdu University of Technology*, Chengdu 610059, China)

Abstract Shade-tolerant plants are usually phenotypically plastic in subtropical evergreen broad-leaved forests, and their leaves have at least two approaches to prevent insect herbivory, *i.e.*, physical and chemical defenses. According to resource allocation theory the two types of defensive costs should be negatively correlated. To examine whether the tradeoff between physical and chemical defenses is ubiquitous, light-saturated net photosynthetic rate, leaf mass per area (LMA), and concentrations of some chemicals were examined for adult individuals of four evergreen broad-leaved species including *Symplocos lancifolia*, *S. setchuensis*, *Camellia lawii* and *Eurya loquaiana* living within forest gaps and under forest canopy in the Jinyun Mountain National Nature Reserve in Chongqing, China. For each species, the individuals within forest gaps were found to have higher LMA, nitrogen concentration and maximum net photosynthetic rate per unit area than those under forest canopy. In contrast, the individuals under canopy had higher total phenolics contents per leaf mass or per leaf area and C/N ratios relative to those within forest gaps; the contents of protein and total non-structural carbohydrate were indistinguishable between contrasting light conditions for each species. However, the light effect on leaf traits was sometimes species-specific, and not all the species showed the same response pattern for all the study parameters. In conclusion, our study suggests that the four species tend to adopt physical and chemical defensive strategies for their individuals growing under open and closed canopies, respectively, which indicates a tradeoff between the two defensive costs. Fig 4, Ref 40

Keywords leaf mass per unit area; life history tradeoff; physical defense; chemical defense; subtropical evergreen broad-leaved forest
CLC Q945.79

植物在生活史中会受到来自生物和非生物环境的各种选择压力[1~2], , 叶片为动物取食是植物面临的最大压力之一[3]. 除为植食动物取食外, 叶片还会受到病菌和寄生虫类的危害[4~5]. 因此, 植物叶片的防御与植物的生长关系密切[4, 6], 是植物完成生活史的重要保证.

一般而言, 植物应对外界干扰的措施分为物理防御和化学防御. 物理防御属性是与叶片结构相关的特征, 如单位叶面积干重(Leaf mass per area, LMA)、叶片厚度、叶片质地(纸质或蜡质、硬度、韧度等)及叶片的细胞结构(细胞壁的特性, 栅栏组织的比例等等). 其中, LMA是植物最重要的

收稿日期: 2010-03-11 接受日期: 2010-03-30
*中国科学院成都生物研究所知识创新领域前沿项目(No. 08B2041)资助 Supported by the Knowledge Innovation Engineering Preceding Project of Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences (No. 08B2041)
**通讯作者 Corresponding author (E-mail: shcs@nju.edu.cn)

功能特征之一[7]，与叶片其他结构和功能特征有着密切的联系[8]，通常作为植物叶片物理防御的指标[9]. 而叶片的化学防御则较为复杂，与其相关的特征物质就有七大类[10]. 总酚是表征化学防御潜力的综合指标，其它如单宁、蛋白含量等是与植物的C、N防御相关的特征指标[11]. 它们都与植物的C、N可利用性密切相关，也是“资源可利用理论”[12~13]与“碳养分平衡理论”[14~15]涉及的重要参数[16].

在资源分配理论中，权衡关系普遍存在，植物的有限资源总是在生长、繁殖和防御过程中权衡[4, 6]. 植物的防御体系是一个高度耗能的系统，防御所投入的理化成分都付出了了较大成本，而且还会对自身物质的构建产生不利影响[4, 17]. 出于对资源的最合理配置，植物在物理防御和化学防御的投入上也存在着权衡关系[8, 18]. 因此，如果一个植物叶片具有较高的物理学防御能力（例如具有较高的LMA），则可能降低其在化学性防御上的投资. 相反，LMA相对较小的阴生叶片，它们面临的植食压力并不比林窗叶片小，甚至更大[19]，因此它们会加强其他的防御措施来应对昆虫采食和病菌侵扰压力[3]. 可是，这种可以预见的权衡关系在现有的研究中却没有得到充分检验.

亚热带常绿阔叶林下分布着耐荫可塑性强的植物，它们既能在郁闭的林下存活，又能在光照较好的环境下生长. 在不同的光环境下叶片的形态与生理属性差异巨大，例如LMA通常在强光下较高，调节了植物光合能力和水分利用效率[20]，但同时也提高了对小型动物的物理防御能力. 这种情况下，植物叶片可能降低在其化学防御（如总酚）上的投资. 本研究在重庆缙云山测定了4种常绿植物在林窗和林下不同个体叶片的物理和化学特性，分析植物叶片对光照条件改变的反应，并探讨叶片存在物理和化学防御权衡的可能性.

1 材料与方法

1.1 样地选择

研究样地位于重庆市缙云山自然保护区（106°20′18″~106°24′42″E，29°48′25″~29°51′53 ″N），保护区总面积18 km^2，海拔180.0~951.5 m. 年均气温为13.6 ℃，7月平均气温28.7 ℃，1月平均气温7.0 ℃. 全年≥10 ℃的积温为5 956.0 ℃，无霜期年均334 d. 年均降雨量1611.8 mm，相对湿度87% [21]. 缙云山地带性植被为典型的亚热带常绿阔叶林，保存良好，特征典型，植物种类繁多，许多植物起源古老，保护区内有高等植物246科992属1 966种[22].

1.2 植物群落调查和物种选择

位于缙云山后山的高观音栲树林群落物种丰富，所受干扰较小，该群落以栲树为建群种，乔木上层的优势树种主要包括栲（*Castanopsis fargesii*）、大果杜英（*Elaeocarpus fleuryi*），乔木亚层的优势树种主要包括四川山矾（*Symplocos setchuensis*，SS）、栲、黄牛奶树（*S. laurina*），灌木层物种有栲树幼苗、四川毛蕊茶（*Camellia lawii*，CL）、茶（*C. sinensis*）、山黄皮（*Randia cochinchinensis*）、四川杨桐（*Adinandra bockiana*）、草珊瑚（*Sarcandra glabra*）、杜茎山（*Maesa japonica*）、光叶山矾（*S. lancifolia*，SL）、细枝柃（*Eurya loquaiana*，EL）、川桂（*Cinnamomum wilsonii*）等.

选择物种时，优先考虑适应梯度光强的优势种，选择生长环境差异显著的植株. 对于特定森林群落来说，林内光环境是影响植物生长的最重要的因子. 天然林很难控制光环境，也较难精确测量一个光强梯度，所以一般以林窗和林下作为定性划分光强高低的依据[23]. 本研究也以此为依据，但仍然以生长期4~8月用光量子计在植物体周围测定的光量子情况作为划分光照梯度的主要依据，所选物种个体在林下和林窗内均有分布，最终确定以下4个物种为研究对象：山矾科的四川山矾（SS）、光叶山矾（SL），山茶科的四川毛蕊茶（CL）和细枝柃（EL）. 每个物种在林窗和林下各选独立生长的实生直立个体，同一物种的个体间基径、树高和树冠结构基本一致. 由于细枝柃的个体数极少，选择了一株位于林窗边缘的个体，针对处于树下的一半和林窗中的一半分别取样，因而一棵细枝柃当作两个个体来处理. 这与不同光环境下的两个个体有区别，这在后面的实验结果中也将探讨.

1.3 研究指标及其测定方法

在每个物种处于不同光环境下的个体上随机选择至少3片处于“生理”盛期的叶片（取自小枝顶端起第3或4片叶），在8月中下旬，选择晴朗无云无风的天气，在上午9:00~11:00和下午14:00~17:00使用美国LI-Cor公司LI-6400型便携式光合仪测量叶片的最大光合速率A_{max} [μmol m^{-2} s^{-1}，通过光响应曲线确定1 600 μmol m^{-2} s^{-1}为光合有效辐射（PAR）最大值，测定时叶室温度为28~30 ℃]. 光合测定完成后立即采下新鲜叶片分别装入3个中号和3个小号塑料自封袋. 中号塑料自封袋的叶片用于叶片鲜重的称量，并扫描测量叶片面积，然后置于烘箱中65 ℃ 48 h烘干至恒重，称量叶片干重，据此计算LMA和含水量.

烘干样品研磨过100目筛，进行C、N的测量，分别采用TOC仪测定固态样品全碳含量，凯氏定氮法测全氮（GB7888-87，GB7886-87）. 另外，3个小号塑料自封袋的鲜叶用于非结构性碳水化合物（Total non-structural carbonhydrate，TNC，即可溶性糖和非可溶性糖）和蛋白质（Protein，即可溶性蛋白和非可溶性蛋白）含量的测定. 采用蒽酮显色法测定非结构性碳水化合物，考马斯亮蓝染色法测定蛋白质含量[24]；福林酚比色法测定总酚含量，以没食子酸作标准参照品[25~26]；香草醛－盐酸比色法测定缩合单宁含量，以儿茶素（Sigma公司）作标准参照品[25, 27].

数据分析采用LI-6400 Photo assistant 和SPSS 16.0进行统计检验，非结构性碳水化合物和蛋白质含量通过代入叶片含水量最终转化为单位干物质量含量. 比色法得到的总酚和缩合单宁的单位干物质量含量通过与该物种LMA相乘得到单位面积的总酚和缩合单宁含量. LMA和总酚含量数据在数据分析时进行了对数转换，使其符合正态分布.

2 结果与分析

2.1 单位叶面积干重

4个物种的单位叶面积干重（LMA）介于44.26~75.22 g m^{-2}，LMA最小的是光叶山矾的林下个体叶片（44.26 g m^{-2}），最大的是四川山矾的林窗个体叶片（75.22 g m^{-2}）. 4个物种中，除四川山矾外，其余物种均是林窗个体的LMA显著高于林下个体LMA（$P < 0.05$，图1）. 叶片含水量的变化范围是

61.77（四川山矾的林窗个体）~73.55%（四川毛蕊茶的林下个体），林下个体叶片含水量略高于林窗个体，差异不显著.

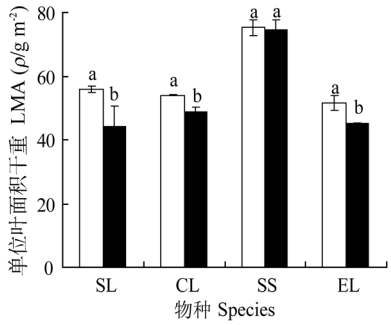


图1 林下与林窗个体叶片的单位叶面积干重比较（$\bar{x} \pm s$, $N = 3$）

Fig. 1 Comparison of leaf mass per area between individuals in forest gaps and under forest canopies ($\bar{x} \pm s$, $N = 3$)

SS：四川山矾；SL：光叶山矾；CL：四川毛蕊茶；EL：细枝柃. ■：林下；□：林窗. 下同

SS: *S. setchuensis*; SL: *S. lancifolia*; CL: *C. lawii*; EL: *E. loquaiana*. ■: Under forest canopies; □: In forest gaps. The same below

2.2 叶片最大光合能力

单位面积净光合速率（A_{area}）最大的是光叶山矾和四川山矾的林窗个体叶片（约为7.69 μmol m^{-2} s^{-1}），最小的是四川毛蕊茶的林下叶片（2.43 μmol m^{-2} s^{-1}）. 除细枝柃外，其他物种林窗个体与林下个体的A_{area}均有显著差异，且林窗个体的A_{area}约高于林下个体一倍（$P < 0.05$, 图2-A）. 用A_{area}与LMA的比得到基于叶重的净光合速率（A_{mass}），林窗个体的A_{mass}也都高于林下个体，即使同一个体的细枝柃其林窗叶和林下叶的A_{mass}也有显著差异（$P < 0.05$, 图2-B）.

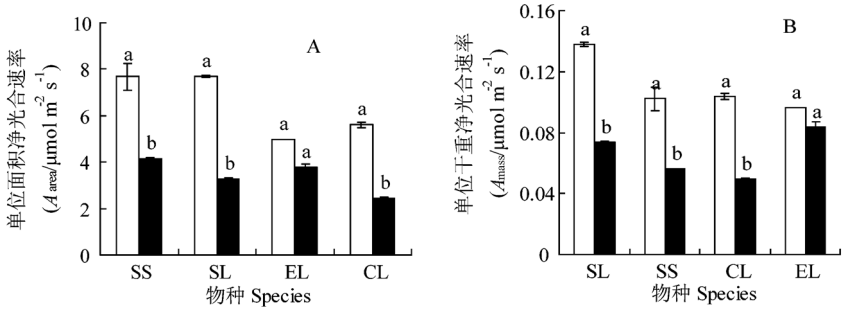


图2 林下和林窗个体叶片的（A）单位叶面积和（B）单位叶质量最大光合速率比较（$\bar{x} \pm s$, $N = 3$）

Fig. 2 Comparison of A) area-based and B) mass-based light saturated net photosynthesis rates (A_{area} and A_{mass}, respectively) for individuals in forest gaps and under forest canopies ($\bar{x} \pm s$, $N = 3$)

2.3 叶片养分含量

所有物种的N含量均是林窗个体显著高于林下个体（图3-A），相反，林下个体的C含量普遍高于林窗个体，因而，C/N在所有物种中均是林窗个体显著低于林下个体（$P<0.05$），其中四川毛蕊茶和四川山矾的林窗与林下个体间的差异最大，细枝柃的差异较小（图3-B）.

非结构性碳水化合物（TNC）的含量变化未呈显著规律（图3-C）. 光叶山矾和细枝柃的林窗和林下个体叶片的TNC没有显著差异. 四川山矾和四川毛蕊茶个体间的差异虽然达到了显著程度，但是二者的变化趋势截然相反. 四川山矾林窗个体的TNC含量较高，四川毛蕊茶则是林下个体的TNC含量高于林窗个体. 叶片蛋白质含量同样没有明显规律性（图3-D）. 除四川山矾外，其他物种均未呈显著差异. 四川山矾林窗个体叶片的蛋白质含量高于林下个体叶片.

2.4 叶片化学防御物质

除细枝柃外，其他物种单位叶面积总酚含量均是林下个体显著高于林窗个体（图4-A）. 由于LMA的变化趋势均是林窗个体高于林下个体，单位质量的总酚含量的变化趋势与单位叶面积总酚含量完全一致，而且差异显著性更高（未作图）.

单位叶面积的缩合单宁的含量与总酚含量呈相似趋势，只是差异性不如总酚显著（图4-B）. 光叶山矾的缩合单宁含量最高，而且林下个体显著高于林窗个体. 四川毛蕊茶和四川山矾中的缩合单宁在林窗个体中稍高，四川山矾个体间的差异达到了显著水平，但四川毛蕊茶个体间差异不显著. 细枝柃个体间的缩合单宁变化规律同总酚一致，也是林窗个体显著高于林下个体. 缩合单宁虽然和总酚含量变化趋势一直，但在物种水平上，两者相关性并不显著（$P = 0.222$）.

3 讨 论

在林窗和林下两个对照的光环境下所选择的4个常绿物种，林窗个体叶片的LMA显著高于林下个体（除四川山矾叶片LMA差异不显著外）. 林窗个体的叶光合能力（A_{area}/A_{mass}）显著高于林下个体（除细枝柃外），这些变化趋势共同说明我们所选择的对照光环境是有比较意义的，光照强度的差别足以对植物叶片的生理生态反应造成显著影响. 除LMA和A_{area}/A_{mass}外，不同光照生境下，N含量、C/N、总酚和缩合单宁含量也呈现了明显的规律性. N含量均是林窗个体叶片显著高于林下个体，C/N则是林下个体显著高于林窗个体；总酚和缩合单宁的变化规律较为一致，均是林下个体含量高于林窗个体（除细枝柃外）. 但是，非结构性碳水化合物与蛋白质含量没有明显规律性.

在资源匮乏、光照强烈、高海拔或者干旱生境中，植物叶片LMA增加[28]. 但是，不同生境下引起LMA增加的结果是有极大不同的[29]. 因为LMA是作为一个复合参数，光强对LMA的影响是叶片密度和厚度协同作用的结果[30]. LMA随光辐射增加而增加[30~31]，物种间的这种表型可塑性会呈现差异[32]. 我们的研究结果也证实：即使同一个体的叶片，在两种光照水平下LMA也呈现了显著差异；尽管四川山矾的A_{max}有

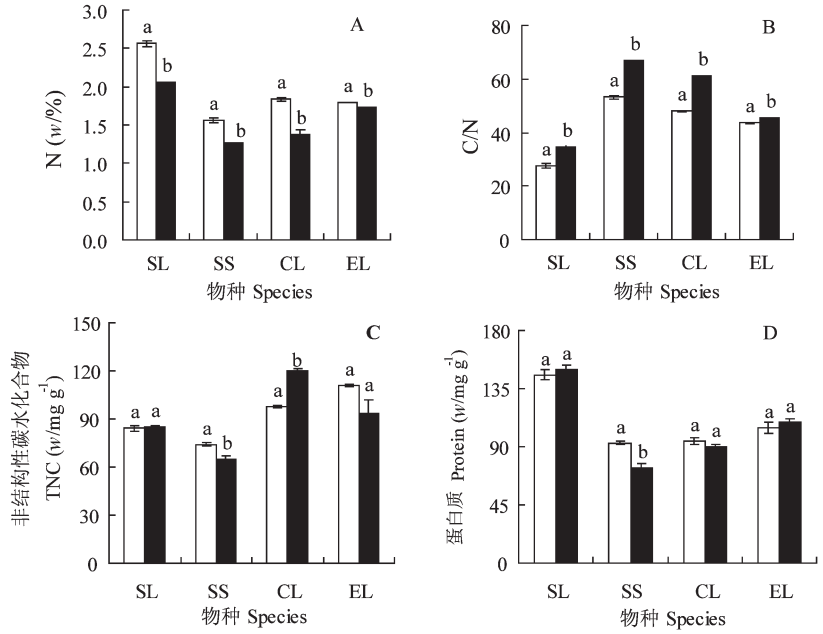


图3 林窗与林下个体叶片的（A）N百分含量、（B）C/N值、（C）TNC含量和（D）蛋白质含量比较（$\bar{x} \pm s$, $N = 3$）

Fig. 3 Comparison of A) nitrogen percentage, B) C/N ratio, C) TNC content, and D) protein content of leaves of individuals in forest gaps and under forest canopies ($\bar{x} \pm s$, N=3)

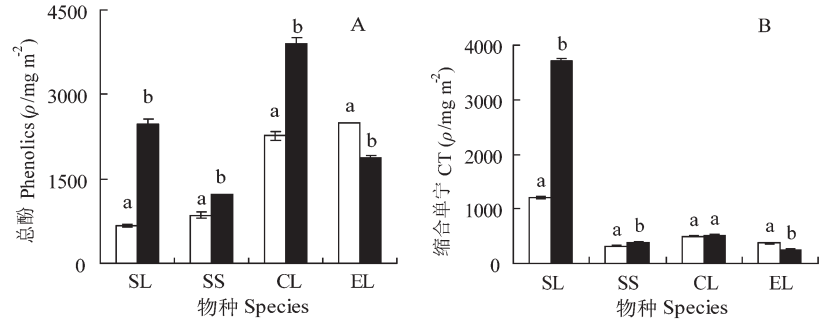


图4 林窗与林下个体叶片的（A）单位面积总酚含量和（B）单位面积缩合单宁含量比较（$\bar{x} \pm s$, $N = 3$）

Fig. 4 Comparison of A) area-based phenolics content, and B) area-based condensed tannin content of individuals in forest gaps and under forest canopies ($\bar{x} \pm s$, N=3)

显著差异, 二者的LMA却没有明显差异, 这说明物种特异性也会影响到LMA的可塑性表达. LMA的这种变化是有生态学意义的, 弱光生境下植物通过提高单位质量的展叶面积以更好地捕获光能, 而强光生境下则是通过提高单位面积的干物质含量来更好地利用光能[20].

在同一物种内, 前期研究表明, LMA通常与A_{area}呈正相关性[33], 我们的研究结果与之一致. 这可能是因为LMA的适应性变化是与单位面积上叶绿体数量的变化偶联的[34]. A_{mass}同样是林窗个体高于林下个体, 这表明光照差异可能还与叶绿素含量或者酶含量的变化有关. 叶片的N分配是应对光环境的一种重要适应策略[35]. 植物光合作用与叶片N的含量密切相关[33, 36~37], 确切地说是与参与光合作用的酶含量密切相关. 植物叶片N含量的70%~80%左右参与酶的构建[37], 而RUBP羧化酶又是光合作用的关键酶. 由于林窗个体叶片中较高的N含量, 与A_{max}比林下个体较高的结果一致. 然而可溶性蛋白含量的变化趋势与N含量和A_{mass}的变化趋势并不一致, 甚至相反. 除细枝柃外, 其他物种均是林窗个体叶片的水溶蛋白含量较高, 而且光叶山矾和毛蕊茶中这种差异还达到了显著水平. 这可能是因为林窗个体中非可溶性蛋白含量较高的缘故, 也有可能是林下个体把较多的N分配给了光反应成分, 而林窗个体把N分配给了暗反应成分[37].

Mooney等（1995）认为弱光环境生长的植物体, 含有较低的非结构性碳水化合物组分[38~40], 本研究结果基本与此一致. 除毛蕊茶林下个体含量高于林窗个体外, 其他物种基本一致或是林窗个体较高. 由于林下个体的C含量较高（毛蕊茶除外）, 而碳水化合物的含量却与林窗个体一致或略低, 表明林下个体的结构性碳水化合物较高, 或许林下个体通过投入C组分来加强细胞壁的韧性, 这是与物质平衡一致的.

LMA、总酚含量和C/N比的差异体现了不同功能属性对环境变化的协同响应. C/N比反映的是植物叶片的质地, 与LMA所代表的叶片密度[28]呈正相关. 总酚是一种含碳量很高的次生代谢物, 与C/N也呈正相关性. 但是, LMA与总酚含量却显著负相关. 通过对数转换后二者的回归方程$Y = -2.694X + 6.201$（$R^2 = 0.635$, $P<0.001$）可以看出, 随LMA的增加, 总酚

含量急剧下降，而且斜率远<–1，这就说明总酚含量的降低不仅仅是LMA增加所导致的稀释作用，而是与LMA的权衡关系. 通过总酚含量与LMA的乘积得到单位面积总酚含量与单位质量的总酚含量的趋势一致，除细枝柃外，均是林下个体的单位面积的总酚含量高于林窗个体. 这再次说明了在林窗内部的个体，总酚含量的下降不是LMA增加的简单结果. 需要补充说明的是，细枝柃是一个特例，尽管个体遭受强度差异较为明显的光照（LMA的变化体现了这一点），但是在同一个体内，构件会受到个体的整体调节. 为了使向阳的叶片充分利用光照，个体可能会增加对其防御物的投入而避免过早损失.

如果说低C/N、高TNC、高蛋白质含量的叶片是植食性动物优先选择的话[3]，那么，林窗个体叶片显然比林下个体叶片的诱惑更大，但是较高的LMA可能是一种有效的物理防御措施. 而林下个体叶片虽然LMA较低，但是C/N却较高，并且总酚含量显著高于阳生个体，因此具有较高的化学防御措施. 我们的结果暗示，不同光照条件中的植物，通过对功能属性的协同变化，可能对动物取食采取了不同的防御策略.

References

1 Givnish TJ. Adaptation to sun and shade: A whole-plant perspective. *Aust J Plant Physiol*, 1988, **15**: 63~92

2 Gutschick VP. Biotic and abiotic consequences of differences in leaf structure. *New Phytol*, 1999, **143**: 3~18

3 Muth NZ, Kluger EC, Levy JH, Niesenbaum RA. Increased per capita herbivory in the shade: Necessity, feedback, or luxury consumption? *Ecoscience*, 2008, **15** (2): 182~188

4 Strauss SY, Rudgers JA, Lau JA, Irwin RE. Direct and ecological costs of resistance to herbivory. *Trends Ecol Evol*, 2002, **17**: 278~285

5 Bergelson J, Purrington, CB. Surveying patterns in the cost of resistance in plants. *Am Nat*, 1996, **148**: 536~558

6 Herms DA, Mattson WJ. The dilemma of plants: To grow or defend. *Q Rev Biol*, 1992, **67**: 283~335

7 Lusk CH, Reich PB, Montgomery RA, Ackerly DD, Cavender-Bares J. Why are evergreen leaves so contrary about shade? *Trends Ecol Evol*, 2008, **23** (6): 299~303

8 Roderick ML, Berry SL, Noble IR, Farquhar GD. A theoretical approach to linking the composition and morphology with the function of leaves. *Funct Ecol*, 1999, **13**: 683~695

9 Webber BL, Woodrow IE. Chemical and physical plant defence across multiple ontogenetic stages in a tropical rain forest understorey tree. *J Ecol*, 2009, **97**: 761~771

10 Kang L (康乐). The chemical of plants to phytophagous insects. *Chin Bull Bot* (植物学通报), 1995, **12** (4): 22~27

11 Cheng CL (程春龙), Li JQ (李俊清). Research advances in ecological significance and quantification of plant polyphenols. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 2006, **17** (12): 2457~2460

12 Coley PD, Bryant JP, Chapin FS III.Resource availability and plant antiherbivore defense. *Science*, 1985, **230**: 895~899

13 Bazzaz FA, Chiariello NR, Coley PD, Pitelka LF. Allocating resources to reproduction and defense. *BioScience*, 1987, **37**: 58~67

14 Bryant JP, Chapin FS III, Klein DR. Carbon/nutrient balance of boreal plants in relation to vertebrate herbivory. *Oikos*, 1983, **40**: 357~368

15 Bryant JP, Kuropat PJ, Reichardt PB, Clausen TP. Controls over the allocation of resources by woody plants to chemical antiherbivore defense. In: Palo RT, Robbins CT eds. Plant Defenses Against Mammalian Herbivores. Boca Raton, FL: CRC Press, 1991. 83~102

16 Close DC, McArthur C. Rethinking the role of many plant phenolics-Protection from photodamage not herbivores? *Oikos*, 2002, **99**: 166~172

17 Ito K, Sakai S. Optimal defense strategy against herbivory in plants: Conditions selecting for induced defense, constitutive defense, and no-defense. *J Theor Biol*, 2009, **260**: 453~459

18 Lindroth RL, Hwang SY. Clonal variation in foliar chemistry of quaking aspen (*Populus tremuloides* Michx.). *Biochem Syst Ecol*, 1996, **24**: 357~364

19 Dominy NJ, Lucas PW, Ramsden LW, Riba-Hernandez P, Stoner KE, Turner IM. Why are young leaves red? *Oikos*, 2002, **98** (1): 163~176

20 Poorter H, Niinemets U, Poorter L, Wright IJ, Villar R. Causes and consequences of variation in leaf mass per area (LMA): A meta-analysis. *New Phytol*, 2009, **182** (3): 565~588

21 Zhou XR (周先容), Liu YC (刘玉成), Shang J (尚进), Jiang B (江波). Features of woody plant flora in Jinyun Moutain Nature Reserve. *J Northeast For Univ* (东北林业大学学报), 2008, **36** (12): 32~35

22 Liu YC (刘玉成), Miao SL (缪世利), Du DL (杜道林). Studies on species diversity in the secondary succession of the evergreen broadleaved forests in Jinyun Moutain of Sichuan province. *J Wuhan Bot Res* (武汉植物学研究), 1993, **11** (4): 327~337

23 Jiang GM (蒋高明). Plant Ecophysiology. Beijing, China: Higher Education Press (北京: 高等教育出版社), 2004

24 Zhou ZF (周祖富), Li ZA (黎兆安). 植物生理学实验指导. Beijing, China: Higher Education Press (北京: 高等教育出版社), 2001

25 Julkunen-Tiitto R. Phenolic constituents in the leaves of northern willows: methods for the analysis of certain phenolics. *J Agric Food Chem*, 1985, **33**: 213~217

26 Cao YP (曹艳萍), Dai HZ (代宏哲), Cao W (曹炜), Han ZP (韩志萍). Determination of total phenols in *Zizyphus jujuba* Mill. By Folin-Ciocaileu colorimetry. *J Anhui Agric Sci* (安徽农业科学), 2008, **36** (4): 1299~1302

27 Yuan HE (袁红娥), Yan SC (严善春), Tong LL (佟丽丽), Gao LL (高璐璐), Wang YJ (王艳军). Content differences of condensed tannin in needles of Larix gmelinii by cutting needles and insect feeding. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 2009, **29** (3): 1415~1420

28 Hanley ME, Lamont BB, Fairbanks MM, Rafferty CM. Plant structural traits and their role in anti-herbivore defence. *Perspect Plant Ecol Evol Syst*, 2007, **8**:157~178

29 Wright IJ, Westoby M, Reich PB. Covergence towards higher leaf mass per area in dry and nutrient-poor habitats has different consequenses for leaf life span. *J Ecol*, 2002, **90** (3): 534~543

30 Onoda Y, Schieving F, Anten NPR. Effects of light and nutrient availability on leaf mechanical properties of Plantago major: A conceptual approach. *Ann Bot*, 2008, **101** (5): 727~736

31 Niinemets Ü, Kull O, Tenhunen JD. An analysis of light effects on foliar morphology, physiology, and light interception in temperate deciduous woody species of contrasting shade tolerance. *Tree Physiol*, 1998, **18** (10): 681~696

32 Valladares F, Wright SJ, Lasso E, Kitajima K, Pearcy RW. Plastic phenotypic response to light of 16 congeneric shrubs from a Panamanian rainforest. *Ecology*, 2000, **81** (7): 1925~1936

33 Niinemets U. Components of leaf dry mass per area—thickness and density—alter leaf photosynthetic capacity in reverse directions in woody plants. *New Phytol*, 1999, **144**: 35~47

34 Ellsworth DS, Reich PB. Leaf mass per area, nitrogen content and photosynthetic carbon gain in Acer saccharum seedlings in contrasting forest light environments. *Funct Ecol*, 1992, **6** (4): 423~435

35 Duan BL (段宝利), Lü YW (吕艳伟), Yin CY (尹春英), Li CY (李春阳). Morphological and physiological plasticity of woody plant in response to hight light and low light. *Chin J Appl Environ Biol* (应用与环境生物学报), 2005, **11** (2): 238~245

36 Evans JR. Photosynthesis and nitrogen relationship in leaves of C_3 plants. *Oecologia*, 1989, **78**: 9~19

37 Takashima T, Hikosaka k, Hirose T. Photosynthesis or persistence: nitrogen allocation in leaves of evergreen and deciduous Quercus species. *Plant Cell Environ*, 2004, **27** (8): 1047~1054

38 Poorter H, Pepin S, Rijkers T, de Jong Y, Evans JR, Korner C. Construction costs, chemical composition and payback time of high- and low-irradiance leaves. *J Exp Bot*, 2006, **57** (2): 355~371

39 Waring RH, McDonald AJS, Larsson S, Ericsson T, Wiren A, Arwidsson E, Ericsson A, Lohammar T. Differences in chemical composition of plants grown at constant relative growth rates with stable mineral nutrition. *Oecologia*, 1985, **66**: 157~160

40 Mooney HA, Fichtner K, Schulze ED. Growth, photosynthesis and storage of carbohydrates and nitrogen in Phaseolus lunatus in relation to resource availability. *Oecologia*, 1995, **104**: 17~23

书 讯

中国森林生态系统服务功能研究

张永利 杨锋伟 等 著　科学出版社出版（2010年6月）　978-7-03-027584-4　￥98.00

内容简介

本书是著者多年来森林生态系统服务功能研究成果以及国内外森林生态系统长期连续观测研究相关研究成果的集成。以当前全球生态领域内普遍关注的量化评估森林的多功能为核心，在制定的首部森林生态系统服务功能评估标准的基础上，全面评估了我国“九五”和“十五”期间森林生态系统5项10个指标的服务功能物质量，首次介绍和应用了评估生物多样性保护价值的Shannon - Wiener指数法，重点研究了2008 年南方雨雪冰冻灾害的森林生态服务功能损失情况和森林碳汇测算技术以及江西省、河南省和辽宁省森林生态服务功能物质量和价值量动态变化等关键问题。利用50个森林生态站几十年来的实测数据， 采用细化到龄级水平的分布式计算技术方案，根据Shannon - Wiener 指数评估方法定量化生物多样性保护价值评估是本书的三大特色。

本书可作为生态学、林学、环境科学等相关专业的大专院校的研究生教材，亦可供从事生态系统服务功能、生态系统管理、生态建设规划、生态环境评价、自然资源保护的专业科研人员及行政部门管理人员参考，尤其是对从事林业研究的科技人员以及政府部门的决策人员富有裨益。

新疆塔里木河流域生态水文问题研究

陈亚宁 等著　科学出版社出版（2010年7月）　978-7-03-027849-4　￥180.00

内容简介

本书内容是近10年来作者课题组对塔里木河流域生态水文问题研究的总结。全书从山区气候水文过程、平原区绿洲农业水文过程以及荒漠区生态水文过程入手，系统介绍了干旱区内陆河流的特点，分析了塔里木河流域水文水资源构成、变化特点、可持续性问题，以及在未来全球气候变化下的水资源趋势，探讨了干旱区内陆河流域水资源约束下的绿洲发展规模与绿洲农田水文过程，描述了荒漠区地下水与植被系统，揭示了荒漠河岸林植被对环境胁迫的响应与适应策略，提出了流域生态系统可持续对策与建议。

本书的读者对象为高等院校的师生以及从事干旱区水资源学、生态学、地理学、环境学及管理学研究的科技与管理人员。

欢迎邮购各类图书　欢迎致电索要书目
联系人：科学出版社科学销售中心 周文宇　电话：010-64031535　E-mail：zhouwenyu@mail.sciencep.com
网上订购：www.dangdang.com　www.amazon.cn
科学出版中心生物分社　电话：010-64012501　网址：www.lifescience.com.cn　E-mail：lifescience@mail.sciencep.com