

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2014.02.026

卫晶, 苗艳明, 毕润成. 云丘山不同海拔梯度榿子栎叶性特征研究[J]. 广西植物, 2014, 34(2): 281—286

Wei J, Miao YM, Bi RC. Altitudinal variation of leaf traits of *Quercus baronii* in Yunqiu Mountain[J]. *Guihaia*, 2014, 34(2): 281—286

云丘山不同海拔梯度榿子栎叶性特征研究

卫晶, 苗艳明, 毕润成*

(山西师范大学 生命科学学院, 山西 临汾 041000)

摘要: 在吕梁山南段云丘山, 以榿子栎为主要研究对象, 采用野外调查和室内实验相结合的方法, 对比叶面积(SLA)、叶面积(LA)、叶干物质含量(LDMC)、叶长宽比(L/W)、叶绿素含量(Chl)以及叶氮含量等有代表性的指标进行分析。结果表明: (1) 随着海拔梯度的增加, 榿子栎 L/W、Chl、SLA、LA、单位面积的叶氮含量(N_{area})、单位重量的叶氮含量(N_{mass})、叶饱和鲜重和叶干重均呈先上升后下降的趋势, 在海拔 1 180 m 处有最大值; LDMC 与海拔呈显著负相关($P < 0.05$); (2) 榿子栎 LA 与 SLA 和 N_{mass} 呈极显著正相关关系($P < 0.01$), 与 LDMC 呈显著负相关关系($P < 0.05$), 与 N_{area} 呈极显著负相关关系($P < 0.01$); (3) 榿子栎叶片 SLA 与 L/W 呈显著正相关($P < 0.05$), 与 N_{mass} 呈极显著正相关关系($P < 0.01$), 榿子栎叶片 SLA 与 LDMC 和 N_{area} 呈显著负相关关系($P < 0.05$); (4) 榿子栎 LDMC 与 N_{area} 呈显著正相关($P < 0.05$)。通过对云丘山景区榿子栎叶片性状随海拔变化规律的研究, 可以探索榿子栎叶片性状与海拔梯度变化的关系以及最适生长环境, 从而为景区榿子栎林的保护和抚育提供理论依据, 为合理开发榿子栎林资源提供基础资料。

关键词: 榿子栎; 海拔; 叶性特征

中图分类号: Q145.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2014)02-0281-06

Altitudinal variation of leaf traits of *Quercus baronii* in Yunqiu Mountain

WEI Jing, MIAO Yan-Ming, BI Run-Cheng*

(College of Life Sciences, Shanxi Normal University, Linfen 041004, China)

Abstract: Combining field investigation and indoor experiments of *Quercus baronii* in Yunqiu scenic spot of south Lüliang Mountain, some representative indicators such as specific leaf area (SLA), leaf area (LA), leaf dry matter content (LDMC), leaf aspect ratio (L/W), chlorophyll content (Chl), and leaf nitrogen content were performed and analyzed. The results were as follows: (1) As elevation gradient rises up, *Q. baronii* aspect ratio, Chlorophyll, SLA, LA, N_{area} , N_{mass} , saturated fresh and dry weight, all of their indicators had a first-increase-and-then-decrease trend and their peak value appeared at the altitude of 1 180 m; however, LDMC had a significant negative correlation ($P < 0.05$) with the elevation gradient; (2) The LA of *Q. baronii* was significantly positively correlated with SLA and N_{mass} ($P < 0.01$), negatively with leaf dry matter ($P < 0.05$), but obviously negatively with N_{area} ($P < 0.01$); (3) The leaf SLA of *Q. baronii* had a positive correlation with leaf length-width ratio ($P < 0.01$) and an obvious positive correlation with N_{mass} ($P < 0.01$), while significantly positively correlated with LDMC and N_{mass} ($P < 0.05$); (4) LDMC of *Q. baronii* was significantly positively correlated with N_{area} ($P < 0.05$); This paper studied the correlation between leaf character factor of *Q. baronii* and the altitudinal as well as the most suitable growth condition for *Q. baronii* by observing the variation regulations of *Q. baronii* with different elevations in Yunqiu Mountain scenic spot. Accordingly,

收稿日期: 2013-10-14 修回日期: 2013-11-07

基金项目: 山西省重点化学优势学科建设项目(912019)

作者简介: 卫晶(1990-), 女, 山西河津人, 硕士研究生, 主要从事植物生态学研究, (E-mail)381609283@qq.com。

*通讯作者: 毕润成, 教授, 主要从事植物生态学研究, (E-mail)sxrubi@126.com。

this result could provide a theoretical support for protecting and cultivating *Q. baronii* and a basis for exploiting and utilizing *Q. baronii* resource scientifically.

Key words: *Quercus baroni*; elevation; leaf traits

叶片是植物直接利用太阳能进行光合作用的主要器官,是生态系统中初级生产者的能量转换器。叶片性状的变化被认为是对特定环境的适应性表现,并且这些性状在植物碳的同化、水分关系和能量平衡方面有重要作用(Ackerly *et al.*, 2002; Wright *et al.*, 2004)。叶片作为生态系统中第一生产力的重要组成成分,其基本性状与特征是植物个体长期物种进化过程中形成生存适应性策略的集中表现,是叶片水平上的生理生态扩展到整个群落乃至生物地理群区的关键桥梁(Wright *et al.*, 2005)。在植物性状中,植物的一些叶片性状与植物利用资源的能力及植物的生长对策紧密联系,能够反应植物为适应环境变化所形成的生存对策(Vendramini *et al.*, 2002; 李玉霖等, 2005; 宝乐等, 2009)。应用叶性特征研究植物对环境的适应机制是生理生态学领域近些年研究中新的突破点(Wright *et al.*, 2004; 李永华等, 2005; 郑淑霞等, 2007)。不同种类植物和生态类群叶性特征应该是植物生理生态适应性极重要的方面,但这方面的基础工作还较为缺乏,国内关于叶性因子的相关研究已经初步展开(李永华等, 2005; 李玉霖等, 2005; 李轩然等, 2007; 郑淑霞等, 2007),但有关暖温带阔叶林区植物叶性特征随着海拔变化的相关研究还很少见。随着海拔升高,环境中各种生态因子诸如氧分压、空气湿度、土壤温度及水分状况、太阳光及紫外线辐射强度、大气温度等均发生了变化(王为义, 1985),必然会导致植物叶片内部结构也发生相应的改变。研究植物叶片性状沿海拔梯度的变化可以更好地认识植物对不同海拔高度环境变化的响应机制。

榿子栎作为我国北方干旱和水土流失严重地区发展生物质能源的优良树种之一,不仅具有重要的生态学价值,同时其本身木材坚硬,种子、树皮、壳斗都有较大的经济价值。其中,种子含淀粉为 60%~70%,可以食用、酿酒、浆纱或作饲料,树皮、壳斗等经加工可制得栲胶,是一种很好的化工原料,木材坚硬,耐久,耐磨损,可供车辆、家具等用材,具有重要的经济价值,开发前景广阔(马子清等, 2001)。本文利用榿子栎 SLA、LA、LDMC、L/W、Chl 以及叶氮含量等有代表性的指标进行研究,以便对榿子栎林的叶片性状以及它们之间的相互关系有更加深入的

认识,为探索和揭示叶性特征随海拔梯度的变化规律以及榿子栎林的管理保护和抚育更新提供理论依据或参考。

1 研究地概况

研究区位于山西省云丘山自然保护区吕梁山南段中低山土石山区,地处暖温带,属大陆性季风气候,地理坐标为 35°44'39.5"~35°45'50.0" N、110°59'32.30"~111°01'39.0" E,海拔高度为 690~1 580 m,相对高差 890 m,本区年均气温 9.9 °C,年均降水量为 570 mm,年平均日照时数为 2 000 h,无霜期年均约为 150 d。地带性土壤是褐土,地带性植被为暖温带落叶阔叶林(李晋鹏等, 2008)。

2 材料与方法

2.1 植株的选取

本研究于 2012 年 7 月在云丘山榿子栎较集中的地区进行。在海拔 780~1 580 m 之间每隔 100 m 为一个海拔梯度,共设置 8 个海拔梯度。每个海拔选取环境条件相对一致的向阳的健康植株 5 株作为研究对象。

2.2 植物叶片性状的调查

(1)选择健康的榿子栎植株,在植株上部叶形基本一致的完整叶片中选取 50 片,同时用 CM-1000 测定仪测定活体叶片 Chl 含量,每片叶测 10 次,计算平均值。并测量坡度、海拔等环境情况。

(2)把叶片置于湿润的滤纸之间,放入塑料袋内后封口,然后储藏于黑色塑料袋内,底部放上冰块。回到室内,将叶片放入水中,在 4 °C 的黑暗环境中储藏 12 h。取出后迅速用吸水纸粘去叶片表面的水分,在万分之一的电子天平上称重(饱和鲜重)。用 LI-3000 叶面积测定仪测量 LA 的大小,然后用钢尺测定叶片 L 和 W。

(3)把所测量叶片放入烘箱,在 105 °C 下杀青(15 min)后温度调至 75 °C 烘干 24 h,然后测定其干重。以 LA 大小和对应叶片干重得到该叶片的 SLA。采用 EA1108 型四元素分析仪测定烘干叶片

含氮量,每个海拔需测 5 个样进行重复测定。计算 N_{mass} 和 N_{area} 。

SLA 和 LDMC 分别用下式计算:

SLA = 叶片面积(cm^2)/叶片干重(g)

LDMC = 叶片干重(g)/叶片饱和鲜重(g)

$N_{area} = N_{mass}/SLA$

数据处理使用 Excel、SPSS 统计分析软件对叶片指标作相关分析,使用 Sigmaplot 软件进行作图。

3 结果与分析

3.1 槲子栎种群叶性因子与海拔的相关关系

3.1.1 槲子栎 Chl、 N_{area} 、L/W、SLA、 N_{mass} 、LA 和与海拔的关系 由图 1~6 可知,在所调查区槲子栎叶性参数中,随着海拔梯度的变化,槲子栎叶片 Chl、 N_{area} 、L/W、SLA、 N_{mass} 和 LA 随海拔的升高先升高后降低,在海拔 1 180 m 处达最大值。这可能是由于从低海拔向中海拔 1 180 m 升高时,随着海拔的升高,降雨、水热组合和土壤性质等环境因子逐渐好转,当海拔上升超过 1 180 m 时,由于限制槲子栎生长的主要环境因子逐渐转变为温度,植物叶片生长开始减缓(祈建等,2007)。

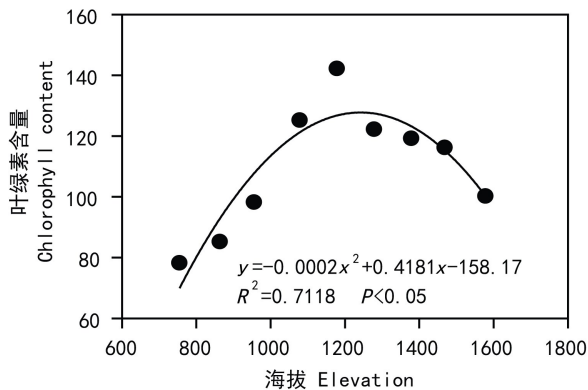


图 1 海拔和 Chl 的关系

Fig. 1 Relationship between elevation and chlorophyll

3.1.2 槲子栎 LDMC 与海拔的关系 由图 7 可知,海拔与 LDMC 呈显著负相关($P < 0.05$),表明随着海拔梯度的增加,槲子栎 LDMC 呈下降趋势。由图 8、图 9 可知,海拔与叶饱和鲜重和叶干重呈二次方程关系,可以看出随海拔升高,叶饱和鲜重和叶干重呈先上升后下降的趋势,在海拔 1 180 m 处达最大值。虽然叶饱和鲜重和叶干重都随海拔梯度的增加先上升后下降,但叶饱和鲜重和叶干重的比值 LD-

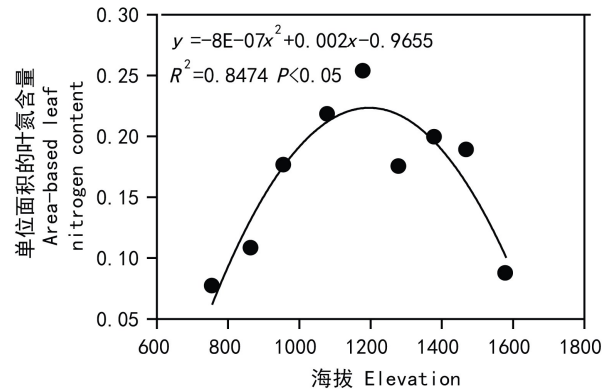


图 2 海拔和 N_{area} 的关系

Fig. 2 Relationship between elevation and N_{area}

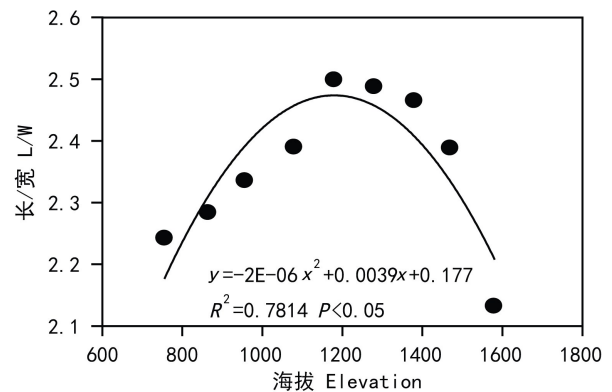


图 3 海拔和 L/W 的关系

Fig. 3 Relationship between elevation and L/W

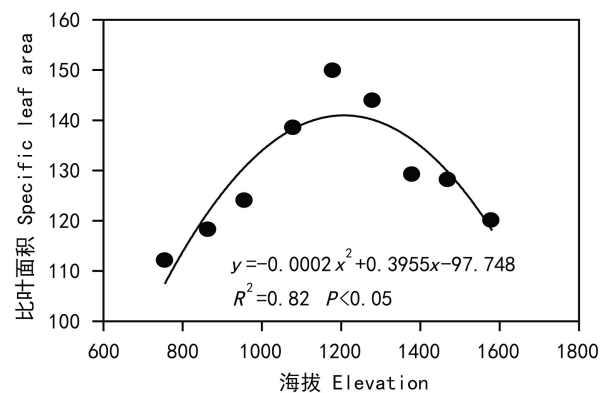


图 4 海拔和 SLA 的关系

Fig. 4 Relationship between elevation and SLA

MC 却随海拔梯度的增加呈下降趋势。

3.2 槲子栎的 LA、LDMC、 N_{area} 、SLA、 N_{mass} 、L/W 的关系

3.2.1 槲子栎 LA 与 LDMC、 N_{area} 、SLA、 N_{mass} 、L/W 的关系 由表 1 可知,槲子栎 LA 与 LDMC 呈显著负相关($P < 0.05$),与 N_{area} 呈极显著负相关($P <$

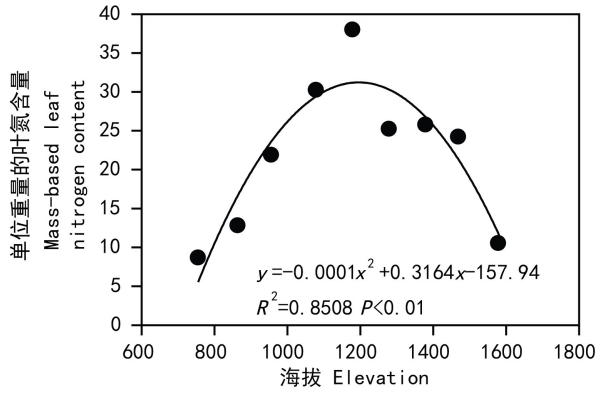


图 5 海拔和 N_{mass} 的关系

Fig. 5 Relationship between elevation and N_{mass}

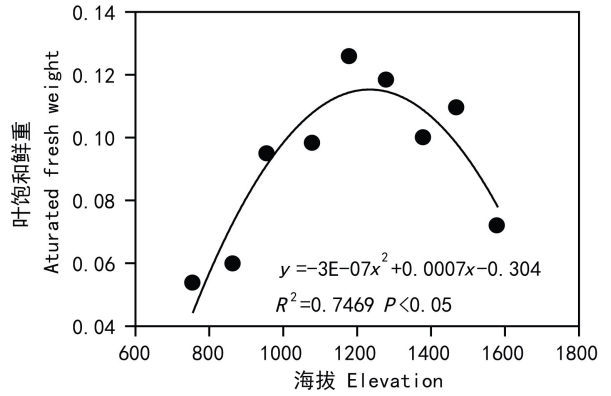


图 8 海拔和叶饱和鲜重的关系

Fig. 8 Relationship between elevation and saturated fresh weight

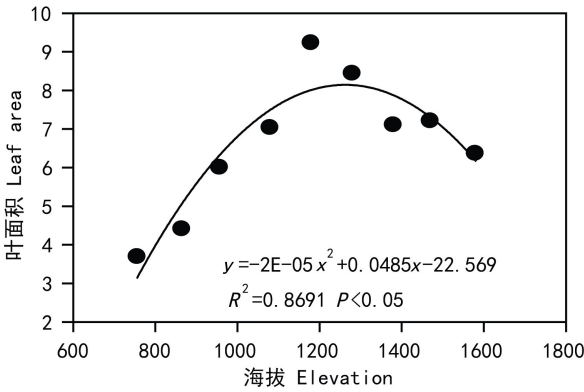


图 6 海拔和 LA 的关系

Fig. 6 Relationship between elevation and LA

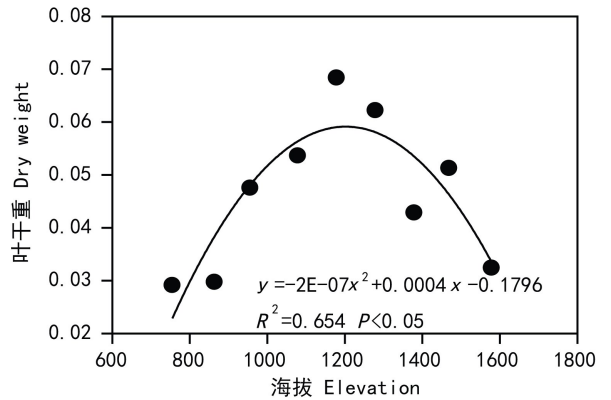


图 9 海拔和叶干重的关系

Fig. 9 Relationship between elevation and dry weight

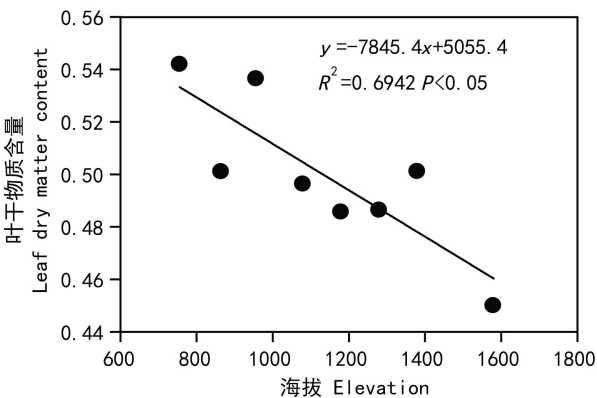


图 7 海拔和 LDMC 的关系

Fig. 7 Relationship between elevation and LDMC

表 1 LA 与 LDMC、 N_{area} 、SLA、 N_{mass} 、L/W 的相关性

Table 1 Relationship between LA and LDMC, N_{area} , SLA, N_{mass} , L/W

叶片性状 Leaf traits	LDMC	N_{area} (Mg · cm ⁻²)	SLA (cm ² · g ⁻¹)	N_{mass} (Mg · g ⁻¹)	L/W (cm · cm ⁻¹)
P	<0.05	<0.01	<0.01	<0.01	>0.05
R	-0.730	-0.864	0.891	0.878	0.450

SLA 和 N_{mass} 较为明显的变化,表明 LA 大小是影响槲子栎生理生态效应的重要参数。

3.2.2 SLA 和 L/W、 N_{mass} 、LDMC 和 N_{area} 的关系

由表 2 可知,槲子栎 SLA 与叶 L/W 呈显著正相关 ($P < 0.05$),与 N_{mass} 呈极显著正相关 ($P < 0.01$),与 LDMC、 N_{area} 呈显著负相关 ($P < 0.05$),表明随着槲子栎 SLA 的增加,L/W、 N_{mass} 呈明显的上升趋势,而 LDMC 和 N_{area} 呈下降趋势,表明随着槲子栎 SLA 的增加,叶片中积累的有机物质的能力在逐渐

0.01),表明随着 LA 的增大,LDMC 和 N_{area} 呈下降趋势。LA 与 SLA 和 N_{mass} 呈极显著正相关关系 ($P < 0.01$),表明随着槲子栎 LA 的增加,SLA 和 N_{mass} 呈上升趋势。随着 LA 的增大与 L/W 没有明显的显著关系。槲子栎 LA 的变化会引起 LDMC、 N_{area} 、

上升,同时 N_{mass} 的含量在逐渐增加,叶片代谢更加活跃,这表明随着 SLA 的增加,榿子栎叶片在资源利用中逐渐处于有利地位。

表 2 SLA 与 L/W、 N_{mass} 、LDMC、 N_{area} 的相关性

Table 2 Relationship between SLA and L/W, N_{mass} , LDMC, N_{area}

叶片性状 Leaf trait	L/W ($\text{cm} \cdot \text{cm}^{-1}$)	N_{mass} ($\text{Mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	LDMC	N_{area} ($\text{Mg} \cdot \text{cm}^{-2}$)	
P	<0.05	<0.01	<0.05	<0.05	
SLA	R	0.809	0.920	-0.826	-0.807

3.2.3 LDMC 和 N_{area} 、 N_{mass} 的关系 由表 3 可知,榿子栎 LDMC 与 N_{area} 呈显著正相关($P < 0.05$)。LDMC 与 N_{mass} 没有明显的相关关系($P > 0.05$),表明 LDMC 与 N_{mass} 关系不明显。

表 3 LDMC 与 N_{area} 、 N_{mass} 的相关性

Table 3 Relationship between LDMC and N_{area} , N_{mass}

叶片性状 Leaf trait	N_{area} ($\text{Mg} \cdot \text{cm}^{-2}$)	N_{mass} ($\text{Mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	
P	<0.05	>0.05	
LDMC	R	0.827	-0.638

4 结论与讨论

植物的生长发育不仅与自身的生理特性有关,同时也受到环境条件的影响,并向着与环境相适应的方向发展(李有忠等,1995)。随着海拔高度的不断上升,环境中的各种生态因子诸如空气湿度、土壤温度及水分状况、太阳光及紫外线辐射强度、大气温度等均在发生着变化(王为义,1985),植物叶片的内部结构也必然会发生相应的改变。由于植物叶片是与环境直接相接触的器官,对环境变化反应更为敏感(祈建等,2007),所以随着海拔梯度的升高,受到温度和水分限制,叶片生长发育因适应性发生显著变化。云丘山属暖温带气候区,低海拔气候较为温暖,降水量少但蒸发相对较高,因而环境也相对干旱,而在高海拔地区,由于低温使土壤中的水分不易被植物根系所吸收导致水分胁迫,植物为了适应胁迫环境,其叶片在 Chl、 N_{area} 、L/W、SLA、 N_{mass} 、LA 等叶片性状上均做出了一定的适应策略。理论上讲,在干旱生境下,植物通过根系从土壤中吸收的矿质养分贮存在叶片中,其中很大一部分物质用于构建植物的营养器官以及植物生长所需的矿质元素,如分配较多的氮与非

溶性蛋白纤维以增强其细胞壁韧性或者增加叶肉细胞密度以防止高温损伤或失水过多,同时植物体内积累脯氨酸或蔗糖等可溶性化合物以降低植物的水势,其结果是形成厚度较大而面积较小的叶片,单位叶面积的干物质增加,即叶片 SLA 较小,而与植物的光合作用密切相关的叶片氮含量和叶绿素含量也较低(郑淑霞等,2007;Flexas *et al.*,2002)。从低海拔向中海拔 1 180 m 升高时,随着高海拔的升高,降雨量增大,水热组合以及土壤性质等各种环境条件有所好转,叶片的增大有利于充分采集光照,当海拔上升超过 1180m 以上时,由于温度随海拔逐渐降低,温度逐渐成为榿子栎生长的限制因子。低温使叶的生长季相对较短,细胞生长缓慢,因而普遍产生较小的叶片。另外有学者认为高海拔土壤中氮元素的不足是产生小而厚且养分消耗量少的叶片的原因(祈建等,2007)。还有学者认为,在高海拔下,风速比较大,小叶片不容易受到风的伤害(Kappelle *et al.*,1996),这可能也是榿子栎叶面积在高海拔地区逐渐减小的原因。在 1 180 m 以下时,榿子栎叶绿素含量和叶氮含量的上升应是对随海拔升高光照增强的一种适应方式,以利于在有限的叶面积下充分进行光合作用。在 1 180 m 以上时,低温胁迫使得叶绿素含量和叶氮含量都逐渐降低。由于叶绿素和氮元素是植物光合器官重要的物质组分,在植物进行光合作用时有重要作用。研究表明,生长光强对植物光合能力和叶片氮含量关系影响显著,其原因主要与氮在光合机构不同组分中的分配比例、单位 Chl 的电子传递能力以及 RuBP 羧化酶的活性有关(Poorter *et al.*,1998;Hikosaka *et al.*,2002)。

很多生态系统功能与植物的叶性状具有多层次、多时空、多尺度关系,通过对植物叶片性状研究,对于预测未来环境变化对生态系统造成的影响具有重要意义。海拔作为一个重要的地形因子,使得各种环境因子在海拔梯度上形成综合梯度变化,为植物对环境的形态和生理响应研究提供了独特的野外实验条件,而且在一定程度上还可以用来解释未来气候变化造成的环境差异对植物的影响(Reich *et al.*,2003)。通过植物叶片性状沿海拔梯度的变化能更好地认识植物对环境的适应机制,为研究植物生理形态对环境的响应提供了很好的条件。在不同海拔进行细致的植物结构性状和植物功能性状研究,可以驱动我国植被格局的变化和生态系统过程的适应机制,更好的为生态保护和生态恢复奠定良好的基础。

参考文献:

- Ackerly DD, Knight CA, Weiss SB, *et al.* 2002. Leaf size, specific leaf area and microhabitat distribution of chaparral woody plants: contrasting patterns in species level and community level analyses[J]. *Oecologia*, **130**(3):449-457
- Bao L(宝乐), Liu YH(刘艳红). 2009. Comparison of leaf functional traits in different forest communities in Mt. Dongling of Beijing(东灵山地区不同森林群落叶功能性状比较)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **29**(7):3 692-3 703
- Flexas J, Medrano H. 2002. Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited[J]. *Ann Bot*, **89**:183-189
- Hikosaka K, Nagamatsu D, Hiroshi SI, *et al.* 2002. Photosynthesis-nitrogen relationships in species at different altitudes on Mount Kinabalu, Malaysia[J]. *Ecol Res*, **17**:305-313
- Kappelle M, Leal ME. 1996. Changes in leaf morphology and foliar nutrient status along a successional gradient in a Costa Rican, uppermountane *Quercus* forest[J]. *Biotropica*, **28**:331-344
- Li JPK(李晋鹏), Shangguan TL(上官铁梁), *et al.* 2008. Study on relationship between species diversity of plant community and environment in south Lüliang Mountains, Shanxi(山西吕梁山南段植物群落物种多样性与环境的关系)[J]. *J Mount Res*(山地学报), **26**(5):612-619
- Li XR(李轩然), Liu Q(刘琪). 2007. Specific leaf area and leaf area index of conifer plantations in Qianyanzhou station of subtropical china(千烟洲针叶林的比叶面积及叶面积指数)[J]. *J Plant Ecol*(植物生态学报), **31**(1):93-101
- Li YH(李永华), Luo TX(罗天祥), Lu Q(卢琦). 2005. Comparisons of leaf traits among 17 major plant species in shazhuyu sand control experimental station of Qinghai Province(青海省沙珠玉治沙站 17 种主要植物叶性因子的比较)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **25**(5):994-999
- Li YL(李玉霖), Cui JH(崔建垣), Su YZ(苏永中). 2005. Specific leaf area and leaf dry matter content of some plants in different dune habitats(不同沙丘生境主要植物比叶面积和叶干物质含量的比较)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **25**(2):304-311
- Li ZY(李有忠), Ben GY(贲桂英), Han F(韩发), *et al.* 1995. The effect of altitude variation on the structure of plant leaf lamina(海拔高度的变化对植物叶片内部结构的影响)[J]. *J Qinghai Univ:Nat Sci Edit*(青海师范大学学报·自然科学版), (4):34-40
- Ma ZQ(马子清), Shangguan TL(上官铁梁), Teng CD(滕崇德). 2001. Vegetation of Shanxi(山西植被)[M]. Beijing(北京): China Science & Technology Press(中国科学技术出版社):131-133
- Poorter H, Evans JR. 1998. Photosynthetic nitrogen-use efficiency of species that differ inherently in specific area[J]. *Oecologia*, **116**:26-37
- Qi J(祈建), Ma KM(马克明), *et al.* 2007. The altitudinal variation of leaf traits of *Quercus liaotungensis* and associated environmental explanations(辽东栎叶特性沿海拔梯度的变化及其环境解释)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **27**(3):930-937
- Reich PB, Wright IJ, Cavender-Bares J, *et al.* 2003. The evolution of plant functional variations: traits, spectra and strategies[J]. *Intern J Plant Sci*, **164**(3):143-164
- Vendramini F, Diaz S, Gurvich D. 2002. Leaf traits as indicators of resource-use strategy in floras with succulent species[J]. *New Phytol*, **154**:147-157
- Wang WY(王为义). 1985. An investigation on specific structural characteristics of alpine plants on Qinghai-Xizang Plateau(高山植物结构特异性的研究)[J]. *Acta Biol Plat Sin*(高原生物学集刊), **4**:19-32
- Wright IJ, Reich PB, Cornelissen JHC, *et al.* 2005. Modulation of leaf economic traits and trait the relationships by climate[J]. *Glob Ecol Biogeogr*, **14**:411-421
- Wright IJ, Reich PB, Westoby M. 2004. The worldwide leaf economics spectrum[J]. *Nature*, **428**:821-827
- Zheng SX(郑淑霞), Shangguan ZP(上官周平). 2007. Photosynthetic characteristics and their relationships with leaf nitrogen content and leaf mass per area in different plant functional types(不同功能型植物光合特性及其与叶氮含量、比叶重的关系)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **27**(1):171-181

(上接第 226 页 Continue from page 226)

- infection[J]. *Science*, **250**(4 983):1 002-1 004
- Pan XY(潘晓云), Wang GX(王根轩), Cao QD(曹琴东). 2002. Winter injure index and lethal low temperature for introduced American almond in Lanzhou(兰州地区引种的美国扁桃的越冬伤害与临界致死低温)[J]. *Acta Horti Sin*(园艺学报), **29**(1):63-65
- Quan GC(权国仓), Hu GY(胡桂英), Li QL(李秋隆). 2007. Techniques of raising *Sabina przewalskii* seedlings(祁连圆柏育苗技术)[J]. *Garden & Landscaping*(园林绿化), **8**:42
- Sun X(孙歆), Guo YM(郭云梅), Lei T(雷韬), *et al.* 2005. Effects of salicylic acid on several physiological indexes of kidney bean under water stress(水杨酸对水分胁迫下菜豆若干生理指标的影响)[J]. *J Sichuan Univ:Nat Sci Edit*(四川大学学报·自然科学版), **42**(3):575-579
- Wang GP(王改萍), Ceng XC(岑昱超), Peng FR(彭方仁), *et al.* 2009. Drought resistance in seedlings of catalpa bungei cultivars(不同楸树品种的抗旱性鉴定)[J]. *J Zhejiang For Coll*(浙江林学院学报), **26**(6):815-821
- Wang JX(王纪忠), Zhou Q(周青). 2010. Effect of salicylic acid on cucumber seedling growth and cell membrane under durative low temperature stress(外源水杨酸对持续低温胁迫下黄瓜幼苗生长和细胞膜稳定性的影响)[J]. *J Changjiang Veget*(长江农业·学术版), **16**:29-32
- Wang YZ(王英哲), Ren W(任伟), Xu AK(徐安凯), *et al.* 2012. Physiological responses to exogenous SA and ABA in alfalfa varieties under chilling stress(低温胁迫下紫花苜蓿对外源 SA 和 ABA 的生理响应)[J]. *Acta Agric Bor-Sin*(华北农学报), **27**(5):144-149
- Wu J(吴嘉), Yang HY(杨红玉), Yang MZ(杨明攀), *et al.* 2010. Effects of SNP and cPTIO on physiology of *Arabidopsis* seedling under NaCl stress(SNP 和 cPTIO 对 NaCl 胁迫下拟南芥的生理影响)[J]. *Guihaia*(广西植物), **30**(5):666-671
- Xu SW(徐生旺), Cai JX(蔡晋翔), Zhong YF(仲永芳), *et al.* 2008. Techniques of raising *Sabina przewalskii* seedlings by cutting(祁连圆柏扦插育苗技术)[J]. *Shaangxi For Sci Technol*(陕西林业科技), **1**:130-131,153