

甘肃省摩天岭北坡木本植物叶性状变异及关联

李宗杰, 田青, 宋玲玲

(甘肃农业大学 林学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 调查了摩天岭北坡以常绿阔叶林带与落叶阔叶混交林为主的低海拔区(700~1 500 m)和针阔叶混交林与亚高山针叶林为主的高海拔区(2 100~3 400 m)的21个木本植物群落组成, 测定了104种植物的比叶面积(SLA)、叶干物质含量(LDMC)、叶片全磷含量(TPC)、叶片全氮含量(TNC)、叶片全碳含量(TCC)以及叶片厚度(LT)等6个植物功能性状。采用相关性分析对6个植物功能性状的变异和关联进行分析。结果表明:(1)SLA、LT和TCC在高海拔区明显高于低海拔区, 而LDMC和TNC表现出高海拔区低于低海拔区;(2)SLA均随海拔的升高表现出降低的趋势, 而LDMC和LT都随海拔的升高呈现增加的趋势。低海拔区TCC和高海拔区TCC都随海拔的升高呈增加的趋势;低海拔区TNC和TPC随海拔的变化与高海拔区相反, TNC和TPC在低海拔区随着海拔的升高表现出增加的趋势, 而在高海拔区随海拔的增加呈现降低的趋势。(3)在高、低海拔区, SLA与LDMC、LT和TCC均呈极显著的负相关关系($P<0.01$), LDMC与LT和TCC呈极显著的正相关关系($P<0.01$)。摩天岭北坡不同海拔区木本植物叶片功能性状与海拔的关系, 反映了该区域木本植物的不同叶片功能性状对海拔决定的环境异质性的协同响应和适应。

关键词: 功能性状; 变异及关联; 海拔; 摩天岭

文章编号: 1000-694X(2018)01-0149-08

DOI: 10.7522/j. issn. 1000-694X. 2016. 00129

中图分类号: Q948.1

文献标志码: A

0 引言

植物功能性状反映植物如何响应和适应环境的变化, 植物功能性状会影响生态系统的结构和功能^[1-2]。近年来, 有关植物功能性状的相关研究在国内外已普遍展开并不断深入, 从不同空间尺度和不同生态水平的生态系统结构与功能对环境梯度的响应研究, 到植被模型与模拟、古植被与古气候的恢复和重建, 都得到了不同程度的发展^[3-5]。运用植物功能性状来反映植被群落及生态系统的状况, 并与环境因子建立响应关系, 对更好地诠释植被对环境的响应及适应问题提供了一条极有希望的途径^[4,6]。叶片是植物进行光合作用的主要器官, 叶片性状特征直接影响到植物的基本行为和功能^[7], 同时叶片是植物与环境接触面积最大的器官, 其特性的变化是对特定环境的适应性表现^[8]。叶片功能性状是植物功能性状的重要组成部分, 与植株生物量、生长策略和资源的获取、利用密切相关, 反映了植物适应环境变化的生存对策, 决定着群落的结构和生态系统的功能^[2,4,7]。

有关草地生态系统植物功能性状研究已有大量报道, 但是主要在叶面积、叶干重、比叶面积和叶干物质含量等性状的变异等方面, 涉及到不同海拔木本植物群落植物功能性状分析的相关研究仍然较少。本文以摩天岭北坡不同海拔21个木本样方的104种木本植物为研究对象, 调查植物叶片比叶面积(SLA)、叶干物质含量(LDMC)、叶片全磷含量(TPC)、叶片全氮含量(TNC)、叶片全碳含量(TCC)以及叶片厚度(LT)等6项植物功能性状, 分析不同海拔森林木本植物群落植物功能性状变化情况。研究区域所在的摩天岭北坡是甘肃白水江国家级自然保护区的主体区域, 具有典型的、无干扰的山地植被类型。该区具有独特的地理位置——西邻青藏高原、东接秦岭山地、南近横断山脉和华中地区, 多方植物区系在此交汇, 成分类型复杂多样, 高差相对较大, 具有浓缩的环境梯度和高度异质化的生境, 气候和植被垂直分布明显, 是岷山至秦岭物种基因交流和过渡的重要通道^[9]。本研究目的在于探索多种植被区系交汇区叶片功能性状随海拔变化模式, 旨在分析摩天岭北坡叶功能性状的变化情况以及为

收稿日期: 2016-06-29; 改回日期: 2016-09-07

资助项目: 国家自然科学基金项目(31260122)

作者简介: 李宗杰(1989—), 男, 甘肃会宁人, 硕士研究生, 主要从事水土保持与环境过程。E-mail: lzjie314@163.com

通信作者: 田青(E-mail: tqing@gau.edu.cn)

该区森林植物群落对环境条件的适应提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于甘肃省白水江国家级自然保护区摩天岭山系北坡($32^{\circ}14'$ — $32^{\circ}56'$ N, $104^{\circ}16'$ — $105^{\circ}27'$ E, 平均海拔1 475 m), 年平均气温15.6℃, 年降水量840~950.3 mm。地带性植物群落组成相当复杂, 从山麓到高山, 拥有亚热带、暖温带、中温带和寒温带的多种代表性群落类型。其中海拔600~1 500 m区域植被以常绿阔叶林带和常绿落叶阔叶混交林带为主, 而海拔2 000~3 400 m区域植被以针阔叶混交林带和亚高山针叶林带为主, 基带土壤按照海拔自下而上分别为山地黄棕壤(700~1 600 m)、棕壤(1 600~2 400 m)、暗棕壤(2 400~2 900 m)、高山草甸土(2 900~3 300 m)、高山草甸土(>3 300 m)^[10]。样地共调查整理出木本植物104种(表1)。

1.2 样品采集与处理

1.2.1 样地布设

本研究采用样线调查和样地调查相结合的调查方法, 分别在研究区的低海拔区(700~1 500 m)的石龙沟、正沟以及高海拔区(2 100~3 400 m)的黄土梁、邱家坝进行调查测定, 每个保护站设置2条样线, 总共调查了21个样地。且样线内按照海拔每升高大约100 m设置一块样地, 样线的选址尽量回避人为和自然干扰较大的地段、迹地和大型林窗, 选择林相相对整齐的植物群落。每个样地设置1个乔木样方20 m×20 m, 一个灌木样方10 m×10 m(总共设置21个乔木样方, 21个灌木样方)。记录样方内出现的树种, 用GPS仪测量每块样地的海拔。

1.2.2 样品的测定

取样时间为2013年8月, 此时植物生长旺盛且生物量最大^[10]。调查中统计每个样方内出现的物种、郁闭度以及数量等, 采叶片时选择成年植株上完全展叶并充分接受日光照射的完整的且没有病虫害的叶片, 带枝采摘。将带枝叶片包入打湿的信封袋中放入封口塑料袋内封口, 超过24 h放入温度为2~6℃的冰箱内。

利用Delta-T叶面积仪扫描测定叶片面积(A)^[11~13]; 比叶面积SLA=A/M^[11~13], M为叶片

干质量。

叶干物质含量(LDMC)的测定是将从野外采集回的叶片放入水中, 在5℃的黑暗环境中储藏12 h, 取出后迅速用吸水纸吸去叶片表面的水分, 在万分之一的电子天平上称重(饱和鲜重), 然后将叶片放入80℃烘箱内烘干48 h后取出称重(干重)^[11~13]。LDMC=M/m, m为叶片饱和鲜重。

叶片厚度(LT)的测定是选用精度为0.02 nm游标卡尺, 在叶片上沿着主脉的方向均匀选3个点(上、中、下)测量其厚度(避开主叶脉), 3个厚度值做平均即单叶叶片的厚度, 每组30片叶子, 其平均值即该组叶片的平均厚度^[11~13]。

叶片全氮含量(TNC)采用CHNS-O元素分析仪^[10~13]进行测定。

叶片全磷含量(TPC)采用酸溶-钼锑抗比色法, 用UV2550紫外分光光度仪测定^[11~13]。

叶片全碳含量(TCC)也采用CHNS-O元素分析仪^[11~13]测定。

1.3 数据分析与处理

主要对海拔为700~1 500 m、植被以常绿阔叶林带和常绿落叶阔叶混交林带为主的低海拔区及海拔为2 100~3 400 m、植被以针阔叶混交林带和亚高山针叶林带为主的高海拔区的木本植物的叶性状进行分析讨论。本文数据用EXCEL软件和SPSS19.0软件进行统计分析, 运用SPSS软件进行相关分析和差异性检验, 最后采用Pearson相关系数检验高低海拔叶片植物功能性状之间的相关性。

2 结果分析

2.1 植物功能性状对海拔的响应

摩天岭北坡木本植物功能性状对海拔的响应显著(图1)。植物功能性状对海拔的响应, 体现了植物为适应多变的环境而形成的适应策略, 由低海拔到高海拔, 水热组合环境因子变化程度逐渐加剧, 植物受到外界环境的生存压力增大, 植物势必调整生存策略, 改变功能性状来适应高海拔环境, 以此保证植物更好地生存和繁衍。对于SLA而言, 高海拔区高于低海拔区, 且差异性显著。这表明低海拔区的木本植物更能适应资源贫瘠和干旱的环境, 相反高海拔区的植物适应资源贫瘠和干旱环境的能力较低海拔区的木本植物弱。与SLA相同的是, 高海拔LT和TCC的值高于低海拔。而相反的是, LDMC、

表1 研究区各海拔的主要木本植物

Table 1 The main ligneous plants in every altitude in study area

区段	海拔/m	主要木本植物
低海拔区段	707	枫杨(<i>Pterocarya stenoptera</i>)、枫香(<i>Liquidambar formosana</i>)、山核桃(<i>Juglans cathayensis</i>)、棕榈(<i>Trachycarpus fortunei</i>)、八角枫(<i>Alangium chinense</i>)、紫麻(<i>Oreocnide frutescens</i>)
	812	锐齿栎(<i>Quercus aliena</i>)、海桐(<i>Pittosporum tobira</i>)、铁仔(<i>Myrsine africana</i>)、棕榈(<i>Trachycarpus fortunei</i>)
	914	锐齿栎(<i>Quercus aliena</i>)、枫香(<i>Liquidambar formosana</i>)、栓皮栎(<i>Quercus variabilis</i>)、莢蒾(<i>Viburnum dilatatum</i>)、铁仔(<i>Myrsine africana</i>)、胡枝子(<i>Lespedeza bicolor</i>)、刺异叶花椒(<i>Zanthoxylum ovalifolium</i>)、紫珠(<i>Callicarpa bodinieri</i>)、海桐(<i>Pittosporum tobira</i>)
	1 017	锐齿栎(<i>Quercus aliena</i>)、栓皮栎(<i>Quercus variabilis</i>)、山杨(<i>Populus davidiana</i>)、枫香(<i>Liquidambar formosana</i>)、胡颓子(<i>Elaeagnus pungens</i>)、川钓樟(<i>Lindera pulcherrima</i>)、忍冬(<i>Lonicera japonica</i>)、海桐(<i>Pittosporum tobira</i>)、香莢蒾(<i>Viburnum farreri</i>)、刺异叶花椒(<i>Zanthoxylum ovalifolium</i>)
	1 121	盐肤木(<i>Rhus chinensis</i>)、锐齿栎(<i>Quercus aliena</i>)、枫香(<i>Liquidambar formosana</i>)、吴茱萸(<i>Evodia rutaecarpa</i>)、紫麻(<i>Oreocnide frutescens</i>)、亮叶忍冬(<i>Lonicera ligustrina</i>)
	1 237	锐齿栎(<i>Quercus aliena</i>)、枫香(<i>Liquidambar formosana</i>)、亮叶桦(<i>Betula luminifera</i>)、刚毛忍冬(<i>Lonicera hispida</i>)、卵叶钓樟(<i>Lindera limprichtii</i>)、山楠(<i>Phoebe chinensis</i>)、亮叶忍冬(<i>Lonicera ligustrina</i>)
	1 315	青冈(<i>Cyclobalanopsis glauca</i>)、细叶青冈(<i>Cyclobalanopsis gracilis</i>)、锐齿栎(<i>Quercus aliena</i>)、卵叶钓樟(<i>Lindera limprichtii</i>)、香叶树(<i>Lindera communis</i>)、绣球(<i>Hydrangea macrophylla</i>)
	1 424	锐齿栎(<i>Quercus aliena</i>)、鹅耳枥(<i>Carpinus turczaninowii</i>)、卵叶钓樟(<i>Lindera limprichtii</i>)、猫儿刺(<i>Ilex pernyi</i>)
	2 119	甘肃楓楊(<i>Pterocarya macroptera</i>)、鸡骨柴(<i>Elsholtzia fruticosa</i>)、康定柳(<i>Salix paraplesia</i>)、匙叶小檗(<i>Berberis vernae</i>)、淡红莢蒾(<i>Viburnum erubescens</i>)、野花椒(<i>Zanthoxylum simulans</i>)
	2 238	稠李(<i>Padus racemosa</i>)、青榨槭(<i>Acer davidii</i>)、五角枫(<i>Acer mono</i>)、麦吊云杉(<i>Picea brachytyla</i>)、山梅花(<i>Philadelphus incanus</i>)、臭櫻(<i>Maddenia hypoleuca</i>)、藏刺榛(<i>Corylus ferox</i>)、西蜀丁香(<i>Syringa komarovii</i>)、桦叶莢蒾(<i>Viburnum betulifolium</i>)、皂柳(<i>Salix wallichiana</i>)
高海拔区段	2 328	青榨槭(<i>Acer davidii</i>)、山核桃(<i>Juglans cathayensis</i>)、椴树(<i>Tilia tuan</i>)、甘肃山楂(<i>Crataegus kansuensis</i>)、康定柳(<i>Salix paraplesia</i>)
	2 446	红桦(<i>Betula albosinensis</i>)、油松(<i>Pinus tabuliformis</i>)、藏刺榛(<i>Corylus ferox</i>)、华北落叶松(<i>Larix principis-rupprechtii</i>)、秦岭木姜子(<i>Litsea tsinlingensis</i>)、五角枫(<i>Acer mono</i>)、毛花忍冬(<i>Lonicera trichosantha</i>)、牛奶子(<i>Elaeagnus umbellata</i>)、刺五加(<i>Acanthopanax senticosus</i>)、皂柳(<i>Salix wallichiana</i>)、八仙花(<i>Hydrangea macrophylla</i>)、楳木(<i>Aralia chinensis</i>)、缺苞箭竹(<i>Fargesia denudata</i>)
	2 523	青榨槭(<i>Acer davidii</i>)、多齿长尾槭(<i>Acer caudatum</i>)、红桦(<i>Betula albosinensis</i>)、稠李(<i>Padus racemosa</i>)、麦吊云杉(<i>Picea brachytyla</i>)、岷江冷杉(<i>Abies faxoniana</i>)、西蜀丁香(<i>Syringa komarovii</i>)、八仙花(<i>Hydrangea macrophylla</i>)、桦叶莢蒾(<i>Viburnum betulifolium</i>)、野花椒(<i>Zanthoxylum simulans</i>)
	2 619	红桦(<i>Betula albosinensis</i>)、麦吊云杉(<i>Picea brachytyla</i>)、稠李(<i>Padus racemosa</i>)、糙皮桦(<i>Betula utilis</i>)、藏刺榛(<i>Corylus ferox</i>)、山櫻桃(<i>Cerasus tomentosa</i>)、牛奶子(<i>Elaeagnus umbellata</i>)、皂柳(<i>Salix wallichiana</i>)、桦叶莢蒾(<i>Viburnum betulifolium</i>)、秦岭木姜子(<i>Litsea tsinlingensis</i>)、缺苞箭竹(<i>Fargesia denudata</i>)
	2 710	多齿长尾槭(<i>Acer caudatum</i>)、椴树(<i>Tilia tuan</i>)、山櫻桃(<i>Cerasus tomentosa</i>)、岷江冷杉(<i>Abies faxoniana</i>)、山梅花(<i>Philadelphus incanus</i>)、八仙花(<i>Hydrangea macrophylla</i>)、多花薔薇(<i>Rosa multiflora</i>)、锐齿臭櫻(<i>Maddenia inciserrata</i>)
	2 816	红桦(<i>Betula albosinensis</i>)、糙皮桦(<i>Betula utilis</i>)、桦叶莢蒾(<i>Viburnum betulifolium</i>)、缺苞箭竹(<i>Fargesia denudata</i>)、牛奶子(<i>Elaeagnus umbellata</i>)
	2 912	红桦(<i>Betula albosinensis</i>)、多齿长尾槭(<i>Acer caudatum</i>)、椴树(<i>Tilia tuan</i>)、华北珍珠梅(<i>Sorbaria kirilowii</i>)、唐古特忍冬(<i>Lonicera tangutica</i>)、缺苞箭竹(<i>Fargesia denudata</i>)
	3 000	岷江冷杉(<i>Abies faxoniana</i>)、糙皮桦(<i>Betula utilis</i>)、红桦(<i>Betula albosinensis</i>)、茶藨子(<i>Ribes nigrum</i>)、陕甘花楸、唐古特忍冬(<i>Lonicera tangutica</i>)、缺苞箭竹(<i>Fargesia denudata</i>)
	3 109	岷江冷杉(<i>Abies faxoniana</i>)、糙皮桦(<i>Betula utilis</i>)、山核桃(<i>Juglans cathayensis</i>)、四川忍冬(<i>Lonicera szechuanica</i>)、茶藨子(<i>Ribes nigrum</i>)、缺苞箭竹(<i>Fargesia denudata</i>)、华北珍珠梅(<i>Sorbaria kirilowii</i>)、唐古特忍冬(<i>Lonicera tangutica</i>)、山生柳(<i>Salix oritrepha</i>)
	3 216	高山杜鹃(<i>Rhododendron lapponicum</i>)、花楸(<i>Sorbus alnifolia</i>)、岷江冷杉(<i>Abies faxoniana</i>)、龙柏(<i>Sabina chinensis</i>)、扁刺薔薇(<i>Rosa sweginzowii</i>)、针刺悬钩子(<i>Rubus pungens</i>)、华西茶藨子(<i>Ribes maximowiczii</i>)、四川忍冬(<i>Lonicera szechuanica</i>)
	3 336	忍冬(<i>Lonicera japonica</i>)、烈香杜鹃(<i>Rhododendron anthopogonoides</i>)、银露梅(<i>Potentilla glabra</i>)、铺地柏(<i>Sabina procumbens</i>)

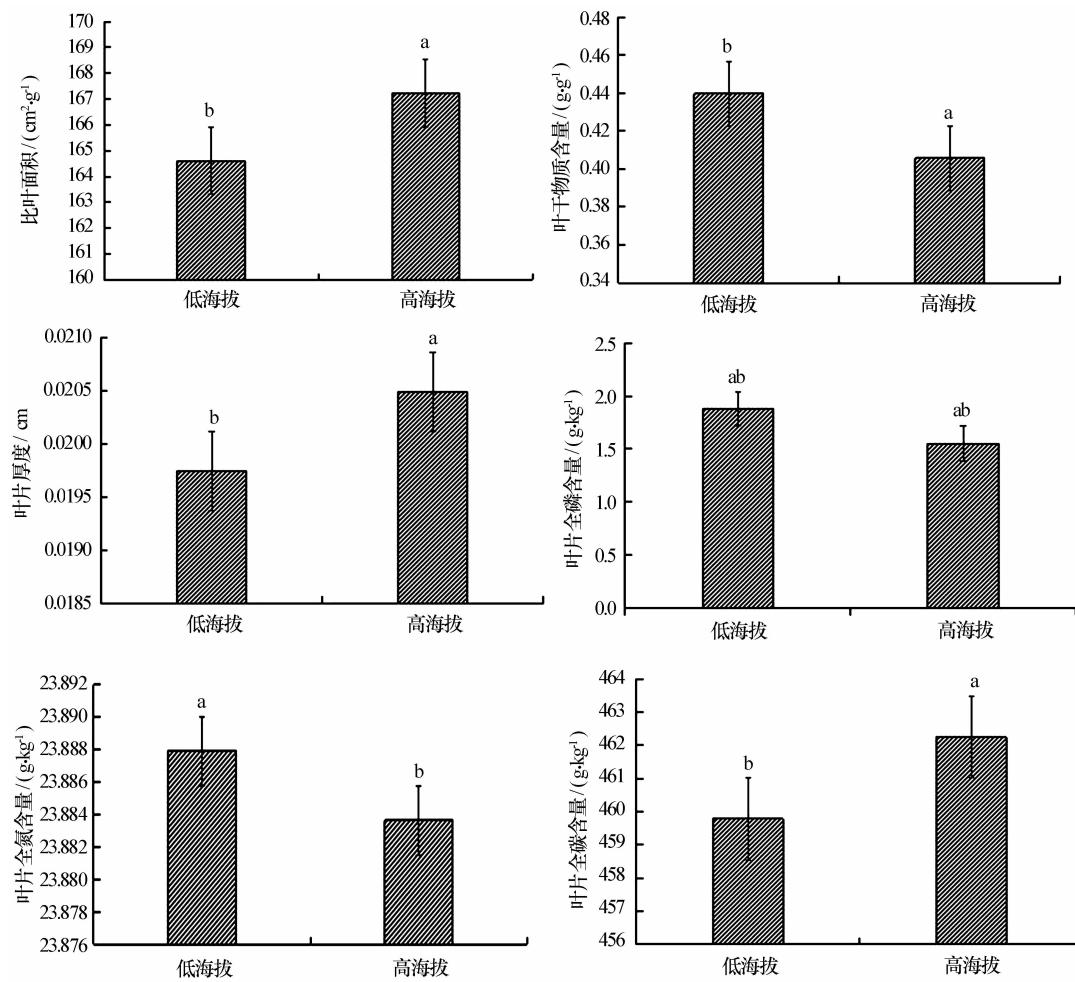


图1 植物功能性状对海拔的响应

Fig. 1 The response of plant functional traits to altitude gradient

TNC、TPC都是高海拔低于低海拔,且 TPC 的差异性不显著。低海拔区的 LDMC 较高,这就反映了低海拔区木本植物生态行为差异显著以及获取资源的能力较强。氮的增加可以提高植物对水分的利用效率,所以低海拔区的木本植物对水分的利用效率较高。正是这些功能性状的组合变化使得植物更好地适应高海拔环境以及多变的环境。

2.2 高海拔区植物功能性状的变异及关联

在高海拔区(2 100~3 400 m),SLA 随海拔的升高呈降低趋势(图 2)。与 SLA 相同的是,TNC 和 TPC 也随海拔的升高呈现降低的趋势,与 SLA 变化相反的是,LDMC 随海拔高度的升高呈现增加的趋势,并且在高海拔区内,LT 也随着海拔的升高呈现增加的趋势,其变化趋势较 LDMC 明显。与 LT 和 LDMC 相同的是,TCC 随海拔的升高呈增加的趋势。如表 2 所列,SLA 除与 TPC 相关性不显

著外,与 LDMC、LT 和 TCC 均极显著负相关($P < 0.01$),且与 TNC 极显著($P < 0.01$)正相关。LDMC 也与 LT 和 TCC 极显著正相关($P < 0.01$),而与 TNC 极显著负相关($P < 0.01$)。LT 与 TCC 极显著正相关($P < 0.01$),且与 TNC 极显著负相关($P < 0.01$)。TPC 与 TNC 极显著的正相关($P < 0.01$),而与 TCC 显著的负相关($P < 0.05$)。TNC 与 TCC 极显著的负相关($P < 0.01$)。

2.3 低海拔区植物功能性状的变异及关联

与高海拔区(2 100~3 400 m)相同的是,在低海拔区(700~1 500 m),比叶面积(SLA)随海拔的升高也呈降低趋势且低海拔区降低的趋势较高海拔区显著(图 3)。与 SLA 变化相反的是,LDMC 随海拔的升高呈现增加的趋势,并且最大值(0.48)出现在 812 m 处,LDMC 的最小值(0.38)出现在 707 m 处,但与高海拔区相比,LDMC 随海拔升高增加的

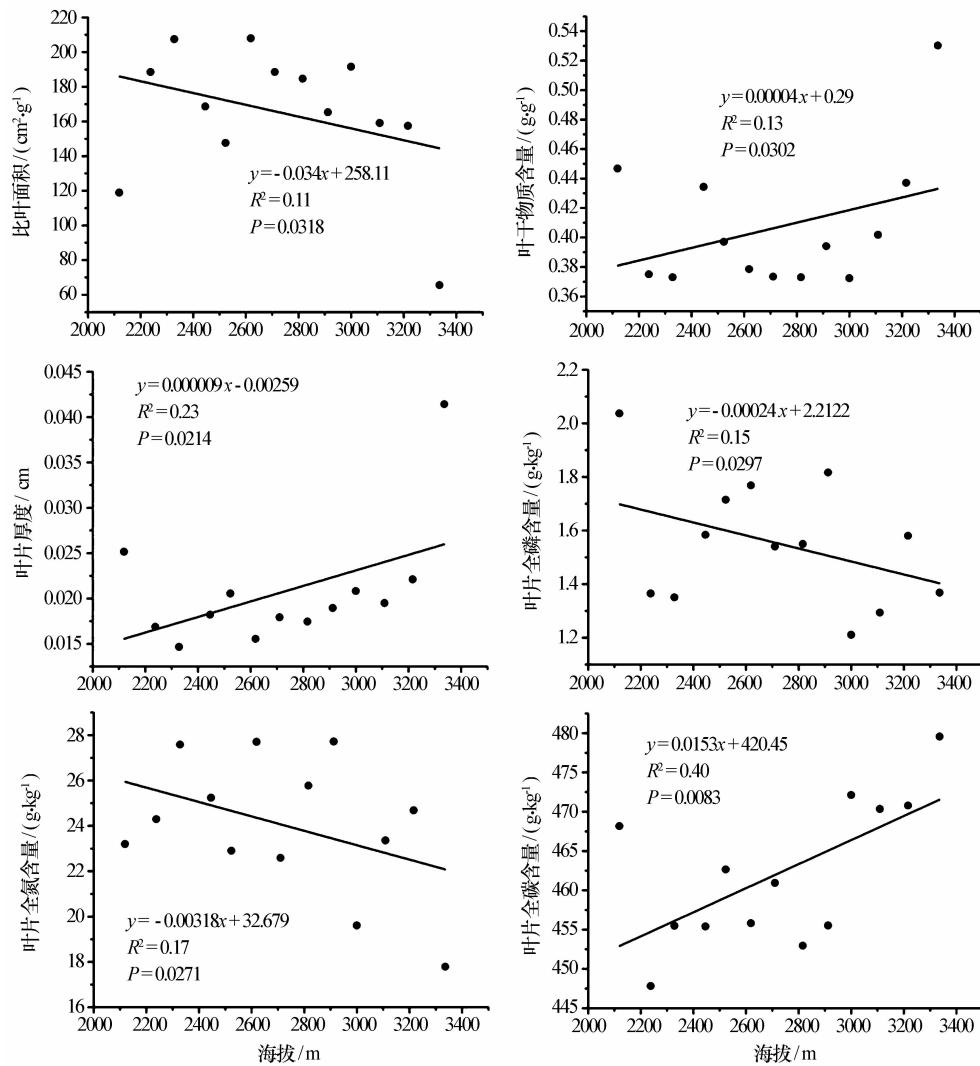


图2 高海拔区植物功能性状随海拔的变化趋势

Fig. 2 The change trend of plant functional traits with the altitude gradient in the high altitude area

表2 高海拔区植物功能性状的相关性分析

Table 2 Correlation analysis of plant functional traits in high altitude area

	SLA	LDMC	LT	TPC	TNC	TCC
SLA	1					
LDMC	-0.795 **	1				
LT	-0.725 **	0.567 **	1			
TPC	0.076	-0.154	-0.096	1		
TNC	0.380 **	-0.412 **	-0.454 **	0.337 **	1	
TCC	-0.510 **	0.566 **	0.522 **	-0.196 *	-0.352 **	1

** 表示在 0.01 水平上相关; * 表示在 0.05 水平上相关; 比叶面积(SLA)、叶干物质含量(LDMC)、叶片磷含量(TPC)、氮含量(TNC)、碳含量(TCC)以及叶片厚度(LT)。

趋势较低海拔区明显。在低海拔区内, LT 也随着海拔的升高呈现增加的趋势, 其趋势也较 LDMC 明显。低海拔区 TCC 和高海拔区 TCC 都随海拔的升高呈增加的趋势, 但低海拔区增加的趋势极不显著。

而低海拔区 TNC 和 TPC 随海拔的变化恰恰与高海拔区相反, 均随海拔的增加呈升高趋势, 但升高趋势不明显。对低海拔区木本植物功能性状的相关性分析表明(表3), 与高海拔区相同的是, SLA 也与

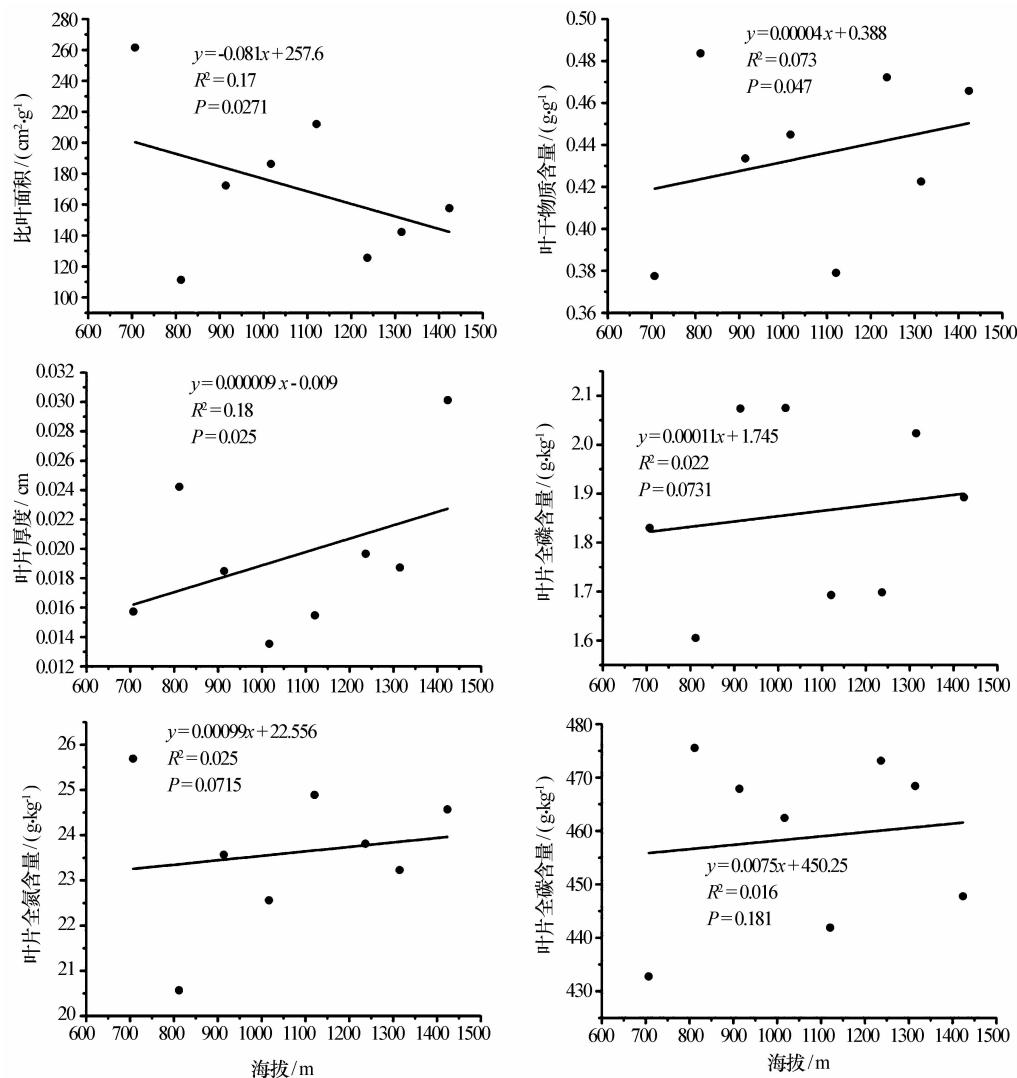


图3 低海拔区植物功能性状随海拔的变化趋势

Fig. 3 The change trend of plant functional traits with the altitude gradient in low altitude area

表3 低海拔区植物功能性状的相关性分析

Table 3 Correlation analysis of plant functional traits in low altitude area

	SLA	LDMC	LT	TPC	TNC	TCC
SLA	1					
LDMC	-0.794 **	1				
LT	-0.666 **	0.548 **	1			
TPC	0.157	-0.236	-0.058	1		
TNC	0.047	-0.129	-0.05	0.182	1	
TCC	-0.362 **	0.336 **	-0.071	0.004	-0.056	1

** 表示在 0.01 水平上相关; * 表示在 0.05 水平上相关; 比叶面积(SLA)、叶干物质含量(LDMC)、叶片磷含量(TPC)、氮含量(TNC)、碳含量(TCC)以及叶片厚度(LT)。

TPC 的相关性不显著, 同时也与 TNC 的相关性不显著, 但与 LDMC、LT 和 TCC 均极显著负相关($P < 0.01$)。与高海拔区相同的是, LDMC 也与 LT 和 TCC 极显著的正相关($P < 0.01$), 同时也与 TPC

没有相关性。

3 结论与讨论

海拔是限制植物温度和水分的主要环境因子,

因此随着海拔的变化植物的叶片功能性状变化较为敏感^[11-13]。在高海拔区,比叶面积随海拔的升高呈降低趋势。与高海拔区相同的是,在低海拔区,比叶面积随海拔的升高也呈降低趋势且低海拔降低的趋势较高海拔区降低的趋势显著,Reich等^[14]和Hultine等^[15]的研究都证实了这一结论。与SLA变化相反的是,LDMC和LT都随海拔高度的升高呈现增加的趋势,且LDMC和LT随海拔升高增加的趋势较低海拔区明显。Craine等^[16]发现,新西兰岛上118种植物的叶片厚度随着海拔的升高而逐渐增加。低海拔区TCC和高海拔区TCC都随海拔的升高呈增加的趋势,但低海拔区增加的趋势极不显著。低海拔区TNC和TPC随海拔的变化与高海拔区相反,TNC和TPC在高海拔区随海拔的增加呈降低的趋势,而在低海拔区随着海拔的升高呈增加的趋势。低海拔区的结论与张月强^[17]的结论一致,而高海拔区的变化趋势相反这更进一步表明了研究区木本植物功能性状在高低海拔区存在着明显的差异性,且植物功能性状的这些变化都是研究区木本植物对环境异质性长期适应的结果。

不管是高海拔区还是低海拔区,SLA与LDMC极显著负相关,Wilson等^[18]和Wright等^[19]的研究也证实这一结论。SLA与LT呈极显著的负相关,LDMC与LT呈极显著的正相关,而杨锐等^[20]关于元谋干热河谷植物功能性状组合对海拔响应的研究表明SLA与LT显著正相关,LDMC与LT极显著负相关。SLA与TNC极显著正相关,Wilson等^[18]的研究也表明SLA与TNC极显著正相关。LT与TCC极显著正相关,且与TNC极显著负相关。TPC与TNC极显著正相关,说明研究区木本植物体内氮元素和磷元素存在着动态平衡,具有协同性和共变性,当其中一种元素发生变化时,另一种元素也会随之发生变化。TPC与TCC显著负相关,TNC与TCC极显著负相关。与高海拔区相同的是,SLA与LDMC、LT和TCC均极显著负相关。LDMC也与LT和TCC呈极显著的正相关,但与TPC没有相关性。高海拔区木本植物功能性状相互间的关联性较低海拔区显著。

参考文献:

- [1] Zuo X,Zhang J,Zhou X,et al. Changes in carbon and nitrogen storage along a restoration gradient in a semiarid sandy grassland[J]. *Acta Oecologica*,2015,69:1-8.
- [2] Zuo X,Wang S,Lv P,et al. Plant functional diversity enhances associations of soil fungal diversity with vegetation and soil in the restoration of semiarid sandy grassland[J]. *Ecology and Evolution*,2016,6(1):318-328.
- [3] 周欣,左小安,赵学勇,等.科尔沁沙地中南部34种植物叶功能性状及其相互关系[J].中国沙漠,2015,35(6):1489-1495.
- [4] 周欣,左小安,赵学勇,等.科尔沁沙地植物功能性状的尺度变异及关联[J].中国沙漠,2016,36(1):20-26.
- [5] 朱媛君,杨劫,万俊华,等.毛乌素沙地丘间低地主要植物叶片性状及其相互关系[J].中国沙漠,2015,35(6):1496-1504.
- [6] Zuo X A,Wang S K,Zhao X Y,et al. Scale dependence of plant species richness and vegetation-environment relationship along a gradient of dune stabilization in Horqin Sandy Land, Northern China[J]. *Journal of Arid Land*,2014,6(3):334-342.
- [7] 袁亚鹏,赵阳,赵传燕,等.黑河下游不同生境胡杨(*Populus euphratica*)叶片碳同位素组成特征[J].中国沙漠,2015(6):1505-1511.
- [8] Schwoertzig E,Poulin N,Hardion L,et al. Plant ecological traits highlight the effects of landscape on riparian plant communities along an urban-rural gradient[J]. *Ecological Indicators*,2016,61:568-576.
- [9] 戚鹏程.白水江国家级自然保护区植物区系的垂直分异规律研究[D].兰州:西北师范大学,2005.
- [10] 张可荣,黄华梨,杨文云.甘肃白水江国家级自然保护区生物多样性概况及保护策略[J].甘肃林业科技,2002,27(2):19-22.
- [11] Arndt S K. Integrated research of plant functional traits is important for the understanding of ecosystem processes [J]. *Plant and Soil*,2006,285(1/2):1-3.
- [12] Mao R,Zhang X,Song C. Effects of nitrogen addition on plant functional traits in freshwater wetland of Sanjiang Plain, Northeast China[J]. *Chinese Geographical Science*,2014,24(6):674-681.
- [13] Venn S E,Green K,Pickering C M,et al. Using plant functional traits to explain community composition across a strong environmental filter in Australian alpine snowpatches [J]. *Plant Ecology*,2011,212(9):1491-1499.
- [14] Reich P B,Uhl C,Walters M B,et al. Leaf lifespan as a determinant of leaf structure and function among 23 Amazonian tree species[J]. *Oecologia*,1991,86(1):16-24.
- [15] Hultine K R,Marshall J D. Altitude trends in conifer leaf morphology and stable carbon isotope composition[J]. *Oecologia*,2000,123(1):32-40.
- [16] Craine J M,Lee W G. Covariation in leaf and root traits for native and non-native grasses along an altitudinal gradient in New Zealand[J]. *Oecologia*,2003,134(4):471-478.
- [17] 张月强.探究泰山木本植物功能性状间的关系及对环境因子的响应[D].济南:山东大学,2014.
- [18] Wilson P J,Thompson K E N,Hodgson J G. Specific leaf area and leaf dry matter content as alternative predictors of plant strategies[J]. *New phytologist*,1999,143(1):155-162.
- [19] Wright I J,Cannon K. Relationships between leaf lifespan and

structural defences in a low-nutrient, sclerophyll flora [J].
Functional Ecology, 2001, 15(3): 351—359.

[20] 杨锐, 张博睿, 王玲玲, 等. 元谋干热河谷植物功能性状组合的海拔梯度响应[J]. 生态环境学报, 2015, 24(1): 49—56.

Variation and Correlation of Leaf Traits in Woody Plants in the North-facing Slope of Motianling, Gansu, China

Li Zongjie, Tian Qing, Song Lingling

(College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: This research investigated the species composition of 21 woody plants in the low altitude area (700—1 500 m) dominated by evergreen broad-leaved forest and deciduous broad-leaved forest and the high altitude areas(2 100—3 400 m) dominated by coniferous and broad-leaved mixed forest and subalpine coniferous forest in the Motianling northern-facing slope and determined six plant functional traits such as the leaf area (*SLA*), leaf dry matter content (*LDMC*), leaf phosphorus content (*TPC*) and nitrogen content (*TNC*), carbon content (*TCC*) and leaf thickness (*LT*) for 104 species. This paper discussed variation and correlation of woody plant functional traits of Motianling North-facing slope using correlation analysis. The results showed that: (1) *SLA*, *LT* and *TCC* in high altitude area were significantly higher than those in low altitude area. On the contrary, *LDMC* and *TNC* were higher in the low altitude area. (2) *SLA* showed a decreasing trend with the increase of altitude gradient. In contrast to *SLA*, both *LDMC* and *LT* showed an increasing trend with the increase of altitude. *TCC* showed an increasing trend with the increase of altitude in high and low altitude area. And the change of *TNC* and *TPC* in the low altitude area with the altitude gradient was opposite to the high altitude area. *TNC* and *TPC* showed a decreasing trend with the increase of altitude gradient in high altitude area and showed an increasing trend with the increase of altitude in the low altitude area. (3) Whether the high altitude areas or low altitude areas, there was extremely significant negative correlation ($P < 0.01$) between *SLA* and *LDMC*, *LT* and *TCC*. And there was very significant positive correlation ($P < 0.01$) between *LDMC* and *LT*, *TCC*, too. The relationship between leaf function of woody plant traits and different altitudes on the northern slope of the ridge ferris, which reflected the different leaf functional traits of woody plants in the region to the coordinated response and adaptation for environmental heterogeneity determined by elevation.

Key words: functional traits; variation and correlation; altitudinal gradient; Motianling