北京周边山地苔草属和委陵菜属植物功能性状*

李 丹**

(中国水产科学研究院, 北京 100141)

摘 要 植物功能性状可有效反映植物代谢活动、生物化学组成以及养分吸收等特征。本研究通过分析北京周边山地苔草属和委陵菜属植物的功能性状数据,得出结论如下:(1)植株高度、叶长度、叶宽度、花长度、比叶面积和叶片氮、磷含量之间具有正相关的关系,叶厚度、叶干重与其他性状呈负相关。(2)系统进化因素是导致植株高度、叶长度和叶片总氮含量产生差异性的内在因素。(3)随着海拔升高,植株变矮小,花朵变小,叶片变窄,比叶面积更小,叶片总氮、总磷也变少,叶片变得更厚更重。综合来看,海拔和系统进化对苔草属和委陵菜属功能性状的影响基本相同,只有比叶面积与系统进化的关系在两属中出现差异。

关键词 植物功能性状; 系统进化; 海拔; 苔草属; 委陵菜属

中图分类号 Q89 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2013)8-2023-06

Plant functional traits of *Carex* and *Potentilla* around Beijing mountainous areas. LI Dan** (*Chinese Academy of Fishery Sciences*, *Beijing* 100141, *China*). *Chinese Journal of Ecology*, 2013, **32**(8): 2023-2028.

Abstract: Plant functional traits can effectively reflect the plant metabolism activities, biochemical components, and nutritional absorption. This paper analyzed the plant functional traits of *Carex* and *Potentilla* around Beijing mountainous areas, and the results showed that the plant height, leaf length, leaf width, flower length, specific leaf area (SLA), and leaf total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) contents had positive correlations with each other, and the leaf thickness and leaf weight had negative correlations with the other traits. Phylogenetic information affected the plant height, leaf length, and leaf TN content. With the increase of altitude, the plant height, leaf length, leaf width, flower length, SLA, and leaf TN and TP contents decreased, while the leaf thickness and leaf weight increased. Altitude and phylogenetic information had the same effects on the functional traits of *Carex* and *Potentilla*, only the relationships between SLA and phylogenetic information had differences.

Key words: plant functional traits; phylogeny; altitude; *Carex*; *Potentilla*.

植物功能性状是指与植物对资源的吸收、利用和保持有关的生理生态指标(孟婷婷等,2007),能够响应生存环境的变化并对生态系统功能有一定影响。作为可以量化的植物特征,植物功能性状不仅能够反映植物代谢活动、生物化学组成等各个方面,也是进行植物分类和划分植物功能群的重要指标(冯秋红等,2008)。

植物功能性状之间、功能性状与海拔和系统进化都具有一定的相关关系。近年来,大尺度的研究发现,叶片氮、磷元素含量和比叶面积之间存在显著的正相关关系(Juhrbandt,2004;Wright *et al.*,2004;Reich *et al.*,2010),而它们与叶厚度、叶干重负相关(Körner, 1989; Reich *et al.*, 1992, 1998; Wilson *et al.*,1999),在养分贫瘠的环境中常形成厚度较大而面积较小的叶片(李晓兰等,2005)。系统进化是影响功能性状的内在因素(王荷生等,1999),内蒙古、西藏和新疆地区常见植物有超过70%的叶片总氮和碳氮比是由遗传因素决定的,没有随季温和降水的变化产生明显差异(He *et al.*,2008)。功能性状随海拔的变化也具有规律性,海拔增加会使植株变矮、叶面积变小(Craine,2003),叶片变厚(潘红丽等,2009),叶和根的氮含量降低(陈拓等,2003;樊宝丽等,2008),而生长在高海拔地区的植物为了增

*中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(2012C022)资助。
**通讯作者 E-mail: lidan0617@live.com
收稿日期: 2013-01-30 接受日期: 2013-05-17

加繁殖成功率,通常表现出花期长、花朵大的特点(Zhu,2009)。

苔草属(*Carex*)和委陵菜属(*Potentilla*)植物是北京周边山地常见草本植物,研究表明,该地区植物叶片 C、N、P 含量彼此显著相关(韩文轩等,2009),但具体到此两属植物,其功能性状与海拔及系统进化之间关系研究未见报道。鉴于此,本文以北京周边山地苔草属和委陵菜属植物为研究对象,对功能性状之间关系、性状与系统进化和海拔之间关系进行分别探讨,总结其规律性。由于苔草属和委陵菜属植物广泛分布于北方山地,且分属于单子叶和双子叶植物纲,因此研究结果将具有较高的代表性。

1　材料与方法

1.1　数据来源

样本采集自北京东灵山及喇叭沟门地区海拔 500 ~ 2000 m,共获得苔草属 37 个种和委陵菜属 23 个种样本,每种采集 5 个平行样。采样点平均气温为 20 ~ 25℃,采样时利用 GPS 记录采样点精确海拔。样本采回后,用尺测量植物样本的植株高度、叶长度、叶宽度、花长度,用叶片厚度测量仪测量叶厚度,将叶片烘干后借助分析天平称量叶干重,并利用坐标纸估算叶面积,进而计算得到比叶面积,叶片总氮、总磷数据通过碱性过硫酸钾紫外分光光度法和钼酸铵分光光度法获得。

苔草属 37 个种和委陵菜属 23 个种的系统进化信息树在 BIOLFLOR 数据库(www. ufz. de/biolflor)查询,分别建立苔草属和委陵菜属的系统进化信息树,显示种间的亲缘关系情况。

1.2　研究方法

对苔草属和委陵菜属叶功能性状间的关系进行 Pearson 相关检验,分析各功能性状间的相关性。

根据系统进化信息树将苔草属和委陵菜属植物按亲缘关系远近聚类分组。具体方法是为系统进化信息树赋值,亲缘关系近的分为一组,组号之差即为系统进化距离。对同组的种各植物功能性状取平均值,再计算不同组植物功能性状之间的欧氏距离,最后将系统进化距离和功能性状距离进行相关分析,考察二者的相似程度,若二者具有显著的相关性,则说明植物亲缘关系的远近会导致植物功能性状的差异性。

对海拔与功能性状之间的线性关系做散点图,分析变化趋势。计算过程在 SPSS 和 EXCEL 软件系统下完成。

2　结果与分析

2.1　功能性状之间的关系

苔草属各功能性状间相关系数如表 1,叶长度、叶宽度、穗长度随植株高度的增加而增加($P<0.01$),叶片总氮、总磷含量也有同样规律($P<0.05$),其中植株高度与叶长度、总磷和总氮的相关性最好。叶厚度、叶干重与其他功能性状负相关。

表 1　苔草属各功能性状间的相关系数
Table 1　Pearson coefficients between plant functional traits of *Carex*

苔草属	植株高度	叶长度	叶宽度	穗长度	叶厚度	叶片干重	比叶面积	总氮
叶长度	0.980**							
叶宽度	0.545**	0.542**						
穗长度	0.462**	0.436**	0.783**					
叶厚度	-0.170	-0.166	-0.703**	-0.585**				
叶片干重	-0.200	-0.194	-0.525**	-0.675**	-0.611**			
比叶面积	0.077	0.097	0.307	0.474**	-0.511**	-0.622**		
总氮	0.414*	0.377*	0.624**	0.679**	-0.548**	-0.453**	0.486**	
总磷	0.370*	0.349*	0.735**	0.665**	-0.715**	-0.524**	0.469**	0.833**

** $P<0.01$, * $P<0.05$。

表 2　委陵菜属各功能性状之间的相关系数
Table 2　Pearson coefficients between plant functional traits of *Potentilla*

委陵菜属	植株高度	叶长度	叶宽度	花直径	叶片干重
叶长度	0.731**				
叶宽度	0.800**	0.839**			
花直径	0.327	0.662**	0.515*		
叶片干重	-0.415*	-0.532**	-0.572**	-0.795**	
比叶面积	0.463*	0.516*	0.403	0.650**	-0.660**

** $P<0.01$, * $P<0.05$。

委陵菜属功能性状间相关系数如表 2。叶长度、叶宽度、比叶面积均随植株高度的增加而增加,叶干重随植株高度的增加而减小,比叶面积与花直径正相关。这与苔草属分析得出的结论基本相同。

2.2　功能性状与系统进化的关系

按照苔草属的系统进化信息树聚类赋值,将苔草属 37 个种归为 18 类。

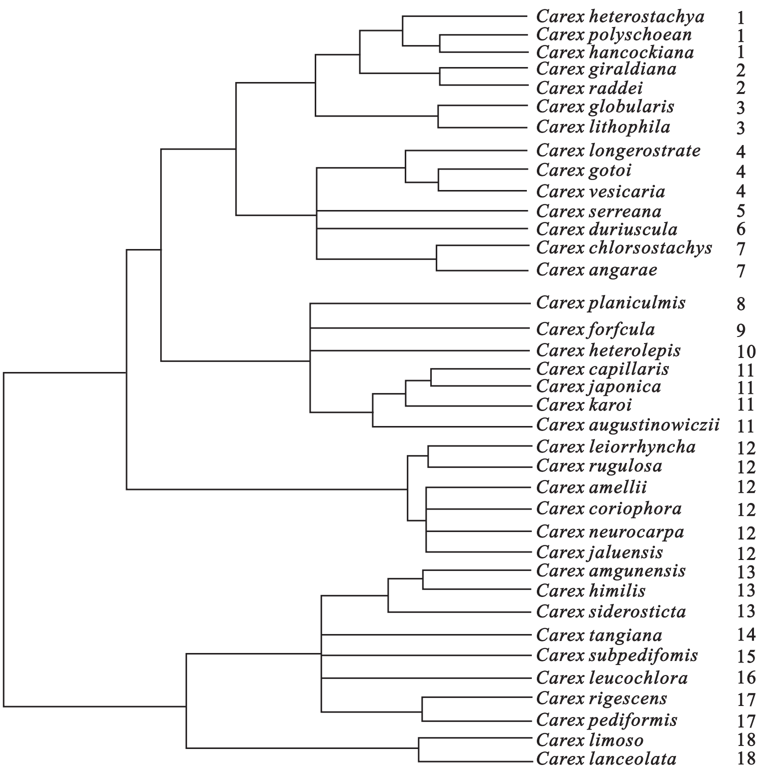

图 1　苔草属进化信息树

Fig. 1　Phylogenetic information tree of *Carex*

表 3　苔草属功能性状距离与系统进化距离相关系数

Table 3　Pearson coefficients between Euclidean distance of plant functional traits and phylogeny distance for *Carex*

	植株高度	叶长度	叶宽度	叶厚度	穗长度	叶片干重	比叶面积	总氮	总磷
苔草属系统进化距离	0.933**	0.940**	0.018	0.015	0.229	0.090	0.123	0.942**	0.328

** $P<0.01$。

各功能性状分别的欧氏距离计算结果显示,植株高度、叶长度和总氮的变化与系统进化信息密切相关,亲缘关系越近,植株高度、叶长度和总氮组间的距离值就越小。由表 3 可知,植株高度、叶长度和叶片总氮含量各组别之间的欧氏距离值与系统进化距离之间的相关系数较高,这说明物种之间的亲缘关系越近,植株高度、叶长度和叶片总氮含量的差异就越小,其他功能性状的变化与系统进化关系不大。系统进化因素是导致苔草属植株高度、叶长度和叶片总氮含量产生差异性的重要因素。

按照委陵菜属的系统进化信息树聚类赋值,将委陵菜属 24 个种归为 12 类。根据欧氏距离计算结果,植株高度、叶长度、比叶面积的变化与系统进化信息相关。由表 4 可知,系统进化因素是导致委陵菜属植株高度、叶长度和比叶面积产生差异性的重要因素。与苔草属的结论不同,委陵菜属比叶面积与系统进化距离表现出明显的相关性。

表 4　委陵菜属功能性状距离与系统进化距离相关系数

Table 4　Pearson coefficients between Euclidean distance of plant functional traits and phylogeny distance for *Potentilla*

	植株高度	叶长度	叶宽度	穗长度	叶片干重	比叶面积
苔草属系统进化距离	0.876**	0.717**	0.346	0.450	0.162	0.951**

** $P<0.01$。

2.3　功能性状与海拔的关系

由图 1 可知,苔草属叶宽度、穗长度、比叶面积、叶片总氮、总磷含量都随海拔的升高有减小的趋势,叶厚度、叶片干重则随着海拔的升高而增加,散点图趋势明显。植株高度和叶长度也随海拔升高而减小,但规律性稍差。

委陵菜属植株高度、叶长度、叶宽度、花直径和比叶面积都随海拔的增加而减小,叶干重随海拔的增加而增加。委陵菜属功能性状样本点比较分散,但仍具有与苔草属相同的规律性。

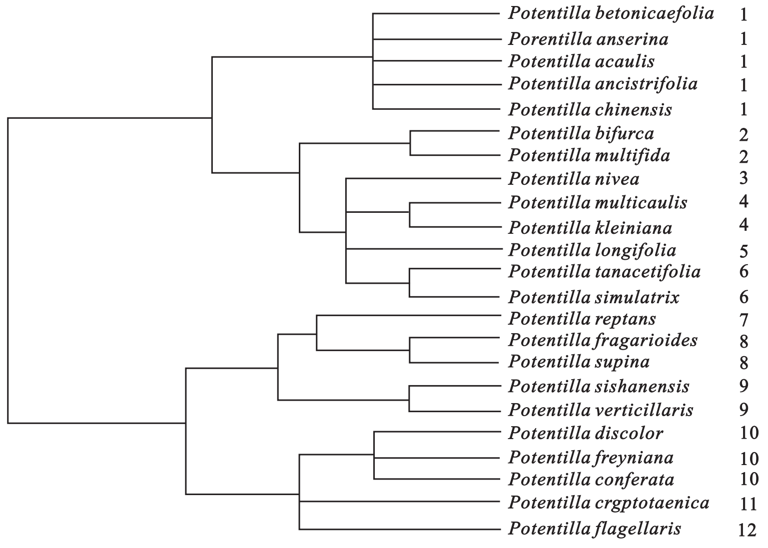

图 2　委陵菜属进化信息树
Fig. 2　Phylogenetic information tree of *Potentilla*

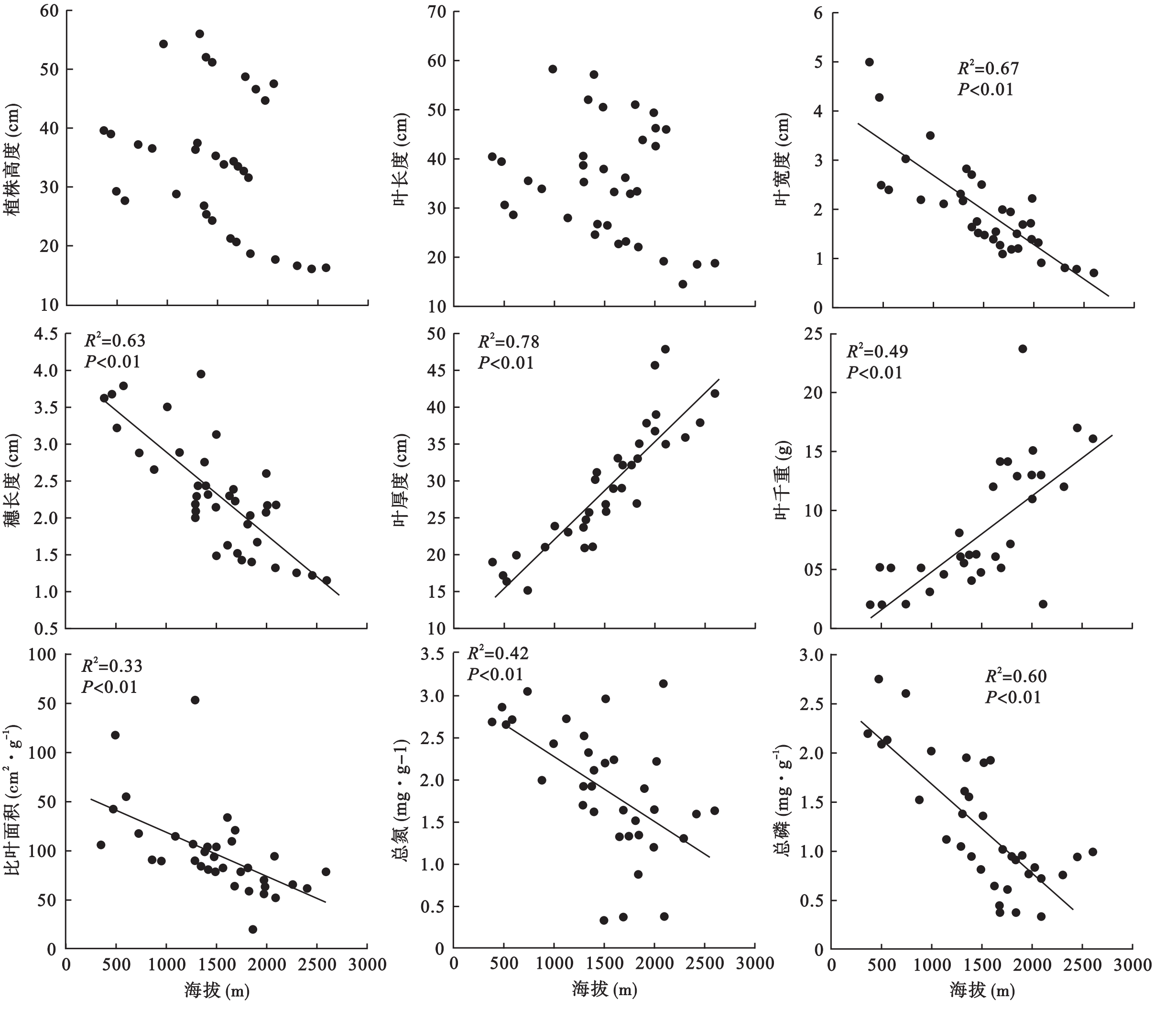

图 3　苔草属各功能性状与海拔关系
Fig. 3　Relationship between plant functional traits of *Carex* and elevation

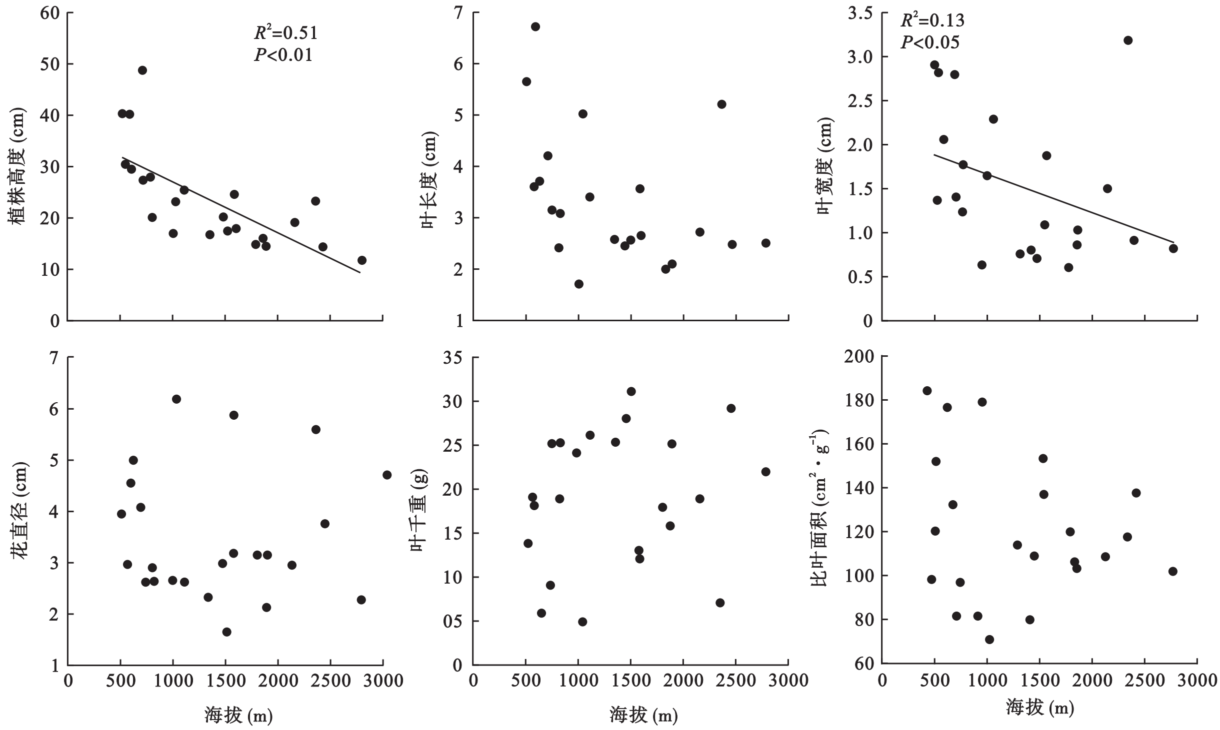

图 4　委陵菜属各功能性状与海拔关系

Fig. 4　Relationship between plant functional traits of *Potentilla* and elevation

3　讨　论

本文基本证实了前人的研究结论,进一步阐明了植物功能性状变化的一般规律性。叶片长度、叶宽度、花长度基本都有与比叶面积正相关,与叶干重负相关(Sterner & Elser,2002)的关系。在海拔较高、养分相对贫瘠的环境下常形成厚度较大而面积较小的叶片(Reich *et al*.,1998),而比叶面积与叶氮、磷含量正相关,与土壤中的氮磷供给也显著相关(Ordonez *et al*.,2009)。本研究表明,叶片厚度与植株高度、叶大小、比叶面积呈显著负相关,这与对科尔沁沙地植物及南亚热带植物的研究结果相同(刘金环,2006;曾小平,2006)。根据本文对苔草属和委陵菜属植物功能性状的研究及前人对不同种植物的研究结果,总结出植物功能性状的相关性规律,即植株高度与叶长度、叶宽度、花长度、比叶面积、总氮和总磷之间具有正相关关系,与叶干重、叶厚度具有负相关关系。这与植物叶片本身的生长机制有关,各项指标之间保持密切的相关性,是植物在生长期间自我调节的表现(冯秋红等,2008),可以保证植株在不同的环境下维持正常的生长。系统进化因素对功能性状的影响机制尚存在争议,Ackerly 等(2000)认为,常绿植物的比叶面积和氮磷含量是由系统进化因素主要决定的;McGroddy 等(2004)则认为,这是植物对环境因素的生理或生物地化响应。本研究认为,植株高度、叶长度、总氮这 3 个功能性状受系统进化因素的影响较大,其中苔草属规律性更为明显。Elser 等(2001)和 Woods 等(2003)分别对落叶阔叶和常绿植物进行研究,得出系统进化因素会造成比叶面积显著性差异的结论,这与本文对委陵菜属植物的研究结果相吻合,苔草属则无此规律,这体现出单子叶植物和双子叶植物的差异。关于系统进化因素对植物功能性状影响规律的结论有待在其余不同种植物中进行推广和验证。另外,本研究显示,随着海拔升高,植株变矮小,花朵变小,叶片变窄,比叶面积更小,叶片总氮、总磷也变少,叶片变得更厚更重。主要原因为高海拔地区环境相对恶劣,因此,植物会长得更矮,叶片更小,花朵也更小(Fonseca,2000)。也有学者认为,虫媒花在高海拔条件下趋于增大花的直径,以吸引传粉者(Zhu,2009),这一结论在本文对委陵菜属植物的分析中并未得到证实,有待对更多种植物进行进一步比较研究。此外,植物为了尽可能储存更多的养分,表现为叶干重增加,叶片生长时趋于增厚(祁建,2007),同时叶面积也尽量缩小以减少呼吸作用和养分的消耗(陈飞宇,2006)。

本研究中,苔草属测量9个功能性状,委陵菜属测量6个,这是由于实验条件限制叶片厚度、叶片总氮总磷没有测量,导致研究结果不够全面,下一步研究中将补充相关数据。由于采样条件的限制,在考虑环境条件对功能性状影响时,仅分析了海拔,今后还可以考虑坡向、温度、湿度等环境因素对功能性状的影响。此外,在本研究中,系统进化因素和环境因素对植物功能性状的影响是分别讨论的,但实际上二者共同作用于功能性状,很难将它们的影响完全区分。He 等(2006)用方差分解的方法分析了环境因子和系统进化因素对木本植物的独立影响,Ackerly 和 Reich(1999)运用独立比较的方法将系统进化信息与环境因子综合到分析过程中,得出叶片大小与叶寿命没有显著关系的结论。未来研究可考虑采用类似的方法,总结出北京周边山地苔草属和委陵菜属植物功能性状受环境因子和系统进化因素综合影响的一般规律。

致 谢 北京师范大学生命科学学院刘全儒老师在采集苔草属和委陵菜属植物功能性状数据时给予了很大帮助,特此致谢。

参考文献

陈 拓, 杨梅学, 冯虎元, 等. 2003. 青藏高原北部植物叶片碳同位素组成的空间特征. 冰川冻土, **25**(1): 84-87.

陈飞宇, 罗天祥. 2006. 江西九连山常绿阔叶林主要树种叶建成消耗的比较. 生态学报, **26**(8): 2485-2493.

樊宝丽, 孟金柳, 赵志刚, 等. 2008. 海拔对青藏高原东部毛茛科植物繁殖特征和资源分配的影响. 西北植物学报, **28**(4): 805-811.

冯秋红, 史作民, 董莉莉. 2008. 植物功能性状对环境的响应及其应用. 林业科学, **44**(4): 125-131.

韩文轩, 吴 漪, 汤璐瑛, 等. 2009. 北京及周边地区植物叶的碳氮磷元素计量特征. 北京大学学报(自然科学版), **45**(5): 855-860.

李晓兰, 李雪华. 2005. 科尔沁沙地22种菊科草本植物叶片形态特征研究. 生态学杂志, **24**(12): 1397-1401.

刘金环, 曾德慧, Lee DK. 2006. 科尔沁沙地东南部地区主要植物叶片性状及其相互关系. 生态学杂志, **25**(8): 921-925.

孟婷婷, 倪 健, 王国宏. 2007. 植物功能性状与环境和生态系统功能. 植物生态学报, **31**(1): 150-165.

潘红丽, 李迈和, 蔡小虎, 等. 2009. 海拔梯度上的植物生长与生理生态特性. 生态环境学报, **18**(2): 722-730.

祁 建, 马克明, 张育新. 2007. 辽东栎(*Quercus liaotungensis*)叶特性沿海拔梯度的变化及其环境解释. 生态学报, **27**(3): 930-937.

王荷生. 1999. 华北植物区系的演变和来源. 地理学报, **54**(3): 214-223.

曾小平, 赵 平, 蔡锡安, 等. 2006. 25种南亚热带植物耐阴性的初步研究. 北京林业大学学报, **28**(4): 88-95.

Ackerly DD, Dudley SA, Sultan SE, *et al*. 2000. The evolution of plant ecophysiological traits: Recent advances and future directions. *Bioscience*, **50**: 979-995.

Ackerly DD, Reich PB. 1999. Convergence and correlations among leaf size and function in seed plants: A comparative test using independent contrasts. *American Journal of Botany*, **86**: 1272-1281.

Craine JM, Lee WG. 2003. Covariation in leaf and root traits for native and non-native grasses along an altitudinal gradient in New Zealand. *Oecologia*, **134**: 471-478.

Elser JJ, Dobberfuhl D, Mackay NA, *et al.* 2001. Organism size, life history, and N∶P stoichiometry: Towards a unified view of cellular and ecosystem processes. *Bioscience*, **46**: 674-684.

Fonseca CR, Overton JM, Collins B, *et al.* 2000. Shifts in trait-combinations along rainfall and phosphorus gradients. *Journal of Ecology*, **88**: 964-977.

He JS, Wang L, Flynn D, *et al*. 2008. Leaf nitrogen∶phosphorus stoichiometry across Chinese grassland biomes. *Oecologia*, **155**: 301-310.

He JS, Wang ZH, Wang XP. 2006. A test of the generality of leaf trait relationships on the Tibetan Plateau. *New Phytologist*, **170**: 835-848.

Juhrbandt J, Leuschner C, Holscher D. 2004. The relationship between maximal stomatal conductance and leaf traits in eight Southeast Asian early successional tree species. *Forest Ecology and Management*, **202**: 245-256.

Körner C. 1989. Functional morphology of mountain plants. *Flora*, **168**: 275-282.

McGroddy ME, Daufresne T, Hedin LO. 2004. Scaling of C∶N∶P stoichiometry in forests worldwide: Implications of terrestrial red field-type ratios. *Ecology*, **85**: 2390-2401.

Ordonez CJ, Bodegom PM, Witte JP, *et al*. 2009. A global study of relationships between leaf traits, climate and soil measures of nutrient fertility. *Global Ecology and Biogeography*, **18**: 137-149.

Reich PB, Oleksyn J, Wright IJ, *et al*. 2010. Evidence of a general 2/3-power law of scaling leaf nitrogen to phosphorus among major plant groups and biomes. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **277**: 877-833.

Reich PB, Walters MB, Ellsworth DS, *et al*. 1998. Relationships of leaf dark respiration to leaf nitrogen. Specific leaf area and leaf life-span: A test across biomes and functional groups. *Oecologia*, **114**: 471-482.

Reich PB, Walters MB, Ellsworth DS. 1992. Leaf life-span in relation to leaf, plant and stand characteristics among diverse ecosystems. *Ecological Monographs*, **62**: 365-392.

Sterner RW, Elser JJ. 2002. Ecological Stoichiometry: The Biology of Elements from Molecules to the Biosphere. Princeton University Press: 397-420.

Wilson PJ, Thompson K, Hodgson JG. 1999. Special leaf area and leaf dry matter content as alternative predictors of plant strategies. *New Phytologist*, **143**: 155-162.

Woods HA, Makino W, Cotner JB, *et al.* 2003. Temperature and the chemical composition of poikilothermic organisms. *Functional Ecology*, **17**: 237-245.

Wright IJ, Reich PB, Westoby M, *et al*. 2004. The worldwide leaf economics spectrum. *Nature*, **428**: 821-827.

Zhu Y, Siegwolf TW, Durka W, *et al*. 2010. Phylogenetically balanced evidence for structural and carbon isotope responses in plants along elevational gradients. *Oecologia*, **162**: 853-863.

作者简介 李 丹,1986年生,女,硕士,研究实习员,主要研究方向为渔业生态学与生态评价。E-mail: lidan0617@live.com

责任编辑 王 伟