



海南不同生活型植物叶片和根系C、N、P化学计量特征

张亚兴, 朱丽薇, 刘楠

引用本文:

张亚兴, 朱丽薇, 刘楠. 海南不同生活型植物叶片和根系C、N、P化学计量特征[J]. 热带亚热带植物学报, 2020, 28(2): 131–135.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4115>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

海南岛油茶种质资源遗传多样性的SRAP分析

Genetic Diversity Analysis of *Camellia oleifera* Resources Based on SRAP Markers in Hainan Island

热带亚热带植物学报. 2019, 27(6): 659–668 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4027>

广西中部7种典型灌丛群落的物种多样性特征

Species Biodiversity of Seven Typical Shrub Communities in the Middle of Guangxi Zhuang Autonomous Region

热带亚热带植物学报. 2018, 26(2): 157–163 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3841>

de novo转录组学分析华南地区入侵植物五爪金龙代谢特征

Metabolic Characteristics of Invasive Plant *Ipomoea cairica* in South China by de novo Transcriptomics

热带亚热带植物学报. 2016, 24(2): 128–142 <https://doi.org/10.11926/j.issn.1005-3395.2016.02.002>

根系盐胁迫对盐生植物和甜土植物的幼苗生长及矿质元素分布的影响

Effects of Root Salt Stress on Growth and Allocation of Mineral Elements in Halophyte and Glycophyte Seedlings

热带亚热带植物学报. 2015(4): 405–412 <https://doi.org/10.11926/j.issn.1005-3395.2015.04.007>

卢旺达产迷迭香化学成分研究 I

Chemical Constituents from Rwandan Plant *Rosmarinus officinalis* L. (I)

热带亚热带植物学报. 2015(3): 310–316 <https://doi.org/10.11926/j.issn.1005-3395.2015.03.012>

海南不同生活型植物叶片和根系 C、N、P 化学计量特征

张亚兴^{1,2}, 朱丽薇^{1*}, 刘楠¹

(1. 中国科学院华南植物园广东省应用植物学重点实验室, 广州 510650; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 为了解热带地区植物的营养元素利用策略, 对海南 3 个生活型的 9 种植物的叶片和根系碳(C)、氮(N)、磷(P)含量及化学计量比进行分析, 包括车前(*Plantago asiatica*)、蒺藜草(*Thuarea involuta*)、木耳菜(*Psidium guajava*)、桑(*Morus alba*)、臭黄荆(*Premna ligustroides*)、彩叶朱槿(*Hibiscus rosa-sinensis*)和厚叶榕(*Ficus microcarpa* var. *crassifolia*)、海岸桐(*Guettarda speciosa*)和番石榴(*Psidium guajava*)。结果表明, 不同生活型间的元素含量和化学计量比没有显著差异; 叶片 C、N、P 含量高于根系, 叶片的 C、N 含量与根系的呈显著正相关, P 含量与根系的呈显著负相关。C:P 与 N:P 低于全国和全球尺度, 说明该地区植物具有较高的生长速率。小于 14 的 N:P 表明海南热带植物的生长主要受 N 限制。这揭示了海南热带植物不同生活型的营养元素利用策略相似, 虽然受 N 限制, 海南的植物仍具有较高的 N、P 固持能力和生长速率。

关键词: 生活型; 叶片; 根系; 化学计量; 海南; 热带地区

doi: 10.11926/jtsb.4115

C, N, and P Concentrations and Their Stoichiometry of Leaves and Roots with Different Life Forms in Hainan Province

ZHANG Ya-xing^{1,2}, ZHU Li-wei^{1*}, LIU Nan¹

(1. Guangdong Provincial Key Laboratory of Applied Botany, South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In order to understand the resource-use strategies of nutrient elements of plants in tropical region, the C, N, and P concentrations and their stoichiometry of 9 species with three life forms in Hainan were studied. The results showed that there were not significant differences in C, N, and P concentrations and stoichiometric ratios among different life forms. The C, N, and P concentrations of leaves were higher than those of roots. The C and N concentration of leaves was positively related with that of roots, but the P concentration of leaves was negatively related with that of roots. The ratios of C:P and N:P were relatively smaller than that at national and global scale, indicating that plants had high growth rate in this region. N:P ratio less than 14 showed that plant growth were limited by N in Hainan. Therefore, it was suggested that the plants with different life forms in Hainan showed similar resource-use strategies, although N limitation occurred, the plants had high growth rate and retaining ability of N and P.

Key words: Life form; Leaf; Root; Stoichiometry; Hainan; Tropical region

收稿日期: 2019-06-28 接受日期: 2019-08-19

基金项目: 中国科学院 A 类战略性先导科技专项(XDA13020500); NSFC-广东联合基金(U1701246)资助

This work was supported by the Strategy Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences (Grant No. XDA13020500), and the Joint Fund of National Nature Science Foundation of China-Guangdong (Grant No. U1701246).

作者简介: 张亚兴, 女, 硕士研究生, 从事生态系统生理学研究。E-mail: 446788468@qq.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: zhuliwei1209@scbg.ac.cn

碳(C)、氮(N)、磷(P)在植物生长发育过程中发挥重要作用,C是植物体干物质的主要元素;植物生长需要大量含有P的核糖体rRNA合成蛋白质,P与N一起是构成植物体和参与生理代谢的重要营养元素,影响初级生产力^[1-3]。叶片C:N、C:P反映植物的N、P利用效率和吸收营养元素所同化C的能力^[4-5]。C、N、P元素化学计量比值体现植物C积累及N、P养分限制格局,并与重要的生态学过程,如氮固定能力和植物对环境的适应力有关,能够揭示有机体的结构和功能与环境之间的关系^[6-8]。

植物通过元素及不同组织间化学计量比的变化调节自身生长以适应周围环境^[3]。Reich等^[9]报道全球陆生植物叶片N和P含量随纬度升高(温度下降)而升高,而N:P相反。而Han等^[10]报道中国陆生植物叶片N:P随纬度升高无明显变化。干旱对叶片C含量无显著影响,但增加N含量,导致C:N降低^[11-12]。张珂等^[2]和孙力等^[13]报道荒漠地区植物叶片的C:N、C:P高于全球水平,原因是偏低的N、P水平和极端干旱的恶劣条件。不同生活型植物适应环境因子的方式不一致,对化学元素的吸收和积累存在差异,有研究表明草本植物的养分含量高于木本植物^[14-15]。另外,我国学者分别对植物叶片和根系的化学计量学特征进行了分析^[2,15-19],但是不同组织之间的比较研究较少。因此为了探究植物与环境的相互关系,有必要对不同生活型植物的不同组织进行有关C、N、P化学计量特征的研究。

海南植物资源丰富,地处我国最南端,热带北缘,光温充足,高温及强对流天气频发,因此研究该地区植物的营养元素化学计量特征对认识其生态环境状况和揭示重要的生态学过程具有重要意义^[4]。本文拟通过对3个不同生活型植物(草本、灌木和乔木)的叶片和根系C、N、P含量和化学计量特征的研究,揭示海南植物的营养元素状况和生态适应策略。

1 材料和方法

1.1 研究地概况

样品来自海南省文昌市的苗木基地(10°45' E, 19°31' N),文昌市位于海南省东北部,三面临海,属热带季风岛屿型气候,年均降雨量和年均气温分别为1 800 mm和24°C,土壤类型属于滨海沉积物

沙壤土^[20]。

1.2 测定指标和方法

在海南文昌育苗基地选取3种生活型9种植物:车前(*Plantago asiatica*)、葛雷草(*Thuarea involute*)、木耳菜(*Psidium guajava*)、桑(*Morus alba*)、臭黄荆(*Premna ligustroides*)、彩叶朱槿(*Hibiscus rosasinensis*)、厚叶榕(*Ficus microcarpa var. crassifolia*)、海岸桐(*Guettarda speciosa*)和番石榴(*Psidium guajava*)。基地土壤是当地自然土壤,无施肥处理。于2018年7月份每种植物各采集3株的若干成熟叶片和直径小于2 mm的细根,置于密封袋内,并利用冰袋进行保鲜处理,带回中国科学院华南植物园进行C、N、P元素含量的测定。样品用纯水冲洗,在75°C烘干至恒重,研磨后过100目筛。C、N含量采用元素分析仪(Vario Max Cube, Elementar Cor., Germany)测定,P含量采用紫外分光光度计(FDU-2100/Lambda650, PE Cor., USA)测定。

1.3 数据处理

采用单因素方差分析对数据间的差异进行比较分析;叶片和根系的元素含量比较采用配对样本 t 检验,每种植物3个重复,共27个样本;数据的统计分析在SPSS 25 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)中进行,采用Excel 2007软件作图。

2 结果和分析

2.1 叶片和根系的生态化学计量特征

不同生活型植物间的叶片和根系C、N、P含量及化学计量比均没有显著差异($n=9$,表1)。叶片的C、N、P含量分别为(411.9 ± 13.7)、(23.9 ± 3.3)和(3.3 ± 0.5) mg/g; C:N为 19.9 ± 19.9 , C:P为 142.8 ± 19.1 , N:P为 7.7 ± 1.0 。细根的C、N、P含量分别为(316.9 ± 27.1)、(12.8 ± 1.5)和(1.8 ± 0.2) mg/g; C:N为 28.3 ± 5.3 , C:P为 191.4 ± 23.8 , N:P为 8.1 ± 1.5 。

2.2 叶片和根系间的生态化学计量关系

通过配对样本 t 检验,叶片中C、N、P含量显著高于根系,根系中的C:N和C:P显著高于叶片,N:P在叶片和根系中没有显著差异(表1)。相关分析表明,根系与叶片的C和N含量呈显著正相关,但是根系与叶片的P含量呈显著负相关(图1)。

表 1 不同生活型植物叶片和根系的 C、N、P 含量和生态化学计量比特征

Table 1 C, N, and P concentrations and their stoichiometry of leaves and roots with different life forms

生活型 Life form	C (mg/g)	N (mg/g)	P (mg/g)	C : N	C : P	N : P
叶片 Leaf						
草本 Herb	356.9 ±62.3	16.2 ±2.1	3.1 ±0.2	23.5 ±5.9	118.9 ±23.2	5.3 ±0.4
灌木 Shrub	426.3 ±12.1	30.9 ±4.9	4.4 ±1.1	14.3 ±1.8	114.6 ±33.9	7.9 ±1.8
乔木 Tree	452.3 ±8.6	24.4 ±2.7	2.4 ±0.3	21.9 ±5.8	194.9 ±26.1	9.8 ±1.6
平均 Mean	411.0 ±23.3a	23.9 ±3.3a	3.3 ±0.5a	19.9 ±2.8b	142.8 ±19.2b	7.7 ±1.0a
根系 Root						
草本 Herb	278.8 ±73.4	8.9 ±1.7	1.4 ±0.5	37.0 ±15.6	224.2 ±61.1	8.8 ±4.5
灌木 Shrub	354.3 ±30.6	16.6 ±1.8	1.7 ±0.1	21.6 ±1.3	209.8 ±24.3	9.7 ±1.0
乔木 Tree	317.4 ±32.8	13.0 ±2.6	2.3 ±0.3	26.3 ±6.0	140.1 ±20.8	6.0 ±1.7
平均 Mean	316.9 ±27.1b	12.8 ±1.5b	1.8 ±0.2b	28.3 ±5.3a	191.4 ±23.8a	8.1 ±1.5a

数据后不同字母表示同一变量叶片和根系间差异显著($P < 0.05$)。

Data followed different letters indicate significant difference at 0.05 level.

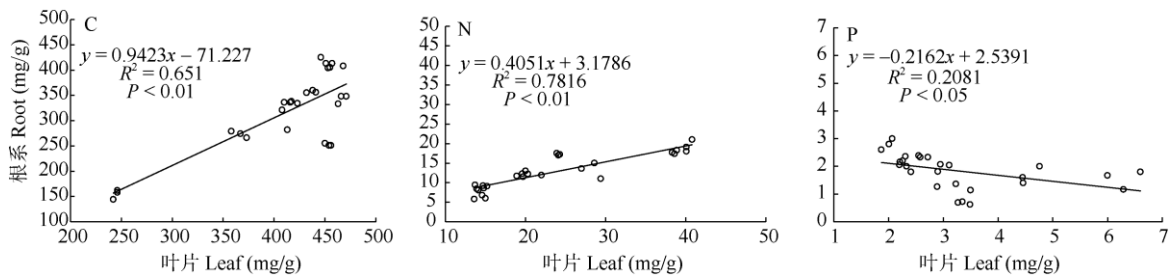


图 1 不同生活型植物叶片和根系元素含量之间的关系

Fig. 1 Relations of C, N, and P concentrations between leaves and roots with different life forms

2.3 相关分析

叶片和根系中营养元素含量及计量比间的相关性不一致(表 2)。叶片的 N 与 P 含量呈显著正相关; 叶片中 C : N 与 N 含量有关, 而在根系中由 C 和 N 共同决定; 叶片中 C : P 由 C 和 P 共同决定, 根系中则与 P 有关; 叶片中 N : P 与 N 有关, 根系中由 N 和 P 共同决定。

表 2 叶片和根系营养元素含量及化学计量比间的相关系数

Table 2 Correlation coefficient among C, N, P concentrations and their stoichiometry of leaves and roots

	C	N	P	C : N	C : P	N : P
叶片 Leaf						
C	ns	ns	ns	0.56**	ns	ns
N		0.48*	-0.82**	ns	0.60**	ns
P			ns	-0.82**	ns	ns
C : N	ns	ns	0.51**	ns	ns	ns
根系 Root						
N		ns	-0.71**	ns	0.47*	ns
P			ns	-0.77**	-0.77**	ns

$n = 27$; *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$.

3 讨论

3.1 植物 C、N、P 生态化学计量比特征

本研究中, 植物叶片 C、N、P 含量平均为 411.9、

23.9 和 3.3 mg/g。管东生等^[14]的研究表明, 80 种海南优势植物叶片的 N、P 含量分别为 23.7 和 2.7 mg/g, 与我们的研究结果相似。张珂等^[2]分析阿拉善荒漠区植物叶片 C、N、P 含量分别为 379.0、10.7 和 1.0 mg/g, 小于本研究结果。全球尺度上, 植物叶片 C、N、P 含量分别为 464.0、20.6 和 2.0 mg/g^[6], N、P 含量均小于本研究结果。植物叶片元素含量随纬度和海拔的升高而增加, 受温度和降雨共同制约, 温度升高会降低元素含量, 而降雨量与元素含量呈正相关^[9-10,21]。根据植物相对生长速率假说, 生长速率较快的植物对 N、P 需求较高^[8], 相比寒冷和干旱区, 在水热资源丰富的海南地区, 植物生长更快, 可能是导致本研究中的植物叶片具有较高 N、P 含量的原因之一。生长速率假说认为生长速率越高, C : P 和 N : P 越小^[22], 在本研究中 C : P 和 N : P 均小于张珂等^[2]总结的中国和全球尺度的比值, 这很好地支持了我们提出的生长速率与营养元素含量关系的结论。

周鹏等^[9]报道温带草地优势植物的 N 和 P 含量在不同组织间呈显著正相关, 而本研究中植物叶片和根系的 C、N 含量呈显著正相关, 但是 P 含量呈现负相关, 即 P 在叶片和根系中的分配出现权衡关

系, 保证更多的 P 被分配到叶片以维持植物较高的生长速率。来自全球的数据显示, 细根的 N、P 含量小于叶片^[23], 这与本研究结果一致。马玉珠等^[18]总结了我国陆地植物细根的 C、N、P 化学计量学特征, C、N、P 含量分别为 473.9、9.2 和 1.0 mg/g, C : N、C : P、N : P 分别为 59.2、522.1 和 14.3。本研究中, 除根系 N、P 含量高于全国水平外, 其他化学计量值均小于全国水平, 这也进一步证实海南地区植物较高的生长速率, 且对 N、P 营养元素的高需求。

3.2 植物营养元素之间的关系

相比于全球, 海南植物叶片较低的 C : N、C : P 可能与其较高的 N、P 含量和水热资源丰富的环境有关。N : P 可以反映环境对植物的营养限制状况^[24-25], 一般来说, N : P 小于 14 表明植物生长受 N 限制, 而大于 16 则受 P 限制。虽然我国植物生长普遍受到 P 元素限制^[14], 仍然有报道荒漠和松嫩草地植物受 N 限制的情况^[2,17]。本研究中 N : P 小于 14, 表明该地区植物生长主要受 N 限制, 与管东生等^[14]的研究结果一致。

本研究结果表明, 叶片和根系中 C 与 N、P 含量间的相关性不明显, 这与前人报道叶片 C 与 N、P 含量呈负相关的结论不一致^[15,26], 张珂等^[2]也报道阿拉善荒漠植物叶片 C 与 N 之间的相关性不明显。除本研究的植物种较少外, 还存在两方面的原因: 一方面可能与植物 C 含量稳定性高, 受外界环境影响小有关, 另一方面与不同植物类群的营养元素利用策略不同有关^[2,27]。植物体不同组织内 N、P 含量之间存在正相关关系, 但是本研究中根系 N、P 间的相关性不明显, 可能与海南地区植物主要受 N 限制, 而根系更易受到 N 营养不足的影响有关^[19]。以后的研究有必要增加植物数量以便得到更加普适性的研究结论。

本文通过对海南 3 种生活型植物的 C、N、P 含量和化学计量比进行分析, 认为不同生活型植物具有相似的营养元素利用策略; 为适应海南丰富的水热资源, 植物具有较高的 N、P 吸收能力以保证高的生长速率。

参考文献

[1] ELSER J J, BRACKEN M E S, CLELAND E E, et al. Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in fresh-

water, marine and terrestrial ecosystems [J]. *Ecol Lett*, 2007, 10(12): 1135–1142. doi: 10.1111/j.1461-0248.2007.01113.x.

[2] ZHANG K, HE M Z, LI X R, et al. Foliar carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometry of typical desert plants across the Alashan Desert [J]. *Acta Ecol Sin*, 2014, 34(22): 6538–6547. doi: 10.5846/stxb201302270310.

张珂, 何明珠, 李新荣, 等. 阿拉善荒漠典型植物叶片碳、氮、磷化学计量特征 [J]. *生态学报*, 2014, 34(22): 6538–6547. doi: 10.5846/stxb201302270310.

[3] ELSER J J, DOBBERFUHL D R, MACKAY N A, et al. Organism size, life history, and N : P stoichiometry: Toward a unified view of cellular and ecosystem processes [J]. *Bioscience*, 1996, 46(9): 674–684. doi: 10.2307/1312897.

[4] HUANG J J, WANG X H. Leaf nutrient and structural characteristics of 32 evergreen broad-leaved species [J]. *J East China Norm Univ (Nat Sci)*, 2003(1): 92–97. doi: 10.3969/j.issn.1000-5641.2003.01.016.

黄建军, 王希华. 浙江天童 32 种常绿阔叶树叶片的营养及结构特征 [J]. *华东师范大学学报(自然科学版)*, 2003(1): 92–97. doi: 10.3969/j.issn.1000-5641.2003.01.016.

[5] ÅGREN G I. The C : N : P stoichiometry of autotrophs: Theory and observations [J]. *Ecol Lett*, 2004, 7(3): 185–191. doi: 10.1111/j.1461-0248.2004.00567.x.

[6] ELSER J J, FAGAN W F, DENNO R F, et al. Nutritional constraints in terrestrial and freshwater food webs [J]. *Nature*, 2000, 408(6812): 578–580. doi: 10.1038/35046058.

[7] SAÑUDO-WILHELMY S A, KUSTKA A B, GOBLER C J, et al. Phosphorus limitation of nitrogen fixation by *Trichodesmium* in the central Atlantic Ocean [J]. *Nature*, 2001, 411(6833): 66–69. doi: 10.1038/35075041.

[8] WOODS H A, MAKINO W, COTNER J B, et al. Temperature and the chemical composition of poikilothermic organisms [J]. *Funct Ecol*, 2003, 17(2): 237–245. doi: 10.1046/j.1365-2435.2003.00724.x.

[9] REICH P B, OLEKSYN J. Global patterns of plant leaf N and P in relation to temperature and latitude [J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2004, 101(30): 11001–11006. doi: 10.1073/pnas.0403588101.

[10] HAN W X, FANG J Y, GUO D L, et al. Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry across 753 terrestrial plant species in China [J]. *New Phytol*, 2005, 168(2): 377–385. doi: 10.1111/j.1469-8137.2005.01530.x.

[11] SARDANS J, RIVAS-UBACH A, PEÑUELAS J. The elemental stoichiometry of aquatic and terrestrial ecosystems and its relationships with organismic lifestyle and ecosystem structure and function: A review and perspectives [J]. *Biogeochemistry*, 2012, 111(1/2/3): 1–39. doi: 10.1007/s10533-011-9640-9.

- [12] WESTOBY M, FALSTER D S, MOLES A T, et al. Plant ecological strategies: Some leading dimensions of variation between species [J]. *Annu Rev Ecol Syst*, 2002, 33(1): 125–159. doi: 10.1146/annurev.ecolsys.33.010802.150452.
- [13] SUN L, GONG L, ZHU M L, et al. Leaf stoichiometric characteristics of typical desert plants and their relationships to soil environmental factors in the northern margin of the Tarin Basin [J]. *Chin J Ecol*, 2017, 36(5): 1208–1214. doi: 10.13292/j.1000-4890.201705.021.
孙力, 贡璐, 朱美玲, 等. 塔里木盆地北缘荒漠典型植物叶片化学计量特征及其与土壤环境因子的关系 [J]. *生态学杂志*, 2017, 36(5): 1208–1214. doi: 10.13292/j.1000-4890.201705.021.
- [14] GUAN D S, LUO L. Chemical element concentrations of tropical plant leaves in Hainan Province [J]. *Sci Silv Sin*, 2003, 39(2): 28–32. doi: 10.11707/j.1001-7488.20030205.
管东生, 罗琳. 海南热带植物叶片化学元素含量特征 [J]. *林业科学*, 2003, 39(2): 28–32. doi: 10.11707/j.1001-7488.20030205.
- [15] YAN K, FU D G, HE F, et al. Leaf nutrient stoichiometry of plants in the phosphorus-enriched soils of the lake Dianchi watershed, southwestern China [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2011, 35(4): 353–361. doi: 10.3724/SP.J.1258.2011.00353.
阎凯, 付登高, 何峰, 等. 滇池流域富磷区不同土壤磷水平下植物叶片的养分化学计量特征 [J]. *植物生态学报*, 2011, 35(4): 353–361. doi: 10.3724/SP.J.1258.2011.00353.
- [16] LI Y L, MAO W, ZHAO X Y, et al. Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry in typical desert and desertified regions, north China [J]. *Environ Sci*, 2010, 31(8): 1716–1725.
李玉霖, 毛伟, 赵学勇, 等. 北方典型荒漠及荒漠化地区植物叶片氮磷化学计量特征研究 [J]. *环境科学*, 2010, 31(8): 1716–1725.
- [17] SONG Y T, ZHOU D W, LI Q, et al. Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry in 80 herbaceous plant species of Songnen grassland in northeast China [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2012, 36(3): 222–230. doi: 10.3724/SP.J.1258.2012.00222.
宋彦涛, 周道玮, 李强, 等. 松嫩草地 80 种草本植物叶片氮磷化学计量特征 [J]. *植物生态学报*, 2012, 36(3): 222–230. doi: 10.3724/SP.J.1258.2012.00222.
- [18] MA Y Z, ZHONG Q L, JIN B J, et al. Spatial changes and influencing factors of fine root carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometry of plants in China [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2015, 39(2): 159–166. doi: 10.17521/cjpe.2015.0015.
马玉珠, 钟全林, 靳冰洁, 等. 中国植物细根碳、氮、磷化学计量学的空间变化及其影响因子 [J]. *植物生态学报*, 2015, 39(2): 159–166. doi: 10.17521/cjpe.2015.0015.
- [19] ZHOU P, GENG Y, MA W H, et al. Linkages of functional traits among plant organs in the dominant species of the Inner Mongolia grassland, China [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2010, 34(1): 7–16. doi: 10.3773/j.issn.1005-264x.2010.01.003.
周鹏, 耿燕, 马文红, 等. 温带草地主要优势植物不同器官间功能性状的关联 [J]. *植物生态学报*, 2010, 34(1): 7–16. doi: 10.3773/j.issn.1005-264x.2010.01.003.
- [20] LIN Y X, LIU H, HE P C, et al. Physiological and biochemical responses of three species to environment stresses of tropical coral islands [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2017, 25(6): 562–568. doi: 10.11926/jtsb.3755.
林忆雪, 刘慧, 贺鹏程, 等. 三种适生植物对热带珊瑚岛胁迫生境的生理生化响应 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2017, 25(6): 562–568. doi: 10.11926/jtsb.3755.
- [21] SARDANS J, JANSSENS I A, AIONSO R, et al. Foliar elemental composition of European forest tree species associated with evolutionary traits and present environmental and competitive conditions [J]. *Glob Ecol Biogeogr*, 2015, 24(2): 240–255. doi: 10.1111/geb.12253.
- [22] STERNER R W, ELSER J J. *Ecological Stoichiometry: The Biology of Elements from Molecules to the Biosphere* [M]. Princeton: Princeton University Press, 2002: 87–104.
- [23] YUAN Z Y, CHEN H Y H, REICH P B. Global-scale latitudinal patterns of plant fine-root nitrogen and phosphorus [J]. *Nat Commun*, 2011, 2: 344. doi: 10.1038/ncomms1346.
- [24] HE J S, FANG J Y, WANG Z H, et al. Stoichiometry and large-scale patterns of leaf carbon and nitrogen in the grassland biomes of China [J]. *Oecologia*, 2006, 149(1): 115–122. doi: 10.1007/s00442-006-0425-0.
- [25] HE J S, WANG L, FLYNN D F B, et al. Leaf nitrogen : phosphorus stoichiometry across Chinese grassland biomes [J]. *Oecologia*, 2008, 155(2): 301–310. doi: 10.1007/s00442-007-0912-y.
- [26] LI Z, HAN L, LIU Y H, et al. C, N and P stoichiometric characteristics in leaves of *Suaeda salsa* during different growth phase in coastal wetlands of China [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2012, 36(10): 1054–1061. doi: 10.3724/SP.J.1258.2012.01054.
李征, 韩琳, 刘玉虹, 等. 滨海盐地碱蓬不同生长阶段叶片 C、N、P 化学计量特征 [J]. *植物生态学报*, 2012, 36(10): 1054–1061. doi: 10.3724/SP.J.1258.2012.01054.
- [27] BRADSHAW C, KAUTSKY U, KUMBLAD L. Ecological stoichiometry and multi-element transfer in a coastal ecosystem [J]. *Ecosystems*, 2012, 15(4): 591–603. doi: 10.1007/s10021-012-9531-5.