

深圳市坝光湿地园银叶树群落优势树种与土壤生态化学计量特征分析*

孙红斌¹ 王佐霖¹ 朱子维² 黄芳芳² 甘先华² 张卫强²

(1. 广东省深圳市野生动物救护中心, 广东 深圳 518040; 2. 广东省森林培育与保护利用重点实验室 / 广东省林业科学研究院, 广东 广州 510520)

摘要 以深圳坝光湿地园银叶树 (*Heritiera littoralis*) 群落为研究对象, 分析了深圳坝光湿地园银叶树群落 8 种优势树种叶片碳、氮、磷含量及其化学计量关系, 以及 3 种生境 (沼泽、山地、临海) 土壤和不同土壤深度 (0~10 cm、10~20 cm、20~40 cm) 有机质、全氮、碱解氮、全磷、有效磷含量及其化学计量关系。结果表明: 不同优势树种叶片的碳、氮、磷含量及其计量特征具有显著差异, 显示出明显的种间差异性; 不同生境 (临海、山地、沼泽) 之间的土壤差异主要表现为氮及碳氮比, 其他如有机质、磷等差异不明显; 不同土层则表现为有机质和氮差异明显, 浅层土壤元素含量最高, 其他指标在各土层中差异不显著。研究表明, 除银叶树生长可能受到氮限制外, 其他优势树种元素限制现象不明显。

关键词 银叶树群落; 优势树种; 叶片; C; N; P; 化学计量

中图分类号: S713 **文献标志码**: A **文章编号**: 2096-2053 (2018) 06-0015-06

Stoichiometry Characteristics of Dominant Tree Species and Soil in *Heritiera littoralis* Community in Baguang Wetland Park in Shenzhen

SUN Hongbin¹ WANG Zuolin¹ ZHU Ziwei² HUANG Fangfang²
GAN Xianhua² ZHANG Weiqiang²

(1. Shenzhen Wildlife Rescue Center, Shenzhen, Guangdong 518040, China; 2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization/Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou, Guangdong 510520, China)

Abstract In this work we compared the element contents including C, N and P, and stoichiometry characteristics among eight dominant tree species, and we also compared the element contents of organic matter, total nitrogen, available nitrogen, total phosphorus and available phosphorus as well as the stoichiometry characteristics among soil in three habitats (marsh, hill and seaside) and different soil depths (0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm) in *Heritiera littoralis* community in Baguang wetland park. The results showed that there was significant difference in element contents and stoichiometry characteristics in leaves among tree species. The content of nitrogen and C:N differed significantly among different habitats, but the contents of organic matter and phosphorus did not show significant difference. The upper soil contained the highest contents of organic matter and nitrogen compared to the other two layers. Our results suggest that there were no obvious element constraints observed in plant growth in the community, except for *H. littoralis* which may have suffered N constraints during its growth.

Key words *Heritiera littoralis* community; dominant tree species; leaf; C; N; P; stoichiometry

* 基金项目: 深圳市野生动物救护中心项目 (坝光银叶树湿地园监测)。

第一作者: 孙红斌 (1970—), 男, 副研究员, 主要从事生物科学研究, E-mail: 369893751@qq.com。

通信作者: 黄芳芳 (1987—), 女, 助理研究员, 主要从事森林生态学研究, E-mail: huangff@sinogaf.cn。

生态化学计量学是指研究生物系统能量平衡和多重化学元素平衡的学科,主要研究生态过程中化学元素(如C、N、P等)的比例关系,广泛应用于探究土壤及叶片C、N、P化学计量特征^[1-3]。其中C是组成植物体的基本元素,在生物体中构成有机物的基本骨架。N和P是植物的基本营养元素,在蛋白质、磷酸合成及能量传递等代谢过程起着重要作用^[4]。C:N、C:P能够反映植物体生长速率及养分利用效率^[5],叶片N:P则可用于判断限制植物生长的元素类型^[6-7]。故分析植物体内的生态化学计量特征对其生长代谢具有重要的指示作用。

土壤养分直接决定有机体生长、植被群落结构、生产力水平和生态系统的稳定性^[8-10]。土壤N:P是土壤生产力的重要限制因子,反映了土壤内部养分循环和对植物养分供应状况的指标,同时也能反映植被受干扰程度^[11-14]。分析植物体与所处土壤的化学计量特征,可全面地了解植物生长限制因子^[15]。

深圳坝光湿地园位于深圳大鹏半岛的北侧,园内保存着大量古银叶树,约占深圳市古树资源的1.35%^[16-17],是目前全国乃至全世界范围内发现的分布最完整、树龄最长的天然古银叶树群落,具有极高的科普和研究价值。本文通过采集银叶树群落内优势树种叶片及土壤数据,进行生态化学计量分析,旨在对群落营养循环作出准确判断,为古树群落的保护及日常管理提供科学依据。

1 研究地概况

深圳市坝光湿地园(22°37'N~22°39'N, 114°30'E~114°32'E)北临惠州,南靠排牙山。沿海为大亚湾,临近坝核公路,位于亚热带季风气候带。年均温为22.1℃,1月份均温为13.9℃,极端最高温为36.6℃,极端最低温为1.4℃,年平均相对湿度为79%,降水量1800.4mm。湿地园总面积约7.5hm²,其中银叶树分布所占面积约为0.7hm²^[16]。由常年被涨潮的海水淹没的海生环境以及陆生环境组成,部分形成沼泽地。群落周围及沿海岸线间断分布少量卤蕨(*Acrostichum aureum*)、秋茄(*Kandelia candel*)、木榄(*Bruguiera gymnorhiza*)、老鼠簕(*Acanthus ilicifolius*)、白骨壤(*Avicennia marina*)。该地区郁闭度约为0.75,植被生长密集,沿海则有较多礁石。

2 研究方法

2.1 样地设置及调查

古银叶树群落主要包括三种生境类型:滨海沼泽湿地、临海陆地及远离海岸山地。前期工作已在群落中建立20个20m×20m的样方,涵盖该三种生境类型。对样方内的乔木树种进行每木调查,每个样方随机建立5个5m×5m及5个1m×1m的小样方,分别对其中的灌木和草本进行调查。

2.2 样品采集

根据20个样方调查结果,选择滨海沼泽生境5个,临海陆地生境6个,远离海岸山地4个,在3种生境内进行15个土壤样本采集;采用环刀取土,分0~10cm、10~20cm、20~40cm3层分别取土,土壤挑出粗根、混合均匀后运回实验室进行土壤相关指标的测定。同时根据样方调查结果确定银叶树群落中主要优势树种,包括银叶树(*Heritiera littoralis*)、阴香(*Cinnamomum burmannii*)、假苹婆(*Sterculia lanceolata*)、多毛茜草树(*Aidia pycnantha*)、海芒果(*Cerbera manghas*)、银柴(*Aporosa chinensis*)、鸭脚木(*Schefflera octophylla*)、细叶槐(*Sophora japonica*)共8种。采集各优势树种健康叶片,其中银叶树采集株数为11株,阴香6株,其余树种5株。采集到的叶片区分不同树种用密封袋装好贴上标签,运往实验室后将叶片烘干称重、研磨成粉并进行相关指标的测定。

2.3 指标测定

土壤有机质的测定采用重铬酸钾外热氧化法;全氮的测定采用凯氏定氮法;全磷的测定采用NaOH-熔融-钼锑抗比色法;全钾的测定采用NaOH-火焰光度法;碱解氮的测定采用碱解扩散法;有效磷的测定采用双酸浸提后钼锑抗比色法;速效钾的测定采用中性乙酸铵提取后火焰光度计法。优势树种化学性质指标测定方法如下:植物叶片C含量的测定采用重铬酸钾-外加加热法测定,N含量的测定采用凯氏定氮法,P含量的测定采用钼锑抗比色法。测定结果以单位质量的养分含量(g·kg⁻¹与mg·kg⁻¹)表示^[18]。

2.4 数据处理

在JMP-11软件中,使用one-way ANOVA分析银叶树群落优势树种叶片元素含量及化学计量

差异, 使用 two-way ANOVA 分析银叶树群落不同生境、不同深度土壤元素含量及化学计量差异; 用 Tukey HSD 法检验均值差异显著性, 显著度水平为 $\alpha=0.05$ 。

3 结果与分析

3.1 优势树种叶片元素含量及化学计量特征分析

根据 one-way ANOVA 分析结果绘制树种叶片元素含量及化学计量图 (图 1), 鸭脚木叶片有机碳含量 ($549.66 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 显著高于其他树种, 而假苹婆 ($468.89 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 与银柴 ($448.36 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 叶片有机碳含量显著低于其他树种 (图 1A); 多毛茜草树叶片 ($23.68 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 全氮含量最高, 银叶树含量 ($14.57 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 显著低于其他树种 (图 1B); 叶片全磷含量分析中, 海芒果 ($2.17 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)、银叶树 ($1.99 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 含量最高, 细叶槐、阴香和鸭脚木 (分别为 1.25 、 1.16 和 $1.15 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 含量最低, 银柴、假苹婆和多毛茜草树 (分别为 1.46 、 1.39 和 $1.33 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 处于中间 (图 1C)。

银叶树叶片 C:N (35.10) 最高, 多毛茜草树和假苹婆 (22.07 和 20.91) 最低 (图 1D); 鸭脚木和阴香 (514.35 和 459.68) C:P 显著高于银叶树和海芒果 (281.93 和 233.57), 多毛茜草树、假苹婆、

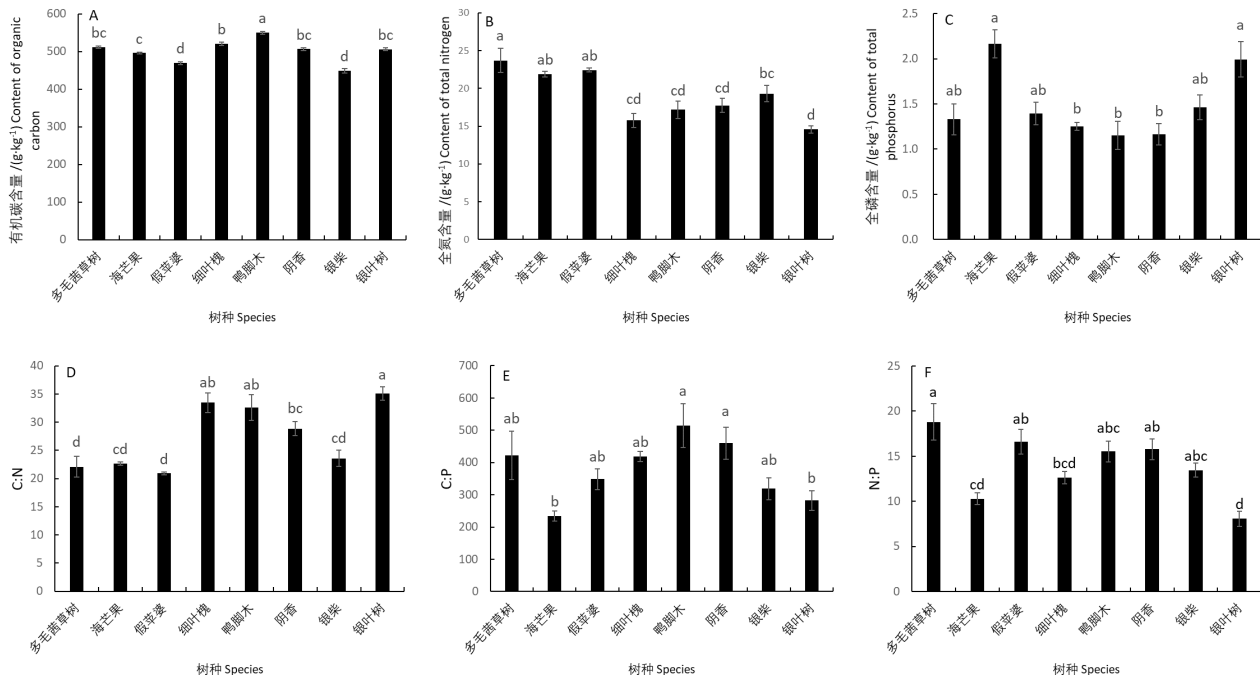
细叶槐、银柴 (分别为 421.52 、 348.22 、 418.56 、 318.87) 处于中间 (图 1E); 多毛茜草树 N:P (18.79) 最高, 银叶树 (8.08) 最低 (图 1F)。

3.2 土壤分析

使用 two-way ANOVA 分析银叶树群落不同生境、不同深度土壤元素含量及化学计量差异, 结果显示: 在不同生境和深度下所有元素含量和 N:P 没有显著的交互作用; 在不同生境下, 土壤全氮、全钾、碱解氮、速效钾含量和 N:P 差异显著, 在不同土壤深度下, 有机质、全氮和碱解氮含量差异显著 (表 1)。

对不同生境土壤元素含量及化学计量特征分析 (图 3) 可知, 山地土壤与临海土壤全氮含量之间无差异 (分别为 2.43 和 $2.13 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$), 并显著高于沼泽土壤 ($1.49 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$); 山地土壤和临海土壤碱解氮含量 (174.17 和 $163.85 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 之间无差异并显著高于沼泽土壤 ($105.20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$); 山地土壤 N:P (6.78) 最高, 沼泽土壤 N:P (4.38) 最低, 临海土壤 N:P (5.62) 处于两者之间。其余指标在各生境土壤中无显著差异。

对不同土壤深度元素含量及化学计量分析可知 (图 3), $0\sim 10 \text{ cm}$ 土壤有机质含量 ($58.10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 最高, $20\sim 40 \text{ cm}$ 土壤 ($38.35 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 最低,



注: 不同字母表示不同树种在 $\alpha=0.05$ 水平差异显著

Note: different letters denote significant differences at $\alpha=0.05$ among tree species

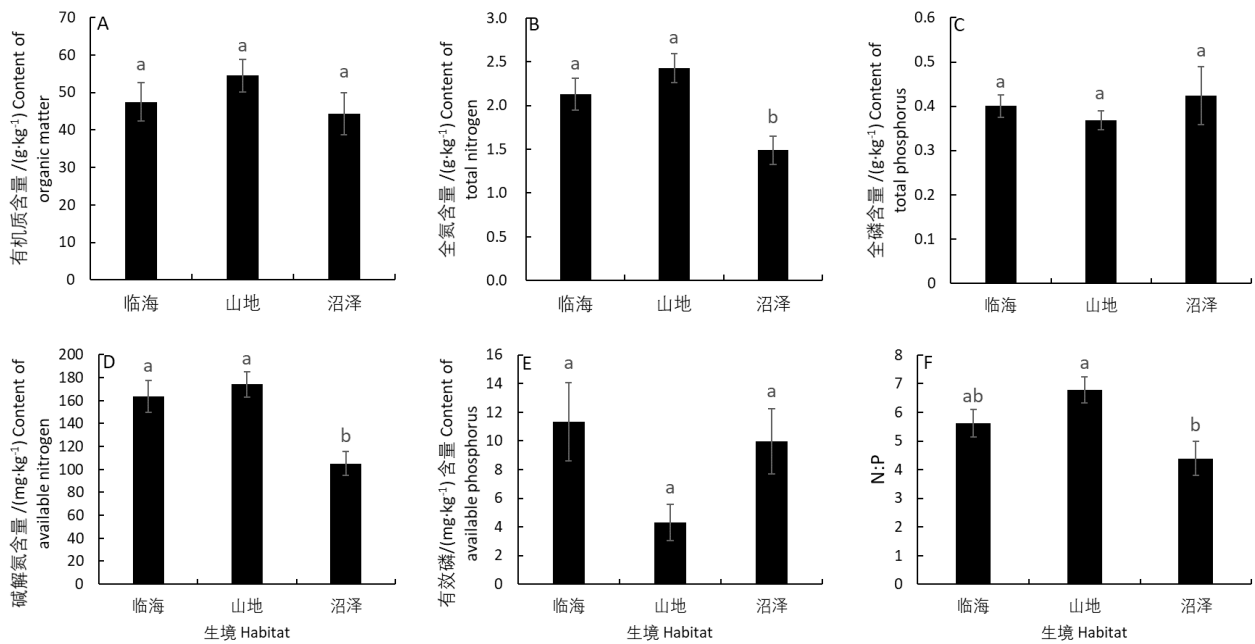
图 1 优势树种叶片化学计量特征

Figure 1 Stoichiometry characteristics in leaves of dominant tree species

表 1 不同生境和深度下土壤元素含量及化学计量特征比较
Table 1 Comparison of stoichiometry characteristics among habitats and soil depths

项目 Item	有机质 / (g·kg ⁻¹)		全氮 / (g·kg ⁻¹)		全磷 / (g·kg ⁻¹)		全钾 / (g·kg ⁻¹)		碱解氮 / (mg·kg ⁻¹)		有效磷 / (mg·kg ⁻¹)		速效钾 / (mg·kg ⁻¹)		N : P	
	Organic matter		Total nitrogen		Total phosphorus		Total potassium		Available nitrogen		Available phosphorus		Available potassium		N : P	
	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
生境 Habitat	1.01	0.375	8.35	0.001**	0.35	0.704	28.88	<0.0001**	9.86	<0.0001**	1.92	0.162	21.70	<0.0001**	4.39	0.020*
深度 Soil depth	4.06	0.026*	5.25	0.010**	0.50	0.613	1.60	0.217	5.00	0.012*	0.19	0.824	0.25	0.777	1.30	0.284
生境 × 深度 Habitat × Soil depth	1.08	0.381	0.98	0.431	0.45	0.771	0.29	0.884	0.45	0.771	0.13	0.970	0.73	0.575	0.09	0.985

注：“*”表示 0.01<P≤0.05, “**”表示 P≤0.01 Note: * denotes 0.01<P≤0.05, ** denotes P≤0.01.



注：不同字母表示不同生境土壤化学计量在 α=0.05 水平差异显著
Note: Different letters denote significant differences at α=0.05 among habitats

图 2 不同生境土壤化学计量特征

Figure 2 Stoichiometry characteristics in different habitats

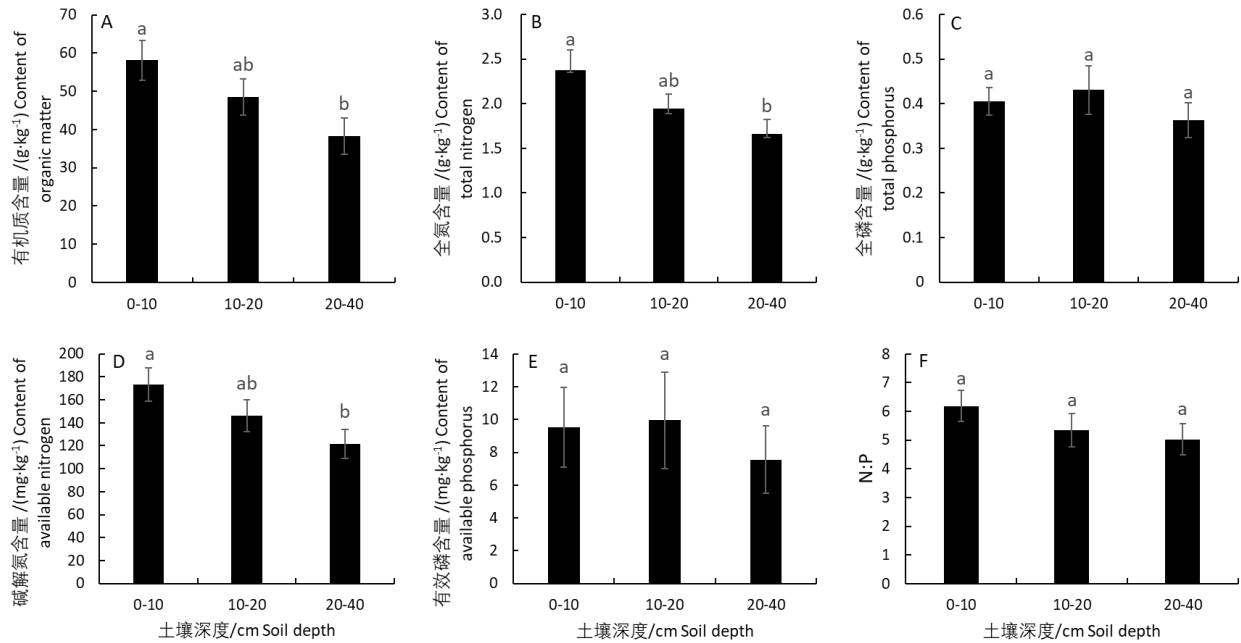
10~20 cm 土壤 (48.49 g·kg⁻¹) 处于中间; 0~10 cm 土壤全氮含量 (2.38 g·kg⁻¹) 最高, 20~40 cm 土壤 (1.66 g·kg⁻¹) 最低, 10~20 cm 土壤 (1.95) 处于两者之间; 0~10 cm 土壤碱解氮含量 (173.36 mg·kg⁻¹) 最高, 20~40 cm 土壤 (121.71 mg·kg⁻¹) 最低, 10~20 cm 土壤 (146.09 mg·kg⁻¹) 处于中间。其余指标在各土壤层中无显著差异。

4 结论与讨论

4.1 本研究中优势树种的叶片化学元素含量及其计量特征具有显著差异, 显示出明显的种间差异

性; 不同生境 (临海、山地、沼泽) 之间的土壤差异主要表现为 N 元素及 N : P, 其他如有机质、P 元素等含量差异不明显; 不同土层间则表现为有机质和 N 元素含量差异明显, 浅层土壤元素含量最高, 其他指标在各土层中差异不显著。

4.2 在本研究中, 叶片养分元素含量在不同树种间的差异主要取决于物种遗传特性, 所选的 8 个树种中, 叶片 C、N、P 含量平均值分别为 501.56、18.46 和 1.54 g·kg⁻¹, 与全球叶片 C、N、P 含量水平相比, 高于全球水平的叶片 C 含量 (464.00 g·kg⁻¹), 低于全球水平的叶片 N 含量 (21.1 g·kg⁻¹)



注：不同字母表示不同深度土壤化学计量在 $\alpha=0.05$ 水平差异显著

Note: different letters denote significant differences at $\alpha=0.05$ among soil depths

图 3 不同土层土壤化学计量特征

Figure 3 Stoichiometry characteristics in different soil depths

和 P 含量 ($1.99 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)^[19-20]；处于中国东部南北样带 654 种植物叶片 N 含量 ($2.17 \sim 52.61 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)、P 含量 ($0.10 \sim 10.21 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 范围内^[21]；与闽北闽粤栲天然林主要树种幼树的叶片分析相比^[22]，高于其平均 C、N、P 含量 ($483.3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $16.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $0.46 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)；与亚热带中幼林针阔混交林的乔木叶片分析^[23]相比，略低于其平均 C 含量 ($502.88 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)，高于其 N、P 含量 ($15.87 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $1.09 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)。这表明，坝光银叶树群落中植物生长的 N、P 含量总体而言较高。

4.3 N 和 P 是亚热带森林生态系统发展最重要的限制性元素。Braakhekke 和 Hooftman 的研究认为，除了考虑养分的相对含量，还应该结合考虑养分的绝对含量^[11]。他们认为当 $N:P > 14$ 而叶片 P 含量低于 $1.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时，生长受到 P 限制；当 $N:P < 10$ 并且叶片 N 含量低于 $20.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时受到 N 限制； $N:P$ 在 10~14 之间可认为受到 N、P 共同限制（当 $P < 1.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 且 $N < 20.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ）或两种元素都不缺少（当 $P > 1.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 且 $N > 20.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ）。以此判断本研究 8 个树种的元素限制状况可发现，银叶树 $N:P$ 低于 10 且其叶片 N 含量低于 $20.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，说明银叶树生长受到 N 元素限制，海芒果 $N:P$ 处于 10~14 之间且 N 含量高于 $20.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 且其叶片 P 含

量高于 $1.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，说明海芒果不缺少 N、P 元素，银柴、细叶槐的 $N:P$ 处于 10~14 间且其叶片 P 含量高于 $1.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，说明银柴、细叶槐的生长没有表现出 N、P 限制的情况，多毛茜草树、假苹婆、鸭脚木、阴香的 $N:P$ 高于 14 且其叶片 P 含量高于 $1.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，这说明多毛茜草树、假苹婆、鸭脚木、阴香没有受到 P 元素限制。总体来说，元素限制情况在该银叶树群落中不明显。

4.4 土壤 N、P 元素作为影响植物生长发育所必需的养分元素，在植物生长发育中发挥着重要作用。本研究结果表明深圳坝光银叶树群落土壤 N、P 含量均值为 $1.49 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $0.42 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。其 N 含量远高于全国的平均水平 ($0.65 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)，而其 P 含量低于全国的平均水平 ($0.56 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)，其 $N:P$ 为 4.38~6.78，平均值为 5.60，远小于我国土壤 $N:P$ 平均水平 (10.1~12.1 之间)^[24]。本研究中不同生境土壤分析表明，在深圳坝光银叶树群落中，相比于临海和山地土壤，沼泽土壤的全氮和碱解氮含量较低，而全磷含量较高，这可能与潮汐作用导致沼泽土壤周期性受到海水倒灌有关。土壤有机质、全氮和碱解氮含量随土壤深度增加而降低，与过往研究^[25-29]一致，表明土壤养分大多聚集在表层，这可能与凋落物输入及表层土壤微生物作用有关。

参考文献

- [1] ZENG D H, CHEN G S. Ecological stoichiometry: A science to explore the complexity of living systems[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(6): 1007-1019.
- [2] CHENG R M, WANG N, XIAO W F, et al. Advances in Studies of Ecological Stoichiometry of Terrestrial Ecosystems[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2018, 54(7): 130-136.
- [3] HE J S, HAN X G. Ecological stoichiometry: Searching for unifying principles from individuals to ecosystems[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(1): 2-6.
- [4] 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.
- [5] VITOUSEK P. Nutrient cycling and nutrient use efficiency[J]. *American Naturalist*, 1982, 119(4): 553-572.
- [6] KOERSELMAN W, MEULEMAN A F. The vegetation N: P ratio: a new tool to detect the nature of nutrient limitation[J]. *Journal of Applied Ecology*, 1996, 33(6): 1441-1450.
- [7] GÜSEWELL S. N: P ratios in terrestrial plant: variation and functional significance[J]. *New Phytologist*, 2004, 164(2): 243-266.
- [8] HAN W X, FANG J Y, GUO D, et al. Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry across 753 terrestrial plant species in China[J]. *New Phytologist*, 2005, 168(2): 377-385.
- [9] 张广帅, 邓浩俊, 杜锟, 等. 泥石流频发地区山地不同海拔土壤化学计量特征: 以云南省小江流域为例[J]. *生态学报*, 2016, 36(3): 675-687.
- [10] 卢同平, 史正涛, 牛洁, 等. 我国陆生生态化学计量学应用研究进展与展望[J]. *土壤学报*, 2016, 48(1): 29-35.
- [11] BRAAKHEKKE W G, DAP HOOFTMAN. The resource balance hypothesis of plant species diversity in grassland[J]. *Journal of Vegetation Science*, 1999, 10(2): 187-200.
- [12] 王绍强, 于贵瑞. 生态系统碳氮磷元素的化学计量特征[J]. *生态学报*, 2008, 28(8): 3937-3947.
- [13] FANELLI G, LESTINI M, SAULI A S. Floristic gradients of herbaceous vegetation and P: N ratio in soil in a Mediterranean area[J]. *Plant Ecology*, 2008, 194 (2): 231-242.
- [14] 冯德枫, 包维楷. 土壤碳氮磷化学计量比时空格局及影响因素研究进展[J]. *应用与环境生物学报*, 2017, 23(2): 400-408.
- [15] 林喜珀, 温小莹, 黄芳芳, 等. 6种热带、亚热带阔叶树种苗生态化学计量特征[J]. *林业与环境科学*, 2016, 32(2): 10-16.
- [16] 黄应锋, 孙斌, 廖绍波, 等. 深圳市古树资源特征与分布格局[J]. *植物资源与环境学报*, 2015, 24(2): 104-111.
- [17] 简曙光, 韦强, 唐恬, 等. 深圳盐灶银叶树种群的生物学特性研究[J]. *华南农业大学学报*, 2005, 26(4): 84-87.
- [18] 国家林业局. LY/T 1210~1275-1999 森林土壤分析方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999: 14.
- [19] REICH P B, OLEKSYN J. Global patterns of plant leaf N and P in relation to temperature and latitude[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2004, 101(30): 11001-11006.
- [20] 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.
- [21] 任书杰, 于贵瑞, 陶波, 等. 中国东部南北样带654种植物叶片氮和磷的化学计量学特征研究[J]. *环境科学*, 2008, 28(12): 2665-2673.
- [22] 郑德祥, 蔡杨新, 杨玉洁, 等. 闽北闽粤栲天然林幼树器官碳氮磷化学计量特征分析[J]. *林业科学研究*, 2017, 30(1): 154-159.
- [23] 周丽, 张卫强, 唐洪辉, 等. 南亚热带中幼龄针阔混交林生态化学计量特征[J]. *生态环境学报*, 2014, 23(11): 1732-1738.
- [24] CLEVELAND C C, LIPTZIN D. C. N: P stoichiometry in soil: Is there a "Redfield ratio" for the microbial biomass [J]. *Biogeochemistry*, 2007, 85(3): 235-252.
- [25] 任璐璐, 张炳学, 韩凤朋, 等. 黄土高原不同年限刺槐土壤化学计量特征分析[J]. *水土保持学报*, 2017, 31(2): 339-344.
- [26] 李明军, 喻理飞, 杜明凤, 等. 不同林龄杉木人工林植物-凋落叶-土壤C、N、P化学计量特征及互作关系研究[J]. *生态学报*, 2018, 38(21): 1-10.
- [27] 曾昭霞, 王克林, 刘孝利, 等. 桂西北喀斯特森林植物-凋落物-土壤生态化学计量特征[J]. *植物生态学报*, 2015, 39(7): 682-693.
- [28] 林明珠, 谢世友, 林玉石. 喀斯特山地不同土地利用方式土壤养分特征研究[J]. *中国水土保持*, 2009, (9): 8-10.
- [29] 许佳波, 王侗. 公路沿线植物多样性与表土特征[J]. *林业与环境科学*, 2018, 34(3): 28-35.