

## 两个地区榄李属植物土壤-茎-叶营养元素及化学计量学特征比较

洪文君, 刘俊, 黄永平, 麦志通, 韦茂山, 曾德华\* (三亚市林业科学研究院, 海南三亚 572000)

**摘要** 以三亚铁炉港红树林保护区和陵水新村港的红榄李(*Lumnitzera littorea*)和榄李(*L. racemosa*)为研究对象, 分析其土壤养分及茎部、叶片营养元素和生态化学计量比, 探讨不同地区它们对土壤特性的影响。结果表明: 三亚和陵水土壤 pH 为 6.49~8.67, 土壤全 N 和全 P 含量均较低, 但前者 N 含量高于后者, P 含量低于后者; 前者速效 K 含量属富 K 型(>155 mg/kg), 后者速效 K 含量属适量型(125~155 mg/kg)。红榄李和榄李茎部的 N 和 P 含量均低于 Ca 含量, 表明茎部能吸收一定量的 Ca 能力。三亚地区红榄李和榄李叶片以 Ca 含量最高, 分别为 46.07 g/kg 和 14.98 g/kg; 陵水红榄李叶片以 Ca 含量较高, 榄李以 N 含量较高; 但 2 个地区 2 个树种叶片 N/P 均低于 14, 说明这 2 个树种主要受 N 限制。PCA 分析结果表明, 红榄李和榄李土壤-茎-叶 N、P、K 等含量之间均存在显著相关; 同一树种在不同地区对土壤、茎部和叶片因子及化学计量比的响应不同, 表明不同地区土壤因子对植物营养元素吸收能力存在差异。

**关键词** 红树林; 土壤养分; 茎养分; 叶养分; 化学计量比

中图分类号 S718.5 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)12-0108-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.12.030



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Study on Soil-Stem-Leaf Nutrients and Stoichiometry Ratio of *Lumnitzera* Species at Different Areas

HONG Wen-jun, LIU Jun, HUANG Yong-ping et al (Sanya Academy of Forestry, Sanya, Hainan 572000)

**Abstract** Taking the soil nutrients, stem and leaf nutrients and stoichiometry ratio of *Lumnitzera littorea* and *L. racemosa* in Sanya Tielugang Mangrove Reserve and Lingshui Xincun Port as research objects, to understand different areas soil properties and effects of two *Lumnitzera* species. The results showed that the soil pH of Sanya and Lingshui areas were between 6.49 and 8.67, respectively, and the total N and total P contents were lower. However, the N content of former was higher than that of the latter, and the P content was lower than that of the latter. Available K content was rich in K type in Sanya (>155 mg/kg), available K content in Lingshui reached K-minimum (125-155 mg/kg). The N and P contents in the stem of *L. littorea* and *L. racemosa* were lower than Ca content. It indicated that the stem could absorb Ca content. The leaf Ca contents of *L. littorea* and *L. racemosa* were highest in Sanya, which were 46.07, 14.98 g/kg, respectively. The leaf Ca content of *L. littorea* was higher and the N content of *L. racemosa* was higher in Lingshui. The N/P ratios of different species were lower than 14, which indicated that two species were restricted by N. The results of PCA analysis showed that there were also significant correlations between soil-stem-leaf N, P, K and other contents of *L. littorea* and *L. racemosa*. The same tree species had different responses to soil, stem, and leaf factors and stoichiometric ratios in different regions, indicating that soil factors had different absorptive capacities for plant nutrients in different regions.

**Key words** Mangrove forest; Soil nutrient; Stem nutrient; Leaf nutrient; Stoichiometry ratio

红树林是生长在热带、亚热带沿海潮间带以特有的红树植物为主体的潮滩湿地木本生物群落植被, 兼具有陆地生态系统与海洋生态系统特性, 是海岸重要生态关键区<sup>[1]</sup>。近年来, 红树林湿地生态系统中红树林营养元素的研究逐渐受到重视。

土壤是影响红树林生态系统的重要因子, 其土壤营养元素含量决定了红树林生长状况<sup>[2]</sup>。而植物在湿地生态系统营养元素吸收、积累、分配及归还的循环过程中发挥着重要的作用<sup>[3-4]</sup>。研究发现, 不同红树种类间的氮元素含量存在显著差异, 而磷元素不明显, 并且不同的红树植物养分内吸收效率较高<sup>[5]</sup>。土壤养分供应量、植物养分需求量以及自身养分需求的自我调节、凋落物分解养分返还, 在植物-凋落物-土壤系统三者间具有明显的时空变化又相互影响<sup>[6]</sup>。

红榄李(*Lumnitzera littorea*)和榄李(*L. racemosa*)均为使君子科榄李属红树植物。前者为濒危红树林植物, 是嗜热窄分布种, 在世界范围内都是稀少种类, 为我国 II 级保护植物。后者为嗜热广布种, 为红树植物群落演替的后期物种, 生于高潮带或大潮可及的泥沙滩<sup>[5]</sup>。近些年, 红榄李在国内外的主要研究包括分布情况、生物学特性、育苗技术、群落学及濒

危机和保护对策<sup>[7-9]</sup>, 而对榄李的研究主要集中在繁育造林技术、群落学等<sup>[10-11]</sup>, 但对这 2 种榄李属植物与土壤营养元素及化学计量学比较鲜见报道。该研究选择三亚铁炉港红树林保护区自然分布的红榄李、榄李和陵水新村港自然分布的红榄李、榄李为研究对象, 分析这两个地区土壤与植物营养元素关系, 探讨植物-土壤养分元素相互作用的关系, 以为红树林生态系统保护和恢复提供参考。

## 1 研究地区与研究方法

**1.1 研究区概况** 三亚铁炉港红树林自然保护区(18°15'~18°17'N, 109°42'~109°44'E)位于海棠湾滨海旅游度假区内, 主要保护对象为红树林及其林下丰富的底栖生物, 为典型的热带红树林<sup>[12]</sup>。该自然保护区受热带海洋性季风气候影响较大, 气温比较高, 年平均气温是 25.5 °C, 平均降水量是 1 255 mm。陵水新村港(18°23'~18°26'N, 109°58'~110°03'E)为天然近封闭港湾, 海底底质以泥沙和砂质为主<sup>[13]</sup>。

**1.2 样品采集与处理** 研究材料包括三亚和陵水自然生长的红榄李和榄李的叶片、茎部及其群落的土壤, 这两地树种的基本信息见表 1。在树冠顶端向阳面采集树叶, 并在树种所在群落采集混合土壤 1.0 kg, 每个树种采集 5 株叶片和茎部, 每个采集点采集 5 份土壤。叶片置于 80 °C 烘箱中烘至恒重, 用粉碎机粉碎后装好用于测定植物叶片 N、P、K、Ca、Mg、Cu、Zn、Fe、Pb 含量; 土壤样品去除砾石与杂物, 风干后过 20 和 100 目筛备用, 用于测定 pH、有机质、全 N、全 P、全 K、

**基金项目** 2019 年三亚市财政项目“极小种群红树植物红榄李的回归适应性研究与示范”。

**作者简介** 洪文君(1990—), 女, 海南三亚人, 工程师, 从事植物学研究。  
\* 通信作者, 工程师, 硕士, 从事红树林保育生物学研究。

**收稿日期** 2019-11-12; **修回日期** 2019-11-26

碱解 N、有效 P、有效 K 和全盐含量。

表 1 材料来源

Table 1 Source of materials

种类 Species	采集地点 Collecting location	平均树高 Average tree height//m	平均胸径 Average DBH//cm	平均冠幅 Average crown m
红椴李	三亚	5.20±0.46	34.80±2.48	6.30±0.55
<i>L. littore</i>	陵水	2.59±0.34	4.68±0.57	3.57±0.79
椴李	三亚	5.40±0.68	23.90±1.79	5.52±0.87
<i>L. racemosa</i>	陵水	4.86±0.76	17.46±1.54	4.67±0.49

**1.3 测定方法** 土壤 pH 用玻璃电极法测定;有机质用高温外热重铬酸钾氧化-容量法测定;全 N 用开氏-蒸馏滴定法测定;速效 N 用碱解扩散法测定;全 P 用氢氧化钠熔融-钼锑抗比色法测定;速效 P 用碳酸氢钠提取-钼锑抗比色法;全 K 用氢氧化钠熔融-火焰原子吸收分光光度法测定;速效 K 用乙酸铵提取-火焰原子吸收分光光度法测定;全盐含量采用电导率法测定。具体测定方法参见文献[14],所有土壤样品做 3 个平行,取平均值作为样品的最终测定结果。

植物样品全 N 用硫酸-双氧水消煮-蒸馏滴定法测定;全 P 用硫酸-双氧水消煮-钼锑抗比色法测定;全 K 用硫酸-双氧水消煮-火焰原子吸收分光光度法测定;Ca、Mg、Zn、Cu、Fe、Pb(全量)用干灰化-火焰原子吸收分光光度法测定。具体测定方法参见文献[14],所有植物样品做 3 个平行,取平均值作为样品的最终测定结果。

**1.4 数据分析** 植物叶片 N、P、K、Ca、Mg 含量采用质量含量,N/P、Ca/Mg、Ca/K、K/Mg 均采用质量比。采用 Microsoft

Excel 2010、SPSS 21.0(statistical product and service solutions)和 Canoco 分析软件进行数据处理与统计分析。

## 2 结果与分析

**2.1 两个地区土壤理化性质比较** 由表 2 可知,陵水土壤 pH 稍高于三亚,属碱性土壤;两个地区的土壤全盐含量均在 1.00%以上。三亚铁炉港红树林自然保护区的土壤有机质含量为 29.86 g/kg,约是陵水(4.66 g/kg)的 6.4 倍,表明三亚铁炉港土壤有机质含量较为丰富。

N 素是植物必需的三大营养元素之一,在植物生长过程中占有重要地位,它是植物蛋白质的主要成分<sup>[15]</sup>。三亚土壤全 N 含量为 0.74 g/kg,陵水土壤全 N 含量为 0.26 g/kg,属于全国第二次土壤普查养分的五级或六级水平,表明这两个地区土壤全 N 含量均较低。与全国第二次土壤普查养分分级标准<sup>[16]</sup>相比,三亚土壤的碱解 N 含量为 44.27 mg/kg,陵水土壤碱解 N 含量为 18.77 mg/kg,均属五级或六级水平。

我国土壤 P 的含量很低,全 P 含量为 0.13~1.53 g/kg。三亚地区土壤全 P 含量低于全国平均水平,陵水土壤全 P 为 0.22 mg/kg;陵水土壤有效 P 含量为 16.22 mg/kg,而三亚土壤有效 P 含量偏低。与全国水平标准含量<sup>[16]</sup>相比,三亚土壤全 K 含量较高,属二级水平,而陵水全 K 含量为 13.78 g/kg,属四级水平。速效 K 含量是决定 K 肥肥效的重要指标,根据许联芳等<sup>[17]</sup>土壤速效 K 含量划分标准,三亚地区的土壤速效 K 含量为 202.86 mg/kg,为富 K 型(>155 mg/kg),陵水地区土壤速效 K 含量为 144.13 mg/kg,为适量 K 型(125~155 mg/kg)。

表 2 两个地区土壤理化性质比较

Table 2 Comparison of soil physical and chemical properties in two regions

地区 Area	pH	有机质 Organic matter g/kg	全 N Total nitrogen g/kg	全 P Total phosphorus g/kg	全 K Total potassium g/kg	碱解 N Alkaline nitrogen mg/kg	有效 P Available phosphorus mg/kg	速效 K Available potassium mg/kg	全盐量 Total salt content %
三亚 Sanya	6.49 a	29.86 a	0.74 a	0.08 b	25.48 a	44.27 a	1.32 b	202.86 a	1.50 a
陵水 Lingshui	8.67 a	4.66 b	0.26 b	0.22 a	13.78 b	18.77 b	16.22 a	144.13 b	1.01 a

注:同列小写字母不同表示不同地区的差异达到显著( $P < 0.05$ )

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences in different regions( $P < 0.05$ )

**2.2 两个地区红椴李和椴李茎、叶元素含量比较** 检测结果显示,三亚和陵水红椴李茎部大量元素含量从大到小排序均为  $Ca > K > N > Mg > P$ ,微量元素含量从大到小排序为  $Fe > Pb > Zn > Cu$ 。而三亚椴李茎部大量元素含量从大到小排序为  $Ca > K > N > Mg > P$ ,陵水椴李大量元素含量从大到小排序为  $K > Ca > N > Mg > P$ ,微量元素含量从大到小排序均为  $Fe > Pb > Zn > Cu$ (表 3)。

方差分析结果表明,三亚红椴李茎部 Ca、Zn 和 Pb 含量显著高于陵水,而 N、Cu 和 Fe 含量显著低于陵水;三亚椴李茎部 N、P、K、Ca 和 Zn 含量显著高于陵水,Fe 含量显著低于陵水,但两个地区间的 Mg、Cu 和 Pb 含量差异不明显。

叶片是植物代谢活动最活跃的器官,其化学元素含量可

反映植物对元素的吸收和累积的特点<sup>[18]</sup>。由表 4 可知,同一树种在不同地区的叶片元素含量存在一定差异。三亚和陵水红椴李叶片均以 Ca 含量最高,分别为 46.07、11.11 g/kg,且三亚地区 Ca 含量显著高于陵水;而两个地区微量元素均以 Fe 含量最高,陵水的 Fe 含量显著高于三亚。陵水的红椴李叶片全 N 和全 P 大量元素含量高于三亚地区,微量元素中 Cu 和 Fe 含量显著高于三亚。

三亚地区椴李大量元素以全 Ca 含量最高,为 14.98 g/kg,全 K 含量次之;微量元素以全 Fe 含量最高(41.17 mg/kg),Pb 含量次之;陵水地区椴李大量元素则以全 N 含量最高,为 9.34 g/kg,全 Ca 含量次之;微量元素以 Fe 含量最高(135.39 mg/kg),Pb 含量次之(表 4)。

表3 两个地区红榄李和榄李茎部元素含量比较

Table 3 Comparison of the stem nutrient of *L.littore* and *L.racemosa* in two regions

树种 Tree species	地区 Area	大量元素 Macroelement//g/kg					微量元素 Trace element//mg/kg				
		N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Pb	
红榄李 <i>L.littore</i>	三亚	4.01±0.41 b	0.69±0.22 a	11.16±2.04 a	25.49±2.77 a	1.06±0.03 a	4.08±0.44 b	13.92±2.47 a	44.63±3.50 b	17.26±2.28 a	
	陵水	8.85±0.94 a	0.89±0.10 a	11.15±1.30 a	11.29±1.02 b	2.32±0.09 a	6.64±0.32 a	8.54±1.77 b	186.75±61.23 a	15.91±1.72 b	
榄李 <i>L.racemosa</i>	三亚	4.79±0.16 a	1.27±0.06 a	9.43±1.54 a	13.13±1.05 a	1.79±0.23 a	3.37±0.59 a	7.49±0.87 a	38.29±7.11 b	10.96±0.47 a	
	陵水	3.14±0.07 b	0.27±0.03 b	7.84±0.47 b	6.80±0.27 b	1.79±0.08 a	3.22±0.21 a	6.56±0.52 b	55.59±8.92 a	10.41±0.27 a	

注:同列小写字母不同表示同一树种在不同地区的差异达到显著( $P < 0.05$ )

Note: Different lowercase letters in the same column indicate that the difference of the same tree species in different regions is significant ( $P < 0.05$ )

表4 两个地区红榄李和榄李叶片元素含量比较

Table 4 Comparison of the leaf nutrient of *L.littore* and *L.racemosa* in two regions

树种 Tree species	地区 Area	大量元素 Macroelement//g/kg					微量元素 Trace element//mg/kg				
		N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Pb	
红榄李 <i>L.littore</i>	三亚	6.57±0.56 b	0.70±0.04 a	9.99±2.35 a	46.07±7.41 a	3.09±0.16 a	2.85±0.36 b	7.96±0.72 a	39.20±5.58 b	13.95±1.20 a	
	陵水	9.55±1.09 a	0.86±0.06 a	8.24±1.34 a	11.11±0.94 b	3.76±0.49 a	4.64±0.31 a	6.07±0.92 a	135.50±16.43 a	10.07±0.47 b	
榄李 <i>L.racemosa</i>	三亚	6.51±0.39 b	0.74±0.05 a	8.20±0.08 a	14.98±1.18 a	4.94±0.20 a	2.60±0.14 a	6.06±0.43 b	41.17±1.09 b	10.90±0.30 b	
	陵水	9.34±0.18 a	0.63±0.05 a	7.37±0.81 a	8.18±0.48 b	4.51±0.10 a	2.45±0.06 a	8.35±0.45 a	135.39±15.52 a	16.11±0.94 a	

注:同列小写字母不同表示同一树种在不同地区的差异达到显著( $P < 0.05$ )

Note: Different lowercase letters in the same column indicate that the difference of the same tree species in different regions is significant ( $P < 0.05$ )

**2.3 两个地区红榄李和榄李茎、叶化学元素计量比较** 从茎部化学计量来看,同一树种在不同地区的元素化学计量差异较大。三亚红榄李茎部 Ca/Mg (23.77)、K/Mg (10.35) 和 Ca/K (1.01) 均显著高于陵水,但陵水红榄李茎部 N/P (9.88)

显著高于三亚(6.57)。由表5可知,榄李茎部的元素比值稍低于红榄李。三亚榄李茎部的 Ca/K、K/Mg 和 Ca/Mg 高于陵水,但 N/P 均低于陵水。

表5 两个地区红榄李和榄李茎部化学元素计量比较

Table 5 Comparison of stem stoichiometry of *L.littore* and *L.racemosa* in two regions

树种 Tree species	地区 Area	N/P	Ca/Mg	Ca/K	K/Mg
红榄李 <i>L.littore</i>	三亚	6.57±1.77 b	23.77±0.16 a	2.34±1.52 a	10.35±1.52 a
	陵水	9.88±0.66 a	4.92±0.03 b	1.01±0.78 b	4.87±0.78 b
榄李 <i>L.racemosa</i>	三亚	3.76±0.34 b	7.39±0.11 a	1.42±0.21 a	5.20±0.21 a
	陵水	11.46±0.11 a	3.80±0.03 b	0.87±0.05 a	4.36±0.05 b

注:同列小写字母不同表示同一树种在不同地区的差异达到显著( $P < 0.05$ )

Note: Different lowercase letters in the same column indicate that the difference of the same tree species in different regions is significant ( $P < 0.05$ )

从叶化学计量来看(表6),红榄李和榄李叶片 N/P 在 8.77~13.79,均小于 14,说明这 2 个树种主要受 N 限制。三亚红榄李 Ca/Mg 为 14.78,是陵水的近 5 倍;2 个树种 Ca/K

为 1.15~4.82, K/Mg 为 1.64~3.19。方差分析结果表明,三亚红榄李、榄李叶片 Ca/Mg、Ca/K 和 K/Mg 均显著高于陵水。

表6 两个地区红榄李和榄李叶片化学元素计量比较

Table 6 Comparison of leaf stoichiometry of *L.littore* and *L.racemosa* in two regions

树种 Tree species	地区 Area	N/P	Ca/Mg	Ca/K	K/Mg
红榄李 <i>L.littore</i>	三亚	9.25±1.86 b	14.78±0.47 a	4.82±0.65 a	3.19±0.65 a
	陵水	11.08±0.15 a	2.98±0.24 b	1.41±0.41 b	2.25±0.41 b
榄李 <i>L.racemosa</i>	三亚	8.77±0.19 b	3.02±0.15 a	1.82±0.08 a	1.66±0.08 a
	陵水	13.79±0.07 a	1.82±0.20 b	1.15±0.21 b	1.64±0.21 a

注:同列小写字母不同表示同一树种在不同地区的差异达到显著( $P < 0.05$ )

Note: Different lowercase letters in the same column indicate that the difference of the same tree species in different regions is significant ( $P < 0.05$ )

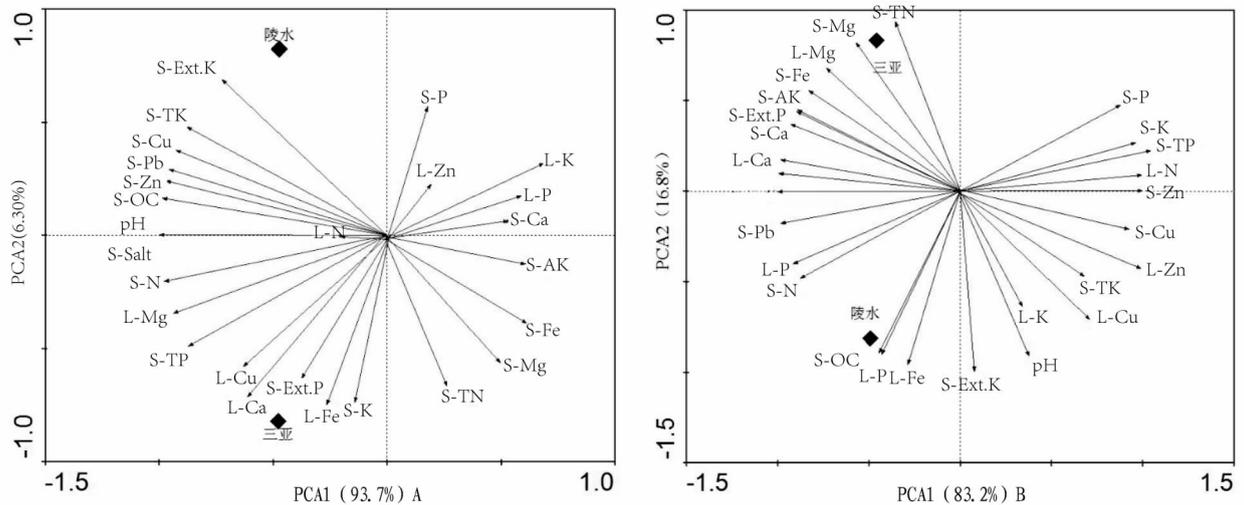
**2.4 两个地区红榄李和榄李土壤-茎-叶元素含量 PCA 分析** 利用三亚和陵水的红榄李、榄李的土壤、茎部和叶片相关因子进行 PCA 分析,不仅能够分析各指标的空间分布格局差异,而且也区分不同地区红榄李和榄李对其因子的响应。由图 1A 可知,第 1 和 2 主成分的累积贡献率为 100%,

其中,PC1 占总方差的 93.7%,PC2 占方差的 6.3%(图 1)。两个地区的红榄李 PC1 主要反映的是土壤全 K、全 N、pH、有机质、速效 K、全盐含量,茎部 K、P、Zn、Pb,叶片 Mg、Fe、Ca、Cu 因子,PC2 主要反映的是土壤全 P、碱解 N,茎部 Ca、Mg、Fe,叶片 P、K 因子。两个地区的榄李第 1 和 2 主成分的累积贡献率也

为100%,其中,PC1 占总方差的 83.2%,PC2 占方差的 16.8% (图 1B)。PC1 主要反映的是土壤 pH、速效 K、有机质、有效 P、碱解 N、茎部 N、Ca、Pb,叶片 Zn、Ca、P、Mg 因子;PC2 主要影响因子有土壤全 K、全盐量,茎部 K、Mg,叶片 K、Cu、N。

三亚和陵水红椴李和椴李对土壤因子、茎部和叶片因子

的响应不同。三亚红椴李的主要影响因子有土壤 K、速效 P,叶片 Fe、Ca、Cu;椴李的主要影响因子有土壤有效 P、碱解 N,茎部 N、Fe 和叶部 Mg。陵水红椴李的主要影响因子以土壤速效 K,茎部 K、Cu 和 Pb 为主;椴李以土壤有机质、全 N、速效 K,叶片 P、Fe 为主要影响因子(图 1)。



注:S-OC 为土壤有机质;S-TN 为土壤全 N;S-TP 为土壤全 P;S-TK 为土壤全 K;S-AK 为土壤碱解 N;S-Ext.P 为土壤速效 P;S-Ext.K 为有效 K;S-Salt 为土壤盐含量;S-N 为茎 N;S-P 为茎 P;S-K 为茎 K;S-Ca 为茎 Ca;S-Mg 为茎 Mg;S-Cu 为茎 Cu;S-Zn 为茎 Zn;S-Fe 为茎 Fe;S-Pb 为茎 Pb;L-N 为叶 N;L-P 为叶 P;L-K 为叶 K;L-Ca 为叶 Ca;L-Mg 为叶 Mg;L-Cu 为叶 Cu;L-Zn 为叶 Zn;L-Fe 为叶 Fe;L-Pb 为叶 Pb

图 1 两个地区红椴李(A)和椴李(B)土壤-茎-叶元素含量 PCA 分析

Fig.1 PCA analysis of soil-stem-leaf of *L.littore* (A) and *L.racemosa* (B) in two regions

### 3 讨论与结论

该研究结果显示,三亚和陵水两个地区土壤 pH 为 6.49~8.67,含盐量较高。三亚土壤 N 含量高于陵水,P 含量低于陵水,造成这种结果的原因可能与两个研究区域 N 和 P 元素的来源不同有关。由于三亚铁炉港红树林保护区为典型的红树林湿地生态系统,其主要植被为红树植物,其树种的生长有利于土壤养分的累积,该地土壤营养元素的组成受有机质分解过程、植物根系分泌物以及凋落物的不同等多种因素综合影响<sup>[19]</sup>。速效 N、P、K 是植物生长发育所必需的元素,通过对土壤可直接利用土壤营养元素,表现出红树林生长、生态环境状况。研究结果显示,两个地区的土壤全 N 和全 P 含量均较低,三亚速效 K 含量属富 K,陵水速效 K 含量属适量型。与已有文献报道红树林土壤的特性相比<sup>[20-21]</sup>,三亚铁炉港红树林自然保护区土壤肥力较高,陵水土壤肥力较低,但不同地区红树林之间的土壤性状存在差异。

茎作为输送水分、营养、保水能力及维持机械支撑作用的重要器官,具有高效运输水分的作用<sup>[22]</sup>。研究结果显示,红椴李和椴李茎部的 N 和 P 含量均低于 Ca 含量,其原因可能为 Ca 与果胶酸形成果胶酸钙,维持植物细胞壁结构和功能的稳定性,提高物种对环境的适应性能力<sup>[23]</sup>。三亚红椴李茎部 Ca/Mg 和 Ca/K 均显著高于陵水,椴李茎部的 Ca/K 和 K/Mg 高于陵水,这反映红椴李和椴李可以因环境因子的变化做出相应的适应性变化,即在盐度较高的条件下,茎部能吸收一定量的 Ca。

叶片是起同化作用的器官,有着旺盛的新陈代谢功能,

所以养分含量也相应较高<sup>[24]</sup>。该研究结果显示,三亚地区红椴李和椴李叶片以 Ca 含量最高,陵水红椴李叶片以 Ca 含量最高,椴李叶片以 N 含量最高,这说明同一树种在不同地区对营养元素吸收能力不同,也因环境因子的变化而变化,具有较强的环境适应性。植物体内 N/P 能用来衡量植物生长过程中受哪个元素的限制<sup>[25]</sup>。由此推断该研究的红椴李和椴李叶片 N/P 为 8.77~13.79 (低于 14),说明这 2 个树种主要受 N 限制。

PCA 分析结果表明,两个地区的红椴李土壤全 K、全 N、pH、有机质、速效 K、盐含量,茎部 K、P、Zn、Pb,叶片 Mg、Fe、Ca、Cu 为重要影响因子,椴李土壤 pH、速效 K、有机质、有效 P、碱解 N,茎部 N、Ca、Pb,叶片 Zn、Ca、P、Mg 为重要影响因子,反映红椴李和椴李土壤-茎-叶 N、P、K 等含量之间也均存在显著相关,反映植物在生长过程中土壤-茎-叶养分不断变化,它们之间具紧密的关联,其内在的维持机制需要进一步深入研究。同一树种在不同地区对土壤、茎部和叶片因子的响应不同,表明不同地区土壤因子对植物营养元素吸收能力存在差异。

### 参考文献

- [1] 林康英,张倩媚,简曙光,等.湛江市红树林资源及其可持续利用[J].生态科学,2006,25(3):222-225.
- [2] 韩维栋,高旭东.湛江湾红树林土壤理化性质的研究[J].中国农学通报,2013,29(31):27-31.
- [3] 刘长娥,杨永兴,杨杨.九段沙上沙湿地植物钾元素的分布、积累与动态[J].湿地科学,2008,6(2):185-191.

表7 不同立地环境抗性树种推荐

Table 7 Recommended resistant tree species for different site environments

序号 No.	立地环境 Site environment	树种推荐 Recommended tree species
1	干旱环境	油松、沙地云杉、沙地柏、兴安桧、侧柏、小叶杨、河北杨、旱柳、辽东栎、蒙古栎、刺槐、山皂角、裂叶榆、榆、臭椿、火炬树、黄榆、桑树、栎树、荚蒾、绒毛白蜡、秋胡颓子、怪柳、紫穗槐、树锦鸡儿、红花锦鸡儿、胡枝子、花木蓝、金叶莸、荆条、白皮松、赤松、樟子松、黑松、北京桧、新疆杨、板栗、麻栎、榉栎、榉树、山槐、葛藤、黑榆、榔榆、山荆子、山桃、山里红、山梨、杜梨、水栒子、毛櫻桃、黄刺玫、榆叶梅、玫瑰、大花溲疏、连翘、卫矛、金银忍冬、接骨木、枸杞、小檗、紫丁香
2	水涝环境	落叶松、水杉、枫杨、沼生栎、加杨、垂柳、旱柳、赤杨、水冬瓜赤杨、稠李、柳叶绣线菊、紫穗槐、茶条槭、蓝靛果忍冬、桑、山桃稠李、杜梨、山梨、黄檗、桃叶卫矛、红瑞木、白蜡、洋白蜡、绒毛白蜡
3	盐碱环境	秋胡颓子、侧柏、怪柳、枸杞、小叶白蜡、绒毛白蜡、臭椿、榆、桑、枫杨、火炬树、黑松、国槐、银中杨、新疆杨、栎树、白皮松、北京桧、水杉、加杨、钻天杨、小叶杨、毛白杨、旱柳、垂柳、旱柳、银芽柳、水曲柳、梓树、刺槐、紫穗槐、香花槐、山皂角、胡枝子、枣、山杏、山桃、榆叶梅、毛櫻桃、杜梨、山梨、玫瑰、绣球绣线菊、红瑞木、枸杞、金叶莸、五叶地锦、地锦、棘条、小檗、金银忍冬
4	荫蔽环境	杉松冷杉、臭冷杉、矮紫杉、小叶黄杨、朝鲜黄杨、锦熟黄杨、茶条槭、欧洲荚蒾、鸡树条荚蒾、珍珠梅、花木蓝
5	半阴环境	红皮云杉、青扦云杉、白扦云杉、红松、北京桧、色木槭、假色槭、元宝槭、拧筋槭、鸡爪槭、梓树、紫椴、糠椴、茶条槭、天女木兰、锦带花、日本绣线菊、珍珠梅、柳叶绣线菊、红瑞木、胶东卫矛、短翅卫矛、大叶黄杨、蓝叶忍冬、金银忍冬、卫矛、南蛇藤、大花溲疏、文冠果、栎树、水蜡、什锦丁香、紫丁香、辽东丁香、小檗
6	风沙环境	银杏、黑松、北京桧、侧柏、加杨、新疆杨、旱柳、榆、枣、臭椿、国槐、板栗、枫杨、桑、山梨、山桃、山杏
7	污染环境	旱柳、榆、刺槐、山皂角、桑、臭椿、银杏、油松、红皮云杉、北京桧、花曲柳、山桃、山梅花、锦带花、金银忍冬、卫矛、水蜡、连翘、紫丁香
8	瘠薄环境	油松、榆、桑、旱柳、臭椿、刺槐、国槐、树锦鸡儿、珍珠梅、毛果绣线菊、怪柳

#### 4 结论

城市绿地树种的选择及配置直接关系到绿地系统景观价值的高低和生态功能的发挥,也决定着绿地脆弱度的高低<sup>[12]</sup>。城市绿地系统植物配置原则首先应遵循生物多样性原理,确保植物群落相对稳定性,在城市绿地建设时首先要考虑实际应用的地点、需求,合理选择植物种类,设计植物的空间分布、种植密度,进行科学的植物配置,促进城市绿地生态系统建设与可持续发展。

#### 参考文献

- [1] 徐晓红.干旱区城市绿地系统健康综合评价[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2007.
- [2] 孟麒.沈阳近代公园发展与特点研究[D].沈阳:沈阳建筑大学,2016.
- [3] 徐文铎,何兴元,陈玮,等.沈阳市区植物区系与植被类型的研究[J].应用生态学报,2007,27(11):4859-4870.
- [4] 杨永兴,刘长娥,杨杨.长江河口九段沙海三棱藨草湿地生态系统 N、P、K 的循环特征[J].生态学杂志,2009,28(10):1977-1985.
- [5] 何斌源,范航清,王瑁,等.中国红树林湿地物种多样性及其形成[J].生态学报,2007,27(11):4859-4870.
- [6] AGREN G I, BOSATTA E. Theoretical ecosystem ecology: Understanding element cycles[M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1998: 234.
- [7] 张颖,李燕华,张晓楠,等.濒危红树植物红榄李开花生物学特征及繁育系统[J].应用与环境生物学报,2017,23(1):77-81.
- [8] 范航清,陈利洪.中国濒危红树植物红榄李的种群数量及其分布[J].广西科学,2006,13(3):226-227.
- [9] 孙相来,石绍章,赵小迎,等.海南省极小种群野生濒危植物现状与保护对策[J].绿色科技,2017(18):11-13,38.
- [10] 彭逸生,李皓宇,郑洲翔,等.广东惠东县境内榄李种群的分布及保育策略[J].湿地科学与管理,2016,12(4):36-38.
- [11] 李燕华,杨勇,张颖.铁炉港红树植物红榄李和红榄李各器官矿质元素含量分析[J].湿地科学,2016,14(3):433-438.
- [12] 符国媛,黎军.海南三亚市红树林植被调查初报[J].海南大学学报(自然科学版),2000,18(3):287-292.
- [13] 陈利洪.红树濒危植物红榄李的保护生物学研究[D].南宁:广西大学,2007.
- [14] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000:1-638.
- [15] 刘铭,田大伦,方晰,等.药用植物血水草生长的土壤化学元素含量特

用生态学报,2013,14(12):2095-2102.

- [4] 沈阳市园林科学研究所.沈阳园林植物名录[M].沈阳:沈阳市园林科学研究所,1993.
- [5] 欧阳红玉.寒地城市的园林植物配置:对沈阳市植物配置的探讨[J].沈阳建筑工程学院学报(自然科学版),2004,20(1):43-45.
- [6] 田伟,关正君,陈岩.沈阳城市绿化树种选择与应用[J].现代园林,2004(12):25-27.
- [7] 曹阳.沈阳城市绿地建设研究[D].沈阳:东北大学,2008.
- [8] 谢金焕.城市森林培育的树种选择[J].福建林业科技,2005(4):205-208.
- [9] 张崇宝.长春市绿地系统生态建设与可持续发展研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2005.
- [10] 中华人民共和国住房和城乡建设部.城市道路绿化规划与设计规范: CJJ 75—97[S].北京:中国建筑工业出版社,1998.
- [11] 朱琳,刘军,任欢.城市植物多样性与园林绿化关系研究[J].北京农业,2014(15):56.
- [12] 康忠武,杨建华,刘柿良,等.中国现代城市绿地树种规划研究进展[J].四川林业科技,2016,37(4):110-113.

(上接第 111 页)

- [4] 杨永兴,刘长娥,杨杨.长江河口九段沙海三棱藨草湿地生态系统 N、P、K 的循环特征[J].生态学杂志,2009,28(10):1977-1985.
- [5] 何斌源,范航清,王瑁,等.中国红树林湿地物种多样性及其形成[J].生态学报,2007,27(11):4859-4870.
- [6] AGREN G I, BOSATTA E. Theoretical ecosystem ecology: Understanding element cycles[M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1998: 234.
- [7] 张颖,李燕华,张晓楠,等.濒危红树植物红榄李开花生物学特征及繁育系统[J].应用与环境生物学报,2017,23(1):77-81.
- [8] 范航清,陈利洪.中国濒危红树植物红榄李的种群数量及其分布[J].广西科学,2006,13(3):226-227.
- [9] 孙相来,石绍章,赵小迎,等.海南省极小种群野生濒危植物现状与保护对策[J].绿色科技,2017(18):11-13,38.
- [10] 彭逸生,李皓宇,郑洲翔,等.广东惠东县境内榄李种群的分布及保育策略[J].湿地科学与管理,2016,12(4):36-38.
- [11] 李燕华,杨勇,张颖.铁炉港红树植物红榄李和红榄李各器官矿质元素含量分析[J].湿地科学,2016,14(3):433-438.
- [12] 符国媛,黎军.海南三亚市红树林植被调查初报[J].海南大学学报(自然科学版),2000,18(3):287-292.
- [13] 陈利洪.红树濒危植物红榄李的保护生物学研究[D].南宁:广西大学,2007.
- [14] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000:1-638.
- [15] 刘铭,田大伦,方晰,等.药用植物血水草生长的土壤化学元素含量特征[J].中南林业科技大学学报,2009,29(2):34-38,54.
- [16] 全国土壤普查办公室.中国土壤[M].北京:中国农业出版社,1998:356.
- [17] 许联芳,王克林,朱捍华,等.桂西北喀斯特移民区土地利用方式对土壤养分的影响[J].应用生态学报,2008,19(5):1013-1018.
- [18] GRUBB P J, TURNER I M, BURSLEM E F R P. Mineral nutrient status of coastal hill dipterocarp forest and *Adinandra* belukar in Singapore: Analysis of soil, leaves and litter[J]. Journal of tropical ecology, 1994, 10: 559-577.
- [19] 陈粤超,王占印,许方宏,等.不同类型的红树林土壤养分和生态化学计量特征比较[J].植树科技,2016,33(1):32-37.
- [20] 徐海,陈少波,张素霞,等.红树林土壤基本特征及发展前景[J].安徽农业科学,2008,36(4):1496-1497,1504.
- [21] HOGAN E J, MINNULLINA G, SMITH R I, et al. Effects of nitrogen enrichment on phosphatase activity and nitrogen: Phosphorus relationships in *Cladonia portentosa* [J]. New phytologist, 2010, 186(4): 911-925.
- [22] 赵高卷,平盼,马焕成.干热河谷木棉科三种植物根茎叶水分传输的解剖结构比较研究[J].干旱区资源与环境,2016,30(1):162-168.
- [23] 高芳,张佳蕾,杨传婷,等.钙对镉胁迫下花生生理特性、产量和品质的影响[J].应用生态学报,2011,22(11):2907-2912.
- [24] 邵梅香.南亚热带红椎与西南桦生态化学计量学特征研究[D].南宁:广西大学,2012.
- [25] KOERSELMAN W, MEULEMAN A F M. 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.