

福建不同地区人工引种无瓣海桑(*Sonneratia apetala*)生理生态研究*

李元跃^{1,2} 段博文¹ 陈融斌^{1,2} 潘文³ 周海超⁴
王雷¹ 陈扬¹ 曾晨¹ 黎中宝^{1,2}

(1. 集美大学水产学院 厦门 361021; 2. 集美大学水产生物技术研究所 厦门 361021;
3. 集美大学生物工程学院 厦门 361021; 4. 厦门大学生命科学学院 厦门 361005)

提要 采用乙醇提取法、纳氏比色法、钼锑抗显色法及 F-C 法分别研究了人工引种于福建省漳浦、集美、泉港、连江无瓣海桑(*Sonneratia apetala*)成熟叶片的生理指标: 叶绿素、氮、磷及总酚含量。结果表明, 4 个地区叶片叶绿素 *a* 含量在(1.44±0.54)—(2.52±0.94)mg/g 之间波动, 叶绿素 *b* 含量范围在(0.54±0.02)—(0.94±0.11)mg/g 之间, 叶绿素 *a/b* 随着纬度的升高有增大趋势, 表明随纬度升高无瓣海桑对蓝紫光需求比例增大; 各地点无瓣海桑氮、磷含量均无显著差异, 且 N:P 比值均小于 14, 表明均存在 N 限制; 总酚含量随着纬度的升高而逐步升高, 可能与无瓣海桑生长条件随纬度的上升而受到外界环境胁迫增大有关。

关键词 无瓣海桑, 叶绿素, 氮, 磷, 总酚, 生理适应
中图分类号 X174

红树林是热带亚热带海岸潮间带重要的植被类型, 具有巨大的生态效益、经济效益和社会效益(林鹏, 1997)。无瓣海桑是红树林中重要的乔木树种之一, 原属印度、斯里兰卡等地, 1985 年引种至我国海南。由于无瓣海桑具有生长迅速、结实率高、定居容易、适应性广等优良特性, 以及其在滩涂红树林恢复中具有不可替代的优势, 近年来被广泛用于华南沿海滩涂红树林的生态恢复及人工造林, 成为华南沿海红树林恢复的重要品种之一; 由于我国滨海湿地受互花米草等生物入侵种威胁严重(袁连奇等, 2010), 且无瓣海桑与入侵种互花米草生态位相近, 近年来, 无瓣海桑也被广泛用于防控互花米草扩张(唐国玲等, 2007; 管伟等, 2009)。鉴于无瓣海桑有诸多优点, 学者和造林人员一直积极尝试将其引种北移、扩大种植地域, 并取得了显著成效(李云等, 1998)。

现已查明, 无瓣海桑引种北移的北界在福建省内。在以前的研究中, 作者通过对栽种在福建漳浦、集美、泉港、连江、霞浦 5 地无瓣海桑存活率和相关形态分析发现, 无瓣海桑在最北样地霞浦不能存活, 在连江及连江以南 3 个样地均有 50% 以上的存活率(李元跃等, 2011)。目前, 在无瓣海桑引种北移方面的研究主要集中在形态学方面, 对引种的无瓣海桑生理的变化研究报道甚少。本文在以前的研究基础上, 通过对种植在福建省内漳浦、集美、泉港、连江 4 地的无瓣海桑叶绿素、营养元素 N、P 及多酚含量等生理指标的测定分析, 研究了上述指标在不同地区之间的关系, 旨在探讨无瓣海桑在分布区域边界不同纬度内在生理机制的变化及对环境的适应机制, 有利于提高无瓣海桑引种北移的成活率和造林的成功率, 为滨海湿地红树林生态恢复和引种造林提供依

* 福建省科技计划重点项目, 2009Y0036 号; 集美大学创新团队资助基金资助, 2010A004 号。李元跃, 博士, 副教授, E-mail: yuanyueli@163.com

通讯作者: 黎中宝, 博士, 教授, E-mail: lizhongbao@jmu.edu.cn

收稿日期: 2011-09-15, 收修改稿日期: 2011-11-28

据和建议。

1 材料与方法

1.1 样地背景

本研究在福建省沿海 4 个县(区)进行,分别是福建漳州市漳浦县浯江溪入海口、福建厦门市集美凤林湾、福建泉州市泉港区鸠林村、福建福州市连江县山坑村。各样地基本情况见表 1。

1.2 实验设计

2010 年 5 月 14—16 日将购自广东省湛江红树林国家级保护区的无瓣海桑幼苗分别种植在上述 4 个样地的中潮位,株距 100cm×100cm。8 个月后,在漳浦、集美、泉港、连江 4 地各随机选取 9 株无瓣海桑,每样地设置 3 个重复,每 3 株为一个重复并从其中共取 10 对成熟健康叶片(顶端第 3 对叶片以下)装入密封袋,迅速带回实验室,冷冻干燥 48h 后,磨碎成粉末状于-20℃冰箱保存。

1.3 实验方法

1.3.1 叶绿素含量测定 称取 0.2g 叶片放于 50ml 比色管中,加入 95%乙醇提取叶绿素,定容至 50ml,放置 12h 后离心取上清液。以 95%乙醇为对照,在波长 663 nm、645nm 下分别测量叶绿素 *a*、叶绿素 *b* 的 OD 值(陈德海等, 2005)。

1.3.2 氮、磷含量测定 称取磨细烘干的植物样品 0.20g,经 H₂SO₄-H₂O₂ 消化至无色后,采用纳氏试剂比色法测定氮含量(Mae *et al.*, 1983),采用钼锑抗显色法测定磷含量(中国科学院南京土壤研究所, 1978)。

1.3.3 总酚含量测定 称取 0.05g 冻干样品,加入 70%丙酮水溶液提取(5ml×3),离心(5000r/min, 10min),收集合并上清液并定容到 50ml 容量瓶内。利用 Folin-Ciocalteu 法测定总酚(Total polyphenols, TP)含量(Zhou *et al.*, 2010)。

1.4 数据分析

数据分析软件为 SPSS 16.0,用 S-N-K 法检验同一类数值各地点之间差异是否显著。图表制作工具为 Microsoft Excel。

2 结果与分析

2.1 无瓣海桑叶绿素含量

不同地点下无瓣海桑幼苗成熟叶片的叶绿素 *a*、叶绿素 *b* 以及叶绿素 *a* 与 *b* 含量比值的变化情况见图 1。由图 1 可知,栽种在 4 地无瓣海桑幼苗成熟叶片叶绿素 *a* 含量变化范围在(1.44±0.54)—(2.52±0.94) mg/g 之间,其中泉港最高,集美最小,随着地点的北移叶绿素 *a* 呈现先降低后增大再降低的趋势。叶绿素 *b* 与叶绿素 *a* 含量大小呈大致相同变化,均为泉港>漳浦>连江>集美,且变化范围在(0.54±0.02)—(0.94±0.11)mg/g。叶绿素 *a/b* 比值反映了植物对不同波长吸收的比例。由图 1 可知,从漳浦到连江叶绿素 *a/b* 比值有一定的规律:叶绿素 *a/b* 比值随着纬度的增大而略有下降,表明无瓣海桑对蓝紫光的吸收比例增加。

2.2 无瓣海桑营养元素(N、P)含量

无瓣海桑幼苗成熟叶片 N 含量、P 含量、N : P 比值结果见图 2。漳浦、集美、泉港、连江无瓣海桑成熟叶片 N 含量依次为(29.31±9.05)mg/g、(18±0.37) mg/g、(25.14±3.80)mg/g、(17.20±5.85)mg/g,4 地点无瓣海桑成熟叶片平均含 N 量为 22.41mg/g,比目前认为含 N 量最高的白骨壤稍低。不同地点的 P 含量变化范围较窄,在(2.03±0.01)—(2.35±0.27)mg/g 之间,平均含 P 量为 2.19mg/g。

N : P 反映植物营养元素的配比,也能作为指示植物是否存在营养限制的指示因子。本实验中,叶片中 N : P 比值最高的是栽种在漳浦的无瓣海桑,为 12.85±2.65,其次是泉港 10.66±1.02,然后是集美 8.57±0.13 和连江 8.45±2.89。4 地点的 N : P 比值均小于 14。

方差分析表明,各纬度之间无瓣海桑成熟叶片 N 含量、P 含量以及 N : P 比值差异均不显著。

2.3 无瓣海桑叶片总酚(TP)含量

实验结果表明(图 3):地处连江无瓣海桑幼苗叶片单宁含量最高,为(350.5±20.69)mg/g,随着纬度的

表 1 无瓣海桑 4 样地基本情况

Tab.1 The basic information of 4 sample plots of *S. apetala*

样地	经纬度	气候类型	年均温度(°C)	最低月均温度(°C)	年均日照时间(h)	年均降水量 (mm)
漳浦	117°36'E, 24°2'N	亚热带季风	21.0	13.0	2115	1305
集美	118°06'E, 24°35'N	亚热带季风	20.6	12.6	1953	1315
泉港	118°53'E, 25°14'N	亚热带季风	20.0	11.0	1900.0	1425
连江	119°39'E, 26°16'N	亚热带季风	19.0	9.7	1697	1523

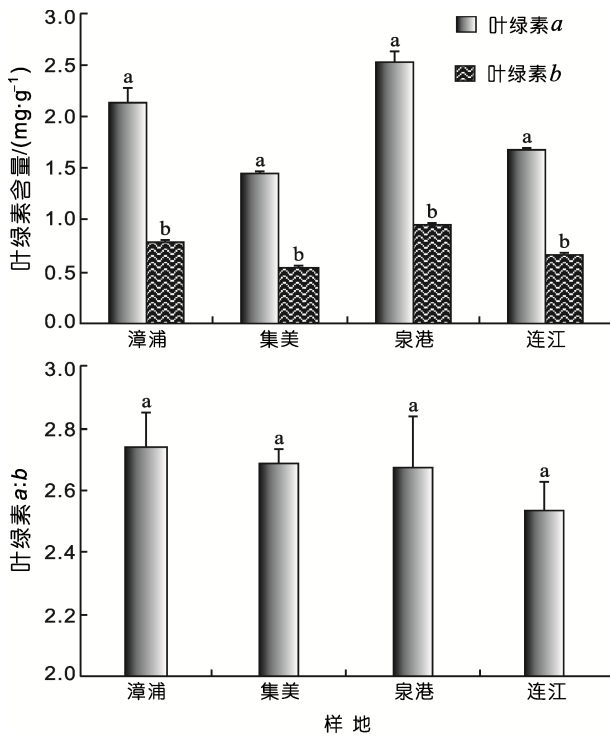


图1 无瓣海桑幼苗叶绿素 a、叶绿素 b 含量及叶绿素 a/b 值

Fig.1 Chlorophyll-a, chlorophyll-b and chlorophyll-a/b ratio of seedling of *S. apetala*

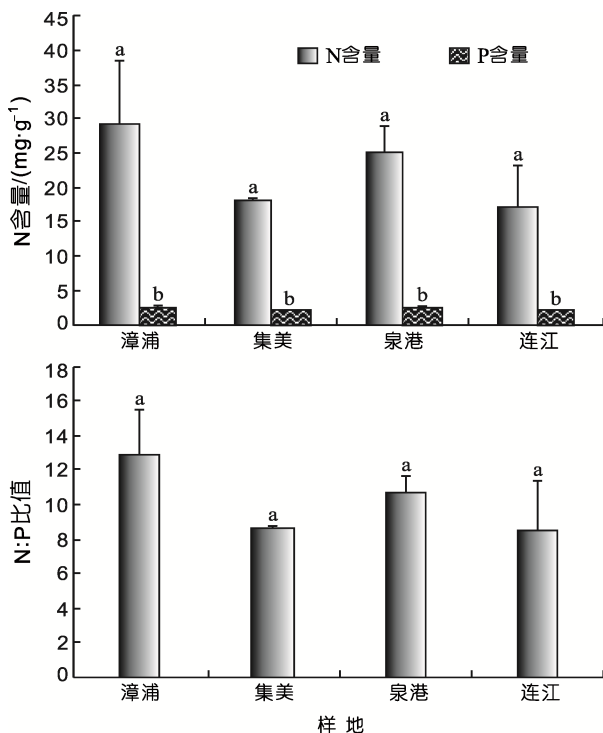


图2 无瓣海桑幼苗成熟叶片 N、P 含量及 N:P 比值

Fig.2 Nitrogen and phosphorus content and N:P ratios of the mature leaf of seedling of *S. apetala*

注: 同一类型不同字母表示各地之间存在显著差异($P<0.05$)

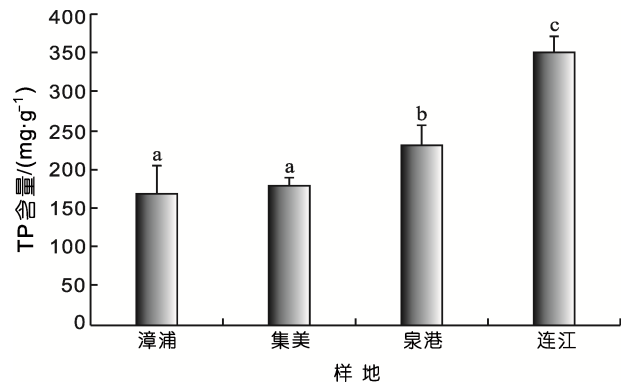


图3 无瓣海桑幼苗成熟叶片总酚含量

Fig.3 Total polyphenols of the mature leaves of seedling *S. apetala*

注: 同一类型不同字母表示各地之间存在显著差异($P<0.05$)

降低, 叶片单宁的含量也随之降低, 栽种在漳浦的无瓣海桑成熟叶片总酚含量降至最低, 为 (168 ± 37.34) mg/g, 与连江、泉港、集美等地相比, 叶片总酚含量分别降低了 52%、26.8%、5.5%。从方差分析结果看, 无瓣海桑叶片总酚含量从连江到泉港、从泉港到集美变化显著($P<0.05$), 而从集美到漳浦, 叶片总酚含量只是略有降低, 变化不显著($P>0.05$)。

3 讨论与结语

叶绿素在绿色植物存活、生长、繁殖等方面起着至关重要的作用, 红树植物也不例外。杨昌盛等(2003)研究表明, 秋茄幼苗叶绿素含量在弱光环境下比在强光环境下含量要高, 盐度对叶绿素含量也有所影响。刁俊明等(2010)研究显示, 随着遮光度的增大, 无瓣海桑幼苗叶绿素 a、叶绿素 b 以及总叶绿素含量均呈现先升后降的趋势, 叶绿素 a、b 比值呈逐渐降低的趋势。纬度与光照强度和光照时间存在负相关关系, 纬度越高, 光强越小、年均光照时间越短。在本研究中, 从漳浦到连江, 纬度逐渐上升, 光强逐渐变小、年均光照时间随之变短, 叶绿素 a、b 的比值也呈变小的趋势, 研究结果与刁俊明等(2010)研究结果一致。分析认为这是无瓣海桑对环境变化的适应表现: 无瓣海桑原属地处热带强光照地区, 其生长存活对强光表现出适应性且需求性, 随着移栽地点的北移, 光照时间和光强逐渐不能适应其存活生长的需要, 这时无瓣海桑叶片叶绿素 b 的含量相对增高, 增加对蓝紫光的吸收来补充对光照的需求, 所以叶绿素 a、b 比值随着纬度升高呈变小的趋势。

营养元素, 特别是 N 和 P, 是影响红树植物生长

的重要因素(秦媛媛等, 2011; Mckee *et al.*, 2002; Feller, 1995; Lin *et al.*, 1992)。林鹏等(1985)通过对福建九龙江口秋茄、白骨壤、桐花树三种红树物种各组分 N、P 含量分析发现: 叶中 N、P 含量大小主要是与物种的差异有关, 至于地区性的差异、环境气候的影响却不太明显。这一结论与本实验中各纬度之间无瓣海桑成熟叶片 N 含量、P 含量差异均不显著相一致。N:P 比值作为指示植物是否存在营养限制的指示因子, 在很多温带地区已经得到了证实, McKee 等(2002)和 Lin 等(2007)通过研究美国红树植物发现, N:P 比值同样适用于红树植物中。不同物种内和种间其比例各不相同, G ü sewell 等(2002)通过对欧洲湿地植物的研究表明: N、P 含量大小反映植物在群落水平上不同的营养限制情况, $N:P > 16$, 表示 P 限制; $N:P < 14$, 表示 N 限制; $14 < N:P < 16$, 表示 N、P 或者二者共同限制。本实验中各地点无瓣海桑叶片中 N、P 比在 8.45—12.85 之间波动, 根据 G ü sewell 等(2002)研究, 表明 4 地点无瓣海桑都存在 N 限制, 并且随着纬度的升高, N 限制越严重。虽然红树林生态系统具有高的生产力, 但由于受高盐、缺氧、潮汐等因素的影响, 实际上红树林生境却是贫瘠的。根据蓝福生等(1994)对广西红树林白骨壤等 5 个建群种和土壤之间关系的研究发现, 所有的红树种 N:P 都小于 14, 土壤 N:P 为 3.35, 由此可知, 我国东南沿海几个主要的红树种基本上存在 N 限制, 鉴于无瓣海桑在东南部沿海防护林工程体系建设中的重要性, 如果能解除无瓣海桑 N 元素的限制, 无疑将更促进我国东南沿海营木造林恢复和发展。

植物多酚, 也称植物单宁, 其重要性表现在其对红树植物所处的特殊的物理环境、化学环境和生物环境等各方面都有生态适应意义(Lin *et al.*, 2000; Hsu *et al.*, 1985)。单宁在植物体内含量随环境条件, 如营养、光照、温度、CO₂、水分有效性以及臭氧的变化而变化(Chaves *et al.*, 1999)。在众多单宁形成的机制假说中, Bryant 等(1983)提出了以资源为基础的碳氮平衡假说(CNBH), 该假说认为在资源有效性低的环境中, 木本植物生长缓慢, 为了免遭草食动物啃食, 通过叶片带刺等物理机制或在枝叶中产生单宁或生物碱等次生代谢物进行防御。虽然红树林生境有机质丰富, 但由于厌氧, 红树林土壤相对显得较为贫瘠, 而且一般情况下, 纬度越高, 红树植物将会由于面临低温、有效积温不足、光强减弱等因素的影响而逐渐减小分布区域, 其中温度是影响红树植物分布的主要因子。在

本实验中, 无瓣海桑幼苗成熟叶片单宁含量随着纬度的增高而逐渐增高, 分析认为这是无瓣海桑对环境变化的一种适应机制。因为在无瓣海桑北移栽的过程中, 会遇到低温等因素的胁迫, 并且随着纬度的增高, 这种胁迫强度就越大。处在高纬度的无瓣海桑, 积累有机物可能会比处在低纬度更困难, 同时它们对草食动物啃食所承担的损失也比低纬度无瓣海桑大, 为了红树植物本身的有机物积累, 高纬度的无瓣海桑通过提高单宁等次级代谢产物来避免受到外界动物啃食影响, 这种观点也符合 Bryant 等(1983)的碳氮平衡假说。在本实验中, 叶片多酚含量在连江、泉港、集美三地之间均存在显著的差异, 而集美与漳浦之间差异并不明显。按照上述所言, 单宁含量反映了红树生长环境的胁迫程度, 作为一种参考指标, 作者认为集美是无瓣海桑最适宜生长的北界, 实际上目前关于无瓣海桑北移最成功、最具规模的样地均止于福建九龙江口(李云等, 1998; 陈玉军等, 2003)。

参 考 文 献

- 刁俊明, 曾宪录, 陈桂珠, 2010. 无瓣海桑幼苗对不同遮光度的生理生态响应. 生态学杂志, 29(7): 1289—1294
- 中国科学院南京土壤研究所, 1978. 土壤理化分析. 上海: 上海科技出版社, 62—282
- 李 云, 郑德璋, 陈焕雄等, 1998. 红树植物无瓣海桑引种的初步研究. 林业科学研究, 11(1): 39—44
- 李元跃, 段博文, 陈融斌等, 2011. 红树植物无瓣海桑北移种植的生长适应研究. 泉州师范学院学报, 29(6): 16—19
- 杨昌盛, 中须贺常雄, 2003. 光强对秋茄幼苗的生长和光合特性的影响. 厦门大学学报(自然科学版), 42(2): 242—247
- 陈玉军, 廖宝文, 彭耀强等, 2003. 红树植物无瓣海桑北移引种的研究. 广东林业科技, 19(2): 9—12
- 陈德海, 徐 虹, 连玉武, 2005. 现代植物生物学实验. 北京: 科学出版社, 130—131
- 林 鹏, 1997. 中国红树林生态系. 北京: 科学出版社, 11—69
- 林 鹏, 林光辉, 1985. 九龙江口红树林研究. 秋茄群落的氮、磷的累积和循环. 植物生态学报, 9(1): 21—31
- 秦媛媛, 宋秀贤, 曹西华等, 2011. 光照和盐度对海水介质中磷化氢转化的影响. 海洋与湖沼, 42(4): 482—487
- 袁连奇, 张利权, 2010. 调控淹水对互花米草生理影响的研究. 海洋与湖沼, 41(2): 175—179
- 唐国玲, 沈禄恒, 翁伟花等, 2007. 无瓣海桑对互花米草的生态控制效果. 华南农业大学学报, 28(1): 10—13
- 蓝福生, 李瑞棠, 陈 平等, 1994. 广西海滩红树林与土壤的关系. 广西植物, 14(1): 26—32
- 管 伟, 廖宝文, 邱凤英等, 2009. 利用无瓣海桑控制入侵种互花米草的初步研究. 林业科学研究, 22(4): 603—607
- Bryant J P, Chapin III F S, Klein D R, 1983. Carbon/Nutrient balance of boreal plants in relation to vertebrate herbivory.

- Oikos, 40: 357—368
- Chaves N, Escuder J C, 1999. Variation of flavonoid synthesis induced by ecological factors. In Principles and practices in plant ecology: Allelochemical interactions. Boca Raton: CRC Press, 156—184
- Feller I C, 1995. Effects of nutrient enrichment on growth and herbivory of dwarf red mangrove (*Rhizophora mangle*). Ecological Monographs, 65: 477—505
- G ü sewell S, Koerselman M, 2002. Variation in nitrogen and phosphorus concentrations of wetland plants. Perspectives in Plant Ecology Evolution and Systematics, 5(1): 37—61
- Hsu F L, Nonaka G I, Nishioka I, 1985. Tannins and related compounds, XXXI. Isolation and characterization of proanthocyanidins in *Kandelia candel*. Chemical and Pharmaceutical Bulletin, 33: 3142—3152
- Lin G H, Sternberg L, 1992. Effects of growth form, salinity, nutrient and sulfide on photosynthesis, carbon isotope discrimination and growth of red mangroves (*Rhizophora mangle* L.). Australian Journal of Plant Physiology, 19: 509—517
- Lin P, Fu Q, 2000. Environmental Ecology and Economic Utilization of Mangroves in China. Beijing and Berlin Heidelberg: China Higher Education Press and Springer Verlag, 23—76
- Lin Y M, Sternberg L, 2007. Nitrogen and phosphorus dynamics and nutrient resorption of *Rhizophora mangle* leaves in south Florida, USA. Bulletin of Marine Science, 80(1): 159—169
- Mae T, Makino A, Ohira K, 1983. Changes in the amounts of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase synthesized and degraded during the life span of rice leaf (*Oryza sativa* L.). Plant and Cell Physiology, 24(6): 1079—1086
- Mckee K L, Feller I C, Popp M *et al*, 2002. Mangrove isotopic (δ N-15 and δ C-13) fractionation across a nitrogen vs. phosphorus limitation gradient. Ecology, 83(4): 1065—1075
- Zhou H C, Wei S D, Zeng Q *et al*, 2010. Nutrient and caloric dynamics in *Avicennia marina* leaves at different developmental and decay stages in Zhangjiang River Estuary, China. Estuarine Coastal and Shelf Science, 87(1): 21—26

STUDY ON PHYSIOLOGICAL ECOLOGY OF *SONNERATIA APETALA* INTRODUCED IN DIFFERENT AREAS IN FUJIAN PROVINCE

LI Yuan-Yue^{1,2}, DUAN Bo-Wen¹, CHEN Rong-Bin^{1,2}, PAN Wen³, ZHOU Hai-Chao⁴,
WANG Lei¹, CHEN Yang¹, ZENG Chen¹, LI Zhong-Bao^{1,2}

(1. Fisheries College, Jimei University, Xiamen, 361021; 2. Institute of Aquaculture Biotechnology, Jimei University, Xiamen, 361021; 3. Bioengineering College, Jimei University, Xiamen, 361021; 4. School of Life Science, Xiamen University, Xiamen, 361005)

Abstract In this paper, we analyzed the concentration of chlorophyll, nitrogen (N), phosphorus (P), and total polyphenol of the mature leaves of *Sonneratia apetala* which were introduced from Lianjiang, Quangang, Jimei and Zhangpu, using ethanol extract, Nessler's Reagent Spectrophotometry, Mo anti-antimony colorimetry and Folin-Ciocalteu respectively. The concentration of chlorophyll-*a* ranged from (1.44±0.54) to (2.52±0.94)mg/g, and the concentration of chlorophyll-*b* was from (0.54±0.02) to (0.94±0.11)mg/g. The concentrations of chlorophyll-*a/b* increased along with the increasing of the latitude, which demonstrated that the growing demand of blue-purple light by *S. apetala*. There was no significant difference between nitrogen and phosphorus in 4 sample areas. The N : P ratios were less than 14, which indicates N limited exists in these four sample areas. The concentration of polyphenol increased gradually with the latitude, which could be explained by the increasing environment stress.

Key words *Sonneratia apetala*, Chlorophyll, Nitrogen and phosphorus, Total polyphenol, Physiological adaptation