

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 24 期 Vol.32 No.24 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 24 期

2012 年 12 月 (半月刊)

目 次

从文献计量角度分析中国生物多样性研究现状.....	刘爱原,郭玉清,李世颖,等 (7635)
CO ₂ 浓度升高和模拟氮沉降对青川箭竹叶营养质量的影响.....	周先容,汪建华,张 红,等 (7644)
陕西中部黄土高原地区空气花粉组成及其与气候因子的关系——以洛川县下黑木沟村为例.....	吕素青,李月从,许清海,等 (7654)
长三角地区 1995—2007 年生态资产时空变化.....	徐昔保,陈 爽,杨桂山 (7667)
基于智能体模型的青岛市林地生态格局评价与优化.....	傅 强,毛 锋,王天青,等 (7676)
青藏高原高寒草地生态系统服务功能的互作机制.....	刘兴元,龙瑞军,尚占环 (7688)
北京城市绿地的蒸腾降温功能及其经济价值评估.....	张 彪,高吉喜,谢高地,等 (7698)
武汉市造纸行业资源代谢分析.....	施晓清,李笑诺,赵吝加,等 (7706)
丽江市家庭能耗碳排放特征及影响因素.....	王丹寅,唐明方,任 引,等 (7716)
基于分布式水文模型和福利成本法的生态补偿空间选择研究.....	宋晓谕,刘玉卿,邓晓红,等 (7722)
设施塑料大棚风洞试验及风压分布规律.....	杨再强,张 波,薛晓萍,等 (7730)
湖南珍稀濒危植物——珙桐种群数量动态.....	刘海洋,金晓玲,沈守云,等 (7738)
云南岩陀及其近缘种质资源群体表型多样性.....	李萍萍,孟衡玲,陈军文,等 (7747)
沙埋和种子大小对柠条锦鸡儿种子萌发、出苗和幼苗生长的影响.....	杨慧玲,梁振雷,朱选伟,等 (7757)
栗山天牛天敌花绒寄甲在栎林中的种群保持机制.....	杨忠岐,唐艳龙,姜 静,等 (7764)
基于相邻木排列关系的混交度研究.....	娄明华,汤孟平,仇建习,等 (7774)
三种回归分析方法在 Hyperion 影像 LAI 反演中的比较.....	孙 华,鞠洪波,张怀清,等 (7781)
红松和蒙古栎种子萌发及幼苗生长对升温与降水综合作用的响应.....	赵 娟,宋 媛,孙 涛,等 (7791)
新疆杨边材贮存水分对单株液流通量的影响.....	党宏忠,李 卫,张友焱,等 (7801)
火干扰对小兴安岭毛赤杨沼泽温室气体排放动态影响及其影响因素.....	顾 韩,牟长城,张博文 (7808)
不同潮汐和盐度下红树植物幼苗秋茄的化学计量特征.....	刘滨尔,廖宝文,方展强 (7818)
腾格里沙漠东南缘沙质草地灌丛化对地表径流及氮流失的影响.....	李小军,高永平 (7828)
西双版纳人工雨林群落结构及其林下降雨侵蚀力特征.....	邓 云,唐炎林,曹 敏,等 (7836)
西南高山地区净生态系统生产力时空动态.....	庞 瑞,顾峰雪,张远东,等 (7844)
南北样带温带区栎属树种种子化学组成与气候因子的关系.....	李东胜,史作民,刘世荣,等 (7857)
模拟酸雨对龙眼叶片 PS II 反应中心和自由基代谢的影响.....	李永裕,潘腾飞,余 东,等 (7866)
沈阳市城郊表层土壤有机污染评价.....	崔 健,都基众,马宏伟,等 (7874)
降雨对旱作春玉米农田土壤呼吸动态的影响.....	高 翔,郝卫平,顾峰雪,等 (7883)
冬季作物种植对双季稻根系酶活性及形态指标的影响.....	于天一,逢焕成,任天志,等 (7894)
施氮量对小麦/玉米带田土壤水分及硝态氮的影响.....	杨蕊菊,柴守玺,马忠明 (7905)
微山湖鸟类多样性特征及其影响因素.....	杨月伟,李久恩 (7913)
新疆北部棉区作物景观多样性对棉铃虫种群的影响.....	吕昭智,潘卫林,张 鑫,等 (7925)
杭州西湖北里湖沉积物氮磷内源静态释放的季节变化及通量估算.....	刘静静,董春颖,宋英琦,等 (7932)
基于实码遗传算法的湖泊水质模型参数优化.....	郭 静,陈求稳,张晓晴,等 (7940)
气候环境因子和捕捞压力对南海北部带鱼渔获量变动的影响.....	王跃中,孙典荣,陈作志,等 (7948)
象山港南沙岛不同养殖类型沉积物酸可挥发性硫化物的时空分布.....	颜婷茹,焦海峰,毛玉泽,等 (7958)
专论与综述	
提高植物抗寒性的机理研究进展.....	徐呈祥 (7966)
植被对多年冻土的影响研究进展.....	常晓丽,金会军,王永平,等 (7981)
凋落物分解主场效应及其土壤生物驱动.....	查同刚,张志强,孙 阁,等 (7991)
街尘与城市降雨径流污染的关系综述.....	赵洪涛,李叙勇,尹澄清 (8001)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 374 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 40 * 2012-12

封面图说: 永兴岛海滩植被——永兴岛是中国西沙群岛的主岛,也是西沙群岛及南海诸岛中最大的岛屿。国务院 2012 年 6 月批准设立的地级三沙市,管辖西沙群岛、中沙群岛、南沙群岛的岛礁及其海域,三沙市人民政府就驻西沙永兴岛。永兴岛岛上自然植被密布,野生植物有 148 种,占西沙野生植物总数的 89%,主要树种有草海桐(羊角树)、麻枫桐、野枇杷、海棠树和椰树等。其中草海桐也称为羊角树,是多年生常绿亚灌木植物,它们总是喜欢倚在珊瑚礁岸或是与其他滨海植物聚生于海岸沙滩,为典型的滨海植物。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201204270605

刘滨尔, 廖宝文, 方展强. 不同潮汐和盐度下红树植物幼苗秋茄的化学计量特征. 生态学报, 2012, 32(24): 7818-7827.

Liu B E, Liao B W, Fang Z Q. Different tide status and salinity alter stoichiometry characteristics of mangrove *Kandelia candel* seedlings. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(24): 7818-7827.

不同潮汐和盐度下红树植物幼苗秋茄的化学计量特征

刘滨尔¹, 廖宝文^{1,*}, 方展强²

(1. 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广州 510520; 2. 华南师范大学生命科学学院, 广州 510631)

摘要:借助室内潮汐模拟系统,分析秋茄幼苗的叶片、茎、根在不同淹浸时间梯度和盐度梯度下 N、P、K、Ca、Cl、Mg、Al、Fe、Zn、Cu、B 等元素的化学计量特征变化。结果表明水文因子能够显著影响秋茄不同器官的化学计量特征;幼苗的元素化学计量在盐度和淹浸两类水文因子下表现出不同的响应特征:特别是 N、K、Ca、Cl、Mg、Na、Zn、Cu 元素含量在不同程度的水文胁迫下存在明显的差异;盐度组内,幼苗对 Na、Cl 的选择性吸收随盐度增高而增强,同时对 K、Ca、Mg 的吸收减弱;随盐度的增大,盐分(Na、Cl、K、Ca、Mg)在不同器官中的含量表现出趋同效应;淹浸组 N:P 比为 3—11,盐度组 N:P 比为 6—15,明显小于同类研究。综合分析认为秋茄幼苗受到 N 元素限制,而 P 元素始终未成为限制因子,随水文胁迫的加强,N 限制也加大,且盐度胁迫比淹浸胁迫表现的更明显。通过化学计量学和水文学的分析,为摸清中国红树林保护和恢复的主要红树植物秋茄的适生环境提供科学依据。

关键词:红树林;秋茄;盐度;淹浸;化学计量学

Different tide status and salinity alter stoichiometry characteristics of mangrove *Kandelia candel* seedlings

LIU Biner¹, LIAO Baowen^{1,*}, FANG Zhanqiang²

1 The Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, Guangdong, China

2 College of Life Science, South China Normal University, Guangzhou 510631, Guangdong, China

Abstract: *Kandelia candel* is one of major mangrove species for coastal conservation and restoration in China. Understanding the stoichiometry of nutrient elements of *K. candel* growing in complicated living environment can help characterize plant growth status and guide ecological restoration in different biogeochemical environments. In this study, the influences of two hydrologic factors (waterlogging time and salinity) on stoichiometry characteristics of *K. candel* in the different organs (leaf, stem and root, respectively) were studied using the automatic tidal-simulation device in sand culture of greenhouse. The contents of nutrient elements including N, P, K, Na, Ca, Cl, Mg, Al, Fe, Zn, Cu, B, Mn, Ni, S, Pb and Cr were determined in the waterlogging and salinity treatments, respectively.

The result of the waterlogging treatment showed waterlogging had a significant effect on the distribution characteristics of elements in different organs of *K. candel*. The contents of N, P, K, Ca, Mg and Zn in leaf were higher than those in stem and root. In contrast, the contents of Cl, Al and Fe in root were higher than those in leaf and stem. The stoichiometry characteristics of seedling of *K. candel*, however, showed different patterns under salinity and waterlogging treatments. The content of B, N, K, Ca, Cl, Mg, Na, Zn, Cu differed significantly in seedlings when hydrological stress varied.

The result of salinity treatment showed the contents of Na, Cl increased, K, Ca, Mg decreased in all organs when the

基金项目:国家自然科学基金项目(41176084);“十一五”国家林业科技支撑计划专题(2009BADB2B0401);广东省林业创新项目(2009KJ CX013-01);广东省科技厅项目(2009B030600006);海南东寨港红树林生态站项目

收稿日期:2012-04-27; 修订日期:2012-10-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mangro@pub. guangzhou. gd. cn

salinity increased. However, the difference of salt content (Na, Cl, K, Ca, Mg) among three organs decreased when the salinity increased, which showed convergent effect in organs. The total content of salt (K, Ca, Cl, Mg, Na) displayed no obvious variation with the extending waterlogging time, except in leaf where the salt content (except K) increased. When the salinity increased, the content of Zn decreased, Mn increased in leaf and Fe increased in both leaf and root. With the extending waterlogging time, Fe increased in leaf, Cu decreased first, then increased in all three organs.

The element ratios were also determined in waterlogging and salinity treatments, respectively. The N:P ratio was 3—11 in waterlogging treatment and the N:P ratio was 6—15 in salinity treatment, which were lower than the results of previous research that demonstrated N limited the growth of seedlings and P had no limit growth of seedlings. Our result showed N limitation enhanced in seedlings when salinity stress enhanced. The N limitation was obvious in salinity treatment than that in waterlogging treatment.

Significant correlations between waterlogging time and the contents of nutrient elements in three organs (leaf, stem and root) were observed in *K. candel*, respectively. In leaf, the order of significant positive correlation between waterlogging time and the contents of nutrient elements was $Fe > Na > Cl > Mg = B > P > N$ while the order of significant negative correlation was $K < K:Cl$. In stem, the order of significant positive correlation between waterlogging time and the contents of nutrient elements was $K > Fe$. In root, the order of significant positive correlation between waterlogging time and the contents of nutrient elements was $K:Cl > K > N$.

Significant correlations between salinity and the contents of nutrient elements in three organs (leaf, stem and root) were also observed in *K. candel*, respectively. In leaf, the order of significant positive correlation between salinity and the contents of nutrient elements was $Ca = Na > Cl$ while the order of significant negative correlation was $K:Cl = Zn = Ca < K < Mg < Cr$. In stem, the order of significant positive correlation between salinity and the contents of nutrient elements was $Cl > Na > Mn > Mg$. In root, the order of significant positive correlation between salinity and the contents of nutrient elements was $Cl > Na > P > Mn$ while the order of significant negative correlation was $K:Cl = K < Ca$.

Key Words: mangrove; *Kandelia candel*; salinity; waterlogging; Stoichiometry

红树林是生长于热带、亚热带潮间带的群落类型,且主要分布于存在淡水和营养物质汇入且受到庇护的河口、泻湖和海岸^[1]。秋茄(*Kandelia candel*)是我国主要的红树林造林树种^[2-3],最北天然分布至福建福鼎,引种分布最北至浙江电白,是我国纬度分布最广的红树树种。秋茄对不同水文因子适应性的强弱显著影响其在生态恢复和重建过程中的成败^[3]。盐度和淹浸这两类水文因子的变化会影响红树植物器官的结构变化^[1,4],并且显著干扰红树林植物对营养元素的吸收^[5-6]。如果不考虑水文因子和物种的交互作用,模拟幼苗受盐度与淹浸的元素含量特征可以等同于天然林状态^[7-8]。

生态化学计量学结合了生态学和化学计量学的基本原理,是研究生物系统能量平衡和多重化学元素平衡的科学^[9]。生态化学计量学理论认为有机体中元素的比值决定有机体的关键特征,同时也决定了有机体对环境资源的响应^[10]。关于红树植物幼苗的淹浸^[11-13]、盐度^[13-15]、污水^[16]、施肥^[17-19]、重金属^[20]、光照强度^[21]等胁迫试验和模拟试验多针对于生理生态的研究。关于生态化学计量学的研究较少,且目前多针对于红树植物叶片 N、P 含量与施肥关系的研究,除 N、P 之外其它元素的含量特征研究更少。关于水文因子对红树植物化学计量特征变化的研究尚未见报道。

近期,有学者提出除施肥影响红树植物的化学计量特征以外,水文因子也是需要考虑的重要影响因素^[18-19]。本文探讨了不同盐度梯度中植物不同器官内 9 种大量元素,5 种微量元素,3 种重金属元素的含量变化;不同淹浸梯度中植物不同器官内 8 种大量元素,4 种微量元素的含量变化。综合现有的研究资料,对不同水文因子梯度下植物根、茎、叶片内元素含量特征开展以下方面的研究:(1)各元素在淹浸梯度之间的差异;(2)各元素在盐度梯度之间的差异;(3)各元素在不同器官之间的差异。旨在探索元素在不同水文因子梯

度下差异的规律和机理。以期深入了解红树林幼苗生长早期的化学生态学特征,为红树林人工恢复、自然恢复、林下人工促进更新的研究提供基础数据和参考依据。

1 材料和方法

1.1 潮汐模拟系统和植物材料

两种水文因子下的模拟试验都采用潮汐模拟系统实现。A 为潮汐淹没状态, B 为未淹没状态(图 1)。潮汐模拟系统安装在玻璃温室内,位于广州市热带林业研究所温室试验区内。试验期间温室内最高气温 39℃,最低气温 21℃,平均气温 27℃。玻璃屋顶减少了日光的 8%—10%。试验期间光热资源丰富,空气湿润。潮汐模拟系统由自动潮汐模拟槽组成,共有 12 对模拟槽,分为上槽和下槽,上槽为培养槽,下槽为贮水槽,规格为长×宽×高:1.2 m×0.7 m×0.4 m。使用水泵连接上下槽,水泵速率为 12L/min。定时器控制涨潮和退潮的时间。

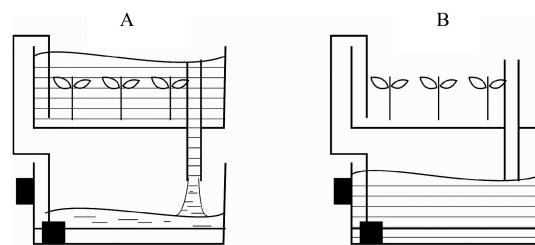


图 1 潮汐模拟系统

Fig. 1 Tide simulation system

淹没模拟试验使用人工配置海水,盐度为 10‰,每周对水体盐度和水位深度进行校正。模拟半日潮,每天幼苗被淹没的时间为 2、4、6、8、10、12、14、16、18、22、24h,共 12 个处理。每个处理 18 株,3 个重复,每重复 6 株。培养时间为 2006 年 3 月至 8 月,共 150 d。盐度模拟试验的潮汐时间设定为 11:00—15:00 涨潮,23:00—4:00 涨潮,模拟半日潮,即连续抽水 8h,退潮 16h,模拟河口盐度(≈ 0)至海洋盐度(≈ 30)的递增区间,设置水体盐度为 0、5、10、15、20、25、30,共 7 个处理,每周对水体盐度进行校正以及水位深度的固定。储备营养元素的溶液包括 CaCl_2 、 MgSO_4 、 ZnSO_4 、 KH_2PO_4 、 H_3BO_3 、 MnSO_4 、 CuSO_4 、 Na_2MoO_4 、 KCl 、 NH_4NO_3 、 $\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{FeN}_2\text{NaO}_8$,使得幼苗生长不受环境中元素的限制,贮水槽里的水每月进行营养液浓度校正,每个月贮水槽里的水全部更换 1 次。每个处理 18 株,3 个重复,每重复 6 株。培养时间为 2005 年 4—10 月,共 180d。

进行淹没模拟试验的秋茄胚轴采自海南东寨港国家级保护区,胚轴平均长(19.17 ± 0.71) cm。进行盐度模拟试验的秋茄胚轴采自广东省湛江国家级自然保护区,胚轴平均长(25.48 ± 1.62) cm。胚轴均健康,无虫害。

1.2 化学计量学的测定方法与数据分析

在试验结束前一周对所有试验的苗木取样,摘取健康完整的根、茎、叶片,在 105℃ 中杀青 20 min,然后在 80℃ 下烘至恒重,磨成粉密封备用。元素测定参考“中华人民共和国林业行业标准,LY/T1269-1274—1999”。

全氮的测定参考 LY/T 1269—1999,采用凯氏法。全氯的测定参考 LY/T 1272—1999,采用氧化钙干灰化—硝酸银滴定法。全硼的测定参考 LY/T 1273—1999,采用干灰化-甲亚胺比色法。全铬、镉、镍、铅采用干灰化-ICP 测定。全硅、铁、铝、钙、镁、钾、钠、磷、硫、锰、铜、锌的测定参考 LY/T 1270—1999,采用硝酸-高氯酸消煮法。全硅采用质量法。全铁、铝、钙、镁、钾、钠、磷、硫、锰、铜、锌进行 ICP 测定。钙、镁采用原子吸收分光光度计法。磷使用钼锑抗比色法。钾使用火焰光度计法。每个样品重复测量 3 次,测定结果以单位质量的元素含量(g/kg 或 mg/kg)表示。盐度模拟试验中元素分析的时间为 2007—2009 年,淹没模拟试验中元素分析的时间为 2008—2010 年。

试验数据为 3 次重复的平均值±标准差。本研究采用单因素方差分析(One-Way ANOVA)和 Spearman 相关分析。多重比较采用最小显著差异法(LSD)。数据分析软件使用 spss13.0,图形处理使用 OriginPro 8.0 和 Adobe Illustrator CS2 软件。

2 结果

2.1 淹没影响秋茄幼苗各器官化学计量的特征

从图 2 中可以看出:除 Mg 以外,叶片内各个元素含量在不同淹水时间梯度下均有显著差异($P < 0.05$)。

叶片中 N 和 P 随着淹水时间的延长略有上升趋势。叶片中 Ca、Cl、Na、Fe、B 含量随淹水时间的延长而显著上升,淹浸 16、18、20、24 h 的 Fe 含量分别比淹浸 2h 的增加了 84.9%、121.8%、125.1%、105.0%,但 K 含量随着淹水时间的延长而减少,淹浸 18、20、24h 分别比淹浸 2h 的减少了 30.3%、26.2%、23.53%。秋茄茎中 N、K、Fe、Zn 含量随淹水时间的延长显著上升,而 Cu 和 B 先降后升,其他元素含量变化不明显。其中 Fe 淹浸 20h 和 24h 分别比淹浸 2h 的增加 81.8% 和 84.4%。秋茄幼苗根部中的 Fe 含量随淹浸时间的延长而上升,其规律不如叶片明显。根部中 N、K 和 Al 含量随淹水时间延长呈上升趋势,而 Cl 含量随淹水时间的延长而下降。

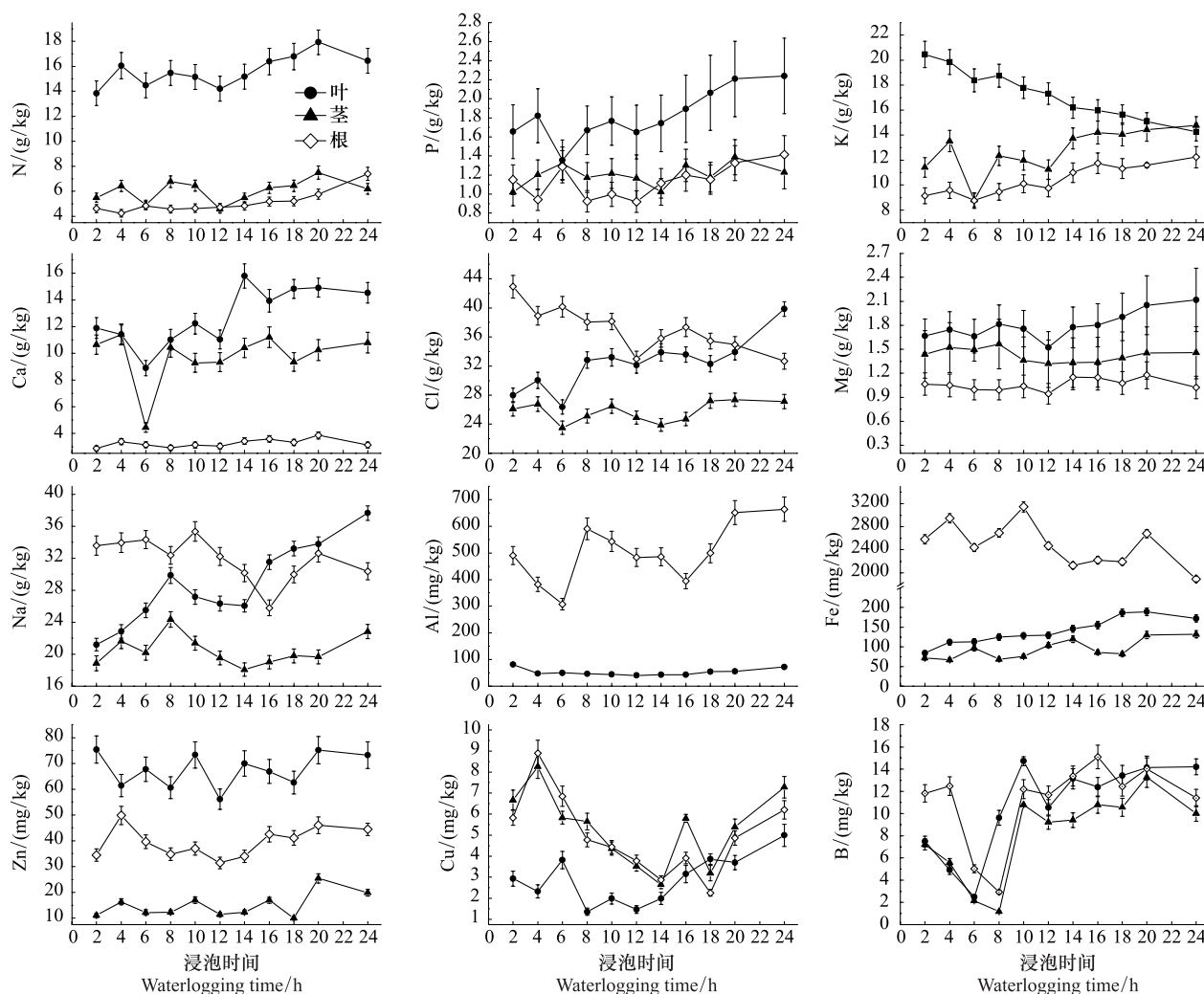


图 2 淹浸时间对秋茄根、茎、叶片的元素含量的影响

Fig. 2 Effects of waterlogging time on the root, stem and leaf elements contents of *K. candel*

缺少茎中 Al 元素的含量;竖线为均值的标准差

2.2 盐度影响秋茄幼苗各器官化学计量的特征

从图 3 和图 4 中可以看出:除 P 和 Al 外,叶片内各个元素含量在不同盐度处理下均有显著差异($P < 0.05$)。秋茄幼苗叶片中元素 Na、Cl 和 Cu 随盐度梯度增加而增长,但 K、Ca、Mg、Zn 含量随盐度的增加而减少。叶片中 K 在盐度 20、25、30 的含量分别比对照(0)减少 46.9%、60.1%、58.8%;Ca 在盐度 20、25、30 的含量分别比对照(0)减少 77.4%、78.1%、81.7%;Mg 在盐度 20、25、30 的含量分别比对照(0)减少 59.0%、57.1%、58.1%;Zn 元素在盐度 20、25、30 的含量分别比对照(0)减少 35.0%、40.6%、51.9%。

除 S 和 B 外,茎内各个元素含量在不同盐度处理下均有显著差异($P < 0.05$)。茎内 P、Na、Cl 和 Mn 含量

随盐度增大而增加,但 Ca 和 Al 含量随盐度增加而减少。茎中 P 在盐度 20、25、30 的含量分别比对照(0)增加 14.8%、26.1%、49.4%。Na 在盐度 20、25、30 的含量分别比对照(0)增加 114.9%、142.1%、169.4%。Cl 在盐度 20、25、30 的含量分别比对照(0)增加 99.6%、117.7%、179.8%;Mn 在盐度 20、25、30 的含量分别比对照(0)增加 135.6%、149.8%、174.7%。Ca 在盐度 20、25、30 的含量分别比对照(0)减少 54.5%、61.3%、63.2%。Al 在盐度 20、25、30 的含量分别比对照(0)减少 18.9%、27.8%、31.5%。

除 S 和 Al 元素外,根部各个元素含量在不同盐度处理下均有显著差异($P < 0.05$)。根部 P、Na、Cl、Fe、Mn 含量随盐度增大而增大,但是 K 和 Ca 随着盐度的增加而减少,其他元素在秋茄根部变化趋势不明显。其中元素 P 在盐度 20、25、30 的分别比对照(0)增大 49.6%、40.4%、68.7%;元素 Na 在盐度 20、25、30 的分别比对照(0)增大 374.4%、442.5%、456.8%;元素 Cl 在盐度 20、25、30 的分别比对照(0)增大 287.1%、340.8%、391.7%。S 在盐度 0—5 内,转移速率最大。随着盐度增加,叶片内 S 含量略有增加;茎,根内变化较小,表明盐度胁迫不会导致 S 在器官之间转移^[22],叶片内 S 的积累可能是幼苗营养发育所致,与盐度胁迫关系不大。

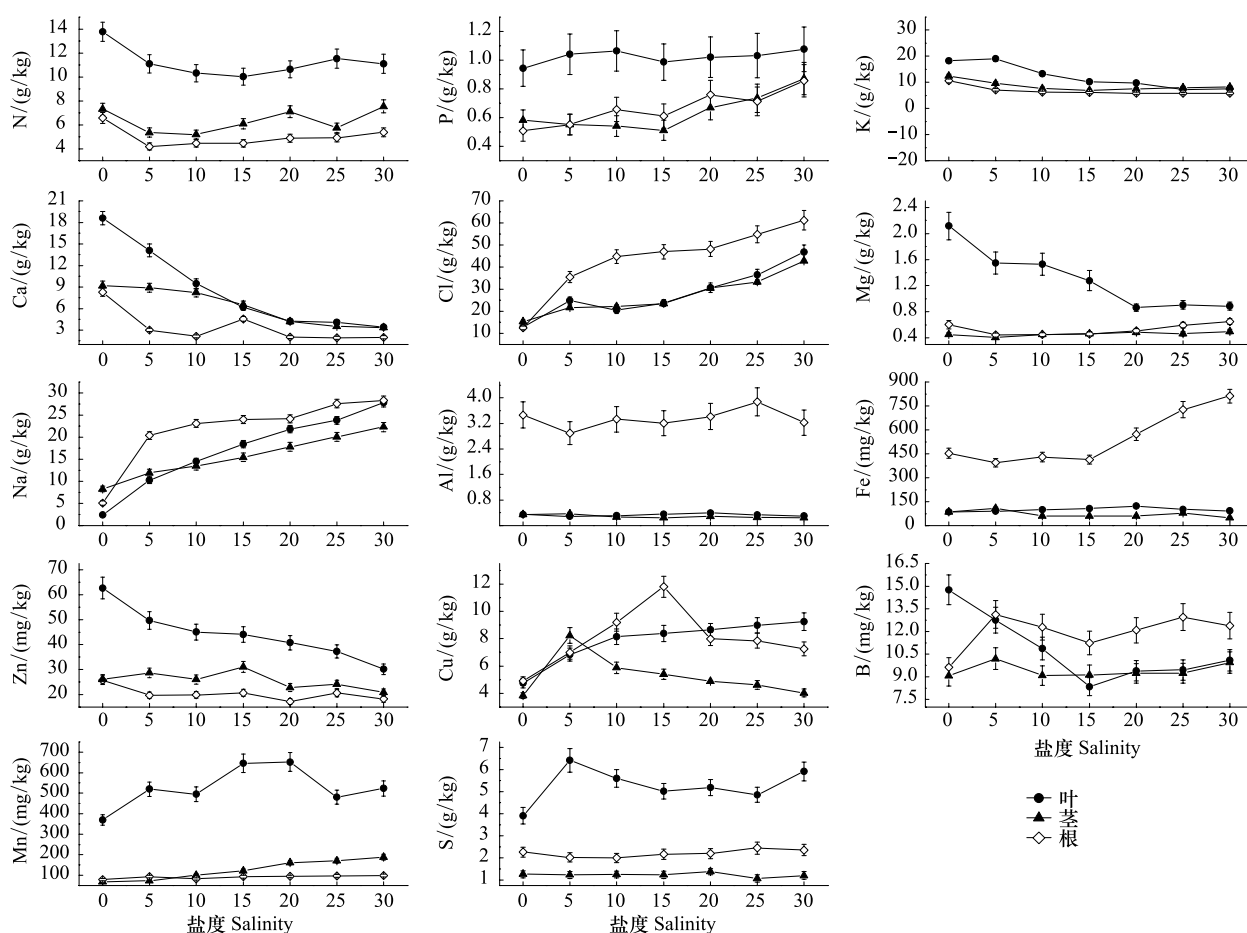


图3 盐度对秋茄根、茎、叶片的元素含量的影响

Fig. 3 Effects of salinity on the root, stem and leaf elements contents of *K. candel*

竖线为均值的标准差

2.3 不同器官间化学计量特征的差异

若不考虑水文因子的影响,N、P、K、Ca、Mg、Zn 在叶片中的含量多于茎和根中的含量。Cl、Al、Fe 在根中的含量多于叶片和茎。淹浸组中,淹浸胁迫最大时叶片中的 Na、B 和茎中 Cu 含量最多。淹浸正常的情况下,Cu 和 B 分布没变,Na 在根中分布最多。盐度组中,盐度胁迫最大时根中的 Na、B 含量最多,叶片中 Cu 含量最多。正常盐度(5—10)下,Na 和 B 分布没变,Cu 在根和茎中分布较多。盐度组中重金属元素 Cr、Pb 在根中分布多于叶片和茎;Ni 在盐度胁迫下,叶片中分布最多,正常盐度下,叶片和根中分布较多(图 4)。

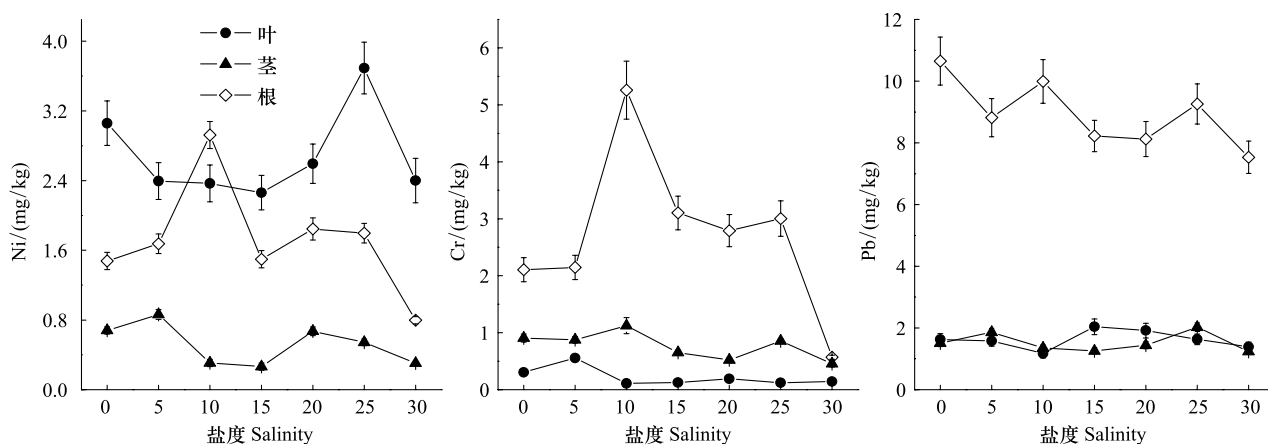


图4 盐度对秋茄根、茎、叶片重金属含量特征的影响

Fig.4 Effects of salinity on the root, stem and leaf heavy metals contents of *K. candel*

竖线为均值的标准差

2.4 秋茄的 N:P、Na:Cl 和 K:Cl 的比值

图5表明:淹浸处理组中的叶片和盐度处理组3种器官的N:P和K:Cl的比值随处理组时间和浓度增加而降低,且盐度处理组降低的趋势更明显。Na:Cl比值在淹浸6—12h出现波峰,而盐度处理组的波峰位于盐度区间5—15。

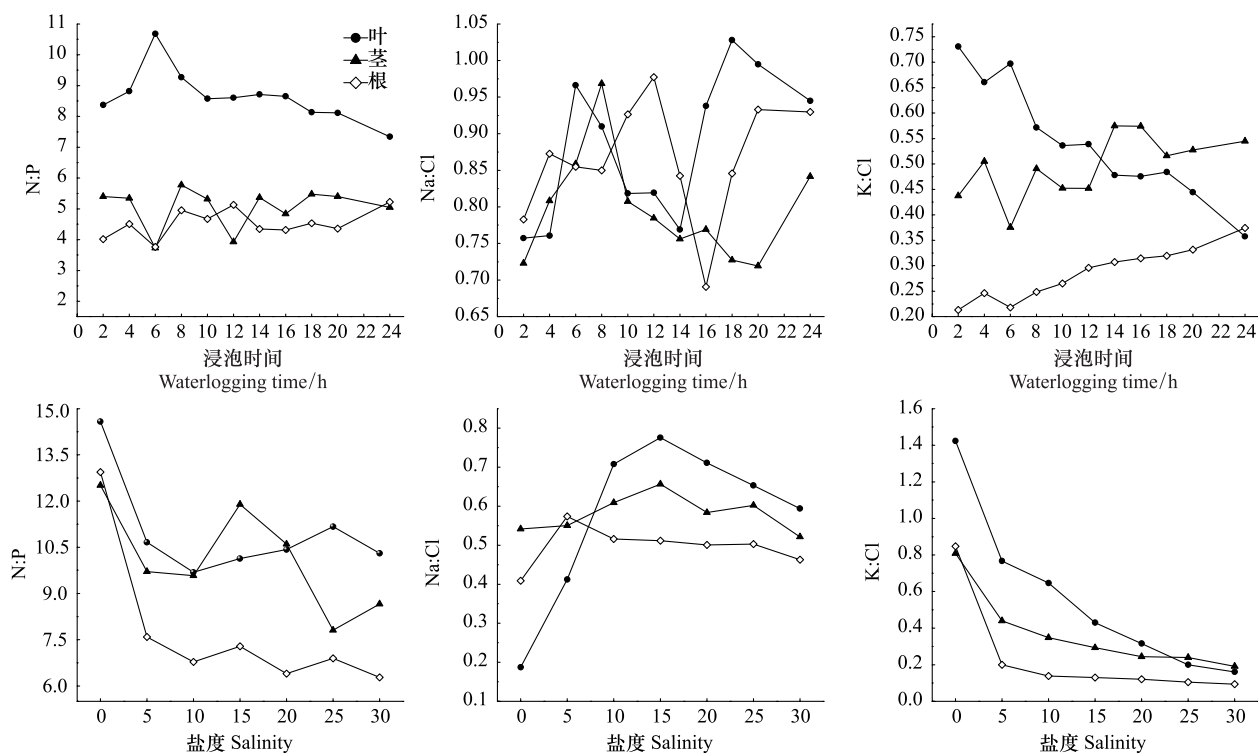


图5 盐度和淹浸下秋茄根、茎、叶片中 N:P、Na:Cl、K:Cl 比值变化

Fig.5 Effects of salinity and waterlogging on the N:P, Na:Cl and K:Cl ratio of root, stem and leaf ratio of *K. candel*

竖线为均值的标准差

2.5 两种水文因子与元素含量的相关关系

相关性分析(表1)表明淹浸与叶片的显著正相关顺序为 $Fe > Na > Cl > Mg = B > P > N$, 显著负相关顺序为 $K <$

K:Cl。淹浸与茎的显著正相关顺序为 $K > Fe$ 。淹浸与根的显著正相关顺序为 $K:Cl > K > N$ 。盐度与叶片的显著正相关顺序为 $Ca = Na > Cl$, 显著负相关顺序为 $K:Cl = Zn = Ca < K < Mg < Cr$ 。盐度与茎的显著正相关顺序为 $Cl > Na > Mn > Mg$ 。盐度与根的显著正相关顺序为 $Cl > Na > P > Mn$, 显著负相关顺序为 $K:Cl = K < Ca$ 。

表 1 秋茄根、茎、叶片元素含量与盐度、淹浸时间之间的关系

Table 1 Relationships between root, stem and leaf elements contents of *K. candel* and salinity, waterlogging time

		N	P	K	Ca	Cl	Mg	Na	Al	Fe	Zn
淹浸	叶	0.745 **	0.754 **	-0.991 **	0.709 *	0.827 **	0.764 **	0.909 **	0.027	0.973 **	0.100
Waterlogging	茎	0.227	0.409	0.800 **	0	0.409	0.009	-0.018	0	0.755 **	0.455
	根	0.873 **	0.545	0.918 **	0.455	-0.882 **	0.355	-0.636 *	0.545	-0.573	0.309
盐度	叶	-0.214	0.464	-0.929 **	-1.000 **	0.893 **	-0.893 **	1.000 **	0.036	0.536	-1.000 **
Salinity	茎	0.321	0.643	-0.393	-1.000 **	1.000 **	0.786 *	1.000 **	-0.679	-0.643	-0.500
	根	0.250	0.929 **	-1.000 **	-0.857 *	1.000 **	0.464	1.000 **	0.143	0.750	-0.714
		Cu	B	S	Mn	Pb	Ni	Cr	N:P	Na:Cl	K:Cl
淹浸	叶	0.482	0.764 **						-0.636 *	0.673 *	-0.955 **
Waterlogging	茎	-0.345	0.727 *						-0.036	-0.264	0.709 *
	根	-0.409	0.327						0.391	0.255	0.991 **
盐度	叶	1.000 **	-0.643	0.143	0.429	0.107	0.179	-0.786 *	-0.250	0.393	-1.000 **
Salinity	茎	-0.250	0.464	-0.500	1.000 **	-0.321	-0.571	-0.429	-0.679	-0.036	-1.000 **
	根	0.321	0.321	0.571	0.893 **	-0.714	-0.071	-0.071	-0.821 *	-0.214	-1.000 **

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

3 讨论

红树林植物为了响应盐度和缺氧的潮间带环境,在元素化学计量特征上表现出了物种特异性以求平衡碳的吸收和水分的损失。在本研究中,红树植物秋茄对不同的淹浸时间和盐度梯度作出了元素化学计量的响应。室外潮汐试验模拟了潮间带的环境;在两类水文因子的试验中,都分别设定了最佳的盐度比例和淹浸时间。

3.1 秋茄幼苗在不同淹浸时间和盐度梯度下的抗盐适应性

随着淹浸时间的增加,盐分总量(K、Ca、Cl、Mg、Na)变化不明显,但是叶片内盐分(除K)增加,表明淹浸时间的长短只会导致幼苗叶片盐分含量增加。各器官没有表现出对元素选择性吸收的特征。K含量在茎,根中增加,叶片中减少,表明植物在受到淹浸胁迫时,茎和根的生理代谢加强;叶片中生理代谢减弱,减少了对茎和根代谢性吸水和物质运输的压力。根中Cl含量减少,与叶片和茎中变化趋势不同,可能是植物体内的 Cl^- 从根部向地上部分转移的结果。

随着盐度的增加,叶片、茎、根中K、Ca、Mg含量减少,而Na、Cl含量明显增加。可能作为一种耐盐机制^[23],秋茄幼苗对Na、Cl进行选择吸收,从而降低液泡渗透势,促进植物吸水。其它研究也表明红树植物小花木榄 *Bruguiera parviflora*、海莲 *Bruguiera sexangula*、角果木 *Ceriops tagal*、木榄 *Bruguiera gymnorrhiza* 叶片中的Na、Cl含量也随着盐度升高而增加^[24]。K参与植物的主要生理过程,并且高浓度存在与植物体内。为了维持红树植物的抗盐性,K含量不能低于某一特定值。盐度组内各器官内K始终维持在5.7g/kg以上,淹浸组为8.7g/kg以上。 Cl^- 与 $H_2PO_4^-$ 和 NO_3^- 之间存在竞争性吸收^[25],盐度组中Cl含量大量积累时,影响了N、P元素的吸收和积累。

随着盐度的增加,盐分含量在不同器官之间的差异越来越小,表现出了不同器官内元素含量的趋同效应。这表明秋茄幼苗会把体内的盐分均分至各个器官,从而减轻某一种器官对高盐的负担,可以看作是秋茄的盐分适应机制。与此对比,淹浸组内盐分未在各个器官内表现出趋同效应,表明淹浸对秋茄幼苗盐度的吸收和积累影响不明显。

3.2 秋茄幼苗在不同淹浸时间和盐度梯度下的元素限制

秋茄在淹水2—10 h处理组和盐度0—10处理组下,资源得到了较充分的利用。在此情况下,淹浸处理

中的 N 含量略微升高,而盐度处理中的 N 含量明显减少,两组的 N:P 的比例均小于 14^[26],N 含量均小于 20g/kg^[27],而另一些研究表明:在环境适宜的情况下红树植物幼苗对 N 的需求量会显著增加^[5,19]。综合以上研究表明:在淹浸和盐度胁迫下秋茄幼苗表现出明显的 N 限制特征,而 P 元素始终未成为限制因子。对于幼苗受到的 N 限制,盐度比淹浸表现的更明显,且随着盐度增加表现的更明显。盐度组内幼苗受到 N 限制可能与 K 含量较低有关^[28],K 含量保持在较低水平以期维持幼苗对 Na 和 Cl 的选择性积累,同时又限制了幼苗对 N 需求的增加。Na 浓度增加直接干扰细胞质膜对营养元素的转运。随淹浸时间的增加,N 含量并未随 Na 含量增加而减少,可能是由于植物受淹浸,缺氧胁迫导致器官之间的元素转移速率增大,同时缺氧条件下使一些离子的溶解度降低,某些根际离子成为有毒的形式(如还原性 Fe^{2+})^[29]。

夏威夷岛上的 *Rhizophora mangle* 叶片的 N:P 比值范围为 20—30^[19,30]。进行氮肥施肥试验表明叶片 N:P 比值在红树 *R. apiculata* 中为 21—57、木榄 *B. gymnorrhiza* 为 24—35、白骨壤 *Avicennia marina* 为 17—52、角果木 *C. tagal* 为 21—41、木果楝 *Xylocarpus granatum* 为 17—52^[19]。湿地生态系统植物叶片的 N:P 比值一般范围为 12—20^[31-34]。但是本试验淹浸组叶片 N:P 比 7—11,盐度组为 9—15。本试验比值较小有 3 种解释:一是 N:P 比受到植物种类的影响。红树林物种都生长于潮间带,与陆地植被系统有显著差异,某些特殊的种类会导致 N:P 比值剧烈变化^[35]。二是幼苗对水文因子的一种响应策略。N 与 N:P 比在两种处理组内都有减小,P 含量增加,使得 rRNA 增加从而生产更多的蛋白质,植株在受胁迫加重时表现出生长加速。生长加速不仅使幼苗尽可能在短时间内摆脱淹浸限制,而且使之尽快进入成熟植株阶段,对盐度和淹浸的耐受能力及会更强^[21]。三是淹浸降低了植株的温度,验证了 Reich 和 Oleksyn 提出的温度-生理学 N:P 假说,及 N:P 随植物体温度降低而降低^[36],或者 3 种原因皆有之。以上的研究表明 N:P 值明显随水文因子的改变而变化,且红树林物种普遍不受 P 的限制,而是 N 的限制^[37]。

3.3 秋茄幼苗在不同淹浸时间和盐度梯度下微量元素和重金属的计量特征

随淹浸时间的延长,叶片中 Zn、Cu、Al 先减少再增加。Zn、Cu、Al 过量积累会对植物产生一定的毒害作用。幼苗在淹浸时间每天超过 16h 后不利于生长^[13],不仅营养元素吸收减弱,还受到 Fe、Zn、Cu、Al 一定的毒害作用,这可能是秋茄幼苗在长时间淹浸下死亡的主要原因之一^[13]。随着盐度的上升,秋茄幼苗叶片内大量元素 P、Na、Cl、Mn 的过量积累会降低其体内渗透调节能力,影响其它营养元素的吸收。高盐下秋茄幼苗茎内 Al、Ca 元素的下降将不利于秋茄幼苗光合效能^[13],也减弱了幼苗对盐逆境的抵抗能力。Fe 元素在秋茄根部随盐度变化的趋势与地上部分相反,在根部随着盐度的增大而大量积累,对秋茄幼苗根部的毒害很大,这可能是高盐下秋茄幼苗死亡的主要原因之一^[13]。Cr、Pb 在根中的含量最多,Ni 在叶中的含量较多。表明重金属浓度在器官富集上具有选择性。

本试验通过控制盐度与淹浸时间,模拟了秋茄早期生长的环境,测定了秋茄各器官的化学含量。但是模拟试验低估了潮间带红树林生长区域不同因子交互作用的复杂性,比如水文地理学因子和植物的交互作用。模拟的生态系统可能受到了化学品、水源与土壤的污染。P 以 H_2PO_4^- 和 HPO_4^{2-} 的形式在组织中吸收和释放,同时浓度受到土壤和水质 pH 的影响。红树林对可溶性 P 的吸收依赖于土壤细菌,真菌和根系的协同作用^[18];难溶的 Fe、Ca 和磷酸盐会直接矿质化,进而在根围直接释放溶解物和气体^[29],所以对 Fe、Ca 和 P 的定量非常困难,对结果会产生误差。本试验考虑了盐度和淹浸两类重要的水文因子。水温、空气温度、潮汐类型对红树植物元素化学计量的影响是下一步需要探讨的内容。

致谢:海南东寨港国家级自然保护区和广东湛江红树林国家级自然保护区提供调查支持,袁文钦对植物和潮汐设备给予管护和维修,杨乐苏和于彬参与化学元素分析工作,邱凤英、张留恩、曾雯君帮助生长测定,在此一并致谢。

References:

- [1] Lugo A E, Snedaker S C. The ecology of mangroves. Annual Review of Ecology and Systematics, 1974, 5: 39-64.
- [2] Lin P. Mangrove Ecosystem in China. Bei Jing: Science Press, 1999: 317-329.

- [3] Liao B W, Li M, Chen Y J, Guan W. Techniques on Restoration and Reconstruction of Mangrove Ecosystem in China. Bei Jing: Science Press, 2010: 16-33.
- [4] Youssef T, Saenger P. Anatomical adaptive strategies to flooding and rhizosphere oxidation in mangrove seedlings. Australian Journal of Botany, 1996, 44(3): 296-313.
- [5] Boto K G, Saffigna P, Clough B F. The role of nitrate in nitrogen nutrition of the mangrove *Avicennia marina*. Marine Ecology-Progress Series, 1985, 21: 259-265.
- [6] Naidoo G. Effects of nitrate, ammonium and salinity on growth of the mangrove *Bruguiera gymnorhiza* (L.) Lam. Aquatic Botany, 1990, 38(2/3): 209-219.
- [7] Feller I C, Whigham D F, Lovelock C E, McKee K L. Nutrient addition differentially affects ecological processes of *Avicennia germinans* in nitrogen vs phosphorus limited mangrove ecosystems. Ecosystems, 2007, 10(3): 347-359.
- [8] Lovelock C E, Ball M C, Martin K C, Feller I C. Nutrient enrichment increases mortality of mangroves. PLoS ONE, 2009, 4(5): e5600. doi: 10.1371/journal.pone.0005600
- [9] Hessen D O. Stoichiometry in food webs-Lotka revisited. Oikos, 1997, 79(1): 195-200.
- [10] Hibbard K A, Schimel D S, Archer S, Ojima D S, Parton W. Grassland to woodland transitions: integrating changes in landscape structure and biogeochemistry. Ecological Applications, 2003, 13(4): 911-926.
- [11] Hogueana A M, Hill A E, Simpson J H, Bowers D G. Diurnal and tidal variation of temperature and salinity in the Ponta Rasa mangrove swamp, Mozambique. Coastal and Shelf Science, 1999, 49(2): 251-264.
- [12] Chen L Z, WANG W Q, Lin P. Influence of waterlogging time on the growth of *Kandelia candel* seedlings. Acta Oceanologica Sinica, 2005, 27(2): 141-147.
- [13] Liao B W, Qiu F Y, Tan F Y, Zen W J, Xu D P. Study on the adaptability of mangrove *Kandelia candel* Seedlings to simulated tidal inundation. Journal of South China Agricultural University, 2009, 30(3): 49-54.
- [14] Ball M C, Farquhar G D. Photosynthetic and stomatal responses of two mangrove species, *Aegiceras corniculatum* and *Avicennia marina*, to long term salinity and humidity conditions. Plant Physiology, 1984, 74(1): 1-6.
- [15] Hoppe-Speera S C L, Adams J B, Rajkaran A, Bailey D. The response of the red mangrove *Rhizophora mucronata* Lam. to salinity and inundation in South Africa. Aquatic Botany, 2011, 95(2): 71-76.
- [16] Chen G Z, Miao S Y, Nora F Y T. Effect of synthetic wastewater on eco-physiological indexes of *Kandelia candel* seedlings: a preliminary report. Chinese Journal of Applied Ecology, 1994, 5(2): 221-224.
- [17] Boto K G, Wellington J T. Phosphorus and nitrogen nutritional status of a northern Australian mangrove forest. Marine Ecology-Progress Series, 1983, 11: 63-69.
- [18] Alongi D M. The Energetics of Mangrove Forests. 1th ed. Dordrecht: Springer Media B. V., 2009: 32-42.
- [19] Alongi D M. Early growth responses of mangroves to different rates of nitrogen and phosphorus supply. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2011, 397(2): 85-93.
- [20] Marchand C, Lallier-Vergès E, Baltzer F, Albéric P, Cossa D, Baillif P. Heavy metals distribution in mangrove sediments along the mobile coastline of French Guiana. Marine Chemistry, 2006, 98(1): 1-17.
- [21] López-Hoffman L, Anten N P R, Martínez-Ramos M, Ackerly D D. Salinity and light interactively affect neotropical mangrove seedlings at the leaf and whole plant levels. Oecologia, 2007, 150(4): 545-556.
- [22] Sunarpi, Anderson J W. Effect of sulfur nutrition on the redistribution of sulfur in vegetative soybean plants. Plant Physiology, 1996, 112(2): 623-631.
- [23] Takemura T, Hanagata N, Sugihara K, Baba S, Karube I, Dubinsky Z. Physiological and biochemical responses to salt stress in the mangrove, *Bruguiera gymnorhiza*. Aquatic Botany, 2000, 68(1): 15-28.
- [24] Parida A K, Das A B, Mitra B. Effects of salt on growth, ion accumulation, photosynthesis and leaf anatomy of the mangrove, *Bruguiera parviflora*. Trees-Structure and Function, 2004, 18(2): 167-174.
- [25] Grattan S R, Grieve C M. Mineral element acquisition and growth response of plants growth in saline environments. Agriculture, Ecosystem and Environment, 1992, 38(4): 275-300.
- [26] Wassen M J, Olde Venterink H G M, De Swart E O A M. Nutrient concentrations in mire vegetation as a measure of nutrient limitation in mire ecosystems. Journal of vegetation Science, 1995, 6(1): 5-16.
- [27] Braakhekk W G, Hootfman D A P. The resource balance hypothesis of plant species diversity in grassland. Journal of vegetation Science, 1999, 10(2): 187-200.
- [28] Yasumoto E, Adachi K, Kato M, Sano H, Sasamoto H, Baba S, Ashihara H. Uptake of inorganic ions and compatible solutes in cultured mangrove

- cells during salt stress. *In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant*, 1999, 35(1): 82-85.
- [29] El-Tarabily K A, Youssef T. Enhancement of morphological, anatomical and physiological characteristics of seedlings of the mangrove *Avicennia marina* inoculated with a native phosphate-solubilizing isolate of *Oceanobacillus picturae* under greenhouse conditions. *Plant and Soil*, 2010, 332(1/2): 147-162.
- [30] Fry B, Cormier N. Chemical ecology of red mangroves, *Rhizophora mangle*, in the Hawaiian Islands. *Pacific Science*, 2011, 65(2): 219-234.
- [31] Elser J J, Fagan W, Denno R F, Dobberfuhl D R, Folarin A, Huberty A, Interlandi S, Kilham S S, McCauley E, Schulz K L, Siemann E H, Sterner R W. Nutritional constraints in terrestrial and freshwater food webs. *Nature*, 2000, 408: 578-580.
- [32] Roem W J, Berendse F. Soil acidity and nutrient supply ratio as possible factors determining changes in plant species diversity in grassland and heathland communities. *Biological Conservation*, 2000, 92(2): 151-161.
- [33] Gusewel S, Koerselman W. Variation in nitrogen and phosphorus concentrations of wetland plants. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 2002, 5(1): 37-61.
- [34] Wassen M J, Olde Venterink H G M, Lapshina E D, Tanneberger F. Endangered plants persist under phosphorus Limitation. *Nature*, 2005, 437: 547-550.
- [35] Güsewell S. N:P ratios in terrestrial plants: variation and functional significance. *New Phytologist*, 2004, 164(2): 243-266.
- [36] Reich P B, Oleksyn J. Global patterns of plant leaf N and P in relation to temperature and latitude. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2004, 101(30): 11001-11006.
- [37] Agren G I. The C:N:P stoichiometry of autotrophs-theory and observations. *Ecology Letters*, 2004, 7(3): 185-191.

参考文献:

- [2] 林鹏. 中国红树林生态系. 北京: 科学出版社, 1997: 317-329.
- [3] 廖宝文, 李玫, 陈玉军, 管伟. 中国红树林恢复与重建技术. 北京: 科学出版社, 2010: 16-33.
- [12] 陈鹭真, 王文卿, 林鹏. 潮汐淹水时间对秋茄幼苗生长的影响. *海洋学报*, 2005, 27(2): 141-147.
- [13] 廖宝文, 邱凤英, 谭凤仪, 曾雯珺, 徐大平. 红树植物秋茄幼苗对模拟潮汐淹没时间的适应性研究. *华南农业大学学报*, 2009, 30(3): 49-54.
- [16] 陈桂珠, 缪绅裕, 谭凤仪, 黄玉山. 人工合成污水对秋茄幼苗的几个生理生态学指标影响初报. *应用生态学报*, 1994, 5(2): 221-224.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 24 December, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

A bibliometric study of biodiversity research in China	LIU Aiyuan, GUO Yuqing, LI Shiyong, et al (7635)
Effects of elevated CO ₂ and nitrogen deposition on leaf nutrient quality of <i>Fargesia rufa</i> Yi	 ZHOU Xianrong, WANG Jianhua, ZHANG Hong, et al (7644)
Airborne pollen assemblages and their relationships with climate factors in the central Shaanxi Province of the Loess Plateau: a case in Xiaheimugou, Luochuan County	LÜ Suqing, LI Yuecong, XU Qinghai, et al (7654)
Spatial and temporal change in ecological assets in the Yangtze River Delta of China 1995—2007	 XU Xibao, CHEN Shuang, YANG Guishan (7667)
Evaluation and optimization of woodland ecological patterns for Qingdao based on the agent-based model	 FU Qiang, MAO Feng, WANG Tianqing, et al (7676)
Interactive mechanism of service function of alpine rangeland ecosystems in Qinghai-Tibetan Plateau	 LIU Xingyuan, LONG Ruijun, SHANG Zhanhuan (7688)
Preliminary evaluation of air temperature reduction of urban green spaces in Beijing	 ZHANG Biao, GAO Jixi, XIE Gaodi, et al (7698)
Resources metabolism analysis for the pulp and paper industry in Wuhan, China	 SHI Xiaoqing, LI Xiaonuo, ZHAO Linjia, et al (7706)
The characteristics and influential factors of direct carbon emissions from residential energy consumption: a case study of Lijiang City, China	WANG Danyin, TANG Mingfang, REN Yin, et al (7716)
Spatial targeting of payments for ecosystem services Based on SWAT Model and cost-benefit analysis	 SONG Xiaoyu, LIU Yuqing, DENG Xiaohong, et al (7722)
The wind tunnel test of plastic greenhouse and its surface wind pressure patterns	 YANG Zaiqiang, ZHANG Bo, XUE Xiaoping, et al (7730)
Population quantitative characteristics and dynamics of rare and endangered plant <i>Davidia involucrata</i> in Hunan Province	 LIU Haiyang, JIN Xiaoling, SHEN Shouyun, et al (7738)
Phenotypic diversity in populations of germplasm resources of <i>Rodgersia sambucifolia</i> and related species	 LI Pingping, MENG Hengling, CHEN Junwen, et al (7747)
Effects of sand burial and seed size on seed germination, seedling emergence and growth of <i>Caragana korshinskii</i> Kom. (Fabaceae) ...	 YANG Huiling, LIANG Zhenlei, ZHU Xuanwei, et al (7757)
Population-keeping mechanism of the parasitoid <i>Dastarcus helophoroides</i> (Coleoptera: Bothrideridae) of <i>Massicus raddei</i> (Coleoptera: Cerambycidae) in oak forest	YANG Zhongqi, TANG Yanlong, JIANG Jing, et al (7764)
Study of mingling based on neighborhood spatial permutation	LOU Minghua, TANG Mengping, QIU Jianxi, et al (7774)
Comparison of three regression analysis methods for application to LAI inversion using Hyperion data	 SUN Hua, JU Hongbo, ZHANG Huaiqing, et al (7781)
Response of seed germination and seedling growth of <i>Pinus koraiensis</i> and <i>Quercus mongolica</i> to comprehensive action of warming and precipitation	ZHAO Juan, SONG Yuan, SUN Tao, et al (7791)
Impacts of water stored in sapwood <i>Populus bolleana</i> on its sap flux	DANG Hongzhong, LI Wei, ZHANG Youyan, et al (7801)
Dynamics of greenhouse gases emission and its impact factors by fire disturbance from <i>Alnus sibirica</i> forested wetland in Xiaoxing'an Mountains, Northeast China	GU Han, MU Changcheng, ZHANG Bowen (7808)
Different tide status and salinity alter stoichiometry characteristics of mangrove <i>Kandelia candel</i> seedlings	 LIU Biner, LIAO Baowen, FANG Zhanqiang (7818)
Effects of shrub encroachment in desert grassland on runoff and the induced nitrogen loss in southeast fringe of Tengger Desert	 LI Xiaojun, GAO Yongping (7828)
Community structure and throughfall erosivity characters of artificial rainforest in Xishuangbanna	 DENG Yun, [TANG Yanlin], CAO Min, et al (7836)
Temporal-spatial variations of net ecosystem productivity in alpine area of southwestern China	 PANG Rui, GU Fengxue, ZHANG Yuandong, et al (7844)

Relationships between chemical compositions of <i>Quercus</i> species seeds and climatic factors in temperate zone of NSTEC	LI Dongsheng, SHI Zuomin, LIU Shirong, et al (7857)
Effects of simulated acid rain stress on the PS II reaction center and free radical metabolism in leaves of longan	LI Yongyu, PAN Tengfei, YU Dong, et al (7866)
Assessment of organic pollution for surface soil in Shenyang suburbs	CUI Jian, DU Jizhong, MA Hongwei, et al (7874)
The impact of rainfall on soil respiration in a rain-fed maize cropland	GAO Xiang, HAO Weiping, GU Fengxue, et al (7883)
Effects of winter crops on enzyme activity and morphological characteristics of root in subsequent rice crops	YU Tianyi, PANG Huancheng, REN Tianzhi, et al (7894)
Dynamic changes of soil moisture and nitrate nitrogen in wheat and maize intercropping field under different nitrogen supply	YANG Ruiju, CHAI Shouxi, MA Zhongming (7905)
Characteristics of the bird diversity and the impact factors in Weishan Lake	YANG Yuewei, LI Jiuen (7913)
The effect of cropping landscapes on the population dynamics of the cotton bollworm <i>Helicoverpa armigera</i> (Lepidoptera, Noctuidae) in the northern Xinjiang	LU Zhaozhi, PAN Weilin, ZHANG Xin, et al (7925)
The seasonal variations of nitrogen and phosphorus release and its fluxes from the sediments of the Beili Lake in the Hangzhou West Lake	LIU Jingjing, DONG Chunying, SONG Yingqi, et al (7932)
Optimization of lake model salmo based on real-coded genetic algorithm	GUO Jing, CHEN Qiuwen, ZHANG Xiaoqing, et al (7940)
The influence of climatic environmental factors and fishing pressure on changes of hairtail catches in the northern South China Sea	WANG Yuezhong, SUN Dianrong, CHEN Zuozhi, et al (7948)
Seasonal and spatial distribution of acid volatile sulfide in sediment under different mariculture types in Nansha Bay, China	YAN Tingru, JIAO Haifeng, MAO Yuze, et al (7958)
Review and Monograph	
Research progress on the mechanism of improving plant cold hardiness	XU Chengxiang (7966)
Influences of vegetation on permafrost: a review	CHANG Xiaoli, JIN Huijun, WANG Yongping, et al (7981)
Home-field advantage of litter decomposition and its soil biological driving mechanism: a review	ZHA Tonggang, ZHANG Zhiqiang, SUN Ge, et al (7991)
Research progress on the relationship of pollutants between road-deposited sediments and its washoff	ZHAO Hongtao, LI Xuyong, YIN Chengqing (8001)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 24 期 (2012 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 24 (December, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元