

红树植物繁殖器官发育过程中 铁钼锌元素的含量变化

李旷达, 王 洁, 杨盛昌*

(厦门大学生命科学学院, 福建 厦门 361005)

摘要: 探讨了显胎生红树植物木榄 (*Bruguiera gymnorhiza*)、秋茄 (*Kandelia obovata*)、隐胎生红树植物白骨壤 (*Avicennia marina*)、桐花树 (*Aegiceras corniculatum*) 和非胎生红树植物木果楝 (*Xylocarpus grantum*) 的繁殖器官发育过程中铁 (Fe)、钼 (Mo)、锌 (Zn) 元素的含量变化. 结果表明: 在花蕾期, 除白骨壤外, 其他种类 Fe 元素含量相近, 在 0.035 2~0.045 4 Lg/mg 之间. 隐胎生红树植物白骨壤、桐花树中 Fe 元素含量在种子期最高, 分别为 0.090 2 和 0.073 3 Lg/mg 萌发后呈现降低的趋势, 在胚轴成熟期达到最低. 在种子期, Mo 元素含量在胎生红树植物中差异不大, 在 0.288 2~0.302 0 ng/mg 之间, 平均为 0.294 5 ng/mg 明显高于非胎生红树植物木果楝 0.105 6 ng/mg 种子萌发后, 胎生红树植物中 Mo 元素含量下降. 在同一时期, 胎生红树植物种子的 Mo 元素含量明显大于木果楝. 在木果楝的繁殖器官发育过程中, Zn 元素含量逐渐下降, 且比同期的胎生红树植物低.

关键词: 红树植物; 胎生; 繁殖器官; 元素含量

中图分类号: Q 945 5

文献标识码: A

文章编号: 043820479(2008)S220169204

红树林是热带、亚热带海岸潮间带的木本植物群落, 在海岸河口生态系统中占有重要地位. 胎生现象是红树植物适应生境的一种特殊繁殖方式. 一些红树植物, 如木榄 (*Bruguiera gymnorhiza*)、秋茄 (*Kandelia obovata*) 等果实在离开母树前种子就萌发成棒状胚轴, 有利于其固着在滩涂淤泥上或扩展分布范围, 为显胎生. 另一些红树植物, 如桐花树 (*Aegiceras corniculatum*)、白骨壤 (*Avicennia marina*) 等的种子在果实内萌发, 形成具有幼苗雏型的胚体, 但不形成长筒形胚轴突出果实之外, 称为隐胎生.

围绕红树植物胎生现象, 在形态结构、抗盐适应性以及能量动态等方面作了大量的研究工作^[125]. 但有关 Fe、Mo、Zn 等元素的影响还未见报道. 本文通过测定红树植物从花蕾到胚轴萌发这一发育过程中 Fe、Mo、Zn 等元素含量的变化, 初步探究其对繁殖器官的发育的影响, 加深对红树植物胎生特性的了解.

1 材料与方法

1.1 材料采集和预处理

胎生红树植物木榄、秋茄、白骨壤和桐花树的花

蕾、种子 (败花)、胚轴幼期 (幼果)、胚轴成熟期 (成果) 等于 2006 年 4 月至 7 月采自福建省龙海浮宫红树林保护区. 非胎生红树植物木果楝的花蕾、种子等采自海南东寨港红树林保护区, 以种子萌发 3 d 和 20 d 后的材料对应于胎生红树植物胚轴幼期和胚轴成熟期.

为避免生境差异可能导致元素含量变化的影响, 采用定点定株的方式进行样品采集. 植物样品用无离子水洗净, 80℃ 烘干 24 h, 高速药物粉碎机 (细度 50~250 目, 山东青州精诚机械有限公司) 研磨粉碎, 称量待用.

1.2 主要仪器和试剂

电感耦合等离子体质谱仪 (ICPMS) (PE DRC2e 型) 为美国 PE 公司产品; 程控箱式电炉 (马福炉, SXL2 1016 型) 为上海精宏实验设备有限公司产品.

浓硝酸和无水乙醇为国产优级纯; 超纯水配制标准液, 其中 Fe 元素所用标准液单位为: (1.0005) Lg/mL (2% HNO₃ + Trace HF), Fe 元素浓度是 100 倍单位浓度. Mo、Zn 元素所用标准液单位为: (1.0005) Lg/mL (2% HNO₃ + Trace HF), 浓度均为 1 倍单位浓度.

1.3 测试方法

消解: 称取 0.100 0 g 植物干粉样品, 转入 10 mL 坩锅中. 加入 200 μL 的无水乙醇湿润样品, 盖好盖子. 放入马弗炉灰化, 程序为: 200℃, 1 h; 300℃, 1 h;

400e , 1 h; 525e , 6 h 取出灰化样品, 每个坩埚加入 1 mL 的浓硝酸, 过夜消化, 直到观察到坩埚内为澄清液体.

定容: 向坩埚中加入 2/3 体积的超纯水, 转入 PET 瓶中, 再用超纯水清洗坩埚 4~ 5 次, 洗液均转入 PET 瓶, 用超纯水定容到约 50 000 g 记录重量, 此溶液为原液.

稀释: ICPM 对待测溶液中所测离子浓度要求不超过 2×10^{-6} , 所以原液要进一步稀释才能符合浓度要求. 取原液 2 mL 倒入 PET 瓶中, 加入超纯水使最终重量约为 50 000 g 即稀释了约 25 倍.

测定: 用 ICPM 测定 Fe, Mn, Zn 等 3 种元素的含量. 制作标准曲线时, 将标准液分别稀释 500 倍, 1 000 倍, 2 000 倍.

每个样品重复 3 次以上. 计算样品中 3 种元素的相对质量分数, 单位为 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 或 ng/mg

2 结果与分析

2.1 Fe 元素的含量变化

红树植物繁殖器官发育过程中铁 (Fe) 元素的含量变化见图 1.

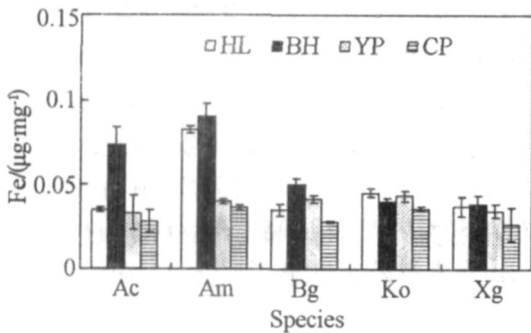


图 1 红树植物繁殖器官发育过程中铁 (Fe) 元素的含量变化比较

Fig 1 Changes of Fe element content in the development of mangrove plants propagative organs (HL, BH, YP and CP indicate Flower phase, Seed phase, Young hypocotyl phase and Adult hypocotyl phase respectively, Ac= Aegiceras comiculatum, Am= Avicennia marina, Bg= Bruguiera gymnorhiza, Ko= Kandelia obovata, Xg= Xylocarpus granatum)

在花蕾期, 除白骨壤中 Fe 元素含量明显较高外, 其他种类含量接近, 在 $0.035 \sim 0.045 \mu\text{g}/\text{mg}$ 之间. 在种子期, 胎生红树植物中 Fe 元素含量显著比非胎生红树植物木果楝高, 其中隐胎生红树植物白骨壤、桐花树又高于显胎生红树植物木榄和秋茄. 在胚轴幼期和

胚轴成熟期, Fe 元素含量在不同种类的植物中差异较小.

比较不同发育时期的 Fe 元素含量变化可以发现, 种子萌发后呈现下降趋势, 隐胎生红树植物白骨壤和桐花树在萌发初期尤为显著.

2.2 Mo 元素的含量变化

红树植物繁殖器官发育过程中钼 (Mo) 元素的含量变化见图 2.

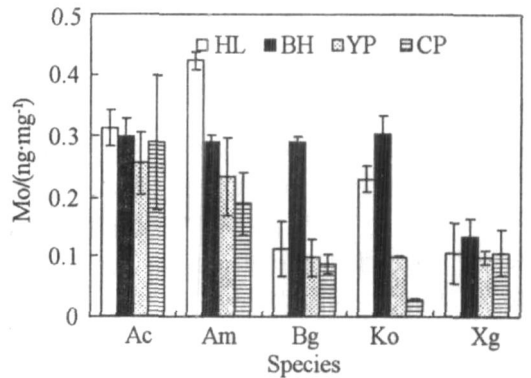


图 2 红树植物繁殖器官发育过程中钼 (Mo) 元素的含量变化比较

Fig 2 Changes of Mo element content in the development of mangrove plants propagative organs (HL, BH, YP and CP indicate Flower phase, Seed phase, Young hypocotyl phase and Adult hypocotyl phase respectively, Ac= Aegiceras comiculatum, Am= Avicennia marina, Bg= Bruguiera gymnorhiza, Ko= Kandelia obovata, Xg= Xylocarpus granatum)

在花蕾期, Mo 元素含量在隐胎生红树植物白骨壤和桐花树中较高, 非胎生红树植物木果楝较低.

种子期的 Mo 元素含量在胎生红树植物中差异不大, 在 $0.288 \sim 0.302 \text{ ng}/\text{mg}$ 之间, 平均为 $0.294 \text{ ng}/\text{mg}$ 明显高于非胎生红树植物木果楝 $0.1056 \text{ ng}/\text{mg}$

在胚轴幼期和胚轴成熟期, Mo 元素含量在隐胎生红树植物白骨壤和桐花树中较高, 显胎生红树植物和非红树植物含量较低, 且差异较小.

比较不同发育时期的 Mo 元素含量变化可以发现, 隐胎生红树植物白骨壤和桐花树随发育进程呈现逐渐降低趋势, 而显胎生红树植物中, 种子期含量最高, 萌发后呈现下降趋势. 非红树植物木果楝的 Mo 元素含量随发育进程呈现略微增加趋势.

2.3 Zn 元素的含量变化

红树植物繁殖器官发育过程中锌 (Zn) 元素的含量变化见图 3.

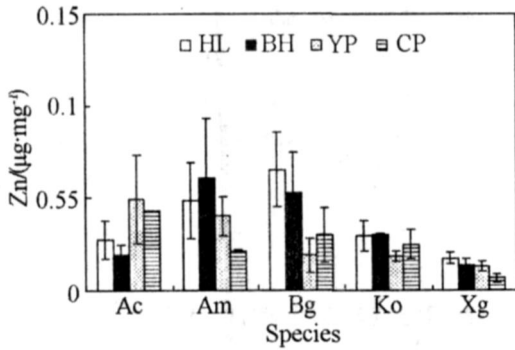


图 3 红树植物繁殖器官发育过程中锌 (Zn) 元素的含量变化比较

Fig 3 Changes of Zn element content in the development of mangrove plants propagative organs (HL, BH, YP and CP indicate Flower phase, Seed phase, Young hypocotyl phase and Adult hypocotyl phase, respectively. Ac= *Aegiceras comiculatum*, Am = *Avicennia marina*, Bg= *Bruguiera gymnorhiza*, Ko = *Kandelia obovata*, Xg= *Xylocarpus grantum*)

在花蕾期, Zn 元素含量在非胎生红树植物木果楝中最低, 为 0.017 3 Lg/mg, 胎生红树植物较高, 在 0.027 4~0.065 7 Lg/mg 之间, 平均为 0.0408 8 Lg/mg。

在种子期、胚轴幼期和胚轴成熟期, Zn 元素含量均在非胎生红树植物木果楝中最低, 胎生红树植物较高。其中, 在胚轴幼期, 隐胎生红树植物白骨壤和桐花树明显高于显胎生红树植物。

比较不同发育时期的 Zn 元素含量变化, 可以发现除木果楝随发育进程呈现下降趋势外, 胎生红树植物无统一变化趋势。

3 讨论

Fe 是植物生长必需的微量营养元素, 它是细胞色素蛋白、铁氧还蛋白、铁硫基蛋白等的重要辅助成分, 在维持细胞内物质的正常代谢、叶绿体发育、酶活性等方面发挥重要作用^[6]。Fe 在植物中的流动性很小, 不能向新生组织转移, 因此它不能再度利用^[6]。本实验结果表明, 在种子期, 胎生红树植物中 Fe 元素含量显著比非胎生红树植物木果楝高, 而种子萌发后均呈现下降, 说明胎生过程早期对 Fe 元素有着较高的需求。

Mo 元素存在于生物催化剂的组成之中, 在植物体内的生理功能主要表现在氮素代谢方面; Mo 还能促进光合作用的强度以及消除酸性土壤中活性铝在植物体内累积的毒害作用^[7]。刘鹏 (2006) 报道, 钼可能对植物生殖器官并无直接作用, 但可通过对营养器官的影响间接作用于生殖器官^[7]。本实验发现, 在花蕾期和

种子期, Mo 元素含量在胎生红树植物中明显高于非胎生红树植物木果楝, 隐胎生红树植物白骨壤和桐花树随发育进程呈现逐渐降低趋势, 而显胎生红树植物中, 均以种子期含量最高, 萌发后呈现下降。非胎生红树植物木果楝的 Mo 元素含量随发育进程呈现略微增加趋势。推测 Mo 元素对红树植物胎生早期的生长发育也起到促进作用。

Zn 元素也是多种氧化酶活性的核心, 参与电子的接受与传递, 在植物体内的氧化还原反应中起重要作用, 与叶绿素的形成以及碳水化合物、蛋白质的合成有密切关系^[6]。实验结果表明, 同期相比, 非胎生红树植物木果楝 Zn 元素含量均胎生红树植物, 反映了 Zn 元素在红树植物胎生过程中可能发挥一定作用。

红树胎生是一个具有种特异性的、由激素调控的内生过程, 并且该过程受到环境因素的一定影响^[5, 8]。Farnsworth & Farrant (1998) 通过比较胎生和非胎生红树植物的内源 ABA 含量, 证实胎生红树植物成熟种子缺少休眠阶段与其内源 ABA 含量低有关^[9]。在高等植物中, ABA 的生物合成可能是通过以类胡萝卜素为前体的间接途径进行的, 因此, 类胡萝卜素的生物合成受到抑制, 或从类胡萝卜素向 ABA 的转化受抑制, 都将导致种子中 ABA 缺乏或低含量, 从而促进种子胎生^[10]。Fe、Mg、Zn 元素可能通过影响 ABA 生物合成的某些酶的活性而与胎生现象关联。

不同种红树植物虽然生长环境与生理特性相似, 但种间亲缘较远, 因此 3 种元素的含量变化有所不同。至于 Fe、Mg、Zn 元素在红树植物生殖器官中分布的动力学机理以及对生殖器官的生长发育的作用方式还有待深入研究。

参考文献:

- [1] 赵胡, 郑文教. 红树植物桐花树生长发育过程的元素动态与抗盐适应性 [J]. 海洋科学, 2004, 28: 1-5.
- [2] 张宜辉, 王文卿, 池敏杰, 等. 显胎生红树植物木榄胎生胚轴发育 [J]. 海洋学报, 2006, 28: 121-127.
- [3] 王文卿, 王瑁. 中国的红树林 [M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [4] Farnsworth E. J. Hormones and shifting ecology throughout plant development [J]. Ecology, 2004, 85: 5-15.
- [5] Tomlinson P. B., Cox P. A. Systematic and functional anatomy of seedlings in mangrove Rhizophoraceae: vivipary explained? [J]. Botanical Journal of the Linnean Society, 2000, 134: 215-231.
- [6] 武维华, 主编. 植物生理学 [M]. 北京: 科学出版社, 2003: 86-98.
- [7] 刘鹏. 大豆钼、硼营养研究进展 [J]. 中国农学通报, 2001,

6 41- 44

[8] Farnsworth E J The ecology and physiology of viviparous and recalcitrant seeds[J]. Annual Review of Ecology and Systematics 2000, 31: 107- 138

[9] Farnsworth E J, Farrant J M. Reductions in abscisic acid are

linked with viviparous reproduction in mangroves[J]. American Journal of Botany 1998, 85: 760- 769.

[10] Kemode A R. Role of abscisic acid in seed dormancy[J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2005, 24: 319- 344

Changes of Fe, Mo and Zn Elements in the Development of Mangrove Plants Propagative Organs

LI Kuangda, WANG Jie, YANG Shengchang*
 (School of Life Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract Changes of Fe, Mo and Zn elements were studied in the development of propagative organs from five mangrove species including two viviparous species *Bruguiera gymnorhiza* and *Kandelia obovata*, two cryptovivipary species *Avicennia marina* and *Aegiceras coniculatum* and one nonviviparous species *Xylocarpus granatum*. In flower phase, mangrove plants had similar Fe element content with 0.035 2~0.045 4 Lg/mg except *Avicennia marina*. *Avicennia marina* and *Aegiceras coniculatum* had highest Fe contents in seed phase with 0.090 2 and 0.073 3 Lg/mg respectively then decreased after germination, and reached lowest in adult hypocotyl phase. In seed phase, four viviparous mangrove species had similar Mo element content with 0.288 2~0.302 0 ng/mg furthermore than nonviviparous *X. granatum* with 0.105 6 ng/mg. After germination, viviparous mangrove species decreased Mo content. At same phase, *X. granatum* had lowest Mo content. In the development of propagative organs, *X. granatum* gradually decreased Zn element content, but was always lower than viviparous mangrove species at same phase.

key words mangrove plant, viviparity, propagative organs, element

(上接第 168页)

The Interspecific Competition Between *Woloszynskia* sp. and *Alexandrium tamarense*: Influence of Phosphate Concentration and Initial Cell Density

YANG Yang¹, LI Bingqian¹, CHEN Changping¹,
 LIANG Junrong¹, YANG Qingliang², GAO Yahui^{1*}
 (1. School of Life Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China

2. Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Xiamen 361005, China)

Abstract The effects of both phosphate concentration and initial cell density on population growth and interspecific competition between an invasive species *Woloszynskia* sp. MMDL3013 isolated from the ballast sediment of ships at Xiamen Port and one of the known harmful alga *Alexandrium tamarense* MMDL3041 were investigated in the present paper by semicontinuous culture method. The results showed that the interspecific competition between the two algal species under low phosphate conditions was resource-exploiting competition, and *Woloszynskia* sp. was the dominant species. However, the interspecific competition depended on the initial cell density when they were in high phosphate concentration.

Key words *Woloszynskia* sp.; *Alexandrium tamarense*; interspecific competition; phosphate; cell density