

文章编号: 1000-5692(1999)04-0375-05

稀土元素对林木的生理效应

谢寅峰, 沈惠娟

(南京林业大学森林资源与环境学院, 江苏南京 210037)

摘要: 在适宜条件下, 稀土对林木许多生理功能都有积极作用。稀土在促进林木生长发育, 增强营养代谢水平, 提高抗逆性等方面效果显著。稀土可能主要通过调节有关酶和内源激素水平及活性而发挥作用, 其作用机理还有待于进一步研究。参
27

关键词: 稀土族; 林木; 生理效应; 机理

中图分类号: S718.43; O614.33 文献标识码: A

早在 1917 年就有了稀土元素对植物生理效应的研究报道^[1]。30 年代起前苏联对稀土的作物生理效应作了大量的试验和研究。我国自 70 年代起, 广泛开展了稀土的农业应用及植物生理效应研究, 并积累了大量试验资料。稀土对林木生理作用研究起步相对较晚, 大约在 80 年代中期, 但发展较快, 已取得了不少研究成果。目前我国在稀土的农林业应用及生理效应方面的研究已处于国际领先水平, 但对于稀土的作用机理研究尚未取得突破性进展。本文根据 10 多年来稀土在林业上研究成果, 对林木的生理效应作简要介绍, 并对稀土作用机理进行探讨, 为稀土林用及其机理研究提供参考。

1 稀土元素对林木的生理效应

1.1 稀土元素对林木生长的影响

许多研究表明, 适当质量浓度的稀土元素及其化合物处理对提高林木种子萌发率, 促进苗木生长, 提高经济林产量都具有明显的促进作用。郭春绒试验表明, 采用 $0.5 \sim 1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{PrCl}_3$ 浸泡油松 (*Pinus tabulaeformis*) 种子, 可使种子发芽率比对照提高 15% 左右, 并使发芽速度加快^[2]; 闫德仁等用质量浓度为 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的硝酸稀土浸泡油杉 (*Keteleeria fortunei*)

收稿日期: 1999-01-11; 修回日期: 1999-09-05

基金项目: 林业部重点指南资助项目(94-08-02)

作者简介: 谢寅峰(1966-), 男, 浙江余杭人, 讲师, 硕士, 从事树木生理生化研究。

种子,使种子萌发率提高了10%^[3]。其他许多林木种子,如锦鸡儿(*Caragana sinica*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、云杉(*Picea asperata*)、香椿(*Toona sinensis*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)和冲天柏(*Cupressus duclouxiana*)等稀土浸种试验也都获得了类似的结果,适当质量浓度处理后,可分别使它们的萌发率比对照提高5%~40%^[4-6]。

稀土对苗木地上部分营养生长和根系的发育也表现出明显的促进效应。江玲等用0.5 mg·L⁻¹硝酸镧处理马尾松(*Pinus massoniana*)幼苗,水培20 d后,苗木地上部分鲜质量和干质量分别达到对照的123.7%和123.3%,苗木侧根数达到对照的2.63倍,根系鲜质量和干质量分别比对照提高47.5%~48.2%和33.6%~38.8%。另外使根系TTC还原力保持在对照的118.6%~123.9%^[7]。我们在银杏(*Ginkgo biloba*)幼苗中试验表明50~100 mg·L⁻¹硝酸镧喷施处理,可使4年生银杏苗木新梢高生长增加30%,新梢直径及根系生物量增加10%~20%。在其他树种如木荷(*Schima superba*)、杉木、板栗(*Castanea mollissima*)、杨树、锦鸡儿、梭梭(*Haloxylon ammodendron*)和油松等试验中也得到了类似的效应^[2,6,8]。稀土对林木根系生长发育的影响还体现在促进扦插生根上,对黄花松(*Larix olgensis*)插穗进行稀土化合物处理表明^[9],稀土元素在一定程度上可刺激插穗生根,并使不定根数目增加。

稀土对提高经济林种实产量效应也非常明显。30 mg·L⁻¹稀土液喷施名优品种板栗,枣吊结果密度及坐果率分别提高181.8%和223.3%,单株产量提高90.8%^[10],1000 mg·L⁻¹稀土液喷施杉木、湿地松(*Pinus elliotii*),可使它们出籽率分别提高12.3%和14.2%^[6]。另外,稀土处理还能提高高节竹(*Phylloslachys prominens*)笋芽的萌发率,从而提高竹笋产量及成竹数^[11]。

1.2 稀土对林木光合作用的影响

许多研究表明,适当质量浓度的稀土处理可提高林木叶片叶绿素含量及光合速率。用700 mg·L⁻¹的稀土液处理刺槐1年生幼苗,可使播种苗、插条苗和插根苗叶片叶绿素含量分别比对照增加22.3%,33.1%和33.1%,光合速率比对照分别增加40.3%,34.3%和33.8%^[12],增效非常明显。用P₂Cl₃浸种处理的油杉幼苗,叶片的叶绿素a、叶绿素b及类胡萝卜素含量都有不同程度的提高,并导致叶绿素b/a值增加^[3]。在I-69/55杨插条苗上的稀土喷施试验表明可以提高RuBp羧化酶的活性^[13],在苹果(*Malus pumila*)、梨(*Pyrus*)、柿(*Diospyros kaki*)、杏(*Prunus armeniaca*)和板栗上同样证明稀土可提高叶片的叶绿素含量和光合强度。

1.3 稀土对林木营养代谢的影响

稀土元素在一定条件下具有促进林木对养分的吸收、转化和利用等营养生理的活性。赵兰勇等研究表明,在0~700 mg·L⁻¹的稀土质量浓度范围内处理的刺槐幼苗,叶片全氮、全磷、全钾量都明显提高,与对照相比,最高可分别增加31.7%~46.1%,22.0%~32.7%和42.9%~55.6%^[12]。枣(*Ziziphus jujuba*)树花期喷施稀土可促进氮、磷、硼、锌等元素吸收和累积^[6]。

稀土元素对林木体内营养代谢也有明显的促进作用。我们在对银杏幼苗试验中发现,100 mg·L⁻¹的硝酸镧处理,可使银杏叶片硝酸还原酶活力比对照增加10%~15%,同时使叶片还原糖和可溶性蛋白质含量都呈现明显的提高。硝酸还原酶活力的提高,促进无机氮向有机氮的转化,增强了植物对氮素的利用,有利于蛋白质的合成和营养平衡的调控。稀土处理

可使核桃 (*Juglans regia*) 果内蛋白质和脂肪含量及枣和板栗中维生素 C 含量有明显的提高^[14], 从而提高了经济林果的品质。

1.4 稀土对林木抗逆性及离体器官衰老的影响

稀土对林木抗逆性及离体器官衰老影响的研究报道目前还较少。现有的资料表明, 适当质量浓度稀土及其化合物处理能增强植物的抗逆能力, 对离体器官衰老具有一定延缓作用。周青等研究表明, $15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{La}^{3+}$ 预处理可明显降低酸胁迫下蜡梅 (*Chimonanthus praecox*) 叶片光合速率的下降, 叶绿素含量的降低, MDA 含量的累积及膜透性的下降, 提高保护酶 CAT 的活性^[13]。

杨敏生等用 $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 稀土处理杨树枝条, 与对照相比, 新鲜花粉的萌发率及贮存期都有明显的提高^[16]。鲜切花保鲜试验表明, 稀土复合物保鲜剂 3HR 处理可使月季 (*Rosa chinensis*) 和白芍 (*Radix paeoniae alba*) 等 15 种花卉花蕾平均开放率提高到 95%, 瓶插寿命比市售常用保鲜剂平均延长 3~10 d, 而且花瓣增大, 花色艳丽, 香味浓郁^[17]。

2 稀土元素作用机理探讨

稀土作用机理问题长期以来为人们所关注, 至今国内外研究尚无重大突破, 但在某些方面也取得了一定进展, 根据现有资料及推测归纳如下。

2.1 稀土元素与酶

稀土元素作为外源无机金属离子, 对植物许多生理作用可能通过调节酶活性起作用, 如通过提高叶绿素合成酶及 RuBp 羧化酶活性, 增强植物的光合作用, 提高产量; 提高植物体内保护酶如 SOD 和 CAT 活力, 增强对自由基的清除能力, 稳定膜系统的结构和功能, 从而增强植物的抗逆性, 延缓离体器官的衰老。稀土元素处理能提高植物体对其他矿质元素的吸收和运转, 可能与 ATP 酶活性增强有关。潘廷国等研究表明, 稀土元素处理后, 甘蔗 (*Saccharum sinense*) 叶片 Mg^{2+} -ATP 酶、 Ca^{2+} -ATP 酶及根细胞 Na^{+} - K^{+} ATP 酶活性提高, 植物代谢水平及根系吸收能力增强^[18]。至今为止国内外学者已相继发现稀土元素对植物体内抗坏血酸氧化酶、多酚氧化酶、固氮酶、 α -淀粉酶、ATP 酶、RuBp 羧化酶、脱氢酶、硝酸还原酶、过氧化物酶、SOD、酯酶、IAA 氧化酶和核酸酶活性有显著促进作用^[1, 18~20], 并使 α -淀粉酶、酯酶、SOD 同工酶等酶带数增多或加强^[19~21]。近 20 a 来, 随着在动物和微生物方面开展的稀土生物化学研究及用稀土金属元素作为探针研究蛋白质分子结构的进展, 在稀土金属离子与酶分子相互作用研究方面取得了相当进展。研究表明, 稀土金属离子可以通过作用于酶活性中心或中心的周围环境以及通过与 Ca^{2+} 竞争影响酶活性, 使酶产生抑制或活化作用。稀土金属离子与酶分子相互作用大多数是通过酶蛋白中的酸性氨基酸残基结合展开的^[22]。虽然目前还未能直接证明植物体内酶分子与稀土金属离子间的相互作用, 但无疑为探讨植物体内稀土元素作用机理提供了重要线索。

2.2 稀土元素与植物激素

稀土元素虽然只是一类稀有重金属元素, 但它们对植物的生长作用还不同于一般的金属元素, 具有植物生长调节剂的一些特征。我们在银杏苗木试验中发现, 适当质量浓度稀土处理对银杏苗木生长促进效应要大于 GA 和 NAA 处理。楼一平等研究也表明, 在激素、微量元素和稀土对笋芽萌发促进效应影响中, 效果顺序依次为稀土、微量元素、激素 A (细胞分裂

素)和激素B(萘乙酸)^[11]。稀土元素的这些作用特征可能与植物激素有关,通过调节植物体内源激素水平调节植物的生长发育。沈博礼等用稀土处理小麦(*Triticum aestivum*)幼苗,其内源 IAA, GA, CK 和 ABA 水平分别比对照增加 3 倍, 1.5 倍, 30% 和 10%^[23]。江玲等用 0.5 mg·L⁻¹ 的硝酸镧处理马尾松幼苗后提高了内源 IAA 水平, 并改变了 GA₁₊₃, iPAS 和 ABA 的含量^[7]。

稀土元素处理还能提高植物体内钙调素水平。杨燕生等用 La³⁺ 浸种处理小麦, 发现在 0~1.0 g·L⁻¹ 质量浓度范围内, 幼苗钙调素水平显著上升, 苗木生长明显加快, 而高质量浓度则起抑制作用^[24]。这与 La³⁺ 和 Ca²⁺ 的离子半径及结合力有关^[25]。

稀土元素还可能在植物体内与激素形成络合物而产生生理作用。近几年来, 稀土与植物生长素的加合效应已引起了许多科技工作者的兴趣。对植物生根增效试验表明, 使用稀土激素配合物的效果较之使用单一稀土或生长素类及生长素类稀土混合物更明显, 稀土离子与生长素配位后, 对促进植物扦插生根有显著的协同增效作用^[26]。近年来已陆续报道了稀土配合物人工合成及性能测试方面的工作, 稀土配合物电化学研究也见探索性工作报道, 但对于促进植物生长作用机制方面还有待于进一步的研究^[27]。

2.3 稀土元素与土壤环境

稀土元素处理还能通过改善土壤环境条件, 从而对植物生长起到间接促进作用。潘延国等在甘蔗分蘖末期喷施稀土后 (600 g·hm⁻²), 发现土壤氨化细菌、有机磷分解细菌、反硝化细菌、好气性纤维分解菌(好气性固氮菌)和厌气性固氮菌分别增加 39.0, 3.0, 1.6, 383.9, 23.3, 16.5 和 4.0 倍。其中以氨化细菌、纤维分解菌和有机磷细菌的类群的菌数在根际增加最为明显, 同时根际土壤磷酸酶、脱氢酶、蛋白酶、脲酶和转化酶活性也明显提高, 因此活化了土壤养分, 使土壤肥力水平得到提高^[18]。

综上所述, 稀土元素对林木的生长发育等许多生理过程具有明显的影响, 它可能通过与植物活性分子直接作用, 也可能通过改善植物生长土壤环境促进植物生长必需元素吸收之间接作用而调节植物生长, 从稀土的生理效应来看, 应以直接作用方式为主。稀土元素的作用剂量符合必需元素对生物体效应的 Bertrand 剂量规律, 但到目前为止还不能证明它是植物生长必需元素, 这还需要在稀土作用的生理基础及分子机理方面作进一步的研究。通过机理研究, 必将为稀土元素在林业上的推广应用起到推动作用。

参考文献:

- 徐星宇, 张玉梅. 稀土农用研究与应用的发展概况[J]. 土壤学进展, 1990, 18(6): 6~12.
- 郭春绒, 潘登魁. PrCl₃ 对有油松种子萌发及幼苗生长的生理生化效应[J]. 稀土, 1997, 18(1): 58~72.
- 阎德仁, 张连第, 刘永军. 稀土对油松种子萌发和内含物转化的影响[J]. 稀土, 1996, 17(1): 67~69.
- 张连第, 刘永军, 阎德仁. 稀土对锦鸡儿和梭梭种子的影响[J]. 新疆林业科技, 1992, (3): 8~10.
- 张连第, 阎德仁, 刘永军. 稀土对柠条种子萌发效应的研究[J]. 内蒙古林业科技, 1996, (3): 50~52.
- 连友钦, 郑槐明, 邓明全, 等. 林业应用稀土的技术与效果[J]. 林业科学, 1995, 31(5): 453~459.
- 江玲, 周燮, 王章荣. 硝酸镧对马尾松苗的生长及内源激素含量的影响[J]. 南京农业大学学报, 1998, 21(2): 1~6.
- 连友钦, 郑槐明, 林建民, 等. 稀土提高杉木、木荷和板栗苗木质量与矿质营养的研究[J]. 林业科学研究, 1991, 4(6): 683~686.

- 9 王秋玉, 杨书信, 许忠志, 等. 长白落叶松硬枝和嫩枝的扦插繁殖[J]. 东北林业大学学报, 1996, 24 (1): 9~16.
- 10 贾慧君, 郑槐明, 赖殿才, 等. 生物活性物质对金丝小枣坐果的影响[J]. 林业科技通讯, 1993, (5): 18~19.
- 11 楼一平, 吴良如, 刘耀荣. 微肥、激素对竹鞭笋芽萌发的影响[J]. 林业科学研究, 1997, 10 (5): 541~545.
- 12 赵兰勇, 梁玉堂, 王九龄. 稀土对刺槐苗木生理特性的研究[J]. 林业科学, 1997, 33 (4): 374~379
- 13 沈应柏. 稀土元素对 1-69 杨水培苗木生长和光合作用的影响[J]. 北京林业大学学报, 1991, 13 (4): 47~52
- 14 冯巾帼, 胡庆恩, 胡奕华, 等. 稀土在苗木和果树上应用效果的研究[J]. 河北农业大学学报, 1991, 14 (4): 24~27.
- 15 周青, 黄晓华, 王冬熟, 等. 稀土元素 La 对酸雨损伤蜡梅的影响[J]. 生态学杂志, 1997, 16 (6): 59~61.
- 16 杨敏生, 康明, 刘艳枝. 稀土延缓杨树花粉和种子衰老的研究[J]. 林业科学, 1994, 30 (2): 166~169.
- 17 张玉梅, 徐星宇. 稀土复合鲜切花保鲜剂应用效果的研究[J]. 稀土, 1997, 18 (4): 46~49.
- 18 潘廷国, 王元贞, 柯玉琴, 等. 喷施稀土对甘蔗植株 ATP 酶和根际土壤酶活性的影响[J]. 作物学报, 1993, 19 (2): 133~138.
- 19 潘登魁, 郭春绒. PrCl_3 对有油松种子萌发过程酯酶同工酶谱的影响[J]. 稀土, 1996, 17 (2): 70~72.
- 20 侯彩霞, 沈博礼, 刘戈, 等. 镧和铈对小麦幼苗过氧化氢酶和淀粉酶活性及其同工酶的影响[J]. 稀土, 1997, 18 (2): 64~66.
- 21 郭春绒, 潘登魁. PrCl_3 、 LaCl_3 对油松幼苗超氧化物歧化酶活性及其酶谱的影响[J]. 林业科技通讯, 1995 (7): 11~12.
- 22 王伟列, 涂楚桥, 王光辉. 稀土金属离子与酶分子的相互作用研究进展[J]. 稀土, 1998, 19 (3): 57~65.
- 23 沈博礼, 张丽静. 稀土元素镧对小麦幼苗体内内源激素含量的影响[J]. 植物生理学通讯, 1994, (5): 351~352.
- 24 杨燕生, 刘德龙, 白娟. 硝酸镧对小麦幼苗素质 \ 蛋白质及钙调素水平的影响[J]. 稀土, 1997, 18 (2): 61~63.
- 25 刘敏, 周世恭. 稀土元素镧在植物细胞生理研究中的应用的进展[J]. 植物学通报, 1995, 12 (4): 32~37.
- 26 王则民. 稀土植物生长素类固体配合物的研究进展[J]. 稀土, 1995, 16 (5): 50~54.
- 27 吴霞琴, 章甘群, 冯建萍. 稀土、生长素类与稀土混合物及其稀土配合物的电化学行为研究[J]. 稀土, 1993, 15 (6): 34~60.

Physiological effects and possible mechanism of rare earth elements on forest trees

XIE Yin-feng, SHEN Hui-juan

(College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

Abstract: The results from the experiments of rare earth elements applied to forest trees show that in proper condition, rare earth elements treatments have position effects on physiological characteristics of forest trees. Rare earth elements can markedly increase the growth and yield of forest trees, improve the level of metabolism and the ability of resistance to improper environment of forest trees and so on. The effects of rare earth elements on forest trees may be related to the regulations of contents and activities in enzyme and endogenous hormones. More study is necessary for the physiological mechanism of rare earth elements to the forestry.

Key words: rare earth series; forest trees; physiological effect; mechanism