

麻疯树生理性病害及其防治

吴跃开, 李晓虹, 余金勇 (贵州省林业科学研究院, 贵州贵阳 550005)

摘要 总结了麻疯树常见的几种生理性病害类型, 包括缺乏症、药害、冻害、盐害以及胎萌; 针对各类生理性病害的为害特点及其防治措施进行了讨论。

关键词 麻疯树; 生理性病害; 为害特点; 防治措施

中图分类号 S432.1 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)31-10927-04

Physiological Diseases of *Jatropha curcas* L. and Their Control

WU Yue-kai, LI Xiao-hong, YU Jin-yong (Guizhou Academy of Forestry, Guiyang, Guizhou 550005)

Abstract Based on literature review, common physiological diseases of *Jatropha curcas* L. were summarized, including nutrient deficiency, phytotoxicity, cold damage, salt injury, and vivipary, each of which was discussed in terms of damage characteristics and control countermeasures.

Key words *Jatropha curcas* L.; Physiological diseases; Damage characteristics; Control measures

作为一种极具开发潜力的生物质能源树种, 麻疯树 (*Jatropha curcas* L.) 目前在非洲、亚洲、美洲等许多热带国家广泛种植, 在我国云南、四川、贵州、广西、海南等省区也有大面积发展。传统上, 麻疯树被认为具有很强的抗逆性, 即其能生长于恶劣的环境条件下, 但这只是基于对其野生单株的粗略观测结果, 对以果实产量为导向的大面积人工麻疯树林分来说, 不利的环境条件常常会导致麻疯树产生一系列不良的生长状态 (亦称生理性病害)。

生理性病害的发生往往具有突发性及普遍性的特点, 不但直接影响植物的正常生长从而影响产量, 衰弱的植物还极易诱发次生的病虫害问题; 另外, 由于生理性病害和传染性病害常易混淆, 极易导致农药的误用而造成不必要的环境污染, 同时也错过最佳防治时机, 造成无法挽回的损失。因此, 准确、及时地对麻疯树生理性病害进行诊断鉴定, 并据此制定科学的防治措施, 是营造持续高产的麻疯树林分的前提和保障条件之一。鉴于此, 笔者通过查阅相关文献, 对麻疯树常见的生理性病害进行了总结, 以期为我国麻疯树能源林的经营管理工作提供依据。

1 麻疯树主要生理性病害类型

1.1 缺乏症 缺乏症又称营养病害, 系土壤缺乏植物生长所需的某种元素, 导致植物生长不良而表现的病害症状。有研究者针对麻疯树叶部生长过程中营养物质的转移及再分布现象进行研究, 发现磷、钾、铜、锌等营养元素会大量地从老叶向嫩叶进行转移和再分布, 而氮、钙、镁、铁、锰等元素却较难发生转移及再分布^[1]。下面介绍各种具体营养元素的生理作用及其缺乏导致的麻疯树症状。

1.1.1 缺氮症。氮元素(N)是植物体内蛋白质、核酸的组成部分, 还是叶绿素的组成部分, 因而氮元素供应充足有利于干物质的积累和产量的形成。有报道指出氮的缺乏会导致麻疯树幼苗总的干物质产量减少 71%^[2]。氮元素的缺乏会

严重影响植株的生长量, 症状表现为老叶发黄, 甚至枯死^[2], 随后症状逐渐转移至较嫩的叶片^[3]。

1.1.2 缺磷症。磷元素(P)是许多重要化合物的组分, 并广泛参与各种重要的代谢活动, 因此缺磷的症状相当复杂。施放磷肥不但能明显促进根部的生长及叶面积的增加, 还能增加各种大量营养元素(钙元素除外)的含量^[4]; 氮的缺乏会导致麻疯树幼苗总的干物质产量减少 68%; 缺磷的症状首先表现在老叶, 其叶背及叶缘呈紫色, 叶缘卷曲, 与普通植物的缺磷症状比较相似, 其原因是缺磷后糖分运输受阻, 糖分大量积累于叶片中, 有利于花青素(糖苷)的形成^[2]。

1.1.3 缺钾症。植物缺钾时代谢紊乱、蛋白质解体、氨基酸含量增加、碳水化合物代谢受干扰、糖的合成运输减缓、叶绿素被破坏、光合作用受抑制。氮的缺乏会导致麻疯树幼苗总的干物质产量减少 85%; 其缺钾症状首先出现于老叶, 可见老叶沿叶缘开始黄化, 严重时叶缘呈灼烧状^[2-3]。

1.1.4 缺钙症。钙元素(Ca)是植物必需的营养元素, 是构成植物细胞壁和细胞质膜的重要组成成分, 并参与蛋白质的合成, 还是某些酶的活化剂, 同时还有防止细胞液外渗的作用, 植物缺钙时细胞不能正常分裂, 影响分裂的速度、分裂的质量和细胞的数量。研究指出几种大量元素中钙对麻疯树幼苗总的干物质形成的影响最大, 钙的缺乏会导致总的干物质产量减少 95%; 由于钙在植物体中不易移动, 麻疯树缺钙会导致顶端分生组织死亡, 植株生长量显著下降^[2]。

1.1.5 缺镁症。镁元素(Mg)是叶绿素的重要组成成分, 还参与体内各种主要含磷化合物的生物合成。研究指出几种大量元素中镁对麻疯树幼苗总的干物质形成的影响仅次于钙, 镁的缺乏会导致麻疯树幼苗总的干物质产量减少 94%; 麻疯树缺镁后, 植株生长量显著减少, 较老叶片叶脉间出现褪绿点并很快发展成枯斑, 叶片向上卷起^[2]。

1.1.6 缺硫症。几乎所有蛋白质都有含硫氨基酸, 因而硫元素在植物细胞的结构和功能中起着十分重要的作用。有研究指出硫的缺乏会导致麻疯树幼苗总的干物质产量减少 48%; 麻疯树缺硫后, 最新的叶片发生黄化^[2]。

1.1.7 缺铁症。铁元素(Fe)对叶绿素的合成有催化作用,

基金项目 贵州省年度攻关项目[黔科合 NY(2009)3065]。

作者简介 吴跃开(1972-), 男, 侗族, 贵州黎平人, 副研究员, 硕士, 从事植物保护及有益生物开发利用研究。

收稿日期 2014-09-12

又是构成呼吸酶的成分之一。缺铁时,叶绿素合成受到抑制,植物表现褪绿、黄化甚至白化。由于铁元素在植物体内难以转移,所以缺铁症状多从新梢顶端的幼嫩叶开始表现。指出铁的缺乏会导致麻疯树幼苗总的干物质产量减少84%;麻疯树缺铁后,嫩叶出现褪绿,叶脉保持绿色,随着病势发展,由叶缘至叶片中心变枯焦,顶端分生组织死亡^[2]。

1.1.8 缺铜症。铜元素(Cu)是多种氧化酶的核心元素,在氧化还原反应中起催化作用。因而,铜对氨基酸、蛋白质、脂肪和碳水化合物的合成有极大影响。铜的缺乏会导致麻疯树幼苗总的干物质产量减少69%;麻疯树缺铜后,症状出现于嫩叶,其叶脉变厚,脉间叶肉变苍白,出现红色小点,叶片皱卷^[2]。

1.1.9 缺锌症。锌元素(Zn)对碳水化合物代谢、蛋白质代谢、植物生长素代谢及细胞膜的功能和结构有很大影响。锌的缺乏会导致麻疯树幼苗总的干物质产量减少43%;麻疯树缺锌后,节间变短,新叶叶脉间黄化并向上卷起,有的出现红色。

1.1.10 缺锰症。锰元素(Mn)对植物的光合放氧、维持细胞器(如叶绿素)的正常结构、活化酶活性等方面具有不可替代的作用。锰的缺乏会导致麻疯树幼苗总的干物质产量减少31%;麻疯树缺锰后,新叶褪绿,网状变厚,向上卷起,部分叶片呈红色^[2]。

1.1.11 缺硼症。硼元素(B)与植物细胞壁的生长和强度、细胞分化、果实和种子发育、糖转移以及植物激素形成相关。硼的缺乏会导致麻疯树幼苗总的干物质产量减少17%;麻疯树缺硼后,顶端分生组织死亡,新叶褪绿,向上卷起^[2]。

1.2 麻疯树药害 药害是指因施用农药不当而使农作物产生的各种病态反应。当用药不当时,药剂的微粒会阻塞叶表面的气孔或进入植物组织后堵塞细胞间隙,从而使作物的正常呼吸、蒸腾和同化作用受到抑制;同时,药剂还可能与组织或细胞中的一些内含物发生化学反应,破坏正常的生理机能。实践中,产生药害的原因主要有三:一是选择不合适的农药品种;二是使用变质的农药;三是施药方法或施药时间不当。其中,最常见的产生药害的原因还是农药品种的不当选择,特别是除草剂的不当使用。

有研究发现在麻疯树出苗后施用高效氟吡甲禾灵、灭草松、氟乐灵3种农药对麻疯树幼苗的正常生长影响不大;其中,氟乐灵无论在麻疯树出苗前还是在出苗后施用,均未导致药害症状的出现,对各种生长指标也没有任何影响,从而认为该农药是麻疯树种植地最理想的除草剂^[5-6]。Costa针对多种萌前除草剂对麻疯树的药害试验结果表明,麻疯树对敌草隆、氟乐灵、施得圃、异恶唑草酮、精异丙甲草胺、异恶唑草酮+敌草隆混合剂、敌草隆+氟乐灵混合剂几种农药品种具有较好的耐性^[7]。还有研究表明,精吡氟禾草灵和草甘膦在低剂量下对麻疯树幼苗较安全,在麻疯树幼苗期值得推广使用^[8]。

在麻疯树出苗后施用2,4-D、二氯喹啉酸、氯酯磺草胺、双氯磺草胺、咪唑乙烟酸、甲咪唑烟酸、唑啶磺草胺会对麻疯

树产生程度不一的为害状(叶片出现枯死斑为常见症状),其中2,4-D产生的药害最明显,因其可导致顶芽枯死、新生叶片萎蔫脱落;而唑啶磺草胺则会导致叶片变小、节间缩短,主梢呈成丛生状^[5]。2,4-D、灭草烟、双氯磺草胺、甲咪唑烟酸、唑啶磺草胺等农药品种在麻疯树出苗前施用,会极大影响其出苗或影响其出苗后的正常生长^[6]。还有研究指出,麻疯树播种苗圃中使用莠去津+精异丙甲草胺和敌草隆会对麻疯树刚出土的幼苗产生严重药害,建议生产中不要施用^[9]。另外,乙氧氟草醚大剂量施用可能会使麻疯树产生药害,其症状表现为嫩叶灼伤及变形,老叶则出现黄色或红褐色斑点及变形,叶面积、叶数量、茎叶鲜重及干重均会减小^[10]。

1.3 麻疯树气候病害 传统上认为麻疯树适应性强,事实上,其对生长地的气候条件要求较高。Maes等对麻疯树自然分布地的气候条件进行分析时,发现95%的自然分布地的平均年降雨量为944 mm以上,年平均气温19.3~27.2℃,最冷月份的平均最低气温高于10.5℃;同时,通过对全球范围内人工麻疯树造林地所处地区的气候分析,发现其中近40%的地区较95%的自然分布地区的气候更干旱,而28%人工造林地所处地区的最冷月份的平均最低气温低于10.5℃,前者将会面临着灌溉或是减产的问题,而后者将面临冻害的危险^[11]。

实践证明,低温导致的冰冻害是麻疯树面临的最普遍且最突出的气候病害类型,已成为许多地方发展麻疯树的主要制约因素。例如,2008年特大雨雪冰冻低温气候给贵州麻疯树1~3年生幼林和苗木造成了极大灾害,海拔600 m以上的幼林和苗木受害率达100%;阴坡、中上部、迎风面受害程度尤为严重,受害严重的苗木顶梢损害10~15 cm^[12]。Corleto等在意大利南部对露地移栽的麻疯树幼苗进行观察,发现经历冬季2~3月份的低温天气(低于0℃,最低达-2℃)后,全部苗木发生死亡^[13]。

1.4 麻疯树盐害 盐害指土壤中可溶性盐类过多对植物的不利影响,这种影响是多种多样的,主要包括渗透胁迫、营养缺乏胁迫、离子毒害作用、生理代谢紊乱等方面^[14]。

Silva等对盐胁迫条件下麻疯树幼树光合作用的影响研究表明,麻疯树对盐胁迫较敏感,前期盐害主要表现为NaCl-诱导的渗透胁迫,在该种条件下盐害导致叶片气体交换参数(碳固定、气孔导度、蒸腾作用)减小;但后期盐害则表现为明显的离子毒害作用,在该种条件下叶片气体交换及光化学效率均受到严重影响。同时,试验结果还表明植物受盐害后,叶片光合功能较难恢复正常。由此,麻疯树盐害症状表现为:初期NaCl-诱导的渗透胁迫导致叶片出现一定的老化现象,后期离子毒害作用则表现为叶片上出现许多显著的枯死斑块,且该症状在盐害胁迫解除后也不能改善^[15]。

而根据Díaz-López等的研究结果,盐害对麻疯树幼苗的影响主要是在于Cl(r)及(和)Na(+)的毒害作用,以及由于Na(+)/K(+)比例的增高导致的养分失衡,而渗透胁迫的影响则几乎可以忽略,其原因可能在于麻疯树对叶片蒸腾作用具有很强的控制能力以减少水分的丢失^[16]。

1.5 胎萌现象 无休眠期的植物种子在成熟时如遇上雨水和高温天气,就会在植株上直接萌发,该种现象称为胎萌。胎萌现象的发生是植物为适应特殊环境而产生的一种特殊繁殖方式,这对于植物本身的生存发展是有利的。但对于以果实或种子为主要收获物的农作物来说,胎萌现象的发生无疑会直接影响果实或种子的质量及产量,例如,在印度,胎萌的发生已成为某些番木瓜品种的重要生理性病害之一^[17]。显然,对于以种子为目标收获物的麻疯树来说,胎萌现象的发生更是非常不利的,因为这会直接导致麻疯树种子产量的减少,同时也影响到种子的品质及其耐贮性。

2007年6月下旬至8月上旬,由于雨水持续、果实湿透,在印度孟买的 Rabale 地区首次发现麻疯树种子发生胎萌现象,调查时发现种子处于各种不同的萌发阶段,从胚的初始萌发状态至完全伸展的幼苗均可见于生长与成熟的果实上,而这些果实仍然保持挂在母树上^[18]。

2 麻疯树生理性病害的防治措施

2.1 营养性病害的防治 为了避免麻疯树营养性病害的发生,要求做到以下几点:遵循“适地适树”原则营建麻疯树林分;避免因间作(套种)对某种元素需求量大的作物而引起的缺乏症;合理搭配与施用化学肥料品种,多施有机肥;改善土壤理化性质,促进根系向纵深发展。

除了直接改善土壤营养条件,如何提高麻疯树养分吸收能力也是一个十分重要的技术考量。由于麻疯树是一种菌根植物,对菌根具有较强的依赖性,菌根的利用极具应用前景。调查表明,是麻疯树最常见的菌根种类为 *Glomus* spp. 和 *Acaulospora* spp.^[19-21];人工接种菌根后,麻疯树植物体的总养分含量得到提高,叶片中氮、磷、钾、锌铁营养元素的浓度上升,光合速率及蒸腾速率均比对照高^[22],同时,磷酸酶的活性显著提高,从而促进了植株生长及产量的提高^[23-24]。还有研究者通过试验发现,同时施用 *Acaulospora* sp. 和磷后,麻疯树的苗高、地径、叶数、根长、梢长、总干物质等生长指标均得到显著提高^[25]。

除了菌根菌,其他一些有益微生物也能帮助麻疯树对土壤养分的吸收,从而也可以利用它们来当作“生物肥料”,这些微生物包括 *Pseudomonas fluorescens*^[26]、*Bacillus* spp.^[27]、*Enterobacter cancerogenus* MSA2^[28]、*Azospirillum* spp.^[29]。有研究表明,混合施用各种生物肥料如固氮螺菌、固氮菌、解磷菌、菌根菌,对麻疯树的促生效果更好^[30]。

2.2 药害的防治 首先,在发现植物表现出不健康的状态时,要科学诊断其所属病害类型及确切的病因,据此有针对性地选择合适的药剂品种;当有几种药剂可供选择时,尽量选择低毒的、有机合成的品种。

其次,要掌握合适的施药时间。尽量避免选择麻疯树耐药力弱的时期施药,如苗期、花期、以及幼嫩组织及徒长枝生长期;同时,要尽量避开大热天的中午喷药,因为在高温高湿及强光条件下,药剂的活性增强,作物代谢旺盛,极易引起药害。

第三,要掌握合适的施药技术。严格按照规定浓度、用

量配药,稀释水要用河水或淡水。

第四,要进行药害的补救。可通过灌水、喷水等方式稀释、淋洗农药,同时适当补施氮、磷、钾肥以促进根系发育、提高生长活力,使受害植株尽快恢复健康的长势。亦可使用安全剂(保护剂)来缓解药害,如因错用或者过量施用有机磷类、菊酯类、氨基甲酸类等农药而引起的药害,可喷洒石灰水、肥皂水等碱性物质进行解毒;而对于抑制或者干扰植物体内赤霉素合成的除草剂、植物生长调节剂,在药后喷洒赤霉素或解害灵等,可缓解药害发生的进程。

2.3 冻害的防治 由于低温导致的寒冻害对麻疯树的影响很大,近年来开始有研究人员针对麻疯树在低温胁迫下的生理生化方面的变化特点及其抗低温机理进行研究^[31-32]。其中,Ao 等的研究发现经 1℃低温锻炼后麻疯树幼苗的抗寒性得到明显提高,并发现抗氧化酶类包括超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)、谷胱甘肽还原酶(GR)等酶的活性均显著高于对照,同时抗氧化剂(AsA 和 GSH)含量及 AsA/DHA 值和 GSH/GSSG 值也显著增加,表明抗氧化防御系统的激活是麻疯树幼苗抗冷性提高的重要生理生化基础^[32]。

利用化学药剂对麻疯树种子进行引发处理不但能够显著提高发芽率,所育出的幼苗的抗寒能力也显著高于对照;在干冷地区进行麻疯树育苗工作时,该技术尤其适用^[34]。

然而,对于野外大面积造林地来说,防御冻害唯一切实可行的办法是适地适树。首先,在进行麻疯树种植区规划时要重点考虑气温条件,要求规划种植区最冷月份的平均最低气温高于 10.5℃,年平均气温 19.3~27.2℃^[11];其次,在选择具体的造林地块时,应尽量避免高海拔(>600 m)、阴坡(北偏西 45°至经偏东 45°)和半阴坡(北偏东 45°至东偏南 45°)地段^[35]。

2.4 盐害的防治 防治盐害的常规措施包括:在育苗过程中进行抗盐性锻炼以提高苗木的耐盐能力;苗木定植后,加强管理,疏松土壤、增施有机肥和加强灌溉等措施都可在一定程度上降低盐害;采取开沟筑畦、抬高地面和增设排水口等措施加强地表径流对盐分的淋洗作用。

Kumar 等的研究表明,在盐胁迫条件下,接种 AM 菌可显著减缓盐的毒害作用,相对于未处理的幼苗,接菌处理的幼苗具有较好的生长表现;在一定范围内,麻疯树的菌根依赖度随着盐分含量的提高而增加。因而在盐胁迫条件下,接种 AM 菌将极大促进苗木的移栽存活率及其生长^[36]。

2.5 胎萌 在麻疯树果实成熟季节,若碰上雨水多、湿度大的天气条件,就应针对胎萌现象采取一定的防范措施。一般来说,当果实发育至生理成熟的黄色时,就要适时进行采摘,以免胎萌现象发生造成减产^[18]。

3 结论与讨论

众多研究表明,麻疯树的抗逆特性并不是绝对的,和其他作物类似,不利的环境条件常常会导致麻疯树各种生理性病害的发生。这些生理性病害的发生不但会直接影响麻疯树的正常生长而影响产量,衰弱的植物还极易诱发次生的病

虫害问题,为此,对麻疯树生理性病害进行准确、及时的诊断,并据此采取相应的积极防范措施,是营造持续健康、高产高效的麻疯树林分的基本前提和保障条件之一。实践中,要求根据麻疯树的生物学、生理学以及生态学特性,有针对性地进行科学种植与规范管理,从而最大程度避免由不当的农业措施引起的各类生理性病害,保证麻疯树的健康生长及产量的提高。

麻疯树是一种菌根植物,菌根菌在麻疯树抗逆过程中扮演着十分重要的角色,因而菌根菌的开发利用可在很大程度上避免或减轻麻疯树生理性病害的发生。例如,陈艺齐等(2011)提出一种麻疯树菌根育苗方法,运用该方法能提高麻疯树的抗逆性、适应性,促进根系生长,提高麻疯树种苗移栽成活率,促进生殖生长,增加产量^[37]。但是,总体上来看,目前对麻疯树的菌根菌还缺乏系统深入的研究。今后要加强不同环境条件下的菌根菌资源调查,深入研究其功能机理,同时通过试验筛选出优良菌株应用于生产实践。

参考文献

- [1] LIMA R L S, SEVERINO L S, CAZETTA J O, et al. Redistribuição de nutrientes em folhas de pinhão - manso entre estádios fenológicos[J]. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2011, 15(11): 1175 - 1179.
- [2] SILVA E D B, TANURE L P P, SANTOS S R, et al. Sintomas visuais de deficiências nutricionais em pinhão-manso [J]. Pesq Agropec Bras, Brasília, 2009, 44(4): 392 - 397.
- [3] ANDRADE T M, SANTOS H O, SILVA-MANN R, et al. Deficiência de macronutrientes em mudas de *Jatropha curcas* L. (nota prévia)[C]//Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel. 2. 2007.
- [4] LIMA R L S, SEVERINO L S, GHEYI H R, et al. Efeito da adubação fosfatada sobre o crescimento e teor de macronutrientes de mudas de pinhão manso[J]. Revista Ciência Agronômica, 2011, 42(4): 950 - 956.
- [5] ALBUQUERQUE C J B, SOUZA I F, ALCÂNTARA E M, et al. Aplicação de herbicidas em pós-emergência na cultura do pinhão-manso(*Jatropha curcas* L.)[C]//Congresso Brasileiro de Mamona 3. Salvador, 2008.
- [6] ALBUQUERQUE C J B, BRANT R S, ROCHA G R, et al. Seletividade de herbicidas para o pinhão-manso[C]//Congresso Brasileiro de Mamona. 3. Salvador, 2008.
- [7] COSTA J L, COSTA N V, ERASMO E A L, et al. Tolerância Inicial de Plantas de Pinhão Manso a Herbicidas Aplicados em Pré-Emergência[R]. I Congresso Brasileiro de Pesquisas de Pinhão Manso Brasília-DF, 2009.
- [8] GONCALVES K S, JOSÉ A R S, VELINI E D. Seletividade de Herbicidas Aplicados em Pós-Emergência Para a Cultura do Pinhão Manso (*Jatropha curcas* L.) [R]. I Congresso Brasileiro de Pesquisas de Pinhão Manso Brasília - DF, 2009.
- [9] BONIN F, ALVES J P C, JUNIOR R A, et al. Efeitos dos Herbicidas Diuron e Atrazina + S-Metalacloro na Cultura do Pinhão Manso em Condições de casa de Vegetação [R]. I Congresso Brasileiro de Pesquisas de Pinhão Manso Brasília-DF, 2009.
- [10] GONCALVES K S, JOSÉ A R S, VELINI E D. Efeitos da Superdosagem do Oxyfluorfen Para a Cultura do Pinhão Manso (*Jatropha curcas* L.) [R]. I Congresso Brasileiro de Pesquisas de Pinhão Manso Brasília-DF, 2009.
- [11] MAES W H, TRABUCCO A, ACHTEN W M J, et al. Climatic growing conditions of *Jatropha curcas* L. [J]. Biomass and Bioenergy, 2009, 33: 1481 - 1485.
- [12] 陈波涛, 欧国腾, 李昆. 贵州小桐子特大雨雪冰冻低温灾害调查研究报告[J]. 林业科技开发, 2008, 22(6): 13 - 16.
- [13] CORLETO A, CAZZATO E. Winter cold resistance of *Jatropha curcas* L. one year after transplanting in open field in Southern Italy[J]. Acta Horticulturae, 2011, 918: 441 - 442.
- [14] 武维华. 植物生理学[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [15] SILVA E N, RIBEIRO R V, SILVA S L F, et al. Salt stress induced damages on the photosynthesis of physic nut young plants[J]. Sci Agric (Piracicaba, Braz.), 2011, 68(1): 62 - 68.
- [16] DÍAZ-LÓPEZ L, GIMENO V, LIDÓN V, et al. The tolerance of *Jatropha curcas* seedlings to NaCl: an ecophysiological analysis[J]. Plant Physiol Biochem, 2012, 54: 34 - 42.
- [17] SARAN P L, CHOUDHARY R, SOLANKI I S, et al. New fruit and seed disorders in Papaya (*Carica papaya* L.) in India[J]. African Journal of Biotechnology, 2014, 13(4): 574 - 580.
- [18] DEORE A C, JOHNSON T S. Occurrence of vivipary in *Jatropha curcas* L. [J]. Current Science, 2008, 95(3): 321 - 322.
- [19] LAKSHMAN H C. Symbiotic association of arbuscular mycorrhizal fungi in rhizospheric soils of *Jatropha curcas* L. [J]. International Journal of Plant Sciences, 2009, 4(1): 120 - 122.
- [20] CHAROENPAKDEE S, CHERDCHAI P, DELL B, et al. The mycorrhizal status of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi of physic nut (*Jatropha curcas*) in Thailand[J]. Mycosphere, 2010, 1(2): 167 - 181.
- [21] KAMALVANSHI M, KUMAR A, JHA A, et al. Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in rhizosphere of *Jatropha curcas* L. in arid and semi arid regions of India[J]. Indian Journal of Microbiology, 2012, 52(3): 492 - 494.
- [22] CARVALHO A M X. Fungos micorrízicos arbusculares no crescimento de mudas de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) [D]. M. Sc. Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, 2008.
- [23] SINGH A K, JAMALUDDIN. Effect of arbuscular mycorrhizal inoculation on phosphatase activity in the rhizosphere *Jatropha curcas* in calcareous mined spoil[J]. National Academy Science Letters, 2011, 34(1/2): 27 - 29.
- [24] JAMALUDDIN, REKHA SHUKLA, PANDEY A K. Studies on microbial inoculants and their phosphatase enzyme activities in *Jatropha curcas* in nursery[J]. Mycorrhiza News, 2010, 22(2): 5 - 7.
- [25] VENKATESH L, NAIK S T, NAGARAJAIH C. Studies on AM fungi associated with *Jatropha curcas* L., and *Pongamia pinnata* (L.), Pierre[J]. My Forest, 2009, 45(4): 431 - 436.
- [26] SKUKLA R, JAMALUDDIN, PANDEY A K. Studies on phosphatase enzyme activity of *Pseudomonas fluorescens* isolates of *Jatropha curcas* L. [J]. Indian Forester, 2010, 136(4): 451 - 455.
- [27] DESAI S, NARAYANAIH CH, KRANTI KUMARI C H, et al. Seed inoculation with *Bacillus* spp. improves seedling vigour in oil-seed plant *Jatropha curcas* L.[J]. Biology and Fertility of Soils, 2007, 44: 229 - 234.
- [28] JHA CH K, PATEL B, SARAF M. Stimulation of the growth of *Jatropha curcas* by the plant growth promoting bacterium *Enterobacter cancerogenus* MSA2[J]. World Journal of Microbiology & Biotechnology, 2012, 28: 891 - 899.
- [29] RAVIKUMAR S, SYED ALI M, VALLIAMMAL N. Biofertilizer effect of halophilic azospirillum on the growth of *Jatropha curcas* L. seedlings[J]. Annals of Biological Research, 2011, 2(2): 153 - 157.
- [30] RAJA G, RANJITHA KUMARI B D. Effect of biofertilizers on *Jatropha curcas* L. under tropical conditions[J]. Asian Journal of Environmental Science, 2008, 3(1): 66 - 71.
- [31] LIANG Y, CHEN H, TANG M J, et al. Responses of *Jatropha curcas* seedlings to cold stress: photosynthesis-related proteins and chlorophyll fluorescence characteristics[J]. Physiol Plant, 2007, 131(3): 508 - 517.
- [32] AO P X, LI Z G, FAN D M, et al. Involvement of antioxidant defense system in chill hardening - induced chilling tolerance in *Jatropha curcas* seedlings[J]. Acta Physiol Plant, 2013, 35(1): 153 - 160.
- [33] OH J M, KIM H S, BAE H J, et al. *Jatropha* is vulnerable to cold injury due to impaired activity and expression of plasma membrane H⁺ - ATPase[J]. Acta Physiol Plant, 2014, 36: 231 - 241.
- [34] YADAV P V, KUMARI M, MEHER L C H, et al. Chemical seed priming as an efficient approach for developing cold tolerance in *Jatropha* [J]. Journal of Crop Improvement, 2012, 26(1): 140 - 149.
- [35] 李玲, 周运超, 刘娟, 等. 立地环境因子对小油桐冻害影响的调查研究[J]. 江苏林业科技, 2011, 38(4): 1 - 4, 8.
- [36] KUMAR A, SHARMA S, MISHRA S. Influence of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi and salinity on seedling growth, solute accumulation, and mycorrhizal dependency of *Jatropha curcas* L. [J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2010, 29: 297 - 306.
- [37] 陈艺齐, 张磊, 高梅, 等. 麻疯树菌根育苗方法[J]. 中国热带农业, 2011(6): 42 - 43.