

冷翔鹏, 孙欣, 房经贵, 等. 波尔多液作用机理及其在果树生产上的应用与相应药害研究进展[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(2): 97-99.

波尔多液作用机理及其在果树生产上的应用与相应药害研究进展

冷翔鹏, 孙欣, 房经贵, 宋长年

(南京农业大学园艺学院, 江苏南京 210095)

摘要: 波尔多液是在果树上应用时间最长、应用范围最广、药效最为稳定的杀菌剂。为更好、更科学地将波尔多液应用于果树生产, 在总结前人研究的基础上, 结合正在开展的有关研究, 针对波尔多液的作用机理、配制与施用、药害以及相关 microRNA398 对植物铜离子胁迫的影响进行了简要介绍。

关键词: 波尔多液; 果树; 铜离子; microRNA398

中图分类号: S482.2*1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2012)02-0097-03

波尔多液是无机铜素杀菌剂, 自从 1882 年法国教授米拉德在波尔多城研究发现它以来, 已有 100 多年的历史^[1-2]。波尔多液是最早被发现和应用的植物保护剂, 长期以来被广泛应用于果树、蔬菜、园林、花卉病害的防治上, 对霜霉病、炭疽病和晚疫病等叶部病害效果尤佳; 作为植物杀菌剂, 波尔多液具有药效持久、不易产生抗药性、杀菌谱广、黏着力强、耐雨水冲刷、成本低等优点; 此外, 波尔多液可以补充缺铜作物的铜元素, 起到矫治作用^[3-5]。

1 波尔多液作用机理与用途

波尔多液的有效成分为碱式硫酸铜, 可有效地阻止孢子发芽, 从而防止病菌侵染; 同时该成分能促使果树叶色浓绿、生长健壮, 从而提高树体抗病能力。有关波尔多液作用机理的研究有很多^[6-8], 具体来说, 波尔多液的杀菌原理主要是利用铜离子凝固原生质的方式使病菌死亡。当药液喷布到植物表面后, 形成 1 层水溶性很低的薄膜, 该薄膜在植物分泌物、

空气中的二氧化碳及病菌孢子萌发时分泌物中的有机酸等物质的作用下, 逐渐游离出铜离子, 铜离子进入病菌体内, 使细胞中的原生质变性并使病菌死亡。因为这个杀菌机理, 使病菌不易产生抗药性, 这是波尔多液能够得以持久应用、不易产生抗药性的重要原因^[9]。此外, 由于波尔多液喷在植物表面形成的是水溶性很低的膜(耐雨水), 所以它的杀菌作用时间(残效期)长, 可达 15~20 d, 而一般有机杀菌剂的残效期为 5~7 d^[10-11], 这也是波尔多液防治果树病害的有效性好、有效期长的另一个原因。

波尔多液最早是应用于葡萄的病虫害防治中的。随着人们对波尔多液作用机理的认识, 迄今它已被广泛应用于葡萄以外的其他多种果树的病虫害防治中^[12-13](表 1)。目前, 波尔多液可用于防治苹果、桃、梨、枣、葡萄、李、杏、柑橘、山楂等多种果树的多种真菌和细菌病害, 且对多种害虫有驱避作用, 如可用于防治桃树的叶蝉, 并有一定的杀卵作用。另外, 波尔多液还广泛应用于蔬菜、花卉、棉、麻等多种作物的病虫害防治中。

表 1 波尔多液在果树上的应用

树种	针对病害	硫酸铜:生石灰:水(质量比)	使用时期及方法
葡萄	葡萄黑痘病、霜霉病、炭疽病、褐斑病	1:(0.5~0.7):200	发病前或发病初期、生长期与其他内吸剂交替使用
苹果	苹果炭疽病、早期落叶病、干腐病	1:2:200	生长期根据叶部和果实病情施用
梨	梨黑星病	1:2:(200~240)	生长期
	梨锈病、梨黑斑病	1:2:200	展叶初和落花后雨季来临前
桃	桃缩叶病	1:0.5:(150~200)	芽孢开始膨大时
	桃细菌性穿孔病	1:1:200	早春芽萌动时
李	李红点病	1:2:200	开花末期及叶芽萌发
核桃	核桃黑斑病	1:1:200	发病前
香蕉	香蕉黑星病	1:1:200	在苞片未落的果穗上
柑橘	柑橘溃疡病	1:2:250	开花前和落花后
	柑橘树脂病、疮痂病	1:1:150	在春季萌芽前

2 配制与施用

波尔多液的种类根据硫酸铜和生石灰的质量比例可分为: 等量式(硫酸铜:生石灰=1:1)、半量式(硫酸铜:生石灰=1:0.5)、倍量式(硫酸铜:生石灰=1:2)、多量式(硫酸铜:生石灰=1:3~1:5)、少量式(硫酸铜:生石灰=1:0.25~1:0.4)几个类别^[14]。波尔多液中硫酸铜越多、生石灰越少, 则杀菌力越强, 但同时抵抗雨水冲刷力越弱、残效

收稿日期: 2011-05-18

基金项目: 江苏省科技支撑计划(编号: BE2010326); 中央高校基本科研业务费专项资金(编号: KYJ200909)。

作者简介: 冷翔鹏(1987—), 男, 山东威海人, 硕士研究生, 研究方向为果树分子生物学。E-mail: 2010104015@njau.edu.cn。

通信作者: 房经贵, 教授, 博士生导师, 研究方向为果树分子生物学。E-mail: fanggg@njau.edu.cn。

期越短;反之则杀菌力越弱,但同时抵抗雨水冲刷力越强、残效期越长。在配制过程中加入一定量的白砂糖能起到展着剂的作用^[15]。波尔多液的配制一般应根据植物的种类、生长期、病害的种类而异,可以根据实际需求进行水量的增减以及硫酸铜和生石灰比例的调整,配制比例可多种多样。对于幼嫩组织或对铜元素敏感的植物,可用浓度较低或生石灰过量式方法配制;对于生石灰敏感的植物,则可采用生石灰少量式的各种稀释倍数进行喷雾^[16]。在配制波尔多液时要注意不能使用金属容器,尤其是铁器,选材要优质,现配现用,不能贮藏,因为放置过久药效会降低^[17-18]。

喷施波尔多液时要因树制宜,不同果树树种应采用不同的稀释倍数;相同果树的不同生长阶段使用的浓度也不尽相同。如果有些作物对铜离子或生石灰敏感,容易产生药害,不应施用波尔多液。对铜离子敏感的果树有苹果、梨等,宜采用倍量式;对生石灰敏感的葡萄等果树,多采用半量式;桃、李、梅、杏、中国梨等在生长期则不宜施用波尔多液。此外,喷药时间也很重要,由于波尔多液属于保护性杀菌剂,宜在发病前或发病初期施用,这样既能防止病原物侵入,又能防止病害扩散;药剂喷施要间隔 15~20 d;喷施波尔多液应选择晴朗、没有露水的天气进行^[19]。

3 波尔多液的药害相关研究

3.1 铜胁迫对植物生长发育的影响

波尔多液中的有效成分是铜离子,因此,了解铜胁迫对植物生长发育的影响对于更好地了解与认识波尔多液药害的实

质具有一定的意义。铜是植物生长必需的微量元素,参与植物的光合作用等许多过程,在植物的正常生长发育过程中起着重要的作用;但植物组织中过量的铜又会对植物产生毒害作用,从而严重影响果树的生长发育。

当植物在吸收了过量的铜之后,会造成根系生长受阻、细胞膜的正常功能被破坏、植物光合作用受影响、根系对其他矿物质元素的吸收被抑制等现象,从而诱导植物细胞中活性氧簇(reactive oxygen species, ROS)快速大量积累而导致氧化胁迫^[20-22]。过量的铜除了在生理生化水平上毒害植物,还能渗透到细胞核内,诱发 DNA 与 DNA 之间、蛋白质与蛋白质之间以及 DNA 与蛋白质之间发生分子内或分子间的交联,从而在分子水平上影响并破坏细胞。这些破坏包括 DNA 链的断裂、缺失、重排,以及改变 DNA 的正常甲基化,所有这些将严重地改变 DNA 的复制和转录,最终表现出蛋白质的合成以及基因的调控发生紊乱^[24],从而使合成出来的蛋白质不能行使正常的生理功能。总之,过量铜离子会影响果树的光合作用、呼吸作用以及新陈代谢等正常的生理代谢,从而严重影响果树生长。

3.2 果树上波尔多液药害的影响

波尔多液在果树上施用时的药害实质上是铜离子对果树造成的不利影响,即为铜离子过量或果树对铜离子敏感造成的。在实际生产过程中若配制、使用不当,或长期、反复喷施波尔多液等含铜杀菌剂,都会严重影响果树生长发育,从而降低果品的产量和质量,造成波尔多液药害^[25]。各类施用时期产生的波尔多液药害见表 2。此外,长期喷施波尔多液会造成铜离子在土壤中的积累^[26],也易影响果树的生长发育。

表 2 铜离子过量对主要果树的药害

树种	药害	施用时期
葡萄	叶片边缘变黑干枯,出现死斑穿孔,果粒受害出现锈斑、麻点、果皮僵硬	花期和果实着色期
苹果	叶片网纹状失绿,呈黄色或黄白色,叶片边缘褐色干枯	幼果期和果实临近成熟时
柑橘	落叶,果实变小,树木生长缓慢,根腐烂	花后及幼果期
桃、杏、李	落叶落果	生长季节

波尔多液产生药害的原因有很多,如硫酸铜不完全溶解、药液不均匀喷布到果实上;喷药时间不适合,如在苹果幼果期及果实临近成熟期以及桃、杏、李等对铜敏感果树的生长季节使用波尔多液;喷药以后,药液未干即遇降雨,或在叶片上露水未干时喷药,由于铜的溶解度及叶片渗透能力变化,会使叶面上的可溶性铜含量骤然增加而使叶片灼伤等。

3.3 microRNA398 对植物铜代谢的影响

MicroRNA(miRNA)作为一种新型的调控基因,通过对靶 mRNA 的切割或翻译抑制 2 种沉默机制参与调控植物的生长发育,在植物多种逆境胁迫应答过程中发挥重要的调节作用^[27-28]。在已知的众多参与植物抗逆过程的 miRNA 中,miR398 是第一个被详细报道的受铜、铁等重金属胁迫调控表达的 miRNA,miR398 直接与胁迫应答网络相关联,其表达受重金属胁迫所抑制,在调节植物铜代谢平衡,应答过量的铜、铁、镉等重金属胁迫中起到重要作用^[29-30]。已有研究表明,葡萄、柑橘等多种果树中都有 miR398^[27-28]。

铜离子作为辅因子参加氧化还原反应,或与核酸、蛋白质相互作用,但含量过高时会与蛋白的羧基或硫醇基作用而使其失活;此外铜离子还可参与 Fenton 反应,诱导植物细胞中 ROS 快速大量积累而导致氧化胁迫^[31],从而严重干扰植物正

常的生理代谢。活性氧产生后,植物体内清除系统会启动,以减轻或消除活性氧累积对植物的伤害,而 Cu/Zn 过氧化物歧化酶(Cu/Zn-superoxide dismutase, CSD)作为最主要的超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD),可清除体内的超氧自由基,进而缓解逆境对植物生长的危害^[24,32]。根据辅因子的不同,SOD 分为 3 种:Cu/Zn-SOD(CSD)、Fe-SOD 和 Mn-SOD^[33-34]。拟南芥基因组编码 3 种 CSD 同工酶,分别是细胞质 CSD1、叶绿体基质 CSD2 和过氧化物酶体 CSD3。铜离子以 CSD 的形式参与清除 ROS,进而保护植物免受伤害,铜离子缺乏或过量都会降低 CSD 对 ROS 的清除能力,导致 ROS 的过量积累^[35]。

进一步研究表明,细胞质 CSD1 和叶绿体 CSD2 的转录受氧化胁迫所诱导,其诱导受到 miR398 的调节(图 1)^[36]。当植物在低铜条件下时,miR398 的表达增强,通过与靶基因的结合降低 CSD1 和 CSD2 的转录本,进而降低蛋白的表达;当植物在高铜条件下时,miR398 的表达降低,进而增强 CSD1 和 CSD2 的转录本,从而进一步增加蛋白的表达,使植株对铜离子过量造成的氧化胁迫的耐受性大大增加。正是通过 miR398 的调控,形成了植物对低铜、高铜环境的有效应答,实现了植物体内铜水平的自我平衡。在实际生产中,当不同浓

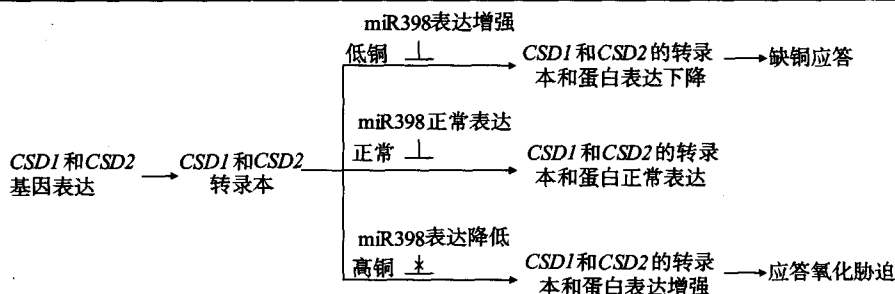


图1 miR398对植物铜胁迫的调控模式图

度的波尔多液喷施于果树上时,果树 miR398 是否参与以及如何参与果树对不同有效铜离子的应答反应,是我们目前正在研究的重要内容。本研究的开展也将为波尔多液在果树上更科学地利用提供理论参考。

参考文献:

- [1] Barker B T P, Gimingham C T. The fungicidal action of Bordeaux mixtures[J]. The Journal of Agricultural Science, 1911, 4(1): 76 - 94.
- [2] McCallan S E A. The nature of the fungicidal action of copper and sulfur[J]. The Botanical Review, 1949, 15(9): 629 - 643.
- [3] 朱永和, 王振荣, 李布青, 等. 农药大典[M]. 北京: 中国三峡出版社, 2006: 582 - 583.
- [4] 陈利锋, 徐敬友. 农业植物病理学[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2007: 297 - 301.
- [5] 韩召军. 植物保护学通论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001: 315 - 318.
- [6] Gimingham C T. The action of carbon dioxide on Bordeaux mixtures[J]. The Journal of Agricultural Science, 1911, 4(1): 69 - 75.
- [7] Martin H. Studies upon the copper fungicides: The interaction of copper sulphate with calcium hydroxide[J]. Annals of Applied Biology, 1932, 19(1): 98 - 120.
- [8] 屠豫钦. 农药科学使用指南[M]. 4版. 北京: 金盾出版社, 2009: 258 - 260.
- [9] 叶春祥, 高洪歧. 防治果树病害不可替代的波尔多液[J]. 北方果树, 2008(3): 73 - 74.
- [10] 侯智涛, 亢红娟. 应重视波尔多液在果树上的应用[J]. 西北园艺, 2009(3): 34 - 35.
- [11] 董金皋. 农业植物病理学[M]. 2版. 北京: 中国农业出版社, 2007: 246 - 297.
- [12] 张永亮, 孙执中. 波尔多液在园艺生产中的应用[J]. 新农业, 2010(11): 30 - 31.
- [13] 程结旺. 波尔多液在果树病害防治中的应用[J]. 现代农业科技, 2006(7): 98.
- [14] 王江柱, 吴研. 常用通用名农药使用指南[M]. 北京: 金盾出版社, 2008: 185 - 187.
- [15] 殷向阳. 波尔多液应用技术[J]. 河北林业科技, 2005(2): 41.
- [16] 杨云光. 如何正确配制和使用波尔多液[J]. 中国果菜, 2005(6): 31.
- [17] 杨平华. 常用农药使用手册[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2006: 263 - 266.
- [18] 姜彦涛, 赵树仁, 吕鑫. 怎样科学使用波尔多液[J]. 吉林农业, 2006(4): 22 - 23.
- [19] 仇宏昌, 曲海亮, 常睿, 等. 波尔多液的正确配制与使用[J]. 烟台果树, 2008(1): 47.
- [20] Rhoads F M, Olson S M, Manning A. Copper toxicity in tomato plants[J]. Journal of Environmental Quality, 1989, 18(2): 195 - 197.
- [21] 刘春生, 史衍玺, 马丽, 等. 过量铜对苹果树生长及代谢的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(4): 451 - 456.
- [22] Branquinho C, Brown D H, Catarino F. The cellular location of Cu in lichens and its effects on membrane integrity and chlorophyll fluorescence[J]. Environmental and Experimental Botany, 1997, 38(2): 165 - 179.
- [23] Clemens S. Molecular mechanisms of plant metal tolerance and homeostasis[J]. Planta, 2001, 212(4): 475 - 486.
- [24] Lombardi L, Sebastiani L. Copper toxicity in *Prunus cerasifera*: growth and antioxidant enzymes responses of in vitro grown plants[J]. Plant Science, 2005, 168(3): 797 - 802.
- [25] 郑芳, 邵明丽, 黄红云, 等. 果园药害研究[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(4): 1063 - 1064.
- [26] Swingle W T. Bordeaux mixture: its chemistry, physical properties, and toxic effects on fungi and algae[J]. Veg Path Div Bul, 1896, 6: 1 - 55.
- [27] Song C N, Wang C, Zhang C Q, et al. Deep sequencing discovery of novel and conserved microRNAs in trifoliate orange (*Citrus trifoliata*) [J]. BMC Genomics, 2010, 11: 431.
- [28] Wang C, Wang X C, Kibet N K, et al. Deep sequencing of grapevine flower and berry short RNA library for discovery of novel microRNAs and validation of precise sequences of grapevine microRNAs deposited in miRNase[J]. Physiologia Plantarum, 2011, 143(1): 64 - 81.
- [29] Carrington J C, Ambros V. Role of microRNAs in plant and animal development[J]. Science, 2003, 301(5631): 336 - 338.
- [30] Sunkar R, Zhu J K. Novel and stress - regulated microRNAs and other small RNAs from *Arabidopsis* [J]. The Plant Cell, 2004, 16(8): 2001 - 2019.
- [31] Clemens S. Molecular mechanisms of plant metal tolerance and homeostasis[J]. Planta, 2001, 212(4): 475 - 486.
- [32] Maksymiec, W. Effect of copper on cellular processes in higher plants[J]. Photosynthetica, 1997, 34(3): 321 - 342.
- [33] Mittler R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance [J]. Trends in Plant Science, 2002, 7(9): 405 - 410.
- [34] Kliebenstein D J, Monde R A, Last R L. Superoxide dismutase in *Arabidopsis*: An eclectic enzyme family with disparate regulation and protein localization[J]. Plant Physiology, 1998, 118(2): 637 - 650.
- [35] 丁艳菲, 王光钺, 傅亚萍, 等. miR398 在植物逆境胁迫应答中的作用[J]. 遗传, 2010, 32(2): 129 - 134.
- [36] Sunkar R, Chinnusamy V, Zhu J, et al. Small RNAs as big players in plant abiotic stress responses and nutrient deprivation[J]. Trends in Plant Science, 2007, 12(7): 301 - 309.