

树干注药技术研究进展

唐光辉^{1,2}, 陈安良^{1*}, 冯俊涛¹, 张兴¹

(1. 西北农林科技大学 无公害农药研究服务中心, 陕西 杨陵 712100; 2. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨陵 712100)

摘要:本文从树干注药的器械和方法、使用的药物种类、药剂在树体内的传导、药剂在植物组织内的代谢和残留等方面,对树干注药技术的研究现状进行了综述。对如何进一步完善发展树干注药技术提出了建议。

关键词:树干注射;杀虫剂;传导;残留

中图分类号:S763 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-7461(2006)04-0117-04

Review on Trunk Injection Technique

TANG Guang-hui^{1,2}, CHEN An-liang¹, FENG Jun-tao¹, ZHANG Xing¹

(1. Research and Development Center of Biorational Pesticide, Northwest A&F University;

2. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The appliances, methods and chemicals of trunk injection are reviewed. The translocation, degeneration and residue of chemicals in trees are also discussed. Finally, some suggestions about how to develop the trunk injection technique are given.

Keywords: trunk injection; pesticide; translocation; residue

化学防治是有效控制林木病虫害的主要措施之一。传统的化学农药使用方法主要包括喷雾法和烟雾法,对树木蛀干害虫如松墨天牛、光肩星天牛、红脂大小蠹、桑天牛、松纵坑切梢小蠹等防效差,并且易造成环境污染,杀伤天敌。随着人们环保意识的日益加强,农药使用的法规日趋完善,环境相容的农药品种、农药制剂和农药使用技术已成为防治林木害虫的必然选择^[1]。

林木干部施药技术即以一定的方式将农药注射到树干中,使其进入植株体内并随体液输送至各个部位,从而起到防治病虫害的作用。由于药剂直接进入树体内,不与周围环境接触,可以避免对环境的污染、对人畜及其它昆虫的伤害,因此树干注药是一种非常理想的环境相容性农药使用技术。树干注药对防治林木蛀干害虫、刺吸式口器害虫、食叶类害虫具有理想的防效,已在森林、公园、城市园林绿化、行道树林木害虫防治中已得到应用^[2,3]。

1 树干注药技术

• 1926年美国首先开发出树木注药机械,此后各

国科技人员不断探索,相继开发出各式各样的打孔注药器械。多数情况下,打孔和注药是分别进行的,也有的设计是将打孔和注药器械连在一起,边打孔边注药。目前主要注药技术可以归纳为两种,即加压式注药和自流式注药^[4,9]。

1.1 加压式注药

加压式注药是指药液在外力的作用下快速进入并贮存在林木木质部中,之后随蒸腾流传输到树体各个部位。加压式注药又可分两类,一类如美国 Arborjet VIPER 注药机械,是将设定剂量的药液连续不停地注入树体内的机械^[8];另一类如我国 6HZ. D625B 列树木注药机械,该类机械是将设定的注药剂量分为若干份,每次压入一份(即脉冲式注药)。实现加压式注药的条件是要有可靠的增压机械,以产生能够适应各种材质所需要的压力,并且注射针头与树体必须有良好的密封性,足以阻止高压注射液沿针体外流。在针头与树体(木质部)密封良好、压力足够大的情况下,如果压入注射液的速度过大,树木组织会发生爆裂,一般每秒压注 1~5 mL,对绝大多数树种是安全的^[6]。

收稿日期:2005-10-11 修回日期:2005-12-05

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30371145)

作者简介:唐光辉(1970-),男,新疆石河子人,讲师,在读博士,主要从事树木保护技术研究。

• 通讯作者:陈安良。

1.2 自流式注药

自流式注药是依据流体力学和树木内蒸腾作用原理而设计的。自流式注药器除设计有注药孔外,还设计有连通大气与药液的气孔注药时,将盛有药液的注药器的注药孔削开,用针尖刺通气孔后,插入树干上打好的小孔内,药液和树木内的蒸腾液流将维持一定的压差,在压差作用下,药液流入树木内,并随树木蒸腾液流分布于树体的各个部位。与加压式注药技术相比,该技术的最大特点是药器合一,使用方便,不受环境条件限制。西北农林科技大学无公害农药研究服务中心开发的“自流式树干注药器”^[9]、美国 Mauget 公司开发的注药器和日本防治松材线虫使用的树干注药器均采用该方式^[3]。

树干注药部位同防治目标病虫有关。可在树干基部打孔注药,也可在树木分枝处或根部打孔注药,注药孔直径以 0.4 ~ 0.8 cm 为宜;注药孔深度根据树种及胸径大小而定,一般 3 ~ 8 cm 深,树皮厚的树种适当深一些,以免药液渗入树皮而外渗^[5]。

2 树干注射的药物种类

可用于树干注射的药物较多,如杀虫剂、杀菌剂、除草剂、植物生长调节剂、微量元素等。杀虫剂包括有机磷类、菊酯类、氨基甲酸酯类、生物碱类及阿维菌素等,尤以氧化乐果、久效磷、甲胺磷、乙酰甲胺磷等传统内吸性药剂报道的最多^[10]。

一些非内吸性的杀虫剂如敌敌畏、敌杀死、水胺硫磷、杀螟松等也有较好的注干防治效果^[10]。如周嘉熹^[11]用 20% 杀灭菊酯注干施药防治黄斑星天牛大龄幼虫效果达到 62% ~ 69%,周家华^[12]用水胺硫磷注干施药防治红蜘蛛效果达 95.8%。

西北农林科技大学无公害农药研究服务中心研究表明,传统的内吸性药剂如呋喃丹、乐果和砒吸磷等在树木体内有传导不良的现象。呋喃丹在树木体内无杀虫作用,甚至和别的农药混用注入树木后,还会阻滞其它药剂的传导;即注干用药剂并不等同于内吸性药剂,注干采用的杀虫剂种类,不受“内吸剂”的限制。因此,该研究服务中心提出了“注干液剂”的概念,认为注干液剂是由农药原药、溶剂、乳化剂(少量或不加)及其他助剂(抗降解剂、抗氧化剂等)按一定比例混合加工而成的单相透明液体,是无需稀释而直接用于树干注药的制剂^[13,14]。

国内外已开发出了几种专用杀虫注干药剂。如美国 Mauget 公司登记了分别以吡虫啉、百治磷为有效成分的注干药剂,其商品名为 Imicide 和 Injectide-B^[7];美国 Arbor Systems 公司也登记了以吡虫啉为有效成分的注干药剂,其商品名为 Pointer^[8];

1999 年西北农林科技大学无公害农药研究服务中心以杀虫剂氧化乐果和敌敌畏为有效成分在我国首次登记了商品名为“天牛敌”的杀虫注干液剂^[15]。

3 药剂在树体内的传导机理

3.1 传导部位和方向

药剂在树体内的长距离输导发生在木质部(向顶性)或韧皮部(向顶性和向基性),其极性、分子量的大小,水溶性或在辛醇/水中的分配系数等理化性质可影响药剂的输导^[16]。杀虫剂在树木体内传导与蒸腾作用有极其密切的关系,环孔材的阔叶树水分移动仅限外部边材,而在散孔材及针叶树中,水分移动面积所占比例大,所以杀虫剂在环孔材木本植物体内的输导在外层边材中进行,输导面积小;而在散孔材和针叶树种体内的输导则是在整个木质部边材中进行,面积大^[17]。

同位素示踪、生物测定等研究表明,注射药剂的性质不同其在树体内的在树木体内的传导方向不同^[18-21]。如多灭磷注入云杉木质部以后,可以渗透进入韧皮部,但不会到达树皮表面,仅存在上行输导作用,在根际土壤中并未发现^[18];久效磷在杨树体内存在上、下运输,还有横向运输,其中上行输导大于下行输导,悬铃木体内也存在明显的双向输导^[22];甲胺磷和敌敌畏在黑松与杨树树干内也表现为双向输导,上行输导大于下行输导,黑松干内的输导量较杨树高^[21];唐桦^[23]证实了昆虫不育剂六磷胺在杨树干内可上、下输导,氧化乐果在小钻杨中由木质部向上输导后再转移到韧皮部而起杀虫作用^[24];用品红试剂标记的氧化乐果在板栗体内传导也存在明显的双向性^[20]。戴建昌^[25]研究发现氧化乐果和敌敌畏在新疆杨、国槐和苹果树体内有良好的传导性能,敌敌畏和氧化乐果在新疆杨、国槐和苹果体内呈双向传导,向上传导能力较大。氧化乐果在这 3 种树体的传导主要沿着注药孔一侧木质部传导,敌敌畏在新疆杨和国槐树体的传导方向性不很明显,但在苹果树体内主要沿着注药孔一侧木质部传导。由于蒸腾拉力的作用,杀虫剂一旦进入导管就随液流上升,输入蒸腾作用强烈的成熟叶片,并较多地集中于叶尖及边缘^[26]。

3.2 药剂的传导速度和传导量

树木的种类、树龄及天气条件如温度、湿度、风速等都会影响树木对水分及药剂的吸收和传导。吴春笃等^[22]采用灰色关联分析结果表明,影响久效磷在悬铃木体内传导速度和传导量的主要因子是气温、气压和风速;树体上部枝叶生命活动旺盛、新陈代谢快、生命力强,其输导量大、输导速度快,因此药

剂随树液输导到上部的量较其他部位多^[24]。多灭磷在云杉体内的上行输导量受树径和木质部液流的季节性变化影响^[26]。晴天国槐和苹果对水分和敌畏·氧乐杀虫注干液剂的吸收量明显大于阴天,光照强度的影响要比温度大,温度高并不一定有利于树木对水分和药剂的吸收,但湿度小却有利于树木对水分和药剂的吸收^[27]。

不同类型输导组织的树木对药剂的吸收和传导差异较大。氧化乐果和敌敌畏在苹果、新疆杨上的吸收和传导速度明显高于国槐,树体高大、胸径粗的杨树和国槐不一定比树体小、胸径细的杨树和国槐对水分和药剂的吸收量大。北方常见 11 种木本植物枝条吸药次序依次为山楂、桃树、苹果、侧柏、女贞、君迁子、七叶树、国槐、泡桐、杨树、核桃^[27]。

杀虫剂的理化性质对传导速度和传导量的影响较明显。酸性药液输导速度最快,碱性最慢,不同 pH 值的久效磷在多种树种间的传导规律同氧化乐果。PO 有机磷酸酯转移进韧皮部比 PS 有机磷快,所以前者在韧皮部的输导量和传导速度大,对取食韧皮部的害虫更有效^[28]。

4 药剂在树木组织内的代谢和残留

高等植物对外来化合物有广泛的代谢能力,但种间存在显著差异。植物没有有效的循环系统,只有有限的排泄功能,所以农药及其代谢物在植物体内存留时间长,发生某些代谢反应的可能性比在动物体内大,比如含硫醚结构的农药形成的亚砷和砷的代谢产物在植物体内容易检出,而亚砷和砷的毒性比原药毒性要高百倍。属于一硫代或二硫代磷酸酯类的内吸磷、甲拌磷、灭蚜松等杀虫剂进入植物体后,能代谢为毒性更强的化合物且能保持较长时间药效^[29]。甲拌磷注入美加黄杉体内第 17 个月后树皮和针叶中仍可检测到毒性更强的降解产物甲拌磷亚砷和甲拌磷砷^[30]。胺吸磷在五针松叶内经过 3 个生长季节仍然能控制害虫危害,在一些落叶的被子植物中,注射一次杀虫剂至少能控制害虫 2 个季节^[31]。多灭磷在云杉体内的半衰期是 45 d,可以对幼虫持续控制几个月,在低温地区效果更好^[18]。干部注射³²P-乐果在针叶内的半衰期为 10 d^[19]。

杀虫剂在木本植物不同部位的残留量各不相同。氧化乐果注射 7 d 后在小钻杨上部枝条中残留量高达 3.334 $\mu\text{g/g}$,高于中、下部枝条中的残留量;14 d 时中部残留量最高,为 1.778 $\mu\text{g/g}$,以后残留量逐渐减少^[24]。甲胺磷经注药处理后,在杨树、松树中的残留量是上部大于下部^[21]。许志春等^[32]测定吡虫啉(imidacloprid)在北京杨中的持留量表明

该在树体内可持留 40 d 以上,其中叶片中的药剂含量最高,侧枝中的含量居中,树干中含量最低;杨树主干韧皮部的持留量明显高于木质部的持留量,施药后吡虫啉在树干木质部中的持留量随时间而变化,施药后 5 d 左右持留量最高。

5 今后研究的方向

树干注药的实践证明,传导良好的药剂对蛀干害虫、枝梢害虫、食叶类害虫及螨类均具有理想的防效。使用树干注药技术,可以降低药剂对非靶标生物的影响,充分发挥各种生物及化学调控因子的作用,实现林木有害生物的可持续性控制。目前众多的研究虽然已揭示了药剂在树体内的传导、代谢及残留机理,展示了树干注药技术的良好使用前景。但仍然有下列问题有待进一步研究。

(1) 既然并非所有的内吸性杀虫剂药剂都能用于树干注射,某些非内吸性杀虫剂能用于树干注射后效果较好,内吸性药剂不等同于注干用药剂,可用于树干注射的药剂是否在化学结构、理化性质、在树体内的传导、代谢等方面存在某些共性。

(2) 对某些树种注药后药剂大部分随输导组织首先进入注药孔上方的大枝,在充分分布于该侧枝木质部、韧皮部、叶片中后,药剂能否在树体内经再次传导转运过程中,均匀分布于其它部位。

(3) 作为外来化合物,较长时间存在于树体内,药剂本身及其代谢产物对树体生理生化反应产生的影响是否会对树体造成慢性伤害。

(4) 树干注药技术对寄生性、捕食性天敌的安全性评价。

参考文献:

- [1] 袁会珠,黄启良,杨代斌,等. 环境相容性农药使用技术的研究进展[A]. 见:江树人主编. 农药与环境安全国际会议论文集[C]. 北京:中国农业大学出版社,2003. 52-60.
- [2] 胥占义,秦飞,周正标. 树干注射施药技术进展[J]. 林业科技,1997,22(5):25-29.
- [3] 梁细弟. 日本树干注入剂的应用及最新进展[J]. 林业科技通讯,1997,(8):35-36.
- [4] 秦飞. 手持定量树木注药器[P]. 中国专利号:95240488. 5. 实用新型专利公报,1996,12(47):5.
- [5] 秦飞,魏玉松,穆作文,等. 树干注射施药技术及应用[J]. 林业科技开发,1997,(1):20-21.
- [6] 李兴,秦飞,周正标,等. 树干注药机核心技术的比较研究与 6HZ. D625B 型注药机研制[J]. 林业科学,2001,37(1):130-134.
- [7] Stanton C, David k J, Rondalyn M R, et al. Use of soil and trunk injection of systemic insecticides to control lace bug on hawthorn[J]. Journal of Arboriculture, 1999,25(1):38-42.
- [8] Joseph J D, Peter M W, liangovan R, et al. Efficacy of Arborjet

- VIPER microinjections in the management of hemlock woolly adelgid [J]. *Journal of Arboriculture*, 2003, 29(6): 327-330.
- [9] 李刚, 冯俊涛, 陈安良, 等. 一种树干自流式注药器[P]. 中国专利号: ZL97203236. 3. 1998-09-02.
- [10] 戴建昌, 张兴. 杀虫剂在木本植物体内传导理论研究进展[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2001, 29(4): 128-134.
- [11] 周嘉熹, 王通会, 王琬. 黄斑星天牛幼虫期化学防治方法研究[J]. 森林病虫通讯, 1986, (4): 22-24.
- [12] 周家华. 柑桔树干注药防治红蜘蛛试验[J]. 中国柑桔, 1993, 22(4): 29.
- [13] 罗都强, 陈安良, 冯俊涛, 等. “注干液剂”的概念及实践[J]. 农药, 2001, 40(4): 16-18.
- [14] 李刚, 冯俊涛, 陈安良, 等. 一种树木注干剂[P]. 中国专利号: ZL99111357. 8. 中国农药登记公告, 2000-02-02.
- [15] 30% 敌畏·氧乐注干液剂(天牛敌)[P]. 中国农药登记号: LS 991064. 中国农药登记公告, 1999-05-12.
- [16] Renate M M, Reckmann U, Fuhr F. Xylem transport of the pesticide imidacloprid in citrus [J]. *Acta Horticulture*, 2000, 531: 129-134.
- [17] Reardon R C, Barrett L J, Kperber T W, et al. Implantation and injection of systemic to suppress seed and cneinsects in Douglas fir in Montana[J]. *CanEntomol*, 1985, 117(8): 961-969.
- [18] Dedek W, Pape J. Integrated pest control in forest management combined use of pheromones and insecticides for attracting and killing the bark beetle *Ips typographus*. Studies with ^{32}P labelled Methamidophos in the ascending sap of spruce [J]. *Forest Ecology and Management*, 1988, 26(1): 47-61.
- [19] Rediske J K, Gauditz J, Johnson N E. Distribution of dimethoate ^{32}P in fir, following stem injection [J]. *ForSci*, 1970, 15: 106-112.
- [20] 杨牡丹. 氧化乐果在板栗中输导规律的研究[J]. 西南林学院学报, 1993, 13(2): 127-137.
- [21] 夏民州, 唐进根, 朱正昌, 等. 甲胺磷等农药在树干内输导动态及防治试验[J]. 森林病虫通讯, 1993, (4): 31-33.
- [22] 吴春笃, 王光亮, 沈林生. 久效磷在悬铃木植株体内动态分布的研究[J]. 农业工程学报, 1994, 10(4): 96-101.
- [23] 唐桦. 六磷胺在树干内的输导动态及其对光肩星天牛的不育效应[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 1996, 24(2): 72-76.
- [24] 朱正昌, 闵水发. 氧化乐果在小钻杨中的输导动态[J]. 浙江林学院学报, 1991, 8(1): 80-84.
- [25] 戴建昌. 杀虫剂在木本植物体内的传导机理及应用研究[D]. 福建福州: 福建农林科技大学, 2001.
- [26] Dedek W, Grahl R, Mothes B, et al. Studien zum abbau und zur ausscheidung von ^{32}P -mehtamidophos nachoraler application am lak tienden rind[J]. *Arch Exper Vet Med (Leipzig)*, 1986, 40: 621-626.
- [27] 唐光辉. 30% 敌畏·氧乐注干液剂对木本植物的药害机理及药效研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2001.
- [28] 贺红. 树干注药杀虫机理及防治技术研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 1998.
- [29] 仲哲译. 植物体内农业化学品的解毒和活化[J]. 农药译丛, 1995, 17(4): 41-52, 58.
- [30] Getzin L W, Doters F G. Translocation, distribution and metabolism of phorate in Douglas fir[J]. *For. Sci.*, 1977, 23(3): 355-360.
- [31] Sclar D C. Evaluation of new systemic insecticides for elm insect pest control[J]. *J. Environ Hortc*, 1996, 14(1): 22-26.
- [32] 许志春, 田海燕, 陈学英, 等. 吡虫啉在杨树中持留量的动态变化研究[J]. 北京林业大学学报, 2004, 26(1): 62-65.

(上接第 88 页)

- [11] 陈楚莹, 汪思龙. 人工混交林生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [12] 彭少麟. 鼎湖山人工马尾松第 1 代与自然更新代生长动态比较[J]. 应用生态学报, 1995, 6(1): 11-13.
- [13] 杨承栋. 人工林地力衰退研究[A]. 森林与土壤(第六次全国森林土壤学术讨论会论文选编)[C]. 北京: 中国科学技术出版社, 1996, 1-8.
- [14] 李景文. 森林生态学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992.
- [15] 郑师章, 吴千红, 王海波, 等. 普通生态学——原理、方法和应用[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1994.
- [16] 姜汉桥, 段昌群, 杨树华, 等. 植物生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [17] 徐化成. 人工林与天然林的比较评价[J]. 世界林业研究, 1991, 4(3): 50-55.
- [18] 彭鉴. 云南松群落类型的研究[J]. 云南林业科技, 1992, (1): 16-21.
- [19] 马爱国. 目标经营——介绍一种森林经营方法[J]. 世界林业研究, 1992, 5(3): 50-55.
- [20] 叶世坚. 马尾松大径材资源接续问题的讨论[J]. 华东森林经理, 1999, 13(3): 41-44.
- [21] 程仲辉. 马尾松人工纯林分改造问题的探讨[J]. 福建林业科技, 1997, 24(2): 69-71.
- [22] 杨再强, 谢以萍. 云南松天然林最适保留密度的探讨[J]. 四川林业科技, 1998, 19(2): 70-72.
- [23] 徐学良. 贵州云南松天然林更新的初步研究[J]. 林业科学, 1965, 10(2): 123-131.
- [24] 林天喜, 徐炳芳, 戚继忠, 等. 欧洲近自然的森林经营理论与模式[J]. 吉林林业科技, 2003, 32(1): 76-78.
- [25] 云南锡业公司, 省林科所. 云南松人工林间伐抚育实验研究(阶段)报告[J]. 云南林业科技通讯, 1974(2): 1-6.
- [26] 曾龄英, 尹嘉庆. 云南江边林区云南松更新调查研究[J]. 林业科学, 1966, 11(1): 23-28.