

杀虫剂在木本植物体内传导理论研究进展*

戴建昌, 张 兴

(西北农林科技大学 无公害农药研究服务中心, 陕西 杨陵 712100)

[摘 要] 杀虫剂通过在植物体内输导而使其通体带药来控制害虫。药剂进入植物体内, 通过植物蒸腾作用产生的拉力随液流到达作用部位, 在植物体内呈不均匀分布, 从而达到控制害虫的目的; 性质不同的杀虫剂在不同植物体内传导机理不同; 传导速度与植物生理状态、气候因子、药剂的理化性质等因素有关; 杀虫剂在植物体内的代谢不同于常规施药方法, 一般在植物代谢旺盛的部位残留量较大; 通过该技术控制害虫的大量试验表明, 植物体内注药的方法是行之有效的, 且对环境的污染显著小于常规施药方法。

[关键词] 杀虫剂; 木本植物; 体内传导; 农药代谢和残留; 林业害虫防治

[中图分类号] S767.3⁺4; Q945.12

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-2782(2001)04-128-07

由于农药的不合理使用, 带来的严重后果已为世人所关注^[1]。如何控制农药的剂量转移问题已为广大科研工作者所重视^[2]。在木本植物体内施药控制病虫害的技术自诞生之日起就受到人们的广泛关注, 因为喷施农药与环境污染、生态平衡之间的矛盾日益尖锐, 内吸施药无疑成为防治木本植物(尤其是园林绿化、珍稀濒危木本植物和果树)害虫的新途径。

药剂在植物体内传导预防病虫害的想法、概念, 早在公元 1200 年或更早就逐渐形成并发展起来^[3]。但一直处于试验和实用阶段, 在理论上没有实质性的进展, 尤其是在果树上使用后药害问题一直是制约该技术推广应用的主要因子。Rumbold 最早用现代知识综合评述了内吸性化学药剂处理木本植物防治病虫害的理论和实践^[3]; 从 20 世纪 50 年代开始, 众多学者重点从植物解剖学、生理学等方面对农药的传导进行了研究, 丰富了杀虫剂在植物体内传导的理论^[4-12]。本文从植物生理学、农药施用技术和合理剂型等方面入手, 对植物体内施药技术, 药剂在植物体内的传导、代谢、残留, 害虫的控制作用及环境评估等方面作以综述, 旨在为这一方面的研究和生产上的应用提供理论依据。

1 药剂的吸收

吸收现象指药剂从施药点到韧皮部、木质部或管胞的纤维束内的过程, 吸收可在任何部位进行。近

10 年在植物的根部、基部、干部施化学农药, 叶部施营养液的研究发展迅速, 尤其用内吸剂通过根部或干基部吸收的施药方法使用最为广泛^[3]。为把杀虫剂对周围环境的污染减低到最低限度, 最常用的方法是把杀虫剂直接输入或注入树干基部的维管束内, 使植物主动或被动地吸收而通体带药, 以达到防治病虫害和生理性病害的目的^[13]。

2 传导机理

由于植物体内施药杀虫的作用特性和在植物体内复杂的传导过程, 至今为止, 对于内吸性杀虫剂在植株内的传导机理尚缺乏系统的研究。有人曾将药剂在植物体内吸收传导过程分为 3 个阶段: (1) 进入组织内部的自由空间; (2) 在质外体内移动; (3) 进入共质体。仅发生在自由空间或质外体内, 宏观上表现为在植物体内只存在单向输导; 有些化合物能进入共质体, 宏观上表现为在植株内存在双向输导^[14]。

除草剂在植物体内传导的研究较杀虫剂深入, 可以借鉴这方面的研究成果。刘支前^[15]综述了除草剂在植物体内的传导机理, 认为化合物在植物韧皮部的传导比木质部困难。传统的韧皮部运输假说解释为, 韧皮部汁液按渗透原理由膨压差推动筛管的液流。按集体流学说, 影响汁液移动速度的主要因子是光合产物的运输形式, 筛管中蔗糖浓度的减小可以减慢汁液移动速度, 影响它们自身在韧皮部中的传导。Bromilow 等^[16]归纳并总结了除草剂的理化

* [收稿日期] 2000-12-12

[基金项目] 陕西省攻关项目(98K03-G11-01); 陕西省重大科技成果转化项目(KZ-11)

[作者简介] 戴建昌(1970-), 男, 陕西咸阳人, 助研, 博士, 主要从事农作物病虫害防治研究。

特性与传导方式的关系(表1)。Briggs等^[17]认为,在植物木质部传导能力最好的除草剂是 $\log P$ 介于1.5~1.2,即亲脂性中等的化合物。因为亲脂性太弱时,跨膜扩散能力差,难以抵达导管,而亲脂性太强时,极易吸附在内皮层凯氏带上和细胞膜体系上而不能自由扩散。由此可以看出,根据传统植物生理学

理论,杀虫剂进入木质部以后,由于木质部运输的是光合作用所需的无机盐溶液,呈无机相,上输至叶部,光合作用产物又从韧皮部向下输送至生长、代谢部位。这就要求其具有一定的亲水性和亲油性(油/水分配系数),既能保证正常运转,又能保证积累,才能达到植物通体带药控制害虫的目的。

表1 化合物的理化性质与传导方式的关系

Table 1 The relationships between translocation and the physical and chemical properties of pesticide and herbicide

传导方式 Translocation type	$\log P$		
	-3~0 (亲水化合物) (Hydrophilic)	0~3 (极性中等化合物) (Mesophilic)	>3 (亲脂化合物) (Lipophilic)
非输导型 Non-conduction			氟乐灵 Trifluralin
木质部输导 Conducting through xylem		取代脲类、三氮苯类 Substituted carbamide, triazine	
韧皮部或双向输导型 Conducting through phloem or double direction	草甘膦、马来酰肼、氨基三唑 Glyphosate, burlin, aminotriazole	苯甲酸类、咪唑啉酮类、磺酰脲类、吡啶羧酸类 Benzoic acid, imidazolinium, sulfonyleurea, picolinic acid	吡氟禾草灵 Fluazifop-butyl

注: P 为化合物在正辛醇和水中的溶解度比值,即化合物的分配系数。

Note: P is the distribution index.

杀虫剂在植物体内传导与水分移动有极其密切的关系。Kozłowski等^[5]对4种裸子植物和7种阔叶树水分运动进行了研究,认为水分运动型与木材的纹理有关,呈垂直上升或螺旋式上升(左旋或右旋),有的植物水分移动在茎上部趋向扇形。环孔材的阔叶树水分移动仅限外部边材,而在散孔林及针叶树中,水分移动面积所占比例大。研究表明^[18],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;而在散孔林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。但以上工作在处理药剂的染色机制方面值得商榷。有关杀虫剂传导与水分的关系未见资料报道,但理论上可以推测它们之间是密切相关的。

不同性质的杀虫剂传导方向各异。一些学者采用同位素示踪、仪器分析、生物测定、染色等跟踪分析方法研究了农药在植物体内的踪迹^[9~12],结果表明,同一筛管内存在着物质的双向运输,同方向的运输中,不同物质的移动速度不同,在此过程中,原生质参与了韧皮部的运输^[19]。因此,可以想象,药剂一旦进入韧皮部以后,存在双向输导的可能,只不过输导速度不同而已。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^[9]。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,在悬铃木体内也存在明显的双向输

导^[20]。甲胺磷、敌敌畏和OPD-843种农药混合物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^[12]。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^[21]。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^[11]。唐桦^[22]证实了昆虫不育剂六磷胺在杨树干内可向上、向下输导。由此可见,上述大多数的杀虫剂均存在双向、横向传导作用,由于蒸腾拉力的作用,杀虫剂一旦进入导管就随液流上升,大量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^[20]。大量药害研究结果表明,氧化乐果等有机磷农药在苹果、杨树体内表现出明显的单侧直线输导作用。

3 药剂的传导速度和传导量

药剂在植物体内的传导速度和传导量受其蒸腾速度和气候因子等影响。Zimmer用³²S-乐果研究农药在云杉幼树体内传导与温度的关系,认为温度越高,植物蒸腾作用强烈,药剂传导速度也就越快。多灭磷在云杉体内的上行输导量受树径和密度及木质部液流的季节性变化影响^[23]。采用灰色关联分析的方法对各环境因子进行影响优势分析,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^[20]。由于树体上部枝叶生命活动旺盛,新陈代谢快,因此药剂随树液输导到上部

的量较其他部位多^[19,21],即植株生命力强的部位输导量大,输导速度快。

杀虫剂的理化性质对传导速度和传导量的影响较明显。贺红^[18]研究认为,酸性药液输导速度最快,碱性最慢。有人认为 P=O 有机磷酸酯转移进韧皮部比 P=S 有机磷有效得多,所以在韧皮部的输导量和传导速度前者大,对取食韧皮部的害虫更有效。

施药方式直接影响杀虫剂在植物体内的传导速度。施药方式主要有涂茎、包扎和注药法。杀虫剂涂茎或包扎后首先进入韧皮组织,然后由横向输导组织进入木质部,最后同时在韧皮部和木质部内输导。注药法使杀虫剂直接进入木质部组织,所以输导速度较快^[20]。

4 药剂在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,植物种间处理外来化合物的能力存在显著差异。植物代谢降解外来化合物(包括农药)的反应中酶是关键性因子。农药大部分是高亲油性的,初始的代谢攻击通常能提高分子的反应性和极性,最普遍的是氧化机制。例如羟基化、硫氧化或脱烷基反应等,随之可与天然的植物组分结合变成高水溶性和生物惰性体。植物处理外来化合物的过程是将外来化合物通过和非水溶性的细胞组分(如木质素)整合,并且将螯合物传送到细胞液泡内,以固定它们的活动。以上的过程分别称之为 1, 2, 3 期代谢^[24](图 1)。

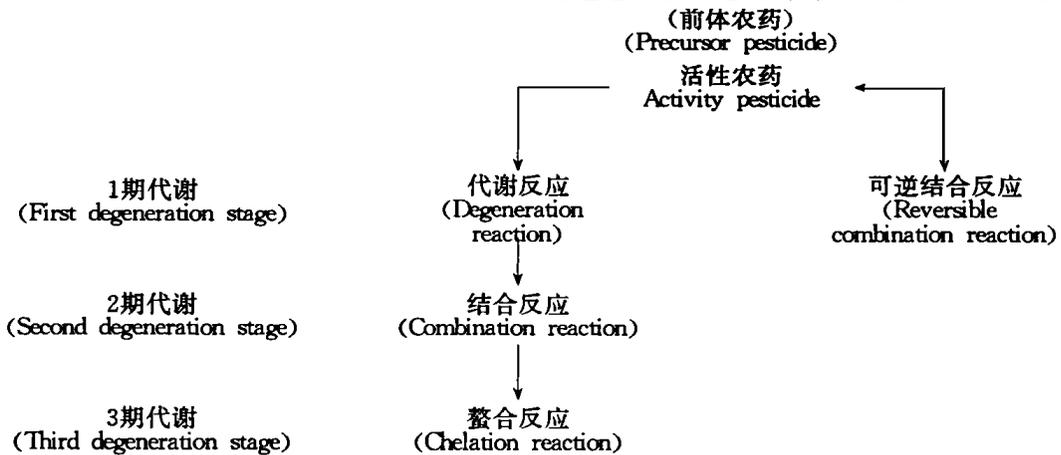


图 1 农药在植物体内的代谢通式(仲哲译^[27])

Fig 1 The degeneration formulation of pesticide in plant

药剂在植物体内残留分析工作由于取样、制样难度大,国内外做得均比较少。试验证明注药法比常规喷洒法有效期长且毒效高,如磷君、久效磷、乐果、磷胺、嘧啶氧磷等,一般药效期不超过 8~10 d;另一些属于一硫代或二硫代磷酸酯类的内吸有机磷杀虫剂,如内吸磷、甲拌磷、灭蚜松等进入植物体后,能代谢为毒性更强的化合物且能保持较长时间^[25]。甲拌磷注入美加黄杉体内第 17 个月时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^[26]。最典型的例子是胺吸磷在五针松叶内经过 4 个生长季节仍然有毒性,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^[27]。多灭磷对云杉八齿小蠹的口服剂量大约小于 5 mg/kg,在云杉体内的半衰期是 45 d(15%),表明可以对幼虫控制持续几个月,在低温地区效果更好^[9]。经干部注射后³²P-乐果在针叶内的半衰期为 10 d^[10]。

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 后在小钻杨上部枝树皮中残

留量高达 3 334 μg/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 μg/g,以后残留量逐渐减少^[21]。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^[12]。Reardon 等^[8]分析了乙酰甲胺磷、砒吸磷、乐果等在黄杉叶、芽、果内的含量时认为,老叶内含量比芽内高,叶芽内残留量始终极低。

5 注药技术控制害虫研究

通过查阅 1952~1999 年国内外此领域主要期刊,如国内的《昆虫知识》《植物保护》《农药》《林业科学》《林业科学研究》《中国林业》《森林病虫害通讯》及各省《林业科技》等,发现有关文献 57 篇;国外的《J Econ Ent》《For Sci》《For Ecol》《Can Ent》《J A rbroc》《J Environ Hortc》《A gricultura Technica》《森林防疫》和《C ron Prot》等,共发现有关文献 38 篇。据资料记载,国内利用 35 种(其中混剂 11 种)左右的杀虫剂对 20 个种(属)植物 50 余种

害虫进行了防治; 国外用 26 种杀虫剂对 30 多种害虫进行了防治研究, 统计结果见表 2, 表 3。由表 2 和表 3 可以看出, 氧化乐果、久效磷、甲胺磷单剂不仅控制害虫效果好(效力指数分别达到了 86.55%, 86.15% 和 89.20%), 而且防治谱宽, 对刺吸式、咀嚼式口器的害虫均有良好的防效。氧化乐果、甲胺磷的混剂对害虫的效力指数分别为 86.67% 和 80.00%; 而传统的内吸性药剂如呋喃丹、乐果和砒吸磷等却在植物体内表现出传导不力的现象。西北

农林科技大学无公害农药研究服务中心研究结果表明, 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, 也同样会阻滞传导, 因此可能注干用药剂的概念并不等同于内吸性药剂。另外, 在所查阅文献中只出现过 1 次的杀虫剂注干杀虫试验统计结果(表 3)表明, 还有很多有潜力的药剂, 如杀虫双等有待于开发研究, 以便进一步丰富注干用药剂的内涵和外延。

表 2 植物注药法控制虫害综合评价表(文献出现 2 次以上)

Table 2 The integrated evaluation of pest control by the stem injection (references recorded more than two times)

选用药剂 Species	药剂类型 Species type	文献出现频数 Frequency	靶标害虫种类 Target species	效力指数/% Efficiency index	植物种类 Plant species
氧化乐果 Omethoate	单 Single	29	32	86.55	18
氧化乐果 Omethoate	混 Mixture	3	2	86.67	1
久效磷 Monocrotophos	单 Single	26	23	86.15	19
甲胺磷 Methamidophos	单 Single	25	21	89.20	14
甲胺磷 Methamidophos	混 Mixture	3	3	80.00	2
敌敌畏 Dichlorvos	单 Single	4	6	67.50	3
噻硫磷 Quinalphos	单 Single	3	3	90.00	1
吡虫啉 Imidacloprid	单 Single	3	4	73.33	3
水胺硫磷 Isocarbophos	单 Single	3	3	73.33	1
赣磷 89, I Ganlin 89, I	混 Mixture	2	3	95.00	1
阿维菌素 A vermectin	单 Single	2	2	70.00	1
甲砒-钠 Ansar	单 Single	2	2	70.00	2
DDT	混 Mixture	2	2	70.00	2
氨水 Ammonia water	单 Single	2	4	60.00	1
磷胺 Phosphamidon	单 Single	4	4	55.00	5
乙酰甲胺磷 Acephate	单 Single	15	15	66.00	1
敌杀死 Deltamethrin	单 Single	2	2	45.00	4
杀虫脍 Chlordaneform	单 Single	2	2	45.00	2
乐果 Dimethoate	单 Single	9	11	48.89	8
呋喃丹 Carbufuran	单 Single	7	7	34.29	2
砒吸磷 A fidon	单 Single	2	2	10.00~15.00	2
久效磷 Monocrotophos	混 Mixture	2	2	75.00~95.00	1

注: 效力级数标准为代表值 0, 防效为 0.00%; 代表值 1, 防效为 1.00%~10.00%; 代表值 2, 防效为 10.10%~20.00%; 代表值 3, 防效为 20.10%~30.00%; ...; 代表值 10, 防效为 90.10%~100.00%; 效力指数 = (代表值 × 该级频数) / (最高级代表值 × 总频数) × 100。表 3 同。

Note: Efficiency index (E) standard, represent number (RN) 0, 0.00% of control; RN 1, 1.00% - 10.00%; RN 2, 10.10% - 20%; RN 3, 20.10% - 30.00%; ...; RN 10, 90.10% - 100.00% of control. $E = (RN \times frequency) / (the\ highest\ RN \times total\ frequency) \times 100$. The same as in table 3.

6 注药器械研究

据统计, 至 1997 年止, 国内外发明的注药器(机)械有 38 种, 已完成了由无压或低压、低浓度、低容量、低工效机型向高压、高浓度、高容量、高工效机型的转换。有关这方面的研究胥占文等^[28]已作过综述, 这里不再重复。但是由于受树木生长的立地、器(机)械操作过程、经济承受力等条件的限制, 所发明

的器(机)械一直无法产业化而得到推广。西北农林科技大学无公害农药研究服务中心科研人员依据人体打吊针原理和流体力学理论, 结合植物生理学知识, 1997 年研制的自流式树干注药专利(专利号为 ZL 97203236.2)已经显示出很大的市场潜力。该器械不仅经济实用, 而且使用方便, 在生产上已经大面积推广。

表 3 植物注药法控制虫害综合评价表(文献出现 1 次)

Table 3 Statistics of control pest by the stem injection (just recorded once time)

选用农药 Insecticides	植物种类 Plant species	防治对象 Control target	防治效果 Control effectiveness
辛硫磷 Phoxin	杨树 Populus	天牛 Cerambycidae	效果好 Good control effectiveness
异丙磷、甲基硫环磷 Isopropylphosphorothioate, phosfolanmethy	泡桐、臭椿、刺槐 Paulownia, ailantus, black locust	大袋蛾 <i>Cryptothoelela variegata</i>	效果不好 Not good control effectiveness
杀虫脒 Deltamethrin	樟树 Sassafras	白轮蚧 <i>Aulacaspis sassafaris</i>	26 84%
白僵菌 <i>Beauveria bassiana</i>	木麻黄 Horsetail beefwood	多纹豹蠹蛾 <i>Zeuzera multistrigata</i>	93 3%
甲胺磷-杀虫双- 氧化乐果-磷酸 Methamidophos-bisulphat- omethoate-phosphamidon	杨树 Populus	分月扇舟蛾 <i>Clostera anastomosis</i>	> 91%
杀虫双 Bisulphat	杨树 Populus	杨小舟蛾 <i>Micramela troglodyta</i>	> 85%
杀灭菊酯 Fenvalerate	杨树 Populus	黄斑星天牛 <i>Anoplophora nobilis</i>	62% ~ 69%
速扑杀 Methidathion	柑橘 Citrus	柑桔红蜘蛛 Citrus red mite	> 80%
SN-851	毛竹 Bamboo	一字竹笋象 Curculio	效果差 Worse control effectiveness
六磷酸 Hexphosphamidon	杨树 Populus	光肩星天牛 <i>Anoplophora glabripennis</i>	86 5%
杀螟松 Fenitrothion	悬铃木、国槐 Plane pagodatree	星天牛、锈色粒肩天牛 <i>Anoplophora lurida, Apriona swainsoni</i>	81. 72%
甲拌磷 Phorate	杨 Populus	木质部害虫 Xylem insects	一般 Common control effectiveness
威力杀灭 Weilishamie	杨树、七叶树、侧柏、国槐、油松 Populus, buckeye, chinese ar- borvitae, pagodatree, chinese pine	黄斑星天牛、侧柏毒蛾、槐木虱 <i>Anoplophora nobilis, lymantria aurorae, Psysylla jamaicensis</i>	> 85%
DDT-BHC	杨 Populus	杨树蛀干害虫 Populus wood-boring insect	有效 In effect
多灭磷 Methamidophos	云杉 Spruce	八齿小蠹 <i>Scolytus sinopiceus</i>	效果好 Good control effectiveness
氯氰菊酯 Cypermethrin	黄杉、云杉 Pseudotsuga, spruce	种子害虫 Seed insects	效果好 Good control effectiveness
Tekezee	竹 Bamboo	竹虎天牛 <i>Clytus rufobasidis</i>	效果好 Good control effectiveness
Tamaron	松 Pine tree	穴星坑小蠹 <i>Scolytus morawitzii</i>	效果好 Good control effectiveness
西维因 Carbaryl	松 Pine tree	红脂大小蠹 <i>Dendroctonus valens</i>	有效 In effect
氯菊酯、A cecap、虫螨威 Aldion, A cecap, Carbofuran	松 Pine tree	长角天牛 <i>Acanthocinus sinensis</i>	效果不明显 In obsolete effect
B. t. NPV	杉 Cedartree	舞毒蛾 <i>Lymantria dispar</i>	有效果、无效 In effect or no effect
Vamidathion	可可 Cacao	可可叶螨 Coco leaf mite	作用不明显, 但可增加产量 In obsolete effect, but can in- crease output
苯菌灵、百治磷 Benomyl, Bimidrin	山核桃 Pecan	山核桃黄蚜、山核桃叶螨 Pecan yellow aphids, pecan leaf mites	效果明显 In apparent effect

7 注药技术的环境评估研究

随着人们环保意识的增强, 对该技术的环境评估显得更加重要。Dedek 等^[9]通过注药后认为, 药液对树体内的小蠹虫是有很有效的, 但对野生物和益虫却是无害的, 并且不向下传导至主根部和土壤中。

Coppel 等^[6]在研究中施用甲拌磷、内吸磷、胺吸磷、百治磷等多种内吸性杀虫剂后, 存在于美国五针松 (*Pinus strobus* L.) 针叶的药量足以毒死取食的类欧松叶蜂 (*Diprion similis*) 幼虫, 而对属于膜翅目的寄生蜂和双翅目的寄生性昆虫无毒杀作用。夏季用氧化乐果在柑橘嫁接处上方一次性注射后, 可消除树

上的害虫和植食性螨类,对寄主性昆虫却无害,14 d后饲养出的天敌可以正常产卵,发育成成虫^[29]。谭松波等^[30]采用植物体内注药防治杨扇舟蛾后,饲养出了一种幼期寄生蜂—姬蜂 123 头,羽化率达 96.7%,证明磷胺、甲胺磷、氧化乐果、杀虫双经此法施药后,对天敌昆虫基本无伤害。据测定,在薄壳山核桃干果注射百治磷果实中无残留,注射 CaCl_2 并不增加苹果果实中 Ca^{2+} 的含量。吴春笃等^[31]认为,该技术属于低污染施药技术,用久效磷注射悬铃木后对害虫的控制效果是很理想的,但作用中应注意施药的剂量,以防对家蚕产生残留毒性。

8 结语及展望

通过将杀虫剂、杀菌剂的合理型注入木本植物体内来控制害虫的实践证明,传导良好的药剂通过木本植物吸收后,上行传导对危害植物的刺吸式口器害虫、食叶类、潜叶类、结苞类、虫瘿类害虫及螨类、蛀干害虫及某些病害均具有理想的防效;下行传导可有效地控制或防除根部病害、线虫、蚜等危害;在木质部传导可防治蛀干害虫和维管束病害;韧皮部传导对小蠹虫、几丁甲等韧皮部病虫害有良好的防效。

杀虫剂在植物体内的代谢和残留是研究中的一大难点。其代谢过程比较复杂,降解的原因普遍认为与植物体内酶的作用及其药剂本身的稳定性有关。杀虫剂残留的研究尤其是“结合残留”的研究中,前处理过程,即提取、纯化、浓缩等技术比较繁琐、费时。近年来迅速发展起来的超临界萃取技术比较理想,可以显著简化残留分析过程,且有进一步研究的必要^[32-34]。

药害使该技术在果树上的应用成为最重要的限制性因子。据大量的田间试验观察,许多传导出色的杀虫剂,如氧化乐果、敌敌畏、杀虫双、乙酰甲胺磷等均外在表现为单向传导,结果在某些树种上产生药

害,如果能采用合理的剂型及施药条件避免药害的产生,有可能大面积取代常规施药技术,使植物通体带药,达到控制害虫的目的。

综上所述,前人有关杀虫剂在木本植物体内的传导理论等方面取得的成果很值得借鉴。但由于各种条件的限制,迄今为止,该方面的研究仍停留在 50~60 年代的水平,研究结果还不足以供人们准确判断一个已知杀虫剂在植物体内的传导特性。尽管有关除草剂这方面的研究比较深入,可以帮助进一步了解有关杀虫剂的传导特性,但除草剂与杀虫剂作用的特性及其靶标植物的木质化程度等均有很大差异,这对传导性能来讲差异是比较大的。杀虫剂的传导源动力是植物的蒸腾作用,代谢旺盛的部位和蒸腾作用强烈的部位的作用力大,而其他部位如果实的蒸腾作用弱,因此可以设想,杀虫剂经木本植物传导后,对干、叶等部位的害虫控制作用良好而对果实害虫防效较低,导致果实中的农药残留很低或者检测不出,这样的结果是人们所期盼的。

根据近年来的试验研究,应用此技术所采用的杀虫剂种类及其合理剂型,已经突破“内吸剂”的概念范畴^[35]。西北农林科技大学无公害农药研究服务中心在多年研究试验的基础上,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(加入少量或不加)及其他助剂,如抗降解剂、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。它应具有良好的冷、热贮稳定性,较小的粘度及合格的稀释稳定性,注入树干后树木不产生药害。从而为该剂型的发展奠定了理论基础。1999 年该中心在我国首次登记了“注干液剂”,并申请了专利。

相信通过传导理论和制剂水平、技术等的不完善和发展,可以真正地实现此技术的无公害化,为开发出第二代(植物源农药)、第三代(植物次生代谢物诱导剂)注干液剂^[36]提供技术保障和理论依据。

[参考文献]

- [1] 沈颖 我们正在走向失落的未来[N]. 中国科学报,1997-01-31(3).
- [2] 屠豫钦 农药剂型和制剂与农药的剂量转移[J]. 农药学学报,1999,1(1): 1-6
- [3] Dake M N. 树用内吸杀虫剂的理论和实践[J]. 蔡炳城译 农药译丛,1983,5(6): 40-41.
- [4] Ripper W E. Application methods for crop protection chemicals[J]. Ann Appl Biol, 1955, 42: 288-344
- [5] Kozlowski T T, W inget C H. Practice on the injection pesticide plant to control[J]. Bot Gaz, 1963, 124(4): 301-311.
- [6] Coppel H C, Norris D M. Bark penetration and uptake of systemic insecticide from several treatment formulations in white pine[J]. J Econ Entomol, 1966, 59: 928-931.
- [7] Werner R A. Absorption, translocation and metabolism of root-absorbed ^{14}C monitor in loblolly pine seedlings[J]. J Econ Entomol, 1973, 66: 867-872.

- [8] Reardon R C, Barrett L J, Kperber T W, et al Implantation and injection of systemic to suppress seed and cone insects in Douglas fir in Montana[J]. *Can Entomol*, 1985, 117(8): 961- 969
- [9] 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* L. Studies with ^{32}P L labelled Methamidophos in the Ascending sap of spruce[J]. *Forest Ecology and Management*, 1988, 26(1): 47- 61.
- [10] Rediske J K, Gauditz J, Johnson N E. Distribution of dimethoate- ^{32}P in fir, following stem injection[J]. *For Sci*, 1970, 15: 106- 112
- [11] 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.
- [12] 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]. *森林病虫害通讯*, 1993, (4): 31- 33
- [13] Ali A D, Garcia J M. Efficacy and economics of selected systemic insecticides for control *Phoracantha semipunctata* (Coleoptera: Cerambycidae), a New Pest in North America[J]. *J Econ Entomol*, 1988, 8(4): 1124- 1127.
- [14] 贝克 D A. 植物体内的运输现象[M]. 北京: 科学出版社, 1981.
- [15] 刘支前. 除草剂在植物体内的传导机理[J]. *植物生理学通讯*, 1992, 28(3): 226- 229.
- [16] Bromilow R H, Kloft W. Review on the mechanism of herbicide[J]. *Weed Sci*, 1990, 38: 305
- [17] Briggs G G, Legg T O. Relations between the characters of herbicide and plant[J]. *Pestic Sci*, 1982, 13: 495
- [18] 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
- [19] 郭玉海, 于凤义, 张苹, 等. 棉花幼苗韧皮部电波兴起对韧皮部运输的遏抑作用[J]. *核农学通报*, 1997, 18(4): 14- 17.
- [20] 吴春鸾, 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.
- [21] 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
- [22] 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
- [23] Dedek W, Grah I R, Mothes B, et al Studien zum abbau und zur ausscheidung von ^{32}P -methamidophos nach oraler applikation am laktierenden rind[J]. *Arch Exper Vet Med (Leipzig)*, 1986, 40: 621- 626
- [24] 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
- [25] 华南农业大学. 植物化学保护[M]. 北京: 农业出版社, 1980
- [26] Getzin L W, Doters F G. Translocation, distribution and metabolism of phorate in douglasfir[J]. *For Sci*, 1977, 23(3): 355- 360
- [27] Sclar D C. Evaluation of new systemic insecticides for elm insect pest control[J]. *J Environ Hortc*, 1996, 14(1): 22- 26
- [28] 胥占义, 秦飞, 周正标. 树木注射施药技术进展[J]. *林业科技*, 1997, 22(5): 25- 29.
- [29] Zuniga S E. Preliminary observations on trunk applications of omethoate as a selective chemical control of citrus insect pests and mites[J]. *Agricultura Technica (Chile)*, 1985, 45(1): 67- 71.
- [30] 谭松波, 蒲永兰, 谭茜, 等. 打孔注药防治杨树分月扇舟蛾试验[J]. *昆虫知识*, 1990, 27(2): 114- 115
- [31] 吴春鸾, 王兴亮. 害虫体内农药积累的研究[J]. *农业工程学报*, 1994, 10(3): 106- 110
- [32] Capriel P, Haisch A, Khan S V. Supercritical methanol: an efficacious technique for the extraction of bound pesticide residues from solid and plant samples[J]. *Agric Food Chem*, 1986, 34: 70- 73
- [33] 杨曼君. 超临界萃取技术与农药残留的分析[J]. *农药科学与管理*, 1998, (2): 5- 8
- [34] Snyder J L, Grob R L, McNally M E, et al Comparison of supercritical fluid extraction with classical sonication and soxhlet extractions for selected pesticides[J]. *Anal Chem*, 1992, 64: 1940- 1946
- [35] 周嘉熹. 黄斑星天牛化学防治研究[J]. *西北林学院学报*, 1992, 7(3): 12- 19
- [36] 梁细第. 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

The review of transmission and translocation of pesticide in wood plant

DAI Jian-chang, ZHANG Xing

(Biorational Pesticides Research and Service Center, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Pest control by stem injection in wood plant had proved to be an economical, efficient and biorational technology. The suppressed pests action achieved greatly by unequal distribution of pesticide which reached to the target plant tissues followed the plant ascending sap that energy derived from the evaporation tension. Different insecticides may be different type of translocation in wood plant, and the transfer velocity may be affected by many factors such as plant species, climate conditions, the chemical and physical characteristics. The degeneration of insecticide by injection in wood plant was more complexity than traditional method, obviously, the insecticide quantity of each plant tissues increased by intensive metabolizing, most of all, this technology may be more safe to the environment than conventional means.

Key words: pesticide; woody plant; translocation in wood plant; degeneration and residue; forest pest control