

木本植物对 $\text{Cd}^{115+115\text{m}}$ 的吸收及其在体内的分配*

黄会一 李书鼎 张有标 张春兴

(中国科学院林业土壤研究所)

一、前言

近年来,随着采矿、冶炼以及镉处理等工业的发展,不仅有大量废水中的镉通过土壤——植物进入食物链,给人造成危害,而且还有大量含镉粉尘污染大气环境,通过呼吸及消化道进入人体,直接给人以危害。因此,镉污染及其防治问题引起了人们极大的关注。国内外对水稻、小麦、玉米及蔬菜、牧草中镉的吸收积累规律作了不少研究(董克虞等,1981;陈铨荣等,1978;陈涛等,1980;Reddy等,1977)。

在镉污染的综合防治措施中,生物防治是一个重要方面。用生活周期长,形体高大,具有茂密树冠的木本植物防治与监测镉污染具有重要意义。

本文利用 $\text{Cd}^{115+115\text{m}}$ 为示踪剂,研究木本植物根、茎、叶对镉的吸收及其在植物体内的运转规律,以便为生物防治镉污染提供科学依据。

二、实验方法与材料

1. 药品与仪器

1) 放射性同位素 $\text{Cd}^{115+115\text{m}}$: 金属片。总强度15毫居里,总重量600毫克。由中国科学院原子能研究所1980年6月24日提供。用盐酸配成 $^{115+115\text{m}}\text{CdCl}_2$ 溶液使用。

2) 氯化镉: 优级纯试剂。

3) 盐酸: 试剂一级。

4) 高温箱形电阻炉

5) FH402定标器,对自制 $^{115+115\text{m}}\text{CdCl}_2$ 源计数效率21%,使用测量时间10分钟。

2. 树种与土壤

1) 树种: 北方常见针阔叶树种5种。榆树(*Ulmus pumila* L.)、杨树(*Populus pekinensis* Hsil.)、山桃(*Prunus davidiana* Franch.)、桧柏(*Sabina chinensis* (L.) Antoine)、落叶松(*Larix koreana* Makai)。均为3—5龄幼树。

2) 土壤: 未受镉污染的砂质冲积土。

3. 实验布置

1) 叶片施入 $\text{Cd}^{115+115\text{m}}$ 实验: 对阔叶树种用微量进样器将8微居里/毫升的 $^{115+115\text{m}}\text{CdCl}_2$ 溶液100微升,

* 在本研究中,邓卫东、张福珠、马学军等同志曾给予帮助,特此致谢。

直接涂于叶片背面, 对针叶树则先用清洁白棉线缠一束叶, 然后将同浓度 100 微升活性溶液涂于线束之上。每个树种重复 2 次。

2) 茎部皮孔施 $\text{Cd}^{115+115m}$ 实验: 用微量进样器将 100 微升的 $\text{Cd}^{115+115m}\text{Cl}$ 溶液 (8 微居里/毫升) 直接涂于茎部。

3) 土壤中施 $\text{Cd}^{115+115m}$ 实验: 每盆土按 7.5 公斤计算, 加稳定氯化镉以使土壤含镉 10 ppm, 总放射性为 400 微居里/盆。用医用针管将活性溶液均匀撒于盆内土壤上, 严格防止污染树茎。每个树种重复 2 次。

4) 对照实验: 稳定性氯化镉操作方法, 处理剂量同放射性实验。

5) 实验管理: 为使使用的同位素不受雨水影响, 所有盆栽树木在阴雨天均置于农用塑料薄膜罩内。

4. 放射性测定

1) 采样: 采集直接施镉及未直接施镉的植株的根茎叶以及对照实验植株的根茎叶。

2) 样品处理: 采集的样品随即用 0.1% 洗涤剂溶液浸泡并用毛刷反复刷洗, 然后用清洁的自来水冲洗干净, 再用去离子水冲洗两次。放在室温下风干。在 80℃ 烘箱内烘干 6 小时。冷却后称重, 即本文称之为“干重”。

3) 制样: 将干样置于坩埚内, 放入高温炉中, 在 450℃ 下烘烤 6 小时后, 用玻璃棒在坩埚内研细, 称灰重之后, 取 10 毫克灰置于测量盘中, 加乙醇 7—8 滴, 甩样均匀, 在红外灯下烤干, 送 FH402 定标器测量放射性。

4) 数据处理: 测量误差按波阿松分布计算。活性镉半衰期 43 天, 本实验中树木的生长天数为 51 天, 时间修正按 D. A. Lambie 给出的表格计算。树木吸收之放射性等于放射性处理与对照处理相应测定值之差。

三、实验结果及讨论

1 木本植物对 $\text{Cd}^{115+115m}$ 的吸收

1) 树种与吸收量的关系 木本植物的根、茎、叶器官对 $\text{Cd}^{115+115m}$ 均具有明显的吸收作用。但吸收量的大小则由于各树种的生物学特性不同而具有一定的差异 (表 1)。

表 1 五种针阔叶树种对 $\text{Cd}^{115+115m}$ 的吸收

树 种	总施入量 (ppm)	总吸收量 (ppm)	总吸收率 (%)	受 害 程 度
榆 树	70.7	39.2	55.4	受害中等, 部分叶片出现褐色点状斑块
杨 树	60.8	22.1	36.3	受害轻, 部分叶片出现褐色针尖状小点
山 桃	85.5	43.8	51.2	受害重, 叶片出现褐色坏死斑, 1/2 叶片脱落
桧 柏	159.5	46.7	29.3	未出现症状
落 叶 松	195.8	39.8	20.3	未出现症状

表 1 材料表明, 我国常见的 5 种针阔叶树种对放射性镉均有明显的吸收积累作用。其中阔叶树种对镉的吸收率要较针叶树种为高, 如速生阔叶树种榆树、山桃的吸收率均在 50% 以上, 而速生针叶树种落叶松的吸收率为 20%, 桧柏的吸收率稍高, 但亦未超过 30%。可见, 吸收积累量的差异主要受各树种的生物学特性所制约。

2) 不同器官与吸收量的关系 木本植物除可通过其同化器官叶片上的气孔及吸收器官

根部的根毛对镉进行吸收外, 也可以通过茎部的皮孔进行一定的吸收。但由于器官不同, 对镉的吸收作用具有明显差异 (表 2)。

表 2 不同器官对 $\text{Cd}^{115+116\text{m}}$ 的吸收

树 种	施入量 (ppm)			吸收量 (ppm)			吸收率 (%)			受 害 程 度
	叶	茎	根	叶	茎	根	叶	茎	根	
榆 树	49.9	10.8	10.0	32.3	2.3	4.6	64.7	21.3	46	中
杨 树	24.4	26.4	10.0	9.7	7.0	5.4	39.8	26.5	54	轻
山 桃	59.1	16.4	10.0	29.7	9.0	5.1	50.3	54.9	51	重
桧 柏	80.4	69.1	10.0	2.7	37.6	6.4	3.4	54.4	64	未出现症状
落 叶 松	122.9	62.9	10.0	2.5	31.8	5.5	2.0	50.6	55	未出现症状

表 2 材料表明, 针阔叶树种的叶、茎、根等器官均对镉具有吸收作用。一般说, 阔叶树种的叶片对镉的吸收率要大大超过针叶树种的针叶。如三种阔叶树种叶片的吸镉率平均在 50% 以上, 而二种针叶树种针叶的吸镉率平均仅为 2.7%。这是由于针叶树种, 其针叶一般都具有发达的蜡腺, 叶表面覆满蜡层, 并且角质层较厚, 吸收强度较低, 因而对镉的吸收率要较阔叶树种的叶片为低。根部对镉的吸收不论是针阔叶树种相比或阔叶树种之间相比均差异不大, 吸收率一般在 50% 左右, 大致在一个水平上。茎部皮孔对镉的吸收作用, 针阔叶树种之间差异显著。供试的两种针叶树种茎部皮孔的吸镉率均较高, 在 50% 以上。阔叶树种中山桃皮孔的吸镉率较高, 而榆树和杨树却较低, 仅为 21.3—26.5%。

总之, 阔叶树种各器官吸镉率的趋势是叶片与根部吸收率高, 茎部皮孔吸收率较低。当然, 也有例外, 如山桃叶、茎、根的吸收率差异不大, 均在 50% 左右。针叶树种各器官吸镉率的趋势是根部与茎部较高, 在 50% 以上, 而针叶的吸收率很低, 平均仅为 3.4% 以下。

从表 2 可明显看出五种主要针阔树种吸镉率的定量关系。榆树叶片的吸镉能力是茎部皮孔的 3 倍, 是根部吸收力的 1.4 倍; 杨树叶片的吸镉力是茎部皮孔的 1.5 倍, 是根部吸收力的 0.74 倍; 山桃叶、茎、根对镉的吸收力基本相等, 大致为 50% 左右; 针叶树种根部吸收力较强, 如桧柏根部吸收力是叶部吸收力的 18.8 倍, 是茎部吸收力的 1.2 倍; 落叶松根部吸收力是叶部的 27.5 倍, 是茎部吸收力的 1.1 倍。

在对树木的各器官施入镉后, 各树种表现出的耐力亦有明显差异。由根部和茎部施入镉的植株, 叶片未出现明显的被害症状。由叶部施入镉后, 针叶树种由于吸收率很低而未出现被害症状。阔叶树种榆树叶部的吸收率最高 (64.7%), 但叶片在施镉一周后仅出现很小的褐色坏死斑, 不超过叶片面积的 $\frac{1}{2}$, 按抗性划分等级 (三级划分法) 评定为受害中等; 杨树叶片吸收率低于榆树和山桃, 为 39.8%, 其受害程度亦较轻, 仅在个别叶片上出现针尖状褐色小斑点; 而山桃在叶片施入镉后的第二天便有个别叶片出现褐色坏死斑, 三天之后开始落叶, 一周后在施镉叶片中有 $\frac{1}{2}$ 脱落。镉不是植物的必需元素, 在自然界中植物的本底含量为 0.2—0.8 ppm。可见榆树对镉的耐力是较高的, 在叶片吸收量 32.3 ppm 时, 受害中等, 表明稍高于其忍耐量, 而杨树在叶片的吸收量为 9.7 ppm 时仅个别叶片出现轻微受害症状, 表明接近于其临界忍耐量。但是必须指出, 高浓度的镉可使植物叶片迅速受害, 而在浓度较低, 暴露时

间较长的情况下,有些树木的叶片可积累较多量的镉而不出现被害症状。如在沈阳冶炼厂附近调查时,看到杨树叶片中积累镉 30ppm 时而无明显的可见症状出现。

2. $\text{Cd}^{115+115m}$ 在木本植物体内的运转和分配

为了查明镉被树木吸收进入植物体内后的运转情况及在各个部位的分配积累,我们分别对树木的叶片、茎及根部施以放射性镉,并分别测定植物各器官内放射性镉的含量。

1) 从叶片进入的镉在植物体内的分配积累 从叶片进入植物体内的镉,大部分仍积累在叶片中。阔叶树种叶片中的积累率为 94.4—98.4%, 针叶树种叶中的积累率为 72—89%(表 3)。

表 3 叶片施入镉的运转 (每克干重)

树 种	活 性 镉 施 入 叶			运 转 量								
				叶			茎			根		
	放射性 (dpm/g)	吸镉量 (ppm)	分 配 吸收率 (%)	放射性 (dpm/g)	吸镉量 (ppm)	分 配 吸收率 (%)	放射性 (dpm/g)	吸镉量 (ppm)	分 配 吸收率 (%)	放射性 (dpm/g)	吸镉量 (ppm)	分 配 吸收率 (%)
榆 树	2121141 ±10972	31.82 ±0.17	98.4	0	0	0	0	0	0	33728 ±1674	0.51 ±0.03	1.6
杨 树	608442 ±5365	9.13 ±0.09	94.4	10777 ±1393	0.16 ±0.02	1.8	8160 ±1030	0.12 ±0.02	1.4	15678 ±1372	0.24 ±0.02	2.4
山 桃	2064712 ±10083	29.47 ±0.15	99.3	5481 ±881	0.09 ±0.01	0.4	0	0	0	7154 ±664	0.11 ±0.01	0.3
桧 柏	176930 ±3014	2.47 ±0.05	72.4	0	0	0	0	0	0	16050 ±1630	0.24 ±0.02	27.5
落叶松	106684 ±3033	2.20 ±0.05	89.2	2847 ±1151	0.04 ±0.02	1.8	1531 ±720	0.02±0.0	1.3	17332 ±939	0.26 ±0.01	7.8

表 3 材料表明,从叶部吸收的镉,运转到同一植株其他叶片中去的数量是很低的。榆树和桧柏的其它叶片中均未检出,杨树与落叶松的叶中为 1.8%,而山桃叶片中仅 0.4%。同样,运转到茎部的数量也很微小,如榆树、山桃、桧柏的茎中均未检出,而杨树与落叶松仅为 1.3—1.4%。各树种自叶片进入的镉都能通过输导系统运转至根部积累,但除个别树种处(桧柏运转率为 27.5%)数量亦是最低的,其范围是从 0.3—7.8%,其中针叶树种运转至根部的积累率要大于阔叶树种。

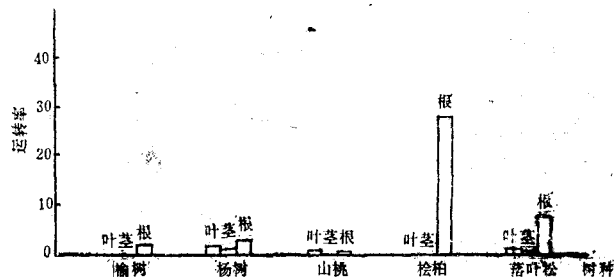


图 1 叶片吸收的镉运转情况

从图 1 可以看出, 五种主要针阔树种从叶片吸入的镉, 在植物体内的分配规律大致是相同的。即从叶片吸入的镉运转到同一植株的其它叶片和茎部的数量是很少的, 其量大致在 0.00—0.16ppm (阔叶树) 和 0.00—0.12ppm (针叶树) 范围之内变化。但是, 运转到根部去的镉量相对较高, 其量值在 0.11—0.51ppm 之间变化。总的运转规律是: 叶片吸入的镉运转积累难易顺序是, 茎—叶 (未直接施镉) 难于根部。但是树种不同还略有差异, 其中杨树叶片中的镉运转的最好, 其量有 0.58ppm 之多。其次为针叶树。运转比较困难的是榆树和山桃。

2) 从茎部皮孔进入的镉在植物体内的分配积累 由茎部皮孔进入植物体内的镉, 其运转分配情况因树种不同而有差异, 但总的趋势是运转量甚微 (个别树种除外)。

表 4 材料表明, 五种针阔叶树种中除榆树茎部镉的分配吸收率较少, 为 37.8% 外, 山

表 4 茎部施入镉的运转

树 种	活 性 镉 施 入 茎			运 转 量								
				叶			茎			根		
	放射性 (dpm/g)	吸镉量 (ppm)	分 配 吸收率 (%)	放射性 (dpm/g)	吸镉量 (ppm)	分 配 吸收率 (%)	放射性 (dpm/g)	吸镉量 (ppm)	分 配 吸收率 (%)	放射性 (dpm/g)	吸镉量 (ppm)	分 配 吸收率 (%)
榆 树	57691 ±1957	0.87 ±0.03	37.8	0	0	0	78315 ±1999	1.17 ±0.03	51.4	16461 ±1549	0.25 ±0.02	10.8
杨 树	364706 ±4314	5.47 ±0.06	78.3	19571 ±1601	0.29 ±0.02	4.9	55247 ±1595	0.83 ±0.02	9.4	25140 ±1450	0.38 ±0.02	7.4
山 桃	600363 ±5249	9.01 ±0.08	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
桧 柏	2504606 ±11277	37.57 ±0.17	99.8	0	0	0	0	0	0	4249 ±877	0.06 ±0.01	0.2
落叶松	2085903 ±10331	31.3 ±0.15	98.5	4418 ±1214	0.07 ±0.02	0.2	23446 ±1205	0.35 ±0.02	1.1	4136 ±1450	0.06 ±0.02	0.2

桃、桧柏、落叶松茎部镉的分配吸收率都较高, 分别为100%、99.8%、98.5%。亦即山桃自茎部皮孔进入植物体内的镉全部都积累在原来涂镉的那一段上。榆树皮孔吸入镉后, 除在涂茎部位积累一定数量外, 还可运转至茎部的其它部位, 同时还可运转至根部, 只是不能运转至叶部。与此相反, 杨树和落叶松由皮孔进入的镉, 可以向叶、茎和根部运转, 其积累规律是茎中最高98%, 叶和根部较小。从茎部皮孔进入植物体内的镉其运转分布以杨树最均匀。

3) 从根部吸收的镉在植物体内的分配积累 从根部吸收的镉运转量较大, 五种主要针阔叶树种, 其根部镉的分配吸收率为42.3—74.2%。运转到茎的数量为 9.2—53.9%, 运转到叶部的数量很少, 榆树及山桃均未检出, 落叶松、桧柏、杨树的分配吸收分别为3.7%、19.4%和 24.1% (表 5)。

从表 5 材料可以看出, 根部吸收的镉, 其运转情况虽然因树种的生物学特性不同而有差异, 但总的趋势是向地上部分运转较易。这是由于土壤中的镉主要是 Cd^{++} 以正离子形态被根吸收, 在进入导管之后, 随蒸腾作用, 被上升流带向地上部分。

针叶树种从根部吸收的镉在体内的运转要比阔叶树为好, 根从土壤中吸收的镉既可向上运转至茎部又可运转积累于叶片中。运转到地上部分的量约占根部吸收总量的30—54%。阔叶树种根部吸收的镉可以被运转到地上部分。榆树和山桃不运转到叶片。仅杨树可以运转并

表 5 从根部吸入的镭的运转

树 种	运 转 量								
	叶			茎			根		
	放射性 (dpm/g)	吸 镭 量 (ppm)	分 配 吸收率 (%)	放射性 (dpm/g)	吸 镭 量 (ppm)	分 配 吸收率 (%)	放射性 (dpm/g)	吸 镭 量 (ppm)	分 配 吸收率 (%)
榆 树	0	0	0	13906±1160	1.17±0.10	25.8	40503±2377	3.42±0.22	74.2
杨 树	13507±1379	1.14±0.14	24.1	12284±1087	1.04±0.09	21.5	37352±1812	3.17±0.15	54.4
山 桃	0	0	0	25890±1576	2.19±0.13	43.6	34964±1909	2.95±0.16	56.4
桧 柏	8618±1467	0.73±0.07	19.4	1634±570	0.14±0.05	9.2	65688±2395	5.55±0.10	71.4
落 叶 松	2494±1296	0.21±0.11	3.7	34749±1424	2.93±0.12	53.9	27706±2052	2.34±0.17	42.3

积累在叶片,而且分布比较均匀。叶、茎和根分别为 24.1%、21.5%和 54.4%。也就是杨树可将根部吸收的镭的一半运转至地上部分。

可见镭施入的部位与镭在植物体内的运转积累有密切关系(表 6)。

表 6 不同施镭部位对镭运转的影响

项目	榆 树			杨 树			山 桃			桧 柏			落 叶 松		
施镭部位	叶	茎	根	叶	茎	根	叶	茎	根	叶	茎	根	叶	茎	根
运转率(%)	1.6	62.1	25.8	5.7	21.7	45.6	0.7	0	43.6	27.5	10.2	28.6	10.8	1.5	57.7

表 6 材料表明,不论针叶树或阔叶树,从根部吸入的镭运转能力均较高,运转率为 25.8—57.7%。从叶部进入植物体内的镭运转率最低,山桃仅为 0.7%,榆树和杨树分别为 1.6%、5.7%。针叶树种的运转率较高,但亦不超过 27.5%。从茎部皮孔进入植物体内的镭,运转情况随树种不同而有差异。尤其是阔叶树种差异较大。如榆树茎镭的运转率为 62.1%,山桃未检出,杨树为 21.7%。二种针叶树种茎镭的运转率都较低。山桃、桧柏和落叶松从叶部吸入的镭,其运转率大于从茎部吸收的;而榆树和杨树则相反,从叶部吸收的镭,运转能力小于茎部吸收的镭的运转能力。而山桃从茎部吸收的镭根本不运转。桧柏茎镭的运转能力也很低。

4) 叶片的受害程度对镭吸收及其在植物体内运转的影响 阔叶树的叶片受害程度对镭的吸收和运转能力有着一定的相关性(表 7)。

表 7 叶片受害程度对树木吸收镭及在体内运转的影响

树 种	盆 号	叶 片 受 害 程 度	施镭叶片吸收率 (%)	镭在植株中运转能力 (%)
杨 树	1	良 好	92.7	7.3
	2	12天后脱落一半(机械碰落)	96.1	3.9
山 桃	1	明显褐色坏死斑,未落叶	99.2	0.8
	2	明显褐色坏死斑,12天后落叶一半	99.4	0.6

表 7 材料表明, 受害程度严重甚至脱落的叶片, 含镉量都较高, 说明对镉的吸收率大。但在这种植株体内镉的运转能力是较低的。一般说, 受害严重过早落叶的树种, 其体内镉的运转能力都减低。这说明叶片对镉的吸收过程是迅速的, 而镉在植物体内的运转过程是缓慢的, 需要一定的时间。

综合上述可以看出, 树木叶片吸收的镉向地下部分运转积累较难。相反地, 从根部吸收的镉向地上部分茎叶运转较容易。

四、小 结

1. 木本植物的叶片和茎部皮孔对大气中的镉均具有吸收作用, 其中叶片的吸收作用更为明显, 阔叶树叶片的吸收率可达 60% 以上。树木的根部对土壤中的镉亦有明显的吸收作用, 吸收率可达 50% 左右。

2. 重金属镉在木本植物体中可以运转, 其规律按运转能力大小顺序是根 > 茎 > 叶。同时随树种不同而有明显的差异。

3. 榆树是吸镉率较高 (67.6%) 的树种。山桃受镉害后有落叶现象, 因而对镉污染具有报警指示作用。同时地上部分吸收的镉在其体内的运转最困难。在叶片吸收量达 30ppm 时便出现明显的坏死斑并落叶。

4. 木本植物对镉的耐力是较强的, 但树种不同也有差异。榆树叶片 (32.33ppm) > 山桃叶片 (29.00ppm) > 杨树叶片 (9.65ppm) > 针叶树叶 (2—3ppm)。

参 考 文 献

- 陈铨荣等 1978 利用放射性镉 (Cd^{115m}) 研究水稻的吸收和分配规律. 环境科学 (3): 4.
陈涛等 1980 张士灌区镉土改良和水稻镉污染防治研究. 环境科学 1(5): 7.
董克虞等 1981 农作物对镉的吸收累积规律. 环境科学 2(3): 167.
Reddy. C. N. *et al.* 1977 Journal of environmental quality. 6(3): 259—262.

THE ABSORPTION AND TRANSLOCATION OF $\text{Cd}^{115+115\text{m}}$ IN WOODY-PLANTS

Huang Huiyi

Li Shuding

Zhang Youbiao

Zhang Chunxing

(Institute of Forestry and Pedology, Chinese Academy of Sciences)

1. Leaves and lenticels on stem of woody-plants play an important role in absorbing cadmium from atmosphere. A number of broad-leaved trees have a rate of about 60 percent in absorption of cadmium. Roots of trees also play an important role in the absorption of Cd from soil and their absorption rate is about 50 percent.

2. The pollutant Cd of a heavy metal absorbed from atmosphere can remove in the organs of plants. The law of removal is that Cd in root removes less. But this is variable in species of trees.

3. Elm is a species with high absorption rate to Cd (67.6%). Peach leaves injured by cadmium. Therefore, it is an indicator of Cd pollution to the atmosphere. Cadmium in peach leaves and stems removes difficultly.

4. Tolerance of woody-plants to Cd in atmosphere is strong. However, there is an variation in different species of trees.

The tolerance of elm, peach, poplar and coniferous tree are 32.33ppm, 29.00 ppm, 9.65ppm and 2—3ppm respectively.