

重金属污染对生态系统的影响

(以重金属对植物—土壤系统的影响为重点)

中国科学院植物研究所生态室环境组

重金属的污染物由于它在环境中不易被生物所分解,且在生物体内可以积累和转化,因此对人类会带来潜在的危害。目前世界各国对重金属的污染问题还未彻底解决,所以研究重金属对生态系统的影响是环境科学的重要课题之一。

在一定的空间里,生物与生物之间,生物与环境之间有着密切的联系,彼此之间相互制约,互相影响,并且主要通过食物链进行物质和能量的交换,这个生物和环境的统一整体称生态系统。生态系统是自然界的基本功能单位,可由四种基本成分组成:生产者——指绿色植物和某些能进行光合作用或化能合成的细菌;消费者——即动物,它们利用植物所制造的有机物质进行生活;分解者——指细菌和真菌等微生物;非生物的物质,包括水、气、矿物、酸、盐等化合物。根据生物组成成分可分为森林、草原、冻原、荒漠等生态系统,也可以根据非生物成分分为淡水或盐水等生态系统。

生态系统的基本功能就是能的运动。物质与能的循环在生态系统四个圈(大气圈、岩石圈、水圈、生物圈)中都在进行,这些物质包括碳、氧、氮、水和许多其他环境成分。

生态系统进行物质与能量交换的过程,是在不断运动和变化着,但在它的内部保持着一定平衡关系,这种平衡是相对动态平衡,自然因素和人类活动都可能破坏这种平衡。

一、植物—土壤系统对重金属积累、运转、循环的影响和作用

植物在生态系统物质与能量交换过程中起着重要作用,植物作为生态系统的生产者,可通过叶绿素吸收太阳能进行光合作用,把从周围环境中摄取的无机物质合成碳水化合物,也就是把太阳能转化为化学能。生物体内的物质和外界环境中的物质时刻不停地交换着,因而也引起了环境的变化,环境中的许多物质是通过食物链在生态系统中迁移和转化的,许多有毒物质可以通过食物链形成富集。重金属元素和化合物从环境中进入生态系统以后通过生物被吸收积累,参与生态系统的物质与能量的循环。生态系统的物质交换、转化是通过物质循环来实现的,最基本的物质循环有水循环,碳循环,氮循环以及其他许多元素的自身的循环,但其路线、范围、周期都各不相同。重金属进入生态系统以后,与其他元素一样产生一系列的吸收、富集、分配的问题。除了化学、物理条件影响其相互转化外,生物作用(陆地生态系统以植物为主)是有其特殊功能的。重金属从大气微粒或水进入到土壤、植物,通过生物的新陈代谢进行吸收、积累和分配,但不同生态系统中由于环境,尤其是生物的作用不同,其吸收、运转、积累的规律也各不同,如 Robert C. Havis 等研究红树林生态系统中,红树对汞循环起了明显的作用,红树叶富有蛋白质,在红树腐

烂的叶子上附着了许多细菌和真菌,残留的红树物质引起分解者(细菌)有机体对汞的积累,红树叶的丹宁含量会影响汞的吸附。丹宁含量高,吸附汞的能力也高,说明红树叶分解可产生有机富集汞的颗粒沉积物,这种有机物颗粒的汞浓度约高于海洋浮游植物的3—10倍。

B. I. Van Hook 等(1975)研究汞在不同地区分布、运转和循环,认为汞除与水中可溶态汞化学形式和汞在沉积物的物理、化学分布有关外,与生物对汞的吸收与可溶的和微粒状之间的汞分布有关。

重金属(铅、镉、锌等)在森林生态系统的分布和循环,由于森林群落的层次结构,植物种,叶子类型(蜡质、绒毛)地被物,地上部和

地下部的生物量不同,对重金属积累和循环的作用也不同。如 G. S. Henderson (1975)等通过对四种森林生态系统的重金属(铅、镉、锌)的分布和循环的研究,测定了这些系统中主要植物的叶、枝、树干、根和地被物的重金属元素的含量。主要森林类型乔木树种,地被物、地上部和地下部的生物量用以计算森林类型的有机物质中这些重金属的积累。微量金属的积累通常与每个种的生物量有关。活组织的平均百分数与铅、镉和锌的相对分布量是一致的。某些树种,如胡桃木,由于其吸收方式不同,有较高的铅含量,胡桃木的地上部总生物量为24%,其铅积累的含量为46%(见表1)。

R. I Van Hook 等(1975)研究环境中

表1 橡树、胡桃木(Oak-hickory)森林类型主要树种地上部的生物量的铅的分布

种 类	总生物量%	克/公顷				总铅%
		叶	枝	树 干	总 计	
短 叶 松	0.67	0.07	0.22	0.25	0.54	0.23
栗 子 树	20.0	1.91	5.96	10.38	18.25	7.7
红 枫 树	5.1	1.53	16.75	14.67	33.0	14.0
胡 桃 木	23.6	7.30	33.60	66.80	107.7	45.7
黄 桦	2.8	0.53	4.20	2.97	7.7	3.3
白 橡	28.8	1.36	5.05	4.75	11.16	4.7
红 栎	0.3	0.10	0.25	0.93	1.28	0.54
黑 桉	2.7	1.51	6.70	2.95	11.16	4.7
桉 木	0.04	0.55	1.10	1.60	3.25	1.4
酸 木	4.7	1.36	5.16	16.58	23.1	9.8
黑 橡	6.2	0.70	3.50	7.80	12.0	5.1
其 他	5.1	0.61	2.44	3.70	6.75	2.9
总 计	100.0	17.58	84.75	133.31	235.89	100.0

有毒金属运转时认为,生物作用很重要。森林地被物群落是森林生态系统的重要成分,尤其是对于分解和矿质循环起着重要作用。William H. Smith 等(1975)研究路边生态系统的土壤和植被,表面沉积的铅,植物吸收不显著,运转到植物地下部分的铅,是从土壤中吸收的可溶性的铅,但土壤中可溶态的铅很少,大量的铅对植物是无效的。土壤中铅对土壤微生物活动、昆虫、蚯蚓都有影响。蚯蚓

对保持土壤的物理性质,阻止土壤积累铅起着重要作用。铅与氮的循环,氟、磷、硫的运转都有关系。

二、重金属对生态系主要组成成分的影响

(一)对植物的影响

植物是生态系统中的重要组成成分。它的生长发育,直接影响着生态系统的结构、功

能,影响着系统中物质与能的变化。其主要影响有:

1. 植物对重金属的忍耐力:因植物种类、年龄、生活型、物候期以及环境条件而变化。

A. Cattenie 等研究认为不同种类植物对重金属忍耐力不同,蔬菜对重金属的忍耐力最差,谷类次之,草类最高。有些植物有积累和忍耐某种金属的特殊能力。如向日葵、蹄盖蕨忍耐镉的能力高;菠菜、苜蓿则积累忍耐镉-锌的能力高;三叶草对铜的毒性比禾本科的植物更为敏感。A. Cattenie 等还认为植物毒性的外部症状与微量金属含量关系,不同植物种对同一金属含量关系,不同植物对同一金属元素的反映是不同的。如向日葵在锌含量大于 2500 ppm 时出现退绿,草类在锌 42 ppm 时就退绿,向日葵在铅含量 12 ppm 时就出现坏死症状,而梨树在铅含量 1860 ppm 时才出现坏死。

我们的水培试验证明:水稻体内重金属的积累量愈高,毒性愈大,症状愈明显。如汞在水稻体内茎叶为 8.2 ppm 时,根开始受抑制,含量达 1490 ppm 时,叶就严重退绿,部分枯死。水稻对不同重金属忍耐力不同,一般以铬 > 砷 > 锌 > 汞。

重金属对植物的影响必需从动态定量的观点来进行研究,才能全面的反映出生态系统各组成成分的真实情况。因此,植物对重金属的吸收、忍耐力就要从不同年龄,不同季节来进行动态分析。Robert L. Zimcahl (1975)等研究不同年龄的植物对重金属吸收量差异较大,如幼小烟草比老的烟草吸收更多的铅。

Hernter 发现蕨类植物体内铅的含量随年龄而下降。Mitchell 和 Reith 曾报导秋天牧场草本植物的含铅量大大增加,而且在一些衰老的落叶树的叶子和野生燕麦中也有类似的现象。

2. 重金属对植物产量和质量的影响:重金属进入生态系统后,随着各部分含量变化

对植物的产量和质量都有影响。A. Cattenie 等(1976)研究植物中微量金属含量和黑麦草干物质产量百分数之间的关系。认为当叶含镉量高至 190 ppm,镍 80 ppm,铅 16 ppm,黑麦草的产量降低 20%。J. D. Cunningham 等(1975)研究施用污泥中的重金属对植物产量和干物质产量的影响,认为施用不同量的重金属污泥对作物产量有影响,每公顷施含重金属污泥 251 吨时,作物产量大大增加,每公顷施 502 吨时,作物产量就下降,并用迴归分析系数指出铬和镍对产量影响不大,但锌的影响较大。说明污泥中重金属之间相互作用对产量影响较大。

3. 重金属相互作用对植物的影响:重金属元素及其化合物在生态系统中相互之间的作用是极其复杂的,元素与元素之间可产生拮抗,凝聚等作用,会影响元素的存在水平,影响植物生长、发育和积累。Chaney 等(1974)研究重金属元素之间的关系认为铜、锌对植物生长相互作用很重要,土壤中铜和锌的数量增加,植物组织中其它金属含量也增加,有毒金属含量的增加不应超过锌的“等量水平”。提出作物忍耐水平镉为 3ppm,铬 2ppm,铜 150ppm,锰 300ppm,镍 3ppm,锌 200ppm 和镉/锌为 1%。植物组织中镉含量应低于 3ppm。J. D. Cunningham 等(1975)也认为锌在土壤中的含量是决定植物中金属含量的重要因子,但与各种金属的水平也有关。铜也有相似的影响。铜-锌的相互作用较复杂,黑麦草的污泥试验中,锌水平高时,黑麦草锌的含量由于铜的增加而下降。这可能是由于铜对锌的吸收有对抗作用,这种拮抗的影响,在锌含量低时,黑麦草比玉米大些,因作物不同而显著不同。

植物中镉的积累与土壤中镉/锌的数值有很大关系。植物体内镉/锌的比例受加入土壤的铜和锌的影响。锌的含量增加,镉/锌比例就减少,铜的含量增加则镉/锌的比例增加(见表 2)。

表2 土壤中加入 Cu 和 Zn 对植物中 Cd/Zn 比例的影响

土壤中加入金属 (ppm)	Cd/Zn	
	玉 米	黑 麦
Cu 120	0.88	0.57
	1.10	0.66
	1.47	0.97
Zn 410	1.63	0.85
	1.16	0.74
	1302	0.60

(二) 对土壤的影响

土壤是生态系统中非生物的主要组成成分，它在物质与能的交换过程中起着极其重要的作用，要深入研究重金属污染物本身的内在性质和影响，以及它们迁移转化的环境条件，掌握重金属在生态系统中运动变化规律和机制，就需研究重金属对土壤的各种影响。

自然土壤中含有各种重金属，其含量因土壤类型和成土母质变化而异。土壤物理性质不同对重金属吸附积累能力不同，粘土矿物颗粒多的土壤，可吸附重金属阳离子。Aomine, Jrost 和 Bisque (1969—1970) 等研究不同粘土类型对汞的吸附能力不同，各种土壤吸附容量差异很大，蒙脱土吸附量很高，约高于水铝英石两倍，为高岭土的 50 倍，各种类型吸附量大都是在 pH 6 时吸附最大。

土壤含腐殖质等有机物可因螯合或吸附作用而固定重金属。其结合的方式不同，对作物的有效性也不同。有机物与铜、铅、镍、锌、汞等重金属的阳离子有较高结合力，对砷、钼、铝等阴离子有固定作用，因此含粘土或腐殖质多的土壤，其所含的重金属不易被植物所吸收。如 Jonasson (1970) 等研究 pH 6—7 之间汞被腐殖质所固定，汞离子可转变为腐殖酸盐的络合物。我们 1976 年增加土壤中有机肥对作物吸收重金属影响的试验证明：适当的增加土壤有机肥使土壤中不溶态汞的含量明显增加，从而减少了水稻对汞的吸收。

土壤中不同形态的重金属对植物毒性的影响比总量更重要。难溶解的化合物的毒性低于易溶解的化合物。如重金属的硫化物，氢氧化物，碳酸盐和磷酸盐的溶解度均很低，其毒性很小。又如铁或铅的砷化物的溶解度低于钙的砷化物，前两者的毒性亦低于后者。William H. Smith (1975) 研究土壤中的铅大都以 $PbSO_4$ 存在，与土壤 SO_4^{2-} , PO_4^{3-} 或 CO_3^{2-} 和土壤有机质或粘土络合，使铅形成不溶解的化合物，阻碍铅的迁移速度，并抑制植物和微生物的吸收。Davil Purves (1977) 研究了铅、铜、锌、硼、镍、钴、镉等元素的有效水平与总量对植物吸收的影响，发现植物所含的微量金属元素，不仅决定于土壤中的有效水平，还决定于植物种。

土壤酸碱度对一些重金属元素的有效性影响显著，如镉、铅等随着土壤 pH 值增高，有效性相对减低，碱性土壤即使金属元素的总量很高，植物积累量亦不高。锰、铝、铅等重金属的阳离子的溶解度在酸性土中最高，中性土次之，弱碱性土最低。酸性土上植物吸收重金属含量多于中性土。Andersson 和 Nilsson 等 (1974) 研究认为土壤母质和平衡溶液之间的镉分布是决定于 pH 值。pH 值降低会增加溶解度和镉在土壤中的移动性，有机土壤的有效镉吸收比矿质土壤多。

氧化还原条件不同对重金属影响也不同，在氧化状态时，土壤中的铁、锰化合物可固定多种重金属。在还原条件下，已固定的重金属将重新析出为植物所吸收，但也有很多种重金属将生成难溶的硫化物而减少毒害，如镉在还原的条件下将生成难溶的硫化镉而减少毒害。在还原条件下，汞可能转化为不易溶的硫化汞，一部分可转化为可溶性的一甲基或气态二甲基汞络合物，在碱性条件下硫化汞可能转化为可溶的 Hg_2S 。

三、重金属对生态系统功能的影响

深入研究重金属污染物对生态系统中植

物—土壤系统的影响,阐明重金属在系统中能量交换变化规律,必须从个体或群体角度来研究植物生理作用 and 环境的相互关系,尤其是植物的光合作用和蒸腾作用,因为它们与植物的生长、发育和再生产有密切关系。在不同的环境中会有敏感的变化,因此,重金属进入生态系统后,植物功能的变化,光合作用和蒸腾作用是很明显的。Miles 等指出氯化铅 (2.4 mM) 使菠菜和西红柿叶绿粒对光合成反应大大抑制。Maarib Bakri 等研究玉米叶绿粒 PS II 活性受铅的抑制是在 pH 6.5—6.7 最大。

美国有人研究认为铅可改变大豆的光合成,抑制菠菜叶绿素中光合成的电子运转,发现电子传递反映的电流对呼吸、光合成的进程有不利影响。F. A. Bazzaz 等 (1974) 研究铅对大豆、玉米的影响说明,基质中铅的处理浓度增加,减少了纯的光合和呼吸。铅的处理浓度低时,玉米比大豆反应更敏感;铅的处理浓度高时,大豆比玉米更敏感。基质的铅在 250 毫克/植物时,大豆光合作用只 10%,

而玉米 47%,甚至玉米铅含量高于大豆,蒸腾作用也与光合作用相似。

总之,重金属对生态系统的影响因素很多。生态系统各组成成分之间,生物与环境之间关系极其复杂,为了弄清重金属对生态系统的影响,首先必需取得对植物—土壤系统影响的各方面的数值,因为一种或几种重金属加入生态系统后,造成生态系统的变化,也就是说植物和它周围环境建立的一种动态平衡关系。由于某种变化,造成失调,这种失调都会在植物体(或生物)上反应出来。严重污染时,(生物)植物种类、数量、生长发育量上的差异,群落盖度、群体密度,生物体内重金属积累量及相互间关系的变化是多种多样的,必需从定量动态的关系来研究,得出生态系统各组成成分相互变化参数,最后将数字用系统分析方法来描述重金属在生态系统的状态、变化途径。并建立一个数学模式来模拟重金属对生态系统的影响及其在生态系统运转、归宿的规律。

苔藓植物与大气污染

吴 鹏 程 罗 健 馨

(中国科学院植物研究所)

随着工业的发展,大气污染问题日益引起重视。在应用各种方法测定和防治大气污染的过程中,逐渐认识到植物对大气污染物质有特异反应,从而可以利用这种特性作为指示,以监测环境,保护人民身心健康。近年来,苔藓已被认为是仅次于地衣的指示大气污染最敏感植物类群之一。根据它对大气中主要污染物质,如不同浓度的二氧化碳、氟化氢等的反应,可划分为不同的敏感或忍耐的

反应类型。在一定的地区,可绘制大气污染分布图,测定大气净度,提供一个较简便有效的方法,以反映出大气中污染物的长期影响。

在六十年代,苔藓植物对大气污染的反应,人们进行了调查。Declvosalle 对照了比利时在 1850 年约具有 600 种苔藓植物,现由于人类直接或非直接的活动,尤其是大气污染的影响,几乎 114 种苔藓已消失,34 种十分稀少。在荷兰的阿姆斯特丹,1900 年曾记载