

污染生态学

王焕校 主编



CHEP
高等教育出版社



Springer
施普林格出版社

污染生态学

王焕校 主编



CHEP
高等教育出版社



Springer
施普林格出版社

图书在版编目(CIP)数据

污染生态学 / 王焕校 主编. - 北京: 高等教育出版社;
海德堡: 施普林格出版社, 2000.5
ISBN 7-04-007980-1

I. 污… II. 王… III. 污染生态学 IV. X171

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 76171 号

污染生态学

王焕校 主编

出版发行 高等教育出版社 施普林格出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010 - 64054588

传 真 010 - 64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 北京民族印刷厂

开 本 787 × 1092 1/16

版 次 2000 年 5 月第 1 版

印 张 16

印 次 2000 年 5 月第 1 次印刷

字 数 400 000

定 价 26.00 元

© China Higher Education Press Beijing and Springer-Verlag Heidelberg 2000

版权所有 侵权必究

本书得到云南大学“211 工程”重点学科“高原山地生态与生物资源学”与国家理科基础科学研究和教学人才培养基地云南大学生物学专业点出版基金资助。

前 言

由于环境污染日趋严重,认识和解决由环境污染带来的问题已是当务之急。因此,我有了要开设“污染生态学”的设想。几经努力,1981年终于在云南大学生物系首次开设了“污染生态学”。该课程的开设引起了学生们很大兴趣,也得到他们的鼓励和支持,这就增强了我开好这门课的信心。

1984年受中国环境学会环境生物学专业委员会的委托,在昆明举办全国污染生态学培训班,由我讲授“污染生态学”(王德铭先生讲“环境生物学”,余叔文先生讲“环境生理学”,樊德芳先生讲“农药污染”)。由于教学需要,我编写了《污染生态学基础》讲义。其后经过不断的教学实践和反复修改,终于在1990年由云南大学出版社正式出版“污染生态学基础”教材。该书凝聚了我多年教学和科研的心血,也得到研究生们(杨树华、周鸿、张云孙、孙赛初、杨红玉、李华林、彭鸣、李素英、高圣义、李森林、李元、丁认泉、单振光、段昌群、余国营、秦天才)的大力帮助。因此,该书是大家共同劳动的成果。

1998年高教出版社委托我编写《污染生态学》教材,该书由我主编,吸收部分教师和研究生参加。该书是以原《污染生态学基础》一书为基础,吸收近期国内外最新研究成果,经修改、补充完成的。全书由原来的八章扩大为十章,各章的题目和具体编写人员是:绪论(王焕校)、第一章污染物在生物体内的迁移规律(王宏宾)、第二章生物富集(张玲、高圣义)、第三章污染物的毒害作用及机理(谭晓勇、李俊梅)、第四章生物对环境污染物的抗性(常学秀、孟玲)、第五章生物对长期污染的生态效应与适应进化(段昌群)、第六章环境污染的生物监测(常学秀、文传浩)、第七章水污染及其生物防治(李元)、第八章大气污染及其生物防治(陈海燕、李俊梅)、第九章土壤污染及其生物防治(文传浩)、第十章环境质量评价中的污染生态问题(李俊梅)。其中生物对长期污染的生态效应与适应进化和土壤污染及生物防治两章是新增加的。最后全书由我修改统稿。此外,研究生吕朝晖、马建民、魏大巧、许桂莲等同志对本书的出版也给予了帮助。

本书是以污染物在生物体内的生物过程为主线索,生物与污染环境之间的关系规律为主要内容,生物抗性形成和生物防治污染为重点,力求在内容上保证系统性、完整性和达到学以致用。全书力求反映国内外该领域最新研究成果,因此涉及面较广,各校在使用时可根据自己专业特点加以取舍。由于污染生态学在近年来发展极为迅速,加上我们能力所限,虽已尽全力,但书中错误和不当之处在所难免,敬请国内广大同行专家、学者批评指正。

本书可作为环境科学专业、生态学专业本科生教材,也可作为环保、农林系统有关专业的本科生和环境科学专业、生态学专业研究生的教学参考书。

王焕校

1999年6月于云南大学

责任编辑 林金安
封面设计 张楠
版式设计 李杰
责任排版 李杰
责任印制 陈伟光



目 录

绪论	(1)
第一章 污染物在生物体内的迁移规律	(3)
第一节 污染物的概念、性质及分类	(3)
一、污染物的概念	(3)
二、污染物的性质	(3)
三、污染物的分类	(4)
第二节 有关生物对污染物吸收、迁移的几个基本概念	(4)
第三节 植物对污染物的吸收与迁移	(5)
一、植物对污染物的吸收	(5)
二、污染物在植物体内的迁移	(11)
第四节 动物对污染物的吸收与迁移	(14)
一、污染物通过动物细胞膜的方式	(15)
二、动物体对污染物质的吸收	(15)
三、污染物在动物体内的迁移与排出	(16)
第五节 微生物对污染物的吸收	(17)
一、微生物细胞吸收污染物的机理	(17)
二、影响微生物吸收污染的因素	(17)
第六节 影响植物吸收、迁移污染物的因素	(18)
一、植物种的生物学、生态学特性	(18)
二、污染物的种类及其形态差异	(19)
三、pH 值	(20)
四、氧化还原电位	(21)
五、土壤阳离子交换量	(22)
六、污染物间的不同效应	(22)
七、土壤性质的影响	(25)
思考题	(27)
第二章 生物富集	(28)
第一节 生物富集的概念	(28)
第二节 生物富集机制	(28)
一、生物学特性	(28)
二、污染物的性质	(36)

三、污染物的浓度和作用时间	(39)
四、环境特点	(39)
五、富集与食物链	(40)
第三节 研究生物富集的方法	(41)
一、模拟研究	(41)
二、调查试验研究	(42)
思考题	(43)
第三章 污染物的毒害作用及机理	(44)
第一节 污染物的毒害作用	(44)
一、污染物对植物的影响	(44)
二、对动物和人体健康的影响	(59)
第二节 受害机理	(66)
一、生物活性点位	(66)
二、重金属对生物毒性效应的分子机理	(66)
三、金属离子对生物大分子活性点位的竞争 及其与金属生物毒性的关系	(68)
四、分子、原子结构理论解释	(68)
第三节 受害条件	(69)
一、毒物性质	(69)
二、外界条件	(72)
第四节 化学元素的拮抗、协同关系	(73)
思考题	(78)
第四章 生物对环境污染物的抗性	(79)
第一节 植物的抗性机理	(80)
一、植物的避性	(80)
二、植物对污染物的结合钝化作用	(83)
三、植物对污染物的代谢转化作用	(84)
四、植物在污染物存在下改变代谢途径、发生遗传变异、 降低污染物与靶分子的亲和力	(86)
五、植物对污染物及其代谢产物的排出作用	(87)
六、植物的其他保护系统	(87)
七、植物的抗性指标	(88)
第二节 动物的抗性机理	(88)
一、动物对污染物的避性	(88)
二、动物对污染物的结合钝化	(89)
三、动物对污染物的分解转化	(90)
四、动物对污染物的排泄作用	(91)

第三节 微生物的抗性机理	(92)
一、微生物对环境污染物的避性	(92)
二、微生物对污染物的分解转化	(93)
三、微生物对污染物结合、钝化作用	(97)
四、微生物对污染物的外排	(98)
五、质粒与微生物的抗性	(98)
六、净化生物的筛选	(101)
思考题	(102)
第五章 生物对长期污染的生态效应与适应进化	(103)
第一节 生物多样性的丧失	(104)
一、遗传多样性的丧失	(104)
二、物种多样性的丧失	(106)
三、生态系统水平的响应	(106)
第二节 生物对污染物的适应	(107)
一、生物对污染适应的一般原理	(108)
二、生物对污染物的适应性反应	(109)
第三节 污染条件下生物的分化与微进化	(115)
一、污染选择下的种群响应	(115)
二、污染条件下生物种群适应性分化的过程	(116)
三、影响植物污染抗性进化的生物因素	(117)
四、生物对污染适应的代价	(119)
五、污染条件下生物分化与进化的一般趋势	(120)
思考题	(122)
第六章 环境污染的生物监测	(123)
第一节 概述	(123)
第二节 大气污染的生物监测	(124)
一、大气中主要的污染物及其植物监测	(124)
二、大气污染的动物监测	(126)
三、大气污染的微生物监测	(127)
第三节 水污染的生物监测	(127)
一、水污染的植物监测	(128)
二、水污染的动物监测	(129)
三、水污染的微生物监测	(129)
第四节 土壤污染的生物监测	(130)
一、土壤污染的植物监测	(130)
二、土壤污染的动物监测	(131)
三、土壤污染的微生物监测	(132)

第五节 环境污染生物监测方法典型例子	(133)
一、利用生物典型受害症状监测环境污染	(133)
二、利用生物体内污染物及其代谢产物含量分析法监测环境污染	(134)
三、利用生物的生理、生化指标监测环境污染	(135)
四、利用生物的细胞遗传学指标监测环境污染	(136)
五、利用生物群落结构分析方法监测环境污染	(137)
六、群落多样性指数法监测环境污染	(138)
七、利用生物指数法(BI)监测环境污染	(138)
八、利用生物的生长量变化监测环境污染	(139)
九、利用生态系统综合指标监测环境污染	(139)
思考题	(140)
第七章 水体污染及其生物防治	(141)
第一节 污水灌溉	(141)
一、污水灌溉的概念	(142)
二、污水灌溉的效益	(142)
三、净化机制	(144)
四、存在问题	(144)
五、措施	(145)
六、开展污灌技术研究	(145)
第二节 富营养化	(146)
一、富营养化形成的条件	(147)
二、富营养化的指标与评价	(147)
三、富营养化的危害	(150)
四、富营养化的生物治理	(150)
第三节 氧化塘	(152)
一、我国氧化塘的主要特点	(152)
二、氧化塘结构及净化机理	(153)
三、氧化塘的效益	(155)
四、氧化塘系统的类型	(157)
五、氧化塘发展趋势	(158)
第四节 污水土地处理系统	(158)
一、土地处理系统类型	(159)
二、土地处理系统的基本功能与处理机制	(160)
三、影响土地处理系统的条件	(161)
四、土地处理系统的效益分析	(162)
思考题	(165)
第八章 大气污染及其生物防治	(166)

第一节 大气污染概述	(166)
第二节 温室效应	(168)
一、温室气体	(168)
二、增温及后果	(168)
三、对策	(170)
第三节 酸雨	(171)
一、酸雨的特点	(171)
二、我国酸雨主要特点	(173)
三、酸雨形成的机理	(173)
四、酸雨形成过程	(174)
五、影响酸雨形成的因素	(174)
六、酸雨对生态系统的影响	(175)
七、酸雨的防治	(179)
第四节 臭氧层减薄问题	(181)
第五节 大气污染的生物防治	(184)
思考题	(187)
第九章 土壤污染及其生物防治	(188)
第一节 土壤污染概述	(188)
一、土壤污染特点	(188)
二、土壤污染类型和污染物质类型	(189)
第二节 土壤污染物的危害	(191)
一、重金属和其他有毒元素对土壤的危害	(191)
二、农药对土壤的危害	(196)
三、化肥施用不当对土壤的危害	(199)
四、放射性元素对土壤的危害	(202)
五、有机矿物油和多环芳烃类化合物(PAHs)对土壤的危害	(204)
六、致病生物体对土壤危害	(205)
第三节 土壤污染监测	(206)
一、土壤污染监测目的、特点及分类	(206)
二、土壤污染样品采集和制备	(207)
三、土壤污染监测方法	(208)
第四节 土壤污染的生物防治	(210)
一、土壤自净作用与土壤容量	(210)
二、土壤重金属污染防治	(210)
三、土壤农药、化肥污染防治	(211)
四、土壤固体废弃物污染治理	(212)
思考题	(213)

第十章 环境质量评价中的污染生态问题	(214)
第一节 环境容量	(214)
一、研究的程序	(214)
二、研究基本内容和参数	(214)
三、生态系统容量的制定	(218)
第二节 环境评价及分区	(221)
一、土壤污染评价及分区	(221)
二、生物污染评价及分区	(223)
三、生态质量评价	(226)
第三节 污染物沿食物链进入人体	(230)
第四节 人群健康环境影响评价	(231)
一、确定评价范围,选好典型评价对象	(232)
二、建立评价标准	(232)
三、开展环境影响预测	(232)
思考题	(234)
参考文献	(236)

绪 论

20世纪随着工农业生产的发展,三废(废气、废水、废渣)的排放量和农药、化肥的施投量急剧增加。从20世纪30年代开始,污染不断加重,环境逐渐恶化,导致庄稼受害、家畜(禽)中毒,公害病频发,癌症和怪病发病率增加,人类健康水平普遍下降。震惊世界的公害病事件有:1930年12月比利时马斯河谷的二氧化硫等大气污染事件,受害者症状表现为胸痛、咳嗽、呼吸困难,有60多人死亡;1948年10月美国宾夕法尼亚多诺拉镇发生的二氧化硫与金属元素的复合污染事件,发病者5911人,占全镇总人口的43%,症状为胸闷、呕吐、腹泻,死亡17人;40年代初期,美国洛杉矶市多次发生以臭氧为主的光化学烟雾事件;1952年12月英国伦敦烟雾事件,4000多人死亡;1961年日本四日市的二氧化硫和金属粉尘复合污染事件,出现大量呼吸道系统疾病,其中主要是支气管哮喘,有些患者不堪忍受痛苦而自杀;1953~1956年日本水俣市食用含汞的鱼造成汞中毒事件,中毒者283人,死亡60人,受害者大多是脑神经受到伤害,痛苦万分,不少人是以自杀来求得解脱;1955~1972年日本富山县神通川流域,由于铅锌冶炼厂排放的含镉废水污染水稻田,居民食用含镉稻米和含镉水而造成镉中毒,镉进入人体后破坏整个骨骼系统,使骨质变脆易折,其中一典型病人骨折70多处,惨不可言;1968年日本北九州市爱知县的米糠油事件,这是因为在生产米糠油时,多氯联苯混入其中,患者超过5000人,其中16人死亡。上述公害病事件以及城市和工矿区大气和水体的严重污染,引起人们的震惊和恐慌,似乎地球上已经没有一片干净的土地、清洁的空气、安全可靠的水和放心食用的食品,悲观情绪笼罩着整个世界。60年代悲观情绪的代表作《寂静的春天》、《上帝救救我们吧》、《科学家救救我们》等书应运而生。特别要提到的是在1960年美国科学家福伊斯特在《科学》杂志上发表了一篇震撼全球的论文:“世界末日”。作者根据全球人口、资源、环境等资料的分析,得出结论:如果人们再不注意环境问题,那么世界末日将是公元2026年11月23日星期五。这更加重了人们对环境的危机感,也促使人们去重视环境问题,研究环境污染,寻找治理污染的途径和方法,以保证人类有一个安全、舒适的生态环境。

为了研究在污染条件下生物受害的原因及防治措施,人们开始研究污染物在环境及生态系统中迁移转化规律;研究生物受害机理、净化机制;研究污染物沿食物链富集规律和人体受害原因;同时研究生物抗性形成原因和生物防治污染的工程措施。在上述研究的基础上逐步形成了一门新的分支学科——污染生态学。

污染生态学是以生态系统理论为基础,用生物学、化学、数学分析等方法研究在污染条件下生物与环境之间的相互关系规律,即研究生物受污染后的生活状态、受害程度,以确定受害阈值及致死剂量;研究生物对污染物的吸收,污染物在生物体内转移、富集、降解规律,以采取生物净化的有效措施;研究污染物沿食物链(网)逐级富集的规律,以避免或尽量减少污染物通过食物链进入人体;研究生态系统接受污染物的负荷能力,以确定生态系统的容量,预测环境质量变化的趋势,提出综合防治措施和生物监测指标;研究在污染条件下,生态系统能流、物流的规律,以充分发挥生态系统总体净化环境的生态效益,达到保护环境,造福于人民的目的。

有人把污染生态学作为环境生物学的一个分支学科。环境生物学(Environmental Biology)是研究生物与受人类干扰的环境之间相互关系的学科(但也有人认为环境生物学就是生态学)。环境生物学所指的受人类干扰的环境包括两方面的内容:其一是环境污染;其二是指人类对自然资源的不合理利用,如对森林的滥砍乱伐,对草原的滥垦和过度放牧,围湖造田等造成对环境的破坏。因此,环境生物学包括污染生态学。但也有人认为污染生态学是生态学的一个分支学科,它是研究在异常环境条件下(即污染的条件下),生物与环境之间相互关系的规律。实际上,污染生态学是介于环境科学和生态学之间的一门新兴的边缘性学科。

污染生态学的研究方法是把生态系统作为一个整体来研究生物与受污染环境之间的相互关系。通常采用野外实地调查、各种规模的模拟试验及相结合的研究方法,具体有:

1. 用生物、化学等方法,研究污染物在生态系统中迁移、转化规律,以及在生态系统各单元之间的积累规律。

2. 研究在生态系统中污染物迁移过程中生物的吸收、富集、降解规律,生物受害状况与机制、生物抗性的形成以及利用生物净化环境的可行性措施。

3. 研究污染物对生态系统结构和功能的影响,建立生态模型,以阐明污染物对生态系统的稳定性和生物产量的影响,预测今后生态系统发展趋势以及采取相应的对策。

4. 根据各类模型,制订环境规划和区域整体净化措施。

污染生态学是一门非常年轻的学科,因此本身不够完整、不够系统,学科之间的界限也不很明确。但由于它具有很强的时代性和应用性,因此,具有很强的生命力。同时,它将随国民经济建设的发展而迅速发展,为我国经济建设,保障人体健康创造必要的环境条件。

第一章 污染物在生物体内的迁移规律

生物体对污染物吸收、迁移是研究污染物在生物体内富集、毒害以及生物体解毒、抗性作用的基础,是污染物对生物体产生生理、生态、遗传、分子毒性效应的第一步。本章介绍了污染物的基本概念、性质、分类以及生物对污染物的吸收、迁移规律,最后阐述了影响植物吸收、迁移污染物的几个主要因素。

第一节 污染物的概念、性质及分类

一、污染物的概念

何谓污染物(pollutant)?《辞海》的定义是:进入环境后能直接或间接危害人类的物质,如火山灰、二氧化硫、汞等;《中国大百科全书·环境科学卷》解释为:进入环境后使环境的正常组成发生直接或间接有害于人类的变化的物质。

这两种解释都把污染物的作用对象仅指向于人类,我们认为,其作用对象应包括所有包括人在内的生物。因此污染物可作如下定义:进入环境后使环境的正常组成发生直接或间接有害于生物生长、发育和繁殖的变化的物质。这类物质有自然排放的,也有人类活动产生的。环境科学研究的主要是人类生产和生活排放的污染物。

二、污染物的性质

1. 一种物质成为污染物,必须在特定的环境中达到一定的数量或浓度,并且持续一定的时间

污染物本是生产中的有用物质,有的甚至是人和生物必需的营养元素。生物是吸收、同化环境中非生物的物质演化来的,因而,环境中的物质特点和各元素的组成能深刻地反映在生物体的组成成分中;同时,由于长期适应的结果,生物对环境中各元素形成依赖和共存的关系。因此,环境中化学元素及其比例和生物体内所含的元素及其比例有其相似性。某污染物的数量或浓度低于某个水平或只短暂存在,就不产生毒害,甚至还有益。例如,微弱的 X 射线能使水蚤的生命延长 1~2 倍;低剂量的 DDT 能延长雄性大鼠的生命;硒是阻氧化剂,铬能减缓动脉硬化过程,能协助胰岛素改善糖和脂肪的代谢。但是,若有些物质排放量过大,超过了环境的承受负荷,便会产生毒害作用。

2. 污染物会在环境中发生转化,即具有易变性

污染物进入环境后并非一成不变,它们会发生一系列复杂的物理、化学或生物的反应生成其他物质,生成的新物质可能危害更大,但也可能无害或毒性减轻。如人体吸收的硝酸盐会变成毒性更大的强致癌物——亚硝酸盐;汞转变成甲基汞或亚甲基汞后毒性增强;一些污染物(如农药)通过生物体降解后毒性降低。不同污染物共存时,相互间会发生相加、协同、拮抗等作用使毒性增大或降低。

三、污染物的分类

污染物可有多种分类方法,按《中国大百科全书·环境科学卷》的方法可作如下分类:

1. 按污染物的来源,可分为自然来源和人为来源的污染物。
2. 按受污染物影响的环境要素,可分为大气、水体和土壤污染物等。
3. 按污染物的形态,可分为气体、液体和固体污染物。
4. 按污染物的性质,可分为化学、物理和生物污染物。化学污染物又可分为无机和有机污染物;物理污染物又可分为噪声、微波辐射、放射性污染物等;生物污染物又可分为病原体、变应原污染物等。
5. 按污染物在环境中物理、化学性状的变化,可分为一次和二次污染物。

此外,为了强调某些污染物对人体的有害作用,还可划分出致畸物、致突变物和致癌物、可吸入的颗粒物以及恶臭物质等。

第二节 有关生物对污染物吸收、迁移的几个基本概念

如前所述,各种元素包括各种污染物对生物的毒害作用有一个数量的概念,这在讨论生物对污染物的吸收、迁移过程中尤为重要。本节介绍几个有关概念。

1. 安全浓度(safe concentration)

生物与某种污染物长期接触,仍未发现受害症状,这种不会产生受害症状的浓度称为安全浓度。

2. 最高允许浓度(maximum allow concentration)

生物在整个生长发育周期内,或者是对污染物最敏感的时期内,该污染物对生物的生命活动能力和生产力没有发生明显影响的浓度,称为最高允许浓度。

例如,粮食中几种元素的最高允许浓度(食品卫生标准)为:砷 0.2 mg/kg,铅 0.3 mg/kg,汞 0.02 mg/kg,铬 0.3 mg/kg,镉 0.2 mg/kg。蔬菜最高允许浓度(食品卫生标准)为:砷 0.2 mg/kg,铅 0.3 mg/kg,汞 0.01 mg/kg,铬 0.3 mg/kg,镉 0.2 mg/kg。饮用水重金属元素最高允许浓度(水质标准)为:砷 < 0.04 mg/L,铅 < 0.1 mg/L,汞 < 0.001 mg/L,铬(六价) < 0.05 mg/L,镉 < 0.01 mg/L。居民区大气中有害物质最高允许浓度(日平均计,单位:mg/m³,标准状态):砷 0.003,汞 0.000 3,铅及其化合物 0.001 7,二氧化硫 0.05。

3. 效应浓度(effective concentration)

超过最高允许浓度,生物开始出现受害症状,接触毒物时间愈长,受害愈重。这种使生物开始出现受害症状的浓度称为效应浓度,可以用 EC₅₀、EC₇₀、EC₉₀ 分别代表在该浓度下有 50%、70%、90% 的个体出现特殊效应,即开始出现受害症状。

4. 致死浓度(lethal concentration)

当污染物浓度继续上升到某一定浓度,生物开始死亡,这时的浓度称为致死浓度,也称致死阈值,可以用 LC₅₀、LC₇₀、LC₉₀、LC₁₀₀ 分别代表毒害致死 50%、70%、90%、100% 的个体的阈值。有人把一周内甲基汞的致死阈值定在 0.2 mg/人(按 0.003 3 mg/kg 计);总汞量周致死阈值是 0.3 mg/人(按 0.005 mg/kg 计);镉的周致死浓度是 0.4 ~ 0.5 mg/人(按 0.006 7 ~ 0.008 3 mg/kg 计);铅的周致死浓度是 3 mg/人(按 0.05 mg/kg 计)。

第三节 植物对污染物的吸收与迁移

一、植物对污染物的吸收

(一) 植物对气态污染物的粘附和吸收

随着大气污染的加剧,大气中充斥着各种有害气体,如 SO_2 、 NO_x 、光化学烟雾、飘尘、降尘等,使大气质量降低。

植物能粘附和吸收气态污染物。植物粘附污染物的数量,主要决定于植物表面积的大小和粗糙程度等。例如,云杉、侧柏、油松、马尾松等枝叶能分泌油脂、粘液;杨梅、榆、朴、木槿、草莓等叶表面粗糙、表面积大,具有很强的吸滞粉尘的能力;女贞、大叶黄杨等叶面硬挺,风吹不易抖动,也能吸附尘埃。而加拿大杨等叶面比较光滑;叶片下倾,叶柄细长,风吹易抖动,滞尘能力较弱。

据研究,几种针、阔叶树种截获粉尘的数量是:山毛榉 5.90%,橡树 7.15%,鹅耳枥 7.92%,白蜡 8.68%,花楸 9.99%,白桦 10.59%,杨 12.80%,刺槐 17.58%,松 2.32%,落叶松 4.05%,云杉 5.42%。叶片吸附粉尘,能减少空气中含尘量,再经雨水淋洗后,又能重新吸附粉尘。

氟化物是一种积累性的大气污染物,能通过叶片气孔或茎部皮孔进入植物体。气孔是叶片吸收污染物的主要部位。 SO_2 伤害植物的过程首先是通过气孔进入叶片后,被叶肉吸收,高浓度的 SO_2 可导致植物气孔张开和关闭的机能瘫痪。光化学烟雾主要成分之一臭氧,能进入气孔损害叶片的栅栏组织。

(二) 植物对水溶态污染物的吸收

植物吸收污染物的主要器官是根,但叶片也能吸收污染物。

1. 水溶态污染物到达植物根(或叶)表面

水溶态的污染物到达根表面,主要有两个途径:一条是质体流途径(mass flow),即污染物随蒸腾拉力,在植物吸收水分时与水一起到达植物根部;另一条是扩散途径,即通过扩散而到达根表面。如在土壤中,重金属的扩散一般遵循 Fick 的第二法则,它的平均扩散距离为: $\sqrt{x^2} = \sqrt{2DT}$, 式中 D 是扩散系数(cm^2/s), T 是时间(s)。土壤中重金属离子的扩散系数为: Zn^{2+} : $3 \times 10^{-10} \text{cm}^2/\text{s}$; Mn^{2+} : $3 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$ 。如用上述公式求算 100 天内 Zn^{2+} 和 Mn^{2+} 移动的平均距离,则 Zn^{2+} : $\sqrt{x^2} = 7.2 \times 10^{-2} \text{cm} = 0.72 \text{mm}$; Mn^{2+} : $\sqrt{x^2} = 7.2 \times 10^{-1} \text{cm} = 7.2 \text{mm}$ 。结果证明两种重金属移动速度(扩散)是很慢的,只是靠近根部的重金属才能通过扩散作用到达根表面。可见,污染物主要通过质体流途径到达根表面。

到达根表面的污染物不一定被植物根所吸收。植物吸收土壤中污染物的种类和数量除决定于土壤特性、污染物的种类和数量外,还决定于植物的特性。

环境中有机污染物占有一定比重。特别是近年来农药在农业生产中的大量施用,使植物面临一个新的生活环境,植物对有机污染物的吸收与迁移也就成了许多研究者关注的对象。

大量的农药被喷施在植物叶片上。叶片对农药的吸收经两种途径进行,即气孔吸收与角质层吸收。农药喷施在茎叶表面时,药液在植物叶面的附着性能是影响药效的重要因素。表面活性剂能显著降低水溶液的表面张力,因而可极大地改善药液在植物叶面的附着性(由振国