

- Ed.*, 8, 53 (1980).
- [39] Kamasamy, S. M. *et al.*, *Anal. Chim. Acta*, 127, 39 (1981).
- [40] Klinghoffer, O. *et al.*, *Talanta*, 27, 169 (1980).
- [41] Fukamachi, K. *et al.*, *Anal. Chim. Acta*, 119, 383 (1980).
- [42] 伊藤 哲雄等, 分析化学, 29, 332 (1980).
- [43] Jacintho, A. O. *et al.*, *Anal. Chim. Acta*, 130, 243 (1981).
- [44] Burguera, J. L. *et al.*, *ibid*, 127, 199 (1981).
- [45] Yamane, T., *ibid*, 130, 65, (1981).
- [46] 马惠昌, 严辉宇, 环境化学, 待发表.
- [47] 平山和雄等, 日本化学会誌, 98, (1981).
- [48] Bergamin F, H. *et al.*, *Anal. Chim. Acta*, 191, 9 (1978).
- [49] Ramasamy, S. M. *et al.*, *Anal. Chem.*, 52, 2062 (1980).
- [50] Rule, G. and Seitz, W. R., *Clin. Chem.*, 25, 1635 (1979).
- [51] Ranger, C. B., *Anal. Chem.*, 53, 20A (1981).
- [52] 方肇伦, 分析化学, 9, 369 (1981).
- [53] 马惠昌, 严辉宇, 环境科学丛刊, 1, 44 (1983).

植物对金属元素的吸收积累及忍耐、变异

孔 令 韶

(中国科学院植物研究所)

植物与环境的统一, 是植物长期适应环境的结果. 环境中一些化学元素的状况, 植物会从各个方面反应出来并与之相适应. 植物中几乎含有地球表面上所有的元素. 这些元素主要来自它所赖以生存的土壤、水分和大气中无机元素、化合物和离子. 在这些元素中, 有些是植物大量需要的元素, 有些是植物需要的微量元素如硼、锌、铜、锰、钼等. 有些元素在植物机体中的作用尚未被人们所认识或开始有所认识, 如汞、镉、铅、银、砷等.

环境中的化学元素在地球表面的分布是不均衡的. 由于地球化学的作用, 在金属矿露头及其附近地区土壤中常出现异常高的金属含量. 采矿、冶炼、交通和其他工业行业的发展以及含金属元素的杀虫剂、杀菌剂等农药的使用, 可使金属元素在地球表面的分配发生变化. 土壤、水、大气中某些金属元素的过剩或缺乏, 都将不同程度地影响到植物的吸收、积累, 影响到植物的分布和生长发育.

(一)

植物对金属元素的吸收积累, 近几十年来自生物地球化学、环境科学和指示植物方面做了大量的工作. Peterson, P. J. (1971) 就动植物对元素不正常的积累按元素类群进行了较系统的综述, 列举了一些植物中异常高的数值. 如生长在硒土壤上的黄耆 (*Astragalus* sp.) 的灰分中的硒含量高达 15000 毫克/公斤, 比牧草的正常含量 (通常小于 0.01 毫克/公斤) 高一百万倍. 生长在汞矿上的纸皮桦 (*Betula papyrifera*) 含有 1150 毫克/公斤的汞 (占灰分). 蛇纹岩土壤上的十字花科植物 (*Alyssum bertolonii*) 的灰分中含有高达 5—10% 的镍. 在富含钴的土壤上的一种野百合 (*Crotalaria cobalticola*) 的灰分中含有 1.8% 的钴, 至今被认为是含钴最高的植物. 据报道, 芦苇叶荇蓼 (*Thlaspi calaminare*) 对锌的积累在灰分中达到 13%. 受铅污染的大气、土壤上牧草灰分中的铅含量高达 3000

毫克/公斤,而未受污染的植物灰分中的铅含量为 10—100 毫克/公斤.生长在镉污染土壤上的莴苣叶的干物质中含有 668 毫克/公斤的镉.不少研究者列举了许多聚铝植物、聚锂植物、聚硼植物等.

A. П. 维诺格拉多夫 (1949) 指出,植物聚积化学元素的情况至少可以分为两种类型: (1) 由于某区环境中元素含量高,该区全部有机体中该化学元素的含量均高; (2) 某种有机体(经常是某一个属)能特别聚集某种化学元素,即在同一土壤上有的植物能选择吸收聚集这些元素,有的植物能选择吸收那些元素.如所有生长在含铜土壤上的植物,含铜量都显著增高.再如同是生长在酸性土壤条件下的植物,石松科的铺地蜈蚣 (*Lycopodium cernuum*)、石松 (*L. clavatum*)、地刷子 (*L. complanatum*),野牡丹科的野牡丹 (*Melastoma candidum*)、铺地锦 (*M. dodecandrum*) 等富集大量的铝,有的高达 1% 以上(占干物质),而酸性土壤上的其它植物只有 0.05% 左右. 广州地区鹧鸪草 (*Eriachne pallescens*) 地上部分干物质铜的含量平均为 132.0 毫克/公斤,比该地区其它植物种的铜含量高出 10—20 倍. 又如在富硼的生物地球化学省内的土壤中硼的含量比平均值高出 2—3 倍,但白艾蒿含硼量增加 17 倍,伏地肤的硼含量增加 34 倍. 但禾本科植物硼含量却几乎不变.

植物中的金属元素主要来自土壤,被根吸收的这些元素,首先在植物的根中积累,然后有一部分被转运到植物体的其它部分.因而植物体不同部位,对金属元素积累的状况就不一样,通常是植物的地下部分大大地高于地上部分.如水稻中的铜、汞、锰、砷等相差约 15—20 倍,铁相差 100 多倍,茎叶与糙米比较也相差几倍到几十倍.植物茎的灰分中镉含量大约比叶的灰分中的含量高 2 倍.

植物地上部分的表面,可以从大气中吸收铅、汞等.如植物中铅的背景含量为 1—4

毫克/公斤,生长在汽车往返频繁的路边的树木叶和小枝的铅含量可高出 100—200 倍.酸模叶蓼 (*Polygonum lepathifolium* var. *salicifolium*),在大气、土壤中汞含量较低的地方,地上和地下部分汞含量的比值为 1 左右,而在大气、土壤中汞含量高的地段,地上、地下部分的比值为 4.

植物对金属元素的吸收积累,除与环境中的金属元素的水平有关以外,还和这种元素对植物的有效性、土壤的 pH 值及其它理化性质、各种元素之间的作用(如拮抗作用和协同作用等)以及其它的生态因子如光、温度、湿度等有关. Joseph, E. 等 (1976) 指出,大豆对镉的吸收因土壤的 pH 值和阳离子交换能力的增加而减少,当有效磷增加时镉的积累量增加.向土壤中施加有机质,燕麦苗中镉的含量减少,其作用是因为增加了土壤中的阳离子交换能力. Purves, D. (1977) 指出,用石灰处理土壤增加它的 pH 值,大多数的微量元素的有效性降低,对于元素锰和硼,结果是相当显著的.除此之外,铝显著地表现出在较碱性的条件下有效性提高.从图 1 可以明显的看出,在不同 pH 值的条件下,一些元素有效性的变化.

据报道,生长在根际缺少磷酸盐的植物比生长在磷酸盐充足的,铅在叶中的积累高 3—8 倍,在足够的磷酸盐中,玉米幼株的叶

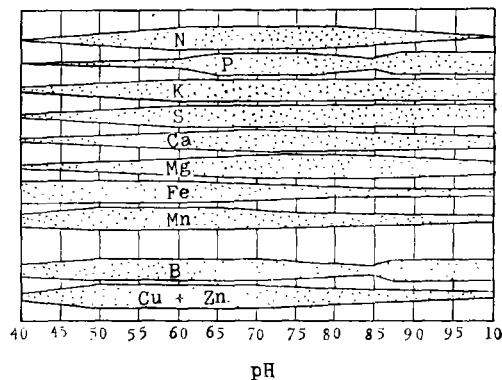


图 1 pH 值对植物营养元素有效性的影响.

转引自 R. R. Brooks(1972)

子,铅含量为 936 毫克/公斤。土壤中砷化合物的组成是受土壤中的酸度、铁、铝、钙、磷等的含量的影响。活性铝高的土壤,甚至在大量使用砷以后,对植物的毒性也较小。镉对一些谷物是有相当的毒性的,但在镉存在的情况下,通过根系进入到植物体里的镉对植物的毒性明显的减轻。缺硫的土壤中植物的铅含量较高。铜可以阻碍许多元素的吸收。钙与锌、锰、铁、钾、硼等均有拮抗作用。

(二)

在环境中的化学因素影响下,有些植物很敏感,不能忍受和适应而逐渐死亡、被淘汰;有些植物能通过调节体内生理生化代谢过程的某些环节,吸收积累这些元素,适应或忍耐这种环境,它们被保留下来,进而使有些植物的某些器官或组织发生变异、变态或演化成忍耐生态型、变种或新种以适应高的金属含量的环境。A. П. 维诺格拉多夫指出:发生变异的最初特征是某个种提高(或降低)某化学元素的含量,即首先产生出一些生理上的变种,但从外表上看几乎没有变化。继之人们可以观察到一系列复杂的外形变化,出现新的颜色,新的化学物质及其数量上发生改变等。植物的这些变化,以各种名称被记录下来,如形态型、变种、生态型、化学诱变型等。

Duvigne 等(1963)和 Wild(1968)根据植物对铜的适应,提出了三种“铜植物”类型:生长在含铜5000—10000毫克/公斤以上土壤上的“多铜植物”;限于土壤中 800—2000 毫克/公斤的植物是“少铜植物”以及群集在整个含铜土壤范围内的“广铜植物”(eurycuprophytes)。Lambinon 和 Auguier(1964)根据欧洲土壤金属污染的实例,划分了金属污染土壤上的植物等级,分为金属植物和假金属植物两大类。Rune, O. (1953)认为出现在比利时、波兰、法国和澳大利亚的异极矿土壤上的芦苇叶堇菜 (*Viola calaminere*) 和芦苇

叶荇蓂,分别是欧洲黄堇菜 (*V. lutea*) 和高山荇蓂 (*T. alpestre*) 的化学诱变型 (chenomorphoses)。石竹科蝇子草属植物 (*Silene cabalticola*) 已被记载为钴的积累者,而蝇子草属另一种植物 (*S. cucubalus*) 的变种能积累锡、锌和铜,这些变种已分别被称为 *S. inflata*、*S. latifolia*、*S. vulgaris*。

据试验,在施加高浓度铜的碳酸盐的土壤上,来自铜矿顶部的女娄菜属植物 (*Melandrium silvestre*) 的种子比来自非污染土壤上的这种植物种子生长的更好,在高浓度中后者幼苗死亡,来自铜矿上的植物增加抗铜力是自然选择的结果。近几十年来相继报道了细弱剪股颖 (*Agrostis tenuis*) 是忍耐铅、锌、铜、镍的生态型,羊茅 (*Festuca ovina*) 是耐铅生态型。

植物忍耐金属的机制是非常复杂的,涉及到植物生态学、生理学和生物化学等方面的研究。Peterson, P. J. (1971) 归纳了已有的结果提出了三种情况:(1) 有毒元素从细胞中排斥或部分排斥。如生长在铅矿脉上的锐利三齿稗草 (*Triodia pungens*) 和灰叶属植物 (*Tephrosia* sp.) 也不含高量的铅,生长在含铅高达 1000 毫克/公斤的土壤上大概使它们有能力限制铅的积累。香拟婆婆纳 (*Hebe odora*) 生长在具有较高铬含量的土壤上,而本身铬含量却很低。(2) 受细胞壁的限制。如锌、铜和钴等常常被细胞壁粘合,剪股颖属植物的耐锌种群,大约有 75% 的锌是不溶于水的,而非忍耐种群中的锌大约有 75% 是可溶的。忍耐锌的机制可能归于阳离子在细胞壁部分粘合。(3) 元素进入细胞后被代谢,一种可能是与其它的化合物粘合在一起。如耐汞植物可和非蛋白质巯基的过刺相联系,与汞形成不可溶的络合物。铝、铬等也有类似情况产生。这样进入到植物体中的某些金属元素,首先大部分被束缚在根中,很少向地上部转移。如菊科婆罗门参属植物 (*Trachypogon spicatus*) 的叶中铜的含量变动

在 2—16 毫克/公斤之间,根的含量在 1200—2600 毫克/公斤之间,同时其中有 50% 是难溶态。唇形科植物 (*Becium homblei*) 的根中积累的铜有 70—80% 是非溶解态。有的落叶植物,叶中积累大量的金属元素,在生长末期,通过落叶使积累的金属元素排出体外。

在金属污染的土壤上,有些植物形态上常常发生各种各样的变异或变态等。金属离子以及放射线能够影响花的颜色,这主要是由于色素的变化所引起的。如花青甙形成的红色锌镧盐 (red oxonium), 当它们与过多数量的铁、铝、铬、锡、铋或其它金属化合时,变成兰色。园林工人向土壤中施加铁和铝使红绣球花属的一种植物的花变为兰色,正是成功地利用了这一机制。在铬污染土壤上的桃金娘科植物 (*Leptospermum scoparium*) 的花,从正常的白色或淡粉红色变为兰-红形态的花。生长在南乌拉尔镍沉积物土壤上的伸展白头翁 (*Pulsatilla patens*) 的花呈白色。

植物中金属元素的过量,可以引起植物其它部分的变异。如锌矿区钟形罂粟 (*Papaver macrostemon*) 具有缺刻的花瓣; 这种植物生长在含有高的铜和钼的土壤上时,花瓣具有黑色条纹。生长在美国铀矿地区的十字花科植物 (*stanleya*) 产生了无花瓣的花,并且没有雄蕊。铬、钴、铜、钼、镍和锌在土壤中过剩可与铁相对抗,引起植物叶缺铁退绿病等,这在植物中已是普遍现象。

土壤中高的金属含量引起的植物变异还表现在植株的变态上。常见的有植物生长特别肥大或矮小。如在 New Zealand 生长的灌木海桐花 (*Pittosporum rigidum*), 在正常条件下生长到近 5 米高,在含镍、铬高的蛇纹岩地区是一种几十公分高的垫状植物。在土壤中硼的含量中等时,有的植物如莱克蒿 (*Artemisia leraheana*)、伏地肤 (*Kochia prostrata*)、海蓬子 (*Salicornia herbacea*) 比生长在正常硼含量的土壤上肥大; 在高含硼土壤上更肥大,而优若 (*Eurotia ceratoides*) 产生

矮态或变态——有的分枝增多,平卧态变得显著。在富含镍的南乌拉尔生物地球化学省中发现长毛紫菀和紫菀,也具有畸形形态。放射性污染土壤上植物的变异同样有花的颜色变化,有形态的变异,有些植物缺少花瓣或雄蕊,并具有非常大的绿色萼片等。

综上所述,可以明显看出,环境中(主要是土壤)金属元素浓度的增高,植物能或多或少地聚积这种元素。有的植物能通过调节体内的生理生化代谢过程中某些环节,吸收积累这些元素,在一定范围内而不中毒,成为忍耐种。有的植物某些器官或组织发生某些形态变化或演化成忍耐生态型、变种或新种,成为金属污染区(或金属矿区等)特有的植物区系。对这些变化规律的研究实际上已经发展了一门新的边缘分支学科——植物化学生态学。它正是把环境中(主要是土壤、水、大气)的化学因素作为一种生态因子,研究植物和植物群落种类组成及其分布与化学因素的关系。研究化学因素与植物对元素的吸收、积累和忍耐、变异之间的关系,以及对植物生长发育等影响。它是植物生态学的一个分支,是生物地球化学的重要组成部分。近几十年来在这些方面所取得的成就为植物化学生态学的发展积累了大量的资料,一些学者也不同程度地对化学生态学进行了论述。人类对自然界认识的不断深入,为植物化学生态学开辟了更广阔的途径,尤其是近一、二十年来环境科学的崛起,必将大大推动它的发展。

参 考 文 献

- [1] 中国地理学会自然地理专业委员会,生物地球化学省与植物——土壤元素交换,1—34 页,73—83 页,科学出版社,1965 年。
- [2] 侯学煜等,中国 150 种植物的化学成分及其分析方法,高等教育出版社,1959 年。
- [3] 芳野充男,植物的金属过剩症,植物生态学译丛,第二集,74—79 页,科学出版社,1976。
- [4] Antonovics, J. et al., *Advances in Ecological Research*, 7, 1—72 (1971)。
- [5] Brooks, R. R., *Geobotany and Biogeochem-*

- istry in Mineral Exploration, New York, San Francisco, London, 1972.
- [6] EPA, *Ecological Research Series*, EPA 660/3-74-012, (1974).
- [7] Etherington, J. R., *Environmental Plant Ecology*, London, New York, 1975.
- [8] Peterson, P. T., *Science Progress Oxf.* 59 (263), 505—527 (1971).
- [9] Purves, D., *Trace Element Contamination of the Environment*, Amsterdam, Oxford, New York, 1977.
- [10] Sanchelli, V., *Trace Elements in Agriculture*, Van Nostrand C Company, 1969.
- [11] Shackletic, H. T., *Cadmium in Plants*, US Government Printing Office, Washington, 1972.
- [12] Smith, W. H., *J. Air Pollut. Control Ass.*, 26 (8), 753—766 (1975).

甲基汞生化毒理研究新进展*

李 志 超

(白求恩医科大学)

本世纪 50 年代,日本出现了水俣病。各国对甲基汞问题给予了极大的关注。近些年来,随着生物化学及与之密切联系的神经化学、神经药理学等学科的迅速发展和新技术的广泛应用,各国对甲基汞神经毒作用的机理研究也取得了一定的进展。

本文从生物化学角度,把近几年来国外所报道的有关甲基汞对神经系统酶、神经介质及神经系统蛋白质合成上的影响加以整理,作一介绍。

一、甲基汞对神经系统酶活性的影响

众所周知,甲基汞中毒主要表现为感觉障碍、视野缩小、听力降低、共济失调和精神障碍等神经系统症状。而神经系统的正常代谢和功能又必需在一系列酶的参与下才能得以完成。据此,许多学者认为甲基汞的神经毒作用机理,可能与神经系统酶活性变化有关。

最近, Tsusuki^[1] 研究了投给大鼠氯化甲基汞的急性试验(8 毫克/公斤体重,连续 5 天),脑中含巯基酶活性的变化,发现其脑中非蛋白质结合巯基含量高于对照组;而总巯基和蛋白质结合巯基含量均未见明显变化。

琥珀酸脱氢酶和单胺氧化酶活性分别被抑制了 24.3% 和 38.2%。葡萄糖 6-磷酸脱氢酶和谷胱甘肽还原酶活性未受到抑制。作者认为,大鼠脑中琥珀酸脱氢酶和单胺氧化酶活性的抑制,可能是甲基汞作用于酶的配合基,或者是与酶所催化的底物形成复合物所致。甲基汞未直接作用于酶的活性中心,亦未破坏酶蛋白质分子中的巯基键,因此认为甲基汞与酶任何部位结合,均可导致酶活性的改变。

Dwivedi^[2] 报道,投给大鼠氯化甲基汞后,脑中乙酰胆碱转移酶的活性遭到明显的抑制。作者又对给予氯化甲基汞的大鼠进行病理组织学检查,发现小脑中神经元有变性和坏死,根据这一结果,作者指出甲基汞中毒可能与胆碱能系统的损害有关。

Chang^[3] 用酶组织化学的研究方法,证实了投给大鼠甲基汞后(1 毫克/公斤体重,4 周),脑中琥珀酸脱氢酶、ATP 酶和硷性磷酸酶的活性明显降低;但是酸性磷酸酶的活性却升高了。Chang 认为琥珀酸脱氢酶、ATP 酶和硷性磷酸酶活性的降低是甲基汞损伤线

* 毛乾荣同志对本文作了审校,特此致谢。