

钼素营养 及其在烤烟上的应用

宋泽民 李章海 武 丽◎主编



中国科学技术大学出版社

钼素营养 及其在烤烟上的应用

宋泽民 李章海 武 丽◎主编

中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

本书是在科研项目研究成果的基础上,吸收国内外钼素营养的先进研究成果编写而成的。全书包括钼素营养概论、烤烟钼素营养作用、烤烟钼肥施用技术和烤烟施钼实践四部分。本书阐述了钼素营养的生物学功能,土壤中钼素的来源、形态和转化,影响土壤钼素有效性的因素及作物对钼素的吸收利用等。详细阐述了钼素营养对烤烟生长发育和品质形成的作用,烤烟产量和质量性状土壤有效钼缺乏临界值和烤烟施钼技术。对我国农业生产,尤其是烤烟生产科学使用钼肥具有重要的指导作用。

本书可供农业或相关专业研究者和从业者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

钼素营养及其在烤烟上的应用/宋泽民,李章海,武丽主编. —合肥:中国科学技术大学出版社,2016.4

ISBN 978-7-312-03912-6

I. 钼… II. ①宋… ②李… ③武… III. 钼—应用—烟草—施肥—研究 IV. S572.06

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 023087 号

出版 中国科学技术大学出版社
安徽省合肥市金寨路 96 号,230026
网址:<http://press.ustc.edu.cn>
印刷 安徽省瑞隆印务有限公司
发行 中国科学技术大学出版社
经销 全国新华书店
开本 880 mm×1230 mm 1/32
印张 7.375
插页 4
字数 226 千
版次 2016 年 4 月第 1 版
印次 2016 年 4 月第 1 次印刷
定价 32.00 元

编 委 会

主 编 宋泽民 李章海 武 丽

副 主 编 李余湘 罗红香 陈永安

编写人员(按姓氏笔画为序)

龙庆祥(贵州省烟草公司黔南州公司)

刘会忠(贵州省烟草公司黔南州公司)

李余湘(贵州省烟草公司黔南州公司)

李章海(中国科学技术大学)

宋泽民(贵州省烟草公司黔南州公司)

张西仲(贵州省烟草公司黔南州公司)

陈永安(贵州省烟草公司黔南州公司)

武 丽(安徽农业大学)

罗红香(贵州省烟草公司黔南州公司)

罗倩茜(贵州省烟草公司黔南州公司)

赵美波(福建中烟工业有限责任公司)

徐明勇(贵州省烟草公司黔南州公司)

韩忠明(贵州省烟草公司黔南州公司)

熊茂荣(贵州省烟草公司黔南州公司)

前 言

钼元素具有多种生物功能,植物、动物和微生物以及人类生物体中有 30 多种酶的活性需要钼的参与。钼是生物生长发育的必需元素,具有高度特殊的生理、生化功能。因此它得到了当前生命科学工作者的关注。

一般来说,人类和动物主要从食物中获取钼营养,而植物主要从土壤和肥料中吸收钼营养。据相关资料报道,我国土壤的钼含量是 $0.1\sim 6.0\text{ mg/kg}$,平均含量是 1.7 mg/kg ,低于世界土壤的平均钼含量 2.0 mg/kg 。我国很多土壤属于低钼或缺钼土壤,土壤有效钼缺乏区域分布很广,包括广东、广西、江西、四川、湖北、安徽、浙江、江苏、河南、山西、陕西、宁夏、黑龙江、辽宁、甘肃、内蒙古、西藏等省(自治区)都是缺钼土壤的主要分布区。耕地和非耕地土壤的缺钼和严重缺钼的面积比例变幅为 $39.5\%\sim 96.2\%$,绝大多数在 85% 以上,严重缺钼的面积比例绝大多数在 50% 以上,基本不缺钼的面积比例绝大多数在 10% 以下。缺钼已经成为限制我国农业生产的重要因素之一。

我国的烟草消费约占世界总消费量的三分之一,常年烟草种植面积 100 万公顷左右,烟叶产量 200 万吨左右,2013 年烟草行业税利超过 9500 亿元,是我国国民经济发展的主要支柱。黔南是我国贵州省的重要烟区之一,常年烤烟种植面积 $1.5\text{ 万}\sim 2\text{ 万公顷}$,产量 $2.5\text{ 万}\sim 3.0\text{ 万吨}$ 。黔南植烟土壤 80% 以上有效钼含量低于烤烟土壤有效钼缺乏临界值(0.20 mg/kg)。2008~2012 年,黔南州烟草公司和中国科学技术大学合作开展了“烤烟钼素营养作用机理及应用

研究”项目。该研究认为,钼元素也是烟草生长发育的必需元素,能增强烟草体内硝酸还原酶活性,促进烤烟硝态氮的吸收和转化,有利于烤烟的早发健长;能抑制烟叶烘烤过程中多酚氧化酶活性,从而降低酶促棕色化反应的发生,减少杂色烟和挂灰烟比例。缺钼土壤施钼能增加烟叶产量,改善烟叶油分,提高烟叶内在质量。该项目还系统地研究了烤烟产量和质量性状土壤有效钼缺乏临界值和烤烟施钼技术。为了推动项目成果在我国缺钼土壤农业生产上的应用,我们在项目研究成果的基础上,吸取了国内外有关钼素营养的研究成果,编写了此书,以期对我国农业生产(尤其是烤烟生产)中科学使用钼肥提供指导。

本书内容主要包括钼素营养概论、烤烟钼素营养的作用、烤烟钼肥施用技术和烤烟施钼实践四部分。可供农业或相关专业研究者和从业者阅读。

书中引用了同行的大量资料和成果,在此谨致谢忱。

由于编写时间仓促和作者学识有限,书中存在错误和疏漏在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2016年2月

目 录

前言	(i)
第一章 钼素营养概论	(1)
第一节 钼素的生物学功能	(1)
第二节 土壤中钼含量及其存在形态	(22)
第三节 影响土壤钼有效性的因素	(38)
第四节 植物对土壤有效钼的吸收、缺乏和补充	(51)
第二章 烤烟钼素营养的作用	(71)
第一节 钼素营养对烤烟干物质形成和钼素积累的影响	(71)
第二节 钼素营养对烤烟生长发育过程中主要生理指标的影响	(80)
第三节 钼素营养对烤烟烘烤过程中酶促棕色化反应的影响	(102)
第四节 钼素营养对烤后烟叶油分表征化学物质的影响	(112)
第五节 烤烟钼素营养的缺乏临界值与缺钼症状	(115)
第三章 烤烟钼肥施用技术	(131)
第一节 烤烟苗期施钼技术	(131)
第二节 烤烟大田期合理施钼剂量	(140)

第三节	烤烟大田期合理施钼方法	(155)
第四节	烤烟施钼技术应用	(169)
第四章	烤烟施钼实践	(171)
第一节	黔南烟区土壤有效钼含量与分布	(171)
第二节	烤烟钼肥推广效果	(198)
第三节	黔南烤烟施钼经济效益调查	(213)
附录		(214)
参考文献		(221)

第一章 钼素营养概论

第一节 钼素的生物学功能

一、钼素的概念及其发现

钼(Mo)是一种特殊的过渡金属元素,在地表和海水中含量丰富,而在地壳中含量较低(1.2~1.5 mg/kg)。钼元素是1778年发现的,20世纪30年代发现钼是一些微生物必需的营养元素。1939年D. J. Arnon和P. R. Stout发现在番茄上存在着缺钼症状,证实钼是高等植物所必需的,钼是最后被证实的植物必需的微量元素。但是D. J. Arnon和P. R. Stout怀疑在田间条件下植物是否也会缺钼,因为植物对钼的需要量是很低的。他们认为“钼对高等植物的必需性可能注定它永远是仅供试验室欣赏的珍宝”。但是时隔不久,在1942年A. J. Anderson便证实了在澳大利亚的一些牧场上钼是三叶草生长的限制因子,每公顷牧草只施用5 g钼便会使产量显著增加。在以后的年代里,在成百万公顷的土地上证实了钼是牧草生长的限制因子。1953年,Richert等证实了提纯的黄嘌呤氧化酶中含有钼,并证实钼在哺乳类动物体内的代谢作用,确定钼是目前二、三过渡系列元素中唯一的生物体必需的微量元素。20世纪80年代,发现一个24岁青年在长期全肠外营养条件下出现的一系列症状通过补充钼后完全消失,由此认识到钼是人类又一必需的微量元素。近年来又发现钼是大脑必需的七种微量元素(铁、铜、锌、锰、钼、碘、

硒)之一,而且认为钼是一种人类抗癌元素。钼素不仅对动植物的营养及代谢具有重要作用,对人体也有重要的生理功能,而且由于钼具有特殊的生理生化功能,因此得到了当前生命科学研究者的高度关注。

二、组成生物体的含钼酶及其功能

钼素具有多种生物功能,植物、动物和微生物都需要钼,有 30 多种酶的活性需要钼的参与。科学杂志上刊登的一篇题为《钼支撑生物无机团》的文章,揭示了钼在动物、植物和微生物的钼酶中所起的关键性作用以及钼的环境学、农学和生物医学意义。钼素对生物体的生理功能主要体现在含钼酶、碳氮代谢和激素代谢等多方面。下面介绍钼素的主要生物学功能。

钼是第二过渡系金属元素中唯一具有特殊生物功能的元素,但钼本身没有生物活力,钼的生理功能是通过各种钼酶或辅酶发挥作用的。含钼酶一般分为两种:一种是固氮酶,它含有特殊的多金属簇,称为铁-钼辅因子,固氮酶主要用于生物固氮中催化 N_2 还原成 NH_3 ;另外一种是通过钼活性中心催化底物 2 个电子的氧化(水解)还原(脱氢)反应的氧转移酶和脱氢酶,如黄嘌呤氧化酶(XO)、亚硫酸盐氧化酶(SO)、醛氧化酶(AO)、吡哆醛氧化酶(PO)、硝酸还原酶(NR)、黄嘌呤脱氢酶(XDH)、二甲亚砜还原酶(DMSOR)等。含钼酶存在于所有生物体内,参与蛋白质、含硫氨基酸和核酸的代谢。含钼酶参与生物系统反应的共同特点是将偶数电子转移到底物,或者将底物的偶数电子向呼吸链传递,从而参与细胞的电子转运链。所有含钼酶几乎都含有钼辅因子(MoCo),通过氧化-还原反应,参与含钼酶的各种催化反应。生物体中各种含钼酶活性与 Mo 的含量有关,Mo 是通过这些酶参与机体代谢而达到其营养作用的。现已证实高等植物中主要有 4 种含钼酶,分别为硝酸还原酶(NR)、黄嘌呤脱氢酶(XDH)、醛氧化酶(AO)和亚硫酸盐氧化酶(SO)。

(一) 钼辅因子

钼辅因子(MoCo)是真核生物钼酶的重要组分,在小麦、大麦、烤烟、拟南芥等植物中都确证有钼辅因子的存在。所有的钼辅因子都有一个共同的与单个 Mo 配位结合的非蛋白有机组分,称为钼蝶呤。在利用钨而非钼的喜温性微生物中,钼蝶呤也与钨配合。整个辅因子单位,包括金属及其特异性配合物,被命名为钼辅因子(钨辅因子)。钼辅因子是植物体内硝酸还原酶、黄嘌呤脱氢酶、亚硫酸盐氧化酶、醛氧化酶等钼酶的共同组分之一。Mendel(1983)在烤烟、大麦和水稻中均发现了 MoCo 突变体植株,MoCo 缺失突变体会丧失硝酸还原酶、黄嘌呤脱氢酶和醛氧化酶活性。

高等植物的钼辅因子的合成大致有三步:先是鸟苷-X-磷酸衍生物转化为蝶呤化合物(称为前体 Z),前体 Z 形成钼蝶呤(MPT),最后 Mo 插入 MPT,产生有活性的钼辅因子。烟草突变体(Nicotiana Mutant)有 6 个基团位点(cnxA-cnxF)与有活性的钼辅因子的合成有关,其中 cnxA 位点突变体大体上能合成钼蝶呤,然而不能产生有活力的 MoCo 因子,而钼可修复 cnxA 位点突变体,产生有活性的 MoCo 因子。

(二) 固氮酶

固氮酶是被研究得比较深入的一种钼酶。在生物界,所有固氮过程都需要固氮酶的参与。豆科植物根瘤和非豆科共生固氮结合体中均存在固氮酶,它参与豆科根瘤固氮菌和藻类、放线菌及固氮生物的固氮过程。生物固氮是在常温常压下进行的,而化学固氮则需要高温高压,需要消耗大量能源,从热力学的角度考虑,生物固氮的效率远高于化学固氮。钼是固氮酶的成分之一,因此钼是生物固氮所不可缺少的微量元素。生物固氮酶含钼、铁和酸不稳定性硫,都是由钼铁蛋白和铁蛋白大致以 2:1 的比例构成,这两种蛋白单独存在时并没有固氮活性,仅在两个蛋白共同存在时才表现出固氮活性。豆科作物借助固氮酶把大

气中的 N_2 固定为 NH_3 ，再由 NH_3 合成有机含氮化合物。

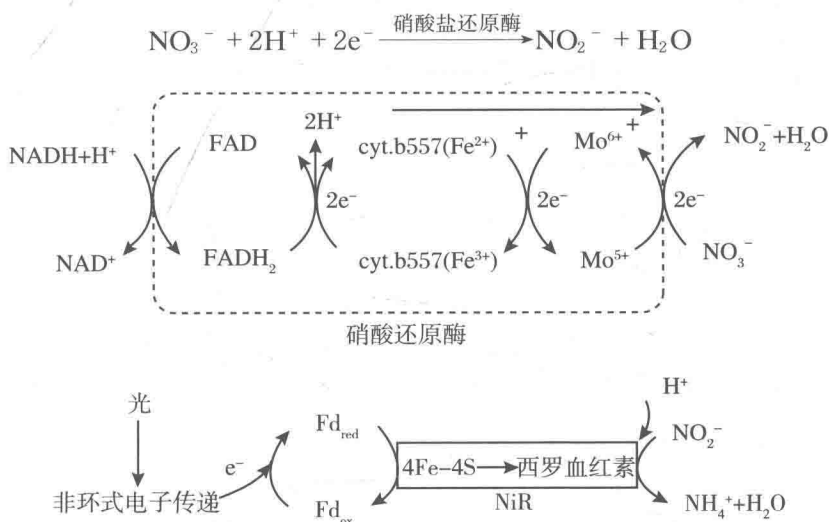


在固氮过程中，铁蛋白先接受铁氧还蛋白或黄素氧还蛋白的 2 个电子而被还原。还原态铁蛋白与 $Mg-ATP$ 复合物通过 P 中心转移电子，同时 $Mg-ATP$ 水解成 $Mg-ADP$ 。还原态钼铁蛋白把电子转移到与钼铁辅因子结合的分子态氮上， N_2 获得能量和电子后就能还原成 NH_3 。钼在固氮酶中起到了电子传递作用。钼还能提高豆科作物根瘤中脱氢酶的活性，加大氢的流入，增强固氮能力。钼不仅直接影响根瘤菌的固氮活性，而且也影响根瘤的形成和发育。缺钼时，豆科作物的根瘤发育不良，固氮能力下降。

(三) 硝酸还原酶

硝酸还原酶(NR)催化硝酸盐同化反应的第一步，在氮代谢中具有至关重要的作用。通常认为，硝酸还原酶存在于细胞质中，是一种分子量为 200~500 kDa 的二聚体蛋白。NR 是由钼辅因子、黄素腺嘌呤核苷酸(FAD)和细胞色素 b557(cyt. b557)三部分构成，它是一个黄素蛋白。黄素腺嘌呤核苷酸是硝酸还原酶的辅基，而钼是硝酸还原酶辅基中的金属元素。每个结构为一个氧化还原中心，催化电子经历 $NAD(P)H \rightarrow FAD \rightarrow \text{细胞色素} \rightarrow \text{钼辅因子} \rightarrow \text{硝酸盐}$ 的传递过程。植物吸收硝态氮素以后，必须经过一系列的还原过程，转变成 NH_3 以后才能用于合成氨基酸和蛋白质。在一系列的还原过程中，NR 是同化无机氮的重要的限速酶，催化硝酸盐还原为亚硝酸盐的反应， NO_2^- 在亚硝酸盐还原酶的催化下还原成 NH_3 ，它是进一步合成蛋白质的原料。同时，NR 又是一种诱导性酶，其活性受到 NO_3^- 和 Mo 共同诱导， NO_3^- 诱导过程速度慢，需要形成依赖 mRNA 的前体蛋白，而 Mo 的诱导速度很快，因为钼只参与前体蛋白激活。供给钼素能提高硝酸还原酶的活性；除去钼，硝酸还原酶就会丧失活性，只有重新供给钼素才能恢复其活性。缺钼植株叶片中的硝酸还原酶，经施钼诱导可明显提高其活性。有试验证明，只供 $NH_4^+ - N$ 的植

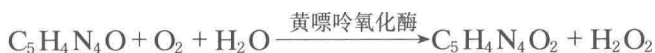
株并不需要钼;但按植物形成单位干物质计算,施 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的植株吸收的钼多于施 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的植株,而硝酸还原酶中的钼主要起电子传递作用,它通过自身化合价的变化,把硝酸盐转变为亚硝酸盐,并进一步转变为 NH_3 。缺钼时,植株内硝酸盐积累,氨基酸和蛋白质的数量明显减少。



喻敏等的研究表明,冬小麦苗期的硝酸还原酶活性与种子钼含量成极显著正相关。钼能显著提高大豆的硝酸还原酶的活性,促进硝态氮的同化作用,提高大豆的抗坏血酸含量和呼吸酶活性。最近有研究表明,硝酸盐不仅是氮同化的底物,它还可能作为一种调控信号调节氮代谢和碳代谢过程并促进根系的发育。

(四) 黄嘌呤氧化酶/脱氢酶

在动物体内,黄嘌呤氧化酶(XO)主要分布于动物肝、肾、肺和小肠黏膜内。XO在核酸代谢过程中不仅能催化次黄嘌呤($\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4\text{O}$)氧化为黄嘌呤($\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_2$),而且能进一步使黄嘌呤氧化生成脲酸($\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_3$)。





植物体内的黄嘌呤脱氢酶(XDH)和动物体内的黄嘌呤氧化酶(XO)结构相似,含有两个相同的亚基,是一种同型二聚体结构,分子量为 300 kDa,每个亚基包括一个钼辅因子、两个 $\text{Fe}_2 - \text{S}_2$ 中心、一个 FAD 以及一个烟酰胺腺嘌呤二核苷酸(NADPH)结合域,XDH 和 XO 虽然名称不同,但它们是同一种酶的复合物。XDH 是以脱氢酶而不是以氧化酶的形式存在于植物的多种组织与器官中,目前已从绿藻、豆类作物根瘤、小麦叶片中分离纯化出黄嘌呤脱氢酶。植物中的 XDH 通常与黄嘌呤和次黄嘌呤有高度的亲和性,也可能以嘌呤和蝶呤为底物,但亲和力较低。在脱落酸(ABA)间接合成途径中,据推测 C_{40} 类胡萝卜素裂解成黄嘌呤核苷后被黄嘌呤脱氢酶氧化成 ABA。烟草突变体 abal 缺失合成 XDH 和 ABA-AO 的钼辅因子,ABA 合成的最后一步脱落酸氧化为 ABA 受阻,ABA 不能合成。黄嘌呤脱氢酶(XDH)可能与衰老过程有关,在衰老过程中,与氧自由基代谢相关的酶活性和过氧化物增加,XDH 在活性氧代谢过程中所起的作用尚不清楚。对于 XDH 在细胞中的亚细胞位置也不清楚,最初认为它存在于微体中,后来有报道指出,在豌豆叶片的过氧化酶体中有 XDH 存在,催化黄嘌呤分解成尿酸。另一方面,对豇豆根瘤的免疫细胞化学研究表明,XDH 存在于细胞质中,而对拟南芥的 XDH 序列分析未见响应的靶信号。

在很多豆科作物中,氮从根到地上部的运输形态是脲、尿囊素和尿囊酸,这几种物质主要由黄嘌呤在 XDH 作用下的催化产物尿酸转化形成,因此缺钼也会影响到氮素在植株中的向上运输,从而使得氮素营养吸收受阻,植株发育差。

(五) 醛氧化酶

醛氧化酶(AO)存在于细胞质中,分子量约 300 kDa,其单体包括 FDA、Fe 和钼辅因子。在动物体内,醛氧化酶参与细胞内的电子传递过程和体内醛的氧化,使醛氧化成羧酸,消除人体内有毒醛类的

毒害作用。在对植物的研究中,玉米、番茄和拟南芥中的 AO 基因已经被克隆。拟南芥中编码 AO 的 4 种 cDNA 定位于不同的染色体上。AO 在植物体激素合成中有重要作用,AO 同工酶可以以脱落醛、吲哚-3-醛、吲哚-3-乙醛、苯甲醛为底物。拟南芥醛氧化酶同工酶 AO₃ 催化 ABA 生物合成的最后一步,使脱落醛转变为 ABA,也有报道指出,AO 催化吲哚-3-乙醛转化为 IAA,拟南芥 IAA 过量突变体 *surl* 中醛氧化酶同工酶 AO1 的活性是野生型的 5 倍。AO 可以氧化玉米胚芽鞘吲哚-3-乙醛为吲哚-3-乙酸,在 IAA 合成部位——生长点 AO 分布较多,可见钼及醛氧化酶对 IAA 的合成有重要作用。MoCo 因子缺失的烤烟、大麦和番茄突变体也缺失 ABA-AO 和 XDH,不能合成 ABA。植物体内的醛氧化酶是一个多基因家族表达的产物,它们催化 ABA 合成的最后一步,也可能催化 IAA 合成的最后一步,而 ABA 和 IAA 在植物的发育和增强对环境胁迫的适应性等方面都具有重要的作用。由于 AO 家族存在广泛的底物特异性,可以推测 AO 可能还参与植物激素合成以外的其他代谢活动,解毒作用和对病源物反应极有可能是 AO 的功能之一。

(六) 亚硫酸盐氧化酶

亚硫酸盐氧化酶(SO)是在动物、植物和菌类生物中存在的一类含钼酶,有还原型和氧化型两种,动物体内主要分布于肝细胞线粒体两层膜之间的空隙处。SO 的唯一底物就是亚硫酸盐(SO_3^{2-} 或 HSO_3^-),它的主要生理作用就是在蛋白质代谢过程中将半胱氨酸产生的有毒 SO_3^{2-} 氧化为无毒的 SO_4^{2-} 从尿中排出。其催化反应为



SO 是否在植物体中存在,有很长时间的争议(Mendel and Bittner, 2006)。直到最近才证实亚硫酸盐氧化酶是植物体中第四种钼酶,并确定它存在于过氧化酶体中,它是一种分子量为 90 kDa 的二聚体,也是迄今为止植物中发现的最小的钼酶,它能以细胞色素、铁氰化物或染料代替氧催化亚硫酸的氧化。从钼辅因子结构域的序

列看,不同来源的拟南芥 SO 和 NR 在序列上有相当大的同源性,这说明这些酶来自一个共同的家族。在哺乳动物 SO 中,在 N 端不仅有钼辅因子亚基,还有血红素。动物 SO 存在于线粒体的片层间,电子从亚硫酸盐传递给血红素,再传递到电子受体细胞色素 c,植物的 SO 很可能需要一个与血红素相似的电子受体蛋白,考虑到植物中 SO 存在于过氧化酶体中,细胞色素 b 极有可能充当 SO 的电子受体功能。既然在叶绿体中没有发现 SO,可以推测 SO 与叶绿体中的硫的同化吸收无关。

三、钼素与人类健康

钼作为人体必需的一种微量元素,对生命的正常新陈代谢和人类健康有着重要的作用。在人体中,钼的生理功能通过各种含钼酶的活性来实现,含钼酶存在于所有生物体中,通过氧化或还原作用,积极参与钼酶的各种催化反应,这些酶与糖类、脂肪、蛋白质、含硫氨基酸、核酸及铁蛋白中铁的代谢有关。人体的生化代谢过程有两种较为重要的含钼酶:黄嘌呤氧化酶与亚硫酸盐氧化酶。黄嘌呤氧化酶是核酸分解的黄嘌呤氧化成脲酸的必需催化剂,主要催化黄嘌呤羟基化并形成脲酸的反应。亚硫酸盐氧化酶催化含硫氨基酸的分解代谢,使亚硫酸盐变成硫酸盐。

成年人体内的含钼量在 9 mg 左右,分布于全身组织及体液内,以肝和肾脏内含量较多。1993 年 WHO 估计了成人钼的需要量为 100~300 $\mu\text{g}/\text{d}$ 。美国食品营养委员会(FNB)制定的成人钼,建议补给量(RDA)为 45 $\mu\text{g}/\text{d}$,孕妇、乳母为 50 $\mu\text{g}/\text{d}$,成年人和 19 岁以上孕妇、乳母最高可耐受摄入量(UL)均为 2 000 $\mu\text{g}/\text{d}$ 。2000 年中国营养学会制定的成人钼适宜摄入量(AI)为 60 $\mu\text{g}/\text{d}$,UL 为 350 $\mu\text{g}/\text{d}$ 。钼主要通过食物链进入人体。人体钼素摄入量减少,组织内钼的含量明显降低,而补充钼则有一定的预防疾病及医疗作用。据调查资料报道,缺钼导致儿童和青少年生长发育不良、神经异常、智力发育

迟缓、影响骨骼生长、龋齿的发生率显著增加,而且会引起克山病、肾结石、大骨节病和食管癌等疾病,且易患高血压、糖尿病。更为严重的是,在一些低钼地区食管癌发病率高,机体内外环境中的钼水平与食管癌的死亡率成负相关,补钼后能降低食管癌的发病率。人体钼缺乏时,亚硝酸盐不能还原成氨,使亚硝酸盐在体内富集,将会导致癌症的发生。缺钼增加了二氧化硫中毒的敏感性,先天性亚硫酸盐氧化酶缺乏的小孩,有严重的脑损伤,智力发育迟缓,易于夭折;年轻人可表现为智力发育迟缓,有神经系统病变,多数还有晶体损害,这都与缺乏活性钼辅因子有关。1981年,Ahumrad等报道了一例由于长期使用完全肠外营养引起的钼缺乏症,病人出现心动过速、呼吸急促、剧烈头痛、夜盲、恶心、呕吐,继而全身水肿、嗜睡、定向力障碍,最后病人昏迷不醒。据资料报道,钼促进铁的新陈代谢,保持男子的性能力,钼还可以预防贫血和癌症。

图1-1说明了人类、动物、植物和土壤之间的密切关系。钼素通过植物和动物来源的食物进入人体。植物可视为一个中间的贮存器。钼素通过植物由原有的来源进入其他有机体,而植物生长和产品的质量又在很大程度上因土壤而异,从而形成了一个食物链。

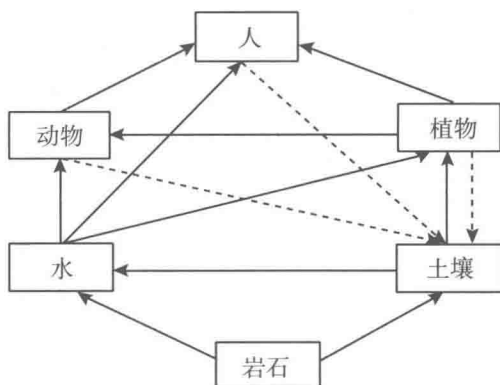


图1-1 人类、动物、植物和土壤之间