

植物生长的有益元素

何念祖 孙其伟 编著

上海科学技术出版社

植物生长的有益元素

何念祖 孙其伟 编著

上海科学技术出版社

植物生长的有益元素

何念祖 孙其伟 编著

上海科学技术出版社出版、发行

(上海瑞金二路450号)

浙江农业大学印刷厂印刷

开本787×1092 1/32 印张8.75 字数190000

1993年1月第1版 1993年1月第1次印刷

印数1—1000

ISBN 7-5323-3089-3/9·338

定价: 6.00元

(沪)新登字108号

前 言

编著本书首先是为了生产的需要。当前大量冠以“素”与“宝”之类的微量元素肥料制品充斥市场,有的确有增产效果,有的包装虽漂亮却不见效,不知用哪种好,使人困惑。前几年浙江某县的一个乡镇企业,从上海某单位引进“维生素C螯合钛”技术,花费近10万元,想在浙江省有一用武之地,可是事与愿违,这个“宝”非要跨过黄河才能显示它的一点神通。我们想通过这本书,使有关的人少走这类弯路。

当然,本书对于植物营养的研究也有所启迪,我们不能局限于16种必需营养元素。书中涉及到环境保护、人畜健康与营养等方面的问题,对于这些领域的研究者也有一定的参考价值。

最后,编著本书也为了教学的需要,可作为植物营养(原土壤农化)专业、农学专业、园艺专业、桑茶专业的学生选修或教学参考书之用。

由于国内尚无这方面的系统论著,又限于编者水平,争论之处不少,谬误之处也有,恳请读者批评指教。

限于篇幅,大部分参考文献没有按照常规列于书后。当然这会对部分读者带来不便,但对大部分直接应用本书的读者并不重要。在这里,我们对提供本书材料的国内外研究者谨表谢意。

最后,我们对《植物营养原理》的合作者孟赐福先生表示感谢,因为本书是在该书的第七、八章的基础上编写而成的。

编 者

1992年1月于杭州

浙江农业大学土化系

目 录

§1 植物的有益元素	(1)
一、必需元素与有益元素	(1)
二、有益元素与有害元素	(5)
三、有益元素与人和动物的健康	(6)
§2 锂 (Li)	(7)
一、植物体中的Li	(7)
二、土壤中的Li	(9)
§3 钠 (Na)	(11)
一、Na的植物营养作用	(11)
二、土壤中的Na	(18)
三、含Na肥料的施用	(19)
四、植物的盐害与耐盐性	(20)
§4 银 (Ag)	(36)
一、植物体中的Ag	(36)
二、土壤中的Ag	(38)
§5 锶 (Sr)	(39)
一、植物体中的Sr	(39)
二、土壤中的Sr	(40)
§6 镉 (Cd)	(42)
一、植物体中的Cd	(42)
二、环境和土壤中的Cd	(52)
三、植物Cd污染的控制	(55)
§7 铝 (Al)	(59)
一、植物体中的Al	(59)

二、土壤中的 Al	(83)
三、Al毒的防治	(87)
§ 8 硅 (Si)	(91)
一、植物体中的 Si	(91)
二、土壤中的 Si	(108)
三、Si肥及其合理施用	(114)
§ 9 钛 (Ti)	(119)
一、植物体中的 Ti	(119)
二、土壤中的 Ti	(123)
三、Ti肥的施用	(124)
§ 10 铅 (Pb)	(125)
一、植物体中的 Pb	(125)
二、土壤中的 Pb	(133)
三、控制 Pb 对植物污染的措施	(137)
§ 11 钒 (V)	(139)
一、土壤中的 V	(139)
二、植物体中的 V	(139)
§ 12 铬 (Cr)	(144)
一、植物体中的 Cr	(144)
二、土壤中的 Cr	(149)
§ 13 硒 (Se)	(154)
一、植物体中的 Se	(154)
二、Se 与人类和动物的健康	(168)
三、土壤中的 Se	(173)
四、Se 肥的施用和 Se 毒土壤的改良	(183)
§ 14 碘 (I)	(189)
一、植物体中的 I	(189)
二、土壤中的 I	(196)
三、I 肥及其施用	(200)

§ 15 氟 (F).....	(201)
一、植物体中的 F.....	(201)
二、F对人和动物健康的影响.....	(207)
三、土壤中的 F.....	(208)
§ 16 钴 (Co).....	(212)
一、植物体中的Co.....	(212)
二、土壤中的Co.....	(220)
三、Co肥的施用.....	(224)
§ 17 镍(Ni).....	(227)
一、植物体中的 Ni.....	(227)
二、土壤含Ni量及其有效性.....	(239)
§ 18 砷 (As).....	(241)
一、植物体中的As.....	(241)
二、土壤中的As.....	(247)
三、减轻植物As毒害的措施.....	(252)
§ 19 稀 土 元 素.....	(254)
一、概 述.....	(254)
二、稀土元素对植物生长的影响.....	(255)
三、土壤中稀土元素的含量及其有效性.....	(262)
四、稀土肥料的施用.....	(264)
附：化学元素符号与名称对照表.....	(268)
主要参考文献.....	(269)

§ 1 植物的有益元素

一、必需元素与有益元素

什么是植物的要素？这是一个古老而直至目前尚未完全解决的问题。在李比西(Liebig)确立矿质营养学说以前，人们只知道植物生长发育需要C、H、O、N、P、K、Ca、Mg、S、Fe等10种营养元素。以后随着实验研究技术的进步，又陆续发现Mn、B、Zn、Cu、Mo等也是植物生长发育的营养元素。目前在植物体内经常可以检测到70种以上的元素，自然界存在的所有元素，甚至人造元素都可以在植物体内找到。如果按照李比西的观点，凡是进入植物体内的矿物质都是植物生长和形成产量所必需的，这势必引起混乱。这恐怕也不是事实，至少目前是这样。因为其中许多元素，在植物体内究竟有何功能至今并不了解。后来，Arnon和Stout(1939)根据严格的水培试验，提出了构成植物营养必需元素的三个条件：

(1)这种元素对于植物的正常生长和生殖应该是必要的，当它完全缺乏时，植物的营养生长和生殖生长的全过程不能完成；

(2)植物对于这种元素需要是专一的，其他元素不能代替它的作用，缺乏这种元素，植物产生一定的特殊症状，满足这种元素，症状就会消除；

(3)这种元素必须在植物体内直接起作用，而不是仅仅使其他某些元素更容易生效，或者仅仅是对其他元素发生抗毒的效应。

根据这三条原则,1954年又证明并公认Cl是高等植物第16个必需营养元素。到目前为止,普遍公认的高等植物的必需营养元素就是这16个。植物体内的其他元素对植物可能是有益的,也可能没什么作用,有的元素甚至是有害的。

植物的有益元素指的是能促进植物生长发育,但不为植物普遍所必需的、或在一定条件下为植物所必需的元素。

植物具有从周围环境有选择性地吸收无机元素的能力,生物圈组成的变化,植物在进化过程中这种能力也发生变化。在不同地质时代,由于环境中某一元素(特别是金属元素)特别丰富,植物在长期进化过程中,代谢过程的某些环节上会发生改变。除了普遍所必需的营养元素外,有时还需要某种元素,而这一种元素实际上是这一种类的必需营养元素。许多积累植物(或指示植物)的存在,可以说明这种情况。如茶树,原生在存有大量活性Al的酸性土壤上,因而它的生长发育必须要有Al的存在。同样,在高Na环境下形成的某些C₄植物,它们的生长离不开Na。因此,植物种之间存在对必需营养元素质的差异。

当然,积累植物能在体内大量积累某一种元素,在共质体中的浓度可高于一般植物。但积累植物也能够将多余的元素从共质体中排出,固定在细胞壁上,或利用质膜上的氧化还原屏障和pH屏障,使它不能进入共质体,不能到达代谢敏感部位;或者将这种多余的元素通过有机酸、蛋白质的螯合作用和液泡的分隔作用,使它失去活性。

有时某种元素不足或过剩,造成代谢过程的激烈扰乱,植物形态发生变化,结果产生对某种元素可以忍耐高浓度的新种类。在诱变育种过程中,也可能产生对必需营养元素质的要求不同的新种类。可惜,在目前大多数情况下,育种工作与营

养研究是分离的,这些可能产生的新种类,由于得不到某种特殊元素的供给,因生长衰弱而被淘汰。人类如果认识这一点,并加以应用,许多农业生产上头痛的问题,可以获得解决。如K的问题,由于资源的逐渐枯竭,已成为或将成为农业生产的限制因素。如果可以通过生物工程,改造栽培作物,使它们体内大部分的K能够为Na所代替,这样,农业生产将不受K资源缺乏的影响。因为地壳含Na量为2.8%,高于K(2.6%),且从海水中提取NaCl要比提取KCl容易得多,但目前还不能做到这一点。

人类对于植物必需营养元素的认识,是不足的。地球上的植物种类繁多,它们的生长环境又千差万别,对环境(包括物质)的要求也多种多样;又由于种类内个体间的差异、突变或因实验材料在化学上异常纯净;或由于不同的农业实践等原因,会使一个从前未认识到的痕量元素或以前不知其功能的已知元素,它的效果突然变得格外显著。如稀土元素,国外研究了半个多世纪,至今还未定论,在实践上并未得到广泛应用。我国这几年推广应用了这些元素,取得了明显的增产效果。试验研究和生产实践证明,这些元素对植物的生长发育是有促进作用的,是有益的。许多研究表明,植物对元素的专一性是有限的,并不是绝对的,在一定条件下是可以代换的。在植物种之间或在不同的生态型之间,不同的代谢途径可以得到相同的必要产物。某些元素在一定的环境下,在某些种类中具有代谢上的意义,不能完全按照由Arnon和Stout提出的原有的、严密的、必要的这三个标准来衡量。我们目前普遍承认的16个必需元素,是各种植物必需营养元素质的共同需要的一个公约数,很可能还不是“最大公约数”。囿于人类认识水平,实际上也很难在必需元素与有益元素之间划出一条清

晰的界线。

Nicholas对植物营养的必需元素提出过新的看法。他认为必需元素是指对植物具有功能或代谢作用的元素,而不管植物对这个元素的需要是专性的还是非专性的。如果按照这个标准,必需元素就不止上面所提的16个,还可以加上Si、Co、Na、V等元素。Ягодина(1982)则认为,植物的必需元素有20个,可分为8组,还有12个准必需元素或有益元素(有*号者):

I: H、Li*、Na、K、Cu、Ag*;

II: Mg、Ca、Zn、Sr、Cd*;

III: B、Al*;

IV: C、Si*、Ti、Pb*;

V: N、P、V;

VI: O、S、Mo、Cr*、Se;

VII: Cl、I、Mn、F*;

VIII: Fe、Co、Ni*。

按这种观点,也就是说,在元素周期表中,第1~4周期,除了Be和惰性气体,外加第5周期的Sr、Mo、Ag、Cd和I,几乎都是植物的营养元素(因为Br实际上对许多植物也具有营养作用)。

当然,Ягодина这种观点远不是完整的。如W这个元素,具有肯定的植物营养功能,可以代替Mo的作用,在分类中没有包括;再如As,在低剂量下对许多植物是有益的;而Li、Ag和Sr这3个元素的材料不多,它们对植物的有益作用还了解很少。不过目前对于有益元素还没有较为完整的专著,因此本书中暂时按照这个系统,对有益元素依次进行讨论。

二、有益元素与有害元素

有益元素中,有些是重金属元素,如Co、Ni、Cr、Cd、Pb;有些是气体元素,如F;有些是类金属元素,如As,往往把它们看作环境(包括土壤)的污染物,因为它们在环境中的浓度,在很多情况下高于它们起有益作用的浓度,因而对植物会产生毒害作用。

实际上任何元素(包括必需营养元素),过量时对植物都会产生有害影响。如N素过量,可使水稻和大、小麦倒伏,空壳率提高,抗性下降;P过量,诱发作物缺Fe、缺Zn,同样也会使结实率下降。再如Zn、Cu、Mn,它们是植物的必需微量元素,但有时在土壤-植物系统中,它们也是污染物。而人们常认为的污染元素,如As、Cd、Cr、Ni等,在低浓度下,对植物的生长有促进作用,只有当它们在土壤中大量积累时,会阻碍植物生长,对植物产生毒害。

因此,有益元素与有害元素(或污染元素)之间,仅仅是量的差异。大多数必需营养元素在植物体内的浓度远远高于土壤溶液中的浓度。按照Bowen(1966)的计算,羽衣甘蓝中,N的含量为土壤溶液的49倍,P 1600倍,K 1150倍,Mn 460倍,Zn 41倍,最少的Ca也有13倍。相反,大多数有益元素,植物对它的数量要求很少,而环境中浓度高,植物体内这些元素的浓度远远低于环境中的浓度。如植物体中Cd的含量为土壤中含量的1.8%,Pb为0.5%,而Cr仅为0.01%。因此有益元素因过量而对作物产生毒害的机会要比必需营养元素的机会多。所以在讨论它们的有益作用时必然会联系到它们的有害影响和防治措施,象讨论N、P、K过量时对作物的不良影响一样。

三、有益元素与人和动物的健康

在有益元素中,有的元素为人类和动物的正常生长所必需,因此,只有当植物体中保持一定的含量时,才能满足人类和动物在营养上的需要。如Na、I、Co、Se、Cr、V、F、Si、Ni、Al、Pb、As、Cd等元素,是人和动物的正常生长不可缺少的,其中,Na是大量必需元素。如果在食物和饲料中缺乏这些元素,或是含量不足,就会影响人和动物的正常生长发育,甚至患病。大多数地方病是由于环境中缺乏某种元素引起的。如果在食物和饲料中,这些元素有适宜的含量,就会减轻这种病害。当然可以直接服用含有这些元素的制剂,或在食物、饲料中,添加有效形态的这些元素来改善人和动物的缺素症状。土壤施用含有这些元素的肥料,通过作物吸收,提高农产品中这些元素的含量,也是常常采用的有效途径。

由于污染而使植物生长的环境中这些元素含量过高时,不仅会影响植物的生长,而且还会通过食物链危及人和动物的健康。

§ 2 锂 (Li)

一、植物体中的Li

早在1873年,Bunsen报道植物体中含有Li。植物含Li $0.1 \sim 10 \mu\text{g/g}$ (表2-1),其中蔷薇科、毛茛科和茄科中有许多种类含Li量较高,禾本科和蓼科植物含Li量较低。烟草、曼陀罗和天仙子是Li的积累植物,褐藻类对Li也有较多的积蓄。大叶藻、小大叶藻和川蔓藻体内Li的含量可高达 $66 \sim 100 \mu\text{g/g}$ 。在干旱气候条件下,茄科中的某些种类含Li可高达 $1000 \mu\text{g/g}$ 。土壤母质对植物的含Li量有较大的影响。由白垩、安山岩、片麻岩和千枚岩发育来的土壤上的植被含Li较多;相反,生长在沼泽泥炭土和河流冲积物发育而来的土壤上以及苏打土上

表2-1 植物含Li量

科	Li ($\mu\text{g/g}$)	植物	部位	Li ($\mu\text{g/g}$) DW
蔷薇科	2.9	芹菜	叶	6.6
毛茛科	2.0	莧菜	叶	6.2
茄科	1.9	玉米	穗和秸秆	0.8
堇菜科	1.3	玉米	子粒	0.05
豆科	0.67	大白菜	叶	0.5
菊科	0.55	莴苣	根	0.2
十字花科	0.54	洋葱	鳞茎	0.3
藜科	0.32	马铃薯	块茎	<4, AW
荨麻科	0.24	番茄	果实	<4, AW
禾本科	0.24	苹果	果实	<4, AW
蓼科	0.10	柑橘	果实	0.2

的植物含Li量较少。大白菜含Li量为外叶>根>茎>内叶。植物叶子含Li量高而根、鳞茎和子粒含Li量低。如小麦子粒含Li $0.025\mu\text{g/g}$, 马铃薯块茎为 $0.045\mu\text{g/g}$ (Quinche, 1987)。但也有根系含Li量比地上部分高的报道, 如根系与地上部含Li量之比黑麦草为4.4, 三叶草为20。叶菜类如莴苣富含Li, 而洋葱、苹果和大部分谷类的子粒中含Li很低。

Li在植物体内输送容易。Ca抑制植物对Li的吸收, 因而能减轻Li对植物的毒害。

Li在植物体内有离子态和牢固结合态两种。

关于Li的植物生理功能, 了解甚少。Li可激活乙酰磷酸酶, 供给离子主动运转的能量, 影响膜的透性, 促进植物对K、Na、Ca、Fe、Mn等元素的吸收。

在某些生物化学过程中, Li可代替Na的作用, 也可影响ATP酶和环状AMP的作用。

Li和Na都可使盐生植物中的聚- β -羟基丁酸解聚酶活化。盐生植物如果缺乏单价离子时易使蛋白质变性, 因而Li对于盐生植物是必需的。

有报道指出, Li促进甜菜中转化酶的活性, 并增加叶中蔗糖向根系的输送; 提高烟草叶子的光合作用强度; 提高马铃薯和胡椒叶中叶绿体的光化学活性和叶绿素含量。

Li能增强作物的抗病性, 当土壤含Li 0.003%时, 小麦白粉病减轻, 菌丝体及分生孢子的生长受到抑制(Vavilov, 1991)。

土壤中的Li含量高时对植物有毒。砂培试验表明 5mg/L 的Li即可对植物带来毒害。柑橘类对Li较敏感, 当叶子含Li $140\sim 220\mu\text{g/g}$ 时就会发生中毒。玉米受到Li毒害时, 根尖受

损,叶脉间出现坏死斑点。

植物体中高量的Li还能引起植物形态的变化,花色也会改变。如菟葵等植物生长在高Li土壤上,无论是营养器官还是繁殖器官,都会发生形态上的改变,原因是Li扰乱了有丝分裂,影响了核酸和蛋白质的代谢。研究表明Li影响染色体的构成,阻碍DNA的合成,因为 Li^+ 可与RNA和DNA结合,且结合力超过 K^+ 、 Rb^+ 和 Na^+ 等单价离子。

Li对动物的生长发育也有影响。用含Li 1mg/kg饲料喂饲的山羊比用含Li 24 mg/kg 喂饲的山羊肝脏重减少16%~51%,出生重下降13%。Li影响到动物体内柠檬酸代谢、N代谢和糖酵解中某些酶的活性;但Li过多,也可危害动物的心、肝、骨骼和肌肉等。

二、土壤中的Li

Li在地壳中分布广泛。酸性火成岩和沉积硅酸盐中含量较高(表2-2)。河水含Li 3mg/L,海水含Li 高达170mg/L。土

表2-2 岩石含Li量

岩 浆 岩	Li ($\mu\text{g/g}$)	沉 积 岩	Li ($\mu\text{g/g}$)
超镁铁质岩	0.5~x.0	泥质沉积	60
镁铁质岩	6~20	页 岩	50~75
中 性 岩	20~28	砂 岩	10~40
酸 性 岩	25~40	石 灰 岩	5~20
酸性火山岩	15~45		

壤含Li量平均26 $\mu\text{g/g}$,主要决定于成土过程,而不是母质,因为Li的移动性大。土壤中的Li往往与Mg和Fe结合,存在于硅酸盐矿物中,也存在于橄榄石、辉石和闪石中,云母和某些粘

土矿物中也含有Li;有时Li还可出现在磷酸盐和硼酸盐矿物中。

砂质土壤含Li较低,发育于湿润气候条件下冰碛物的土壤含Li更低。由于在干旱气候条件下,Li可与 Cl^- 、 SO_4^{2-} 和 BO_3^{3-} 随土壤溶液上升而沉积在土壤上层,因而盐土、栗钙土、湿草原土的含Li量较高。轻质有机质土含Li $1.2\mu\text{g/g}$,冲积土含Li $98\mu\text{g/g}$ 。粘粒对Li有较大的固定力,所以土壤含Li量与粘粒含量高度相关(Anderson, et al 1988)。交换性Li不到交换性总量的0.07%,小于土壤总Li量的1.1%。

我国土壤的含Li量,据杨国治报道(1990),发育于玄武岩的砖红壤较低,而发育于石灰岩的红色石灰土中较高(表2-3)。

表2-3 我国一些土壤的含Li量

(杨国治, 1990)

母 质	土 壤	Li ($\mu\text{g/g}$)
玄武岩	砖 红 壤	19
花岗岩	红 壤	59
花岗岩	红 壤	20
石灰岩	红色石灰土	84
冲积物	水 稻 土	57
	水 稻 土	25