

面向 21 世纪果树生产新技术丛书

李光晨 李绍华 主 编

果树营养诊断与施肥

韩振海 编 著



中国农业大学出版社

总 序

我国是许多果树的原产地，而且有很悠久的果树栽培历史。早在4 000多年前就有关于梨、柿、柑橘、栗、桃、李、杏、梅、荔枝、龙眼等果树栽培的记载。公元前5世纪的《周书》中记有“秋食护梨橘柚”。司马迁在《史记·货殖传》中记载：“蜀汉江陵千树橘，此其人与千户侯等。”湖南长沙马王堆西汉古墓中发现有桃、李种子。从湖北江陵古墓（公元前3世纪）中发现有柑橘果皮及枣、桃种子。从陕西半坡村遗址（约6 000年前）中发掘出了栗、枣化石。银杏是3亿年前古生代二迭纪遗留下来的裸子植物，在山东莒县尚存有树龄3 000年的老树。现在从沈阳到广州都有银杏栽培。猕猴桃原产于我国，系营养丰富的珍贵果品。公元前10世纪《诗经·桱风》中记载：“隰有苕楚。”苕楚即猕猴桃。1906年新西兰从我国引种猕猴桃。现在产于新西兰的猕猴桃行销全世界。该国仅此一项年收入即可达3亿美元。桃、李、杏、梅原产于浙江、江苏、山东、河北。荔枝、龙眼原产于广东、福建。人们称荔枝、龙眼为果中皇后。苏东坡写道：“日啖荔枝三百粒，不辞长作岭南人。”

解放以后，特别是改革开放以来，我国的果树事业有了很大的发展。据统计，1978~1994年，我国果树的栽培面积从165万 hm^2 （约合2 485万亩）上升到726万 hm^2 （约合10 890万亩），产量从656万t上升到3 011万t。其中，苹果种植面积由69万 hm^2 （约合1 034万亩）上升到269万 hm^2 （约合4 035万亩），总产量从228万t上升到903万t；柑橘

种植面积由 15 万 hm^2 (约合 226 万亩) 上升到 112 万 hm^2 (约合 1 680 万亩), 总产量从 38 万 t 上升到 656 万 t。

我国有广阔的山区、丘陵、沙荒地, 发展果树事业的潜力很大。要想在广大的山区丘陵因地制宜地建立高标准、高质量、高科技、高效益的现代化商品生产基地, 必须投入必要的资金、设备和先进的科学技术。现代化的果园经营, 必须选择国内外市场需要的优良品种, 实行工厂化育苗, 建立排灌系统, 实施水土保持、病虫害防治、配方施肥等技术措施; 必须建立现代化的果品采收、选果、洗果、分级、打蜡、防腐保鲜、贮运、加工, 以及商业化经营的企业组织, 以提高在国内外市场的竞争力; 必须组织产供销、贸工农一体化的集体生产合作社或果农协会组织, 建立国内外市场信息网络, 发展市场经济, 扩大果品销路。

中国农业大学李光晨教授和李绍华教授主编的“面向 21 世纪果树生产新技术丛书”, 由高等教育出版社和中国农业大学出版社出版。这套丛书推陈出新, 洋洋大观, 实用性强, 必将为我国果树事业的发展起到一定的指导和促进作用。特此做序, 以表祝贺。

章文才 (签字)

1996 年 11 月于武汉华中农业大学

前 言

“庄稼一枝花，全靠肥当家”。很久以来，我国的广大农民在自己的生产实践中就明确认识了肥料的重要性及施肥的作用。给作物施肥，就使得作物有充足的营养来生长发育、开花结实，并为获得丰收奠定了基础。营养缺乏或营养不平衡，无疑不仅会影响作物长势、产量、品质，在果树上更会使采后果实品质变差及贮藏期间生理病害加重，从而严重影响果品的经济价值和果业的经济效益。

自1981年以来，我国的果树产业发展迅速、规模宏大。果树种植业也因其经济效益高、易管理而成为农村发展经济、农民致富的支柱产业之一，并享有“要想富，种果树”的美誉。但不可否认，虽然目前我国果树面积很大，但单产低，大小年严重，果品品质差。究其原因，除了我国果农比较贫穷、对果树的投入很低以外，在很大程度上与众多果树种植者的技术水平和管理水平低有关。因此，高等院校和科研单位迅速将果树营养的基本知识、营养诊断及其技术和果园科学施肥的方法普及到广大果农中去，就成为迫切的、义不容辞的责任。而这正是我们奉献此书给广大果农和生产第一线的技术人员的初衷，并力图使此书结合我国果园实际，具备实用性、技术新颖性、先进性和可操作性。

近年来，国内有关书籍已渐增多；该书与这些书籍一起，若能服务于我国的果树种植业、并有益于果农朋友，则甚幸。无疑，作者水平有限，书中错误和不妥之处在所难免，欢迎广大果农和读者朋友指正。

目 录

第一章 果树营养的基本理论和概念	(1)
一、果树必需营养元素及其生理功能	(1)
二、有关必需营养元素的基本定律和概念	(2)
三、元素之间的相互作用	(7)
四、果树营养的范畴	(10)
第二章 果树营养现存问题及营养诊断技术	(12)
一、果树营养现存问题	(12)
二、果树营养诊断及实用技术	(21)
第三章 果园常用肥料种类和肥性	(37)
一、有机肥料	(37)
二、无机肥料	(42)
三、影响化肥效应的主要因素	(47)
四、配方施肥与有机生物复合肥	(50)
五、化肥与有机肥的关系及其应用前景	(51)
第四章 主要果树的科学施肥	(53)
一、苹果和梨	(53)
二、桃、杏、李子和樱桃	(59)
三、葡萄、草莓和猕猴桃	(62)
四、柿和枣	(64)
五、山楂、板栗和核桃	(65)
六、柑橘	(67)
七、荔枝	(70)
八、香蕉	(72)

第一章 果树营养的基本理论和概念

一、果树必需营养元素及其生理功能

与自然界的一切生物和物质一样，果树也是由元素作为其基本构成成分所组成的。但是，众多的元素，特别是目前在植物体内已发现的元素就有 70 余种，这些元素都是植物所必需的？还是只有部分元素是植物不可或缺的必需元素？本世纪 20 年代以前，对这个问题尚无明确的答案。其后，随着植物生理学研究的深入和水培等培养技术的发展，提出了作为植物必需营养元素的三个决定性条件，即①在该元素完全缺乏时，植物不能进行正常生长和生殖；②植物对该元素的必需性是很特异的，而不能为任何其它元素所代替。在其缺乏时所产生的特殊缺乏症，只有加入这种元素才能使植物恢复正常；③该元素的作用必须是直接的，即不是由于它使其它元素更易利用，或简单地对另一元素的毒害发生拮抗作用等间接的原因。只有完全符合这三个条件的元素，才被称为植物必需营养元素。至今，已确定了 16 种植物必需营养元素，即碳 (C)，氢 (H)，氧 (O)，氮 (N)，磷 (P)，钾 (K)，钙 (Ca)，镁 (Mg)，硫 (S)，铁 (Fe)，硼 (B)，锰 (Mn)，锌 (Zn)，铜 (Cu)，钼 (Mo)，氯 (Cl)。其中除了 C, H, O 从空气和水中摄取以外，其余元素主要通过根系从土壤溶液中

以离子形态吸收，这些元素称为矿质营养元素。

根据植物体对这些必需元素的需要量及其在植物体内的含量，通常将C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S 9种元素称为大量元素，将Fe, B, Mn, Zn, Cu, Mo, Cl 7种元素称为微量元素。必需元素中的大量元素，在植物体内的含量占干物质的百分之几十至千分之几，其中除K外，C, H, O, N, P, S, Ca, Mg多是植物结构物质、纤维素、原生质、膜的主要组分，也是生理功能物质与微量活性物质如蛋白质、叶绿素、核酸、酶等的主要骨架。微量元素在植物组织内约占每千克干物质的0.1至几百毫克。它们主要是多种酶的辅基或活化剂，Cu, Mn, Fe等为典型的重金属，有明显的变价作用，能可逆地氧化还原，Fe-S蛋白、Cu蛋白、Mn蛋白等作为电子载体，成为细胞生物氧化还原的工具。

大多数金属元素在体内至少有部分是络合或螯合的，部分呈离子态。只有钾是惟一以离子形式存在的元素，非常活跃，极易被再度利用，虽不形成任何结构物质，但对细胞处于生命活跃状态，与钙共同调节原生质胶体状态，气孔闭合，物质吸收运输与细胞透性都是不可缺少的。各元素的生理功能详见表1。

二、有关必需营养元素的基本定律和概念

生物体内自然存在的金属螯合物的构型，是由金属离子配位数不同决定的，不同金属元素构成的螯合物具有化学专一性和稳定性。这些性质就决定了为什么叶绿素含有镁，细胞色素含铁，硝酸还原酶含钼，抗坏血酸氧化酶含铜，碳酸酐酶含锌，这种专一、稳定性是生物系统中螯合物的特点，它

表 1 矿质营养元素在植物体内的主要存在形式及其生理功能

元 素	再 利 用 情 况	主 要 吸 收 形 式	元 素 占 植 物 干 重		物 质 成 分		调 节 生 理 状 态 或 代 谢 作 用	形 成 晶 体	影 响 其 它 元 素 代 谢
			$\mu\text{mol/g}$	% 或 mg/kg	结 构 物 质、微 量 活 性 物 质、生 理 功 能 物 质				
N	可	NO_3^- NH_4^+	214~3 507	0.3%~5%	氨基酸、酰胺、蛋白质、核糖、磷酸、磷脂、胆碱、叶绿素、多种酶和辅酶，如黄素腺嘌呤二核苷酸	氨基酸、核糖、核蛋白、核糖、磷酸、磷脂、胆碱、叶绿素、多种酶和辅酶，如黄素腺嘌呤二核苷酸	参与蛋白质、脂类等代谢过程。直接参与糖酵解、钙吸收的磷酸盐在细胞液中起缓冲作用		
P	可	H_2PO_4^- HPO_4^{2-}	60~323	0.2%~1%	核苷酸、核糖、核蛋白、糖磷酸、磷脂、磷酸腺苷 $\text{ADP} \rightleftharpoons \text{ATP}$ (能量传递、利用、贮存的重要形式) 辅酶 I、I、辅酶 A、黄素蛋白	核苷酸、核糖、核蛋白、糖磷酸、磷脂、磷酸腺苷 $\text{ADP} \rightleftharpoons \text{ATP}$ (能量传递、利用、贮存的重要形式) 辅酶 I、I、辅酶 A、黄素蛋白	多种酶的辅酶或活化剂 (有 46 种酶的最大活性需 K^+ 的存在) 钾一般都是离子态, 调节原生质胶体状态, 提高水合程度, 使粘滞性下降, 生理活性高, 调节保卫细胞紧张度, 影响气孔开闭。钾泵, 担负物质的运转, 缺钾可溶性糖累积, 有可能与聚合成高分子碳水化合物前的运转有关		
K	可	K^+	128~767	0.5%~3%					

续表

4

元素	再利情况	主收形式	元素占植物干重		物质成分		调节生理状态或代谢作用	形成晶体	影响其它元素代谢
			$\mu\text{mol/g}$	%或 mg/kg	结构物质、微量活性物质、生理功能物质	细胞壁果胶钙(中胶组分)琥珀酸脱氢酶活化剂,促进有氧呼吸。影响碳酸还原酶的活性、 α -淀粉酶、ATP酶、磷脂代谢有关酶的活化。影响氮的代谢、蛋白质与RNA的合成、细胞分裂(根、茎端分生组织)			
Ca	不易再利用	Ca^{2+}	125~500	0.5%~2%		细胞壁果胶钙(中胶组分)琥珀酸脱氢酶活化剂,促进有氧呼吸。影响碳酸还原酶的活性、 α -淀粉酶、ATP酶、磷脂代谢有关酶的活化。影响氮的代谢、蛋白质与RNA的合成、细胞分裂(根、茎端分生组织)	调节原生质胶体状态的因素之一。降低原生质胶体的水合程度。提高粘滞性,提高保水力,提高抗寒、抗旱等抗性。影响线粒体的活性,降低呼吸率	中和有机酸,形成草酸钙晶体,解除毒害	与 NH_4^+ , H^+ , Al^{3+} , Na^+ 离子交换,消除单盐毒害作用
Mg	部分较易再利用,部分则形成固定	Mg^{2+}	40~165	0.1%~0.4%		叶绿素、果胶酶、植素、花青素。多种酶的活化剂;硝酸还原酶(NR)与氮素代谢有关;磷酸化酶、果糖激酶、葡萄糖磷酸激酶、磷酸果糖酶等	光合作用的结构物质,促进糖代谢转化、蛋白质合成,改变膜对离子的亲和性和选择性,维持核糖体结构的完整性		有利对磷的吸收

续表

元素	再利情况	主要吸收形式	元素占植物干重		物质成分		调节生理状态或代谢作用	形成晶体	影响其它元素代谢
			$\mu\text{mol/g}$	%或 mg/kg	结构物质、微量活性物质、生理功能	物质			
S	不易再度利用	SO_4^{2-}	30~686	0.1%~2.2%	半胱氨酸、胱氨酸、蛋氨酸的组分,某些蛋白质和酶的组分(铁氧还蛋白)。辅酶中的活性基团,维生素 B ₁ 、维生素 B ₆ 、生物素、辅酶 A、乙醛辅酶 A、S/LTPP (二巯辛酰辅酶 A 脱羧基)		多种酶的辅基, -SH 有效基影响呼吸、脂肪代谢(谷胱甘肽)、淀粉合成(糖苷)		
Fe	不易再度利用	Fe^{2+} Fe^{3+}	0.2~5.4	300 mg/kg	细胞色素体系主要由铁卟啉构成,含铁酶;细胞色素氧化酶,过氧化氢酶,过氧化物酶,固氮酶(铁蛋白和钼铁蛋白的复合体);铁氧还蛋白(铁硫蛋白)传递电子		促进叶绿素形成		影响 NO_3^- -N 还原(体 内累积, 产生危 害)
Mo	不易再利用	MoO_4^{2-}	0.001~0.1	0.1~1 mg/kg	固氮酶及硝酸还原酶的组成成分,缺钼体内累积 NO_3^- , 影响磷酸酶活性		影响蛋白质合成		
Mn	不易再利用	Mn^{2+}	0.18~1.8	10~100 mg/kg	叶绿体中有锰蛋白		参加叶绿体中的希尔反应(光水解),多种酶的活化剂		

元素	再利 用情况	主 要形 式	元素占植物干重		物质成分		调节生理状 态或代谢作 用	形成 晶体	影响其 它元素 代谢
			$\mu\text{mol/g}$	%或 mg/kg	结构物质、 微量活性物质、 生理功能	物质			
Cu	不再利用，集中 于幼嫩部 分，奢侈供应 时，可移出大 部分	Cu^{2+}	0.047~0.24	3~15 mg/kg	叶绿体中有铜蛋白（质体蓝素，即质体膏）参与光合作用光反应中的电子传递。多种氧化酶：多酚、抗坏血酸、吲哚乙酸氧化酶	影响光合作 用脂肪酸与 蛋白质代谢， 生物固氮中 起催化作用			
Zn	可再度利用， 缺锌时难以从 叶中移去	Zn^{2+}	0.3~1.3	19~80 mg/kg	碳酸酐酶（其活性高低可做是否缺锌指标）多种脱氢酶、多肽酶、谷氨酸脱氢酶的组成成分（与光合作用有关）	参与色氨酸 （吲哚乙酸前 体）的合成			
B		H_3BO_3	2.0~27.8	几十至 300 mg/kg	蛋白质与酶的合成起活化作用。硼-糖络合物假说，参与糖的运输，形成酚类形成复合物，使酚类变为无害形式（酚过多，组织会死）	适宜硼水平， 可与过多的 酚类形成复 合物，使酚类 变为无害形 式（酚过多， 组织会死）		影响 Ca^{2+} 的吸收 利用	
Cl		Cl^-	3.0	106 mg/kg	在体内以 Cl^- 形态存在，不形成任何有机分子	直接参与水 光解反应。维 持活细胞内 阴离子平衡			

保证了一种元素在执行生理功能时，不被其它金属离子所取代。

必需元素在作物体内不论数量多少，都是同等重要的，任何一种营养元素的特殊功能都不能被其它元素所代替，这就是营养元素的同等重要律和不可代替律。

营养元素的同等重要律、不可代替律，以及李比希(Liebig) 1840年提出的最低养分定律，即作物产量的高低取决于具有最低含量的那种元素的量的多少，是进行果树营养诊断的理论基础。任何一种必需元素的缺乏都会影响果树的正常生长发育，而处于相对最低水平的那种元素，或元素之间浓度比例的失调，往往成为影响果树产量或品质的限制因子。只有设法把这种元素的量提高上去，或设法协调元素之间的浓度比例，才能将果树的产量或品质提高到一个新的水平。

有些矿质元素不一定是所有植物生长所必需的，但它所执行的代谢功能，可能在一定程度上代替某种必需元素的生理功能，或可以刺激生长，或对某些科、种或变种的植物是必需的，这些元素称为有益元素。已知的有益元素有钠、锶、钴等，如钠对某些喜盐植物是必需元素，在某种程度上可代替钾的作用。

三、元素之间的相互作用

土壤里和植物组织中的元素都不是孤立存在的，一种元素浓度的变化，会引起其它元素浓度的一系列次级变化。Olsen(1972)将元素间相互作用关系的概念归纳为两个方面：其一是一种元素对另一种元素的影响或相互作用；其二是两

种元素结合后，产生加合效应而不是两种元素的单独作用。

元素间的相互作用主要表现在：

(一) 相助作用

在溶液中，一种离子的存在有利于另一种离子吸收或加强其功能的叫做相助作用。

(二) 对抗作用

一种离子的存在妨碍另一种离子吸收或作用的叫做对抗作用。对抗作用往往是大小、结构、化学性质近似的两个离子竞争同一个吸收点或作用位点。

(三) 相互相似作用

几种元素都能对某一代谢过程的某一部分起同样的作用，某一元素缺少时，还可部分地被另一元素所代替，此种情况叫元素的相互相似作用。例如，硼能部分消除亚麻缺铁症；钠可部分满足糖用甜菜对钾的要求；锌或锰、铁可活化羧化酶等。

竞争、对抗往往表现在专一性很强的反应，即表现其不可代替性，但有些元素如钠和钾在某些功能上专一性不很强（如调节渗透压、表现电中性等功能），这时钠在一定程度上可代替钾，表现出相互相似的一面。这种相互相似作用，一方面反映了化学性质近似的一些元素在作物营养中有极其复杂的关系；另一方面也反映了某些作物对营养要求上的多样性。但是这种代替作用仅仅是部分的和次要的，只能是对不可代替与同等重要律的补充。

图1列举了一些元素在植物吸收过程中的相互作用，值得注意的是，相助与对抗作用都是相对的，仅仅是对一定作物、一定生育期、一定的离子浓度而言，有时在低浓度下是

相助的离子，而在高浓度下发生对抗作用或者相反。

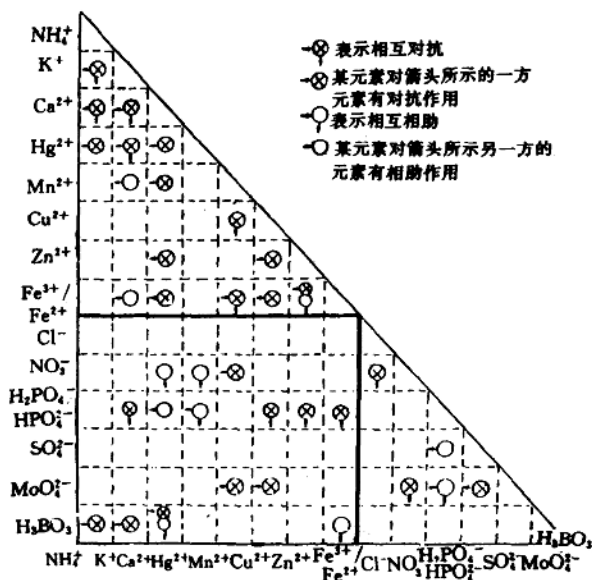


图1 在植物吸收过程中元素之间的相互作用

在土壤中施肥或叶面喷肥时,要考虑元素间的相互作用,印度的 Mann (1983), 在甜橙叶喷复合微量元素铁、锌、锰、铜的试验中, 将 0.45% 的 $^{65}\text{ZnSO}_4$ 加到用 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 中和的从 0 (对照) ~ 1.2% 的 CuSO_4 波尔多液中, 喷施后叶中 ^{65}Zn 的吸收量由 53% (不加 CuSO_4) 降至 29% (加 1.2% CaSO_4); 同样, 0.45% 的 ^{65}Zn 在叶中的吸收量由 53% 降至 26%; 而 0.45% 的 $^{65}\text{ZnSO}_4$ 加到用 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 中和的 0~2% MnSO_4 溶液中, ^{65}Zn 在叶中的吸收量由 53% 降至 31%。由此试验得出

的结论是：微量元素的复合喷用不如单独喷用的效果好。

矿质元素之间的相助、对抗、相互相似等关系，影响着矿质元素在土壤中的有效性、植物根系或其它器官吸收养分的速率和过程、它们在体内的移动性、形成生理代谢所必需的物质和在各功能部位的分配量。

各种元素在植物各种器官内必须达到各自一定的浓度和平衡的比例关系，才能发挥其应有的生理机能。因此，了解、控制和改善元素之间相互作用关系，使之有利于植物生长发育，有重要的理论和实践意义。

四、果树营养的范畴

果树是多年生的经济植物，因此，果树营养的范畴在与大田作物有共性的同时，也有其自身的特点。营养包括有机营养和无机营养，但是果树这一多年生经济植物，其树体本身的贮藏营养在影响果树生长、产量和果品质量方面有其重要意义。

一般而言，果树根系吸收的养分以木质部为主要途径向上运输，而地上部养分的上运则包括木质部和韧皮部两个途径；果树体内养分的下运主要以韧皮部为主；部分元素或离子也可在木质部和韧皮部之间活跃地横向运输。特别需要强调的是：元素在果树体内有明显地再运输、再分配和再利用过程，再利用的程度依元素种类而异，顺序为： $N, K > Mg > P > Cu, Fe > B, Ca$ 。果树是多年生经济作物，吸收、运转、分配、利用、积累的多年、多季循环使果树在养分的代谢上和其它一年生作物明显不同。以氮为例，尽管每年都要给果树大量施氮肥，但果树体内（根、干、枝）贮藏的氮及每年

落叶时叶片向果树体内回流的氮素能在果树以后的生长发育中起明显的作用，如在2年生富士苹果树上，这种氮素再利用效应可延续2年以上。

此外，论及果树营养的范畴，尤其在对果树生长发育、产量和果品品质影响至关重要的生产实践上，还需考虑以下几个方面的内容：①养分的水平，即元素在果实及树体中存在的绝对量；②养分的浓度，即元素在果实及树体中存在的相对量；③养分的平衡，即果实和树体中各元素之间的均衡关系；④养分的供应，包括供应的时期、部位等等；⑤养分的代谢，主要指元素在果实及树体内的代谢，包括元素的活性、各组织对元素的吸收利用、元素在果实及树体内的运输和分配等。只有时刻牢记并理解上述几个方面，才能在生产和栽培管理，特别是在施肥灌水、应用植物生长调节剂、修剪及土壤管理等措施的应用中，既不浪费水肥、污染环境，又能取得理想的效果。

第二章 果树营养现存问题 及营养诊断技术

一、果树营养现存问题

(一) 果树营养的特点

多年生的果树植物，在矿质元素的吸收、利用、贮藏和分配上，与一年生作物有所不同，形成其矿质营养生理的特殊性：

1. 果树根分布广而深，但单位面积密度低 一般果树根分布在距表土 80 cm 左右之内，在土层深厚排水良好的条件下，根系可能分布至表土 150 cm 甚至更深。根分布的深浅与养分利用效率有重要关系，在良好的条件下，果树对养分的利用率可能比一年生作物更高。但是，果树的根密度很低，须根较少，与许多一年生作物相比，营养吸收面积小。苹果的根密度 LA (cm 根长/cm² 土壤表面积) 一般小于 10，梨与核果类稍高，梨 26~69，桃 17~68 (Atkinson, 1986)。而大田作物 LA 值一般 >80 ，单子叶和双子叶的杂草为 40~4 000。由于根密度低，因而对许多矿质元素来说，为满足树体营养的需求，果树根具有较高的吸收效率，这样往往造成局部根域的营养亏缺，对于难移动的养分的吸收则更不利。幼年果园则由于根密度低，在间作情况下，与根密度高的作物或杂草在水分的吸收上容易发生矛盾。果树在固定的位置上生长