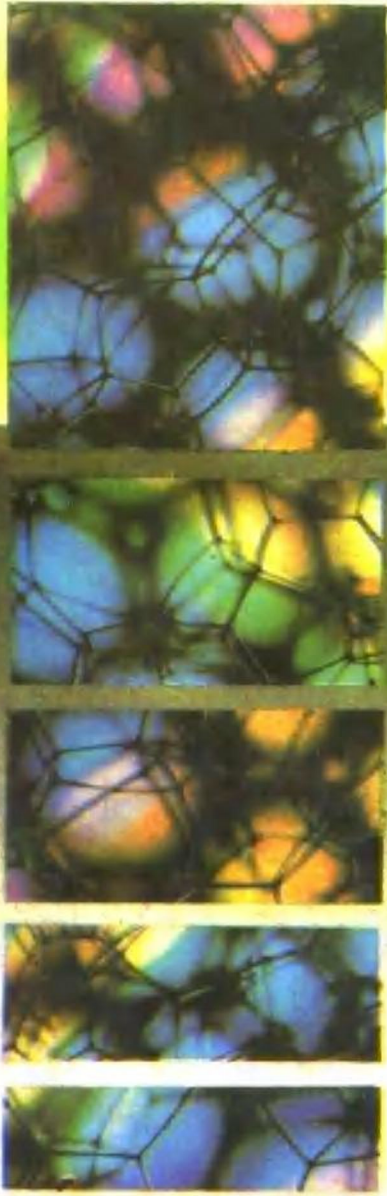


植物营养原理

植物营养元素
土壤中营养元素的有效性
根的生长与根际环境
养分的吸收与运输
氮 磷 钾 钙 镁 硫
矿物质对作物产量和品质的影响



植物矿物质营养遗传性差异和植物适应不良环境的机理
肥料的应用
微量元素

植物营养原理

史瑞和等 编著

江苏科学技术出版社

植物营养原理

史瑞和等 编著

出版发行：江苏科学技术出版社

经 销：江苏省新华书店

印 刷：淮阴新华印刷厂

开本850×1168 毫米 1/32 印张16 字数 390,000

1989年8月第1版 1989年8月第1次印刷

印数1-2,000册

ISBN 7-5345-0702-2

S·98

定价 7.00 元

责任编辑 陆宝珠

前 言

随着我国农业生产的发展，作物产量的提高，化肥的供应成为农业生产中的突出问题，许多地方出现肥料供应不足和养分供应失调的现象，而农作物的高产优质在很大程度上决定于养分的协调供应。然而，土壤中养分的供应，作物对养分的需求，以及它们之间的相互关系，还不十分清楚，因此近年来各国科学家对植物营养的研究极为重视，植物营养专著陆续问世，植物营养学科有了很大发展。我国亦多次邀请国外植物营养专家如 Marschner、Mengel、Barber 等来华讲学，推动植物营养研究工作的开展。但从本书所列各种植物营养专著可以看出，有的偏重于土壤养分供应，有的偏重于植物营养生理，也有的强调根-土界面的养分动态变化。本书则企图把土壤供肥、作物需肥和肥料施用结合起来，以达到理论和实际的统一。为了避免与“农业化学”教材不必要的重复，本书充实了植物营养生理的部分，增加了较多新的概念和知识，减少了肥料知识的内容，使之更符合研究生学习的要求。

本书虽然主要作为研究生教学用，但对土壤肥料科技人员和从事作物生产的同志也有参考价值。本书与一般教科书不同的地方，即列出了较多的有关文献，以便读者进行较深入的探索。

本书涉及的面较广，如土壤化学、植物生理、生物化学、肥料化学等，这对植物营养的了解和发展是必需的，但又不能详细介绍，过于简单化是难免的，希望应用这本书的同志参考有关书籍，对学习这本书的同学来讲，则要求有较坚实的基础理论和较广泛的专业知识。

本书由作者和他的两位博士研究生编著，其中§3、§4、§8和§6的一部分由赵方杰执笔编写，§6的另一部分由沈其荣完成。另外，赵方杰同志对全书的整理和修订也做了大量工作。

史瑞和

1988年3月于南京农业大学

目 录

绪论	1
§ 1 植物营养元素	4
§1.1 植物必需的营养元素	4
一、对营养元素必需性的认识	4
二、必需营养元素的分类	6
三、营养元素的一般生理功能	7
§1.2 有利的矿质元素	9
一、钠	9
二、硅	12
三、钴和钼	14
§1.3 植物的矿质营养元素含量	15
§ 2 土壤中营养元素的有效性	19
§2.1 养分有效性的强度、数量和容量的概念	19
§2.2 离子在土壤中的移动和生物有效性的概念	22
一、截获	23
二、质流	25
三、扩散	28
§2.3 影响养分有效性重要的土壤理化特性	32
一、土壤对阳离子的吸附	32
二、土壤对阴离子的吸附	35
三、土壤pH对养分有效性的影响	41
四、氧化还原反应对土壤养分有效性的影响	44
五、影响土壤养分有效性的其他环境因素	46

§ 3	根的生长与根际环境	49
§3.1	根的形态、结构和功能	50
	一、根系的形态与分布	50
	二、根的结构与功能	53
§3.2	根与植物地上部的协调	57
§3.3	影响根系生长的因素	60
	一、化学因素	60
	二、物理因素	63
§3.4	根的表面特性	67
	一、根阳离子交换量	67
	二、自由空间	69
§3.5	根系分泌的有机物质	71
	一、根系分泌物的性质	71
	二、根系分泌物的数量	72
	三、影响根系分泌有机物的因素	73
	四、根系分泌物在植物营养上的作用	75
§3.6	根际环境	77
	一、根际的概念	77
	二、根际微生物	78
	三、根际氧化还原状况	82
	四、根际pH值	84
	五、根际养分动态	90
§3.7	菌根及其在植物营养上的作用	98
	一、菌根的种类与分布	98
	二、菌根在磷和其他元素吸收上的作用	100
	三、菌根的应用前景	102
§ 4	养分的吸收与运输	105
§4.1	生物膜的结构与性质	105

§4.2. 离子吸收的特性与机理	109
一、离子的主动吸收和被动吸收	110
二、离子主动吸收的机理	114
三、离子吸收的动力学	120
§4.3 离子吸收的调节	124
一、植物离子吸收的内部调节	124
二、影响离子吸收的外部因素	136
三、土壤-植物系统中养分的吸收	141
§4.4 植物水分关系	148
一、植物水分状况	149
二、根系水分吸收	150
三、蒸腾作用与木质部的水分运输	151
四、气孔运动	152
五、植物缺水的生理效应	153
§4.5 离子木质部运输	155
一、离子向导管分泌	155
二、木质部运输机理——质流和交换吸附作用	156
三、木质部运输过程中离子的再吸收	157
§4.6 韧皮部运输	158
一、韧皮部的结构	158
二、光合产物的运输	160
三、矿质养分的运输	162
§5 矿质营养对作物产量和品质的影响	168
§5.1 经济产量与生物学产量的关系	168
§5.2 源与库的关系	172
一、碳的同化(源)	172
二、C ₄ 植物与C ₃ 植物	172
三、光合效能和光合产物分配	175
四、生理库	176

§5.3	植物激素	179
一、	植物激素的种类	180
二、	生长刺激剂在作物生产上的应用	184
三、	植物激素在产量形成中的变化	186
四、	矿质营养对激素平衡的影响	188
§5.4	作物产量生理	192
一、	禾谷类作物	192
二、	根类作物	197
三、	果树	199
§5.5	矿质营养与作物品质的关系	201
一、	禾谷类作物	201
二、	根类作物	205
三、	油料作物	206
四、	饲料作物	209
五、	蔬菜和果树	212
§ 6	氮	217
§6.1	土壤中的氮	218
一、	土壤中氮的形态及其含量	218
二、	土壤中氮素转化	222
三、	土壤氮素有效性指标	231
§6.2	氮素的吸收与同化	234
一、	氮素的吸收	235
二、	氮素的同化	238
三、	氮素的运输	246
四、	不同氮源的营养比较	251
§6.3	作物的氮素营养和氮肥施用	257
一、	氮素缺乏症的诊断	257
二、	氮素供应对作物农艺性状的影响	257
三、	氮素供应与植物激素	260

四、氮素供应与根系活力	260
五、氮肥对不同种类作物的影响	261
六、氮肥的施用	262
§ 7 磷	269
§7.1 土壤中磷	269
一、土壤中磷酸盐矿物	270
二、有机磷	271
三、土壤无机磷的分级	273
四、土壤对磷的吸附和固定	277
五、磷在土壤中的移动	283
§7.2 植物的磷素营养	285
一、磷的吸收和运输	285
二、磷的组分、转化及其代谢功能	287
三、氮磷的相互作用	291
四、缺磷症状	293
五、磷对作物生长和农艺性状的影响	293
§7.3 磷肥的施用	296
一、磷肥施入土壤后的转化	297
二、磷肥的残效	299
三、磷肥的施用方法	299
四、磷矿粉的直接施用	301
§ 8 钾	305
§8.1 土壤钾素形态和转化	305
一、土壤钾的组分	305
二、含钾矿物的风化	307
三、非交换性钾的释放与钾的固定	315
四、钾的吸附与移动性	320
§8.2 植物钾素生理	324

一、钾的吸收、运输与分隔	324
二、钾的生理功能	326
§8.3 作物钾素需求与钾肥施用	341
一、作物钾素需求	341
二、钾对作物产量构成和品质的影响	342
三、钾肥的施用	344
§9 钙、镁和硫	348
§9.1 钙	348
一、土壤钙	348
二、喜钙植物和嫌钙植物	349
三、钙的吸收和运输	350
四、钙的生理生化功能	354
五、植物缺钙症状	357
§9.2 镁	358
一、土壤中的镁	358
二、镁的吸收和运输	361
三、镁的生理作用	362
四、动物的镁营养	363
五、缺镁症状和作物镁营养	366
§9.3 硫	368
一、土壤中的硫	369
二、自然界硫的循环	371
三、植物硫素营养	375
四、缺硫诊断和硫肥的施用	378
§10 微量元素	381
§10.1 土壤中微量元素的含量、形态和有效性	381
§10.2 土壤-植物-动物体系中的微量元素	383

§10.3	硼	387
	一、土壤中的硼	387
	二、硼的生理作用	388
	三、缺硼症状和作物对硼的需要	391
§10.4	铁	393
	一、土壤中铁的有效性	393
	二、植物对铁的吸收和运输	394
	三、铁的生化功能	395
	四、缺铁症状和作物对铁的需要	396
	五、缺铁失绿症的纠正	398
§10.5	锰	399
	一、土壤中的锰	399
	二、植物的锰营养	401
§10.6	锌	403
	一、土壤中的锌	404
	二、植物对锌的吸收	406
	三、锌的生理生化功能	406
	四、缺锌症状和作物对锌的需要	407
§10.7	铜	409
	一、土壤中的铜	409
	二、铜的生理功能	411
	三、缺铜症状和作物对铜的需要	412
§10.8	钼	413
	一、土壤中的钼	414
	二、钼的生理功能	415
§10.9	其他微量元素	417
	一、硒	417
	二、铅	418
	三、镉	419

§11 肥料的施用	421
§11.1 粮食产量增长和人口增长	421
§11.2 各国肥料施用的情况	423
§11.3 土壤测试	425
§11.4 植物分析	429
一、测定植物吸收的养分量	430
二、植物营养诊断	431
三、植物营养诊断的酶学方法	433
四、果树的营养诊断	435
五、矿质营养元素之间的促进作用和颞颞作用	437
§11.5 有机肥料和化学肥料	439
§11.6 施肥与环境污染	442
一、硝态氮的污染	442
二、重金属的污染	443
三、磷的污染	448
§12 植物矿质营养遗传性差异和植物适应不良环境的机理	450
§12.1 植物矿质营养遗传性差异的机理	450
一、根对离子吸收的控制	452
二、离子的再利用效能	454
§12.2 植物适应不良环境的机理	457
一、植物适应高盐浓度的机理	458
二、植物对高浓度活性铝和锰（酸性土壤）的适应机理	464
三、植物适应淹水条件的机理	467
四、植物适应水分胁迫的机理	470
主要参考文献	474

绪 论

植物营养原理，是论述植物体与环境之间物质和能量的交换过程，也是论述植物体内物质运输和能量转化的过程。因此，本书的主要内容应包括土壤中养分的供应，植物对养分的吸收、运输和同化的过程和机理，以及生产上肥料的施用。土壤中养分的供应受土壤理化特性和生化作用的控制，所以，植物营养原理还包括一部分土壤化学的内容。至于植物对养分的吸收、运输、同化等与代谢作用密切相关，它又是植物生理生化研究的重要内容。很多植物生理书籍中把养分吸收、物质运输、水分生理、光合作用等分章节进行论述，本书则把这些过程看作是植物生长发育全过程中不可分的一部分，并联系植物营养进行论述。关于肥料的施用技术，肥料施入土中后的转化，新型肥料的发展等，是农业化学详细介绍的内容，也是植物营养的应用部分。作物施肥的传统方法是以田间肥料试验结果为依据，而近代农业则要求充分应用土壤科学知识和植物营养原理，拟定施肥模式，指导大面积作物施肥。

人类为了生存，既要改造自然，又要适应自然。因此植物营养也应该有这两方面的任务。一方面要改良土壤，施用肥料，以满足作物生长的需要，获得高产；另一方面，要适应自然环境，尤其是土壤条件，选用适宜的栽培品种和采用合理的耕作管理。例如，对待盐碱土，我们一方面要改造它，使其能种植各种作物、获得高产；另一方面，根据盐碱土的特点，选用耐盐作物，也可获得较好的收成。在干旱和半干旱的地区，我们一方面大力发展水浇地，进行集约种植；另一方面选用抗旱品种，实行旱农种植，也

可以收到事半功倍之效。各种作物对于不良土壤环境适应能力不一样，研究作物适应不良环境条件的机理和作物矿质营养的遗传性差异，也是植物营养的重要内容。

植物营养研究，从农业生产中草木灰、石灰等的施用开始，已有二千多年的历史，但是人们一直并不知道植物营养必需的元素是什么。1840年李比希才提出植物的矿质营养学说，这一成就在欧洲就促进了化肥工业的发展和农业生产中化学肥料的施用。

李比希的矿质营养学说认为：N、P、K、Ca、Mg、Si、Na和Fe，是植物生长必需的营养元素。这个结论是从植物分析，生长观察和推测而得出来的，但缺乏可靠的试验数据。因此，上世纪末本世纪初，植物生理学家进行了大量的砂培和水培试验，确定矿质元素的必需性及其在植物生长和代谢中的作用。

随着科学的发展，测试手段的改进，必需的微量元素也一一被发现。事实上，微量元素的必需性是先由水培试验发现的，以后在生产中陆续被证实。

氮、磷、硫等元素是植物有机体的重要组成成分，它们的作用很快得到充分的论证；但有很多其它元素，特别是微量元素，常与酶反应有关，或进行原子价的改变，传递电子；或作为基质与酶的桥梁，改变酶-基质复合物的分子结构，这些结论大多是用较高的无机离子浓度，在实验室或试管中进行离体组织实验求得的，但是在整体植物组织细胞中，特别是进行酶反应的质膜上，离子的浓度没有这么高，能否达到活化酶的要求，值得怀疑。因此近20年来，在植物营养领域内更重视用整株植物进行研究。

虽然营养元素的必需性上世纪末已为人们所认识，但半个世纪来植物营养的研究进展不大。直到本世纪50年代，植物营养的研究才有了较大的进展，放射性同位素用作示踪，给研究离子吸收和运输的机理带来方便；同时应用酶动力学和载体的概念，阐述离子吸收的选择性。60年代，Barber等人阐明土壤中离子向根表

移动的机理，大大推动了根际微区离子动态变化的研究。70年代以来，由于新技术的应用，对植物根际微区养分动态的研究更加深入，范围也扩大得多了。

土壤中养分的供应，过去多从热力学平衡的方法来研究土壤固相离子的吸附和解吸，固定和释放，用能量的概念来论述养分的有效性，因此石灰位、磷位、钾位等一时引起人们的重视。但土壤中不同形态的养分总是处于不平衡状况，因此近年来更多人从动力学的观点来研究土壤养分的有效性，把养分的释放量和释放速率作为重要参数。

关于营养元素的生理功能和生化作用，近年来再度引起人们的重视，尤其对钾的功能、钙和铁的缺症、磷的代谢等进行了大量的工作，发表了不少文章。

植物矿质营养是影响植物生长的重要因素，而不同植物种类，甚至不同的栽培品种，吸收利用这些营养元素的效能是不一样的，这主要受遗传基因的控制。因此，近年来矿质营养遗传性差异的研究受到植物营养学家、作物遗传育种学家的重视，研究植物矿质营养遗传性差异的机理，选育利用自然土壤肥力(如贫瘠土壤)和矿质肥料效能高的品种，以期提高化肥利用率和扩大贫瘠土壤的开发利用。

综上所述，植物营养是多种学科交叉的学科，它需要土壤学家、植物生理学家、作物育种学家、环境科学家与植物营养学家一道，对植物营养进行综合的研究。目前世界很多植物营养研究室，均聘请了很多学科的专家，对重要研究课题进行攻关。看来，整体的、相互关系的、综合的研究将得到更多的重视。

§ 1 植物营养元素

植物从环境中摄取物质和能量，以构成其细胞组成成分和进行各种代谢活动。植物生长和代谢所需要的这些物质的供应和吸收，称为植物营养。这些物质，称为营养元素。

§ 1.1 植物必需的营养元素

一、对营养元素必需性的认识

所谓必需的营养元素，是指植物正常生长所必需的，缺乏它植物就不能正常生长，而其功能又不能为其它元素所替代。它直接参加代谢作用，或作为新陈代谢产物的基本组成成分，或为某一酶体系活动所必需。

如何确定植物的必需营养元素呢？最简单的方法是分析植物的矿质成分。凡是必需的营养元素一定为植物所吸收。但是为植物吸收的，不一定是必需的。因为植物的吸收作用并不是高度选择性的。很多元素是被动吸收进去的。因此，仅从植物分析不能确定元素的必需性，只有从植物生长的介质来研究。即以介质中除去某一元素，视其对植物生长的影响。如果从介质中除去元素 A，植物就不能生长，而除去元素 B 时，对植物生长无影响，则结论是元素 A 是必需的，B 是非必需的。虽然土壤是植物生长的介质，但用土壤作为介质来确定植物必需的营养元素并不适宜，因为土壤是一种很复杂的体系。要从土壤中除尽某一元素很困难。然而农业生产中由于种种原因使一些土壤缺少某些营养元素，加