

全国高等农业院校教学参考书



土壤与植物营养专业用

植物的无机营养

〔美〕A.LÄUCHLI

〔新西兰〕R.L.BIELESKI

著

张礼忠 毛知耘

译

农业出版社

全国高等农业院校教学参考书

植物的无机营养

〔美〕 A. LÄUCHLI
〔新西兰〕 R. L. BIELESKI 著

张礼忠 毛知耘 译

土壤与植物营养专业用

农 业 出 版 社

422716

(京)新登字060号

Inorganic Plant Nutrition

Edited by

A. Läuchli and R. L. Bielecki

Spring-Verlag Berlin Heidelberg New York Tokyo 1983

全国高等农业院校教学参考书

植物的无机营养

〔美〕A. LÄUCHLI

〔新西兰〕R. L. BIELESKI 著

张礼忠 毛知耘 译

* * *

责任编辑 田桂山

农业出版社出版 (北京市朝阳区农展馆北路2号)

新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

787×1092mm16开本 27.5印张 636千字

1992年5月第1版 1992年10月北京第1次印刷

印数 1—2,000册 定价 9.85元

ISBN 7-109-02133-5/Q·98

前 言

以本卷标题《植物的无机营养》为书名的第一本书系由加利福尼亚大学（伯克利）的D. R. HOAGLAND编著。正如其详细名称《植物的无机营养讲稿》所指明的，它本是J. M. PRATHER于1942年应邀赴哈佛大学讲学时的讲稿汇集，当年4月10日至23日此讲稿在哈佛大学展出，时值本卷出版前41年。HOAGLAND原来并不打算出版这些讲稿，幸而后经说服，该书遂于1944年面世。

乍一看来，把一本收录单个作者讲稿的著作同拥有不少于37位作者的学科全书的丛卷进行比较，似乎并不合适。但是，HOAGLAND这本书乃是对他那个年代本学科状况的综合性描述，正如本卷之对于我们一样。在当时，一个人，至少对于那些具备如同HOAGLAND的知识广度和广泛兴趣的一类人而言，仍然有可能掌握整个这门学科中的许多主要领域，从土壤基质到氮、钾和其它养分的代谢作用，以及从基础科学论题到应用植物营养研究来解决田间遇到的问题等。所以，尽管公认HOAGLAND的这本书更多地偏于个人的探索，但是这两本书之间的比较却有助于理解这四十余年间本学科所获得的巨大进展，从而激起人们去关注已经落后于本学科整体进展的宏伟势头的那些领域。

阅读这两本书得到的最初的和最深刻的印象，便是新技术对植物无机营养研究进展已产生的影响，并确信由于研究手段的进一步改进及其应用，本学科正在展现出令人向往的美好前景。在美国刚刚参加第二次世界大战以前，HOAGLAND与已故的伟大的P. R. STOUT合作，成为最先应用基本无机养分的放射性同位素来研究植物营养（特别是离子转运）的研究人员之一。我清楚地记得有关放射性示踪物的早期活动情况，当时正处在第二次世界大战刚结束的年代，我作为放射性示踪物实验室的研究生，参与恢复这项工作。那时，我们靠在回旋加速器内辐射的材料进行自己的目标化学的研究，我们的盖格-姆勒管是在实验室里用手工制做的。我甚至还不得不测定我所使用的放射性同位素之一即 ^{52}Mn 的半衰期，因为当时还无人测定过。同时，我也不得不使用石英纤维验电器进行工作，因为我们的G-M计数器的性能每天都是那么地不稳定。

HOAGLAND热心于这种变革性创新，但他却未能活到目睹这方面的许多重大进展，即在植物营养的每一个分支中，从田间试验到生物化学研究，都将可能应用放射性同位素和稳定性同位素（尤其是 ^{15}N ）。在本卷中，几乎所有各章都列引了在本学科各方面的研究中应用同位素示踪物作为有力工具的证据。

实际上，与示踪方法出现的同时，还发展了各种类型的层析技术和电泳技术。它们在生物化学的研究中的作用最为明显。从现实意义上来说，它们对我们理解氮、磷和硫的代谢的进展起了巨大作用。

生物化学过程是在空间和时间中发生的。生物化学家们的传统方法总是不顾及前者，他们采用破坏细胞的手段，并把生化实体间的反应作为时间的函数来加以研究，因而强调经典生物化学中的动力学。植物营养学家则不能不顾及到空间、膜、场所、分隔空间、转

运、固定、隔离、梯度及流动等在植物的无机营养中都非常重要。所以，植物营养学家不得不研究从整株植物到亚细胞实体的各级水平上的结构。正是在空间关系的研究方面，尤其是在组织和细胞的研究方面，新的技术性专业工具取得了四十年前梦想不到的可能进步。电子探针 X-射线微量分析、激光探针分析、离子探针质量分析，以及其它能够精确确定养分和其它元素的分布和位置的方法等，它们代表一整套可供植物营养学家选用的新仪器。这些和其它定位技术在植物无机分析中已经在引起一场变革，从而获得完全超出传统分析技术范围的资料。离子敏感微电极就是这样的一套新设备。在区别各种无机养分（和其它元素）在时间和空间中的移动方式方面，膜、原生质、液泡及其它细胞器的分离方法的用处也与日俱增。

HOAGLAND对整株植物营养最出名的贡献之一，是他同他的长期合作者T.C.BROYER一道，研制了所谓“霍格兰营养液”，或者更确切些说，是几种营养液，因为霍格兰营养液有两种，第二种含铵又含硝酸。这些溶液同自19世纪中叶起一直应用的其它这类营养液并无原则上的差异。在所有这些营养液中，大多数养分的浓度都远远大于它们在典型土壤溶液中的浓度。这样可以使植物依靠由适当少量溶液所提供的大量的养分而得以长期生长。

HOAGLAND明白，在养分浓度低得多的介质中植物能生长得良好，在自然界中也是如此。但是，研制能自动维持预定的实际的低浓度培养基的技术一直进展缓慢而且零散。不过，现今对高浓度的HOAGLAND型营养液的局限性已经有了广泛得多的认识，并且也意识到，高级的低浓度溶液培养体系的研制技术目前尚“束之高阁”。本卷记载着这一领域内现有的进展。阅读本卷下一版中关于这个题目的报告定将令人感到兴奋。

任何营养科学的基础都是这样一个问题：什么是养分？在植物的无机营养中，这个问题就是要确定，除碳、氢和氧以外，什么元素是植物生活所必需的。四十年前，由于HOAGLAND及其合作者的努力引导，人们更多地关心这个课题。钼对高等绿色植物的必需性就是在他的激励之下，由HOAGLAND的植物营养研究室发现的。在他1949年去世后不久，由于这项研究和其它有关的研究工作的刺激，该研究室发现了氮的必需性。接着，有两个研究小组各自独立地证明了钴对共生固氮的豆科植物的必需性，而其中的一个小组便是由HOAGLAND建立的。

就象在目前已讨论过的其它例子中的情形那样，正是当时新材料和新技术的问世才使得上述那些发现成为可能。主要的新材料就是硼硅酸盐玻璃，而新技术就是清除试验溶液中的疏忽性污染物的化学方法。自那时以来，新的试验技术和纯化技术已经迅速发展起来。植物营养学家已经运用这些技术确定了以下一系列“新的”无机养分的必需性：氟、硅、钒、铬、镍、砷和硒。然而，本卷并不记录在发现新的植物微量养分方面所发生的类似的兴趣和所作出的努力。另一方面，根据我们的理解，对已知的微量养分（尤其是重金属）在酶功能和电子迁移过程中所起的作用，其巨大进展已进行描述。

可见，新技术、新仪器和新方法已经把我们的植物营养知识大大地推进，超过了四十年前的水平。许多化学家、物理学家和工程师将会继续研制出新的仪器，供植物营养学家在实验室、温室和田间进行研究工作。

然而，本卷所描述的进展并不包括主要地甚至完全地依赖于新技术的那类进展在内。植物无机营养研究的古典时期（19世纪）及其新古典发展时期（本世纪前半叶），基本上

都带有大陆欧洲和不列颠诸岛、美国以及澳大利亚的特征。探索植物无机营养的促动因素几乎完全来自于农业。植物营养研究涉及了菜豆、大麦、小麦、玉米、烟草、苜蓿、大豆以及其他几种重要的经济植物。如果考虑到世界的广袤及其多种多样的植物资源,那么,从地理学、生态系统和植物试验材料方面来看,植物营养研究的集中点一直是狭窄得令人吃惊。本卷以资料证实了植物的无机营养学科在理性范围内的拓宽——在过去几十年中几乎得到了全面的发展。对我们学科的继续前进而言,这种发展的重要性并不亚于新技术所可能获得的新知识。此外,这种发展正在把植物营养的知识扩大应用于各地的农业,同时也应用于非农业领域。

至于学科本身,植物营养过程确非单纯滋养植物而已。这些过程还有助于把大量的养分和其它元素引入全球性生物地球化学循环。在某种程度上牵涉到所有的元素,而磷的排入海洋则是最受关注的问题之一。与氮不同,磷不参与再循环,因而其陆地供应是有限的。

从另一种意义上说,磷酸盐也是使人感兴趣的。多数植物利用同真菌形成的共生关系来吸收它。在陆生植物中,菌根似乎差不多是普遍存在的。人们对菌根以及它在吸收磷酸盐(和其它某些养分)中的作用,其兴趣现在不如对豆科植物与根瘤菌共生固氮作用的兴趣大,不过总有一天二者可能逐渐接近。

许久以来,人们就已经知道在很多森林树种中形成菌根。近来认识到,陆生植物包括作物几乎普遍存在菌根,这种认识是使植物营养学家同生态学家之间的关系比以前更加密切的促成因素之一。促成这种学科间密切关系的其它几个因素是:(1)认识到高浓度的重金属在自然的和“人为的”生态系统中的重要性;(2)认识到养分缺乏对野生物种的分布可能起着主要的并且常常是起支配地位的作用;(3)认识到对盐渍度感兴趣的农业植物营养学家同研究盐生植物的生态学家有许多方面应当相互学习。

植物对高浓度金属、低土壤肥力和盐渍度这些不利条件的反应是基因型的一种功能。因而有可能应用生理遗传学和生化遗传学的概念与技术来研究植物对这些土壤特征的反应。仅仅在过去的这几十年中,这种可能性才开始实现。而即令在目前,整个问题也仍然处于开拓阶段。已经获得的成果清楚地证实了这条途径的潜力,而且其前景足可动人心目。

近几十年来,植物无机营养所表现出来的较为广泛的概念和学科之间的联系,对于应用本学科服务于人类来说,有着相当深刻的内涵。复杂的植物营养科学将日渐扩展到农业一直处于传统模式的那些地区,同时它将应用于迄今尚被大大忽略了的那些作物(包括热带作物)。许多热带土壤(特别是在潮湿热带地区),存在着令人烦恼的植物营养问题:这些土壤常显酸性,含有高浓度的可溶性铝或锰,或二者兼有,以及使磷酸盐固定成植物不可吸收态的趋势过大。许多热带土壤还存在其它一些地区性营养问题,尤其是微量养分缺乏。施用石灰、土壤改良剂和肥料是对付上述问题的传统方法,但这类方法本身并不能根治这些病害。而开发比现有品种能更好地适应这些条件的作物品种将是必要的。

可是,不得不采用遗传学途径的并非只限于热带。在农业发达国家中,已经选育出具有诸如抗病、抗寒、早熟等合乎理想特性的作物。这些国家还曾经在施高肥量的丰富营养条件下选育高产品种。因此,无意中可能已经使这些品种的选择是在不利于提高矿质营养利用效率的条件下进行的。这种效率包括:从一种或几种无机养分肥力低下的土壤中进行极为活跃的吸收,养分在植物体内的迅速转移,当供应充分时能进行有效的贮存,以及在

组织内养分浓度比较低时能进行节约代谢利用。因此，在温带地区的许多成功的作物中，其养分利用能力在遗传上极有可能是有缺陷的，或者说的不完善。

有关我们学科的见解，恰恰在很大程度上就是以这样一些植物的试验结果作为依据的。我们应该在高于本卷所显现的程度上，更多地注意野生植物的无机营养——野生植物在其全部进化历史中一直处于养分供应经常不充足的选择压力之下。

将来，即使在农业发达国家中，也终因货源紧俏、费用、能耗及环境理由的制约，而在实际上不再能够随意施用肥料。对许多农业不发达国家而言，象这种挥霍性的施肥则历来就是负担不起的。这些考虑支持了如下论点，即植物营养学家应当同遗传学家和育种学家进行合作，以创造作物的养分利用高效率基因型。它们将会最大限度地利用土壤的自然肥力和可能施用的商品肥料。对于在生物学上多产的野生植物进行植物营养研究，可以指导我们应该把什么样的特性结合进这些新的养分贮藏型品种中去。

在靠灌溉进行作物生产的干旱和半干旱地区，盐渍度会削弱农业生产力。象重金属毒害和低肥力一样，这种不利条件也主要地依靠资金强化型和能量强化型的措施来对付：开垦、排水、超量灌溉以及其他技术措施。盐生植物的存在，以及耐盐力的遗传性变异甚至在作物种中的存在，也指出了解决盐渍度问题的遗传学途径：选育耐盐作物。这就向植物营养学家和植物遗传、育种学家提出了彼此合作的又一要求。

如果选育出在遗传特性上适合于对付这些土壤条件的作物，那么，利用在农业上目前被认为是勉强够格的土壤，或许就可能取得良好的效益，达到农事目的。更贫瘠的土壤用来生产能源植物，或栽培那些产生特殊原料诸如润滑油和药材一类的植物，这可能是稳当的。在这些工作中，也需要植物营养学家和植物育种学家的共同努力。

本卷编者集合了许多著名的科学家。他们一些人共同介绍了大量的新知识，这些知识来自其创造性地和熟练地应用效力高的新工具和新方法。另一些人则提供了信息，指出植物的无机营养正在拓宽其理性前景，并正以前所未有的规模铸造着同其它植物学科和环境学科间的联系。本卷读者倘能如同作者和编者为此书而辛勤劳动那样下功夫潜心研读，则将会得到丰厚的报偿，从而为推进植物无机营养学科的进一步发展而奋力前进。

EMANUEL和EPSTEIN

Uy14/21

译 序

新中国成立以来，植物营养学一直是包括在土壤农化专业农业化学总论课程中的一部分（一两个章）。1985年国家教委决定将专业名称改为土壤与植物营养之后，确定“植物营养学”为专业主干课程之一，因而迫切需要这方面的教材和教学参考书。为此，农业部教材指导委员会决定将A. LÄUCHLI和R. L. BIELESKI主编的《植物的无机营养》一书翻译出版，以缓解目前植物营养学缺乏教材的状况。

《植物的无机营养》是植物生理全书新辑的第15卷，分A、B两册于1983年出版。编著者花了近十年时间写成，打算在二、三十年之后（即到下世纪初）改编再版。全书共有六篇24章，由38位世界著名植物营养学家编写。其中美国有10位编者，加利福尼亚大学的E. EPSTEIN教授作序，A. LÄUCHLI教授为主编之一。新西兰有三位编者，R. L. BIELESKI为主编之一。西德有H. MARSCHNER教授等9位编者。英国有A. POLLARD等6位编者。澳大利亚有C. J. ASHER教授等8位编者。编者中还有荷兰的A. POLLARD和巴西的J. DÖBERENER。

本书编写的重点并不在于详细论述每个元素的营养化学，而把注意力集中在植物营养生理功能与循环的若干重要方面。从某种意义上说，本书是整个植物营养学科进展性的综合总结。全书共参阅了3672篇文献，大部分是70年代和80年代前期文献（至1983年），主要是欧、美和大洋洲各国的研究资料。总的看来，本书较为系统全面，内容广泛、丰富而新颖。

从广度看，本书着重总结了植物营养中拓宽性一些领域，诸如：（1）既有高等植物营养，又有低等植物营养，如对菌根论述较详；（2）主要论述栽培植物营养，同时注意野生植物营养；（3）既重点讨论植物营养的生理、生化，又密切联系生态环境；（4）既注重培肥土壤、增施肥料，以满足植物优质高产的需要；又致力培育养分利用高效型植物品种，以适应低肥力或盐渍化土壤的需要；（5）既着重植物营养元素，又考虑与动物、人体营养元素的相关性。

从深度看，本书始终围绕全株植物整体营养来总结过去研究特点，展望未来发展趋势。例如：（1）在认识到利用植物离体根进行单个营养元素短期试验的局限性时，更多地强调了整体植物营养研究；（2）在继续重视植物必需营养元素的同时，密切注意到有益和有害元素的影响，特别重视各种元素在植物体中相互作用效应，包括一种器官与另一种器官的综合效应；（3）倍加重视营养元素在植物中的整体功能、运转和经济产品形成的相关性；（4）高效能的植物营养基因型育种已进入探索实验阶段，若干年后可能会有重大进展；（5）电子显微镜等新技术的引入，必将推进植物营养元素在器官间的空间分布和整体功能的研究。

由此可见，《植物的无机营养》是广泛适用于农林教学、科研、生产需要的一本书。它既可作为农林大专院校研究生、本科生的教科书、教学参考书，也可作为农林科技人员

的专业基础参考书，还可作为农林生产技术工作者的技术咨询书。

全书译文约56万字，由张礼忠、毛知耘主译，周则芳、张玉伦翻译，还有石孝均也译了一章。全书译稿由张家付统校。

北京农业大学毛达如教授在百忙中主审全书译稿，中国科技情报所重庆分所绘图室缪连兴等同志为本书100余幅图进行清绘，我们表示衷心地感谢。

本书译稿完成之际，主译张礼忠副教授因病于1990年春不幸去世。张礼忠同志为翻译本书付出了辛勤劳动，谨致以深切悼念。

译校组全体同志殷切希望本书的出版能够促进我国植物营养的教学、科研和生产的发展。如果由此而推动在90年代编写出一两本有中国特色的《植物营养学》，我们将会感到由衷地高兴。尽管译校组同志力求本书译文信、达、雅，然而思想和业务水平有限，不妥之处在所难免，尚望读者予以批评指正，以便今后修订。

毛知耘于重庆市北碚区西南农业大学

1990年元月

译 者 张礼忠 (西南农业大学)

毛知耘 (西南农业大学)

周则芳 (西南农业大学)

张玉伦 (西南农业大学)

主审人 毛达如 (北京农业大学)

校 阅 张家付 (西南农业大学)



目 录

译序

前言

引言.....A. LÄUCHLI和R. L. BIELESKI (1)

I. 植物无机营养通论

I.1 植物矿质营养导论.....H. MARSCHNER (5)

1 导言和历史回顾..... (5)

1.1 必需的矿质元素——植物养分..... (5)

1.2 必需矿质元素的生理功能..... (6)

1.3 有益的矿质元素..... (6)

1.4 新进展..... (7)

1.4.1 钙(8) 1.4.2 钾(9) 1.4.3 磷(10) 1.4.4 氮(10)

1.4.5 铜(11) 1.4.6 氯(11)

2 矿质元素的吸收与长距离运输..... (11)

2.1 根表面的离子浓度,“根际”的作用..... (11)

2.2 木质部的长距离运输..... (13)

2.2.1 由根向地上部运输(13) 2.2.2 养分进入果实、种子和贮藏器官(14)

2.2.3 矿质元素从叶片再转运(15)

3 高等植物的钙素营养..... (16)

3.1 导言..... (16)

3.2 高等植物对钙素营养的需求..... (16)

3.3 根的钙质吸收..... (17)

3.4 钙的长距离运输..... (17)

3.4.1 木质部运输(17) 3.4.2 韧皮部运输(18) 3.4.3 木质部与韧皮部的
运输对比(19)

3.5 植物激素和生长调节剂的作用..... (20)

3.6 结论和展望..... (20)

4 矿质营养与产量形成的生理学——库源关系..... (21)

4.1 导言..... (21)

4.2 矿质营养对植物激素水平与库形成的影响..... (21)

4.3 矿质养分对施肥的影响..... (22)

4.4 与矿质营养有关的源—库相互作用..... (23)

5 矿质营养的环境因素..... (26)

5.1 导言..... (26)

5.1.1 氮(26) 5.1.2 重金属(26)

5.2 重金属毒性..... (27)

5.8 食物链中的重金属	(27)
5.4 土壤植物系统中的重金属	(28)
5.4.1 土壤中的含量 (28) 5.4.2 影响重金属在植物体内积累的土壤因素 (29)	
5.4.3 重金属吸收的基因型差异 (30) 5.4.4 重金属在植株及其器官中的分布 (31)	
5.4.5 植物对重金属的耐性 (32)	
5.5 结束语	(33)
I.2 根际微生物和菌根在植物营养中的重要性	
.....A. D. ROVIRA, G. D. BOWEN 和 R. C. FOS	(34)
1 引言	(34)
2 根际中的能量供给	(34)
2.1 渗出物	(34)
2.2 分泌物	(34)
2.3 植物粘液	(34)
2.4 粘胶物质	(35)
2.5 溶解产物	(35)
3 根际微生物学	(36)
3.1 微生物群体	(36)
3.2 微生物在根部的集群	(36)
4 根际的数学模拟	(37)
5 根际显微技术	(37)
5.1 光学显微技术	(37)
5.2 扫描电子显微镜术(S. E. M.)	(38)
5.3 透射电子显微镜术(T. E. M.)	(38)
5.3.1 概述 (38) 5.3.2 根部粘液的起源和微结构 (39) 5.3.3 粘液的	
微生物侵袭与粘胶物质的形成 (39) 5.3.4 根部的粘液与粘胶物质的功能 (39)	
5.3.5 外根际 (39) 5.3.6 微生物对根部的侵袭 (40)	
6 根际微生物在植物营养中的作用	(40)
6.1 养分的有效性	(40)
6.1.1 养分的释放和固定 (40) 6.1.2 硝化作用和反硝化作用 (40)	
6.1.3 氮的固定 (40) 6.1.4 磷酸盐的有效性 (41) 6.1.5 微量养分 (41)	
6.2 根的生长和形态	(41)
6.2.1 根的长度和根毛 (41) 6.2.2 “鸡爪”根 (41)	
6.3 养分吸收过程	(41)
6.4 生理与发育	(42)
7 菌根	(42)
7.1 植物对侵染的反应	(43)
7.2 反应的机制	(44)
7.2.1 养分的有效性 (44) 7.2.2 根部的吸收特性 (44) 7.2.3 真菌部分	
引起的吸收作用 (44)	
7.3 菌根的能量要求	(46)
7.4 对菌根的总的看法	(46)
8 结论	(47)
I.3 现代溶液培养技术	C. J. ASHER 和 D. G. EDWARDS (49)
1 溶液培养与土壤培养的主要区别	(49)

1.1	机械支持	(49)
1.2	根际环境参数的空间变异	(50)
1.3	根际环境参数的时间变异	(50)
1.3.1	养分耗竭	(50)
1.3.2	pH值的变化	(51)
1.4	根际微生物的相互作用	(51)
2	现有溶液培养方法的用途和局限性	(52)
2.1	不更换或间歇性更换溶液的水培法与砂培法	(52)
2.1.1	水培与砂培在教学、演示和营养诊断中的作用	(53)
2.1.2	水培法为离子运输研究产生根系	(53)
2.1.3	植物养分的必需性	(53)
2.1.4	根系环境参数的影响	(53)
2.1.5	临界组织浓度的确定	(56)
2.1.6	植株养分状况的控制	(56)
2.1.7	与微生物共生联合体的研究	(57)
2.1.8	商品作物生产	(58)
2.2	喷雾培养	(58)
2.3	流动溶液培养	(58)
2.3.1	流速问题	(59)
2.3.2	流动培养液的组成	(59)
2.3.3	流动培养在研究中的应用	(60)
2.3.4	将来的可能进展	(61)
2.3.5	商业化的作物生产	(61)
3	概要和结论	(62)
I.4	利用植物测试诊断矿质元素缺乏症	D. BOUMA (63)
1	导言	(63)
2	植物分析	(63)
2.1	生理基础	(63)
2.2	植物组织的选择	(65)
2.3	养分浓度与产量关系的影响因素	(65)
2.3.1	植物的发育	(65)
2.3.2	植物组织年龄变化的影响	(66)
2.3.3	植物年龄与临界水平	(67)
2.3.4	营养元素间的相互作用	(67)
2.3.5	环境因素	(68)
2.3.6	影响养分组成的其他因素	(69)
3	诊断的生理与生化方法	(70)
3.1	引言	(70)
3.2	生理学研究方法	(70)
3.2.1	生理学评定	(70)
3.2.2	养分胁迫	(71)
3.2.3	根据光合作用的诊断方法	(71)
3.2.4	其他方法	(72)
3.3	生物化学方法	(72)
3.3.1	氮和钼	(72)
3.3.2	磷	(74)
3.3.3	钾与镁	(74)
3.3.4	铁和锰	(75)
3.3.5	铜	(75)
3.3.6	锌	(76)
4	对未来的展望	(76)
I.5	各种养分在高等植物体内的相互作用	A. D. ROBSON和M. G. PITMAN (77)
1	引言	(77)
2	在单作制中的养分间的相互作用	(80)
2.1	能影响养分吸收的养分之间的相互作用	(80)
2.1.1	在土壤中发生的相互作用	(80)
2.1.2	根表面从溶液中的吸收作用	(83)
2.2	影响植物体内养分利用的养分间的相互作用	(86)
2.2.1	分配	(86)
2.2.2	功能	(88)
2.3	养分间复杂的相互作用所包含的几个过程	(89)
2.3.1	钙/铝/磷酸盐	(89)
2.3.2	锌/磷	(91)

3 混合植物群落中养分间的相互作用.....	(91)
4 结论.....	(93)
I.6 植物根系内矿质养分的输入和输出.....U. LÜTTGE	(94)
1 引言: 根系在高等陆生植物进化中的双重作用.....	(94)
2 沿根部长度的结构与转运功能间的关系.....	(94)
2.1 转运功能沿根部长度的纵向变异现象.....	(94)
2.2 各个根区中结构与功能之间的关系.....	(95)
2.2.1 根表面 (95) 2.2.2 皮层 (97) 2.2.3 内皮层 (98) 2.2.4 中柱 (99)	
3 沿根部长度的生理活性变化.....	(103)
3.1 生长、分化与激素梯度.....	(103)
3.2 沿根部长度的生物电场.....	(103)
3.3 沿根部长度的离子转运机制的差异.....	(104)
4 整个植株内的根系—地上部相互作用与循环过程.....	(104)
4.1 说明循环过程一般情况的一些例子.....	(104)
4.2 氮、硫和磷.....	(105)
5 结论.....	(106)
I.7 生物圈内的元素循环.....C. C. DELWICHE	(107)
1 植物组分的来源.....	(107)
1.1 来源于土壤与大气的植物组分.....	(107)
1.2 风化过程.....	(107)
2 元素循环的特性.....	(108)
2.1 水文循环.....	(108)
2.2 沉积循环.....	(109)
2.3 岩浆循环.....	(110)
2.4 地质生物循环.....	(111)
3 氮素循环.....	(112)
3.1 整个氮素循环的特点.....	(112)
3.2 硝化作用.....	(113)
3.3 反硝化作用.....	(114)
3.4 氮的固定.....	(115)
3.5 人类的影响.....	(116)
4 硫的循环.....	(116)
4.1 与氮素循环的比较.....	(116)
4.2 微生物的氧化作用.....	(117)
4.3 硫酸盐还原.....	(118)
4.4 硫移动的形式.....	(118)
4.5 人类的影响.....	(118)
5 磷的循环.....	(119)
5.1 氧化与还原.....	(119)
5.2 磷在生物圈中的移动与转运.....	(120)
5.3 人类的影响.....	(121)
6 其他元素.....	(121)
6.1 生物循环.....	(121)

6.2 铁和铝的特殊重要性.....	(121)
6.3 氢离子.....	(122)
6.4 沉积物的特点	(123)
6.5 被动循环	(123)
6.6 营养元素缺乏的可能性.....	(123)
7 “开放”式农业系统与“封闭”式农业系统的比较.....	(124)

II. 无机氮素营养

II.1 固氮的生理学、生物化学和遗传学.....	
.....H. BOTHE, M. G. YATES和F. C. CANNON	(127)
1 固氮生物和固氮酶反应	(127)
1.1 引言.....	(127)
1.2 自生生物固氮	(129)
1.3 共生固氮	(130)
1.4 固氮酶的底物	(131)
2 固氮的生物化学.....	(132)
2.1 引言.....	(132)
2.2 固氮酶蛋白的命名.....	(133)
2.3 固氮酶蛋白的生理生化性质	(133)
2.4 固氮酶蛋白的金属离子束.....	(135)
2.5 电子顺磁共振(EPR)和穆斯堡尔(Mössbauer)能谱分析法在钼铁蛋白研究上的应用	(135)
2.6 FeMo 辅助因子和Fe 蛋白.....	(136)
2.7 光合生物的固氮酶蛋白.....	(137)
2.8 固氮酶活性的机制.....	(137)
2.8.1 两组蛋白质的作用 (137) 2.8.2 MgATP、MgADP与MoFe蛋白相互作用的 证据(139) 2.8.3 活性部位的特性 (139) 2.8.4 N_2 -还原的途径 (139)	
3 电子向固氮酶的传递	(140)
3.1 引言	(140)
3.2 铁氧还蛋白	(141)
3.3 黄素氧还蛋白	(141)
3.4 电子供体	(142)
4 防止固氮酶受氧气破坏的机制	(143)
4.1 在自生生物中的机制.....	(143)
4.2 蓝绿藻的异形细胞.....	(144)
4.3 豆科根瘤中豆血红蛋白的功能	(145)
5 固氮酶活性及其生物合成的调节	(145)
5.1 固氮酶生物合成的调节.....	(145)
5.2 固氮酶活性的调节.....	(146)
6 氢化酶和固氮酶的关系	(147)
7 固氮基因的分子特性和遗传特性	(150)
7.1 引言.....	(150)
7.2 固氮基因 (<i>nif</i>)	(150)
7.3 固氮基因 (<i>nif</i>) 生成物.....	(151)

7.4	肺炎克雷伯氏菌固氮酶的纯化	(152)
7.5	固氮基因的物理图谱	(152)
7.6	固氮酶基因的种间同源性	(153)
II.2	对豆科植物、非豆科被子植物的固氮共生和结合共生	A. QUISPEL (154)
1	前言	(154)
2	主要共生固氮系统的描述	(154)
2.1	结合共生	(154)
2.2	与蓝细菌共生	(155)
2.2.1	分布 (155)	2.2.2 描述和发育 (155)
2.2.3	固氮作用 (C_2H_2 还原) (155)	
2.3	放线菌根瘤; 放线菌根	(155)
2.3.1	分布 (155)	2.3.2 描述 (155)
2.3.3	侵染和发育 (156)	2.3.4 固氮作用 (C_2H_2 还原) (156)
2.4	具有根瘤菌 (<i>Rhizobium</i>) 的豆科植物根瘤	(157)
2.4.1	分布 (157)	2.4.2 描述 (158)
2.4.3	侵染和根瘤发育 (158)	
2.4.4	固氮作用 (C_2H_2 还原) (159)	
2.5	非豆科植物根瘤与根瘤菌	(159)
3	固氮的微共生体: 分离和培养	(160)
3.1	前言	(160)
3.2	蓝细菌	(160)
3.3	弗兰克氏菌属 (<i>Frankia</i>), 放线菌根的内生菌	(160)
3.3.1	分离和培养 (160)	3.3.2 专一性 (161)
3.3.3	营养条件 (161)	
3.3.4	代谢活性 (161)	
3.4	根瘤菌	(162)
3.4.1	分离和描述 (162)	3.4.2 分类学 (162)
3.4.3	代谢作用 (163)	
3.4.4	固氮作用 (C_2H_2 还原) (163)	3.4.5 遗传学 (164)
4	共生关系	(165)
4.1	趋化性和根际积累	(165)
4.2	根瘤菌与根毛的结合	(165)
4.3	根毛变形和侵染线形成	(167)
4.4	细胞壁降解的酶类	(167)
4.5	植物激素在根瘤形成中的作用	(168)
4.6	各种各样的问题	(169)
5	固氮系统	(170)
5.1	前言	(170)
5.2	类菌体	(170)
5.3	含类菌体的植物细胞	(172)
5.4	固氮酶	(172)
5.5	NH_3 的同化	(173)
5.6	氧的调节和豆血红蛋白	(174)
5.7	氢的产生和摄取	(175)
6	根瘤是整个植物的一部分	(175)
7	结束语	(177)
II.3	根际和叶际的结合固氮	J. DÖBEREINER (179)

1 前言	(179)
2 根生物群落的鉴定	(179)
2.1 甘蔗—拜叶林克氏菌属 (<i>Beijerinckia</i>)	(179)
2.2 雀稗 (<i>Paspalum notatum</i>) —雀稗固氮菌 (<i>Azotobacter paspali</i>)	(180)
2.3 固氮螺菌属 (<i>Azospirillum</i>) 的根生物群落	(180)
2.3.1 固氮螺菌属 (<i>Azospirillum</i> spp.) 的分类 (181)	2.3.2 根的侵染 (181)
2.3.3 寄主植物专一性 (182)	2.3.4 固氮螺菌的生理学 (183)
2.4 与其他固氮细菌的结合	(185)
3 农学方面	(185)
3.1 植物基因型的影响	(185)
3.2 环境条件的影响	(186)
3.3 接种	(186)
4 叶际结合	(187)
4.1 叶际微生物	(187)
4.2 叶际的固氮作用	(187)
5 总结	(188)
II. 4 硝酸盐的吸收和还原: 细菌和高等植物	
.....L. BEEVERS和R. H. HAGEMAN (189)	
1 引言	(189)
2 可以利用的氮源	(189)
2.1 关于铵盐和硝酸盐利用的种间差异	(190)
2.2 铵或硝酸根对阳离子吸收的影响	(191)
2.3 硝酸根吸收	(191)
2.4 铵对硝酸根吸收和利用的影响	(192)
3 硝酸盐的还原	(192)
3.1 细菌	(192)
3.2 异化硝酸还原酶	(193)
3.3 细菌中的同化硝酸还原	(194)
3.4 高等植物的硝酸还原酶特性	(194)
4 硝酸盐还原中的铝	(195)
5 亚硝酸盐还原	(196)
5.1 同化细菌	(196)
5.2 异化细菌	(196)
5.3 植物中的亚硝酸还原酶	(196)
6 高等植物体内硝酸盐同化作用的酶类的位置	(197)
7 高等植物硝酸盐同化作用的还原剂供应	(197)
8 高等植物硝酸还原酶的调节	(198)
8.1 底物	(198)
8.2 激素	(199)
8.3 铝	(199)
8.4 氮	(199)
8.5 光	(199)
8.6 遗传调节	(199)