

植物的营养

邹邦基 何雪晖 编著

ZHI WU DE
YING YANG



农业出版社

植物的营养

邹邦基 何雪暉 编著

农业出版社

内 容 提 要

本书对植物的营养作了系统的阐述，全书共分六章：第一章从细胞结构与功能到植物生长发育，广泛而概括地介绍了植物的生活和营养方式；第二章至第五章分别介绍碳、氢、氧、氮、磷、硫、钾、钙、镁及铁、锰、铜、锌、铝、硼、氯等十六个植物必需元素的植物营养作用与生产实践中的应用技术；第六章对尚未公认为植物必需元素，但对植物营养有重要影响的硅、钠、钴、钼、镍、铝、镉及稀土元素作了简要的论述。各章内容多选材于近代研究成果，文字表达浅显易懂，可供农业科技和教学工作者参考，亦可作为农林院校学生和对此方面有兴趣的农业干部和知识青年的辅助读物。

ERS6/34
01

植 物 的 营 养

邹邦基 何雪晖 编著

农业出版社出版（北京朝内大街130号）

新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

850×1168毫米32开本 12印张 300千字
1985年5月第1版 1985年5月北京第1次印刷
印数 1—7,800册

统一书号 16144·2952 定价 2.50元

前 言

自古以来，人类在和植物接触的过程中，不断探讨着植物的秘密。早在公元前，人们就对“植物是由什么东西构成”的问题感兴趣了。到17世纪初已开始用实验方法来探讨植物营养的秘密，但迄至19世纪才明确认识植物是由许多元素构成的，其中碳素取自空气，氮素和其它矿物元素取自土壤，并且已证明碳、氢、氧、氮、磷、硫、钾、钙、镁、铁十大元素是植物生活不可缺少的。在20世纪又相继证明了锰、硼、锌、铜、钼、氯也是植物必需的元素，并且其他某些元素对部分植物的生活也必不可少，还有很多元素能被植物吸收，在植物营养和生活中起一定作用。

植物究竟需要哪些元素，如何获得所需要的元素，这些元素在植物体内如何行使功能，对植物生长发育起什么作用，在土壤中它们的形态与变化，对植物的供给能力以及如何按人类的意愿加以调控等等问题，一直都是植物营养研究所需探讨的主要内容。人们研究这些问题的浓厚兴趣，是来自揭露自然规律，并利用这些规律来改善人类生活的强烈愿望。人类在植物营养研究中付出的心血是没有白费的，19世纪以来对植物矿质营养的一系列研究促使化肥工业的兴起和发展以及化学肥料的广泛应用，从而大大提高了农作物的产量。不难预料，现代人们热衷探索的植物光合作用和共生固氮作用以及植物营养的生态关系，亦将引起生产上新的重大变革。

生物与生物、生物与环境之间的关系是现代科学十分重视的研究内容，植物在这种关系中有它独特的地位。由于植物的无机营养特性，使它在生态系统中成为具有决定性意义的组成部分——“生

产者”。植物的营养过程驱动着生态系统的“能流”与“物流”。各种元素，无论是对植物有益的或者是有害的，都有可能通过植物对生态系统发生作用。因此，现代植物营养学家已开始摆脱只重视必需元素的局限性，而放眼于在整个生态系统中发生作用的所有元素。

植物营养研究从开始采用科学的实验方法至今已有一百多年的历史了，在这漫长的岁月里，由于科学工作者和人民群众的辛勤劳动，已积累了丰富的知识。随着现代仪器分析技术和生物化学技术的迅猛提高，植物营养研究也获得了新的飞速发展，每年都有成千上万的研究论文问世，研究的广度和深度也都是空前的。然而，尽管如此，无论在理论上或实际应用上尚待研究解决的问题还很多，可以说植物营养研究还处在方兴未艾的发展阶段。

继往开来，了解前人积累的知识，无论对研究工作者或生产实践者发展自己的事业都是有益的，甚至是必不可少的。值此祖国蓬勃开展四化建设之时，作者利用一切早晚和节假日业余时间，争分夺秒把人们在植物营养研究与实践领域内累积的知识概要地编写成这本书，希望它能有益于本专业研究、教学和生产方面的同志在祖国四化建设中开展工作，能吸引在校学生和广大知识青年对植物营养发生兴趣，从而立志于本专业工作。

为了适应广大读者的兴趣和要求，本书力求取材新颖，文字表达生动，既使专业人员不感到内容乏味，又使初学者避开那些深奥的数理公式。书后还附有参考文献，既作为本书内容的依据和补充，也可引导有志于研究植物营养的同志进一步探索。全书在结构上是按元素分别阐述的，但第一章从细胞结构与功能，到系统发育与个体发育广泛而概括地介绍了植物的生活和营养方式，不仅可使读者了解植物营养的总体概况和基本特点，而且有助于读者理解在以后各章中分别阐述的各个元素在植物生活中的作用。

由于植物营养研究已有长期的积累，并在迅猛发展，本书所用

篇幅不可能详尽介绍所有内容；又由于作者水平有限，缺点错误在所难免，望读者谅解并多多指正，不胜感谢！

作者

1982年5月1日

目 录

前言

第一章 植物的生活和营养方式	1
一、可爱的绿洲	1
二、叶绿体里的秘密	4
三、绿色植物细胞中的成员	9
1. 细胞核	9
2. 核糖体	13
3. 叶绿体与线粒体	15
4. 内质网、液泡、高尔基体	19
5. 溶酶体、过氧化物体和乙醛酸循环体	21
四、绿色植物的生长发育	23
1. 精巧的蓝图代代相传	23
2. 复杂的通讯调控系统	26
3. 生长发育过程举例	30
五、绿色植物的养料及其来源	37
六、绿色植物根系的吸收机制	49
第二章 植物的骨架与碳、氢、氧	56
一、植物粗骨架的形成	56
二、碳、氢、氧及其关系	59
三、氢键与水的重要	63
四、植物需水规律与灌溉	66
五、氢离子浓度与酸碱调节	71
六、碳水化合物	76
七、补偿点与二氧化碳施肥	87
八、绿色植物与二氧化碳平衡	89

第三章 植物的生命物质与氮、磷、硫.....94

一、氮、硫与蛋白质95

1. 蛋白质及其组件——氨基酸95

2. 植物体内氨基酸如何形成100

3. 硫如何进入氨基酸104

二、氮、磷与核酸.....106

三、含氮、磷、硫的生物活性物质111

1. 含有核苷酸结构的物质111

2. 含有氨基酸结构的物质123

3. 维生素与植物激素类物质128

四、含氮或硫的植物次生物质140

1. 生物碱140

2. 酰胺143

3. 胺类144

4. 腈类145

5. 挥发性含硫物质146

五、植物氮、磷、硫营养障碍与施肥146

1. 氮、磷、硫营养障碍的表现146

2. 合理施肥的依据与技术148

六、大自然的氮素循环160

第四章 植物必需的大量金属元素——钾、钙、镁163

一、钾164

1. 钾在植物生活中的作用164

2. 植物钾素营养诊断与施肥171

二、钙182

1. 钙在植物中的生理作用182

2. 不同植物对钙的需要和钙素营养失调188

3. 土壤中钙的亏缺与钙肥的施用193

三、镁195

1. 镁在植物生活中的作用195

2. 镁的吸收利用与营养诊断201

3. 土壤中的镁和镁肥的施用205

第五章 植物必需的微量元素	207
一、铁	207
1. 黄叶病和第一个微量元素	207
2. 植物需要不断供铁	208
3. 叶绿素的形成需要铁	209
4. 植物中铁的有机结合物	209
5. 土壤中的铁及对植物的有效性	212
6. 植物中的铁和缺铁的防治措施	214
7. 铁过剩的毒害与防治	216
二、锰	219
1. 必需性的确定与缺乏病症	219
2. 在光合作用中的作用	220
3. 氧化还原和酶活化作用	222
4. 土壤中锰的有效性及锰缺乏的矫正	223
5. 植物的锰毒害与防治方法	226
三、铜	228
1. 必需性的认识与缺乏病	228
2. 含铜氧化酶与呼吸作用	229
3. 含铜蛋白与光合作用	231
4. 铜对氮代谢的影响	232
5. 土壤中铜的有效性与铜缺乏的矫正措施	232
6. 铜过剩的毒害及其防治措施	234
四、锌	235
1. 锌缺乏症状	235
2. 锌与生长素	236
3. 锌与蛋白质合成	237
4. 锌与叶绿素形成和光合作用	238
5. 锌与某些酶的活性	238
6. 植物的锌含量和对锌缺乏的敏感性	239
7. 土壤中的锌及对植物的有效性	240
8. 植物锌缺乏的防治	243
9. 锌过剩的毒害与防治	244
五、钼	244

1. 需要量极微的必需元素	244
2. 构成硝酸还原酶	245
3. 构成固氮酶	246
4. 钼的其它生理作用	248
5. 土壤中的钼及其对植物的有效性	249
6. 植物中的钼与钼缺乏的矫正	250
7. 钼过剩的毒害和防治	252
六、硼	253
1. 植物对硼的需要与耐性	253
2. 植物的缺硼病症与缺乏界限	255
3. 硼在植物中的生理作用	257
4. 土壤中的硼及其对植物的有效性	260
5. 硼缺乏的矫正措施	262
6. 硼过剩的毒害和防治方法	263
七、氯	264
1. 植物对氯的需要	264
2. 土壤中氯的来源、含量与移动	266
3. 植物对氯的吸收、累积与分布	268
4. 氯对植物的生长效应与生理功能	269
5. 氯的毒害作用和植物敏感性的种间差异	272
6. 含氯肥料及其应用	274
第六章 植物营养与生活中的硅、钠、钴、钒、镍、铝、镉 及稀土元素	276
一、硅 (Si)	276
1. 植物中硅的含量与分布	276
2. 植物对硅酸的吸收	281
3. 植物体内硅的存在形态	282
4. 硅在植物中的生理作用	283
5. 水稻的硅肥施用与需肥诊断	289
二、钠 (Na)	292
1. 植物中钠的含量与钠肥效应	292
2. 钠对植物的必需性与C ₄ 型光合途径	294
3. 钠在植物体内的分布与生理功能	296

4. 钠对植物的毒性与植物生态型	298
5. 植物对钠的适应生理与抗性育种	301
三、钴 (Co)	303
1. 土壤-植物体系的低钴水平与家畜病害	303
2. 钴在植物中的生理作用	305
3. 一般植物对钴的效应与忍耐	308
4. 钴累积植物与土壤的生态关系	309
四、钒 (V)	310
五、镍 (Ni)	314
1. 植物对镍的吸收、转运与累积	314
2. 镍对植物生长的作用	316
3. 镍对植物酶活性的影响	318
4. 镍和物质代谢的关系	319
5. 镍和其它植物营养元素的关系	320
6. 镍对植物的毒害作用	321
7. 镍的增产效果和植物保护作用	322
六、铝 (Al)	323
1. 铝对植物的毒害	324
2. 植物对铝的适应性与忍耐力	326
3. 铝对某些植物的营养含义	328
4. 铝的生态学效应	329
七、锶 (Sr)	330
1. 锶的生物学意义	330
2. 核裂产物 ⁹⁰ Sr的世界分布	331
3. 土壤中 ⁹⁰ Sr的含量与在剖面中的移动	332
4. 土壤中 ⁹⁰ Sr的固定与释放	333
5. 植物对 ⁹⁰ Sr的吸收与累积	334
6. 减少 ⁹⁰ Sr污染的措施	338
八、稀土元素	339
第一至五章参考文献	346
第六章参考文献	358

第一章

植物的生活和营养方式

一、可爱的绿洲

春风化雨，万物复生，辽阔的大地就逐渐变成绿洲。祖国的最南方，更是四季如春，漫山遍野，郁郁葱葱。在这万绿丛中，还点缀着红橙黄紫，随着季节而演替，显得格外鲜艳多彩。是谁把大地装饰得这么秀丽？！是植物。这植物，高至参天的大树，矮至贴地的苔藓；有的枝挺叶茂，有的匍匐攀缘；奇花异果，姿态万千，实在可爱！当我们在阶前庭院、公园广场，种上一些植物，我们的生活环境就显得生意盎然……。但是，当你深刻了解这植物时，就会觉得更可爱之处远远不在于它的景观和姿色。

当赤日炎炎，行走在大道上，道旁蔽日遮荫的行道树令人心旷神怡。在风沙盛行地区，那挡风固沙的防护林又使人视若珍宝。在水土流失的黄土高原，人们更是希望有植物扎根生长，保持水土。然而更重要的是，我们的衣、食、住、行，甚至维持生存，处处都离不开植物。

先看吃的。每日膳食中必需的粮食、蔬菜和食油，无一不是绿色植物的产物。也许你会说，不吃这些东西，喝奶吃肉，还有蛋、鱼等等动物性食品，不也能活吗？是的，可是这些动物性食品，也是动物吃了植物以后才变来的啊！牛不吃草怎能产奶，猪不吃食又怎能长肉，再说养鸡吧，虽然可以喂些鱼粉，但鱼又怎么长大的呢？

也许你会以为：大鱼吃小鱼，小鱼吃虾米，是动物吃动物长大的。确实，自然界大小动物一层一层相替作为食物的现象很普遍。你看，鹰啄食蛇类，蛇吞食蛙类，蛙捕食虫类。但最后的虫类还是靠植物为生。海里的鱼虾虽然一层一层的吃，但最后的食物来源也只能是植物。生物界这种相替作为食物的关系，叫做“食物链”，靠着这食物链，生物之间维持相对平衡，这种平衡发展的基础环节是绿色植物。也就是说，一切生物都直接或间接以植物为食物，人的食物也都直接或间接来源于植物。地球上的绿色植物每年要生产出四千多亿吨有机物，作为人类食物消耗掉的仅只是其中的一个零头。

再看看穿的吧。棉、麻织品，一目了然植物提供的原料。丝绸毛绒呢？有的是蚕吐的丝，有的是驼、羊等动物的毛、皮加工制成的，但蚕要吃桑叶、柞叶等才能吐丝，动物要吃草或其他动物才能长毛皮，也都离不开植物。那么，现今我们有了“的确良”等化纤产品，可不必穿来源于植物的织品了吧！但是，制造这化纤产品的某些原料来源于石油、天然气，后者还是多少万万年前埋在地下的植物遗体变来的。

提到石油，又使我们想起煤炭。这两样东西都是古代植物留下来的财富。有了它们，我们今天取暖、烧饭十分方便，汽车、火车行走如飞。无论在家庭生活或者在国家建设中，它们都是不可缺少的能源。说到能源，我们一定会想起太阳能。绿色植物是地球上唯一能大规模固定太阳能的东西。不仅古代植物固定太阳能，以煤炭、石油的形态保存下来，为现代人类文明社会的发展立下了汗马功劳，而且现代地球表面的绿色植物每年都要固定 3×10^{21} 焦耳的太阳能，而人类每年耗用的全部能量只有它的十分之一左右。这个数字告诉我们：绿色植物是人类取之不尽、用之不竭的能量仓库。

在我们的生活里，处处都在利用植物。我们的住房，从简易村舍到高层大厦，都需要木材来建筑；各种木制家具、藤椅竹器更是人人喜爱。即使我们生病时也需要植物来帮忙。你看，中中药材，

包括人参、鹿茸，绝大多数不都出自植物或依赖于植物而生存的动物吗？！有许多西药也是从植物中提取出来的。植物不仅可供药用，而且还含有许多工业上有用的东西，如橡胶、染料、香料等等。所以说植物是我们人类生活的物质基础。

说到这里，你可能已经觉得植物和我们生活的关系实在太大了。是的，可是关系更大的，还在于没有植物我们简直不能生存！谁都知道，人不呼吸就没法活，但如果空气中没有氧人也无法呼吸，因为人呼吸需要吸收氧和排出二氧化碳。如空气中缺乏氧，而充斥着二氧化碳，人就会憋死。也许你曾听说过甘薯窖里憋死人吧。如果下到较深的甘薯窖去取甘薯，在启开窖门后，不预先换换气急于下窖，就有可能上不来的！这是什么原因呢？原来甘薯也要进行呼吸，在长期密封下它耗尽了窖内的氧气，而呼出很多二氧化碳，因为二氧化碳比较重，沉积在窖内，启开窖门后不能马上散出来，外面的新鲜空气也不能马上跑进去，人下窖就陷入了没有氧气的二氧化碳包围中，以致窒息而死。地球表面的生物，包括人类、动物、植物和部分微生物，都要呼吸。试想，如果消耗掉的氧气没有新的补充，排出的二氧化碳累积起来，那么，人和其它生物还怎么能生存呢？幸亏绿色植物独具一个本领，即它能大规模地放出氧气，不断补充生物呼吸消耗的氧；又能大规模地吸收二氧化碳，把它转化成有机物，使生物呼吸中排出的二氧化碳不致积累。由于绿色植物这样不断地调节空气成分，使我们生活的大气环境维持相对稳定，这真是绿色植物的伟大功绩！但如果追溯一下生物界的进化历程，绿色植物放出的氧气还是一个非常重要的进化因子呢！由此可见，如果没有绿色植物，不仅形形色色的生物现在没法生存，恐怕当时也不可能产生吧！

那么，绿色植物为什么会有这么神奇的本领呢？对于这个问题，人类已探讨几百年了。早在二百多年前，人们逐渐发现植物能进行光合作用，植物的上述许多特殊本领都和光合作用有关，因为正是

光合作用大规模地固定太阳能，制造有机物，也正是光合作用大规模地吸收二氧化碳和释放氧气。而植物之所以能进行光合作用，完全在于它细胞内有一种非常微小的特殊“机器”——叶绿体。于是人们对叶绿体里的秘密就发生了极大的兴趣。

二、叶绿体里的秘密

叶绿体究竟是个什么东西呢？我们平时只能看见它的颜色，即植物显示的绿色，但肉眼看不到它的体形，因为叶绿体长约3—10微米，宽约2—3微米，厚约1—2微米，在不过1平方毫米的叶面积内竟可多达几千万个。人们借助显微镜，可以看到它一般的形状是两端小而中间大，多呈椭圆碟形。这个微小的东西非常复杂。由于电子显微镜的问世和细胞生物化学的发展，现在总算大体了解它的内部结构和功能了，但还有许多地方没搞清楚。

请看图1，叶绿体外部包围着两层被膜，每层厚约5毫微米，两层被膜之间相距约10毫微米。这两层被膜能选择性透过不同物质，构成叶绿体内部和外界（细胞质）的机要通道。叶绿体内有一种由膜构成的扁平囊状结构，

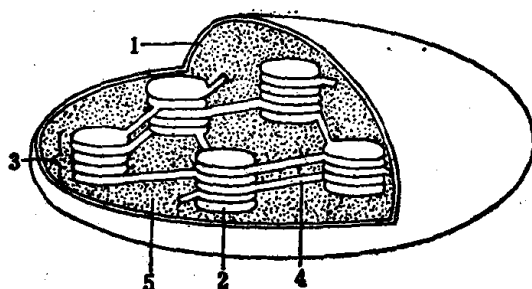


图1 叶绿体结构示意图

1. 叶绿体被膜 2. 基粒片层 3. 基粒 4. 基质片层 5. 间质

叫做类囊体。有的类囊体呈“空心饼”状，并两个以上垛叠在一起，形成所谓基粒，其直径为0.4—0.6微米，厚度为0.3—0.6微米，每个叶绿体中平均有50个左右。形成这些基粒的类囊体又叫基粒片层，没有垛叠成基粒的类囊体就叫基质片层，它把基粒联系起来。基粒片层和基质片层统称片层结构，它是叶绿体的内膜系统。围绕内

膜系统还有许多物质，叫做间质。间质中有各种酶和遗传物质。

类囊体的膜上嵌有许多色素、电子传递体和酶，就象“空心饼”上粘有芝麻、花生和红枣似的，但它们不是芝麻花生那样杂乱无章的，而是严密联系，井井有条，并且各自执行一定功能的。类囊体上的色素有叶绿素a，叶绿素b和类胡萝卜素等，它们都能捕获光能。叶绿素b和类胡萝卜素把捕获的光能传递到叶绿素a，叶绿素a再将这些能量聚集起来，传递到“光合作用中心”，这“光合作用中心”是特殊状态的叶绿素a的二聚体和电子供体与受体组成的。光能要传递到此“作用中心”才能起光化学反应。那些只吸收光能，不参与光化学反应的色素，称为天线色素。每个作用中心周围有二、三百个这种天线色素，它们与蛋白质结合形成天线复合物。天线复合物和作用中心合称为一个光合系统。光合系统有两种，一种叫光系统I，能利用远红光（700毫微米），其特殊状态的叶绿素a称为 P_{700} ，另一种叫光系统II，只能利用波长较短的红光（680毫微米），其特殊状态的叶绿素a称为 P_{680} ，它们各自进行不同的反应。

现在让我们来看看，在这结构复杂的叶绿体里，光能是如何固定，氧气如何释放，二氧化碳如何吸收，有机物是如何制造的吧。

请看图2。光系统II的 P_{680} 二聚体（两个分子的叶绿素a）获得光能后，引起电子分布的重排，变成激发状态，每个分子放出一个高能电子，共放出一对电子。失去电子的 P_{680} 二聚体，在含锰酶的参与下，又从一分子水（ H_2O ）里获取两个电子，而使水分解出氧原子和两个质子（ H^+ ），两个氧原子结合成氧分子，扩散离开叶绿体，排放至空气中。这就是绿色植物如何不断补充大气中氧的过程。

水解放出的两个质子（ H^+ ）却排入类囊体里面的溶液中。由 P_{680} 二聚体放出的两个电子从类囊体膜的内表面传给外表面上的质醌（PQ），获得两个电子的质醌再从膜外面溶液中获取两个质子（ H^+ ）而变成 PQH_2 ，此 PQH_2 则从类囊体膜的外表面转移到内表

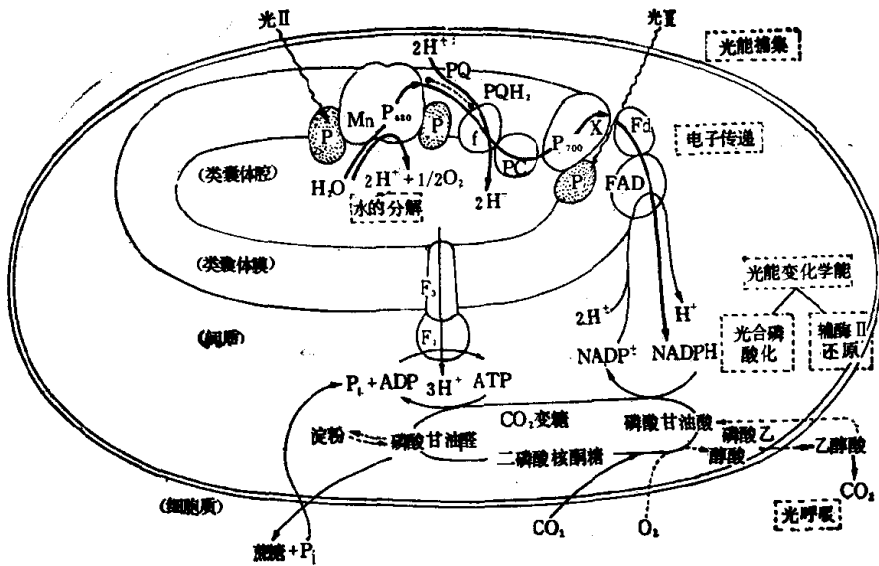


图2 叶绿体的主要功能示意图

- | | |
|----------------------------------|---|
| Mn — 含Mn ⁺⁺ 的酶 | FAD — 黄素腺嘌呤二核苷酸 |
| P — 天线复合物 | NADP ⁺ — 氧化型辅酶 II |
| P ₆₈₀ — 光系统 II 作用中心色素 | NADPH — 还原型辅酶 II |
| PQ — 氧化型质醌 | ADP — 腺苷二磷酸 |
| PQH ₂ — 还原型质醌 | ATP — 腺苷三磷酸 |
| f — 细胞色素 f | P _i — 无机磷酸 |
| PC — 质蓝素 | F ₁ -F ₀ — 偶联因子 (酶) |
| P ₇₀₀ — 光系统 I 作用中心色素 | 其中F ₁ 是活性中心 |
| X — 铁硫蛋白 (未定) | F ₀ 形成质子通道 |
| Fd — 铁氧还蛋白 | |

面，在那里把两个电子传递给细胞色素f，同时又把两个质子(H⁺)排入类囊体膜里面的溶液中。“电子对”继续沿着内表面传给质蓝素，再传给光系统I的“作用中心色素”(两分子的P₇₀₀)。此时P₇₀₀二聚体被天线复合物传来的光能激发，也发射出一对电子，正需要一对电子补充。发射出的“电子对”则又传到类囊体膜的外表面，被铁硫蛋白(未定)接受，然后又继续沿着外表面传给铁氧还蛋白(Fd)，再传给黄素腺嘌呤二核苷酸(FAD)；获得电子的FAD再从外部溶液中获取两个质子(H⁺)，转变成FADH₂。FADH₂将其中一个质子和两个电子授给氧化型的辅酶II(NADP⁺)，使之变成