

发展中国家 植物营养与土壤限制因素

联合国粮食及农业组织
技术咨询委员会秘书处
1983年3月

AGD/TAC:IAR/82/7

限制分发

发展中国家 植物营养与土壤限制因素

—— 为国际农业研究磋商小组技术
咨询委员会准备的工作文件

作者：北卡罗来纳州立大学土壤学系
佩德罗·A·桑切兹
约翰·J·尼科雷迪斯

目 录

	页 次
第一部份 概 况	1
第二部份 前 言	4
一、植物营养对世界粮食生产的重要性	4
二、工作权限	7
第三部份 植物养分的来源与利用	9
一、土壤中的储量	9
二、无机肥料	11
三、生物固氮	14
四、有机肥料	15
五、提高投入的利用效率	16
六、土壤限制因素	17
第四部份 主要的世界性评估	18
一、作物生产率：研究的必要性（1975年10月）	18
二、康奈尔——国家科学基金会（1976）	18
三、粮农组织：改进对植物养分的利用（1977）	18
四、国家科学院：世界粮食和营养研究（1977）	19
五、土壤限制因素会议（1979）	19
六、北卡罗来纳州立大学：土壤管理合作研究计划（1979）	19
七、波恩农业生产会议（1979）	19
第五部份 研究与发展方面的需要	22
一、与资源评估有关的研究成分	22
1 土壤的鉴定与分类	22
2 土壤分类的说明与植物营养限制因素	23
3 土壤肥力评价	24
4 肥料的供应、价格、分配及利用	24
5 肥料生产工艺	25
二、有关缓和土壤限制性因素的研究成分	26
1 选择能耐土壤限制性因素的种质	26

2 土壤酸度的治理	2 7
3 盐渍度	2 8
三、有关缓和营养限制因素的研究成分	2 9
1 氮肥效率	2 9
2 磷肥管理	3 0
3 钾和养分平衡	3 1
4 硫	3 1
5 微量营养元素	3 2
四、有关利用生物资源的研究成分	3 3
1 生物固氮	3 3
2 有机残体的利用	3 4
3 光合作用不足	3 4
4 根际效应	3 5
5 生理学和遗传学方面的基本缺陷	3 6
五、有关缓和土壤物理限制因素的研究成分	3 6
1 雨育耕作体制的水利管理	3 6
2 防治侵蚀	3 7
3 机械阻力	3 8
4 土地清理方法	3 8
六、有关改进耕作体制的研究成分	3 9
1 在氧化土和老成土上持续生产	3 9
2 复 种	4 0
3 农林结合	4 0
4 高价值作物的集约施肥	4 0
5 灌溉耕作体制的管理	4 0
6 较少化学投入的耕作体制	4 1
七、技术转让方面的需要	4 3
1 研究成果的验证与应用	4 3
2 培 训	4 3
3 研究向农民提出施肥建议的有效体系	4 3
八、采用有关植物营养研究的系统方法	4 4

第六部份	拟议的研究纲要	4 5
一、	采取农业生态区研究方法的理由	4 5
二、	评估参数	4 6
三、	湿热带	4 6
四、	半干旱热带	5 0
五、	酸性热带稀树草原	5 4
六、	湿 地	5 6
七、	陡坡地	5 7
八、	结 论	5 8
第七部份	目前的研究情况	5 9
一、	国际农业研究磋商小组系统	5 9
二、	其它国际组织	6 2
三、	发达国家机构	6 3
四、	发展中国家研究系统	6 5
五、	结 论	6 6
第八部份	国际肥料发展中心	6 7
一、	提高氮肥和磷肥的利用效率	6 7
1	水稻土中的氮	6 7
2	高地土中的氮	6 8
3	磷肥计划	6 8
4	培训计划	6 9
二、	产品研制	7 0
1	氮	7 0
2	磷	7 0
3	培训计划	7 1
三、	监测肥料的销售与分配	7 1
四、	其它重点工作计划	7 3
五、	结 论	7 3
第九部份	供技术咨询委员会／国际农业研究磋商小组考虑的措施	7 5
一、	总的考虑	7 5
二、	国际肥料发展中心	7 7

三、体制方面的措施	7 7
四、有关评价方法的考虑	7 9
第十部份 参考文献	8 2
第十一部份 附表	9 5

第一部份 概 况

1980年5月10日,技术咨询委员会委托作者们对植物营养研究工作进行一项研究,以供技术咨询委员会和国际农业研究磋商小组审议。该项研究的目的是评估目前植物营养研究工作的状况,至于研究工作的深度和广度以及是否还要在这个领域开展其它工作的问题应由国际农业研究磋商小组体系考虑。考虑到最近的一些世界性优先工作评估研究(主要材料来自发展中国家),作者已把重点放于根据研究工作的需要来综合研究成果、制定一个研究工作行动纲要,并向技术咨询委员会提出三种方法。我们的主要结论如下:

1 发展中国家今后20年的粮食生产将比过去20年更加依赖通过增加肥料投入来改善植物的营养。土壤本身的植物养分的估计储量,磷的沉积物,钾和硫矿的储量以及生产氮肥的原料等,一般都足以满足预计的需求量。但在各国或地区之间,生产氮素的原料和磷、钾矿床的分布不均,发展不平衡,以及费用的增加,都会造成许多限制性困难。

2 目前的估计数表明:在世界上由作物累积的氮磷钾中,约46%来自土壤本身储藏的氮磷钾,40%来自无机肥料,一小部分来自有机肥料、生物固氮和大气沉积。由于集约化的作物生产增加了对养分的需求,而由土壤本身释放的养分总量依然不变或有所减少,因此,从其它来源获得额外的养分就显得愈加必要。

3 无机肥料对发展中国家的粮食生产起了重大作用。过去30年中,发展中国家谷物单产增长的大约29%是施用了无机肥料的结果。预测表明,全世界的作物养分需求量增加的绝大部分将由无机肥料和生物固氮来满足,因而,这个比例将进一步增加。提高肥料的利用效率也需要认真注意使用和管理有机肥料、作物残体和生物固氮。然而,把粪肥和作物残体用作燃料的需求的日益增加,可能使它们作为植物养分来源的可能性受到限制。

4 实际上,不能把植物营养限制因素同其它与土壤有关的限制因素分割开来看。肥料和改良剂、生物固氮和其它养分的利用效率是如此地取决于土壤限制因素,以致于难以把“植物营养”作为一个孤立的“因素”来考虑。土壤的这些限制因素包括土壤酸度、表土结壳、水分缺乏和侵蚀。其它有关的限制因素包括:土壤调查不够、缺乏肥料销售知识以及技术转让工作有限。因此,作者认为有必要扩大原来的工作权限,把与土壤有关的所有限制因素都包括进去。

5 在过去六年中,进行了七项主要的评估研究,以便确定与植物营养有关的研究的优先研究领域。来自50多个国家的300多名科学家和行政管理人员,为确定这些优先研究领域作出了贡献。参加者包括国际农业研究中心的成员,有几项研究是由国际农业研究磋商小组许多捐助者发起的。关于一些主要问题,取得了明显一致的意见,大家一致认为,着重于农业生态区划的作法是可取的。

6 根据评估研究确定了32个研究组成部分。涉及资源评价的有五个组成部分,专门解决不利土壤因素的三个,减轻营养限制因素的五个,更好利用生物资源的五个,减轻土壤物理限制因素的四个,改进耕作体系的六个,技术转让需求方面的四个。

7 共确定了五个主要的农业生态地区,即亚热带,半干旱热带,酸性热带稀树草原、湿地和陡坡地,这五种地区都是需要更加关注的地区。这些地区是发展中世界土壤——植物营养限制因素预期将对增加生产施加更大压力的地区,这些因素还要引起土地资源的退化。灌溉耕作体系内的植物营养工作也被视为十分重要。

8 根据若干标准按这五个农业生态地区安排了优先的研究组成部分,这些标准包括:研究需要、短期和长期的影响、费用的多寡、易于转让的程度、预期效益和目前的能力。本文件提出了一个拟议的研究纲要,作为农业生态地区和研究组成部分的基础。

9 本报告对为发展中国家所开展的有关主要土壤——植物营养研究工作的情况进行了简要的讨论。虽然本报告认为,除某些情况外,土壤——植物营养研究并不是一个被忽视了的领域,但这些方面的许多研究工作并未在充分协调的情况下开展,以便产生最大的效益并充分交换情报资料。

10 然后,结合技术咨询委员会/国际农业研究磋商小组的目标,尤其是1979年的优先工作文件对研究结果进行了审议。本报告认为,目前的研究工作及其地理分布情况,根本不足以给人们以这样的结论,即减轻土壤——植物营养限制因素的技术将得到充分的研究和转让,以继续、充分地增加粮食生产。为了缩小这一差距,需要作出国际方面的努力。

11 作者们还认为,研究工作的地域性问题应根据土壤——植物营养研究工作来重点考虑。拟议的研究纲要包括一个或更多农业生态地区通常遇到的一些问题。这些问题的严重程度确实带有地域性,但这些问题却具有国际性质。

12 作者们建议技术咨询委员会应开始进行旨在能更好协调和加强土壤——植物营养方面的国际研究工作,以便(1)提高植物养分的效率,(2)提高和稳定发展中国家边际地区的粮食生产,尤其强调雨育地区的粮食生产,(3)保护土地资源,尤其是重点农业生态区的土地资源。

13 国际肥料发展中心在研制如何提高第三世界的肥料利用效率的技术方面,起着关键而又独特的作用。国际肥料发展中心的明确任务、工作的紧迫性、职工质量、研究和培训的结合情况以及与发展中国家机构的良好关系等,同其它国际农业研究中心是相一致的。作者们认为,国际肥料发展中心应继续对国际农业研究中心的植物营养研究工作加以补充。虽然,国际肥料发展中心的问题同供技术咨询委员会审议的三种方法是不相连的,但国际肥料发展中心的问题被认为是极为重要的问题。

14 提出来供技术咨询委员会审议的三种方法如下:

- (1) 加强现有国际农业研究中心对土壤——植物营养的研究，并在进行这种研究的单位之间建立一个工作网。建议鼓励捐助国加强和继续开展在国家、双边及国际各级正在进行的类似的有关活动。
- (2) 建立一个旨在加强土壤——植物营养研究的协调和促进中心，尤其是国家和国际研究机构内的协调和促进。这个问题包括第一种方法中提及的措施。该中心应设立一个由高水平的工作人员组成的小型秘书处，以履行服务和协调方面的职能。
- (3) 建立一个正式的国际土壤——植物营养研究机构，并重点研究雨育耕作体制。

鉴于上述各种方法各有其利弊，作者们认为第二种方法是最为合适的方法。

第二部份 前 言

一、植物营养对世界粮食生产的重要性

植物营养可称为生物学的一部分，它专门研究那些影响植物生长发育所必需的营养元素的供应和利用方面的因素（表一）。根据国际农业研究磋商小组的目标，主要注意力应集中在植物品种的营养方面，这些植物品种直接或间接地为发展中国家提供基本粮食，同时还应注意影响利用这些营养元素的限制因素。

植物营养是影响世界粮食生产的主要因素之一。供人类目前和未来消费的作物能否持续高产则取决于获得的营养是否充足。在大部分耕作体制下，除极少数情况外，从土壤中释放的养分均需补充施肥。土壤本身的养分储量终会耗尽，所以，为保证生产就需要对土壤本身的营养加以补充。植物养分的不同来源、它们之间的相互作用以及对它们的利用效率都是实际生产中的主要问题。

目前把主要重点放在无机肥料的作用上。自1950年以来，发展中国家粮食产量增长的近75%都是由于每公顷单产的增加。施用无机肥料是最重要的技术因素，它的作用大约占产量增长的50%（von Peter, 1980）。十分不幸的是，发展中国家肥料的平均施用量是很低的。目前，发展中国家所施用的无机肥料仅占世界总量的27%，生产的谷物占28%，耕种60%的世界谷物耕地，养活世界人口的73%（FAO, 1980a）。

表二表明三个发展中区域的肥料对谷物粮食生产的作用。据目前估计，因施用肥料而增产的部分平均占增产总数的29%。因施肥的耕地面积有限，所以，对作物生产的总的作用平均只有15%。因而，增加耕地的施肥面积也是值得考虑的一个重要方面。

据世界银行（1979）估计，今后20年发展中国家粮食总产量增长的50%左右，将通过增加肥料的施用量以及其它有关的农业投入来实现。二十世纪末发展中国家无机肥料的施用量的增长速度，预计将比目前快（国际肥料发展中心/联合国工业发展组织，1978；世界银行，1979）。世界银行的报告指出：

“增加肥料施用量无疑是提高作物产量和帮助发展中国家实现粮食自给自足的最重要的措施之一”。然而，“除非认真消除影响施用肥料的限制因素，否则总的肥料供应会不足，粮食产量才不可能达到令人满意的水平”。（世界银行，1979）。

表一 植物内必要矿物质养分的功能和混合物

营养元素	可能的功能	混合物的实例
大量营养元素		
氮	作为混合物的主要代谢价值	氨基酸(蛋白质), 嘌呤, 嘧啶(核酸), 胺, 生物碱, 脲化物, 氨基糖,
磷	能量传递, 结构	黄素和其它辅酶, 叶啉类, 叶绿素。 糖磷, 三磷酸腺苷, 三磷酸鸟苷等, 核酸, 辅酶, 植酸, 磷脂乙酰磷, 磷丙酮酸脂, 辅酶A, 硫胺素, 焦磷酸酶
钾	渗透关系, 蛋白质构成和稳定, 气孔, 膜以及酸碱度的控制	很可能主要以离子形式出现
镁	酶的活性, 色素和细胞壁	叶绿素
钙	酶的活性, 细胞壁	果胶酸钙, 植酸钙, 碳酸钙
硫	酶和辅酶中的活跃成分	半胱氨酸, 胱氨酸, 谷胱甘肽, 蛋氨酸, S-adenosyl 蛋氨酸, 硫葡萄糖苷, 多糖, 多糖硫酸盐(琼脂), 类脂酸, 辅酶A, 硫胺素, 磷酸硫脂
微量元素		
铁	酶中的活跃成分和带电体	细胞色素, ferredoxin, 过氧化氢酶, 叶啉综合物, 氮, 硝酸盐, 亚硝酸盐, 亚硫酸盐还原酶, 铁硫多酚氧化酶, 氨基氧化酶, Plastocyanin
铜	酶, 光合作用	锰
锰	光合作用, 羧酸代谢作用	硝酸还原酶
铝	固氮作用, 和硝酸盐还原作用	破肝
锌	与酚合在一起对食糖运输的作用	硼酸盐离子, 没有出现自然产生的有机混合物
硼	固氮, 结	仅是固氮微生物中的维生素B ₁₂
钴	酶的活性	水合物二氧化硅
硅	光合作用(作为氯化物), 也出现于混合物中	氯化氮, 生物碱
钠		
氯		

摘自 Hewitt and Smith (1975) 的材料。

表二 1948 - 1952 年和 1972 - 1973 年两个阶段发展中市场
经济国家肥料对谷物产量的作用*

区 域	年谷物总产 量增加数	因施肥料的估计 增加数		因施肥料的估计 总产量 (1972-1973)
	百万吨.....		百分比	百分比
亚 洲	81.5	26.2	32	15
拉丁美洲	40.5	10.8	27	16
非 洲	12.4	2.5	20	6
合 计	134.4	39.5	29	15

* 根据国际肥料发展中心和联合国工业发展组织(1978)资料计算。

由于无机肥料对世界粮食生产十分重要,增加无机肥料的施用量只是对问题的部分解决方案。能源资料有限和肥料生产费用的增加对无机肥料的整个前景产生巨大影响。由于氮肥是能源消费最多,生产成本最高的一种肥料,所以,不但需要找到碳氢化合物的替代原料,而且也需要提高氮肥的利用效率。此外,必须对有机肥料和生物肥料来源进行认真的研究。

正象无机肥料并不是限制获得充分的植物营养的仅有因素一样,植物营养也很少是限制作物产量的仅有因素。农作物的单产和质量与作物、土壤、气候和管理呈函数关系,每种因素都是变化多样的。即使在植物营养因子处于最适状态时(包括最合理利用无机肥料),如果任何其它因子(如水)起着更大的限制作用而又未得到解决,作物产量将会受到影响。

供水不足是影响利用植物养分最经常发生的限制性因子。到1990年,将增加5,000万公顷的灌溉农田,到2000年,灌溉用水将翻一番(Levine et al., 1979)。目前,全世界的灌溉农田为2.01亿公顷,占世界耕地面积的14%(FAO, 1980a)。三分之二的灌溉农田主要用于种植水稻,其余的三分之一用于种植棉花、糖用甜菜、甘蔗、水果及其它谷物(NAS, 1977a, b)。大部分灌溉农田并不在干旱地区,而是在半湿润和湿润地区,主要在亚洲(NAS, 1977a, b)。发展中国家的灌溉面积占世界灌溉总面积的73%,其中亚洲占57%,近东、拉丁美洲和非洲分别占9%,6%和1%(FAO, 1980a)。仅印度、中国和巴基斯坦就占世界灌溉面积的49%,占发展中国家灌溉面积的66%(FAO, 1980a)。

灌溉对粮食生产的影响是相当大的。例如,印度雨育农田的粮食产量每公顷平均为400

公斤，而灌溉农田的产量每公顷平均为2,150公斤（Levine等，1979）。尽管没有统计数字，但可以断言，发展中国家在灌溉农业以及种植园农业施用了很大一部分肥料。因而，十分明显的是，在今后几十年内，提高植物养分的利用效率将对灌溉农业，尤其是对人口更加稠密的亚洲和近东地区灌溉农业的粮食产量的增长，起着关键的作用。

然而，到2000年时，水资源的开发可能难以对非洲大部分发展中国家、拉丁美洲和亚洲部分发展中国家粮食产量的增长产生重大作用（Levine等，1979），这些地区粮食产量的增长将主要依赖于雨育农业（Levine等，1979）。此外，灌溉所需的投资费用较高（如果靠蓄水，每公顷平均为8,000美元）就说明更有必要减轻土壤限制因素，以提高灌溉用水的利用效率（Levine等，1979）。因而，在今后几十年内，改善植物营养将在灌溉农业体制和雨育农业体制方面发挥重要的作用。

在近五年完成的有关世界粮食形势的七项独立的主要研究中，进一步强调了植物营养对世界粮食生产的整个重要性。这些研究都强调，急需克服与植物营养有关的限制因素，以便增加世界粮食产量。

二、工作权限

1979年5月国际农业研究磋商小组会议的与会人员认识到，国际农业研究磋商小组在针对限制因素的研究，尤其是植物营养研究方面，所要采取的新的主动行动的优先工作需要技术咨询委员会进行进一步的评估（CGIAR, 1980b）。

1980年5月10日，技术咨询委员会委托本报告作者对植物营养研究工作进行研究，以供技术咨询委员会／国际农业研究磋商小组审议。在后来的几个月内，技术咨询委员会和作者们提出了报告的要点，并进行了讨论。技术咨询委员会的指导委员会和作者们同意下述计划：

1 拟写一份至少能简明扼要地论述下列问题的背景文件，

(1) 植物营养在世界粮食生产中的重要性。

(2) 植物养分的来源和利用。

— 矿物和土壤有机养分

— 无机化学肥料

— 共生和非共生的生物固氮

— 有机残体和废物的循环利用

2 根据背景材料，提供下面的情况：

(1) 近来完成的重点评估研究所列的植物营养研究的优先工作。

- (2) 根据长期和短期的影响、耗资的多寡、易于转让的程度、效益以及国家和国际研究机构现有的能力等，按专门农业生态区对商定的植物营养研究优先工作分类。
- (3) 在叙述发展中国家和发达国家各种机构对这些植物营养研究的优先次序时，详细介绍目前的工作开展情况。

3 根据这种背景材料，提出若干方案，供国际农业研究磋商小组和技术咨询委员会在研究重点植物营养研究需要时考虑。

因为本报告作者中的一人或两人都有幸地参加了有关植物营养研究需要的最后四次研究，而且有一次在他们的领导下，曾对发展中国家和发达国家进行了广泛的旅行，所以技术咨询委员会指导委员会和作者们认为，在编拟这个报告时，没有必要进行新的重点旅行。为了增加在其它研究和这项研究期间所收集的资料，作者们于1980年11月对国际肥料发展中心进行了三天的参观访问。1980年10月16日向技术咨询委员会主席提交了一份临时报告。然后，1981年1月12日向技术咨询委员会主席提交了最后报告草案，在年轻的作者向1981年2月25日于埃塞俄比亚的斯亚贝巴召开的技术咨询委员会第二十五届会议提出口头报告以前，技术咨询委员会主席把最后报告草案分发给技术咨询委员会成员国，以供它们审议。目前的这份最后报告是技术咨询委员会和技术咨询委员会委托的科学家对那份报告草案审议之后，再进行修订过的文本。

技术咨询委员会有关优先工作的文件(TAC, 1979a)和技术咨询委员会派往国际肥料发展中心考察组的报告(TAC, 1979b),已被证明是编拟临时报告和最后报告草案的特别有用的背景材料。在这次研究过程中，使用了许多其它有关植物营养和世界粮食问题的报告、文章、书籍和私人通信。对这些有关资料进行了挑选和总结并写进目前的报告。

感谢技术咨询委员会有关本报告指导委员会的成员R.W.Cummings和J.K.Coulter博士以及P.J.Mahler先生在本报告编写期间所提供的有价值的意见和建议。感谢D.L.McCune、P.J.Stangel(国际肥料发展中心)、R.Dudal(粮农组织)及北卡罗来纳州立大学一些工作人员提供的背景材料，否则，就没有这些背景材料，或者要想得到这些材料也十分困难。D.Munns(加利福尼亚大学戴维斯分校)，D.Muljadi(印度尼西亚土壤研究所)、J.velly(海外科学技术研究办公室，法国)、D.J.Greenland和N.C.Brady(国际水稻研究所)博士们的审查意见对改进本报告很有帮助。

第三部份 植物养分的来源与利用

由于养分对作物生产十分重要，本节将把重点主要放在主要养分方面，尽管其它必要养分对作物生产也有作用。

由于在主要养分的主要来源对世界作物生产的绝对和相对影响方面缺乏完整的文献资料，所以作者们对全世界每年施用于14.14亿公顷栽培作物和长期性作物的主要养分作了总的估计(表三)。据认为，主要养分的主要来源是土壤、无机肥料、有机肥料、生物固氮和大气沉积，它们都以有效形态释放出来。土壤释放方面的资料数据来自作者们根据非施肥作物摄取情况计算出来的(Sanchez, 1976)；无机肥料方面的资料数据来自国际肥料发展中心和联合国工发组织(1978)；有机肥料方面的数据引自于中国的资料(Kemmler, 1979)，这些数据首先用中国的面积(公顷)相除，然后再乘以世界的面积(公顷)(这些有机肥料不包括仍留在地里的作物残体)；生物固氮和大气沉积的资料数据来自Frissel(1978)。表三说明，土壤释放的养分或作为无机肥料增施的养分，构成了供给全世界栽培作物以及长期性作物的养分的大部分。

一、土壤中的储量

尽管必要养分储藏量中的很大部分都存在于土壤之内(附表一)，但土壤对植物提供养分的能力十分有限。应该指出的是，如果没有其它来源补充，即使每年以有效形态释放并供给植物的养分储藏量很少，但也不能无限期的释放供给下去。大部分土壤氮的储藏量都是有机的，而且一小部分慢慢地被矿化。矿质部分中的土壤磷的储藏量中，绝大部分是以相当难以溶解的磷酸铁、磷酸铝、吸留磷酸盐以及磷酸钙的形态出现，只有经过一些时间以后，其中才会有一小部分能够为植物吸收。大部分磷都存在于有机物质中，但被矿化的那一部分则通常存在于固体的无机物质中。相反，土壤内所含有效钾的情况则一般都随着土壤的主要矿物质的风化程度而变化。

根据完全由养分储藏量供给作物的必要养分数量的准确估计数而发表的数据是难以找到的。但根据利用非施肥谷物的主要养分的吸收数据的计算数，作者们可以就每年从矿物和有机土壤储藏量中释放并供给作物的主要养分得出以下总的估计数：每公顷氮30公斤、磷15公斤、钾47公斤(表三)。总之，从土壤储藏量中供给的有效的主要养分总量为每公顷92公斤，但1980年发展中国家由无机肥料供给的有效的主要养分总量的估计数为每公顷32公斤(表三)。

表三 每年供给全世界 14.14 亿公顷一年生作物和长期性作物的主要养分的估计数

植物养分来源	氮				磷				钾				主要养分			
	公斤/公顷 10 ⁶	总数 10 ⁶ 吨	占总数的 %	公斤/公顷 10 ⁶	总数 10 ⁶ 吨	占总数的 %	公斤/公顷 10 ⁶	总数 10 ⁶ 吨	占总数的 %	公斤/公顷 10 ⁶	总数 10 ⁶ 吨	占总数的 %	公斤/公顷 10 ⁶	总数 10 ⁶ 吨	占总数的 %	占总数的 %
土壤释放	30	42	34	15	21	38	47	66	66	92	86	46				
无机肥料	39	56	44	21	30	54	19	27	27	79	113	40				
有机肥料	4	6	5	3	4	8	5	7	7	12	17	6				
生物固氮	9	13	10	0	0	0	0	0	0	9	13	5				
大气沉积	6	9	7	0	0	0	0	0	0	6	9	3				
总计	88	126	100	39	55	100	71	100	100	198	281	100				

二、无机肥料

我们的估计数是，无机肥料占供给世界作物的主要养分的40%（表三）。据世界银行（1979）估计，无机肥料满足了“世界作物养分需求量的大部分。”根据世界银行的预测，至少到2000年，全世界的作物养分需求量大部分仍将由无机肥料来满足，这些养分需求量中除主要养分外，还包括钙、镁、硫和微量元素。世界银行的报告表明，根据个体农民的开支费用以及发展中国家的外汇情况来看，从现在起到2000年，无机肥料将是作物生产的最重要的投入。的确，据粮农组织报告（1980），1978/79年度发展中国家在世界肥料进口量中占的比例从1972/73年度的6%增加到32%。1980年至2000年期间，发展中国家在每年的无机肥料生产中所需的原料比例预计将从28%左右增加到近40%（附表二）。1980年至2000年期间，最不发达国家的肥料施用量将增加2.5倍（表四）。

1 氮 工业生产的氮肥对世界主要粮食来源的谷物生产非常关键。我们的估计数表明，全世界每年供给耕地和长期性作物用地的氮元素中，有44%是无机肥料提供的（表三）。

据估计，2000年世界的氮肥需求量将从1980年的5600万吨增加到1.4亿吨，其中发展中国家的需求量将从占总数的33%上升到39%（表五）。在1980年至2000年期间，世界的氮肥供应量预计每年将超过需要量百分之几，但发展中国家的生产计划须达到联合国工业发展组织关于到2000年实现氮肥和磷肥自给的研究报告的建议（IFDC/UNIDO, 1978）。因而，到2000年，世界大约40%的氮肥生产能力将集中在发展中国家。

天然气仍将是氮素工厂生产氮肥的主要原料，尽管1990-2000年所建氮素厂使用天然气的比例将由1980-1985年的72%减少到64%。同一期间氮素厂使用煤的比例将由9%增加到17%，石脑油和石油分别占5%和15%（IFDC/UNIDO, 1978）。发展中国家将很有可能把天然气作为生产氮素的原料（Stangel, 1977）。氮肥的近80%将是尿素或硝酸铵，其余的为无水氨、硫酸铵和磷酸铵（IFDC/UNIDO, 1978）。

附表三表明世界发展中地区和发达地区1977年天然气、石油和煤的蕴藏量和产量。附表四表明1977年世界各国已知的石油和天然气的蕴藏量。人们可从这些表格中得出这样的结论，氮的原料遍及发达地区和发展中地区各地，发展中国家与它们目前的生产量相比的蕴藏量要比发达国家多很多，煤的供应量足能满足氮的生产。然而，尽管这些碳氢化合物的原料十分充足，但它们可能会变得愈加昂贵。

2 磷 我们的估计数表明，在全世界每年供给耕地和长期性作物用地的磷元素中，有54%是由无机肥料提供的。预计，到2000年时，世界对磷的需求量将从1980年的3000万吨增加到6400万吨，其中发展中国家的需求量占世界总数的比例将从25%增加到近37%