

江苏省农业科学院科技情报研究室译

〔美〕A. W. A 布朗等编

提高农作物 生产力的 研究方向

农 业 出 版 社

提高农作物生产力的研究方向

〔美〕 A.W.A. 布朗等编

江苏省农业科学院科技情报研究室译

331733

农业出版社

S.S.
5.10

内 容 简 介

本书是提高农作物生产力国际性学术讨论会资料汇编中的一部分，也是讨论的中心内容。包括：氮素投入，碳素投入，水、土和矿质投入，有害生物的防治，不良环境条件，以及植物的生育过程等与农作物生产力有密切关系的六个方面，颇有参考价值。可供农业科研人员、农业院校师生参考。

CROP PRODUCTIVITY-RESEARCH IMPERATIVES

Editors: A.W.A.Brown T.C.Byerly

M.Gibbs A.San Pietro

Michigan-Kettering (1975)

提高农作物生产力的研究方向

〔美〕A.W.A.布朗等编

江苏省农业科学院科技情报研究室译

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 天津新华印刷三厂印刷

787×1092毫米32开本 5.5印张 122千字

1984年5月第1版 1984年5月天津第1次印刷

印数 1-4,700

统一书号 16144·2695 定价 0.87元

提高农作物生产力的研究方向

农业出版社

译 者 的 话

1975年10月，在美国密执安州大学、州农业试验场和凯德林基金会的主持下，在美国国家科学基金会、美国能源研究与开发局、美国农业部和美国国际发展组织等机构的赞助下，在密执安州召开了一次提高农作物生产力的国际性学术会议。会后由主持单位出版了会议资料汇编。

会议根据提高农作物生产力的六个主要问题，同时根据会议参加者的学科专长，分为相应的六个小组进行讨论。最后由各小组的负责人代表小组向会议作了报告。报告中对每一问题的现状作了较全面的分析，并提出了需要进行研究的课题。

这里把六个小组的负责人向会议提出的报告和会议提出的十个问题译述出来，篇幅约占全书的三分之二。这是全书最重要的部分。

会议组织委员会成员之一，美国密执安州大学农业与自然资源学院副院长兼州农业试验场主任 S.H. Wittwer 博士来江苏省农业科学院访问时，将这个会议资料汇编，还有他的其它著作赠送给我院，对他的友好情谊表示深切的谢意。

参加译述的有姜诚贯、过崇俭、谢潜渊、张荣铨、万正源、周行、邱嘉璋等。全部译稿由姜诚贯校阅。限于水平，难免有错误和不当之处，请读者批评指正。

江苏省农业科学院科技情报研究室

1982.7

目 录

第一篇 氮素投入.....	1
引言	1
第一节 科学技术现状和发展动态	4
第二节 研究任务	16
第三节 措施	29
第四节 内容	29
第五节 改进氮素投入技术提高作物生产力的研究任务 提要	30
第二篇 碳素投入.....	32
引言	32
第一节 光合作用的生物化学控制	32
第二节 暗呼吸和光呼吸	36
第三节 植物生长调节剂和碳素投入	38
第四节 碳素代谢的遗传	40
第五节 光合作用的环境控制	41
第六节 有待研究的问题	44
第七节 措施	46
第三篇 水、土和矿质的投入.....	47
引言	47
第一节 靠降雨耕种地区的水资源利用	50
第二节 干旱地区水资源的利用	61
第三节 土壤管理	73
第四节 矿质营养	81

第五节 亟需研究的课题	92
第四篇 有害生物的防治	100
引言	100
第一节 研究任务的类别	103
第二节 研究任务的说明	105
第五篇 不良环境条件	123
引言	123
第一节 不良环境条件的影响	124
第二节 某些限制因素和有关问题	126
第三节 主要的研究课题	131
第四节 研究课题的确定与实施	135
第六篇 植物的发育过程	155
引言	155
第一节 植物细胞与组织培养	158
第二节 生长发育的控制机理(整体植株的发育)	161
第三节 对不良环境因素的反应	164
第四节 遗传变异性的保持和产生	165
第五节 株型设计和新品种培育	166
第六节 基础研究	168
附录 会议提出的若干问题	170

第一篇 氮素投入

由 R.W.F. Hardy P. Filner R.H. Hageman

代表小组提出

引 言

在过去的四分之一世纪中，作物生产力与氮化肥的投入有很高的相关性。例如，经1950—1975年，不论发达国家或不发达国家，谷物产量的增长都与氮化肥施用的增长相一致（图1）。在世界谷物年平均3%的增长率中，约有一半要归因于氮化肥施用呈指数的增长。1974年氮化肥的供应量为4000万公吨，价值80亿—100亿美元。到2000年，根据作物产量预计约需16000万吨。由于成本、利用和环境等种种因素，使这个设想很吸引人，然而并没有促使人们去寻求更好的氮素投入作物的技术。优良的氮素投入技术应具有下述一个或几个特点：

1. 最大限度地降低氮肥生产中的能源消耗和投资费用。
2. 氮素自给（指生物固氮——译者注）。
3. 最大限度地提高土壤氮和肥料氮的利用率。
4. 改进产品的营养特性。

所有这些都具有世界性的重要意义。

这次会议上关于氮素投入的讨论，是要弄清哪些研究任

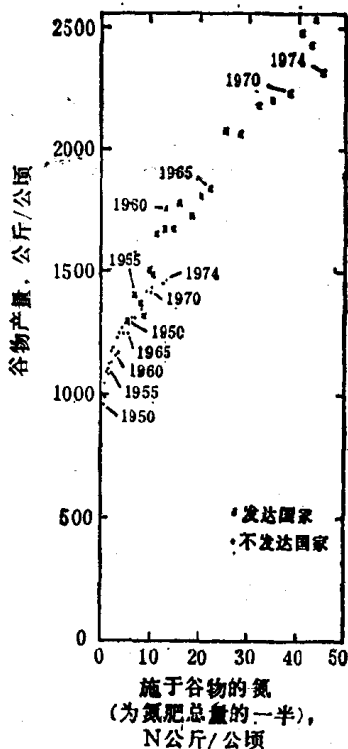


图1 过去 25 年间发达国家和不发达国家的氮肥施用量和谷物产量的关系。注意：这里只用氮化肥总量的一半，因为这是施用于谷类作物的约略的近似值

资料引自 R.W.F.Hardy, Fertilizer research with emphasis on nitrogen fixation in Proceeding of 24th Annual Meeting of Agricultural Research Institute, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1975.

务最有可能产生新一代的氮素投入技术。我们认为，作物上施用氮素的技术已经到了第 6 代。表明氮素对作物生产的重

要性很早就为人们所认识。例如，种植绿肥和含氮废物的再利用技术，可以追溯到古老的年代。而把硝石作氮肥，对豆科作物接种根瘤菌，用哈勃—巴希合成氨法制造氮素化肥以及培育对氮素反应敏感的玉米、小麦和水稻等耐肥高产品种，则是近年来的事。

我们采取下述途径来确定研究任务及其优先顺序。首先选择了水稻、小麦、玉米、高粱、大豆、马铃薯、甘蔗、糖甜菜、棉花和苜蓿等世界上的主要作物，综合考虑了氮素投入问题，包括氮化肥的制造和使用、生物固氮、土壤氮的转化、含氮废物的再循环、植物对固定态氮的利用，还包括氮的报酬指数、蛋白质的合成以及蛋白质的质量和数量。确定了一个多学科的对作物氮素投入各方面有素养的国际专家小组。这个小组至少应包括工程师、经济学家、化学家、生物化学家、分子生物学家、生理学家、微生物学家、遗传学家、生态学家和植物育种家各一人。这个小组就有关氮素投入的知识和需要研究的问题的现状发表意见。这些意见为最初的起草工作和项目设计提供基础。通过四次技术性的工作会议，产生和评价了这些研究任务在国内的和国际上的重要性。这个小组采用一种修改过的特尔斐技术(Delphi Technique)来确立优先顺序和表明研究任务对作物产量开始发生效果的期限。在这个研究任务中，只有两项最优先的任务。任务1是最优先的级别。任务2次之，是较优先的级别。任务3又次之，属于优先的级别，不放入最优先之列。根据专题任务在生产上发生作用的时间，又分为短期(0—10年)、中期(10—25年)和长期(25年以上)三种。任务的重要性以百分数表示。

第一节 科学技术现状和发展动态

一、作物的氮素来源及其数量

工业固氮和生物固氮*为作物生产提供了新的固定态氮的主要来源。此外，土壤中氮的矿化和含氮废物的再循环，也使农作物有固定态氮可以利用。1974年工业上生产和固定了5000万吨纯氮，其中1000万吨用于制造纤维、塑料、爆炸物和作为动物饲料。

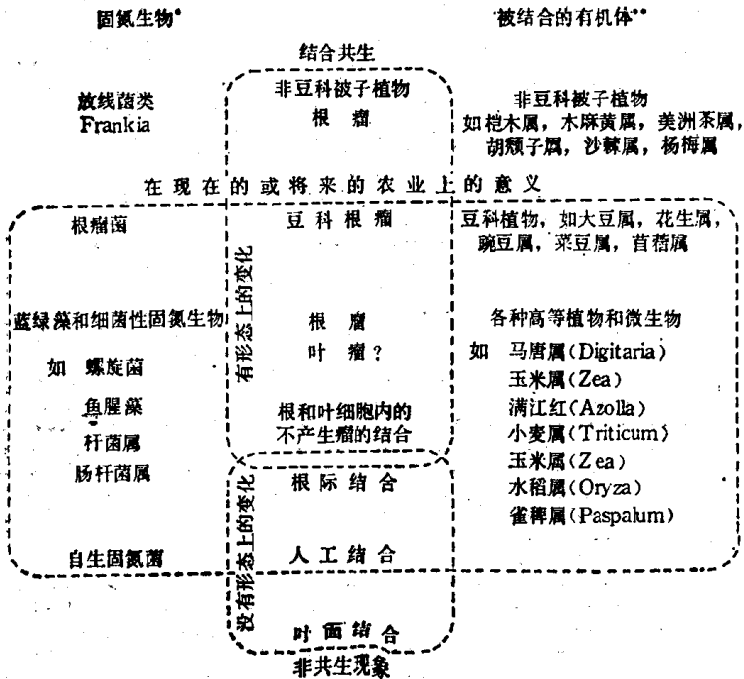
生物固氮的量难于估算。因为这种固氮作用的环境的分异，基本数据也极为有限。据最新估计，地球上每年约固定 N_2 17,500万吨，其中9000万吨固定在农业土壤，其中豆科作物约固定3500万吨，非豆科作物固定900万吨，永久性牧场和禾本科草地固定4500万吨。

另外，自然界的非生物过程，如闪电、燃烧和臭氧化作用等，估计每年约分别固定 N_2 1000、2000和1500万吨，其中一部分可为农作物利用。

氮素化肥几乎全部是由单一类型的化学工厂所生产的。现在使用的工业固定态氮主要是气态无水氨或固态尿素。它们占商品氮素化肥的90%以上；其他氮肥从硝石和鱼类及肉类的副产品中获得。与工业固氮相反，固氮的生物及其相互间的关系则是多种多样的（图2）。可分为非共生性微生物的自生固氮和微生物与植物相结合的共生固氮。在共生固氮中，提供固氮遗传信息的微生物（固氮生物diazotroph）与

* 术语。 N_2 的固定是指分子态氮如现在经常标示的 N_2 或双氮（dinitrogen）同另一个原子结合，转化成固定态氮，包括 NO_3^- ， NH_3 ，尿素， N_2O ， NO ， NO_2 ， N_2H_4 ， N_2H_2 等等。

生物固氮过程中的各种关系



天然的固氮生物：蓝绿藻和细菌性固氮生物，如鱼腥藻，念珠藻，自生固氮菌，杆菌属，有色菌属，梭菌属，肠杆菌属，红螺菌属，螺旋菌。

合成的固氮生物：大肠杆菌。专门培养的固氮生物：根瘤菌。

• 固氮生物——在结合共生中可能提供遗传信息nif的固氮有机体。

•• 被结合的有机体——为固氮生物提供环境、能量，并且可能接受固定态氮的有机体。

图2 在现在或将来在农业上有重要意义的结合共生与生物固氮的关系

(引自Hardy, 同图1)

一个不固氮的有机体如某一植物相结合，后者为氮素固定作田提供光合能或有利的环境条件，并且至少有一部分固定态

氮为它们所利用。固氮生物可包括某些细菌和蓝绿藻，而一种合成的固氮生物大肠杆菌，已经通过遗传工程制造出来。从前认为在农业上有重要作用的根瘤菌属（*Rhizobia*）需要与豆科植物结合才能固氮，现已查明，在实验室特定的培养条件下，它们也能固氮。结合在一起共生的例子，有结瘤的豆科植物，以至于草类的根际及叶面的联合固氮。

生物固氮的场所通常在作物内部或在作物表面，因而使固定态氮直接地、有效地结合到植物体中。结合的数量随着植物整个生长周期中需要量的变化而变化。很多共生固氮现象中，如结瘤的豆科植物，根际结合，还可能有叶面结合等，作物为共生的一方，它要满足共生的要求，要含有这种遗传信息。自生细菌和蓝绿藻则没有这种要求。与农作物以外的其它植物共生的细菌或藻类，在特殊情况下可能在农业上具有重要性，例如，在水稻上就具有意义。

近代投放于作物生产的氮源中，由生物固定的量没有改变，而由化肥提供的量则由1905年的40万吨呈指数地增长到1950年的350万吨和1974年的4000万吨。全世界每年肥料氮的价值约为各类农药总值的一倍。到2000年，预期作为肥料的需量总数将达16,000万吨，可能另有4000万吨供作其它用途。

氮肥的施用量随地区、作物和时间而改变。例如，1970年欧洲的氮肥施用量是每公顷66.6公斤氮，北美是32.5，苏联是19.8，亚洲是15.9，拉丁美洲是11.4，非洲是3.9，大洋洲是3.3。各类作物的氮素化肥施用量，缺乏世界范围内的统计数据，但美国的数据可供参考：玉米的平均施肥量为每公顷130公斤氮，占氮肥施用总量的40%；小麦为每公顷52公斤氮，占氮肥总量的9%；棉花为每公顷85公斤氮，占

氮肥总量的4%；而大豆的平均施肥量为每公顷12公斤氮，仅占氮肥总量的0.8%。过去十年间玉米的施肥量增加了一倍，小麦增加70%，棉花和大豆则没有变化。提高农产品的价格，正如前两年的情况那样，进一步增进了对氮肥的需求。因此，研究提高氮肥利用率的课题，应把注意力集中在那些具有最大潜力的作物上。这一点很是重要。

不同作物对氮素绝对需要量的变化也很大。种子的蛋白质含量从水稻的8%到大豆的42%，假定氮的收获指数(harvest index)为三分之二，则生产一吨稻谷的成熟植株中含氮约有20公斤，而生产一吨大豆种子的植株含氮达100公斤。如要每英亩生产100蒲式耳的种子，则大豆的成熟植株中每公顷含氮将达600公斤，而成熟的水稻植株中只含氮120公斤。高产的禾本科草类也和豆科植物一样，每公顷含氮600公斤。

各种作物的氮素施用技术，由于栽培类型的不同而进一步复杂化，例如，水田与旱地就不相同。就需氮的时间而论，糖料作物在生长期需要高氮而成熟期需要低氮，而收取谷粒的作物则是营养生长期需要低氮而籽粒灌浆期需要高氮（译者注：原文如此）。就共生固氮的能力而论，豆科植物与非豆科植物不同，因此氮素施用技术也不相同。

二、化肥中的氮

几乎所有的化肥氮都是通过哈勃—巴希法由氮气和氢气合成的。这种方法需要投入大量的能源和原料。工艺过程是高度机械化的，大都在大工厂生产，每个工厂的生产能力为每天1000—1500吨。大工厂比小工厂具有较高的经济效益。在未来的四分之一世纪中，为了提高世界作物生产力需要增加的氮素投入，还要增建500个大规模合成氨工厂来提供。按照1975年的价格计算，这些工厂的投资将达500亿美元。

全世界农民每年要花300—350亿美元的费用来购买化肥。

有很多理由说明需要研究和应用更好的氮素投入技术。化肥氮是一个采用高度生产技术的解决办法。对于不发达国家和价值较低的作物如饲料作物，可能需要研究较低工艺水平的解决办法。

过去二年中由于1973年取消控制和农产品涨价，因而导致氮素化肥的短缺，加上美国取消了耕地面积的限制，使氮素化肥的价格平均上涨了三倍。1960年后期，由于生产过剩，价格为每吨50美元。1974—1975年氮肥短缺，价格上涨至每吨400美元。现在的价格约为每吨200美元。预计1980年，价格可能还是这样。今后任何时候肥料价格要再回到1973年以前的水平似乎是不可能的了。因为氮肥生产的能源消耗高，新建工厂的投资逐步提高。每个生产能力为日产1000吨氮肥的合成氨工厂约需7500万美元的资金，而日产1000吨氮肥的尿素工厂，则需再增加4000万美元的投资。这些费用，对不发达国家来说更是承受不了的。不发达国家的肥料费用占农民低微的收入中的很大一部分。有人认为，在南美洲和非洲的化肥施用量，可能由于市价高昂而削减。

天然气是合成氨工业较好的能源和原料。生产一吨肥料氮需要35—40MSCF* (4000万Btu) 天然气，以22个MSCF天然气生产氢，以16个MSCF产生热量。这个消耗量可以换算为：每固定一摩尔 (mole) N_2 要消耗380千卡热能。

由水蒸汽制备的适于作为合成气的原料，受到经济的和资源的制约。资金、建设进程、能源消耗、劳力需要、土地

* MSCF为mille standard cubic feet即千标准立方英尺的缩写——译者。

面积和污染控制等因素适于采用蒸汽可改造的原料如天然气和石油。天然气成本低，能源消耗少，比石油有利。如果来源不成问题，可以长期供应而且价格较廉，则可利用重油通过部分氧化过程制备合成气。但在资金、土地面积、能源消耗以及所需的劳力等方面要比前述水蒸汽可改造的原料增加1.3—1.5倍，而且建筑进程较长，控制污染也更加困难。用固体原料如煤、油页岩、废弃物等来生产合成气，从长远来看可能是需要的。

约有2%的国产天然气用于制造肥料氮，以及用于制备三种主要营养元素化肥所需的能源消耗，其中87%是用之于氨的合成。肥料氮可能占投放于玉米生产的矿物能源的三分之一。以肥料氮形式投入的单位能源和它所增产的饲料或食物中热量之比，在美国中西部的玉米生产中是5—8。

另外，要把氨制成尿素等固体肥料，再加上运输、贮藏和施用，更增加了肥料氮的费用和能源消耗。

近年来研创出在一般条件下把氮气转化成联氨(hydrazine)和氨的化学过程。其中某些方法是基于固氮酶的反应。与过渡金属(transition metals)配位(ligating)的双原子氮(N_2)被还原成氨和(或)联氨的量可达化学计量法的产量(stoichiometric yields)。一个与钼(零价)和钨(零价)的络合物配位的末端 N_2 被质子化，并在室温下很快还原成氨，还往往同时产生少许联氨。某些钛和锆(可能还有铁)的双核络合物由 N_2 配位键联， N_2 可发生质子化，并还原成联氨。在存在苯邻二酚的条件下，钒(Ⅰ)的水溶液可把 N_2 还原为氨。

三、生物固氮

生物固氮是提供固定态氮的一个来源，这在豆科作物中

具有重要意义，对非豆科作物也可能具有重要性。生物固氮是由一种名叫固氮酶的酶催化所致。不同固氮生物中的固氮酶都很类似，因此对其特性和反应可作统一的描述。

固氮酶由两种蛋白质组成。一种大的含有钼和铁，名为钼铁蛋白质；另一种小的只含有铁，名为铁蛋白质。这两种组分对于固氮酶的活性都是必要的。二者的比例是：每一个钼-铁蛋白质分子配有1—2个铁蛋白分子。这二种组分对氧（ O_2 ）都是高度敏感的。在需氧生物体中，有特殊的反应或结构保护着它们。

固氮酶是一种还原酶。从光合作用产生的基质中通过电子转移蛋白质（electron-transferring proteins）铁氧化还原蛋白（ferredoxin）和（或）黄素还原蛋白（flavodoxin）转移电子。另外，固氮酶需要ATP（三磷酸腺甙）。这些ATP由需氧生物进行光合作用产生的基质发生氧化的磷酸化作用提供，在厌氧生物中则由其他产生ATP的反应提供。每还原一个分子的 N_2 ，有15个ATP分子转化成ADP（二磷酸腺甙）和无机磷酸盐。固氮酶的活性由ATP/ADP的比例调节。虽然从理论上讲， $3H_2 + N_2 \rightarrow 2NH_3$ 的整个反应应该产生出能量，但是每还原一个氮分子（ N_2 ）所需电子的ATP消耗当量（ATP-equivalent cost of electrons）和直接利用的ATP是24个分子。显然，固氮酶是非常耗费能量的，但是其耗费量可能只及哈勃—巴希法的一半。固氮酶的作用很慢，一个固氮酶分子每分钟只能转化约200个 N_2 分子。

在结瘤的豆科植物中，光合作用产生的基质是从地上部输送的。地上部分正在发育中的营养体和生殖器官对这一点有限的基质的竞争能力可能比根和根瘤强。生物固定的氮以特定的酰胺和氨基酸类的形态被运输到地上部分，在大豆中

主要是天门冬氨酸、天门冬氨酸和谷酰胺。固氮系统消耗光能的测定，曾以菜用豌豆为材料进行过。得到的结果是：每固定1公斤 N_2 ，包括根瘤生长、呼吸和输出的固定态氮在内，共需耗用9—10公斤碳水化合物。由于约有5公斤碳水化合物包含在输出产物中，3.6公斤碳水化合物用于根瘤的呼吸；0.4公斤用于根瘤的生长；所以真正用于固氮的是：每固定1公斤 N_2 ，约消耗4公斤碳水化合物。以试管内的固氮酶对ATP和电子的需要量为基础来计算，也得到类似的数值。无论如何，与硝酸盐的利用相比，不能认为上述的消耗量是固氮作用的一种损失，因为以氮为基础的能量消耗的计算和测定结果是一致的。用各种方法，诸如提高大豆和豌豆冠层周围的 CO_2/O_2 比以提高对光能的利用，就能使它们的固氮活性提高几倍。

固氮酶的正常反应是将 N_2 还原成 $2NH_3$ ，它也把 $2H^+$ 还原成 H_2 ，并能把种种人造基质如乙炔还原成乙烯。乙炔还原反应是测定固氮作用最有用的方法，它促进了与作物生产有关的遗传学、农艺学、生理学和生态学等方面研究的进展。

在自生固氮微生物中，固氮酶产生的氨在谷酰胺合成酶和谷酰胺 α -酮戊二酸转氨酶结合形成谷酰胺酸。在共生固氮中，其途径还不清楚。通过那些反应，把固氮作用的产物转变为酰胺或氨基酸运输给地上部分，也尚未阐明。

分子生物学技术已开始应用于自生固氮生物的遗传研究。自生固氮生物的基因图与研究得较多的、但通常是不固氮的大肠杆菌 *Escherichia coli* 相近。自生固氮生物的固氮酶基因已转移到了 *E. coli*。固氮基因 *nif* 与其他基因的相对位置亦已测定。一种含有 *nif* 的质粒业已建成。虽然还没有将基因有效地转移到高等植物的确凿例证，并且在这个研究任务