



全国高等农业院校教材

全国高等农业院校教材指导委员会审定

植物营养学

(下册)

● 胡霭堂 主编

● 土壤与植物营养
土壤农化 专业用

中国农业大学出版社

全国高等农业院校教材

全国高等农业院校教材指导委员会审定

植物营养学

(下册)

胡霭堂 主编

土壤与植物营养
土壤农化 专业用

图书在版编目(CIP)数据

植物营养学(下)/胡霭堂主编. —北京:中国农业大学出版社,1995.5

全国高等农业院校教材

ISBN 7-81002-613-5

I. 植… II. 胡 III. 植物营养-营养学 IV. Q945.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1995)第 01394 号

出版 中国农业大学出版社
发行
经销 新华书店
印刷 北京农业大学印刷厂
版次 1995年5月第1版
印次 2001年10月第4次印刷
开本 16 印张 14.5 千字 365
规格 787×1092
印数 4001~6000
定价 19.00元

主 编：胡霭堂（南京农业大学）

编 者：（以编写章节先后为序）

胡霭堂（南京农业大学）

曹翠玉（南京农业大学）

徐光壁（南京农业大学）

戈迺玢（南京农业大学）

主 审 人：毛达如（中国农业大学）

责任编辑：赵玉琴

封面设计：郑 川

前 言

《植物营养学》教材是农业部教育司下达的编写任务。它分上、下两册。上册由中国农业大学植物营养系负责编写,下册由南京农业大学资环系(原土化系)负责编写。为了协调上、下册衔接和避免不必要的重复,两校参编教师共同制定了编写大纲,且主编之间也多次审阅与交换意见。在部教育司指导下,对编写提出了十分明确的要求,并于1991年4月在福州会议上审定通过。

《植物营养学》下册于1991年底分工后,开始收集资料。从编写到定稿,参编教师曾多次互阅与讨论,发挥了集体的智慧,体现了良好的合作精神。1994年8月初步定稿后,送中国农业大学毛达如教授主审。再次作补充修改,最后由主编全面统稿、定稿。

《植物营养学》是土壤与植物营养专业或土壤农化专业的农业部指令性教材。同时可作为高等农业院校的种植类与有关类别的各专业,如农学、园艺、植保、植生以及资源与环境等专业的参考教材;对从事土壤肥料、肥料生产、农业环保等有关人员和广大农业科技工作者、业务管理干部以及有关大专院校师生也都有参考价值。下册是在学生掌握了上册植物营养的基本理论和原理的基础上,全面系统地阐述了肥料的种类、品种、性质和特点;肥料在土壤中的形态、转化与生物有效性;肥料对作物生长发育、产品品质以及生态环境的影响;各类肥料的有效施用与科学管理的原则与技术。本教材基本上反映了我国近年来肥料研究与实践工作的成就,并从全面维护农业生态环境质量的高度阐述了充分利用有机废弃物,广辟有机肥源;加速物质循环在高产、优质、高效农业持续发展中的必要性与作用。

教材共分十一章,内容是肥料概论,氮肥、磷肥、钾肥、微量元素肥料、钙、镁、硫、硅肥与稀土农用制品、复合肥料、绿肥、有机肥料及农业废弃物利用、城镇废弃物的农业利用和肥料的科学施用与管理。教材编写分工是:第一、五、十一章由胡霭堂教授编写;第二、三章由曹翠玉教授编写;第四、六、九章由徐光壁副教授编写,第七、八、十章由戈迺玢副教授编写。

在编写本教材的过程中,曾得到史瑞和教授、毛达如教授、陈伦寿教授等的关心,陆景陵教授对全稿提出过许多宝贵意见。在教材即将出版之际,对关心、帮助和指导过本教材编写的各位老师表示衷心的感谢。教材中的绿肥图幅仍采用农业化学(总论)第二版的原图,微量元素肥料施用的四幅分区图,系采用《微量元素的农业化学》书中的原图,对此亦表示感谢。

限于教材字数,编写时间及编写者水平,难免有错漏和不妥之处,热忱盼望阅读本教材的同学、教师以及同行们提出宝贵意见。

编 者

1994. 10

目 录

第一章 肥料概论	1
第一节 肥料与人类生活和生态环境的关系.....	1
一、肥料.....	1
二、肥料与人类的生态环境.....	1
第二节 肥料施用与发展的概况.....	2
一、我国古代施用肥料的简史.....	2
二、西欧化肥工业的兴建与世界化肥的生产和施用.....	2
三、我国近代肥料生产与施用的概况.....	3
第三节 我国肥料试验研究简史.....	5
一、肥料的肥效试验.....	6
二、土壤肥力状况的调查与测定.....	8
第四节 肥料的来源、分类及基本特性.....	8
一、肥料的来源与分类.....	8
二、各类肥料的基本特性.....	9
第二章 氮肥	11
第一节 氮肥的种类、特性和施用.....	11
一、氮肥生产原理简述.....	11
二、氮肥的种类、特性和施用技术.....	12
第二节 氮肥在土壤中的转化.....	21
一、化肥氮的生物学固定.....	21
二、化肥氮在土壤中的转化.....	23
第三节 氮肥对作物的影响.....	26
一、氮肥对作物生长发育及产量的影响.....	26
二、氮肥对作物品质的影响.....	28
第四节 氮肥的有效施用.....	30
一、测定土壤的供氮能力.....	30
二、开展推荐施氮量.....	32
三、重视平衡施肥.....	33
四、坚持合理的施氮技术.....	33
第三章 磷肥	35
第一节 磷肥的种类、特性和施用.....	35
一、磷肥制造简述.....	35
二、水溶性磷肥.....	36
三、弱酸溶性磷肥.....	38
四、难溶性磷肥.....	40

五、新型磷肥	43
第二节 磷肥在土壤中的转化	44
一、肥料磷在土壤中的固定与释放	44
二、肥料磷在土壤中的生物学转化	47
第三节 磷肥对作物的影响	48
一、磷肥对作物生长发育的影响	48
二、磷肥对作物品质的影响	51
第四节 磷肥的有效施用	53
一、土壤供磷状况与磷肥肥效	53
二、作物需磷特性与轮作中磷肥的分配	54
三、磷肥的残效和叠加利用率	54
四、有机肥料与磷肥肥效	55
五、氮、磷配合施用	56
第四章 钾肥	57
第一节 钾肥的种类和特性	58
一、氯化钾	58
二、硫酸钾	58
三、窑灰钾肥	58
四、草木灰	59
五、钾镁肥和钾钙肥	60
第二节 钾肥在土壤中的转化	60
一、被土壤胶体吸附、转化为交换性钾	61
二、被土壤中粘土矿物所固定、转化为非交换性钾	61
三、钾的流失	62
第三节 钾肥对作物的影响	62
一、钾肥对作物及其根系生长的影响	62
二、钾肥对产量的影响	63
三、钾肥对产品品质的影响	63
四、钾肥对作物抗逆性能的影响	65
第四节 钾肥的有效施用	65
一、有效施用钾肥应考虑的因素	65
二、钾肥的合理施用技术	68
第五章 微量元素肥料	70
第一节 微量元素肥料的种类与特性	70
一、微肥的资源与生产原理简述	70
二、微肥的种类与特性	73
第二节 微量元素肥料在土壤中的转化	75
一、农田植物—土壤体系中微量元素的循环	75
二、土壤中微量元素转化的类型及基本概念	75
三、土壤中微量元素存在的化学形态	80

第三节	微量元素肥料对作物生长、发育、产量与品质的影响	82
一、	微肥对作物生长发育及产量的效应	82
二、	微肥对作物产品品质的影响	85
第四节	微量元素肥料的有效施用	86
一、	有效施用微肥的几个基本原则	87
二、	主要微肥的合理施用	91
第六章	钙、镁、硫、硅肥及稀土农用制品	105
第一节	钙肥	105
一、	钙肥对作物生长发育的影响	105
二、	含钙肥料(石灰)的间接作用	106
三、	石灰肥料(含钙肥料)的种类和性质	108
四、	石灰肥料的施用	109
第二节	镁肥	110
一、	镁肥对作物生长发育的影响	110
二、	镁肥的种类和性质	110
三、	镁肥的施用	111
第三节	硫肥	112
一、	硫肥对作物生长发育的影响	112
二、	硫肥的种类和性质	113
三、	硫肥的作用	114
四、	硫肥的施用	114
第四节	硅肥	116
一、	硅肥对作物生长发育的影响	116
二、	硅肥的种类和性质	118
三、	硅肥的施用	119
第五节	稀土农用制品	120
一、	稀土元素对作物生长发育的影响	121
二、	稀土元素作用的可能机理	122
三、	稀土农用制品的种类和施用	123
第七章	复合肥料和混合肥料	127
第一节	复(混)合肥料概述	127
一、	复(混)合肥料的概念	127
二、	复(混)合肥料发展动向	127
第二节	复合肥料的类型	128
一、	磷酸铵	128
二、	硝酸磷肥	129
三、	硝酸钾	130
四、	磷酸二氢钾	130
五、	其它复合肥料	131
第三节	混合肥料	131

一、复混肥料	131
二、掺混肥料	133
三、液态混合肥料	133
第四节 复(混)合肥料的肥效和施用	134
一、复(混)合肥料的肥效	134
二、复(混)合肥料的施用	135
第八章 绿肥	136
第一节 绿肥在农业中的作用	136
一、为作物提供养分	136
二、提高土壤肥力	137
三、有利于低产土改良	138
四、保持水土和净化环境	138
五、促进农牧业结合	139
第二节 绿肥的分类和种植	140
一、绿肥的分类	140
二、绿肥的种植形式	141
三、绿肥栽培技术	142
四、主要绿肥作物及其高产栽培	146
第三节 绿肥的有效利用	151
一、翻埋绿肥的腐解和养分供应特点	151
二、绿肥的翻埋技术	154
三、绿肥割青和茬地的利用	155
第九章 有机肥料及农业废弃物的利用	157
第一节 利用农业废弃物制作有机肥料的意义与作用	157
一、培肥改土、建设高产稳产农田	157
二、提供养分和活性物质	159
三、建立适合我国国情的肥料结构	159
四、提高产品质量	160
五、预防和减轻对环境的污染	161
六、提供生物能, 节约能源	161
第二节 可利用作为有机肥料的农业废弃物的种类及其农化特性	162
一、秸秆类	162
二、粪尿类和厩肥	164
三、饼肥类	172
四、泥炭和腐植酸类肥料	174
五、泥土肥类	176
六、海肥类	177
第三节 有机肥料的合理积制与利用	179
一、有机肥料的合理积制与利用	179
二、利用农业废弃物制作有机肥料应注意的问题	190

第十章 城镇废弃物的农业利用	195
第一节 城市生活垃圾	195
一、生活垃圾的构成和处置方式.....	195
二、生活垃圾堆肥的堆制技术与质量控制.....	196
三、垃圾堆肥的肥效和合理施用.....	200
第二节 生活污水	202
一、生活污水的形成.....	202
二、生活污水的营养成分和农用效果.....	202
三、污泥的安全农用.....	204
第三节 污水灌溉	206
一、污水灌溉的效益.....	206
二、污水灌溉可能引起的农田污染.....	207
三、实行合理污灌的基本要求.....	208
第四节 粉煤灰	211
第十一章 肥料的科学施用与管理	213
第一节 肥料的科学施用	213
一、科学用肥的目的与要求.....	213
二、科学用肥的基本环节.....	213
第二节 肥料的科学管理	215
一、化肥运输—贮存系统中的管理.....	215
二、肥料的混配技术与注意事项.....	217
参考文献	219

第一章 肥料概论

施肥是增产的重要措施，只有满足作物对营养的需求才能获得作物的优质、丰收。施用肥料不仅是高产的保证，同时在一定程度上决定着产品品质的优劣。为此，科学合理施用肥料仍是当今我国的高产、优质、高效农业中必不可少的生产措施。

第一节 肥料与人类生活和生态环境的关系

一、肥料

肥料是人们用以调节植物营养与培肥改土的一类化学物质。有“植物的粮食”之称。自人类定居并从事农业生产以来，人们通过自己的实践，开始并不断深化地认识到，施用肥料是获得作物高产、优质，必不可少的主要技术措施。

二、肥料与人类的生态环境

人类栖居于地球表壳的生物圈——其范畴占据了全部的水圈（深达12km），大气圈的下层（高达15km），岩石圈部分（深入地层达5km），是地球上的巨大生态系统，其中还生存有大量的植物、动物与微生物。这里，地壳最表层——土壤圈，处于上述各圈的交界面，是各圈中物质与能量平衡交换的“中转站”；与其上生长的植物共同构成的植物—土壤系统，又是和人的生活与生存紧密相关。人们施肥入土以营养植物，与此同时必然会对植物—土壤系统产生影响，甚至会被波及到整个生物圈。按化学组分看，肥料是生物界可同化的物质，使用得科学、正确，理应对植物生长发育产生积极作用。造福于人类。但若利用不当，就有可能给人类带来灾难。

根据近代知识的理解，肥料使用的积极作用在于：

（一）能促进和改善土壤—植物—动物系统中营养元素的平衡、交换与循环。

（二）提高土壤肥力，以致土地生产力，即提高单位面积土地的农、牧产品的数量与质量；使土壤这一非再生资源获得永续使用，以满足世界人口不断增长所需要的各种产品与数量。从某种意义上讲，有人认为没有化肥，就不会有任何文明社会的存在。

（三）使作物生长茂盛，提高地面覆盖率，减缓或防止土壤侵蚀，维护了地表水域水体的洁净，不受污染。

（四）改善农副产品的品质，保护人体健康。然而大量研究结果与生产实践却已证实，肥料使用或处置不当，会污染生态环境，导致人体健康受到威胁。通常有下列情况：

（一）氮素肥料可能引起的环境污染有：

1. 氨的挥发和反硝化脱氮对大气环境的污染；
2. 氮素的淋失对地表水和地下水环境的污染；
3. 氮素引起农产品、尤其是食品中硝酸盐的富集。

（二）磷素肥料可能引起的环境污染有：

1. 磷素随地表径流造成地表水体的富营养化。
2. 磷肥生产过程中引起的大气氟污染，而施用时可能带来重金属镉等的污染，放射性

核素污染。

(三) 肥料施用不当, 降低了农作物的抗逆能力, 包括抗病虫、抗倒伏、抗寒、抗旱等, 致使减产和产品品质恶化。

(四) 肥料施用不当恶化了土壤的理、化及生物学性状; 破坏了土壤中营养元素的正常平衡比例, 导致土壤肥力下降与作物减产。

(五) 农业、工业废弃物的不合理处置引起环境, 尤其是水域的污染。不少的农业、工业废弃物含有植物所需的营养元素, 应当合理收集, 作为肥料使用。若任意排放扔弃, 势必对环境产生压力如畜、禽粪便引起氮素污染, 食品加工业的有机废水, 城镇的生活污水、污泥引起的有机成分与氮、磷污染, 工矿产生的三废引起的重金属、酸碱盐等污染。

总之, 肥料是人类生产实践与科学技术发展的产物, 是宝贵的资源, 人们应自觉地合理利用、充分发挥其为人类生存创造最佳生活条件的作用, 防止可能产生的不利因素。

第二节 肥料施用与发展的概况

一、我国古代施用肥料的简史

在我国的历史中, 很长时期处于古老农业大国的地位, 农业劳动人民用自己的智慧与实践经验获得了用肥养地的认识, 逐步形成了用地养地相结合的耕种传统, 使我国几千年的土壤肥力与粮食生产得到相对的稳定。早在2~3千年以前的奴隶社会中就有了锄草肥田、茂苗的文字记载。随后在漫长的封建社会时期, 编写了不少有关农事的书籍, 如战国时期的《礼记》, 汉代的《汜胜之书》、晋朝郭义恭的《广志》、唐朝韩鄂拊的《四时纂要》, 宋朝陈敷的《农书》、元朝王桢的《农书》、明朝徐光启的《农政全书》, 清朝杨岫的著作等, 随着时代的发展和农业实践的深化, 书中越来越详尽地论述了肥料的种类、作用、积造与施用的技术等。然而, 所提及的主要是有机肥料。用现代科学观点来认识, 可以说, 在悠久的中国农业生产历史中早已蕴藏着, 如何充分地利用人类生产、生活所产生的废弃物, 促其重新回归大自然, 加速自然界的物质循环, 以达到宏观调控农业生态系统的平衡以及保护人类生态环境质量的先进思想萌芽。也就是有赖于这种带有盲目性, 但基本上符合客观实际的思想与劳动行为使我国农业土壤的自然肥力得到了有效的较低水平的调节, 上千年来文明古国得以生存下来。这一点在国际上至今还享有很高的声誉。

二、西欧化肥工业的兴建与世界化肥的生产和施用

欧洲的文艺复兴为其科学的发展创造了有利的条件。人们对自然界的现象开始进行科学探索。经过几个世纪, 数代科学家的努力, 植物矿质营养理论得到了公认。以德国化学家李比希为主要代表, 在他的矿质营养学说与归还学说等理论的基础上, 欧洲逐步建立起巨大的化学工业。在19世纪中、后期, 磷肥与钾肥生产先后建立并得到发展, 到20世纪初, 合成氨的生产得到奠定。此后, 化肥生产在全世界不论是产量或是种类、品种上都有明显的发展。在近160年过程中, 使用化肥对包括欧洲在内的世界粮食等农、副产品的增产, 确实明显起到了极大的推动作用。

据1981年联合国粮农组织(FAO)提供的数字表明, 世界化肥的施用量1921~1951年的30年间由3.8增长为14.99(百万t), 1951~1981年的30年间增长到116.1(百万t)。可见, 前30年间增长近3倍, 后30年间增长近7倍。综合大量报道材料表明, 在农业产量的增加份额中, 有40%~60%是靠施用化肥, 其余则归功于引进良种、科学的栽培管理等措施。有资料

报道，预测到本世纪末，世界总人口将超过60亿，而可耕地面积难以相应地不断扩大。为了使现有耕地永续使用，并使单位面积产量能不断提高以满足人口增长的需求，必须继续扩大化肥的生产与施用。应该强调的是，我国的耕地面积不但不能扩大，还继续在减少之中。为此，我国提高单产的任务更为严峻，对化肥增长的需求必然更大。据联合国粮农组织的预测，到本世纪末，全世界每年对化肥的需求量将达到近3亿t。

三、我国近代肥料生产与施用的概况

本世纪初，在西欧学术思想与现代农业生产技术传播的影响下，在我国开始了化肥的生产、试验与施用，尤其是新中国成立以来，化肥工业得到了迅速发展，肥料的增产效果也得到了较充分的发挥。

(一) 化肥生产 就化肥工业而言，1905年我国开始引进化肥。至1949年新中国成立前，只有两个小规模氮肥厂，两个副产硫酸铵厂，当时化肥产品仅有硫酸铵一种，1949年年产量约0.6万t。

新中国成立后，化肥工业得到了迅速发展。1953年前只生产氮肥，产量约5万t。自1960年起，在氮肥生产上采取大、中、小型厂并举的方针，即同时发展以生产碳酸氢铵为主的年产合成氨0.3~0.5万t的小型厂和年产5~7.5万t合成氨的中型厂以及引进并自行设计建立的、生产尿素为主的年产30万t合成氨的大型厂。到1978年，全国氮肥生产量已有763.9万t；1983年已达1109.4万t，30年间增长220倍，仅次于当时的苏联，居世界第二位。

磷肥生产是1953年开始兴办，仅是生产普通通过磷酸钙的小型厂，至1956年产量为1.4万t (P_2O_5)。采用酸法与热法生产并举。1983年磷肥产量达266.6万t (P_2O_5)。由于资源所限，当时钾肥生产量仅2.9万t。此外，微量元素硼、锌、钼等肥料也有生产。

简言之，1949年至1983年，我国化肥生产取得很大成绩。生产种类上，氮肥发展快，磷肥较慢，钾肥仅仅开始，三者之比(N: P_2O_5 : K_2O)约为1:0.24:0.0026。而其中氮肥品种中碳酸氢铵占半数以上；磷肥品种主要是低浓度的普通通过磷酸钙与钙镁磷肥，占磷肥总量的98%；高浓度的复合肥料不到1%。在这段时间内，还进口化肥，数量共3000余万t，占国产加进口总数的1/5。

据化工部化肥司近年来的报道，1990年氮肥产量1473.7万t，其中尿素生产已达488.6万t，占33.4%；磷肥生产已达411.6万t，其中磷酸铵已有12万t。1991年全国化肥企业已有1796个，生产氮肥的有1130个，化肥产量(纯养分)达1975.3万t，其中氮肥1510万t，磷肥455.5万t，钾肥9.8万t，微肥及复混肥426万t。

(二) 肥料的施用 长期以来，我国农民在自给半自给的自然经济条件下从事农业生产。在以自然肥料为物质基础的传统农业中，物质循环的特点是一种低水平的、近乎封闭式的循环。为此，建国以前，国产与进口的少量化肥，仅用于沿海一些省份，施用量很低；1963年前，每亩耕地平均用量不到0.5kg，随着先进化工技术的引进与发展，化肥用量才有了明显的提高。

新中国成立以后，我国肥料施用概况，大体上出现了几个相互交叉，又有联系的阶段：

1. 50年代为有机肥料与氮肥配合施用阶段。当时土壤肥力并不高，产量也低，化肥工业才开始，故主要肥源仍为有机肥料，配施为数不多的化学氮肥。尽管如此，施用肥料即可获得明显的增产效果。

2. 60年代为有机肥料与氮、磷肥配合施用阶段。随着氮肥施用量的增加，在我国南方一些低产稻田上，只施用有机肥与氮肥，仍不能克服禾苗发僵的病症，磷肥的应用逐步得到

公认与推广；当时在北方也相继出现施磷有效的现象。到60年代中期，南方一些供钾低的土壤出现施用钾肥有效的地块。

3. 70年代，有机肥料的施用肥料比重中有下降趋势。在有机肥的基础上，氮、磷、钾、微量元素等肥料配合施用的局面已逐步形成，北方磷肥的施用及长江以南一些省份缺钾面积上钾肥的施用都不断扩大。60年代后期至70年代，微量元素肥料施用也日益受重视。

据报道，我国农田养分投入中肥料结构变化简要状况如下：

表 1-1 我国历年来农田养分投入中肥料结构的变化状况

年 份	投肥总量		其中有机肥占总投量%				化肥生产量 (万 t)
	(万 t)	%	总量	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
1949	428.5	100	99.9	99.6	100	100	0.6
1957	694.8	162	91.0	88.7	96.0	100	15.1
1965	912.9	213	80.7	70.8	71.5	99.9	172.6
1975	1603.3	374	66.4	53.0	54.6	97.3	524.7
1980	2400.3	560	47.1	30.6	41.8	92.8	1232.1
1990	4163.6	972	37.4	23.8	31.7	79.3	1975.3*

* 为1991年年产量。

表1-1中所汇总的资料，基本上反映了我国肥料施用的概况。新中国成立初期，化肥工业薄弱，基本上靠我国传统农业方式种田，有机肥料是当家肥。

50年代，以1957年统计数为例，总投肥量虽有增加，但化肥用量还不到10%，由化肥提供的氮素仅占11%，磷素不到5%，钾素几乎是零。

60年代，以1965年统计数为例，随小氮肥厂的兴建，氮素化肥所占比重明显增大，磷肥工业也正在兴起，当时化肥用量已占总投肥量近20%。

70年代，以1975年统计数为例，当时中、小型化肥厂的生产已得到稳步发展，氮肥的年产量已超过日本，居世界第三位，不仅总投肥量增大，化肥在总投肥量中所占比例亦超过了1/3。

80年代，我国的化肥工业，无论从产量还是产品的种类与品种上都有很大的发展。1973~1979年引进的13套年产能力为50万t尿素设备与我国自行设计安装的上海吴泾化肥厂等大型氮肥厂已建成投产，使我国化肥总产量跃居世界第二位。从此，化学肥料作为当家肥的局面基本形成；然而由于资源的限制，我国农业生产中的钾素供应除少量进口外，主要仍是依靠施用有机肥料，以加速作物—土壤系统中钾素的循环与归还的形式来解决。

据报道，我国历年来农田所投入的N:P₂O₅:K₂O比的变化见表1-2。

表1-2中的数据，反映了我国肥料投入的特点：即是偏氮、缺钾类型。若与国际施肥状况相比较（表1-3），低于发展中国家的平均数，更显得钾素供应的不足。

表 1-2 我国历来农田投肥中N:P₂O₅:K₂O比例的变化概况

年份	总投入的比例	其中肥料氮磷钾比例	
		以化肥形式投入	以有机肥形式投入
1949	1:0.49:1.16	—	1:0.49:1.16
1957	1:0.46:1.03	1:0.16:0	1:0.49:1.15
1965	1:0.47:0.74	1:0.46:0.0025	1:0.47:1.05
1975	1:0.46:0.61	1:0.47:0.038	1:0.47:1.13
1980	1:0.36:0.40	1:0.30:0.042	1:0.50:1.22
1983	1:0.38:0.39	1:0.33:0.061	1:0.51:1.33
1990	1:0.39:0.38	1:0.35:0.1	1:0.52:1.25

表 1-3 世界各国化肥总消费量及N:P₂O₅:K₂O的比例

年份	地区	总消费量(万 t)	N:P ₂ O ₅ :K ₂ O
1982~1983	全世界	11469.8万t	1:0.51:0.37
	发达国家	7494.0万t	1:0.61:0.56
	发展中国家	3975.7万t	1:0.37:0.14
1988~1989	美国	2332.4万t*	1:0.75:0.088
		1777.2万t	1:0.39:0.45
	原苏联	3605.9万t*	1:0.59:0.72
		2718.7万t	1:0.74:0.61
	中国	1777.4万t*	1:0.27:0.0037
	2532.2万t	1:0.28:0.089	

* 为总生产量。

即使如此，施用化肥对我国农业发展所起作用巨大的；对提高我国的总产量与单位面积产量的贡献亦是肯定无疑的；在粮食作物上其相关性达到极显著水平，棉花作物上亦达显著水平。据计算报道，1986~1990年我国粮食总产量中约35%是由于施用化肥所获得的。

90年代到本世纪末，是我国改革开放与国际接轨的关键时期。随着我国人口的继续增长与解决温饱后，人民对生活不断提出更高水平与丰富多彩产品的要求。因此，对肥料的数量与质量必然有越来越高的需求。据预测，在充分发挥有机肥料作用的同时，到2000年，化肥总生产量应达到3000~3200万t，N:P₂O₅:K₂O比为1:0.4:0.2；并且还要增加微量与中量营养元素肥料以及向高浓度、复合化的方向发展。

至于有机肥料与无机肥料投入量的比例，据估计，建国以来，有机肥料，基本上每过6~7年约下降10%，目前有不少地区在施肥方面有向“无机化”发展的趋势。据了解，在发达国家机械化与集约农业的条件下，投于农田的氮素中以有机肥与无机肥形式之比为4.5:5.5。为此，绝不可忽视有机肥料的施用。

第三节 我国肥料试验研究简史

我国肥料的试验研究历史悠久。近代研究工作始于本世纪30年代。新中国成立以后，肥料试验研究工作进展迅速，为合理施用肥料提供了可靠的科学依据。这些工作大致可包括两

大部分内容。一是肥料的肥效试验，二是土壤肥力状况的调查与测定。

一、肥料的肥效试验

包括化学肥料与有机肥料两方面。

(一) 化学肥料 化肥肥效试验包括多项内容，按不同肥料种类，不同土壤类型，不同作物与品种以及有效施用化肥的条件和技术措施等。内容极为丰富，难以在有限篇幅中详细介绍。现按发展进程略述一二。

50年代是处于引进化肥时间不长，且以氮肥为主的阶段。当时的试验主要是围绕着不同土壤与作物的氮肥肥效问题，试验明确了在我国条件下氮肥的普遍增产效应；提出了不同氮肥品种的适宜土壤条件，主要作物的需氮规律与适宜的施肥期与施肥量，尤其是结合当时生产的易挥发性碳酸氢铵、氨水等的深施复土技术，有效地减少了氨的挥发损失，提高肥效达20%~30%。此后，又进一步提出尿素深施提高肥效等见解与技术措施，并在实践中得到迅速的推广和应用。

60年代，在氮素供应与作物产量较大幅度提高的情况下，土壤磷素不足变得十分突出。经过试验研究，明确了磷肥有效施用条件及土壤缺磷诊断的方法与指标，为施磷改良低产田，促进生物固氮等提供了科学依据与应用前景。同时，还针对各种磷肥的不同特点、土壤类型，提出了一套合理施用磷肥的技术措施。

70年代前期，开始了钾肥肥效试验，在充分发挥钾肥肥效的施用条件，钾肥的增产，提高品质，增强作物抗病、抗逆能力等方面都提供了有力试验依据。此外，有关微量元素肥料的肥效与有效施用条件等也都先后得到可靠的试验数据。因此，从70年代中期，多种营养元素配合施用——平衡施肥的概念已逐步形成并被公认。

80年代，针对70年代末施肥中出现的“三重三轻”（即重化肥，轻有机肥；重氮肥，轻磷、钾肥；重追肥，轻基肥）的现象，在我国全面试验研究与推广了多种养分配合的平衡施肥技术，统称为配方施肥，为我国的复混肥的加工生产与推广提供了科学依据。

化肥的科研工作，除各农业院校土壤农化系与各级农业科学研究院、所的土壤肥料专业所、室各自进行外，曾有过三次有组织的、全国规模的化肥肥效试验：

第一次是在1936~1946年，由前中央农业实验所组织，在14个省68个点上对水稻、小麦、油菜、棉花、玉米、谷子等进行了156个试验，1941年由张乃凤先生以《地力之测定》一文加以汇总总结，提出对氮、磷、钾肥的需要程度，并分析了需要程度与土壤区域、作物种类之间的关系。

第二次是在1958~1962年，由中国农科院主持汇总，有25个省、市、自治区的有关农业单位参加，共157个试验点，351个田间试验，作物种类除粮食、棉花、油料外，还有烟草、果树、蔬菜等。试验明确了，氮、磷、钾肥的增产幅度与增产地区。

第三次是在1981~1983年，由农业部作为化肥区划的研究任务下达，中国农科院土肥所主持，全国29个省、市、自治区（未包括台湾）的农科院土肥所参加。作物扩大到18种，完成试验5086个。1985年全面整理、汇编成《中国化肥区划》一书。

与此同时，从1980年开始，先后在全国23个省、市、自治区设置了101个肥料长期定位试验。研究内容包括：有机、无机肥配合，氮、磷、钾配合以及种植制度中磷、钾肥的分配与后效等，并进一步研究了施肥与土壤肥力、产品品质，不同施肥制度与养分平衡、循环等问题。

所有的研究成果为分析我国化肥肥效的演变与发展，以及制定全国化肥的生产与分配布局，都提供了极为有力的大量资料与科学依据。

复合肥料生产在我国70年代前基本上是空白。当时主要靠进口，故施用面积有限。作为一种有发展前途的肥料种类，在1960年前后，开始了对复合肥料的品种、肥效和应用技术等方面的超前研究。此后，在1976~1980，1980~1983，1983年以后曾先后三次由上海化工研究院，以单独或合作的方式组织全国有关研究单位陆续开展了对高浓度复合肥料的品种、应用技术和二次加工技术等问题的研究。据已有近600个试验结果的统计，复合肥料的肥效与相等养分单质肥料配合施用的效果基本相等。由于复合肥料在贮、运、施等环节上具有方便、省劳力、节约费用等优点，故在经济效益上能优于单质肥料，因此它仍不失其属于应积极发展肥料类型的价值。

(二) 有机肥料 使用有机肥料，在我国农业生产上有悠久的历史，以致新中国成立以后的10年、甚至15年内，主要靠它来维持农业生产。在我国，系统地研究有机肥料是从30年代开始的，直到50年代中、后期，研究的内容主要围绕堆沤积制方法，更多地从微生物种群及分解条件等方面进行。此后，又注意到粪尿肥与堆沤肥的保氮技术，无害化处理等。在这段时间里，对稻草还田与饲草过腹还田的效果也都进行了研究。

到60年代，我国农业生产的肥料结构中化肥比重有较明显地增长。有机肥与化肥配合施用的局面也自然而然地形成。在实践中亦显现出配合施用在增产、培肥土壤、提高化肥利用率等方面的优越性。这方面的科研工作日趋深入，至今仍久兴不衰。1978年中国农科院土肥所在山东、河北开始布置有机肥与化学氮肥配合的定位试验。70、80年代，不同地区研究结果表明，在大多数情况下有机与无机肥比例（以氮计算）以1:1为宜，其经济效益最大。有结果表明，有机、无机配合能提高土壤残留氮和轮作中氮肥的利用率；有机肥能提高作物抗逆能力，改善作物产品品质；有机肥还能提供有机营养物质与生物活性物质等。这些都是当今研究的热点。

(三) 绿肥 利用绿肥培肥地力是我国古代农业技术中突出的成就。早在3000年前就有关于农民锄草、养草肥田的记载。新中国成立以后，绿肥的种植与利用得到很大的发展。到60年代，各级农业科研机构都相继成立了绿肥研究室。1964年农业部批准建立了全国绿肥试验网，全面地推动和发展了全国绿肥科研的协作，并取得了很大的成绩。

例如：

1. 在50年代，全国各地普遍开展了国内外绿肥引种试验，找出了适宜本地区不同茬口栽培利用的、较好的绿肥种类，还研究筛选出一批地方优良品种。在绿肥良种资源的收集、调查、鉴定方面也都开展了工作，随后又进行了大量的选种、育种工作，少数单位还开展了杂交育种和引变育种工作。

2. 研究与推广了整套绿肥生产栽培技术与留种田高产技术。

3. 研究并总结出绿肥不与作物争地的栽种原则；提出绿肥种植方式及其适种范围；完成全国绿肥区划的建议，为全国绿肥发展的合理布局，提供了科学依据。

4. 研究并明确了绿肥的培肥改土作用与肥效。肯定了发展绿肥在我国农业生产中的重要地位。

5. 研究了多种绿肥的饲料价值；提出肥饲兼用绿肥的发展方向；同时明确了绿肥茬的肥田效果。

6. 研究了水生绿肥，尤其是对满江红的研究，已总结出一整套繁、保、用的技术与理论依据，为我国利用水面发展萍藻共生固氮打开了路子。

7. 研究了绿肥的腐解矿化与供肥特性，为经济合理的使用绿肥提供科学依据。