

合理用肥

手册

HELI YONGFEI
SHOUCE

詹益兴 © 主编



科学技术文献出版社
SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOCUMENTATION PRESS

合理用肥手册

主 编 詹益兴

编写人员 詹益兴 张永康 李开贵

李丽心 汪 鸿 高 泉



科学技术文献出版社
SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOCUMENTATION PRESS

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

合理用肥手册/詹益兴主编. —北京: 科学技术文献出版社, 2016. 10
ISBN 978-7-5189-1919-2

I. ①合… II. ①詹… III. ①合理施肥—技术手册 IV. ①S147.21-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 220039 号

合理用肥手册

策划编辑: 孙江莉 责任编辑: 宋红梅 责任校对: 赵 瑗 责任出版: 张志平

出 版 者	科学技术文献出版社
地 址	北京市复兴路 15 号 邮编 100038
编 务 部	(010) 58882938, 58882087 (传真)
发 行 部	(010) 58882868, 58882874 (传真)
邮 购 部	(010) 58882873
官 方 网 址	www.stdp.com.cn
发 行 者	科学技术文献出版社发行 全国各地新华书店经销
印 刷 者	虎彩印艺股份有限公司
版 次	2016 年 10 月第 1 版 2016 年 10 月第 1 次印刷
开 本	850 × 1168 1/32
字 数	440 千
印 张	17.75
书 号	ISBN 978-7-5189-1919-2
定 价	78.00 元



版权所有 违法必究

购买本社图书, 凡字迹不清、缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换

前 言

自 1949 年新中国成立至今 60 多年来，我国肥料行业走出了一条具有中国特色和世界水平的发展道路，取得了举世瞩目的成就。1978—2013 年的 35 年间，我国化肥产量和用量的递增速度雄居全球首位。当今，我国化肥年生产量约占世界总量的 1/3，表观消费量约占世界总量的 35%，我国已经成为世界上最大的化肥生产国和消费国。肥料是一个永续的朝阳产业，坚定信心，自强不息，中国从化肥大国向化肥强国迈进指日可待！

民以食为天，国以农为本，农业是安定天下的基础产业，肥料对农业的增产作用功不可没。我国是一个人口众多、资源短缺的农业大国，能以约占世界 7% 的耕地养活约占世界 22% 的人口，肥料在其中起着举足轻重的作用。

然而，必须清醒认识到，我国农业的整体水平有待提高，特别是长期以来农业生产还相当粗放，盲目施肥、过量施肥、单一施肥、偏施氮肥等等，不仅造成肥料利用率低下、生产成本加大、农田地力下降、农产品产量徘徊不前，而这些已成为制约农村和农业可持续发展的重要因素；更严重的是造成资源浪费、环境污染、生态失衡等问题日益突出，而且影响农产品质量，危及生物及人畜安全。

因此，必须实施化肥零增长行动。合理精准施用肥料，开发和应用新型绿色肥料，不仅是增加农作物产量、提高农产品质量、改善农产品贮效、提升农产品价值、确保我国粮食安全的需要，也是保育耕地品质、优化生态环境、发展永续农业的需要，



更是建设资源节约型和环境友好型新农村的不可或缺的措施。

现代农业正在向可持续发展道路迈进，它要求农业必须“高产、高效、优质、低耗、生态、安全”。肥料是农业生产中最主要的物资投入，在农田生态系统的物质循环中占有最为重要的地位。要实现农业的可持续发展，需要平衡农田养分的输入和输出。为此，必须实现合理精准施用肥料、大力推广科学用肥技术、做好农田养分的科学管理。

为了丰富农业科技人员和农民朋友的肥料知识，提高合理用肥水平，增强鉴别真假肥料的能力，促进农业生产发展和维护生态平衡，我们编写《合理用肥手册》一书，旨在服务“三农”，内容包括肥料的增产作用和过量施肥的危害、肥料性能和合理精准施肥技术、作物缺素症状及防治措施等。

本书在编写过程中，参考了大量国内外文献资料和科技著作，吸收了最新资料、最新研究成果于书中。有关文献，有的在书中标出，有的作为参考文献在书后列出，如有遗漏敬请有关作者谅解。在此，谨向原作者表示诚挚的谢意！

由于水平所限，书中难免存在不足和错误之处，敬请广大读者不吝指正。

詹益兴

目 录

第一章 肥料不可或缺.....	1
第1节 现代化肥概况.....	2
第2节 肥料不可或缺	20
第3节 科学合理用肥	35
第二章 过量施肥有害	42
第1节 用肥欠缺合理	42
第2节 肥料污染防治	52
第3节 面源污染防治	67
第4节 治污行动计划	81
第三章 肥料种类识别	92
第1节 肥料元素功能	92
第2节 肥料基本种类	99
第四章 常用肥料种类.....	129
第1节 农家有机肥料.....	129
第2节 氮磷钾无机肥.....	161
第3节 钙镁硫硅肥料.....	269
第4节 微量元素肥料.....	309
第5节 复混化学肥料.....	328



第五章 新型绿色肥料	358
第1节 缓控释肥料	358
第2节 微生物肥料	376
第3节 稀土元素肥	410
第4节 其他新肥料	417
第5节 物理学肥料	420
第六章 作物缺素防治	433
第1节 必需元素概念	433
第2节 作物缺素诊断	438
第3节 缺素症与防治	444
参考文献	559

第一章 肥料不可或缺

农业系指通过培育动植物生产食品及工业原料的产业。农业属于第一产业，以土地资源和水域资源为生产对象的产业。农业的劳动对象是有生命的动植物，获得的产品是动植物本身。把利用动植物等生物的生长发育规律，通过人工培育来获得产品的生产活动，统称为农业；研究农业的科学称为农学。

广义农业包括：种植业、林业、牧业、副业、渔业等。

狭义农业仅指种植业：包括粮棉油、蔬菜、水果、花草等农作物。

种植业是以绿色植物为基础，将光能转变为化学能的产业，即物质能量转变的产业，也就是说，狭义农业是利用环境资源而进行有目的有计划物质能量转换产业。因此，要取得农业的永续发展，首先要树立人与自然长期共存、和谐发展的理念，必须科学开发和合理利用包括气候、土壤、生物、水利、矿产、能源和废弃物等资源，并采用切实可行的新技术和新设施、投入适当物力（如良种、肥料、农药、农机、农膜、供水、电力等农业生产资料），以增加农作物产量和提升农产品质量，以及保育农田肥力和维护生态平衡。

按照我国国家标准《肥料和土壤调理剂 术语 GB/T 6274—1997》（等同采用 ISO 8157—1984 及其补充件 ISO 8157/DADI—1988）中定义：肥料（fertilizer）系指以提供植物养分为其主要功效的物料。也即提供一种或一种以上植物必需的营养元素，改善土壤性质、提高土壤肥力水平的一类物质。肥料被称为“粮



食的粮食”，是农业生产中最为重要的生产资料之一。新中国成立以来，特别是改革开放以来，我国的农业取得了举世瞩目的成就。1952—2012 年，我国化肥的施用量从 7.8 万吨增长到 5838.9 万吨，同期粮食产量从 16392 万吨增加到 58957 万吨。这其中肥料投入的增加、肥料品质的提升、合理施肥的推广，对农业的永续发展、对农作物产量的提高起到了至关重要的作用。

我国是一个人口众多、资源短缺的农业大国，能以占世界约 7% 的耕地养活约占世界 22% 的人口，提高粮食作物单产是一项重要的措施，肥料在这里起着举足轻重的作用。因此，科学合理施用肥料、开发新型绿色肥料、生产优质高效肥料，不仅是增加农作物产量、提高农产品质量、改善农产品贮效、提升农产品价值、确保我国粮食安全的需要，也是保育耕地品质、优化生态环境、发展永续农业的需要，更是建设资源节约型和环境友好型新农村的不可或缺的措施。

第 1 节 现代化肥概况

化学肥料简称为化肥，也称无机肥料，系指用化学方法制成的含有一种或几种农作物生长需要的营养元素的肥料。

化肥常用能源物质（如煤、石油、天然气等），矿物元素（如磷、钾、镁等），气态成分（如氮等）作为资源，采用化工技术制成简单形态的无机肥料，化肥包括氮肥、磷肥、钾肥、微量元素肥料、复混肥料、稀土元素肥料、缓控释肥料等。化肥基本特点如下：

- （1）一般化肥中所含养分种类少但养分含量高；
- （2）养分呈无机态存在能被植物直接吸收利用；
- （3）一般化肥的肥效快又猛而缓释肥的肥效长；
- （4）有些化肥既有肥效还有杀虫灭菌等多功效；



(5) 化肥促进植被迅速生长故有护土培肥作用。

一、世界化肥简史

据古希腊传说，用动物粪便作肥料是大力士赫拉克勒斯（Heracles）首先发现的。赫拉克勒斯是众神之主宙斯（Zeus；Master of Olympus）之子，是一个半神半人的英雄，他曾创下 12 项奇迹，其中之一就是：传说厄利斯国王奥吉亚斯（Augeas）养了 3000 头牛，30 年没有打扫过牛棚，牛粪堆积如山，赫拉克勒斯在一天之内把牛棚打扫得干干净净。他把艾尔菲厄斯河（Al Erfei' River）改道，用河水冲走牛粪，沉积在附近的田地上，农作物获得了大丰收。虽然是神话，但也说明当时的人们已经意识到粪肥对作物的增产作用。古希腊人还发现旧战场上生长的植物特别茂盛，从而认识到人和动物的尸体是很有效的肥料。在《圣经》中也提到把动物血液淋在地上的施肥方法。

在我国悠久的农业生产历史长河中，主要投入之一是把粪、尿、蛹、草、骨灰、皮毛、作物茎根叶等生活和生产过程中的废弃物转变成农作物生长所需的养分，这是华夏民族人文始祖伏羲（所处时代约为旧石器时代中晚期）所开创的“天人合一”思想在我国数千年农业生产中的体现。把废弃物利用与粪壤肥田和作物种植以及土壤改良有机结合，从而保障了我国广袤的农田历经数千年耕种而未发生严重地力衰退（有的越种越肥），使农业生产长期居于世界先进水平。

千百年来，不论是亚洲还是欧洲，都把粪肥当作主要肥料。进入 18 世纪以后，世界人口迅速增长，同时在欧洲爆发了工业革命，使大量人口涌入城市，加剧了粮食供应紧张，提高农作物产量成为亟待解决的课题。

17 世纪初期，科学家们开始研究植物生长与土壤之间的关系。18 世纪中叶化学家们开始对作物的营养学进行科学研究。



19 世纪初流行植物两大营养学说——“腐殖质”说和“生命力”说，前者认为植物所需的碳元素不是来自空气中的二氧化碳，而是来自腐殖质；后者认为植物可借自身特有的生活力制造植物灰分的成分。

1828 年，德国化学家弗里德里希·维勒（Friedrich Wöhler，1800—1882 年）被认为是有机化学研究的先锋，他将氰酸铵的水溶液加热得到了尿素，在世界上首次用人工方法制得尿素，打破了有机化合物的“生命力”学说而闻名于世。按当时化学界流行的“生命力”观点，尿素等有机物中含有某种生命力，是不可能人工制成的，而维勒的研究成果冲破了无机界和有机界的鸿沟。但当时人们尚未认识到尿素的肥料用途，直到 50 多年后，合成尿素才作为化学肥料投放市场。

1838 年英国乡绅 J·B·劳斯（J. B. Lawes）与化学家 J·H·吉伯特（J. H. Gilbert）合作，用硫酸处理磷矿石，获得一种固体磷肥产品（过磷酸钙），1842 年他们在英国建立了工厂，这也许是世界上第一个化肥厂。

19 世纪初德国著名化学家、教育家尤斯图斯·冯·李比希（Justus von Liebig，1803—1873 年）创立了有机化学，被称为“化学之父”。

1840 年，农业化学的开山鼻祖李比希所撰写出版的《化学在农业及生理学上的应用》一书，创立了植物矿物质营养学说和归还学说，从而否定了“腐殖质”和“生命力”植物两大营养学说，引起了农业理论的一场革命。

李比希认为只有矿物质才是绿色植物的养料，有机质只有当其分解释放出矿物质时才对植物有营养作用。他研究了植物生长与某些化学元素间的关系，用实验方法证明：植物生长需要碳酸、氨、氧化镁、磷、硝酸以及钾、钠和铁的化合物等无机物；人和动物的排泄物只有转变为碳酸、氨和硝酸等才能被植物吸



收。他确定了氮、钙、镁、磷和钾等元素对农作物生长的意义，从而提出了植物矿物质营养学说。

李比希阐述了农作物生长所需的营养物质是从土壤里获取的，作物从土壤中吸走的矿物质养分必须以肥料形式如数归还土壤，否则土壤将日益贫瘠。他提出了把植物摄取并移出农田的无机养分和氮素，必须以肥料的形式还给土壤的归还学说。

李比希预言农作物需要的营养物质将会在工厂里生产出来，不久，他的预言就被证实。李比希被称为“肥料工业之父”，他所创立的植物矿物质营养学说，为化肥的诞生、为化肥工业的兴起与发展奠定了理论基础，也为解决世界粮食问题和提高人们生活水平做出了巨大贡献。

1840年，李比希用稀硫酸处理骨粉，得到浆状物，其肥效比骨粉好，这就是化肥的雏形；1845年他发明了一种把碳酸钾和碳酸钠混合在一起的钾肥。

1850年前后，劳斯发明了最早的氮肥。1861年，在德国施塔斯富特地方首次开采光卤石钾矿，在这之前不久，李比希宣布过它可作为钾肥使用，两年内有14个地方开采钾矿。1872年，在德国首先生产了湿法磷酸，用它分解磷矿生产重过磷酸钙，用于制糖工业中的净化剂。1878年英国人托马斯和吉尔吉利斯特利用钢铁厂废弃物制成了磷肥，被人们称为托马斯磷肥。19世纪末期，开始从煤气中回收氨制成硫酸铵或氨水作为氮肥施用。

1898年德国化学家A·富兰克（A. Frank）和N·卡罗（N. Caro）发现碳化钙加热时与氮气反应生成氰氨化钙，并获得专利。1903年，挪威建厂用电弧法固定空气中的氮加工成硝酸，再用石灰中和制成硝酸钙氮肥，两年后进行了工业生产。1905年，用石灰和焦炭为原料在电炉内制成碳化钙（电石），再与氮气反应制成氮肥——氰氨化钙（石灰氮）。

1909年，德国化学家弗里茨·哈伯（Fritz Haber，1868—



1934年)解决了氮肥大规模生产的技术问题。哈伯把他设计的工艺流程申请专利后,交给了当时德国最大的化工企业——巴登苯胺和纯碱制造公司。该公司立即组织了化工专家卡尔·博施(Carl Bosch, 1874—1940年)为首的工程技术人员付诸实施。1912年巴登苯胺和纯碱制造公司在德国奥堡建成了世界上第一座日产30吨合成氨的装置,1913年9月9日开始正式运行。弗里茨·哈伯与卡尔·博施合作创立了“哈伯-博施”氨合成法,终于使合成氨从实验室走上了工业化。由于哈伯和博施的杰出贡献,他们分别获得1918年度、1931年度的诺贝尔化学奖。

随着智利硝石和钾盐矿的发现,到合成氨的发明,在世界上建立巨大的化肥工业。在近一个半世纪中,全世界已生产和使用了数十种含有单一或两种以上植物生长必需营养元素的化肥,为世界农业发展做出了巨大的贡献。

(1) 氮肥

德国“哈伯-博施”开发的用氢气和氮气合成氨工艺技术于1913年实现工业化之后,氮肥工业进入了新纪元。1922年,用氨和二氧化碳为原料合成尿素的第一个工厂在德国投入了生产。随着工业的发展和技术的进步,合成氨大部分用于生产氮肥。

(2) 磷肥

1842年以来磷肥品种主要是过磷酸钙。此外,在欧洲的酸性土壤上广泛施用钢渣磷肥。在20世纪40~50年代,高浓度磷肥的生产技术有了突破,设备材料的腐蚀问题基本得到了解决,主要是湿法磷酸的生产工艺由原来的间歇操作改为连续操作。

(3) 钾肥

继德国施塔斯富特地方首次开采光卤石钾矿之后,一些国家先后发现了钾矿资源,其中法国于1910年、西班牙于1925年、苏联于1930年、美国于1931年先后进行了钾矿的开采。钾矿富集和精制工艺的开发成功,为提高钾肥的品位奠定了基础。



二、我国化肥简史

20 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,中国开始了化肥的生产、试验与施用。1914 年,吉林公主岭农事试验场首先开始进行化肥的田间施用试验;20 世纪 30 年代开始组织全国性肥效试验,称为地力测定。测定结果表明,田土中氮素极为缺乏,磷素养分仅在长江流域或长江以南各省缺乏,钾素在土壤中很丰富。

1958—1960 年,中国开展第一次土壤普查,以土壤农业性状为基础,并提出全国第一个农业土壤分类系统。1979—1985 年,进行全国第二次土壤普查,以成土条件、成土过程及其属性为土壤分类依据,采用土类、亚类、土属、土种、变种 5 级分类,分级完成不同比例尺的土壤制图,并编绘相应的土壤类型图、土壤资源利用图、土壤养分图、土壤改良分区图。两次全国性的土壤普查,对我国的土壤类型、特性、肥力状况等进行了系统的调查测定,促进了化肥的施用和农业化学研究工作,肥料的增产效果也得到了较充分的发挥。

新中国成立以来,化肥工业得到了迅速的发展,化肥已是我国现代农业不可或缺战略物资。

我国化肥生产与施用的发展与欧、美不同,是先从氮肥开始,继而发展磷肥,然后发展钾肥。这一发展过程符合我国耕地土壤普遍缺氮、大部分缺磷、部分缺钾的状况,也比较符合我国发展化肥工业的资源状况。

现把我国氮磷钾三大肥料(和复混肥)发展概况简述如下:

1. 氮肥

据有关资料记载,1901 年我国台湾从日本引进了肥田粉(硫酸铵,氮肥)用于甘蔗田施肥,1905 年化肥传入我国大陆。1909 年进口了少量智利硝石,用于制造氮肥和其他氮素化合物;



20 世纪 30 ~ 40 年代, 英国最大化工企业卜内门化学工业公司 (简称 ICI) 向中国推销硫酸铵。1935 年和 1937 年在大连和南京先后建成了氮肥厂。至 1949 年新中国成立前, 我国只有两座规模不大的氮肥厂和两个回收氨的车间, 1949 年氮肥年产量只有 0.6 万吨。1949 年以后, 加快了氮肥工业发展速度, 2000 年我国氮肥产量已达到 2398.1 万吨 (折纯氮), 居世界第一位, 经过几十年的努力我国成为世界第一大氮肥生产国。

我国化肥工业始于 20 世纪 30 年代, 先后建成投产了大连化学厂和南京永利铔厂 (永利铔厂是当时号称“远东第一”的大型化工厂), 生产硫铵, 这两个厂的最高年产量到过 22.7 万吨 (1941 年)。到 1949 年, 只有永利厂还在生产。新中国成立以后, 国家对化肥工业高度重视, 从“一五”计划起, 对老厂进行了恢复和较大规模的扩建, 随后在各个五年计划中, 均投入大量的资金用于化肥工业的建设, 并给予了一系列优惠政策, 使我国化肥工业迅速发展壮大, 目前产量已居世界第一。

(1) 兴建中型氮肥厂

新中国成立后, 发展化肥工业从兴建中型氮肥厂开始。20 世纪 50 年代中期我国建设了由苏联援建的吉林化肥厂、山西太原化肥厂、兰州石化公司化肥厂等三个规模为 5 万吨合成氨、9 万吨硝铵的化肥厂, 同时自行设计建设了年产 7.5 万吨合成氨的四川化工厂, 生产硝铵。在引进消化吸收的基础上, 编制年产 5 万吨合成氨的定型设计, 由机械制造部门生产成套设备, 于 20 世纪 60 年代先后建设了浙江衢州化工厂、上海吴泾化工厂、广州氮肥厂、河南开封化肥厂、云南解放军化肥厂、河北石家庄化肥厂、安徽淮南化肥厂和贵州剑江化肥厂。此后建设的中型氮肥厂有两种类型: 年产 4.5 万吨合成氨的碳铵厂, 如江西氨厂、宝鸡氮肥厂、宣化化肥厂; 年产 6 万吨氨、11 万吨尿素厂, 如石家庄化肥厂、银川化肥厂、鲁南化肥厂等。20 世纪 60 年代还从



英国和意大利引进技术，建设了泸州天然气化工厂和陕西兴平化肥厂，分别采用天然气和重油为原料。

(2) 大力发展小氮肥

1958 年我国著名化工专家侯德榜博士领导开发了合成氨原料气中二氧化碳脱除与碳酸氢铵生产的联合工艺，在上海化工研究院中间试验成功，1962 年在江苏丹阳化肥厂投产，为全国创建了小氮肥的生产模式，起初设计规模为 3000 ~ 5000 吨氨。1963 年，中央和国务院批示，发展氮肥主要靠大中型厂，适当发展小氮肥作为补充。1966 年起小氮肥迅猛发展，许多省几乎县县都建氮肥厂，有的县甚至有两套，到 1979 年全国共建成了 1533 个小氮肥厂。在 20 世纪 60 ~ 70 年代，小氮肥在保障我国化肥供应方面发挥了重要作用。但时过境迁，许多小氮肥厂经济效益欠佳。经过多年来的调整和改造，到 2007 年全国小氮肥企业为 470 家，合成氨年产量达 3569.8 万吨，占全国合成氨年总产量的 69.1%。年利润超过亿元的小氮肥企业有 22 家，超过 5000 万元的有 42 家，超过 750 万元的有 100 家，小氮肥工业依然屹立于中国大地，支撑着我国氮肥工业的半壁江山。

(3) 着力引进大装置

1973—1976 年国家利用自有外汇，从国外引进了具有世界先进水平的 13 套大型合成氨、尿素装置，具有年产 30 万吨合成氨、48 万吨或 52 万吨尿素的生产能力：大庆化肥厂、河北沧州化肥厂、辽宁辽河化肥厂、南京栖霞山化肥厂、湖南洞庭化肥厂、宜昌湖北化肥厂、山东淄博齐鲁第二化肥厂、安徽安庆化肥厂、广州化肥厂、成都四川化肥厂、四川泸州天然气化工厂、贵州赤水河天然气化肥厂、云南天然气化工厂等，到 1979 年这 13 个厂全部建成投产。日本宇部兴产株式会社于 1978 年末与我国签订了三套以渣油为原料的年产合成氨 30 万吨，52 万吨尿素，建于浙江镇海、新疆乌鲁木齐、宁夏银川，三厂相继于 1984 年



9月、1985年7月、1988年7月建成投产。这些利用国家外汇引进的大型装置迅速提高了我国氮肥工业的技术水平和高浓度尿素的比例，成为氮肥行业的骨干企业。如今中国的大氮肥装置已超过了50套，合成氨产量也早已位列世界第一。

（4）着重改造老设备

进入20世纪80年代中期之后，我国氮肥工业着重于老企业的设备改造。“七五”期间（1986—1990年），国家共安排了20亿元和45亿元两个专项资金，对中小氮肥企业进行技术和品种结构改造，建设了120多套小尿素装置；在“八五”期间（1991—1995年），国家又安排了65亿元和30亿元两个专项资金用于化肥产品结构调整。利用国际金融组织贷款和政府贷款建设了一批大中型氮肥装置，并对中小氮肥进行了大规模的技术改造。新建了陕西省渭河化肥厂、四川省合江县化肥厂、内蒙古化肥厂等12套大氮肥，对8套中氮肥实施了技术改造；“九五”期间（1996—2000年）又实施了小尿素扩能改造，为支持小尿素企业的年产4万吨改6万吨、6万吨改10万吨的改造，1996年共投资68.6亿元，全国碳铵改尿素119套，形成年产479万吨尿素生产能力。通过新装置的投产和老装置的改造，大多中型厂的总规模达到年产15万吨氨以上，部分中型厂总规模与大氮肥相同。

（5）调整产业结构

氮肥工业是能耗较大的产业，天然气耗量占全国总产量的15%，煤耗占2.3%，电耗占2.2%；氮肥工业也是污染重点行业，2008年废水排量占工业废水总量的4.9%，氨氮排放量占工业排放总量的22.9%，COD排放量占工业排放总量的3%；合成氨和硝铵都是化学危险品，安全生产十分重要；小企业比重大，企业大型化集约化程度低；此外，还有部分氮肥企业远离原料产地和消费地。通过结构调整和技术改造，目标于2015年氮