

中国肥料发展 研究报告 2016

张卫峰 易俊杰 张福锁 等编著



中国农业大学出版社

CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY PRESS

中国肥料发展研究 报告 2016

张卫峰 易俊杰 张福锁 等编著

中国农业大学出版社

• 北京 •

内 容 简 介

《中国肥料发展研究报告 2016》是《中国肥料发展研究报告 2012》的延续版。过去的几年中,肥料行业形势发生了很大的变化,肥料产业政策有了极大的调整,全国化肥零增长等行动将开启肥料施用的新阶段。本书全面反映了肥料行业生产、贸易、价格,肥料产业政策,肥料施用及技术的新变化,并对未来趋势进行了展望,期望能给政府决策者、企业管理者、科研人员及农场主提供决策依据。

图书在版编目(CIP)数据

中国肥料发展研究报告. 2016/张卫峰等编著. —北京:中国农业大学出版社, 2017. 6
ISBN 978-7-5655-1834-8

I. ①中… II. ①张… III. ①肥料工业-工业发展-研究报告-中国-2016
IV. ①F426.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 129228 号

书 名 中国肥料发展研究报告 2016
Zhongguo Feiliao Fazhan Yanjiu Baogao 2016
作 者 张卫峰 易俊杰 张福锁 等编著

策划编辑	孙 勇	责任编辑	王艳欣
封面设计	郑 川	责任校对	王晓凤
出版发行	中国农业大学出版社		
社 址	北京市海淀区圆明园西路 2 号	邮政编码	100193
电 话	发行部 010-62818525, 8625	读者服务部	010-62732336
	编辑部 010-62732617, 2618	出 版 部	010-62733440
网 址	http://www.cau.edu.cn/caup	E-mail	cbsszs @ cau.edu.cn
经 销	新华书店		
印 刷	涿州市星河印刷有限公司		
版 次	2017 年 6 月第 1 版 2017 年 6 月第 1 次印刷		
规 格	787×1 092 16 开本 17.25 印张 300 千字		
定 价	56.00 元		

图书如有质量问题本社发行部负责调换

编 著 人 员

中国农业大学资源环境与粮食安全研究中心:

张卫峰 张福锁 江荣凤 陈新平 米国华 易俊杰 李升东
张 丹 郭明亮 黄高强 高利伟 武 良 李国华 方 杰
刘世昌 曹国鑫 王雁峰 刘家欢 张联瑞 苗宇新 李晓林
张宏彦 王 冲 崔振岭 李 晶

农业部种植业管理司耕肥处:仲鹭劼

全国农技推广中心:杨 帆 崔 勇 孟远夺 徐 洋 董 燕

中国化工信息中心:陈 丽

中国氮肥工业协会:高 力 吴军华

中国磷复肥工业协会:王 莹 廖康城

中国无机盐工业协会钾盐钾肥行业分会、中国化工学会化肥专业
委员会:亓昭英

中国农业科学院农业资源与农业区划研究所:王 旭 刘红芳
沈德龙 孙蓟锋

江苏华昌化工有限公司:李昊锋

东北农业大学:刘元英 彭显龙

吉林农业大学:高 强 李翠兰

河南农业大学:叶优良 黄玉芳

西北农林科技大学:王朝辉 赵护兵 贾相平 丁吉萍

西南大学:石孝均 周鑫斌

南京农业大学:郭世伟

江西农业大学:杨秀霞

华南农业大学:张承林 涂攀峰

山东农业大学:宋付朋

扬州市耕地质量保护站:李文西

郑州大学:许秀成 侯翠红

前 言

《中国肥料发展研究报告 2012》出版四年以来我国肥料生产、流通、施用、科技、政策以及所处的社会环境又发生了巨大变化,肥料行业进入了一个前所未有的变革和发展阶段。认识这一阶段的特点和发展趋势,尽早为下一阶段的发展做好准备,是政府、企业和科研机构采取有效对策,全面实现经济转型的迫切需求。为此,在农业部领导下,在国家项目的支持下,在全行业有关部门的积极参与下,我们依托全国肥料数据汇总研究平台,对“十三五”期间全国肥料生产、流通、施用、政策进行了全面汇总和分析。

本书共分为 6 章。第 1 章通过收集整理各种研究结果,阐述和分析了肥料对于农业生产的贡献以及对生态环境的影响,期望读者对肥料有一个全面、客观的认识;第 2 章论述了“十三五”期间肥料生产和流通的特征;第 3 章分析了我国肥料施用情况的演变;第 4 章通过对测土配方施肥行动的评估阐述了粮食作物科学施肥技术的进步和发展;第 5 章阐述了我国肥料产业政策的重大的演变,同时提出了一些政策建议;第 6 章对适应农业转型的肥料产品、技术、服务、政策做出了展望。附表收集整理了我国肥料生产、流通等领域历史数据资料,便于各行业人员查询。

共有 20 家单位的 62 位科研工作者参与了本书的编写工作,涵盖了长期从事全国肥料管理和研究的主管部门、行业协会、信息机构、科研单位、企业。为了提高数据信息的全面性和权威性,本书综合了国内外主要数据渠道的统计资料,并着重收集了专业机构的有关信息,例如农业部肥料登记管理信息、全国农技推广中心的科技信息和流通信息、各个肥料行业协会的生产信息、中国化工信息中心的流通信息,以及中国农业大学和 8 所其他农业院校的农户施肥跟踪调查信息。但由于涉及面宽、数据限制、作者水平有限,难免存在错误和不足之处,期望得到读者的批评和指正。

感谢农业部种植业管理司耕肥处、全国农业技术推广服务中心土壤肥料技

术处在组织和协调方面的支持,感谢公益性农业科研专项“农作物最佳养分管理技术研究与应用”(201103003)、“主要粮食作物氮素化肥高效利用技术研究示范”(201203079)和国家重点研发计划“化肥农药减施增效技术应用及评估研究”(2016YFD0201303)的支持。感谢所有编写人员的辛勤付出,感谢协助数据收集并对书稿提出修改意见的所有领导和专家。

张卫峰 易俊杰 张福锁
2017 年夏于北京

目 录

第 1 章 全面认识肥料的作用	1
1.1 化肥是工业革命的成果和现代农业的支撑	1
1.2 化肥施用存在的问题	6
1.3 化肥产业链条对资源环境的影响	9
1.4 结论	14
第 2 章 中国肥料产业发展	17
2.1 肥料产业概况	17
2.2 氮肥工业发展	21
2.3 磷肥工业发展	29
2.4 钾肥工业发展	36
2.5 其他肥料发展	41
2.6 化肥价格变化	47
第 3 章 中国肥料用量变化	50
3.1 化肥用量数据统计差异	50
3.2 化肥消费总量变化趋势	51
3.3 主要作物肥料用量变化	56
3.4 化肥消费去向变化	66
第 4 章 十年测土配方施肥评估	71
4.1 评估背景和方法	71
4.2 技术覆盖率	84
4.3 技术到位率	92
4.4 技术贡献率	141
4.5 综合评估	150
第 5 章 中国肥料管理制度和政策	153
5.1 中国现行肥料管理体制	153
5.2 肥料市场体系和市场规则	154
5.3 肥料市场宏观调控	165

5.4 肥料产品行政许可 173

5.5 肥料使用技术指导 177

5.6 肥料市场体制改革方向及展望 182

第6章 应对可持续发展需求的肥料发展策略 186

6.1 中国肥料发展战略目标 186

6.2 肥料转型的障碍因素 190

6.3 肥料技术创新发展展望 192

附表 202

第1章 202

附表 1-1 不同数据来源全球氮肥消费量年际变化 202

附表 1-2 不同数据来源全球磷肥消费量年际变化 204

附表 1-3 不同数据来源全球钾肥消费量年际变化 206

第2章 208

附表 2-1 不同数据来源中国与全球氮肥产量年际变化 208

附表 2-2 中国主要氮肥产品产量历史变化 210

附表 2-3 产品清单的规范及养分含量标准的制定 211

附表 2-4 2015 年合成氨和氮肥产量分布 212

附表 2-5 2015 年主要氮肥产品产量前 10 名企业 213

附表 2-6 不同数据来源中国与全球氮肥进出口量年际变化 215

附表 2-7 不同数据来源中国与全球磷肥产量年际变化 217

附表 2-8 中国主要磷肥产品产量历史变化 219

附表 2-9 2015 年中国主要区域磷肥产品产量 220

附表 2-10 2015 年中国磷肥产品产量前 10 名企业 221

附表 2-11 不同数据来源中国与全球磷肥进出口量年际变化 222

附表 2-12 不同数据来源中国与全球钾肥产量年际变化 224

附表 2-13 中国主要钾肥产品产量历史变化 226

附表 2-14 2015 年钾肥产量分布 227

附表 2-15 2015 年中国钾肥产品产量前 10 名企业 228

附表 2-16 2015 年全球钾肥产能前 10 名企业 229

附表 2-17 不同数据来源中国与全球钾肥进出口量年际变化 230

附表 2-18 1990—2015 年各种中微量元素肥料年累计登记数量 232

附表 2-19 2015 年各类中微量元素肥料企业数量 233

第 3 章	234
附表 3-1 不同机构对中国化肥消费量的统计	234
附表 3-2 中国化肥生产量、进出口量及消费量	235
附表 3-3 中国氮肥生产量、进出口量及消费量	236
附表 3-4 中国磷肥生产量、进出口量及消费量	237
附表 3-5 中国钾肥生产量、进出口量及消费量	238
附表 3-6 水稻单位面积施肥量	239
附表 3-7 小麦单位面积施肥量	240
附表 3-8 玉米单位面积施肥量	242
附表 3-9 豆类单位面积施肥量	243
附表 3-10 薯类单位面积施肥量	244
附表 3-11 水果单位面积施肥量	244
附表 3-12 蔬菜单位面积施肥量	246
附表 3-13 甘蔗单位面积施肥量	247
附表 3-14 甜菜单位面积施肥量	248
附表 3-15 花生单位面积施肥量	249
附表 3-16 油菜籽单位面积施肥量	249
附表 3-17 棉花单位面积施肥量	250
附表 3-18 烟叶单位面积施肥量	250
附表 3-19 各区域化肥用量变化	251
第 4 章	252
附表 4-1 测土配方施肥评估指标设计及含义	252
附表 4-2 农户调研区域与区域大配方匹配表	259
附表 4-3 有机肥养分含量参数(鲜基)	262
附表 4-4 单位籽粒需氮量指标	263
附表 4-5 单位产量磷和钾吸收量	263
附表 4-6 主要作物的草谷比和秸秆氮磷钾浓度	264
附表 4-7 追肥最大效率期判断标准	265

第1章 全面认识肥料的作用

随着 2015 年国家启动化肥减施增效行动,全国肥料发展进入了全新的阶段。社会各界重新审视肥料。然而由于认识不同,全国力量无法凝聚。本书集中讨论了中国肥料生产和施用以及增产和资源环境问题,以期为各界阐明我们目前所处的阶段,并为将来的发展采取有效的措施。目前中国的化肥生产总量和施用总量已经居于世界首位,不仅满足国内需要,而且已成为国际重要的出口国。虽然我国化肥工业效率显著提升(合成氨单耗降低,磷资源利用效率提升),但是减排增效的压力和潜力都非常大。与国际水平相比,我国化肥单位面积用量大、农户用量变异大、肥料利用率低、产品结构不合理、环境污染严重的特征比较突出。当下在中国全面认识化肥的作用,积极合理地转变施肥方式,是保证食物供应和可持续发展的大事。既要改变“多施肥多增产”和“水大粪勤不用问人”等错误观念,也不能走向极端把化肥毒药化、妖魔化,从而全盘否定化肥。正确施用化肥并不断升级化肥产品是根本措施,但也要警惕一些人借着减肥增效的名义,用所谓“新产品”误导农民和消费者。本章部分内容应农业部要求已于 2016 年 12 月 15 日发表在农业部网站(《科学认识化肥的作用》)。

1.1 化肥是工业革命的成果和现代农业的支撑

1.1.1 正确认识化肥的特性

化肥作为粮食的“粮食”,是现代科学技术带给我们的高效营养物质。从欧洲 1800 年生产硫酸铵开始,经过 200 多年的发展和演变,化肥已经形成了完整的产、供、销、用体系,完全可以为粮、棉、油、果、菜等农产品提供氮、磷、钾、钙、镁、硫、铁、锰、铜、锌、硼、钼、氯等必需的矿质态元素以及硅等有益元素。化肥施用 200 多年来,人口连续翻番的同时,营养水平大幅提高,人类文明进步呈现指数级增长,彻底突破了传统农业依赖于地力自然恢复的瓶颈。

化肥起源于欧洲,是工业革命的产物。1800 年英国率先从工业炼焦中回收

硫酸铵作为肥料,但直到 1908 年德国发明了现代合成氨工艺,才实现了化肥充足供应。化肥的施用让欧洲生活水平迅速提高,并成为世界经济中心。鉴于化肥对人类文明的重大贡献,合成氨技术发明者德国 Fritz Haber(1918)和 Carl Bosch(1931)先后获得诺贝尔化学奖。

化肥来自于自然界,供应效率高。氮肥主要原料来自于大气,其他化肥原料主要是矿产。氮肥生产与生物固氮机理相似,在高温高压条件下,通过催化反应,将大气中的惰性 N_2 变成作物可以利用的活性氮(铵盐、硝酸盐)。在一个 10 公顷土地上建立的合成氨厂每天可以生产 3000 吨 N,一年能够满足千万亩(1 公顷=15 亩)农田维持亩产 400~500 千克的产量,比传统生物固氮效率提高约 100 万倍。化肥让农田从培肥—生产的长周期转变为连续生产的短周期,极大地提高了农田产出效率。

化肥养分浓度高,肥力高,降低了劳动强度。化肥中养分含量一般超过 40%,是传统有机肥的 10 倍以上。尿素含氮 46%,满足一亩农田 10 千克的氮素供应只需要 25 千克左右尿素,一个劳动力徒手用半天就可以完成运输和施用。而传统农业收集、堆沤、运输、施用有机肥需要许多人花费几个月的时间。化肥将农户从繁重的肥料收集、堆沤等劳动中解放了出来,极大地提高了农民的劳动生产效率。

化肥肥效快,利于作物及时吸收。化肥中的养分主要是无机态的,不需要经过微生物转化分解,施入土壤中后会迅速被作物根系吸收。例如化学氮肥施入土壤后一般 3~15 天就会完全释放,在植物生长旺盛阶段可以迅速满足作物养分需求。化肥还可以通过灌溉施用,甚至可以通过叶面喷施的方式施用,极大地提高了作物的养分吸收效率。

化肥本身是无害的。化肥中养分含量高、杂质低。例如尿素中含有 46% 的氮素,氮是作物所需要的营养元素,其余的主要是 CO_2 ,施用到土壤中后会再次释放回到大气中,是无害的,且 CO_2 还是光合作用的原料,能被植物光合器官吸收和利用。此外,还含有 1% 左右的水和 1% 左右的缩二脲,缩二脲严格控制到 1.5% 以下对作物无害,而且会在土壤中分解并被作物和微生物利用。磷肥、钾肥以及中微量元素都是从矿物中提取出来的,基本成分也都是无害的。

1.1.2 中国化肥产量和用量占全球比重的变化

化学肥料的诞生改变了农业的发展进程和结构,使其从依赖于养分自然循

环的传统农业过渡到集约化的现代农业,为作物的持续高产提供了可能,将全球人口从10亿推升到目前的60亿,并将继续增长到90亿(Godfray,2010)。欧洲于19世纪中期德国科学家李比希创建矿质营养学说时就开始施用化学肥料,中国引进化肥比欧洲发达国家整整晚了100多年。并在很长一段时间内主要依赖于进口,1995年中国氮肥进口量达到历史最高峰时占全球进口量的20.8%,2002年磷肥进口最高峰时占全球进口量的18.7%,2005年钾肥进口最高峰时占全球进口量的21.0%。因此,实现化肥自给自足是中国在过去半个世纪不断奋斗的目标。

为了满足需求,中国化肥工业经过半个世纪的不懈努力,不仅能够满足13亿人口的粮食需要,而且走出国门,成为全球重要的供应国。1990年中国超过苏联成为全球最大的氮肥生产国,2015年中国氮肥产量4791万吨N,占全球的约41.8%(2014年数据),出口量为996.3万吨N,已成为全球重要的出口国(详见第2章)。2005年中国磷肥产量超过美国成为世界第一,2015年磷肥产量1795万吨 P_2O_5 ,占全球总产的38%(2014年数据),出口545.8万吨 P_2O_5 ,成为全球重要的出口国。2015年,中国生产钾肥571万吨 K_2O ,进口钾肥560.6万吨 K_2O ,进口依存度为50.7%,开始扭转单纯依靠进口的不利局面。在化肥消费方面,化肥用量增长速度也不断增加。1987年中国开始成为世界上化肥用量最大的国家,2015年农业化肥总用量为5416万吨,其中氮肥用量为3100万吨N,磷肥用量为1262万吨 P_2O_5 ,钾肥用量为1012万吨 K_2O ;氮肥用量占全球氮肥用量的28.7%,磷肥用量占全球磷肥用量的30.9%,钾肥用量占全球钾肥用量的31.3%。(全球肥料消费量的详细数据见附表1-1至附表1-3)

1.1.3 化肥对增产和营养改良及社会发展的贡献

中国粮食产量的一半来自化肥。新中国成立前,我国一直采用传统农业生产方式,即利用作物秸秆、人畜粪尿、绿肥等培肥地力,粮食产量长期处于较低水平。秦汉至清朝2000余年间,我国每亩小麦和水稻的产量仅从53千克和40千克增长到97.5千克和145.5千克。而新中国成立后至今的70余年间,我国小麦平均单产达到350~400千克,高产地区达到750千克。其中,化肥的施用发挥了关键作用。联合国粮农组织(FAO)最早统计了绿色革命之后肥料施用对作物单产的贡献,发现20世纪60—80年代,发展中国家通过施肥可提高粮食作物单产55%~57%(FAO)。另外,中国农业工作者根据全国化肥试验网的大量试

验结果发现,施用化肥可提高水稻、玉米、棉花单产 40%~50%,提高小麦、油菜等越冬作物单产 50%~60%,提高大豆单产近 20%。综合推算,1986—1990 年粮食总产中有 35%左右是施用化肥形成的(林葆和李家康,1989)。戴景瑞院士通过对中国不同地区玉米的遗传产量和施肥产量的对比发现,1985—1994 年间施用肥料对于玉米的增产贡献率已达 50%以上。Fan 等(2013)研究证明,20 世纪 80 年代至今,不施用化肥的作物单产和施用化肥的作物单产相差 55%~65%,三十年来的生产实践进一步验证了化肥的贡献。

保障国家粮食安全是推动经济发展和维护社会稳定的重要基础。根据 FAO 统计数据,中国以占世界 9%的耕地养活了占全球 21%的人口,其原因是中国大幅度提高了作物产量(FAO,2012)。新中国成立后,中国人口总量由 5.4 亿增长至 2015 年的 13.7 亿,总量扩大了将近两倍。同时,中国主要作物产量也由新中国成立初的 17770 万吨增长到 2015 年的 183830 万吨,粮食产量扩大了 9 倍。而且,蔬菜、水果的产量也分别从 1980 年的 5656 万吨和 842 万吨增长到 2015 年的 7.8 亿吨和 2.7 亿吨(国家统计局,2016 年)。中国农产品产量的大幅度增长主要不是依赖于耕地面积的扩大而是单产的提高,1961—2015 年中国耕地面积仅增长了 6%,而人均耕地面积从 0.15 公顷下降到 0.09 公顷。单位播种面积的产量却有大幅度的提升,据 FAO 统计,中国的单位面积产量中,谷物从 1961 年的 1.2 吨/公顷提高到 2015 年的 6.0 吨/公顷;果树从 1961 年的 4.8 吨/公顷提高到 2015 年的 21.4 吨/公顷;蔬菜从 1961 年的 10.3 吨/公顷提高到 2015 年的 31.9 吨/公顷(国家统计局,2016)。

化肥施用还可以增加农作物生物量,提高地表覆盖度,减少水土流失。土壤本身也是一个碳汇,可以储存人类活动产生的温室气体,减轻工业化带来的负面影响。此外,通过施用化肥提高作物单产,为城市建设、交通、工业和商业发展提供了广阔的土地空间。中国大量田间试验证明,近二十年来土壤有机质在不断提升,黄耀等(2006)总结了文献资料,发现 20 世纪 80 年代至 21 世纪初,中国大陆农田面积 53%~59%的土壤有机质含量呈增长趋势(主要在华南及华东地区),中国大陆农田表土有机碳贮量总体增加了 $(311.3 \sim 401.4) \times 10^{12}$ 克。有机碳含量增加主要归因于秸秆还田与有机肥施用、化肥投入增加与合理的养分配比以及少(免)耕技术的推广使用。除了土壤有机质的变化,全国土壤有效磷含量 30 年来也呈大幅上升的趋势(Li et al., 2011);土壤钾素方面,多数地区在 20 世纪 80—90 年代土壤有效钾含量下降,而在 90 年代至 21 世纪初回升,这可能

与秸秆还田面积扩大和钾肥大量施用有关。

施用化肥不仅增加了作物产量,丰富了餐桌食谱,而且补充了人体所需的大量营养元素。例如,人均动物蛋白供应量从 1961 年的 1.4 千克增长到 2014 年的 15.5 千克。大量肉制品、奶制品中的蛋白质来自于饲料,而饲料的生产也必须依赖化肥的科学施用。张卫峰等(2013)根据世界粮农组织统计的人均动物蛋白、植物蛋白和水产蛋白的数据及中国人口总量,计算了中国化学氮肥对中国蛋白质供应的贡献。结果表明 1961—2007 年中国新增蛋白消费中,氮肥贡献了 56%。而 Erisman(2008)估计全世界人类消费的蛋白只有 48%来自于氮肥,中国氮肥的贡献明显高于全球水平,因为中国生物固氮水平远远低于全球水平,对化肥的依赖较大。

由于单位土地可以产出更多的作物,农业经济得以快速发展,不仅可以种植两季或者三季粮食,也可以种植两季或者三季蔬菜,这样不仅提高作物单产满足了粮食需求,还可以利用空闲土地生产蔬菜、水果、中药材,或者发展渔业和林业,极大地提高农民收入。中国农业 GDP 从 1978 年的 1397 亿元增长到 2015 年的 107056 亿元,农村居民家庭人均纯收入从 1978 年的 133.6 元/人增长到 2015 年的 10735 元/人(图 1-1)。

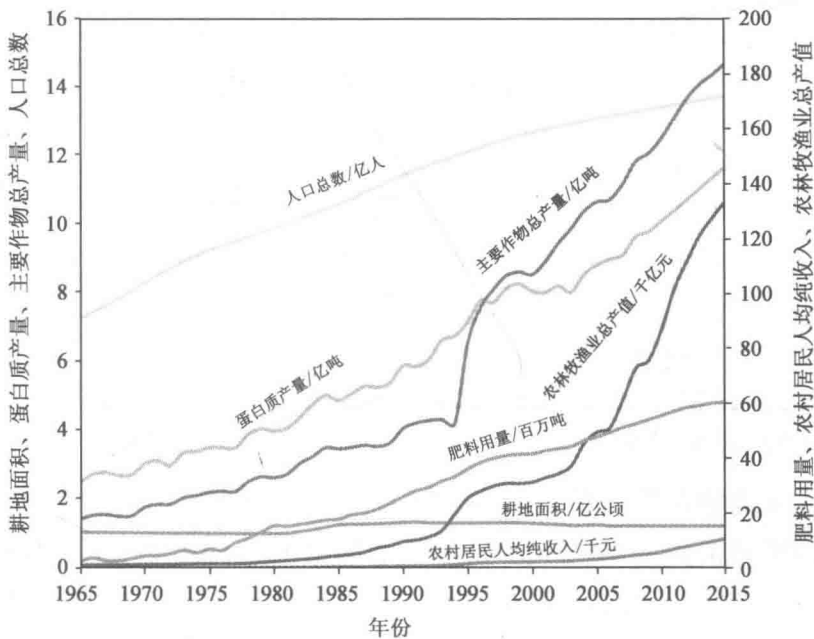


图 1-1 中国化肥综合贡献历史变化

1.2 化肥施用存在的问题

1.2.1 化肥用量水平偏高

按照单位耕地(按照 FAO 标准,施用化肥的草地等长期作物计算在内),欧洲等国家用量较高,其中荷兰曾经是化肥用量最高的国家,在 20 世纪 80 年代曾经达到 810 千克/公顷。从 20 世纪 80 年代以后,欧洲和日本等发达国家由于环境保护措施,化肥用量大幅下降(荷兰下降 67%,德国下降 52%,日本下降 34%)。目前中国已经成为化肥用量最高的国家,是全球平均用量的 3.4 倍、美国的 3.4 倍、德国的 2.1 倍、非洲的 27 倍(表 1-1)。

表 1-1 2014 年几个农业重要国家施肥水平比较

国家	2014 年单位面积施肥量/(千克/公顷)				NPK 比例
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	总和	
世界	85.8	33.2	20.4	139.4	1 : 0.39 : 0.24
中国	422.2	155.7	66	643.9	1 : 0.37 : 0.16
美国	78	25.7	27.5	131.2	1 : 0.33 : 0.35
新西兰	519.9	892.6	73.3	1485.8	1 : 1.72 : 0.14
以色列	216.4	40.4	108.2	365	1 : 0.19 : 0.50
荷兰	274.5	14.8	20.8	310.1	1 : 0.05 : 0.08
日本	101.9	96.1	61.2	259.2	1 : 0.94 : 0.60
印度	107.9	43.1	12.4	163.7	1 : 0.40 : 0.11
泰国	96.5	30.2	26.5	153.2	1 : 0.31 : 0.27
法国	104.7	13.8	18.4	136.9	1 : 0.13 : 0.18
澳大利亚	23.3	17.2	4.2	44.7	1 : 0.74 : 0.18
阿根廷	24.8	13.1	1	38.9	1 : 0.53 : 0.04

注:单位面积施肥量等于肥料总用量比上耕地及永久性草地面积。数据来源于 FAO 官方统计数据。

中国主要作物化肥用量也明显高于国际高产国家。根据国家发改委《农产品成本收益资料汇编》的数据,并参考其他国家农户调研数据发现,中国的水稻平均施氮量为 195 千克/公顷,而日本的只有 105 千克/公顷。中国的小麦平均施氮量为 224 千克/公顷,而欧盟的单位面积施氮量只有 124 千克/公顷。中国的玉米单位面积施氮量为 201 千克/公顷,而美国的单位面积施氮量为 140 千克/公顷。在豆类、花生和棉花等作物上,其他国家的化肥用量更低,其中巴西的大豆

氮肥用量仅 6 千克/公顷，只有中国的 1/10，美国的花生和棉花氮肥用量只有中国的 1/3。中国蔬菜和果树氮肥用量远高于其他国家，果园平均用量约 370 千克/公顷，蔬菜平均用量为 280 千克/公顷，而发达国家果树和蔬菜用量与粮食作物差不多(表 1-2)。发达国家肥料效率高的原因是施肥量低而作物单产高，这与气候、土壤、种植制度、作物品种和管理技术等多个因素有关，例如他们对养分投入总量和土壤养分残留都有严格的控制，他们的有机肥和豆科作物固氮提供了与化肥投入相当的氮素，另外轮作和休闲也为土壤养分的转化和利用提供了有效的缓冲，明显降低了氮肥的投入强度。

表 1-2 中外主要作物施肥量对比 千克/公顷

作物	中国(2015)				其他国家				代表国家 或地区
	施肥量	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	施肥量	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
水稻	347	195	68	84	199	105	37	57	日本(2011)
小麦	406	224	94	88	165	124	24	17	欧盟(2011)
玉米	365	201	82	81	273	140	61	72	美国(2008)
豆类	125	51	35	39	132	6	64	62	巴西(2011)
花生	301	128	91	81	212	55	54	103	美国(2011)
棉花	702	381	143	177	176	82	29	65	美国(2011)
果树	908	370	278	260					
蔬菜	628	280	169	178					

注：详细数据见第 3 章。

1.2.2 肥料利用效率偏低

肥料回收利用率是反映单位肥料投入被作物吸收的数量，实际测算中根据 $[(\text{施肥区产量} \times \text{单位产量} \times \text{作物地上部养分含量}) - (\text{不施肥区产量} \times \text{单位产量} \times \text{作物地上部养分含量})] \div \text{肥料用量}$ 所得。理论上肥料利用率与土壤、肥料、施用方法和作物特性有关。20 世纪 80 年代至 2000 年，由于肥料用量快速增加，肥料产品中尿素、磷酸铵等高浓度、高水溶性、高损失率的产品增加，肥料施用方法中注重省工的撒施、水冲和一次性施肥，因此肥料利用率显著降低。2005 年以来，在测土配方施肥的带动下，总量控制(根据作物吸收确定投入量)技术快速普及、施肥机械化率提高(种肥同播、机械追肥)，同时由于高效率种子的应用(如先玉 335)，肥料利用率有所回升(表 1-3)。但是与世界主要地区相应的作物相比仍有差距。例如美国 Cassman 等(2002)总结了一些国家的氮肥利用率，发现玉米氮肥利用率北美为 37%，而中国平均仅为 35.2%。东南亚水稻和印度的稻

麦体系氮肥利用率都在 40%左右,而中国氮肥利用率仅有黑龙江寒地水稻达到这一水平,长江流域和华南都有较大差距。

表 1-3 1981—2015 年中国三大粮食作物的肥料回收利用率

年份	作物	肥料回收利用率/%			数据来源
		氮肥	磷肥	钾肥	
2001—2005	水稻	28.3	13.1	32.4	张福锁等,2008
2005—2009	水稻	32.7	22	37.5	文献数据汇总
2011—2012	水稻	34.9	24.6	41.1	农业部测土配方施肥专家组
2001—2005	小麦	28.2	10.7	30.3	张福锁等,2008
2005—2009	小麦	29.7	18.7	26.9	文献数据汇总
2011—2012	小麦	32	19.2	44.4	农业部测土配方施肥专家组
2001—2005	玉米	26.1	11	31.9	张福锁等,2008
2005—2009	玉米	30.4	20.5	35	文献数据汇总
2011—2012	玉米	32	25	42.8	农业部测土配方施肥专家组
2015	小麦、玉米、水稻	35.2			农业部测土配方施肥专家组
1981—1983	小麦、水稻、玉米	30~35	15~20	35~50	朱兆良
2002—2005	小麦、水稻、玉米	28.7	13.1	27.3	中国农科院,2008

1.2.3 肥料经济效益较低

肥料仍然是种植业的第一投入要素,而且随着肥料价格的增长和高浓度肥料产品的增加,肥料成本不断提高,国家发改委编制的《农产品成本收益资料汇编 2016》显示(表 1-4),2015 年三大粮食作物中,水稻、小麦和玉米每公顷的化肥成本分别为 1827、2147 和 1968 元。与美国相比,中国农产品现金成本中化肥所占比例最高(因土地和劳动力差距过大而不包括在内),小麦、玉米分别达到 31%、31%,棉花达到 23%。而美国农产品现金成本中机械最高,肥料第二,小麦、玉米分别达到 18%、29%,棉花为 15%,远低于中国。肥料成本高已经成为我国农产品国际竞争力低的主要原因。农产品价格上不去还因为品质不过硬,化肥对农产品品质影响较大,近些年因为不合理施肥导致裂果等问题成为香蕉、枣等水果的主要减收因素。另外,资源环境问题也逐渐成为影响农业生产的刚性制约因素,环境的恶化不仅会直接增加农业生产成本,而治理的成本也会间接增加农业生产成本。因此,化肥对转变农业生产方式、降低农业生产成本的重要性不言而喻。