

中国肥料发展研究报告

2012

张卫峰 张福锁 主 编
李宇轩 黄高强 武 良 副主编



中国农业大学出版社

CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY PRESS

中国肥料发展研究报告

2012

张卫峰 张福锁 主 编
李宇轩 黄高强 武 良 副主编



中国农业大学出版社

CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书收集了新中国成立至今 60 余年间的肥料产业发展、肥料施用、肥料流通和政策变迁的数据资料,从全产业链角度分析了肥料生产至最终施用过程中对农业生产、资源环境的影响,揭示了中国肥料可持续发展面临的挑战和发展方向。期望本书能给政府决策者、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 2012/张卫峰,张福锁主编. —北京:中国农业大学出版社, 2013.7

ISBN 978-7-5655-0719-9

I. ①中… II. ①张… ②张… III. ①肥料工业-工业发展-研究报告-中国-2012
IV. ①F426.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 125767 号

书 名 中国肥料发展研究报告 2012

作 者 张卫峰 张福锁 主编

策划编辑 孙 勇

封面设计 郑 川

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

电 话 发行部 010-62818525,8625

编辑部 010-62732617,2618

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

经 销 新华书店

印 刷 涿州市星河印刷有限公司

版 次 2013 年 7 月第 1 版 2013 年 7 月第 1 次印刷

规 格 787×1092 16 开本 12.5 印张 230 千字

定 价 40.00 元

责任编辑 孙 勇

责任校对 孙 倩

邮政编码 100193

读者服务部 010-62732336

出 版 部 010-62733440

e-mail cbsszs @ cau.edu.cn

图书如有质量问题本社发行部负责调换

编写人员

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 李宇轩 黄高强 武 良
高华鑫 李婷玉 冯 颖 陈广锋 张世昌 张 丹
王桂良 安 宁 范明生 崔振岭

全国农技推广中心：

李 荣 杨 帆 崔 勇 董 燕 孟远夺 孙 钊

中国氮肥工业协会：张 荣 高 力

中国磷肥工业协会：武雪梅 郭兆熊

中国钾盐（肥）分会：亓昭英

中国化工信息中心：陈 丽 王 莹

国家肥料质量监督检验中心：王 旭

农业部微生物肥料和食用菌菌种质量监督检验测试中心：沈德龙

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

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：廖 红 陆 星

山东农业大学：宋付朋

前言

随着社会经济的快速发展和人民生活水平的不断提高,化肥已成为我国不可或缺的农业生产资料。在过去的几十年里,中国化肥产业取得了辉煌的成就,已经建立了世界上最庞大的化肥生产和流通体系,商品量占到世界总量的35%,经营者数量占到世界总量的70%,为中国和全球的经济和农业发展做出了巨大的贡献。然而,面对如此巨大的产业,我们一直缺乏权威、系统的资料,导致肥料统计数据不一致、看法不统一,对产业的健康发展造成了不利影响。为此,在农业部领导下,在农业部行业专项的支持下,在各个工业协会、信息部门以及农业科研机构的积极参与下,2011年成立了全国肥料数据汇总研究平台,梳理了历史资料,对肥料生产、流通、施用、政策进行了全面的分析。

本书是该平台运行以来的第一部报告,主要总结了新中国成立至2012年肥料生产和施用发展的历史,对肥料产、供、需各个环节的发展特点进行了分析,并对未来发展做出了展望。本书分为6章:第1章通过收集整理各种研究结果,阐述和分析了化肥对于农业生产的贡献,同时也阐述了盲目施肥对农业生态环境的影响,期望读者对肥料有一个全面、公正的认识,由李宇轩、张卫峰编写;第2章通过肥料工业协会和信息中心历史统计资料,论述了化肥产业的发展、技术水平、企业动态,由黄高强、张荣、武雪梅、亓昭英、王莹、沈德龙、杨帆等撰写;第3章分析了我国农业生产中化肥的施用情况和未来需求,由武良、张福锁、王桂良、安宁、刘元英、高强、李翠兰、张丹、叶优良、郭世伟、石效均、周鑫斌、王朝辉、赵护兵、廖红、陆星、宋付朋等撰写;第4章论述了肥料供需平衡和价格演变,由李宇轩、武良、黄高强、张卫峰撰写;第5章阐述我国化肥产业政策的历史演变和存在问题,同时提出一些政策建议,由李宇轩、张卫峰撰写。第6章对2013年肥料发展形势做出了展望,由张卫峰撰写;由于数据限制、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。

目 录

第1章 肥料在现代农业发展中的作用	1
1.1 肥料的作用	1
1.1.1 肥料的定义和分类	1
1.1.2 肥料对保障粮食安全意义	3
1.1.3 肥料对改善人体营养的作用	6
1.1.4 施肥改变土壤肥力	7
1.2 化肥生产和施用中的资源环境问题	9
1.2.1 化肥生产中的资源环境问题	9
1.2.2 不合理施肥引起的环境问题	9
1.2.3 氮素生物地球循环	10
1.2.4 磷素生物地球循环过程	11
1.2.5 不合理施肥对土壤的污染	12
1.2.6 不合理施肥对水体的污染	14
1.2.7 不合理施肥对大气的污染	15
1.3 粮食安全对肥料施用的挑战	16
参考文献	19
第2章 中国肥料产业发展	22
2.1 肥料产业整体状况	22
2.1.1 肥料产业国内生产总值变化	22
2.1.2 肥料进出口总额的历年变化	22
2.1.3 肥料产业经营主体数量	23
2.1.4 肥料产业就业情况	24
2.2 氮肥工业发展	25
2.2.1 产能和产量	25
2.2.2 工业集中度	28
2.2.3 资源和技术	32
2.2.4 产品结构	34
2.2.5 进出口	38

2.3	磷肥	43
2.3.1	产能和产量	43
2.3.2	工业集中度	48
2.3.3	资源供应和利用	50
2.3.4	产品结构	52
2.3.5	进出口	53
2.4	钾肥	56
2.4.1	产能和产量	56
2.4.3	产品结构	62
2.4.4	进出口	62
2.4.5	资源供应	64
2.5	其他肥料发展	66
2.5.1	复混肥	66
2.5.2	有机肥	70
2.5.3	缓控释肥	74
2.5.4	中微量元素肥料	75
	参考文献	79
第3章	中国肥料施用	81
3.1	化肥消费总量变化趋势	81
3.1.1	氮肥消费量	81
3.1.2	磷肥消费量	83
3.1.3	钾肥消费量	85
3.2	化肥分配	87
3.2.1	主要用肥领域的变化	87
3.2.2	各领域化肥消费量	88
3.2.3	各用肥领域对化肥增量的贡献	91
3.2.4	各区域化肥用量变化	92
3.3	主要作物肥料用量	94
3.3.1	水稻化肥施用量	95
3.3.2	小麦化肥施用量	98
3.3.3	玉米化肥施用量	101
3.3.4	果树化肥施用量	103
3.3.5	大田蔬菜化肥施用量	105

3.3.6 农户有机肥施用量	106
3.4 肥料品种	106
3.4.1 全国主要作物肥料施用品种	106
3.4.2 不同地区水稻化肥施用品种	109
3.4.3 不同地区小麦化肥施用品种	111
3.4.4 不同区域玉米化肥施用品种	112
3.4.5 不同区域果树化肥施用品种	113
3.4.6 其他经济作物化肥施用品种	115
3.5 农户化肥施用方式	116
3.6 化肥利用效率	117
3.6.1 肥料增产效率	117
3.6.2 肥料利用效率	119
3.6.3 肥料损失率	121
3.6.4 农户施肥技术现状	121
参考文献	122
第4章 肥料供需平衡与价格变化	123
4.1 肥料供需总量平衡	123
4.1.1 氮肥供需平衡	123
4.1.2 磷肥供需平衡	124
4.1.3 钾肥供需平衡	124
4.2 主要季节供需平衡	125
4.2.1 化肥供需平衡	125
4.2.2 氮肥主要品种供需平衡	126
4.2.3 磷肥主要品种供需平衡	127
4.2.4 钾肥主要品种供需平衡	128
4.3 土壤养分平衡	129
4.3.1 土壤氮平衡	129
4.3.2 土壤磷平衡	130
4.3.3 土壤钾平衡	131
4.4 化肥价格变化	132
4.4.1 化肥名义价格	135
4.4.2 化肥实际价格	136
4.4.3 化肥价格季节间的波动	137

4.4.4	化肥价格联动	139
第5章	中国肥料管理制度和政策	141
5.1	现行肥料管理制度	141
5.2	中国肥料管理体制变革	146
5.2.1	价格政策	147
5.2.2	生产政策	150
5.2.3	流通政策	153
5.2.4	质量管理政策	162
5.3	我国肥料产业管理中的问题	174
5.3.1	肥料法缺失	174
5.3.2	政出多门,监督管理不到位	175
5.3.3	缺乏退出机制,化肥产能过剩	175
5.3.4	肥料标准体系不健全	175
5.3.5	缺乏对肥料施用的环境管理法律	175
5.4	肥料管理的国际经验	176
5.5	2012 年肥料相关政策	177
5.5.1	宏观政策	177
5.5.2	化肥市场调控政策	178
5.5.3	产品质量管理政策	179
5.5.4	施肥技术项目	180
5.6	中国肥料管理展望	182
5.6.1	建立市场调节机制	183
5.6.2	完善肥料质量管理制度	183
5.6.3	建立环境管理制度	183
第6章	2013 年肥料发展展望	184
6.1	化肥需求量预测	184
6.2	肥料技术和产品发展展望	185
6.3	化肥供应展望	186
6.3.1	产业政策的调整	186
6.3.2	生产形势展望	187
6.3.3	肥料贸易和价格	187

第 1 章 肥料在现代农业发展中的作用

1.1 肥料的作用

肥料是重要的农业生产资料,在补充和平衡土壤养分、提升耕地质量方面起到重要的作用,也是保证全球粮食安全的重要物质基础。自从 1908 年德国科学家弗里茨·哈伯(Fritz-Harber)和卡尔·波西(Karl Bosch)发明合成氨并实现工业化生产以来,化学肥料快速发展,肥料的作用也进一步提升。目前全球 48% 的人口依赖于化肥提供的氮素(Errisman et al., 2008)。我国于 20 世纪初开始从国外引进化肥(硫酸铵),在 20 世纪 30 年代建立本国的第一个氮肥厂,并于 20 世纪 60 年代起大规模引进国外成套合成氨设备,至 20 世纪 90 年代中期成为国际上生产和使用化肥最多的国家。据协会统计数据显示,2012 年我国化肥产量为 6 384 万 t(纯养分,下同),消费量为 5 175 万 t,均居世界第一位,为保证我国粮食安全做出了巨大贡献。目前,我国高速发展的社会经济正处在一个重要的转折阶段,全面建设社会主义小康社会面临着经济、资源、环境以及“三农”问题的重大挑战。肥料作为关乎经济、资源、环境和影响“三农”的重要物资,需要适应社会经济发展的要求,在实现对农业增产增收的同时保护资源环境安全。近些年关于我国肥料的贡献和环境影响逐步有了一些深入的研究,本章对主要一些结果做了整理,期望让读者对肥料有全面认识。

1.1.1 肥料的定义和分类

肥料产业经过一个世纪的发展,尤其是绿色革命的推动,使得肥料在世界范围内得到广泛的应用,对于人类营养和农业生产水平的提高起到了重要的作用,那到底什么是肥料?在美国肥料法中,肥料(fertilizer)是任何一种包含至少一种经过验证的植物营养元素的物质能被用于或者具有促进植物生长的作用。动植物肥料、泥土、石灰、石灰石、树木燃灰和其他的物质不在条例规定的范围。在加拿大肥料法中,肥料是指任何一种被生产、销售和被用来当作植物养分的,并且含有氮、磷、钾及其他植物养分的物质或混合物。在欧盟的肥料法案中,肥料是指其主要功能是为植物提供养分的物质。在我国,根据《植物营养学》的定义,肥料是指人们用以调节植物营养与培肥改土的一类化学物质。在农业部《肥料登记管理办法》中肥料定义为用于提供、保持或者改善植物营养和土壤物理、化学

性能以及生物活性,能提高农产品产量,改善农产品品质,增强植物抗逆性的有机、无机、微生物及其混合物料。肥料包括:①以提供植物营养为主的有机、无机、微生物活性体产品及一种或两种以上的复混产品;②以改善土壤理化性状为主的土壤调理剂类;③以提供植物养分为主,能促进养分吸收的农药管理范围以外的植物生长调节剂类;④兼有上述两种以上作用的其它肥料产品。相对而言,我国对肥料的定义比较宽泛,包含了欧美肥料定义中并不包括的土壤调节物质。

肥料的分类有多种,按照肥料来源组分的主要性质来划分,分为化学肥料、有机肥料、生物肥料、绿肥。按所含营养元素成分,可分为氮肥、磷肥、钾肥、镁肥、硼肥、锌肥、钼肥等等。按营养成分种类多少,可分为单质肥料、复混(合)肥料。按肥料剂型,可分为固体肥料与液体肥料。按肥料中养分的有效性或供应速率,可分为速效肥料、缓效肥料、长效肥料。按肥料中养分的形态或溶性,可分为氨态氮肥、硝态氮肥、酰胺态氮肥等,或水溶性肥料、弱酸溶性肥料、难溶解性肥料。按积攒方法,可分为堆肥、沤肥、沼气发酵肥等。根据《化学工业标准汇编》,我国肥料可分为7大类:氮肥、磷肥、钾肥、复合肥料、复混肥料、有机肥料及微量元素肥料。其中氮肥产品包括:硫酸铵、尿素、硝酸铵、氯化铵、碳酸氢铵和氰氨化钙;磷肥产品包括:重过磷酸钙、钙镁磷肥、钙镁磷钾肥、过磷酸钙、肥料级磷酸氢钙;钾肥包括氯化钾和农业用硫酸钾;复合肥料包括:磷酸一铵、磷酸二铵、硝酸磷肥、磷酸二氢钾、硝酸磷钾肥。

按照国际分类方法统计,我国共有商品肥料产品6大类,50种。其中具有肥料标准的有42种,需要登记备案的有27种,2012年新增(含修订)产品标准4项,分别为《农业用改性硝酸铵》、《农业用硝酸铵钙》、《中量元素水溶肥料》、《有机肥料》。需要生产许可证管理的有6种(表1-1)。

表 1-1 中国肥料种类

大类	亚类	按照管理方式分类		
		仅具有肥料标准	仅需要登记	具有标准并需登记和备案
大量元素基础肥料	氮肥	尿素、碳铵、氯化铵、硫酸铵、硝酸铵、液体无水氨	大量元素水溶肥	硝酸钙
	磷肥	过磷酸钙、钙镁磷肥、重钙、肥料级磷酸氢钙		
	钾肥	氯化钾、硫酸钾	硫酸钾镁、氯化钾镁	硫酸钾镁

续表 1-1

大类	亚类	按照管理方式分类		
		仅具有肥料标准	仅需要登记	具有标准并需 登记和备案
大量元素 复混肥料	混合型			复混肥、掺混肥、有 机无机复混肥、
	化成型	硫酸钾、磷酸二氢钾、硫硝酸 铵、一铵、二铵、硝酸磷肥、硝 酸磷钾肥、		硝酸钾、硝酸铵、硝 酸铵钙、缓释肥
中量元素			中量元素肥料 (不包括硅肥)、 农业用硝酸钙、 农业用硫酸镁	中量元素水溶肥料 硅肥
微量元素		硫酸锌、微量元素叶面肥	微量元素肥料	微量元素水溶肥料
生物肥				微生物菌剂、复合 微生物肥料、光合 细菌菌剂、有机物 料腐熟剂、生物有 机肥
有机肥		含氨基酸叶面肥料、生物有 机肥		含氨基酸水溶肥、 含腐植酸水溶肥、 有机水溶肥料、有 机肥料

1.1.2 肥料对保障粮食安全的意义

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,我国以占世界 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 2010 年的 13.5 亿,总量扩大了将近两倍。同时,我国粮食产量也

由新中国成立初的 11 318 万 t 增长到 2011 年的 57 121 万 t,扩大了 4 倍。三大粮食作物的总产量较建国初期得到了显著的提升,稻谷的产量由建国初期的 1 450 万 t 提高到 2011 年的 20 100 万 t,小麦的产量由 1 381 万 t 提高到 11 740 万 t;玉米由 1 242 万 t 提高到 19 278 万 t(国家统计局,2012 年)。而且,蔬菜、水果的产量也分别从 1980 年的 5 656 万 t 和 842 万 t 增长到 2011 年的 5.6 亿 t 和 1.3 亿 t(国家统计局,2012 年)。至 2010 年,中国蔬菜产量已经占全球的 49%,水果产量占全球的 20%。中国农产品产量的大幅度增长并不是依赖于面积的扩大,1961—2009 年,中国耕地面积仅增长了 6%,而人均耕地面积从 0.15 hm^2 下降到 0.08 hm^2 。但由于作物单产的大幅度提高,相当于提高了人均耕地面积。张卫峰等(2013)利用 FAO 数据评估了中国人均虚拟耕地面积,发现 1961 年中国人均耕地面积仅有 0.15 t/hm^2 ,通过综合发展小麦、玉米、水稻将谷物单产从 1961 年的 1.21 t/hm^2 增加到 2009 年的 5.45 t/hm^2 ,超过了欧洲,单产的增加相当于人均耕地面积提高了 0.38 hm^2 ,相当于把人均占有面积提高到世界平均水平的 2 倍(图 1-1)。

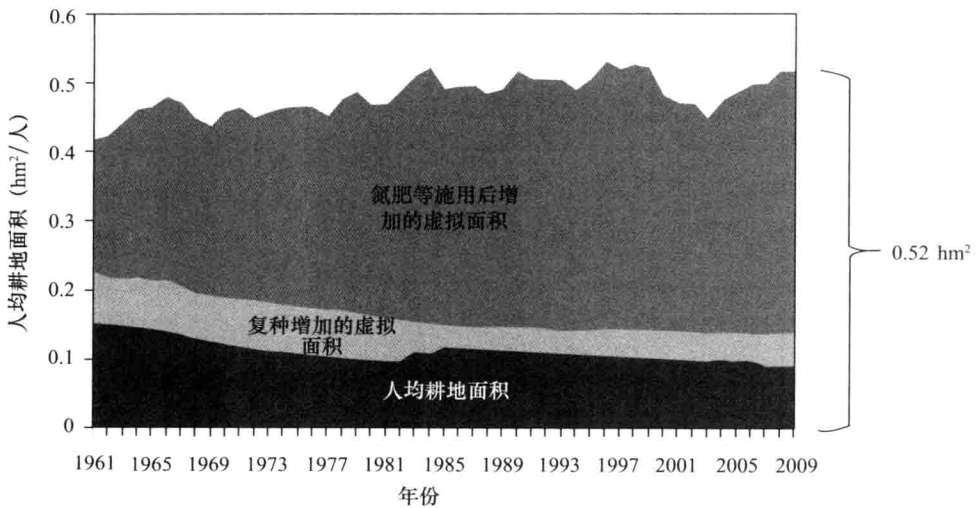


图 1-1 化肥对粮食增产和单产提高的贡献

关于肥料对作物单产增长的贡献存在不同的观点,这些观点的不同主要体现在方法不同,数据不同。例如联合国粮农组织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 年代至 80 年代,发展中国家通过施肥可提高粮食作物单产 55%~57%、可提高总产 30%~31%。而我国农业工作者根据全国化肥试验网的大量试验结果表明,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(1998)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可达 50% 以上(表 1-2)。这些研究都是通过农学试验,分析了肥料投入与品种和其他管理措施相比的贡献,综合来讲,肥料对粮食作物单产增长的贡献大约为 50% 左右。但是这些结果都只反映了 20 世纪 90 年代之前的生产情况,而后,中国作物单产以及肥料投入都发生了巨大变化,作物单产增速下降,而肥料投入增速加快,肥料对粮食单产的贡献还有那么大吗? 很可惜,由于缺乏全国性的田间试验数据资料,这一问题一直没有得到很好的回答。

表 1-2 1985—1994 年间化肥施用对玉米产量的贡献率 (戴景瑞, 1998)

省(自治区)	趋势产量/ (kg/hm ²)	遗传产量		施肥		管理及其他	
		kg/hm ²	%	kg/hm ²	%	kg/hm ²	%
辽宁	2 715.0	870.0	32.0	1 416.0	52.0	429.0	16.0
吉林	2 340.0	934.5	40.0	1 282.5	57.0	123.0	3.0
新疆	2 268.0	613.5	27.0	1 152.0	50.0	502.5	23.0
河南	1 665.0	732.0	44.0	766.5	46.0	166.5	10.0
宁夏	1 312.5	447.0	34.0	498.0	38.0	357.5	28.0
安徽	1 176.0	256.5	22.0	768.0	65.0	156.0	13.0
湖南	471.0	189.0	40.0	255.0	54.0	27.0	6.0
贵州	405.0	120.0	31.0	240.0	59.0	45.0	10.0
广西	315.0	154.5	49.0	132.0	42.0	28.5	9.0
平均			35.5		51.5		13.1

21 世纪以来,一些经济学家采用不同的方法对化肥对粮食增产的贡献。马晓河(2008)通过分析科技进步、农业机械总动力、粮食播种面积和化肥施用量等不同因素对粮食增产的贡献率得出,1999 年至 2004 年间施用化肥对粮食产量的贡献率只有 8.3%。马骥等(2006)通过分析播种面积、生产用工、化肥施用和成灾面积等因素与粮食产量的关系,认为 1999 年至 2003 年间化肥施用对粮食产量的贡献只有 10.3%。这些经济学方法一般是借鉴统计数据、而且将各种因素做了归一化处理(例如统一使用金额),通过多元回归模型计算化肥的边际增产率,然后再根据历史阶段中粮食总产和化肥用量的变化,进一步计算化肥对粮食增产的贡献。这种方法只能反映化肥与其他投入品之间的相对贡献,当研究的投入品不同时,化肥的相对贡献也会发生变化,因此与农学专家计算的绝对贡献差异较大。为此,中国农业大学张卫峰等(未发表资料)根据 2005—2008 年测土配方施肥项目在全国的试验数据,计算得出新世纪化肥对粮食总产的贡献率

(表 1-3)。结果显示,现在化肥对小麦总产的贡献为 30.5%,对玉米的贡献为 25.3%,对水稻的贡献为 18.7%。相对于 20 世纪,21 世纪以来的 10 年化肥对粮食增产的贡献还是下降了。而且新世纪出现典型的特征,氮钾肥对粮食增产的贡献较大,而磷肥的贡献较小。目前,我国的实际粮食产量只有理论产量的 50%(小麦、玉米、水稻不同),未来我国粮食增产的潜力还很大,但是仅仅依靠增加化肥用量来提高粮食产量的作用不会太显著,未来需要应用更多的集成技术来提高粮食产量。

表 1-3 2000—2008 年间化肥施用对粮食增产的贡献率

作物	年份	单产 /(kg/ hm ²)	化肥使用率 /(kg/ hm ²)			农学效率/(kg/kg)			2000—2008 年间化肥对 粮食增产的贡献率/%		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	AE _N	AE _P	AE _K	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
小麦	2000	4 801	183	92	34	8	7.3	5.3			
	2008	5 966	215	88	49	9	8	6.6	24.7	-2.7	8.5
玉米	2000	5 765	192	56	19	9.8	7.5	5.7			
	2008	7 673	209	65	42	10	10	9.7	8.9	4.7	11.7
水稻	2000	6 848	191	61	72	10.4	9	6.3			
	2008	7 245	195	59	78	12	10	7.7	12.1	-5.0	11.6

1.1.3 肥料对改善人体营养的作用

施用肥料不仅增加了作物产量,而且是丰富餐桌食谱、补充人体所需营养的重要途径。例如,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。根据世界粮农组织的数据统计(FAO,2012),2007 年我国人均肉、蛋、奶的消费量分别达到了 27.4、18.3 和 109.5 kg,与 1961 年相比分别增加了 6、8 和 41 倍。中国农业大学张卫峰等(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,计算了化学氮肥对中国蛋白质供应的贡献。结果表明(图 1-2),按照人口总量计算,1961 年至 2007 年,中国蛋白消费总量从 1 002 万 t 增长到了 4 386 万 t,扣除增加的进口食物中提供的 977 万 t 和海产品提供的 103 万 t,有 3 306 万 t 由陆地生态系统提供。陆地生态系统中,草原生态系统生物固氮增加了 372 万 t N(蛋白质含氮量 16%),天然放牧系统氮素转化率约为 10%,其中转化为人类可食的动物蛋白约为 232 万 t。农田生态系统中生物固氮增加了 241 万 t N,其中 30%为可食用的植物氮,另外 70%作为饲料氮,饲料氮素转化率为 30%,由此分析转化为人类可食的蛋白为 768.2 万 t(Ma et al., 2010)。综合分析,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。

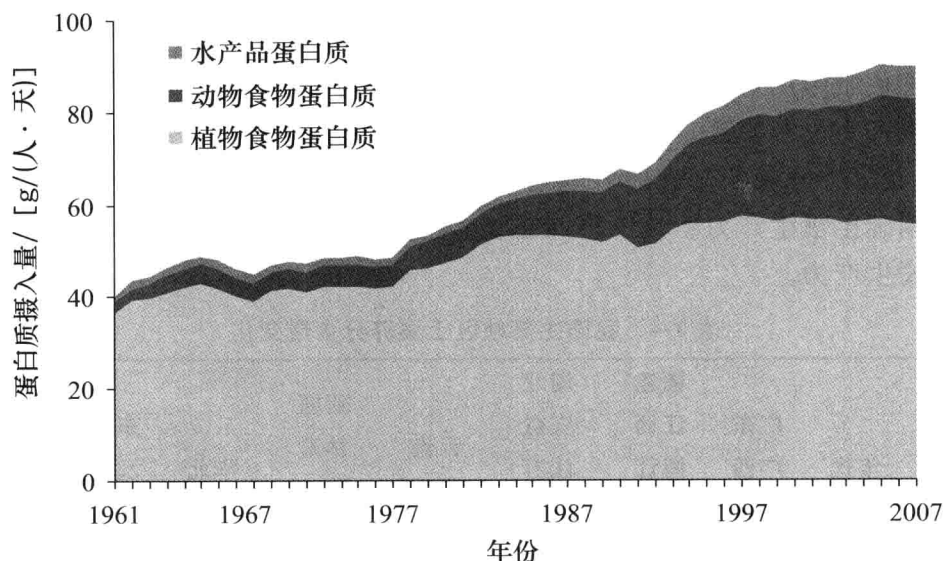


图 1-2 1961—2007 年中国人均蛋白质摄入量的变化(数据来源:FAO)

1.1.4 施肥改变土壤肥力

土壤肥力是指土壤能经常适时供给并协调植物生长所需的水分、养分、空气、温度、支撑条件和无毒害物质的能力(吕贻忠等,2006)。土壤肥力是土壤理化性质的综合反映,是影响作物产量的关键因素,也是农业可持续发展的基础。施用肥料在培肥土壤、调节土壤酸碱性,改善土壤结构和理化性质的过程中发挥重要的作用。但由于肥料用量的不同,土壤基本属性不同,肥料对各个国家土壤的影响也不同。中国大量田间试验证明,近20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),而有30%~31%的农田呈下降趋势(主要在东北和西南地区),有4%~6%基本持平。进一步分析结果指出,中国大陆农田表土有机碳贮量总体增加了311.3~401.4 Tg。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。

根据2005—2010年全国测土配方施肥数据,20世纪90年代的文献数据,以及20世纪80年代的二次土壤普查数据,我们进一步分析了土壤全氮、碱解氮、有效磷、速效钾等指标。结果发现,在土壤氮素方面,全国土壤全氮含量变化不

大,而土壤碱解氮含量在各亚区均呈现大幅上升的趋势(表 1-4);与土壤碱解氮相类似,全国土壤有效磷含量 30 年来也呈大幅上升的趋势,其中两广及海南地区和宁夏、青海地区土壤有效磷含量上升幅度最大;土壤钾素方面,多数地区在 20 世纪 80 至 90 年代土壤有效钾含量下降,而在 90 年代至新世纪初回升,这可能与秸秆还田面积扩大和钾肥大量施用有关。

随着化肥施用对农田土壤养分含量的提升,与 20 世纪 80 年代相比,我国农田土壤生产力大幅提高,中国农业大学张福锁团队总结已经发表的科学实验结果发现,我国不施肥的基础地力增幅分别为小麦 43%,玉米 22%,水稻 36%。说明农田基础土壤生产力不是下降而是显著上升。也说明合理利用农田土壤可以持续提高生产力。

表 1-4 我国主要地区土壤养分含量变化

土壤 养分	年代	广东	福建	湖北	云南 贵州	新疆	华北	东三省	青海 宁夏
		广西 海南	江西 浙江 湖南 上海	安徽 江苏 四川 重庆		甘肃 陕西 山西		及内蒙 古	
有机质 /(g/kg)	1980s	24.2	27.8	22.2	34.4	16.5	14.1	37.5	14.4
	1990s	27.2	30.5	23.2	34.6	15.9	15.4	32.8	19.0
	2000s	31.9	30.2	23.0	34.5	16.0	15.9	33.4	20.4
全氮 /(g/kg)	1980s	1.2	1.7	1.3	2.1	0.9	0.6	1.9	1.1
	1990s	1.4	1.7	1.4	1.7	0.9	0.9	1.4	1.0
	2000s	1.7	1.6	1.4	2.0	1.2	1.0	1.7	1.1
碱解氮 /(mg/kg)	1980s	99.3	117.9	109.9	124.6	61.4	57.4	104.3	58.0
	1990s	108.3	139.1	99.0	107.6	46.2	66.3	124.8	95.5
	2000s	137.0	164.5	124.6	158.1	93.7	92.6	165.7	108.6
有效磷 /(mg/kg)	1980s	5.4	13.1	6.1	7.8	8.2	6.1	12.0	7.2
	1990s	20.7	13.5	9.4	13.9	14.8	14.2	18.3	19.0
	2000s	29.1	24.3	14.7	23.8	15.1	27.1	25.2	36.1
速效钾 /(mg/kg)	1980s	63.0	76.3	98.2	136.5	157.4	128.8	170.0	189.8
	1990s	64.0	74.0	87.3	88.9	150.0	111.4	145.9	198.6
	2000s	84.0	96.9	95.2	158.8	178.8	120.6	155.7	202.3