

作物营养与施肥

雷恩春 主 编
肖彦春 李文一 副主编



化学工业出版社

作物营养与施肥

雷恩春 主 编
肖彦春 李文一 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

作物营养与施肥/雷恩春主编. —北京: 化学工业出版社, 2014.10

ISBN 978-7-122-21441-6

I. ①作… II. ①雷… III. ①作物-植物营养②作物-施肥 IV. ①S147.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 168150 号

责任编辑: 彭爱铭
责任校对: 吴 静

装帧设计: 刘剑宁

出版发行: 化学工业出版社
(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 三河市延风印装厂
850mm×1168mm 1/32 印张 11 字数 326 千字
2014 年 10 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686)
售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 39.00 元

版权所有 违者必究

前 言

我国是一个有着几千年历史的农业大国，肥料作为一种基本生产资料，在农业生产中起着至关重要的作用，在我国人多地少的现实背景下，肥料安全是粮食安全的重要保障，已经上升至国家战略的高度。

建国初期，我国有机肥料的使用占据主导地位，直至 20 世纪 70 年代，肥料使用上仍是遵循“以有机肥为主，化肥为辅”的原则，到 2000 年，化肥在养分投入中所占的比重由建国初期的 0.1% 上升到 69.7%，施用量已超过有机肥。

20 世纪 70 年代开始，我国化肥行业进入了较快发展时期。1980 年我国化肥产量为 1231.32 万吨，1999 年化肥产量达到 3206.31 万吨。进入 21 世纪后，由于化肥装置大量兴建，我国化肥产量进入快速发展时期，2000 年我国化肥产量为 3207.17 万吨，2004 年突破 4000 万吨，2006 年突破 5000 万吨，2009 年突破 6000 万吨，2013 年突破 7000 万吨，产量连上几个台阶。2000 年至 2013 年年平均增长率达 8.79%。2014 年 1 至 4 月累计生产化肥 2206.39 万吨，同比下降 1.19%，这是 20 世纪 70 年代以来我国化肥产量的首次下滑。

中国是化肥生产和消费大国，化肥的总产量和消费量均占世界 1/3 以上。过量施用化肥已经成为中国农业的魔咒，国际公认的化肥施用安全上限是 $225\text{kg}/\text{hm}^2$ ，但目前我国农用化肥单位面积平均施用量达到 $434.3\text{kg}/\text{hm}^2$ ，是安全上限的 1.93 倍。

目前，我国在肥料使用上存在很多问题，主要体现在以下 4 个方面。

一是我国化肥的利用率不高。当季氮肥利用率仅为 35%，比发达国家要低 10%~15%，而磷肥的利用率更是仅为 10%~25%。肥料利用率偏低一直是中国农业施肥中存在的问题，不仅造成严重的资源浪费，而且还导致农田及环境污染，因此，提高肥料的利用率对农业的可持续发展和环境保护等均具有重要意义。

二是施肥技术落后。从肥料施用量上看，农民仍然以经验为主，

不考虑土壤的实际情况和植物的营养特点，盲目增加肥料的使用量，造成资源浪费甚至污染环境，同时降低农产品品质，市场竞争力低下，虽然可维持一定的产量，但经济效益低。施肥方法亦不科学，大多以表面撒施为主，致使植物不易吸收，养分大量损失，这也是肥料利用率低的一个重要原因。

三是肥料在质量上存在问题，近年来，假劣化肥坑农害农案件屡有发生，严重干扰农业生产秩序。主要存在四个方面问题：①偷减养分，含量不足。②假冒品牌。通过假冒名优企业厂名、厂址等方式，蒙骗农民。③虚假标注。一些不法企业钻法律和标准空子，在产品标识上误导农民。④无证生产。一些化肥生产小企业和窝点，生产设备简陋，场所隐蔽，不具备相应的化肥生产条件和质量控制能力。

四是农化服务水平尚有待提高。

目前我国农化服务平台已逐步完善起来，但距直接服务于农民、服务于田间尚有一段距离，农民还缺乏科学种植、科学施肥、用养结合的意识，测土配方施肥体系在农村还没有真正建立起来，需要农化工作者加大农化服务力度，引导农民科学种田。

基于我国肥料行业的现状及存在的上述问题，编撰简明易懂的作物营养与施肥科普图书，从土壤营养、植物营养、肥料使用三个方面阐述科学、合理施肥的问题及假冒伪劣化肥简易识别的问题，供农业工作者参考。

本书由雷恩春担任主编，肖彦春、李文一担任副主编，其中第一～第三章由李文一（辽宁农业职业技术学院）、郑虎哲（江苏食品职业技术学院）编写，第四章由雷恩春、刘启（辽宁农业职业技术学院）编写，第五章由翟立普（辽宁农业职业技术学院）编写，第六章由肖彦春（辽宁农业职业技术学院）、蒋晖（大连市农产品质量监督中心）编写，第七章由雷恩春（辽宁农业职业技术学院）、陈利（辽宁省朝阳市土肥站）编写。

由于编写组水平有限，书中难免出现不妥之处，敬请同行批评指正。

编者

2014年6月

目 录

第一章 土壤营养	1
第一节 土壤肥力	1
一、作物生长的影响因素	1
二、土壤肥力与土壤生产力	4
三、土壤肥力的影响因素	4
四、中、低产田改良与保护	5
第二节 土壤氮素营养	10
一、土壤中氮的含量	10
二、土壤中氮的形态	11
三、土壤中氮的转化	11
第三节 土壤磷素营养	13
一、土壤中磷的含量	13
二、土壤中磷的形态	13
三、土壤中磷的转化	14
第四节 土壤钾素营养	15
一、土壤中钾的含量	15
二、土壤中钾的形态	16
三、土壤中钾的转化	17
第五节 土壤微量元素营养	17
一、土壤中的硼	17
二、土壤中的锰	20
三、土壤中的钼	20
四、土壤中的锌	22
五、土壤中的铜	23
六、土壤中的铁	24
第二章 作物营养	26
第一节 作物生长发育的必需营养元素	26
一、必需营养元素种类	26

二、必需营养元素的功能	27
三、作物根系对养分的吸收	29
四、作物叶片对养分的吸收	32
第二节 影响作物吸收养分的条件	34
一、营养元素间的相互关系	34
二、影响根系吸收养分的环境条件	35
三、影响叶部营养的条件	36
第三节 作物营养的阶段性的	37
一、作物营养连续性和作物营养阶段性	37
二、作物营养临界期	38
三、作物营养最大效率期	39
第四节 作物施肥	39
一、施肥原理	39
二、基肥	42
三、追肥	43
四、种肥	43
五、根外追肥	44
第三章 肥料使用	45
第一节 氮肥	45
一、氮肥的种类、性质	45
二、氮肥利用率	46
三、氮肥的使用	46
第二节 磷肥	47
一、磷肥的种类、性质	47
二、磷肥利用率	48
三、磷肥的使用	48
第三节 钾肥	52
一、钾肥的种类、性质	52
二、钾肥利用率	52
三、钾肥的使用	53
第四节 微量元素肥料	55
一、微量元素肥料的种类、性质	55
二、微量元素肥料的使用	58

第五节 复（掺）混肥料	62
一、复（掺）混肥料的概念	62
二、复（掺）混肥料的发展趋势	63
三、复（掺）混肥料标准	64
四、复（掺）混肥料的使用	66
第六节 有机肥料	68
一、有机肥料的作用和特点	68
二、粪尿肥的使用	69
三、堆肥的使用	75
四、沤肥的使用	77
五、绿肥的使用	78
六、沼气发酵技术的应用及沼气发酵肥的使用	79
第七节 测土配方施肥技术	81
一、测土配方施肥的含义	81
二、养分平衡法测土配方施肥	82
三、肥料效应函数法配方施肥	86
第八节 伪劣化肥的识别	90
一、肥料快速标识识别法	90
二、化肥的简易识别法	95
三、常用化肥的快速系统识别方法	98
第四章 大田作物施肥技术	101
第一节 玉米	101
一、玉米的生长周期	101
二、玉米对环境条件的要求	103
三、玉米的需肥规律	105
四、玉米营养失调的形态诊断	108
五、玉米施肥技术	110
第二节 水稻	113
一、水稻的生长周期	114
二、水稻对环境条件的要求	116
三、水稻的需肥规律	119
四、水稻营养失调症的形态诊断	121
五、水稻施肥技术	123

第三节 小麦	130
一、小麦的生长周期.....	131
二、小麦对环境条件的要求.....	134
三、小麦的需肥规律.....	138
四、小麦营养失调的形态诊断.....	139
五、小麦施肥技术.....	141
第四节 高粱	147
一、高粱的生长周期.....	148
二、高粱对环境条件的要求.....	149
三、高粱的需肥规律.....	150
四、高粱营养失调的形态诊断.....	151
五、高粱施肥技术.....	153
第五节 甘薯	155
一、甘薯的生长周期.....	156
二、甘薯对环境条件的要求.....	158
三、甘薯的需肥规律.....	160
四、甘薯营养失调症的形态诊断.....	160
五、甘薯施肥技术.....	161
第五章 果树施肥技术	166
第一节 苹果	166
一、苹果的生命周期和年生长周期.....	166
二、苹果对环境条件的要求.....	168
三、苹果的营养特点.....	169
四、苹果营养失调症的形态诊断.....	171
五、苹果施肥技术.....	173
第二节 梨	176
一、梨树的生命周期和年生长周期.....	176
二、梨树对环境条件的要求.....	177
三、梨树的营养特点.....	178
四、梨树营养失调症的形态诊断.....	179
五、梨树的施肥技术.....	181
第三节 葡萄	184
一、葡萄的生长周期.....	184

二、葡萄对环境条件的要求·····	186
三、葡萄的营养特点·····	187
四、葡萄营养失调症的形态诊断·····	188
五、葡萄的施肥技术·····	190
第四节 桃 ·····	194
一、桃树的生命周期和年生长周期·····	194
二、桃对环境条件的要求·····	195
三、桃的营养特点·····	195
四、桃营养失调症的形态诊断·····	196
五、桃树的施肥技术·····	198
第五节 樱桃 ·····	200
一、樱桃的年生长周期及其特点·····	200
二、樱桃对环境条件的要求·····	201
三、樱桃的营养特点·····	203
四、樱桃营养失调症的形态诊断·····	203
五、樱桃的施肥技术·····	205
第六节 柑橘 ·····	206
一、柑橘的生长周期·····	206
二、柑橘对环境条件的要求·····	207
三、柑橘的营养特点·····	208
四、柑橘营养失调症的形态诊断·····	210
五、柑橘的施肥技术·····	212
第七节 香蕉 ·····	214
一、香蕉的生长周期·····	214
二、香蕉对环境条件的要求·····	215
三、香蕉的营养特点·····	216
四、香蕉营养失调症的形态诊断·····	217
五、香蕉的施肥技术·····	218
第六章 蔬菜施肥技术 ·····	224
第一节 大白菜 ·····	224
一、大白菜的生长发育过程·····	224
二、大白菜对环境条件的要求·····	226
三、大白菜的需肥规律·····	229

四、大白菜营养失调症的诊断·····	231
五、大白菜的施肥技术·····	232
第二节 茄子 ·····	234
一、茄子的生长发育过程·····	235
二、茄子对环境条件的要求·····	236
三、茄子的需肥规律·····	237
四、茄子营养失调症的诊断·····	239
五、茄子的施肥技术·····	240
六、保护地茄子的施肥技术·····	241
第三节 芹菜 ·····	244
一、芹菜的生长发育过程·····	244
二、芹菜对环境条件的要求·····	245
三、芹菜的需肥规律·····	247
四、芹菜营养失调症诊断·····	248
五、芹菜的施肥技术·····	249
第四节 黄瓜 ·····	250
一、黄瓜的生长发育过程·····	250
二、黄瓜对环境条件的要求·····	252
三、黄瓜的需肥规律·····	254
四、黄瓜营养失调症诊断·····	256
五、黄瓜的施肥技术·····	257
第五节 菜豆 ·····	259
一、菜豆的生长发育过程·····	259
二、菜豆对环境条件的要求·····	260
三、菜豆的需肥规律·····	261
四、菜豆根系特点与施用氮肥的关系·····	262
五、菜豆营养失调症的诊断·····	262
六、菜豆的施肥技术·····	264
第六节 马铃薯 ·····	265
一、马铃薯生长发育过程·····	265
二、马铃薯对环境条件的要求·····	267
三、马铃薯的需肥规律·····	270
四、马铃薯营养失调症的诊断·····	271

五、马铃薯的施肥技术·····	275
第七章 经济作物施肥技术 ·····	277
第一节 大豆 ·····	277
一、大豆的生长周期·····	277
二、大豆对环境条件的要求·····	279
三、大豆的需肥规律·····	281
四、大豆营养失调症的形态诊断·····	283
五、大豆施肥技术·····	285
第二节 棉花 ·····	287
一、棉花的生长周期·····	287
二、棉花对环境条件的要求·····	288
三、棉花的需肥规律·····	292
四、棉花营养失调症的形态诊断·····	293
五、棉花施肥技术·····	295
第三节 油菜 ·····	299
一、油菜的生长周期·····	300
二、油菜对环境条件的要求·····	300
三、油菜的需肥规律·····	303
四、油菜营养失调症的形态诊断·····	306
五、油菜施肥技术·····	308
第四节 烟草 ·····	312
一、烟草的生长周期·····	313
二、烟草对环境条件的要求·····	315
三、烟草的需肥规律·····	320
四、烟草营养失调症的形态诊断·····	322
五、烟草施肥技术·····	324
参考文献 ·····	334

第一章 土壤营养

第一节 土壤肥力

一、作物生长的影响因素

一种作物从发芽到结果要经过固有的过程，受很多外界因素影响。概括起来有三个：遗传因素、环境因素、栽培技术。这中间，有内因（如遗传因素），也有外因（如环境因素）。内因改变作物遗传的特性，外因控制作物生态因素。

（一）遗传因素

作物遗传育种主要研究作物性状遗传变异规律，改良种性，创造作物新品种。在农业生产中，种是根本，农作物新品种，是发展“两高一优”农业的前提条件和必要条件。

育种包括杂交育种、单倍体育种、多倍体育种、诱变育种、基因工程育种和细胞工程育种。

1. 杂交育种

利用基因重组原理，不同个体间杂交产生后代，然后连续自交，筛选出所需要的纯合体类型，使位于不同个体的优良性状集中在同一个体上。

2. 单倍体育种

利用染色体变异原理，先花药离体培养出单倍体，后人工诱导多倍体，自交后代不发生性状分离，能明显缩短育种年限。

3. 多倍体育种

利用染色体变异原理，秋水仙素处理萌发的种子或幼苗，多倍体植物器官大，产量高，营养丰富。

4. 诱变育种

利用基因突变原理，应用物理方法（激光或辐射等）、化学方法（化学药剂处理），可提高变异频率，大幅度改良某些性状。

5. 基因工程育种

利用基因重组原理，应用基因操作方法，按人们意愿定向改造生物。

6. 细胞工程育种

利用植物细胞的全能性原理，去细胞壁——诱导融合——组织培养，克服远缘杂交不亲和性，培育出作物新品种。

(二) 环境因素

影响作物生长的环境因素包括光照、温度、水分、肥料和土壤等几方面的因素。

1. 作物与光照

光照强度对植物生长及形态结构有重要作用。光对植物的生长有直接影响和间接影响。直接影响指光对植物形态生成的作用，就植物生长过程本身而言，它并不需要光，只要有足够的营养物质，植物在暗处也能生长。但是，在暗处生长的植物，形态是不正常的，如在无光下生长出来的植物是黄化苗。间接影响主要指光合作用，光合作用固定空气中的二氧化碳合成有机物质，这是植物生长的物质基础。植物叶片每固定 1mol (摩尔) 的 CO_2 ，大约需要 468.6kJ (千焦) 的光能，因此光是通过影响光合作用的进行来影响植物的生长。正因为光照强度对植物的生长作用如此巨大，因此如果能够控制光照强度与时间，就能控制作物的生长，使作物得到我们所期望的收成。

2. 作物与温度

温度对生长的影响是建立在植物各种代谢过程共同作用的基础上的，代谢过程受影响时，作物生长也势必受影响。在作物代谢中所包括的各种反应里，除光化学反应外，其余所有的生物物理和生物化学反应都受到温度的影响，温度通过对代谢过程中各种反应的作用影响作物生长速度。

3. 作物与水分

水分是制造有机物质的原料；水分的多少影响作物的光合作用，影响作物内营养物质的吸收和转运，支持和保持作物细胞组织的紧张度，使植物植株茎叶挺直；水分是作物体本身最大组成部分，通过植物的蒸腾作用，用以调节植株体温和整个生理过程；水分还影响作物的开花、授粉、受精及病虫害的发生与发展。就是说，水分对作物的

生长影响是一个绝不可忽视的问题。

4. 作物与肥料

土壤肥力经常处于动态变化之中，土壤肥力变好变坏既受自然气候等条件影响，也受栽培作物、耕作管理、灌溉施肥等农业技术措施以及社会经济制度和科学技术水平的制约。农业生产上，能为植物或农作物即时利用的自然肥力和人工肥力叫“有效肥力”，不能即时利用的叫“潜在肥力”。潜在肥力在一定条件下可转化为有效肥力。

环境因素对作物的生长具有非常重要的作用。对于光照，要延长光合时间：如提高复种指数（即增加作物的收获面积，如间作、套种、立体种植等），延长生育期（如要求前期早生快发、后期叶片不早衰），补充人工光照等。增加光合面积：如合理密植、改变株型等。增强光合效：如增加二氧化碳浓度（通风透光、增施有机肥、深施碳酸氢铵肥料等），减低光呼吸等。

松土与镇压、垄作、地膜覆盖、秸秆覆盖、灌水都对土温和气温有影响。对于温度的影响可以通过松土与镇压来解决，这样既可以增温也可以降温；垄作在温暖季节可以提供土壤的表面温度，有利于种子的发芽与幼苗的生长；地膜覆盖具有协调土壤温度、保持水分、改善土壤物理性状、增加土壤养分、减轻土壤盐渍化的作用；秸秆覆盖可以有效平抑低温的变化、降低低温的日振幅、缓和昼夜温差的作用；灌水除直接影响温度的高低之外，还可以缓和温度的变化。提高水分利用率的途径主要是加强农田基本建设，通过工程节水灌溉；利用农艺措施提供产量，减少水分消耗，例如建立与区域水资源相一致的种植制度、选用抗旱作物品种、培肥地力、加强化学制剂保水节水、建立节水的灌溉制度和灌水方式等。对于肥料和土壤，应依照不同作物对土壤和作物施肥，切忌随意施肥松土。

（三）栽培技术

作物栽培技术有很多，比较重要的就是土壤耕作技术、施肥技术和病虫草害防治技术。土壤耕作技术的目的就是要创造良好的耕层结构和适度的孔隙比例；调节土壤水分存在状况；协调土壤肥力各因素间的矛盾；清除杂草和疏松表土；形成高产土壤。在作物生长发育所需要的其它生活条件都适宜时，合理施肥有明显的增产效果。根据不同的气候特点、土壤类型、生产条件及产量水平，按作物生长发育的

需肥特点，因地制宜地选择肥料品种，确定适宜的用量和配合比例，并采用科学的施肥方法，是充分发挥肥效，提高肥料利用率，实现农作物高产、稳产、优质、高效的重要途径。

作物病虫害与农田杂草对农业生产有严重的危害性。我国作物病虫害和杂草有 1400 多种，其中病害 500 多种，害虫 700 余种，杂草 200 余种。病虫害每年都给农业生产造成巨大损失，防治作物病虫害是保证农业增产的一项重要技术措施。

二、土壤肥力与土壤生产力

土壤生产力是土壤生产作物的能力，是由土壤本身的肥力属性和发挥肥力作用的外界条件决定的，包括自然肥力、人工肥力和二者相结合形成的经济肥力。自然肥力是由土壤母质、气候、生物、地形等自然因素的作用下形成的土壤肥力，是土壤的物理、化学和生物特征的综合表现。它的形成和发展，取决于各种自然因素质量、数量及其组合适当与否。自然肥力是自然再生产过程的产物，是土地生产力的基础。人工肥力是指通过人类生产活动，如耕作、施肥、灌溉、土壤改良等人为因素作用下形成的土壤肥力。土壤的自然肥力与人工肥力结合形成的经济肥力，才能用以为人类生产出充裕的农产品。经济肥力是自然肥力和人工肥力的统一，是在同一土壤上两种肥力相结合而形成的。仅仅具有自然肥力的土壤，不存在人类过去劳动的任何痕迹。而具有经济肥力的土壤，由于其中包括人工肥力，则凝结有人类的劳动。由于人工肥力是凭借人的生产活动形成的，人们就可以利用一切自然条件和社会条件促使人工肥力的形成，并加快潜在肥力转化，使土地尽快投入生产。

三、土壤肥力的影响因素

土壤肥力的影响因素主要有以下几种：第一，养分因素，指土壤中的养分贮量、强度因素和容量因素，主要取决于土壤矿物质及有机质的数量和组成。第二，物理因素，指土壤的质地、结构状况、孔隙度、水分和温度状况等。它们影响土壤的含氧量、氧化还原性和通气状况，从而影响土壤中养分的转化速率和存在状态、土壤水分的性质和运行规律以及植物根系的生长力和生理活动。第三，化学因素，指土壤的酸碱度、阳离子吸附及交换性能、土壤还原性物质、土壤含盐量，以及其它有毒物质的含量等。第四，生物因素，指土壤中的微生

物及其生理活性。

四、中、低产田改良与保护

中低产田的划分界限目前还没有统一的标准,不同地区有所不同。一般以当地大面积近三年平均每公顷产量为基准,低于平均值20%以下为低产田,处于平均值20%以内的为中产田,二者一起称为中低产田。我国现有耕地中,主要的中低产田土壤有北方干旱、半干旱地区的盐碱土和风沙土,南方热带、亚热带地区的红黄壤酸瘦土和低产水稻土,全国各地的低洼湿土、山区水土流失严重的低产田等,这些中低产田面积很大,妨碍着农业生产的迅速提高,急需加以改良利用。

(一) 中低产田的形成原因

中低产田的低产原因包括自然环境因素和人为因素两个方面。前者是指坡地冲蚀,土层浅薄,有机质和矿质养分少,土壤质地过黏或过砂,土体构型不良,易涝或易旱,土壤盐化,过酸或过碱等。后者指不合理的利用,导致土壤生产率较低,具体表现在以下几个方面。

1. 盲目开荒滥伐森林,造成水土流失,砂地扩大

地表生长的自然植被(如森林、草地)在改善气候,保护土壤方面起着极重要的作用。有些地方由于森林被破坏,造成水土流失。据统计我国每年因水土流失冲走的表土达 $5 \times 10^9 \text{ t}$ (50亿吨)以上,相当于全国的耕地每年损失1cm厚的表土。有些地方由于滥垦草原,使土壤遭受严重风蚀,砂化面积迅速增加。

2. 灌水方法落后,灌溉系统不完善

过去大多用大水漫灌的方法浇地,不仅使土壤板结,物理性质变差,而且导致有限的水资源浪费。农田水利设施不配套,使大量农田得不到灌溉。有的地方只有灌水系统,没有排水系统,长期不合理的灌水以及有灌无排,自然会使地下水位抬高,易引起土壤次生盐渍化、沼泽化和潜育化,同时使土壤空气不足,温度低,养分转化慢,影响作物生长。

3. 掠夺性经营,导致土壤肥力日益下降

由于单纯地追求产量,对耕地重用轻养,只用不养,有机肥施用量减少,化肥量逐渐增加,在多种指数增加的情况下,不注意种植绿肥和豆科作物,导致土壤有机质减少,土性发僵变硬,土壤肥力日益