

山东省现代农业产业技术体系 (SDAIT-05-18)

山东省农业重大应用技术创新项目

资助

土壤修复 与新型肥料应用

主编 范永强 张永涛

山东科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

土壤修复与新型肥料应用 / 范永强, 张永涛主编.
— 济南: 山东科学技术出版社, 2017.10
ISBN 978-7-5331-7992-2

I. ①土… II. ①范… ②张… III. ①土壤改良—
施肥 IV. ①S158

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 191533 号

土壤修复与新型肥料应用

范永强 张永涛 主编

主管单位: 山东出版传媒股份有限公司

出版者: 山东科学技术出版社

地址: 济南市玉函路16号

邮编: 250002 电话: (0531)82098088

网址: www.lkj.com.cn

电子邮件: sdkj@sdpress.com.cn

发 行 者: 山东科学技术出版社

地址: 济南市玉函路16号

邮编: 250002 电话: (0531)82098071

印 刷 者: 山东彩峰印刷股份有限公司

地址: 山东省潍坊市经济开发区吉庆街227号

邮编: 261031 电话: (0536)8311811

开本: 720 mm × 1020 mm 1/16

印张: 21

字数: 350 千

印数: 1 ~ 2500

版次: 2017 年 10 月第 1 版 2017 年 10 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5331-7992-2

定价: 120.00 元

主 编 范永强 张永涛

副主编 焦圣群 穆清泉 崔爱华 芮文利 刘仕强

编 者 (以姓氏笔画为序)

申 龙 刘 安 刘 林 李 杰

李馥霞 陈浩梦 岳寿松 贾忠金

曹德强 滕春华 颜莹洁

作者简介

范永强，高级农艺师，1985年7月毕业于青岛农业大学（原莱阳农学院），农学学士，同年被分配到山东临沂市农业科学院，先后在作物研究所、土壤肥料研究所（其间在费县刘庄镇人民政府工作一年）、成果应用研究所和蔬菜研究所等工作至今。近20年来，主持和参加科技部、山东省科技厅和临沂市科技局等科技攻关项目6项；获国家发明专利1项，获市科技进步一、二、三等奖6项。特别是主持的山东省科技厅科技攻关项目“桃树流胶病综合防治研究及其应用”，明确了桃树包括核果类果树流胶病的根本原因，被国内营养与桃树学科的专家评价为“居世界领先水平”。2013年主持科技部“环渤海粮仓项目”多功能性肥料研究，在滨海盐碱地改良示范区当年实现吨粮田的高产目标，找到了我国盐碱地绿色、快速改良修复的技术路线。主编农业专著8部，参编2部，发表学术论文18篇。在潜心农业应用研究的过程中，注重理论与实践紧密结合，积极对接国内外先进技术和产品，对我国作物土壤连作障碍修复与作物疑难杂症防治技术等进行了创新研究，探索出了不同土壤与栽培条件下粮食



作物(玉米、小麦、水稻)、块茎类作物(甘薯、马铃薯、山药)、块根类作物(萝卜、胡萝卜)、经济作物(大豆、花生、棉花、油菜)、茄果类作物(番茄、茄子、辣椒)、瓜类作物(黄瓜、西瓜、甜瓜、苦瓜、丝瓜、西葫芦)、豆类作物(芸豆、豆角)、辛辣类作物(大葱、洋葱、大蒜、生姜、韭菜)、叶菜类作物(大白菜、甘蓝、芹菜、莴笋)、果树类(苹果、桃、大樱桃、梨、葡萄)和花卉苗木等土壤障碍修复施肥技术方案,并在相应地区进行了广泛的推广应用,受到同行专家的一致好评和广大农民的普遍欢迎。受邀(聘)多项社会兼职:德国阿兹肯中国投资有限公司(农业)专家顾问,瑞士先正达(中国)投资有限公司山东区技术顾问,济南润土农业科技有限公司技术顾问,农业部甲基溴取代项目招标专家组成员,中化化肥有限公司山东分公司总农艺师,诺贝丰(中国)化学有限公司总农艺师,宁夏祥美化工有限公司总农艺师,东营润益生物科技有限公司专家顾问。



张永涛，男，1968年生，推广研究员，主要从事蔬菜栽培及温室环境调控技术研究工作，现任临沂市农业科学院蔬菜研究所所长、山东省现代农业产业技术体系蔬菜创新团队临沂综合试验站站长、设施园艺教育部重点实验室鲁南试验站副站长、临沂市蔬菜质量安全控制重点实验室副主任、临沂市出口蔬菜产业技术创新战略联盟秘书长等。曾先后获得振兴沂蒙劳动奖章、三农科技服务金桥奖先进个人、临沂市农业系统先进工作者等荣誉。先后承担国家、省、市科研项目11项，获得市科技进步奖6项、省丰收计划奖3项，获得实用新型发明专利7项，参编著书3部，发表论文21篇。

前 言

我国是一个农业和人口大国，同时也是粮食生产与消费大国。我国政府历来十分重视粮食与食品生产问题，先是通过改革土地所有制关系，引导农民走互助合作道路，改善农业基础设施，解放生产力；再是提高农业物质装备水平和加快农业科技发展，为粮食生产的持续增长奠定了坚实的基础。1949年，我国粮食总产量只有1.132亿t，到1978年达3.048亿t，粮食总量增长了近3倍。改革开放以来，我国的农业生产进入一个快速发展时期，通过实行以家庭联产承包为主的责任制，以及采取较大幅度提高粮食收购价格等重大政策措施，极大地调动了广大农民的生产积极性，使过去在农业基础设施和科技投入等方面积累的能量得以集中释放。到2015年，我国粮食产量实现连续11年增长，总产突破6万多亿t，扭转了我国粮食长期严重短缺的局面。在继续发展粮食生产的同时，积极进行农业生产结构调整，发展多种经营和食物多样化生产，到2014年，我国猪牛羊肉、水产品、禽蛋、牛奶和水果产量分别达到8 540万t、6 450万t、2 894万t、3 725万t和26 142万t，极大地丰富了我国人民的物质生活。

但是，在我国农业生产由传统农业向现代农业发展的过程中，由于受农民文化程度和农业技术推广水平的制约，农业生产主要依赖大量施用化学肥料和农药，据不完全统计，2013年我国农业种植业化学肥料施用量为5 911.9万t，比2 000年增长42.3%，比2010年增长6.3%，达到了400 kg/hm²以上，远远超出发达国家225 kg/hm²的安全上限，已成为世界上施用化学肥料数量最大的国家；同时，我国也是世界第一农药消费大国，近年来我国农药的年使用量达120万t，单

位面积化学农药的平均用量比世界平均用量高2.5~5.0倍,目前我国农药的利用率不足30%,其中10%~20%附在植物体上,其余都散落到土壤和水中,对土壤、水源、空气及农副产品产生了极大危害,农药残留超标已成为我国食品安全面临的主要问题之一。

此外,我国地膜覆盖应用面积已突破600多万 hm^2 ,每年约有50万t地膜残留于土壤中,残膜率达40%。残留在土壤中的大部分地膜不易分解,不但破坏了土壤结构,降低了土壤肥力,造成地下水难以下渗,阻碍了作物根系生长发育和对水的吸收,而且残膜在分解过程中会析出铅、锡、酞酸酯类化合物等有毒物质,造成新的土壤环境污染。

我国80%的粮食产于灌溉农田,我国灌溉面积为 $5 \times 10^7 \text{hm}^2$,居世界首位;灌溉用水量为 $4 \times 10^{11} \text{m}^3$,占全国总用水量的61.4%,约占世界总用水量的17%。我国农业用水的效率也非常低,全国95%的灌溉土地使用传统的漫灌和沟灌,农业用水的利用效率仅为30%~40%(发达国家为80%~90%),水资源浪费极为严重。许多地区粗放的灌溉方法和落后的灌溉技术已不再适应现代农业持续发展的要求,部分地区过量用水造成生态环境恶化。

随着我国工业化的推进,工业污染也成为重大污染源。苯、酚、磷类有机污染及镉、砷、铅、铬、汞等重金属污染严重,在对空气和水体造成污染的同时,也成为土壤中长期存在的“毒瘤”。业内人士指出,重金属无论是污染水体,还是污染大气,最终都会回归土壤,造成土壤污染。据环境保护部和国土资源部联合发布的全国土壤污染状况调查公报显示,全国土壤环境状况总体不容乐观,部分地区土壤污染较重,耕地土壤环境质量堪忧,工矿业废弃地土壤环境问题突出。全国土壤总的点位超标率为16.1%,其中轻微、轻度、中度和重度污染点位比例分别为11.2%、2.3%、1.5%和1.1%。从土地利用类型看,耕地、林地、草地土壤点位超标率分别为19.4%、10.0%、10.4%。从污染类型看,以重金属为主的无机型为主,有机型次之,复合型污染比重较小,无机污染物超标点位占全部超标点位的82.8%。从污染物超标情况看,镉、汞、砷、铜、铅、铬、锌、镍等8种无机污染物点位超标率分别为7.0%、1.6%、2.7%、2.1%、1.5%、1.1%、0.9%、

4.8%，六六六、滴滴涕和多环芳烃3类有机污染物点位超标率分别为0.5%、1.9%、1.4%。

工农业生产的快速发展直接影响土壤生态系统的结构和功能，最终对土壤生态安全构成威胁。具体表现在以下几点：第一，耕作层变浅。我国农田长期机械耕作和人工作业的碾压，加之降雨和灌水沉实，大部分农田土壤耕层变浅，有效活土层在15 cm左右，“犁底层”上移并加厚，形成了坚硬、深厚的阻隔层，阻碍了土壤水分、养分和空气的上下运行与作物根系下扎延伸，土壤蓄水能力越来越小，抗旱性能不断下降。第二，土壤有机质含量降低。我国多数农田长期不施用农家肥，很少进行秸秆还田，土壤有机质长期得不到补充，再加上化学氮肥过量施用，加剧了土壤碳的耗竭，致土壤有机质含量严重不足。第三，土壤趋于酸化。土壤酸化主要是由于酸雨和过量使用化学氮肥与生理酸性肥料引起的。土壤酸化会引起土壤养分流失，土壤有害重金属活化，土壤有害微生物特别是寄生性真菌增加，加速土壤贫瘠化和土传病害的发生。第四，土壤次生盐渍化。由于长期过量使用化学肥料，土壤中的盐分不断积累，尤其是硝酸盐积累更甚，这些盐分聚集到地表，形成土壤表层次生盐渍化，轻则破坏土壤结构，影响种子发芽出苗，阻碍养分吸收，作物生长不良，重则造成生理干旱，营养吸收障碍，再甚者可导致盐害与死亡，永久失去农业利用价值。第五，土壤氮磷钾营养元素比例失调，中微量元素严重缺乏。在日常生产管理中，绝大多数农民不按照土壤条件和作物需肥特性施肥，往往只大量施氮磷肥，少量施用钾肥，长期不施中微量元素肥料，致钾素匮乏，土壤中微量元素耗竭，土壤中大量元素与中微量元素之间的营养比例严重失调。第六，土壤结构破坏、板结严重。土壤缺乏有机肥补充、不合理的耕作、不合理灌溉和化肥的大量施用，加剧了土壤团粒结构的破坏，致使土壤板结越来越严重，直接影响到土壤的自然活力和自我调节能力。第七，土壤侵蚀。土壤侵蚀主要表现有水蚀、风蚀和耕蚀，是因农民把山坡垦作农田，尤其是坡度大于15°的坡地，年复一年的耕作，造成垦殖过度，引起严重水土流失；其次是开垦后没有实施保护性耕作，如坡地改梯田后，进行水平沟耕作，随意挖地耕翻，即造成耕蚀，加剧了风蚀和水蚀。土壤如此长期流失，必然导致土壤过沙，保水保肥能

力降低。第八,设施农业包括老果园土壤综合障碍严重。设施栽培是在全年封闭或季节封闭环境下进行农业生产,老果园果树栽培基本按照一种模式长年固化管理,由于高度集约化、高复种指数、高肥料投入、高农药用量、过量灌水、过度耕作与践踏等高强度、高频率人为干扰,土壤长期处于高产负荷运转状态,土壤健康状况急剧恶化,一般种植2~3年后就出现了土壤营养失衡、土壤酸化、土壤次生盐化、土壤有害物质积累、土壤微生物种群多样性和功能退化等一系列土壤病害。

为了适应我国农业和农村经济结构战略性调整的需要,自2004年以来,中央连续发布以“三农”为主题的一号文件,特别是在2007年的中央一号文件中就明确指出,积极发展新型肥料、低毒高效农药、多功能农业机械和可降解农膜等新型农业投入品,优化肥料结构,加快发展适应不同土壤类型和不同作物特点的肥料,鼓励支持新型肥料的技术创新、开发和应用;2016年5月国务院又印发了《土壤污染防治行动计划》(简称“土十条”),强调“三农”问题的重要性,也为当前和今后一个时期全国土壤污染防治工作指明了方向和明确了奋斗目标。

鉴于此,我们应用目前国内外先进肥料与技术,结合我国的实际与自己的研究成果,编写了《土壤修复与新型肥料应用》一书。在编写过程中,力求体现我国土壤修复的安全性、科学性、系统性、先进性和实用性,创新组装了我国主要作物的土壤修复施肥技术与新型肥料应用方案。实践证明,该技术方案具有针对性强、安全可靠、修复和保护土壤生态环境效果明显、劳动强度小、成本低和功效高等优点。

由于时间紧迫,水平有限,经验不足,书中错误和疏漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正,以便再版时修正。

编者

2017年6月于山东

目 录

第一章 科学施肥的基本原理和依据	1
第一节 植物的养分需要	1
第二节 科学施肥的基本原理	30
第三节 科学施肥的依据	34
第二章 新型肥料概述	71
第一节 新型肥料的概念与类型	71
第二节 缓 / 控释肥料	74
第三节 有机肥料	77
第四节 微生物肥料与生物有机肥	81
第五节 多功能性肥料	105
第六节 水溶性肥料	131
第七节 新型肥料研究现状及存在问题	135
第八节 新型肥料的发展趋势	141
第三章 亚健康土壤修复性施肥技术	146
第一节 禾谷类作物	146
一、水稻	146
二、小麦	153
三、玉米	164

第二节 经济类作物	176
一、大豆	176
二、花生	180
三、棉花	185
四、油菜	189
第三节 块茎类作物	195
一、甘薯	195
二、马铃薯	198
三、山药	205
第四节 块根类蔬菜	209
一、萝卜	209
二、胡萝卜	214
第五节 芦笋	216
第六节 瓜类作物	220
一、黄瓜	220
二、西瓜	223
三、甜瓜	226
四、苦瓜	229
五、丝瓜	232
六、西葫芦	234
第七节 茄果类蔬菜	237
一、番茄	237
二、茄子	240
三、辣椒	244
第八节 叶菜类作物	248
一、大白菜	248
二、结球甘蓝	251

三、花椰菜	252
四、芹菜	254
五、莴苣	257
第九节 芸豆	260
第十节 辛辣类蔬菜	263
一、大葱	263
二、大蒜	266
三、洋葱	269
四、韭菜	271
五、生姜	273
第十一节 果茶类	279
一、苹果	279
二、桃	282
三、大樱桃	286
四、葡萄	289
五、梨	295
六、枣	300
七、茶树	302
八、草莓	305
第四章 病态土壤修复施肥技术	309
第一节 盐碱地土壤修复技术	309
第二节 酸化土壤修复施肥技术	314
第三节 南方镉大米土壤修复施肥技术	316
第四节 养殖污染土壤修复技术	316
第五节 设施栽培土壤综合障碍病修复技术	317
第六节 老果园土壤综合障碍病修复技术	318
参考文献	320

第一章

科学施肥的基本原理和依据

第一节 植物的养分需要

一、植物的营养成分

植物的组成极为复杂，一般新鲜植物含有75%~95%的水分和5%~25%的干物质。在干物质中组成植物有机体的主要元素为碳(C)、氢(H)、氧(O)、氮(N)，这4种元素占95%以上；另外还包括钙(Ca)、钾(K)、磷(P)、硫(S)、铁(Fe)、锰(Mn)、锌(Zn)、铜(Cu)、硼(B)、钼(Mo)、氯(Cl)、硅(Si)、铝(Al)、钠(Na)、钡(Ba)、锶(Sr)、钴(Co)、镍(Ni)、钒(V)等几十种元素。随着科学技术的进步和检测手段的改进，在植物体内还将发现更多的元素，然而这几十种元素在植物体内只占1%~5%，每一种元素在植物体内的含量，因作物种类和品种、土壤条件、气候因素及栽培管理技术等不同而异(表1)。

表 1 几种作物的主要元素含量 (占干物质 %)

元素	小麦			水稻			蚕豆			玉米(籽粒、茎秆、 叶、根平均)	马铃薯
	籽粒	茎秆	平均	茎叶	根	穗	籽粒	茎秆	平均		
C、H、O 合计	91.81	93.98	92.89	—	—	—	92.10	93.12	92.39	94.24	94.24
N	2.21	0.67	1.19	1.01	1.28	1.88	4.31	1.54	3.09	1.46	1.38
灰分	1.98	5.35	4.12	—	—	—	3.59	5.34	4.52	4.30	3.78
其中 P	0.41	0.11	0.22	0.29	0.28	0.80	0.62	0.14	0.35	0.20	0.28
K	0.50	0.61	0.57	0.64	0.05	0.15	1.25	1.91	1.61	0.92	1.90
Ca	0.05	0.22	0.16	0.41	0.14	0.04	0.13	1.01	0.61	0.23	0.06
Mg	0.15	0.08	0.10	0.12	0.07	0.13	0.15	0.18	0.17	0.18	0.11
S	0.17	0.19	0.18	0.29	0.34	0.32	0.27	0.27	0.27	0.17	0.08
Fe	—	—	—	0.27	0.77	0.08	—	—	—	0.08	—
Si	0.02	1.70	1.08	4.79	0.79	1.14	0.01	0.13	0.10	1.17	0.03
Cl	0.01	0.09	0.06	—	—	—	0.07	0.23	0.16	0.14	0.13
Mn	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.04	—
Na	0.03	0.06	0.05	—	—	—	0.02	0.07	0.05	—	0.08
其他	0.64	2.29	1.70	—	—	—	1.07	1.40	1.20	1.17	1.11

在以上的十几种元素中,有些元素是植物生长发育所必需的,尽管有些含量很低,但缺乏了这些元素,植物的正常生长发育进程就受到干扰和破坏,表现出病态,也就是常说的生理性病害。相反,有些元素可能是偶然被植物吸收的,甚至在体内有大量积累,但这些元素不一定是植物生长发育所必需的,缺乏这部分元素,植物的生长发育不表现病状。

确定植物生长发育必需元素的最常用方法为营养液培养法。在培养液系统中有意识地减去某一种或某些元素,如果植物生长发育正常,则说明被减去的这种或这些元素不是植物生长发育所必需的元素;相反,如果植物的生长发育受到干

扰和破坏,表现出异常现象,则说明被减去的这种或这些元素就是植物生长发育所必需的元素。必需元素必须具备三个条件:完成生活周期不可缺少;缺少时呈现专一的缺素症,唯有补充后才能得到恢复和预防;在营养上具有直接作用效果。到目前为止,已经确定了16种元素为植物必需营养元素(表2)。

表2 植物营养元素

营养元素	高等植物	藻类	真菌	细菌
碳(C)	+	+	+	+
氢(H)	+	+	+	+
氧(O)	+	+	+	+
氮(N)	+	+	+	+
磷(P)	+	+	+	+
钾(K)	+	+	+	+
钙(Ca)	+	+	±	±
硫(S)	+	+	+	+
氯(Cl)	+	+	-	±
铁(Fe)	+	+	+	+
镁(Mg)	+	+	+	+
硼(B)	+	±	-	-
锰(Mn)	+	+	+	+
锌(Zn)	+	+	+	+
铜(Cu)	+	+	+	+
钼(Mo)	+	+	+	±
钠(Na)	±	±	-	±
硒(Se)	±	-	-	-
硅(Si)	±	±	-	-
钴(Co)	-	±	-	±
碘(I)	-	±	-	-
矾(V)	-	±	-	-

注:(+)表示必需,(±)表示部分植物必需,(-)表示不必需。

表2中所列的钠、硅和钴是部分高等植物所必需的元素,如钠为盐生草(*Halogeton glomeratus*)和囊滨藜(*Atriplex vesicaria*)等植物所必需,硅是水稻生长发育所必需的元素,硒为黄芪类(*Astragalus spo*)植物所必需;另外,钴为豆科植物共生固氮时所必需,如供给铵态氮或硝态氮,则不需要钴元素。

在高等植物所必需的16种元素中,植物体内的含量差异极大。依据其在植物体内的含量可分为大量元素、中量元素和微量元素。大量元素的含量常占干物质的1.0%以上,即在10 000 mg/kg以上;中量元素的含量常占干物质的0.1%以上,即在1 000 mg/kg以上;微量元素的含量常占干物质的0.01%以下(表3)。

表3 高等植物必需的营养元素及其适合的浓度

项目	营养元素	有效形态	在干物质中的含量	
			百分率(%)	mg/kg
大量元素	碳(C)	CO ₂	45	450 000
	氧(O)	O ₂ , H ₂ O	45	450 000
	氢(H)	H ₂ O	6	60 000
	氮(N)	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺	1.5	15 000
	钾(K)	K ⁺	1.0	10 000
中量元素	钙(Ca)	Ca ²⁺	0.5	5 000
	镁(Mg)	Mg ²⁺	0.2	2 000
	磷(P)	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻	0.2	2 000
	硫(S)	SO ₄ ²⁻	0.1	1 000
微量元素	氯(Cl)	Cl ⁻	0.01	100
	铁(Fe)	Fe ²⁺	0.01	100
	锰(Mn)	Mn ²⁺	0.005	50
	硼(B)	Bo ³⁻	0.002	20
	锌(Zn)	Zn ²⁺	0.002	20
	铜(Cu)	Cu ²⁺ , Cu ⁺	0.000 6	6
	钼(Mo)	MoO ₄ ²⁻	0.000 01	0.1