

○ 邹春琴 张福锁 主编

中国土壤-作物 中微量元素研究现状和展望

Progress and Perspective of
Micronutrients in
Soil-Crop Systems



中国农业大学出版社

ZHONGGUONONGYEDAXUE CHUBANSHE

中国土壤—作物 中微量元素研究现状和展望

邹春琴 张福锁 主编

中国农业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

中国土壤—作物中微量元素研究现状和展望/邹春琴,张福锁主编.
—北京:中国农业大学出版社,2009.10
ISBN 978-7-81117-871-5

I. 中… II. ①邹… ②张… III. ①土壤-微量元素营养-中国-文集 ②作物-微量元素营养-中国-文集 IV. S158.3-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 162199 号

书 名 中国土壤—作物中微量元素研究现状和展望
作 者 邹春琴 张福锁 主编

策划编辑 孙 勇

责任编辑 孙 勇

封面设计 郑 川

责任校对 王晓凤 陈 莹

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 010-62731190,2620

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 2009 年 10 月第 1 版 2009 年 10 月第 1 次印刷

规 格 787×1092 16 开本 14.5 印张 360 千字 彩插 3

定 价 35.00 元

图书如有质量问题本社发行部负责调换

前 言

中微量元素缺乏一直是我国农业生产中限制作物高产和优质的重要因子。20 世纪 80 年代,我国曾开展了大量的有关土壤中微量元素状况和施肥效应的研究工作,对中微量元素肥料的合理施用起到了重要的推动作用。

近 30 年来,我国农业生产发生了显著的变化。一方面,随着氮磷钾肥料的大量施用和作物产量水平的提高,特别是种植业结构调整带来的果树、蔬菜等经济作物的快速发展,作物微量元素营养失调的现象日益加重,已经成为农作物产量和品质进一步提高的限制因子;另一方面,微量元素与人体健康的关系近年越来越得到了广泛的关注,如何通过施肥等措施提高作物籽粒中铁锌等微量元素含量和生物有效性,以满足人类对自身健康越来越高的需求,已成为中微量元素营养研究的热点。

2008 年 11 月 19—22 日,由中国农业大学资源与环境学院、北京新禾丰农化资料有限公司和国际锌协会共同主办的“首届中微量元素营养全国协作网学术交流大会”及“Zinc and Crop Nutrition Seminar”在北京举行。本次会议是我国农业领域近 20 年来首次就农业生产中的中微量元素问题进行全国范围的研讨,来自德国、土耳其、丹麦和国际锌协会的国外知名学者、全国农业高等院校、科研单位、技术推广部门和农资生产与销售企业的各方代表等共 426 人参加了本次会议。

本书收录了本次会议的 32 篇论文,这些论文集中反映了近年来我国在中微量元素土壤养分与作物施肥效应、中微量元素肥料施肥技术、新型肥料研发、肥料市场与企业农化服务、微量元素与人体健康等方面取得的进展。本书的出版得到了北京新禾丰农化资料有限公司的资助。

本次研讨会成功召开也充分表明,我国农业生产和人类健康对中微量元素的需求越来越大,但现有的研究还很不系统,由于缺乏协调,低水平重复较多,同时研究与生产应用的脱节影响这一重要工作的深化,很少得到经费支持。为此,会议决定由中国农业大学、北京新禾丰农化资料有限公司等牵头组织中微量元素营养全国协作网,并定期召开“中微量元素营养全国协作网学术交流大会”,旨在通过全国性的协作,推动我国的中微量元素营养研究与技术应用工作。

编 者
2009 年 6 月

目 录

粮食生产中的中微量元素

中国农业生产中的微量元素	邹春琴	张福锁(1)
冬小麦钼营养与钼肥施用技术研究进展	孙学成	胡承孝(11)
水旱轮作体系中的锰及其管理 ... 吕世华 刘学军 范明生 王甲辰 曾祥忠	张福锁(18)	
增施硫肥对中筋小麦产量和品质同步提高的调控研究	谢迎新 祝小捷 朱云集	郭天财(29)
硒在提高大豆、水稻抗逆性中的作用	刘元英 彭显龙 罗盛国	孙 磊(38)
氮素形态对旱稻铁营养状况的影响	郝红梅	邹春琴(44)
旱稻生产中的微量元素营养问题	邹春琴 范晓云 郝红梅	张福锁(50)

经济作物生产中的中微量元素

施用硼肥对赣南纽荷尔脐橙效应的研究	姜存仓 刘桂东 夏 颖 王运华 彭抒昂 钟八连	曾庆奎(56)
华南地区热带亚热带果树中微量元素营养现状	张承林	涂攀峰(62)
我国果树中微量元素吸收利用研究进展 ... 闫志刚 王衍安 姜远茂 张福锁	束怀瑞(67)	
蚯蚓对铁的富集转移及对苹果根铁营养影响研究	崔美香 薛进军 赵志军 刘贵巧	刘子英(79)
棉花微量元素营养与微肥使用技术研究概述	胡承孝(84)	
油菜硼钼锌营养与微肥施用效果研究	徐芳森 鲁剑巍	石 磊(95)
长江流域冲积土油菜施用硫肥的效应	李录久 张福锁 孙礼胜 巨晓棠 张祥明	孙义祥(103)
湖北省土壤有效硼状况及施用硼肥对油菜、棉花、花生生长和产量的影响	马朝红 胡时友 杨 利	(110)
锌对紫花苜蓿草产量和矿质营养的影响	胡华锋 郭 孝 介晓磊 李 明 马 闯 鲁剑巍	李建平(119)

土壤中微量元素状况

西北地区土壤中微量元素	薛 佳	王朝辉(124)
河北省土壤微量元素缺乏状况与微量元素肥料施用效果	张国印 孙世友	茹淑华(133)
海南农田土壤中微量元素养分现状与微肥施用	唐树梅 吴琼泽 魏志远	漆智平(141)
邓州市耕地有效态硫丰缺状况分析、产生原因及应变对策	张有成	李玉兰(148)
东丰县土壤微量元素状况分析	顾金霞 仇长礼 刘 辉	王志江(152)

微量元素营养与人体健康

黄土区土壤锌肥力状况及施锌对提高小麦籽粒锌含量的效果

..... 田霄鸿 陆欣春 曹玉贤 买文选 陈自惠 李 峰
杨习文 周 密 伊 田 宋月霞(156)

新型叶面铁肥对稻米铁营养的生物强化效果探讨..... 张 进 吴良欢(165)

“土壤—植物—人类”系统中的锌与富锌农产品的开发

..... 宁运旺 张永春 汪吉东 许仙菊 胡永红(172)

植物体内微量元素运输和再转移研究进展..... 石荣丽 邹春琴 张福锁(179)

籽粒锌累积规律及其影响因素..... 薛艳芳 邹春琴(188)

中微量元素肥料产业发展

中微量元素肥料特征与产业发展趋势..... 曹一平 肖 艳(196)

我国微量元素肥料应用现状与发展前景..... 肖 艳 曹一平(201)

叶面施钙技术在农业生产中的应用

..... 樊 惠 肖 艳 Rob Glucksman 李 鑫 王 亮 汪子强(206)

湖南中微量营养元素农业应用研究的历史、现状和发展趋势 万 强 周 艳(212)

河南省邓州市中微量元素肥料应用现状及发展前景分析..... 李玉兰 张有成(222)

中国农业生产中的微量元素^{*}

邹春琴^{**} 张福锁

(中国农业大学资源与环境学院, 北京 1000193)

摘要:铁、锰、铜、锌、硼、钼等是作物必需微量营养元素,对于作物产量的提高和品质的改善有着重要作用。然而,近年来由于产量的进一步提高和新品种的推广,微量元素缺乏的现象越来越普遍和严重,特别是在一些新品种和特殊的生产体系中表现尤为突出。其中铁和锌的缺乏受到更多的关注,主要是由于铁锌状况不仅与作物产量和品质有关,而且与人体健康关系密切。因此,本文就中国土壤和作物体系中微量元素 Fe, Zn, B, Mo 和 Mn 进行了综述。Fe 和 Zn 的缺乏在中国的农业生产中是比较突出的问题, B, Mn 和 Mo 缺乏次之。并对目前农业生产中用于矫正微量元素缺乏的措施如施肥、农艺措施、挖掘植物基因型潜力等进行了总结和讨论。同时,对农业生产中一些典型的种植体系中的微量元素问题进行了分析和讨论,如水旱轮作、水稻旱作、间套作等等。并对未来中国农业中微量元素的重点研究方向进行了展望。

关键词:作物;施肥;微量元素;土壤;人体健康

土壤微量元素缺乏是限制中国大部分地区作物产量进一步提高、品质改善和人体健康的重要限制因子之一。Fe 和 Zn 的缺乏是中国乃至全世界农业生产中的突出问题。微量元素肥料的施用、一些农艺措施虽然能在一定程度上改善作物微量元素缺乏问题,但是不能从根本上解决,特别是对于铁这样的微量元素,土壤施用的效果很差,因此,挖掘作物自身潜力、选育微量元素高效的作物品种越来越受到大家的关注。另外,一些典型的种植体系,如水旱轮作、水稻旱作等体系中微量元素的缺乏问题也日渐受到大家的重视。本文就目前中国农业生产中的微量元素问题进行总结,以期对中国农业生产中微量元素肥料的施用有一定的指导意义。

1 微量元素缺乏土壤的分布

微量元素的缺乏在中国分布比较广泛,一方面是由于土壤中微量元素的有效性比较低,另一方面是由于产量的不断提高、新品种的推广,作物对微量元素的需求不断增加。表 1 是目前中国土壤微量元素缺乏面积和土壤缺乏临界值标准。这是全国第二次土壤普查的结果,经过二三十年的历程,中国农业生产的种植体系、耕作方式、品种应用、施肥策略等发生了很大的变化,土壤微量元素缺乏的面积和分布区域也发生了很大的变化。据报道,目前缺铁土壤面积占耕地面积的 40% 以上,这主要是土壤铁的有效性受到很多因素的影响,如土壤 pH、土壤 CaCO₃ 含量、土壤水分、基因型等,因此,在广大的石灰性土壤和碱性土壤上,缺铁的现象十分普遍。

^{*} 国家自然科学基金“中国小麦籽粒铁含量分析及其高铁累积的生理和分子机制研究(30671239)”、科技支撑项目“平衡施肥与养分管理技术(2006bad5B01)”和科技行业专项“最佳养分管理技术研究与应用(200803030)”共同资助

^{**} 通讯作者, 邹春琴, 教授, 植物营养生理, zcq0206@cau.edu.cn

表 1 土壤微量元素缺乏状况和缺乏临界值

元素	缺乏临界值(mg/kg)	缺乏面积	
		缺乏面积(100 万 hm ²)	占耕地百分数(%)
Fe	4.5*	4.7	5.0
Zn	0.5*	48.6	51.1
B	0.5**	32.8	34.5
Mo	0.15***	44.5	46.8
Mn	5.0*	20.3	21.3
Cu	0.2*	6.5	6.9

浸提剂: * = DTPA, ** = 热水, *** = NH₄Ac。

(林葆和李家康, 1997)

1.1 土壤中的铁

土壤中全铁含量较高,远远高于土壤中其他微量元素的含量,为 1.05%~4.84%,平均为 2.94%。土壤中铁含量不能完全反应土壤供铁状况,常常用有效铁(DTPA-Fe)含量来表征土壤供铁状况,通常用的临界值为 4.5 mg/kg,并据此将土壤分为五类(书后彩图 1),从图中可以看出,有效铁低的土壤主要分布在北方地区,尤其是土壤 pH 比较高的石灰性土壤。尽管如此,由于土壤中铁的有效性受很多环境因素的影响,如土壤 pH、CaCO₃、Eh 等,因此,在我国南起四川盆地,北至内蒙古高原,东自淮北平原,西到黄土高原及甘肃、青海、新疆,都有缺铁现象发生(邹邦基等,1985)。

1.2 土壤锌缺乏状况

由于中国土壤类型比较多,土壤全锌含量变化比较大,为 3~790 mg/kg,平均为 100 mg/kg(刘铮,1991)。从全国土壤锌的分布来看,由南到北,土壤锌含量明显降低,南方土壤全锌含量为 163 mg/kg,而北方土壤全锌含量只有 78 mg/kg。最有代表性的是南方的红壤和北方的石灰性土壤。从土壤有效锌来看,目前有两种表示方式,一种施用 DTPA-Zn 表示,一种是用 HCl 浸提的锌表示,临界值分别为 0.5 mg/kg 和 1.5 mg/kg。根据土壤锌含量和作物对锌肥施用的反应,将全国主要土壤分为五大区(书后彩图 1),这是指导锌肥施用的主要依据之一。

1.3 土壤中的锰

土壤中的锰含量相对较高,仅次于土壤铁含量,高于其他微量元素。土壤中全锰含量变化很大,大致范围为 10~5 532 mg/kg,平均为 710 mg/kg。土壤中锰含量主要与土壤类型有关,通常南方酸性土壤中锰含量要高于北方石灰性土壤(书后彩图 1)。土壤中锰的有效性受土壤类型、土壤母质、pH、Eh、土壤有机质等许多因素的影响,其中土壤类型和 pH 对其影响最大,因此,在南方酸性土壤上很少有缺锰现象发生。土壤水溶性锰和交换性锰是对植物直接有效的锰,常用活性锰(指用 1 mol/L NH₄OAc+2 g/L 对苯二酚浸提的锰)来表征土壤供锰能力,其缺乏的临界值是 100 mg/kg,并根据该标准将土壤划分为五类(书后彩图 1)。这是指导锰肥有效施用的依据之一。

1.4 土壤中的硼

与铁和锰相比,土壤中硼的含量比较低,全硼含量为 2~500 mg/kg,平均为 64 mg/kg。土壤中硼含量主要与土壤母质和土壤类型有关,北方土壤全硼含量高于南方土壤。但土壤中硼的有效性显著受 pH 影响,土壤 pH 在 4.7~6.7 之间,硼的有效性最高,pH 高于 7,土壤硼的有效性显著下降。因此,虽然北方土壤中全硼含量较高,但是有效硼含量很低,因此,缺硼现象主要发生在北方(书后彩图 1)。通常用热水浸提硼来表征土壤供硼状况,土壤缺乏的临界值为 0.5 mg/kg。

1.5 土壤中的钼

土壤钼含量显著低于其他微量元素,全钼含量为 0.1~6 mg/kg,平均为 1.7 mg/kg,其含量主要受土壤类型、气候条件等影响。土壤有效钼用 1 mol/L 草酸-草酸铵溶液浸提量表示,其缺乏临界值为 0.15 mg/kg,低于临界值的土壤上容易发生植物缺钼,尤其是豆科作物。根据土壤有效钼含量和作物对施钼的反应,将土壤划分为五类(书后彩图 1)。南方的红壤、北方的黄壤缺钼突出。

1.6 土壤中的铜

土壤中的全铜含量不高,为 2~500 mg/kg,平均为 22 mg/kg,大多数土壤含量在 20~40 mg/kg 之间。土壤铜含量主要受土壤母质的影响,其中一些成土因素也会有影响,如气候等。通常用 DTPA-Cu 或 HCl-Cu 来表征土壤铜的有效性,缺乏的临界值分别为 0.2 mg/kg 和 2.0 mg/kg。农业生产中铜缺乏的现象很少发生,大部分土壤有效铜含量均高于临界值(书后彩图 1)。

2 作物微量元素缺乏及其相应的矫正措施

由于我国微量元素缺乏的土壤分布比较广,作物生产体系比较复杂,因此,全国各地微量元素的缺乏十分普遍,限制了产量的进一步提高和品质的改善,而且,微量元素的缺乏越来越受到大家的关注。

2.1 作物缺铁及其相应的矫正措施

铁的缺乏主要发生在北方的干旱和半干旱地区,主要是由于这些地区的土壤 pH 和 CaCO_3 含量比较高,导致土壤有效铁比较低。另外,在一些沙土、磷肥用量很高、通气状况不良的土壤上也常常缺铁(何绪生,2002)。事实上,作物铁的缺乏不是由于土壤中铁的总量不足,而是由于各种因素影响土壤中铁的生物有效性以及作物对铁的吸收,如土壤溶液中铁的浓度、介质 pH、介质中磷的浓度、 CaCO_3 含量、作物基因型等。溶液中 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 的浓度直接影响根系对铁的吸收数量和速率。尽管多数土壤中全铁含量较高,但可被植物吸收的可溶性铁含量却很低,在石灰性土壤上仅为 1×10^{-10} mol/L,且主要以 Fe^{3+} 为主,而 Fe^{3+} 的溶解度极低,受 pH 的影响很大,pH 每降低一个单位,铁的溶解度增加 1 000 倍(Lindsay and Schwab,1982),如果靠质流来满足作物对铁的需要,铁总浓度至少是 1×10^{-6} mol/L,而要达到这一水平,土壤 pH 要低于 3,而绝大多数土壤的 pH 远高于 3。介质 pH 除了影响土壤铁的溶解度外和影

响植物对铁的吸收,有报道表明,土壤高 pH 严重抑制了菜豆根对铁的还原,铁吸收明显降低。土壤高磷和高 CaCO_3 含量也影响土壤中铁的有效性和根系对铁的吸收。另外,作物基因型也有影响,Wallace 等(1986)的研究表明,铁高效的大豆对锌、锰、铜等金属离子也有较高的效率,而这些微量元素的过量吸收常常会诱导作物缺铁;相反,当植物遭受铁胁迫时,也会导致这些微量元素中毒。

已报道,缺铁常常导致叶绿素含量下降、光合速率下降、一些酶活性下降等,最终导致产量降低。缺铁黄化是石灰性土壤和碱性土壤上作物产量进一步提高的重要限制因子,特别是对一些对铁敏感的园艺作物和农作物,如苹果、葡萄、桃、柑橘、花生、大豆、高粱等(何绪生, 2002)。另外,还有一些是生理缺铁黄化,如在一些水稻土壤上,由于过量锰的摄入,使得 Fe/Mn 下降,从而导致缺铁及产量下降(黎晓峰等, 1995)。

农业生产中矫正缺铁的方法很多,如施用铁肥,包括土壤施用、浸种(杨卫韵等, 2004)、叶面喷施等。由于铁肥施到土壤中或叶面喷施,有效性降低,因此这两种方法的效果都不是很好,因此,一些简单有效的方法应运而生,如茎秆注射(Fe^{2+})、根系输液、枝条输液等方法(书后彩图 2),这些方法主要应用于果树缺铁矫正,效果非常好。

对于粮食作物而言,缺铁仍然是一个普遍的营养缺乏问题,因此,一些生物学措施被用在农业生产中改善大田作物的铁营养状况,如间套作。特别是玉米花生间作可显著改善花生的铁营养状况,提高产量(Zuo *et al.*, 2000, 书后彩图 3),其原因主要是由于玉米在铁供应不足的情况下,根分泌物(铁载体)增加,根际土壤中铁有效性增加,因此,花生铁营养得到改善,不仅表现在花生产量的提高,而且花生果实中铁的含量也显著增加(Zuo and Zhang, 2003)。这一结果启示我们,可以挖掘一些农业措施来改善双子叶植物的铁营养状况,例如将果树与禾本科作物间作等。另外,氮素形态对植物铁的吸收、在体内的分配和再转移都有很大的影响。研究表明,与供应硝态氮相比,铵态氮供应显著提高了体内铁的再转移,新叶中 ^{59}Fe 所占比例显著增加,尤其是在铁供应不足的情况下,大约 25%的铁被转移到新生叶中,供植物生长发育所用(表 2)。该结果表明,植物体内铁可以在一定程度上再利用,但取决于植物的铁营养状况和氮素供应形态等外界因素(Zou *et al.*, 2001)。因此,在生产中适当施用铵态氮肥,有利于改善作物的铁营养状况。例如,将铵态氮肥与铁肥一起制成酸性肥料,可以显著提高铁肥的效果,比较成功的是德国的“CULTAN”肥料,在肥料周围形成高密度的根系层(后彩图 4)。

表 2 铵态氮和硝态氮对玉米体内铁再转移的影响

组织	^{59}Fe 转移效率(%)			
	$\text{NO}_3\text{-N-Fe}$	$\text{NH}_4\text{-N-Fe}$	$\text{NO}_3\text{-N+Fe}$	$\text{NH}_4\text{-N+Fe}$
新叶	14b	22a	15b	19a
初生叶	32ab	29c	33a	30bc
根	54a	49c	52ab	51bc

(Zou *et al.*, 2001)

目前市场上常用的铁肥有硫酸亚铁、硫酸铁、柠檬酸铁、氯化铁等一些无机铁盐,也有一些螯合态铁,如 Fe-EDTA 、 Fe-EDDHA 等。但是螯合态铁价格比较高,一般只在叶面喷施的时候使用。而无机铁盐中二价铁比三价铁的效果要好。施用方法有土壤施用、叶面喷施等,其中叶面喷施效果更好。

2.2 作物缺锌及其矫正措施

锌缺乏在我国农业生产中普遍存在,石灰性土壤和中性水稻土比南方酸性土壤上缺锌更普遍(刘铮,1991)。而作物缺乏更普遍,比较敏感的作物有玉米、水稻、苹果等(书后彩图5),当然小扁豆、豌豆、高粱、棉花、桃等也对缺锌非常敏感。目前,在我国玉米、水稻生产中,锌肥的施用受到越来越多的重视,将其作为高产的保证,但是大多数是作为底肥施用,而且施用量不高,一般是 $20\sim 30\text{ kg/hm}^2\text{ ZnSO}_4$,因此效果很难保证。值得注意的是,由于果树、蔬菜种植面积不断扩大,在这些作物上锌肥的施用值得重视。

目前市场上常用的锌肥有 ZnSO_4 和 ZnO ,其他一些含锌的无机盐类如 ZnCl_2 、螯合态等也有使用。目前在复合肥生产中也根据作物需要常常添加一些锌肥。常用的锌肥使用方法有土施、叶面喷施、种子包衣、浸种等。这些方法的使用与作物生产体系等密切相关,通常小麦、玉米、水稻等粮食作物生产中常用土壤施用的方法,而叶面喷施常用在一些经济作物上,如果树和蔬菜。据报道,土壤施用是改善作物锌营养状况的有效措施,与不施锌相比,小麦产量提高了18.5%(表3)。

表3 施锌对小麦产量的影响

ZnSO_4 施用量	小麦单产 (kg/hm^2)	增产率 (%)
土施 16.5 kg/hm^2	12 090	18.5
土施 6 kg/hm^2	11 325	11.8
浸种 1.5 kg/hm^2	10 800	5.8
叶面喷施 0.1%	10 680	4.4
不施锌	10 200	—

(周伟,1995)

近年来,由于人群缺锌的问题日渐突出,主要原因是禾谷类作物籽粒中锌的浓度和有效性都比较低,因此,目前越来越多的研究者致力于通过一些调控措施来提高籽粒中锌的含量和有效性,如育种、施肥、栽培措施、轮作体系等手段来提高作物籽粒中铁、锌含量(Rengel *et al.*, 1999)。研究表明,通过土壤施用锌肥能增加小麦籽粒中锌的浓度(Rengel and Graham, 1995; Yilmaz *et al.*, 1997),但也有一些报道认为土施锌肥很难提高小麦籽粒中锌浓度,可能与基因型、土壤条件如土壤 pH、土壤中微量元素有效性等有关,而叶面喷施锌肥的效果却很好。Yilmaz 等人(1997)报道,叶面喷施锌肥增加了小麦籽粒锌浓度(表4)。目前有关这方面的报道还比较少,还需要更多的研究。

2.3 作物缺锰及其矫正措施

锰的缺乏主要发生在石灰性土壤,特别是质地较轻的石灰性土壤。对缺锰比较敏感的作物有豆类如大豆、豌豆等,燕麦、高粱等禾谷类作物,桃树等果树,还有茼蒿、洋葱、菠菜等也对缺锰比较敏感,而小麦、玉米、水稻都对缺锰不是十分敏感,因此,在主要的粮食生产中缺锰的问题不是十分突出。但是在一些典型的生产体系中,锰的缺乏还是比较突出的,如南方的水旱轮作体系。水稻—小麦,水稻—油菜轮作是我国南方农业生产中的主要轮作体系,在这一生产体系中,旱季小麦、油菜锰的缺乏十分突出(吕世华和张福锁,1997)。研究表明,在水稻—小麦

表 4 锌肥施用对小麦籽粒锌含量的影响

施锌方式	Zn 含量(mg/kg)	
	Gerek-79	Kunduru-1149
不施	9	12
土施	17	19
种肥	11	10
叶面喷施	30	20
土施+叶面喷施	34	35
种肥+叶面喷施	34	25

(Yilmaz *et al.*, 1997)

轮作体系中,小麦季表层土壤全锰和活性锰的含量分别为全层土壤的 42% 和 11%,随着土层的加深,全锰和有效锰含量增加,结果表明,在这一种植体系中锰的空间变异十分突出。在淹水条件下,锰的淋洗和水稻对锰的过量吸收是导致旱季小麦土壤表层锰缺乏的主要原因。而且,由于小麦根系不能穿过犁底层,因此不能很好利用底层的锰。因此,解决该生产体系中小麦锰缺乏的措施主要有:施用锰肥、深翻并打破犁底层、选择种植深根系的小麦品种(吕世华等,2002)。

矫正缺锰的方法常有土壤施用、叶面喷施、拌种等,在矫正植物缺锰方面的效果都不错,但是由于土壤施用量很大,因此常用叶面喷施和拌种的方法,效果更好。硫酸锰是最常用的锰肥。氧化锰、螯合态锰等也在生产中施用,但是由于螯合态锰价格比较昂贵,通常只在叶面喷施的时候施用。

2.4 硼的缺乏及其矫正措施

缺硼常常发生在双子叶植物,主要是因为大多数双子叶植物需硼量很高,而且对缺硼比较敏感,其中油菜、棉花和甜菜是最敏感的双子叶植物。目前我国每年油菜种植面积为 800 万 hm^2 以上,为我国居民提供 60% 的食用油。我国油菜主要产区分布在土壤硼有效性比较低的地区,如长江中下游地区、华北地区、华东地区、华南地区、西南地区的红壤、黄壤和黄棕壤是缺硼的主要地区,水溶性硼低于 0.5 mg/kg 的土壤面积分别占该地区耕地面积的 74.7%、93.4%、79.4%、67.5% 和 48.5%。因此,在我国的这些地区的油菜生产中,缺硼是一个十分突出的营养障碍问题,在很大程度上限制了油菜的生产和产量的进一步提高,一般减产 10% 以上。施用硼肥是矫正油菜缺硼的主要措施,包括土施、叶面喷施和种肥。通常硼肥施用能使产量提高 10%~20%,在严重缺硼的土壤上,提高的幅度更大,可达 30%~50%,有的甚至达到 100% (任琴,2004)。

近年,在果园生产中也发现缺硼的问题。姜存仓等(2009)在江西赣州脐橙生产中发现严重的缺硼问题,施硼明显改善了脐橙的生长发育和硼营养状况,与不施硼相比,叶片数增加 39.8%,老叶黄化叶片数由 12.9% 下降到 3.2%;单株结果数和单果重分别增加 10.5% 和 11.9%,增产 23.3%,效果较好。这一结果表明,在以前一些对缺硼不敏感的作物上也要重视施用硼肥。

2.5 作物缺钼及其矫正措施

钼的缺乏主要发生在豆科作物和一些十字花科作物。在我国的东北,大豆连作引起的钼缺乏是导致大豆减产的重要因素之一(韩丽梅等,1998),缺钼后,大豆根瘤减少、植株矮小(刘鹏等,2001)。与正常钼供应植株相比,缺钼大豆根系干重减少 74%~84%,植株高度减少 83%~90%、根瘤数量减少 70%~98%、产量降低 20%(吴明才和肖昌珍,1994)。施用钼肥可以使大豆产量提高 50%左右(董玉琴和孙运岭,1990)。

钼缺乏不仅是大豆生产中严重的营养缺乏问题,而且在粮食作物的生产中,由于大量氮肥的施用,在我国南方如湖北、四川、安徽、山东等地的冬小麦生产中也发现了缺钼的现象(王运华等,1995;Li *et al.*, 2001)。主要的原因是,在这些地区的冬小麦生产中,氮肥用量高(300 kg/hm²)、土壤 pH 大于 7.0~7.5,而且有短时间低温(低于 5℃)造成的(王运华等,1995)。

施用钼肥是矫正作物缺钼的常用措施,土施、叶面喷施和种肥是常用钼肥施用措施。但是由于钼肥施用量较低,种肥和叶面喷施更常用。常用的钼肥有钼酸铵和钼酸钠。

3 植物微量元素营养与人体健康

由于农业生产中微量元素的缺乏,导致可食部分微量元素的含量和生物有效性低。作为人类食物的主要来源,农产品的品质直接或间接影响人体健康,尤其是人体微量元素营养(包括铁、锌和维生素)。因此,近些年来,植物微量元素营养与人体健康的关系,特别是铁和锌的状况已经受到越来越多研究者的关注。

3.1 我国人群铁、锌缺乏现状

铁锌不仅是植物生长发育所必需的营养元素,也是人体发育所必需的营养元素,缺铁会使人神经机能紊乱、感到疲劳、工作效率降低,甚至导致多种疾病,最常见的就是缺铁性贫血。缺锌会导致如侏儒症、糖尿病、高血压、生殖器官和第二性征发育不完全等疾病(Shah and Sachdev, 2006)。WHO 资料显示,缺铁缺锌是人类最普遍的微量元素营养缺乏症,目前全球约有 30 亿人不同程度存在微量元素缺乏问题,并且,这个数字仍有上升趋势。我国人群缺铁、缺锌的现象也十分普遍。据统计,全国居民平均贫血患病率为 20.1%。其中,2 岁以内婴幼儿和 60 岁以上老年人贫血患病率较高,分别为 31.1%、29.1%;育龄期妇女也是贫血高危人群,贫血患病率达 19.9%(朴建华等,2005)。我国有 30%~60% 儿童缺锌(兰晓霞,2003)。中国疾病预防控制中心陈春明教授指出,中国微量元素营养缺乏(尤其是铁、锌、维生素 A 等)现状十分严重,中国某些地方的缺铁性贫血高达 20% 以上,如果不及时采取措施,提高食品中可吸收的营养元素,预计今后 10 年,由于成人缺铁性贫血造成的生产能力下降而导致的经济损失将高达 7 020 亿元,儿童缺铁性贫血造成的损失高达 21 787 亿元。可见,目前人体微量元素缺乏的状况十分严重,并且是个全球性的问题。

3.2 解决人体微量元素缺乏的途径

目前用于解决人体微量元素缺乏问题的途径主要有药物防治、饮食多样化、食品防御工程和生物防御工程。尽管药物防治,饮食多样化,食品防御工程在一定程度上和一定范围内解决了

部分人群微量元素缺乏的问题,但是由于副作用、价格昂贵、经济和技术跟不上等原因,这些措施对于发展中国家居民而言,还很难大范围实现。因此,以挖掘作物本身潜力、提高粮食作物籽粒中微量元素含量为核心的生物防御工程备受关注,这也是一条更安全、更稳定、更有效的办法,具有节省费用、持久性、广泛性、稳定性、安全性的特点和优点。

生物防御工程的主要目的是提高粮食作物籽粒和其他作物可食部分中微量元素的含量和生物有效性,主要包括两个方面的内容。一是通过减少籽粒中降低微量元素有效性的抑制物来提高微量元素的有效性;二是增加微量元素在籽粒中的累积。籽粒中有一类物质如植酸、单宁、酚类物质,能在很大程度上降低籽粒中 Fe、Zn 等矿物质的生物有效性,从而降低了人体对这些微量元素的吸收,而目前这方面的进展还比较缓慢,主要是这些抑制物本身对籽粒的一些农艺性状,甚至对人体健康的作用究竟有多大还不够清楚,减少了抑制物的籽粒是否适于人类的使用,是否有推广价值都还需要大量的研究工作。因此,目前比较可行的是通过农艺措施、育种、基因工程三种方法来提高籽粒中微量元素含量(Welch, 2002)。通过基因工程、育种等手段来提高禾谷类作物籽粒微量元素含量是一条漫长的过程,虽然目前在这方面取得了一定的进展,如 Goto 等(1999)报道了将大豆 ferritin 基因转入水稻中,增加了水稻籽粒中铁的含量,但后来的研究则表明,转入 ferritin 基因的水稻和小麦,营养器官的铁含量提高了,而籽粒中的铁含量没有明显变化(Vasconcelos *et al.*, 2003)。说明,目前运用转基因手段来提高籽粒中铁、锌含量等方面还存在许多问题,转基因植物的目标性状是否稳定遗传。而通过育种来提高籽粒中铁、锌等微量元素的含量被许多研究者认为是一条最经济和最有效的途径,也越来越受到育种学家和营养学家的重视。这方面的工作才刚刚起步,但需要注意的是产量是否能增加或保持稳定、籽粒中微量元素的增加水平是否稳定、是否对人体健康有显著的影响、其口味、烹调质量是否复合消费者的需求。总而言之,与其他措施相比,育种途径的最大优势是安全、稳定、易于普遍接受,有很大的发展潜力和更广阔的适应性,其缺点是很难在短时间内解决人类微量元素缺乏的问题。另外,这方面进展缓慢的原因是对于籽粒中微量元素累积的生理和遗传基础不清楚,限制了育种的进程。而农艺措施包括施肥、栽培措施、轮作体系等手段则可弥补这方面的不足。有不少的研究表明有效的施肥措施可在一定程度上提高籽粒中微量元素含量(见前面),关键的问题是提高的幅度不够大,还不足以对人体微量元素营养产生显著的影响。因此,研究的关键是如何有效地将育种与农业措施结合,最大限度地发挥作物的潜力。我们目前的初步结果表明,氮肥的施用在很大程度上影响籽粒中铁锌的累积。

4 研究展望

农业生产中微量元素的缺乏是一个全球问题,不但限制了产量和品质的进一步提高,而且影响到人体健康,发展中国家问题更为突出。而由于人们对于作物对微量元素的吸收、累积机制还十分不清楚,尤其是籽粒微量元素的累积机制不清楚,使得这方面的研究工作进展缓慢。我国微量元素缺乏的面积十分广泛,在长期的实践中,发掘了一些切实可行的解决微量元素缺乏的措施,特别是在果树生产中发挥了不小的作用。由于人体微量元素缺乏的问题日渐突出,因此,今后的研究应关注:①摸清我国土壤微量元素缺乏状况的变化,有针对性地开展工作;②调查研究作物微量元素缺乏敏感性的变化,特别是对于一些新品种、新的种植制度下,如高产和超高产条件下,作物微量元素的需求变化和调控措施;③微量元素吸收利用的生理和遗传

机制,特别是微量元素向籽粒中转移的途径、生理调节机制及其影响因素;④寻找一些有效的农业措施,改善作物微量元素营养的同时,提高可食部分微量元素的含量和有效性,从而提高产品的品质和改善人体健康。通过这些研究,将逐步有效地解决我国农业生产中的微量元素营养问题,在提高产量的同时,改善产品的品质,从而改善我国居民,尤其是城乡居民的微量元素营养。

参考文献

- 董玉琴,孙运岭.大豆钼素营养的调查研究.大豆科学,1990,9(4):332-336
- 韩丽梅,鞠会艳,邹永久,傅慧兰,阎飞,刘金萍.大豆连作微量元素营养研究Ⅱ.连作对钼营养的影响.大豆科学,1998,17(2):135-141
- 姜存仓,王运华,刘桂东,夏颖,彭抒昂,钟八连,曾庆鑫.赣南脐橙叶片黄化及施硼效应研究.植物营养与肥料学报,2009,15(3):656-661
- 何绪生.铁肥及其使用.磷肥与复肥,2002,17(4):69-71
- 兰晓霞.锌缺乏与婴幼儿健康.国外医学妇幼保健分册,2003,14(1):49-51
- 黎晓峰,陆申年,陈惠和,顾明华.铁锰营养平衡与水稻生长发育.广西农业大学学报,1995,14(3):217-222
- 林葆,李家康.当前我国化肥的若干问题和对策.磷肥与复肥,1997,23(2):1-5
- 朴建华,赖建强,荫士安,许洁,徐青梅,杨晓光.中国居民贫血状况研究.营养学报,2005,27(4):268-272
- 刘鹏,杨玉爱,赵玉丹.大豆抗钼缺硼胁迫的基因型筛选.中国油料作物学报,2001,23(4):65-71
- 刘铮等著.微量元素的农业化学.北京:中国农业出版社,1991
- 吕世华,曾祥忠,刘学军,张福锁.限制根系下扎对水稻土上不同基因型小麦生长和锰营养的影响.中国农业科学,2002,35(7):809-814
- 吕世华,张福锁.水稻旱育秧苗铁、锰缺乏症状及其防治措施.中国农业大学学报,1997,2(3):90-100
- 任琴.微量元素硼、锌、锰对作物产量和品质的影响.集宁师专学报,2004,26(3):44-46
- 王运华,魏文学,谭启玲,杜应琼,许松林.湖北省黄棕壤冬小麦缺钼和施钼研究.土壤肥料,1995,3:24-28
- 吴明才,肖昌珍.大豆钼素研究.大豆科学,1994,13(3):245-251
- 杨卫韵,徐根娣,钱宝英,刘鹏. Fe^{3+} 浸种对大豆种子萌发的影响.种子,2004,23(4):32-34
- 周伟.不同施锌方法对小麦含锌量及产量影响的研究.中国生态农业学报,1995,3(1):34-38
- 邹邦基,何雪晖编著.植物的营养.北京:中国农业出版社,1985
- Goto F, Yoshihara T, Shigemoto N, Shigemoto N, Toki S, Takaiwa F. Iron fortification of rice seed by the soybean ferritin gene. Nature Biotechnology. 1999, 17:282-286
- Li WX, Wang ZY, Mi GH, Han XR, Zhang FS. Molybdenum deficiency in winter wheat seedlings as enhanced by freezing temperature. Journal of Plant Nutrition, 2001, 24(8):1195-1203
- Lindsay WL, Schwab AP. The chemistry of iron in soils and its availability to plants. Journal of Plant Nutrition, 1982, 5:821-840
- Rengel Z, Batten GD, Crowley DE. Agronomic approaches for improving the micronutrient density in edible portions of field crops. Field Crops Research, 1999, 60:29-40
- Rengel Z, Graham RD. Importance of seed Zn content for wheat growth on Zn-deficient soil II Grain yield. Plant and Soil, 1995, 173:267-274
- Shah D, Sachdev HPS. Zinc deficiency in pregnancy and fetal outcome. Nutrition reviews, 2006, 64(1):15-30
- Vasconcelos MK, Datta K, Oliva N, Khalekuzzaman M, Torrizo L, Krishnan S, Oliveira G, Goto F, Datta SK. Enhanced iron and zinc accumulation in transgenic rice with the ferritin gene. Plant Science, 2003, 164:371-

378

- Wallace A, Abou-Zamzam AM, Cha JW. Influence of iron efficiency in soybeans on concentration of many trace elements in plant parts and implications on iron-efficiency mechanisms. *Journal of Plant Nutrition*. 1986, 7 (1-5):787-803
- Welch RM. Breeding strategies for biofortified staple plant foods to reduce micronutrient malnutrition globally. *Journal of Nutrition*, 2002, 132: 495S-499S
- Yilmaz A, Ekiz H, Torun B, Gultekin I, Karanlik S, Bagci SA, Cakmak I. Effect of different zinc application methods on grain yield, and zinc concentrations in wheat grown on zinc-deficient calcareous soils in Central Anatolia. *Journal of Plant Nutrition*, 1997, 20:461-471
- Zou CQ, Shen JB, Guo SW, Tang CX, Rengel Z, Zhang FS. Impact of nitrogen form on iron uptake and distribution in maize seedlings in solution culture. *Plant and Soil*, 2001, 235(2):143-149
- Zuo YM, Zhang FS, Li XL, Cao Y. Studies on the improvement in iron nutrition of peanut by intercropping with maize on a calcareous soil. *Plant and Soil*, 2000, 220:13-25
- Zuo YM, Zhang FS. The effects of peanut intercropping with different gramineous species and their intercropping model on iron nutrition of peanut. *Agricultural Sciences in China*. 2003, 2(3):289-296

冬小麦钼营养与钼肥施用技术研究进展

孙学成 胡承孝

(华中农业大学微量元素研究中心, 武汉 430070)

摘要:钼是植物体必需的微量元素。本文综述了冬小麦钼营养与钼肥施用技术最新进展, 其主要内容包括: 冬小麦缺钼症状、钼营养诊断与钼肥施用技术; 冬小麦钼、氮营养关系及机理; 钼营养对冬小麦碳代谢的影响; 从含钼酶、激素、抗氧化系统和光合作用等方面分析了钼提高冬小麦抗寒力的生理生化机制, 并对今后小麦钼营养研究进行了展望。

关键词:钼; 冬小麦; 氮代谢; 碳代谢; 抗寒力

钼是植物体必需的微量元素, 但由于植物对钼需要量少, 钼在植物体内的功能主要是作为固氮酶和硝酸还原酶的组分而参与氮代谢, 所以, 学术界一直认为只有豆科植物对缺钼敏感, 而禾本科植物对钼不敏感。1989年王运华等在湖北省首次发现土壤缺钼导致冬小麦越冬期黄化死苗, 并使发育延迟, 抽穗不齐等现象, 随后在湖北、河南省小麦主产区大量田间试验证明, 施钼能有效克服冬小麦越冬期黄化死苗, 提高植株抗寒力, 显著提高籽粒产量。近年来, 冬小麦钼肥施用技术及钼营养机理方面取得的主要进展如下。

1 冬小麦缺钼症状、钼营养诊断与钼肥施用技术

1.1 冬小麦缺钼症状

冬小麦缺钼的症状一般在12月下旬至2月中旬出现, 到2月下旬后随温度的上升而逐渐减轻。主要表现在: ①叶色褪绿, 叶色的变化是缺钼的重要外表特征之一, 从全田看, 缺钼冬小麦叶色似缺氮, 但从单株看其症状与缺氮又有所不同, 虽然叶片褪绿, 但在同一叶片上呈不均匀分布, 先是中上部叶片褪绿黄化, 叶披软伏地生长, 老叶上有链珠状斑点, 从叶尖开始向基部发展, 严重时点连成片, 叶片枯死。至春天温度上升后, 新出叶片叶色转绿, 全田叶色渐趋浅绿正常; ②分蘖少甚至不分蘖或分蘖枯死; ③根系不发达, 新根少发育延迟; ④一般抽穗期延迟3~5 d, 抽穗不整齐, 成熟期推迟1~2 d(王运华等, 1995; 杜应琼等, 1994; 杜应琼等, 1994; 魏文学等, 1996; 魏文学等, 1996)(书后彩图6)。

1.2 冬小麦钼营养诊断

一直以来, Tamm试剂浸提的土壤有效钼含量常作为作物缺钼的土壤诊断指标, 临界值为0.15 mg/kg。但单独根据有效钼含量来评价土壤中钼的有效性有一定的局限性。王运华等根据多年田间和盆栽试验结果, 结合缺钼症状的发生、发展过程及其影响因素, 提出了施钼有效的4个条件: 土壤有效钼含量小于0.2 mg/kg、土壤pH小于7.0~7.5、氮肥施用水平高和冬季气温低(王运华等, 1995; 王运华等, 1997)。将有效态钼与pH值同时考虑, 用钼值来评价