

ZUI JIA YANG FEN GUAN LI

JI SHU LIE DAN

最佳养分管理

技术 列 单

张福锁 崔振岭 陈新平 等著



中国农业大学出版社

ZHONGGUONONGYEDAXUE CHUBANSHE

ZUI JIA YANG FEN GUAN LI

JI SHU LIE DAN

最佳养分管理

技术 列 单

张福锁 崔振岭 陈新平 等著



中国农业大学出版社

ZHONGGUONONGYEDAXUE CHUBANSHE

内 容 简 介

本书共分八章,分别对养分管理核心技术、土壤测试养分管理技术、植株诊断养分管理技术、有机肥管理与土壤质量提升技术、新型肥料技术、环境养分监测与管理技术、养分高效利用的生物学调控技术、区域养分管理综合技术进行了技术列单,供教学科研人员和各级农业技术推广人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

最佳养分管理技术列单/张福锁等著. —北京:中国农业大学出版社,2010.11
ISBN 978-7-5655-0137-1

I. ①最… II. ①张… III. ①土壤有效养分-综合管理-研究 IV. ①S158.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 215769 号

书 名 最佳养分管理技术列单

作 者 张福锁 崔振岭 陈新平 等著

策划编辑 孙 勇

责任编辑 邝华穆

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

刷 涿州市星河印刷有限公司

版 次 2010年11月第1版 2010年11月第1次印刷

规 格 787×1 092 16开本 7.25印张 176千字

定 价 18.00元

图书如有质量问题本社发行部负责调换

撰 稿 人

中国农业大学资源与环境学院

张福锁	陈新平	崔振岭	陈 清	江荣凤	刘学军	苗宇新	胡树文
苏 芳	范明生	张宏彦	张卫峰	陈范骏	李海港	巨晓棠	张朝春
王章奎	申建波	袁力行	邹春琴	王方浩	李彦明	段增强	孟庆峰
岳善超	荆晶莹	马 林	张跃强	杜 娟	姜春光	陶树明	邱小云
金可默	张娇娇	王雁峰	严正娟				

河北省农林科学院农业资源环境研究所

贾良良 刘全清 王丽英

山东农业大学生命科学学院

王衍安

河北农业大学资源与环境学院

马文奇

内蒙古农业大学资源与环境学院

李 斐

安徽省农业科学院土壤肥料研究所

孙义祥

前 言

技术列单是发达国家在组织实施大型项目时的一项经常性工作,旨在对涉及该项目领域的各种潜在技术的合理性、可行性和实施效果进行综合分析评价,为项目实施需要采用的主要技术进行分类列单。

养分资源综合管理的目标是为了同时实现作物优质高产、资源高效利用、生态环境保护和提高土壤质量。农田养分资源管理以满足高产和优质农作物生产的养分需求为目标,在量化土壤和环境养分供应的基础上,以施肥(化肥和有机肥)为主要的调控手段,通过施肥数量、时期、方法和肥料形态等技术上的应用,实现来自土壤、环境和肥料的养分资源供应与作物养分需求在数量上的一致和时间上的同步,同时通过综合的生产管理措施(如高产高效品种、根际调控、水肥一体化、保护性耕作等)提高养分资源利用效率,实现作物高产与环境保护的协调。而区域养分资源管理则是从一个特定区域的食物生产和消费系统出发,以量化养分资源在系统中的流动为基础,通过多种措施(如政策、经济、技术等)的综合,调控养分输入与输出,优化系统的养分传递,提高各个过程中的养分利用效率,协调养分与社会、经济、农业、资源和环境的关系,以实现生产力逐步提高和环境友好的目标。

自二十世纪九十年代开始,我们逐步组建了全国养分资源管理协作网,在全国范围内开展养分资源综合管理的理论研究与技术实践。“十一五”期间,在公益性行业科研专项“最佳养分管理技术研究与应用”(200803030)和“948”项目“土壤养分管理技术引进与建立”(2006—G60)的支持下,我们对农田和区域养分管理技术开展了更加深入的研究,取得了阶段性的成果。这些研究工作的进展为本书的出版奠定了良好的基础。

本书共分八章,分别对养分管理核心技术、土壤测试养分管理技术、植株诊断养分管理技术、有机肥管理与土壤质量提升技术、新型肥料技术、环境养分监测与管理技术、养分高效利用的生物学调控技术、区域养分管理综合技术进行了技术列单,供教学科研人员和各级农业技术推广人员参考使用。

需要指出的是,一方面由于对有些养分管理技术的研究仍然是空白或不够深入,因此本书定有遗漏之处;另一方面受研究和认识水平所限,书中难免存在不当之处。敬请大家指正!

著 者

2010年10月

目 录

第一章 养分管理核心技术	1
第一节 肥料效应函数	1
第二节 氮肥总量控制、分期调控	3
第三节 磷钾恒量监控技术	5
第四节 微量元素因缺补缺	7
第五节 水肥一体化技术	11
第二章 土壤测试养分管理技术	14
第一节 养分丰缺指标法	14
第二节 播前土壤无机氮测试(PPNT)	16
第三节 作物生育期无机氮测试(PSNT)	17
第四节 磷指数	19
第三章 植株诊断养分管理技术	22
第一节 SPAD 植株快速测试氮素诊断	22
第二节 叶色卡植株快速氮素诊断法	24
第三节 植株硝酸盐诊断技术	26
第四节 果树诊断施肥综合法	28
第五节 基于作物冠层传感器的氮营养诊断与调控	32
第六节 基于数码相机图像的作物氮营养诊断与调控	36
第四章 有机肥管理与土壤质量提升技术	39
第一节 有机养分的估计参数	39
第二节 有机肥定量施用技术	40
第三节 有机肥安全施用技术	43
第四节 秸秆还田与土壤质量提升	46
第五节 少免耕技术与土壤质量提升	48
第五章 新型肥料技术	50
第一节 区域作物专用肥	50
第二节 聚合物包膜控释肥	52
第三节 脲酶和硝化抑制剂使用技术	53
第四节 保水控释肥料	55
第六章 环境养分监测与管理技术	58
第一节 环境养分监测技术	58
第二节 氨挥发测定技术	62
第三节 反硝化测定技术	68
第四节 淋洗测定技术	73
第五节 农田氮素损失阻控技术	77

第七章 养分高效利用的生物学调控技术	82
第一节 养分高效品种	82
第二节 根际调控技术	84
第三节 分子检测技术	86
第四节 间作、轮作技术	88
第八章 区域养分管理综合技术	92
第一节 蔬菜氮专家系统	92
第二节 桃园施肥决策系统	93
第三节 农牧结合养分管理技术——以荷兰 DeMarke 农场为例	98
第四节 养分资源宏观管理	102

第一章 养分管理核心技术

第一节 肥料效应函数

【技术描述】肥料效应函数是建立在田间试验—生物统计基础上的计量施肥方法。它不用化学或物理手段去揭示农田土壤的养分供应量、农作物需肥量和肥料利用率等参数,而是借助于施肥量田间试验,通过施肥量与产量之间的数学关系,配制出一元、二元或多元肥料效应回归方程式,所得的肥料效应回归方程式可计算出代表性地块的最高施肥量,最佳施肥量和最大利润施肥量等施肥参数。

【技术合理性】该方法以田间试验为基础,通过施肥量与作物产量的数据关系式计算最佳经济施肥量和最高产量施肥量,因而能客观地反映具体条件下的肥料效应,并具有一定的反馈性,可以在保证作物产量的同时,有效地将肥料用量控制在合理的范围内,达到节肥、稳产的目的。同时该方法可用于一定区域范围肥料的宏观管理、分配。

【技术原理】在一定生产条件下,开始施用限制因子肥料时,作物产量随施肥量的增加而递增,而单位肥料的增产量逐渐减少,施肥的经济效益逐渐下降,当施肥的经济效益等于零,即养分投入增加的粮食价格与养分价格相当,施肥量达到最佳经济施肥量(图 1-1 中竖线 A);继续增加施肥量,产量继续增加,直至最高产量,此时施肥量定义为最高产量施肥量(图 1-1 中竖线 B);若继续增加施肥量,作物产量维持不变,甚至下降。

【技术规程及指标】肥料效应函数法可以计算一元(即一种肥料),也可计算二元和三元(即二种和三种肥料)。肥料用量与作物产量的拟合方程主要包括直线、一元二次、线性加平台、二次项加平台、平方根等。直线、一元二次可以直接通过 Excel 计算,其他拟合方程则需借助专业的计算软件,如 SAS 统计软件等(表 1-1 和图 1-2)。

【技术可行性分析】由于以田间试验为基础,肥料效应函数只反映一定生产条件下肥料效应,具有严格的地域性,而且产前定肥,难以克服气候等条件变化的影响。另外,在多点试验和在区域上应用肥料效应函数时,必须要从模型拟合程度、经济效益和环境效益等多方面进行综合考虑,寻找经济最佳产量、经济最佳施肥量。如表 1-2 所示在北京郊区 10 点的试验结果模型拟合中,有 5 个点适合用线性加平台模型拟合,2 个点

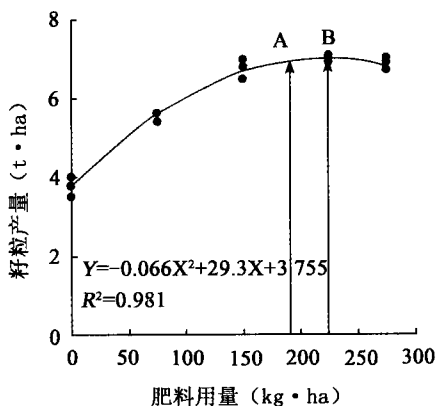


图 1-1 肥料效应函数技术原理示意图
竖线 A 为经济最佳施肥量(192 kg · ha⁻¹, 籽粒的价格为 1 元 · kg⁻¹; 肥料的价格为 4 元 · kg⁻¹), 竖线 B 为最高产量施肥量。

适合用二次型加平台拟合,1个点适合用二次型模型拟合,另外还有2个点的施肥量与作物产量间没有相关关系,不能用任何模型进行拟合。目前作物产量与施肥量的拟合过于强调用二次方程拟合,导致磷肥和氮肥推荐用量偏高(陈新平等,2003)。

表 1-1 冬小麦不同氮肥效应模型比较

模型	R ²	最佳(高)产量(kg·ha ⁻¹)	最佳施氮量(kg·ha ⁻¹)	氮肥的经济效益
线性加平台	0.584 1**	6 098	162.4	0
二次型	0.520 1**	6 319	309.2	-255.7
二次型加平台	0.574 8**	6 098	225.6	-252.8
平方根	0.547 1**	5 978	224.8	-429.0

实验地点:北京市大练庄南。
注:氮肥单价格 4.0 元·kg⁻¹,小麦单价 1.5 元·kg⁻¹ 计算。

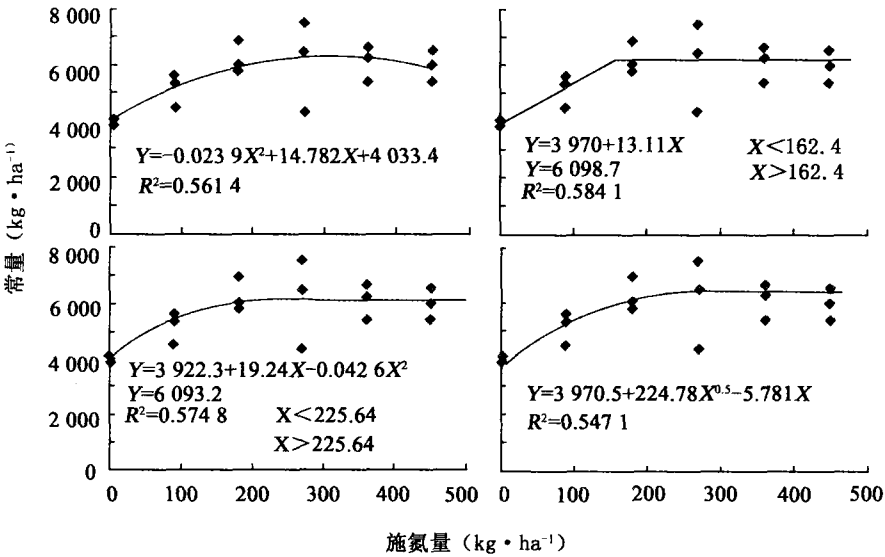


图 1-2 冬小麦不同氮肥效应模型比较(北京市大练庄南)

表 1-2 北京市各试验点最佳推荐模型及最佳施氮量、最佳产量

试验点	模型	最佳施氮量(kg·ha ⁻¹)	最佳产量(kg·ha ⁻¹)	R ²
求贤	线性加平台	127	5 875	0.442 5
大练庄南	线性加平台	162	6 099	0.584 1
大练庄北	线性加平台	199	5 340	0.518 9
泥洼	—	0	4 666	—
南彩	二次型加平台	119	7 478	0.929 3
怀柔东庄	二次型加平台	61	5 540	0.148 2
长阳篱笆房	二次型	242	5 619	0.822 5
顺义三高	线性加平台	241	7 080	0.912 0
堡上北店	线性加平台	40	6 041	0.272 9
昌平涧头	—	0	4 744	—

由于该方法以田间试验为基础,并需要严格的统计分析,因此该方法的主要使用对象为农业技术人员、科研人员和政府政策制定人员,而不是普通农户。

【技术实施效果】该技术可以在保证作物产量的同时,将肥料用量控制在合理的范围内,减少因过量施肥造成的环境问题。在华北小麦生产中,应用该技术,在维持产量的基础上,较农民习惯节氮 20%~50%,节磷 10%~30%;在玉米生产中,较农民习惯节氮 20%~40% (张福锁等,2003;崔振岭,2005)。

参考文献

1. 陈新平,张福锁,江荣风,等,2003. 土壤/植株快速测试推荐施肥技术体系的研究. 见:张福锁,马文奇,江荣风. 养分资源综合管理. 北京:中国农业大学出版社.
2. 张福锁,王兴仁,巨晓棠,等,2003. 农田氮/磷/钾养分时空变异和施肥调控. 见:张福锁,马文奇,江荣风. 养分资源综合管理. 北京:中国农业大学出版社.
3. 崔振岭. 2005. 华北平原小麦-玉米轮作体系优化氮肥管理——从田块到区域尺度. 中国农业大学博士学位论文.
4. 贾良良,陈新平,张福锁,刘宏斌,吴建繁. 2001. 北京市冬小麦氮肥适宜用量评价的研究. 中国农业大学学报,6(3):67-73.

(本节撰稿人:崔振岭,陈新平)

第二节 氮肥总量控制、分期调控

【技术描述】土壤氮素具有总体稳定性和局部变异的双重特点,根据氮素总体稳定性,可将一定区域范围内作物全生育期氮肥施用总量控制在一个合理的范围内;根据氮素局部变异性,可以在这个合理范围的基础上,根据作物氮素吸收规律,对不同生育期的氮肥用量进行分配,同时根据气候条件、作物长势和土壤、植株测试结果对氮肥基、追用量进行微调(张福锁等,2003)。

【技术合理性】该方法是基于一定区域范围内,土壤、气候条件相对均一,作物生育期内土壤潜在供氮能力相对稳定性决定了区域土壤氮素供应的总体稳定性,而土壤剖面无机氮的空间变异决定区域氮素供应的局部变异性。

【技术原理】区域土壤氮素供应的稳定是指在一定土壤条件、气候条件和空间范围内,土壤潜在氮素供应水平从较长时段内看是相对稳定的,这是由土壤有机氮矿化决定的。从单个田块来看,由于前茬作物收获后高的土壤剖面无机氮残留,当季作物节氮潜力非常大,个别田块甚至无需施氮即可达到高产,但随着优化氮肥管理的不断进行,土壤剖面无机氮含量将会逐步减少,土壤有机氮矿化量占土壤供氮量的比例上升。因此,在一定区域内,土壤有机氮矿化才是持续、稳定的氮素供应指标。

【技术规程及指标】

(1)总量控制。对于前茬土壤氮素残留较少区域,如东北旱地、南方稻田,可以利用现有的田间试验直接通过肥料效应模型(注意选择合理的模型)求得最佳产量的施氮量,或将多年多点的最佳产量施氮量平均即可获得一定区域内作物平均施氮量。对于前茬土壤氮素残留比较

高的北方旱作地区,我们利用长期的定位实验研究发现,土壤硝态氮含量随着优化氮肥管理的进行不断减少,最终达到动态平衡,即播前与作物收获后土壤硝态氮含量差异不大。当土壤和环境氮素供应达到动态平衡,很好地控制作物生育期内氮素损失的基础上,区域的氮素总量控制应与作物吸收带走的氮素相当。例如,黄淮海平原多年多点肥料试验表明,小麦-玉米轮作体系每季作物氮肥用量应控制在 $150\sim180\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ 。

(2)分期调控。在总量控制的基础上,根据小麦、玉米的氮素吸收规律和当地的农事操作习惯对作物每次施肥量进行调整(图 1-3)。对于小麦施肥来说,若考虑在播前和小麦拔节期施肥,则基追比例为 1:2。对于玉米施肥来说,若考虑苗期和三叶期分次施肥,则施肥比例为 1:2;若考虑施用种肥,且随播种带入 N 约 $15\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$,则将剩余氮肥在三叶期和十叶期按 1:2 分期施入。对于水稻来说,一般将总量的 40%~50%用于基肥,20%~30%用于蘖肥,20%~30%用于穗肥,10%用于粒肥。

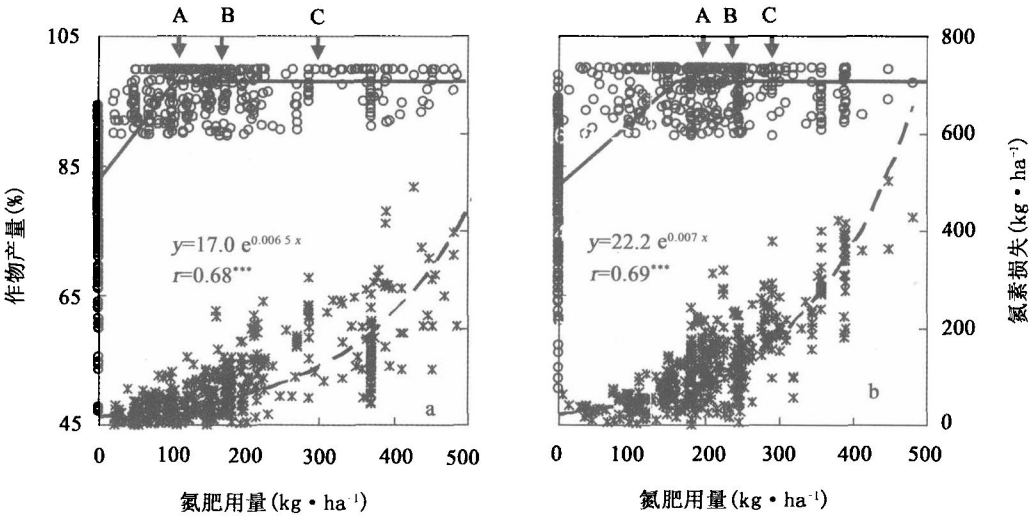


图 1-3 作物产量和氮素损失对氮肥用量的反应
左图为小麦;右图为玉米

【技术可行性分析】一定区域范围内,土壤、气候条件相对均一,作物目标产量差异不大时,作物生育期内土壤潜在供氮能力相对稳定性决定了区域土壤氮素供应的总体稳定性。总量控制是基于区域内多点肥料效应的结果确定,既能保证作物生长发育的氮素需求,又不至于过量施氮造成环境污染;分期调控是基于作物生长期内的养分需求特征,能较准确的调控作物氮素营养,满足作物需求,提高作物产量。

【技术实施效果】将华北地区多年 121 个小麦试验、143 个玉米试验的结果进行汇总(图1-3),依据单个田块测试各个田块的氮平均值,小麦季为 $130\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$,玉米季为 $157\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$,相应作物生育期内的氮素损失分别为 $40\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ 和 $68\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ 。依据作物氮素需求量估算的氮肥总量控制点,小麦季为 $178\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$,玉米季为 $189\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$,相应作物生育期内的氮素损失分别为 $57\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ 和 $85\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ 。农民习惯的氮肥用量,小麦季平均为 $325\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$,玉米季平均为 $263\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$,相应作物生育期内的氮素损失分别为 $151\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ 和 $142\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ 。由此可见,尽管氮素“总量控制、分期调控”的施肥原则在一定程度上损失了

一些精度,特别是当田块间变异较大的时候,但在不进行土壤、植株测试的情况下,该策略为氮素管理提供了很好的依据,可以在保证作物产量的同时,有效地减低氮肥用量,控制氮素损失。

在当前我国大部分地区氮肥施用过量的情况下,区域氮肥“总量控制、分期调控”可将区域主要作物氮肥用量控制在一定的合理范围内,保证作物产量,保护环境,提高氮肥效率。对于一些环境敏感区,如水源保护区,或敏感作物,我们可以在氮素总量控制的基础上,再进行进一步的土壤、植株测试,将氮肥用量控制到最佳,氮肥损失控制到最低。

参考文献

1. 张福锁,王兴仁,巨晓棠,等. 2003. 农田氮/磷/钾养分时空变异和施肥调控. 见:张福锁,马文奇,江荣风. 养分资源综合管理. 北京:中国农业大学出版社.
2. 张福锁,陈新平,陈清. 2009. 中国主要作物施肥指南. 北京:中国农业大学出版社.

(本节撰稿人:崔振岭,孙义祥,陈新平)

第三节 磷钾恒量监控技术

【技术描述】磷钾恒量监控技术是指通过肥料长期定位试验,找出能将土壤有效磷钾含量持续控制在适宜范围内的施磷钾量,以此作为施肥建议,并在一定的时空范围内保持用量的相对稳定。这里适宜是指能获得持续高产的最低土壤有效磷钾含量,与作物种类或种植制度有关。恒量是指对给定的作物或种植制度,在一定的农业生态区域内的非逆境土壤上,及在产量水平尚未得到显著提高的一个相当长的时期内,施肥量不因土壤肥力水平不同或年度、轮作周期差异而改变。监控是指施肥量不变是相对的,恒量的时空范围需由土壤测试进行监控。

【技术合理性】该方法以肥料长期定位试验为基础,将土壤有效磷钾含量持续控制在临界水平范围内,能够在满足作物高产需求和最大经济效益的同时降低磷素累积的环境风险,达到节肥环保的目的。同时该方法可用于肥料的宏观管理、分配。

【技术原理】基于养分平衡和土壤测试的磷钾恒量监控技术原理见图 1-4。根层养分调控上限为环境风险线,而根层养分调控下限为保证作物持续稳定高产线。在土壤有效磷钾养分处于极高或较高水平时,采取控制策略,不施磷钾肥或施肥量等于作物带走量的 50%~70%;在土壤有效磷钾养分处于适宜水平时,采取维持策略,施肥量等于作物带走量;在土壤有效磷钾养分处于较低或极低水平时,采取提高策略,施肥量等于作物带走量的 130%~170%或 200%。以 3~5 年为一个周期,并 3~5 年监测一次土壤肥力,以决定是否调整磷钾肥的用量。

【技术规程及指标】磷钾恒量监控技术通过大量田间试验,建立了蔬菜和大田粮食作物土壤有效磷钾指标和土壤磷的环境风险指标,具体指标见表 1-3 至表 1-5。

【技术可行性分析】磷钾恒量监控技术以长期定位试验为基础,结合养分平衡和土壤测试,着眼于作物持续高产和土壤养分的持续供应能力,而不强调一地块或年度施肥量的精确计算,具有较强的应用前景。国内已有的施肥技术中磷钾管理基本采取肥料效应函数法、土壤养分丰缺指标法或由肥料利用率决定的养分平衡法,没有考虑磷肥的累积效应,而国外的精准农

业主要强调了对土壤磷钾空间变异的管理。

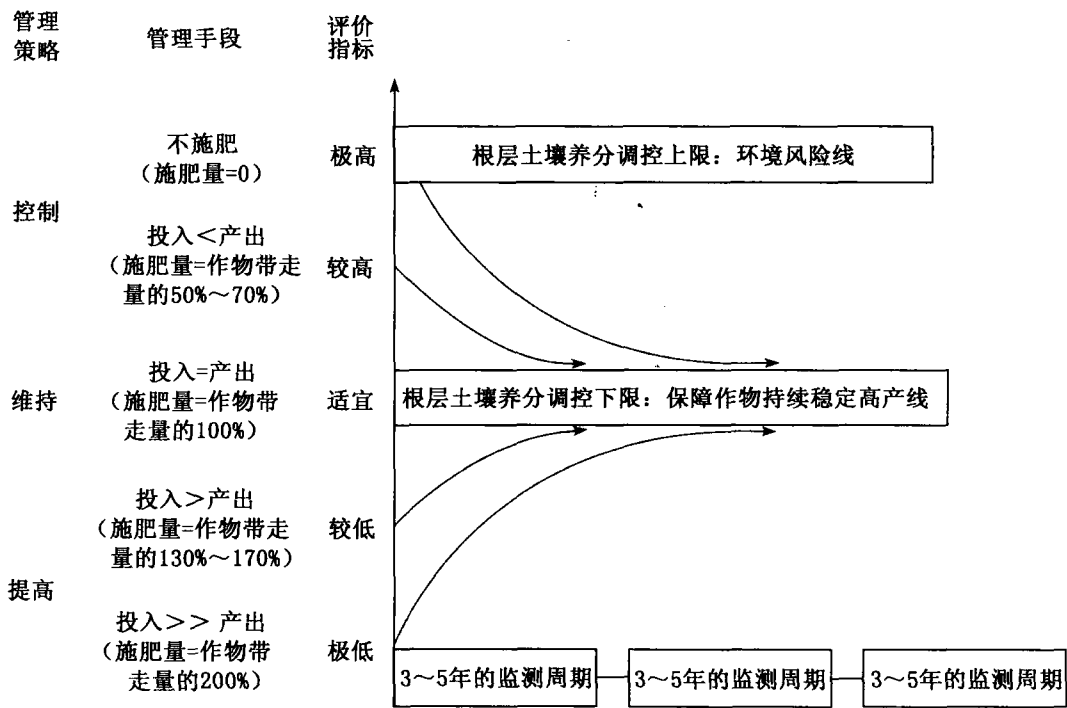


图 1-4 基于养分平衡和土壤测试的小麦、玉米磷钾恒量监控技术原理(赵荣芳等,2006)

表 1-3 主要作物土壤有效磷恒量监控指标(Olsen-P, $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 张福锁等,2008)

作物体系	研究地区	适宜根层浓度	环境风险指标
小麦/玉米	华北	14~30	60
水稻	南方	10~20	30
蔬菜	华北	20~60	60
棉花	新疆	13~30	65
油菜	华中	16~25	40

表 1-4 华北平原冬小麦-夏玉米轮作体系磷肥恒量监控技术指标(赵荣芳等,2006)

肥力分级	土壤 P, Olsen-P ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	目标产量($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$)		磷 P 肥推荐用量($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) ^[1]		
		小麦	玉米	短期和中期		长期
				秸秆还田	秸秆不还田	
高	>30			0 ^[2]	0 ^[2]	每 3~5 年对土壤有效磷进行监测,调整磷肥的施用量
中	14~30	6	6	35~40	45~50	
低	<14			50~60	60~70	

注：^[1]2/3 磷肥用在小麦季,1/3 磷肥用在玉米季；^[2]或仅施用少量磷肥作为种肥。

表 1-5 华北平原冬小麦-夏玉米轮作体系钾肥恒量监控技术指标(赵荣芳等,2006)

肥力分级	土壤交换性钾 (K)(mg·kg ⁻¹)	目标产量(t·ha ⁻¹)		钾(K)肥推荐用量(kg·ha ⁻¹)	
		小麦	玉米	短期和中期(秸秆还田)	长期
高	>100			0	每 3~5 年对土壤交换
中	70~100	6	6	40	性进行监测,调整钾肥
低	<70			85	的施用量

注:1/3 钾肥用在小麦季,2/3 钾肥用在玉米季。

恒量监控法协调了作物高产、肥料高效和土壤培肥三方面的关系,有利于农业的可持续发展;这一方法并不强调一块地或年度施肥量的精确计量,因而简化了农作,提高了生产效率,便于在生产实践中推广应用。磷钾恒量监控技术具有较强科学性和简便可行性,具有广阔的应用前景。

【技术实施效果】该技术能够在满足作物高产需求和最大经济效益的同时降低磷钾肥使用量,降低磷素累积的环境风险,达到节肥环保的目的。以山东省为例,在 61 130 个土壤测试样品中仅有 27% 的有效磷(P)含量低于适宜水平(<14 mg·kg⁻¹),依据表 1-3 建立的磷钾恒量监控技术,小麦-玉米轮作体系的磷肥推荐用量平均为 P₂O₅ 每年 72 kg·ha⁻¹,而依据单季作物肥料效应函数法的磷肥推荐用量均为 P₂O₅ 每年 120 kg·ha⁻¹,仅此一项,山东省年节省纯磷 14.4 万 t(张福锁等,2008)。

参考文献

1. 赵荣芳,陈新平,崔振岭,等. 2006. 小麦-玉米轮作磷钾肥恒量监控技术. 见:陈新平,张福锁. 小麦-玉米轮作体系养分资源综合管理理论与实践. 北京:中国农业大学出版社.

2. 张福锁,等. 2008. 从理论到实践:养分资源管理的技术原理与创新. 见:张福锁等. 协调作物高产与环境保护的养分资源综合管理技术研究与应用. 北京:中国农业大学出版社.

(本节撰稿人:孟庆锋,陈新平,崔振岭)

第四节 微量元素因缺补缺

【技术描述】微量元素因缺补缺是建立在作物营养平衡和高产、稳产基础上的微肥施用技术。其基本技术模式为“监测矫正施肥”,即以土壤、植物监测为主要手段,对缺素土壤或作物,通过施用适量肥料进行矫正,使其成为非产量限制因子。

【技术合理性】该方法是基于集约化农业和作物高产栽培过程高纯度氮磷钾肥施用增加,有机肥投入减少的农业实践过程中,作物微量元素需求增加而施用量不足的背景下建立的。微量元素需求量少,是否需要施用微量元素主要取决于土壤特性、作物种类和产量水平。土壤母质对微量元素影响较大,通过监测土壤中微量元素的有效含量,可以大致判断某种微量元素的丰缺状况,选择性地施用某种微肥;高产作物体系中,生育中后期进行植株诊断可以避免土

壤因素,准确判断作物植株的微量元素营养状况,配合喷施微肥等措施及时补充缺乏或临界缺乏的微量元素,提高对各种生物、非生物胁迫的抗性,延缓衰老,增长光合期。可见该方法能培肥土壤,反馈实用性强,能平衡作物营养达到稳产、高产的目的。

【技术原理】微量元素因缺补缺技术遵循李比希最小养分定律,同时作物必需的微量元素呈现典型的剂量依赖关系,过量的微量元素会导致作物毒害降低产量(图 1-5)。因此,微量元素因缺补缺的技术原理重点在调控土壤、作物中微量元素含量处于既不过低,又不过高的合理范围内。然而微量元素需求量少这一显著特征决定了并非所有土壤都需要施用微量元素,因此必须通过定期土壤测试、植株诊断以及田间生物效应来判断该微量元素是否是产量的限制因素,如果低于临界水平则考虑施用相应的微肥。

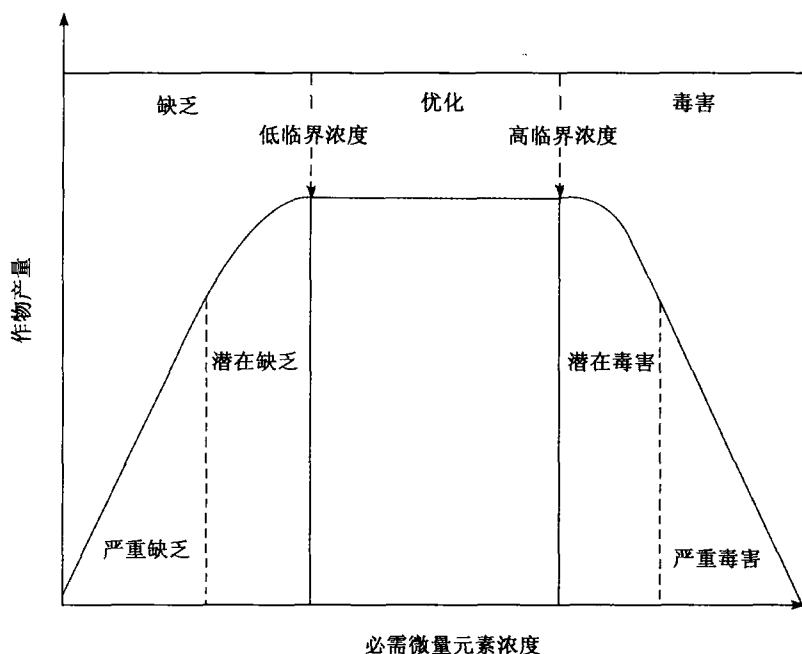


图 1-5 作物必需微量元素典型的剂量响应曲线(摘自 Alloway, 2008)

【技术规程及指标】微量元素因缺补缺的技术规程主要包括常见作物微量元素缺乏敏感指标、土壤类型、土壤分析和植株诊断指标。如表 1-6 所示,不同作物对同一种微量元素缺乏的敏感程度不同,而同一作物对不同种微量元素的敏感程度也存在明显差异,当然任何一种微量元素严重缺乏会影响到所有的作物种类。土壤类型,主要是土壤母质对微量元素有效含量影响较大(表 1-7),确定土壤类型分布,初步判断潜在缺乏的微量元素种类及程度。

土壤分析和植株测试的临界指标如表 1-8 所示。土壤分析可以预测可能的微量元素缺乏以及监测不同时期微量元素含量的变化,其最大的用处在于参考作物微量元素缺乏敏感指标,结合土壤测试值进行推荐施肥。植株诊断多基于植株幼嫩无污染部分(如最新展开叶)的测定,检测结果更为可靠。

微量元素因缺补缺的技术流程包括:①使用微量元素前,排除和纠正其他产量限制因素;②选择合适微肥用量、肥料各类、施用方法和施用时间以有效纠正相应的缺乏(表 1-7);③确定微肥施用的余效,避免引起毒害。

表 1-6 常见作物对微量元素缺乏的相对敏感性(摘自 Alloway, 2008)

作物	微量元素					
	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
大田作物						
小麦	低	高	中/低	高	低	低/中
玉米	低/中	中	中	低	低	高
水稻	低	低	中/低	中	低	中/高
黑麦	低	低	低	低	低	低
高粱	低	中	高	高/中	低	高/中
大麦	低	中/高	高/中	中	低	中
燕麦	低	高	中	高	低/中	低
蔬菜类						
马铃薯	低	低	—	高	低	中
胡萝卜	中	高	—	中	低	低
甘蓝	中	中	中	中	中	—
菜豆	低	低	高	高	中	高
大豆	低	低	高	高	中	中
番茄	高	中	高	中	中	中
甜菜	高	中	高	中/高	中	中
菠菜	中	高	高	高	高	中
经济作物						
棉花	高	中	中	中/低	—	高
牧草	低	低	高	中/低	低	低
亚麻籽	中	—	高	低	—	高
油菜	高	低	—	—	—	—
水果类						
苹果	高	中	—	高	低	高
梨	低	低/中	中	高	中	低
柑橘	低	高	高	高	中	高
葡萄	高	中	高	高	低	低/中

—: 暂无数据。

常用的微肥施用方式分为三类:土施、种子处理和喷施。由于微量元素用量少,微肥常与大量元素肥料一起施用(如掺和、复合肥、缓释肥),这样不仅方便,更能确保区域内的均匀性。严重缺乏微量元素的土壤以土施为主,同时可以结合种子处理或关键生育期喷施;临界缺乏或正常的土壤以种子处理或需求旺盛的生育期喷施为主。

【技术可行性分析】由于该方法包括了作物种植前的土壤测试、决策和推荐施肥,以及作物生长期内的植株精确诊断,因此该方法能较准确的调控作物微量元素营养,满足作物需求,保证实现作物高产,并改善作物品质。但是由于土壤类型、水分、气候条件的差异,土壤测试存在一定的局限性;而作物类型、品种、年龄、生长速率、温度、是否染病及其他营养状况等也会影响到植株诊断的结果,使植株诊断变得复杂。此外,微量元素测定需要在良好的实验条件下测定,还无法推广到普通农户。最后,作物微量元素营养与人体健康息息相关,微量元素因缺补缺技术应逐步与土壤-作物-人类这一营养链最佳管理实践(BMPs)结合,保证产量的前提下,

为人类提供更多的营养;因此,这方面的研究今后仍待加强。

表 1-7 我国易缺乏微量元素的土壤类型、缺素面积占耕地比例以及常规施肥技术

元素	易缺土壤	施肥技术(一般用量)
Zn	砂岩发育的红壤及石灰性土壤	基施:15~30 kg·ha ⁻¹ 七水硫酸锌;喷施:0.1%~0.4%七水硫酸锌,用量 400~1 125 kg·ha ⁻¹ 溶液;浸种:用 0.5%~1%七水硫酸锌溶液浸泡 12 h 左右
Mo	黄土发育的土壤	基施:0.75~1.5 kg·ha ⁻¹ 钼酸铵与细干土混施;拌种:用 2%~3%钼酸铵溶液,用量为 1~2 g·kg ⁻¹ 种子;浸种:用 0.05%~0.1%浸种 12 h 左右;喷施:用 0.02%~0.05%钼酸铵溶液,每次 750~1 125 kg·ha ⁻¹ ,共 2~3 次
B	花岗岩、片麻岩等酸性火成岩及其变质岩发育的土壤,红、黄壤及黄河冲积物土壤	基肥:7.5~15 kg·ha ⁻¹ 硼砂与干细土或有机肥混施,勿接触种子;追肥:3~5 kg·ha ⁻¹ 硼砂;浸种:0.02%~0.05%硼砂溶液浸泡种子 6~8 h;喷施:用 0.1%~0.25%硼砂溶液,用量 600~1 200 kg·ha ⁻¹ ,喷施 2~3 次
Mn	石灰性土壤,通透性好的轻质土壤如黄泛区果园土壤,淋洗强的旱地土壤等	基施:15~45 kg·ha ⁻¹ 硫酸锰与有机肥或细干土混施;浸种:0.1%~0.2%硫酸锰溶液浸种 12~48 h;拌种:用硫酸锰溶液,4~8 g·kg ⁻¹ 种子;喷施:0.05%~0.1%硫酸锰溶液,溶液用量 750~1 125 kg·ha ⁻¹
Cu	砂岩及酸性岩发育的土壤,沼泽土及泥炭土,烂泥田、冷浸田等强还原性水稻土	基施:15~22.5 kg·ha ⁻¹ 硫酸铜与细干土混施;拌种:每千克种子用 0.3~0.6 g 硫酸铜;浸种:0.01%~0.05%硫酸铜溶液,溶液用量 750~900 kg·ha ⁻¹ ,铜肥易过量毒害,后效 3~5 年
Fe	石灰性土壤	经济作物、大田作物以喷施为主,硫酸亚铁浓度在 0.2%~1%,螯合态铁肥应降低喷施浓度;果树也可采用注射、基施铁肥

表 1-8 土壤有效微量元素含量和植株微量元素临界值指标

微量元素	提取方法	土壤临界值(mg·kg ⁻¹)	植株临界值(mg·kg ⁻¹)
Fe	DTPA	4.5~10	10~30
Zn	DTPA(石灰性土壤)	0.2~0.5	10~30
	HCl(酸性土壤)	1.5	
Mn	DTPA	10~20	10~30
Cu	DTPA(石灰性土壤)	0.2	2~10
	HCl(酸性土壤)	2.0	
Mo	草酸-草酸铵浸提	0.15~0.2	0.1~0.2
B	沸水浸提	0.5	2~5

【技术实施效果】该技术在保证作物产量、提高作物品质的同时,也可提高种农民的产投比。其次,该技术可以平衡作物营养,提高 N、P、K 肥的利用效率,减少肥料用量;同时充足的微量元素营养可以提高作物抗虫抗病性,以及对多数逆境胁迫的适应性,提高种子质量。最后,在解决居民因微量元素缺乏而引起的健康问题上,该技术具有广阔的前景,尤其是微量元素广泛缺乏或潜在缺乏的农村地区。