



中国农业百科全书

农业化学卷

农业出版社

北京

1996年6月

15-31177-4432

**中国农业百科全书
农业化学卷**

中国农业百科全书总编辑委员会农业化学卷编辑委员会
中国农业百科全书编辑部编

农业出版社出版(北京市农展馆北路2号)
新华书店北京发行所发行 北京百花彩印有限公司印刷

787×1092毫米 16开本 37印张 彩图插页2印张 1250千字
1996年6月第1版 1996年6月北京第1次印刷
ISBN 7-109-03582-4/S·2281 定价 88.00元

中国农业百科全书编辑出版领导小组

主 任 何 康

副 主 任 (按姓氏笔画顺序)

王发武 卢良恕 丛子明 刘瑞龙 刘锡庚

许力以 李 本 张季农 武少文 姜椿芳

常紫钟 梁昌武 薛伟民

中国农业百科全书总编辑委员会

主 任 何 康 刘瑞龙

常务副主任 卢良恕

副 主 任 (按姓氏笔画顺序)

王发武 石 山 朱元鼎 刘锡庚 杨显东

李友久 沈其益 张含英 金善宝 郑 重

郑万钧 郝中士 俞大绂 徐元泉 陶鼎来

程纯枢 程绍迥 蔡子伟

委 员 (按姓氏笔画顺序)

马大浦	马世骏	马德风	王 凯	王万钧	王发武
王金陵	王泽农	王耕今	王镇恒	方中达	方悴农
毛达如	石 山	卢良恕	丛子明	丛明善	冯 寅
冯秀藻	孙 羲	吕 平	任继周	朱元鼎	朱弘复
朱则民	朱明凯	朱祖祥	朱莲青	刘志澄	刘瑞龙
刘锡庚	刘德润	许力以	许振英	华国柱	邱式邦
庄巧生	齐兆生	严 恺	何 康	汪菊渊	陆星垣
陈 道	陈华癸	陈陆圻	陈延熙	陈俊愉	陈恩凤
陈凌风	陈幼春	杨立炯	杨守仁	杨显东	李友久
李长年	李庆逵	李连捷	李竞雄	李曙轩	吴中伦
吴福桢	沈 隽	沈其益	余大奴	张光斗	张仲威
张含英	张季农	张季高	武少文	罗玉川	金常政
金善宝	周明群	郑 重	郑万钧	郑丕留	郝中士
赵洪璋	赵善欢	胡祥璧	胡道静	侯光炯	侯学煜
俞大绂	饶 兴	娄成后	贺修寅	费鸿年	袁隆平
徐元泉	徐冠仁	殷宏章	高一陵	陶鼎来	陶岳嵩
黄宗道	常紫钟	梁昌武	梁家勉	韩熹莱	舒代新
蒋次升	程纯枢	程绍迥	曾德超	游修龄	谢 华
蒲富慎	裘维蕃	鲍文奎	蔡 旭	蔡子伟	蔡盛林
管致和	臧成耀	樊庆笙	薛伟民	瞿自明	

农业化学卷编辑委员会

主任 孙 羲

副主任 史瑞和 郭鹏程 陶勤南

委员 (按姓氏笔画顺序)

马国瑞	毛达如	尹名济	尹崇仁	史瑞和	孙 羲
孙秀廷	朱兆良	刘更另	刘芷宇	刘武定	何增耀
陈汝钧	杨玉爱	李庆逵	李仁岗	李光晨	张乃凤
张耀栋	张勤争	林荣新	周厚基	胡霭堂	饶立华
郭鹏程	陶勤南	秦遂初	谢建昌	鲁如坤	

农业化学卷各分支编写组主编、副主编

总 论 主 编 孙 羲

植 物 营 养 主 编 饶立华

副主编 郭鹏程 胡霭堂

土 壤 养 分 主 编 谢建昌

副主编 鲁如坤 朱兆良

肥 料 主 编 杨玉爱

副主编 林荣新 张耀栋

作 物 施 肥 主 编 李仁岗

副主编 马国瑞 尹崇仁

作 物 营 养 诊 断 主 编 秦遂初

副主编 尹名济 刘武定

农业化学研究方法 主 编 陶勤南

副主编 何增耀 张勤争

前 言

《中国农业百科全书》是一部荟萃中外古今农业科学知识的大型工具书。

中国农业历史悠久，农业科学知识的积累源远流长。中国历代刊行的许多农学著作是中华民族文化宝库的重要组成部分。北魏贾思勰的《齐民要术》，明代徐光启的《农政全书》，被誉为中国古代的农业百科全书，至今为国内外学者所珍视。到了现代，由于科学技术突飞猛进，农业生产迅速发展，农业科学已发展成为多学科构成的综合体系。面向现代化，面向世界，编纂出版具有现代意义的《中国农业百科全书》，把农业各学科的知识准确而简明地提供给读者，是学术界和广大读者的共同愿望。

中国农村经济已在向专业化、商品化、现代化转变。现代农业的基本特点，是广泛地运用先进的科学技术和经营管理方法，以加速农业的全面发展。为了逐步实现农业现代化，需要加速发展农业科学研究和教育事业，培养众多的农业科学技术人才，向广大农民普及农业科学技术知识；需要运用现代农业科学原理，整理历代农学遗产，总结农业生产实践经验；需要吸收和引进国外先进的科学技术。因此，编撰出版一部全面而扼要地介绍人类现有农业科学技术知识的大型工具书，是建设社会主义现代化农业的迫切需要。

1980年初，国家农业委员会决定编撰出版《中国农业百科全书》，开始进行筹备工作；1981年6月成立了编撰出版领导小组和总编辑委员会，负责领导和指导编撰出版工作，并责成农业出版社设立中国农业百科全书编辑部，从事具体工作。1982年，国家农业委员会撤销后，全书编撰出版工作由农牧渔业部主管，与林业部、水利电力部、机械工业部、国家气象局等有关部局协作，保证了工作的顺利进行。

编撰《中国农业百科全书》，以马克思主义、毛泽东思想为指导，以农业各学科的知识体系为基础，组织农业科学界和有关部门的专业工作者进行撰稿、审稿；发扬学术民主，坚持实事求是的科学态度，讲求书稿质量，贯彻百科体例，使其具有中国特色和风格。

《中国农业百科全书》以汇总农、林、牧、渔各业自然再生产和经济再生产的知识为基本内容，在概述基础理论的同时，重视应用技术的介绍，具有一定的专业深度和实用性。它的主要读者是农业科学技术工作者、农业大专院校师生、具有高中

或相当高中文化程度以上的农业干部和农民。这部专业性百科全书，以条目的形式介绍知识和提供相应的资料，每个条目是一个独立的知识主题；不仅具有一般工具书检索方便、查阅容易的特点，而且由浅入深地介绍知识，有助于读者向知识的深度和广度探索。

《中国农业百科全书》以农业各学科的知识体系为基础设卷，计划出25卷(31册)，按卷陆续出版；标示卷名，不列卷次，同一学科或专业设两册者，则注明上、下。采取这种设卷方式，便于读者按需要购买，也便于分卷编撰出版。

《中国农业百科全书》的编撰出版，是中国农业科学事业的一项基本建设。在编撰过程中，得到有关高等院校、科研单位及生产部门的大力支持，并得到国家有关领导部门和有关学会的热情关怀、指导，在此谨致诚挚的谢意。编撰这样大型的专业百科全书，我们缺乏经验，书中疏漏之处，恳请读者批评指正，以便再版时修订。

中国农业百科全书编辑部

1984年10月

凡 例

一、全书以农业各学科知识体系为基础设卷。卷由条目组成。

二、条目按条题第一个字的汉语拼音字母顺序排列。同音时,按阴平、阳平、上声、去声的声调顺序排列;同音同调时,按笔画的多少排列;音、调、笔画数相同时,按起笔笔形(一、丨、丿、丶、·)顺序排列。第一字相同时,按第二字的相应顺序排列,余类推。条题由拉丁字母、俄文字母、希腊字母或数码开头的,排在末尾。

三、绝大多数条题后附有对应的英文。属中国特殊内容的条题,一般不英译。

四、各卷正文前设本卷条目的分类目录,供读者了解内容全貌或查阅一个分支或一个大主题的有关条目之用。为了保持学科或分支学科体系的完整并便于检索,有些条目可能在几个分类标题下出现。

五、一个条目的内容涉及到其他条目,需由其他条目释文补充的,采用“参见”方式。所参见的条题在本释文中出现的,用黑体字排印。所参见条题未在本条释文中出现的,另加“见”字标出。

六、条目释文中出现的外国人名、地名、外国组织机构名,一般用汉语译名,后附原文。

七、黑白插图随释文需要配置,彩色图片汇编成若干帖插页顺序插入卷中,并在有关条目处注明“见彩图××”。

八、正文书眉标明双码页第一个条目及单码页最后一个条目第一个字的汉语拼音和汉字。

九、各卷正文后均附该卷全部条目的汉字笔画索引、外文索引和内容索引。

十、本书所用科学技术名词以各学科有关部门审定的为准,未经审定或尚未统一的,从习惯。地名以中国地名委员会审定的为准,常见的别名必要时加括号注出。

十一、本书的计量单位,采用《中华人民共和国法定计量单位》。

农业化学

孙 羲

农业化学是研究植物营养、土壤养分、肥料性质及其合理施用的理论与技术的科学。在深入研究植物营养生理规律的基础上,通过合理施肥协调植物与土壤间养分的供需矛盾,为植物生长发育创造良好的营养环境,达到优质高产、提高经济效益与土壤肥力的目的。农业化学的理论与应用技术推动了肥料工业的发展,庞大的肥料工业提供的物质保证已经成为现代农业生产的重要支柱。另一方面,长期高投入导致种植业成本提高及环境恶化,人们认识到提高植物对养分的吸收利用能力,比大量施肥弥补土壤供肥不足的效益更高;提高植物对土壤逆境的适应性,较之直接改良逆境土壤的投资小、效果好。因此植物营养遗传学的研究迅速发展成为当代农业化学的崭新内容,并成为传统施肥措施的重要补充。农业化学诞生于 19 世纪 40 年代,当时技术手段以化学方法为主。随着科学技术的进步,在农业化学研究中逐渐吸收了多学科的技术手段,仪器分析、同位素示踪技术、电子计算机等已成为不可缺少的工具。这些现代化技术的应用,赋予农业化学这门历史悠久的传统学科以新的活力与时代气息。

农业化学的诞生与发展

农业起源之初,在世界人类文明发祥地,人们通过实践活动,早已发现天然的有机与无机物质对植物生长的影响。中国在西周时期(公元前 11 世纪到前 8 世纪)已认识到腐烂的植物或草木灰有利于植物生长。战国时期就有意识施肥。西汉时期《汜胜之书》记载了基肥、追肥、种肥以及绿肥、陈墙土、灰肥、陈屋草及踏粪的详细内容。踏粪是谷糠等有机物铺填牛厩,起出堆腐作为基肥之用。至南北朝,因地广人稀肥源不足,少量肥料只集中施于蔬菜,大田作物则重视轮作、绿肥和施用陈墙土。唐宋以后长江流域水稻生产发展,施肥的经验更趋丰富。南宋陈旉《农书》(1149)提到火粪(焦泥灰)堆肥发酵及沤池积肥技术,并把施肥比作“药粪”,认为施肥犹如用药,强调了合理施肥的重要性,并提出了地力“常新壮”的论述。元朝王桢《农书》中把肥料分为大粪、踏粪、苗粪(绿肥)、草粪(野生绿肥)、火粪(草木灰、焦泥灰、石灰)、泥粪(沟塘肥泥)六大类。明末《沈氏农书》介绍了水稻看苗施肥的经验,有“下接力须在处暑后苗做胎时,在苗色正黄时,……切不可未黄先下,至好苗而无好稻”,可说是一种原始的植物营养诊断技术。清朝杨岫在《知本提纲》中指出,施肥要“因时制宜”、“因地制宜”、“因物制宜”,实际上是看天(气象和季节)、看地(土壤)、看苗(作物)三看施肥法的雏形。中国历代农民的长期实践,积累了丰富的肥料知识和施肥经验。

关于植物营养原理的探索源于欧洲。一种广为流传的观点为腐殖质是植物唯一的营养给源,持这种观点的著名人物有阿里士多德(Aristotle, 350 B. C.)和泰伊尔(Thayer, A. D. 1752~1828)。另一种观点认为水是植物唯一的营养要素,其中范·海尔蒙特(Van Helment)于 1629 年进行了著名的柳树试验。帕利西(Palissy, B.)于 1563 年报道,认为盐分是一切作物生活与生长的基础,1650 年前后格劳伯尔(Glauber, J. R.)认为硝酸盐是植物生长的基础。由于当时化学分析方法很不完善,测试技术精度不高,均难以得出科学的结论,有些是很片面的,甚至是荒谬的。

李比希(Liebig, J. von)1840年出版了《化学在农业和植物生理学上的应用》一书,提出著名的矿质营养学说,阐明植物是以矿物质作为原始营养给源的,植物吸收的矿物质元素,为其生长和形成产量所必需。当时提出植物需要氮、硫、磷、钾、钙、镁、硅、钠及铁等营养元素,都是以盐的形态从土壤中吸收的。多数土壤提供的养料不足以维持植物正常生长,通过施肥可以补充土壤养料不足。植物摄取的养料必须以施肥的形式归还土壤,否则土壤将变得贫瘠,这就是著名的“归还学说”。实际上李比希已提出了“最小养分律”,它是植物营养元素之间不可代替性的必然结果,其中心思想为植物产量的高低取决于相对最缺乏的一种营养元素。如果处于限制因子位置的营养元素得不到满足,即使增加其他种类营养元素也不能增加产量。矿质营养学说得到公认,推翻了腐殖质营养学说。但是,李比希认为,土壤从雨水中能获得足够的氮素以满足作物需要,忽视矿质氮肥的作用。布森高(Boussingault, J. B. 1802~1887)比李比希更早就对轮作试验中包括氮素在内的养分平衡进行研究,并强调了施用含有铵盐肥料的必要性。关于氮素营养的分歧意见,导致了鲁茨(Lutz, L.)在英国洛桑(Rothamsted)进行著名的田间试验,证实了氮素营养的重要作用。李比希的矿质营养学说和布森高的“氮素营养学说”标志着农业化学作为一门新学科的诞生。

李比希是根据灰分元素分析,不是通过严密的生物试验得出矿质营养学说的。从19世纪下半叶开始,溶液培养和砂培试验有较广泛的开展,萨克斯(Sachs, J. van)与克诺普(Knop, W.)分别于1860及1861年获得成熟的溶液培养植物,其中克诺普提出了完全营养液。1939年阿农(Arnon, D. I.)和史托特(Stout, P. R.)提出判断植物必需矿质元素的三条标准为:缺少该元素不能完成其生命周期;该元素的功能不可替代性;该元素必须直接参与植物的新陈代谢。至1954年已确定16种符合上述标准的高等植物必需营养元素。硅则被认为属于有益元素。必需元素的确定导致对营养元素吸收机制及生理功能的深入研究。

李比希的另一伟大功绩是提出了用硫酸处理骨粉,以后还用硫酸处理磷灰土;鲁茨在英国奠定了磷肥工业的基础,此后化学肥料工业在农业生产中的作用日益增大。在20世纪60年代后,氮肥工业的规模超过了磷肥工业,含有多种营养元素的复混肥料在化肥工业中的比重也迅速上升,微量元素肥料的使用范围逐渐扩大,农作物的单产也大幅度提高。

普里亚尼什尼柯夫(Прянищников, Д. Н.)在20世纪40年代强调了农业化学的主要任务是研究植物、土壤、肥料的相互关系。由于对植物生长条件的知识迅速积累,矿质营养理论又发展到生长因子综合理论阶段。可以断言,“绿色革命”后的下一次农业革命,是包括作物育种、经营管理、土壤改良、土壤肥力、杂草防治、植物生理、昆虫、土壤微生物、农业机械化等多学科的综合应用,通过协调作物的各生长因子,充分发挥作物的产量潜力。

20世纪初,近代农业化学理论和技术传入中国。1901年从日本进口少量氮肥,1905年后又在广东、福建、浙江、江苏、山东等省扩大施用。1906年清政府农工商部在北京西郊设立农事试验场,于1908年开始进行肥料试验。此后,中国先后组织了三次全国规模、统一设计的肥料试验:第一次为1936~1940年,在江苏等14个省对水稻、小麦、油菜、棉花、玉米、谷子等作物做了156个三要素试验;1958~1962年及1980~1983年,中国农业科学院组织了第二次和第三次全国化肥试验及绿肥试验。1941年张乃凤以《地力之测定》一文,对第一次全国性肥料试验作了总结,指出氮、磷、钾的需要程度依次为80%、40%及10%,氮素养分在各省均极缺乏,磷肥在长江流域及长江以南缺乏,钾素则均较丰富。以后,于60年代研究清楚石灰性土壤磷肥肥效规律,70~80年代已基本掌握钾肥与微量元素的肥效规律,80~90年代对复肥及多种肥料元素的配合施肥进行研究,

并进而研究推荐施肥及平衡施肥。中国肥效演变过程的本质,在于随着肥料工业的日益壮大,施肥结构与施肥数量的变化,造成营养元素间生态平衡的更替,导致不同地区不同时期有不同的营养元素成为限制因子。化肥施用技术研究推动了化肥工业的发展,中国化肥工业的生产规模已居世界第三位。化肥工业的发展也导致肥料结构的变化。从50年代开始,中国政府就将有机、无机肥料结合施用作为农业施肥的长期方针,并组织农业科技人员对有机肥料的营养作用、改土机制进行了重点研究。同时,全国各高等院校、中国科学院和中国农业科学院所属有关研究机构进行了一系列科学试验,承担了农业化学基础理论研究,取得了一系列重大成果,为中国农业化学的发展作出了重要贡献。

农业化学的基本内容

植物营养 农业化学的主要理论基础,主要研究植物生长过程中对养分的吸收、运输及其在新陈代谢中的作用。高等植物必需的营养元素,按其在植物体内含量大小可分为大(常)量元素和微量元素两大类。属于大量元素的有碳、氢、氧、氮、磷、钾、钙、镁、硫,微量元素为铁、硼、锰、铜、钼、氯。对某些植物的生长为必需而不是所有植物为必需的则列为有益元素,如钠、硅、钴、硒、铝。有些元素在植物体内有一定含量,至今对其作用尚不完全清楚,而且通过食物链,当其含量较高时,对人体健康往往起不良影响,这类有毒害的元素有铅、镉、汞、镭;但含量较低时对某些植物或微生物有一定的生理作用,如镍对豆科作物。植物根系对养分的吸收,可分为被动吸收和主动吸收。被动吸收是沿电化学势梯度吸收,其过程不需直接提供代谢能;主动吸收是逆电化学势梯度进行的,必须消耗能量,其动力由植物细胞代谢提供。主动吸收的特点是细胞液内离子的浓度远高于环境中的浓度;从环境中吸收离子有选择性;随温度升高而增加其吸收速率,其温度系数(Q_{10})为2~3;必须有氧气供应,并受代谢抑制剂的抑制。对于主动吸收的机理,学术界一般同意质子泵ATP酶学说。质膜 H^+ -ATP酶主动从细胞质向外泵出 H^+ 产生质子动力,启动无机离子主动转入细胞膜内,根吸收的养分可以通过质外体和共质体途径输送到地上部分。质外体是植物体内相邻细胞原生质外围的细胞壁与细胞间隙相互连接而成的整体,使溶解在水中的养分沿根中柱方向运输,共质体是植物体内相邻细胞通过胞间联丝将各细胞的原生质相互连接而成的整体,养分可通过共质体途径运入根中柱。各种营养元素的生理功能可概括为:新细胞形成所必需的成分,如氮、磷、硫是蛋白质和膜结构的组分,氮、磷又是核酸的成分;为细胞内酶及一些重要化合物的组分,如细胞色素氧化酶中的铁,抗坏血酸氧化酶中的铜;作为酶的活化剂,如钾能活化60种以上的酶;具有调节功能,如钾在渗透调节及阴阳离子电性平衡中起着重要功能;参与叶绿素的形成过程,如氮、镁、铁都影响叶绿素的生物合成;参与能量代谢,含高能磷酸键的ATP在水解为ADP时,释放出贮存的能量,供各种代谢过程所需。

土壤养分 农业化学研究的重要内容,着重研究存在于土壤中的植物必需营养元素的含量、形态、转化及其有效性。土壤养分含量受成土母质、成土过程、生物气候条件及利用培肥方式的影响而不同。土壤中各种养分的含量范围一般为:氮0.2~4克/千克,磷0.2~1.5克/千克,钾0.4~30克/千克,硫0.3~0.9克/千克,铁0.2~100克/千克;硼1~270微克/克,铜1~50微克/克,锰20~3000微克/克,钼0.2~36微克/克,锌10~30微克/克。土壤养分全量远高于一年作物的需要量,中国土壤中氮、磷、钾全量分别相当于作物30~60年、60~90年及380~650年之消耗量。土壤的全量养分,在某种意义上可反映土壤对植物养分的供应潜力,而不是实际供应水平;但

土壤全量养分低至一定程度,植物常会感到供应不足。这是因为土壤中养分以不同形态存在,不同形态养分的有效性差别很大。土壤中养分的形态可分为四类:第一类为自由态(水溶态),是可以溶解在土壤水溶液中的离子,也称为水溶性养分,如 HN_4^+ 、 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 、 HPO_4^{2-} 、 H_2PO_4^- 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 等。第二类为弱结合态(弱吸附态和交换态)养分,是吸附于土壤颗粒表面,可进行离子交换的养分。通过离子的吸附及解吸等过程,与自由态养分处于平衡状态,这类养分称为交换态养分。水溶性养分与交换态养分均是即时有效的养分。第三类为易活化的结合态养分,称为易活化养分。其化学形态较为复杂,如易矿化氮、固定态铵,缓效钾即为易活化养分;至于磷的易活化养分是哪些化合物尚不清楚。一般认为易活化养分为中等有效性的养分。第四类为难活化的结合态养分,称为土壤贮备态养分,不能为作物根系即时吸收。在植物吸收的养分总量中来自土壤的比例十分可观,氮素达 40%~80%左右,水稻对土壤氮的依赖高于大麦、小麦等旱作;磷素则 60%~85%来源于土壤。土壤养分的生物有效性取决于两个条件:第一是养分必须处于可被根系吸收的化学形态;第二是养分必须到达根系表面。以土壤磷的供应能力为例,作为第一个条件,决定于强度因素、数量因素及缓冲能力的综合。强度因素(I)是指土壤溶液磷的浓度,数量因素(Q)是指处于与土壤溶液磷平衡状态的固相磷总贮备,缓冲能力即是两者的比值,即 Q/I 。缓冲能力大的土壤,在养分被根系吸收后,将有更多的养分转入溶液。对第二个条件,养分到达根系表面后被吸收的过程取决于截获、质流和扩散。截获是指根系伸展到养分所在的土壤部位与土粒接触而吸收,这种方式吸收的数量比较少。质流是土壤水分运动时,养分随溶液到达根表。扩散是当质流不能满足养分需要时,根表和土体之间形成浓度差,养分由高浓度区向低浓度区的迁移。土壤对植物供应的养分方式中,氮、钙、镁、硫以质流为主,磷、钾则以扩散为主。

肥料 用以调节植物与土壤间养分供需矛盾,为植物生长提供良好营养环境的物料。肥料一般分为直接肥料和间接肥料。直接肥料是含有植物必需的营养元素,对植物具有直接营养作用的一类肥料。直接肥料又可分为有机肥料与无机肥料(矿质肥料)两大类。有机肥料是来源于植物或动物,以提供植物养分为主要功能的含碳物料。有机肥料种类繁多,主要有牲畜粪尿、厩肥、堆肥、沼气发酵肥、人粪尿、蚕粪、禽粪、饼肥、绿肥、秸秆肥、城镇垃圾肥、泥杂肥和腐植酸类肥料等。有机肥料共同性质是:所含氮、磷等主要养分多数与有机碳化物相结合,需经过矿化或腐殖化才能对植物起营养作用;矿化和腐殖化是一个缓慢进行的过程,养分是逐渐释放的;含有的养分种类较多,不仅含有植物必需的营养元素,还含有氨基酸、磷脂、糖等简单的有机化合物,对植物也有营养作用;含碳多,对土壤有改良作用;所含养分浓度低于无机的商品肥料。无机肥料是标明养分量呈无机盐形式的肥料;但简单的有机化合物施入土壤后能迅速转化为无机盐形式的,如尿素等习惯上也列入无机肥料。无机肥料又可分为单质肥料、复混肥料及缓释肥料。单质肥料是供应一种植物必需的营养元素为主的肥料,如氮肥、磷肥、钾肥、各种微量元素肥料、钙肥、镁肥、硫肥、硅肥等。复混肥料是含有两种或两种以上营养元素的肥料。按其加工工艺可分为:在生产工艺中直接由化学反应生成的为复合肥料,一般为二元型肥料;在化成工艺中经配入不同养分的单质肥料则为配成肥料,大部分为三元型肥料;由几种单质肥料或单质肥料与复合肥料混合而成的称为混成肥料。混成肥料的养分比例可根据植物需要作调整。从 20 世纪 50 年代以来,复混肥料在无机肥料中的比重迅速增加,已经成为现代化肥的主流。缓释肥料是某种特有的化合物或物理状态,能在一段时间内为植物持续吸收利用的肥料,目前主要是氮肥,故又称缓释氮肥或长效氮肥。间接肥料系用以调节土壤酸碱度,改良土壤结构,改善土壤理化性质、生物化学性质或调节植物

生长发育为主要功效的肥料。如石灰、石膏、微生物肥料、植物生长调节剂等。无机肥料的共同特点是：营养成分单一化，具有标明量的养分种类（一般为1~3种），浓度大，体积小，不含有机质，有些还含有重金属等有害成分，长期偏施会导致土壤理化性质恶化，有些肥料还易受潮变质，因此无机肥料与有机肥料需合理配合使用。

施肥 将肥料施于土壤或植物，以提供养分、保持和提高土壤肥力的农业技术措施。施肥的基本原则要遵循轮作周期内或全年内各种作物的均衡增产，提高作物品质，用地与养地相结合以及讲究提高肥料的经济效益。确定施肥方案的主要内容有施肥种类、数量、时期和方法，是根据植物的营养特性、土壤性质、肥料特点及气候条件等因素来确定的。确定施肥量是施肥方案最基本的内容，传统的方法是根据土壤养分的常规测试求得土壤中养分的供应量，按作物目标产量计算出供需之差，除以肥料利用率，即得施肥量。这个方法简单，但准确性差。现代较重视肥料效应函数法，这是一种经过盆栽与田间试验求得产量与施肥量之间的肥料效应函数，然后按照其肥效类型与环境、农业技术条件及土壤、植物测试数据等进行数值分类，编制计算机推荐施肥信息系统；应用时输入必要的参数，计算机即输出推荐施肥方案。这种方法有严密的理论基础，但确定推荐施肥方案的依据中一部分是不可控因素，因此通常采用土壤与植物营养诊断技术，对推荐施肥方案进行生长期间的调整。

作物营养诊断 研究作物形态、生理、生化变化，以判断作物的营养状况，据以指导施肥的技术。作物产量形成与营养元素含量之间的关系，是营养诊断的出发点。作物体内养分含量，可以分为缺乏范围、适宜范围和毒害范围。缺乏范围是指营养元素含量达到临界浓度之前，作物产量随元素补给而上升的范围。适宜范围是养分含量超过临界水平后，作物产量不再随养分含量提高而上升，即作物积累的养分不起增产作用，故又称之为奢侈吸收。毒害范围是养分含量超过适宜范围，进入了过剩阶段，使作物生育受阻，产量下降，甚至死亡。营养诊断主要是指指出某种养分是缺乏或者过剩，即进行缺素诊断或过剩诊断。此外，对多元素平衡状况的综合诊断也很重视。营养元素的缺乏或过剩，会引起形态和生理生化状况的变化，因此相应形态学的诊断方法，包括外形诊断，叶色卡比色诊断，显微形态结构和超显微形态结构诊断；化学的诊断方法，包括植物组织速测诊断、叶分析诊断和土壤化学诊断；生物学的诊断方法，包括酶学诊断，室内培养和田间试验等；物理学的诊断方法，包括电子探针诊断及遥感技术诊断等，当今应用最多的是形态学诊断和化学诊断。

农业化学研究方法与技术 应用于农业化学科学研究的数学的、物理学的、化学的、地学的和生物学的各种方法和技术，是农业化学学科的重要组成部分，也是农业化学理论发展的前提条件。主要包括肥料试验技术、分析测试技术和同位素技术等方面。肥料试验技术主要有肥料盆栽试验与田间试验两类基本方法。盆栽试验又称培养试验，种类繁多，应用最广泛的有土培、水培和砂培，通常用于探索性研究与机理性研究；用于特殊目的的还有灭菌培养、分根培养、流动培养、耗竭试验、幼苗试验等。田间试验是肥料试验的主要方法，有单季试验与定位试验的分别。随着农业化学研究不断深入的需要，许多新的试验设计方法大规模应用于肥料试验，如混杂设计、正交设计和回归设计等。回归设计是现代肥料试验广为采用的多因素、多水平试验设计技术，可为多种肥料的合理配合及计算机推荐施肥提供最基本的参数，其特点是以尽可能少的处理组合数目的部分实施试验方案，取得统计性质较好的肥料效应函数的各项数据。这些新的试验方法，往往被大规模的肥料试验网所采用。分析测试技术主要包括土壤分析、植物分析和肥料分析三个方

面。土壤分析主要是土壤的基本农化特性分析。植物分析主要是以了解植物体内各种养分的分布与变化的植物养分含量分析,包括蛋白质、糖分、油分等各种品质分析,以及体内代谢过程中各类成分动态变化的生化分析。肥料分析是用以确定肥料中某一营养成分的总量及其有效养分的含量。许多常规农化测试项目的操作过程都已规范化。现代分析测试技术的任务,不仅要成分分析,而且要做状态、价态、结构、微粒、微区、薄层、纵深分析。近 30 多年来,仪器分析技术的发展极为迅速,不少仪器分析技术的灵敏度已高到能测定几十亿甚至几万亿分之一的超微量待测物试样,测试速度已进入以秒来计算。电子计算机与仪器分析的结合,则使分析操作、仪器控制和数据处理自动化。流动注射分析,使农化分析发生革命性的变化。色谱—质谱联用仪、核磁共振波谱仪、红外光谱仪等,应用于研究土壤有机质结构、土壤氮素转化、土壤中营养元素的结合状态,有机质和无机物质的结合等。探针—扫描电镜、激光光谱则应用于土壤原状微区和根土界面的元素分布。这些现代仪器分析技术,使农业化学研究获得了常规实验手段不能得到的成果。同位素示踪是以追踪个别原子的行为来研究物质运动和变化规律,是在分子水平甚至原子水平上的研究技术,具有灵敏度高、样品制备简单、测定方便,能区分植物吸收养分的来源,探明养分在土壤中的去向,能揭示其他方法不能揭示的农化规律。在农业化学研究中应用的主要方法,有放射性与稳定性同位素示踪技术、放射性自显影、同位素稀释分析和中子活化分析。液体闪烁测量技术不仅提高了对发射高能 β 射线的 ^{32}P 的探测效率,还解决了发射低能 β 射线的核素(如 ^{14}C 、 ^{39}S 和 ^{45}Ca)的测量。电镜放射性自显影,能探测细胞超微结构及生物大分子中的标记部位。固体闪烁仪和 γ 能谱仪,促进了示踪法和中子活化分析在土壤和植物微量营养中的应用,对某些微量元素和分析灵敏度甚至超过原子吸收光谱。双标记或多标记技术,能对植物养分代谢、转化进行深入的研究,并了解养分间的相互作用。双束质谱仪,能准确测量 0.002 原子百分超的 ^{15}N 。杜马燃烧放电管的制作,能用光谱仪检测仪 0.2 微克 N 的微量样品的 ^{15}N 丰度,对深入研究土壤中氮素转化和植物体内氮素代谢极为有利。同位素技术经过 70 年的发展,各项技术渐趋成熟,已成为农业化学的常规技术,主要在以下领域得到广泛应用:养分的定量评价(土壤肥力评价、土壤可交换养分和对植物有效性的测定、肥料残效、肥料有效性和田间生物固氮测定等);追踪植物对养分的吸收、运转、分配、代谢过程,施入土壤中肥料养分的运行,土壤中养分的移动和转化等;研究根系在土壤中分布及其活力等。进入到高水平的农业化学研究,大多将肥料试验技术、仪器分析和同位素示踪技术结合应用。

农业化学的发展趋势

1984 年联合国教科文组织指出:当前科研工作的两大特点,一是各门学科的数学化,二是生物学的飞跃发展,并预言 21 世纪将是生物学世纪。现代农业化学同样受这两大特点的影响,而且在一些最活跃的领域中,例如植物营养遗传学中,数学化与分子生物学相结合的趋势十分明显。现就以下两个领域做简单介绍:

植物营养遗传学 鉴于能源及化肥生产成本不断增长,肥料利用率低,对环境的污染更趋严重;另一方面对逆境土壤的改良措施没有取得令人瞩目的成效。因此对选育耐养分胁迫及耐逆境土壤的优良品种日益受到重视。这种趋向是建立在植物营养与遗传分析结合研究取得重要成果基础之上的。例如大豆在石灰性土壤和低有效铁的合成营养介质中,不同品系的缺铁褪绿症状有很大差异,而且杂种二代按 3:1 比率分离,说明缺铁褪绿症状受一对等位基因控制。50 年代证明

不同大豆品系的缺铁褪绿症状的差异,决定于根系对铁的利用能力。从 50 年代至 90 年代,许多植物营养学家对植物营养基因型差异及其可能的生理机制进行了广泛的研究,涉及的范围遍及根系从环境吸收养分的形态特征,根系生理活动,根系与微生物的相互作用,离子吸收的生理机制;养分从根到木质部的移动;养分在地上部分的分布与再利用;养分在植物代谢和生长中的利用;植物的代谢和能量水平等,并且对不同营养基因型的筛选和选择技术进行了一系列探讨。

80 年代末以来,出现了用分子遗传学方法对控制植物营养特性基因的定位研究,深入探讨植物营养特性的遗传背景,为营养育种奠定了理论基础。这种深入研究的技术背景,是限制性片段长度多态性 RFLP 技术的日趋成熟。这方面已取得成果的报道较早的有番茄果实营养成分 (Parteson A. H. et al., 1988),水分利用能力 (Martin B. J. et al., 1989),玉米磷素吸收 (Reiter, R. S. et al., 1991),并对作物抗盐、抗碱、抗旱、氮磷吸收力及利用率,耐铁、铝、硼毒害,耐缺锌等营养性状的遗传背景研究在全面展开。

关于水稻氮素营养遗传特性的研究,始于 1991 年。这是第一版 RFLP 水稻连锁遗传图发表 (McCouch S. P. et al., 1988) 以来,又一次发表高密度的水稻 RFLP 遗传图 (1991) 后,为研究复杂的多基因控制性状的遗传背景提供了可能性,于是氮素营养特性的遗传背景研究迅速开展。其理论依据及研究方法,是选择吸氮参数相差很大的两个纯系亲本,杂交后培养不同世代的遗传群体,这些不同基因型之间核 DNA 碱基序列存在差异,选用多种识别序列的限制性内切酶切割 DNA,使之出现一定多态性的 DNA 片段,用分子标记的 DNA 探针进行分子杂交,取得 RFLP 分析资料;同时,对亲本杂种一代及其后代作营养特性的生理生化诊断,被认为可靠的主要诊断项目有:氮素收获指数、氮素农学利用率、氮素生理利用率、氮素利用指数、氮素吸收率等。然后对 RFLP 资料及生理生化诊断指标应用分子遗传统计程序,确定控制营养性状在染色体上的点位及其对性状的贡献。常用的统计程序有区间分析法,对性状和标记之间做线性分析;用最大拟然函数比率判定法则,建立相应的显著性检验水平。它不仅可以对标记的点位进行分析,同时也对标记之间的染色体进行分析;适应于各种杂交后代的专用程序包 MAPQTL 做基因定位。在 DNA 水平上的遗传诊断不受环境影响,也不受生育期影响,而且一旦确诊控制某一营养性状的 DNA 内切酶片段后,对遗传群体的选择无需再依赖表型参数和生理指标测定与特性的试验条件。这就是以 DNA 遗传诊断为基础的选择技术,在遗传育种领域里受到高度重视,并被认为是将在育种技术革命中起关键作用。

植物营养遗传学将植物营养生理、生物技术与统计数学紧密结合在一起,不仅充分体现了学科交叉,并且将植物营养遗传学的水平,由不同基因型营养特性差异的比较提高到分子生物学水平,在理论上为选育耐营养胁迫和耐逆境土壤的良种提出了可能,使植物营养遗传学的研究在理论和应用方面都取得重大进展。

植物根际营养研究 根际是指受根系生命活动的影响,物理、化学和生物特性不同于原土体的根周围微区。微区内物质转化、流通和动力学过程较原土体活跃,对植物养分、水分的吸收利用,有益和有害微生物的活动以及耐逆境土壤的调节反应影响较大,从而对植物生长发育有重要作用。因此对根际环境的研究,成为当代植物营养科学的热点之一。

根际微区是土壤—根系—微生物相互作用的产物。根冠细胞的高尔基体向外分泌粘液,与脱落组织降解物混合,在土壤之间形成粘液层,其直径可达根直径的一倍。粘液中存在着数量不等的微生物,在根毛尖端一些菌根菌的菌丝穿入根毛组织。由于植物种类和土壤条件不同,粘液组

成成分千差万别,优势微生物种群随之不同,在一定程度上反映出植物的遗传特性。

在土壤含水量较低时,距根 5 毫米的根际土壤中出现水分亏缺,从而增加水分向根表的流速,促进了养分向根运输的质流过程。但水分亏缺过多时粘液层收缩,减少与土粒的接触,也可能降低根际内养分的溶解和运输。根对土壤的压力使土壤容重增加,减少气体中含氧量。

根际的 H^+ 浓度与原土体有明显区别。养分的状态会诱导根际 pH 值的变化。单施铵态氮引起 pH 值的下降,单施硝态氮则 pH 值上升。当铵态氮与硝态氮共存时,根系优先吸收铵态氮,后吸收硝态氮,根际出现 pH 值先下降后上升的过程。缺磷会诱导根分泌有机酸使根际酸化,土壤难溶性磷部分溶解。缺铁诱导双子叶植物和大部分单子叶植物大量分泌 H^+ ,促进还原酶活性,从而使高铁还原而被吸收。对禾谷类作物则分泌由氨基酸组成的高铁载体与高铁络合,从而增加吸收铁。根际效应 pH 变化,因作物种类和品种而异,也是受遗传因素控制的。旱作根际微区内由于根系与微生物活动吸收氧、释放二氧化碳,以及脱落组织降解耗氧等原因,使氧化还原电位 Eh 低于原土体。水稻拔节前,在淹水条件下具有从地上部向根输送氧的适应性,根际 Eh 高于原土体;但拔节后输氧通道受阻,加之嫌气性根际细菌滋生,Eh 下降。Eh 的改变,可影响养分的价态与有效性。

根际有效养分常出现亏缺或累积。有效氮在离根 1 毫米距离,亏缺率可达 40%~70%,距根愈远,亏缺率愈小,呈指数曲线变化。但旱作在距根 0~2 毫米内有效氮的亏缺率小于 2 毫米之外,原因是根分泌物中含氮及根毛脱落组织降解所致;但水稻的根分泌物和脱落组织都少,故近根区域的相对累积现象不明显。磷在土壤中移动甚小,亏缺现象限于离根 1 毫米左右范围内。钾的亏缺发生在 8~10 毫米内。土壤溶液中浓度较大的离子,如 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等通过质流过程在根际常有累积现象。

根际土壤中有机碳比原土体高得多。其来源是根分泌物、根脱落组织、微生物的迭代更新。根分泌物中含有糖、氨基酸、有机酸、维生素、激素等,甚至还有大分子的碳水化合物、肽和蛋白质,包括根组织脱落物在内,其数量往往可达光合产物的 30%左右。微生物残体中粘肽和结构蛋白与根分泌物混合,是氨基糖和有机氮的重要来源。根际的有机物质较易降解和矿化,是植物氮素营养的一个重要贮藏库。

根际微区内微生物数量(R)较原土体数量(S)大得多。微生物的根际效应常用 R/S 表示。细菌的 R/S 常在 5~20 之间,有的超过 100。真菌的测定技术较难,但也有测得小麦和甜菜的 R/S 分别为 10 和 19。根际细菌只覆盖根表面积的 7%~15%,主要分布在靠根密度较大的粘液中、根分泌物较多的表皮细胞间裂隙处及根毛的尖端和基部,随根分泌物的数量和成分而异。有些微生物增加吸氧量,降低根际土壤 Eh 值,增加某些难溶性养分的溶解度。有些微生物可产生激素,有固氮、溶磷作用,促进养分有效化;但也有有害的微生物,如土传病原菌、反硝化细菌等。根—微生物之间存在一定程度的专一性,不同植物根际有特定菌种的趋向性,显然因植物和微生物遗传性及土壤理化性质而异。根际微区营养特性的研究,深化了植物土壤间养分供给机理的认识。

生物学飞跃发展的核心内容是分子遗传学。不仅微生物学与分子遗传学关系密切,现代的植物生理学也与分子生物学紧密结合,在不少领域中已进展到生理生化现象的遗传背景研究。农业化学经历了一个半世纪的发展历程,其发展速度却远不如遗传学,但近年出现了用分子遗传学理论与方法研究植物营养性状的可喜现象。这是顺应当代生命科学大趋势的,可以预计这将推动农业化学取得重大突破。

目 录

前 言	1
凡 例	3
农业化学	1
条目分类目录	1
附:彩图目录	8
正 文	1~523
附:农业化学名词英汉对照	524
索 引	533
条目汉字笔画索引	533
条目外文索引	538
内容索引	544