

全国高等农业院校教材

植物营养与肥料

浙江农业大学 主编

农学 园艺 茶叶 蚕桑等专业用

农业出版社

全国高等农业院校教材

植物营养与肥料

浙江农业大学主编

农学 园艺 茶叶 蚕桑等专业用

农业出版社

Q945.1

6.16

全国高等农业院校教材

植物营养与肥料

浙江农业大学主编

* * *

责任编辑 贺志清 罗梅健

农业出版社出版（北京市朝阳区农展馆北路2号）
新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

787×1092mm16开本 18.5印张 395千字
1991年10月第1版 1991年10月北京第1次印刷

印数 1—14,000册 定价 4.80 元

ISBN 7-109-01742-7/S·1148

主 编 孙 羲 (浙江农业大学)
副主编 郭鹏程 (沈阳农业大学)
编写者 陶勤南 (浙江农业大学)
王方维 (沈阳农业大学)
张耀栋 (南京农业大学)
黎秀彬 (华南农业大学)

前 言

本书是在农业部领导下，将1980年出版的《农业化学》教材重新修订。目前教学学时减少，必须要精简内容。为了避免与土壤学重复，将土壤学大部分内容删去，其他内容也作了适当精简。由于土壤部分删去较多，再用《农业化学》名称认为不甚合理，为此改名为《植物营养与肥料》。参加这本教材编写的有浙江农业大学、沈阳农业大学、南京农业大学和华南农业大学。于1986年在杭州召开修订教学大纲会议，拟定了教学大纲，分别寄往全国农业院校，广泛征求意见，然后拟定了教学大纲，分工编写。于1987年在上海宝山召开教材初稿讨论会，提出了很多宝贵意见，分别由作者修订。

全书除绪论外，共分十一章。第一章着重阐述植物营养与施肥原则，第二至第十章分别介绍各种营养元素的营养作用和肥料的成分、性质、施用和效果，第十一章阐明肥料效应函数与推荐施肥。最后附专业名词中英对照表。绪论、第一章和第八章由孙羲编写，第二、六、七章由郭鹏程编写，第三、四章由张耀栋编写，第五、九章由黎秀彬编写，第十章由王方维编写，第十一章由陶勤南编写。完成初稿后，又进行过一次修订。第三、四、五、十章由郭鹏程修订，第二、六、七、九章由张耀栋修订，金耀青参加了第十章修订，并重新誊清，最后由孙羲对全书作了修订。书末专业名词中英对照表由各章编者编写，其中第十章为郭鹏程编写。全书专业名词最后由孙羲汇总，并按照1988年出版的《土壤学名词》作了修订。由于各地气候、土壤、作物和肥料种类不同，采用这本教材可按各地区特点增减内容，如华北、西北地区的学校，可精简水生绿肥、部分栽培绿肥及沤肥，甚至镁肥和硫肥等。

由于作者学识有限，内容难免有误，热忱地希望老师和同学提出宝贵意见，以便再版时改正。

植物营养与肥料编写组

1988年12月30日于杭州

目 录

前言	
绪论	1
第一节 植物营养与肥料的基本任务	1
第二节 植物营养与肥料的发展概况	2
第三节 植物营养与肥料的研究方法	7
第一章 植物营养与施肥原则	9
第一节 植物的营养成分	9
第二节 植物对养分的吸收	10
第三节 影响植物吸收养分的外界环境条件	19
第四节 植物营养的遗传性	26
第五节 植物的营养特性	29
第六节 合理施肥的原则	35
第二章 植物的氮素营养与氮肥	42
第一节 氮的营养作用	42
第二节 氮肥的种类、性质和施用	53
第三节 氮肥的合理分配和施用	67
第三章 植物的磷素营养与磷肥	73
第一节 磷的营养作用	73
第二节 磷肥的种类、性质及施用	82
第三节 磷肥的合理分配和施用	93
第四章 植物的钾素营养与钾肥	101
第一节 钾的营养作用	101
第二节 钾肥的种类、性质和施用	112
第三节 钾肥的合理分配和使用	117
第五章 植物钙、镁、硫营养与钙、镁、硫肥	123
第一节 植物钙素营养与钙肥	123
第二节 植物镁素营养与镁肥	130
第三节 植物硫素营养与硫肥	134
第六章 植物的微量元素营养与微量元素肥料	142
第一节 微量元素的营养作用	142
第二节 土壤中微量元素的含量、形态和转化	149
第三节 作物缺少微量元素的症状和诊断方法	156
第四节 微量元素肥料的种类、性质和施用	161
第七章 复合肥料	169

第一节 复合肥料的意义及其发展动向	169
第二节 复合肥料的种类和施用	171
第三节 肥料的混合	175
第八章 有机肥料的营养作用与粪肥	179
第一节 有机肥料的营养作用	179
第二节 人粪尿	183
第三节 家畜粪尿	189
第四节 厩肥	192
第九章 绿肥	201
第一节 绿肥在农业生产中的作用	201
第二节 豆科植物—根瘤菌共生固氮作用	205
第三节 绿肥作物的种类和栽培要点	209
第四节 绿肥的利用	221
第十章 堆肥、沤肥及其他	230
第一节 堆肥	230
第二节 秸秆还田	235
第三节 沤肥	238
第四节 沼气池肥	241
第五节 泥炭与腐殖酸类肥料	245
第六节 饼肥	255
第十一章 肥料效应函数与推荐施肥	259
第一节 肥料反应曲线的一般规律及其数学模型	259
第二节 肥料效应函数的参数估计	263
第三节 边际分析	267
第四节 电子计算机推荐施肥	275
本书主要参考资料	280
专业名词中英对照表	281

绪 论

第一节 植物营养与肥料的基本任务

肥料在农业生产中的作用 肥料是提供植物必需营养元素或兼有改变土壤性质, 提高土壤肥力功能的物质。它是提高农业生产的物质基础之一。合理施用有机肥料和化学肥料, 对于提高单位面积产量和不断提高土壤肥力起着重要的作用。因为肥料的配合施用, 不仅能营养植物, 促进植物新陈代谢; 而且还能调节土壤反应, 改善土壤结构, 提高土壤肥力, 有利于作物生长发育, 故能不断地提高农业生产。据张夫道等^[1]调查我国 1949—1981 年的肥料结构, 通过电子计算机的分析表明, 我国肥料施用的总养分量, 其中 $N:P_2O_5:K_2O = 1:0.4-0.46:0.36-0.50$ 。以 1981 年为例, 其中有机肥包括绿肥提供的 N 、 P_2O_5 、 K_2O 分别为 35%、62% 和 92.5%, 其余的则由化肥供给。这就是我国过去的肥料结构。下表是我国化肥用量、谷物产量和人均粮食量的情况。

我国化肥用量、谷物产量与人均粮食量

年 份	人 口 (万)	粮 食 产 量 (万吨)	化 肥 用 量 ($N+P_2O_5+K_2O$) (万吨)	人 均 粮 食 量 (kg)
1949	54167	11320	—	209
1952	57482	16390	7.8	288
1957	64653	19505	37.3	306
1963	72538	19455	194.2	272
1973	91970	28450	536.9	309
1980	98255	32052	1269.4	327
1985	104689	37898	1322.2	365

注: 据中国农业年鉴及国家统计局资料。

上表指出, 在建国初期, 化肥用量少, 主要是有机肥料对粮食产量起到重要的作用, 随着时间的增长, 化肥用量逐渐增加, 施肥技术有所改进, 作物品种得到改良, 病虫害也得到防治, 这些对提高粮食产量都起到了一定的作用。

目的和任务 研究植物营养与肥料的目的是提高作物产量、品质和土壤肥力。因为合理施肥既可供植物养分, 促进作物生长发育, 有利于提高作物的产量和品质; 又能改善土壤结构, 提高土壤肥力。但是作物的生长、发育与它的外界环境条件是分不开的。因此施肥不仅要根据植物营养的原理和作物营养的特性, 而且还要考虑到外界环境条件, 如气候、土壤、水利、肥料、病虫害以及栽培等因素, 把它们结合起来当作一个整体, 应用现代科学技术来研究合理施肥的理论和技術, 以发挥肥料增产的最大效益。上表指出, 增施有机肥与化肥均能增产, 但化肥的增产效果更显著。

正是由于化肥增产显著,世界各国施用化肥大幅度增加,粮食产量随着提高。但是化肥大量使用,引起土壤污染。据大量大田试验证明,作物对氮肥的利用率只有50%左右,其余的50%左右被挥发、淋失掉,其中硝态氮在土壤中富集,污染水体。如用作饮料,影响人、畜健康。磷肥的主要原料是磷灰石,大多是氟磷灰石 $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2]$,当与酸结合,产生氟化氢,植物叶片对氟有强烈的富集作用,引起氟中毒症。在氟污染区,草食动物易患此症。在动物中蚕和蜜蜂最为敏感。当桑叶含氟量较多时,影响蚕丝的品质,严重时可使幼蚕致死。化学磷肥常含有镉(Cd),不仅污染土壤和植物,对人、畜也有很大的危害,易引起“骨痛病”等。

从上所述,可见化肥的使用确实能提高作物产量。但单纯大量使用化肥,易引起环境污染,影响人、畜健康,此外还要影响土壤肥力。根据我国土壤主要养分含量,耕地土壤普遍缺氮,约有1/3左右的耕地土壤缺磷,1/4左右耕地缺钾,作物需要量与土壤供应量相差悬殊。增施有机肥料,以有机肥料中磷、钾,补化肥磷、钾的不足,而且还可增加土壤中的有机质,提高土壤肥力,对改变我国目前化肥比例失调,是一项行之有效的增产措施。而且投资少、耗能低、效益高。总之,合理施肥要从农业生态的观点和经济效益、社会效益来考虑,这样才有利于大农业长期的全面发展。

第二节 植物营养与肥料的发展概况

肥料的发展 我国农业历史悠久,劳动人民在农业生产实践中积累了极其丰富的施肥经验。这些经验的长期积累,形成了我国农业特有的用地与养地相结合的优良传统,使几千年的土壤肥力保持不衰,这是世界农业史上罕见的成就。

早在西周时期(公元前11世纪至8世纪)《诗经·周颂·良耜》的诗篇中有:“以薅荼蓼,荼蓼朽止,黍稷茂止”的歌咏。说明那时人民已经认识到拔除田间杂草,烂朽后,有促进黍稷生长的效果。到汉朝的《礼记·月令》(公元前1世纪)中提出:“季夏之月……是月也,土润溽暑,大雨时行,烧薙行水,利以杂草,如以热汤,可以粪田畴,可以美土疆。”明确指出,利用夏季高温,促使杂草腐烂,提高土壤肥力。以上都是停留在利用天然绿肥的阶段。

至于人工栽培绿肥专供肥田之用,最早见于西晋(公元3世纪)郭义恭的《广志》。该文指出,水稻于秋冬收割后,播种苕子,于第二年春翻耕,作小米田的肥料,“可以美田”。到了北魏(公元6世纪),贾思勰著《齐民要术》中记载绿肥种植法和以豆科作物同禾本科作物轮作的方法比较详细,并提到:“凡美国之法,绿豆为上,小豆、胡麻次之。悉皆五、六月中穰种,七月八月犁稀杀之。为春谷田,则亩收十石,其美与蚕矢熟粪同”。关于绿肥轮作能提高土壤肥力,远在公元前2世纪,罗马也有这种制度。绿肥轮作制在东西方均有悠久的历史。

在施肥技术上分基肥与追肥,早在西汉的《汜胜之书》中(公元前1世纪)已有详细叙述。不论那种作物都强调施足基肥,然后再看情况补施追肥。在我国古代还有一种“浸种法”,是用牛、马、羊骨汁或蚕矢汁,煮成浆状,用来浸种,认为可以使幼苗健壮,好似近代的种肥。

堆肥的制作,最早见于《齐民要术》的《杂说》篇,称之为“踏粪法”:“凡人家秋收后,治粮场上所有穰、谷、穢等,并须收贮一处。每日布中脚下三寸厚,每平旦收聚堆积之,还依前布之,经宿即堆聚。计经冬,一具牛踏成三十车粪。至十二月正月之间,即载粪粪地……。”《杂说》是后人补入《齐民要术》的,估计在唐朝。

唐朝的韩鄂撰有《四时纂要》,其中记载使用基肥和种肥的作用,包括果蔬药材共计三十种以上。随唐宋以后,长江流域水稻的发展,反映在肥料使用上的经验更加丰富。南宋陈敷的《农书》(1149年)中提到制造火粪(即焦泥灰)的技术,堆肥发酵技术和沤池积肥等措施,并引证当时的农谚,把施肥比作“粪药”,说用粪犹如用药,强调施肥的重要性。还提出了土壤不是愈种愈瘠,而是可以常新壮的原则。这同西方所谓“地力递减律”成了鲜明对照。这是难能可贵的。到元朝,王祯《农书》“粪壤篇”,把肥料分成六大类: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。清朝杨岫又把肥料增至十类:人粪、畜粪、草粪、苗粪、火粪、泥粪、骨蛤灰粪、渣粪(菜籽饼、棉子饼)、黑豆粪(黑豆磨碎浇以粪尿密闭发酵,与泥土和拌而成)和皮毛粪。在施肥方法上又提出“时宜”、“土宜”和“物宜”。就是因时制宜、因地制宜、因物制宜,做到天尽其时,地尽其利,物尽其用,以获得最佳的生产效益。反映了中国古代农学对农业生产整体性的重视,也是宏观农业的理论渊源之一。

中国古代农业生产所用的肥料主要都是有机肥料,施肥的特点是用地与养地相结合,从而保证了农业生态系统的平衡。粮食产量几千年来不但没有下降,而且还有提高。下表是中国各朝代稻麦产量变化情况。

我国古代稻、麦产量变化情况
(余也非, 1980年)

朝	代	北 方 麦		南 方 水 稻	
		(市亩市石*) %		(市亩市石) %	
先	秦(公元前221至公元前206)	0.732	100	—	—
西	汉(公元前206至公元24)	0.804	109.8	0.536	100
魏、西晋	(220—316)	1.791	108.0	0.791	147.6
东晋、南朝	(420—589)	—	—	1.111	207.3
北	朝(386—589)	0.686	93.7	—	—
隋	唐(581—907)	0.757	102.9	1.136	211.9
宋	朝(960—1279)	0.694	94.8	1.387	258.8
元	朝(1291—1368)	0.964	131.7	1.927	359.5
明	清(1368—1911)	1.302	177.9	2.604	485.8

* 1市亩市石相当于75公斤/亩或1125kg/ha。

由此可见,我国劳动人民对于施肥有着丰富的经验,在施肥的理论和实践上都具有独特的创造。

在欧洲直到11世纪,法国和德国才开始施肥;英国到13世纪农田施肥还很不普遍。就这门科学历史发展来看,当时我国劳动人民创造最多,处于领先地位。

农业化学的建立 德国学者李比希(J. V. Liebig)于1840年发表在“化学在农业和植物生理学上应用”一书,强调矿物质的营养作用,并肯定提出:土壤中矿物质是一切

绿色植物唯一的养料，厩肥及其他有机肥料对于植物生长所起的作用，并不是由于其中所含的有机质，而是由于这些有机质在分解时所形成的矿物质。这种观点在当时即称为“植物矿物质营养学说”。李比希还指出，由于不断地栽培作物，土壤中矿物质势必引起损耗，如果不把作物由土壤中所摄取的那些矿物质归还给土壤，那么最后土壤变得十分瘠薄，甚至寸草不生。要想完全避免土壤这种损耗是不可能的，但是可以恢复土壤中损耗的物质，就是施用矿质肥料，使土壤的损耗与营养物质的归还之间保持着一定的平衡。李比希这一论断，在科学上称为“归还学说”。李比希在矿质营养学说和归还学说提出后，又创出“最小养分律”学说，即为在各生长因子中，如有一个生长因子含量最少，其他生长因子即或丰富，也难以提高作物产量。就是说，作物产量是受最小养分所支配。以上学说在发展植物营养与指导施肥都起了积极的作用，同时也促进了当时对化学肥料的兴起，这些对工农业生产都起到促进的效果。

法国学者布森高 (J. V. D. Boussingault, 1802—1887) 以田间试验结合化学分析研究轮作制中各个作物产量和成分的关系。试验结果指出，植物碳素来源于空气中二氧化碳。轮作中如有豆科植物，则收获物中的总氮量常常超出肥料中的氮素；轮作中豆科植物所占面积愈大，则超出氮量亦愈多。由此可见，在田间条件下栽培豆科植物能丰富土中氮素，转而供给后作利用。比如试验中三叶草收割后的小麦产量，就比马铃薯及块根类作物收获后的小麦产量高。虽然试验结果已经指出，豆科植物有固氮的能力，可是当时对于细菌学还没有正确的概念，一直到1866年德国学者赫锐格 (H. Hellriegel) 研究根瘤菌，才找到固氮作用的合理解释。布森高采用大田试验结合化学分析的方法，提出了氮素的营养效果以及氮肥在农业生产上的作用和栽培豆科绿肥作物，可提高后作产量的效果。

微量元素铁首先是撒希 (J. Sachs) 于1886年研究，证明它是高等植物生长发育必需的营养元素。其它的必需微量元素都是在1900年以后才发现的，情况列于下表：

微 量 元 素	发 现 年 份	作 者
铁	1860	J. Sachs
锰	1922	J. S. Welch
硼	1923	K. Warington
锌	1926	A. L. Sommer 和 C. B. Lipman
铜	1931	C. B. Lipman 和 G. Mackinney
钼	1938	D. I. Arnon 和 P. R. Stout
氯	1954	T. C. Broyer 等

苏联学者普良尼施尼柯夫 (Д. Н. Прянищников, 1865—1948)，根据生物与环境统一的观点，将土壤、肥料与植物三者联系起来，研究它们相互间的关系，进而以施肥来调节营养物质在植物体内和土壤内所起的作用，以改善植物生长发育的内在和外界条件，达到提高作物产量和品质的目的。首先研究植物体内氮的代谢以及氨态氮和硝态氮的营养作用，以后研究难溶性磷灰土在土壤中的变化规律指出，在酸性土中可使用这类肥料，借土壤中的酸来溶解，使其转变为植物可利用的形态；在非酸性土壤中，则可栽培吸收磷能力强的作物。如羽扇豆、荞麦、芥菜等。这些研究在指导农业生产上具有重大的意义。此外，他还很重视田间试验。在苏联各种土壤和气候条件下，广泛地布置了3000多个肥料田间试

验, 为检定苏联的土壤肥力和化肥的合理分配提供了很有价值的科学资料。

关于研究植物的必需营养元素, 1939年 Arnon 和 Stout 提出了高等植物必需营养元素三条标准:

1. 如缺少某种营养元素, 植物就不能完成其生活史;
2. 必需营养元素的功能不能由其他营养元素所能代替;
3. 必需营养元素直接参与植物代谢作用, 例如酶的组成成分或参与酶促反应。

根据以上三条原则, 确定了以下16种高等植物必需营养元素:

碳 (C)、氢 (H)、氧 (O)、氮 (N)、磷 (P)、钾 (K)、钙 (Ca)、镁 (Mg)、硫 (S)、铁 (Fe)、锰 (Mn)、锌 (Zn)、铜 (Cu)、钼 (Mo)、硼 (B)、氯 (Cl)。

由于生理、生化的进展, 应用它们的原理, 研究以上各种营养元素在植物体内的生理功能以及各种营养元素相互间的关系。采用化学或生物化学以及酶学诊断, 了解作物缺乏症作为施肥的诊断指标。此外, 还研究各种作物和蔬菜、果树、桑、茶等植物的营养和施肥, 以提高以上作物的产量和品质。

在植物养分的吸收理论方面, E. Epstein 应用酶动力学的原理, 把载体与离子的关系比作酶和底物的关系。根据米凯利斯-门滕 (Michaelis-Menten) 方程式, 求出酶促反应的速率 (v), 最大反应速率 (V) 和米氏常数 (K_m)。

$$v = \frac{V(S)}{K_m + (S)}$$

(S) 代表底物的浓度

$$\text{当 } v = \frac{1}{2}V \text{ 时, } K_m = (S)$$

K_m 值愈小, 表示酶对底物的亲和力愈大, 酶促反应速度愈快, 底物转变为产物也愈快。酶对底物有一定的专一性, 正如植物质膜上的载体对离子吸收也具有选择性一样。酶促反应的快慢正如植物吸收养分的快慢, 酶对底物亲和力愈大, 正如载体对养分亲和力高, 从而创出植物吸收养分的载体解说。例如大麦离体根于30℃吸收 K^+ 离子, 测定其 K_m 值为0.021mM, Na^+ 离子则为0.32mM。这表明大麦根对 K^+ 离子的亲和力远远大于 Na^+ 离子。如果 K^+ 、 Na^+ 离子同时存在, 则选择吸收 K^+ 离子。

植物吸收养分和运输养分均属基因型。凡是吸收养分速率快, 最大吸收率高, K_m 又很小, 说明这个品种吸收养分快而且多。例如大麦某品种吸收氯化钾中 K^+ 离子速率和最大速率均较高, K_m 值很小, 在等量氯化钾浓度条件下, 该品种吸收 K^+ 离子较其他大麦品种多, 就是说, 栽培该品种能提高钾肥的利用率, 从而提高化肥的效益。选用这种品种, 可减少钾肥用量, 达到省肥高产的目的。把植物营养与遗传学结合起来, 研究植物营养的遗传性。这项研究是新近开展起来的, 不仅有丰富的科学理论基础, 而且可选育优良品种, 因此发展很快, 大有可为。

我国植物营养与肥料学科的发展 研究植物营养最早的有罗宗洛先生 [3][4], 1925年研究溶液培养, 选用不同铵态氮和硝态氮培养水稻、小麦、燕麦等, 经选择吸收后测定培养液的 pH 值指出, NH_4Cl 、 $(NH_4)_2SO_4$ 、 NH_4NO_3 培养液转变为酸性, NH_4HCO_3 和 $NaNO_3$ 为碱性或微碱性, $(NH_4)_2HPO_4$ 几乎不变。接着研究玉米幼苗对 NH_4NO_3 的



北林图 A00005208

414771

吸收,在偏酸的培养液中,玉米苗吸收 NO_3^- 较多, NH_4^+ 的吸收量随着培养液酸性降低,碱性增加而增加。培养液中的 K^+ 能促进 NH_4^+ 及 NO_3^- 的吸收。低浓度的 Ca^{2+} 也能促进它们的吸收,高浓度则抑制。以后研究微量元素,用绿豆、玉米、油菜为材料,锰在 10^{-8} — 10^{-3}mol/L 浓度范围内,能促进发芽率和初期生长。锰(10^{-5}mol/L)还能使灭过菌的发芽小麦种子内糖化酶的活性,胚乳中淀粉、糊精的消失比对照快。锰还对水稻、小麦、玉米、烟草、油菜等作物花粉萌发及花粉管的伸长有促进作用。

在土壤肥力方面,张乃凤等^[5]在前中央农科所曾在14个省布置了156个三要素肥料试验,同时中国土壤研究所于天仁等^[6]曾分析我国主要土壤中有机质和有效磷钾含量,两者所得结果比较相似。中国农业科学院土肥所^①于1981年以后,在全国有关单位的协作下,形成了全国肥料试验网,完成了田间氮、磷、钾化肥试验达5000多个,长期定位肥料试验100多个,分布在23个省区,有的已达5年之久。此项研究已取得大量丰富的资料,为合理施肥,培养地力以及今后需要化肥的预测,提供了依据。中国土壤研究所^[7]研究全国(除台湾省外)土类有机质、氮、磷、钾和微量元素的含量、形态和分布,并制成中国土壤磷、钾和微量元素分布图。这些资料对我国土壤中养分状况,提供了可靠的依据,为我国化肥分配提供了有效的参考。此外还研究作物根际营养,并选用电子探针在玉米根—土微区研究营养元素的分布规律。在作物营养方面,浙江农业大学^[8]作了不少工作,特别是植物有机营养,采用灭菌培养,研究畜禽粪中各种糖分、氨基酸和RNA,水稻几乎都能吸收利用,其中有些营养成分如组氨酸、甘氨酸和RNA等都超过相应的无机养分。畜、禽粪中含有大量酶的活性,较土壤中酶的活性高几十倍甚至几百倍。施入土壤后,能提高土壤中酶的活性,有利于提高土壤肥力。在水稻施肥方面,中国水稻所提出“稻田以水带肥深施技术”(肥指尿素),可减少尿素的损失。因为土壤下层脲酶活性微弱,可减少尿素转变为氨挥发损失。土壤中磷和磷肥的施用主要集中在磷素供应和磷肥在土壤—植物系统中的吸收和转化固定上。在土壤钾的有效性的提取上,南京土壤研究所多年来采用阳离子交换树脂法提取,颇为方便。各种微量元素的营养诊断,以中国农科院油料作物研究所很早就发现甘蓝型油菜缺硼不实症,一般有效硼含量在0.4ppm以下就会发生,低于0.2ppm,严重缺硼。华中农业大学^[9]研究棉花缺硼症,当土壤有效硼低于0.2ppm就会产生“蕾而不花症”。以后进一步研究棉花潜在缺硼,一般在棉花现蕾前后,叶柄环带是棉花潜在缺硼的形态特征,可作为棉花潜在缺硼的田间诊断指标。中国油料作物研究所研究油菜氮、磷、钾经济施用量技术,于1980—1985年于湖北省油菜产区多点试验,证明养分合理配合使用,增产显著。

关于红萍固氮的研究,福建农科院获得人工萍—藻共生体的建立,为高效固氮红萍的育种,提供了新的手段。北京市土肥所研究联合固氮细菌及解磷双重性的研究成果,为改善氮磷状况提供了新的途径。南京土壤研究所和北京农业大学土化系进行菌根接种试验,可以提高植物生长量。

新技术已广泛应用,如放射性和稳定性同位素、液相色谱仪、氨基酸测定仪、原子吸收光谱仪以及电子探针等已应用在科学研究中。

^① 中国农业科学院土肥所化肥网组,我国肥料定位试验的初步结果,中国土壤学会第六次全国会员代表大会暨1987年学术年会, p. 4—5, 1987年。

综上所述,可见我国植物营养与肥料这方面的研究,在最近十几年中取得较大的成果。但是与世界先进水平相比,还有一定的差距。我国化肥用量少,又以单元肥料为主,养分含量除尿素和少数复合肥料外,都比较低。现在化肥向着高效化、复合化、流体化和专一化方向发展。液氮含氮量达82.3%,是最高浓度的氮肥;复合肥料发展很快,如聚磷酸铵、聚磷酸钾,很多品种已制成流体,其中混有微量元素或农药等施用。此外,喷灌、滴灌结合施肥,喷药已采用电子仪表,定时定量使用。不仅省工、省肥,而且可防止土壤盐渍化。蔬菜瓜果已推广塑料大棚栽培或塑料覆盖栽培,使用CO₂肥料,生长期短,产量高。做到施肥机械化,运肥(液体肥料)管道化,除草化学化,水、肥喷灌仪表化、工厂化。由于科学的发展,促进了工农业的发展。我们应该努力学习,为实现我国农业现代化作出贡献。

第三节 植物营养与肥料的研究方法

研究方法包括调查研究和试验研究两方面:

1. 调查研究 我国农业历史悠久,几千年来劳动人民在生产实践中积累和创造了极为丰富的生产经验,这些经验和创造是国家的宝贵财富,只有通过调查研究才能将这些宝贵的生产经验加以总结,加以理论分析,以利指导生产。如余也非研究祖国遗产^[2],查阅我国古代各个朝代粮食产量,折算成市亩、市石,北方以小麦为主,南方以水稻为主,提出了我国从先秦到明清小麦产量由每市亩平均由54.9 kg增至97.65 kg,增产42.75 kg,由西汉到明清水稻产量每市亩平均由40.2 kg增至193.3 kg,证明施用有机肥料,确能提高稻、麦产量,水稻产量又显著高于小麦。根据约2000年来作物的增产效果,说明施用有机肥料能提高土壤肥力,保持农业生态平衡。这些具体资料和总结都是通过调查研究总结出来的。所以调查研究是这门学科的一个重要方法。

2. 试验研究 试验研究包括田间试验、盆栽试验和化学分析,一般是结合起来进行的,亦即是生物的方法和化学的方法,必要时还可采用示踪原子相结合进行研究。

田间试验是研究土壤肥力和肥料效果最具体的方法。因为田间试验是符合生产实际,其结果可直接应用于生产。如果在轮作中进行肥料田间试验,其结果可为制订施肥制的有力依据。如果在全国或全省或全县各种主要土壤进行三要素、微量元素以及肥料品种的肥效试验,并且多年连续进行,其结果可为各种化学计划生产、分配、和使用提供科学依据。

盆栽试验是研究植物营养的重要方法,其种类很多,有土培法、砂培法、水培法以及灭菌培养等。土培法可研究各种土壤肥力以及不同肥料品种对作物的产量、品质的效果。砂培和水培是研究各种养分对于作物生长发育及其营养作用。微量元素和各种离子间的协助和拮抗作用,需要通过此项研究,才能得到比较明确的解答。研究植物基因型亦需选用水培法,而有机营养则须采取灭菌培养。

化学分析包括土壤分析、肥料分析和植物分析。要研究合理施肥,首先要了解土壤肥力,特别是潜在养分和有效养分、有机质含量和土壤反应等。肥料种类很多,有的已标明化学成分,有的未标明,特别是有机肥料,不仅需测定其中无机养分,有时还要测定其中有机组成。至于作物品质更需要测定才能了解。植物营养诊断,除形态诊断外,还有化学

诊断和营养生理诊断, 均需掌握化学分析技术。这些内容主要在实验课中进行。

根据以上研究方法, 可从事以下几方面的研究:

1. 植物营养 研究各种营养元素对作物、果、菜和桑、茶的营养作用和对产量、品质的影响。

2. 植物营养遗传性 植物吸收养分和运输养分均属基因型。应用相适应的营养液, 其中某一种养分采用不同的浓度, 研究对不同品种吸收该养分的净吸收速率和最大吸收速率以及 K_m 值。以不同养分浓度对植物吸收养分速率作图, 求出 K_m 值。根据以上数据, 选择各品种净吸收养分速率和最大速率以及 K_m 值小的品种, 并对照大田试验结果, 选出省肥高产品种。此外, 还可以选择耐酸、铝和盐碱的植物品种等。

3. 植物营养诊断 由于生产的发展, 耐肥品种的普及, 复种指数的提高等原因, 使土壤固有的营养元素消耗加速, 生产上常出现缺素症。还由于施肥不当, 造成离子间的拮抗, 引起缺素, 因此可采用形态诊断, 结合化学诊断或进行生化诊断, 加以说明。

4. 肥料试验 比较各种不同形态的化肥的肥效, 还可研究有机肥与化肥配合施用对作物的营养作用以及与产量、品质的关系。

由于植物营养和肥料与很多学科有密切关系, 如植物生理学、生物化学均与植物营养学科密切相关; 研究合理施肥又与土壤学、作物、果蔬、桑、茶栽培和生物统计学有关。研究植物营养的遗传性就与遗传学密切联系, 分析土壤养分含量和检定作物品质又与分析化学有关。因此须加强基础理论和有关现代科学技术学习, 为发展我国农业生产作出贡献。

参 考 资 料

- 〔1〕 张夫道等, 我国肥料结构现状及前景预测, 农业现代化, 57期, 1983年。
- 〔2〕 余也非, 中国古代粮食年均产考略, 重庆师范学院学报(3), 20, 1980年。
- 〔3〕 罗宗洛, 氢离子浓度对若干栽培植物幼苗生长的影响, 罗宗洛文集, 10—14页, 科学出版社, 1988年。
- 〔4〕 罗宗洛、黄宗甄, 硫酸锰、吡啶-3-乙酸和秋水仙碱对花粉萌发与花粉管生长的刺激作用, 罗宗洛文集, 245—260页, 科学出版社, 1988年。
- 〔5〕 张乃凤, 肥力的测定, 土壤季刊, 2: (1), 1941年。
- 〔6〕 于天仁等, 中国土地几种植物养分的初步研究, 土壤会志, 1: (2), 1950年。
- 〔7〕 中国科学院土壤研究所主编, 中国土壤, 第11, 12, 13, 14章, 科学出版社, 1980年。
- 〔8〕 孙羲、章永松、应启肇、唐才贤, 有机肥料在植物营养和提高土壤肥力的作用, 发表在 "Current Progress in Soil Research in People's Republic of China", 197—206, 1986。
- 〔9〕 皮利群、刘武定、王运华, 棉花蕾而不花和潜在性缺硼, 于孙羲主编土壤养分、植物营养与合理施肥——中国土壤学会农业化学专业会议论文选集, 170—179, 农业出版社, 1983年。

第一章 植物营养与施肥原则

植物营养是施肥的理论基础。合理施肥应按照植物营养的原理和作物营养特性，结合气候、土壤和栽培技术等因素综合考虑。也就是说，施肥要把作物内在的代谢作用和外界的环境条件结合起来，当作一个整体，运用现代科学，辩证地研究它们相互间的关系，从而找出合理施肥的理论及其技术措施，以便指导生产，发展生产。

第一节 植物的营养成分

植物的组成颇为复杂，一般新鲜植物含有75—95%的水分和5—25%的干物质。如果将水分蒸发，再以氧煅烧来处理干物质，可以证明组成植物的主要元素是C、H、O、N 4种。由于物质经煅烧后，留下一些不挥发的灰分。它的成分很复杂，包括P、K、Ca、Mg、S、Fe、Mn、Zn、Cu、Mo、B、Cl、Si、Na、Se、Al等。由于作物种类和品种的差别，以及气候条件、土壤肥力、栽培技术等不同，都要影响作物的成分。如盐土中生长的植物含有钠(Na)，海涂上的植物常含有碘(I)，酸性红壤上的植物含有铝(Al)。由于科学技术的进步，原子吸收光谱仪和显微化学的应用，还发现有几十种地壳中存在的化学元素，如钛(Ti)、钒(V)、钡(Ba)、铅(Pb)、汞(Hg)、金(Au)、银(Ag)、砷(As)、镭(Ra)、锗(Ge)、镍(Ni)、锶(Sr)、锆(Zr)、锡(Sn)、铷(Rb)、溴(Br)、氟(F)等。很可能植物体内还含有很多存在于地壳中的其他化学元素。

以上各种化学元素在各种植物体内含量不同，而且植物体内所含的这些元素不一定就

表 1—1 植物生活必需的营养元素

营 养 元 素	高 等 植 物	藻 类	真 菌	细 菌
N、P、S、K、Mg、Fe、Mn、Zn、Cu	+	+	+	+
Ca	+	+	±	±
B	+	±	-	-
Cl	+	+	-	±
Mo	+	+	+	±
Na	±	±	-	±
Se	±	-	-	-
Si	±	±	-	-
Co	-*	-	-	±
I	-	±	-	-
V	-	±	-	-

* 豆科植物在共生固氮作用时需要钴。

注：+，必需；±，部分植物必需；-，不必需。

该表未列入C、H、O。

是它生活所必需的。有些元素可能是偶然被植物吸收,甚至还能大量积累;反之,有些元素对于植物需要虽然极微,然而都是植物生长不可缺少的营养元素。根据 Arnon 与 Stout 提出高等植物必需营养元素的三条标准(见前言),确定了碳(C)、氢(H)、氧(O)、氮(N)、磷(P)、钾(K)、Ca(钙)、Mg(镁)、硫(S)、铁(Fe)、锰(Mn)、锌(Zn)、铜(Cu)、钼(Mo)、硼(B)、氯(Cl),共16种。但是高等植物和藻类、真菌、细菌还是有差别的。

表1-1所列的钠、硅、钴、硒是部分高等植物生活所必需的营养元素。比如钠仅是盐土植物盐生草(*Halogeton glomeratus*)和囊滨藜(*Atriplex vesicaria*)所必需。还有一些C₄植物也需要钠。在C₃植物中茺菁、甜菜、糖用甜菜和芹菜在有钠时生长较好,也可能需要钠。硅是水稻生活需要的元素,缺硅,水稻就不能正常生长。硅藻也需要硅。钴是豆科植物共生固氮时所必需的,如供给NH₄-N或NO₃-N作氮源,就不需要钴。硒是有毒元素,一般植物都不需要。只有黄芪(*Astragalus racemosus*)和黄芪属的其他品种,非但无毒,而且还可以在体内积累。这类植物称需硒植物。

虽然所有高等植物已确定需要上述的16种营养元素,但需要量之间差别很大,一般分为大量元素和微量元素。表1-2是高等植物必需的营养元素和比较适合的含量。

表 1-2 高等植物必需的营养元素及其较适合的浓度
(Stout, P.R.)⁽¹⁰⁾

营 养 元 素		植物可利用的形态	在 干 组 织 中 的 含 量	
			百 分 率 (%)	ppm
大 量 营 养 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
	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 营 养 元 素	氯(Cl)	Cl ⁻	0.01	100
	铁(Fe)	Fe ³⁺ , Fe ²⁺	0.01	100
	锰(Mn)	Mn ²⁺	0.005	50
	硼(B)	BO ₃ ³⁻ , B ₄ O ₇ ²⁻	0.002	20
	锌(Zn)	Zn ²⁺	0.002	20
	铜(Cu)	Cu ²⁺ , Cu ⁺	0.0006	6
	钼(Mo)	MoO ₄ ²⁻	0.00001	0.1

第二节 植物对养分的吸收

植物吸收养分是一个很复杂的过程,虽然有一些学说,但还有一些问题没有完全解决。

养分离子从土壤转入植物体内包括两个过程,即养分离子向根迁移和根对养分离子的吸收。现分别叙述之。