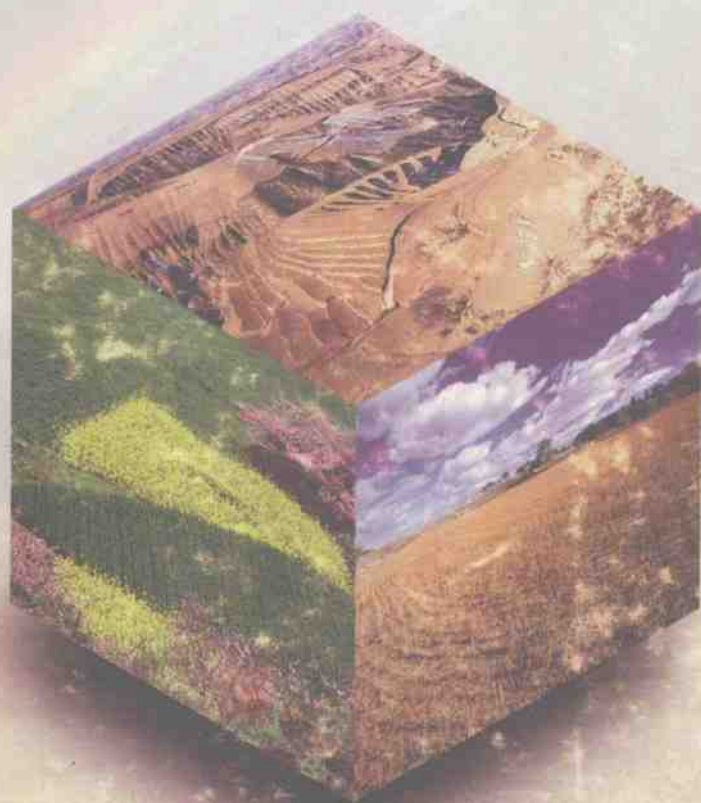


土壤-植物营养 研究文集

李生秀 主编



陕西科学技术出版社

土壤-植物营养研究文集

李生秀 主编

陕西科学技术出版社

土壤-植物营养研究文集

李生秀 主编

陕西科学技术出版社出版发行

(西安北大街 131 号)

新华书店经销 西北农业大学印刷厂印刷

787×1092 毫米 16 开本 50 印张 120 万字

1999 年 5 月第 1 版 1999 年 5 月第 1 次印刷

印数: 1—500

ISBN 7—5369—2990—0/S · 318

定 价: 140.00 元

前 言

农业是人类生活和生存的基础,因而也是各国国民经济的基础。农业的主要内容是栽培植物,通过栽培绿色植物生产人类所需要的食品和纤维,提供动物所需要的饲料。绿色植物的巨大功能在于能吸收土壤中的水分和养分,并且以叶片为工厂,利用太阳光能进行光合作用,生产人类必需的产品,并把太阳光能转变为化学能,贮存于产品之中。正由于这样,农业生产不同于工业生产,是一个增能过程的产业,而增能的主宰者就是绿色植物。绿色植物是生物,因而一时一刻也不能离开营养物质。“土能生万物”的核心就在于土壤能提供作物所需要的养分和水分。因此,农业和土壤、农业和植物营养从来就有不解之缘。没有土壤,没有营养物质,则农业生产只能是无米之炊,势难存在。

现代科学技术和工业发展有力地推动了农业生产:从1800年到现在,不到200年,世界上单位面积的粮食产量增长了4~6倍。这种高速大幅增产曾使人们惊叹不已。农业生产的高速度发展为满足人口增长的需要做出了重要贡献,但也带来了一些严重的不良后果:资源耗损,环境污染,生态条件恶化,使人类的生存和发展受到了严重威胁。面对这种形势,可持续发展作为一种思想,一种策略,一种宣言应运而生。“可持续发展”的概念问世后,就受到人们的极大关注。在可持续发展中,农业以其特有的地位而倍受重视,土壤-植物营养以其特有的作用而构成了农业持续发展的物质基础。过去的几十年中,不合理的营养物质供应,虽然大幅度地提高了作物产量,但也导致了营养物质的经济效益下降,加重了资源环境生态问题。要使农业持续发展,解决这些问题已迫在眉睫。

为了迎接这种挑战,中国土壤学会土壤-植物营养委员会,中国植物营养与肥料学会,中国植物生理学会植物营养生理专业委员会决定联合召开一次“农业持续发展中的土壤-植物营养问题”学术讨论会,并委托西北农业大学、甘肃土肥站、甘肃农科院土肥所、甘肃农业大学土化系筹办。经过两年多的准备,这一学术讨论会于1998年8月9日至8月11日在兰州召开,并于12日至17日组织与会代表考察了河西走廊、敦煌一带干旱、半干旱地区的农业。与会专家、学者在会上交流了近几年的研究成果,总结了研究中的经验和不足,指出了今后研究的问题和重点所在,也明确了土壤-植物营养在农业持续发展中的作用和地位。这本定名为《土壤-植物营养科学研究文集》就是这次会议的

结晶。从汇编的论文可以看出,过去几年中,我国土壤-植物营养科学又有了新的进展。这种进展表现在,一是研究范围拓宽。既重视大量元素,特别是三要素的作用,也重视中量和微量元素的作用;既重视粮食作物的营养管理与调控,也重视经济作物和特殊作物、树木的营养管理与调控。凡和植物营养有关者几乎都已涉足;二是研究内容深入。广大科学工作者既重视植物营养的宏观效果,也重视其微观机理,从生理生化、细胞、分子水平来揭示各种元素或各种措施效应的本质所在;三是新的学科和领域正在发展。值得注意的是,植物营养与环境学科正在交叉和融合,研究植物营养元素的环境效应已形成了热点;植物营养遗传的理论已逐渐为我国学者所掌握,并已开展了一些实质性的研究工作,虽然这种工作仅限于品种之间营养效益的比较;四是研究方法和手段日益先进,所取得的研究成果也日益接近国际水平。尤令我们感到高兴的是,所有的研究工作,不论是基础研究,还是应用基础研究,都紧紧围绕着农业持续发展这一主题。研究者自觉地与生产实践相结合的趋势反映了时代的呼声和要求。

研究难,为文难,成书出版更难。论文收集好后,我们即着手编辑,想在较短时间内使这本论文集问世。但当着手这一工作时,我们才发现并不那么简单:不少专家并未按约稿规则撰稿,文风不一,体例有异,单位极不规范,英文摘要又多文不达意。为了出好这一论文集,我们组织了十多位年青同志,其中博士有李世清、田霄鸿、周建斌、王林权、王朝辉,博士生有高亚军、曹翠玲、翟丙年、王俊儒、李菊梅、黄强,还有杜建军、郑险峰等同志,加班加点,历时五个多月,多次校改,才完成编稿工作。这些年轻同志的辛勤劳动是论文集顺利出版的保证。现在,这一论文集即将付梓,我们虽然感到轻快,但也感到不安和内疚。一是耽误了时间,二是书中一定还有不少错误。我们不敢文过饰非,诚心期待大家批评指正。

在本书出版之际,我们想借此机会,对国家自然科学基金委员会、中国土壤学会、中国植物生理学会、中国植物营养与肥料学会、中国农科院土壤肥料研究所、西北农业大学、西北农业大学研究生部、中国农业大学植物营养系、南京农业大学资环学院、西北农业大学总务处、西北农业大学资源与环境科学系、甘肃农业大学土化系、甘肃农科院、巴斯夫(BASF)中国有限公司、西安亚达化工有限公司、彬县岭秀复合肥厂等单位以及黄东迈、奚振邦、金继运、刘宗衡、何文寿、李隆、张建新等先生表示衷心的感谢!他们的资助为这次会议的圆满成功创造了有利条件。

李生秀

1999年4月30日

目 录

第一部分 土壤—植物营养研究的现状及展望

我国土壤—植物营养研究的进展、现状及展望	李生秀(1)
耕作土壤有机碳内循环中几个问题的商榷	黄东迈 王志明 朱培立(37)
平衡施肥科学体系的研究进展与今后展望	吕殿青(44)
旱塬地氮肥残效研究	金绍龄 王生录 武天云等(57)
钼肥研究进展	王运华 胡承孝 魏文学(63)
根际调控与农业可持续发展	马文奇 张福锁(72)
分子标记及其在植物营养遗传研究中的应用	徐芳森 王运华(82)
土壤、植物中硅与磷的相互关系	马同生(90)

第二部分 土壤养分

^{14}C 秸秆在石灰性和非石灰性土壤中的矿化特征	朱培立 余晓鹤 艾玉春等(94)
土层深度和作物种类对土壤微生物体氮的影响	李世清 李生秀(99)
北方地区土壤钾的地带性特征	黄绍文 金继运 王泽良(104)
旱地土壤不同土层可矿化氮、全氮、有机质及其与作物吸氮量的关系	杜建军 李生秀 高亚军等(110)
免、少耕对土壤肥力的影响	高亚军 黄东迈 朱培立等(118)
化学方法在研究土壤有效钼、硼上的应用	朱端卫 成瑞喜(128)
秸秆还田方式对土壤有效锰及稻麦锰营养的影响	刘学军 吕世华 张福锁等(132)
山东省土壤硼素有效性研究	高贤彪 张丽华 卢丽萍 杨 果(137)
不同植物物料在红壤中的分解及对土壤生物量碳的影响	陈家宙 万运帆 丘华昌等(142)
石灰性土壤中无机磷形态及过磷酸钙在土壤中的转化规律	郭晓冬(147)
水稻根际与非根际土壤磷的吸附与解吸研究	罗安程 Swbedi T B(153)
淹水和纤维素对两种水稻土不同土层固定态氮的影响	章永松 林咸永 罗安程(158)
北方地区一些土壤有效硫状况及硫肥肥效	杨俐苹 金继运 程明芳(163)
河北省耕层土壤养分现状评价及钾肥效果	邢 竹 郭建华 刘宗衡等(166)

碳酸钙对酸性土壤有效铁锰及作物生长的影响·····	成瑞喜 吴 峰 朱端卫等(170)
广东省坡耕地磷素含量及磷肥合理施用·····	罗 薇(175)
安徽省土壤硫的肥力状况及需硫前景分析·····	叶世娟 曹树钦 章 霁(179)
耕地土壤养分状况与施肥对策·····	黄兆强(185)
离子交换树脂法测定土壤和植物组织中的微量元素·····	刘兆辉 聂 燕 李晋杨(191)
山东旱地土壤培肥研究进展·····	石 岩 林 琪 位东斌(194)

第三部分 植物 营 养

氮钾用量对春玉米源库动态的影响·····	金继运 何 萍(199)
激素对苹果果肉质膜微囊 Ca^{2+} -ATP 酶活性与 Ca^{2+} 主动运输的影响 ·····	周 卫 何 萍(210)
苹果幼果钙素运转特性与调控研究·····	周 卫 林 葆 汪 洪等(218)
氮素形态对蔬菜生长和硝态氮累积的影响·····	王朝辉 田霄鸿 李生秀(223)
水培条件下几种矿质元素对莴笋幼苗生长发育的影响 ·····	田霄鸿 王朝辉 李生秀(228)
调节磷、钾营养与配合 ABT 对冬小麦和夏谷根系发育、养分吸收及产量的影响 ·····	周晓芬 刘宗衡(235)
玉米/花生间作对花生根系形态和根瘤生长的影响 ·····	左元梅 李晓林 张福锁等(241)
不同基因型油菜耐缺锰能力差异研究·····	方 正 吕世华 张福锁(247)
植物的磷营养与 Pi 传递系统 ·····	宋克敏(252)
间套作作物的氮素营养·····	李 隆 李晓林(259)
近等基因型抗旱性小麦氮素营养遗传性状的研究——小麦拔节期功能叶保水力 ·····	樊小林 李玉坤 何文勤等(268)
过氧化物酶和过氧化氢酶活性与菜豆铁营养·····	邹春琴 张福锁 毛达如(277)
对缺硼反应不同的油菜品种养分吸收动力学研究·····	曹享云 宋世文 刘武定等(282)
北京地区夏玉米氮肥效益的品种间差异·····	刘建安 米国华 张福锁(287)
盐分胁迫下 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 提高小麦种子萌发研究初报 ·····	张士功 高吉寅 宋景芝等(292)
水杨酸和阿斯匹林对小麦萌发过程中盐害的缓解作用 ·····	张士功 高吉寅 宋景芝等(299)
氮锌相互作用的初步研究·····	张崇玉 李生秀(305)
春玉米叶片衰老的可能机理探讨·····	何 萍 金继运 林 葆(311)
植物谷氨酰胺合成酶同功酶的构成及其调节·····	王学奎 李合生 刘武定(318)
硼对不同作物体内几种酶活性和内源激素的影响 ·····	熊双莲 吴礼树 何青芳 王运华(324)
我国硅素营养的研究与应用现状·····	李春花 褚天铎 刘新保等(329)
种子含锰量对不同基因型小麦缺锰的影响·····	吕世华 罗 秦 张福锁(334)

不同施磷量对 VA 菌根真菌接种效应的影响 贺学礼 李生秀 宋世德(338)
影响缺铁植物 Fe(Ⅱ)还原力机理的研究进展

I、影响因素及 Fe(Ⅱ)还原力的结构与生理基础

..... 许良政 李春俭 张福锁(344)

影响缺铁植物 Fe(Ⅱ)还原力机理的研究进展

I、调节 Fe(Ⅱ)还原力变化的物质与机理 许良政 李春俭 张福锁(348)

油菜多种形式酯酶研究 禹邦超 刘德立(354)

植物热激应答酶的诱导机理和功能 刘德立 禹邦超(355)

广东大豆地方种质磷效率特性研究 童学军 严小龙 卢永根(356)

KH₂PO₄ 对烟株抗旱性影响的研究 周冀衡 汪邓氏 朱显灵等(357)

钾对烟草抗旱性影响的生理研究 周冀衡 汪邓氏 朱显灵等(363)

不同 AM 真菌菌种对植物耐盐性的影响 冯 固 白灯沙 杨茂林等(371)

不同种植方式下菌丝桥的形成及对磷的传递 艾为党 张俊玲 李 隆等(376)

小麦 NPK 营养效率的基因型差异研究

——几项差异评价指标的总变异及其相关分析

..... 何文寿 陈素生 储燕宁等(385)

NaCl 胁迫对甘薯叶片水分代谢及光合速率的影响 柯玉琴 潘廷国 伍迪明(391)

NaCl 胁迫下甘薯苗期生长及 POD 和 IAA 氧化酶活性的变化

..... 潘廷国 柯玉琴 戴黎明(392)

果树缺铁诊断及其矫治技术的研究进展 尚浩博 赵伯善(394)

红苹果 2 号液肥改善果实品质的作用机理 赵丽英 赵伯善(400)

苹果果实花青苷的合成及其影响因素 赵丽英 赵伯善(406)

小麦氮效率基因型差异评价 汤 利 张福锁 米国华(413)

土壤微生物量氮及其在土壤氮素循环转化中的作用 郭李萍 张福锁 毛达如(419)

无菌条件下 VA 菌根真菌孢子的发芽 毕银丽 李晓林 汪洪钢(424)

不同磷营养下玉米对水分胁迫的反应 张树兰 同延安 张福锁(428)

养分元素供应失调与植物解剖结构的关系 汪 洪 褚天铎 周 卫(433)

土壤水势和温度与作物延伸生长的关系研究 王国栋 张一平(440)

甘蓝型油菜不同基因型磷吸收与分配的差异 刘 慧 刘景福 刘武定等(445)

豆科植物根瘤菌基因多样性研究进展 向述荣 时永杰(448)

缺硼对豌豆根、幼叶组织细胞膜透性的影响 张毅功 李春俭 张福锁等(453)

果树钙素营养与氮素营养的关系 吴中军 夏晶晖(460)

低温和氮形态与冬小麦钼营养关系的初步研究 魏文学 谭启玲 段明元等(464)

木本固氮植物氮元素的迁移与再利用(研究简报) 杨恩河 何兴元(469)

酸胁迫对林木幼苗内源多胺和 H⁺-ATPase 活性的影响

..... 李如铁 沈惠娟 李梅枝(471)

“种子植株——愈伤组织——再生植株”系统在水稻耐盐性研究中的应用

..... 郑少玲 成 静 严小龙(476)

冬小麦硅素效应的研究.....	刘树堂 邱忠祥 刘永菁(483)
烤烟硫素营养研究初报.....	张晓海 夏振远 殷 端 李金塔(490)
水稻叶色与叶绿素计读数的相关性研究.....	吴良欢 陶勤南(497)
光、钙及钙螯合剂 EGTA 对小麦幼苗硝态氮吸收及其代谢的影响(简报)	
.....	李合生 段远霖 伍素辉等(503)
接种菌根菌和施肥对西瓜营养状况的影响.....	李 敏 孟祥霞 刘培利等(506)
香草兰的钙素营养与钙肥施用.....	唐树梅 林 电 张少若等(511)

第四部分 肥料与合理施肥

利用水面分子膜减少水稻田氮挥发损失.....	尹 斌 沈仁芳 朱兆良(517)
回归饱和 D-最优设计值得商榷.....	肖俊璋 何莲英(521)
土壤性质空间变异与田间试验设计及统计分析研究进展	
.....	周建斌 李生秀(525)
奶牛粪和鸡粪中维生素 B ₁ 和 B ₂	王林权 周春菊 李生秀等(532)
耗竭条件下水稻对钾的吸收及其对钾肥的反应.....	杨振明 鲍士旦 史瑞和(537)
硼对甘蓝型油菜不同品种氮磷钾吸收和分配的影响	
.....	耿明建 曹享云 朱端卫等(545)
水肥交互作用对玉米生长影响研究(初报).....	赵炳梓 徐富安 周刘宗(551)
水稻秸秆肥料 ¹⁵ N 均匀标记法研究	吴良欢 陶勤南(558)
冬小麦夏玉米对锰锌的吸收与锰锌肥配合施用.....	张国印 赵同科 孙祖琰(563)
河西走廊灌漠土啤酒花缺锌的临界指标与磷锌关系的研究.....	雷耀湖 李增凤(569)
施肥对提高旱地农田水分利用效率的机理.....	张仁陟 李小刚 胡恒觉(574)
鄂南棕红壤旱地施用磷矿粉的经济效益与土壤改良	
.....	胡红青 徐凤琳 李学垣等(579)
陇中旱地土壤培肥增产技术研究.....	兰晓泉(584)
克百威包膜肥料的研究.....	周祖澄 王洪玉 刘伊玲等(589)
甘肃河西平川灌区不同前作和不同肥力土壤上的肥料效应研究	
.....	郭天文 惠学英 包兴国等(595)
杜仲氮磷肥配施效应研究.....	陈竹君 唐德瑞 李群学等(602)
开封沙区潮湿锥形土培肥技术系统及其效果研究.....	武继承 王秋杰 孔祥旋等(607)
黑垆土有机无机肥培肥效果.....	周广业 丁宁平 王宏凯等(613)
陇东旱作黑垆土秸秆覆盖保墒增产效果研究.....	周广业 丁宁平 王宏凯等(619)
陇东旱塬作物施肥与土壤培肥试验研究.....	王生录 武天云 邓娟珍(625)
施肥水平对植株长势及烟叶质量的影响.....	晋 艳 杨宇虹 邓云龙等(630)
土壤不同养分因子对烟株生长及烟叶品质和产量的影响研究	
.....	杨宇虹 冯柱安 吴子云(636)
寿光蔬菜生产与施肥现状的研究.....	李俊良 张福锁 李晓林等(641)
有机肥对盐化土生物性状、盐分含量的影响	张 锐 严慧竣 魏由庆等(647)

有机肥对作物产量和改良盐碱地的作用·····	李朝刚 杨虎德 王淑荣等(651)
CPA 复合钾素活化剂在烟草生产中的应用 ·····	艾绶龙 韦成才 尉庆丰(654)
叶绿康球肥的供铁机理及其施用效果研究·····	尚浩博 翟丙年 许安民等(657)
皖北砂姜黑土区小麦磷锌配施效应·····	李录久 殷 雄 陈 勇(664)
施肥对土壤腐殖质及物理性状的影响·····	姚源喜 崔德杰 杨延蕃(669)
冬小麦土壤植株测试推荐氮肥施用技术研究·····	赵同科 张国印 曹云者等(674)
施肥对尾叶桉生长及植物营养效应的研究·····	林书蓉 李淑仪 廖观荣等(680)
宁南旱地冬小麦的肥水效应及施肥效果·····	孙 权(685)
高产优质高效冬小麦优化配方施肥模式研究·····	武雪萍 张乃明(688)
小麦—玉米轮作配方施肥研究·····	朱洪勋 张 翔 孙春河(693)
不同水肥条件下喷施黄腐酸对盆栽小麦生长的影响 ·····	王旭东 李全新 胡定宇(497)
施肥对间套复合群体根系生态位的调控研究·····	张恩和 胡恒觉 张福锁(702)
氮肥对月季生长、开花及营养吸收的影响 ·····	赵林萍 荣向农 周文珍(707)
长期施肥对土壤和农产品中重金属含量的影响·····	韩晓日 李文学 邹德乙等(711)
水稻每公顷年产 18 吨配套施肥技术研究 ·····	罗莲香 袁彩庭 卢普相等(716)
蔬菜测土配方施肥技术·····	程季珍 任继海(721)
河西灌区的有机无机肥料配合施用·····	包兴国(729)
绿洲潮土中有效锌含量特征及锌肥肥效的研究·····	芦满济 祁国元(734)
尿素为氮源的缓释肥中氮素转化速率研究·····	孙小凤(739)
水田地温与氮肥施用·····	陈智文 杨铁成 李晓青(743)
土壤盐分对土壤植物锌营养和施锌效果的影响·····	芦满济 祁国元 杨思存(746)
富硅微量元素肥料施用效应研究·····	柯玉诗 张壮塔 黄小红等(753)
碱性盐土施用磷矿粉技术研究初报·····	廖宗文 肖雄师 邓智心等(759)
钾与锌钼配施对红薯生产的影响·····	鲁剑巍 陈 防 万远帆等(763)
蔬丰 97 叶肥对提高菠菜产量及改善品质的作用效果 ·····	翟丙年 尚浩博 杨岩荣等(770)
油菜追肥增效剂对旱地油菜植物学性状和产量构成因素的影响 ·····	翟丙年 杨岩琴 郑险峰等(774)
粤西刚果 12 号桉树喷施中微肥的效果研究 ·····	李淑仪 廖新荣 蓝佩玲等(779)
植物生长物质对水稻分蘖的影响·····	吴连喜 侯 敏(784)
河西灌区施肥对高油玉米品质及产量影响的研究·····	彭治云 曾爱国(787)
深翻与有机物料深施的改土培肥效应·····	彭治云 吕祥生 陈志叶(791)
小麦玉米施用磁性肥料的效应初报·····	刘继芳 魏由庆 严慧峻等(796)
定西地区农田养分投入产出状况及培肥措施·····	卢桂山 张晓兰(800)

第五部分 农业资源与环境

精确农业中的养分定位管理·····	刘永菊 曹一平(804)
-------------------	--------------

提倡环境保护的边际成本计算方法.....	田昌玉 林治安 张振山(810)
有机无机结合改良盐渍土效果研究.....	高峻岭 刘继芳 严慧峻等(813)
高麦茬覆盖复播效应及技术研究.....	亢青选 王解丑 孟晓民等(818)
施用氮肥与食品安全性的关系.....	王 晶 张福锁 曹一平(822)
香根草植物篱在环境整治中的应用.....	程 洪 王 锋 罗来瑜等(827)
可持续发展是中国农业发展的必然选择.....	白红英 耿增超(831)
论我国黄土高原旱地水土保持的工程和农业措施.....	刘小兰 李世清 李生秀(835)
野生植物发酵汁液对作物生长和养分吸收的效应.....	王正银 李联铁 王定勇等(843)
大气 CO ₂ 浓度及温度升高对水稻生长及产量的影响	林伟宏 张福锁(848)
农业可持续发展中土壤变化的定量研究.....	段建南(852)
麻黄人工栽培技术研究.....	孙 毅 张键秋 王凤林等(858)
蒜苗无土栽培营养液配方的研究.....	周元圣 吕家琬 樊恒辉等(862)
天津市中低产田问题及对策.....	郭云峰(867)
土壤持水力 PF 的测定方法及意义	王珍珠 王志勇(872)

我国土壤-植物营养研究的 进展、现状及展望

李生秀

(西北农业大学 陕西杨陵 712100)

摘 要 我国土壤-植物营养的研究已有几十年的历史。在这几十年中,广大土壤-植物营养工作者通过辛勤劳动确定了我国不同农业生态系统中氮、磷、钾三要素和中、微量营养元素以及一些有益元素的数量、形态和转化规律,探讨了影响其有效性的因子,提出了有效施用这些营养元素的土壤农化指标和农业技术措施,确定了定量施肥的一些措施和方法。与此同时,我国土壤-植物营养工作者探讨了根际微域的营养特点。近几年来,发掘植物潜力,利用植物营养遗传基因型的差异,提高作物对土壤和肥料养分利用的研究工作蓬勃开展。研究工作有所长也有所短,有进步也有不足。本文总结了这一方面的进展,指出了研究中的不足和问题所在,提出了今后研究的几个重点内容。

关键词: 土壤-植物营养, 进展, 展望, 中国

自1840年Liebig的矿质营养元素学说提出以后,研究土壤、植物和肥料中的植物营养元素的形态、转化、动向和归宿以及其在植物体内的功能、代谢和调控,引起了人们极大重视。研究工作如雨后春笋,蓬勃发展,一门新的学科也应运而生;1921年,苏联的普良尼式尼科夫提出了农业化学这一学科,并明确界定它的内容是研究土壤、植物、肥料三者之间的关系。但是,这一界定的农业化学并未被其他国家接受,不同国家对这一术语有不同理解。解放前,我国的农业化学内容主要包括发酵和酿造,现在日本的“农艺化学”也包括着这两方面的内容。即使在前苏联,农业化学的内涵也未完全统一,出版的不少专著中包含着农药在内。在欧美国家,研究土壤、植物、肥料三者关系的内容一直包括在土壤科学之中。直到近二三十年来,才有植物营养的专著问世。解放后我国一直采用普良尼式尼科夫定义,普遍应用农业化学这一术语;直到近几十年,才广泛地应用植物营养这一名词,不管叫农业化学,也不管叫土壤-植物营养,在我国的概念基本是相同的。

本文拟对我国土壤-植物营养科学的研究进展作一回顾,并对未来发展作一分析。

1 我国土壤-植物营养的研究进展

1.1 植物营养元素

在土壤-植物营养中,氮、磷、钾三要素是植物必需而又是限制植物生长的重要养分因子,一直受到研究者的重视。

在这三要素中,氮素是植物需要多、土壤供应少,供求之间存在着尖锐矛盾的元素。和植物的需要相比,全世界大部分土壤缺氮。因而氮肥的生产和应用开创了农业历史的新纪元,有力地促进了农业生产发展。联合国粮食组织估计,发展中国家粮食的增产作用有

55%以上来自化肥,在化肥中氮肥又起着举足轻重的作用。我国也是这样,目前年施氮量已达 1347 万吨,农业生产的发展和氮肥有不解之缘。

氮肥大量应用促进了作物产量大幅度提高,也带来了许多弊端:经济效益下降,利用率降低^[1-3];环境污染,生态条件恶化。据统计,我国目前氮肥当季利用率为 30%~40%,远低于 20 年前,且呈不断下降趋势:80 年代初与 50 年代末相比,每 kg 氮增产稻谷由 15~20 kg 减至 9.1 kg,小麦由 10~15 kg 减为 10 kg,玉米由 20~40 kg 减为 13.4 kg^[4]。1982 年至 1992 年 10 年间,我国粮食产量增加了 27%,单产增加了 31.7%,同期化肥用量却增加了 93.6%。氮肥利用率不高所导致的环境污染越来越引起人们关注^[3]。氮素既是植物的营养元素,也是污染元素。在通气良好的旱地土壤上,施入的铵态或酰胺态氮肥,均会经硝化作用很快地转变为硝态氮^[5]。硝态氮被作物吸收,进入植物体后大部分被硝酸还原酶作用,还原成铵态氮,参与植物一系列代谢过程。但如果施氮多,土壤供氮量高,就会有一部分氮素以硝态氮的形态存在于植物体内,后一情况在蔬菜更为严重^[6]。形成的硝态氮也会随迳流流失或随水下渗,污染湖泊和地下水源^[3,7]。农田当季未回收的氮素(50%~60%)大部分进入水体和大气,成为环境氮污染最重要的来源。据估计,流入河、湖中的氮素约有 60%来自化肥。水体氮素污染加剧了地面水的富营养化过程。湖泊海洋的富营养化引起藻类大量生长,使水中的氧气耗竭而造成水生生物死亡或绝迹,虽主要由磷素所引起,氮素也肩负着重要责任。硝态氮对地下水的污染更为严重,不少地区地下水硝态氮含量已超过饮水标准。70 年代,化肥 N 增长 6.49%,同期地下水中硝态氮含量增加了约 23%。存在于植物或地下水中的硝态氮严重地危害摄食、饮用它的人体健康。进入人体的硝态氮能在体内还原成亚硝态氮(NO_2^-),后者迅速进入血液,将血红蛋白中的铁氧化为高铁,使其形成无法运载氧气的高铁血红蛋白,从而影响氧气运载,产生所谓高铁血红蛋白症,婴儿尤多。国外发生的蓝色婴儿(Blue baby),就是这种病的典型表现。亚硝态氮还可与各种胺类反应,生成致癌的 N-亚硝酸胺和次生胺两类物质。氮素硝化与反硝化过程中产生的氧化亚氮是重要的温室效应气体,不但辐射效应高,一个分子的辐射效应相当于 150 个 CO_2 分子的效果,而且也是臭氧的消耗者^[8]。臭氧层中臭氧减少,会增加紫外线透过的数量,增加皮肤发病机率,严重危害人类和动物的生长与健康。在过量施用氮肥的地区,农作物抗病虫能力下降,导致化学农药大量施用,既增加了农业成本,也使环境质量下降^[7]。这种恶性循环已经并将继续危害人类的生存和健康,若不改善,势必动摇整个农业的基础,威胁着人类的生存。由于以上原因,农学家和环境学家都对氮素的行为给予了高度重视。探明氮素在土壤中的去向,减少损失,提高氮肥的增产效果受到了国内、外科学家共同关注,成了一个非常活跃的研究领域。

我国的氮素研究始于 30 年代。近几十年来,随着生产发展和科技进步,氮素的研究工作得到了较快发展。研究工作集中在我国土壤氮素的基本情况(含量和形态),土壤氮素的损失途径,土壤的供氮指标和氮素管理。

土壤氮素是作物吸取氮素的主要来源,即使施用大量氮肥的情况下,作物由土壤吸取的氮素仍可占 50%,甚至 70%以上^[9]。土壤氮素包括有机氮和无机氮两部分。有机氮是土壤氮素的主要存在形式,是交换铵和 NO_3^- 的源泉。大量测定表明,和世界各地的土壤一样,我国土壤中的氮素绝大部分以有机态存在,其分布和含量和有机质有密切关系;影

响有机质数量和分解速率的因素(如水热条件、土壤质地等)都影响着氮素含量^[10-13]。由于降水量、生物量、分解速率、人为活动不同,自然和耕地表层土壤中的含氮量在水平和垂直分布上均有差异^[9,12]。不同生态条件和不同土壤中的有机质含量不同,氮素含量亦不同;有机质随土壤剖面而降低,氮素含量亦遵循这一规律。有机氮的成分复杂,已分离鉴定出来的含氮化合物有氨基酸、氨基糖、嘌呤、嘧啶,以及微量存在的叶绿素及其衍生物,磷脂、各种胺类、维生素等。氨基酸是土壤氮素中数量最多的一类化合物,已鉴定出的有30多种,包括 α -氨基酸,非 α -氨基酸,N-苯氧基氨基酸。少量氨基酸以游离态存在,可被植物直接吸收;多数以结合态存在^[14-16]。经常测定的17种氨基酸中,游离态仅占结合态的0.08%~1.33%,主要为谷氨酸、甘氨酸、精氨酸、天冬氨酸、丙氨酸、赖氨酸。研究有机氮组份多采用Bremner提出的方法:把有机氮分为酸解氮及非酸解氮两部分,前者又分为铵态氮、氨基糖态氮、氨基酸氮、酸解性未知氮,后者仅是非酸解未知态氮。采用这一方法测定,有机氮各组份占全氮百分数及组成大致如下:非酸解氮为5%~25%,可能包括N-苯氧基氨基酸,酸解未释放的固定铵,糖与氨基酸或铵在酸解时通过Maillard反应形成的产物;酸解性氮为65%~95%,其中,铵态氮占15%~51%,主要由水解过程中破坏的氨基酸、释放的固定铵而来;氨基糖氮占1.1%~15%,主要由氨基糖而来;氨基酸氮为19%~45%,主要为各种 α -氨基酸;酸解未知氮占6%~26%,主要为非 α -氨基酸、嘌呤、嘧啶,微量杂环氮化物^[17-19]。影响有机氮组成的因子甚多,以有机质和水分为主导。新形成的有机质中氨基酸态氮较高,非酸解氮和铵态氮则较低。由于有机质的分布差异,表土氨基糖氮和氨基酸氮较多,而铵态氮和非酸解性氮较少。水稻土或供水良好土壤,可能由于嫌气条件蛋白质较易保存,氨基酸较高;也可能由于抑制了真菌生长(细胞壁中几丁质较多,而氨基糖为其主要成分)和铵态氮向下淋溶,氨基糖氮和铵态氮较早地或自然植被下低。

存在于土壤中有有机氮不断地进行矿化,形成的矿质氮又不断进行生物固持,有机氮的矿化和生物固持是土壤中同时进行的两个方向相反过程。如前者大于后者,表现为有机氮的净矿化;反之,表现为净固持;如相等,则无净固持,也无净矿化。有机氮的矿化是土壤供应氮素的主要来源。作物由土壤吸收的氮素有相当大的一部分(水稻为58%~72%,小麦为53%~78%,大麦为45%~53%)来自土壤。即使把非共生固氮所带入的氮素扣除,土壤本身的氮素仍然可观。有机氮的矿化是土壤有机氮含量和生物分解性、矿化的水热气条件和时间等的函数。矿化量可以反映土壤供氮能力的高低;矿化率可以反映有机氮分解难易和供氮强度。作物吸收的氮素除耕层外,耕层以下仍有相当的贡献,稻田占16%~50%,平均30%;旱地供应量更高。底层供应的氮素主要是残存的矿质氮,0~45 cm以上的土层可矿化氮数量可观,45 cm以下则甚微^[20-23]。土壤的氮素矿化过程一般用淹水密闭或通气培养法来测定。在前一情况下,一般用有效积温式拟合矿化曲线;在后一情况下,用一级反应动力学方程或双组分指数拟合矿化曲线^[24,25]。采用淹水密闭法,有机氮矿化的最终产物是铵态氮,计算矿化率和矿化量时,要考虑铵的矿物固定;采用通气培养法,矿化的最终产物是硝态氮,对土壤固定铵的影响不大,可不考虑固定过程。应用化学方法测定可矿化氮时,也要考虑固定铵;用碱解法,碱解后固定铵下降;用KCl煮沸法,固定铵上升。在我国,淹水培养法与氢氧化钠碱解扩散法广泛用来测定土壤的矿化氮,通气培

养法也在旱地土壤上进行了较多的研究。不少试验表明,采用培养法所得到的矿化量或以此计算出的矿化势与盆栽作物吸氮量有良好关系,但在大田试验中,大多不相关,或相关系数不高^[20-23,26-29]。有的研究表明,这些方法的测定值与土壤耕层全氮或有机质均有密切关系,似乎是其效果不高的主要原因。我们的试验表明,不同土层的矿化氮量与全氮、有机质,特别是与底层的全氮和有机质虽有密切相关,但矿化量与有机氮之比却相差甚大,这表明可矿化氮数量主要受有机氮的组成而非其数量所制约。从此考虑,有机质或全氮的测定并不能代替可矿化氮的测定,研究其矿化速率和数量仍有重要意义。影响可矿化氮预报土壤供氮能力准确性的主要原因,除了土壤中的水、热、气特征,作物生育期长短和非土壤来源的氮素之外,土壤中的起始矿质氮,特别在深层的矿质氮有重要意义。旱地的硝态氮,水田的铵态氮的累积量是主要因子。同时测定起始矿质氮和可矿化氮,并且确定可矿化氮在不同时期、不同条件下的矿化速率及数量,探讨可矿化的有机氮形态将是解决这一问题的途径。

无机氮(矿质氮)包括固定铵、交换性铵(包括土壤溶液中的铵)、 NO_3^- 、 NO_2^- 和 N_2O 。如不考虑固定态铵,无机氮仅占全氮 1% 左右。无机氮中 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 数量甚微(一般在 0.3 mg/kg 以下;通气条件下仅为 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的 0.12%~0.34%;渍水条件下仅为 0.5%~1.7%)。含氮气体(NH_3 , NO , NO_2 , N_2O) 数量亦甚微,但由于 N_2O 是温室效应气体,受到广泛重视。

在无机氮中,固定态铵的数量相当可观。固定指铵离子嵌入 2:1 型粘土矿物层间硅氧片六角形的孔穴中,形成 $\text{NH} \cdot \text{O}$ 键,补偿铝硅同晶置换所引起正电荷亏缺现象,固定铵需经 HF 处理后才能释放^[30]。早在 1938 年,李庆逵研究土壤对铵离子的吸附时就指出,土壤能固定铵,固定能力因土壤而不同^[31]。近几年来通过大量工作,对我国的土壤的固铵能力、固定态铵的含量分布、动态及生物有效性进行了一系列工作。结果表明,影响土壤固定铵的主要因素是粘土矿物:高岭石、埃洛石等 1:1 型矿物不固定铵;2:1 型矿物才固定铵。能固定铵的粘土矿物也因种类不同而固定能力有异:蛭石最强,蒙脱石次之,伊利石取决于风化程度和钾饱和度。粘土矿物的组成和数量导致了不同土壤固铵能力的差异。粘土矿物以水云母、蛭石为主的黄棕壤和红棕壤带内的长江冲积物和紫色砂页岩上发育的土壤,固铵能力较强而固定量较高;以高岭石为主的红壤带内花岗岩、砂岩风化物上发育的土壤以及砖红壤带的土壤,固铵能力极小,固定量甚低。同样,同一土壤,2:1 型矿物愈多,固铵能力愈强。粘土矿物主要集中在粘粒(和细粉粒)中,因而粘粒愈多,其固定能力愈强。 $\text{pH} < 5.5$ 时,固铵能力一般很低。铵的固定量随溶液中铵浓度增高而增多,而固定率则有所下降。钾离子竞争 NH_4^+ 的固定位,会抑制 NH_4^+ 的固定,但用量较低时会被作物利用而对铵固定量影响不大;有机质会阻碍 NH_4^+ 进入晶层间隔或阻碍晶层基距收缩,而使固定铵含量降低。由于粘土矿物类型不同以及由此所决定的土壤母质类型及风化程度不同,我国土壤的固铵量差异甚大,用 Silva—Bremmer 法测定,高者 677 mg/kg,低者 11 mg/kg。砖红壤风化程度高,粘土矿物以高岭石、赤铁矿为主,次为三水铝石,蛭石、云母甚少,固定铵仅 53 mg/kg;红壤(144 mg/kg)较砖红壤风化程度差,粘土矿物中水云母和蛭石较多,固铵量高于砖红壤;黄棕壤的粘土矿物以水云母、蛭石为主,固铵量最高,达 238 mg/kg;棕壤风化程度低于黄棕壤,粘土矿物以水云母或蒙脱石、水云母为主,固铵量

随之下降(172 mg/kg);栗、黑、灰钙土中,粘粒风化程度更低,粘土矿物仍以水云母或蒙脱、水云母为主,但K、Mg、Ca的饱和度较高,固铵量低于棕壤(褐土)(160 mg/kg)^[32-37]。土带内固定铵变化仅是一个大致趋势。实际上,同一土带内因母质、风化程度、成土时间、利用方式和粘土矿物不同,固铵量仍有极大变化^[38-43]。固定铵在全氮中的贡献由固定铵数量及有机质含量而决定,变动由1%左右到54%。和有机质不同,固定铵很少随土壤深度而降低,它或者很少变化,或者随剖面加深而增多。由于这一原因,土壤剖面中累积的固定铵数量很高。在固定态 NH_4^+ 含量高的土壤,如不考虑这一无机氮,则计算出的有机质C/N比不能反映真实的情况。固定铵在2:1粘土矿物晶层间的位置不同,被层间电荷吸持的牢固程度各异。在一定条件下,作物只能吸收利用某一吸持牢固程度以下的固定铵,因而其有效性似乎有一个阈值^[44-53]。也许由于这一原因,原有的固定铵效果很低,仅在某些条件下才有较高效果;而新固定铵(施用含 NH_4^+ 肥料或用 NH_4^+ 处理所增加的固定铵)有效性很高,有效程度因新固定的数量、作物等条件而不同。铵的固定使一部分氮素不能立刻被作物利用,有不利影响,但由于有效性远高于生物固持氮,在保肥(减低溶液中铵浓度、防止氮挥发)、稳肥方面有重要意义。查明固定铵对于评价土壤氮素的真正矿化量、评价化学氮肥的残效、区别生物固持氮的效应方面也有着重要作用。

铵离子和硝态氮均是植物可直接利用的氮源,它们的含量受土壤矿化、生物固持、铵的固定和释放、硝化作用、植物吸收、氮挥发、反硝化、淋失等各种作用而不断变动。土壤类型和有机质含量影响着它们的绝对数量,施肥、气温、降水和耕作影响着它们的消长。铵态氮主要通过扩散迁移,迁移速度小于作物吸收速率,距根表土壤常有亏缺。

铵离子是土壤植物氮素营养的主要给源,氮素转化过程中重要产物或反应物,化肥供给的主要氮素形态。它在土壤中的化学行为很早就引起了人们注意,但土壤对其吸持、固定规律,其在土壤中的行为及其与土壤性质的关系,多在本世纪50年代前完成,而对其吸附和固定的区分则是近二三十年的事。

土壤有机质矿化所产生的或化肥中铵离子进入土壤溶液后,除被作物吸收、微生物利用外,有三条归宿途径:被土壤吸附和固定,形成 NH_3 挥发,硝化和化学反硝化。上述各种反应及其产物和数量,以及某些氮化物进入大气和水体中的数量都与土壤液相中铵离子浓度及活度密切相关:土壤液相中铵离子强度及土壤对铵离子的缓冲能力决定于土壤对铵离子的吸附和解吸特性;植物根系从土壤中吸取铵离子的数量、速率及持续时间亦受土壤对铵离子的吸附和解吸特性的制约。总之,土壤对铵离子的吸附和解吸的多少,直接或间接地影响根系对铵离子的吸取、土壤对铵离子的缓冲能力、土壤无机氮转化各个过程、无机氮的迁移以及有机氮的矿化。

土壤溶液中的铵离子可被土壤吸附。吸附指土壤体系中固相和液相界面上离子浓度大于整体溶液中该离子浓度的现象,属库伦引力,可为中性盐所浸取。固定与吸附态铵在一定条件下可以转化,土壤干燥可使吸附态转化为固定态,渍水条件下固定态可因晶格膨胀而部分地转变为吸附态。李庆远早期的研究工作表明,铵态氮的等温吸附可用Langmuir方程拟合,吸附量在4.3~54.1 cmol/kg之间^[31]。后来的研究表明,我国几个主要土壤类型亦基本如此,吸附量(Y)与浓度(C, mol/L)之间的关系可用双组份Langmuir方程或Freudlich方程拟合^[54,55]。溶液中有两种或两种以上阳离子时,不同土壤会表现出对离

子的选择性和偏好。以平衡时固、液相铵离子的摩尔比来反映亲和力大小(越大对铵离子的选择性越强),则 2:1 型粘土矿物含量高的土壤对 NH_4^+ 有较大选择性^[55-57],原因在于 NH_4^+ 在 2:1 型粘土矿物的层间空间,与氧离子层中邻近的氧形成 $-\text{O} \cdot \text{H}-\text{N}-\text{N}-\text{H} \cdot \text{O}-$ 键之故。土壤对 NH_4^+ 吸附等温线为一曲线,各部分斜率(即吸附量对浓度的导数)和吸附铵在不同温度下的热解情况不同,表明从低饱和度到高饱和度吸附的牢固程度不一,有松紧之分^[58,59]。紧吸附态具有较高的稳定性,吸附规律服从阳离子交换反应,吸附量受体系的 pH、电解质浓度及液土比影响小,可能是永久负电荷表面静电吸引所致^[60]。处在紧吸附状态的铵可为其它阳离子所置换,是一般所谓的交换性铵。松吸附态稳定性低,吸附量受体系 pH、电解质浓度和液土比影响大,在 100℃ 下释放,释放速率服从单分子反应动力学方程^[61]。影响吸附态铵的数量及形态分布受土壤颗粒大小、矿物组分、有机质含量多因子影响^[60,62]。通常情况下吸附态铵仅有交换态(紧吸附态)存在,土壤吸附铵量达到某一数量时才出现松吸附态。交换性铵可从小于 1 mg/kg 到高达 30 mg/kg,占无机氮比例,除水稻土种稻期间可能略高外,通常在 10% 以下^[63]。土壤固相、液相界面上阳离子交换反应可导致土壤中交换性铵的解吸,解吸难易在很大程度上取决于粘粒矿物特性与 CEC。土壤对铵离子的吸附会避免溶液中铵浓度过高而具有缓冲作用,可用等温吸附的斜率作为缓冲容量指标^[64]。土壤对 NH_4^+ 缓冲容量决定因素是 CEC。有机质具有负电荷直接影响 CEC,也能与矿质部分复合而影响其对 CEC 的贡献,对缓冲容量贡献具有复杂性。铵离子在土壤中以扩散为主要迁移方式,从某一点向外呈球形扩散,扩散体积与距离立方成正比。在土壤持水量接近饱和,特别是水稻土植稻灌水期间,土壤液相中铵浓度较高,也可通过质流向下迁移^[67-71]。

氨挥发是氮素损失的一条重要途径,一直受到人们重视,发展了不少研究方法^[72]。我国的研究多集中在影响氨挥发的土壤和环境因子,不同生态条件下的挥发量,以及防止氨挥发的对策。研究表明,氨挥发随土壤颗粒或有机质含量增加而降低^[73-76]。pH 是影响氨挥发的一个重要因素,旱作土壤的氨挥发随 pH 上升而增加^[77];稻田主要受水面 pH 影响。土壤碳酸钙或其它缓冲物质,消耗氨挥发所产生的质子(H^+),使 pH 维持较高水平,故氨挥发随碳酸钙含量增加而增加^[76,78,79];但碳酸钙超过 10% 时,不再受其影响^[78]。氨和铵的扩散速率均随温度上升而增高,脲酶活性也有同样趋势,故温度高,挥发大^[73,75,80-82]。在风速大致相同情况下,夏季氨挥发远大于冬季;挥发随风速加大而增多;土壤水分过少,挥发受到抑制;过高,液相中铵态氮浓度因稀释降低,挥发亦不大,故过低过高皆较少,适中时氨的挥发量最高^[81]。土壤含水量低,尿素不能水解时无氨挥发,灌水后迅速增加^[83,84]。植物、微生物、藻类对铵态氮的吸收及硝化作用等的内在联系或竞争均会减少其浓度而减少氨挥发。测定氨挥发有多种方法,以密闭法和微气象法常用,此外尚有¹⁵N 示踪法, Hargrove 法和酸性滤纸吸氨法。用 Hargrove 法测得北方旱地石灰性土壤上氨挥发损失在 4%—22% 之间^[82]。Datta 等人设计并经改良后^[85]的密闭法,已成功地用于植稻条件下氨挥发测定^[86]。采用微气象法,在河南封丘石灰性水稻土上测定,尿素和碳酸氢铵的挥发率分别为 30% 和 39%,在丹阳的水稻土上(耕层 pH 5.2~5.4)为 9% 和 18%。碳酸氢铵作基肥混施后,挥发立即发生,很快达高峰(持续 1~2 天),此后挥发速率相应于田面水的 pH 和温度的昼夜变化而表现出相应波动,但白天峰值降低;尿素施后