

现代土壤学与农业持续发展

赵 其 国

(中国科学院南京土壤研究所, 210008)

摘 要

现代土壤学研究的总方向应是,“研究土壤圈物质组成、性质和物质循环、能量转化及其对人类生存环境,特别是农业持续发展的影响”,这是当前自然科学发展及资源环境形势影响下,对土壤学研究提出的新趋向。今后土壤学必须为人类享有充足的食物和清洁的环境作出贡献。土壤肥力是建立持续农业的重要物质基础,通过调节肥力退化与重建过程,不断培育持续高产的土壤肥力是建立持续农业的根本措施。必须注意调节 N、P、K 施肥比例与平衡施肥;充分发挥农田养分再循环的肥源潜力与不断防止土壤养分退化。现代土壤学在促进我国农业持续发展中的重要研究内容应包括持续农业与土壤圈物质循环;土壤肥力与农业持续发展;土壤水分平衡与调控等方面的系统与长期的定位研究。

关键词 现代土壤学,农业持续发展,土壤圈

“民以食为天,食以土为本”。土壤是人类生存的基本资源,是农业发展的重要基础。当前在我国传统农业正向高产、优质、高效的现代农业转变时期中,土壤学也正在随着社会发展,朝向现代土壤学的方向转变。因此如何从土壤及现代土壤学的观点,特别是从土壤肥力与土壤植物营养的观点,正确地认识与解决我国当前农业持续发展中所面临的问题,具有重要的理论与实践意义。

1 现代土壤学的发展趋向

随着社会的不断发展,人类活动对全球生态环境的冲击强度和规模也在不断扩大,使整个世界自本世纪中叶以来一直受资源-环境-人口-粮食等一系列重大问题的困扰,土壤作为人类赖以生存的重要自然资源,由于持续的集约利用,亦正在逐渐或迅速地发生变化,这种变化不仅对土地承载力及持续发展产生重要作用,而且对全球气候状况也产生直接或间接的影响。因此,当今土壤学已由原来仅研究土壤本身向土壤圈及其与各圈层之间的关系的方向扩展。

土壤圈概念自 1938 年由 S. Matson 提出后,近 10 年来获得了极大的发展,特别是 1990 年 Arnold 对土壤圈的定义、结构、功能及其在地球系统中的地位做了全面的阐述和发展,为土壤科学参与解决全球环境问题奠定了基础。

土壤圈是地球上气圈、水圈、生物圈及岩石圈交界面上的一个圈层,它处于四个圈层的中心,既是地球各圈层物质循环与能量交换的枢纽,又是地球各圈层间相互作用的产物。由于土壤圈处于地圈系统,即上述四个圈层的中心,因而它具有:永恒的物质迁移与能量交换;最活跃与最丰富的生命力;“记忆块”与“基因库”;时空变异与限制性;资源的再生、利用与保护等特性,并且具有支持与调节生物过程与养分循环(对生物圈);影响大气组成,水平衡与释放温室气体(对气圈);影响降水分配与平衡(对水圈);影响土壤发生与地质循环(对岩石圈)等功能。它的作用在于通过土壤圈与其它圈层的物质交换影响全球变化,通过人为活动对土壤圈的强烈作用,对人类生存与环境起重大影响。

因此,未来土壤学发展的总趋向是从圈层的角度出发,研究全球土壤的结构、成因和演化规律,以达到了解土壤圈的内在功能、在地球系统中的地位、作用及其对于人类与环境的影响,从而使土壤科学能真正介入地球系统科学,参与全球变化和生态、环境建设研究,以解决人类所面临的农业持续发展与生态、环境问题。从土壤学的发展看,今后的研究共有两个方向:^[1]

第一,研究土壤圈与地球其他圈层的关系,包括:土壤圈与生物圈养分元素的交换与平衡;土壤圈与水圈之间的水分循环与物质运动;土壤圈与大气圈之间的大量与痕量气体交换与平衡;土壤圈与岩石圈之间元素的迁移与转化。

第二,研究土壤圈物质迁移与能量平衡对人类生存环境(持续农业)的影响,包括:土壤圈物质、能量循环与地球生命;土壤圈与人类生存条件;土壤圈与自然环境;土壤圈与全球变化。

上述研究方向可概括为以下四项研究任务:即土壤圈物质循环与全球土壤变化;水土资源时空变化、开发利用与恢复重建;土壤肥力演变规律、发展趋向与调控对策;农业持续发展、区域治理与生存、环境建设。其中通过土壤圈物质与养分循环,研究与解决农业持续发展与生态环境建设是关键。

2 现代土壤学面临的挑战

2.1 人口与粮食

到本世纪末,世界人口总数按联合国人口公报的数字将达到 62.41 亿,其中发达国家 12.72 亿,发展中国家 49.69 亿,其增长率前者为 0.6%,后者为 1.9%。为此,FAO 估计,将来世界粮食需求增长率对发达国家应在 1.2%,发展中国家应在 3.1—3.7% 才能满足社会发展的需要。所以到 2000 年,世界粮食的需求量为 21.3—22 亿吨,比 1990 年的粮食总量要净增 3.5 亿吨。面对这样的严峻形势,生产条件落后的发展中国家将承受巨大的粮食生产压力。

目前我国人口每年正以 1600 万净增人数增长,预计到本世纪末,人口总数可达 13 亿左右。以人均 400 公斤的年消费水平计算,需要粮食 5.2 亿吨,比 1990 年净增 1.1 亿吨,其年均增长率为 2.2%。然而要在仅占世界耕地面积 6.8% 的土地上获得世界粮食生产总量的 23.6%,并且维持这样的增长率,可见我国及世界土壤学的任务是极为艰巨的。

2.2 资源与环境

目前,全世界拥有耕地 7.3 亿公顷,预计到本世纪末可再扩大耕地 1.8 亿公顷,总共为 9.1 亿公顷。但是,由于人类不合理的开垦土地,近年来土地退化不断加剧。全球范围内的水土流失面积已发展到总土地面积的 16.8%;沼泽化、沙漠化的面积也分别达到总面积的 10%和 33%;约 12 亿公顷的土地发生次生盐渍化;近 2 亿公顷的耕地被侵占;20%耕地存在着养分亏缺;森林面积不断缩小。FAO 的研究表明,在 76 个发展中国家中,森林以每年 1130 万公顷的速度砍伐,而造林仅为 110 万公顷。地球上仅有 0.27%的水资源可为农业、工业和城市利用,但是降雨的时空差异又造成某些地区淡水资源的严重匮乏,专家们预测,不出二十年,淡水的供给将不能满足需要。

我国的水土森林资源按其绝对量来说名列前茅,但人均占有量太低。国土面积居世界第三,而人均耕地、林地和草地分别仅占世界人均量的 $1/3$ 、 $1/5$ 和 $1/4$;水资源总量居世界前列,而按人口平均只相当于世界人均水平的 $1/4$;森林资源总量居世界第七,可人均占有量则是第 130 位。在这样的背景下,土地承载着巨大的压力。由于旱涝、盐碱、风沙以及冷浸等原因导致现有农田肥力下降,中低产田已占总耕地面积的 $2/3$,目前约有 2000 万公顷的耕地受到干旱威胁。与此同时,由于不合理开垦利用,土地资源退化明显,水土流失面积占国土总面积的 $1/5$;沙漠化的土地达到 3330 万公顷,并且平均每年以 15 万公顷的速度扩展;草原退化面积 8700 万公顷,并且每年以 120 万公顷左右速度增加。随着工业的发展,污染日益严重,每年废水排放量为 368 亿吨,烟尘排放量为 1445 万吨,受污染的耕地面积约 670 万公顷,酸雨对江南农业生产的影响也越来越严重,仅 SO_2 的危害,每年可达 270 万公顷。

面对上述挑战,现代土壤学今后的发展必须为人类享有充足的食物和清洁的环境作出贡献。今后相当长的时期内,提高粮食生产是主要的任务^[2]。

从一般意义上讲,提高粮食生产可通过扩大播种与灌溉面积、合理增施化肥、选育优良品种、采用先进的科学技术、实行集约化经营、增加劳动力投入等途径来实现,归结起来是生产规模扩大和集约化程度的提高。前者对我国来说潜力不大,全国仅有荒地 3300 万公顷,可利用的草原 2 亿公顷,可利用的淡水水面及沿海滩涂 1300 万公顷,而且这种后备资源的开发明显受财力和物力的限制。据分析,若在本世纪开发 1100 万公顷的宜农荒地和垦殖 90 万公顷的滩涂,需要投资 740—1060 亿元,这是现有国力无法承担的。因此,重点宜放在提高集约化程度方面。从提高资源利用效率,解决粮食增产与农业持续发展的途径着手,潜力较大。其中包括,一是中低产田的综合治理;二是提高化肥等投入物资的利用率;三是水资源的合理利用,特别是提高土壤水资源综合利用率;四是提高现有耕地集约化程度;五是优化农业生态模式。

然而,无论是生产规模扩大还是集约化程度提高,在资源环境的保护和治理方面,中国决不能走先开发再治理的道路,必须采用开发和治理并举的政策。因为一旦资源过度开发,造成环境污染,将对社会形成公害和经济产生巨大损失。

3 土壤肥力与农业持续发展

土壤肥力是土壤的本质特性,土壤的概念是和它的肥力分不开的。由于土壤具有肥

力,并能不断地提供植物(包括农作物)生长所需的各种土壤因素,保持农产品产量与质量的稳定与提高,因此,土壤肥力是农业持续发展的重要基础。

3.1 土壤肥力的概念

土壤肥力是指“土壤在某种程度上,能不断地同时供应在植被生长期中所需要的养分、水分、空气与热量的能力”。这一概念,共包括以下内容:

第一,土壤养分、水分、空气与热量(即养、水、气、热)是土壤在生物与环境共同作用下不断发展形成的,它们处在不断循环与再循环的相互作用中,人为活动是决定土壤肥力因素发展方向的基本动力之一。

第二,土壤肥力处在持续(提高)、退化与重建的动态平衡中并具有明显的时、空特征,在自然条件、特别是在人为作用影响下,土壤肥力处于持续(提高),退化与重建的相互转化的不稳定阶段。

第三,土壤肥力(养分)退化与肥力(养分)重建过程是普遍存在的,人类的任务在于调节这两个相反的过程,使其向有利于土壤肥力提高的方向发展,其中调节土壤生态系统养分循环与平衡是关键。

第四,土壤肥力的保持与提高是在动态平衡中建立的,除土壤肥力退化外,需在土壤物理性质改善基础上(空气与热量平衡),根据不同植物的需求,调整养分与水分的比例与水平,并注意有机无机肥料的平衡施用,其中调节再循环过程是核心。

第五,由此可见,土壤肥力是建立持续农业的重要的物质基础,通过调节土壤退化与重建过程,不断培育持续高产的土壤肥力,是建立持续农业的根本措施。

3.2 土壤植物营养在持续农业中的作用

土壤植物营养元素,即土壤养分是土壤肥力的主要组成部分,它对农业持续发展有重要影响。

据我国 1978—1984 年 6 年统计,每亩增施化肥 4.1 公斤,增产粮食 68 公斤;1984—1993 年 9 年间,每亩增施 6.1 公斤,增产粮食 34.9 公斤。这与过去记载的每公斤化肥(养分)能增产粮食 8 公斤,粮食增产有 35%是靠施用化肥的结果相一致,说明氮、磷、钾肥的施用对作物增产的明显影响。

在土壤植物营养元素中,氮肥是植物的主要限制因子。植物吸收的氮量有一半以上来自土壤,因此培肥土壤、提高土壤的供氮能力是获取高产的重要条件。根据全国各地的试验表明,各种氮肥品种的氮素,当季利用率均不高:硫酸铵为 30—42.7%,尿素为 30—35%,碳铵为 24—31%。其中,稻田中化肥氮的损失一般在 50%左右,其损失机制主要是氨挥发和硝化-反硝化作用。60 年代初,我国学者提出了“氮磷配合”,“以磷换氮”的原则。为我国磷肥工业的发展和磷肥合理施用奠定了坚实的基础。在水田磷素化学的研究中,提出了土壤磷素在干湿交替条件下的转化机理,研究了土壤磷素的存在形态及其生物有效性,明确了石灰性土壤上同样需要施用磷肥的创新结论,并在磷矿粉的直接施用与部分酸化磷矿粉研究中有新的推进。

近 30 年来,在土壤钾素研究方面基本掌握了我国不同土壤类型钾素含量状况及其分布规律,明确了土壤钾素水平取决于含钾原生矿物和粘土矿物的种类和数量,研究了水分、温度和铵离子等因素对土壤钾素释放、固定的影响;钾肥对作物产量、品质和抗逆性的

影响以及钾肥的有效条件和钾肥配方施肥等。我国从 50 年代开始,对缺乏微量元素的土壤进行了分区,阐明了微量元素在我国农业生产的应用前景;广泛开展了土壤、作物微量元素含量丰缺研究和微肥施用技术的试验示范,制订了几种主要作物锌、硼肥的施用技术规范,取得显著效益。

此外,土壤-植物根际营养自 70 年代末以来已成为土壤学研究的最活跃领域之一。我国在水稻根-土界面的显微特征、植被根表对离子吸收特性、根际养分浓度梯度变化、根际 pH 和 Eh 状况、禾谷类作物缺锌条件下根系特定分泌物以及酸性土壤中重金属在根际的化学行为等方面,都开展了大量研究,这些研究对推动农业持续发展具有重要的理论与实践意义。

关于有机肥料的研究,尽管我国具有悠久的施肥历史,但真正系统的研究不多。这是应该引起重视的问题。

以上简单概括了我国在土壤植物营养研究方面,对农业持续发展所取得的进展。但从粮食增产与植物营养,特别是氮、磷、钾肥投入产出的平衡情况看,还存在不少值得重视问题。

首先,氮素是作物营养元素之首,施用氮肥是提高农产品产量最有效的手段之一。据联合国 FAO 统计,1991 年全世界氮肥施用量为 8000 万吨氮(相当于 4.0 亿吨硫酸铵),其中,我国氮肥施用量达 1726 万吨氮(相当于 8630 万吨硫酸铵)占世界氮肥用量的 21.6%,为世界首位。根据近 30 年的研究,水田化学氮肥损失为 50%,旱地为 40%,即每年损失的化肥氮量相当于 3884 万吨硫酸铵,价值人民币 285 亿元。如果把氮素损失减少 10%,每年即可减少损失 30 多亿元。这是因为,我国氮肥品种中碳酸氢铵占比例较大。在石灰性土壤上大多数化学氮的铵挥发潜力都很大。此外,农田生态系统中加入的肥料氮的损失通过径流及淋洗进入水体(NO_3^- 等),不仅污染饮用水而且也引起河、湖富营养化,如太湖地区 50% 的饮用水样中 NO_3^- 浓度超标,38% 的井水样 NO_3^- 浓度超标。

磷也是重要的植物营养元素之一。据有关资料“磷是不能重复利用的资源,如以每年耗磷矿 9400 万吨计算,世界磷矿的储量只能使用 100 年”。研究表明,磷肥施入土壤后,大都被固定,各地区土壤全磷通常高于有效磷几百倍。由于长期施用磷肥(1991 年我国磷肥消耗为世界第二位),我国从 70 年代中期起,农田磷素循环即基本达到平衡。据 1993 年统计,我国磷肥用量已达 750 万吨(P_2O_5),但当季植物只能利用 10—25% 左右,有近 75—90% 的磷肥积累在土壤中,其数量相当可观。因此,如何利用土壤中的累积态磷,是有价值的科学问题。同样值得注意的是,随着土壤中累积态磷的增加,释放到径流中的磷将会增加,水体中只要含 0.02mg/L 的磷,将使水体开始富营养化,并威胁水生生物的生存。

钾素化肥的用量近年虽有增加(1991 年,我国钾肥消耗量占世界第四位),但从钾的投入量与产出量比较,每年均为亏缺。近年亏缺量达 500 万吨左右,从目前情况看,要从作物中将所摄取的钾素全部归还给土壤仍很困难。因此,耕地土壤严重缺钾的状况将继续存在。

除了氮、磷、钾素以外,有机肥也是很重要的植物营养来源,并对农业持续发展有重要影响。我国是具有施用有机肥传统的国家,1990 年与 1949 年相比,我国有机肥增加了

2.6 倍,但由于化肥用量增加,有机肥在肥料总量中的比重不断下降,80 年代初,有机肥与化肥各占一半,1990 年有机肥占总肥料的 37.4%,其中 N、 P_2O_5 分别占 23.8%和 31.7%,而 K_2O 占 79.3%,说明有机肥在调节氮、磷、钾比例中的作用。但目前有机肥用量不断减少的趋势,值得引起注意。

微量元素在氮、磷、钾施用的基础上,也出现不平衡与亏缺情况,并对植物生长起限制作用,它们在植物营养中也很重要,在此不一一详述。

3.3 土壤植物营养在促进农业持续发展中的问题

当前,在我国农业持续发展,特别是在加速粮食增产的形势下,如何注意在施肥条件下,土壤植物营养的投入、协调与平衡,具有重要的理论与实践意义。

3.3.1 调整氮、磷、钾的施肥比例,注意平衡施肥 最近的研究表明,我国在化肥大量投入初期(以 1978 年为代表,全国化肥总量为 884 万吨),全国各个地区粮食单产均随化肥增加而提高;在化肥大量投入中期(以 1984 年为代表,全国化肥投入总量 1739.8 万吨),东北、西北、华北和西南地区粮食单产继续随化肥增加而增高,但在东南地区,则出现了粮食单产增长速度与化肥使用量增长速度不成比例的现象;在化肥大量投入的近期(以 1993 年为代表,全国总用量达 3156.3 万吨),东南地区出现了增加化肥而减产的趋势,其他地区虽保持多施化肥多增产的势头,但增产强度有所差异。产生这种现象的原因,从植物营养平衡的角度看,主要是我国化肥一直以氮肥为主,到 1993 年,仍占施肥总量的 68.5%,氮、磷、钾比例为 1 : 0.31 : 0.12。值得注意的是,在过去氮肥充分施用和磷肥不断补充的情况下,当前在施肥上出现的问题,一方面是化肥的施用技术不合理;另一方面,要特别重视钾肥及微量元素的补充和平衡施用问题。此外,有的地区由于过量施氮,已出现水环境污染问题(如太湖地区)。为此,在当前必须注意不同地区、不同土壤特点,并针对作物需求,提出不同的 N、P、K 比例,采用平衡施肥技术。只有这样才能保持农产品产量的稳定增长¹⁾。

3.3.2 充分发挥农田养分循环的肥源潜力 从土壤植物营养元素在农田中再循环的角度看,根据我国实情,需要逐步建立低能源(化肥)投入、高养分循环与高作物产出的持续农业发展模式。通过研究,如按 1989 年农业资料计算,我国目前可能用于养分再循环的肥源潜力高达 3514.3 万吨纯养分,其中包括人畜粪肥、秸秆、绿肥和饼肥,这些养分比我国 1989 年的化肥总量多 1.96 倍,比同年消耗化肥量高 1.69 倍,是当年化肥进口量的 4.5 倍。人畜粪肥含有丰富的氮素,秸秆主要含钾,水稻籽实中氮、磷占地上部分总量的 60%,玉米占 70%,小麦占 80%以上,小麦秸秆含钾量占总量的 80%。所有这些充分说明,我国农业增产在发挥农田养分再循环的肥源潜力上有着广阔的前景^[3]。

为了充分发挥农田养分循环的潜力,首先需要解决在再循环基础上,建立定量的有机养分的施肥体系。为此,有人在最近的研究中,初步提出通过有机肥养分有效性系数(即提高一个单位土壤有效态养分需要加入的有机肥养分的单位数)的计算方法,得出不同有机肥源在不同土壤条件下的养分系数(如钾系数),据此建立一个模型,计划在某一有机肥源(如秸秆还田)条件下,化肥(如钾肥)的合理用量。此外,粪肥虽是养分再循环的重要养

1) 中国科学院,1994:我国农业生产的问题,潜力与对策(待刊)。

分来源,但如何在利用中防止对环境造成的严重污染,也是值得注意解决的问题。

关于有机肥的合理利用,特别是有机肥与化肥的配合施用,均是当前农业可持续发展中,土壤植物营养方面未曾彻底解决的问题,有待今后深入研究。

3.3.3 不断防治土壤肥力(养分)退化 土壤退化,特别是土壤养分退化,是直接制约农业持续发展的重要因素。据统计,当前世界土壤养分退化总面积为 1.5 亿公顷,占世界耕地面积 20%,我国土壤养分退化面积为 0.44 亿公顷,占我国耕地 60%,其中南方红壤养分退化面积 0.20 亿公顷,占全国 45%、占南方耕地 66%,说明土壤养分退化是当今全球及全国共同关注的问题。

土壤养分退化主要是人类长期对土壤资源不合理利用的结果。在我国 4400 万公顷养分退化的中低产田中,普遍缺氮,59.1%缺磷,22.9%缺钾,50%的耕地土壤有机质在 5—20g/kg 之间;南方占耕地 66%的 2000 万公顷的低产田,普遍缺氮,78%缺磷,58%缺钾,90%缺硼和钼,49%缺锌。据最近统计,我国南方长江中、下游及东南沿海在 1949—1958、1958—1978、1978—1984 三个时期中,粮食增长占全国总量分别为 58%、59.8%和 59.5%,其增长率接近全国的 60%,而 1984 年至今的十年间,北方各片粮食增长量占全国 97.5%,而南方片下降到 2.5%,其中东南地区九省十年来粮食反而减少了 39.8 亿公斤。分析原因,除因播种面积与复种指数减少外,土壤养分退化与耕地贫瘠也是重要原因之一^[4]。

最近,通过我国东南丘陵区旱地土壤养分退化评价研究,按照土壤养分退化等级标准,对该区 10 省 619 个县 113 万平方公里范围内,1994 年土壤中各种养分状况,编制了三幅土壤养分分布图,这些图幅表明,我国东南地区近年来土壤养分贫瘠化问题已经达到十分严重的程度。

针对上述土壤养分退化问题,结合近年来在南方工作的经验,提出应注意以下几个方面:¹⁾

第一,通过合理施肥注意养分库重建,防止养分有效性退化。养分有效性退化表现在磷、铵、钾素在土壤中的固定,因此必须对不同开垦利用的红壤进行平衡施肥,实验表明,经过四年合理施肥,退化红壤的养分库可发生变化。此外,只要养用结合,不断补充肥源,红壤已退化的养分是可逐渐重建的。

第二,通过合理耕作,增施有机肥,防止养分的侵蚀与淋失。这是克服养分数量退化的重要措施。由于各种养分施入土壤中均有不同程度的淋失(包括土壤侵蚀),并在不同施用时期中养分形态有不同转化,而且养分增长速度也有所不同。针对此特点,应采用各种防止养分淋失的耕作、施肥措施,使土壤养分的形态转化与增长速度满足植物生长的需要。

第三,注意生态系统中的养分循环和平衡,防止养分发生生物消耗性退化。在旱地、水耕、林草及果园生态系统中,土壤养分的循环与平衡各具特色。应通过不同生态系统,提出配套的施肥、耕作及管理措施与方案,促使土壤肥力不断提高和保持稳定。在这方面,不少红壤生态试验站均有较成熟的经验可供借鉴。

1) 鲁如坤等,1993:红壤养分退化研究(待刊)。

总之,土壤养分退化防治必须从上述三方面,即防止养分有效性退化、数量退化及生物消耗性退化着手,通过生态系统养分循环和平衡的综合措施,才能取得成效。

4 现代土壤学在农业可持续发展中应研究的问题

现代土壤学在农业可持续发展中应研究的问题很多,但主要包括以下三个方面:

4.1 持续农业与土壤圈物质循环的研究

农业发展的可持续性,其影响因素包括资源、环境、生物、技术及经济诸方面,其中养分因素(土壤圈中的)与生物结构变化起主要作用。土壤圈是实现养分与生物结构变化的关键,土壤圈的内外循环与无机、有机影响、生物生态工程与综合治理配套技术是决定提高土壤肥力的多元化途径,必须深入研究。此外,在研究土壤圈物质循环与农业可持续发展中,应研究以下六个结合:即农、牧、微(生物)相结合;无机、有机相结合;内、外循环相结合;土壤物质循环与景观生态结构优化相结合;传统技术与现代化技术相结合;物质循环与环境保护相结合。

4.2 土壤肥力与农业可持续发展的研究

未来农业的发展是以持续农业为战略体系。发展持续农业的目的,是获得高产优质的农业产量,保持清洁的环境和生物多样性,其内涵主要是在保持和提高代传土地质量,增强抗风险的缓冲能力,使土地在保护环境的基础上永续利用,并不断提高其农业生产力和经济价值。因此,维持和提高土壤肥力,达到稳定、均衡和协调供应养分,是发展持续农业的关键。在此意义上,土壤肥力应作为农业可持续发展的优先研究领域。具体包括以下几个方面:¹⁾

4.2.1 不同生态系统中土壤肥力演变规律研究 土壤肥力的演变与自然环境条件影响有关,但更与人为作用有关,研究不同生态条件下的土壤肥力演变规律,特别是稻田生态系统、旱地生态系统、雨养农业系统以及集约化条件下土壤肥力的发展趋势及其定向培育极为重要,具体内容包括:不同生态条件下土壤肥力的长期观测(包括土壤物理化学性质、养分含量、形态及转化,及其对作物生长的影响);不同培育措施对土壤肥力演变的影响;土壤肥力演变的预测与建模。

4.2.2 高度集约化条件下施肥制度的建立 在高度集约化条件下,有机-无机肥的配合体系是培肥土壤,建立“高产、优质、高效”农业的基础。具体内容包括:不同农业生态系统中养分再循环的特点和作用以及提高再循环效率的措施;化肥养分在土壤中转化和去向及其对增产效果和环境质量的影响。

4.2.3 区域土壤养分消长规律及肥料需求预测 预测肥料的需求决定于土壤养分消长、作物的需肥规律、产量目标和环境效益等因素,其中了解土壤供应养分状况最为关键,因此研究土壤养分状况和区域土壤养分消长规律,对中国肥料施用需求预测和新肥料的开发具有指导作用。其具体内容包括:我国土壤养分消长规律及区划和我国肥料的需求预测等。

1) 同前1)。

4.2.4 土壤-植物根际营养研究 土壤-植物根际环境直接影响着土壤中水分、养分向根的迁移、转化和有效性,有益和有害微生物的生存和繁殖以及污染物的聚积和降解。因此,根际营养研究对于现代化农业的科学施肥,合理轮套作和抗逆性调节等提供理论依据。目前,根际营养研究的主要热点为环境条件对根际养分的迁移和根系吸收养分的影响;土壤根际微结构和根系的表面性质及其与离子吸附和解吸的关系;根际微生物的种类、数量、活性及其对根际养分的影响;根系分泌物的形成条件以及养分、水分在根际迁移的数学模型等。

4.2.5 土壤生物工程 通过生物工程改造植物的营养特性,使其适应土壤条件,建立新的养分循环系统。如应用基因工程技术成功地将钾通道基因导入烟草等植物中得到遗传上稳定的转基因植株,从而提高吸钾能力。具体内容包括研究植物营养的遗传特性,养分吸收的分子机制以及植物营养性状的遗传学改良等。

4.2.6 植物营养元素在土壤中的化学行为及其有效性研究 土壤植物营养化学在今后一段时间内的研究重点应综合考虑各营养元素包括大量元素之间、微量元素之间及大量元素与微量元素之间的相互关系,并在继续深入研究粮食作物营养化学的同时,注意向经济作物,特别是名、特、优农产品方面扩展。

4.2.7 持续农业条件下土壤氮、磷、钾研究 氮素研究的指导思想是增加农业生态系统中氮素的投入,提高氮素利用率,充分发挥氮素的生产效益,减少氮素损失,控制损失的氮素对环境质量可能产生的不利影响。在土壤氮素矿化方面,进一步研究土壤有机氮的本性和生物分解性,并确定其矿化势和矿化速率常数。在不同土壤条件下,特别是北方石灰性土壤上氨挥发机制和影响因素的研究,加强硝化作用和反硝化作用田间的原位观测方面研究,在此基础上,建立各过程的强度与有关影响因素之间的关系,进行定量研究。

在土壤磷素的研究中,重点是深入探讨施入土壤磷肥的转化、去向、有效性、消耗和积累以及作物磷素营养之间的关系,从而确立更科学、更方便的磷肥合理施用体系。水稻土壤的磷的研究应受到重视,特别是磷在水稻土中的行为(吸附、解吸)以及与水稻生长的关系。土壤中有有机磷的研究,特别应重视属于生物物质部分的有机磷的矿化和作用的研究。同时,还应和其他营养元素如氮、锌的研究结合起来。有机磷的淋失,磷的移动和富营养化的关系。

运用现代先进技术进一步研究原生矿物钾释放的动力学,并将结果应用到复杂的土壤体系中。钾的研究应和植物根际营养和植物生理学联系起来,研究钾在土-根表面的化学行为和生物学行为,同时,研究钾增强作物抗病能力的机理。此外,另一重要的研究内容是探讨钾肥和气候因素的交互作用,因为钾肥的施用效果受到气候因素的影响。钾的循环与生物钾肥的开发利用。

土壤氮、磷、钾的研究将继续向纵深发展,同时,综合研究元素之间的相互关系,既是土壤植物营养化学的发展方向,也是今后研究的重点。

4.2.8 集约农业条件下新出现作物对养分需求特点的研究 在集约农业的条件下,一些本来并不缺乏的元素表现出了缺乏症状,如一些微量元素,同时一些地区土壤还会出现硫、硅等元素的匮乏,所以这方面的研究不应忽视。其重点在于评价土壤供硫、供硅的化学方法,研究硫、硅对作物产量和品质的影响;此外,对那些虽不是植物营养所必需的,但

也有益的元素的研究也将得到重视,这些元素包括 Na、Al、Co、V、Se、Ti、Re 等。

4.2.9 施肥技术和提高肥料利用率的研究 植物吸收的养分,虽然主要来自土壤,但单靠土壤本身的养分是不够的,还必须进行施肥。因此,旨在根据土壤养分状况,供肥特性和作物的需肥规律,研究肥料(包括化肥和有机肥)的施用技术,以提高肥效和利用率,获得最好的经济效益。这样的研究工作是十分重要的。

4.3 土壤水分平衡与调控的研究¹⁾

作为地球系统中连结各圈层物质迁移的介质,水是生命的源泉,是发展工农业生产不可缺少的物质基础。全球淡水资源不足,我国可用淡水资源则更少,往往成为发展工农业生产,特别是农业生产的主要障碍之一。除淡湖、江、河以外,土壤是唯一能保持可用淡水的庞大场所,因而研究土壤水的平衡、运动及其与溶质运移的关系,不仅对提高水资源利用率,促进农业的持续发展,而且对改善生态、环境有重要意义。

4.3.1 区域水文整治与农田水分调控 大尺度的区域水文状况研究及其成果应用是提高农业总体产出的重要手段。“洼改旱”,“旱改水”,扩大水浇地,推行旱农增产技术等是我国制定农业中长期规划的决策依据,其主要研究内容包括水热平衡的区域分异与水土资源的藕合类型;不同区域农业水资源及农业节水潜力;区域土壤和植物的水分状况动态监测与遥感技术;区域农业节水技术研究;旱农增产技术和适量灌溉原理和技术等。

4.3.2 农田水量平衡 农田水分丰缺受大气降水、地下水等因子影响,农田水分平衡中特别涉及土壤水的变化,因植物吸水主要来自土壤水。由于植物生理需水,水从根系吸收入体内,再运转到叶片蒸腾而进入大气形成土壤-植物-大气,连续体系(SPAC)中的水循环。研究农田水量平衡中的各因子及水在 SPAC 体系中的运移规律对调控作物生长和提高有限水资源的产出率具有重要意义。具体研究不同生态区和农田类型的水循环特征及其调控机制;农田蒸散规律及其调控机制;不同区域土壤-植物-大气连续体内的水流动力学及其模型;区域水分状况的预测预报;雨养农业农田的水量平衡与保墒技术机制等。

4.3.3 根际土壤环境与植物耗水的关系 植物耗水不仅取决于植物的需水与大气的蒸散条件,而且也取决于土壤的水分特性。土壤的固(颗粒、结构、机械强度)、液(溶质浓度及离子组成)、气(空气浓度和组成)三相组成的根际环境对植物根系吸水和水分的生产效率具有重要影响。选择不同植物以适应各种各样的土壤根际环境,将生物学与土壤学原理加以统一思考也是节水农业的重要原则。主要研究内容包括根际土壤环境与作物根系吸水;水分胁迫的作物反应及其利用;农田种植结构与节水型作物配制;土壤管理与农田水分调节等。

5 结 论

5.1 随着社会经济不断发展,土壤学研究正在朝土壤圈及其与地球各圈层关系方向转变。现代土壤学研究的总方向应是,“研究土壤圈物质组成、性质和物质循环、能量转化及

1) 赵其国等,1994:土壤科学发展战略研究(待刊)。

其对人类生存环境,特别是农业持续发展的影响”,这是当前自然科学发展及资源环境形势影响下,对土壤学研究提出的新趋向,跨世纪的土壤学是否将转向土壤圈学,这是值得注意与探讨的问题。

5.2 现代土壤学面临人口与粮食、资源与环境的严峻挑战,土壤学今后的发展必须为人类享有充足的食物和清洁的环境作出贡献。解决粮食增产与农业可持续发展的途径是扩大播种与灌溉面积;合理增施化肥;选育优良品种;实行集约化经营;改良中低产田及优化生态模式。

5.3 土壤肥力是建立持续农业的重要物质基础,通过调节肥力退化与重建过程,不断培育持续高产的土壤肥力是建立持续农业的根本措施。

5.4 为促进农业持续发展,从土壤植物营养的角度出发,必须注意解决调节 NPK 施肥比例与平衡施肥;充分发挥农田养分再循环的肥源潜力与不断防止土壤养分退化三个方面的实际问题。我国南方有长期防治红壤养分退化的综合配套经验,值得借鉴。

5.5 持续农业与土壤圈物质循环;土壤肥力与农业持续发展;土壤水分平衡与调控等方面的系统与长期的定位研究,是现代土壤学在促进我国农业持续发展中的重要研究内容与方向,应引起重视。

参 考 文 献

1. 赵其国,1991:土壤圈物质循环研究与土壤学的发展。土壤,23卷1期。
2. 赵其国,1994:未来土壤学。中国科学报,1994年4月22日。
3. 鲁如坤,1993:我国农田养分再循环潜力和问题。中国农业科学,26卷5期。
4. 罗家贤等,1994:红壤的肥力退化表现及研究方向。土壤圈(赵其国主编),江苏科学出版社。

MODERN SOIL SCIENCE AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF AGRICULTURE

Zhao Qiguo

(*Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing 210008*)

Summary

The general direction of research work on soil science should be “to study the material composition, properties, cycling and energy transformation of materials in pedosphere and their effects on human living environment, especially on the sustainable development of agriculture”, which is a new proposed tendency of studies on soil science under influences of current situation of natural science development and resource environment. Soil science must make an important contribution to that mankind enjoys enough foods and a clean environment. Soil fertility is a primary material base for the establishment of sustained agriculture,

and continuously promoting soil fertility to get stable high crop yields via regulating the deterioration and rebuilding processes of soil fertility is the fundamental measure to establish sustained agriculture. Much attention should be paid to the regulation of N, P and K fertilizer ratio and balance fertilization, to the promotion of nutrients recycling in farmlands and to the prevention of soil fertility deterioration. Most important researches of modern soil science in promoting the sustainable development of agriculture in China should involve systematic and long-term experimental studies in many aspects such as sustained agriculture and material cycling in pedosphere, soil fertility and sustainable development of agriculture, and soil water balance and regulation.

Key words Modern soil science, Sustainable development of agriculture, Pedosphere