

# 土壤植物营养化学的研究现状和发展趋势\*

王 贤 忠

(中国科学院南京土壤研究所)

## 摘 要

作者在详尽地论述了我国在土壤植物营养化学研究取得的成就及存在的薄弱环节后认为:土壤植物营养化学的研究工作必须在保障人类生存发展和改善环境的总目标下进行,强调了宏观的、综合的和渗透的观点的重要性。

土壤植物营养化学是研究土壤、植物、肥料三者关系的科学。它既是土壤学的重要组成部分,也具有生物学的内涵,同时又具体指导农业生产。目前,粮食问题是一个非常突出的问题,特别是在我国。我国的耕地面积只有1.2亿公顷左右,人均只有0.1公顷,是世界上人均耕地最少的国家之一,而且1/3的耕地还存在各种障碍因子<sup>[1]</sup>。我国耕地土壤几乎全部需补给氮素,大约1/2—1/3缺磷,1/3—1/4缺钾,且缺钾的面积有扩大之势<sup>[2]</sup>。调节土壤养分环境,增加粮食产量,是土壤植物营养化学的重要研究内容。此外,本学科的许多研究领域还与环境保护有密切关系。

## 一、土壤植物营养化学研究的回顾和现状

研究植物营养元素在土壤中的含量、分布、形态、转化及其有效性,是土壤植物营养化学的核心问题,历来受到研究者的重视。

氮是植物生长的重要限制因子,土壤氮素的研究一直是非常活跃的领域。国内外学者对土壤氮素的矿化和固定已有较深的研究。1973年Standford和Smith提出了土壤氮素矿化势的概念和测定方法,用以判断不同土壤间氮素供应能力的相对高低,并可估算出在作物生长期可能矿化出来的氮量和矿化过程。与以往简单测定一个矿化量的方法相比,有许多优点<sup>[3]</sup>。

氮肥是世界上耗量最多的化肥,目前,我国的年施用量就达1347万吨(纯氮)。由于氮肥在稻田中的利用率很低,所以,明确稻田中氮肥的去向,探明减少氮素损失,提高氮肥增产效果的途径,是一项国内外科学家共同关注的问题。国外关于稻田中氮肥去向的研究始于1967年,但均系采用盆栽试验的方法,直到70年代初,才开始有田间微区试验的报告发表<sup>[4]</sup>。国内在1974年首次在田间微区试验中研究了<sup>15</sup>N标记氮肥的去向。此后,国内陆续开展了这方面的工作。明确了化肥氮的损失一般占施入量的30—70%<sup>[4]</sup>。关于稻田中氮肥的损失机制和途径问题,国际上一直存在着争论。早在40年代,日本土壤学家就提出了稻田的氧化层—还原层的分异是铵态氮肥反硝化损失的原因。70年代后期,国际水稻所和国际肥料发展中心的科学家却认为,稻田中氮肥的损失主要为氨挥发所致,而反硝化损失可能不是主要的途径<sup>[4]</sup>。但研究反硝化作用具有多重意义,十分重要。为了获得有关的参数,原位研究土壤中

\*本文承蒙朱兆良研究员审阅,土壤—植物营养化学研究室主任孙秀廷副研究员对本文提出了许多宝贵意见,此在一并致谢。

反硝化作用受到普遍重视，但是技术上仍然存在不少问题<sup>[5]</sup>，特别是在水稻土上进行原位研究的困难更突出。

很多研究人员认为，除了CO<sub>2</sub>，阳光和水分之外，影响光合作用和植物碳代谢最重要的因子是磷<sup>[6]</sup>。因此，植物的磷素营养和土壤磷素的研究(如磷的吸附、解吸等)也一直受到各国科学家的重视。在农业生产中最值得注意的是土壤中植物所能吸收的有效磷。与有效氮的测定方法相比，目前测定有效磷的方法较为成熟，应用最广泛的有Bray-I法、Olson法及北卡罗林法<sup>[7]</sup>。不少研究人员对土壤中磷素的分级方法进行了研究，在全世界范围内应用最广的是1957年张守敬和Jackson提出的土壤磷素系统分级法，但它在应用于石灰性土壤时会产生许多困难。最近国内提出了适用于石灰性土壤和中性土壤的无机磷形态分级体系，其优点是有助于研究磷肥施入土壤后的形态转化及其有效性。

植物磷素营养的研究，近年来十分重视土壤植物界面上的磷素供应状况、磷的有效条件和有效利用。Van Ray和Van Diest的研究表明，植物的磷吸收量是与根际土壤pH呈指数关系的<sup>[7]</sup>。此外，国外对根系与土壤界面上磷素的供应状况和吸收还应用了数学模拟方程式进行预测<sup>[7]</sup>。

钾和氮磷不同，它不是细胞内任何分子的稳定结构部分，然而作物生长需要大量的钾，在植物营养中，钾是最重要的阳离子<sup>[8]</sup>。钾能活化60多种已知的酶，在气孔的开闭过程中起关键作用，同时钾对木质部和韧皮部的运输有着重要作用<sup>[6]</sup>。此外，钾还能促进植物的生长<sup>[6]</sup>。Blevins(1985)最新的研究表明，作物合成的蛋白质质量越高，需钾量也就越大<sup>[6]</sup>。现在，关于土壤钾素的形态和转化规律，钾的有效性及其评定方法，钾的植物营养机理，影响钾肥效果的因素以及农业集约化条件下的钾素平衡等方面的研究，均取得了较大的进展。我国对土壤钾素和植物的钾素营养也作了深入的研究。从50年代末开始，对红壤地区含钾矿物的分布及转化规律，含钾矿物的钾素释放及供钾能力的关系等方面进行了研究。这些工作都具有一定的开创性，这些基础研究及大量的钾肥田间试验工作，为钾肥的推广施用和粮食增产，起了积极作用。

土壤微量元素的研究是一项范围较广而又有一定难度的工作。这方面的工作，主要是50年代以来逐步开展的。近年来，国内对土壤中微量元素的含量和分布规律进行了系统的研究，并作了初步总结。填制了1/1000万的全国土壤有效态硼铝锰锌铜元素含量图各一幅，初步划分了缺硼土壤的类型和分布地区<sup>[9]</sup>。我国对硼、铝、锰、锌的研究较深入，但对铜的试验较少。

国外对微量元素的研究和施用微肥的历史比我国早。如德国东部地区使用微肥已有50年历史，且从1972年利用计算机推荐施用微肥，开始大规模施用微肥<sup>[10]</sup>。美国对微量元素进行了大量的工作，并在全国50个州进行了4次缺乏微量元素情况调查<sup>[9]</sup>。美国每年的微肥施用量已达65400吨(1979年)<sup>[10]</sup>。此外，其他一些西方国家和苏联也对微量元素进行了深入的研究。

1904年，Hiltner首次提出了根际(rhizosphere)的概念。根际是指作物根系周围的土壤区域，在该区域内的细菌由于受根系分泌的含氮化合物的影响而迅速生长。后来根际的含义有所变化：凡根系附近微生物生长受到促进的土壤区域皆定义为根际<sup>[11]</sup>。现在根际营养研究已成为土壤学和植物生理学之间的一门边缘学科，并一直是国际上生物科学的热门课题之一。

目前对离子从根系表面进入根系内部的机理研究方面已有了较大的进展，离子进入根系内部的通道有“自由空间”，通过细胞膜的主动运输和共质体运输<sup>[12]</sup>。已有一些描述根系生长和植物吸收矿质养分的计算机模型，但这些模型不适用于田间条件，还不够成熟，对植物

根系吸收大量元素的研究比较多,而对微量元素的吸收机理则研究得较少<sup>[13]</sup>。

我国在根际营养方面的研究起步较晚,但近来取得了较大的进展,在根际养分状况和迁移规律、土壤养分与根际环境及土壤难溶性养分(主要是磷、铁)的根际效应方面的研究,已取得了相当的成就。

## 二、土壤植物营养化学研究的薄弱环节

土壤氮素的研究虽然有了很大的进展,但也存在一些有待加强之处。如研究氮素矿化的同时,应综合考虑到其他可能同时进行的转化过程,以及不同影响因素之间的相互关系。土壤矿化速率常数 $K$ 是表征土壤矿化的一个重要指数,但目前还不明确 $K$ 值是否因土而异。现在虽然能在一定程度上预测土壤氮素的矿化量,但预测的仅仅是耕层土壤的氮素矿化量,而底层土壤的氮素矿化,仍是一个有待研究的问题。关于旱地土壤氮挥发的机制和影响因素的研究,仍有待进一步的深入。在水田中,目前还缺乏可行的研究方法研究硝化和反硝化作用。定量测定土壤中的硝化作用及稻田原位观测反硝化损失,是一个有待突破的问题。

我国磷矿资源比较贫乏,磷肥生产远不能满足生产的需要。因此很有必要深入研究磷肥的经济合理施用,如更科学、更方便地确立磷肥用量,提出各种提高磷肥利用率的措施等。鉴于水稻土在我国农业中的重要地位,应重视水稻土磷化学的研究。磷肥的后效如何,目前尚无较长期的磷肥试验可资论证。

土壤钾素的研究中,测定方法是一个比较突出的问题,特别是对非交换态钾的测定,国内目前还没有一致公认的测定方法。我国钾资源十分贫乏,因此有人提出设想,加快矿物钾的释放,但目前尚无有效的农业措施<sup>①</sup>。钾肥增强作物抗病能力的机理研究,有重要的理论和实践意义,但研究工作还没有系统地开展。

许多微量元素的工作已经相当深入,但不少工作仅限于对单个元素的研究。不同微量元素之间、微量元素与大量元素之间的关系还有待进一步的研究。

在根际营养研究中,有关根系的生理条件和土壤环境诸因素的影响还需深入地讨论。根系微区的研究方法也是该领域的薄弱环节。对根系微区这样一个复杂的问题,多种方法的综合应用和相互补充是很有必要的。

## 三、土壤植物营养化学研究的发展趋势和近期的研究重点

与土壤学的其他分支学科一样,土壤植物营养化学的研究,必须在人类的生存发展和环境的保护与改善这个总目标下进行,其发展趋势似可归纳如下:

1. 在宏观指导下进行土壤植物营养化学的研究。这一研究领域的任何发展,都必须和“人类与环境”的总目标联系起来,即土壤植物营养化学的研究服务于粮食生产和环境保护。

2. 学科的综合与相互渗透。土壤植物营养化学的研究将和土壤学其他分支学科和其他学科进一步综合和相互渗透。地学、数学、环境学、生态学、生命科学、信息学等学科将对土壤植物营养化学的研究产生巨大的影响。不少土壤存在着不利于作物生长的因子,如营养元素的匮乏、铝毒、盐渍化、碱化、酸化等。有些不良因子通过施肥、添加某些物质、灌溉和

<sup>①</sup> 谢建昌,土壤钾素研究某些方面的现状(未刊资料),1989。

土壤管理等措施加以改进；有些不利因素虽亦能被改善，但花费太高<sup>[14]</sup>。因此，通过植物营养学和作物育种学的综合和渗透，培育出能在不良条件下生长的作物，是植物营养化学研究的一个重要发展方向。

3. 对新技术和新方法的依赖越来越突出。就目前情况来说，许多研究领域由于方法上没有突破，研究很难向纵深发展。因此，有无新的技术和新的方法是土壤植物营养化学的研究能否有新的突破的关键。

除此之外，电子计算机将被广泛地应用在植物营养化学的各个方面。各种数据库的建立，将完善现有的带有经验性的施肥制度和指导施肥体系。

鉴于上述的发展趋势，土壤植物营养化学在今后一段时间内的研究重点应当是进一步研究植物营养元素在土壤中的化学行为及其有效性，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，注意向经济作物方面扩展。

### 1. 土壤氮磷钾的研究

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果，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的机制和影响因素的研究，仍将是氮素研究的热门课题。硝化作用和反硝化作用的研究重点主要集中于方法的研究上，特别是田间的原位观测。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。此外，不少研究指出，硝化抑制剂和脲酶抑制剂的应用对减少反硝化损失和延缓尿素水解有一定效果。今后的研究重点是进一步研究硝化抑制剂、脲酶抑制剂及一些新筛选的生物活性抑制剂减少氮素损失的机理及有效施用条件。

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。水稻土磷的化学的研究应受到重视，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，特别是属于生物物质部分的有机磷的矿化和作用的研究。土壤磷素的研究还应和其他营养元素如氮、钾的研究结合起来。

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。

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。

### 2. 根际营养的研究

根际营养的研究前沿是探求土壤—根界面养分及其环境的动态，从而阐明土壤养分的生物有效性<sup>[11]</sup>，以期培养“有效植物”(对元素缺乏或养分有效性低的条件抗性较强的植物基因型)和“耐受植物”(对元素过多抗性较强的植物基因型)<sup>①</sup>。

① 杨肖娥，植物营养新的研究方向——植物矿质营养遗传性研究的理论和实践意义。浙江农业大学土化系青年教师及研究生论文集》(第三届全国青年土壤科学工作者学术讨论会特辑)43—44页，1990。

从今后的发展来看,根际微区研究的重点是根际微生物的种类、数量、生理活性及根际微生物与离子吸收和环境条件的相互影响;不同作物和土壤条件下土壤—根系显微结构及根系的表面性质及其与离子吸附、解吸的关系。环境条件对微区养分迁移、根际养分吸收影响的研究也将进一步深入<sup>[11]</sup>。根际微区测定技术的完善及土壤—根系离子转移的数学模型的建立将使根际营养的研究更加科学化和数量化。

#### 4. 微量元素及其他

对微量元素的形态、分布及在土壤中的化学行为已有了较深入的了解。以后的研究重点将偏重两种或两种以上微量元素的交互作用及微量元素对环境质量和人畜健康的影响。

随着土壤集约化利用程度的提高,土壤还会出现硫、硅等元素的匮乏,所以这方面的研究也不应忽视。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;深入研究土壤中的硫素来源及土壤圈中的硫素循环。

此外,对那些虽不是植物营养所必需的,但是有益的元素的研究也将得到重视,这些元素包括Na, Ni, Al, Co, V, Se, Ti, Re等<sup>①</sup>。

#### 5. 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,但单靠土壤是不够的,还必须进行施肥。因此,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<sup>①</sup>。施肥技术的研究,依然应以植物营养学为主要内容,对果树、蔬菜、烟草等经济作物尤应如此。

### 参 考 文 献

- [1] 常紫钟, 罗涵先主编, 农业年鉴, 第2页。农业出版社, 1980。
- [2] 鲁如坤, 我国土壤氮、磷、钾的基本状况。土壤学报, 第26卷, 第3期, 280—286页, 1989。
- [3] 朱兆良, 土壤中氮素的转化和移动的研究近况。土壤学进展, 第2期, 1—15页, 1979。
- [4] FAO yearbook 1987, vol. 37 (Fertilizer), p. 54, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 1988.
- [5] 李良谟, 我国土壤硝化—反硝化作用研究概况与展望。我国土壤氮素研究工作的现状与展望, 68—81页, 科学出版社, 1986。
- [6] Dale G. Blevins, Future developments in plant nutrition research. Future developments in soil science research p. 145—156, Soil Science Society of America, Inc. 1987.
- [7] 李庆远, 现代磷肥研究的进展。土壤学进展, 第2期, 1—7页, 1986。
- [8] 谢建昌, 土壤钾素研究的现状和展望。土壤学进展, 第1期, 1—16页, 1981。
- [9] 刘铮, 微量元素在我国农业中的应用。土壤养分, 植物营养与合理施肥(孙义主编), 92—110, 科学出版社, 1983。
- [10] 刘铮, 国外在农业中应用微量元素的情况。土壤学进展, 第2期, 1—12页, 1980。
- [11] Elliott L. F. and Fredrickson J. K., Plant-Microbe interactions in the rhizosphere. Future developments in soil science research, p. 445—458, Soil Science Society of America, Inc. 1987.
- [12] 刘芷宇, 土壤—根系微区养分环境的研究概况。土壤学进展, 第3期, 1—11页, 1980。
- [13] D. L. Gunes, Plants roots in relation to soil fertility. Future developments in soil science research, p. 245—257, Soil Science Society of America, Inc. 1987.
- [14] Frank G. Viets, JR., A perspective on two centuries of progress in soil fertility and plant nutrition. Soil Science Society of America Journal, vol. 41, p 242—249, 1977.

① 孙秀廷, 土壤—植物营养化学学科研究方向国内外进展、发展趋势和工作重点(未刊资料), 1991。