近代植物营养科学的方法论

毛达如

(北京农业大学植物营养系，100094)

摘 要

本论文阐明了植物营养科学的概念，以及植物营养科学的历史发展与研究方法进步之间的关系，并从近代植物营养科学的方法论阐述了它的内涵与研究方法的进展。

关键词 植物营养，研究方法，概念

一、植物营养的概念与进展

1.概念

植物营养科学是研究植物体与环境之间营养物质吸收、运输、转化和能量交换过程的科学[1、2、3、4]。欧洲植物营养的研究从农业生产中施用草木灰、石灰、厩肥等开始已有2000余年的历史[1]。但在中国确切文献记载表明，战国、秦汉时期已经施用畜粪和农业废弃物作肥料。因此，中国植物营养的萌芽，几乎早于欧洲一千三、四百年[5]。由此可推测人类对于植物营养的研究历史至今大约有三千余年。但是在较长的历史时期内，人们并不知道植物正常生长发育需哪些必需的营养物质（或营养元素），直到150年前关于营养元素对植物生长的功能，仍然存在着科学上的争论。1840年德国农业化学家李比希（Jistus von Liebig）编辑和总结了关于矿质元素对于植物生长所具有的重要性方面的零星报导，并首次应用化学方法研究了植物体与环境之间在营养物质和能量方面的交换过程，提出了植物的“矿质营养”学说，并将植物矿质营养确立为一门学科。李比希认为氮（N）、磷（P）、钾（K）、钙（Ca）、镁（Mg）、硅（Si）、钠（Na）、铁（Fe）等元素是植物营养的必需元素，开创了近代植物营养科学的新纪元。因此全世界人们公认李比希是植物营养科学的创始人。尽管当时李比希的植物矿质营养学说是从植物化学分析和生物学观察中推测出来的，当时还缺可靠的科学实验数据的支持。但在李比希的矿质营养学说提出后，上世纪末和本世纪初，世界各国植物生理学家和植物营养学家，应用近代的砂培和溶液培养等生物模拟研究方法，进一步确定了16种矿质元素在植物生长和代谢中的直接作用，从而确定了它们作为植物生长发育必需元素的地位。这是从严格的科学试验中进一步证实了李比希的矿质营养学说的正确性与科学性。至今我们仍把李比希的植物矿质营养学说的创立，作为近代植物营养科学的起点。因此近代植物营养科学的创立，与现代植物营养研究方法的进展是分不开的[6]。

2.植物营养研究的进展

在李比希的时代（即19世纪中叶），法国植物营养学家布森高（Boussingganlt），在人工控制条件下，进行了七年的植物营养田间研究、砂培模拟研究和化学测试。1841年布森高明确指出了豆科植物能固定空气中的氮，从而增加土壤中的氮素含量，而非豆科植物只能吸收土壤中的氮。布森高的研究开创了“田间—温室模拟—实验室测试”相结合的近代植物营养研究方法。

劳斯（Lawes）从1843年开始，在英国洛桑试验站（Rothamsted experiment station）Broadbalk试验地首次开展古典肥料长期定位试验，至今已延续150年。在Lawes的创导下，近百年来世界各国为了植物营养与施肥科学的建立，继英国之后，美国、芬兰、挪威、丹麦、德国、法国、波兰、捷克、荷兰、奥地利、比利时、俄罗斯、日本等国，均设置长达半个世纪以上，为植物营养与施肥服务的田间肥料试验，国际上称之谓长期肥料试验（Very Long-term fertilizer experiment），这是近代植物营养学田间研究的开端。

近代数理统计方法的应用，又使植物营养的田间研究进入现代科学方法的新阶段。本世纪二十年代的费休（R.Fisher）的方差分析和随机区组设计；叶次（Yates）的混杂设计和复因素试验；以及本世纪五十～六十年代的回归正交设计、回归旋转设计、回归最优设计、配方试验设计等等，这些现代化研究方法的渗透和应用，使植物营养研究进入了电算机研究的新阶段。

近代植物营养科学进展表明，只有植物营养的田间研究，还难以揭示植物营养学的本质。必须在人为控制的模拟条件下，通过各种模拟试验才能进一步揭示植物营养的实质。

近代植物营养模拟研究包括多种培养试验，短期幼苗试验，框栽试验等等。1629年万·海利门特（VonHellement）的柳条试验，尽管结论是错误的，但人们还公认他开创了植物营养模拟试验研究方法[6]。以后1699年乌特渥尔特（Woodward）、1804年索秀尔（Saussure）、1857年萨克斯（Sacks）、克诺谱（Knop）、以及赫里利格尔（Hellerigel）、瓦格涅尔（Wagner）等，均为近代植物营养模拟试验——各种砂培和溶液培养研究方法奠定了基础。现代植物营养模拟试验，都是由电子计算机控制的自动化装置，不仅可提供研究过程的自动化，而且有管理工效高、准确、精度高的特点。例如日本的无影温室，德国BASF农业试验站的全自动化温室和美国TVA的全自动化Lysimeter-根系实验室等[7、8]。

随着科学的发展，测试手段的改进，植物必需的微量元素也一一被发现。自动化测试仪器与电算机联用，为微量元素、痕量元素的研究提供了先进的测试手段。例如原子吸收分光光度计（AAS）和等离子发射光谱分析仪（IPC）等。借助这些近代研究方法，我们不仅了解植物必需大量元素的功能和代谢机理，而且还了解植物必需微量元素的功能，以及它们与酶反应的关系，或进行原子价的改变，电子的传递，或作为基质与酶的桥梁，改变酶—基质复合物的分子结构，这些研究大多数是用较高的无机离子浓度，在实验室试管中，用离体组织实验求得。但在整体植物组织细胞中，特别是在进行酶反应的质膜上，离子浓度没有这么高，能否达到活化酶的要求，值得怀疑。因此在晚近二十年，植物营养领域的研究方法，已从离体组织转向整株植物的研究。

植物营养元素的必需性已在上世纪被人们所认识。半个世纪以来，这方面的研究进展不大，直到本世纪五十年代借助于核技术的应用，植物营养的机理研究才有了较大的进展。这

些研究方法有放射性核素示踪技术，稳定性核素示踪技术，活化分析技术以及核辐射技术等，特别是放射性核素示踪技术的应用，促进了离子吸收和运输机理的研究。同时应用酶动力学理论和载体概念，阐明了离子吸收的选择性。六十年代美国植物营养学家巴波（Barber）等人应用此方法，阐明土壤中离子向根表移动的机理，大大推动了植物根际微区养分的动态研究。七十年代以来，电子探针，微电极，电子显微镜等新技术的应用，使植物根际微区养分动态研究更加向微观方面深入，研究范围也更加扩大了。

植物营养的土壤物理化学方法的研究进展，对土壤养分的供应，促使人们用热力学平衡方法来研究土壤固相离子的吸附和解吸，固定和释放。土壤养分定位，如石灰位，磷位，钾位等的研究，又使人们用能量概念来论述土壤养分的有效性。众所周知，土壤中不同形态养分总是处在动态平衡之中，因此近年来有更多的植物营养学家，从动力学观点来研究土壤养分的有效性，并将土壤养分释放量（Q）和释放速率（I），作为研究土壤有效养分的重要参数。

近代研究表明，植物矿质营养的过程，受不同植物种类、品种的影响，植物对矿质营养元素吸收利用也是不一样的。这种差异主要来自不同的植物营养——遗传基因型的控制。为此，应用植物生理、生物化学方法，来研究植物矿质营养—遗传基因型差异的机理，提供耐低土壤营养的种质资源，为农作物高产优质高效育种服务，以便在中低产土壤上获得高产优质而又抗逆的新品种。

综上所述，植物营养是一门多学科交叉的科学，它需要土壤学，植物生理学，作物科学，环境科学的理论指导；并应用生物的，化学的，物理的，数学的各种方法的综合研究。从一定意义上讲，近代植物营养科学的发展历史，也是近代植物研究方法的发展历史，二者是密切联系，相互促进，相互发展的。

二、植物营养科学的方法论

1.植物营养的模拟研究方法 它是在人为控制水分、光照、温度、营养等条件下，采用特殊容器，在特定营养环境中进行植物矿质营养的研究。根据模拟植物生长载体的条件，又可分成土壤模拟培养、砂砾模拟培养、溶液模拟培养以及隔离培养、分根培养、灭菌培养各种特殊条件的模拟培养，总称为模拟培养或培养试验。模拟研究的任务是进一步揭露植物营养的实质和机理，确定植物对肥料的反应和肥料中营养元素的作用方向[9]。它是植物矿质营养研究的基本方法和植物营养田间研究的必要补充。

2.植物营养的田间研究方法 是在田间自然气候条件下进行的生物试验。它的任务是在田间研究植物营养的过程，阐明各种肥料的肥效，农作物对肥料的反应，为合理施肥提供科学依据。植物营养的田间研究方法以R.Fisher的方差分析理论为依据，W.S.Gosset的t分布作为田间研究结果统计试验的标准，这样可以在一个因素的不同水平上去研究另一个因素试验效应的变化。尽管这类试验设计起源于本世纪三十年代，但至今在植物营养的田间研究中仍居重要地位。自从英国F.Galten，1889年提出“回归”的概念后，七十年代以来随着电子计算机的应用，回归分析方法已在植物营养的田间研究中越来越得到广泛的应用，使植物营

养的研究从定性走向定量化阶段。植物营养的田间研究以生物田间试验为主，包括从作物、土壤、气候、肥料等试验因素的调查、观察、测试、校验，研究成果逐渐应用于生产，因此它也是植物营养研究的基本方法[6、9]。

3.植物营养的测试方法 是研究土壤—植物系统中营养物质循环，植物营养的形态和生理诊断的必备手段，从而帮助我们认识植物营养的化学或生物化学过程。常规的化学分析技术在本学科的研究中，至今仍是基本的测试手段。本世纪七十年代以来，自动化测试仪器的出现，不仅提供了微观研究条件，而且操作简便，数据可靠，又可大批量作业，例如AAS，IPC，CFA，EUF等，有逐渐由化学—物理或物理学方法代替常规化学方法的趋势，预计在未来的发展中将成为植物营养研究的主要手段。

4.根和根际的植物营养研究方法 这是当代植物营养研究的重要领域。它的重要性在于植物营养物质和能量交换过程，主要是在根系和根表的界面进行[1、2]，因此植物营养的过程，实质上就是植物根际营养过程。尽管近代科学研究已揭露了植物根外营养的可能性，但叶部吸收的养分明显的少于根部。传统植物根系的研究方法一直沿用Hales，1727年采用的挖掘技术和形态研究方法。1870年德国Schnbart提出用水冲洗植物根系的方法，以后经过多次改进逐渐发展成经典的钉板法；美国植物生态学家J.E.Weaver用特制定容的钻挖掘根系，已成为二十世纪中期国际流行的根系研究方法；Oskamp和Batjer（1932）提出了木盒剖面根系研究方法等，至今这些仍是植物营养根系研究的经典方法。五十年代以来，Loffe提出放射性示踪技术应用于植物根系生态研究中，^{86}R，^{32}P注射和X光胶片放射性自显影技术的应用，以及七十年代Baidwin和Tinker双标记自显影根系测试方法，使植物营养根系研究方法进入更加直观、准确、定量研究的新阶段。1984年Brown提出植物多孔膜—根栽培技术（Porous membrane-root culture technique），可以在一定生长期内提供完整的植物根系及其地上部分，为植物营养的根系评价和研究提供了一个最佳的手段。VA菌根是植物根际营养研究的一个重要领域，它采用特制分隔的微型培养盆进行生物试验，并用直线截获法，载玻片法和目测法进行VA菌根真菌侵染率的定量分析。也可用冰冻切片法，微电极法，电子探针法，放射性自显影法，以及根系“表观自由空间”中养分测定法研究VA菌根对植物根际微区养分的变化。这是当代根和根际植物营养研究的主要方法和基本技术。

5.植物营养的核技术方法 本世纪四十年代以来，核技术才开始在植物营养的研究中应用。众所周知，稳定性核技术的应用，使我们可以跟踪氮（^{15}N）在土壤—植物系统中的循环，研究氮肥在农田施用后的去向，为评价氮肥和指导氮肥施用提供科学依据。放射性核技术的应用，进一步揭示了磷（^{32}P）、锌（^{65}Zn）、碳（^{14}C）、钴（^{60}Co）、钙（^{45}Ca）、硫（^{35}S）、铁（^{59}Fe）、碘（^{131}I）、钠（^{24}Na）、氯（^{36}Cl）、锰（^{54}Mn）、铜（^{64}Cu）等大量和微量元素在植物体内的吸收，运输、转化等过程，进一步揭露了植物营养的实质。近代的中子活化分析技术，α-固体径迹技术，X—射线荧光分析技术等先进核技术研究方法已开始在植物营养研究中应用，它必将推动植物营养科学向更微观更深入的水平发展。

6.植物营养的生物数学和生物统计方法 生物数学是应用数学中的一个分支，植物营养学也是生物科学的一个重要组成，这二方面的结合，构成了植物营养生物数学方法。1909年德国土壤学家米切里希（E.A.Mitscherlich）和数学家布尔（Baule）合作，第一个用数学

研究农作物产量与土壤养分供应之间的函数关系，提出了著名的“米氏指数方法”，用于指导科学施肥。1927年尼克来和米勒（Niklas, Miller）提出二次多项式模型来表达农作物产量与施肥量的关系，建立“二次项施肥模型”[10]，至今仍在广泛的应用。七十年代，考威尔（Colwell）提出趋势系数正交多项式模型，可以把土壤测试值作为地点变量引入模型。在用数学方法研究植物对土壤养分吸收机理上，巴波（Barber）1962年首先计算一株植物由质流所供应的养分比例，波而弟（Bouldi, 1961）和渥而逊（Olsen, 1962）对养分离子向根运动的动态过程，应用了扩散理论建立的数学模型来描述。近年来Barber把以上二个过程结合起来建立了一个植物从土壤中吸收养分的连续动态数学模型，并可用来预测植物从土壤中吸收养分的数量[6]。在植物对养分主动吸收机理上，可用Michaelis-Menten方程表达，并帮助人们从理论上对载体学说的认识和数量化的研究[1、2]。尽管这些研究方法和内涵尚不够成熟，但这些研究成果也可为电算机模拟研究奠定基础。

科学研究的成败取决于方法论的正确与否，只有掌握正确的方法论，才能推进科学研究的深入和学科的发展。

参考文献

[1] H. Marschner, 1986: Mineral Nutrition in Higher Plants. Academic Press INC. London LTO.

[2] A. Lauchei, R. L. Bieleski, 1983: Inorganic Plant Nutrition. Spring-Verlag, Berlin. Heidelbarg, New York, Tokyo.

[3] K. Mengel, E. A. Kirkby, 1982: Principles of Plant Nutrition. 3rd Edition. International Potash Institute. Bern/Switzerland.

[4] 史瑞和，1989：植物营养原理。江苏科学技术出版社。

[5] 毛达如，1982：有机肥料。农业出版社。

[6] 毛达如，1994：植物营养研究方法，北京农业大学出版社。

[7] Hewitt E. J., 1966: Sand and water culture methods use in study of plant nutrition. The eastern press LTD. Great Britain.

[8] G. M. Saileau, 1974: The rhizatron-lysimeter research facility at TVA. Muscle shoals Alabama. Agronomy Journal Vol. 66 No. 828

[9] 西北农学院、华南农学院主编，1982：农业化学研究方法。农业出版社。

[10] 毛达如，1987：近代施肥原理与技术。科学出版社。

METHODOLOGY OF MODERN PLANT NUTRITION SCIENCE

Mao Daru

(Beijing Agricultural University, 100094)

Summary

This paper explain conception of plant nutrition science and methodology of plant nutrition science, and advance methodology on six fields of plant nutrition science.

Key words Plant nutrition, Methodology, Conception