

土壤-植物营养学家朱兆良先生的科学研究与贡献^①

慕亚芹, 李 群*, 崔江浩

(南京农业大学中华农业文明研究院, 南京 210095)

摘 要: 朱兆良先生是我国著名的土壤-植物营养学家, 土壤氮素转化与农田氮素管理研究方面的拓荒者和学术带头人之一。他围绕太湖地区熟制改革后出现的稻田“氮肥胃口增大”问题和在争取作物高产中盲目增加氮肥施用量问题, 对稻田土壤供氮能力进行了定量解析和研究, 提出了“区域总量控制与田块微调相结合”的氮肥适宜施用量的推荐方法。他致力于农田中氮肥去向的定量研究, 首次估算出我国农田中氮肥的当季利用率和损失率, 以及不同损失途径的相对比例。他对推动我国土壤氮素研究, 发展符合我国国情、农学效应和环境效应相协调的氮素管理原则和技术作出了积极贡献。他还积极推动学科发展, 组织编写《中国土壤氮素》等专著; 在封丘建立肥料长期定位试验, 为相关学科研究提供研究平台; 积极参与和推动国际学术交流活动, 提高我国土壤氮素研究在国际上的影响力。此外, 朱兆良先生还立足专业针对如何治理我国农业面源污染和保障我国粮食安全问题, 提出了对策和建议。

关键词: 土壤-植物营养; 朱兆良; 土壤供氮能力; 中国土壤氮素; 适宜施氮量

中图分类号: K826.1 **文献标识码:** A

朱兆良先生(1932年8月出生), 浙江奉化人, 我国著名的土壤-植物营养学家, 土壤氮素转化与综合管理研究方面的拓荒者和学术带头人之一。他主持的“稻田土壤的供氮能力和氮肥施用量的推荐”项目以及参与的“太湖地区高产土壤的培育和合理施肥的研究”项目均获国家科技进步奖二等奖。1993年, 他荣获陈嘉庚农业科学奖, 并于同年当选为中国科学院院士。朱兆良先生还是一位富有国际学术地位的科学家, 他是国际氮素启动项(INI)专家组的首位中国学者, 他担任过国际土壤学会水稻土肥力组主席, 他还曾是国际科联环境问题科学委员会(SCOPE)“全球氮素循环和迁移”课题的科学顾问。

本文在整理分析朱兆良先生曾经的领导、同事、学生及本人口述资料的基础上, 通过查阅他的手稿、工作笔记、发表的文章及出版的著作, 从土壤供氮能力、氮肥去向、建立肥料长期定位试验、编写《中国土壤氮素》等著作、农业面源污染和粮食安全等方面阐述他在土壤氮素研究领域内开展的科学研究及作出的杰出贡献。

1 朱兆良先生对稻田土壤供氮能力的研究

1.1 稻田土壤供氮能力与太湖地区水稻“熟制”改革研究

为追求粮食单位面积高额产量, 太湖地区在20世纪六七十年代曾把“稻-麦”两熟制改为“稻-稻-麦”三熟制。耕作制改变后, 农民普遍反映“氮肥胃口变大”, 即想要获得水稻高产, 必须施用比改制前更多的氮肥, 才能在水稻生长上反映出来。朱兆良先生和同事从1974年至1978年, 在当时南京土壤研究所熊毅所长的领导下, 利用3年时间进行各种试验。结果表明太湖地区土壤供氮能力的量和质与“稻-稻-麦”三熟制中的水稻生长的需氮规律不协调, 而且土壤结构性质的不同, 这种不协调程度也不同。其原因^[1-2]主要是:

单季晚稻改为双季稻后, 由于每季水稻的生长期明显缩短, 有效积温显著减少, 土壤的供氮量大大降低, 因而水稻的高产必然要求增加氮肥的施用量。同时, 由于双季稻各季的生长期较短, 而高产时的吸氮量却并不低, 因而水稻的氮素吸收速率显著增高(特

基金项目: 中国科学技术协会“老科学家学术成长资料采集工程”项目(朱兆良小组: X0201400707)资助。

* 通讯作者(liqun@njau.edu.cn)

作者简介: 慕亚芹(1976—), 女, 山东烟台人, 博士研究生, 研究方向为农业史。E-mail: myqzxz@126.com

别是生长的早期),这就要求土壤需要具有较高的氮素矿化速率和较高的铵生物有效性,即要求土壤具有较好的供氮早发特性。土壤的这一特性主要决定于土壤氮素矿化进程的特点和水稻生长早期的根系伸展速率,二者都受到土壤结构性的影响。结构性好的水稻土,不仅氮素矿化速率高,而且水稻根系的伸展也较快,从而有利于对土壤中铵的吸收和水稻的早期生长。因此,朱兆良先生认为土壤结构性是熟制改革中应予以考虑的一个重要因素。

1.2 确定适宜施氮量推荐方法的研究

“庄稼一枝花,全靠肥当家”,肥料的重要性似乎人人皆知。然而,施肥并非“韩信点兵,多多益善”,盲目施肥可能引起农作物贪青倒伏、遭遇病虫害,反而降低水稻产量。只有农民施用适宜用量的氮肥,才能获得高产。20 世纪 80 年代,在尝试选择确定氮肥施用量方法时,朱兆良先生和同事首先提出以土壤供氮量的预测为基础的供需平衡法。但随后他们通过试验和总结国内外关于这方面的研究结果指出,以土壤供氮量的预测为基础的供需平衡法确定适宜施氮量的方法准确性不高。其原因^[3]是:

1) 朱兆良等^[4]研究发现,太湖地区不同水稻土,在淹水培养中矿化形成的铵可不同程度地被土壤黏土矿物重新固定,其量占培养后交换性铵增量的比例变幅很大,因而在用淹水培养法进行土壤供氮量的预测时,矿化形成的铵被土壤黏土矿物的再固定可能会影响到预测的准确性。此外,耕耙碎土和干燥程度的不同也会对土壤氮素的矿化产生很大的影响。

2) 盆栽试验中,土壤氮素有效性指标大多与不施氮时水稻的累积氮量呈高度正相关,但在田间试验中,这一相关性却很低,只能达到半定量的预测水平。朱兆良和陈德立^[5]研究太湖地区稻田土壤的供氮能力后发现,耕层以下土层的供氮量占土壤供氮总量的比例,不同土壤类型之间、甚至同一类型土壤的不同田块之间的变幅都较大;而现行的土壤测试法只采取耕层土样,这就忽略了犁底层土壤在供氮方面的贡献,这可能是影响预测准确性的一个重要原因。同时,他们认为如果通过加测犁底层的土壤氮素有效性指标,有可能提高稻田土壤供氮量的预测准确性。

3) 朱兆良等^[6]在太湖地区 3 种水稻土上,用自己建立的以 ^{15}N 标记土壤矿化铵的 ^{15}N 丰度作为参比值的方法测定水稻非共生固氮量,结果发现无氮区水稻所吸收的氮量中有 19.6% ~ 23.0%(平均 21.7%)是来自生长期间进行的非共生固氮作用,因此,用无氮区水稻地上部分累积氮量作为土壤供氮量的量度是

不正确的。他们还发现,不同土壤和田块之间,其犁底层的供氮量在稻田供氮量中所占的比例有很大的变幅。因此,采用稻田耕层土壤进行测试的方法不能准确预测稻田的供氮量,由此计得的适宜施氮量也只能是半定量的。

鉴于已有的确定适宜施氮量方法存在不足,并考虑到我国农村缺乏测试条件,难以广泛采用土壤测试法等情况,1988 年朱兆良先生^[7]经过论证后提出了以“平均适宜施氮量”为基础的“区域总量控制与田块微调相结合”的氮肥适宜施用量的推荐方法。

2 朱兆良先生对农田中氮肥去向的研究

2.1 农田中氮肥去向的定量评估

朱兆良先生与蔡贵信等同事一直致力于氮肥去向的研究。他们以稻田土壤为主,先后在江苏、浙江、江西、河南等地,用微气象学方法在田间观测氮肥的氮挥发损失,同时利用 ^{15}N 标记氮肥的田间微区试验测定氮肥总气态损失,然后利用总气态损失减去氮挥发得出硝化-反硝化(表观)损失量^[8-10]。

20 世纪 90 年代末,朱兆良先生利用他和同事通过 ^{15}N 田间微区试验和氮挥发损失田间原位观测的数据,并结合已发表的文献数据及国内有关单位田间观测的数据(主要是谷类作物),对我国农田中化肥氮的去向进行了粗略估计^[11-12]。他指出我国化肥氮的当季利用率约为 35%,损失率高达约 52%(其中氮挥发 11%,表观硝化-反硝化损失 34%,淋洗损失 2%,径流损失 5%),未知部分约为 13%^[13]。稻田氮肥当季所有损失途径中,淋洗损失很低,氮挥发和硝化-反硝化是主要损失途径,氮肥施用后氮挥发损失迅速达到最大值。掌握氮肥损失途径以及每一种途径损失的比例后,朱兆良先生得出结论:我国氮肥利用率总体不高,提高利用率的潜力很大,关键在于减少其损失。结合自己的试验并总结已有研究数据后,朱兆良先生^[14]提出了提高氮肥利用率的原则和技术:

1) 尽量避免土壤中矿质氮的过量积累和过高的浓度,以减弱各个途径的氮素损失速率。并据此提出:控制氮肥的适宜施用量,以及推广分次施肥、施用缓/控释肥料等;

2) 利用作物对矿质氮的竞争吸收能力:避免在作物生长早期根系吸收能力较弱时过量施用氮肥,把施肥重点放到作物生长旺盛、根系吸收能力强的需肥高峰期(前氮后移);

3) 针对具体条件下氮肥损失的主要途径(氮挥发或硝化-反硝化等)采取相应对策和技术:添加脲酶

抑制剂和/或硝化抑制剂、深施以及水稻田中的“无水层混施”和“以水带氮”的肥水综合管理等；

4) 消除其他养分缺乏及早涝等限制因素对作物生长的影响,促进作物的正常生长,以提高根系的竞争性吸收能力:平衡施肥、水肥结合的综合管理和合理灌排等。

2.2 降低氮肥损失、提高氮肥利用率的研究

朱兆良先生认为在学术研究中应力求深入,理论研究越深越好,越深就越能更好地解决问题,这也是学科发展的需要。与此同时,他提出我国科研工作者必须研究出符合我国国情的技术和方法,以解决我们自己的问题。他认为在农业新技术研发中,必须考虑当前我国农业以分散经营为主这一实际情况,新技术必须简便易行、在生产中易于推广,且越简便易行越好。

在明确氮肥损失的主要途径和影响因素后,朱兆良先生又和同事潜心研究提高氮肥利用率的具体施肥方法,以促进科研成果的转化,为农民在实际生产中掌握和利用。除上文的推荐适宜施氮量外,重点强调以下两点:

1) 前氮后移。前氮后移是利用氮肥去向 3 部分(作物吸收、损失和土壤残留)之间的竞争关系达到减少损失,提高利用率的目的。当农作物吸收能力强了,其他两个去向(损失和土壤残留)的量就会减少^[11,15]。农作物生长早期根系不发达,对养分需求也不多,此时如果施氮量过多,损失就会比较高。若减少早期的氮肥施用量,避免土壤中矿质氮含量过多积累,则有利于减少氮肥损失。农作物生长茂盛期,植物根系发达,吸氮能力强,而且地上部分的茎叶茂盛,可以减缓风速,进而降低氮挥发,减少氮肥损失,所以这个时期施用氮肥既可减少损失又能保证农作物产量不受影响。

2) 深施。深施可以减少氮挥发损失,但是深施氮肥会与农作物生长发育产生一定矛盾。因为农作物生长早期,根系不发达,对深施氮肥的吸收相对滞后,易出现农民说的“晚发”现象。为解决这种矛盾以及改进农民传统施肥技术,朱兆良先生和同事通过对稻田中氮肥的氮挥发原位观测和影响因素的研究,提出了水稻田氮肥合理施用的原则:力求减少氮肥施用后存留于田面水中的氮量^[16]。他在试验和总结已有关于深施氮肥技术的基础上,提出“无水层混施”的施肥方法^[10,17]。

朱兆良先生对土壤供氮能力和农田中氮肥去向的研究主要着眼于解决农业生产问题,而他积极推动

编写《中国土壤氮素》等专著以及促进肥料长期定位试验点的建立则是他对学科发展的高瞻远瞩。

3 朱兆良先生对学科发展的贡献

3.1 《中国土壤氮素》

我国土壤氮素的研究工作起步较晚,20 世纪 30 年代开始才有零星研究,而全面、系统、深入的研究工作始于 20 世纪 60 年代。《中国土壤氮素》出版之前,直到 1986 年仅出版过由中国土壤学会两个专业委员会资质的国内第一次氮素大会的论文集和发表在学术期刊上的关于土壤氮素研究成果,当时亟需一本专著系统梳理已有的成果,该书正是在这样的环境下编写出版的。赵其国先生在该书序言中写到“本书填补了我国缺乏系统而全面的论述有关我国土壤氮素问题和研究成果的著作的空白。同时,本书是以我国的研究成果为主,借鉴国外的一些研究为辅编写而成的,这在国际上也是少见的。”^[11]

《中国土壤氮素》出版之前,在国际上曾于 1965 年和 1982 年分别出版过两本内容较广的土壤氮素专著,但都是由美国土壤学会牵头不同国家的学者分章撰写的。而《中国土壤氮素》一书瞄准土壤氮素的国际研究前沿和热点问题,系统总结我国自 1938—1989 年半个世纪以来在土壤氮素研究领域积累的大量文献和未刊资料(共引用国内作者文献 504 篇次),结合国际上的研究结果,对土壤的氮素研究领域的主要理论和实践问题进行了深入研讨,达到国际先进水平。最难得的是参与编写的学者都是南京土壤研究所相关领域的专家,除朱兆良和文启孝外,还包括邢光熹、陈家坊、李良谟等。《中国土壤氮素》出版后荣获 1991 年度华东地区科技出版社“优秀科技图书二等奖”。

为把国内研究成果推上国际社会,《中国土壤氮素》中文版刊出后,朱兆良先生积极组织英文版的翻译工作,并请澳大利亚氮素专家 J.R.Freney 帮助润色和校对英文稿件,最后英文版于 1997 年由荷兰的 Kluwer 科学出版公司出版。该书出版后在国际土壤氮素研究领域被广泛引用并获得很高的评价。国际土壤学会会刊(Bulletin of the International Society of Soil Science)于 1997 年第 2 期对该书做了介绍:“中国的土壤氮素研究始于 20 世纪 30 年代,但是只在最近 30 年中才取了迅速的发展。取得大的进展研究有:不同形态的缓释性碳酸氢铵,碳酸氢铵粒肥深施,稻田中氮肥的损失,稻田土壤的供氮能力,适宜施氮量的推荐,硝化作用、反硝化作用和农田生态系统中氮

素的损失,以及生物固氮作用。本书由中国科学院土壤研究所的土壤学家撰写,对中国以外的土壤学家也会感兴趣的。”

3.2 《主要农田生态系统氮素行为与氮肥高效利用的基础研究》

该书是国家重大自然科学基金项目“主要农田生态系统氮素行为与氮肥高效利用的基础研究”(编号:30390080)的研究成果。

进入 21 世纪后,我国化肥施用总量约占全球总施用量的 1/3,人口已超过 13 亿,对粮食需求量依然很大。可是氮肥的边际效益特别是高产地区边际效益越来越低,给环境带来很大压力,已有的研究成果又是零散的,不利于全盘把握,因此需要一个系统,针对主要产粮区农田氮循环进行研究,探讨如何实现农学效益与环境效应相协调这一涉及众多学科的全球性的重大科学命题。为此,朱兆良先生和中国农业大学张福锁教授积极应战,联合土壤学、植物营养学和遗传学等多个领域的专家学者以该课题为依托,在新形势下研究我国农田土壤氮循环问题。其研究目标是“进一步阐明我国主要农田生态系统中土壤氮素转化和迁移规律、损失途径及生态、环境效应,基本明确作物高效利用氮肥的生理机制和遗传学基础,并提出调控作物氮肥高效利用的原理和方法。”^[18]

为研究农田生态系统中土壤氮素循环、环境效应及优化施氮的理论与方法,朱兆良先生和其他研究人员在太湖地区建立了水稻-小麦轮作研究基地,布置了大量田间试验(多年多季不同施氮水平的田间小区试验)及 ^{15}N 微区试验,进行了连续多年的田间观测以取得系统的观测资料。同时开展了氮素干、湿沉降和灌溉水含氮量的观测。在此研究基础上进一步论证了“氮肥区域总量控制和田块微调相结合”的氮肥适宜施用量的推荐原则,对于提高氮素利用效率、减少农田氮素损失与环境压力,保障农业可持续发展具有重要科学意义和实践价值^[18-19]。

该课题验收时获得专家的一致好评,评为特优。专家组成员一致认为,该项目的实施对学科的发展有重要推动作用,显著提高了我国在该领域的国际影响力。项目提出“氮肥区域总量控制和田块微调相结合”的原则,对于提高氮素利用效率、减少农田氮素损失与环境压力,保障农业可持续发展具有重要科学意义和实践价值^[20]。《主要农田生态系统氮素行为与氮肥高效利用的基础研究》一书作为该课题研究成果的载体,出版后也获得国内外同行的好评。

朱兆良先生指出,区域平均适宜施氮量值应随着

农作物品种的更新,栽培技术水平的提高,生产条件的变化,通过试验重新确定,而不是僵化不变的。他认为只有这样才能获得氮肥的农学效益、经济效益与环境效益的统一。

3.3 建立肥料长期定位试验

朱兆良先生借鉴已有的长期试验的经验并结合国情,于 1986 年与钦绳武同志合作,开始在河南封丘试验站建立肥料长期定位试验。试验地设计为 7 个处理,4 个重复,共计 28 个小区。7 个处理分别为不施肥处理、氮磷处理、氮钾处理、磷钾处理、氮磷钾处理、有机肥处理以及有机肥+氮磷钾处理。设计思路中包括验证化肥与有机肥的肥效比较、有机肥与化肥之间是否有交互作用,以及不同施肥处理下土壤性质和作物产量的变化等。

与国内外其他长期定位试验一样,如今封丘站的肥料长期定位试验的作用远超过朱兆良先生当初的想象。管理试验田的老师说:“现在从事土壤肥力、土壤化学、土壤物理、土壤微生物、温室气体等领域很多工作人员都会因研究需求到这里采土。由于土壤很宝贵,除非一些重大课题,否则已经不允许在这里采土。试验田的土壤已成为众多学科发展的一个大数据库。”对于这样的贡献,朱兆良先生却说:“这个长期试验能有今天的成就,钦绳武老师功不可没,我没有做什么,他才是大功臣。”

3.4 促进国际交流

土壤氮素学科的发展离不开与国外同行的交流与合作,朱兆良先生在这方面起到了开路人的作用,不仅自己积极参与国际会议,还推荐学生和同事参加一些中外合作项目,为他们提供学习和发展的平台。

朱兆良先生于 1979 年 10 月参加在泰国清迈举行的“东南亚季风区氮素循环学术会议”,并作题为“中国江苏苏州稻田中氮素循环和氮肥去向”报告。朱兆良先生报告的内容受到国外参会人员的关注。1987 年,在马来西亚吉隆坡举行的尿素肥料会议上,朱兆良先生作题为“中国作物生产中尿素的效用”的报告,受到与会专家的高度评价。1990 年,他应邀在国际土壤学大会分组会议上作“稻田的氮肥管理与氮素转化的关系”的报告,受到会议主持人、当时国际水稻所首席科学家的高度赞誉。朱兆良先生在国际舞台上一次又一次出色的学术报告,既提升了我国土壤氮素研究工作者的国际地位,又促进了与国外的合作。在他的努力和积极争取下,2004 年 10 月“第 3 次国际氮素大会”在南京召开,并签订《南京宣言》。这次大会的召开,进一步加快了我国在土壤氮素研究领域

与国外合作的步伐。为了培养本所(中国科学院南京土壤研究所)年轻的研究人员,朱兆良先生还把自己出国访问学习的机会让给他们,为的就是能够培养优秀的研究队伍。

4 朱兆良先生对治理农业面源污染的研究

朱兆良先生和国内外同行利用参加中国环境与发展国际合作委员会在 2003 年启动“农业面源污染项目”的机会,对我国农业面源污染进行了全面系统的研究。经过调查,加之多年科研工作中对我国农业面源污染的深刻认识,他指出,造成我国地表水、磷污染的主要原因是集约化养殖场畜禽排泄物,其次才是农田中氮肥的不合理施用。

朱兆良先生认为:要改善环境急需在政策和技术方面积极促进畜禽粪便的农业利用,并关注集约化养殖场畜禽粪便的重金属含量超标等安全性问题。只有这样才能把污染物变成肥料,真正从源头治理环境,改善环境。另外他根据农田中氮肥去向的研究结果指出,施入农田的氮肥中,通过各种损失途径进入大气和水体的氮占施入氮肥量的 52%,直接影响到氮肥农学效应的发挥,但是,从环境的角度来看,这些进入环境的氮素中,有相当一部分是惰性气体 N_2 ,只有约 19% 是对环境有影响的活性氮,其中包括硝态氮、铵态氮、有机态氮和氧化亚氮等^[21]。这只是全国的平均数字,不同地区、不同季节损失的程度也不一样,但朱兆良先生认为这个数据在估算我国农田中氮肥损失对环境的影响时具有重要的参考价值。

5 朱兆良先生出谋划策保障粮食安全

作为一名土壤-植物营养学专家,朱兆良先生深知肥料对提高我国粮食产量所作出的巨大贡献。可是伴随着粮食产量成倍增长的同时,化肥施用量在逐年增加,氮肥的当季利用率只有约 35%。为缓解我国粮食安全压力,也为节约农业经营成本和保护环境,他从不同的层次、不同视角思考如何保障我国粮食安全,以能获得经济效益、农学效益和环境效益的统一^[22]。

首先,把粮食安全目标锁定为口粮、饲料粮、工业用粮和其他用粮的总需求与总供应的平衡或基本平衡的观念,转变为以保证口粮自给为目标;其次,朱兆良先生认为农业生产中,必须切实贯彻“高产、优质、高效、生态、安全”的指导思想;第三,加强提高中低产区农业基础设施建设,提高其粮食产量,将是未来争取社会效益、经济效益和环境效益共赢的重要举措;第四,提倡适度规模经营,这将有利于先进施肥技

术的推广,能够满足既保障粮食产量,又减少环境压力的可持续发展要求;最后,他认为可以利用发展草食型畜禽来满足人们日常需求,以减少饲料用粮。

6 小结

朱兆良先生在 60 多年的研究生涯中,坚持服务于农业生产的研究理念和“实验室的研究越深入越好,推广应用的措施越简单越好”的研究原则,始终坚持严谨、认真的研究风格。他从零起步一步一步地不断开拓土壤氮素研究领域,提高研究水平。他拉开了土壤氮素研究领域与国际同行交流的序幕,后来又不断促进同他们的合作与交流。他一方面通过解决农业生产中的实际问题带动学科发展,另一方面又超越生产要求,不断开拓研究新领域,推动我国土壤氮素研究工作向更深层次和更广领域发展。如今他已是土壤-植物营养学研究领域的主要学术带头人之一,但在谈到自己所作出的贡献时,却总是强调很多工作是和同事一起进行研究的,且在很多方面得曾到李庆逵等前辈的指导和引领,自己只是做了应该做的事情。这就是朱兆良院士,他根据国家的需求,从我国农业发展中需要解决的问题出发,努力提炼出其中蕴含的需要解决的科学问题,确定科学目标,目标一旦确定就持之以恒进行长期系统的研究,不轻易改变。

参考文献:

- [1] 朱兆良. 苏州地区双三制下土壤养分状况和水稻对肥料的反应[J]. 土壤, 1978(2): 127-135
- [2] 徐福安, 许秀云, 徐永福, 等. 水稻土物理性质对营养条件的影响[M]//中国科学院南京土壤研究所. 江苏省高产稳产农田建设的土壤问题. 中国科学院南京土壤所内部资料, 1978
- [3] 中国科学技术协会编. 中国科学技术专家传略农学编-土壤卷 2[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1999
- [4] 朱兆良, 蔡贵信, 徐银华, 等. 太湖地区水稻土的氮素矿化及土壤供氮量的预测[J]. 土壤学报, 1984(1): 29-36
- [5] 朱兆良, 陈德立. 稻田耕层以下土壤的氮素供应[J]. 土壤, 1986(1): 34-35
- [6] 朱兆良, 陈德立, 张绍林, 等. 稻田非共生固氮对当季水稻吸收氮素的贡献[J]. 土壤, 1986(5): 225-229
- [7] 朱兆良. 关于稻田土壤供氮量的预测和平均适宜施氮量的应用[J]. 土壤, 1988(2): 57-61
- [8] 朱兆良, 蔡贵信, 俞金洲. 稻田中 ^{15}N 标记硫酸铵的氮素平衡的初步研究[J]. 科学通报, 1977(11): 503-504
- [9] 朱兆良, 蔡贵信, 徐银华, 等. 种稻下氮肥的氮挥发及其在氮素损失中的重要性的研究[J]. 土壤学报, 1985, 21(4): 320-329
- [10] 朱兆良, 张绍林, 陈德立. 黄淮海地区石灰性稻田土壤上不同混施方法下氮肥的去向和增产效果[J]. 土壤, 1988, 20(3): 121-125

- [11] 朱兆良, 文启孝. 中国土壤氮素[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1992
- [12] 朱兆良. 中国氮肥的使用现状、问题和对策//李庆逵, 朱兆良, 于天仁. 中国农业持续发展中的肥料问题. 南京: 江苏科学技术出版社, 1998: 38–51
- [13] 朱兆良. 合理施用化肥, 充分利用有机肥, 发展环境友好的施肥体系[J]. 中国科学院院刊, 2003(2): 89–93
- [14] 朱兆良. 中国农业中的氮素管理//李华栋. 农业持续发展中的植物养分管理. 南昌: 江西人民出版社, 2008: 326–330
- [15] 朱兆良, 张绍林, 徐银华. 种稻下氮素的气态损失与氮肥品种及施用方法的关系[J]. 土壤, 1987, 19(1): 5–12
- [16] 朱兆良. 稻田节氮的水肥综合管理技术的研究[J]. 土壤, 1991, 23(5): 241–245
- [17] 张绍林, 朱兆良, 徐银华. 稻田氮肥施用技术的改进[J]. 土壤, 1992, 24(1): 19–22
- [18] 朱兆良, 张福锁. 主要农田生态系统氮素行为与氮肥高效利用的基础研究[M]. 北京: 科学出版社, 2010
- [19] 朱兆良. 推荐氮肥适宜施用量的方法论刍议[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(1): 1–4
- [20] 资源与环境学院. 科研简讯[J]. 中国农业大学学报, 2007(5): 40
- [21] 朱兆良, David Norse, 孙波. 中国农业面源污染控制对策[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2006
- [22] 朱兆良. 拓宽思路保障粮食安全[N]. 中国科学报. [2006-06-23]

Scientific Research and Contributions of Soil-Plant Nutrition Scientist ZHU Zhaoliang

MU Yaqin, LI Qun*, CUI Jianghao

(Institute of Chinese Agricultural Civilization, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: ZHU Zhaoliang is a famous expert in soil-plant nutrition and one of the pioneers and leading scientists in soil nitrogen transformation and nitrogen management for crop production in China. He studied soil nitrogen supplying capacity and supplying pattern of paddy field in Suzhou and differentiated the supplying capacity into soil-origin and nonsoil-origin, elucidated the reason of increased demand for nitrogen fertilizer application rate of rice in rice–rice–wheat cropping system compared with that in rice–wheat cropping system in the Taihu Lake region, and proposed an approach in recommending the optimal application rate of nitrogen fertilizer, i.e., ‘regional control in combination with tuning according to the specific field conditions’ based on the regional mean optimal application rate of nitrogen fertilizer. He quantitatively studied the fate of nitrogen fertilizer in situ in the field, and for the first time, estimated the utilization efficiency of nitrogen fertilizer by crop plants in China and the total loss, as well as the losses via different pathways in the field. He actively promoted the development of the disciplines, organized the compilation of Nitrogen in Soils of China and other monographs. He established the long-term field experiment of chemical fertilizer in The State Experimental Station of Agro-Ecosystem in Fengqiu as a research platform for relevant studies. He actively participated and promoted international academic exchange activities. In addition, he focused on exploring ways to remediate the non-point source pollution in China and to solve the food security issues.

Key words: Soil-plant nutrition; ZHU Zhaoliang; Soil nitrogen supplying capacity; Nitrogen in Soils of China; Appropriate nitrogen application rate