

SOIL AND PLANT NITROGEN
IN DRYLAND AREAS OF CHINA



中国旱地土壤植物氮素

李生秀 等著



科学出版社
www.sciencep.com

中国旱地土壤植物氮素

李生秀等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

氮素是作物需求量大而生长介质供应量少、供求之间存在着尖锐矛盾的营养元素,也是控制陆地生态系统、淡水生态系统和海洋生态系统物种组成、多样性、动态和功能的关键元素。本书系统论述了旱地土壤和植物中的氮素行为,讨论了氮素对环境的影响,指出了氮素管理的科学途径。全书分三篇。第一篇重在讨论旱地土壤氮素循环,包括旱地土壤氮素含量、形态、矿化、微生物氮、氮挥发、反硝化及氮素在土壤中的累积和淋失;第二篇从旱地植物氮素生理,如植物体中的氮素挥发、作物基因型对氮素反应、植物体中硝态氮累积和植物的铵态氮、硝态氮营养特性探讨提高肥料中氮素效率的生理基础;第三篇着重介绍旱地土壤氮素管理,分析氮素与环境、水氮相互作用,以及不同栽培制度下的氮素管理和氮肥合理施用。全书内容丰富,旁征博引,理论与实践紧密结合。

本书可供从事农学、植物营养、土壤学、环境科学和生态科学研究的人员参阅,也可供上述专业的研究生和大学生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

中国旱地土壤植物氮素/李生秀等著. —北京:科学出版社,2008

ISBN 978-7-03-020997-9

I. 中… II. 李… III. 旱地-土壤氮素-研究-中国 IV. S153.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 031921 号

责任编辑:莫结胜 沈晓晶 / 责任校对:包志虹

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008年10月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2008年10月第一次印刷 印张:60 3/4

印数:1—1 000 字数:1 400 000

定价:180.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(双青))

前 言

(一)

农业生产为人类生活和生存提供了绝对必需的粮食和纤维,创造了人类赖以生存和发展的物质基础。人类文明起源于农业文化,人类历史演进和发展也和农业发展紧密相连。农业发展促进了古代文明古国的兴起,而农业凋萎则导致了古代文明古国的衰落。现代文明和科学技术的发展虽使农业生产摆脱了完全依赖自然的被动局面,增加了农业生产的主动性,减少了农业生产风险,但并没有影响或动摇农业生产的重要地位,反而加强了农业生产的重要地位。一个食不果腹的农业弱国绝不可能成为一个经济发达的世界强国。国以民为本,民以食为天永远是颠扑不破、不言而喻的真理。

种植业是农业生产的核心,也是农业第一生产力。种植业的主旨是通过栽培绿色植物,生产人类所需要的食品 and 纤维,提供动物所需要的饲料。要保证绿色植物旺盛生长,一要保证生育条件,二要保证需要资源。条件是可以依赖的外界环境,绿色植物依赖其生长而不对其消耗;资源则是绿色植物生存的物质保证,绿色植物生长过程中要消耗这些资源以满足需要。作为条件的主要有温度、土壤 pH、盐碱度和土壤容重等,而作为资源的主要有光、CO₂、水分和养分。资源有两种,一种强度有限但不会耗竭,可持续不断供应,例如光照;另一种则是储存数量有限而又可以耗竭,例如瘠薄土壤的养分和缺水环境下的水分。从全世界情况来看,水分和养分两种资源最易匮乏,是限制农业生产,特别是限制旱地农业生产的主要因素。

(二)

在绿色植物所需要的资源中,养分起着特别重要的作用。养分是营养作物的元素、构成躯体的成分,它参与植物一切生命活动过程。养分对于植物恰如食物之于人类。没有养分,农业生产就成了无米之炊。养分主要来自植物生长的基质——土壤,土壤养分供应程度决定着产量高低。

现已明确,植物需要的养分或营养物质共有 17 种元素。这 17 种营养元素中,需求量最多的是碳、氢和氧,占植物总干重的 96% 以上。碳主要来自空气中的二氧化碳,氧和氢来自水,它们的供应不是土壤肥力的主要问题。其他元素则主要来自土壤。从土壤情况看,氮、磷、钾供应少而作物需求相对较多,成为人们供应养分的重点所在,被称为养分或肥料“三要素”。“三要素”中,氮居首位,备受人们关注。

从数量来看,自然界氮素相当丰富,在地圈、水圈、生物圈和气圈都大量存在。地圈中的氮素总量虽多,但很难风化;地圈中的岩石也不是植物生长的主要基地,农作物无法从其中获取这一元素。水圈中的氮素数量不大,对水生植物的生长有重要意义,但难以完全

满足其需要;栽培的作物又主要是陆生植物,对其无能为力。生物圈中的氮素含量较少,又广泛地分布于海洋、陆地,甚至大气之中。这虽是陆生植物的主要氮源,但其供应量远不能满足栽培作物的需要。大气圈是氮素存在的主要场地,但在这一场地中,两个氮原子以极强的三键联结,形成的 N_2 分子是一种惰性气体,在室温和大气压下,不会同任何其他单质发生反应,很难提供植物所需的氮素化合物。氮只能与两种非金属(氢与氧)直接反应,这是合成氮肥的主用途。但是氮与氧反应只能在高温条件下进行,而与氢反应必须在高温且有特殊催化剂条件下才能完成。因此,气圈中的氮素只能被少数植物通过微生物固定而利用,绝大多数植物对其爱莫能及。由于这些原因,自然界存在的氮素资源虽多,能被植物利用的却很少。植物只能主要依赖它们生存的介质——土壤,来获得必要的氮素。土壤虽会天然地得到一些外源氮素补充,如生物固定、大气的干湿沉降等,但与作物需要相比,数量相当有限;土壤又是一个粮仓,而不是一个食品店,并不能把全部氮素供给作物利用,而只能供应其中一小部分,这主要是土壤中存在的铵态氮和硝态氮。后者主要来自土壤有机质氮的矿化,而每年矿化的有机氮数量不超过总量 2%。由于土壤难以供应足够可利用的氮素来满足依赖其生长的植物需要,氮就成了植物需要多、土壤供应少,供求之间存在着更为尖锐矛盾的元素,成了控制陆地生态系统、淡水生态系统和海洋生态系统物种组成、多样性、动态和功能的关键元素,成了限制陆地和海洋生产力的主要养分,也成了人们通过施肥补充的重点所在。许多未经管理的陆地生态系统、海洋生态系统、绝大多数农业和有管理的林业生态系统的生产力及其动态,都受到生物可利用氮素,即近来被称为活性氮素(reactive N)的限制。其他营养元素匮乏有地域性,有些地方匮乏,有些地方不匮乏;氮素的匮乏却有普遍性,全世界大部分土壤缺氮,各地区都或多或少存在着这一问题。因此,补充作物可利用的活性氮素就成了农业高产的一条重要途径。

(三)

氮元素本身不能维持生命,但氮的化合物却是构成蛋白质的原料、构成生命的物质基础。因而,氮又是生命元素,一切生命物质均含氮。地球上出现生命以后,氮就参与了一切生命物质的活动过程。只要有生命存在,就有氮素的足迹。农业,不论是种植业或养殖业,都是人类通过各种措施种植或养殖生物、干预生物生命活动的过程。由于这一原因,氮素一直和农业有不解之缘,农业上含氮物料的应用已有悠久历史。

我国应用含氮物料或含氮肥料源远流长。早在西周时期(公元前 11 世纪~公元前 8 世纪)《诗经》中就有拔除田间杂草、腐烂后促进黍稷生长的诗歌(以蓍萆蓼,萆蓼朽止,黍稷茂止)。公元前 3~4 世纪,先秦的著名学者荀况,研究了农业生产经验,指出:“今是土之生五谷也,人善治之,则亩数盆,一岁而再获之”,并总结出“多粪肥田”的科学规律。汉代《礼记·月令》(公元前 1 世纪)提出“季夏之月……,是月也,土润溽暑,大雨时行,烧薹行水,加以热汤,可以粪田畴,可以美土疆”,总结了利用夏季高温促进杂草腐烂提高土壤肥力的经验。公元前 1 世纪我国就知道利用蚕矢和腐熟的人粪尿做基肥混土施用。公元 6 世纪北魏贾思勰所著的《齐民要术》记载:“凡美田之法,绿豆为上,小豆、胡麻次之。悉皆五、六月穰种,七月八月犁掩杀之,为春谷田,则亩收十石,其美与蚕矢熟粪同”。公元 14 世纪,我国应用的肥料达十多种,包括人粪尿、踏粪(圈粪)、苗粪、草粪(二者均是绿

肥)、火粪(草木灰、石灰)、泥粪等数种。不久,又使用了油渣、黑豆粉,一切禽兽的骨、蹄、角及蚌、蛤诸物。以后随着生产发展,应用的肥料种类更多了。

现在已经清楚,各种肥料、杂草均含有氮素,豆科作物具有固氮能力。肥料之所以有特别重要的作用,供应作物所需的氮素是根本原因之一。

植物残体、绿肥和其他肥料的重要营养作用虽然很早被人类认识,但很长时间人们并不知道所应用的物料中含有氮素,也没有氮素这个名称。说明这些物料能够肥田养地、营养植物的唯一解释就是古代流行的具有朴素唯物主义内容的“五行学说”,即认为植物和自然界其他事物一样,也是由“金、木、水、火、土”5种成分构成的。

西欧的文艺复兴开拓了人们的思境,也开创了科学探索新时代:科学家已不满足于观察现象,开始探索现象背后隐藏的奥秘。1640年,比利时佛兰芒(Flemish)的化学家万·海尔蒙脱(Jan Baptista van Helmont)为了寻找营养植物的物质,用陶盆栽培柳树。他在试盆里装土90 kg,种植一棵2.25 kg重的柳树,用雨水或蒸馏水浇灌;盆上覆盖带孔马口铁板,防止外界杂物掉入盆内。5年后砍树称重,不计算每年的枯枝落叶,枝干和根总重达77 kg,而盆内土壤只减少57 g。于是他得出“水是植物唯一的营养物质、植物只靠水营养”的结论。这一试验在历史上称为“柳树试验”,而这一观点被称为“水营养”学说。1661年,英国物理学家波义耳(Boyle)用同一试验过程对“水营养”学说进行了验证,得出了同一结论。这样一来,植物的营养物质是水的观点在西欧几乎盛行了一个世纪。对“水营养”概念首先提出质疑的是英国研究者伍德沃德(John Woodward)。伍德沃德把薄荷幼苗栽植在3个装了不同来源水的瓶子内,过了77天进行称重。发现在加了42 g肥沃土壤的瓶子内,薄荷生长最好,增重19.7 g;在含有矿物质的水内增重8.6 g,在雨水内仅增重1 g。这一实验使他得出了这样的结论:“微细土粒”(fine earth)是植物生长的要素(principle)。1842年,两位德国科学家,维格曼(Wiegmann)和包尔斯道夫(Polstorf)把莴苣种在白金网丝上,经常洒蒸馏水。莴苣长到把种子内储存的养分耗尽了的时候,死掉了;用酸洗过的石英砂上种植的植物也以同样命运告终。这些结果进一步否定了“水营养”学说,但却间接支持了伍德沃德的“微细土粒”要素观点。18世纪早期,图尔(Jethro Tull)在示范植物栽培的效果时,曾错误地认为,搅动土壤更易使植物获得少量的“微细土粒”。以后,各种各样不同观点相继问世:有的认为“要素”是作物由土壤中吸取的腐殖质;有的猜想“要素”是一种由死的植物或动物通过什么方式向新生的植物传递的一种物质。

对氮素营养植物作用认识最早的恐怕是格劳勃(Glauber)。他在1656年发现,加硝土于培养盆中,植物增长显著,说明确有营养植物的作用。我们现在知道,这些硝土就是含硝态氮的肥土。

氮被确定为一个元素以后,研究氮素对农业作用和效果才开始了一个新的历程。1772年,英国爱丁堡大学一位医学大学生拉瑟福(Daniel Rutherford)首先发表关于发现氮的报告,他注意到,在密闭的小空间内,移去空气中一个成分后,保留下来的这些成分无法维持小动物的生命。这留下来的成分主要是氮素,虽然他当时并不知道这个成分,也未将其定名为氮。由于这一原因,通常将氮的发现归功于他。几乎同时,英国化学家普里斯特利(J. Priestley)和瑞典化学家(药剂师)舍勒(Karl Wilhelm Scheele)在进行氧气研究时也发现了氮在空气中的存在。舍勒认为,空气是由“火空气”(氧)和“污染空气”(氮)组成的混合物。此后,法国化学家拉瓦西(Antoine Laurent Lavoisier)首次鉴别出

氮为一种元素,因其不能维持生命而定名为氮 (azote)。1784 年,卡文迪什 (Henry Cavendish) 阐述他的研究结果时指出,氮与氧通过反复进入空气的电火花通道已完全结合、反应产物通过碱性溶液除去后,还大约有 0.8% 非活性气体 (inactive gas) 保留下来。一个世纪以后,瑞利 (Lord Rayleigh) 发现,不同来源的氮密度不同。这些发现导致了 1894 年兰塞爵士 (Sir William Ramsay) 的重要结论:过去多年以来所谓的氮实际上是以氮为主的混合物,其中含有其他惰性气体,最多的是氩 (argon),约占地球大气的 0.94%。现用的英文名称 nitrogen,是 1790 年确定的,由希腊语“niter”一词和拉丁语“nitrogenum niter”衍生而来,意为硝石(硝酸钾)或能产生硝石 (niter producing) 的物质,说明此元素存在于硝石中,后者是当时人们用来制造火药的主要原料。氮的符号在英文和其他类似的拼音文字中是 N,而在法文中则是 Az,因法文中的氮是 azote。俄文虽用 азот,与法语同音,但仍用 N 代表氮元素。我国清朝末年的翻译家徐寿第一次将氮译成“淡气”,意思是冲淡了空气中氧气。采用“氮”一字是近代的事情。

氮发现以后,人们开始从本质上揭示它在农业生产中的重要性。法国学者布森高 (J. V. D. Boussingault, 1802~1887) 利用田间实验和化学分析研究了农业中一系列物质循环。他在研究轮作制度中氮素平衡时发现,轮作中豆科作物所占面积越大,超出的氮量越多,因此得出栽培豆科作物能丰富土壤氮素、提高后作产量的结论。布森高的工作初步建立了氮素营养学说,对于氮素在农业上的作用以及栽培豆科作物提高后作产量起了很大作用。

1840 年,德国化学家李比西 (J. V. Liebig, 1803~1873) 发表了《有机化学在农业和植物生理学上的应用》(*Organic Chemistry and Its Application to Agriculture and Physiology*) 一书,提出了“矿质营养学说”,认为土壤中的矿物质是一切绿色植物的唯一养料,厩肥及其他有机物质对植物所起的作用并不是由于其中所含的有机物质,而是由于这些物质在分解时所形成的矿物质。李比西还认为,由于不断地栽培作物,土壤中的矿物质不断消耗,如果不把作物由土壤中所摄取的那些矿物质归还给土壤,土壤最后会变得十分瘠薄,甚至寸草不生。要想完全避免土壤的这种损耗是不可能的,但是恢复土壤中所损耗的物质是可能的,办法就是施用矿质肥料,使土壤中的损耗和营养物质的归还保持平衡。李比西的这一论断被称为“归还学说”。在矿质营养和归还学说的基础上,李比西又提出最小养分率 (law of the minimum)。最小养分率的含义是,“在各种生长因子中,如果一个必需的生长成分(因子)不足或缺乏,即使其他因子具备,这种土壤对那些生命活动中需要这种不可缺少成分的作物仍会成为不毛之地”(by the deficiency or absence of one necessary constituent, all the others being present, the soil is rendered barren for all those crops to the life of which that one constituent is indispensable)。从养分角度考虑,作物产量是受最小养分支配;某一养分不足,是限制因子,即使其他养分再多,也难以提高作物产量。李比西的上述 3 个学说(定律)奠定了现代植物营养学基础,对指导施肥、恢复土壤肥力和提高农作物产量做出了重要贡献,同时也促进了化学工业兴起。李比西和布森高开拓了氮素研究的先河,为现代氮素营养理论奠定了基础。但是,李比西虽然认识到了氮素的作用,可他对氮素来源的看法并不正确。他认为氮主要来自大气而非土壤,他还错误地指责布森高关于豆科作物肥田的观点。前一错误被同时代的罗桑试验站研究者劳斯和吉尔伯特 (J. B. Lawes and J. H. Gilbert) 所纠正。他们的研究证明,对土壤施用氮

素非常有益作物生长;而后一错误直到李比比西过世之后才得到澄清。1865年,热心于了解土壤氮素转化的土壤细菌学家韦(J. T. Way)发现了含铵的肥料在土壤会形成硝态氮;20年之后,沃利通(R. W. Warington)证明,铵变为硝是一个生物过程。1890年,韦劳格拉得斯基(S. Winogradski)分离出两组转化铵态氮成硝态氮的细菌,这就是我们现在所知道的硝化细菌。1866年,德国学者赫锐格(H. Hellriegel)在豆科作物根瘤中发现了共生同化固氮细菌。这些发现提供了管理土壤和作物氮素的基础理论,深化了人们对氮素重要作用的认识,也对豆科作物的固氮作用给出了科学解释。此后,萨克斯(J. von Sachs)于1860年,克诺普(H. Knop)于1861年用已知成分的无机盐溶液培养植物成功,进一步确定了氮对植物的绝对必需性;20世纪,又有很多科学家,如阿农(D. I. Arnon)及斯托特(P. R. Stout)提出了必需元素3条标准,牢固地确立了氮素的营养地位。前苏联农业化学家普里亚尼施尼柯夫(Д. Н. Плянишников, 1865~1948)在氮素代谢方面做了系列工作,提出氨是植物体内氮代谢的首和尾,研究了植物体内氮的代谢以及铵态氮和硝态氮的营养作用,比较全面地探讨了影响铵态氮、硝态氮吸收的因子。他的著作《在植物生活和苏联农业中的氮素》系统地阐述了铵态氮、硝态氮的吸收与影响因素。这些研究丰富了氮素营养理论,对前苏联工业发展也起了一定作用。几乎与此同时,我国著名植物生理学家罗宗洛采用营养液培养技术,比较详细地研究了铵盐和硝酸盐两种氮源与植物生长的关系,探讨了营养液pH、浓度、阴阳离子、通气状况对两种氮源吸收的影响,对植物铵硝态营养做出了一定贡献。

(四)

从化学角度来看,氮是元素周期表中VA族非金属元素。周期表中VA族的化学元素,包括氮(N)、磷(P)、砷(As)、锑(Sb)、铋(Bi),称为氮族元素(nitrogen group elements)。氮族元素中的磷由德国商人H. 布兰德发现,游离砷的存在是1649年德国药剂师J. 施罗德报道的,锑和铋及其硫化物在古代就已为人们所熟悉,直到18世纪中叶才被承认为特殊金属。这些元素在化学特性上虽有明显差异,但由于原子的电子组态有共同特征,一般性质是类似的。

氮族元素的物理性质和化学性质变化范围最大:氮是气体,约在 -200°C 时液化;而铋是固体,熔点 271°C ,沸点约 1500°C 。氮和磷是典型非金属,砷、锑是半金属,而铋是金属。在外观上这些元素显著不同,氮的气态和液态为无色;磷有各种同素异形体,包括高活性的白磷,不活泼的红磷和人们最不熟悉但最稳定的黑磷;砷还存在着一种更活泼的黄色固体,并有迹象表明在一定条件下还存在其他形态;锑是银白色性脆的金属;铋是银白色稍带桃红光泽的金属。在这一族中,氮和磷分别占人体总重的2.4%和0.9%,对生命有特别重大的贡献,又是植物生长非常重要的营养成分。肥料中的氮主要以氨、铵、硝酸根或各种有机化合物存在;磷主要是无机磷酸盐。常规武器用的炸药主要是含氮化合物,而致命的神经毒气是有机磷化合物。砷可用作农药,锑和铋主要用于合金,因为它们能使金属具有理想的特性。

一般情况下,氮以气态存在,无色、无味,宇宙丰度居第六位,在太阳、星球、星云、陨石、火山、矿井和一些矿泉气体中都可找到游离氮。地球上,氮是含量最多的元素。地圈

中,氮构成了矿物体的晶格成分,又会以化合态存在地圈表面的硝石(硝酸钾 KNO_3)和智利硝石(硝酸钠 NaNO_3)中,以氨、硝酸盐、铵盐的形式存在于土壤、鸟粪和各种有机肥中。水圈中,不少氮素以可溶性化合物形态,主要以铵离子(NH_4^+)、亚硝酸根离子(NO_2^-)以及硝酸根离子(NO_3^-)的形态溶于海水中。生物圈中氮以蛋白质等各种复杂有机化合物存在于生物有机体中,构成生物体的有机成分。气圈中,除少量氨、铵态氮、硝态氮外,氮主要以分子态氮(N_2)存在,是地球大气主要成分:按体积计,占 78.09%;按重量计,占 75%。分子态氮是氮的单质,也是纯粹的氮素形态。形成氮分子时,两个原子间共用三键,二者均是零价,分子态氮以 N_2 表示。在室温和 1 个大气压下,不会同任何其他单质发生反应。地球上天然氮有两种稳定同位素: ^{14}N 和 ^{15}N , 两者的比例分别为 99.635% 和 0.365%;至少有 4 种放射性同位素: ^{12}N 、 ^{13}N 、 ^{16}N 、 ^{17}N 。氮的相对原子质量为 14.008, 熔点 -210°C , 沸点 -195.8°C , 密度(1 大气压, 0°C) $1.2506 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。常见氧化态为 -3 、 $+3$ 、 $+5$;电子组态为 $2,5$ 或 $1s^2 2s^2 2p^3$ 。氮原子核上有 7 个自由质子,故氮的原子序数为 7;有 2 个电子在最内层,5 个在最外层(价层),因此氮负价为 3,正价为 5。形成硝酸根时,所有 5 个电子都和 3 个氧原子共用,因此氮原子是正 5 价($+5$);形成亚硝酸时,只共用 3 个电子,故为正 3 价($+3$);形成氢氧化胺(HONH_2)时,氮丢失 1 个电子给氧,但从氢原子中获得了 2 个电子,所以是负 1 价(-1);形成氨时,它从 3 个氢原子中取得 3 个电子,故为负 3 价(-3)。常温下氮气很不活泼,因此化学工业中用氮作稀释剂或隔断空气与潮气的覆盖气;液氮温度很低且不活泼,可用来冷冻干食品以及在易腐烂的商品的运输中作冷冻剂,也用于低温实验研究中。

(五)

氮以各种形式在自然界内循环,氮循环(nitrogen cycle)是维持自然界氮素周转和平衡的根本途径,也是传统农业解决供氮的一条重要途径。

氮循环主要在生物圈(biosphere)中进行。生物圈是覆盖地球表面、支持生物生长的薄层空间。存在于生物圈中的氮素是一个可观的氮库,数量虽不大,但易于转化和被植物利用,对维持地球上的生物繁衍有着非常重要的作用。在生物圈内,含氮化合物依赖许多互相交错的复杂途径不断循环,不仅在土壤和生物间双向交换,也在土壤、生物和大气间部分地双向循环。既精密细致,也很易受干扰。

氮是蛋白质和核酸的基本元素,为地球生物所不可少。存在于土壤中的无机氮(铵态或硝态氮)及可以通过微生物转变成无机氮的有机氮素几乎是所有动物蛋白质的主要来源。生长在土壤上的植物会吸收土壤中存在的无机氮化物,并将其转变为氨基酸和蛋白质,维持生长发育。土壤缺乏这些含氮物质,植物就无法生长。植物体中的有机氮化合物有两个归宿:一是植物死后直接回归土壤,另一条是被动物食用后转移给动物,然后再通过动物归还土壤。蛋白质对动物的重要性与对植物的一样,动物体内的很多生命程序都需要维生素、蛋白质、激素和酵素等含氮物质。没有足够的含氮物质,动物会营养不良,甚至死亡。动物从食用的动植物蛋白质中获取氮素,动物体内的含氮物质在动物死亡后会返回土壤,这一点与植物相同;但动物排泄物中也有许多含氮物质,也可通过排泄物返回土壤。这就是土壤和生物之间双向循环的梗概。有机物中氮素的活化、释放和被生物利

用这一循环过程,很难增加可利用氮素或活性氮素总量。

氮不仅在土壤与生物之间交换,同时也在土壤、生物和大气之间部分循环。一方面,植物生长过程中能通过多种途径从大气中获得一定氮素,虽然数量并不很多;另一方面,有机物矿化的氮素并不限于在土壤内周转,还有一部分释放到大气中。

丰富的地球大气氮素虽处于不能为大多数生物利用的形式,但可以经过某些微生物引起的复杂转化反应,使植物在某种程度上利用这些非化合态氮,合成蛋白质,进而维持所有动物的生命。某些独立生存于土壤的厌氧细菌,或自养固氮细菌可以把空气中的氮气转化为含氮的化合物,丰富土壤氮素;一些自生的低等藻类,一些与作物伴生的低等植物和微生物也能对大气氮素进行固定。由固定过程得到的化合态氮被水藻和高等植物利用,进入这些生物组织;动物随后食用水藻和高等植物,转化为它们的组织。在这些固氮过程中,生长于豆科植物根瘤中的根瘤菌(rhizobia)对固氮的贡献更大。豆科植物与根瘤菌之间的关系是典型的共生关系(一起生活,彼此互相得益):根瘤菌从植物中获取碳水化合物以合成含氮物质,植物则利用细菌固定的氮素制造蛋白质,以便生长并产生更多的碳水化合物。种植固氮豆科植物,如豌豆、蚕豆、三叶草、苜蓿和花生等是利用这一特性增加生物固氮量和增加活性氮的重要途径。除生物固定外,闪电、阳光和紫外辐射等非生物途径产生的高温也能使大气中的部分氧分子和氮分子化合产生 NO , NO 进一步被氧化成 NO_2^- 和 NO_3^- 。形成的亚硝酸(HNO_2)和硝酸(HNO_3)会很快通过干湿沉降进入陆地生态系统,被中和后变为硝酸盐和亚硝酸盐。在自然条件下,活性氮主要来自有机物中的氮素循环和空气中氮素的生物固定。

在植物获取空气中氮素的同时,动植物通过排泄和腐解产生的氮化合物,一部分进入土壤,参加上述循环,另一部分通过土壤中的某些细菌活动,重新返回空气。这种循环步骤虽无一定顺序,但主要包括氮的同化、氨化、硝化和反硝化等过程。使氮转化为无机氮化合物的过程,在很大程度上(90%)由某些蓝绿藻和微生物(主要是细菌)驱动和完成。所有生物遗体及排泄物均会在氨化过程中被微生物分解。在通气不良和无氧条件下,虽会生成恶臭腐败产物,但最后都会转化成铵(氨)。铵可以保留于土壤中,转化为其他含氮化合物;也可以以氨气形式离开土壤,进入空气,这主要取决于土壤条件。铵(氨)还可以被硝化细菌将其氧化为硝态氮。形成的硝态氮在浸水或通气不良、缺氧的土壤中,会被特别活泼的反硝化细菌(denitrifying bacteria)转化为游离氮,即双原子形式的氮气,释放到大气中。这些过程会引起一些氮素损失。除生物过程外,汽车和飞机的发动机也会产生一些含氮物质,如 NO_2 ,累积于大气中,污染空气。属于有机物质中氮素循环的还有矿物燃料的燃烧。矿物燃料释放氮素实质上是古代生物体中氮素的循环,可使长期固定于地质库中的生物氮进入大气。燃烧过程中产生的高温也能使一部分 N_2 得以活化,活化的氮素部分进入土壤,部分进入大气。

上述过程是氮肥投入以前陆地系统自然界氮素循环的基本情况。这种循环的特点是,农作物生产中的氮素供应主要靠田间残留的作物残体以及有机肥料氮素周转来维持,主要依靠豆科植物固氮增加一些新的可利用的活性氮源。这种循环并不能持续不断,永远在一个水平上周而复始,而是可增可减、可升可降,既可以达到一个较高程度,也易被干扰而下降或中断。强度耕作、过度消耗土壤中的氮化物,补充少而消耗多,就会使产量降低,循环过程下降甚至终止。另外,一些特殊情况也会影响这一过程。1960年,美国把大

量废水倒入伊利湖(Lake Erie)水中,影响了当地氮循环,最后导致生长停滞。总体来说,在氮肥生产以前,人为活动每年产生的活性氮数量不多,几乎全部用于食物生产;陆地生态系统中自然生产的活性氮每年约 100 Tg ($1 \text{ Tg} = 10^{15} \text{ g}$ 或 10^{12} kg);而在传统农业生产条件下,固氮和各种过程所消耗的氮大体相当;即使有一些增加,数量也不大,起不到重要作用。由于这一原因,1860 至 1960 年间,人类活动导致的活性氮增加较慢,未能在环境库中造成大量积累。

耕作土壤中活性氮大幅增加和更新是人为地广泛应用化学氮肥的结果。氮肥生产和应用使人类能够获得充足的食物,全球人口开始迅速膨胀。人口增长又使集约农业,包括畜牧业迅猛发展。这些过程又进一步导致活性氮大量增加。

在氮循环中,土壤氮素的内循环(internal cycle of soil nitrogen)更受人们重视。所谓土壤内循环是指氮在土壤植物残体、微生物体、土壤有机质和黏土矿物各分室中的迁移和转化行为,包括矿化、生物固持、腐殖质形成、铵的黏土矿物固定、固定态铵的释放以及铵的有机质固定等各种过程。土壤有机氮在异养微生物作用下转变为铵态氮或氨称为矿化作用;铵态氮经微生物作用氧化为硝态氮称为硝化作用;无机氮化合物(NH_4^+ 、 NH_3 、 NO_2^- 、 NO_3^-)被微生物同化转变成为躯体组织中有机氮组分则称为生物固持作用;土壤有机质在微生物作用下矿化的同时,又会被微生物作用形成新的有机质,进而形成腐殖质的过程称为腐殖质化过程。生物固持和矿化是两个同时不断进行但方向相反的过程。氮经过这两个过程从无机氮变为有机氮,又从有机氮变为无机氮是氮内循环的主要特征。矿化速率大于生物固持速率时矿质态氮增多,称之为净矿化;矿化速率小于固持速率时矿质态氮减少,称之为净固定。铵由黏土矿物外表面进入 2:1 型黏土矿物、不能为中性盐所置换称为铵的矿物固定,而黏土矿物层间的铵运移至黏土矿物外表面和土壤溶液中称为固定铵的释放。

氮的内循环与氮循环相互联系,受氮循环中很多过程包括生物固氮、反硝化与氨挥发等的影响。就其本身而言,一方面取决于体系中有有机物质的数量和生物降解性,特别是可给态碳和可给态氮的比值;另一方面取决于外部条件。当动植物残体的含氮量在 2.5% 以上,C/N 值小于 20 时,矿化作用大于生物固持作用(净矿化);C/N 值大于 30 时,生物固持作用大于矿化作用(净固定)。随着加入有机物质不断分解,C/N 值变小,生物固持逐渐接近矿化速率。当这两个相反过程速率相等时称之为最大固持量;在转折点之后,又转化为净矿化阶段。土壤中原有有机质 C/N 值一般为 10~12,矿化作用常大于生物固持作用。从外界条件来说,温度和湿度(水分)条件特别重要。10~40℃时,净矿化量与温度成正比;通气不良条件下矿化速率低于通气良好条件,但嫌气条件下微生物代谢需氮量较小,释放出的铵量较多。

土壤供氮能力和供氮过程取决于氮的内循环。正常施肥情况下,作物一生吸收的氮量中 50% 以上来自土壤有机质的矿化。矿化作用-生物固持作用以及铵的矿物固定-固定铵的释放等过程有助于减少土壤中矿质氮量因施肥而引起的剧烈变化,从而有助于减少氮素损失及其对环境污染;又有助于保证土壤对作物较稳定的氮供应。矿化作用-生物固持作用是土壤氮表观正激发效应和表观负激发效应产生的根本原因;同时使得根据 ^{15}N 示踪法所得到的肥料利用率和损失率偏离真实值,不能据此判断肥料氮的效率和对环境污染状况。

(六)

农业生产水平是物质和技术投入水平的综合反映。在一定自然条件下,物质和技术投入水平越高,生产水平越高。现代农业高速大幅增长实际上是物质和技术投入的综合体现。在物质和技术投入中,营养物质起着决定性作用。化肥问世,通过化肥投入营养物质开创了农业历史新纪元。1800年,无N、P、K化肥投入,全世界每公顷土地平均只生产0.73Mg粮食;1978年,每公顷投入的化肥N、P、K为155.8kg,生产4.63Mg谷物。按1978年增产量计算,每公顷平均投入1kg N、P、K,约增产20kg粮食。20世纪由于营养物质投入而引起的农业大幅度增长曾使很多人震惊。20世纪30年代,一位美国科学家就欧洲粮食增产的原因征询德国科学家的意见,得到的一种答案是,如果把增产量看作100%,化肥贡献占50%,品种占30%,其他管理措施占20%。德国科学家的估计并未言过其实,现在很多事实证明,化肥对农业生产的增产作用大多在50%左右。联合国粮食与农业组织估计,发展中国家粮食的增产作用有55%以上来自化肥。我国有人估计,化肥的增产作用约占增产部分的48%;又有人估计,在农业增产的诸多因素中,化肥所起的作用占50%左右。见仁见智虽有差异,但结果基本接近。

化肥投入增加了作物产量,也增加了能量。农业生产是一个增能过程,能量产投比一般大于3,而投入化肥后至少在5以上。另外,化肥消耗的能量仅仅是社会消耗能量的极小一部分。即使像英国这样一个施用化肥较多的国家,生产化肥所消耗的能量也不过是其所消耗总能量的1%。由此可见,外源营养物质的投入,特别是化肥的投入,既是必需的,也是有利的。今后的问题不是限制化肥的投入,而仍然需要增加投入,这是不可抗拒的趋势。否则,农业将难以持续,人口增长对粮食的需求将无法实现。美国著名植物育种家、诺贝尔和平奖获得者勃劳格(N. E. Borlaug)教授1990年就告诫说:“就现有的科学水平而言,农业化学产品的明智使用,尤其是化肥的使用,对满足世界60亿人口的生活是至关重要的。人们必须清醒地认识到,当今农民如果立即停止使用化肥和农药,世界必将面临悲惨的末日。这并非由于化学产品的毒害所致,而是饥饿所造成”。勃劳格的话很值得深思。

在化肥投入中,氮肥起着决定性作用。1910年前没有人工合成氮肥,每年天然陆地的固氮量约为100Tg。1913年,哈勃-保什(Haber-Bosch)发明了用化学方法将大气中的 N_2 转化为 NH_3 ,为人工合成氮化合物开拓了广阔通途,氮肥生产面目一新。近百年来,人类合成的氮肥逐年增长,目前年合成氮量已超过100Tg;而与此同时,一部分天然草场和森林被改造成农田,天然陆地生态系统固氮量从每年约100Tg减少到89Tg。英国1950~1954年冬小麦的平均产量为 $3\text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$,而1992~1996年平均 $7.5\text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$,同期氮肥施用量从约 $20\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 增加到 $200\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。北美洲情况类似,亚洲情况更突出。亚洲正在经历人口与经济快速增长阶段,氮肥总产量目前居全球各洲之首,比北美洲和欧洲的总和还多。据估计,2010年,40亿人将生活在东亚和印度次大陆。人口增长对农产品的需求将不断增加;经济快速发展也导致了营养结构向动物蛋白和精粮转化。解决这一问题的方法之一就是加大氮素投入,提高作物产量。因此当西方发达国家农业生产中化肥应用趋于饱和的时候,发展中国家化肥应用仍在继续增加。我国1960年以前

很少使用氮肥,20 世纪 80 年代以来氮肥用量迅速增长,1996 年我国氮肥用量(以 N 计)已达 2145.3 万吨,占化肥总消费量的 56% 以上。现在我国是世界上氮肥使用量最多的国家,约占世界年用量的 1/3。氮肥问世,氮肥的生产和应用有力地促进了农业生产发展,保证了粮食安全,开创了农业历史的新纪元,使农业生产登上了一个新的台阶。这既可以由化肥结构看出,也可由作用看出。全世界 $N : P_2O_5 : K_2O$ 的投入水平约为 $1 : 0.4 : 0.26$,我国约为 $1 : 0.4 : 0.14$ 。从肥效来看,不论在国外还是我国,都是氮肥>磷肥>钾肥。氮肥之所以对农业有如此重大贡献,主要在于投入农田生态系统。农田生态系统是人工生态系统,在养分供给方面,不像自然生态系统可以自然延续,而主要靠人为补充。大量消耗和损失是人工生态系统要求投入氮肥的根本原因,而大量氮素投入,包括固氮植物的应用和畜牧业的集约经营以及氮肥生产,才使农田生态系统生产力明显提高,支撑全球人口增长。

(七)

广泛存在于地圈、水圈、气圈和生物圈中的氮素是一种既关系到生命存在和发展,又关系到生物界、人类和环境安全的重要元素。

受氮肥显著增产作用和经济效益的诱惑,投入到农田的化学肥料日益增加,成了农业生产中最大的物质投资,已占种植业全部生产性投资的 50%。40 年来,世界化肥(特别是氮肥)施用量增加了 15 倍,而粮食产量仅增加了 3~4 倍。通过大量施用氮肥、增加活性氮、促进作物产量大幅度提高同时,许多弊端也随之而来:氮肥利用率不高,效益下降不仅带来了巨大的经济损失,而且严重地污染环境,促使生态环境条件恶化。

人类通过各种途径增加的活性氮有的在农业生产中发挥了重要作用,而有的则直接或间接向环境排放。种植豆科作物产生的 RHN_2 成为生物体的一部分,矿物燃料燃烧产生的 NO_x 直接排放到大气中。工业固氮制成的肥料施到农业生态系统中后,部分被植物吸收利用,在农业生产中发挥了作用;少部分与土壤有机质聚合;大部分通过土壤转化、氨挥发、硝化-反硝化、径流与淋洗等途径损失,向环境排放。损失的氮估计占施入土壤氮的 33%~74%,使氮肥利用效率很低。大量氮肥投入引起了氮循环改变,导致了局部和全球范围内的生物地球化学氮循环不平衡,对大气、水体、植物和土壤等农业生态环境产生了污染,引发了广泛环境问题,越来越受到世界各国的关注,成了农业生产中迫切需要解决的问题。

氮与氢、氧的化合产生了宝贵的肥料,也产生了污染环境的氮素化合物。从氮的环境化学性质来看,氮是一种价态多变(从正五价到负三价)的环境元素,既可作为电子供给体,也可以作为电子接受体,从而形成一系列的形态多样的有机物和无机化合物,而无机化合物是营养物质和污染物质的主体。其中,低价的还原态氮化物离污染源很近,不仅氮化物本身具有毒性,且常有病原菌相伴;最高氧化态硝酸盐的积累,则离污染源较远,除了 NO_3^- 的低毒性外,伴存的病原菌已基本消失。在污染的地表水体和地下水体中,主要有离子态的 NH_4^+-N 、 $NO_3^- -N$ 、 $NO_2^- -N$,而污染大气的主要是气态的 NH_3 、 N_2O 以及存在于有机质中的有机态氮。在离子态氮化合物中,虽然 $NO_2^- -N$ 含量总是小于 $NO_3^- -N$ 或 $NH_4^+ -N$ 的最高浓度,但是,从 $NO_2^- -N$ 的化学特性和环境毒性意义上来看,通常将微量的

NO_2^- -N 存在视为重要的氮污染标志。日益增加的活性氮向环境排放从各个方面影响了环境质量,威胁着人类和生物赖以生存的生态环境安全和人类自身安全:从土壤和肥料中挥发出来的氨气,直接进入大气,会对大气产生不良影响;在大气中存在的氮素,又会导致氮素干、湿沉降的增加,对陆地和海洋生态系统产生深刻影响;硝化和反硝化过程中产生的 N_2O ,既能消耗臭氧,破坏保护生物、阻止紫外线透入的臭氧层,而且其为温室效应气体,会引发全球性的气候问题。据报道,进入大气中的 NH_3 有 80% 来源于农业,主要是家畜和肥料。过去 50 年里,欧洲大陆的 NO_x 排放量增长了 7 倍;英国进入大气的氧化亚氮(N_2O)的 65% 来自农业活动。由农业生态系统特别是土壤中以及人类活动中排放的硝态氮和铵态氮进入地下水和地表水,造成地下水和地表水中 NO_3^- -N、 NO_2^- -N 和 NH_4^+ -N 含量的增加,污染水环境,诱发湖泊水质富营养化,严重影响水域生态环境安全和水质质量;欧洲大部分较大河流中氮的浓度提高了 2~20 倍。过量的氮素投入和干湿沉降的氮素会使森林退化、土壤酸化、引起陆地和水体生态系统物种组成变化和生物多样性减少;以硝酸盐的形式累积在植物体中,特别在蔬菜中的氮素,降低食品和饲料的品质,并对人类健康造成直接威胁。这一切已经引起并将继续引起人们的关注。我国是能源消费大国,生产化肥所产生的活性氮及引发的环境问题尤为突出,已成为除欧洲和北美洲之外的第三大氮沉降区;并且氮沉降仍呈增加趋势,受到国际社会的广泛关注。

活性氮对环境和人类影响的一个独特方面是其影响具有连锁反应的特性,如氮的一个原子能够依次增加大气中的臭氧、增加大气中的颗粒物质、改变森林生产力、酸化地表水、增加海岸带系统的生产力、提高海岸带富营养水平以及通过 N_2O 的生产提高大气温室效应的潜能等。这种连锁反应也被称为“阶式效应(cascade)”。

活性氮增加引起氮循环的急剧改变导致生态系统的一系列反应,一直令人担忧;而 3 个与生物地球化学氮循环不平衡的主要环境问题更受世人注目:一是氧化亚氮(N_2O)在过去几十年里以每年 0.25% 的速度增长;二是硝态氮和铵(氨)态氮沉降增多加剧了土壤和径流水的酸化;三是海域内铵(氨)态氮和硝态氮流入和沉降增加,导致海水富营养化。

(八)

要合理施用氮肥,提高氮素效率,减少由于氮素向环境排放所引起的一系列不良后果,必须认识土壤氮素特征,正确评价土壤供氮能力;明确作物吸收与利用氮素规律和制约作物氮素高效利用的环境与人为因素;确定氮素高效利用的施肥、栽培和管理技术。40 多年来,我们立足西北旱地,特别是黄土高原地区,通过大量、长期田间试验及培养试验和系统、全面的土壤、植物分析,在土壤铵态氮矿物固定、固定铵的生物有效性,微生物体氮的特征、数量与生物有效性,有机氮矿化,无机氮周转(土壤氮挥发、硝态氮残留、淋溶、反硝化过程等),土壤供氮能力评价与指标确定,旱地不同高效栽培模式的氮素管理,植物生长后期的氮素气态挥发、作物硝铵态氮吸收利用规律、旱地作物氮素抗旱营养生理、作物碳氮代谢,水肥、特别是水氮耦合中的氮素高效利用机制以及氮肥合理施用技术等方面,进行了深入、系统地工作;相关成果进行了长期、大量的示范试验与推广应用。通过大量系统的研究,取得了以下主要结果:

(1) 创建和改进了系列研究方法,开拓了氮素研究新途径:首次提出了采用淋洗硝态

氮或耗竭硝态氮后评价作物对矿化氮反应的方法;建立了区分农田水分蒸发和作物群体蒸腾的覆膜-建模方法;应用植物吸收的 ^{15}N 与微生物固持 ^{15}N 比率评价微生物固持氮对植物的有效性的方法;建立了测定固铵的“低温加热”代替振荡过程的方法;论证了外加入法对低浓度土壤硝态氮测定的效果;改进了测定氨态氮挥发的田间通气法和瞬间密闭收集法。

(2) 研究了旱地,特别是黄土高原旱地土壤固定态铵、土壤微生物氮、土壤有机氮、土壤无机氮 4 个氮库的氮素循环,发展了氮素循环理论;证明只有 2:1 黏土矿物为主的土壤,固定铵与土壤颗粒之间才有相关,给国际上这一有争论的问题画上了句号;发现固定态铵在 $100\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上的土壤,凯氏法测定的全氮不能完全包括这部分氮素;证明固定铵在作物生长期只有 10% 左右可以变动,对作物供氮有调节作用。发现土壤微生物氮约为全氮的 2%~11%,变动大、周转快、有效性高,对土壤-作物氮素周转有一定作用。确证土壤有机氮库是决定供氮能力的主体,培养法矿化出来的氮素与作物吸氮量密切相关;证明短期通气培养中可矿化氮主要来自酸解氨基酸态氮和酸解氨态氮,淹水培养中主要来自酸解氨基酸态氮;发现土壤剖面累积的高量硝态氮是影响作物对可矿化氮反应的主要因素。发现旱地硝态氮主要累积在 60 cm 以上土层;灌区,既会在剖面累积,也会淋出 2 m 以下土层,累积的氮素可通过浅、深根作物轮作加以利用;田间条件下氮肥氨挥发损失多在施氮量 10% 以下,与湿沉降氮量近似;反硝化损失的氮素甚小,一般在 $5\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以下,但覆盖栽培能改善土壤水分状况,增加 N_2O 排放量和有机质矿化,增加矿质氮在土壤中的残留和淋失风险。

(3) 研究了旱地作物氮素营养特性,奠定了提高氮肥效果的生理学基础。以自行设计的装置,捕获了 4 种作物全生育期挥发损失的气态氮素,证明氨是主体、 N_2O 微量。提出的植物硝态氮研磨浸提法,操作容易,适于大量新鲜植物样品快速处理和准确分析;证明累积硝态氮是蔬菜和禾谷类作物的共性,营养生长旺期是累积主要时期;采用铵硝态氮等量供应培养液,证明作物不同阶段对铵、硝态氮偏好不一;发现了水分胁迫条件下,合理施氮可提高根系活力,改善植物的氮代谢机能,增强对干旱的适应能力;提出了水培营养液中适量增铵、设施栽培中补给 CO_2 ,降低蔬菜硝酸盐累积的途径。

(4) 确定了影响氮肥效果的外源因子,提供了充分发挥氮肥作用和提高水分利用效率的理论依据;查明了水分对氮素、氮素对水分的相互作用及其机制,确定了发挥两者协同作用的条件;证明水分、养分胁迫对作物生育影响有阶段性和双重性,早期胁迫一般易于补偿,后期胁迫补偿效果减小,甚至无效。

(5) 建立了高效施肥体系,显著提高了氮肥效率;采用覆膜、适氮栽培措施,小麦和玉米水分利用效率分别达到 $22\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$ 和 $24.4\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$,为旱地水分养分高效利用提供了技术支撑;提出氮肥和有机肥配合施,氮肥和磷肥配合施,磷肥和有机肥分开施的原则;提出根据土壤供磷水平施用氮肥的比例和指标;提出小麦在施氮同时注意施磷,玉米施氮不施磷;提出根据土壤 1 m 深土层硝态氮累积量施用氮肥的指标;提出根据氮素矿化势和作物生长期间的土壤水分和温度估计作物生长期间矿化氮的数量;提出氮肥深施和与耕层土壤混合施用的应用条件,提出了小麦玉米不同生育期的氮肥分配。推广应用这些理论和技术取得了显著的经济、社会和生态效益。

研究所取得的成果深化了对西北旱区土壤氮素动态、土壤供氮能力、作物的氮素吸收

利用规律的认识,确定了土壤供氮与施肥指标、科学的施肥技术和养分管理措施,创造性地发展了黄土高原旱地土壤氮素循环和施肥理论与技术,鉴定专家认为研究成果达到了国际同类研究领先水平。

(九)

为了学习国内外的研究成果和总结我们几十年的研究工作,我们组织编写了这本《中国旱地土壤植物氮素》专著。历经5年时间,现在就要出版了。参加编写本书的作者除笔者外,都是一些和笔者长期合作进行教学和研究工作的年青同事,都曾是笔者的博士研究生,现在均是教授或副教授。他们一直勤恳地工作在教学和科研第一线,既有研究工作和农业生产实践的经验,又有丰富的理论知识。在紧张忙碌的教学研究工作中,他们挤出时间,查阅资料、总结研究成果、反复修改文稿,实在是难能可贵。所有作者均列在撰写的每章之后,这里不再一一叙述了。在本书即将出版之际,笔者对他们为本书付出的辛劳表示衷心感谢!

本书分3篇。第一篇主要论述旱地土壤的氮素循环,包括旱地土壤中氮素含量与形态,旱地土壤氮素矿化,旱地土壤微生物氮,旱地土壤氮挥发,旱地土壤氮素反硝化,和旱地土壤氮素累积和淋失;第二篇主要论述旱地植物氮素生理,包括植物体中的氮素挥发,作物基因型对氮素的反应,植物体中硝态氮累积和植物的铵硝态氮营养;第三篇主要论述旱地土壤氮素管理,包括氮素与环境,水氮的相互作用,旱地不同栽培制度下的氮素管理和氮肥的合理施用。

本书是在多个研究项目资助基础上形成的。资助的有:国家自然科学基金项目“土壤氮素矿化与供氮能力研究”(49070041),“植物体中氮的挥发损失”(39070526),“土壤生物体氮的组成、动态及对作物供氮的意义”(39470409),“提高旱地小麦氮肥利用效率的研究”(39770425),“水分养分优化耦合对提高作物产量的效应”(重大基金项目49890330 专题),“提高西北旱地水分、养分耦合效率的应用基础研究”(农业倾斜基金项目,30070429),“旱地秸秆覆盖条件下小麦减产的原因及作用机制研究”(40477069)以及重点基金项目“西北旱地优质、高产高效栽培的生理生态研究”(30230230);国家科委项目“旱地农田水肥交互作用及耦合模式研究”,“水肥耦合与作物水分养分高效利用的生理与应用基础研究”;国家教委项目“氧化亚氮微循环研究”(博士点基金);陕西省科委(科技厅)重点项目“蔬菜作物中硝态氮累积普查及相关研究”以及中英、中德英国际合作项目“中国西北地区黄土中的氮素循环”。由于这些项目支持,我们才能进行大量研究工作,取得第一手资料,为编写本书奠定了坚实基础。没有这些项目资助,则研究工作难以进行,缺乏研究和实践的经验和真知,著书立说只能人云亦云,真伪莫辨,流于空话。在本书即将付梓之时,我们对这些资助机构,尤其对国家自然科学基金委员会长期、连续的资助,表示衷心的感谢!

西北农林科技大学为本书的编著提供了优越的学术环境,校、院各级领导和同事在本书编写过程中给予了支持和关怀。我们对学校及各方面的关怀充满感激之情,并将永远铭记在心。

本书由莫结胜和沈晓晶担任责任编辑。两位编辑年青有为,精于编审而又细心认真。

书稿经过她们的认真改误、设计和精心安排,面目一新,质量明显提高。

本书编写过程虽然较长,但由于我们受知识水平、阅历、思路限制,既可能有学术上的偏见和不正确的地方,也可能有理解和表达上的错误。《吕氏春秋》曰:“东面望者不见西墙,南乡视者不睹北方,意有所在也。”由于这种“意有所在”,注意力偏重在某一方向,挂一漏万,轻重倒置或轻重不分者,恐怕更多了。这些只好请海内外各位学者、贤达、专家和前辈指正。我们对各界专家的不吝赐教表示热烈的感谢与欢迎。

李生秀

2007年9月于西北农林科技大学