

高寒草甸生态系统研究的 若干数学模拟模型

周 立 王祖望 主编

国家自然科学基金资助项目

中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站基金资助项目

中国科学院重点课题资助项目

科 学 出 版 社

1 9 9 1

内 容 简 介

中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站的科研工作者建立了若干数学模拟模型。本书收集了高寒草甸生态系统非生命亚系统模拟模型及应用程序,高寒草甸生态系统初级生产者亚系统模拟模型及应用程序,高寒草甸生态系统消费者亚系统生物量动态模型,以及高寒草甸生态系统分解者亚系统模型。

可供生态学、应用数学、数学生态、畜牧业及草原管理专业的科研人员及大专院校有关专业师生参考。

高寒草甸生态系统研究的 若干数学模拟模型

周 立 王祖望 主编

责任编辑 李朋逊

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100707

北京怀柔县黄坎印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1991年6月第一版 开本: 787×1092 1/16

1991年6月第一次印刷 印张: 12

印数: 0001—780 字数: 268 000

ISBN 7-03-002454-0/Q·334

定价: 12.30元

译 序

李 庆 远

F.J. 史蒂文森 (Frank J. Stevenson) 主编的《农业土壤中的氮》一书, 是美国《农学丛书》第22卷 (Agronomy No. 22), 于1982年出版。由美国农学会、作物学会和土壤学会联合发行。

早在1965年,《农学丛书》发行了第10卷《土壤氮素》,由巴塞洛缪 (W.V. Bartholomew) 及克拉克 (F.E. Clark) 主编。第10卷目下已经销售完了,因此,史蒂文森把第10卷的《土壤氮素》改编成为第22卷的《农业土壤中的氮》,这样使目的性更为明确。由于1965—1982年间土壤科学的进步,使22卷的内容远比第10卷更为详细而深入。虽然中译本的发行,离开原书的问世已经多年了,但是迄今为止,就理论方面讲,这本书还是关于土壤氮素研究最为完美的著作。我相信,中译本对于中国的广大土壤工作者,是很有参考价值的。

全书共23章,英文原本940页,由史蒂文森等34位专家参加编写。他们大都毕生从事于土壤化学,特别是土壤氮素的研究。在本书出版时,有几位已经退休或去世了。

本书各章的文字叙述都比较概括和简要。现将各章略加评介,希望能使读者对本书有一个概括的了解,有助于阅读时有较深入的理解。

第一章 土壤中氮的起源和分布 F.J. 史蒂文森 (Stevenson) 著

这一章主要是关于土壤中氮素循环及其含量的总论。作者指出土壤中氮素的来源是生物固氮。其次是雨水带入了了一部分的硝态氮和铵态氮。地壳中也有自然的氮素组成,例如原生矿物云母和长石的晶格中含有的铵态氮。本章附有插图全面地说明氮素循环的生态条件,包括土壤有机态氮的合成;以及土壤有机质在分解过程中 N_2 、 N_2O 的挥发和 NO_3^- 的淋失。大气中的氮素主要是通过根瘤菌而进入土壤。此外,自生固氮菌、固氮蓝藻和某些芽胞杆菌也起一定的固氮作用。生物固氮是土壤有机态氮的主要给源。但是土壤中氮素的合成和转化并不是都要通过生物作用,因为有机质被微生物分解以后,所产生的 NH_3 、 NH_4^+ 和 NO_3^- 都可以和有机质起反应,形成 N_2 和 NO_2 再进入大气中。相反,土壤有机-无机复合体可以把土壤有机态氮和无机态氮复合起来,抑制微生物活动。

施肥也是农田土壤中氮素的主要来源之一,包括厩肥和化肥。特别是最近20—30年以来氮肥工业有了飞跃的发展,农田土壤中由于施用化学氮肥而引起的作用,已经是生态学中一个引人注意的问题了。

就整个地球来讲,氮素的消长应该是平衡的。作者引用了H. Jenny的学说,以某些代表性土纲为例来阐明道库恰耶夫五项成土因子与土壤氮素含量的关系。但是耕作破坏了大自然中氮素循环的平衡,一般讲来,土壤中有有机质经过耕翻促进分解,并且被植物吸收而下降,施肥补充了这项损失。作者在总结中提出,他希望将来能生产一种缓效性氮肥,它的氮素释放率能与作物生长过程中的需氮量相适应。

KAD 94 10.18 2

对于土壤中氮素的起源和分布,是一个地球化学问题,这方面的研究结果,可见于第二章“土壤中的无机态氮”。在这一章中所引用的资料(包括间接的和直接的),主要是50—60年代前后的结果。

第二章 土壤中的无机态氮 J. L. 扬(Young)和 R. W. 奥尔达(Aldag)著

作者把土壤中主要的无机态氮归纳为六类,即硝态氮(NO_3^-),代换性铵(NH_4^+)为土壤矿物所固定的非代换性铵(NH_4^+),气态氮(N_2)及氧化亚氮(N_2O)。作者搜集了世界各地土壤矿物中固定性铵态氮(NH_4^+-N)的全量的资料,列成一个详细的附表,说明地球上主要土壤中与矿物相结合的铵离子(NH_4^+)的含量。表中指出联邦德国粘质沼泽土中铵离子可高达860ppm,而以色列土壤平均只有8—10ppm,中国台湾省为140—400ppm,作者没有看到中国大陆部分的研究结果。

本章介绍了土壤中不同状态的无机氮的测定方法,包括矿物所固定的氮、代换性和水溶性氮,以及土壤中的气态氮。比较通用的测定固定态氮的方法,一般先用KOH热溶液来浸出土壤中的代换性铵。随后把土壤用HF-HCl浸提,再用NaOH蒸馏出来的铵用以代替土壤矿物所固定的 NH_4^+ 。但是问题在于土壤中的一部分活性有机质,如酰胺、氨基糖等都能在蒸馏过程中产生 NH_4^+ ,使这类方法测得的结果,其性质模糊不清,并难以得到良好的重复。在分析土壤中的代换性铵以及 NO_3^- 和 NO_2^- 时,主要的困难在于如何采集土壤样品。正确的结果只能在田间测得。因为土壤样品一经风干,这些组成都可以发生变化。

在好气性条件下,土壤空气中的 N_2 应该和大气相同,但是最好的测定土壤空气的方法,要用气相色谱法。上述测定方法基本上是J. M. 布雷姆纳(Bremner)在1965年前后所提出的。

在全书23章中,相对来讲这一章比较简单,也缺少新的内容。

第三章 土壤的有机态氮 F. J. 史蒂文森著

土壤中的主要有机态氮包括非水解性氮、非代换性氮及氨基酸氮,各占有机态氮总量的20—45%。此外还有少量的氨基糖氮、精氨酸氮及赖氨酸氮等,一般都<10%。作者在表3-2中罗列了世界上某些地区表土中这些有机态氮分析结果。在美国沼泽土的表层中氨基酸氮平均约占50%,非水解性氮占14%,但是在底土中前者下降至30%,后者则增至35%。

当土壤酸解以后,主要形成胡敏酸和富啡酸。作者对于这两种有机酸的杂环态氮、链状态氮及其分子结构作了扼要的图解。作者以大量的篇幅说明氨基酸的分组方法,在土壤中的变化范围以及它们的性质。至于其它含氮有机质,如核酸、叶绿素、磷脂、胺等,也都有分子结构的图解。

耕作通常促进土壤有机质的分解,同时也改变土壤有机质的组成成分。耕作使水解性铵态氮有所增加,氨基酸则相应地减少。土壤剖面中的有机态氮的分布也随深度而有变化。以美国佛罗里达州的热带沼泽土为例(图3-3),氨基酸在表土中的含量占全氮的51%,非酸解性的有机质只占15%,在1.4米深的底土中,氨基酸只占30%,非酸解性有机质则增至35%。

本章也图示施肥对于土壤有机氮组成的影响(图3-6)。在施肥土壤的表层中,氨基

酸占土壤全氮的59%，非酸解性有机质为10.3%。在土壤自身的有机质中，氨基酸占全氮的36.0%，非酸解性有机质为21.7%。

最后作者说明了70年代的某些农药如S-三氮杂苯($C_3H_3N_3$)在土壤中的降解过程。

在这一章的总结中，作者认为目前对于土壤腐殖质的分组还是很不完善的，过去应用层析方法来分离各组有机态氮，存在着许多缺点。 ^{15}N 技术的应用，将使土壤有机态氮的研究有所推进。

80年代初的研究结果，认为腐殖酸的分子量，除了功能团以外，它的核结构部分的平均分子量在2000—1000之间，对于功能团和核结构的分子组合，也已经比较明确了(陆长青、朱燕婉，1982。土壤学报，19(2)：194—201)。

第四章 土壤中铵和氨的吸持与固定 H. 诺密克(Nommik)和K. 范特拉斯(Vahtras)著

由于最近20—30年来，铵肥及液氨在农业上大量施用，土壤铵态氮和氨的吸附和固定引起人们的注意。

本章以较大的篇幅说明代换性铵(NH_4^+)和固定性铵在土壤矿物中的位置，并以蛭石和伊利石为例，图示它们在双电层中的分布情况、理化性质和测定方法(包括提取、蒸馏、色层分离、微生物作用等)。这些测定方法，大都以1965年前后，J. M. 布雷姆纳所介绍的工作为基础而加以发展和改进。文中也说明了温度、时间、干湿条件、冰冻、土壤质地等对于测定结果的影响。

高等植物对于固定态铵的吸收性能，我们还没有深入的研究。目前大部分结果是从盆栽试验得出，而且结果很不一致。

盆栽试验也指出燕麦对于铵态氮的利用受钾离子的抑制。相反地，大量田间试验证明施用 K_2SO_4 并不影响春小麦及甜菜对于硫酸铵的吸收。

氮肥施于土壤后是被土壤有机质所吸附或固定。此外，由于土壤有机质的分解，也可产生氮。液氨一般都是在表土上开沟条施，因此分布比较集中，并且在心土中含量很少。

本章从土壤胶体矿物和土壤有机质两方面来说明氨的吸附和固定。氨取代了胶体矿物中的一个质子形成 NH_4^+ -胶体的复合体。因此当 NH_3 或氨水施入土壤后，其移动范围极为有限，一般3—6厘米，与 NH_3 接触的中心部分，N的浓度可以高达1000—2500ppm，并且在几个星期以内，可以维持1000ppm的水平。

本章还比较详细地说明土壤有机质对 NH_3 的固定，并以苯醌为例，说明氨的聚合作用的过程。

70年代开始应用 ^{15}N 来进行土壤腐殖质的研究，证明了用6N HCl来提取森林土壤中的腐殖质，有54%的 ^{15}N 和19%的土壤氮(N)依然存留于腐殖质中，不受酸解。氨在土壤中和腐殖质相络合，形成 NH_3 -腐殖质络合物，这种络合物不易被化学作用和生物作用分解。以W. D. 伯奇(Burge)等1961年的盆栽试验为例，大约只有74%的氮素能从络合体中被苏丹草所利用。

第五章 氨化作用的生物化学 J. N. 拉德(Ladd)和R. B. 杰克逊(Jackson)著

当有机态氮通过酶的催化作用而产生铵离子时，称为“氨化作用”。氨化作用所形成

的主要基质,包括氨基酸、氨基糖、嘌呤、嘧啶等。

这一章讨论了氨化作用的过程及其主要基质的性质,是本书比较详细的一章。从生物细胞中的氮素转化成为铵,必须通过水解。这项水解作用是通过蛋白酶、肽酶以及氨基酸的脱氢酶的氧化酶等来完成。本章说明了这项氨化作用的过程。

氨基多糖及氨基糖也是土壤有机质中的主要含氮物质,它们通过水解形成几丁质、甘油磷酸等。几丁质(甲壳质)是很不容易分解的,它要靠几丁质酶和解蛋白酶的联合作用才能分解。

核酸、核苷酸、核苷、嘌呤及嘧啶等在转化成铵时都有独特的酶来促进它们的水解。要把核酸中的氮降解成为 NH_4^+ 需要靠多种酶的联合作用。本章通过图解(图5-2)来说明核糖核酸酶的分解核酸过程中的假设。以嘌呤(尿杂环)为例,图示在好气条件下从嘌呤转化为尿酸,以及从尿酸转化为尿素的详细过程,并指出每一环节中的独特的酶。

除了生物细胞中的有机氮以外,尿素肥料也是土壤中有有机氮的另一个给源。由于尿素工业的日益发展,这种有机态氮,通过脲酶来促进氨化作用已是近代土壤化学中的一个引人注意的问题。

土壤中的尿酸 $[\text{C}_5\text{H}_4\text{O}_3\text{N}_4]$ 来自动物排泄物以及植物残体的氮素代谢产物。尿酸通过一系列酶的作用,最后分解成为尿素。脲酶把尿素转化成 NH_4^+ ,是植物主要的氮素营养。从尿酸到 NH_4^+ 的氮素代谢过程,作了有系统的图解(图5-7—5-12)。

作者比较详细地讨论了脲酶及脲酶抑制剂在土壤中的作用。指出这些作用都受土壤温度、湿度、透气性以及其它有机物质的矿物质的影响。例如, Ag^+ 、 Hg^{2+} 以及苯脲的衍生物等都能抑制脲酶的活动。作者也介绍了分析土壤中脲酶的方法。在不同的温度下比较了土壤提取液中的脲酶活性及刀豆中所提出的脲酶活性,指出土壤中的脲酶活性远远高于刀豆脲酶。

作者在介绍脲酶测定方法时,指的同出实验室的测定结果并不完全与大田相符合,环境条件的变化可以影响测定的数据。

第六章 土壤氮的矿化作用和固持作用 S. L. 詹森(Jansson)和J. 珀森(Persson)著

氮素是植物主要的营养元素,如何合理施用氮肥,确保氮素在生物体和外界环境间的合理循环,是生态学上的一个重大问题。这一章是讨论异养生物体对氮素的矿化作用和固持作用。对于这两项作用的定义及其过程,做了文献综述。

作者把整个氮素循环分为三个部分。即基本循环、自养循环和异养循环。对于三个循环系统的流程,做了比较简明而全面的图解,可以概括如下。

(1)基本循环(主循环):有机残体矿化→氨化→硝化→反硝化→生物固氮→有机残体。

(2)自养循环:生物(主要是高等植物)体摄取有机质分解后的铵→枯萎后再以有机质残体归还土壤。

(3)异养循环:微生物固体有机质中的铵→再以有机体归还于土壤。

作者认为上述循环系统是“矿化作用-固持作用的转换”,即MIT(Mineralization-immobilization Turnover)。本章对MIT的过程以及影响MIT的各种因子做了详细的分析,

当本书编写时,同位素(^{15}N)已应用于土壤学研究。作者以较大的篇幅来讨论应用 ^{15}N 来进行氮素循环的研究,但是他认为这项工作还存在着一些没有解决的问题。

早在半个世纪以前,人们已经指出把对照区的产量与施氮区的产量相比较,所得的增产量并不能代表氮肥的效用。首先,加入的肥料同时也促进土壤有机质的矿化。这项激发作用,使当季作物能有较好的氮素营养,获得增产。其次,由于氮素“矿化作用-固持作用的转换”,使 ^{15}N 标记肥料可以受到固定,同时土壤有机态氮可发生矿化,这样凭植物对 ^{15}N 吸收量所取得的数据,便失去其真实性。作者指出用 ^{15}N 来标记土壤腐殖质,并且标记肥料,以进行土壤氮素循环的研究,将有远大前景,但是这项工作必须从实验室分析和盆栽试验转到大田中去。

第七章 土壤中的硝化作用 E. L. 施米特(Schmidt)著

作者从农学和环境保护的观点强调了研究土壤中硝化作用的重要性。文章概括了影响土壤硝化作用的因素,硝化作用与氮素循环中其它过程的相互关系,涉及植物和微生物对 NO_3^- 同化作用的竞争,以及在土壤微团聚体中同时发生的硝化作用与反硝化作用,这种复杂的相互关系造成研究硝化作用的困难。关于硝化作用的微生物学基础。除了自养硝化菌外,还有异养硝化菌。此外,甲烷的氧化细菌也可以起硝化作用。

对于 NH_4^+ 氧化作用的生物化学过程,列出了 NH_4^+ 氧化为 NO_3^- 的整个反应图解,对过程中出现的 N_2O 是否经过(NON)还不能肯定。关于氧化 NO_3^- 的细菌的碳代谢,证明其不是专性自养菌,而是兼性自养菌,其中有的菌株在没有 NO_3^- 时,利用有机碳和有机能源行异养生长。本章对于有关硝化菌的生长速率,生长量及活性的米氏常数等都有介绍。就土壤中硝化群落的控制方面,介绍了自然的硝化抑制剂,包括某些植物的根系分泌物和根浸出物可能起硝化抑制作用,“演替顶”(顶极)(Climax)是另一种自然硝化抑制剂。本章也评述了加入土壤中的某些农药和专性硝化抑制剂的抑制效果及其条件。

作者用较多篇幅介绍了研究硝化作用的方法,包括MPN法、荧光抗体技术及短期活性的测定等,分析了这些方法的利弊,也介绍了分离亚硝酸菌为纯培养的平板法、富集稀释法和稀释法等。但自70年代以来,方法上并没有多少改进,这些方法仍然是费时而麻烦的。

作者在结语中提出,由于 N_2O 可能破坏平流层(同温层)的臭氧层,存在潜在危害,有必要研究由硝化作用形成的 N_2O 在这方面的性质和意义。根据硝化菌的生理特性及其相联系的环境复杂性等困难,硝化过程的微生物学研究远远落后于其化学反应的研究。今后应着重于研究硝化过程的微生物学,了解硝化群落中的主要微生物组成,评价其能量与活性,以及土壤性质对硝化群落动态的影响。

第八章 生物反硝化作用 M. K. 费尔斯通(Firestone)著

作者在本章以一半以上的篇幅介绍了反硝化作用的生物化学和微生物学的基础;对反硝化作用的定义与微生物氮代谢的区别作了讨论,列出了反硝化中氮氧化还原作用的途径,该过程 NO 是否为游离的中间产物,至今尚未肯定。文中表列了具有反硝化作用的13个细菌属,利用 H_2 作为供体的细菌、根瘤菌和固氮螺菌等亦被证明有反硝化能力。随之介绍了反硝化菌的遗传学、控制基因表达的条件、酶的合成以及控制酶活性的参数等的研究概况,还进一步分别阐述了各专性还原酶的组成特性,酶在细胞中的位置及其 K_m 值等,其

中以 NO_3^- 还原酶和 N_2O 还原酶研究得较多。

由于 NO 还原酶和 N_2O 还原酶具有高度易反应性,难以分离鉴定,对其研究甚少,但发现乙炔能抑制 N_2O 还原酶,使定量研究反硝化作用较为容易了。作者侧重评述了对土壤中反硝化作用的影响因素,在碳的给源方面讲了土壤有机质、有机肥、根际土壤、土壤深度及碳对产生 N_2O 的影响。氧是另一个限制因素,与之相联系的讨论了土壤参数中水分含量、张力、 E_h 等的影响。关于 NO_3^- 浓度和湿度的影响,列出了各自影响反硝化速率的方程式。在讨论pH的影响时,除了说明反硝化作用的适宜pH范围外,还分析了因pH下降导致养分贫乏和毒害的影响。 N_2O 还原酶对pH敏感, N_2O 是酸性土中的优势产物。

作者预期各种新技术的应用,将会获得有关反硝化作用的新信息,在细胞水平、亚细胞水平的研究及新的遗传技术、质粒转移技术和恒化器技术的应用,有助于进一步了解反硝化作用的生物化学和微生物学。菌株耐药标记技术,荧光抗体技术的应用,将会更好地了解反硝化菌与土壤环境间的关系。最后提出了反硝化作用中几个必须研究的领域。

第九章 除反硝化作用以外的氮素损失途径 D. W. 纳尔逊(Nelson)著

把化学氮肥施入农田中,当季作物所能摄取的氮素,通常 $<50\%$,从渗漏测定计中可以发现有15—20%的氮素。微生物的反硝化作用也引起一部分氮素损失。此外,根据土壤条件,有不同量的氮素以氨和亚硝态氮(NO_2^-)挥发。本章以较多的篇幅说明了氮素挥发过程中的机制。

在测定土壤氮的损失时,通常用气流在地表上搜集氨气,把氨吸收在酸液中加以滴定。但是有很多因子可以影响这个方法测定的结果。比较正确的方法是在微区试验中应用 ^{15}N 标记的尿素直接在田间测定氮的损失。

作者总结了前人的研究资料,指出当各种化学氮肥表施于酸性或中性土壤时, NH_3 的挥发损失一般 $\leq 15\%$,并阐明改变氨的浓度,土壤水分、温度、通气性以及氮肥类型和施用方法等对 NH_3 损失的影响,并介绍了1977年以前测定氮损失的田间方法。

在酸性土壤中亚硝酸(NO_2^-)的累积,可以导致N的损失。本章说明了亚硝酸和土壤金属离子、硝酸根、羟胺以及有机质之间的各种反应。最后提出减少氮气损失的田间管理技术,认为凡是含有氨水的液肥都不适宜于表施。尿素、磷酸二铵等碱性肥料必须混入表土中。在湿润的土壤中施肥,或在施肥后立即灌水,可以减少氨的损失。施用硝化抑制剂可以减少氨的损失。

第十章 生物固氮作用 U. D. 哈夫尔卡(Havelka)和M. G. 博伊尔(Boyle)等著

由于要破坏大气中的三键分子氮需要很大的能量,因此要利用分子氮来形成氨或硝酸根总是依赖于生物作用,主要是微生物,也包括蓝藻。本章列举了主要固氮微生物的类属,并说明了相应的固氮酶的机制。对自养体系和异养体系的藻类、地衣及其它低等植物和微生物的重氮营养加以图解。

在自养生物中,重点介绍了硫细菌的光合机制,说明硫细菌在进行光合作用时需要氧的给源,同时需要有机质做为供应碳素的供体。在异养生物中介绍了主要的嫌气性和好气性微生物,并且系统介绍了豆科植物和非豆科植物的共生固氮根瘤菌的科、族及其固氮

机制。在林地及荒地土壤中某些放线菌也具有固氮性能。

本章介绍了三种 N_2 的测定方法,即(1)根瘤数量及其红血球浓度的检定;(2)全氮分析及 ^{15}N 标记法;(3)乙炔还原法。用插图详细说明通过盆栽试验和田间试验的测定固氮的装置。说明了在种子中接种根瘤菌的技术。

作者认为目前主要的研究方向要放在非豆科植物固氮根瘤的研究,同时也要求能培育出性能更好一些的根瘤菌品种。当然要解决这些问题首先要澄清整个豆科植物的固氮的作用,这点我们已经在实验室和温室中的控制条件下取得了一定的成果。但是在农田土壤中,有许多对根瘤菌生长的干扰因素,如何把实验室和温室的成果应用于农田,还是有待于进一步解决的问题。

第十一章 土壤中氮的移动过程 D. B. 纳尔逊(Nelson), J. W. 比格(Biggar)和P. J. 威伦加(Wierenga)著

我们对农田土壤中硝态氮的作用,首先是着眼于氮肥的施用方法, NO_3^- 在地表径流及地下水中所引起的公害,以及 NO_2 对于大气层中臭氧的破坏。自从计算机应用以来,氮素在化学、物理及生物等方面的各项参数,可以应用定量分析方法和随机分析方法编成各种方程式和模型来说明。

作者分为定量分析和随机分析两节来说明氮素的转移过程。

定量分析方法包括土壤水分及其溶解物的运行。本章中的图11-1表明土壤水分的传导性和水分的含量成极好的正相关,但是由于土壤含水量的变化同时引起土体的收缩和膨胀,导致土壤空隙度的差异,从而影响到水分的传导率,因此,问题便不是这样简单了,而且植物在生长过程中根系对于土壤水分的吸收率更是一个变化多端的参数。应用 3H_2O 和尿素、氯化钙来进行溶解质运行研究,更好地说明了土壤空隙、溶解质浓度,以及土壤和水分的接触时间都影响于氮素输送的方程式及模式。

70年代的研究指出,定量分析方法虽然在小区和特定的土类上能说明一定的问题,但是并不能代表大面积的土壤区域。因此要用随机分析方法来概括某一区域内的土壤氮素输送过程。关于这方面作者引用了1979年美国P. F. 普兰特(Prat)所总结的资料,这些结果是在加利福尼亚州灌溉田上进行的,作物是玉米,施用不同等级的 ^{15}N 标记的硫酸铵和不同量的灌溉水,在12个小区上进行随机试验分析。土壤溶液是从地表下30—300厘米间分六级深度抽取出来。结果说明,即使在同一个区组内,各小区之间所获得的结果也不很一致。这些差异,估计是由于测定上的误差以及土体结构的不均一性。

最后作者强调土壤分类的重要性,因为只有在同一土类中,才使土壤氮素转移的研究结果可以有比较性。作者也认为早期菲希尔(Fisher)的经典统计方法还是经济实用的。

第十二章 淹水土壤中氮的转化作用 W. H. 小帕特里克(Patrick, Jr)著

作者是美国路易斯安那州湿地资源研究中心的土壤学家。在美国,水稻土只局限于路易斯安那州,呈微酸性至中性。作者虽然参加了1981年在南京召开的国际水稻土学术讨论会,并且也提出了“水稻土氧化还原体系”的论文,但在编写这一章时,并没有引用中国、日本及东南亚国家的大量有关水稻土的研究资料。下面是1980年以前作者所执笔的“淹水土壤中氮的转化作用”一章的摘要。

“地球表面上淹水的面积远远地超过了无水覆盖的土地面积”，但是这一章是讨论淹育性土壤氮素转变过程中的生物条件及化学条件。在美国只有路易斯安那州有水稻土，所以这章的内容对于我国读者来说，便感到比较简单了。

早在1934—1935年间，中国和日本的水稻土研究者认识到水稻土的表土是氧化层，心土是还原层。表土中的硝态氮除了有部分淋失以外，另一部分在嫌气性的心土中，通过反硝化作用还原为 N_2O 、 N_2 ，并挥发到空气中，本章用图解说明淹水土中氮素在氧化-还原条件下的动态。

本章指出淹水土壤中有利于固氮作用，当旱地灌水以后，有机态氮便逐渐增加。水田在排水以后，有机态氮便减少。水层中的蓝藻和某些红萍也起固氮作用。在没有根瘤的根系圈内，也有固氮微生物。在水稻田的施肥问题上，作者认为铵肥和尿素在表施时都易于损失，强调化学氮肥在水稻土中深施的效益。

第十三章 土壤氮素转化的研究方法的进展 J. M. 布雷姆纳(Bremner)和R. D. 豪克(Hauck)著

这一章总结了1965年以后测定土壤氮素转化的方法。但是不包括土壤中的有效态氮，因为本书第十七章将专门叙述土壤有效态氮的测定。

作者把土壤氮素归纳为四类，即全氮、无机氮、有机氮和大气氮。测定有机氮是先用6N热盐酸水解，然后再用层析。大气氮包括 N_2 、 N_2O 和NO，通常用气相色谱法测定。

虽然土壤有机态氮的组成到现在还没有完全了解，但是过去研究成果证明，表土中有20—40%的氮素是和氨基酸相结合，5—10%和氨基糖相结合。

在生物固氮方面，作者详细地介绍了测定氮素的示踪方法，对近10年来应用 ^{15}N 、 ^{18}N 、 ^{14}N 的测试技术及其发展过程做了系统的说明和比较。此外对测定土壤中固氮酶和脲酶的方法也做了介绍。

1973年以后，乙炔还原法较为普遍地应用于生物固氮的研究，但是这项间接的测定方法有很多干扰因素。应该先有直接测定的结果来做对照。

反硝化作用的研究一般是以 $NO_3^- \rightarrow N_2$ 的测定结果为指标。由于大气中含有大量的 N_2 ，使结果的差异极难突出，因此在进行这项试验时，通常用其它惰性气体如氦或氩来代替大气。

过去我们认为在农田土壤中一般有反硝化作用，通过 NH_4^+ 态氮产生 N_2O 。但是进一步研究证明土壤中的硝化细菌能把大部分的 NH_4^+ 氧化成为硝态氮。

第十四章 土壤氮收支 J. O. 莱格(Legg)和J. J. 迈辛格(Meisinger)著

早在19世纪后期，人们已经注意到不同生态系统中的氮素平衡问题。本章引用了英国洛桑(Rothamsted)试验站和美国莫罗(Morrow)小区两个长期试验的历史资料来说明不同轮作条件下的土壤氮素消长情况。直到1966—1967年间，同位素氮开始广泛地应用于土壤肥料试验上，氮素收支的问题便取得了明显的进展。

土壤氮素收支，可以把有机态氮作为主体来说明，因为大部分氮素是通过生物固氮合成有机质。同时有机质降解作用所产生的 NH_4^+ 和 NO_3^- 又是植物氮素营养的主要来源。本章附有土壤氮素循环的图解，详细地说明土壤氮素循环中的氮素转化和迁移的过程。

在农田土壤中,除了生物固氮以外,在氮素的收入方面,还有雨水、化肥和有机肥。本章介绍了美国主要农作物的单位面积产量和含氮量。农作物所摄取的氮素是氮素收支中的主要支出部分。此外侵蚀和降雨所造成的淋失也是支出项目。

文中分析了氮肥用量、田间管理方法及轮作制对于作物对土壤氮素回收率的影响。当然美国的耕作方法和我国的集约农业是有很大的区别的。

应用同位素氮来研究土壤氮素收支,首先从盆栽试验发展到田间微区。统计表明这些结果和大田试验有较大的出入。1970年以后,已应用土壤渗滤水测定计,在测定计的地面上,附加搜集气体的装置。这样使土壤氮素的挥发、淋洗和作物的摄取都有部分结果。但是就本文所介绍的大量资料看来,这项昂贵的装备,在填土、采样、试验设计、测定技术等方面,还存在着不少有待改进的地方。氮素平衡的研究方法还有待于进一步的改善。

第十五章 作物对氮的需要、利用和氮肥的施用 R. A. 奥尔森 (Olson) 和 L. T. 库尔茨 (Kurtz) 著

在上述土壤氮素平衡的一章中,我们说明了氮素转化和迁移的动态。但是氮肥不同于磷、钾、钙等肥料可以比较大量地施入,因此氮肥的施用技术更需要注意了。

本章附有叶绿素的分子构造图,也说明作物缺氮的症状。用插图表示美国中西部小麦、玉米和大豆三种作物在生长过程中的氮素累积情况,说明在谷粒灌浆以后,这三种作物地上部分的含氮量都有明显的下降。

这一章有四幅插图,分别解释叶绿体、谷氨酸、草酰乙酸、天冬氨酸在植物体内的代谢过程。也说明在正常情况下作物并不明显含有硝态氮。

作者指出小麦籽粒的蛋白质含量高于水稻、玉米及高粱的籽粒。同时,在同样的管理条件下,优种高粱的产量虽然不如玉米,但是从土壤中所摄取的氮素则高于玉米。这是由于高粱从茎部和叶部输送到谷粒的氮素低于玉米,仅为玉米的50%。

估计在最近一二十年以内,我们还不可能把大气中的氮素直接用来做非豆科作物的氮素营养,化学氮肥将仍然是作物的氮素给源。因此施用氮肥的方法不会有什么大的变化。当然高产品种的培育和耕作方法的改进,将进一步提高作物的产量,人们对化学氮肥的需求量,将还会有所提高。

这一章中小麦的单位面积产量为每公顷2360千克,玉米为9450千克,高粱为3375千克。是美国中西部湿草原土区域1980年的农业情况。

第十六章 氮的最大效益和最小污染的管理措施 D. R. 基尼 (Keeney) 著

这一章着重两点:(1)氮肥对环境污染的危害;(2)讨论在农业生态系统中,增进氮肥效益及减少氮肥对环境污染的措施。

由于人口的增长,估计氮肥的用量还要不断提高,以满足生活上的需要,因此氮素污染的防治,将依赖于有效地施用氮肥,改善轮作制度以增进生物固氮,并且要尽可能的利用有机肥。

在人为的污染问题上,说明了高铁血红蛋白及其衍生物危害于人类及畜类的极限。这些有害因素,往往是施用氮肥所引起的。自然条件引起的环境污染包括酸雨($\text{pH} < 5.7$)、亚硝酸态氮、平流层中的臭氧等。

这一章也报道了1960—1974年间世界某些地区的氮肥用量,并估计了1980—2000年间氮肥消费量。但是1984年联合国粮农组织所发表的文件,远为全面可靠。本章对于农业上所举的污染例子,局限于美国中西部和加利福尼亚州以及南非洲。

在附表中也列出影响于氮肥对于作物增产增益的一些因子,包括土壤可给性氮的含量、植物对于氮素的吸收率、根系深度和密度、反硝化作用、氮素的淋失以及杂草对于氮素的吸收等。

在防止农田土壤中所引起的氮素污染方面,提出了水土保持、改进轮作制度、增加地面覆盖率、改进水流方向等措施。植株诊断有助于及时施用氮肥。长效性氮肥及氮肥深施,应用脲酶及硝化抑制剂,控制氮肥用量都能提高氮肥的利用率。

作者认为培育具有共生固氮性能的禾谷类作物,增加豆科植物的固氮率,改进轮作制度,增加饲料作物的栽培,减少农田面积等都是可行的减少污染危害的措施。

第十七章 土壤氮有效性的评价 G.斯坦福(Stanford)著

最近几十年来,有关氮肥肥效的小区和大田试验在全世界普遍开展。在化学氮肥大量施用以后,在评价氮肥的效益时,便要进一步注意到氮肥的后效,在这个问题上人们注意到心土的渗透性。因为这个问题直接影响氮肥的持结性能。这一章就美国中西部土壤渗透性和某些植物的生长关系上,做了比较详细的说明。

有多种化学方法企图找到一个土壤有机态氮的可给性指标。过去所提出的方法包括不同强度的溶液,如沸水,4.5N NaOH、MgO等蒸馏法,6N HCl、NaOH-KMnO₄等溶提法。这些方法所取得的有效态氮的绝对值有所不同,但是彼此之间都有很好的相关性。

无论是生物方面或化学方面,对于在相似的生物土壤条件下所发生的土类,所测得的有效态氮数据和植物生长之间,一般都有良好的相关性。但是没有一个方法可以适用于不同的土类,例如酸性土及石灰性土,本章对于这一点似乎注意不够。

盆栽试验往往用以核对化学方法,早在1966年前后,许多农业化学家已经指出,由于土壤中含有一定量的氮素养分,足以供给幼苗早期的生长。因此短期的容量很小的盆栽试验结果,往往和大田试验不很符合,这点对于无氮处理的结果影响较大。但是大田试验中也只有在灌溉条件下,氮肥的效应才能不受干旱的影响。

本章也就美国中西部湿草原土的试验资料,提出土壤有效态氮供应量和玉米、甘薯及大麦的统计方程式。

第十八章 农药对土壤中氮素转化的影响 G.A.I.戈林(Goring)和G.A.拉斯科斯基(Laskowski)著

自然土壤的发育是在生物气候、地形、母质等自然条件以及在植物、微生物和动物的动态平衡下逐步地、缓慢地演变。在农业现代化以后,农田土壤由于耕作、施肥、灌溉、土壤改良等等的的影响,可以在很短时间内引起土壤性质的突变。这一章只介绍农药对于土壤生物群落,特别是氮素转化的影响。

这一章的主要内容是五个附表。表18-1说明了不同土壤条件下60多种杀菌剂、除草剂、杀虫剂、硝化抑制剂、熏蒸剂的施用方法。

表18-2介绍了近20种杀菌剂,120多种除草剂的施用方法。

表18-3介绍了20多种能抑制反硝化作用的农药及其施用方法。

表18-4介绍了7种杀菌剂和50多种除草剂的施用方法。

表18-5介绍了30多种农药的施用方法。

本章也介绍了某些农药(主要是氯化碳氢物,如DDT,爱尔德奈,七氯等)在土壤中的累积率和降解率,及其对于土壤氮素转化的影响(表18-6),为了防止公害及影响土壤氮素的转化作用,美国政府制定了限制施用农药的条例。但是所规定的标准及其检定方法,仍在进一步的研究中。

第十九章 土壤氮循环的模拟模型 K.K.坦吉(Tanji)著

这一章首先说明了计算机的应用和计算程序编制的发展过程。接着介绍1972—1981年间21个关于土壤氮素动态的模式,并且加以注解和评论。在这些模式中,1981年提出的第三代连续系统模式(CSMP)所考虑到的参数最为全面。它包括农田中易分解的含氮物质,如蛋白质、氨基糖以及易于被微生物分解和不易于被微生物分解的有机质残体。所得到的结果,经过温室及大田试验的验证,都证明是可靠的。

作者比较详细地用附图介绍了土壤中水流和氮素运行,有机质组成和氮素转化,水分和盐分、养分的运行,有机质矿化氮在土壤剖面中的运行过程。并且用偏微分方程,逐步地说明氮素在“水流→根系”间单向运行的动态流程。

关于应用计算机来研究氮素循环,把它作为农田土壤氮肥施用方法的指导,K.K.坦吉本人也有丰富的经验,因此他提出自己的看法。首先他认为土壤氮素-植物-水分之间的相互关系是受环境条件的影响,而生态因子是异常复杂而且多变。即使一个富有农业经验的农学家,也很难在植物生长过程中,预定一个确切无误的氮肥施用方法。目前根据物料平衡所拟制的计算机模式,只能是概括性的,而且对于编制程序的技术,也不易掌握。因此他对于这项工作,认为在现阶段还难以实际应用。

在另一方面,他认为我们对于氮素循环已具有比较全面的知识,因此这项研究工作,如果农学家和计算机专家能够密切配合,将能逐步解决实际问题。计算机方法,在应用于土壤氮素这个专题上,还是比较走在前面的。

第二十章 控制氮肥使用的经济意义 E.R.斯旺森(Swanson)著

适当的限制化学氮肥的施用量,首先是为了节省成本。这一点本书的第十五章已经做了具体的分析。另一个控制氮肥用量的目的在于防止渗滤水和大气污染(见本书十六章),在公害问题上,其经济意义是不能低估的。这一章是就作物产量、氮肥用量以及农产品和肥料价格间的相互关系提出氮肥的经济施用方法。

本章所讨论的作物局限于玉米、大豆、小麦、牧草(作为饲料用)等,实际上是美国中西部湿草原土区的农业布局。而这一地区的玉米和大豆的产量,分别占美国70%和60%。1980年前后美国氮肥(N)用量的变化幅度平均每公顷157千克至56千克之间。这一章也说明了这一个时间内美国市场上的肥料价格和粮食价格的具体波动情况,从经济收益的角度分析了作物对氮肥的利用率和氮肥施用量间的相互关系。作者并没有说明所施用氮肥的品种,按当时情况估计是尿素和液氨。

根据美国政府的规定,为了防止公害,从农田土壤排出的水分,其硝态氮含量每升不能超过10毫克。这一点在美国中西部地域并不成为问题,但是就美国全国来看,在控制氮肥用量的问题上,人们往往偏重于产量的经济收益,而忽略了公害所造成的损失。

作者认为如果不考虑到粮食出口及其有关的政策问题,那么把氮肥用量控制在每公顷110千克,即使不扩展目前的耕田面积,也可以满足美国国内的粮食需要。

第二十一章 农家土杂肥、粮食加工和城市废弃物在农田利用中的氮素再循环 J. H. 史密斯(Smith)和J. R. 彼得森(Peterson)著

这里农家土杂肥是指植物残余体和厩肥;食品工业废弃物包括蔬菜、甜菜、果类、肉类及牛奶加工过程中的废弃物,城市废弃物指污水和淤泥。厩肥和土壤有机质是植物氮素营养的主要给源,但是也有一部分氮素以 NH_4^+-N 、 NO_3^--N 和 N_2 挥发和淋失。本章引用了四个附表说明各种家畜的排泄物以及厩肥的分解过程,在大量施用厩肥的地区,往往导致 NO_3^--N 的公害。由于土壤的缓冲性能有限,因此厩肥和其它有机肥要分批少量施用。

估计美国全国的植物残体每年为20 800万吨,美国以外的其它各国共有水稻残体45 400万吨。除了强酸性土壤外,大部分农田中的有机肥有30%可以在一年以内即行分解,还有20%可以在五年以后分解。有50%淤泥中的 NH_4^+-N ,在5月份可以在3.6天内释放,在10月份可以在5天内释放(估计是指美国中西部的气候条件)。

在美国各种食品加工中的废弃物估计每年有5600万吨,其中含氮约为35 000吨。

厩肥在贮存、施用过程中往往损失大量氮素,其损失的幅度随着处理不同差别很大,约在10—84%之间。液体厩肥在露天条件下,通过灌溉施于地表,只有16%的氮能保持在土壤中。把新鲜的厩肥贮存在阴凉的地方,7天以后再施入,便可以有90%的厩肥氮保持在土壤中。

这一章主要是讲美国有机肥料的来源及其施用方法,和中国的情况有很大的差别。

第二十二章 氮转化作用的能量学 R. F. 哈里斯(Harris)著

本章是美国威斯康星大学农学及生命科学学院所提供的研究结果。过去人们认为在恒温恒压条件下,固体(s)、液体(l)、气体(g)和水溶液(aq)四个因素决定了热力学的动态平衡。但是氮素的转化过程却并不是这样简单,它受生物能量学原理的影响。全文用92个方程式说明了电子在“供体”和“受体”传递过程中的能量变化,以及转化酶对于这些变化所起的作用。在同化作用方面,土壤氮素转化的能力学可以分为三方面来说,(1)通过腺甘三磷酸(ATP)的功率形成二氮(N_2);(2)由硝态氮的还原作用形成二氮, $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$;(3) NH_4^+ 固定为有机质。土壤中的氮素主要是有机氮的聚合物,但是氮素首先要还原成为铵态氮才能进入有机体的细胞组织。本章说明了氮素还原过程中的电子传递途径。

异化作用是土壤氮素转化的另一方面,有机体细胞可以通过氨基酸、腺嘌呤等分裂成为尿素。这些好气性降解是放热的。在嫌气性条件下甲胺分解为甲烷。在本章的附表中,说明氮素在电子供体和受体的传递过程中的方程式及其效率。

土壤中氮素转化的规律受环境条件的支配,因此是有地带性的。从生态学的角度来看,生物体为争取它们的生存,总要创造条件来满足自身永生的需要,他们先生物催化反

应来达到这个目的。

本章指出控制二氮(N_2)固定作用的几个主要因子,并说明电子传递在二氮固定作用中所需要的能量和热量。

第二十三章 氮迁移和物质平衡 R.D.豪克(Hauck)和K.K.坦吉(Tanji)著

虽然地球上的腐殖质及生物体内所含的氮量只占地球含氮量的0.02%,而生物圈和大气层间相互交换的氮量也只占1.98%(地球的基岩占含量的98%),但正是这2%的少量氮素,在生物圈内起着活跃的作用。本章分别说明了海洋、湖泊、沼泽地、草地、林地和荒漠的氮素迁移、转化及其平衡情况。

作者引用了1978年编制的一幅生物圈中的氮素循环图,把土壤氮素作为主体(包括有机态活性氮及无机态活性氮),以动植物的利用、排水、挥发等列在氮素支出的一方,把生物固氮、有机肥、枯枝落叶、土壤吸附等列在氮素收入的一方,图中共有31个步骤,比较全面地说明生物圈内氮素循环的流程。美国科学院提出了1972及1978年的美国不同地区的氮素收支数据,并介绍了美国不同地区的氮素循环模式。

美国科学院也就全球范围内的生物氮素循环做了估计,植物所吸收的氮素,平均为每公顷8.2千克,地表残落物为9.8千克,有机质矿化氮为13.9千克,土壤固定氮为4.1千克。他们也就全球生物、非生物(指工业、燃料等)的氮素和河流、海洋、大气之间的氮素循环做了量的估计。

本章引用了1973—1978年间美国科学工作者在该国四个主要地区,研究了氮素物质平衡的模式,根据这些模式说明了有部分地点由于施用了过量的化学氮肥、厩肥、污水,引起了地下水污染的公害,同时也影响到农作物、牧草、果树的生长。

目前氮素迁移及其物质平衡的研究正以微观(生物细胞组成内的固氮作用)和宏观(太空与大地间的氮素循环)两方面开展。由于这项工作在微观上比较容易掌握,并且可以取得具体的结果,因此从事微观研究的人便多些。在太空范围内,氮素迁移及其物质平衡的变化便很大,并且也不一致,这样便要根据大量测定数据来做综合性分析,加之用于太空研究的仪器设备很昂贵,因此这方面的研究资料便显得比较少了。尽管如此,我们还是有必要加强太空方面的研究。

《农业土壤中的氮》一书由F.J.史蒂文森主编,美国农学会、作物学会、土壤学会于1982年出版发行。这本书比较全面地总结了过去20年以来的研究成果,所引用的资料到1980年为止。本书是理论性很强的科学著作。

1982年5月由美国田纳西肥料发展中心以及美国农学会、作物学会和土壤学会联合召开了一次有关作物的氮素营养的学术讨论会。会后就提出的论文编印成《作物生产中的氮》一书,由R.D.豪克(Hauck)主编,于1984年出版。其内容偏重于生产实践。该书编者在前言中认为《农业土壤中的氮》和《作物生产中的氮》两本书是姐妹篇。目前《作物生产中的氮》一书还没有听说有人在翻译,而其中的有些章节,还是值得我国广大农业工作者参考的。

总 序

《农业土壤中的氮》一书系1965年出版的美国农学会第10卷专著《土壤氮》经修订后的新版本,它代替了已经绝版而无法供应的《土壤氮》一书。这本新作综合了过去17年在此领域中的重要进展,并被列为自1949年开始编纂的农学丛书的第22卷专著。农学丛书的前6卷由美国纽约科学出版社出版。1957年后,美国农学会接过了这些专著的出版任务,直到1977年出版第18卷专著为止一直是这些专著的独家出版者。此后,美国农学会邀请了美国作物学会和美国土壤学会参与农学丛书的编撰任务并成为共同出版者。这些专著代表了有关学会及其领导人和遍布于100个国家的11 700名会员的巨大而持续的努力,由此得以在世界范围内向人类提供这方面已有的最新信息。

我谨代表有关学会的全体会员和我本人,对辛勤工作的以F. J. 史蒂文森博士为首的编辑委员会全体成员,对为本书撰写文章的许多作者,对在编辑本书内容时孜孜不倦地劳动的常务编辑R. C. Dinauer 博士,并对为完成这一有价值的事业而作出直接或间接贡献的所有其他人员,表示诚挚的感谢。

美国农学会,美国作物学会,美国土壤学会执行副主席,

美国农学会出版物总编辑 M. Stelly

1981年12月

序

土壤中氮的许多反应和各种作物的氮营养都还未能充分了解。来自有机质的土壤氮对作物生长和活机体所需要的蛋白质的形成是必不可少的。大部分人所需要的蛋白质的主要来源是谷物。人类还靠饲养动物获取植物蛋白质并提供肉类和乳品。土壤氮的这些基本特性促使人们对获得食物和纤维产品的有关机制和过程发生了兴趣。

谷物中蛋白质含量的增加将能改善人类的营养状况。农民们通过向土壤加入各种形态的氮或用豆科植物进行分子氮的生物固定以提高许多土壤和各种作物的氮营养供应。植物大约只能消耗所加入土壤的不同形态氮的50%，因此，非常有必要增加其利用水平。土壤中的氮循环遵循一系列的复杂反应，因此，这就需要对这些反应进行持续的研究，以便更有效地利用氮素养分，并确保其对植物的充足供应。在排除作物生产力的障碍的整个过程中，植物的氮素供应将起到主要的作用。

我们对主编F.J. 史蒂文森博士及其编辑委员会成员J.M. Bremner, R.D. Hauck, D.R. Keeney等博士在出版本书中所起的重要作用表示敬佩和谢意。我们对作者们的合作和努力，以及评审原稿的学会成员的帮助表示感谢。我们对致力于本书编辑出版的全体工作人员的辛劳深深致谢，由于他们的努力，才得以使这一优秀专著问世，以飧读者。

美国土壤学会主席 S.R. Olsen, 美国作物学会主席 K.J. Frey,

美国农学会主席 B.A. Stewart

1981年11月