

氮肥与中国粮食安全

主 编 吴大付 朱统泉 张建立
谢耀丽 张风影 王 锐



西安地图出版社



氮肥与中国粮食安全

主 编 吴大付 朱统泉 张建立

谢耀丽 张风影 王 锐



西安地图出版社

图书在版编目(CIP)数据

氮肥与中国粮食安全 / 吴大付等主编. —西安:西安地图出版社, 2012. 9

ISBN 978-7-80748-860-6

I. ①氮… II. ①吴… III. ①氮肥—农药施用—作用—粮食作物—中国 IV. ①F326.11 ②S143.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 219227 号

著作人及著作方式:吴大付 等主编

责任编辑:王兴华

书 名:氮肥与中国粮食安全

出版发行:西安地图出版社

地址邮编:西安市友谊东路 334 号 710054

印 刷:中国电子科技集团公司第二十二研究所印刷厂

规格开本:787mm×1092mm 1/16

印 张:13

字 数:304 千字

印 数:0001—1000

版 次:2012 年 10 月第 1 版 2012 年 10 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-80748-860-6

定 价:45.00 元

西安地图出版社通过 ISO9001 国际质量管理体系认证

版权所有 侵权必究

内容提要

本书全面介绍了氮肥在保障我国粮食安全方面的重要作用。主要从氮肥对我国粮食单产提高和总产增加、土壤肥力的培养和改善等正效应做了阐述;还从随着氮肥大量甚至超量使用,加上氮磷钾三元素的比例不合理,带来了硝酸盐污染和水体富营养化等负面影响方面做了分析,指出了解决这些问题的生物修复途径。然而,为确保我国 95% 的粮食自给,在将来一定的时期内,化肥特别是氮肥的刚性需求依然存在,还要毫不放松地抓好粮食生产;要积极探索以不牺牲农业和粮食、生态和环境为代价的工业化、城镇化与农业现代化相协调的科学发展道路,构建我国可持续的氮肥管理体系。

本书供农学、环境科学、土壤学和植物营养学专业人员参考。

氮肥与中国粮食安全

主 编	吴大付	朱统泉	张建立	谢耀丽	张风影	王 锐
副主编	赵立尚	金 艳	李栋业	范春燕	孔子明	
编 委	吴大付	朱统泉	张建立	谢耀丽	张风影	王 锐
	赵立尚	金 艳	李栋业	范春燕	孔子明	易强英
	王子君	郝仰坤	张 莉	任秀娟	张喜焕	

前 言

民以食为天。中国文明史在一定程度上来说就是中国人民与饥饿抗争的历史。早在新中国成立前夕,西方就有人预言中国政府解决不了人民的吃饭问题,然而历史早已宣判此类预言彻底破灭了。在 20 世纪 90 年代中期,西方学者又抛出了“中国粮食威胁论”,随着我国粮食的九连增,这个论点也不攻自破。我国以世界 7% 的耕地,生产出了世界 25% 左右的粮食,创造了世界奇迹。未来的中国,面临耕地少、人口多、粮食需求压力大的现实,一个拥有 13 多亿人口的大国,粮食安全备受关注。因此,粮食生产是我国一个永恒的主题。

目前世界上增加粮食产量的途径主要有扩大、改良或恢复所有的耕地面积;改革种植制度,用高产的食用作物品种代替非食用的或低产的作物品种;用改良种子、灌溉、肥料以及控制病虫害等手段,提高耕地的单位面积产量。尽管我国生产了世界近 1/4 的粮食,但是消耗了世界 30% 左右的化肥,特别是氮肥。在粮食生产过程中,大量甚至超量使用氮肥的现象比比皆是。氮肥的合理施用带来了单产的提高,增加了粮食总产量,在一定程度上对地力培养有作用。

但是氮肥的不合理使用,带来水体富营养化和硝酸盐的污染、土壤污染等负面效应。为了消除这些负面影响,不得不对水体进行修复和治理。生物修复技术是近年来发展起来的一种绿色化学技术,主要包括氧化塘、土地处理系统、生态浮床等。针对土壤重金属污染主要选用重金属超富集植物,以及植物萃取、植物稳定、根际修复、植物转化、根际过滤、植物挥发等技术。生物修复技术因其更经济、更高效、更环保

的绿色生物技术,具有广泛的应用前景。

早在 20 世纪 90 年代,美国曾有 100 多位科学家联名公布了一份令人信服的调查报告,得出的结论是:现在世界上绝大部分农产品是农化产品换来的,化肥是农业生产系统最主要的、必不可少的物质投入。增施化肥可以免去开垦新荒、减少污染以及确保农业的可持续发展。农药为消灭农畜病虫害立下汗马功劳。人类每年从与病虫害做斗争中夺回占总产量 1/3 的农产品。防治病虫害的同时也抑制了它们传播给人类的各种细菌和真菌病害。如果不是各类化学农药的广泛应用,全世界的农作物将大幅度减产。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,而是由于饥寒所造成。

为了保障我国 95% 的粮食自给,在将来一定的时期内,化肥特别是氮肥的刚性需求依然存在。因此,积极探索清洁生产的有机农业之路,实现作物高产与资源高效,充分发挥现有品种产量潜力,不断提高作物产量,减少对氮肥的过分依赖,努力走出一条以不牺牲农业和粮食、生态和环境为代价的工业化、城镇化与农业现代化相协调的科学发展道路。

本书的出版得到了西安地图出版社和国家小麦产业技术体系驻马店综合试验站的经费支持。在此表示感谢!

由于粮食安全涉及面广,虽然收集了不少资料,下了一翻功夫,但是受作者水平和实践范围所限,书中如存不当之处,敬请读者批评指正。

编者

2012 年 7 月

目 录

第一章 氮与氮肥	1
第一节 氮	1
一、氮的概述	1
二、氮在生态系统中的作用	4
第二节 氮肥	6
一、氮肥在农业生产中的重要作用	6
二、农业实用氮肥的基础	7
三、我国氮肥发展历程	14
第二章 中国粮食安全	17
第一节 粮食安全的内涵及演变	17
第二节 中国粮食安全存在的问题	18
一、中国古代的粮食安全观	18
二、现代中国粮食安全问题	20
第三章 氮肥对粮食安全的贡献	38
第一节 氮肥对粮食总产量的贡献	38
一、我国粮食构成的变化	38
二、氮肥对我国粮食总产的贡献	40
第二节 氮肥对粮食质量的贡献	52
一、农产品质量的内涵	52
二、氮对粮食作物品质的影响	53
三、氮肥对小麦、玉米和双季稻子粒蛋白质含量的影响	54
第四章 氮肥对中国土壤肥力的贡献	58
第一节 土壤肥力及其演变	58
一、土壤肥力的定义及因素	58
二、土壤肥力的发展	60
三、土壤肥力的作用	61
四、土壤肥力影响因子	62
第二节 我国土壤肥力及其存在的问题	64
一、我国土壤肥力现状	64

第三节 不同尺度下氮肥对我国土壤肥力的贡献	82
一、我国长期肥料定位试验对土壤肥力的影响	82
二、不同尺度下施氮肥对土壤肥力的影响	84
第五章 氮肥施用中存在的主要问题	95
第一节 化肥在农业生产中的使用是必然的	95
一、化肥的使用促进了农业的发展	95
二、我国古代农业发展给予的启示	97
三、资源间的替代作用	99
四、我国现代农业对化肥的呼唤	101
第二节 氮肥施用中存在的主要问题	101
一、氮肥资源分配的不平衡	101
二、化肥结构中存在氮、磷、钾比例不协调问题	110
三、化肥利用率低	111
第三节 氮肥施用对环境带来的影响	111
一、氮素源的供应能力	111
二、现代农业生产对氮素循环的影响	112
三、氮肥施用带来的土壤酸化问题	114
四、秸秆等农业废弃物带来的污染问题	116
五、畜禽粪便带来的污染	117
六、化肥施用带来的土壤污染问题	118
七、氮肥施用对生物多样性的影响	119
第六章 氮肥施用对水体富营养化的影响	123
第一节 水体富营养化	123
一、水体富营养化的概念	123
二、水体富营养化的机理	123
三、富营养化的指标	124
四、营养物质的来源	124
五、水体富营养化的评价	125
六、水体富营养化的危害	125
第二节 世界硝酸盐污染和水体富营养化现状	125
一、硝酸盐污染的危害	125
二、世界硝酸盐污染和水体富营养化现状	128
第三节 我国硝酸盐污染和水体富营养化现状	132
一、我国饮水和食品中硝酸盐含量标准	132
二、我国水体富营养化现状	132
三、我国硝酸盐污染	136

第七章 农业环境污染的生物修复	147
第一节 生物修复.....	147
一、生物修复的概念	147
二、生物修复研究进展	148
第二节 重金属污染的植物修复.....	151
第三节 水体富营养化的生物修复.....	155
一、氧化塘	155
二、土地处理系统	157
三、生物浮床	160
 第八章 我国粮食安全中的氮肥可持续管理	 166
第一节 提高氮肥利用效率的途径.....	166
一、继续发挥有机肥的特殊作用	166
二、大力推行秸秆还田技术	168
三、调整化肥中氮磷钾比例	169
四、推广合理施肥技术体系	169
五、改进化肥分配和供应	169
第二节 持续农业生态系统的构建与管理.....	170
一、持续农业生态系统的构建	170
二、持续农业生态系统的管理	173

第一章 氮与氮肥

第一节 氮

一、氮的概述

(一)氮的性质

氮,相对原子量为 14。元素名来源于希腊文,原意是“硝石”。英文 Nitrogen 则来自希腊文 Nitron(硝石)和 genen(构成…的物质)组合的 Nitrongenen(构成硝石的物质)。氮是一种气体元素,通常的单质形态是氮气,它无色无味无臭,化学性质不活泼,不易发生化学反应,属化学惰性的气体,能使火焰立刻熄灭。1772 年在苏格兰爱丁堡,被 D. Rutherford 发现。同时期被卡尔·威廉·席勒及亨利·卡文迪什分别发现,席勒将之命名为“无用的气体”。后由法国科学家拉瓦锡确定是一种元素,1774 年法国 A. L. 拉瓦锡将这种气体命名为 azote。

一切生命都需要氮元素,但是,大部分的氮原子都紧密结合成对,以氮气形态存在着,大气总体积的 78%是氮。大多数的有机体不能打破氮气分子中两个原子间的强有力的三键。对于动植物的生长来说,它们需要固定形式的活性氮元素,这种氮元素与碳、氢或氧结合形成氮化物,最常见的是有机氮化合物(如氨基酸)、铵或硝酸盐类。动物通过摄入植物和食物链上的其他动物来获得活性氮,而植物则从土壤或水中获得活性氮。氮分布在全地球,在地壳中的含量为 0.0046%,自然界绝大部分的氮是以单质分子氮气的形式存在于大气中。氮的最重要的矿物是硝酸盐。全球范围内,氮的分布见表 1-1。

表 1-1 全球范围内氮的分布

来源	数量(t)	占总氮量(%)
大气	3.9×10^{15}	99.3840
海洋	2.4×10^{13}	0.6116
土壤	1.5×10^{11}	0.0038
植物	1.5×10^{10}	0.00038
土壤中微生物	6×10^9	0.00015
动物	2×10^8	0.000005
人类	1×10^7	0.00000025

※资料来源:John. L. Havlin, James D. Beaton, Samuel L. Tisdele, 等. 土壤肥力与肥料——养分管理导论(第 7 版). 北京:高等教育出版社,2006.

(二)氮在土壤中的分布及主要形态

土壤中的氮素绝大部分以有机态存在,其含量和分布与土壤有机质关系密切。土壤有机质含量的大小取决于其年形成量和分解量。因此,影响每年进入土壤有机物质数量和有机物质分解速率的因素,主要有水热因子、土壤地质等。它们都会影响到土壤有机质,对氮素含量产生显著的影响(朱兆良等,1992)。

1. 自然土壤表土中的氮含量

我国各地自然植被下的土壤表层土中有机质和氮含量不同(表 1—2)。从表中可以看出,在温带,从东到西随着降水量的逐渐减少和蒸发量的逐渐增加,植物生物量逐渐减少,分解速率加大,有机质和氮素含量按照黑土——黑钙土——栗钙土——漠钙土的顺序逐渐下降。从北到南,随着温度的增加,分解速率的增加远远超过植物生物量的增加,土壤有机质和氮素依照黑土——暗棕壤和白浆土——棕壤和褐土的顺序明显下降。

表 1—2 自然植被下我国主要土壤类型表层的有机质和氮素含量*

土类	标本数	有机质(g/kg)	全氮(g/kg)	C/N
黑土	92	107±42	5.03±2.00	12.4±1.2
黑钙土	26	62.7±27.8	3.13±1.40	11.7±1.6
栗钙土	32	24.2±9.1	1.42±0.51	9.9±1.5
棕钙土、灰钙土	35	12.3±6.4	0.74±0.37	9.7±2.2
漠土	16	5.7±3.8	0.44±0.27	7.7±1.8
白浆土	7	73.9±45.3	3.41±1.93	12.5±2.4
暗棕壤	21	92.0±42.9	3.74±1.89	14.6±2.7
褐土、棕壤	11	35.4±20.7	1.69±0.91	12.2±2.6
黄棕壤	13	26.7±17.1	1.47±0.99	10.6±2.3
红壤				
非侵蚀	42	43.9±17.8	1.73±0.76	15.8±4.2
侵蚀	20	15.6±6.6	0.71±0.30	12.2±4.0
砖红壤、赤红壤				
非侵蚀	29	40.4±14.1	1.67±0.67	14.7±3.8
侵蚀	25	17.3±0.39	0.80±0.27	13.4±4.4
黄壤	45	66.9±34.3	2.58±1.22	16.2±4.7
高山、亚高山草甸土	21	82.9±37.6	4.06±1.91	12.2±3.3
高山、亚高山草原土	15	24.9±13.7	1.66±0.98	8.8±1.3
磷质石灰土	15	94.4±58.6	6.39±4.20	8.8±1.2

* 资料来源:李庆逵编.中国红壤.北京:科学出版社,1983.

李庆逵编.中国土壤.北京:科学出版社,1988.

2. 耕地土壤耕层中的氮含量

耕地土壤中的有机质和氮素含量除受上述各自然因素的影响外,更强烈地受到人为活动因素的影响。自然因素的影响表现在各地区耕地土壤耕层中有机质和氮素含量的变化趋势大体上与自然植被下的土壤相似;东北黑土最高,黄土高原和黄淮海平原最低,长江中下游、江南、云贵高原和四川、华南、蒙新和青藏等地区,介于两者之间。

在耕垦的影响下,土壤有机质和氮素的积累和分解与自然土壤不同,随着农产品的

收获取走了大部分或一部分生物积累的有机物质和氮素,通过施肥耕地又得到补充。耕地土壤有机质和氮素含量是在这种条件下的一个平衡值,随着农作制的变化和发展,其含量处于变化之中。表 1—3 列出了各地区耕地有机质和氮素含量的变化。同时,土壤水分和质地是影响有机质和氮素含量的两个重要因素。水分过多导致嫌气过程,有机物质分解速率下降。质地粘重,不但通气性差,微生物和酶的活动受到抑制,且有机物质受到粘粒的保护而可给性降低。因此,排水不良或质地粘重的土壤,其有机质和氮素含量较排水良好或质地轻、粗的土壤为多。

表 1—3 不同地区耕层土壤的有机质和氮素含量 *

地区	耕地类别	标本数	有机质(g/kg)	全氮(g/kg)	C/N
东北黑土区	旱地	251	56.7±25.5	2.63±1.04	12.4±1.9
	水田	21	49.6±15.0	2.58±0.77	11.2±0.8
蒙新	旱地	125	18.3±9.1	1.10±0.53	9.7±1.6
青藏高原	旱地	57	27.7±16.7	1.44±0.64	11.0±3.7
黄土高原	旱地	216	10.4±4.2	0.70±0.28	8.8±1.6
黄淮海	旱地	320	9.7±4.8	0.63±0.29	9.0±1.8
	水田	14	15.1±6.3	0.93±0.29	9.4±0.8
长江中下游	旱地	49	15.8±6.7	0.93±0.33	10.0±3.0
	茶园	20	14.5±5.4	0.81±0.25	10.4±1.6
	水田	524	22.7±9.2	1.34±0.47	9.8±1.5
江南	旱地	118	15.7±6.1	0.90±0.29	10.2±2.2
	茶园、桔园	15	18.3±3.4	0.97±0.24	11.3±2.2
	水田	321	24.6±10.1	1.43±0.59	10.0±1.6
云贵四川	旱地	71	19.3±12.8	1.09±0.57	9.7±2.2
	水田	124	27.3±24.1	1.49±1.12	10.5±2.6
华南、滇南	旱地	31	26.8±12.0	1.39±0.77	11.9±3.3
	胶园	77	24.3±8.9	1.13±0.43	12.7±2.2
	水田	181	28.5±12.4	1.50±0.67	11.1±2.0

* 资料来源:熊毅,李庆远编.中国土壤.北京:科学出版社,1988.

朱兆良,文启孝.中国土壤氮素.南京:江苏科学技术出版社,1992.

(三)氮在植物体内的含量与分布

一般植物含氮量约占作物体干重的 0.3%~5%,而含量的多寡与作物种类、器官、发育阶段有关。

豆科作物含有丰富的蛋白质,含氮量高。按干重计算,大豆植株中含氮 2.49%,紫云英植株含氮 2.25%。禾本科作物一般含氮量较低,大多在 1%左右。作物种类不同含氮量也不相同,如玉米高于小麦,而小麦又高于水稻。即使是相同的作物也常常因品种不同,其含氮量也有明显的差异(表 1—4)。

表 1-4 若干农作物体内的含氮量

作物	器官	含氮量(%)
水稻	子粒	1.3~1.8
	茎秆	0.5~0.9
小麦	子粒	2.0~2.5
	茎秆	0.4~0.6
棉花	种子	2.8~3.5
	纤维	0.28~0.33
	茎秆	1.2~1.8
油菜	种子	4.0~4.5
	茎秆	0.8~1.2
豆类	子粒	4.0~6.5
	茎秆	0.8~1.4

植物体内氮素主要存在于蛋白质和叶绿素中。因此,幼嫩器官和种子中含氮量较高,而茎秆含量较低,尤其是老熟的茎秆含氮量更低。如小麦子粒含氮 2.0%~2.5%,而茎秆中仅含 0.5%左右;豆科作物子粒含氮 4.5%~5%,而茎秆中仅含 1%~1.4%;玉米也有相同的趋势,叶片含氮量 2.0%,子粒 1.5%,茎秆 0.7%,包叶最少,只有 0.4%。

同一作物不同生育时期,含氮量也不尽相同。如水稻分蘖期含氮量明显高于苗期,通常分蘖盛期达最大值,其后随着生育阶段推移而逐渐下降。在各生育期中,作物体内氮素的分布在不断变化。在营养阶段,氮素大部分集中在茎叶等幼嫩器官中;当转入生殖时期以后,茎叶中的氮素逐渐向子粒、果实、块根或块茎等储藏器官中转移;成熟时大约有 70%的氮素已经转入到种子、果实、块根或块茎等器官中。

此外,作物体内氮素含量与分布明显受施氮水平和施氮时期的影响。随氮肥用量的增加,作物各器官中氮的含量均有明显提高。通常是营养器官中的含量变化大,生殖器官则变化小;生长后期施用氮肥,则表现为生殖器官中含氮量明显上升。

二、氮在生态系统中的作用

(一)氮是地球上生命体的组成元素

氮是维持地球上全部生命的基本成分,它存在于许多有机分子中,它是氨基酸的一个基本成分,而氨基酸是所有蛋白质,包括酶、核酸(DNA 和 RNA)的基本元素。没有氮,生命和生态系统将无法以目前形态存在,因此,氮是一切生命结构的原料。

地球上的生物可分为动物、植物和原生生物三大类。氮素是动物、植物和原生生物体的重要构成元素,是维持高等动植物生命活动的必需元素。1939 年 Arnon 和 Stout 提出了确定必需元素的三个标准:一是这种化学元素对所有高等植物的生长发育是不可缺少的,缺少这种元素植物就不能完成其生命周期。二是缺乏这种元素后,植物会表现出特有的症状,而且其他任何一种化学元素均不能替代其作用,只有补充该元素后症状才能减轻或消失。三是这种元素是直接参与植物的新陈代谢,对植物起直接的营养作用,而不是改善环境的间接作用(陆景陵, 2003)。生命必需元素有许多种,动物、植物的生命必需元素不完全相同,但是氮素是动植物不可替代的生命必需元素。

(二)氮对植物的作用

氮素是植物营养中不可缺少的元素。它是许多重要有机物质的组成部分,在植物体中氮是蛋白质、核酸、叶绿素的重要组成部分。此外,植物体内一些维生素如 B_1 、 B_2 、 B_6 也含有氮,它们是辅酶的成分,参与植物的代谢。氮能够刺激植物根系的生长和发育,增加蛋白质含量,并促进其他基本植物营养元素的吸收(IFA 活性氮工作组和国际肥料工业协会,2007)。氮促进作物生长速度,加速作物地上部分和地下部分的发育,并影响作物产品的品质,如谷粒、块根、块茎和果实的大小、质量和颜色。同时,氮在很大程度上促进氨基酸、蛋白质和脂类化合物的合成,提高作物产品的营养价值。此外,氮还可以提高与蛋白质含量有关的加工品质,如谷物的烘烤品质(国际氮肥工业中心、国际钾肥研究所、氮磷钾工作组、国际磷酸盐制造协会,1988)。

氮供应过多或过少,都不利于植物的生长。如苗期氮素供应不足,因蛋白质合成的速率和含量都会受到抑制,导致细胞小而细胞壁厚,特别是细胞分裂减少,植株矮小、瘦弱,叶片薄而小。禾本科作物表现为分蘖少,茎秆细长;双子叶作物则表现为分枝少。后期氮素供应不足时,禾本科作物表现为穗短小,穗粒数少,子粒不饱满,并容易出现早衰现象导致产量下降。许多作物缺氮时,其显著特征是植株下部叶片褪绿黄化,然后逐渐向上部叶片扩展。作物缺氮不仅影响作物产量,还会导致品质下降。供氮不足致使作物产品中蛋白质含量下降,维生素和必需氨基酸的含量也相应地减少。

但是,氮素供应过多,因光合作用的产物——碳水化合物大量用于合成蛋白质、叶绿素及其他含氮化合物,而使细胞壁所需的纤维素和果胶质减少,以至细胞大而薄,组织柔软,茎叶旺长,易受机械损伤和病菌侵入,造成作物减产和作物对氮素的奢侈吸收(鲁如坤等,1996)。若整个剩余期间氮素供应过多,常常使作物贪青晚熟。

(三)氮在生态系统中的循环

虽然大气中氮含量非常丰富,但是氮不能被植物直接利用。必须通过固氮作用将游离氮与氧结合成为硝酸盐或亚硝酸盐,或与氢结合成氨,才能被大部分生物所利用,并参与蛋白质合成。因此,氮只有被固定后,才能进入生态系统,参与循环(李博,2000)。

1. 固氮作用

以无机氮形式(氨、亚硝酸盐和硝酸盐)和有机氮形式(尿素、蛋白质和核酸等)存在的氮库对生物最为重要。大气中的氮只有被固定为无机氮化合物(主要是硝酸盐和氨)以后,才能被生物所利用。固氮的方法有物理化学法和生物法两种,以生物固氮法最为重要。据估计,靠电化学和光化学固氮,每年平均可固氮 7.6×10^6 t,而生物固氮平均每年的固氮量为 54×10^6 t,人类每年合成氮肥约 30×10^6 t。

2. 氨化作用

当无机氮由蛋白质和核酸合成而形成有机化合物以后,这些含氮的有机化合物通过生物的新陈代谢又会使氮以代谢产物(尿素和尿酸)的形式重返氮的循环圈。土壤和水中的很多异养细菌、放线菌和真菌都能利用这种富含氮的有机化合物。这些简单的含氮有机化合物在上述生物的代谢活动中可转变为无机化合物(氨)并把它释放出来。这个过程就称为氨化作用(ammonification)或矿化作用(mineralization)。

3. 硝化作用

虽然有些自养细菌和海洋中的很多异养细菌可以利用氨或铵盐来合成它们自己的原生

质,但一般说来,这些含氮化合物难以被直接利用,而必须使它们在硝化作用(nitrification)中转化为硝酸盐。这个过程在酸性条件下分为两步,第一步是把氨或铵盐转化为亚硝酸盐;第二步是把亚硝酸盐转变为硝酸盐。

4. 反硝化作用

反硝化作用是指把硝酸盐等较复杂的含氮化合物转化为 N_2 、 NO 和 N_2O 的过程。由于反硝化作用是在无氧或缺氧条件下进行的,所以这一过程通常是在透气较差的土壤中进行的。依据同样的道理,在氧气含量很丰富的湖泊和海洋表层,反硝化作用便很难发生。但是,在水生生态系统缺氧时,分子氮就可以通过反硝化过程而产生。分子氮如果未在固氮活动中被重新利用则会返回到大气圈库。

5. 氮的全球平衡

据估计,全球每年的固氮量为 92 百万吨(其中生物固氮 54 百万吨,工业固氮 30 百万吨,光化学固氮 7.6 百万吨和火山活动固氮 0.2 百万吨)。但是,借助于反硝化作用,全球的产氮量只有 83 百万吨(其中陆地 43 百万吨,海洋 40 百万吨和沉积层 0.2 百万吨)。两个过程的差额为 9t,这种不平衡主要是由工业固氮量的日益增长所引起的,所固定的这些氮是造成水生生态系统污染的主要因素。人工固氮对于养活世界上不断增加的人口作了重大贡献,同时,也对全球氮循环带来了很多不良的后果,其中,有些是威胁人类在地球上持续生存的生态问题。大量有活性的含氮化合物进入土壤和各种水体以后对于环境产生的影响,其范围可能从局域卫生到全球变化,深至地下水,高达同温层。流入池塘、湖泊、河流、海湾的化肥造成水体富营养化,藻类和蓝细菌种群大爆发,其尸体分解过程中大量掠夺其他生物所必须的氧,造成鱼类、贝类大规模死亡。海洋和海湾的富营养化称为赤潮,某些赤潮藻类还形成毒素,引起如记忆丧失、肾脏和肝脏的疾病。造成水体富营养化和赤潮的原因,除过多的氮以外,还有磷,二者经常是共同起作用的。一般来说,氮污染使土壤和水体的生物多样性下降。

人类从合成氮肥中获得巨大好处,但人类没有能预见其对于环境的不良后果;即使到现在,人类对于这些不良后果关注的仍然不够,远不如对大气中 CO_2 含量上升的关注。

因此,在自然生态系统中,一方面通过各种固氮作用使氮素进入物质循环,另一方面又通过反硝化作用、淋溶沉积等作用使氮素不断重返大气,从而使氮的循环处于一种平衡状态。

第二节 氮肥

一、氮肥在农业生产中的重要作用

土壤是农作物生长的基础,土壤供给作物水分和各种养分,植物又从空气中得到合成碳水化合物所需要的 CO_2 。农作物的生长发育需要从土壤中获得多种营养,然而不是所有土壤都能满足作物对营养物质的需求,要使作物高产,必须补充营养物质到土壤中去。一般是把作物生长最需要的营养成分加工成肥料,根据作物的需求和土壤供给养分的能力,把肥料施用到土壤中,满足作物生长对营养成分的吸收,作物高产需要最大量的营养成分是氮、磷、钾三种元素,其中氮肥的增产效果最大。

理想情况下,农业具有自身的封闭氮循环系统,在没有外源氮输入的情况下可以年复一年地进行生产。但在农业生态系统中,氮素是农业增产的要素,氮素随着目标产品收获而离开农业生态系统,氮素在这一循环中因移出而受到扰乱。只有通过用含氮和其他养分肥料,平衡投

入产出、保持或提高土壤肥力,增加农业生产率以及随之而来的防止自然生态系统和野生环境转化为耕地等(IFA 活性氮工作组和国际肥料工业协会,2007)。

氮在农业生态系统中的损失主要表现在:氨气挥发、硝酸盐淋失和硝酸盐反硝化作用后的氨气挥发,同时也有少量的氮氧化物和氧化亚氮损失。首先,一部分氮排放到大气和水体中。就全球范围内,农业排放的氨气占总排量的 3/4 左右。其中,动物废弃物占氨总排量的 50% 以上,化学肥料占 22%,作物直接排放占 9%,人类废弃物占 7%,其余 10% 来自于农业废弃物、森林和草原燃烧(Galloway 等,2004)。土壤中的氮,正常情况下 10% 的氮肥以氮气形式损失,还有更少比例的氮肥通过反硝化作用转化为氧化亚氮损失掉。反硝化作用依土壤、作物和气候条件的差异而有极大的差别。全球氮循环的反硝化作用的主要区域实际上并不在农田,而是在湿地、淡水体系,特别是江河口、海岸和大洋等。其次,为满足人口快速增长的需要和饮食文化的变化,农业生产持续增加(Bruinsma,2003)。随着人均收入的增加,动物蛋白消费量日益增加,肉类产量的大幅度增加需要粮食来支撑。此外,生物能源需求的增加,进一步刺激农业生产的增加,都在不同程度上加剧氮素在农业生态系统中的迁移,也就不可能以持续的方式增加粮食、饲料和生物能源的生产。因此,为了农业生态系统的持续发展,就必须增加氮肥的投入。

二、农业实用氮肥的基础

(一)工业合成氨开启了氮肥使用之门

自从 1809 年在南美州的智利发现了硝酸钠矿床之后,智利硝石很快就成为当时世界上无机矿物含氮肥料的主要来源。据估计,在 1850~1900 年间,全世界无机氮肥有 70% 来自智利硝石,但矿产资源是有限的,这就迫使人们去思考,如何使大气中游离态氮,用人工的方法转变成可为植物吸收的化合态氮,即人工固氮。这一直是化学家探索的有关国计民生的重大课题,特别是如何利用空气中氮和水中的氢直接合成氨一直是 19 世纪化学家研究的焦点之一。但由于长期未获成功,以至有人得出“由氮和氢直接合成氨是不可能的”的错误结论。

1. 氨的历史背景——氨气的发现

1727 年英国的牧师化学家 S. 哈尔斯(HaLes,1677~1761),用氯化铵与石灰的混合物在水封闭的曲颈瓶中加热,只见水被吸入瓶中而不见气体放出。1774 年化学家普里斯德里重做此实验,采用汞代替水来密闭曲颈瓶,制得了碱空气(氨)。他还研究了氨的性质,发现氨易溶于水,可以燃烧,还发现在该气体中通以电火花时,其容积增加很多,而且分解为两种气体:一种是可燃的氢气;另一种是不能助燃的氮气,从而证实了氨是氮和氢的化合物。其后 H. 戴维(Davy,1778~1829)等化学家继续研究,进一步证实了 2 体积的氨通过火花放电之后,分解为 1 体积的氮气和 3 体积的氢气。

2. 合成氨的发现

19 世纪以前,农业生产所需氮肥,主要是有机物的副产物和动植物的废物,如粪便、种子饼、腐鱼、屠宰废料、腐烂动植物等。随着农业的发展和军工生产的需要,迫切要求建立规模巨大的探索性的研究。他们设想,能不能把空气中大量的氮气固定下来,而开始设计以氮和氢为原料的合成氨流程。1900 年法国化学家勒夏特利(HenriLeChateLier,1850~1936)最先研究了氢气和氮气在高压下直接合成氨的反应。很可惜,由于他所用的氢气和氮气的混合物中混进了空气,在实验过程中发生了爆炸。在没有查明发生事故的原因的情况下,就放弃了这项实验。德国化学家 W·能斯特(Nernst,1864~1941),对于研究具有重大工艺价值的气体反应