



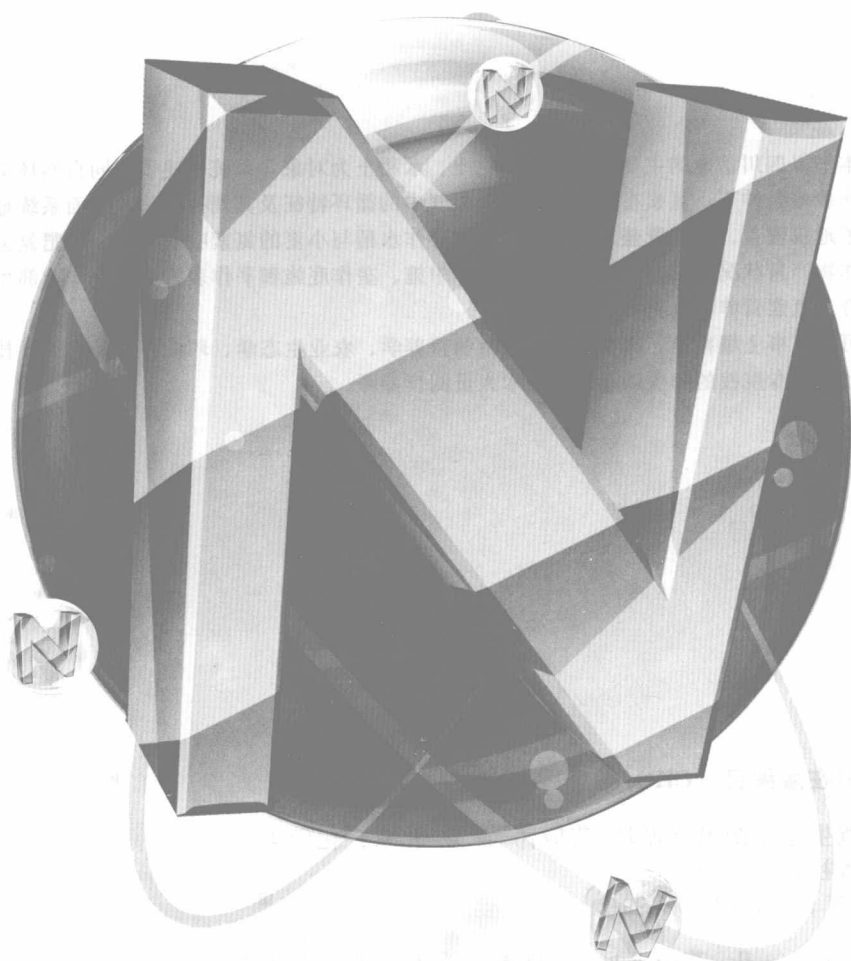
土壤生态系统氮素循环

TURANG SHENGTAI XITONG DANSU XUNHUAN

艾应伟 著



化学工业出版社



S153.6
A1

土壤生态系统氮素循环

TURANG SHENGTAI XITONG DANSU XUNHUAN

艾应伟 著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书以四川盆地的主要土壤类型紫色土、水稻土为对象,系统阐述了不同自然环境及耕作栽培条件下,氮素在土壤—植物—大气中的循环特征及其调控措施。全面系统地研究了地膜覆盖、秸秆覆盖、氮肥施用量对旱作水稻与小麦的氮素吸收利用、化肥氮去向、作物产量状况的影响,垄作表施、垄作中施、垄作底施和平作表施对小麦地上部生长发育、氮素营养、氮肥利用率的影响。

可供从事土壤科学、作物栽培学、植物营养学、农业生态学、环境科学研究的科技工作者和大专院校的师生以及农业技术人员阅读参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

土壤生态系统氮素循环/艾应伟著. —北京:化学工业出版社, 2008. 4

ISBN 978-7-122-02499-2

I. 土… II. 艾… III. 土壤氮素-循环 IV. S153.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 045141 号

责任编辑:刘 军

装帧设计:张 辉

责任校对:宋 玮

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市延风装订厂

720mm×1000mm 1/16 印张12¼ 字数206千字 2008年4月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:48.00 元

版权所有 违者必究

前言

随着全球水资源危机的日益严重,农业节水栽培一直是人们关注的问题。20 世纪 80 年代以来,水稻地表覆盖旱作作为一种全新的节水措施引起了国内外的广泛重视。稻麦轮作是我国南方地区一种主要的耕作制度,水分和氮(N)素养分循环是限制这一体系生产力和可持续性的关键。

合理的施肥位置不仅可维持根圈养分平衡,减少养分的流失,而且还可避免对种子和根的损伤,使难以移动的养分容易被作物吸收利用。化肥深施是提高肥效、实现合理施肥的一条有效措施。垄作因能加厚松土层,增大日光的照射面积,提高地温,有利于排水,改善土壤的通气性能,促进作物生长等优点,使其在农业生产中得到广泛应用。垄作栽培条件下,不同土层施肥对土壤生态系统 N 素循环以及作物的生物性状有着直接的影响。

氮(N)是作物生长发育所必需的大量元素之一。作物自身的 N 素需求状况、吸 N 能力以及土壤的 N 素供应状况决定着作物的 N 素营养水平,而作物的 N 素营养又与 N 肥施用及 N 素管理这一人为活动直接相关。农田土壤生态系统 N 素循环是在作物和环境条件下,土壤中 N 素的转化和移动各过程的综合表现,它不仅与作物产量和品质关系密切,而且还对生态环境产生着直接的影响。

四川盆地位于中国东部季风区域的中亚热带地区。紫色土和水稻土占四川盆地耕地面积的 70% 以上。因此,以四川盆地的主要土壤类型紫色土、水稻土为对象,应用¹⁵N 示踪技术,开展覆盖旱作稻麦体系、丘陵坡耕地垄作栽培体系的土壤生态系统 N 素循环研究,在理论上和生产上都具有重要意义。

本书的出版得到了国家农业科技成果转化资金项目(2007GB23600478)、国家自然科学基金项目(40571064、

40771087)、四川省公益性研究项目(2008FG0006)的资助。本书部分研究工作是作者在中国农业大学攻读博士学位期间和在中国科学院成都山地研究所工作期间完成的,倾注了我的导师毛达如教授、张福锁教授、张先婉研究员的心血。与此同时,研究工作还得到了刘学军、吕世华、曾祥忠、王甲辰、潘家荣、陈实、徐佩、李伟、范志金等同志的大力帮助。在此,向三位尊敬的导师及给予本书顺利出版提供资助与帮助的以上单位及个人表示衷心的感谢。

从一个基层的农业技术人员到一个从事科学研究的工作者,我感到很幸运。这些年来,我对所从事的科研工作一直专心耕耘,得到了许多老师、同事、朋友的关心与帮助。由于水平有限,书中的疏漏和不当之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

艾应伟

2008年2月

目 录

第 1 章 N 素循环与作物生态适应性	1
1.1 N 素的功效与 N 素循环	3
1.1.1 N 素的功效	3
1.1.2 N 素循环	4
1.2 农作物对 N 肥的吸收利用状况	5
1.2.1 作物 N 肥利用率的测定方法	6
1.2.2 作物对不同形态 N 素的吸收利用	7
1.2.3 作物 N 肥利用率的影响因素	8
1.3 旱作水稻的生态适应性	10
1.3.1 旱作水稻的发展与作用	10
1.3.2 旱作水稻的营养生理	13
1.4 施肥位置与 N 肥肥效	19
第 2 章 紫色土 N 素营养元素特征与施肥	25
2.1 紫色土 N 素的基本状况	27
2.2 紫色土 N 素的有效性和影响因素	30
2.3 紫色土 N 素的作物营养与施肥	35
2.3.1 紫色土营养元素与作物产量的关系	35
2.3.2 紫色土 N 素的去向特点	37
2.3.3 紫色土的合理施肥措施	40
第 3 章 旱作与覆盖方式对水稻吸收利用 N 及化肥 N 去向的影响 ..	45
3.1 材料与方法	47
3.1.1 试验区概况与土壤性质	47
3.1.2 试验设计与方法	47
3.1.3 小区和 ¹⁵ N 微区的收获、采样与分析	48
3.2 结果与分析	49

3.2.1 不同覆盖方式对旱作水稻化肥 N 去向的影响	49
3.2.2 旱作与覆盖方式对水稻吸 N 特性的影响	50
3.2.3 旱作与覆盖方式对水稻产量的影响	52
3.3 讨论	53

第 4 章 水稻不同旱作与覆盖方式对后季小麦 N 肥肥效及 化肥 N 去向的影响

4.1 材料与方法	57
4.1.1 试验区概况与土壤性质	57
4.1.2 试验设计与方法	57
4.1.3 小区和 ¹⁵ N 微区的收获、采样与分析	59
4.2 结果与分析	59
4.2.1 水稻不同旱作与覆盖方式对后季小麦化肥 N 去向的影响 ...	59
4.2.2 水稻不同旱作与覆盖方式对后季小麦吸 N 特性的影响	60
4.2.3 水稻不同旱作与覆盖方式对后季小麦产量的影响	63
4.3 讨论	64

第 5 章 水稻不同旱作与覆盖方式对稻麦轮作周期土壤中无机 N 时空变异的影响

5.1 材料与方法	69
5.1.1 试验区概况与土壤性质	69
5.1.2 试验设计与方法	69
5.1.3 采样与分析方法	70
5.2 结果与分析	71
5.2.1 土壤中 NH ₄ -N 含量的时空变异	71
5.2.2 土壤中 NO ₃ -N 含量的时空变异	78
5.3 讨论	84

第 6 章 施 N 量对第二个轮作周期中旱作覆盖水稻 N 素营养 的影响

6.1 材料与方法	89
-----------------	----

6.1.1	材料与试验地自然概况	89
6.1.2	田间小区试验	90
6.1.3	测定项目及方法	90
6.2	结果与分析	91
6.2.1	水稻吸收 N 的状况	91
6.2.2	土壤无机 N 状况	94
6.2.3	水稻产量	96
6.3	讨论	97

第 7 章 水稻连续两年旱作覆盖栽培及施 N 量对后季小麦 N 素营养的影响 99

7.1	材料与方法	101
7.1.1	材料与试验地自然概况	101
7.1.2	田间小区试验	102
7.1.3	测定项目及方法	102
7.2	结果与分析	103
7.2.1	小麦吸收 N 的状况	103
7.2.2	土壤无机 N 状况	106
7.2.3	小麦产量	108
7.3	讨论	109

第 8 章 施 N 量对第三个轮作周期中旱作覆膜水稻 N 素营养的影响 111

8.1	材料与方法	113
8.1.1	材料与试验地自然概况	113
8.1.2	田间小区试验	114
8.1.3	测定项目及方法	114
8.2	结果与分析	115
8.2.1	水稻吸收 N 的状况	115
8.2.2	土壤无机 N 状况	118
8.2.3	水稻产量	122
8.3	讨论	123

第 9 章 水稻连续三年旱作覆膜栽培及施 N 量对后季小麦 N 素营养的影响 125

9.1 材料与方法	127
9.1.1 材料与试验地自然概况	127
9.1.2 田间小区试验	128
9.1.3 测定项目及方法	128
9.2 结果与分析	129
9.2.1 小麦吸收 N 的状况	129
9.2.2 土壤无机 N 状况	132
9.2.3 小麦产量	134
9.3 讨论	135

第 10 章 旱作水稻生长期间不同覆盖方式对农田 N 素平衡的影响 137

10.1 材料与方法	139
10.2 结果与讨论	140
10.2.1 不同处理对农田 N 素输入的影响	140
10.2.2 不同处理对农田 N 素输出的影响	141
10.2.3 不同处理对农田 N 素平衡的影响	142

第 11 章 水稻旱作覆盖栽培对稻麦轮作田中杂草生长及 N 素吸收的影响 145

11.1 材料与方法	147
11.1.1 材料	147
11.1.2 田间试验	147
11.2 结果与分析	148
11.2.1 水稻旱作覆盖栽培对稻麦轮作田中杂草生长特性的影响	148
11.2.2 水稻旱作覆盖栽培对稻麦轮作田中杂草吸 N 特性的影响	150

11.3 讨论	151
第 12 章 垄作不同土层施肥对小麦生物性状及吸收利用 N 的影响研究	153
12.1 材料与方法	155
12.1.1 材料	155
12.1.2 田间小区试验	156
12.1.3 ^{15}N 微区筒试验	156
12.2 结果与讨论	157
12.2.1 几种施肥方式对小麦生物性状的影响	157
12.2.2 几种施肥方式对小麦 N 素营养的影响	161
12.2.3 几种施肥方式对小麦 N 肥肥效的影响	163
第 13 章 小麦生长期不同土层施肥的农田 N 素平衡评估	167
13.1 材料与方法	169
13.2 结果与讨论	170
13.2.1 不同土层施肥对小麦产量和吸 N 量的影响	170
13.2.2 不同土层施肥对 N 素平衡的影响	170
参考文献	173

● 第1章

N素循环与作物生态适应性

1.1 N素的功效与N素循环

1.2 农作物对N肥的吸收利用状况

1.3 旱作水稻的生态适应性

1.4 施肥位置与N肥肥效

1.1 N素的功效与N素循环

1.1.1 N素的功效

N素是地球上全部生命的基本成分，它存在于许多有机分子中。而且，它是氨基酸的一个基本组分，氨基酸是所有蛋白质，包括酶、核酸的基本元素。N能刺激根系生长和作物发育，增加蛋白质含量，并促进其它基本植物营养元素的吸收。除可通过共生生物从大气中固N的豆科植物外，其它作物对施N反应迅速。缺N的主要症状是老叶叶色变黄、植株矮小，严重缺N会导致作物产量下降，蛋白质含量降低。在作物生长过程中，作物对N的需要量较大，土壤供N不足是引起农产品产量下降和品质降低的主要限制因子。

N是肥料消费中最重要的营养元素，N肥的合理施用可提高土壤肥力，保证农业可持续发展、食品安全和营养安全。相反，一旦N肥管理不当，N肥的施用就将引发一系列与环境 and 人类健康相关的负面影响，导致土壤肥力下降、作物产量和收获物中蛋白质含量下降、土壤有机质下降、土壤侵蚀以及在极端情况下的土壤荒漠化等。过剩的硝酸盐可能转移至地下水和饮用水源，影响到人们的身体健康。地表水的富营养化与含N养分施用的日益增加有关，富营养化引发生态退化和资源消耗。在大气中，含N氧化物和颗粒物引发哮喘、心脏疾病等严重的人类健康问题。大气中 N_2O 浓度的日益增加加剧了全球变暖趋势。

N从土壤转移到植物体，再从植物到土壤，这一过程的中间体主要是由动物或人类来充当的。由于含N化合物在土壤上要经历矿化、固定、硝化和反硝化等一系列转化，并在土壤和空气之间产生挥发、反硝化、生物固N、大气沉降，以及土壤圈和水圈之间发生淋溶、径流、灌溉等交换过程。在自然生态系统中，这一循环或多或少是封闭的，N的输入和N的损失是平衡的。然而，绝大多数自然生态系统中N迁移的小规模性限制了生物产量。在农业体系中，N素的这一循环被收获产品中大量N的移出所扰乱。N肥的施用 in 平衡投入产出、保持或提高土壤肥力、增加农业生产率等方面是必需的。

1.1.2 N 素循环

N 素循环指含 N 化合物通过大气圈、水圈、生物圈和土壤圈循环的过程。在这一循环过程的各环节上, 活性 N 化合物以正面和负面方式影响着人类健康和环境。陆地、湖泊和海洋生态系统可通过生物固氮作用, 并从降水、干的散落物、移动的沉积物、排出或进入的水体, 以及由动物和人类活动所造成的来源中得到氮。N 损失所包括的机制有反硝化作用、淋溶、径流和流出物、氨挥发作用以及收获作物。一些迁移过程致使 N 从一个生态系统中损失而又被另一个生态系统所获得。N 转移的一部分与人类活动有关, 一部分与大自然有关。例如, 氮气通过生物体系, 包括自然体系和农业或种植体系固定, 其中自然体系是主要贡献者。每年进入全球 N 循环的活性 N 最终去向, 要么以反硝化作用进入非活性的大气 N 圈, 要么以土壤有机 N、有机物质或活的生物体形式累积进入有机 N 圈; 较小的一部分转化成 N_2O , 它是一种促进全球变暖的化合物。

N 素通过农业生产进入广阔的自然环境, 或通过燃料燃烧进入大气。一旦以活性形式存在, N 可以参加一系列化学反应, 生成各种形态物质, 对大气、陆地和水体等系统以及人类健康产生各种影响。比如尿素这种 N 肥施用到田地后, 其中的一部分以氨气形式挥发到大气中。进入大气中的氨气可能对人类健康产生负面影响。在沉降到森林土壤后, 氨可能引起土壤酸化。在土壤中, 铵态 N (NH_4-N) 硝化成硝态 N (NO_3-N), 如果没有被作物所吸收, 可能将淋失至地下水, 以及随后进入地表水系统, 这可能促成富营养化问题。最后, 硝酸根可能还原成氮气。这是一个理论范例, 说明了活性 N 在环境中发生变化的各种途径, 以及在其转化至无活性氮气之前的各种影响。

N 素循环由大气层的气态 N 循环和土壤 N 的内循环构成。整个 N 循环的通道多与大气直接相联, 空气中含有近 79% 的氮气 (N_2), 然而, 几乎所有的气态 N 对大多数高等植物无效。只有某些微生物以及与高等植物共生的固 N 微生物才能利用大气中的氮气, 使它转化成生物圈中的有效 N。土壤 N 的内循环是在土壤植物系统中, N 在动植物体、微生物体、土壤有机质、土壤矿物质各分室中的转化和迁移, 包括有机 N 的矿化和无机 N 的生物固持作用、黏土对铵的固定和释放作用、硝化作用和反硝化作用、腐殖质形成和腐殖质稳定化作用等。土圈中循环的 N 每年约有 5% 可与大气圈和水圈进行相互交换, 剩余的 95% 只能在土壤—微生物—高等植物系统中进行相互作用, 而且不会从这些系统中迁移出去。因此, 氮在土圈的各成分之间的迁

移速率也就主要地决定了地球N的循环速率。

植物和微生物吸收铵盐和硝酸盐，将无机N同化为有机N，动物食用植物，将植物有机N同化为动物有机N。动物代谢过程中向体外排泄氨、尿酸、尿素以及其它各种有机N化合物。另外，动物分泌物和动、植物残体被微生物分解也释放氨。氨或铵盐在有氧条件下能被氧化成硝酸盐。硝酸盐溶于水，易被植物吸收利用，但也易从土壤中淋失，流至河湖及海洋。硝酸盐在微氧或无氧条件下，能被多种微生物还原成亚硝酸盐并进一步还原成分子 N_2 ，返回大气。这种反硝化作用一是造成土壤耕作层的N肥损失，二是部分产物能造成环境污染。

植物所利用的N源，主要来自土壤。目前，存在土壤中的有机N估计为3000亿吨，逐年分解为无机N供植物利用。陆地上生物活体中贮存的有机N总量为110亿~140亿吨，这部分N的数量虽不算大，但它处于迅速再循环中，可反复供植物利用。土壤中的有机含N化合物主要来源于动物、植物和微生物躯体的腐烂分解，然而这些含N化合物大多数是不溶性的，通常不能直接为植物所利用，植物只可以吸收其中的氨基酸、酰胺和尿素等水溶性的有机N化合物。植物的N源主要是无机N化合物，而无机N化合物中又以铵盐和硝酸盐为主，它们约占土壤含N量的1%~2%。植物从土壤中吸收铵盐后，可直接利用它去合成氨基酸。如果吸收硝酸盐，则必须经过代谢还原才能被利用，因为蛋白质的N呈高度还原态，而硝酸盐的N则呈高度氧化态。

生态系统内部和各生态系统之间，风和水是N经过长距离迁移的主要原动力。人类和动物通过放牧和收获作物也能把来自植物的N进行长距离的输送。就微观世界而论，扩散作用和质流是N在一个细胞内、一个有机体内或一个微域内移动的主要过程。农业活动是处于大自然之中，无法像工厂的产品那样得到。农业N循环与全球N循环是密不可分的，在农业系统和更广阔的环境之间将永远存在着N的交换。减少活性N化合物的损失以及提高农作物N素利用率，是农业可持续发展的必然选择之一。

1.2 农作物对N肥的吸收利用状况

N肥在农业生产的发展过程中起了重要的作用。随着高产、优质、高效农业的发展，农业生产上采取的集约经营，低投入高产出的种植制度，很重

要的一条是需要依赖于增加化肥的施用，特别是 N 肥的施用。当然 N 肥的施用与管理必须有利于环境的保护及农业生产的可持续发展，N 肥的合理施用及 N 素的科学管理，不仅可充分发挥 N 肥在提高作物产量、改善作物品质方面的作用，而且还可有效减少 N 素损失对环境的污染与危害（朱兆良，2002；张福锁等，2002；边秀举等，1994）。

农田系统中化肥中 N 的去向，是在作物和环境条件下，土壤中 N 素的转化和移动各过程的综合表现。化肥中 N 的去向大体可分为三个方面：作物吸收、土壤残留（无机 N、有机 N 和土壤固定态铵）、损失（气态损失、淋溶损失）（Kowalenko, 1989；朱兆良，2002；边秀举，2002）。化肥中 N 去向的三个方向之间密切关联，其多少视作物种类和生育时期、N 肥品种、施肥技术、土壤性质以及气候条件等而异。对农田生态系统中化肥 N 去向的定量估算具有相当大的不确定性，但大的趋势应是确定无疑的，即：化肥 N 的当季表观利用率低、损失率偏高，有时有明显的净残留（朱兆良，2002）。作物的 N 肥利用率不仅与作物的 N 素营养状况直接相关，而且是评价农田系统中化肥 N 去向的重要指标。有关土壤作物系统中 N 肥利用率的研究，一直受到国内外学者的广泛关注。

1.2.1 作物 N 肥利用率的测定方法

化肥 N 的作物吸收情况一般用 N 肥利用率来表示。N 肥利用率是指作物吸收的肥料 N 占所施肥料总 N 量的百分率。通常的研究中，它仅局限于 N 肥施入后的当季利用效率，而不包括其对后季的叠加效益（刘巽浩等，1990）。对 N 肥利用率的测定方法有两种：同位素示踪法及非同位素示踪差值法。一般认为，非同位素示踪差值法能反映施肥后作物吸收土壤 N 素和肥料 N 素的实际效果，而同位素示踪法可以在无干扰因素情况下精确地计算出 N 肥被作物吸收利用的程度。由于 N 肥施入土壤后所产生的激发效应，非同位素示踪差值法的测定值往往大于同位素示踪法（Harnsen, 1988；孙传范等，2001）。一般认为，在研究肥料 N 施入土壤后的行为时，以同位素示踪法较可靠，而非同位素示踪差值法可作为衡量施用 N 肥后植株体内营养水平提高的指标及确定适宜的施 N 量。

用同位素示踪法测定 N 肥利用率（Nitrogen Recovery Efficiency, NRE）时，其计算涉及作物吸收总 N 量（NF，kg/hm²）、植株和肥料的¹⁵N 原子百分超和化肥 N 施用量（NR，kg/hm²），可用式（1-1）表示。

$$NRE = \frac{\text{植株}^{15}\text{N 原子百分超}}{\text{肥料}^{15}\text{N 原子百分超}} \times \frac{NF}{NR} \times 100 \quad (1-1)$$

用非同位素示踪差值法测定 N 肥利用率的计算则涉及对照小区作物吸收总 N 量 (NC , kg/hm^2)、施肥小区作物吸收总 N 量 (NF , kg/hm^2) 和化肥 N 施用量 (NR , kg/hm^2), 可用式 (1-2) 表示。

$$NRE = \frac{NF - NC}{NR} \times 100 \quad (1-2)$$

1.2.2 作物对不同形态 N 素的吸收利用

吸收到作物体内的 N 素, 不管是 $\text{NO}_3\text{-N}$ 还是 $\text{NH}_4\text{-N}$ 都会很快地转化为氨基酸, 进而形成蛋白质, 成为有机 N。一般认为, 外界 N 源供应情况直接影响着作物体内全 N 及 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量, 随着 N 肥用量增大, 作物体全 N 含量增加, $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量也增加。在蔬菜生产上, 增加 N 肥用量虽能提高蔬菜产量及全 N 含量, 但由于作物对 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的还原受多种因素的制约, 作物吸收的大量 $\text{NO}_3\text{-N}$ 不能充分还原同化, 结果出现严重的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 累积 (张春兰等, 1990; Guillard, 1988; 王朝辉等, 1996)。通常认为控制 N 肥用量是减少 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量的一项重要措施, 然而减少 N 肥用量又往往影响蔬菜的产量和品质, 只有针对不同的蔬菜种类, 采取合理的施用有机肥以及 N、P、K 等化肥, 才有可能维持蔬菜高产并降低其 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量。

作物可以利用的无机 N 形态主要是 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 $\text{NH}_4\text{-N}$ 。作物对不同形态 N 素的吸收利用状况受作物种类、生育期、植株不同部位、植株同化酶活力、植株氨基酸合成能力等作物自身的内部因子以及 pH 值、温度、N 源浓度等外部因子的影响 (但野等, 1976; 太田等, 1987; 王宪泽等, 1990)。但野等 (1976) 采用水培试验, 对 21 种作物分别供应 $\text{NO}_3\text{-N}$ 或 $\text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_4\text{-N}$ (1:1) 或 $\text{NH}_4\text{-N}$, pH 值调至 5.0~6.0。结果表明, 随 $\text{NO}_3\text{-N}$ 所占比例的增加, 生长越好的作物是红小豆、芥菜、黄瓜、甜菜; 用 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$ 两种处理都能良好生长的作物是白菜、萝卜、卷心菜、大豆、马铃薯、番茄、辣椒、洋葱; 用 $\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$ 处理生长良好的作物是荞麦、燕麦、玉米、小麦; 用 $\text{NH}_4\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$ 两种处理都能良好生长的作物是水稻、大麦; 随 N 源中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 所占比例的增加生长越好的作物是莴笋; 在三种 N 源中都能良好生长的作物是胡萝卜和葱。

Reinink 等 (1987, 1988) 研究发现, 莴笋不同品种的确态 N 含量与水分含量成正相关, 与有机 N 含量成负相关。张春兰等 (1990) 研究表明, 菠菜的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量随全 N 含量增加而增加, 随全磷含量增加而降低。Guillard 等 (1988) 研究发现, 大白菜的全 N 含量、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量随 N 肥施用量