



农村科学实验丛书

水稻氮肥深施

广东省农科院土肥所



广东科技出版社

农业学大寨



农村科学实验丛书

水稻氮肥深施

广东省农科院土肥所

广东科技出版社

内 容 简 介

水稻氮肥深施，是广大贫下中农和农业科学工作者在三大革命实践中所取得的一项施肥技术革新成果。它能提高化肥利用率，提高水稻产量。本书着重阐明氮肥施入稻田的变化与水稻需氮的规律，稻田氮肥深施的作用与效果，氮肥深施的方法与技术；对于当前各地推广使用的几种主要稻田氮肥深施机具，也作了介绍。

本书可供农村四级农科网成员、广大贫下中农、知识青年和基层干部，特别是从事农业工作的同志参考。

水 稻 氮 肥 深 施

广东省农科院土肥所

广东科技出版社出版

广东省新华书店发行

广东新华印刷厂印刷

787×1092毫米32开本2.925印张 37,000字

1978年12月第1版 1978年12月第1次印刷

印数 1—11,000册

书号 16182·6 定价 0.20元

《农村科学实验丛书》出版说明

当前，我国农村群众性科学实验运动正在蓬勃发展，四级农业科学实验网正在普遍建立。为了适应革命大好形势的需要，切实贯彻执行伟大领袖和导师毛主席提出的“备战、备荒、为人民”的战略思想和“以农业为基础”的方针，认真贯彻执行华主席和党中央提出的抓纲治国的战略决策和“全党动员，大办农业，为普及大寨县而奋斗”的伟大号召，使出版工作更好地为无产阶级政治服务，为工农兵服务，为社会主义服务，有关出版社联合出版一套《农村科学实验丛书》。

这套丛书以马克思主义、列宁主义、毛泽东思想为指导，以阶级斗争为纲，坚持党的基本路线，努力宣传“农业学大寨”的革命精神和实现农业现代化的重要意义，突出反映无产阶级文化大革命，特别是揭批“四人帮”以来农业战线上科学实验的丰硕成果。包括以自然辩证法指导农业科学实验活动，农、林、牧、副、渔等方面进行科学实验的基础知识、应用技术和方法，以及有关群众科学实验的重大成果和经验总结。可供农村广大贫下中农、知识青年和基层干部，特别是农村科学实验小组成员参考。

前 言

我国栽培水稻的历史悠久，广大劳动人民在长期的生产实践中积累了丰富的施肥经验。很早以前，我国农民就用骨粉、猪粪、人粪尿混合适量泥浆在水稻移植时“蘸秧根”，或在水稻移植初期于稻丛行间塞施象鸡蛋大小的肥团。这种施肥方法，群众称为“喂肥”、“塞茆”。“蘸秧根”这种集中使用肥料的施肥方法，在明代宋应星的《天工开物》一书中已有记载。解放后，在共产党、毛主席的领导下，人民群众发挥了无限的创造力，在农业生产和科学实验中不断改革施肥技术，使这种施肥技术有了新的发展。

在农业学大寨、普及大寨县的运动中，广大贫下中农和科技人员根据我国历史上良好的施肥技术经验，结合当前生产的主要氮肥品种的特点，对氮肥深施技术进行了大面积的试验、示范和推广，取得了可喜的成果。据广东、湖南、福建、江西、广西、上海等省、市、自治区的不完全统计，水稻氮肥深施的面积已达到5000万亩以上，对促进我国的农业生产，提高粮食产量，起了应有的作用。

为了迅速推广水稻氮肥深施这一新的施肥技术，我们学习和总结我省农民群众和科技人员的经验，收集国内外的有关资料，编写成这本小册子，供农村四级农科网成员、基层干部、知识青年和从事农业工作的同志们参考。

在编写过程中，得到有关单位的大力支持，我们深表感谢。由于我们的水平有限，错漏之处一定很多，请读者批评指正。

编 者

1978年6月

目 录

第一章 氮肥施入稻田的变化与水稻对氮	
肥的吸收.....	1
一、稻田耕层土壤的基本特点.....	1
(一) 稻田土壤层次的划分	
(二) 耕层土壤氧化还原电位的变化与物质转化	
二、氮肥在稻田土壤中的变化.....	5
(一) 铵态氮的变化	
(二) 酰胺态氮的变化	
(三) 硝态氮的变化	
三、水稻对氮肥的吸收.....	9
(一) 水稻不同生育期植株含氮量的变化	
(二) 水稻不同生育期对氮素的吸收	
第二章 稻田氮肥深施的作用和效果.....	14
一、表施氮肥利用率不高的原因.....	14
(一) 随田面水流失	
(二) 淋溶损失	
(三) 挥发损失	
(四) 反硝化脱氮损失	
(五) 生物固定和土壤固定	
(六) 水稻不同生育期的影响	
二、氮肥深施的作用.....	23
(一) 良好的保氮作用	
(二) 改善土壤氮素供应状况	
(三) 促进根系深扎, 增强水稻的吸肥能力	

(四) 促进水稻生长和穗粒发育	
三、水稻氮肥深施的增产效果	32
第三章 氮肥深施的方法与技术	35
一、基肥深施	35
(一) 秧田基肥深施	
(二) 本田基肥深施	
二、追肥深施	38
(一) 液肥深施	
(二) 粉肥深施	
(三) 粒肥深施	
(四) 球肥深施	
三、氮肥深施技术	46
(一) 施肥深度	
(二) 施肥密度	
(三) 施肥时期	
(四) 施肥次数	
(五) 施肥量	
(六) 田水管理	
第四章 造粒机和深施机具	56
一、造粒(球)机	56
二、粒(球)肥深施机	59
(一) 水稻单行粒肥深施器	
(二) 水稻双行粒肥深施机	
(三) 康农76-2型深层施肥机	
三、液肥深施器	66
(一) 手推式深施器	
(二) 注入式深施器	
四、粉肥深施器	70
(一) 推式齿动滚筒型粉肥深施器	
(二) 77-6型碳酸氢铵深施器	

附录

一、常用氮素化肥的成分和主要理化性质表·····	74
二、插植规格、施肥密度与施肥量查对表·····	75
三、施肥位置图式·····	76

第一章 氮肥施入稻田的变化 与水稻对氮肥的吸收

在水稻栽培中，要做到合理施肥，充分发挥肥料对水稻的增产作用，就必须知道土壤、肥料、水稻的特点，以及三者之间既互相促进又互相制约的辩证关系。

一、稻田耕层土壤的基本特点

（一）稻田土壤层次的划分

大家知道，稻田与旱地在性质上有很大的区别。稻田土壤在长期淹水和耕作施肥、种植水稻的影响下，改变了发育的方向，逐渐形成一种特定的土壤。稻田土壤剖面由上至下可以分为耕作层（简称耕层）、犁底层、心土层、底土层等层次。耕作层在淹水后又产生新的层次分化，形成氧化层和还原层（见图1）。

在一般情况下，稻田淹水后6~10小时，水分便进入了土壤孔隙，把孔隙中的空气赶跑，而田面水层又隔断了大气中的氧气直接进入土壤的途径，以致土壤与大气之间的正常气体交换受到极大的抑制，因而耕作层分化成为氧化层和还原层。氧化层处于田面水层与土壤表层的交接部位，它是由于受到来自灌溉水中溶解氧的影响而产生的。氧化层呈灰棕色，厚度很薄，通常仅有几毫米至一厘米。这一土层的理化性质与旱地几乎没有差异。在氧化层之下至犁底层之间是还原层。在这一土层中，土壤颜色呈青灰色，氧气极少，仅在

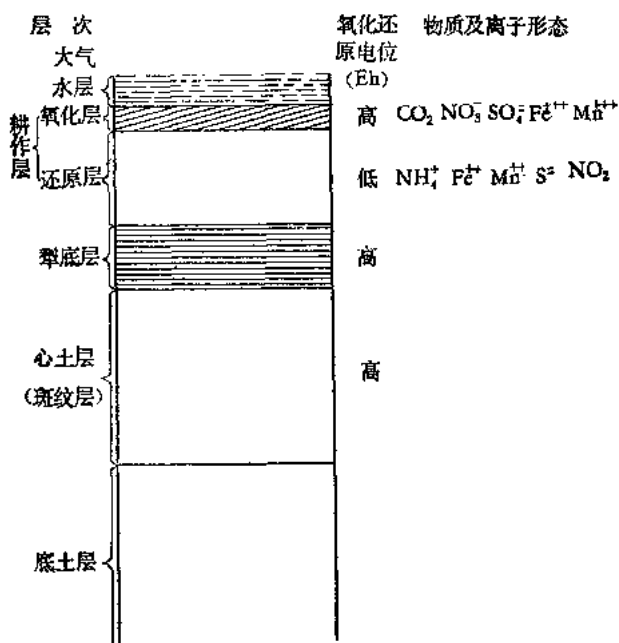


图1 淹水条件下稻田土壤剖面层次

水稻根圈的周围，由于水稻根分泌氧气的作用而把土壤氧化成为微域氧化状态，其余区域的土壤则处于还原状态。

犁底层是在人们长期耕作的影响下形成的。犁底层之下是心土层。心土层由于水分频繁上下移动，氧化还原经常交替进行，氧化还原电位变化幅度较小，基本上处于氧化状态，因而发育成斑纹层。地下水位高的稻田，由于受到地下水长期潜育，还会发育成一层潜育层，这一土层由于缺乏氧气，氧化还原电位低，属还原层。

(二) 耕层土壤氧化还原电位的变化与物质转化

在不同的土壤层次中，因水分、空气含量的不同，土壤

物理化学性质和土壤微生物都有很大差异。这些差异对施入的肥料和植物生长有很大影响。这里先谈谈土壤的氧化还原电位 (Eh)。土壤氧化还原电位的高低表示土壤氧化还原的强弱。在水稻生长期间, 稻田氧化还原电位的变化, 受到排灌、施肥、耕作等农业技术措施的剧烈影响。在耕作层上部的氧化层, 氧化还原电位通常在400~500毫伏左右, 几乎与旱地没有差异。在耕作层下部的还原层, 氧化还原电位就低得多。据我们对珠江三角洲冲积稻田的测定结果, 在犁冬晒垡期间, 稻田耕层的氧化还原电位是840~560毫伏; 淹水沅田后, 氧化还原电位下降至300毫伏左右。水稻移植后, 氧化还原电位下降最为急促, 在移植后10天下降至42毫伏。水稻分蘖后期至幼穗形成期间, 稻田经过排水烤田, 氧化还原电位则回升至250毫伏以上。抽穗期前后稻田再灌水, 氧化还原电位又下降。收获前稻田排水, 氧化还原电位再次上升 (图2)。



图2 珠江三角洲冲积稻田耕层土壤氧化还原电位动态变化

广东的早稻, 一般是在分蘖至稻穗分化期间, 土壤的氧化还原电位最低。肥沃的泥肉田或当季施用大量有机肥料的

稻田，这一期间的氧化还原电位可降至 $-150 \sim -219$ 毫伏，肥力中等，施用有机肥数量少的珠江三角洲冲积稻田，在这期间的氧化还原电位通常是 $42 \sim 117$ 毫伏。

据中国科学院南京土壤研究所的研究资料，江苏、江西两省的稻田淹水后，还原层的氧化还原电位通常在 250 毫伏以下，有时降至负值。在水稻生长期间，土壤氧化还原电位的变化以分蘖期最低，常在 100 毫伏以下，有时低至负值。烤田期及收获前，由于排水落干，氧化还原电位上升至 800 毫伏以上。

土壤氧化还原电位的变化，对土壤中各种物质形态的转化有很大影响。在氧化层中，氧化势强，好气性土壤微生物如硝化细菌，就有了生存活动的良好环境条件。好气性土壤微生物活动的结果，发生了氧化作用，使这一土层能够形成和存在硝酸盐、硫酸盐、高价铁、锰和二氧化碳等氧化态物质。如果表施铵态氮肥在这一土层中，因硝化细菌的作用，就会变成硝酸态氮。在还原层中，由于还原势强，好气性土壤微生物的生存活动受到限制，而兼性和嫌气性土壤微生物则比较活跃。这类微生物的活动旺盛，就会发生还原作用，把这一土层中的物质和从氧化层淋溶扩散下来的物质还原为还原态物质，如铵、二价铁、二价锰、亚硝酸、甲烷、二价硫等。

土壤中不同的物质，其氧化还原的难易是不同的。硝酸盐、亚硝酸盐、二氧化锰是比较容易还原的物质。硫酸盐、磷酸盐需要严格的嫌气条件才能还原。这些物质氧化还原的条件和顺序，列于表 1。

土壤氧化还原电位在不同土层中的表现，使氮肥施入稻田后产生剧烈变化。其变化又因表施与深施的不同而有很大差异。这些问题将在下面讨论。

表 1

稻田土壤中氧化还原体系的还原顺序

反	应	氧化还原电位 E_0' (伏特)	顺序
$O_2 + 4H^+ + 4e \rightleftharpoons 2H_2O$		0.83	0
$NO_3^- + H_2O + 2e \rightleftharpoons NO_2^- + 2OH^-$		0.45	1
$MnO_2 + 4H^+ + 2e \rightleftharpoons Mn^{2+} + 2H_2O$		0.41	2
$Fe(OH)_3 + e \rightleftharpoons Fe^{2+} + 3OH^-$		-0.13	3
$Fe(OH)_3 + e \rightleftharpoons Fe(OH)_2 + OH^-$		-0.14	
$CH_3COCOOH + 2H^+ + 2e \rightleftharpoons CH_3CH(OH)COOH$		-0.18	4
$SO_4^{2-} + H_2O + 2e \rightleftharpoons SO_3^{2-} + 2OH^-$		-0.49	
$SO_3^{2-} + 3H_2O + 6e \rightleftharpoons S^{2-} + 6OH^-$		-0.20	5
$2H^+ + 2e \rightleftharpoons H_2$		-0.42	6
$CO_2 + 2H^+ + 2e \rightleftharpoons HCOOH$		-0.62	7
$H_3PO_4 + 2H^+ + 2e \rightleftharpoons H_3PO_3 + H_2O$		-0.70	
$H_3PO_3 + 2H^+ + 2e \rightleftharpoons H_3PO_2 + H_2O$		-0.92	
$H_2PO_2 + 2H^+ + e \rightleftharpoons P + 2H_2O$		-0.98	8

二、氮肥在稻田土壤中的变化

目前我国农村中使用的氮素化肥，主要是铵态氮、硝态氮两大类，还有以尿素为主的有机态氮，而以使用铵态氮比较多。这些氮肥施入稻田后的变化过程是复杂的，不同氮肥品种，其性质不同，变化也不同。下面谈谈铵态氮、酰胺态氮、硝态氮等不同形态氮肥在稻田中的变化过程。

(一) 铵态氮的变化

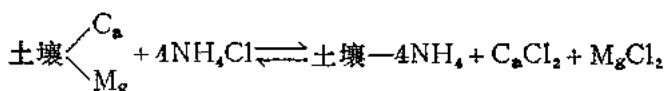
铵态氮的氮肥主要有硫酸铵、氯化铵、碳酸氢铵、氨水等。这里以硫酸铵为例说明铵态氮肥施用后在稻田土壤中的变化。在稻田存在水层的情况下，表施的硫酸铵首先接触到的是田面水和耕作层上部的氧化层。这时硫酸铵溶解在田面水及氧化层土壤中，分解成为铵离子和硫酸根离子。溶解于

田面水的铵离子，通过离子扩散运动下移到氧化层，或因排灌不善而流失，或被稻田生物吸收利用变为有机态氮。

在氧化层土壤中，由于氧化还原电位高，好气性土壤微生物活动旺盛，铵离子在硝化细菌的作用下发生硝化作用，变为硝酸态氮。硝酸态氮虽然能被水稻吸收利用，但硝酸根离子带负电荷，土壤胶体多数也带负电荷，彼此不能互相吸附。因此，硝酸根离子(NO_3^-)就存在于土壤溶液中，除了被水稻、杂草等生物吸收利用之外，还从浓度高的地方向浓度低的地方扩散，或随着水的流动而有相当数量向下层移动，这种现象称为扩散淋溶。扩散淋溶到还原层的硝酸根离子，由于还原层的氧化还原电位低，兼性和嫌气性土壤微生物活动旺盛，产生反硝化作用，于是硝酸态氮先变为亚硝酸态氮，亚硝酸态氮再转化为一氧化二氮和氮气。一氧化二氮和氮气是气体，不能被水稻吸收，就从土壤内部向上逸出，散失于大气中。人们把这一过程称为稻田脱氮作用，是氮肥损失的主要途径之一。

从氧化层淋溶扩散到还原层的硝酸态氮，除了反硝化过程之外，还有可能通过氨化细菌的活动而还原为铵态氮。科学实验证明，在还原层中，硝酸态氮还原为铵态氮的数量，比转化为一氧化二氮和氮气的数量要少得多，因而造成氮肥损失。因反硝化作用而损失的氮量的多少，则由于受到反硝化作用的条件、施入的氮肥的形态和数量等因素的影响，所得到的数值差异颇大。通常认为，反硝化作用损失的氮素，占施氮量的9~11%，但也有人认为氮的损失数量可达施氮量的50%。生产实践和许多田间试验表明，稻田施用硝态氮肥，其肥效比施用铵态氮肥低得多，原因之一就在于施用的硝态氮肥进入还原层，导致反硝化作用旺盛进行，使脱氮增多。

铵态氮在还原层中是比较稳定的，这是因为铵是带正电荷的离子，大部分被带负电荷的土壤胶体所吸附。这些被土壤胶体吸附的铵离子与土壤溶液的关系，具有离子交换作用。就是说，铵离子能够置换出土壤胶体中的钙、镁等阳离子而被土壤胶体所吸附，被吸附起来的铵离子也可以重新被阳离子置换出去，这个变化是可逆的。例如，在土壤中施入氯化铵肥料，离子交换的方式是：



可见，被土壤胶体吸附的铵离子不会被水淋溶损失，而可以被水稻吸收利用。在还原层中的铵态氮还有一部分被微生物同化成为有机态氮，构成微生物躯体物质，这些有机态氮暂时不能被水稻利用，要在微生物死亡后，转化为铵态氮，才能被水稻所吸收。

因此，采取常用的表层施肥方法，铵态氮肥就会溶解于田面水和发生反硝化作用，从而导致氮素流失和反硝化脱氮，降低肥效。而采取深层施肥的方法，直接把铵态氮肥深施到稻田的还原层，则可以大大地减少氮素损失，获得较大的增产效果。表施铵态氮肥在稻田耕作层中的变化，可简单示意如图 3。

（二）酰胺态氮的变化

尿素的氮素形态是酰胺态氮。酰胺态氮是有机态氮的一种，施入土壤后需要转化为铵态氮才易被植物吸收利用。尿素肥料施入稻田，在未转化为铵态氮之前，尿素溶解于水中是呈分子状态的。尿素分子不能被水稻吸收，也不能被土壤胶体吸附，所以，未转化的尿素容易随水流失。

尿素转化为铵的速度，受温度、湿度、酸度的影响。当

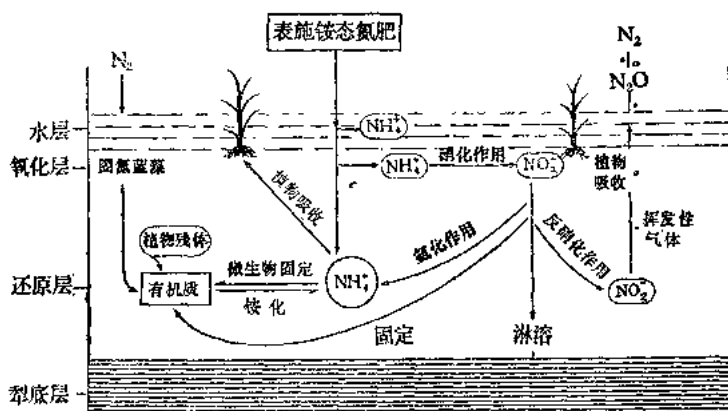
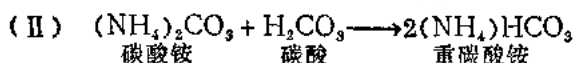
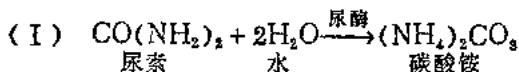


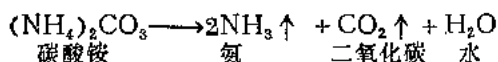
图 3 表施铵态氮肥在稻田土壤中的变化

土壤湿度适宜，温度越高，转化的速度就越快。气温 10°C ，转化时间需要 $7\sim 10$ 天。气温 20°C ，转化时间需要 $4\sim 5$ 天。气温 30°C ，转化时间仅需 2 天。尿素转化成铵需要有一定的时间，因此尿素的肥效表现比硫酸铵稍迟。在我国南方，尿素的肥效表现比硫酸铵迟 $3\sim 4$ 天；在我国北方，尿素的肥效表现比硫酸铵迟 $7\sim 9$ 天。

尿素在土壤中转化为铵，是在土壤脲酶的作用下进行的。脲酶是微生物的分泌物。在脲酶作用下，尿素首先分解成碳酸铵，碳酸铵可进一步分解，在土壤碳酸气含量多时，产生重碳酸铵。化学反应方程是：



在土壤碳酸气少时，碳酸铵则分解为氨、二氧化碳、水。化学变化方程是：



尿素转化为氨态氮后，它在稻田的移动、变化与铵态氮相同，这里不再重述。

（三）硝态氮的变化

国内外许多田间肥效试验证明，稻田施用硝态氮肥，其肥效比施铵态氮低，一般仅相当于硫酸铵的增产效果的87~98%，有时低至57~70%。广东稻田土壤施用硝酸铵、硝酸铵钙对水稻的增产效果，相当于硫酸铵增产效果的92.7~95.1%，有时低至57.4~86.3%。而对旱地作物（如秋花生）施用硝酸铵、硝酸铵钙，则增产效果比硫酸铵好，约高9.6%或相等。

稻田施用硝态氮肥肥效低的原因，是由于硝态氮肥溶于水后离解为硝酸根离子，而硝酸根离子带负电荷，活泼性很强，不能被土壤胶体吸附，存在于田面水和土壤溶液中，因而易随水的移动而损失。同时，施用硝态氮肥后，由于氧化层硝态氮增加，可使土壤硝化细菌获得较多的营养和能源而迅速繁殖，但是，当硝态氮扩散淋溶到还原层后，同样会促进反硝化细菌的繁殖，产生反硝化作用，导致氮的损失增加。因此，硝态氮肥的增产效果不及铵态氮肥。

三、水稻对氮肥的吸收

氮素是水稻生长发育必需的营养元素，也是组成植物体内蛋白质和叶绿素的主要成分，因此水稻对它的需要量较多。大面积栽培的水稻品种，每生产1000斤稻谷和相应的稻秆，约需要吸取氮素17~25斤，其中矮秆型水稻一般需要吸取氮素20斤左右。如果氮素供应不足，稻株就会生长矮小，分蘖