



香蕉营养与施肥手册

2000



香蕉营养与施肥手册

Antonio López M.
National Banana Corporation
La Rita Experimental Station
Pococí – Costa Rica

José Espinosa M.
Potash & Phosphate Institute/
Potash & Phosphate Institute of Canada
钾磷肥研究所/加拿大钾磷肥研究所
拉丁美洲办事处
Office for Latin America
P.O. BOX17-17-980, Quito – Ecuador

2000

翻译：谢良商、张文、陈拉
海南省农业科学院土壤肥料研究所 海口 571100
Translation: Xie Liang-shang, Zhang Wen, Chen La
Soil & fertilizer Institute, Hainan Academy of Agricultural Sciences
中文编辑：王家骧
钾磷肥研究所/加拿大钾磷肥研究所
Editor (Chinese version): Jason Wang, PPIC Office, Saskatoon, Canada



市农科院图书馆S015332

献 给

农业工程师 Carlos Alberto López Gutiérrez,
为他在哥斯达黎加香蕉矿质营养与施肥领域
所做出的广泛影响和巨大贡献。

前 言

这本手册是香蕉土壤肥力与矿物营养方面最为重要的代表作之一。它总结了“哥斯达黎加香蕉生产者学会(CORBANA)”的研究部门在工作了15年多的期间中取得的大量数据,同时也包括了世界各地不同香蕉生产区的数据。

本手册出现代化的香蕉营养与肥料管理的概念,尤其是诊断过程中考虑到了制定可实施的肥料推荐计划,以获取香蕉高产。手册从高效和经济利用矿物质肥料的角度介绍了有关的信息,并客观地评价了有机改良剂及其对香蕉生产系统持续性的贡献。

不少香蕉农场主和行政管理人员将此手册作为香蕉生产中制定养分管理标准和评价最佳管理措施的实用参考依据。

研究人员将会发现这本手册是香蕉土壤肥力和矿物营养的有用信息工具。它在交叉学科研究,引导发展支撑香蕉高产稳产的高新技术方面将提供有价值的养分数据。

最后,参与香蕉生产的技术人员和学生将会发现这本手册能帮助他们进一步的认识这个世界性的重要食品作物。

Dr. David Dibb
President
Potash & Phosphate Institute

Dr. Ronald Vargas
Research Director
CORBANA

2000年1月

致 谢

作者对所有工作人员所给予的建设性的意见、编辑建议以及鼓励致以衷心的感谢

Mr. Don Armstrong, Potash & Phosphate Institute, Atlanta, U.S.A.

Ing. Floria Bersch, Agronomic Research Center, University of Costa Rica, San José, Costa Rica.

Dr. Bob Darst, Potash & Phosphate Institute, Norcross, U.S.A.

Ing. Carlos Flores, La Rita Experiment Station, CORBANA, Pococí, Costa Rica.

Ing. Francisco Mite, Pichilingue Experiment Station, INIAP, Quevedo, Ecuador.

Dr. Terry Roberts, Potash & Phosphate Institute/Potash & Phosphate Institute of Canada, Norcross, U.S.A.

Dr. Patricio Solís, La Rita Experiment Station, CORBANA, Pococí, Costa Rica.

Ing. Eduardo Soto, La Rita Experiment Station, CORBANA, Pococí, Costa Rica.

Dr. Mark D. Stauffer, Potash & Phosphate Institute of Canada, Saskatoon, SK, Canada.

Mr. Gavin Sulewski, Potash & Phosphate Institute of Canada, Saskatoon, SK, Canada.

Dr. Ronald Vargas, La Rita Experiment Station, CORBANA, Pococí, Costa Rica.

Ing. Alfonso Vargas, La Rita Experiment Station, CORBANA, Pococí, Costa Rica.

中文版，感谢

海南省农业科学院土壤肥料研究所谢良商所长、张文及陈拉的翻译工作。

PPI/PPIC中国项目部陈防及吴荣贵两位博士为中文稿校对所付出的时间及贡献。

目 录

概述	1
影响香蕉生产力的因素	1
第一章	3
根系：营养吸收的重要基础	3
一、根系的分布与施肥区域	3
二、影响香蕉根系发育的因素	5
三、生物技术与根系健康	7
第二章	8
香蕉对养分的需求	8
一、作物的矿质营养元素	8
二、氮	8
三、钾	12
四、磷	14
五、钙	16
六、镁	18
七、硫	21
八、锌	23
九、硼	25
十、铜	26
十一、铁	27
十二、锰	28
十三、钼	29
十四、钠与氯	29

第三章	30
香蕉对土壤的要求	30
一、测定香蕉对土壤的适宜性	30
二、哥斯达黎加的分类系统实例	33
三、酸性土壤与香蕉生产	34
四、盐土与钠质土	37
五、钠对香蕉的影响	37
六、氯对香蕉的影响	37
七、盐渍土壤的养分管理	38
第四章	39
香蕉的土壤肥力与矿质营养诊断	39
一、土壤分析	39
二、叶片分析	40
三、根系扩展和组织与土壤分析	44
第五章	47
香蕉施肥	47
一、肥料施用量	47
二、肥料最佳施用量	47
三、养分循环与香蕉施肥	50
附表1：单位转换系数	53
参考文献	54

概述

影响香蕉生产力的因素

影响植物生长和生产的因素通常可分为两类：即外部（环境）因素和内部（遗传）因素。内部因素受品种特性控制，而外部因素则决定于气候（光照、温度和降雨量）、生物（有益和有害的微生物）、土壤类型和人类对环境的影响（图1）。

遗传性状至关重要。香蕉产业界已开发出了能适应主要香蕉产区环境条件的高产无性系材料。在目前改良的香蕉品种中，因遗传因素造成的产量损失要远远低于那些由环境因素造成的损失。

外部因素对香蕉产量的影响极为巨大。如人们所知，那些日照时数长和温度高（如 30°C ）的地区，具有很高的生产潜力。在受气候条件限制的地区，其产量潜力也低。但是，良好的土壤和先进的农艺管理，可产生正面的影响。

任何先进的农艺管理措施都能对提高产量有所贡献。贡献大的主要管理措施包括种植密度、空间规格、吸芽（子株）数量和分布、病虫害防治、灌溉和排水以及施肥。施肥是一项主要的措施，因为香蕉在其它环境因素适合时，对养分的利用效率非常高。这个效率最终的表现能在短时间内积累出高额的生物量。

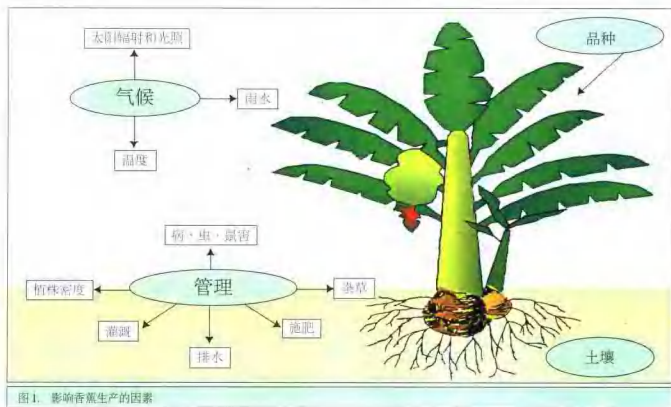


图1. 影响香蕉生产的因素

注：“太阳辐射”和“光照”的术语常被混用为同义词。“太阳辐射”是指每日或每年在天气状态下太阳直接照射的时间，“日照”则指在白天或无云状态下每天的总日照时数。

香蕉植株的生长与发育是在一系列复杂的生理反应后的产物，如光合作用和呼吸作用，它们生成并相继代谢碳水化合物、蛋白质等。所有这些过程都需要适当的植物养分。土壤肥力和植物养分的管理因而成为生产者实现高效生产香蕉目标的关键手段。

世界各地的研究已确定了香蕉对矿质养分需求量及不同营养元素在香蕉生长与发育中的作用。这些研究成果的信息的利用已带来了更好的肥料管理方法、更高的产量和更大的利润。例如，最适养分投入结合其它最佳管理措施（BMPs）使得哥斯达黎加的生产者创造了出口香蕉的最高记录产量。

找出限制因素是首等重要的管理措施。当其它限制因素不同时加以考虑的时候，仅仅依靠施

肥计划来维持或改善种植园的试图常遭失败。一个好的施肥计划并不能解决干旱或根线虫危害的问题，但是生长健壮的植株对逆境的抵抗力较强。

这本手册的主要目的是解释土壤肥力和肥料在高产香蕉栽培中提供养分需求的重要性。这个目的可表述为最佳施肥管理必须与其它影响生产的因素相结合的管理，以使施用的养分得到高效率的利用。

一个充满活力和健康的根系对香蕉植株是相当重要的，因为它提供对植株的机械支撑，并负责对水分和养分的吸收。在17种必需矿质养分中，有14种由土壤供给。因此，香蕉的矿质营养供应必需要有功能健康的根系。（谢良商译）

第一章

根系：营养作用的重要基础

香蕉的根系在土层深厚、多孔、有足够的空气和自然肥力高的土壤中生长良好。任何限制根系生长的物理、化学障碍因素都会显著降低产量（图2和图3）。探明和矫正限制根系正常生长的因素和活动都能改善土壤养分和施到土壤中的肥料养分的吸收（图4和图5）。但是，许多种植者没有认识到不良的根系无法有效地利用肥料。

一、根系的分布与施肥区域

香蕉根系由不定根、簇生根（丛生根）和根毛组成。原生根从球茎抽出，次生根由原生根抽出，三级根由次生根抽出。尽管这些根系生长速

度很快，但其数量决定于土壤限制它们发育的程度。由次生根和三级根末端长出的根为薄薄的丝状体，只有几毫米长，但具有极大的表面积与土壤接触，因而能高效地吸收水分和养分。根的颜色、质地和大小随根龄改变。幼根通常为白色且柔软。随著根龄增加，它们逐渐变硬变黑，靠近植株中心轴的根系首先变厚、变黑和变硬。随著辐射状伸展距离的增加，根系越软，越厚和越白。

在移栽后至花芽开始分化期间，根系发育快速，但花芽分化一旦形成，发育生长减慢。花芽分化以后，根系继续发育（Champion 和 Oliver, 1961）。



图2. 因不良根系造成的香蕉植株生长与发育不良。



图3. 因不良根系造成的小香蕉果穗



图4. 健康、发育良好的香蕉植株意味着良好的根系状况。



图5. 理想的香蕉果穗意味着良好的根系状况。

应用同位素 ^{32}P 跟踪研究证明从种植后到2-3个月中(种植到花芽分化), 香蕉植株吸收大量的养分(如磷)(Walmesley和Twyford, 1968b)。一个周全的施肥计划证实在这个时期施用足够的养分是有效的。花芽分化后就没有再给香蕉施肥的必要了。因为植株贮藏的养分足够香蕉果实膨大。在多年生香蕉种植园, 肥料往往在花芽分化以后施用, 主要是提供给子株。

定植后最初几个星期内, 球茎贮有充足的养分, 因此没必要施肥。Sancho (个人间信息交换, 1993) 在芭蕉上证明当用大球茎作为育苗材料时, 直到第四片叶抽出时才有少量根出现。但是, 离体株与此不同, 它们在低养分供应条件下生长。尽管苗期的根系生长正常, 但养分管理必需是很小心。

许多种植者错误地认为香蕉是浅根作物。更为正确的说法是根系的深度受土壤条件的控制

(Lahav和Turner, 1992)。在没有物理和化学障碍因素时, 香蕉的根系可达到5-10米深(Beugnon和Champion, 1966; Lavill, 1964)。根的分支也受到不利的土壤物理和化学条件的影响。由此可见, 香蕉的根系能够往水平和垂直两个方向扩展。

一般而言, 香蕉60-70%的根分布在土表30厘米内(Soto, 1992), 但有研究证实正常的生长要求要有120厘米深且无障碍的土层。(Ghavami, 1976; Stover 和 Simmonds, 1987; Jaramillo 和 Vázquez, 1990)。活性根的重量(即施肥区域)与根的总重量之间不存在关联作用, 因为被根扩展的土壤体积和活性根部的土壤体积都随植株距离而增加。随植株生长, 其对养分的需求增加, 扩展的根系提供了必要的养分需求。

环绕球茎的活性根区随年龄而变化。Walmesley 和 Twyford (1968a) 试验表明2个月龄

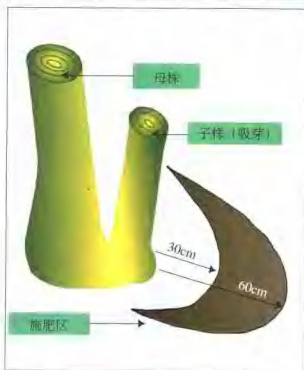


图6. 多年生香蕉植株的施肥区域。

的香蕉植株对磷吸收的区域在距植株半径的150厘米以内，而5个月龄的植株，这个区域在230厘米以内。Mohan和Mudhava-Rao (1986) 在新研究的3个栽培品种上也发现了这个关系。在哥斯达黎加的施肥位置试验显示当肥料置于孔尼龙袋中，施于子株前方时，肥料效应最佳



图7. 香蕉根系由根线虫(*Radepholus similis*)引起的典型的危害症状。

(Flores,1991b)。

在中南美洲占支配地位的多年生成熟种植园里，有相当多的活性根集中在距植株30-60厘米的环带内。所以，在子株根区施用高浓度肥料时可将肥料施于距植株30厘米的半圆内（图6）。另一种措施是把肥料环经撒施在6月龄的成熟植株的周围，但当其根系生长半径达到240厘米时，这种施肥法的效果就很差了，因为肥料施在了不能被吸收的位置。另外，大量的作物残体在地表积累，也阻止了肥料与土壤的接触。

二、影响根系发育的因素

1、土壤

根系的生长受向性调节。这个过程与土壤性质如有效深度、质地、结构、地下水位高度和肥力等有关。根据Hardy(1970)的分类，最重要的向性有：

① 向地性 促进根系垂直或向下生长。土层浅时，根系生长有限，严重限制了植株忍受干旱和吸收深层养分的能力。

② 向气性 促进根系在通气土壤中生长。香蕉在水分过多的条件下会遭受不利的影响。

③ 向水性 促进根系在湿润，但不是被水分饱和的土壤中快速增长。

④ 向肥性 促进根系在养分富集和肥沃的土壤中快速增长（正向肥性），或相反地，为避免到达中毒区域的手段（负向肥性）。向气性和向肥性对根系横向生长的有利影响超过垂直生长。

香蕉根系在富含有机质的土壤中旺盛生长，因为有机质增加土壤的保水保肥容量。

率将会提高，产量水平将会被建立起来。土壤中养分的流失也会减少。

钙和磷对促进根系的生长具有特别的重要作用。土壤缺钙会引起香蕉根系变黑、腐烂 (Murray, 1959)。磷能刺激根系生长 (Devlin, 1982)，为此，建议磷在新植园定植前和种植期间使用，尤其是在缺磷土壤上。

2. 病虫害

香蕉对许多寄生性生物十分敏感，直接或间接地常受到为害。原发病常导致次生发病。蚕儿和根线虫对根系造成相当大的危害，并使植株容易感受真菌和细菌的入侵。最常见的香蕉根线虫（穿孔线虫），严重地限制根系对养分的吸收（图7）。Black Picudo (*Cosmopolites sordidus*) 是主要的虫害，通过袭击球茎而间接地影响根系（图8）。昆虫和根线虫为害多发生在单一栽培的种植园。昆虫和病原密度日益增加，导致根系的发病率随作物年龄而加大。要发挥养分的有效性，昆虫和根线虫的控制极为重要。努力维持一个健康的根系，能够促进植株对养分吸收的效率。

种植者在施肥前，要检查植株的根系。假如危害存在，需要对其起因和治疗方法进行分析。一旦克服，肥料的施用效

3. 水分过多

香蕉植株对水分过多的忍受力非常低，尤其



图8. 被 *Black Picudo (cosmopolites sordidus)* 侵袭的球茎

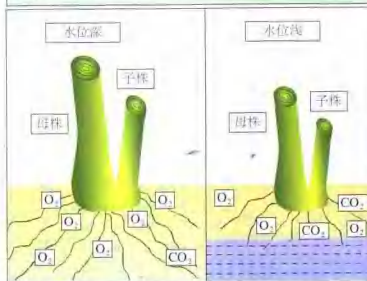


图9. 高地下水位减少根系周围区域中氧气(O_2)的数量，增加二氧化碳(CO_2)的数量，并影响植株生长

表1. 在哥斯达黎加一个香蕉种植园里离体性和常规种苗的根系质量与根线虫感染数

	根系质量					线虫感染数量	
	总量	功能根		无功能根		穿孔线虫根结线虫 每 100g 根系	
	克/株	克/株	%	克/株	%		
种苗	124	115	93	9	7	0	2,800
离体苗	124	115	93	9	7	0	2,800
常规种苗	99	46	46	54	54	14,800	2,000

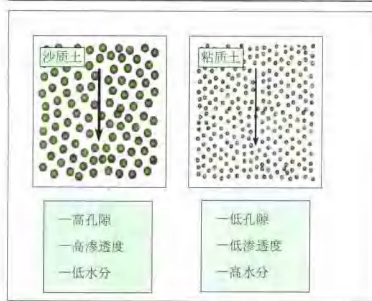


图 10. 质地直接影响土壤的渗透性



图 11. 从离体株繁殖的第三代香蕉植株的健康根系



图 12. 在老种植园中被根线虫严重感染的香蕉根系

是在土壤水分饱和的情况下超过3天时。在这段淹水的时间内，会引起根系不可逆转的损伤，导致严重的经济损失。水分饱和和减少土壤中空气的空间，随后的气体交换导致氧气消耗和二氧化碳的积累（图9）。在缺氧的情况下，根系遭受严重压抑。在持续的淹水情况下，根系最终死亡。此外，根系通过呼吸作用产生的能量会下降到无法吸收养分的水平（Pizarro, 1985）。

土壤质地和结构也会影响土壤的渗透性和水分通过土壤的运动。质地较细的土壤，需要排水的范围和排水量通常比质地较粗的土壤要大（图10）。

在雨水多的地区，特别是香蕉种植在细质地土壤上时，地表排水和内部排水十分重要。

4. 影响香蕉根系生长的其它因素

农药物质，尤其是除草剂必须谨慎管理，因为如果不能正确使用的话，它们能对香蕉根系的生长和功能产生负面影响。因此，更多的农药及其管理对根系避免生理性的危害研究是有必要的。

三、生物技术与根系健康

在很多香蕉生产国家，离体株（试管苗）日益普及。其主要优点之一是卫生，不带病虫（图11和图12）。使用离体株能够减少传统实生苗常见的植物寄生虫的传播（Arias 和 Valverde, 1987），见表1。

第二章

香蕉对养分的需求

香蕉比其它任何其它经济作物需要更多的养分。许多种植园每年生产3.3吨/亩以上的果实，有些甚至达到4.7吨以上。正确的肥料管理是补充大量被带走的养分。这也是和达到高产稳产目标的唯一有效途径。

一、作物的矿质营养元素

与其他作物一样，香蕉需要适量的各种必要的营养元素以获取植株的良好生长和收成。因此，这些必要元素是香蕉高效、高产种植所不可少的。

碳(C)、氧(O₂)和氢(H)是由大气和土壤水分提供的必需元素。

植株的矿质养分通过根系从土壤里吸收，通常可划分成3组，即大量营养元素、中量营养元素和微量营养元素。

氮(N)、磷(P)和钾(K)属于大量营养元素，作物需要的最大，往往最先显现出缺乏的症状，尤其是热带和亚热带土壤中的氮素营养。钙(Ca)、镁(Mg)、硫(S)属于中量营养元素，作物需要量较小。微量营养元素包括锌(Zn)、硼(B)、铜(Cu)、铁(Fe)、锰(Mn)、钼(Mo)和氯(Cl)，作物需要的量非常少。

二、氮

氮是香蕉养分管理中是最为重要的营养元素之一，因为它是各种植物蛋白质的组成

成分。由于控制所有代谢过程中大多数酶是植物蛋白质的组成，因此氮的作用是首要的。例如，氮通过一系列的酶促反应，参与了光合作用(将二氧化碳转化为糖的过程)，同时氮素也是叶绿素分子的组成部分。此外，氮还是某些维生素的组分，这些维生素能扩大根系生长，对动物和人类都是不可少的(Devlin, 1982)。

1、香蕉对氮的需求

高产种植园香蕉从土壤中带走大量的氮。产量为4.7吨/亩的香蕉通常要吸收8.3公斤的纯氮。

土壤表层中的有机残余物的矿化作用是提供香蕉氮的重要来源。但是，有效氮的释放数量不能完全满足作物的需要。因此，大多数香蕉生产中需要的氮要由矿质肥料来补充。

世界范围的香蕉施氮量的幅度变化在6.7-40公斤纯氮/亩/年，决定于土壤和气候的条件。在



图13. 香蕉植株缺氮，生长不良，老叶失绿

多数拉丁美洲香蕉产区，施用量约为20公斤/亩/年。

在哥斯达黎加，经过几年的研究结果表明，每年每亩施用20-21.3公斤纯氮（分8次施用，每次2.7公斤）可获得高产和最大利润（Herrera, 1989; López 1991a）。值得著重一提的是氮的分次施用可提高肥料利用效率，特别是在高雨量的条件下。哥斯达黎加的降雨量通常为3000-4000毫米/年，硝态氮（ $\text{NO}_3\text{-N}$ ）由于淋溶损失的机会就相对的大了。因此，他们通常将全年的需氮量分26次施用。除了降水量之外，质地粗的土壤也会增大氮的淋溶，需要勤施氮肥。

2、氮的缺乏症状

当香蕉种植在肥沃的土壤中并且有良好的管理时，养分一般不会有缺乏的现象。但在一定的条件下，在田间仍可能观察到缺氮的症状。由于香蕉需要大量的氮，当根系受到根线虫的危害或者水分供应不足或过多的情况下，常可以看到明

显的缺氮现象。香蕉的氮素缺乏症状描述如下。

① 茎叶

缺氮最为明显的症状是由于叶绿素含量减少而产生的叶片发黄（图13）。正常植株的叶片具有浓绿的颜色（图14）。缺氮症状的显现过程通常是老叶最先发黄，继而向上，严重时更会影响到新叶。缺氮严重时的叶柄会出现粉红色的褪绿现象，典型的缺氮症状可参照图15所示（Martín-Prével, 1964; Potash & Phosphate Institute, 1988）。

② 植株生长发育受阻

缺氮显著延缓植株的生长和发育，叶片生长速度和叶间相对距离减短。新生叶的出现是由于上、下叶片在抽出与发育时相连所致。植株高度和叶片长度也显著减短（Martín-Prével, 1964; Murray, 1960）。

3、土壤氮素

土壤只能提供给少部分的香蕉需氮量。由土壤提供的氮量由几个因素所控制，诸如植被、地

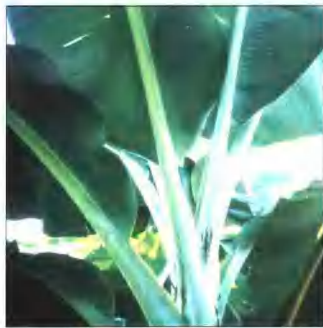


图14. 充足的养分使第一造香蕉植株生长健壮，叶色正常



图15. 香蕉植株缺氮，假茎出现粉红色，老叶褪绿严重

形、地质、人类活动和时间等 (Fassbender, 1982)。土壤中的氮以有机氮和无机氮两种形态存在 (Sánchez, 1981)。

① 有机氮

土壤中的有机态氮主要是通过植物、动物和微生物的分解而累积的氮。尽管如此, 由于分解过程的速度缓慢, 在任何时间里只有极小部分的有机氮素能被植物利用而这些有机氮必须先被矿化成无机氮才能被植物吸收。

② 无机氮

铵离子 (NH_4^+) 和硝酸根离子 (NO_3^-) 是土壤能被植物吸收的两种主要无机态氮。尽管两种离子都能被植物吸收, 但硝态氮的吸收量要比铵态氮高 (Sarasola 和 Roca, 1975)。

4、土壤中氮的转化

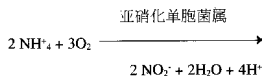
对植物有效的铵态氮和硝态氮, 其数量取决于施用肥料中氮的数量和有机态氮的转化速率。土壤氮素, 无论什么形态都处在动态的变化当中, 可以从一种形态快速地转化为另一种形态。在正常情况下, 这些过程有利于硝态氮的生成, 但也会提高氮素从土壤中淋溶损失和挥发损失的可能性。了解这些转化过程对氮肥管理, 提高氮肥利用效率十分有用。这些过程在 Tisdale 等 (1993) 的著作中已有详细解释, 现将其要点讨论如下。

① 矿化作用

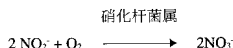
矿化作用是微生物将有机态氮转化为无机态氮如铵态氮和硝态氮的过程。氮的矿化作用随著土壤温度和水分适合于生物活动有利条件的改善而增加。

② 硝化作用

在土壤中, 无论是通过施肥带进来的, 还是通过矿化作用生成的铵离子都会被微生物转化成硝酸根离子, 此过程叫做硝化作用。硝化作用可分成两个过程来完成。第一步, 铵离子被土壤细菌亚硝化单胞菌属氧化成亚硝酸盐 (NO_2^-), 其反应式可表示如下:



第二步, NO_2^- 在其它土壤细菌硝化杆菌属的帮助下, 氧化成 NO_3^- :



了解硝化作用可使种植者采用有效的管理措施来调整氮肥的施用以减少损失。

硝化作用的两个步骤都需要氧气。这表示了在排水良好的土壤中硝化作用的过程会发生的很快, 而在水分饱和和土壤里则会显著减少。

不管是有机氮还是无机氮, 硝化作用的后果是生成大量使土壤酸化的氢离子 (H^+)。通过监测土壤的 pH, 可以查明酸化的程度并采取预防措施。

无论是硝化作用生成的还是肥料带进来的硝态氮在土壤中都具有很高的移动性, 很容易通过淋溶而损失。损失的数量受由土壤质地影响。质地粗的砂质土上被淋溶的程度较大, 而质地较细的粘土和壤土由于较慢的水分渗透速率而使硝态氮的损失降低。