

学校编码: 10384

密级_____

学号: 22620081151571

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

我国东南种植香蕉土壤碳氮循环及
输出特征模拟

Simulation on Soil Carbon, Nitrogen Cycles and Output
Characteristics at Banana Fields, Southeast China

黄 虹

指导教师姓名: 曹文志教授

专业名称: 环境管理

论文提交日期: 2011年9月

论文答辩时间: 2011年9月

2011年9月

厦门大学学位论文著作权使用声明

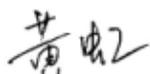
本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）： 

2011年9月19日

摘 要

土壤C、N循环是农业生态系统最基本的生态过程，了解土壤C、N循环是研究陆地生态系统C、N循环的重要前提。本文以南靖县五川流域的一个小流域为研究区域，选取施肥量高、面积大的种植香蕉土地利用类型为例，采取模型模拟的方法，应用NCSWAP模型模拟了较长时间尺度下(1998~2007年)土壤C、N各种循环过程及输出特征，对可能影响C、N循环的管理措施因素进行情景模拟分析，最后对农业生产和管理环节提出建设性的措施，取得了如下研究成果：

(1) 对种植香蕉土壤的 NO_3^- -N和SOC含量季节性变化进行了验证，验证结果表明，土壤 NO_3^- -N、SOC含量实测值与模型的模拟值较为吻合，因此，NCSWAP模型模拟结果较为精确，可用于模拟较长时间尺度土壤的C、N动态过程。

(2) 种植香蕉土壤C、N循环及输出特征

土壤氮素循环不同途径的变化特征显示植物吸收、土壤淋溶和氨挥发作用是氮素损失的主要途径，植物吸收和土壤淋溶流失氮量的年际变化较大，反硝化损失和地表降雨径流流失氮素量居其次，年际变动较小，水分条件是影响年际变化的主要原因。研究区域较高的施肥量是各种氮素循环途径的输出量和有机氮净矿化量占施肥量的比例普遍偏高的原因。在10年尺度上，土壤TN含量呈现出略微下降的趋势，而土壤SOC含量总体上保持平衡状态。

(3) 模拟情景分析

在降低施肥、香蕉秸秆还田以及改变灌溉方式三种情景条件下，利用模型对土壤氮素的主要循环途径的影响进行分析，进而提出了最佳管理措施。

降低施肥量：在施肥量降低 30%的条件下，植物吸收氮量和土壤有机氮净矿化量受影响较小，仅下降了 11%和 12%；施肥量对氮素淋溶影响显著，降低幅度高达 50%；氮素的反硝化损失和地表降雨径流流失分别降低了 16.8%和 33%；氨挥发损失量与施肥量降低的比例相同均为 30%。可见，研究区域的施肥量偏高，氮素的植物利用效率没有提高，反而加剧了氮素的流失，造成环境污染。

香蕉秸秆还田：香蕉秸秆还田可使种植香蕉土壤养分含量和有机氮的净矿化量显著增加，TN 含量始终高于初始年，SOC 含量由 $12.9 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 增至 $13.8 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，

年平均净矿化量增长量高达 $95.3 \text{ kg N hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ，增加幅度为 40.3%；植物吸收氮量的年平均值增加幅度为 6.7%；土壤的反硝化年平均损失量增加幅度为 37.7%，其它氮素循环途径相对变化较小，呈小幅度的上升趋势。

改变灌溉方式：通过改变灌溉时间的长短来改变灌溉的方式，发现灌溉方式的改进可有效减低种植香蕉土壤氮素的淋溶流失，降低幅度约20%，对土壤氮素的其它循环途径几乎没有影响。

(4) 在上述工作的基础上，提出了流域农业最佳管理措施和保障政策。管理措施主要包括施肥、灌溉和耕作管理措施。保障政策是主要包括制定限定性农业生产技术标准和完善农业环境管理制度。

关键词：NCSWAP 模型；土壤碳氮循环；管理措施；情景模拟分析

Abstract

Soil C, N cycles were the most basic ecological processes of the agroecosystem, understanding soil C, N cycles was the premise to study the soil C, N cycles of the terrestrial ecosystem. A small area in Wuchuan catchment of Nanjing County was selected as the study area in this paper, and taking the banana fields which accepted high fertilizer rate and covered a large area as an example, using model simulation as the method, simulated the soil C, N cycle processes and output characteristics in a longer time scale (1998~2007) with NCSWAP model, and also carried out scenario analyses on factors of management measures which were likely to effect the soil C, N cycles. Finally, gave some constructive suggestions for agricultural production and management. Research findings were as following:

(1) Testing the seasonal variations of soil NO_3^- -N and SOC content at the banana fields which were simulation by NCSWAP model. The results showed that the measured value of soil NO_3^- -N and SOC content were agreeable with the simulated value. The simulation results of NCSWAP were comparatively accurate, so that it could be available to simulate soil C, N cycles and conversion process in a longer time scale.

(2) We simulated soil C, N cycles and output characteristics at the banana fields. It turned out that plant uptake, leaching and ammonia volatilization were the main reason of N loss, and the annual variations of plant uptake and leaching were large. N loss by denitrification and surface rainfall runoff were secondarily, and the annual variations were relatively small. The moisture condition was the main factor caused annual variations. The output of distinct N cycle processes and net amount of organic N mineralized were a little higher, which were caused by the high fertilizer rate in the study area. In 10 years time scale, soil TN content appeared a bit decreasing trend, when soil SOC content kept balance as a whole.

(3) We analyzed the effects on different the C、N cycle processes under three

scenario analyses including reducing the fertilizer rate, banana residue returning treatment and changing the irrigation mode, and then put forward the best management measures.

Reducing the fertilizer rate: on condition that the fertilizer rate decreasing 30%, plant uptaked N and net mineralized N just decreased by 11% and 12% respectively, and was less affected. Fertilizer rate dramatically affected N leaching process, the decreasing amplitude was 50%. N lossed by denitrification and surface rainfall runoff decreased by 16.8% and 33% respectively. The decreasing proportion of ammonia volatilization was 30%, and equal to the decreasing of fertilizer rate. The above results illustrated that high fertilizer rate didn't enhance the utilization ratio of crop, but enhanced N loss processes, and caused environmental pollution.

Banana residue returning treatment: the treatment severely increased the nutrient content and net mineralization amount at the banana fields. Soil TN content were always greater than the initial year, SOC content increased from $12.9 \text{ kg}\cdot\text{g}^{-1}$ to $13.8 \text{ kg}\cdot\text{g}^{-1}$, the average annual net mineralized N increased by $95.3 \text{ kg N hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$, and the amplitude was 40.3%. The growth of average annual value of plant uptake N was 6.7%, and the growth of the average annual N lossed by denitrification was 37.7%, the change of other N loss processes were small, appearing increasing trends slightly.

Changing the irrigation mode: Improve the irrigation mode by means of changing the irrigation time, we find that it could decrease N leaching at the banana fields effectively. The average annual N lossed by leaching decreased about 20%, and had little effects on other processes of N cycle.

(4) Agricultural best management measures and security policies were proposed based on the working above. Management measures included measures about fertilizer, irrigation and tillage. The security policies mainly included formulating limited technical standards of agricultural production, and completed the management system of agricultural environment.

Keywords: NCSWAP model; soil carbon and nitrogen cycles; management measures; scenario analyses

目 录

摘 要.....	I
目 录.....	V
第一章 绪论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.2 土壤碳氮循环国内外研究进展	3
1.2.1 土壤碳循环过程.....	3
1.2.2 土壤氮循环过程.....	3
1.2.3 管理措施对土壤碳氮循环的影响.....	6
1.2.4 土壤碳氮循环模拟研究进展.....	11
1.3 研究内容与研究目标	12
1.3.1 研究目标.....	12
1.3.2 研究内容.....	13
1.3.3 技术路线.....	13
第二章 研究区域概况	15
2.1 自然概况	15
2.1.1 地理位置与地质地貌.....	15
2.1.2 水文气象条件.....	16
2.1.3 土壤类型和植被条件.....	17
2.2 社会经济概况	18
2.3 土地利用概况	19
第三章 NCSWAP 模型及参数设定	21
3.1 NCSWAP 模型介绍.....	21
3.2 数据来源与参数设定	23
3.2.1 土壤参数.....	24
3.2.2 植物生长参数.....	27
3.2.3 管理措施参数.....	28
3.2.4 气象参数.....	29
第四章 模型输出结果分析	30
4.1 模型模拟验证	30
4.1.1 土壤硝态氮含量.....	30
4.1.2 土壤有机碳含量.....	31
4.2 土壤氮循环模拟结果	31
4.2.1 氮循环不同途径的变化特征.....	31
4.2.2 氮的植物吸收与淋溶.....	33

4.2.3 反硝化作用与地表降雨径流.....	34
4.2.4 土壤矿化作用.....	35
4.2.5 土壤总氮含量变化.....	37
4.3 土壤有机碳模拟结果	38
4.4 小结	39
第五章 管理措施情景模拟	40
5.1 施肥量降低	40
5.1.1 情景与条件.....	40
5.1.2 结果与讨论.....	41
5.2 香蕉秸秆还田处理	43
5.2.1 情景与条件.....	43
5.2.2 结果与讨论.....	44
5.3 改变灌溉方式	47
5.3.1 情景与条件.....	47
5.3.2 结果与讨论.....	47
5.4 小结	48
第六章 农业最佳管理措施和保障政策	50
6.1 管理措施	50
6.2 保障政策	51
第七章 总结	53
7.1 主要研究结论	53
7.2 创新点	55
7.3 不足与展望	55
参考文献	56
硕士期间主要科研成果	61
致 谢.....	62

Contents

Abstract.....	III
Contents	VII
Chapter 1 Introduction.....	1
1.1 Research significance.....	1
1.2 Progress of study on soil carbon and nitrogen cycles	3
1.2.1 Soil carbon cycle processes	3
1.2.2 Soil nitrogen cycle processes	3
1.2.3 Effects of mangement measures on soil carbon and nitrogen cycles.....	6
1.2.4 Progress of study on soil carbon and nitrogen cycles simulation	11
1.3 Study objective and content	13
1.3.1 Study objective.....	13
1.3.2 Study content	13
1.3.3 Study approach.....	14
Chapter 2 Study area	15
2.1 Natural conditions.....	15
2.1.1 Geographic location and geology and landforms	15
2.1.2 Hydrological and meteorological conditions.....	16
2.1.3 Soil types and vegetation cover conditions.....	17
2.2 Social economy conditions.....	18
2.3 Landuse conditions	19
Chapter 3 NCSWAP model and parameters setting.....	21
3.1 NCSWAP model description	21
3.2 Data source and parameters setting.....	23
3.2.1 Soil parameters	24
3.2.2 Plant growth parameters	27
3.2.3 Mangement measures parameters.....	28
3.2.4 Meteorological parameters	29
Chapter 4 Analyses of simulation results.....	30
4.1 Testing of simulation results.....	30
4.1.1 Soil nitrate nitrogen content.....	30
4.1.2 Soil oganic carbon content.....	31
4.2 Simulation results of soil nitrogen cycle.....	31
4.2.1 Characteristic Changes of different nitrogen cycle approach.....	31
4.2.2 Plantuptake and leaching	33

4.2.3 Dentrification and surface rainfall runoff	34
4.2.4 Soil mineralization	35
4.2.5 Soil total nitrogen content change	37
4.3 Simulation result of soil organic carbon	38
4.4 Brief summary	39
Chapter 5 Scenarios simulation of mangement measures	40
5.1 Reduce the fertilizer rate	40
5.1.1 Scenario and conditions	40
5.1.2 Results and discussion	41
5.2 Banana residue returning treatment	43
5.2.1 Scenario and conditions	43
5.2.2 Results and discussion	44
5.3 Change the irrigation mode	47
5.3.1 Scenario and conditions	47
5.3.2 Results and discussion	47
5.4 Brief summary	48
Chapter 6 Agricultural mangement measures and security policies	50
6.1 Mangement measures	50
6.2 Security policies	51
Chapter 7 Summary	53
7.1 Major research conclusion	53
7.2 Innovative points	55
7.3 Deficiency and prospects	55
References	56
Major publications	61
Acknowledgements	62

第一章 绪论

1.1 研究背景及意义

陆地生态系统碳循环是全球碳循环的重要组成部分,在全球碳收支平衡中占主导地位,土壤是陆地生态系统的核心,是联接大气圈、水圈、生物圈以及岩石圈的纽带,土壤碳循环研究主要是对土壤中有机碳(SOC)的行为进行研究。作物和微生物之间的相互作用,作为农业土壤SOC积累与稳定的主要驱动因素得到越来越多的研究和重视^[1]。土壤碳循环作为一个动态过程,一方面通过植被形成的凋落物、枯死根系及根系分泌物向土壤中输入碳素,同时土壤通过呼吸作用向大气中输出碳,此外还因径流和淋溶作用流失一定量的碳,这一过程受到多种物理因素和生物因素的控制,如气候、植被以及土壤的化学、物理学和生物学属性等,并存在各种因子间的相互作用。施肥等一系列农业管理措施既可改变土壤有机物的输入,又可通过改变小气候和土壤条件来影响土壤SOC的分解速率,从而影响SOC的循环过程。土壤中SOC的来源主要是植物凋落物,这些碳是微生物和植物的养分来源,并且SOC的活性直接影响到微生物对其它营养元素的利用效率,氮素的微生物利用效率是其中受影响最为严重的,SOC的活性还将影响到土壤有机氮的矿化、生物固化和无机氮的植物吸收等转化过程。

土壤中的氮素是植物生长所必需的营养元素,是农业生产过程中重要的养分限制因子,地球中能参与循环的氮素微乎其微,只包括海水和生物圈中的0.01%和大气中的1.90%^[2]。我国农业土壤的总氮(TN)含量通常在0.05~0.5%内,而可利用的无机氮含量仅占TN的1%左右,这就要求农业生产中必须施用大量的氮肥,研究表明我国各种肥料的氮总资源量的农业利用部分仅为32.7%,大量未利用的氮直接进入环境造成污染。造成土壤氮素流失的关键因素在于土壤—作物系统内未被作物吸收利用的氮素增加了土壤向水圈的氮素耗散强度^[3]。地表水的富营养化、地下水的硝酸盐富集以及大气温室气体含量的增加等一系列环境问题影响了社会经济的可持续发展和人类的健康。我国比较典型的37个主要湖泊都存在不同程度的富营养化趋势,其中营养型和中富营养型占55.8%,富营养型占14.7%,

重富营养型占8.8%^[4]，受污染的河流中70%的氮素来自于农业面源污染。SCOPE(国际科联环境问题科学委员会)1998~2001年的科学计划中就强调了“氮的循环和转化”，在全球变化与陆地生态系统、海陆相互作用等核心项目中把氮素的生物地球化学循环作为主要的内容。目前一般可将土壤中氮库划分为有机氮和无机氮，以有机氮为主，占土壤TN含量的95%以上，土壤中的氮素在微生物等因子的作用下发生一系列复杂的循环，其中包括生物固氮、有机氮矿化、植物吸收、反硝化、硝酸盐淋溶等。氮循环的各个过程受诸多环境因素的影响，包括土壤温度、水分条件、理化性质、碳氮比(C/N)、植物生长状况以及肥料的施用等。

土壤碳氮(C、N)循环是农业生态系统最基本的生态过程，并且了解土壤C、N循环是研究陆地生态系统C、N循环的重要前提。影响土壤C、N循环的因素包括土壤理化性质、水热条件和管理措施等，而农业生态系统强烈地受到人为作用的影响和调控^[5]，管理措施是其中最重要的影响因素之一，通过影响进入土壤中的肥料、植物残体的数量和性质、土壤水分条件、耕作条件等从而影响土壤碳素和氮素的各种转化过程，造成土壤碳素和氮素循环的差异。关于草地、农田生态系统有机氮的循环机制研究较多，人为因素对C、N循环的影响已经越来越受到重视，其中，管理措施对C、N循环产生的影响已成为当前的研究热点，而且仍然是未来研究的趋势。研究管理措施对土壤C、N循环的影响可为进一步控制土壤C、N流失提供理论依据，并且科学指导施肥等农业生产的关键环节。

自1999年起，以九龙江上游的五川小流域为定位研究基地，本课题组开展了不同土地利用类型下氮的循环过程的定位研究。Cao等^[6-8]、张玉珍、王吉萍、徐玉裕、李大鹏、黄一山^[9-13]先后对土壤氮的地表降雨径流、淋溶、矿化、反硝化等循环过程进行了实验测定和定量分析，积累了大量的实测数据，并分别采用模型模拟方法对一些氮循环的单个过程进行了模拟。研究得出不同的水分、施肥、耕作等管理措施因素是影响农田土壤氮素循环差异的重要原因。以上模拟研究仅限于季节尺度和单个氮循环的转化过程，且并未将碳和氮的循环结合起来进行研究。本研究注重于较长时间尺度和C、N循环综合过程的模拟，旨在探究较长时间尺度下流域土壤C、N循环过程、输出特征及管理措施因素对C、N循环的影响，为流域农业生产和氮素流失防治提供理论依据。

1.2 土壤碳氮循环国内外研究进展

1.2.1 土壤碳循环过程

这里的土壤碳循环主要指碳的生物循环过程,农作物等绿色植物吸收大气中的 CO_2 , 通过光合作用转变成有机质, 然后通过生物呼吸作用和细菌分解作用又从有机质转换为 CO_2 , 进入大气中(图 1-1)。

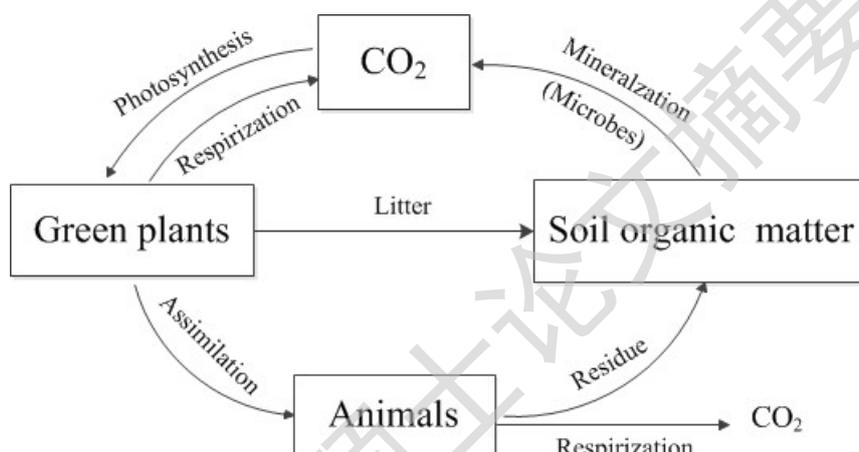


图 1-1 土壤碳生物循环过程(据陈庆强等, 1998^[14]修改)

Fig. 1-1 Soil biological carbon cycle processes(After Chen et al., 1998^[14])

土壤碳生物循环包括碳素在动植物和环境之间的迁移。绿色植物从大气中吸收 CO_2 , 经过光合作用等过程合成为植物体内的含碳化合物, 通过食物链的传递, 经过动物的同化作用转化为动物体内的含碳化合物。同时植物通过呼吸作用将一部分的含碳化合物转化为 CO_2 , 动物利用体内部分的含碳化合物分解产生的能量作为活动的来源, 并排出 CO_2 进入大气中, 另一部分则在机体内贮存。动植物死后残体中的碳由微生物分解成为 CO_2 最终排入大气。陆地上土壤 SOC 库是土壤地球化学碳循环研究的主要内容, 在组成上主要包括动植物及微生物的残体、排泄物及其分解产物和土壤腐殖质。

1.2.2 土壤氮循环过程

土壤中的氮主要以四种形态存在: 有机态氮、氨态氮($\text{NH}_4^+\text{-N}$)、硝态氮

(NO_3^- -N、 NO_2^- -N)、气态氮 (N_2 、 NH_3 、 NO_x)。土壤氮循环过程如图 1-2 所示，其中生物固定和氮沉降为氮的输入机制，植物吸收为氮的贮存机制，矿化作用为有机氮的内部转化机制，而反硝化作用、淋溶作用、氨挥发和地表降雨径流则归为氮的流失机制。但如果要观察土壤系统中氮的净变化量，植物吸收作用也归为氮损失机制，而矿化作用属于有机氮在土壤内部的转化。

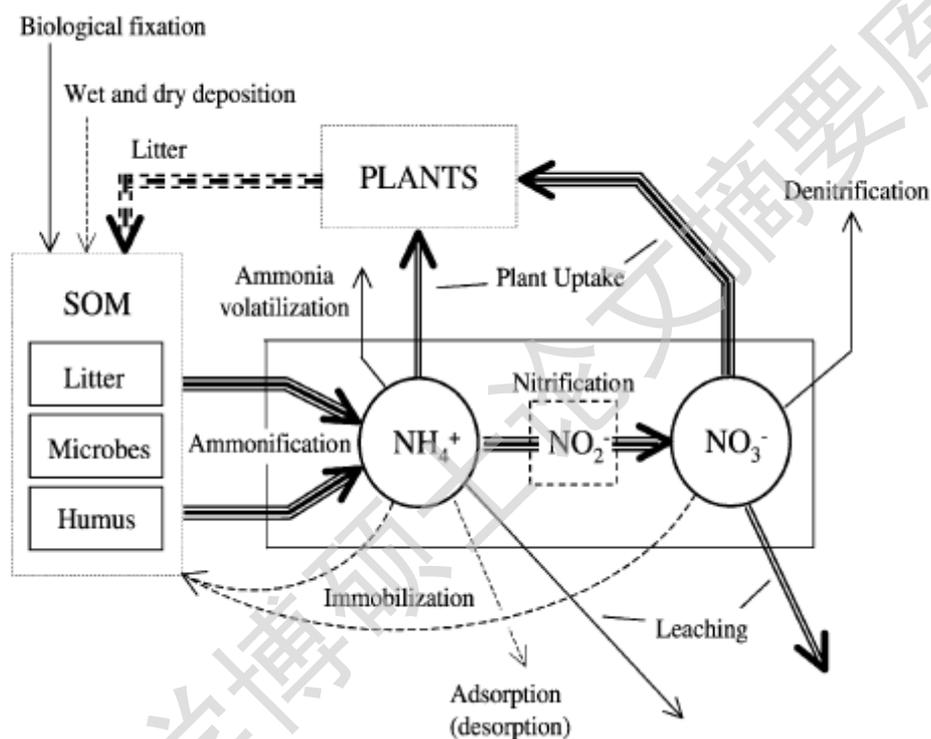


图 1-2 土壤氮循环过程(引自 Porporato 等, 2003^[15])

Fig. 1-2 Soil nitrogen cycle processes(After Porporato et al., 2003^[15])

土壤氮循环主要包括以下几个过程：

(1) 生物固氮和氮的干湿沉降(biological fixation, wet and dry deposition)

生物固氮是指土壤中固氮微生物、根瘤菌等将大气中的 N_2 还原成 NH_4^+ -N 进入土壤生态系统循环的过程。氮的干湿沉降是指大气中的 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 随着降雨等气象过程沉降进入陆地生态系统循环^[2]。事实上生物固氮和干湿沉降作用只占很小的比例，而大部分的氮素是由人类合成，以有机态或无机态氮肥形式，通过施肥途径进入土壤。

(2) 矿化作用(mineralization)

微生物分解有机物质摄取能量将有机氮转化为无机氮的过程叫矿化作用,有机被氮分解为无机氮,一部分的无机氮被微生物自身固定,另外一部分释放到土壤中供作物生长利用,这一过程被称为矿化—生物固化转换(turnover)过程。有机氮的矿化作用分为两步进行,首先是氨化(ammonification),有机氮转化为 $\text{NH}_4^+\text{-N}$,一部分的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 植物吸收利用,另一部分进入氮矿化的第二个阶段即硝化作用(nitrification)转化为 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 或 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 。有机氮的矿化过程受很多环境因素的影响,如土壤水分条件、理化性质、C/N、植物生长状况以及施肥条件等^[16]。

(3) 植物吸收(plant uptake)

植物吸收是指植物利用土壤中的无机态氮,通过吸收作用合成植物组织中的有机态氮的过程,不同的植物吸收无机氮的种类不同,水稻以吸收 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 为主,旱地作物在温暖湿润、通气良好的土壤中,幼苗期主要吸收 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 为主,而生育期以吸收 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 为主。植物吸收受到土壤水分条件、氮肥施用等因素的影响。

(4) 淋溶作用(leaching)

土壤中的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 只有一部分直接被植物吸收,另一部分易溶于水经淋溶作用流失,降雨或灌溉过多使 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 淋出至土壤深层造成地下水源污染,或以反硝化作用造成气态损失, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的淋溶与土壤质地、水分条件、施肥条件等因素密切相关^[17]。

(5) 反硝化作用(denitrification)

反硝化作用是指 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 被还原成 $\text{NO}_2^-\text{-N}$,进一步还原成 NH_3 和 NO_x 而挥发损失的过程。反硝化作用发生的基本条件是存在能进行反硝化作用的细菌、电子供体、缺氧的土壤环境和以 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 为主的电子受体等^[3],影响土壤中反硝化作用的主要因素是土壤水分条件、有机氮和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量等。

(6) 氨挥发(ammonia volatilization)

氨挥发是指土壤中的氮以 NH_3 的形式直接挥发到大气中。影响氨挥发的因素主要是土壤施肥方式与施肥量、温度和水分条件、风速等气象条件^[18]。

在农田生态系统中,土壤氮循环过程是以土壤—作物系统为基础,集各种物理、化学、生物作用为一体的综合过程,每个循环过程一方面对农业产量有着重要的影响,另一方面对大气、水体、土壤各个生物圈产生环境效应,因此,对农田系统土壤氮循环的过程和输出特征进行研究具有重要的科学意义。

综上所述, C、N 循环的各个循环过程具有特定的机理、影响因素及定量测量方法, 但各种循环过程都存在着相互作用, 并且土壤有机氮循环过程和 SOC 循环过程密切相关, 采用综合的系统分析方法将 C、N 循环的各个过程结合起来进行研究, 有利于得出全面和综合性的结论。模型模拟方法是一个重要的研究手段, 具有简便性、可预测性等优点, 在近二三十年来得到广泛的应用, 但大多数土壤氮素转化的模拟研究集中在短时间、小尺度上的单一循环过程, 且忽视氮循环各过程的交互作用和土壤 SOC 循环过程的影响, 缺乏对土壤—作物生态系统长期养分循环的动态过程的综合模拟。因此, 加强对土壤—作物生态系统中 C、N 行为的长期动态的模拟研究, 建立完善的 C、N 循环模型, 对于指导农业生产管理和减少环境污染都具有重要意义。

1.2.3 管理措施对土壤碳氮循环的影响

1.2.3.1 施肥条件

(1) 施肥量

施肥量会对土壤氮的矿化过程产生影响, 土壤矿化强度与施肥量存在明显的相关关系。2008 年, 李大鹏等^[11]用原位培养法对五川小流域土壤氮的矿化作用进行了研究, 结果发现施肥量较高的香蕉地, 其土壤氮矿化强度最高可达 $1.47 \text{ mg N kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, 土壤硝化速率平均为 $0.27 \text{ mg N kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, 而施肥量最高的菜地土壤硝化作用强度最高可达 $0.69 \text{ mg N kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

施肥量也是影响淋溶作用的重要因素, 过量施用氮肥可显著增加土壤 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量, 引起 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 在土壤中累积, 增加氮素淋溶的潜在风险, 超过正常施氮量时, 土壤 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 浓度随施氮量呈线性增加^[19]。1998 年, 范丙全等^[20]对玉米地的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量进行测定发现, 当施氮量达到 $112.5 \sim 150 \text{ kg N hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 时, 土壤 $100 \sim 150 \text{ cm}$ 的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量高达 $14.5 \sim 21.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 2007 年, 王吉苹^[21]研究表明甘蔗、香蕉和蔬菜等经济作物的施肥量较高, 土壤 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 淋溶流失量也偏高。

Ryden 和 Lund^[22]早期研究发现施肥量较大的作物土壤中, 由于反硝化损失的氮可达 $200 \text{ kg N} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$; Mahmood 等以及 Sanchez 等人^[23, 24]先后证实了施氮量对反硝化过程的促进作用, 在西班牙中部夏季灌溉土壤和小麦—水稻连作体系

中,反硝化作用的主要控制因子为土壤的 NO_3^- -N 浓度;2002 年,Strong 等^[25]研究表明,沙质土壤的反硝化速率和 NO_3^- -N 浓度的关系可以用 Michmelis-Menten 公式描述,土壤中 NO_3^- -N 浓度在 $40\sim 100 \mu\text{g N}\cdot\text{g}^{-1}$ 时,反硝化速率不受 NO_3^- -N 浓度影响,即呈零级反应,当土壤 NO_3^- -N 浓度低于 $40 \mu\text{g N}\cdot\text{g}^{-1}$ 时,呈一级反应,土壤溶液中 NO_3^- -N 的扩散速率是反硝化的决定性因素;2007 年,徐玉裕^[26]发现五川流域农业土壤在种植季节,施氮量与土壤的 NO_3^- -N 含量呈正相关关系,施氮量最高的蔬菜地的土壤反硝化强度达到 $0.6 \text{ kg N hm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 。

2009 年,乔云发等^[27]研究表明随着施氮量的增加, NH_3 挥发也增加;同年,王秀斌等^[28]研究表明, NH_3 挥发损失总量及其损失率均随施氮量的降低而降低,优化施肥可节省 30% 的氮肥施用量。

(2) 施肥种类

2009 年,陈兴丽等^[29]以不同施肥处理的玉米田为研究对象进行长期定位试验,并采用室内培养试验研究了不同施肥处理条件下玉米秸秆的 C、N 养分在土壤中的矿化特性,发现在玉米秸秆在加入土壤后的 60 d 的矿化过程中,矿化的量大小为有机肥和无机肥结合施肥 > 单一施肥 > 未施肥,这说明长期施用有机肥或化肥均能提高土壤的氮素肥力,但配施有机肥或秸秆处理显著提高了土壤 C、N 含量,改善土壤有机质的特性,增加土壤的活性有机氮库。并且长期施无机氮肥可能导致 SOC 的显著变化而不能达到稳态,由于微生物对无机肥氮素的强烈固定,从而对 SOC 的分解加快,变成 CO_2 排放进入大气中,产生环境热污染,使土壤 SOC 含量急剧下降而失衡。

(3) 有机肥性质

1993 年,黄志武等^[30]研究表明有机肥料 C/N 过高会引起微生物对氮素强烈的固定作用,严重影响作物生长;1996 年,李俊良等^[31]研究有机肥料 C/N 对肥料氮素释放和植物吸收的影响,发现有机肥料的 C/N 与有机氮的矿化速率呈显著的负线性相关,有机氮矿化的临界值为 17~21, C/N 下降到 14 时植物吸收氮量才显著增加。

1991 年 Vigil 和 Kissel, 以及 1995 年 Quemada 和 Cabrera^[32, 33]先后得出有机质所含碳素的有效性影响到有机氮矿化作用的结论,纤维素和木质素类物质由于其特殊的高分子化学结构,含有大量的不易分解的碳,可能降低氮的矿化率。1991

年, *Ocio* 等^[34]研究表明微生物以秸秆为碳源比以葡萄糖为碳源固定无机氮的进程慢得多, 葡萄糖+硫酸铵处理在培养 7 d 时铵被固定 90%, 而添加纤维素、木质素处理在培养 28 d 时铵仅分别被固定 40%和不足 5%。

(4) 施肥方式

施肥方式主要对氨挥发过程产生影响, 2008 年, 李鑫等^[35]研究表明不同施肥方式显著影响了土壤中 NH_3 的挥发强度, 撒施后灌水处理明显促进了氨挥发, 而撒施后翻耕和条施后覆土能有效抑制氨挥发。

1.2.3.2 水分条件

(1) 对土壤矿化作用的影响

国内外关于土壤水分对矿化过程影响的研究较多, 普遍认为在一定的范围内, 土壤水分含量的增加会导致矿化速率的增加, 但超过了一定的阈值, 则会导致矿化速率的减小。1972年, *Stanford*等^[36]对室内培养土壤的矿化作用进行模拟研究表明, 净氮矿化量与土壤水分含量呈显著正相关, 在-0.50~0.03 M Pa 达最大值, 最佳范围为-0.03~0.01 M Pa; 1982年, *Myers*等^[37]研究表明, 有机氮矿化的最佳水分含量为-0.01~0.03 M Pa; 1997年, *Quemada*和*Cabrera*^[38]的研究则表明含水量小于12%时, 土壤矿化速率随湿度升高而增加, 超过该值矿化速率明显下降。

(2) 对土壤反硝化作用的影响

不同的土壤含水量条件下, 土壤反硝化强度的差异较大。1991年, *Klemetsson*等^[39]发现土壤含水量也存在一个阈值, 当大于这个阈值时, 反硝化速率将会随着土壤水分增加而急剧增加, 当低于这个阈值时, 土壤反硝化速率与土壤水分含量相关性较差; 2001年, *Pu*等^[40]研究证明降雨能使土壤氮的反硝化损失量从12~38%提高到36~51%, 但土壤如果长期处于湿润还原状态, 硝化作用减弱, 不能给土壤反硝化提供足够多的 NO_3^- -N, 反硝化速率反而会下降。

(3) 对土壤淋溶作用的影响

旱地水分条件是氮素淋溶的决定因子。1981年, 彭琳等^[41]对旱地土壤 NO_3^- -N季节性变化与夏季休闲的培肥的增产作用进行研究, 发现降雨年际间的变化引起

了 NO_3^- -N淋溶流失的变化, 每2~3 mm的降雨可使土壤中的 NO_3^- -N下移1 cm; 2007年, 王吉莘^[21]对五川小流域土壤剖面渗漏水中的 NO_3^- -N含量进行测定, 研究表明在降雨季节(7~8月)渗漏水中的 NO_3^- -N含量达到全年最高值。灌溉方式通过影响土壤水分条件进而影响 NO_3^- -N在土壤中的移动, 施肥后进行大水漫灌可增加通过大孔隙向下迁移水肥的机会而增加氮素淋溶流失, 如果作物不在旺盛的生育期, 对水肥的需求不同步, 这种作用将更加明显。

1.2.3.3 耕作条件

(1) 翻耕频率

适当的少耕可以保护土壤的结构, 增强土壤微生物的活性, 减轻由土壤侵蚀引起的养分流失。2002年, Halvorson等^[42]研究表明小麦免耕产量高于常耕; 2007年, Soon等^[43]发现免耕和常耕措施下的土壤无机氮的含量没有差别, 但微生物氮含量有很大的差别, 免耕明显高于常耕, 而微生物氮含量与植物产量呈正相关; 1996年, Lopez-Bellido等^[44]得到了相同的结论, 然而也有研究表明常耕措施下小麦的产量和土壤中 NO_3^- -N的浓度高于免耕措施的研究证明了这一点结论, 常耕增强了土壤微生物新陈代谢的活性。

(2) 作物轮作和保护性耕作

一般情况下, 作物轮作条件下土壤可矿化氮含量高于连耕。2001年, Lopez-Bellido等^[45]研究表明小麦连作地的可矿化氮的量显著低于间作地和太阳花(*Helianthus annuus*)间作地; 1996年, 王人民等^[46]研究表明稻田年内水旱轮作地的晚稻产量比连作地的晚稻产量显著增加, 增产幅度为6.54~15.87%; 2010年, 余添等^[47]发现保护性耕作与水旱轮作和常规平作之间, 土壤的可矿化氮量存在显著的差异, 垄作免耕>厢作免耕>水旱轮作>常规平作。

(3) 作物残茬和秸秆还田利用

作物残茬覆盖和和秸秆还田处理不仅能增加土壤系统内部的养分循环利用率, 而且可以增强土壤的保土蓄水能力, 减少土壤 NO_3^- -N的流失。陈安磊等^[48, 49]对不同养分循环模式下土壤养分含量进行长年的定位研究, 发现农田生态系统中稻草等有机物的循环利用能显著提高土壤肥力, 土壤SOC、TN含量和氮的矿化

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库