

# 6 种类型有机肥的矿化特性研究

张帆, 王晨冰, 牛茹萱, 王鸿, 王发林

(甘肃农业科学院林果花卉研究所, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 采用室内培养法, 研究了西北地区日光温室栽培生产中常用的 6 种有机肥的碳、氮矿化特性。结果表明, 不同有机肥碳、氮的矿化量和矿化率(矿化量占总有机碳或氮的比例)的动态变化存在明显差异, 碳素矿化率在 25.7%~56.3%, 变异系数达 44.8%; 氮素平均矿化率为 16.6%~36.3%, 变异系数达 29.48%。不同类型有机肥相比, 鸡粪的平均碳、氮矿化累积量及矿化率显著高于羊粪和牛粪, 羊粪次之, 牛粪最小。

**关键词:** 有机肥; 碳素; 氮素; 矿化特性

**中图分类号:** S153

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-1463(2017)08-0029-05

doi: 10.3969/j.issn.1001-1463.2017.08.008

有机农业在国内近几年发展很快, 由于有机农业倡导不施用化肥, 只施用有机肥, 这一导向必然带来过量施用有机肥的问题, 而有机肥过量施用影响生态环境问题往往为人所忽视<sup>[1]</sup>。一些研究表明, 有机肥施入的氮量与化肥供应的氮素相当, 或高于化肥提供的氮素<sup>[2-3]</sup>, 但是施入的氮素如果不能被作物吸收利用, 会造成土壤氮素过量累积, 并会引发一系列的生态环境问题<sup>[4-7]</sup>。因此, 探明有机肥的氮素矿化特性, 不但是平衡施肥的基础<sup>[8]</sup>, 同时也对减少肥料用量, 提高氮素利用效率, 降低对生态环境的危害具有重要意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

供试土壤为甘肃农业科学院兰州桃园试验园内的 0~20 cm 耕层土壤, 有机质含量为 18.0 g/kg, 全氮含量为 4.7 g/kg, 全磷含量为 1.25 g/kg, 全钾含量为 3.05 g/kg, pH 8.2。供试有机肥由甘肃农业大学动物科学院养殖场提供, 包括牛粪(CtM1, 未腐熟), 堆肥牛粪(CtM, 腐熟)、羊粪(ShM1, 未腐熟)、堆肥羊粪(ShM, 腐熟); 鸡粪(ChM1, 未腐熟), 堆肥鸡粪(ChM, 腐熟), 各有机肥的基本理化性状见表 1。有机肥样品经过风干后粉碎过 1 mm 筛备用。

### 1.2 试验设计与方法

以上述 6 种不同类型有机肥为研究对象, 采用室内好气培养法研究有机肥碳、氮矿化特性。设不施有机肥对照(CK)和施用不同类型有机肥处理, 共 7 个处理, 重复 3 次。施用有机肥处理的有机肥加入量均按 N100 mg/kg 土壤(干基)进行折算。

1.2.1 有机肥氮矿化培养试验 参照张帆等<sup>[9]</sup>的方法, 即将 400 g 土(干重)与有机肥混匀后, 将含水量调至最大持水量的 70%。将处理好的土样装入 1 000 mL 的广口塑料瓶中, 用带有通气孔的塑料薄膜封口, 然后将广口塑料瓶放入培养箱中进行培养, 培养温度 25 °C ± 2 °C。2016 年 4 月 30 日开始培养, 每隔 5 d 用重量差减法补充水分。分别于第 30、60、90、120、150、180 d 进行取样,

表 1 不同类型有机肥的基本理化性质

有机肥	有机碳 /(g/kg)	全氮 /(g/kg)	C/N	铵态氮 /(mg/kg)	硝态氮 /(mg/kg)	pH
CtM1	300.9	21.7	18.5	625.2	348.6	7.9
CtM	270.1	14.2	26.1	720.3	377.2	7.8
ShM1	360.2	26.5	21.1	1 417.6	451.1	7.6
ShM	330.3	20.8	24.1	1 566.9	962.3	7.9
ChM1	380.7	30.0	19.4	1 257.0	538.1	7.8
ChM	340.3	24.4	22.1	1 417.6	538.1	8.4

收稿日期: 2017-03-27; 修订日期: 2017-05-20

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31460118)、甘肃省农业科学院中青年博士基金 (2016GAAS29)。

作者简介: 张帆(1976—), 女, 甘肃天水人, 助理研究员, 博士, 主要从事果树栽培生理与生长调控研究工作。联系电话: (0)15193113136。E-mail: zhanfan528@163.com。

通信作者: 王发林(1964—), 男, 河南南乐人, 研究员, 博士生导师, 主要从事果树栽培生理研究工作。E-mail: wangfalin@263.net。

样品一部分用以测定土壤含水量，一部分用来测定矿质氮(硝态氮和铵态氮)含量。

1.2.2 有机肥碳素矿化培养试验 有机肥碳素矿化试验与氮矿化试验同时进行，参照张帆等<sup>[9]</sup>的方法。取氮素矿化培养试验混好有机肥且调好含水量的培养土 30 g，将土样装入铝盒，再将铝盒放入 1 000 mL 的广口塑料瓶中，同时放入装有 0.01 mol/L NaOH 溶液的三角瓶(培养前期 NaOH 用量为 50 mL，培养前期 NaOH 用量调整为 20 mL)，然后密闭，最后将广口塑料瓶放入培养箱中进行培养。培养时间和培养温度、取样时间(将广口塑料瓶的三角瓶取出，放入装有刚配好的 0.01 mol/L NaOH 溶液的三角瓶)同氮矿化试验。换取三角瓶时，调节土壤含水量，取出的三角瓶用稀盐酸滴定法测定碳素矿化量。土壤碳素培养装置如图 1 所示。

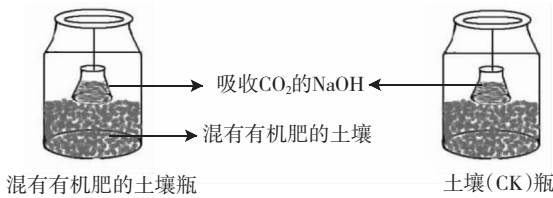


图 1 土壤碳矿化装置示意

1.3 测定项目及计算方法

土壤和有机肥的有机碳、全氮含量均采用常

规分析方法<sup>[10]</sup>。培养期间土壤矿质氮测定采用 1 mol/L KCl 溶液提取，提取液中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 含量用 Smartchem200 全自动化学分析仪测定，两者之和为矿质氮含量。有机肥中的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 用 0.01 mol/L CaCl<sub>2</sub> 提取，参照赵满兴的方法<sup>[10]</sup>，测定方法同土壤矿质氮的测定。有机肥矿化指标计算方法参照张帆等的方法<sup>[9]</sup>，即碳矿化量 = 培养一段时间后基质碳释放量；碳净矿化量 = 一段时间培养碳释放量 - 前一段时间的释放量；碳矿化率 = 碳矿化量 / 基础总碳量 × 100%；氮矿化量 = 培养一段时间基质中所含矿质氮含量 - 前一段时间基质中矿质氮；氮净矿化量 = 培养一段时间的矿质氮含量 - 该时段初矿质氮含量；氮矿化率 = 氮矿化量 / 基础氮含量 × 100%；氮残留率 = 培养结束时基质中有机氮 / 基础氮含量 × 100%。

1.4 数据处理

利用 Excel 软件进行数据统计和作图。采用 SPSS 统计软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 培养过程中不同类型有机肥的碳素释放特性

图 2 为不同类型有机肥在矿化过程中碳素释放特性。从图 2 可以看出，各处理的土壤碳释放累积量随培养时间的延长而不断升高，培养结束时，未堆肥鸡粪处理的土壤碳释放量最大(图 2-a)，堆肥羊粪碳释放量次之，堆肥牛粪处理的

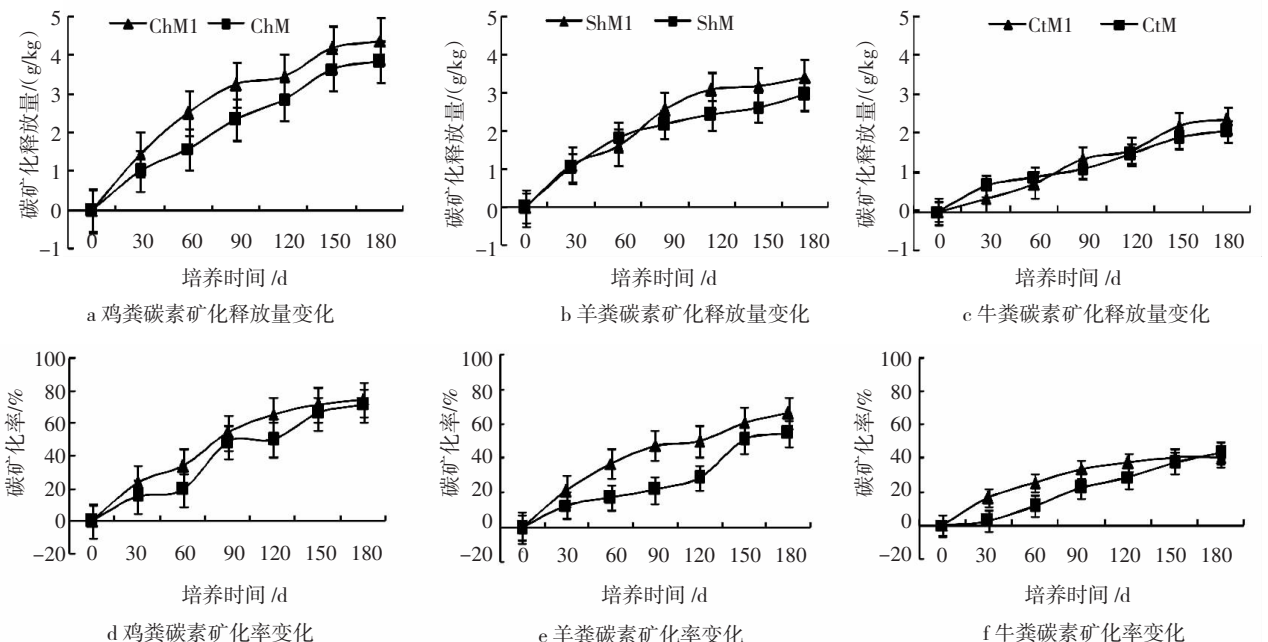


图 2 不同处理培养期间鸡粪、羊粪和牛粪碳素矿化动态变化

碳释放量最小(图2-c), 分别为 4.38、2.95、2.05 g/kg。有机肥加入土壤后, 各处理碳释放量均表现为前期(前30 d)矿化快, 而且鸡粪的平均矿化量明显大于羊粪和牛粪的平均矿化量; 后期(后30 d)矿化较慢, 矿化量明显降低。培养结束时, 碳释放量由大到小依次为 ChM1、ChM、ShM1、ShM、CtM1、CtM。

分析不同有机肥碳素矿化率的动态变化(图2-d、e、f), 相同种类有机肥在各培养时期的碳素矿化率并不相同, 但变化趋势基本相同, 培养前期(30 d前)上升快, 90 d以后基本保持平缓。培养结束时, 不同种类有机肥碳素矿化率的动态相比较, 鸡粪的碳素矿化率明显高于羊粪和牛粪, 羊粪和牛粪之间的碳素矿化率曲线也有较大差异( $p < 0.05$ )。同种类间的碳素矿化率分别均无显著差异。

## 2.2 氮素矿化特性

从图3可以看出, 不同有机肥的矿质氮含量均随培养时间的延长而不断升高, 增幅明显。90 d之后, 各处理的矿质氮含量相对保持稳定。培养结束时, 两种鸡粪的矿质氮含量均显著大于羊粪和牛粪, 羊粪与牛粪无显著差异。同种类有机肥氮素矿化量相比, 鸡粪、羊粪和牛粪各自处理间矿质氮变化不明显, 各处理间相比矿质氮含量由大到小依次为 ChM、ChM1、ShM、ShM1、CtM、CtM1(图3-a、b、c); 不同有机肥的净矿化氮含量随时间的变化呈不同的趋势(图3-d、e、f), 2种鸡粪在整个培养期间呈“先上升—后下降—波浪下降”趋势, 羊粪矿质氮含量变化整体先升后降, 而牛粪在培养后期发生微生物固持。培养末期, 施有机肥土壤中矿质氮含量由大到小依次为 ChM、ChM1、ShM、ShM1、CtM、CtM1。

有机氮的矿化作用受许多环境因素的影响。从图3-h、I、g分析得知, 随着培养时间的延长, 不同有机肥的有机氮变化趋势基本相同, 呈缓慢下降趋势。由于不同有机肥基础氮含量不同, 因而培养过程中各处理的有机氮有了不同程度的变化, 明显的各种有机肥堆肥后比未堆肥剩余有机氮少, 说明堆肥后有机肥养分含量逐渐趋于稳定。相同处理条件下, 培养末期, 施有机肥土壤的有机氮含量由大到小依次为 ShM1、ShM、ChM1、CtM1、ChM、CtM。

由不同有机肥氮素矿化率的动态变化(图3-k、l、m)可知, 不同种类及同一种类有机肥间的氮素矿化率动态均不相同, 特别是培养初期差异较大, 这与有机肥自身的理化性质差异有关。3种有机肥氮素平均矿化率为 32.28%, 最大为 ChM, 达 42.62%; 最小的为 CtM, 只有 22.10%。相同种类有机肥间的氮素矿化率相比, 动态变化曲线基本相同, 不同种类有机肥氮矿化率在培养期间趋势也呈一致, 培养结束时同种有机肥不同形式氮矿化率差异不显著( $P < 0.05$ ), 但不同有机肥有机氮矿化率差异显著( $P < 0.05$ )。这与有机肥自身的理化性质差异有关。

## 2.3 氮分解残留率的动态变化

氮的分解残留率是指不同有机肥料中的有机氮矿化分解一定时间后的残留率。由表2可知, 不同有机肥中氮的分解经历快速分解的阶段, 之后进入缓慢分解阶段。鸡粪分解的最快, 鸡粪和堆肥鸡粪 30 d后残留率为 76.0%和 68.6%, 180 d后则为 33.9%和 29.1%; 羊粪和堆肥羊粪 30 d后残留率为 81.0%和 73.3%, 180 d后为 40.6%和 39.2%; 牛粪分解相对于缓慢, 牛粪和堆肥牛粪 30 d后残留率为 86.4%和 71.3%, 180 d后为 51.5%和 43.7%, 牛粪有机氮的分解残留率远高于鸡粪和羊粪, 培养末期, 牛粪、鸡粪和羊粪的有机氮分解残留率最小为鸡粪, 最大为牛粪, 施有鸡粪的土壤中有有机氮残留量最少, 而施有牛粪土壤中有有机氮残留量最大, 施有羊粪土壤中有有机氮残留量次之。可见鸡粪有机氮矿化速度大于其余有机肥。

## 3 结论与讨论

研究表明, 供试的3种有机肥的6个不同形态处理在培养过程中碳、氮矿化特性差异较大。碳素平均矿化率为 41.0%, 变化范围为 25.7%~56.3%, 变异系数为 44.80%; 氮素平均矿化率为 26.45%, 变化范围为 16.6%~36.3%, 矿化率变异系数达 29.48%。这与不同有机肥的来源、理化性质、畜禽的种类等因素有关。供试的3种不同类型有机肥(即牛粪、羊粪、鸡粪)的碳、氮平均矿化量和矿化率相比, 鸡粪的碳、氮平均矿化量和矿化率显著高于羊粪和牛粪, 这与鸡粪的C/N比相对较小(平均比为20.75), 易激发土壤微生物活性和容易发生矿化作用有关<sup>[11-14]</sup>。

研究同时发现, 同一种类的有机肥不同形式

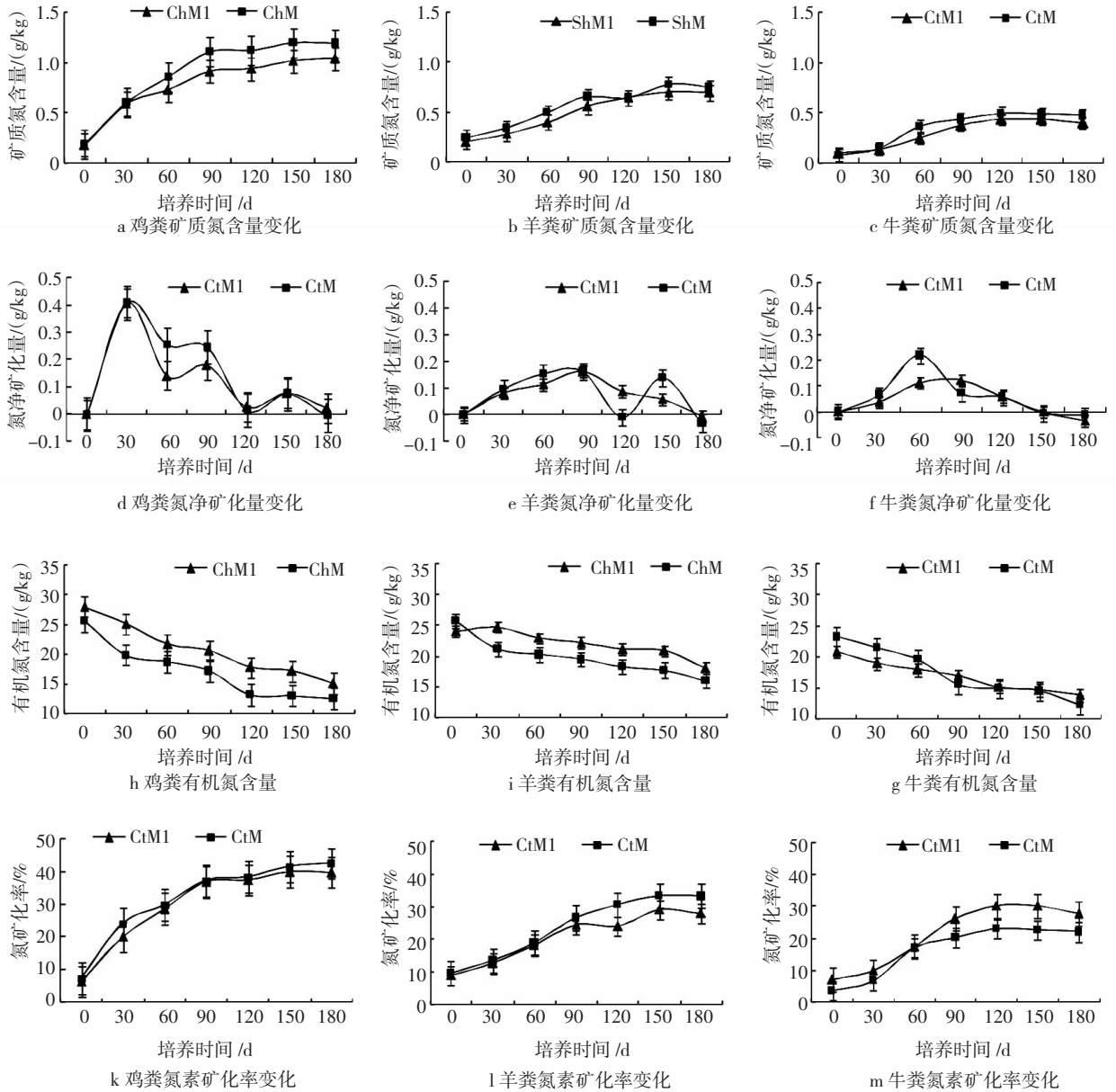


图3 不同有机肥(鸡粪、羊粪)矿质氮含量、氮净矿化量、有机氮含量和氮素矿化率的动态变化

表2 不同培养时间各处理有机肥中有机氮的分解残留率

处理	培养 30 d	培养 60 d	培养 90 d	培养 120 d	培养 150 d	培养 180 d	不同有机肥 残余率	同类有机肥 残余率
CtM1	86.4	82.0	71.9	63.2	60.7	51.5	69.28	63.16
CtM	71.3	64.9	58.6	53.1	50.7	43.7	57.05	
ChM1	76.0	65.8	62.5	56.2	44.0	33.9	56.40	53.64
ChM	68.6	64.4	59.2	45.5	38.5	29.1	50.88	
ShM1	81.0	75.3	72.8	59.3	51.9	40.6	63.48	60.80
ShM	73.3	71.0	60.1	55.9	49.2	39.2	58.12	

其碳、氮含量、矿化量和矿化率相比也存在差异。其中以供试的2种形态羊粪和牛粪的碳、氮含量及矿化量的差异最为明显,培养期间碳矿化量、

氮矿化量、碳矿化速率和氮矿化速率呈显著差异,其原因可能与动物饲料的来源、畜禽的年龄、有机肥的积制方式等因素不同有关<sup>[14]</sup>。沈其荣等<sup>[15]</sup>

研究表明, 纯羊粪与使用垫圈材料收集的羊粪的氮矿化特性明显不同, 纯羊粪比使用垫圈材料的氮矿化量显著高。赵明等<sup>[16]</sup>、黄向东等<sup>[17]</sup>对鸡粪、猪粪和牛粪及其对应的堆肥的矿化特性研究表明, 不同有机肥经堆制后其 C/N 比均显著上升, 而氮素的矿化量均显著低于未腐熟的粪肥。有人认为是有机肥的矿化速率、矿化量和矿化势受其 C/N、温度、湿度和理化性质的影响, 本研究中同一种类的有机肥碳、氮矿化量相比, 相同时期的碳矿化量极显著高于氮矿化量, 特别是在培养初期碳矿化量远远高于氮矿化量, 这是与微生物分解有机肥的特点有关<sup>[18]</sup>。不同有机肥的残留物是形成土壤腐殖质的重要物质, 是有机肥培肥土壤的重要指标。从本研究结果可以看出, 培养结束时不同有机肥有 10.32% ~ 33.75% 的有机碳和 43.80% ~ 59.4% 的氮残留在土壤中, 有机肥氮的平均残留率高于碳的残留率, 这与柳敏等人<sup>[19]</sup>的研究结果相同。不同有机肥的碳、氮残留率比较, 羊粪和牛粪的碳、氮残留量大于鸡粪, 表明在等量施氮量和同等矿化条件下, 羊粪和牛粪的培肥效果要好于鸡粪<sup>[20]</sup>。由于本试验是在实验室恒温培养条件下进行的, 矿化温度和水分条件均与日光温室有差别, 在实验室恒温培养条件下不同有机肥的矿化特性与实际生产中日光温室的矿化特性的差异有待进一步研究。

不同有机肥因来源和理化性质不同而其矿化特性表现为各异, 培养末期, 有机肥的碳氮矿化率和有机碳氮释放量以鸡粪最高, 羊粪次之, 牛粪最低。可见在等量施氮量和同等矿化条件下, 羊粪和牛粪作为培肥效果要好于鸡粪。

#### 参考文献:

[1] 姚丽贤, 周修冲. 有机肥对环境的影响及预防研究. 中国生态农业学报, 2005, 13(2): 113-115.

[2] JU X T, KOU C L, ZHANG F S, *et al.* Nitrogen balance and groundwater nitrate contamination: compares on among three intensive cropping systems on the North China Plain[J]. Environ. Polut, 2006, 143: 117-125.

[3] ZHOU J B, CHEN Z J, LIU X J, *et al.* Nitrate accumulation in soil profiles under seasonally open 'sunlight greenhouses' in northwest China and potential for leaching loss during summer fallow[J]. Soil Use Manage, 2010, 26: 332-339.

[4] 姚丽贤, 周修冲. 有机肥对环境的影响及预防研究

[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(2): 113-115.

[5] 金雪霞, 范晓晖, 蔡贵信. 菜地土壤氮素的主要转化过程及其损失[J]. 土壤, 2005, 37(5): 492-499.

[6] 袁新民, 同延安, 杨学云, 等. 有机肥对土壤 NO<sub>3</sub>-N 累积的影响[J]. 土壤与环境, 2000, 9(3): 197-200.

[7] 王朝辉, 宗志强, 李生秀, 等. 蔬菜的硝态氮累积和菜地土壤的硝态氮残留[J]. 环境科学, 2002, 23(3): 79-83.

[8] 黄德明. 十年来我国测土方法的进展[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(4): 495-499.

[9] 张帆, 王晨冰, 王鸿, 等. 基质矿化特性与生化性状协同效应的研究[J]. 干旱区地理, 2017, 40(1): 114-121.

[10] 赵兴满, 周建斌, 陈竹君, 等. 有机肥中可溶性有机碳、氮含量及其特征[J]. 生态学报, 2007, 27(1): 397-403.

[11] 韩晓日, 郑国砥, 刘晓燕, 等. 有机肥与化肥配合施用土壤微生物量氮动态、来源和供氮特征[J]. 中国农业科学, 2007, 40(4): 765-772.

[12] 王淑平, 周广胜, 孙长占, 等. 土壤微生物量氮的动态及其生物有效性研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(1): 87-90.

[13] 李俊良, 韩琅丰, 江荣凤, 等. 碳、氮比对有机肥料氮素释放和植物吸氮的影响[J]. 中国农业大学学报, 1996, 1(5): 57-61.

[14] 周博, 高佳佳, 周建斌, 等. 不同种类有机肥碳、氮矿化特性研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(2): 366-373.

[15] 沈其荣, 沈振国, 史瑞和. 有机肥氮素的矿化特征及其化学组成的关系[J]. 南京农业大学学报, 1992, 15(1): 59-64.

[16] 赵明, 蔡葵, 赵征宇, 等. 不同有机肥料中氮素的矿化特性研究[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(增刊): 146-149.

[17] 黄向东, 韩志英, 石德智, 等. 畜禽粪便堆肥过程中氮素的损失与控制. 应用生态学报[J]. 2010, 21(1): 247-254.

[18] 巨晓棠, 边秀举, 刘学军, 等. 旱地土壤氮素矿化参数与氮素形态的关系[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(3): 251-259.

[19] 武爱莲, 焦晓燕, 李洪建. 有机肥氮素矿化研究进展与展望[J]. 山西农业科学, 2010, 38(12): 100-105.

[20] 柳敏, 张璐, 宇万太, 等. 有机物料中有机碳和有机氮的分解进程及分解残留率[J]. 应用生态学报, 2007, 18(11): 2503-2506.

(本文责编: 郑立龙)