

日光温室栽培下不同种类有机肥氮素矿化特性研究

周博^{1,2}, 高佳佳^{1,3}, 周建斌^{1,3*}

(1 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100; 2 杨凌职业技术学院, 陕西杨凌 712100;
3 农业部西北植物营养与农业环境重点实验室, 陕西杨凌 712100)

摘要: 采用田间原位培养试验, 研究了日光温室栽培季节不同种类有机肥(鸡粪、猪粪及牛粪各 2 个)的氮素矿化特性。结果表明, 培养期间(180 d)供试的 6 个不同有机肥氮矿化率差异较大, 在 1.1% ~ 19.09% 之间, 平均 7.5%; 不同种类有机肥相比, 鸡粪的平均氮矿化量及矿化率最高, 其次为牛粪及猪粪, 这与鸡粪 C/N 比相对较高有关。各培养阶段有机肥的氮矿化量与相应阶段的土壤积温间的相关性未达显著水平, 但随着春季土壤温度增加, 这一阶段有机肥氮素的矿化量呈增加的趋势; 培养期间有机肥的氮素累积矿化量与日光温室土壤的积温呈显著的线性关系, 说明土壤温度是影响有机肥氮矿化量的重要因素。

关键词: 日光温室; 原位培养; 有机肥; 氮矿化

中图分类号: S141.2 文献标识码: A 文章编号: 1008-505X(2011)06-1531-07

Nitrogen mineralization characters from different types of organic manures in sunlight greenhouse

ZHOU Bo^{1,2}, GAO Jia-jia^{1,3}, ZHOU Jian-bin^{1,3*}

(1 College of Resource and Environmental Sciences, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2 Yangling Vocational and Technical College, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3 Key Laboratory of Plant Nutrition and the Agri-environment in Northwest China, Ministry of Agriculture, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: An in-situ experiment was carried out to study the nitrogen mineralization characters of different organic manures (chicken, pig, and cow manure) in the growth season of vegetable crop under sunlight greenhouse. The results showed that there were significant differences in the N mineralization rates among the six organic manures during the incubation period (180 days), which ranged from 1.10% to 19.09% with average 7.5%. The mineralized nitrogen and N mineralization rate of chicken manures were the highest, followed by cow manures, while pig manures were the lowest. This might results from the higher higher C/N ratio of the chicken manure. Although no significant relationship was found between the mineralized nitrogen and the accumulated temperature of soil in each incubation period, the nitrogen mineralization tended to increase with the rising of soil temperature in Spring. The accumulated N mineralization significantly linearly correlated to the soil accumulated temperature during the whole incubation period, indicating soil temperature is a key factor affecting N mineralization of organic manures.

Key words: sunlight greenhouse; in-situ experiment; organic manure; nitrogen mineralization

我国蔬菜生产中菜农有施用有机肥的传统, 有机肥的施用在为蔬菜作物提供养分, 改善土壤物理、化学及生物环境, 培肥地力方面发挥了重要作用。

近年来, 日光温室栽培蔬菜在我国北方地区发展十分迅速, 与露地相比, 日光温室栽培方式下有机肥的施用更为普遍, 用量更高^[1-5]。据我们在陕西关中

收稿日期: 2011-04-10

接受日期: 2011-07-11

基金项目: 陕西现代农业产业技术体系(蔬菜); 西北农林科技大学拔尖人才支持计划(2006)资助。

作者简介: 周博(1976—), 男, 陕西周至人, 博士研究生, 副教授, 主要从植物营养与调控研究。E-mail: zhouti2002@126.com

* 通讯作者 E-mail: jbzhou@nwsuaf.edu.cn

地区的调查,有机肥平均用量为 $1.95 \times 10^6 \text{ kg/hm}^2$ (鲜重),新建日光温室有机肥使用量十分高,最高有机肥用量达 $4.80 \times 10^6 \text{ kg/hm}^2$ (鲜重)。据一些研究,日光温室栽培下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^[6-7]。

然而,施肥实践中由于施用的有机肥的种类繁多,质量参差不齐,生产者常常只注重化肥供应的氮素而忽略了有机肥提供氮素的数量,导致过量施用氮肥问题较为普遍,盲目地大量施用有机肥,造成氮素损失(NH_3 挥发、硝化-反硝化等),带来了一系列的环境问题^[8-12]。

缺乏有效地评价有机肥供氮数量的方法是影响有机肥合理施用的原因之一。国内外虽有较多关于有机肥氮素矿化的报道^[13-18],但这些方法多是通过室内好气培养方式研究有机肥氮素矿化特性^[19-21],

其培养条件与日光温室栽培环境条件存在一定的偏差,具有一定的局限性。因此,本试验以陕西关中地区日光温室栽培常用的几种畜禽有机肥为对象,采用田间原位法评价了日光温室栽培期间有机肥氮素的矿化特性,旨在为日光温室栽培下合理施用有机肥提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

供试土壤采自陕西省杨凌示范区胡家底村1998年建棚的日光温室耕层土壤,样品风干后过2 mm筛备用。供试有机肥采自杨凌设施栽培基地附近的养殖场,包括6种不同来源的鸡粪、牛粪和猪粪(表1),样品经过风干粉碎过1 mm筛,备用。

表1 供试土壤及有机肥的基本理化性质

Table 1 Basic chemical and physical characters of three manures and soil

供试材料 Material	有机质 Organic matter (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	全磷 Total P (g/kg)	全钾 Total K (g/kg)	C/N
土壤 Soil	30.34	1.28	0.25	1.05	13.68
C-1	338.55	20.12	20.68	12.50	9.76
C-2	404.62	18.80	18.39	23.70	12.74
P-1	409.69	20.69	28.30	9.91	11.49
P-2	307.54	12.71	6.73	20.44	14.04
D-1	414.44	14.94	5.56	17.01	16.09
D-2	545.59	17.03	9.39	16.78	18.59

注(Notes): C-1—鸡粪1 Chicken manure 1; C-2—鸡粪2 Chicken manure 2; P-1—猪粪1 Pig manure 1; P-2—猪粪2 Pig manure 2; D-1—牛粪1 Cow manure 1; D-2—牛粪2 Cow manure 2.

1.2 试验设计及方法

试验设未施有机肥对照(CK)及施用上述6种有机肥处理,共组成7个处理。有机肥用量按施纯N量100 mg/kg土壤(干基)加入,每个处理重复3次。

采用田间原位培养法评价不同有机肥氮的矿化特性。称取160 g土样,加入相应的有机肥后充分混匀;再将上述混合物与粒径1 mm的石英砂按1:1比例混匀。将上述混合物装入外径5 cm、内径4 cm、高25 cm的有机玻璃柱(有机玻璃柱底部分布有均匀的小孔,装土前底部铺上一层玻璃棉,玻璃棉上铺1 cm的石英砂,石英砂上面再铺上一层玻璃棉)。装土过程中边摇边加压,以保证土柱紧实度上下一致。然后参考Stanford & Smith间歇淋洗法淋洗土柱中的矿质氮,即采用0.01 mol/L CaCl_2 淋洗,检查淋出液中无铵态氮及硝态氮后,再加50 mL

无氮营养液[0.002 mol/L $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、0.002 mol/L MgSO_4 、0.005 mol/L $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、0.0025 mol/L K_2SO_4]。隔夜放置,排除重力水后,将培养土柱的底部用塑料密封(防止底部发生养分及水分的交换)。然后埋入上述的日光温室(种植番茄)的种植垄上,进行田间原位培养(培养期间周围土壤管理与温室相同)。

在埋入培养土柱的同时,在试验日光温室土壤10 cm和20 cm处理入两组地温仪(TidbiT v2),地温仪每1小时记录数据一次。

培养期间每隔20 d将培养的土柱取出,带回实验室,采用上述的无氮营养液淋洗玻璃柱,收集淋洗液,保存在-20℃的冰箱中^[22-23]。再将玻璃柱重新埋入上述日光温室同一地点进行培养。田间原位培养从2008年11月26日开始,2009年6月19日结束,不计培养期间矿化氮在实验室的淋溶时间,共计

180 d。

1.3 测定及计算方法

土壤和有机肥的有机质、全氮、全磷、全钾均采用常规分析法^[24]。淋洗液中 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 和 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 含量用连续流动分析仪测定。

有机肥有机态氮矿化量根据各有机肥处理矿化总氮量减去对照处理矿化总氮量计算;有机肥氮素的矿化率根据有机肥处理的氮素净矿量除以加入的有机氮总量计算。计算每一天测定地温的平均值,然后将 10 cm 和 20 cm 的温度再进行平均计算,每一段的累积积温为该段时间内日平均地温的累积量。

1.4 数据处理

利用 Excel 表格进行数据统计和作图;采用

SAS 统计软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 培养期间地温的动态变化

由图 1 可以看出,培养期间日光温室土壤日平均温度在 11.98 ~ 24.85℃ 之间变化,平均地温为 16.76℃,累计积温为 2985.0℃。其中培养的第 40 ~ 80 d 地温较低,在 11.98 ~ 14.02℃ 之间,累计积温为 525.6℃,这与冬季温度降低有关。自 2009 年 3 月份开始,随着春季气候的转暖,土壤温度呈逐渐增加的趋势,其中培养第 160 ~ 180 d 时段累计土壤积温最高,达 462.9℃,平均地温达 23.15℃。

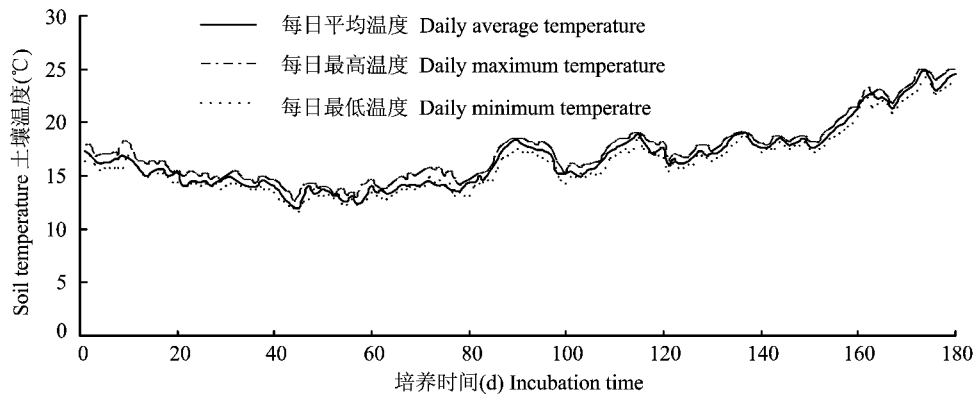


图 1 试验期间日光温室土壤日平均温度的动态变化

Fig. 1 Dynamics of daily average soil temperature during the incubation period in sunlight greenhouse

2.2 不同有机肥有机氮矿化的动态变化

2.2.1 不同培养阶段有机肥氮素矿化量的比较 从图 2 可以看出,在培养第 0 ~ 20 d,各处理有机肥的氮矿化量均为负值,这可能与加入有机肥后激发了土壤微生物的活性,促进了微生物对氮素的固持有关系^[25-26]。自培养第 20 d 到 140 d,各有机肥处理的

氮矿化量为正值,说明施用不同种类的有机肥均发生氮素矿化作用,其中第 80 ~ 100 d 期间有机肥的平均氮素矿化量最高,这与土壤温度的增加有关;培养第 140 d 后的两个阶段,牛粪及猪粪处理氮素矿化量出现负值,可能是有机肥中难降解物质开始分解的原因。

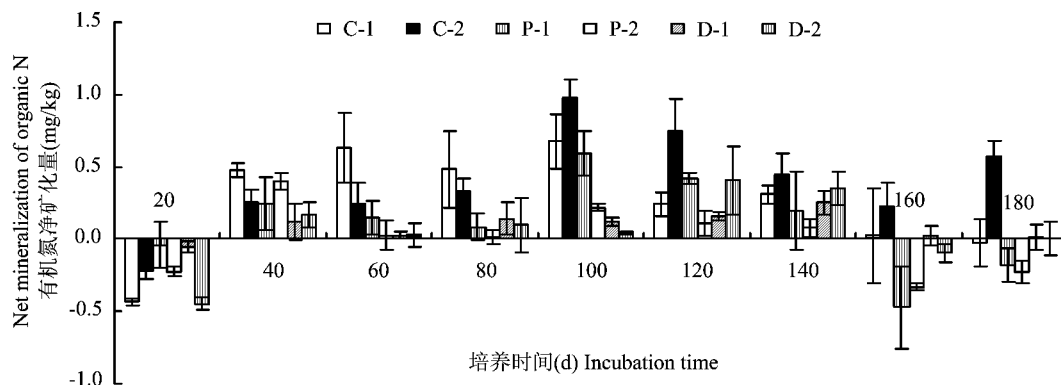


图 2 不同有机肥不同培养阶段矿化氮量的动态变化

Fig. 2 Mineralized nitrogen in different stages of the different types of organic manures

2.2.2 培养期间不同有机肥累积矿化氮量的动态变化 从图3可以看出,由于培养起始阶段发生了微生物对土壤氮素的固持作用,不同种类有机肥在培

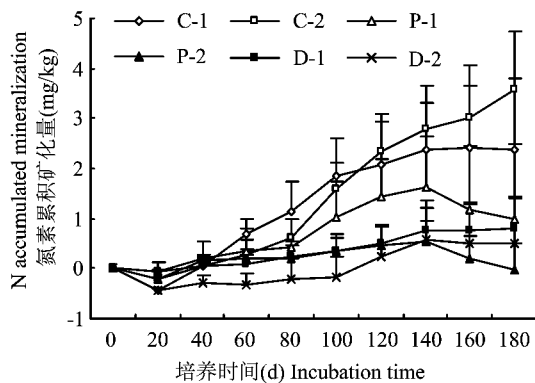


图3 不同有机肥培养期间累积矿化氮量的动态变化
Fig.3 The mineralized N accumulated during the incubation period of the different types of organic manures

养起始阶段的累积矿化氮量均为负值;随着培养时间的持续,有机肥累积矿化氮量逐渐增加。不同种类有机肥相比,鸡粪的累积矿化氮量最高,其次为牛粪,猪粪的最低。同一种类有机肥相比,鸡粪间的矿化氮累积量的动态变化基本相同,但累积矿化氮量存在显著差异;猪粪间和牛粪间的矿化氮累积量的动态变化基本相同,且累积矿化氮量均无显著性差异。

2.3 不同有机肥氮素矿化率

由表2可以看出,不同种类有机肥培养结束时氮素矿化量和矿化率差异较大,其中鸡粪C-2的氮素矿化量和矿化率均最大,其氮素矿化率达19.09%;而猪粪处理P-2的矿化量和矿化率均最小,氮素矿化率仅为1.06%。同一种类有机肥的氮素矿化量和矿化率也有较大的变异,鸡粪的氮素矿化量和矿化率最高,其次为牛粪,猪粪的最低。统计分析表明,鸡粪的氮矿化量和矿化率均显著高于猪粪和牛粪,猪粪和牛粪之间无显著差异。

表2 不同有机肥培养期间氮素矿化特性

Table 2 Nitrogen mineralization characters of the different types of organic manures

处理 Treatment	氮矿化量($\times 10^3$ mg/kg) N mineralized	平均矿化量($\times 10^3$ mg/kg) Average mineralization	氮素矿化率(%) Mineralization rate	平均矿化率(%) Average mineralization rate
C-1	2.39 b	2.99 a	11.88 b	15.48 a
C-2	3.58 a		19.09 a	
P-1	0.98 c	0.56 b	4.77 c	2.92 b
P-2	0.14 c		1.06 c	
D-1	0.79 c	0.65 b	5.29 c	4.10 b
D-2	0.50 c		2.92 c	

注(Note): 不同字母表示5%的显著性差异水平 Different little letters in the same column mean significant difference at 5% level.

2.4 有机肥氮素矿化量与温度的关系

由图4可以看出,随着土壤积温的不断上升,鸡粪、牛粪和猪粪的氮素累积矿化量不断上升,两者间呈显著的直线线性关系,说明有机肥氮素矿化量与土壤温度间具有密切的关系。不同种类有机肥氮素矿化量方程的斜率反映了氮素累积矿化量随温度的变化而变化,可以看出,相同温度下鸡粪的矿化量的增加显著高于猪粪和牛粪。

3 讨论

本文以研究地区日光温室生产中常用的有机肥为研究对象,比较了不同种类有机肥氮素的矿化特性。结果表明,供试的6种有机肥培养期间的氮素矿化特性存在较大差异,其中氮素矿化率在1.06%~

19.09%之间,变异系数达170.8%;同一种类的有机肥氮素矿化量和矿化率也存在较大差异,这与生产中有机肥的来源、积制方式等因素的不同有关。沈其荣等^[27]研究表明,纯猪粪与使用垫圈材料收集的猪粪的氮矿化特性明显不同,前者的氮矿化量显著高于后者。赵明等^[28]对鸡粪、猪粪和牛粪及其相应堆肥的矿化特性研究表明,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不堆制的粪肥。同为鸡粪,其C/N存在较大的差异,好气培养期间释放的氮量也存在显著差异^[20,29]。可见,不同种类有机肥及同一种类有机肥的氮素矿化特性存在明显的差异。因此,施肥实践中如何有效估计有机肥的供氮特性是一个具有挑战性的问题。

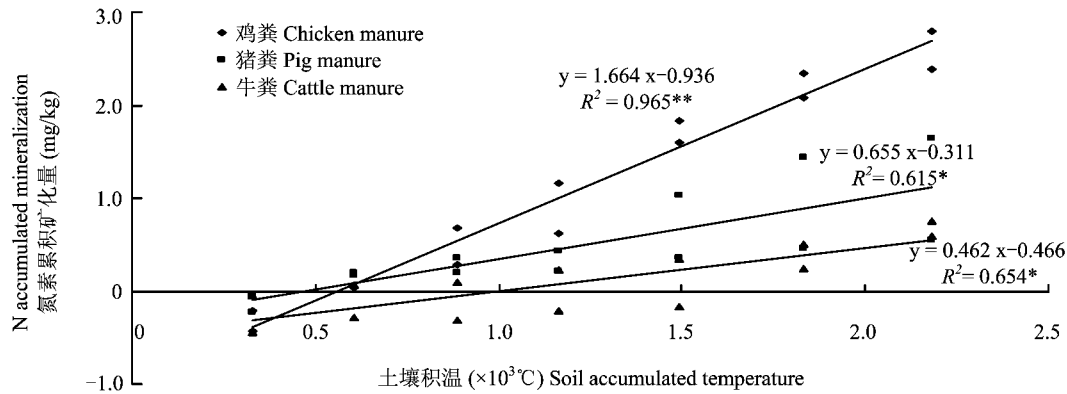


图4 不同有机肥氮矿化累积量与培养积温的关系

Fig. 4 The relationships between the mineralized N accumulated and soil accumulated temperature of the different types of organic manure

本研究供试的不同种类有机肥氮素矿化量和矿化率相比,鸡粪的氮素矿化量和矿化率最高,其次为牛粪,猪粪的最低。大量研究表明,影响有机肥氮素矿化量的因素较多,包括环境(温度、湿度)、C/N比等因素^[30]。本试验条件下,各处理的温度、湿度基本一致。因此,鸡粪的氮素矿化量和矿化率高与其C/N比相对较小,易激发土壤微生物活性,易发生矿化作用有关^[31-33]。其他学者试验也证明,C/N比较小的鸡粪氮素矿化量显著大于C/N比较大的猪粪和牛粪氮素矿化量^[20,34]。说明有机肥的氮素矿化量和矿化率与其自身的C/N比有密切关系,有机肥的C/N比是影响有机肥有机态氮矿化特性的主要动因。

本试验有机肥不同阶段的氮素累积矿化量与培养期间日光温室土壤的积温呈显著的线性关系,说明温度是影响有机肥氮素矿化的重要环境因素,其他学者的研究也得到类似规律^[35]。本研究中各培养阶段有机肥的氮矿化量与各培养阶段的土壤积温间的相关性未达显著水平,这可能与培养不同阶段有机肥的分解转化特性与土壤温度的变化不同步(越冬期间的低温阶段)有关。图2中培养80~100 d阶段不同有机肥的平均矿化量最高,这可能与春季土壤温度开始增加有关(图1),在一定程度上说明温度增加促进了有机肥氮的矿化。培养后期(140~180 d)有机肥氮素矿化量的降低与有机肥中易矿化氮素的大量矿化有关。与露地相比,日光温室栽培土壤温度较高,因此有机肥氮素的矿化特性无疑也不同于露地土壤,如何有效估计其氮素释放数量,值得进一步研究。

本研究采用田间原位培养的方法研究了不同种

类有机肥氮素在日光温室栽培下的矿化特性,与通常采用的室内培养法相比,这一方法具有与田间条件接近、更能反映田间情况下有机肥氮素的矿化特性。但应该看到,这一方法有机肥的矿化条件与田间实际环境还存在一定的差异,生产实践中植物根系的生长及吸收也会影响有机肥氮素的矿化;另外,培养管内的水分与田间实际情况也存在差异,室内淋溶后培养管内过高的水分含量可能导致氮素发生反硝化损失,可能低估有机肥氮素的矿化量。因此,有必要进一步通过田间试验评价不同有机肥氮素的矿化特性,以指导日光温室合理施用有机肥。

参考文献:

- [1] 杨玉爱. 我国有机肥料研究及展望[J]. 土壤学报, 1996, 3(4): 14-453.
Yang Y A. Perspectives of organic fertilizer research in China[J]. Acta Pedol. Sin., 1996, 33(4): 414-453.
- [2] 徐福利, 梁银丽, 陈志杰, 等. 延安市日光温室蔬菜施肥现状与环境效应[J]. 西北植物学报, 2003, 23(5): 797-801.
Xu F L, Liang Y L, Chen Z J et al. The study of fertilizer application and its effect to environment in sunlight greenhouse in Yan'an[J]. Acta Bot. Bor-Occid. Sin., 2003, 23(5): 797-801.
- [3] 张亚丽, 张娟, 沈其荣, 王金川. 秸秆生物有机肥的施用对土壤供氮能力的影响[J]. 应用生态学报, 2002, 13(12): 1575-1578.
Zhang Y L, Zhang J, Shen Q R, Wang J C. Effect of combined application of bioorganic manure and inorganic nitrogen fertilizer on soil nitrogen supplying characteristics[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2002, 13(12): 1575-1578.
- [4] 周建斌, 翟丙年, 陈竹君, 等. 西安市郊区日光温室大棚番茄施肥现状及土壤养分累积特性[J]. 土壤通报, 2006, 37(2): 2287-2290.

- Zhou J B, Zhai B N, Chen Z J *et al.* Fertilizers application and nutrient accumulations in tomato-grown soils under greenhouse condition in the Suburban of Xi'an city[J]. *Chin. J. Soil Sci.*, 2006, 27(2): 2287-2290.
- [5] 徐福利, 梁银丽, 杜社妮, 陈志杰. 杨凌示范区日光温室蔬菜施肥现状及存在问题对策[J]. *西北农业学报*, 2003, 12(3): 124-128.
- Xu F L, Liang Y L, Du S N, Chen Z J. Fertilization situation analyses and question countermeasure of vegetable in sunlight greenhouse of yangling demonstration zone [J]. *Acta Agric. Bor-Occid. Sin.*, 12(3): 124-128.
- [6] Ju X T, Kou C L, Zhang F S, Christie P. Nitrogen balance and groundwater nitrate contamination; compares on among three intensive cropping systems on the North China Plain[J]. *Environ. Pollut.*, 2006, 143: 117-125.
- [7] 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.
- [8] 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.
- Yao L X, Zhou X C. Impact of organic manure on the environment and its corresponding preventive researches [J]. *Chin. J. Eco-Agric.*, 2005, 13(2): 113-115.
- [9] 徐阳春, 沈其荣. 有机肥和化肥长期配合施用对土壤及不同粒级供氮特性的影响[J]. *土壤学报*, 2004, 41(1): 87-93.
- Xu Y C, Shen Q R. Influence of long-term combined application of manure and chemical fertilizer on supplying characteristics of nitrogen in soil and soil particle fractions[J]. *Acta Pedol. Sin.*, 2004, 41(1): 87-93.
- [10] 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.
- Jin X X, Fan X H, Cai G X. Nitrogen transformation and losses in soils grown with vegetables[J]. *Soils*, 2005, 37(5): 492-499.
- [11] 袁新民, 同延安, 杨学云, 等. 有机肥对土壤 NO_3^- -N 累积的影响[J]. *土壤与环境*, 2000, 9(3): 197-200.
- Yuan X M, Tong Y A, Yang X Y *et al.* Effect of organic manure on soil nitrate nitrogen accumulation[J]. *Ecol. Environ. Sci.*, 2000, 9(3): 197-200.
- [12] 王朝辉, 宗志强, 李生秀, 陈宝明. 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.
- Wang Z H, Zhong Z Q, Li S X, Chen B M. Nitrate accumulation in vegetables and its residual in vegetable fields [J]. *Environ. Sci.*, 2002, 23(3): 79-83.
- [13] Lind A M, Deboz K K, Maag M. N. Balance for mineral N on spring barley cropped sandy loam and coarse sandy soil with mineral and organic fertilizers[J]. *Acta Agric. Scand.*, 1995, 45(1): 39-50.
- [14] Agehara S, Warncke D. Soil moisture and temperature effects on nitrogen release from organic nitrogen sources[J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2005, 12: 69-73.
- [15] 鲁彩艳, 陈欣. 不同施肥处理土壤及不同 C/N 比有机物料中有机 N 的矿化进程[J]. *土壤通报*, 2003, 34(4): 28-31.
- Lu C Y, Chen X. Mineralization process of soil organic nitrogen in different fertilizer systems and organic materials with different [J]. *Chin. J. Soil Sci.*, 2003, 34(4): 28-31.
- [16] 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.
- Ju X T, Bian X J, Liu X J *et al.* Relationship between soil nitrogen mineralization parameter with several nitrogen forms[J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2000, 6(3): 251-259.
- [17] 周才平, 欧阳华. 温度和湿度对暖温带落叶阔叶林土壤氮矿化的影响[J]. *植物生态学报*, 2001, 25(2): 204-209.
- Zhou C P, Ouyang H. Temperature and moisture effects on soil nitrogen mineralization in deciduous broad-leaved forest [J]. *J. Plant Ecol.*, 2001, 25(2): 204-209.
- [18] 巨晓棠, 刘学军, 张福锁. 尿素配施有机物料时土壤不同氮素形态的动态及利用[J]. *中国农业大学学报*, 2002, 7(3): 52-56.
- Ju X T, Liu X J, Zhang F S. Dynamics of various nitrogen forms in soil and nitrogen utilization under application urea and different organic materials[J]. *J. China Agric. Univ.*, 2002, 7(3): 52-56.
- [19] 巨晓棠, 李生秀. 培养条件对土壤氮素矿化的影响[J]. *西北农业学报*, 1997, 2: 12-14.
- Ju X T, Li S X. The influence of incubation conditions on soil nitrogen mineralization [J]. *Acta Agric. Bor-Occid. Sin.*, 1997, 2: 12-14.
- [20] 叶静, 安藤丰, 符建荣, 等. 不同有机肥对土壤中的氮素矿化及对化肥氮固持的影响[J]. *浙江农业学报*, 2008, 20(3): 176-180.
- Ye J, Ho Ando, Fu J R *et al.* Effects of different organic manures on N mineralization and N retention in the soil[J]. *Acta Agric. Zhejiangensis*, 2008, 20(3): 176-180.
- [21] 马正华, 宋维秀, 魏国良. 菜地土壤有机肥转化试验[J]. *青海大学学报(自然科学版)*, 2002, 20(3): 10-12.
- Ma Z H, Song W X, Wei G L. Experiment on transformation of organic manure in vegetable soil [J]. *J. Qinghai Univ.*, 2002, 20(3): 10-12.
- [22] Schloter M, Bach H J, Metz S *et al.* Influence of precision farming on the microbial community structure and functions in nitrogen turnover[J]. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 2003, 98: 295-304.
- [23] Joergensen R G, Potthoff M. Microbial reaction in activity, biomass, and community structure after long-term continuous mixing of a grassland soil[J]. *Soil Biol. Biochem.*, 2005, 37, 12492-1258.
- [24] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- Bao S D. Chemical analysis in soil and plant (3rd ed.) [M]. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2000.
- [25] 朱兆良, 文君孝. 中国土壤氮素[M]. 南京: 江苏科学技术

- 出版社, 1992.
- Zhu Z L, Wen Q X. Nitrogen in soils of China [M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1992.
- [26] Aoyama M, Nozawa T. Microbial biomass nitrogen and mineralization-immobilization processes of nitrogen in soils incubated with various organic materials[J]. Soil Sci. Plant Nutr., 1993, 39: 23-32.
- [27] 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.
- Shen Q R, Shen Z G, Shi R H. The characteristics of mineralization of nitrogen in organic manure and its relation to chemical composition of organic manure[J]. J. Nanjing Agric. Univ., 1992, 15(1): 59-64.
- [28] 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.
- Zhao M, Cai K, Zhao Z Y *et al.* Characteristics of NO_3^- -N and NH_4^+ -N mineralization from different organic fertilizers[J]. J. Agro-Environ. Sci., 2007, 26 (Suppl.): 146-149.
- [29] 李俊良, 韩琅丰, 江荣风, 张福锁. 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.
- Li J L, Han L F, Jang R F, Zhang F S. Effects of C/N on the release of nitrogen from organic manures and of nitrogen absorbed by plant[J]. J. China Agric. Univ., 1996, 1(5): 57-61.
- [30] 田茂洁. 土壤氮素矿化影响因子研究进展[J]. 西华师范大学学报(自然科学版), 2004, 25(3): 298-303.
- Tian M J. Review on the contributing factors to mineralization of soil nitrogen[J]. J. China West Normal Univ. (Nat. Sci.), 2004, 25(3): 298-303.
- [31] 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.
- Han X R, Zhen G D, Liu X Y *et al.* Dynamics, sources and supply characteristic of microbial biomass nitrogen in soil applied with manure and fertilizer[J]. Sci. Agric. Sin., 2007, 40(4): 765-772.
- [32] 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.
- Wang S P, Zhou G S, Sun C Z *et al.* The dynamics of soil microbial biomass nitrogen and its biological availability[J]. Plant Nutr. Fert. Sci. 2003, 9(1): 87-90.
- [33] 李俊良, 东先旺, 梁素娥, 等. 有机肥料不同培养法氮素释放特点及其与作物吸氮关系的研究[J]. 莱阳农学院学报, 1994, 11(4): 245-248.
- Li J L, Dong X W, Liang S E *et al.* The study of release law of nitrogen in manure and relationship between the accumulated amount of release nitrogen in manure and the nitrogen absorbed by crop[J]. J. Laiyang Agric. Coll., 1994, 11(4): 245-248.
- [34] 黄耀, 沈雨, 周密, 马瑞升. 木质素和氮含量对植物残体分解的影响[J]. 植物生态学报, 2003, 27(2): 183-188.
- Huang Y, Shen Y, Zhou M, Ma R S. Decomposition of plant residue as influenced by its lignin and nitrogen[J]. J. Plant Ecol., 2003, 27(2): 183-188.
- [35] 马力, 杨林章, 颜廷梅, 等. 长期施肥水稻土氮素剖面分布及温度对土壤氮素矿化特性的影响[J]. 土壤学报, 2010, 47(2): 286-294.
- Ma L, Yang L Z, Yan T M *et al.* Profile distribution and mineralization characteristics of nitrogen in relation to temperature in paddy soil under long-term fertilization[J]. Acta Pedol. Sin., 2010, 47(2): 286-294.