

长期施用不同肥料的土壤有机氮组分变化特征

张玉树^{1,2}, 丁洪^{1*}, 王飞¹, 郑祥洲¹, 翁伯琦¹, 林诚¹, 张晶¹

(1.福建省农业科学院土壤肥料研究所, 福州 350013; 2.南京师范大学地理科学学院, 南京 210023)

摘要:采用 Bremner 有机氮分级方法研究了 30 年施用不同肥料的长期定位试验耕层土壤有机氮组分变化特征。结果表明, 与不施肥(CK)处理相比, 长期施用不同肥料均提高了耕层土壤全氮和有机氮含量, 所增加的有机氮中酸解性氮和非酸解性氮各占一半左右, 其中增加的酸解性氮有 69.0% 为未知态氮, 21.0% 为氨基酸氮, 6.6% 为氨基糖氮, 3.4% 为氨态氮。与单施化肥(NPK)相比, 牛粪/稻草与化肥配施能进一步提高土壤全氮和有机氮含量, 但是不同种类的有机肥与化肥配施所增加有机氮的组分有明显差异; 其中牛粪与化肥配施处理(NPKM)所增加的有机氮有 60.0% 为酸解性氮, 而稻草与化肥配施处理(NPKS)中所增加的有机氮有 71.7% 为非酸解性氮。牛粪与化肥长期配施有利于提高土壤酸解性氮含量, 而稻草与化肥配施则有利于提高非酸解性氮含量。

关键词:长期定位试验; 施肥; 有机氮组分

中图分类号: S155.2 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2014)10-1981-06 doi:10.11654/jaes.2014.10.015

Characteristics of Organic Nitrogen Fractions in Soils Under Long-term Different Fertilization

ZHANG Yu-shu^{1,2}, DING Hong^{1*}, WANG Fei¹, ZHENG Xiang-zhou¹, WENG Bo-qi¹, LIN Cheng¹, ZHANG Jing¹

(1. Institute of Soil and Fertilizer, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013, China; 2. School of Geography Sciences, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

Abstract: A better understanding of organic nitrogen (N) fractions in soils under long-term fertilization is critical to the regulation of N fertilizers and eco-environmental quality. In this study, an organic N fractionation method by Bremner was used to examine the characteristics of soil organic N fractions under long-term applications of different fertilizers. Compared to no fertilizer (CK) treatment, total N and organic-N in soils increased under long-term fertilization. About half of the increased organic-N was acid-hydrolysable N and the rest was non-acid hydrolysable N. Of the increased acid hydrolysable N, hydrolysable unidentified N, amino acid N, amino sugar N and ammonia N accounted for about 69.0%, 21.0%, 6.6%, and 3.4%, respectively. Total N and organic-N in the soils applied with organic fertilizers plus chemical fertilizers were higher than those with chemical fertilizer alone. However, organic-N fractions changed differently under different organic fertilizers. In the soils applied with cattle manure combined with chemical fertilizers (NPKM), about 60.0% of the increased organic-N was acid-hydrolysable N, while 71.7% was non-acid hydrolysable N in the soils with straw plus chemical fertilizers (NPKS). These results indicate that the composition of organic materials would have great impact on the fractions and availability of organic N in soils.

Keywords: long-term field experiment; fertilization; organic nitrogen fraction

氮素是作物生长主要限制因子之一, 土壤氮素主要以有机氮的形态存在^[1]。有机氮在维持土壤无机氮供

应能力方面具有重要的意义, 然而大部分有机氮不能直接被植物吸收利用, 必须通过矿化作用才能转化为可被植物吸收利用的无机氮, 是无机氮的源和库^[2,3]。有机氮组分结构是影响土壤氮素有效性的重要因子^[4]。目前研究土壤有机氮组分主要还是采用 Bremner 提出的酸水解分级方法^[5], 该方法将土壤有机氮分为酸解性氮和非酸解性氮, 其中酸解性氮由氨基酸氮、氨基糖氮、氨态氮和酸解未知态氮组成。不同有机氮组分的化学形态及其存在状况与无机氮供应能力密

收稿日期: 2014-08-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(41401339, 31270556); 福建省自然科学基金项目(2014J01145); 公益性行业(农业)科研专项(201003014-6-1-2, 201203030); 福建省科技重大专项(2012NZ0002)

作者简介: 张玉树(1980—), 男, 福建安溪人, 硕士, 助理研究员, 主要从事土壤氮循环研究。E-mail: zys3505@126.com

* 通信作者: 丁洪 E-mail: hongding@china.com

切相关^[6],了解有机氮组分结构变化特征对深入认识土壤肥力演变和合理施肥均具有重要的参考意义。

大量研究表明有机肥施用能显著提高土壤有机氮含量^[7-9],但不同种类有机肥本身理化性质差异明显^[10-12],有机肥施用所增加的有机氮在各组分中的分配比例可能也不相同,直接影响土壤氮素有效性。然而,目前不同种类有机肥对土壤有机氮组分变化特征影响的对比研究较少,不同有机肥对土壤有机氮各组分变化的贡献率仍不明确。本文选择30年长期定位试验耕层土壤作为研究对象,采用Bremner有机氮分级方法,研究不同施肥处理对土壤有机氮含量及其组分构成的影响,旨在为合理施肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验处理

供试土壤采自农业部福建耕地保育科学观测实验站肥力长期监测试验田(福建省闽侯县白沙镇,119°04'10"E,26°13'31"N),试验点年均气温19.5℃,年均降雨量1350 mm。土壤类型为水稻土,发育于酸性花岗岩母质。长期定位试验始于1983年,4个处理分别为不施肥(CK)、单施化肥(NPK)、牛粪与化肥配施(NPKM)和稻草与化肥配施(NPKS)。每个处理3次重复,小区面积为12 m²(4 m×3 m),随机排列。种植作物为单一水稻,1983年至2004年为双季稻轮作后冬闲,2005年至2012年为单季稻后休闲。水稻品种每3~4年更换1次,均为当地主栽品种。定位试验初始耕层土壤的理化性状为:pH 4.9、有机质21.6 g·kg⁻¹、速效氮141.0 mg·kg⁻¹、速效磷24.0 mg·kg⁻¹、速效钾41.0 mg·kg⁻¹。

所有施肥处理(NPK、NPKM和NPKS)施用的化肥品种和施用量相同,每茬水稻的氮、磷、钾施用量分别为103.5 kg N·hm⁻²、27.0 kg P₂O₅·hm⁻²和135.0 kg K₂O·hm⁻²。供试化肥分别为尿素、过磷酸钙、氯化钾,其中尿素和氯化钾50%作为基肥施用、50%作为分蘖

肥施用,过磷酸钙全部基施。牛粪与化肥配施处理(NPKM)在每季水稻种植前施用3750 kg·hm⁻²牛粪(干基),稻草与化肥配施处理中所有稻草全部还田(每茬平均还田量约为5200 kg·hm⁻²)。牛粪和稻草养分含量多年平均值分别为有机碳228.7 g·kg⁻¹、N 15.8 g·kg⁻¹、P₂O₅ 8.8 g·kg⁻¹、K₂O 11.7 g·kg⁻¹和有机碳375.5 g·kg⁻¹、N 11.0 g·kg⁻¹、P₂O₅ 3.8 g·kg⁻¹、K₂O 20.4 g·kg⁻¹。

1.2 样品采集与分析方法

于2013年5月种植水稻前采集各试验小区耕层土壤样品,取样深度为0~15 cm,每个小区按S型随机采集6个子样点混合成一个土样,共12个样品。风干后用于土壤基本性质和有机氮组分测定。土壤理化性质测试参照土壤农化分析方法^[13]。土壤有机氮组分采用Bremner有机氮分级方法^[5]。其中,酸解性氮采用凯氏法测定;氨态氮采用MgO氧化蒸馏法测定;氨+氨基糖氮采用磷酸-硼砂缓冲液(pH 11.2)蒸馏法测定;氨基酸氮采用茚三酮氧化、磷酸-硼砂缓冲液蒸馏法测定;未知态氮、氨基糖氮和非酸解性氮通过差减法求得。

1.3 数据统计方法

试验数据采用SPSS 18.0和Origin 9.0软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 长期施用不同肥料对土壤全氮、酸解性氮和非酸解性氮的影响

从表1可以看出,土壤中全氮主要以酸解性氮形态存在,占68.0%~82.1%,非酸解性氮占17.9%~32.0%;长期施肥提高了非酸解性氮比例,降低了酸解性氮比例。NPK、NPKM和NPKS处理的全氮含量分别比CK处理提高23.4%、53.4%和52.2%,其中NPKM和NPKS处理达到5%显著水平。土壤中酸解性氮和非酸解性氮含量均随全氮含量的提高而提高(图1, $P < 0.01$)。线性回归斜率表明,与CK处理相比,施肥

表1 不同施肥处理对土壤全氮、酸解性氮和非酸解性氮的影响

Table 1 Effects of different fertilization on total N, acid-hydrolysable N and non-acid hydrolysable N in soils

处理	全氮/g·kg ⁻¹	酸解性氮		非酸解性氮	
		含量/g·kg ⁻¹	比例/%	含量/g·kg ⁻¹	比例/%
CK	1.235±0.052c	1.014±0.037c	82.1±3.1a	0.221±0.045d	17.9±3.1c
NPK	1.524±0.026b	1.178±0.064b	77.3±3.9ab	0.347±0.059c	22.7±3.9bc
NPKM	1.895±0.009a	1.400±0.049a	73.9±2.6b	0.495±0.050b	26.1±2.6b
NPKS	1.880±0.021a	1.278±0.058b	68.0±2.3c	0.601±0.039a	32.0±2.3a

注:表中所列比例为酸解性氮或非酸解性氮占全氮的比例;同列不同字母表示5%显著水平。下同。

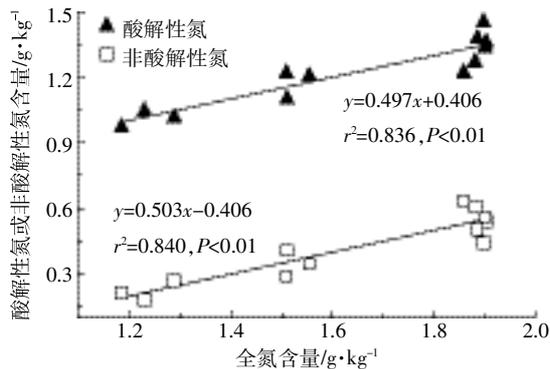


图1 土壤全氮含量与酸解性氮和非酸解性氮含量的关系
Figure 1 Relationship of total N with acid-hydrolysable N and non-acid hydrolysable in soils

所增加的有机氮中酸解性氮和非酸解性氮各占一半左右(49.7%为酸解性氮,50.3%为非酸解性氮)。

NPK、NPKM 和 NPXS 处理中所施用的化肥种类和施用量相同,处理间有机氮含量和组分的差异主要取决于不同有机肥配施。从两种有机肥配施处理间的差异来看,不同有机肥配施所增加的有机氮在酸解性氮和非酸解性氮中的分配比例差异明显(表1)。NPKM 处理土壤全氮含量比 NPK 处理提高 $0.371 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,其中酸解性氮含量提高 $0.222 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,占 60.0%,非酸解性氮含量提高 $0.148 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,占 40.0%。NPXS 处理全氮含量比 NPK 处理提高 $0.355 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,其中酸解性氮含量提高 $0.100 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,占 28.3%,非酸解性氮含量提高 $0.255 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,占 71.7%。说明牛粪与化肥长期配施有利于提高土壤酸解性氮含量,而稻草与化肥配施则有利于提高非酸解性氮含量。

2.2 长期施用不同肥料对土壤酸解性氮组分的影响

表2显示,长期施肥提高了土壤酸解未知态氮和氨基酸氮含量,其中 NPK、NPKM 和 NPXS 处理的未知态氮含量分别比 CK 处理提高 18.9%、45.5% 和 30.0%,氨基酸氮含量分别比 CK 处理提高 12.8%、51.7% 和 30.7%。长期施肥降低了氨态氮组分占酸解性总氮的比例,NPK、NPKM 和 NPXS 处理分别比 CK 处理降低了 2.8%、5.8% 和 4.0%;但没有影响酸解性

总氮中各组分比例大小顺序,各处理均为未知态氮>氨态氮>氨基酸氮>氨基糖氮。相关分析结果表明(图2),酸解性氮含量与未知态氮、氨基酸氮和氨基糖氮含量呈显著或极显著线性关系。线性回归斜率表明,施肥所增加的酸解性氮中 69.0% 为未知态氮,21.0% 为氨基酸氮,6.6% 为氨基糖氮,3.4% 为氨态氮。

从表2还可以看出,与 NPK 处理相比,NPKM 处理中酸解未知态氮含量提高 $0.155 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,占酸解性总氮增加量的 69.6%,氨基酸氮含量提高 $0.064 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,占酸解性总氮增加量的 28.6%。NPXS 处理中未知态氮含量比 NPK 处理提高 $0.064 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,占酸解性总氮

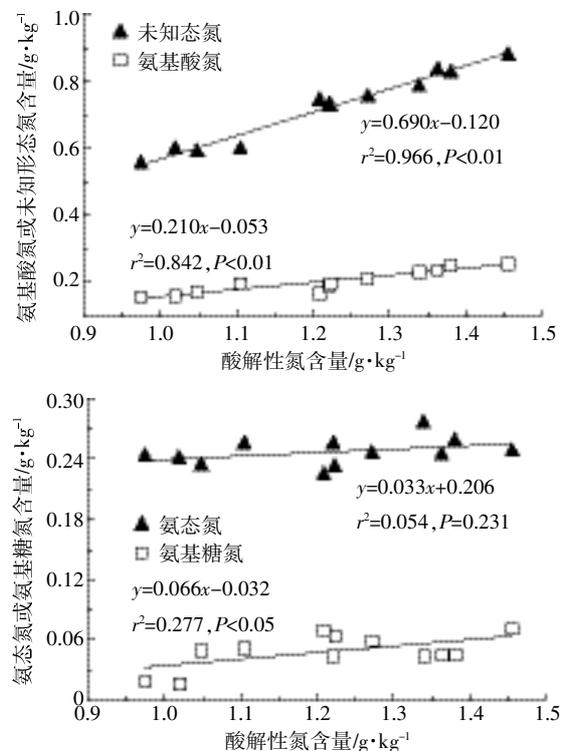


图2 酸解性氮含量与未知态氮、氨基酸氮、氨态氮和氨基糖氮含量的关系

Figure 2 Relationship of acid-hydrolysable N with hydrolysable unidentified N, amino acid N, ammonia N, and amino sugar N in soils

表2 长期施用不同肥料对土壤酸解性氮组分的影响

Table 2 Effect of long-term different fertilization on components of acid-hydrolysable organic N in soils

处理	氨基酸氮/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	比例/%	氨态氮/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	比例/%	氨基糖氮/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	比例/%	未知态氮/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	比例/%
CK	$0.164 \pm 0.009\text{d}$	$16.2 \pm 0.4\text{a}$	$0.240 \pm 0.005\text{a}$	$23.7 \pm 1.3\text{a}$	$0.028 \pm 0.019\text{a}$	$2.8 \pm 1.7\text{a}$	$0.582 \pm 0.024\text{c}$	$57.4 \pm 3.1\text{a}$
NPK	$0.185 \pm 0.015\text{c}$	$15.8 \pm 2.0\text{a}$	$0.245 \pm 0.018\text{a}$	$20.9 \pm 2.3\text{b}$	$0.055 \pm 0.014\text{a}$	$4.7 \pm 1.1\text{a}$	$0.692 \pm 0.081\text{b}$	$58.6 \pm 3.9\text{a}$
NPKM	$0.249 \pm 0.009\text{a}$	$17.8 \pm 0.3\text{a}$	$0.251 \pm 0.007\text{a}$	$17.9 \pm 0.8\text{c}$	$0.054 \pm 0.015\text{a}$	$3.8 \pm 0.9\text{a}$	$0.847 \pm 0.029\text{a}$	$60.5 \pm 2.6\text{a}$
NPXS	$0.214 \pm 0.015\text{b}$	$16.7 \pm 0.6\text{a}$	$0.252 \pm 0.022\text{a}$	$19.7 \pm 0.9\text{bc}$	$0.056 \pm 0.011\text{a}$	$4.4 \pm 1.0\text{a}$	$0.756 \pm 0.029\text{b}$	$59.2 \pm 2.3\text{a}$

注:表中所列比例为各酸解性氮组分占酸解性总氮的比例。

增加量的 64.1%，氨基酸氮含量提高 $0.029 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，占酸解性总氮增加量的 29.2%。说明不同有机肥与化肥配施所增加的酸解性总氮在各酸解性氮组分中的分配比例差异不大。

3 讨论

有研究表明,采用 Bremner 酸水解有机氮分级方法测得的非酸解性氮如果不是以杂环氮形态存在,就是与杂环或芳香环结合在一起^[14]。而杂环类化合物或芳香环类化合物均为稳定性氮化合物,不易被矿化^[15]。因此可以认为非酸解性氮主要以难矿化的稳定性有机氮为主。酸解性氮组分中未知态氮的存在形态和性质目前还不十分清楚。有研究认为,未知形态氮主要由不能被茚三酮氧化法测定的非蛋白质组氨基酸构成^[16]。Coh 和 Edmeades 认为酸解未知态氮中 25%~50%以非 α -氨基酸氮形态存在^[17]。此外,酸解性氮中氨态氮和氨基酸氮含量与可矿化有机氮的矿化速率呈线性相关关系,被认为是土壤易矿化有机氮的主要来源^[6]。因此可以认为酸解性氮主要由易矿化的活性有机氮形态组成。土壤中难矿化稳定性有机氮含量的提高有利于土壤氮保存,而易矿化活性有机氮含量的提高一般会促进有机氮矿化,提高土壤无机氮供应能力,促进作物生长。有研究表明,作物产量和吸氮量与土壤酸解性氮、未知态氮和氨态氮含量呈极显著正相关^[1]。该定位试验产量结果表明,不同处理水稻产量顺序为 NPKM>NPKS>NPK>CK^[18],与土壤中酸解性氮、氨基酸氮和未知态氮含量呈显著或极显著指数正相关($P<0.01$),这从另一侧面验证了本试验结果。

本试验结果表明,不同有机肥与化肥配施所增加的有机氮在各组分中的分配比例差异明显。NPKM 处理所增加有机氮主要为酸解性氮,而 NPKS 处理所增加氮主要为非酸解性氮。Xu 等^[19]和张旭东等^[20]研究发现,猪粪与化肥配施可以明显提高土壤氨基酸氮含量,高于稻草或绿肥与化肥配施处理。这些报道与本试验结果一致。有机肥与化肥配施对土壤有机氮组分结构特征的影响机制可能包括以下两种途径。(1)有机肥本身含有的养分直接引起土壤有机氮组分变化。畜禽粪便类有机肥中脂肪酸、缩氨酸、蛋白质、多糖等成分含量较高^[10-11],施入土壤后通过微生物固定(或矿化-同化)直接影响有机氮组分结构。施用畜禽粪便类有机肥对土壤有机氮中的芳香环物质没有影响,但显著提高了土壤氨基酸、脂肪酸和蛋白质含量^[21-22]。而秸秆类有机肥中木质素、纤维素和半纤维素含量高达

34.62%~41.50%、18.00%~22.6%和 9.27%~17.70%^[23-25]。这些成分一般认为是难矿化有机质^[26],施入土壤后提高了土壤重组分有机质含量^[27]。(2)通过影响土壤微生物“矿化-同化”过程改变有机氮组分结构。畜禽粪便类有机肥和秸秆类有机肥 C/N 等性质差异显著,施入土壤后改变了土壤微域环境 C/N。在低 C/N 条件下微生物生长受碳的限制,无机氮同化量很小;反之在高 C/N 条件下,微生物生长受氮限制,矿化出的氮素被迅速同化^[28]。而微生物同化的无机氮在易矿化有机氮库和难矿化有机氮库的分配比例不同^[9,29],因此影响了有机氮组分结构。此外,磷、钾等肥料施用也会引起土壤有机氮组分变化^[7,30]。本试验中牛粪和稻草施用所带入的磷、钾等养分差异较大,这可能也是牛粪或稻草与化肥配施所增加的有机氮在各组分中的分配比例差异的原因之一。

长期施肥提高了氨基酸氮和未知态氮含量,但并没有改变酸解性总氮中各组分比例大小顺序,各施肥处理均为未知态氮 > 氨态氮 > 氨基酸氮 > 氨基糖氮。这与黑土^[31]、棕壤^[32]、壤土^[33]等土壤类型的研究结果不同,说明土壤类型是影响有机氮组分结构的主要因素之一。此外,不同种植制度下相同土壤类型的酸解性总氮组分结构也有差异^[2,33],这说明种植制度也是影响有机氮组分结构的主要因素之一。

4 结论

(1)在本试验条件下,土壤中有有机氮主要以酸解性氮形态存在,不同施肥处理酸解性氮占全氮的 68.0%~82.1%;长期施肥所增加的有机氮中酸解性氮和非酸解性氮各占一半左右。

(2)不同有机肥与化肥配施所增加的有机氮在酸解性氮和非酸解性氮中的分配比例差异明显,其中牛粪与化肥配施所增加的有机氮中以酸解性氮为主,占 60.0%,而稻草与化肥配施所增加的有机氮主要分配于非酸解性氮,占 71.7%。

(3)施肥提高了酸解性总氮中未知态氮与氨基酸氮含量,对氨态氮和氨基糖氮含量影响不显著;酸解性总氮中各组分比例的大小顺序为未知态氮 > 氨态氮 > 氨基酸氮 > 氨基糖氮。

参考文献:

- [1] Zhang Q C, Wang G H, Xie W X. Soil organic N forms and N supply as affected by fertilization under intensive rice cropping system[J]. *Pedosphere*, 2006, 16(3): 345-353.

- [2] 党亚爱, 王国栋, 李世清. 黄土高原典型土壤有机氮组分剖面分布的变化特征[J]. 中国农业科学, 2011, 44(24): 5021-5030.
DANG Ya-ai, WANG Guo-dong, LI Shi-qing. The changing characteristics of profile distribution of soil organic nitrogen component of the typical soil types on the loess plateau[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(24): 5021-5030.
- [3] 李紫燕, 李世清, 李生秀. 黄土高原典型土壤有机氮矿化过程[J]. 生态学报, 2008, 28(10): 4940-4950.
LI Zi-yan, LI Shi-qing, LI Sheng-xiu. Organic N mineralization in typical soils of the Loess Plateau[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(10): 4940-4950.
- [4] Kielland K, McFarland J W, Ruess R W, et al. Rapid cycling of organic nitrogen in Taiga forest ecosystems[J]. *Ecosystems*, 2007, 10(3): 360-368.
- [5] Bremner J M. Organic forms of nitrogen[M]. Black C A, ed. *Methods of Soil Analysis*. Madison: American Society of Agronomy, 1965: 1238-1255.
- [6] 李菊梅, 李生秀. 可矿化氮与各有机氮组分的关系[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(2): 158-164.
LI Ju-mei, LI Sheng-xiu. Relation of mineralizable N to organic N components[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2003, 9(2): 158-164.
- [7] 肖伟伟, 范晓晖, 杨林章, 等. 长期施肥对黄土旱塬黑垆土有机氮和有机碳的影响[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(2): 672-675.
XIAO Wei-wei, FAN Xiao-hui, YANG Lin-zhang, et al. Response of soil organic nitrogen forms and organic carbon to long-term fertilization in dry highland of Loess Plateau[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(2): 672-675.
- [8] 刘希玉, 王忠强, 张心昱, 等. 施肥对红壤水稻土团聚体分布及其碳氮含量的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(16): 4949-4955.
LIU Xi-yu, WANG Zhong-qiang, ZHANG Xin-yu, et al. Effects of long-term fertilization on aggregate dynamics and organic carbon and total nitrogen contents in a reddish paddy soil[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(16): 4949-4955.
- [9] Zhang J, Zhu T, Cai Z, et al. Effects of long-term repeated mineral and organic fertilizer applications on soil nitrogen transformations[J]. *Euro-pean Journal of Soil Science*, 2012, 63(1): 75-85.
- [10] Brunetti G, Plaza C, Clapp C E, et al. Compositional and functional features of humic acids from organic amendments and amended soils in Minnesota, USA[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2007, 39(6): 1355-1365.
- [11] Jandl G, Leinweber P, Schulten H R, et al. Contribution of primary organic matter to the fatty acid pool in agricultural soils[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2005, 37(6): 1033-1041.
- [12] 张夫道, 孙 羲. 几种有机肥料的主要有机氮组成及猪粪在腐解过程中的变化[J]. 中国农业科学, 1984, 17(4): 66-72.
ZHANG Fu-dao, SUN Xi. A study of the organic nitrogen constituents in eight kind of organic manures and the variation of different forms of nitrogen during the course of water logged decomposition[J]. *Agricultural Sciences in China*, 1984, 17(4): 66-72.
- [13] 鲁如坤. 土壤农化分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
LU Ru-kun, *Soil agricultural chemical analysis methods*[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000.
- [14] 彭令发, 郝明德, 来 璐. 土壤有机氮组分及其矿化模型研究[J]. 水土保持研究, 2003, 10(1): 46-49, 70.
PENG Ling-fa, HAO Ming-de, LAI Lu. Soil organic nitrogen compounds and the research of its mineralizable models[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2003, 10(1): 46-49, 70.
- [15] Rovira P, Vallejo V R. Labile and recalcitrant pools of carbon and nitrogen in organic matter decomposing at different depths in soil: An acid hydrolysis approach[J]. *Geoderma*, 2002, 107(1): 109-141.
- [16] Greenfield L G. The nature of the organic nitrogen of soils[J]. *Plant and Soil*, 1972, 36(1-3): 191-198.
- [17] Goh K M, Edmeades D C. Distribution and partial characterization of acid hydrolysable organic nitrogen in six New Zealand soils[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1970, 11: 127-132.
- [18] 王 飞, 林 诚, 李清华, 等. 长期不同施肥方式对南方黄泥田水稻产量及基础地力贡献率的影响[J]. 福建农业学报, 2010, 25(5): 631-635.
WANG Fei, LIN Cheng, LI Qing-hua, et al. Effects of long-term fertilization on rice yield and contribution rate of basic soil productivity[J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2010, 25(5): 631-635.
- [19] Xu Y C, Shen Q R, Ran W. Content and distribution of forms of organic N in soil and particle size fractions after long-term fertilization[J]. *Chemosphere*, 2003, 50(6): 739-745.
- [20] 张旭东, 须湘成, 陈恩凤. 施用猪粪培肥土壤后土壤氨基酸含量的变化[J]. 土壤通报, 1989, 20(6): 248-260.
ZHANG Xu-dong, XU Xiang-cheng, CHEN En-feng. Effect of pig manure on amino acid concentration in soil[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 1989, 20(6): 248-260.
- [21] Mao J D, Oik D C, Fang X W, et al. Influence of animal manure application on the chemical structures of soil organic matter as investigated by advanced solid-state NMR and FT-IR spectroscopy[J]. *Geoderma*, 2008, 146(1): 353-362.
- [22] Ferrari E, Francioso O, Nardi S, et al. DRIFT and HR MAS NMR characterization of humic substances from a soil treated with different organic and mineral fertilizers[J]. *Journal of Molecular Structure*, 2011, 998(1): 216-224.
- [23] 王宏勋, 杜甫佑, 张晓昱. 白腐菌对稻草秸秆中木质纤维素降解规律的研究[J]. 中国造纸学报, 2007, 22(4): 18-22.
WANG Hong-xun, DU Fu-you, ZHANG Xiao-yu. Selective degradation of lignocellulose of straw by white-rot fungi[J]. *Transactions of China Pulp and Paper*, 2007, 22(4): 18-22.
- [24] 黄 茜, 黄凤洪, 江木兰, 等. 木质素降解菌的筛选及混合菌发酵降解秸秆的研究[J]. 中国生物工程杂志, 2008, 28(2): 66-70.
HUANG Qian, HUANG Feng-hong, JIANG Mu-lan, et al. The selection of lignin-degrading fungus and the straw fermentation by mixed strains[J]. *China Biotechnology*, 2008, 28(2): 66-70.
- [25] 孙万里, 陶文沂. 木质素与半纤维素对稻草秸秆酶解的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2010, 29(1): 18-22.
SUN Wan-li, TAO Wen-yi. Effect of lignin and hemicellulose on enzymatic hydrolysis of cellulose from rice straw[J]. *Journal of Food Sci-*

- ence and Biotechnology*, 2010, 29(1):18-22.
- [26] Angelidaki I, Ahring B K. Methods for increasing the biogas potential from the recalcitrant organic matter contained in manure[J]. *Water Science & Technology*, 2000, 41(3):189-194.
- [27] Gong W, Yan X, Wang J, et al. Long-term manure and fertilizer effects on soil organic matter fractions and microbes under a wheatmaize crop-ping system in Northern China[J]. *Geoderma*, 2009, 149(3):318-324.
- [28] 娄燕宏, 诸葛玉平, 魏 猛, 等. 外源有机物料对土壤氮矿化的影响[J]. 土壤通报, 2009, 40(2):315-320.
LOU Yan-hong, ZHUGE Yu-ping, WEI Meng, et al. Effect of extraneous organic materials on the mineralization of nitrogen in soil[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2009, 40(2):315-320.
- [29] Müller C, Laughlin R J, Christie P, et al. Effects of repeated fertilizer and cattle slurry applications over 38 years on N dynamics in a temperate grassland soil[J]. *Soil Biol Biochem*, 2011, 43:1362-1371.
- [30] 肖伟伟, 范晓晖, 杨林章, 等. 长期定位施肥对潮土有机氮组分和有机碳的影响[J]. 土壤学报, 2009, 42(2):274-280.
XIAO Wei-wei, FAN Xiao-hui, YANG Lin-zhang, et al. Effects of long-term fertilization on organic nitrogen fractions and organic carbon in fluvo-aquic soil[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2009, 42(2):274-280.
- [31] 王淑平, 周广胜, 姜亦梅, 等. 施用玉米残体对土壤有机氮组分特征的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2003, 25(3):311-314.
WANG Shu-ping, ZHOU Guang-sheng, JIANG Yi-mei, et al. Effects of corn residues on component characters of soil organic nitrogen[J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2003, 25(3):311-314.
- [32] 高晓宁, 韩晓日, 刘 宁, 等. 长期定位施肥对棕壤有机氮组分及剖面分布的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(8):2820-2827.
GAO Xiao-ning, HAN Xiao-ri, LIU Ning, et al. Effects of long-term fertilization on organic nitrogen forms and their distribution in profile of a brown soil[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(8):2820-2827.
- [33] 王 媛, 周建斌, 杨学云. 长期不同培肥处理对土壤有机氮组分及氮素矿化特性的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(6):1173-1180.
WANG Yuan, ZHOU Jian-bin, YANG Xue-yun. Effects of different long-term fertilization on the fractions of organic nitrogen and nitrogen mineralization in soils[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(6):1173-1180.

欢迎订阅 2015 年《农业资源与环境学报》

《农业资源与环境学报》*Journal of Agricultural Resources and Environment* 是由农业部主管, 农业部环境保护科研监测所、中国农业生态环境保护协会联合主办的科技期刊。被评为中国科技核心期刊、天津市优秀期刊。本刊被美国乌利希期刊指南、化学文摘(CA)、国际农业与生物科学中心(CABI)、中国学术文摘数据库核心版(CSAD)等重要数据库收录。

《农业资源与环境学报》主要报道交流农业资源、农业环境等领域新理论新技术新方法和实践经验, 为促进农业资源与环境学科发展提供理论技术支持。

主要栏目有: 一、战略与综述; 二、耕地可持续利用; 三、养分资源管理; 四、水资源管理; 五、生物质资源利用; 六、产地环境与农产品质量安全; 七、生态农业; 八、生物多样性保护; 九、乡村环境; 十、检测分析方法。

《农业资源与环境学报》为双月刊, 大 16 开, 96 页, 逢双月 25 日出版, 每册定价 30.00 元, 全年 180.00 元。国际标准刊号: ISSN 2095-6819, 国内统一刊号: CN 12-1437/S, 国内外公开发行, 各地邮电局(所)均可订阅, 邮发代号: 6-40, 国外发行代号: BM3272。有漏订者可直接与编辑部联系订阅。

编辑部地址: 天津市南开区复康路 31 号
电话: 022-23611149 传真: 022-23674336
网址: www.aed.org.cn

邮政编码: 300191
电子信箱: caed@vip.163.com