



农业资源与环境学报

CSCD 核心期刊
中文核心期刊
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

长期不同施肥模式对潮土有机氮组分及剖面分布的影响

岳克, 张水清, 黄绍敏, 张珂珂, 王柏寒, 郭腾飞, 郭斗斗, 宋晓

引用本文:

岳克, 张水清, 黄绍敏, 张珂珂, 王柏寒, 郭腾飞, 郭斗斗, 宋晓. 长期不同施肥模式对潮土有机氮组分及剖面分布的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2023, 40(1): 116–125.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0832>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

长期有机无机肥配施对红壤性水稻土微生物生物量和有机质结构的影响

蓝贤瑾, 刘益仁, 侯红乾, 吕真真, 冀建华, 冯兆滨, 刘秀梅

农业资源与环境学报. 2021, 38(5): 810–819 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0584>

长期施肥下旱地红壤不同保护态有机碳库变化特征

李文军, 黄庆海, 李大明, 柳开楼, 张文菊, 徐明岗

农业资源与环境学报. 2023, 40(1): 106–115 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0837>

长期不同培肥对苏打盐碱地稻田土壤盐碱指标和养分含量的影响

肖扬, 黄立华, 杨易, 黄金鑫, 刘伯顺, 杨靖民

农业资源与环境学报. 2023, 40(1): 126–134 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2022.0032>

长期施肥对不同深度稻田土壤团聚体磷素分配的影响

柳开楼, 都江雪, 鄢磊, 张文菊, 韩天富, 李文军, 施林林, 余喜初

农业资源与环境学报. 2022, 39(6): 1115–1123 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0583>

华北平原不同施氮量与施肥模式对作物产量与氮肥利用率的影响

蔡媛媛, 王瑞琪, 王丽丽, 刘惠芬, 杨殿林, 谭炳昌

农业资源与环境学报. 2020, 37(4): 503–510 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0254>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

岳克, 张水清, 黄绍敏, 等. 长期不同施肥模式对潮土有机氮组分及剖面分布的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2023, 40(1): 116–125.

YUE K, ZHANG S Q, HUANG S M, et al. Different long-term fertilization patterns affect components of organic nitrogen and the profile distribution of fluvo-aquic soil[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2023, 40(1): 116–125.



开放科学 OSID

长期不同施肥模式对潮土有机氮组分及剖面分布的影响

岳克, 张水清*, 黄绍敏, 张珂珂, 王柏寒, 郭腾飞, 郭斗斗, 宋晓

(河南省农业科学院植物营养与资源环境研究所, 郑州 450002)

摘要:为研究长期不同施肥模式下潮土有机氮组分特征及剖面分布,明确不同施肥模式下土壤的供氮潜力,在潮土长期定位试验(1990—2020年)不同施肥措施下,选取对照(CK,不施肥)、单施化肥(NPK)、化肥+秸秆还田(NPKS)、有机无机肥配施(NPKM)4个处理,采用Bremner法测定了不同处理土壤有机氮各组分和全氮含量。结果表明,不同施肥模式对土壤耕层(0~20 cm)全氮、酸解总有机氮及酸解有机氮各组分含量影响显著或极显著($P<0.05$ 或 $P<0.01$)。与NPK处理相比,NPKS处理土壤全氮、酸解总有机氮、酸解铵态氮、酸解氨基酸态氮含量分别显著提高了22.10%、44.03%、39.07%、44.71%,NPKM处理土壤全氮、酸解总有机氮、酸解铵态氮、酸解氨基酸态氮含量分别显著提高了46.09%、54.73%、25.14%、67.06%。相同土层土壤全氮和酸解有机氮各组分含量均在NPKM处理最高,其次为NPKS处理。在0~100 cm土层,各处理土壤有机氮均以铵态氮和氨基酸态氮为主,且酸解总有机氮和各组分含量总体上在表层土壤(0~20 cm)最高。0~100 cm土层酸解总有机氮及各组分含量总体上均随土层深度增加而下降。土壤中的氮素以酸解有机氮为主,占全氮含量比例范围为59.01%~92.31%。与CK处理相比,各施肥处理降低了土壤未知态氮占全氮的比例。综上,土壤有机氮组分含量变化与施肥模式密切相关,有机无机肥配施和化肥+秸秆还田能显著增加土壤全氮及酸解有机氮各组分含量,进而提高土壤供氮能力,是华北平原潮土区适宜的施肥模式;从相关性分析结果看,在土壤耕层有机氮组分中酸解铵态氮和氨基酸态氮是土壤氮的主要贡献因子。

关键词:长期定位;潮土;有机氮组分;有机肥;化肥;配施

中图分类号:S153.6

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2023)01-0116-10

doi: 10.13254/j.jare.2021.0832

Different long-term fertilization patterns affect components of organic nitrogen and the profile distribution of fluvo-aquic soil

YUE Ke, ZHANG Shuiqing*, HUANG Shaomin, ZHANG Keke, WANG Bohan, GUO Tengfei, GUO Doudou, SONG Xiao

(Institute of Plant Nutrition and Environmental Resources Science, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: This study examined the characteristics of the components of organic nitrogen and the profile distribution of fluvo-aquic soil under different long-term fertilization conditions to clarify the nitrogen supply potential of soil under various fertilization measures and provide a basis for rational fertilization schemes. In a long-term positioning test of fluvo-aquic soil from 1990 to 2020 (30 a), four different fertilization treatments were selected: no fertilizer, single chemical fertilizer, chemical fertilizer plus maize straw, and chemical fertilizer plus organic manure. The contents of soil organic nitrogen components and total nitrogen following the different treatments were determined

收稿日期:2021-11-29 录用日期:2022-01-25

作者简介:岳克(1991—),男,河南郑州人,硕士研究生,从事土壤肥料研究。E-mail:779048388@qq.com

*通信作者:张水清 E-mail:zsqs10@163.com

基金项目:2021年度河南省农业科学院基础性科研项目(JC012);国家重点研发计划课题(2021YFD1700902);河南省农业科学院优秀青年基金项目(2020YQ13)

Project supported: Basic Scientific Research Project of Henan Academy of Agricultural Sciences in 2021 (JC012); The National Key Research and Development Program of China (2021YFD1700902); Science-Technology Foundation for Outstanding Young Scientists of Henan Academy of Agricultural Sciences (2020YQ13)

using the Bremner method. Different fertilization methods had significant or extremely significant effects on the total nitrogen content, total acid organic nitrogen, and components of acid organic nitrogen in the plowing layer of the soil (0–20 cm). Compared with single application of chemical fertilizer, the contents of soil total nitrogen, acidolysis of total organic nitrogen, ammonium nitrogen, and amino acid nitrogen in the chemical fertilizer plus straw return groups increased significantly by 22.10%, 44.03%, 39.07%, and 44.71%, respectively; the contents of soil total nitrogen, acidolysis of total organic nitrogen, ammonium nitrogen, and amino acid nitrogen in the chemical fertilizer plus organic manure groups increased by 46.09%, 54.73%, 25.14%, and 67.06%, respectively. In the same soil layer, the soil total nitrogen and acidolysis organic nitrogen contents showed that mineral fertilizers plus organic manure treatment exhibited the highest nitrogen content, followed by chemical fertilizer plus maize straw treatment. In the 0–100 cm soil layer, the contents of acid hydrolyzed ammonium nitrogen and amino acid nitrogen were highest in all treatments, and the contents of acid hydrolyzed total organic nitrogen and acid hydrolyzed component nitrogen were highest in surface soil (0–20 cm); the contents of acid total nitrogen and acid hydrolyzed component nitrogen decreased with increasing soil depth. Nitrogen in the soil is mainly acid-hydrolyzed organic nitrogen, which accounts for 59.01%–92.31% of the total. Compared with the no fertilizer treatment, each fertilization treatment reduced the proportion of soil acid-hydrolyzed unknown nitrogen in the total nitrogen. In conclusion, the change in soil organic nitrogen content was closely related to the fertilization method. Using a combination of organic and inorganic fertilizer and straw returning can significantly increase the soil total nitrogen content and acid organic nitrogen, thereby improving the capacity of the soil to supply nitrogen. This fertilization model is suitable for the tidal soil area of the North China Plain; acidolysis of ammonium nitrogen and amino acid nitrogen are the main factors contributing to soil nitrogen content.

Keywords: long-term located fertilization; fluvo-aquic soil; organic nitrogen component; organic manure; chemical fertilizer; combined application

土壤氮素是作物生长的主要氮源,也是影响作物生长的主要限制因子之一,而表层土壤中90%以上的氮素为有机氮^[1-3]。土壤有机氮,特别是易矿化的有机氮组分含量影响着土壤的供氮能力^[4]。有机氮只有经过微生物水解和矿化才能转化为无机氮被作物吸收利用。土壤有机氮主要包括蛋白质、核酸、氨基酸和氨基糖等^[4-6],所以土壤有机氮的形态是影响土壤氮素有效性的重要因素^[6],也是土壤矿质态氮的源和库^[7]。土壤有机氮能够维持土壤氮素肥力,因此研究不同施肥措施下土壤有机氮组分及剖面分布特征,对于华北平原农田合理施肥具有重要意义。研究表明,不同土壤类型、施肥和灌溉方式对土壤有机氮及其组分含量影响显著^[8-9]。查春梅等^[10]的研究表明,不同土地利用方式对耕层土壤中有机氮组分影响最大。王媛等^[11]的研究表明,有机无机肥长期配施能够显著提高各有机氮组分含量,其中氨基酸态氮含量增幅最大(平均124.8%)。肖伟伟等^[12]的研究表明,与单施化肥相比,有机无机肥长期配施能够显著提高酸解氮(平均60.9%)、酸解铵态氮(平均38.9%)和酸解氨基酸态氮的含量(平均79.5%)。巨晓棠等^[13]的研究表明,有机无机肥配施显著提高了土壤全氮、酸解性氮与非酸解性氮的含量。张玉树等^[14]利用30年的长期定位试验发现,单施化肥和有机无机肥配施均显著提高了耕层土壤全氮和有机氮含量。大量研究表明,施肥对土壤有机氮组分含量有显著影响^[15-18]。

华北平原是我国粮食的主产区,潮土是该区域的主要耕作土壤,长期施肥对潮土有机氮组分及剖面分布的影响研究尚少有报道。本试验通过研究30年的长期定位有机无机肥配施对土壤剖面有机氮组分和全氮的影响,揭示不同施肥模式下潮土氮素的演变规律,明确不同施肥措施下土壤供氮潜力,旨在为华北平原潮土区土壤培肥和地力提升提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

长期定位试验位于河南省新乡市平原新区河南现代农业研究开发基地潮土试验站(113°40'E, 34°47'N),试验地属于暖温带季风气候,年均降雨量约660 mm,主要集中在7—9月,年有效积温4 700℃,无霜期约209 d。试验始于1990年,初始土壤(0–20 cm)理化性质:pH 8.60、有机质6.7 g·kg⁻¹、全氮0.65 g·kg⁻¹、全磷0.64 g·kg⁻¹、全钾16.9 g·kg⁻¹、碱解氮76.6 mg·kg⁻¹、有效磷6.9 mg·kg⁻¹、速效钾71.7 mg·kg⁻¹。

1.2 试验设计

本研究以不施肥(CK)为对照,选取华北平原有代表性的3个施肥模式:单施化肥(NPK)、化肥+玉米秸秆还田(NPKS)、有机无机肥配施(NPKM)。试验采用随机区组设计,3次重复。种植制度为小麦—玉米轮作,小区面积43 m²。施用的氮肥为尿素,磷肥为过磷酸钙,钾肥为氯化钾,有机肥1990—1999年为马

粪,2000—2010年为牛粪,2011—2020年为商品有机肥。小麦季施氮量(N)165 kg·hm⁻²,磷肥(P₂O₅)和钾肥(K₂O)各82.5 kg·hm⁻²,玉米季施氮量(N)为187.5 kg·hm⁻²,磷肥(P₂O₅)和钾肥(K₂O)各93.75 kg·hm⁻²,其中氮肥60%为基肥,40%为追肥,分别在小麦返青期和玉米大喇叭口期施用。NPKM处理施氮量相当于在NPK处理的基础上增施有机肥,有机肥用量以单施化肥中氮含量计算,70%的氮量来自有机肥,剩余30%用尿素补充,玉米季施肥量同NPK处理。NPKS处理相当于在NPK处理的基础上玉米秸秆全部粉碎还田,1991—2001年间相当于NPK处理氮量的70%来自秸秆(不足部分由同期其他试验区秸秆补充),剩余30%由尿素补充,2002—2020年间则为前茬总秸秆量,不足NPK处理的氮量以尿素补充,玉米季施肥量同NPK处理。作物收获时,小麦秸秆清除,留麦茬约15 cm,玉米地上部植株全部移除。

1.3 样品采集及测定方法

供试土壤于2020年6月小麦收获后采集。采用五点采样法,分别采集各小区0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 5层土壤,各层混合均匀后分别装入自封袋,风干、过筛后待测。土壤全氮采用凯氏法测定,土壤有机氮分级采用Bremner方法^[9],土壤酸解总有机氮测定:取15.0 g过0.15 mm筛样品放入具塞、带冷凝管的三角水解瓶中,加2滴正辛醇和20 mL 6 mol·L⁻¹ HCl,在120 ℃电热板上水解回流12 h。水解后趁热过滤,滤液用1 mol·L⁻¹和5 mol·L⁻¹ NaOH调节pH至2左右,再用酸度计指示,逐滴小心加入1 mol·L⁻¹ NaOH,边加边搅拌,至滤液pH值为6.5±0.3,定容至100 mL,冷藏备用。

酸解氮用凯氏定氮法测定;酸解铵态氮采用MgO

氧化-蒸馏法测定;酸解铵态氮+氨基糖态氮采用磷酸盐-硼酸盐缓冲液-蒸馏法测定;酸解氨基酸态氮采用茚三酮氧化-磷酸盐-硼砂缓冲液-蒸馏法测定;酸解未知态氮、氨基糖态氮、非酸解氮用差减法求得。

1.4 数据处理与统计

利用Microsoft Excel 2016软件绘图,利用SPSS 21.0软件进行统计分析,其中多重比较采用新复极差法。

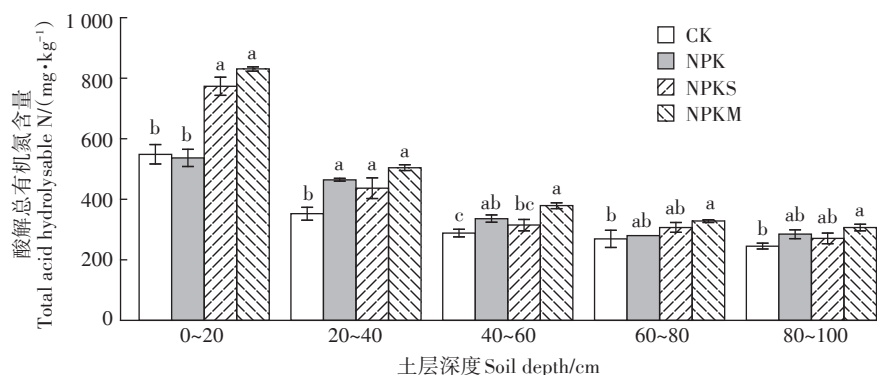
2 结果与分析

2.1 长期不同施肥模式对土壤酸解总有机氮的影响

由图1可知,不同施肥模式下土壤酸解总有机氮含量均随土层加深呈降低趋势。各土层土壤酸解总有机氮含量均为NPKM处理最高、CK处理最低。在0~20 cm土层,NPKS和NPKM处理酸解总有机氮含量显著高于CK、NPK处理,分别提高了40.88%、44.03%和51.34%、54.73%。在20~40 cm土层,NPK、NPKS和NPKM 3个施肥处理酸解总有机氮含量显著高于CK处理31.82%、23.86%和43.18%;各施肥处理之间差异不显著。在40~60 cm土层,NPK、NPKS和NPKM 3个施肥处理酸解总有机氮含量高于CK处理16.66%、9.25%和31.47%,其中NPKM处理显著高于NPKS和CK处理。在60~80 cm和80~100 cm土层,各施肥处理酸解总有机氮含量均高于CK处理,其中NPKM处理分别显著高于CK处理21.78%和25.00%。

2.2 长期不同施肥模式对土壤酸解铵态氮的影响

由图2可知,不同施肥模式下土壤酸解铵态氮含量均随土层加深呈降低趋势。在0~20 cm土层,NPK、NPKS和NPKM处理土壤酸解铵态氮含量显著高于CK处理24.49%、73.13%和55.78%。NPKS和



不同小写字母表示相同土层不同处理间差异显著($P<0.05$)。下同

Different lowercase letters indicate significant differences among treatments in the same soil layer ($P<0.05$). The same below

图1 长期不同施肥模式对土壤酸解总有机氮含量的影响

Figure 1 Effects of long-term different fertilization modes on soil total acid hydrolysable N contents

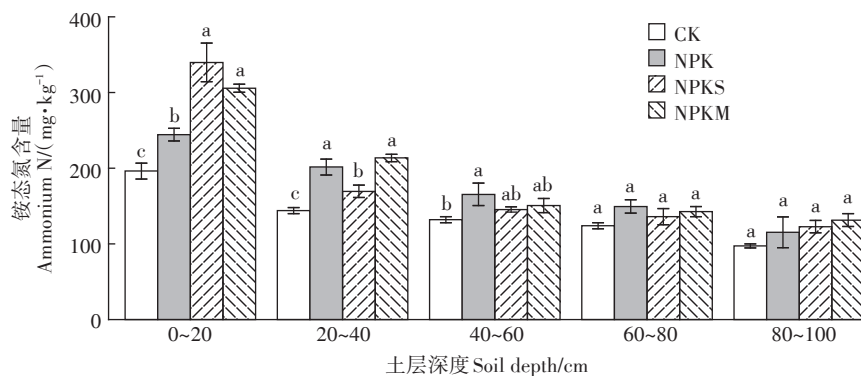


图2 长期不同施肥模式对土壤酸解铵态氮含量的影响

Figure 2 Effects of long-term different fertilization modes on soil ammonium N contents

NPKM处理酸解铵态氮含量分别显著高于NPK处理39.07%和25.14%。在20~40 cm土层,NPK、NPKS和NPKM处理酸解铵态氮含量显著高于CK处理39.81%、17.59%和48.15%,其中NPK和NPKM处理酸解铵态氮含量分别显著高于NPKS处理18.90%和25.98%。在40~60 cm土层,NPK处理酸解铵态氮含量显著高于CK处理,NKPS和NPKM处理与CK处理差异不显著,表明有机无机肥配施能维持土壤表层酸解铵态氮含量,进而维持土壤表层较高的氮素含量,提高土壤供氮能力。在60~100 cm土层,各施肥处理与CK处理间差异不显著,不同施肥模式对深层土壤酸解铵态氮含量影响较小。

2.3 长期不同施肥模式对土壤酸解氨基糖态氮的影响

由图3可知,长期不同施肥模式下土壤酸解氨基糖态氮的含量有不同的变化趋势,整体在4.01~92.18 mg·kg⁻¹之间。CK处理下氨基糖态氮的含量随土层加深呈增加趋势,NPK和NPKS处理无明显变化规律;NPKM处理氨基糖态氮的含量随土层加深呈先增加后降低趋势。在0~20 cm土层,NPK、NPKS和

NPKM处理氨基糖态氮的含量高于CK处理3.44、5.00、1.89倍,其中NPKS处理显著高于CK处理。在20~40 cm土层,NPK、NPKS和NPKM处理氨基糖态氮的含量高于CK处理3.00、4.64、6.27倍,其中NPKS和NPKM处理显著高于CK处理。在40~80 cm土层,各处理间氨基糖态氮的含量差异不显著。在80~100 cm土层,CK处理氨基糖态氮的含量显著高于NPK、NPKS和NPKM处理1.84、1.77、2.49倍。

2.4 长期不同施肥模式对土壤酸解氨基酸态氮的影响

由图4可知,不同施肥模式下土壤酸解氨基酸态氮含量均随土层加深呈降低趋势。在0~20 cm土层,NPK、NPKS和NPKM处理酸解氨基酸态氮含量高于CK处理11.84%、61.84%和86.84%,其中NPKS和NPKM处理显著高于CK和NPK处理,氨基酸态氮含量分别比NPK处理提高了44.71%和67.06%。在20~40 cm土层,NPK、NPKS和NPKM处理氨基酸态氮含量高于CK处理39.05%、20.00%和23.64%,其中NPK处理显著高于CK处理。在40~60 cm土层,NPK、NPKS和NPKM处理氨基酸态氮含量高于CK处理

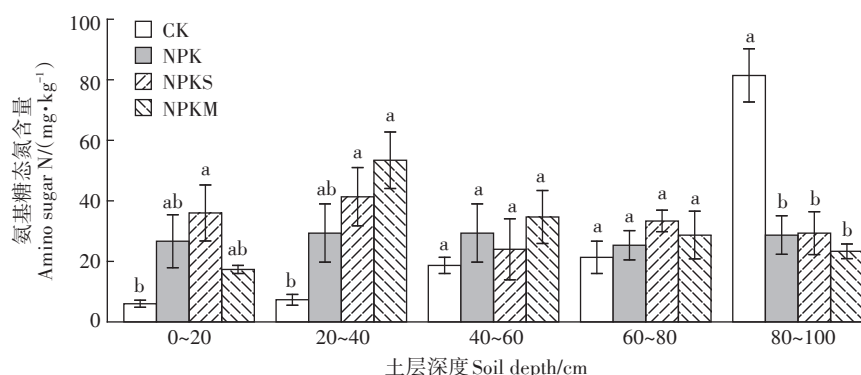


图3 长期不同施肥模式对土壤酸解氨基糖态氮含量的影响

Figure 3 Effects of long-term different fertilization modes on soil amino sugar N contents

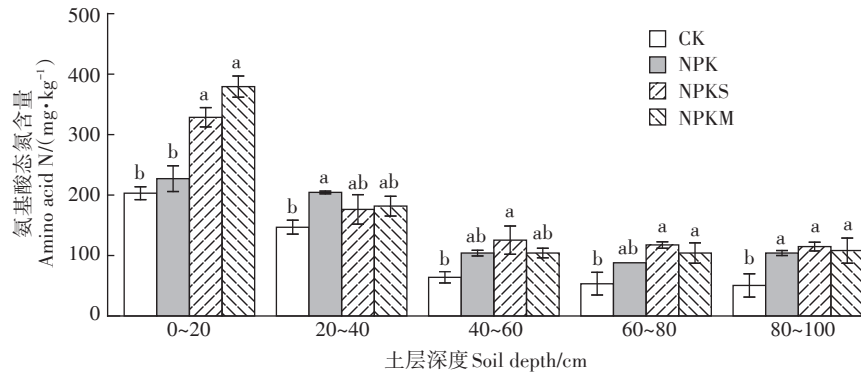


图4 长期不同施肥模式对土壤酸解氨基酸态氮含量的影响

Figure 4 Effects of long-term different fertilization modes on soil amino acid N contents

62.50%、95.83%和62.50%,其中NPKS处理显著高于CK处理。在60~80 cm土层,NPKS和NPKM处理氨基酸态氮含量均显著高于CK处理,NPK处理与CK处理差异不显著,且各施肥处理间差异不显著。在80~100 cm土层,施肥处理氨基酸态氮含量均显著高于CK处理,但各施肥处理间差异不显著。

2.5 长期不同施肥模式对土壤酸解未知态氮的影响

由图5可知,不同施肥模式下土壤酸解未知态氮含量均随土层加深呈降低趋势。在0~80 cm土层,NPKM和CK处理未知态氮含量均高于NPK和NPKS处理,除了在20~40 cm土层各处理间差异不显著,其他土层均差异显著。在0~20 cm土层,CK处理未知态氮含量高于NPK、NPKS和NPKM处理2.71、1.09、0.12倍。在20~40 cm土层,NPKM和CK处理未知态氮含量也高于NPK和NPKS处理,且NPKM处理降幅较大,表明增施有机肥可以促进未知态氮向有效态氮转化。在40~80 cm土层,NPKM处理未知态氮含量显著高于NPK和NPKS处理。在80~100 cm土层,NPKM处理未知态氮含量最高,其他处理间无显著差

异,其中NPKM处理显著高于NPKS处理。

2.6 长期不同施肥模式对土壤酸解有机氮各组分分配比例的影响

长期不同施肥模式下土壤有机氮各形态含量占全氮含量的百分比可作为表征有机氮各组分的分配比例。由图6可知,有机氮各组分占全氮比例的大小顺序与其含量的大小表现一致。随着土层的加深,土壤非酸解氮比例降低而其他形态氮的比例有所提高。各土层有机氮比例均大于非酸解氮,有机氮占全氮含量比例范围为59.01%~92.31%,是土壤氮的主体。CK处理在0~40 cm土层,有机氮各形态的分布趋势为氨基酸态氮>酸解铵态氮>未知态氮>氨基糖态氮;在40~80 cm土层,有机氮各形态的分布趋势为酸解铵态氮>未知态氮>氨基酸态氮>氨基糖态氮;在80~100 cm土层,有机氮各形态的分布趋势为酸解铵态氮>氨基糖态氮>氨基酸态氮>未知态氮。各施肥处理有机氮各形态占比的分布趋势为酸解铵态氮和氨基酸态氮>氨基糖态氮和酸解未知态氮,在0~40 cm土层,酸解铵态氮和氨基酸态氮比例最大;

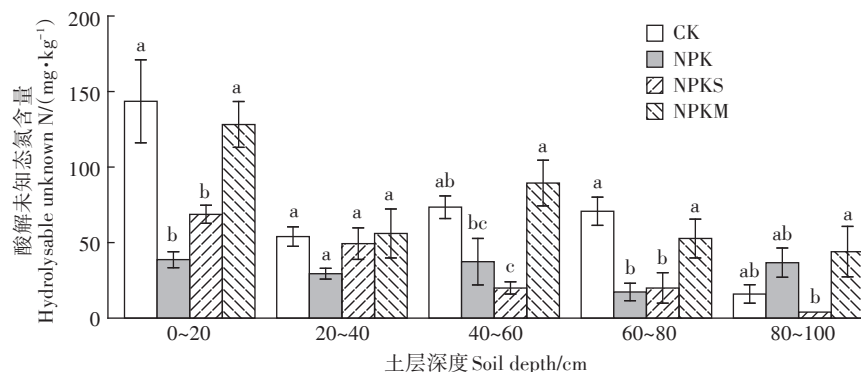


图5 长期不同施肥模式对土壤酸解未知态氮含量的影响

Figure 5 Effects of long-term different fertilization modes on soil hydrolysable unknown N contents

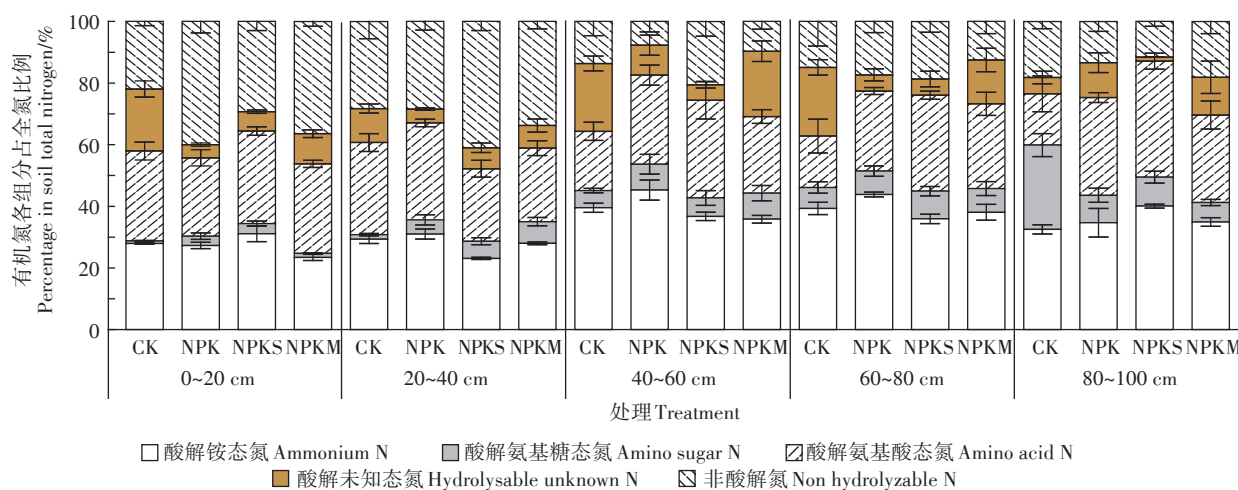


图6 长期不同施肥模式对土壤酸解有机氮组分占全氮比例的影响

Figure 6 Percentage of soil organic N fractions to total N under long-term different fertilization modes

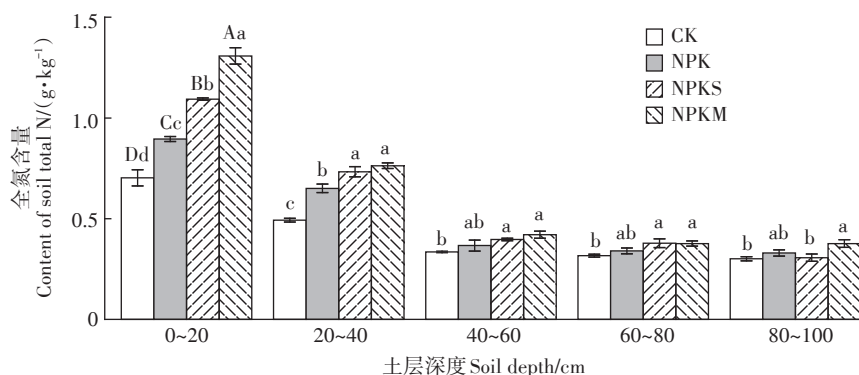
在40~100 cm土层,酸解铵态氮比例最大,其次为氨基酸态氮。

在0~80 cm土层,与CK处理相比,施肥处理提高了氨基糖态氮和非酸解氮占全氮的比例,降低了未知态氮占全氮的比例。在0~20 cm土层,与NPK处理相比,NPKS和NPKM处理酸解总氮占全氮比例分别增加了17.79个百分点和5.93个百分点,表明长期有机无机肥配施增加了土壤有机氮各组分含量。整体来看,与CK相比,NPK处理铵态氮和氨基酸态氮占全氮的比例增加;NPKS和NPKM处理氨基酸态氮占全氮的比例均增加。

2.7 长期不同施肥模式对土壤全氮的影响

由图7可知,不同施肥模式下土壤全氮含量均随土层的加深呈降低趋势。与定位试验开始前0~20

cm土壤全氮含量($0.65 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)相比,长期不施肥(CK)处理土壤全氮($0.70 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)略有增加,各施肥处理NPK、NPKS和NPKM全氮含量增加显著,平均每年分别增加 8.19 、 $14.80 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $21.95 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,说明有机无机肥配施能够增加土壤氮储量。各土层土壤全氮含量均表现为NPKM处理最高、CK处理最低。在0~20 cm土层,NPK、NPKS和NPKM处理土壤全氮含量显著($P<0.01$)高于CK处理27.35%、55.56%、86.04%,有机无机肥配施处理(NPKS和NPKM)土壤全氮含量显著高于NPK处理22.10%和46.09%。各处理土壤全氮含量表现为NPKM>NPKS>NPK>CK。在20~40 cm土层,NPK、NPKS和NPKM处理土壤全氮含量显著高于CK处理32.11%、48.78%和54.88%,有机无机肥配施处理显著高于NPK处理。在40~100 cm土层,



不同大写字母表示相同土层不同处理间差异极显著($P<0.01$)。下同

Different capital letters indicate significant differences among treatments in the same soil layer ($P<0.01$). The same below

图7 长期不同施肥模式对土壤全氮含量的影响

Figure 7 Effects of long-term different fertilization modes on content of soil total N

各施肥处理全氮含量变化较小,施肥处理土壤全氮含量均高于CK处理,其中40~80 cm土层NPKS和NPKM处理显著高于CK处理。

2.8 长期不同施肥模式下土壤全氮与有机氮组分的相关关系

相关性分析结果(表1)表明,在0~20 cm土层,土壤全氮与酸解铵态氮、氨基酸态氮和非酸解氮均存在极显著的正相关关系($P<0.01$)。在20~40 cm土层,土壤全氮与酸解铵态氮、氨基糖态氮和非酸解氮均存在极显著的正相关关系($P<0.01$)。在40~100 cm土层,除了60~80 cm土层氨基酸态氮和80~100 cm土层酸解铵态氮、非酸解氮与土壤全氮存在显著或极显著相关性外,土壤全氮与酸解有机氮各组分间无显著相关性。由此可以看出,在土壤耕层有机氮各组分中,酸解铵态氮、氨基酸态氮和非酸解氮对土壤全氮影响最大。

3 讨论

3.1 长期不同施肥模式下土壤全氮和有机氮不同组分含量的变化

诸多研究表明,酸解有机氮是土壤氮素的重要组成部分,占土壤全氮的90%以上^[1-3,17]。本试验结果表明,酸解总有机氮占全氮含量的比例为59.01%~92.31%,这与国内外多数研究结果基本一致。研究表明,与单施化肥相比,化肥+秸秆还田和有机无机肥配施能够显著提升土壤全氮含量^[11],特别是对表层土壤全氮和有机氮各组分含量影响最大^[14]。本研究结果也表现出类似规律,与长期不施肥处理相比,长期不同施肥模式对土壤全氮和酸解有机氮各组分含量有显著影响,特别是对表层(0~40 cm)土壤全氮和有机氮各组分含量影响极显著。与长期单施化肥相比,化肥+秸秆还田和有机无机肥配施能显著提高土

壤酸解总有机氮、铵态氮、氨基酸态氮和全氮的含量。在酸解有机氮组分中,有机无机肥配施处理主要提高了土壤酸解未知态氮含量,氨基糖态氮的含量在秸秆还田条件下有增加趋势。本试验中,不同处理酸解总有机氮含量表现为NPKM、NPKS>NPK、CK,土壤全氮含量表现为NPKM>NPKS>NPK>CK,表明有机无机肥配施处理对土壤全氮、酸解总有机氮提升效果最优。这一结果主要归因于施肥模式的不同和每年向土壤输入有机物料数量的差异。化肥+秸秆还田和化肥配施有机肥处理每年向土壤中输入养分的总量高于单施化肥处理,与化肥+秸秆还田相比,有机肥本身含有的养分直接影响土壤有机氮组分的变化^[20]。有机肥中的畜禽粪便经土壤中微生物分解从而影响有机氮组分含量^[21-22]。研究表明,施用畜禽粪便类有机肥对土壤有机氮芳香环类物质没有显著影响,但能够提高土壤氨基酸、脂肪酸和蛋白质含量^[23-24]。土壤微生物的矿化-同化过程也会影响土壤有机氮组分含量^[24-25]。富东英等^[26]的研究表明,长期施入土壤中的化学氮素主要向酰胺态氮转化,秸秆还田中氮向氨基糖态氮转化最多,有机肥中氮转化为氨基酸态氮较多。这与本试验结果一致,但有机无机肥配施对土壤氨基糖态氮无明显影响,而在80~100 cm土层不施肥处理氨基糖态氮含量显著高于施肥处理。Xu等^[27]和张旭东等^[28]的研究表明,猪粪和化肥配施处理土壤氨基酸态氮含量高于稻草或绿肥与化肥配施处理。王克鹏等^[29]的研究表明,有机无机肥配施处理的土壤氨基酸态氮和未知态氮含量增加显著。

3.2 长期不同施肥模式下有机氮组分割面分布及比例的变化

张世汉等^[30]的研究表明,土壤酸解有机氮、铵态氮、氨基酸态氮、未知态氮均随土层加深而降低,这与本试验研究结果一致。不同施肥模式对土壤全氮、酸

表1 长期不同施肥模式下土壤全氮与有机氮组分的相关关系(r)

Table 1 Relations between total nitrogen and organic N fractions under long-term different fertilization modes(r)

土层 Soil depth/cm	酸解铵态氮 Ammonium N	氨基糖态氮 Amino sugar N	氨基酸态氮 Amino acid N	酸解未知态氮 Hydrolysable unknown N	非酸解氮 Non hydrolysable N
0~20	0.784**	0.296	0.911**	0.034	0.867**
20~40	0.717**	0.767**	0.361	0.041	0.836**
40~60	0.470	0.018	0.393	0.236	0.422
60~80	0.490	0.016	0.776**	0.366	0.449
80~100	0.713**	0.511	0.501	0.287	0.635*

注:*和**分别表示0.05和0.01水平相关性显著, $n=12$ 。

Note: Significant correlations are marked with one asterisk ($P<0.05$) and two asterisks ($P<0.01$), $n=12$.

解总有机氮和有机氮各组分含量剖面分布也有显著影响,特别是对上层土壤(0~20 cm和20~40 cm)影响显著,对60~100 cm土层有不同程度的影响。酸解有机氮各组分分配比例顺序表现为酸解铵态氮和氨基酸态氮>氨基糖态氮和酸解未知态氮,这与焦亚鹏等^[31]的研究结果不一样,可能是因为土壤类型和施肥年限不同,而且焦亚鹏等^[31]研究的是不同施氮量处理对土壤(0~40 cm)有机氮组分的影响,本研究是长期不同施肥模式对土壤有机氮组分的影响,在单施化肥(NKP)和化肥+秸秆还田(NPKS)处理下,0~20 cm土层酸解有机氮各组分分配比例顺序表现为酸解铵态氮>氨基酸态氮>酸解未知态氮>氨基糖态氮,有机无机肥配施(NPKM)处理下,0~20 cm土层酸解有机氮各组分分配比例顺序表现为氨基酸态氮>酸解铵态氮>酸解未知态氮>氨基糖态氮,但均表现为酸解铵态氮和氨基酸态氮占全氮比例最大。党亚爱等^[32]的研究表明,酸解铵态氮和氨基酸态氮是有机氮组分的主要形态,是土壤易矿化有机氮的源和库。研究表明,土壤酸解有机氮易矿化,而非酸解氮相对稳定,二者在一定条件下可以相互转化^[33]。肖伟伟等^[12]的研究表明,与长期不施肥处理相比,长期单施化肥和有机无机肥配施增加了土壤酸解有机氮的含量,但降低了其占全氮的比例。本研究也得到类似结果。

3.3 长期不同施肥模式下土壤全氮与有机氮组分的关系

高晓宁等^[15]研究发现,土壤全氮与酸解铵态氮、氨基酸态氮显著正相关,推知酸解有机氮中铵态氮和氨基酸态氮是土壤有机氮矿化的主要来源。本试验结果也表明,在表层土壤全氮与酸解铵态氮、氨基酸态氮和非酸解氮含量呈极显著正相关。土壤中易矿化的有机氮各形态能够促进有机氮矿化,提高土壤无机氮含量,进而提升土壤供氮能力,而土壤中难矿化的非酸解氮则有利于土壤氮的贮存^[34]。

4 结论

(1)长期不同施肥模式下土壤全氮含量表现为有机无机肥配施>化肥+秸秆还田>单施化肥>不施肥;土壤酸解总有机氮含量表现为有机无机肥配施、化肥+秸秆还田>单施化肥、不施肥。与单施化肥相比,化肥+秸秆还田和有机无机肥配施处理能够显著提高土壤表层全氮和酸解总有机氮含量。长期施肥能够提高土壤酸解有机氮各组分的含量。在不同施肥模式下有机氮各组分表现为酸解铵态氮和氨基酸态

氮>氨基糖态氮和酸解未知态氮,其中酸解铵态氮和氨基酸态氮是有机氮的主要组分。

(2)与单施化肥相比,化肥+秸秆还田处理主要提升了土壤酸解铵态氮和氨基酸态氮含量,而有机肥配施化肥处理主要提升了土壤酸解铵态氮、氨基酸态氮和酸解未知态氮含量。长期施肥对酸解有机氮各组分含量的剖面分布影响相似,除氨基糖态氮外,其余各组分含量均随土层加深而降低。

(3)长期单施化肥或有机无机肥配施能够提高耕层土壤非酸解氮的相对含量,有机氮组分中酸解铵态氮和氨基酸态氮在土壤全氮中占有优势地位。

综上,化肥+秸秆还田和有机无机肥配施均能够显著增加土壤全氮和有机氮各组分含量,提升土壤供氮潜力,是华北平原潮土区适宜的施肥模式。

参考文献:

- [1] STEVENSON F J. Organic forms of soil nitrogen[M]//STEVENSON F J. Nitrogen in agricultural soils. Madison: American Society of Agronomy Incorporated, 1982:67-122.
- [2] 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.
- [3] 王常慧,邢雪荣,韩兴国. 草地生态系统中土壤氮素矿化影响因素的研究进展[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(11):2184-2188. WANG C H, XING X R, HAN X G. Advances in study of factors affecting soil N mineralization in grassland ecosystems[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(11):2184-2188.
- [4] 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):47-50. PENG L F, HAO M D, LAI L. Soil organic nitrogen compounds and the research of its mineralizable models[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2003, 10(1):47-50.
- [5] 李峰,王凯荣. 红壤丘陵区稻田不同施肥模式对水环境影响的监测评价[J]. *农业环境科学学报*, 2004, 23(1):67-71. LI F, WANG K R. Assessment of risk of different fertilization models in rick field on water environment pollution in a sloped red soil[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2004, 23(1):67-71.
- [6] 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.
- [7] 彭令发,郝明德,来璐. 长期施肥对土壤有机氮影响研究 I. 氮肥及其配施下土壤有机氮组分变化[J]. *水土保持研究*, 2003, 10(1):53-54. PENG L F, HAO M D, LAI L. Studies of long-term fertilization on soil organic N components I. The variation of soil organic N components of N fertilizer and its mixture[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2003, 10(1):53-54.
- [8] 吴汉卿,李素捷,刘洋屹,等. 水氮调控对设施土壤供氮潜力的影响[J]. *生态学杂志*, 2019, 38(5):1410-1418. WU H Q, LI S J, LIU Y

- Y, et al. Effects of irrigation and nitrogen fertilization regulations on soil nitrogen supply potential in greenhouse[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2019, 38(5):1410-1418.
- [9] 王晋, 庄舜尧, 朱兆良. 不同种植年限水田与旱地土壤有机氮组分变化[J]. 土壤学报, 2014, 51(2):286-294. WANG J, ZHUANG S Y, ZHU Z L. Fractions of soil organic nitrogen in paddy and upland soils relative to cropping history[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2014, 51(2):286-294.
- [10] 查春梅, 颜丽, 郝长红, 等. 不同土地利用方式对棕壤有机氮组分及其剖面分布的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(1):22-26. ZHA C M, YAN L, HAO C H, et al. Effect of different land use systems on the form and distribution of organic nitrogen in brown soil[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2007, 13(1):22-26.
- [11] 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 Y, ZHOU J B, YANG X Y. 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.
- [12] 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, 46(2):274-280. XIAO W W, FAN X H, YANG L Z, et al. Effects of long-term fertilization on organic nitrogen fractions and organic carbon in fluvo-aquic soil[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2009, 46(2):274-280.
- [13] 巨晓棠, 刘学军, 张福锁. 长期施肥对土壤有机氮组成的影响[J]. 中国农业科学, 2004, 37(1):87-91. JU X T, LIU X J, ZHANG F S. Effects of long-term fertilization on soil organic nitrogen fractions[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(1):87-91.
- [14] 张玉树, 丁洪, 王飞, 等. 长期施用不同肥料的土壤有机氮组分变化特征[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(10):1981-1986. ZHANG Y S, DING H, WANG F, et al. Characteristics of organic nitrogen fractions in soils under long-term different fertilization[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2014, 33(10):1981-1986.
- [15] 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 X N, HAN X R, LIU N, 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.
- [16] 任金凤, 周桦, 马强, 等. 长期施肥对潮棕壤有机氮组分的影响[J]. 应用生态学报, 2017, 28(5):1661-1667. REN J F, ZHOU H, MA Q, et al. Effects of long-term fertilization on organic nitrogen fractions in aquic brown soil[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, 28(5):1661-1667.
- [17] 郝小雨, 马星竹, 高中超, 等. 长期施肥下黑土活性氮和有机氮组分变化特征[J]. 中国农业科学, 2015, 48(23):4707-4716. HAO X Y, MA X Z, GAO Z C, et al. Variation characteristics of fractions of active nitrogen and organic nitrogen under different long-term fertilization practices in black soil[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(23):4707-4716.
- [18] 赵士诚, 曹彩云, 李科江, 等. 长期秸秆还田对华北潮土肥力、氮库组分及作物产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(6):1441-1449. ZHAO S C, CAO C Y, LI K J, et al. Effects of long-term straw return on soil fertility, nitrogen pool fractions and crop yields on a fluvo-aquic soil in north China[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2014, 20(6):1441-1449.
- [19] BRENNER J M. Organic forms of nitrogen[M]//BLACK C A. Methods of soil analysis. Madison: American Society of Agronomy Incorporation, 1965:1238-1255.
- [20] MORVAN T, NICOLARDOT B. Role of organic fractions on C decomposition and N mineralization of animal wastes in soil[J]. *Biology & Fertility of Soils*, 2009, 45(5):477-486.
- [21] 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 & Biochemistry*, 2007, 39(6):1355-1365.
- [22] 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 & Biochemistry*, 2005, 37(6):1033-1041.
- [23] MAO J, DAN C O, FANG X, 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(1/2):353-362.
- [24] 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(1/2/3):216-224.
- [25] 姜燕宏, 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 Y H, ZHUGE Y P, WEI M, 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.
- [26] 富东英, 田秀平, 薛菁芳, 等. 长期施肥与耕作对白浆土有机态氮组分的影响[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(6):1127-1131. FU D Y, TIAN X P, XUE J F, et al. Effects of long-term culture fertilization and tillage patterns on the speciation of organic nitrogen in albic soil[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(6):1127-1131.
- [27] 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.
- [28] 张旭东, 须湘成. 施用猪粪培肥土壤土壤氨基酸含量的变化[J]. 土壤通报, 1989, 20(6):260-262. ZHANG X D, XU X C. Changes of amino acid content in soils as affected by application of pig manure[J]. *Chinese Journal of Soil Sciences*, 1989, 20(6):260-262.
- [29] 王克鹏, 张仁陟, 董博, 等. 长期免耕和秸秆覆盖下黄土高原旱作土壤不同粒级复合体中酸解有机氮含量及分配比例变化[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(3):659-666. WANG K P, ZHANG R Z, DONG B, et al. Acid hydrolysis organic N content and the distribution in different sizes of soil complexes in Loess Plateau dryland under long-term no-tillage and straw mulching[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2016, 22(3):659-666.

- [30] 张世汉,武均,张仁陟,等.不同氮水平下秸秆、生物质炭添加对旱作农田土壤酸解有机氮组分的影响[J].干旱地区农业研究,2020,38(1):92-100. ZHANG S H, WU J, ZHANG R Z, et al. Effects of nitrogen fertilizer combined with straw and bio-char on soil organic nitrogen components in dryland farmland[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2020, 38(1):92-100.
- [31] 焦亚鹏,齐鹏,王晓娇,等.施氮量对农田土壤有机氮组分及酶活性的影响[J].中国农业科学,2020,53(12):2423-2434. JIAO Y P, QI P, WANG X J, et al. Effects of different nitrogen application rates on soil organic nitrogen components and enzyme activities in farmland[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(12):2423-2434.
- [32] 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 Y A, WANG G D, LI S Q. 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.
- [33] 李文军,杨奇勇,赵迪,等.洞庭湖水稻土有机氮组分及其与可矿化氮的关系特征[J].中国土壤与肥料,2018,277(5):15-23. LI W J, YANG Q Y, ZHAO D, et al. Organic nitrogen fractions and associated relationships with mineralizable nitrogen in paddy soils in Dongting Lake region of China[J]. *Soils and Fertilizers Sciences in China*, 2018, 277(5):15-23.
- [34] 张玉玲,陈温福,虞娜,等.长期不同土地利用方式对潮棕壤有机氮组分及剖面分布的影响[J].土壤学报,2012,49(4):740-747. ZHANG Y L, CHEN W F, YU N, et al. Effect of long-term land use on fractionation and profile distribution of organic nitrogen in aquatic brown soil[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2012, 49(4):740-747.

