

薛明,李玉玺,马超,等. 氮素形态配比对白浆土活性有机碳的调控影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(1):224-227.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.01.058

氮素形态配比对白浆土活性有机碳的调控影响

薛明¹, 李玉玺², 马超², 李兴吉², 王语², 刘兰², 王帅²

(1. 吉林省水利水电勘测设计研究院, 吉林长春 130021; 2. 吉林农业科技学院农学院, 吉林吉林 132101)

摘要:以等氮量为前提,通过设置不同氮素形态配比来调控土壤活性有机碳的组分数量,使土壤活性有机碳向肥力保蓄的方向转化。以混有玉米秸秆的白浆土为供试对象,通过添加等量氮素、不同氮素形态配比[铵态氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$): 硝态氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)摩尔比为 4:1、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$: $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 摩尔比为 1:1、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$: $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 摩尔比为 1:4)]来揭示其对混料活性有机碳组分数量的影响。结果表明,无论何种氮素形态配比,添加氮素均有利于秸秆白浆土混料中水溶性有机碳(water-soluble organic C, 简称 WSOC)的消耗,使之占总有机碳(total organic C, 简称 TOC)的份额降低;其中,铵硝等比例($\text{NH}_4^+ - \text{N}$: $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 为 1:1)供氮更利于 WSOC 成分的分解,其次是以铵态氮占优($\text{NH}_4^+ - \text{N}$: $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 为 4:1)的供氮处理,后者在降低 WSOC 在 TOC 中的含量的作用更为明显;3 种不同氮素形态配比皆有利于微生物对混料易氧化有机碳(readily oxidizable organic C, 简称 ROC)的消耗,相比之下,以铵态氮为主要供氮形态时,微生物对 ROC 的消耗程度最大,其次是以硝态氮为主($\text{NH}_4^+ - \text{N}$: $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 为 1:4)的处理;通过氮素形态配比对 TOC 含量的调控可间接改善 ROC 的产出环境,两者间具有良好的正相关关系;铵态氮作为还原剂对 ROC 的形成有抑制作用,而铵硝等比例及以硝态氮为主的供氮形态更有利于提高 TOC 中 ROC 的比例,前者效果更佳;铵硝等比例供氮能够在较大程度上降低混料有机碳的稳定性,而铵态氮占优则更利于氧化稳定系数(K_{oc})的提高进而有益于养分固存。可见,调控氮素形态配比能够改善白浆土活性有机碳的含量水平,相关规律可作为氮素形态掺混肥研制的理论依据。

关键词:氮素形态;氮素配比;白浆土;活性有机碳;水溶性有机碳;混料易氧化有机碳;调控;氧化稳定系数

中图分类号: S143.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)01-0224-04

活性有机碳是指土壤中有效性高且易被微生物分解、可供植物吸收利用的那部分有机碳,水溶性有机碳(water-soluble organic C, 简称 WSOC)和易氧化有机碳(readily

oxidizable organic C, 简称 ROC)均属土壤总有机碳(total organic C, 简称 TOC)的活性成分。水溶性有机碳是指可通过 0.45 μm 滤孔且易溶于水的有机碳成分,通常由碳水化合物、长链脂族化合物和蛋白质构成。而易氧化有机碳是指在微生物及土壤酶作用下能快速氧化分解的有机碳,氨基酸、碳水化合物和一定数量的微生物生物量碳均属该范畴。

有机碳的氧化稳定性可表征土壤中有机矿质复合体的动态趋势,其与有机质抵抗氧化的能力有关,系数越大表明其有机质越稳定^[1]。袁可能提出用氧化稳定系数(K_{oc})来表征有机碳的氧化稳定性, K_{oc} 值越大,氧化稳定性越大,反之则越小^[2]。有研究表明,长期施用化肥及配施有机肥能显著改善

收稿日期:2016-08-01

基金项目:吉林省教育厅科学技术研究项目(编号:吉教科合字[2015]第 375 号);吉林农业科技学院重点学科培育项目(编号:吉农院合字[2015]第 X004 号)。

作者简介:薛明(1979—),男,吉林集安人,高级工程师,主要从事水土保持研究。E-mail:1419476136@qq.com。

通信作者:王帅,博士,副教授,主要从事土壤生物及环境化学研究。E-mail:wangshuai419@126.com。

分析——以 2003 年江西夏季干旱为例[J]. 遥感技术与应用, 2007,22(5):608-612.

[16] 刘立文,张吴平,段永红,等. TVDI 模型的农业旱情时空变化遥感应用[J]. 生态学报,2014,34(13):3704-3711.

[17] Chen D Y, Huang J F, Jackson T J. Vegetation water content estimation for corn and soybeans using spectral indices derived from MODIS near- and short-wave infrared bands[J]. Remote Sensing of Environment,2005,98(2):225-236.

[18] 张友水,谢元礼. MODIS 影像的 NDVI 和 LSWI 植被水分含量估算[J]. 地理科学,2008,28(1):72-76.

[19] 刘元亮,李艳,吴剑亮. 基于 LSWI 和 NDVI 时间序列的水田信息提取研究[J]. 地理与地理信息科学,2015,31(3):32-37.

[20] Bajgain R, Xiao X M, Wagle P, et al. Sensitivity analysis of

vegetation indices to drought over two tallgrass prairie sites[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing,2015(108):151-160.

[21] 周宇庭,付刚,沈振西,等. 藏北典型高寒草甸地上生物量的遥感估算模型[J]. 草业学报,2013,22(1):120-129.

[22] Zhang Y, Song C H, Sun G, et al. Understanding moisture stress on light use efficiency across terrestrial ecosystems based on global flux and remote sensing data[J]. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences,2015,120(10):2053-2066.

[23] Chandrasekar K, Sessa S, Roy P S, et al. Land surface water index (LSWI) response to rainfall and NDVI using the MODIS vegetation index product[J]. International Journal of Remote Sensing,2010,31(15):3987-4005.

土壤活性有机碳的含量水平,也有一些研究发现,不同氮素形态能通过影响微生物数量及其酶系活性,进而牵涉土壤碳素周转^[3-5]。然而,关于不同氮素形态配比对土壤活性有机碳影响的系统报道尚不多见,因此,本研究采用室内培养法,通过在混以玉米秸秆的白浆土中添加不同的氮素形态配比,试图揭示其对土壤活性有机碳组分数量的影响,相关结论能够为氮素形态掺混的新型肥料研制提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

白浆土于 2015 年 3 月取自吉林农业科技学院北大地玉米试验田(126°28'46.81"E,43°57'37.80"N),经风干、粉碎后过 1 mm 筛;玉米秸秆于 2015 年 11 月采收于吉林农业科技学院西侧玉米试验田,带回实验室后在 55℃条件下烘干至恒质量,粉碎过 0.25 mm 筛。

表 1 氮素形态间不同配比所对应的具体处理方法及代码

代码	同一氮水平(200 mg/kg)下不同氮素形态组合
N[AD,铵态氮(NH ₄ ⁺ -N)占优]	NH ₄ ⁺ -N:硝态氮(NO ₃ ⁻ -N)间的摩尔比为 4:1(由 NH ₄ Cl 和 NH ₄ NO ₃ 2 种试剂配制)
N(AN,铵硝等比例)	NH ₄ ⁺ -N:硝态氮(NO ₃ ⁻ -N)摩尔比为 1:1(NH ₄ NO ₃)
N(ND,硝态氮占优)	NH ₄ ⁺ -N:硝态氮(NO ₃ ⁻ -N)间的摩尔比为 1:4(由 NH ₄ NO ₃ 和 NaNO ₃ 2 种试剂配制)

注:NH₄Cl、NH₄NO₃、NaNO₃ 纯氮的有效含量分别为 26.17%、34.98%、16.47%。

1.3 测定项目及数据处理方法

轻、重组有机碳采用相对密度分组法进行,以 1.8 g/cm³ NaI 为重液,具体参照鲁如坤的方法^[6]进行;易氧化有机碳采用 333 mmol/L KMnO₄ 氧化法^[7]进行。氧化稳定系数(K_{oc})=(TOC-ROC)/ROC×100%^[2]。试验所得数据均采用 Excel 2003 及 SPSS 18.0 软件分析。

2 结果与分析

2.1 氮素形态间不同配比对白浆土 WSOC 的影响

WSOC 是土壤有机物周转及微生物代谢活动的中间产物,尽管含量甚微,但能直接作为微生物可利用的能量物质^[8]。由图 1 可知,在同等氮素用量、不同氮素形态配比的影响下,混以玉米秸秆的白浆土中 WSOC 含量均随培养的进行而渐趋降低。AD、AN、ND 处理下 90 d 时,WSOC 含量的降低幅度分别为 65.6%、68.9%、51.1%。这表明无论铵硝间比例如何,氮素添加均有助于矿化过程的进行。夏雪等研究指出,肥料的施入可为微生物提供丰富的营养源和能源,使其快速繁衍^[9]。因此,迅速增殖的微生物势必会对混料中较易利用的 WSOC 成分产生矿化分解作用,使其随培养的进行而渐趋降低,在此方面,铵硝等比例供氮更有利于 WSOC 成分的分解,其次是以铵态氮占优的供氮处理。据报道,在同等氮素用量、不同形态组合的影响下,土壤微生物呈上升趋势^[10]。因此,可能是铵硝等比例供氮对微生物活性的促进作用更为明显,间接有利于 WSOC 成分的消耗。

此外,为表征其在 TOC 中所占比例的动态变化,笔者所在课题组又利用折线图对该部分内容进行了描述。从单一处理来看,随着培养的进行,WSOC 在 TOC 中的比例均逐渐降低,以铵态氮为主的供氮形态更有助于降低 WSOC 在 TOC 中的份额。陶宝先等在研究中指出,铵态氮可有效抑制 TOC 的矿化,而硝态氮对其矿化无显著性影响^[11]。李嵘等研究认

1.2 试验方法

称取 9.7 kg 白浆土与 0.3 kg 玉米秸秆粉末充分混匀,基于同等氮素用量、不同氮素形态配比的处理要求(表 1),用计量的蒸馏水(根据混合培养体系田间持水量的 50% 来计算用水量)将相应的含氮试剂溶解并喷洒于混料中,待混匀后,按照混料干质量 150 g 装入 250 mL 塑料烧杯中,用可透气的塑料薄膜封口,置于 28℃恒温培养箱中培养。培养试验共设 3 个不同氮素形态配比处理(AD、AN、ND),每个处理依照相应的 7 个时间点(0、15、30、60、90、120、180 d)取样,各时间点均下设 3 个平行样品,共计 63 个样品。每隔 48 h 对样品进行称量并补足水分,确保恒湿条件。达到培养时间后,取出各处理条件下的 3 个样品,迅速转至 55℃鼓风干燥箱中烘干至恒质量,取出磨碎后过 0.25 mm 筛,装入磨口瓶,用于活性碳数量分析。

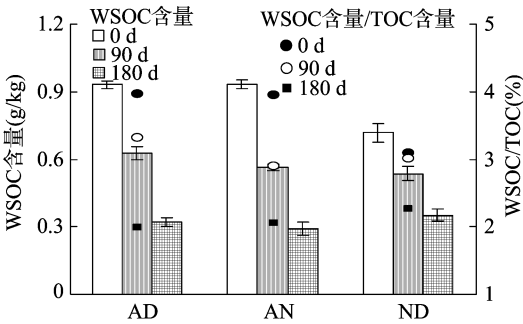


图 1 氮素形态间不同配比对混以玉米秸秆的白浆土中 WSOC 含量及其在 TOC 含量中所占比例的动态影响

为,铵态氮对 TOC 累积的促进作用要高于硝态氮^[12];而艾娜研究指出,以难分解的小麦秸秆为碳源基质时,培养期间微生物对铵态氮的固持率要高于硝态氮^[13]。由此可推断,铵态氮对 TOC 矿化作用的抑制使其含量有所累积,加上微生物对铵态氮的偏好,使 WSOC 的消耗程度增强,进而使 WSOC/TOC 的含量降低。在 0、90 d 这 2 个培养时间点下,微生物利用以铵态氮为主的氮素能削弱微生物对 WSOC 的消耗,而在培养结束时(180 d),其可大幅提升微生物对 TOC 中 WSOC 组分的消耗。由此可推断,以铵态氮占优的供氮模式更有利于促进微生物在培养后期对 TOC 中 WSOC 所占比例的削减。

2.2 氮素形态间不同配比对白浆土易氧化有机碳的影响

由图 2 可见,在不同氮素形态配比添加的影响下,混以秸秆的白浆土中 ROC 含量随培养时间的延长表现出相似的规律,即先略有降低后回升再大幅下降。对比培养始末 ROC 含量的变化情况可知,AD、AN、ND 处理的 ROC 含量降低幅度分别为 39.1%、18.5%、32.5%。

具体来看,在培养 15 d 内,微生物在氮素充足的条件下,首先对秸秆实施分解,有机碳中的活性组分 ROC 因较易矿化而含量降低,尤以铵态氮为主要供氮形态时更利于微生物对

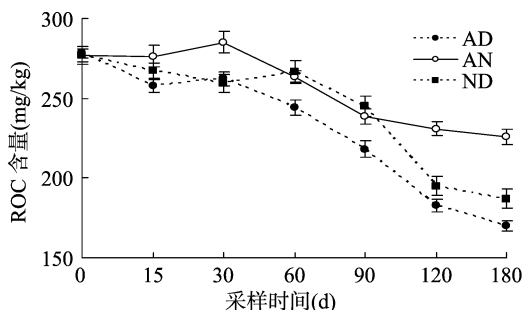


图2 氮素形态间不同配比对混以玉米秸秆的白浆土中 ROC 含量的动态影响

ROC 组分的消耗,促使其降幅达到最大,而后随微生物繁衍增殖,更多活性碳组分进入 ROC,使其含量水平有所提升,最终在培养中后期,随微生物活性衰退,对秸秆矿化能力减弱,ROC 含量被大量消耗以维系微生物代谢活动直至培养结束^[14]。值得注意的是,ND 处理在培养 60 d 时,混料 ROC 含量再次获得提升,这也许是因为硝态氮占优的供氮处理,其在培养过程中历经反硝化作用,有向 N_2O 和 N_2 转化的趋势,在此过程中硝态氮作为氧化剂,对 ROC 的形成有促进作用,但最终未能抵御微生物活性衰退所导致的 ROC 含量降低^[15-16]。此外,在整个培养过程中,以铵态氮为主要供氮形态时,微生物对 ROC 的消耗程度最大,其次是以硝态氮占优的处理,而铵硝等比例氮素投入更利于稳定 ROC 的含量水平、降低微生物对其含量的消耗。

为了更好地理解供氮形态对 ROC 含量的影响机制,笔者所在课题组又对混料中 ROC 与 TOC 间的相互关系进行了描述,如图 3 所示。无论添加何种氮素形态,随混料 TOC 含量的增加,ROC 含量均可获得提升,这表明通过氮素形态对比对 TOC 含量的调控可间接改善 ROC 的产出环境,两者间呈现较好的正相关关系,这与杨金钰等的研究结果^[17] 相似。

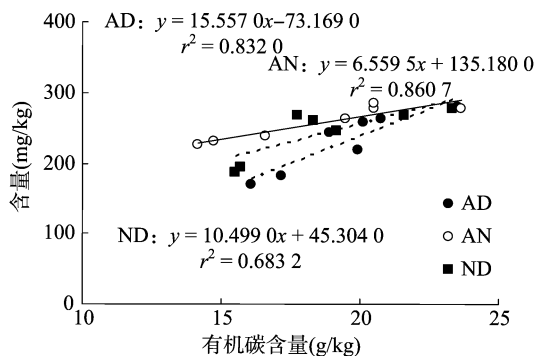


图3 基于不同氮素形态配比添加影响下白浆土中 ROC 和 TOC 含量间的相关性分析

为进一步探明氮素形态间不同配比对混以玉米秸秆白浆土 TOC 中 ROC 含量的变化规律,笔者所在课题组又对 ROC 含量/TOC 含量进行了动态分析,结果见图 4。在不同氮素形态配比添加的影响下,ROC 含量/TOC 含量呈现不同的变化规律。在 AD 处理下,混料 ROC 含量/TOC 含量在培养前期(0~15 d)呈增加趋势,而后整体逐渐降低;AN 处理下,ROC 含量/TOC 含量有明显的增加趋势,而在 ND 处理下,ROC 含量/TOC 含量先增加而后呈波动性下降。

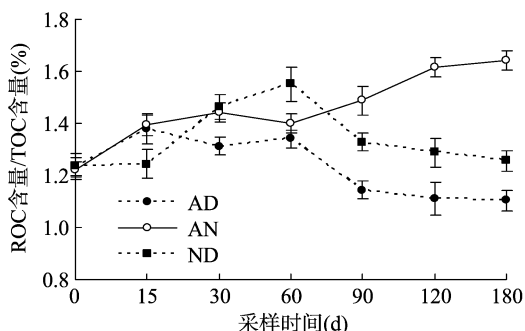


图4 氮素形态间不同配比对混以玉米秸秆的白浆土中 ROC 含量在 TOC 含量中所占比例的动态影响

上述结果表明,铵态氮占优的供氮措施可使微生物活性在短期内获得较大提升,并由此改善了 ROC 的含量水平,而后因硝化作用,铵态氮形式逐渐向硝态氮形态转化^[18]。在此过程中,铵态氮可作为还原剂对 ROC 的形成产生抑制作用,加之后续微生物活性的减弱,致使 ROC 含量逐渐降低;铵硝等比例投入,氧化还原反应处于平衡、稳定状态,且微生物活跃程度较高,在培养期间更有利于提升 ROC 在 TOC 中的分配比例。而以硝态氮占优的供氮模式,其作为氧化剂历经反硝化作用可有效提升 ROC 的分配比例,而在培养后期,反硝化细菌的扩繁抑制了好氧微生物的活性,使其活性衰退,进而促使 ROC 所占比例的降低^[19]。整体来看,铵硝等比例氮素添加对提升 ROC 含量,促进土壤功能活化的效果最为明显。

K_{os} 可用于衡量有机碳的氧化稳定性,施肥能通过改变土壤 ROC 含量进而影响 K_{os} 的变化^[2,20]。如图 5 所示,以不同氮素形态配比添加为前提,混以秸秆白浆土的 K_{os} 随培养的进行表现出不同的规律。首先,在 AD 处理下, K_{os} 先有所降低而后逐渐提高并趋于平稳,在 AN 处理下, K_{os} 在波动中有所降低,而在 ND 处理下, K_{os} 先降低,在培养达 60 d 后, K_{os} 值跌至谷底,之后再度增加并趋于平稳。对比培养始末 K_{os} 结果可知,AN 处理能够在较大程度上降低有机碳的稳定性,ND 处理能够在较小幅度内降低有机碳的稳定性,而 AD 处理能够提高有机碳的稳定性,提高 K_{os} ,使其增幅达 11.1%。

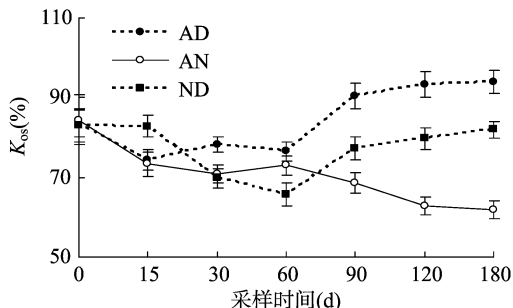


图5 氮素形态组合对混以玉米秸秆的 K_{os} 的动态影响

根据上述规律可知,在以铵态氮为主要氮素形态时,微生物较易获取氮素养分^[21],在矿化分解秸秆方面更具优势,有机碳稳定性易遭破坏,而后随微生物的降解能力衰退,养分呈储蓄状态, K_{os} 有所提升。在添加铵硝等比例氮素后,微生物在相对稳定的电位环境下对秸秆的氧化降解能力逐渐增强,并可延续至培养结束。在以硝态氮占优势的氮素供应下,微生物活性增强效果不明显,致使较为稳定的有机碳成分聚集。随培养进行到后期,硝态氮作为反硝化作用的基质材料,其所

扮演的氧化剂角色在某种程度上增大了微生物对秸秆的氧化降解,使 K_{oc} 再度提升。对比培养前后结果,铵硝等比例氮肥投入更利于微生物对秸秆的矿化分解,使 ROC 含量和难氧化有机碳成分不断降低,不利于养分的保蓄,反之,以铵态氮为主要氮源时则更利于微生物对 ROC 的消耗,使养分在某种程度上得到固存。

3 结论

WSOC 易受施肥措施影响,无论氮素形态配比如何,其添加均有利于秸秆白浆土混料中 WSOC 的消耗,使之占 TOC 的份额降低。其中,铵硝等比例供氮更利于 WSOC 成分的分解,其次是以铵态氮占优的氮素形态组合,后者在降低 WSOC 在 TOC 中比例的作用更为明显,尤其是培养进入中后期 (90 ~ 180 d)。

ROC 可表征土壤所能释放有效肥力的多少。3 种不同氮素形态配比皆有利于微生物对 ROC 的消耗,相比之下,以铵态氮为主要供氮形态时,微生物对 ROC 的消耗程度最大,其次是以硝态氮为主的处理;通过氮素形态对比对 TOC 含量的调控可间接改善 ROC 的产出环境,两者间具有良好的正相关关系。

铵态氮作为还原剂对 ROC 的形成有抑制作用,而铵硝等比例及以硝态氮为主的供氮形态更有利于提高 TOC 中 ROC 的含量,前者效果更佳。

铵硝等比例供氮能够在较大程度上降低混料有机碳的稳定性,而铵态氮占优则更利于 K_{oc} 的提高,进而有益于养分固存。可见,调控氮素形态配比能够改善白浆土活性有机碳的含量水平,相关规律可作为氮素形态掺混肥研制的理论依据。

参考文献:

- [1] 彭娟,符卓旺,朱洁,等. 耕作制度对紫色水稻土有机碳累积及矿化动态的影响[J]. 水土保持学报,2011,25(4):175-178,182.
- [2] 袁可能. 土壤有机矿质复合体研究 I. 土壤有机矿质复合体中腐殖质氧化稳定性的初步研究[J]. 土壤通报,1963,11(3):286-293.
- [3] 黄威,陈安磊,王卫,等. 长期施肥对稻田土壤活性有机碳和氮的影响[J]. 农业环境科学学报,2012,31(9):1854-1861.
- [4] 曾骏,郭天文,于显枫,等. 长期施肥对土壤活性有机碳和碳库管理指数的影响[J]. 土壤通报,2011,42(4):812-815.
- [5] 马宗斌,熊淑萍,何建国,等. 氮素形态对专用小麦中后期根际土壤微生物和酶活性的影响[J]. 生态学报,2008,28(4):1544-

- 1551.
- [6] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,1999:146-195.
- [7] Blair G J, Lefroy R D B, Lisle L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems[J]. Australian Journal of Agricultural Research, 1995, 46(7):1459-1466.
- [8] 丁少男,薛 蕙,刘国彬. 施肥处理对黄土丘陵区农田土壤酶活性和水溶性有机碳、氮的影响[J]. 农业环境科学学报,2015,34(11):2146-2154.
- [9] 夏雪,谷浩,高华,等. 不同配肥方案对土壤酶活性和小麦产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(2):472-476.
- [10] 张雪,刘守伟,吴凤芝,等. 不同氮素形态对黄瓜根区土壤微生物数量及土壤酶活性的影响[J]. 中国蔬菜,2014(3):19-25.
- [11] 陶宝先,宋长春. 氮素形态对泥炭沼泽土壤有机碳矿化的影响[J]. 生态环境学报,2015,24(3):372-377.
- [12] 李 嵘,常瑞英. 土壤有机碳对外源氮添加的响应及其机制[J]. 植物生态学报,2015,39(10):1012-1020.
- [13] 艾娜. 不同处理土壤微生物量对氮素的固持及其调控研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2008.
- [14] 严君,韩晓增,王树起,等. 不同形态氮素对种植大豆土壤中微生物数量及酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(2):341-347.
- [15] 陈思,张克强,麻晓越,等. 外源硝态氮对典型耕作土壤冻结过程 N_2O 排放的影响[J]. 环境科学研究,2014,27(6):635-641.
- [16] 李文静. 黄沙河岸带湿地污染特征其反硝化活性研究[D]. 广州:华南理工大学,2011.
- [17] 杨金钰,刘 烨,王西和,等. 长期施肥下灰漠土易氧化有机碳的变化特征研究[J]. 新疆农业大学学报,2014,37(3):240-245.
- [18] 王小纯,李高飞,安 帅,等. 氮素形态对中后期小麦根际土壤氮转化微生物及酶活性的影响[J]. 水土保持学报,2010,15(12):204-207,245.
- [19] 辛明秀,赵 颖,周 军,等. 反硝化细菌在污水脱氮中的作用[J]. 微生物学通报,2007,34(4):773-776.
- [20] 韩志卿,张电学,王介元,等. 长期施肥对土壤有机质氧化稳定性动态变化及其与肥力关系的影响[J]. 河北农业大学学报,2000,23(3):31-35.
- [21] 杨程,刘秋香. 活性碳源对蔬菜地土壤硝态氮及氮氧化物气体的影响[J]. 江苏农业科学,2016,44(2):378-381.