

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

HUANJING KEXUE

■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2019

Vol.40 No.8

第40卷 第8期

目次

2016年京津冀地区红色预警时段PM _{2.5} 污染特征与浓度控制效果	张冲, 郎建奎, 程水源, 王晓琦 (3397)
北京地区秋冬季大气污染特征及成因分析	徐冉, 张恒德, 杨孝文, 程水源, 张天航, 江琪 (3405)
合肥市PM _{2.5} 和PM ₁₀ 中元素组成特征及重污染成因分析	刘可可, 张红, 刘桂建 (3415)
濮阳市秋冬季大气细颗粒物污染特征及来源解析	陈楚, 王体健, 李源昊, 马红磊, 陈璞琰, 王德羿, 张元勋, 乔琦, 李光明, 王文红 (3421)
关中地区细颗粒物碳组分特征及来源解析	康宝荣, 刘立忠, 刘煥武, 李养养, 艾双双, 曹宁, 雷颖 (3431)
长春季细颗粒物中有机气溶胶组成特征及来源	吴瑕, 曹芳, 翟晓瑶, 范美益, 张世春, 章炎麟 (3438)
中国城市扩张及空间特征变化对PM _{2.5} 污染的影响	王桂林, 张炜 (3447)
不同湿法脱硫工艺对燃煤电厂PM _{2.5} 排放的影响	邓建国, 马子珍, 李振, 段雷, 蒋靖坤 (3457)
浙江省合成革行业挥发性有机物污染特征及排放系数	徐佳琦, 王浙明, 宋爽, 徐志荣, 姚轶 (3463)
生活垃圾填埋场细菌气溶胶粒径分布及种群特征	马嘉伟, 杨凯雄, 柴风光, 王莹, 郭雪松, 李琳 (3470)
青岛近海生物气溶胶中总微生物的分布特征	官静, 祁建华, 李鸿涛 (3477)
广州饮用水水源地多环芳烃分布、来源及人体健康风险评价	宋玉梅, 王畅, 刘爽, 潘佳钊, 郭鹏然 (3489)
截污调水后滇池表层沉积物中16种PAHs的分布特征	胡昕怡, 高冰丽, 陈坦, 王洪涛, 金军, 饶竹, 朱雪芹, 王雪郡, 魏抱楷, 战楠, 刘彦廷, 戚敏 (3501)
黄河三角洲石油开采区盐渍化农田土壤多环芳烃的分布特征与源解析	邱慧, 刘月仙, 解小凡, 张萌, 王伟 (3509)
风场对太湖梅梁湾水华及营养盐空间分布的影响	余茂蕾, 洪国喜, 朱广伟, 权秋梅, 许海, 朱梦圆, 丁文浩, 李未, 吴挺峰 (3519)
向家坝水库营养盐时空分布特征及滞留效应	王耀耀, 吕林鹏, 纪道斌, 方海涛, 朱晓声, 张庆文, 霍静, 何金艳 (3530)
外源输入对底泥疏浚新生表层磷恢复及迁移的影响	李鑫, 耿雪, 王洪伟, 龚琬晴, 文帅龙, 钟继承, 李大鹏 (3539)
新疆喀什三角洲地下水SO ₄ ²⁻ 化学特征及来源	魏兴, 周金龙, 乃尉华, 曾妍妍, 范薇, 李斌 (3550)
黄土区洛川塬地下水化学特征及影响因素分析	李洲, 李晨曦, 华琨, 李志 (3559)
北京市河流秋季浮游动物群落特征分析	王海邻, 刘玉飞, 任玉芬, 贺玉晓, 王思琪, 张红星, 王效科, 李紫鑫 (3568)
三峡水库干流底栖硅藻群落组成及其与环境因子的关系	刘黎, 贺新宇, 付君珂, 杨燕君, 米文梅, 施军琼, 吴忠兴 (3577)
渭河流域水体细菌群落的环境响应及生态功能预测	万甜, 何梦夏, 任杰辉, 闫幸幸, 程文 (3588)
汾河下游水体nirS型反硝化细菌群落组成与无机氮关系	汪银龙, 冯民权, 董向前 (3596)
饮用水快速砂滤池优势微生物群落的代谢功能解析	胡万超, 赵琛, 王巧娟, 刘锐平, 柏耀辉 (3604)
基于污水厂污泥资源化利用的粗放型绿色屋顶水质控制效果	彭航宇, 李田, 齐悦, 何云鹏, 黄楚玉, 张卓然 (3612)
植被对绿色屋顶径流量和水质影响	章孙逊, 张守红, 张英, 吴思婷 (3618)
光催化/活性炭/纳滤组合工艺处理二级出水及对膜污染的控制	范科文, 李星, 杨艳玲, 周志伟 (3626)
多种材料对水中氨氮的吸附特性	焦巨龙, 杨苏文, 谢宇, 金位栋, 闫玉红, 徐彬 (3633)
不同氨氮浓度对4株常见藻株生长及酶活性的影响	常婷, 许智慧, 程鹏飞, 徐继林, 周成旭 (3642)
3种基质材料对高浓度养殖废水处理效果及降解过程	刘铭羽, 夏梦华, 李远航, 陈坤, 赵聪芳, 李希, 李裕元, 吴金水 (3650)
铝污泥酸化提取液改性沸石的除磷特性及机制	韩芸, 胡玉洁, 连洁, 杨思哲, 齐泽宁 (3660)
缺氧MBBR耦合部分厌氧氨氧化强化城市生活污水深度脱氮	杨岚, 彭永臻, 李健伟, 高锐涛, 王茗, 李夕耀 (3668)
连续流系统中好氧段及沉淀段对污泥及其缺氧段脱氮能力的影响	薛欢婷, 袁林江, 刘小博, 孙恒锐 (3675)
FeS自养反硝化与厌氧氨氧化的耦合脱氮机制	马景德, 潘建新, 李泽敏, 王一显, 吴海珍, 韦朝海 (3683)
ANAMMOX体系中氨与硫酸盐的同步转化条件	董石语, 毕贞, 张文静, 黄勇 (3691)
全国城市污水处理厂中微生物群落的溯源分析	张冰, 吴林蔚, 文湘华 (3699)
不同溶解氧浓度下硝化工艺中微生物种群结构对比	刘文如, 顾广发, 宋小康, 杨殿海 (3706)
异养硝化细菌Acinetobacter junii NP1的同步脱氮除磷特性及动力学分析	杨奎, 陈宁, 任勇翔, 崔坤, 汪旭晖, 肖倩, 郭淋凯 (3713)
Type 0092丝状菌污泥微膨胀在短程硝化中的实现	高春娣, 安冉, 韩徽, 张娜, 任浩, 赵楠, 焦二龙, 彭永臻 (3722)
高盐高碱环境下硝化反硝化过程及N ₂ O产生特征	代伟, 赵剑强, 丁家志, 刘双 (3730)
生物炭对盐碱土壤氨挥发的影响	王一宇, 王圣森, 戴九兰 (3738)
两种土壤增效剂对稻田氨挥发排放的影响	周玉玲, 侯朋福, 李刚华, 王绍华, 杨林章, 薛利红, 丁艳锋 (3746)
承德市滦河流域土壤重金属地球化学基线厘定及其累积特征	孙厚云, 卫晓峰, 甘凤伟, 王恒, 何泽新, 贾凤超, 张竞 (3753)
厦门某旱地土壤垂直剖面中重金属迁移规律及来源解析	张炜华, 于瑞莲, 杨玉杰, 胡恭任, 崔建勇, 颜妍, 黄华斌 (3764)
宝鸡市区土壤重金属污染影响因子探测及其源解析	张军, 董洁, 梁青芳, 杨宁宁, 耿雅妮 (3774)
铁铈氧化物对土壤As(V)和P的稳定化效果	林龙勇, 阎秀兰, 杨硕 (3785)
铁锰氧化物在不同水分条件下对土壤As的稳定化作用	周海燕, 邓一荣, 林龙勇, 曹梦华, 钟立荣 (3792)
生物炭对双季稻水稻土微生物生物量碳、氮及可溶性有机碳氮的影响	刘杰云, 邱虎森, 汤宏, 沈健林, 吴金水 (3799)
有机物料对紫色土微生物量碳、氮及氮素供应的影响	汪月, 张名豪, 赵秀兰 (3808)
土地利用方式对土壤团聚体稳定性和有机碳含量的影响	罗晓虹, 王子芳, 陆畅, 黄容, 王富华, 高明 (3816)
宁南山区退耕还林还草对土壤氮素组成及其转化酶活的影响	高涵, 肖礼, 牛丹, 倪银霞, 黄懿梅 (3825)
不同浸提剂条件下生物炭吸附性有机物的浸出规律	何品晶, 张昊昊, 仇俊杰, 邵立明, 吕凡 (3833)
基于成组生物毒性测试的PM _{2.5} 毒性	江晓栋, 薛银刚, 魏永, 许霞, 刘菲, 薛柯, 施昕澜, 顾铭 (3840)
《环境科学》征订启事 (3587)	
《环境科学》征稿简则 (3595)	
信息 (3611, 3705, 3745)	

有机物料对紫色土微生物量碳、氮及氮素供应的影响

汪月^{1,2}, 张名豪^{1,2}, 赵秀兰^{1,2*}

(1. 西南大学资源环境学院, 教育部三峡库区生态环境重点实验室, 重庆 400715; 2. 重庆市农业资源与环境研究重点实验室, 重庆 400716)

摘要:以猪粪沼渣(PM)、牛粪沼渣(CM)、污泥堆肥(SC)、农村生活垃圾堆肥(RWC1)、农村生活垃圾与污泥的堆肥产物(污泥比例20%, RWC2)为材料, 采用培养试验和盆栽试验研究了有机物料对酸性紫色土和石灰性紫色土中微生物量碳(MBC)、氮(MBN)含量及玉米幼苗氮吸收的影响。结果表明, 有机物料使酸性和石灰性紫色土MBC含量分别提高了53.63%~102.91%和12.14%~137.00%, 有机物料分解愈慢、碳氮比(C/N)愈高, 土壤MBC愈大; 而MBN含量分别提高了23.37%~150.08%和35.02%~160.02%, 受物料的有机氮形态影响。两种土壤MBC/MBN随物料C/N的升高总体降低, 高C/N物料有利于MBN的长期维持。除牛粪沼渣外, 有机物料均可提高两种紫色土中玉米幼苗的生物量及氮吸收量, 提高幅度为SC>PM>RWC2>RWC1, 但其对氮素吸收的促进效果不及化肥。牛粪沼渣对玉米幼苗氮吸收的抑制作用与其较高的C/N有关, 而其余物料的促进作用随MBC/MBN降低而增高。因此, 有机物料对氮素吸收利用的影响不仅与其性质有关, 也与其对土壤MBC/MBN的作用有关。

关键词:紫色土; 有机物料; 微生物碳; 微生物氮; 氮吸收

中图分类号: X171.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2019)08-3808-08 DOI: 10.13227/j.hjks.201901022

Effects of Organic Amendments on Microbial Biomass Carbon and Nitrogen Uptake by Corn Seedlings Grown in Two Purple Soils

WANG Yue^{1,2}, ZHANG Ming-hao^{1,2}, ZHAO Xiu-lan^{1,2*}

(1. Key Laboratory of Eco-environments in Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education, College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2. Chongqing Key Laboratory of Agricultural Resources and Environment, Chongqing 400716, China)

Abstract: An incubation experiment and a pot experiment were carried out to investigate the effects of organic materials on microbial biomass carbon (MBC) and nitrogen (MBN) content, dry weight, and nitrogen uptake of maize seedlings grown in an acidic purple soil and a calcareous purple soil. The organic materials used included pig manure biogas residue (PM), cattle manure biogas residue (CM), sludge compost (SC), compost from rural domestic waste both with and without 20% sludge (RWC1 and RWC2, respectively). The results showed that MBC content in the acidic and calcareous purple soils increased by 53.63%-102.91% and 12.14%-137.00%, respectively. The slower the decomposition of organic materials and the higher the C/N ratio, the bigger the MBC content of the soils. Furthermore, MBN contents, which were affected by the different forms of organic, increased by 23.37%-150.08% and 35.02%-160.02%, respectively. The MBC/MBN contents of both soils decreased with the increase in the C/N ratio of the organic materials, but a higher C/N ratio was beneficial for maintaining a higher MBN content over an extended period of time. With the exception of CM, the addition of organic materials improved the biomass of maize seedlings, and their nitrogen uptake and utilization rate in both soils were also significantly enhanced, although these effects were less than that achieved through conventional fertilization. The uptake and utilization of nitrogen followed the order of SC>PM>RWC2>RWC1. The inhibiting effect of CM was related to its higher C/N ratio, while the promoting effect of the other materials on nitrogen uptake by the corn seedlings increased as soil MBC/MBN content decreased. Therefore, the influence of organic materials on the change and supply of soil nitrogen was not only related to their properties but also to their effects on soil MBC/MBN content.

Key words: purple soil; organic materials; microbial biomass carbon; microbial biomass nitrogen; nitrogen uptake

土壤微生物是土壤有机质矿化和碳氮等元素循环的主要参与者, 也是土壤养分转化供应的驱动者^[1]。土壤微生物量碳(MBC)和氮(MBN)是土壤微生物量的重要表征, 其大小反映土壤对有机氮的同化和矿化能力, 是土壤活性高低的重要标志^[2]。土壤微生物量碳、氮虽然仅占土壤碳氮的很小部分, 却被认为是土壤活性养分的储存库和土壤有效养分的重要来源^[3], 研究土壤微生物量碳氮变化规律及其与作物养分吸收利用的关系对改善和维持土

壤肥力, 提高作物产量具有重要意义。

氮是农业生态系统中的一个重要限制营养元素, 土壤中90%以上的氮以有机态氮存在, 土壤本土及外源进入土壤中的有机氮只有通过微生物矿化分解后才能被植物吸收^[4]。因而, 土壤微生物与植

收稿日期: 2019-01-03; 修订日期: 2019-03-10

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2013BAJ11B03)

作者简介: 汪月(1995~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为土壤污染修复, E-mail: wangyue9729@163.com

* 通信作者, E-mail: zxl@swu.edu.cn

物对氮素存在竞争关系,当土壤中的能源物质碳充足时,微生物对氮素的竞争能力强,氮素被微生物固定,有效性降低;反之,当碳素减少时,微生物对氮的固定能力减弱,微生物量氮降低,其中的氮素被释放,植物的氮吸收量增大^[5, 6]. 已有研究表明,有机物料可为微生物提供能源物质碳素和营养物质氮素,提高微生物活性,增加土壤 MBC 和 MBN 含量,从而影响土壤氮素的有效性及植物对氮素的吸收和利用^[7],但不同有机物料对微生物量碳氮的影响不同. 目前关于有机物料类型^[8, 9]、用量^[10]、与无机肥料配合施用^[5]对土壤 MBC、MBN 的影响已有研究,但不同有机物料影响土壤微生物碳氮规律及机制仍不清楚. 有机物(肥)料是土壤氮素的重要来源之一,关于有机物料对土壤氮素供应及植物氮吸收的影响机制研究多从有机氮的矿化分解^[11]、碱解氮^[12]或矿质氮^[13]变化角度进行,从土壤微生物量变化角度的研究还很少.

为此,本研究采用室内培养试验和盆栽试验,通过测定酸性紫色土和石灰紫色土中微生物量碳、氮动态,玉米生长及氮素吸收量的变化,探讨有机物料对土壤氮素供应的影响及其在不同土壤间的差异,以期有机物料的合理施用提

供理论依据.

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试土壤:酸性紫色土(APS)和石灰性紫色土(CPS),均采自重庆市北碚区西南大学试验农场 0~20 cm 的土壤. 土壤于室内风干后,挑去细根,磨细过 2 mm 筛备用.

供试有机物料:猪粪沼渣(PM)、牛粪沼渣(CM)、污泥堆肥(SC)、农村生活垃圾堆肥(堆肥过程中不添加污泥,RWC1)、农村生活垃圾与污泥的堆肥产物(堆肥过程中添加 20% 的污泥,RWC2). 其中,PM 和 CM 分别采自重庆某养猪场和某奶牛场,SC 和两种 RWC 由本实验室提供,供试堆肥样品均达到腐熟程度. 有机物料磨细过 1.0 mm 筛备用.

土壤和有机物料的 pH、有机质及养分含量见表 1. 其中,APS 的颗粒组成为 48.0% 砂粒、34.4% 粉粒和 17.6% 黏粒;CPS 的颗粒组成为 41.8% 砂粒、38.2% 粉粒和 20.0% 黏粒.

供试生物为玉米,品种为中糯 309(*Zea mays* L. var. Zhongru309).

表 1 供试土壤和有机物料的基本理化性质
Table 1 Physiochemical properties of the tested materials

样品		pH 值	全氮 /g·kg ⁻¹	全磷 /g·kg ⁻¹	全钾 /g·kg ⁻¹	有机质 /g·kg ⁻¹	C/N	NH ₄ ⁺ -N /mg·kg ⁻¹	NO ₃ ⁻ -N /mg·kg ⁻¹
供试土壤	APS	5.62	1.05	0.53	12.23	23.37	12.85	10.24	5.09
	CPS	8.18	0.94	0.66	11.49	20.94	12.91	14.07	3.42
有机物料	PM	7.40	22.73	27.74	5.38	599.41	15.30	146.29	121.52
	CM	7.97	14.82	3.27	3.97	654.10	25.60	130.33	30.38
	SC	8.55	17.53	6.42	17.95	565.59	18.72	736.78	42.53
	RWC1	8.48	17.56	4.90	27.94	529.97	17.50	63.84	610.65
	RWC2	8.52	17.99	7.40	26.74	559.12	18.03	66.50	118.48

1.2 试验设计

采用室内培养试验,研究有机物料对土壤微生物量碳氮的影响. 本试验设两种紫色土,施用 5 种有机物料,以不施肥为对照组,共 12 个处理,每处理 3 次重复. 有机物料的用量(以 N 计)设为 80 mg·kg⁻¹,等氮量施入. 称取风干过筛土壤 1.5 kg,与有机物料混匀后,用去离子水将水分含量调节到田间持水量的 60%,装入 1 000 mL 的广口塑料桶中,用塑料薄膜封口,并用针在塑料薄膜上扎适量小孔. 将塑料桶置于培养箱中进行避光培养,培养温度为(25±1)℃. 每隔 5 d 用重量差减法补充水分使水分含量稳定.

采用盆栽试验研究不同有机物料对玉米氮吸收利用的影响. 试验设在西南大学 1 号大棚温室,试

验采用 15×20 cm 的塑料盆,每盆装土 2.5 kg,按 360 kg·hm⁻² 的添加量(以 N 计)施用 5 种有机物料和化肥(CF, 尿素),以磷酸氢二钾和氯化钾补充磷肥和钾肥,所有肥料均作为底肥一次施入,另设空白对照 CK(不施加任何有机物料和化肥),共 14 个处理,每个处理 3 次重复. 将有机物料与土壤充分混匀后装入塑料桶,每盆播种种子 5 粒,三叶期留下长势一致的植株 3 棵. 生长期间用去离子水浇灌,土壤水分保持在田间持水量的 50%~60%,并定期调换各盆钵的位置.

1.3 样品采集

室内培养试验:分别于 0(培养当天)、1、2、3、4、6、8、12、16 周采取土样,测定土壤含水率及微生物量碳(MBC)和微生物量氮(MBN)含量.

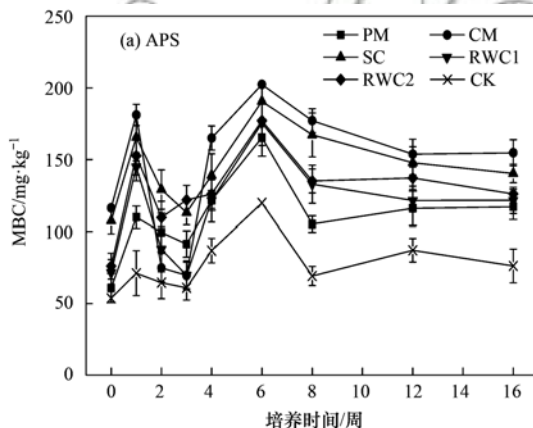
盆栽试验:45 d 后收获植株,分成地上部和根两部分,洗净,于 105℃ 烘 2 h,再于 60℃ 下烘干称重后,粉碎,测定其全氮含量。

1.4 测定方法

供试土壤和有机物料的 pH、全氮、全磷、全钾、有机质含量、 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 以及植株的全氮含量采用常规方法测定。

土壤微生物量碳氮含量的测定参照 Brookes 等^[14]和 Vance 等^[15]的方法,采用氯仿熏蒸浸提法测定。具体为:称取相当于烘干土重 10 g 的新鲜土样于烧杯中,将其置于底部有少量 NaOH、200 mL 水和去乙醇氯仿的真空干燥器中,用真空泵抽至氯仿沸腾,保持 3~5 min,在 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ 下遮光培养 24 h 后打开干燥器,除尽氯仿。将熏蒸后的土样加入 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{SO}_4$ 50 mL,振荡浸提 30 min,迅速过滤,同时以未熏蒸土样为对照。用碳分析仪测定滤液中的有机碳含量,凯氏蒸馏法测定滤液中的全氮含量。根据下列公式计算 MBC 和 MBN 的含量。

$$\text{MBC}(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}) = E_C/K_C,$$



$$\text{MBN}(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}) = E_N/K_N$$

式中, E_C 和 E_N 分别为熏蒸和未熏蒸土壤中 K_2SO_4 滤液中的有机碳和全氮的差值, K_C 和 K_N 分别为 0.38 和 0.45^[16]。

1.5 数据处理方法

数据采用 Excel 2007 软件进行统计,采用 SPSS 19.0 软件进行方差分析和相关性分析,用 Duncan 多重比较法进行差异显著性检验,显著水平设为 0.05。采用 Origin 8.5 软件进行作图。

2 结果与分析

2.1 有机物料对土壤微生物量碳(MBC)的影响

土壤微生物量碳是土壤有机质中活性较高的部分,它是土壤养分的重要来源,也是有机质分解和矿化的动力^[17]。如图 1 所示,各有机物料处理土壤微生物量碳的变化趋势基本一致,即在培养初期迅速升高,于第 1 周达到第一个峰值,之后不同程度降低,第 2~3 周后再次升高,于第 6 周达第二个峰值,也是最大值,随后降低并在第 8 周后趋于稳定。

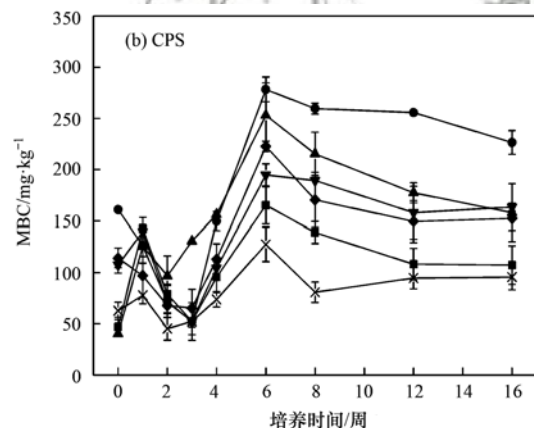


图 1 不同有机物料对土壤 MBC 的影响

Fig. 1 Effect of different organic materials on soil MBC

方差分析结果如表 2 所示。培养初期,土壤类型和有机物料种类对 MBC 含量均无显著影响,这可能与培养前期土壤环境不稳定有关。随着培养时间延长,这两种因素对土壤 MBC 含量产生显著或极显著影响,而二者的交互作用影响均不显著,表明有机物料和土壤类型是影响土壤 MBC 的主要因素。第 4 周后,CPS 的 MBC 含量显著高于 APS 的 MBC 含量,有机物料使两种土壤的 MBC 含量均提高,但不同培养阶段提高程度不同。与 CK 相比,添加有机物料使 APS 和 CPS 中的 MBC 含量在第 4 周时分别提高 40%~90.01% 和 41.18%~111.8%,在第 6 周时分别提高了 38.03%~69.01% 和 60.27%~118.55%,培养结束时分别提高 53.63%~102.91% 和 12.14%

~137.00%。提高幅度均表现为 $\text{CM} > \text{SC} > \text{RWC2} > \text{RWC1} > \text{PM}$,其中 CM 与 SC、SC 与 RWC2 间存在显著差异,而 RWC2、RWC1 与 PM 间的差异不显著。

2.2 有机物料对土壤微生物量氮(MBN)的影响

如图 2 所示,随着培养时间延长,MBN 在不同土壤中的变化趋势有一定差异。APS 中,MBN 含量在培养前 2 周出现波动,第 2 周后上升,第 3 周达到峰值,之后迅速降低,第 8 周后趋于稳定;CPS 中 MBN 含量在第 1 周升高,之后降低,第 2 周后持续升高,第 6 周时达最大值,之后又降低,12 周后趋于平缓。

有机物料种类及土壤类型对土壤 MBN 含量呈极显著或显著的影响,而二者的交互作用影响也不

表 2 土壤类型和有机物料及其交互作用对土壤 MBC、MBN 影响的方差分析¹⁾

Table 2 Variance analysis of the effects of soils, organic materials and their interactions on soil MBC and MBN		培养时间(周)								
指标	因素效应	0	1	2	3	4	6	8	12	16
MBC	土壤	ns	ns	* *	* *	* *	* *	* *	* *	*
	有机物料	ns	ns	* *	ns	*	* *	* *	* *	* *
	土壤 × 有机物料	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
MBN	土壤	ns	* *	*	* *	*	* *	* *	*	ns
	有机物料	* *	* *	* *	* *	* *	* *	* *	*	* *
	土壤 × 有机物料	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

1) ns 表示 $P > 0.05$, * 表示 $P < 0.05$, * * 表示 $P < 0.01$

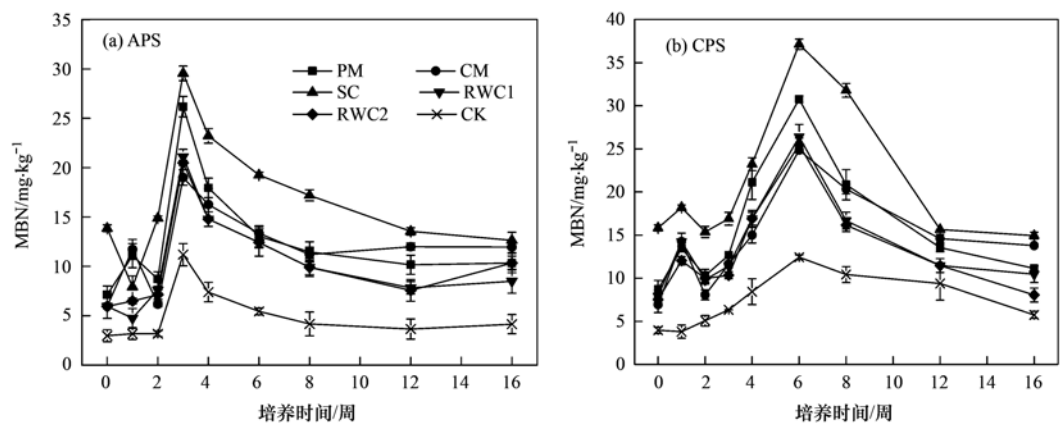


图 2 不同有机物料对土壤 MBN 的影响
Fig. 2 Effect of different organic materials on soil MBN

显著(表 2)。两种土壤中在培养初期的 MBN 含量差异不明显,第 3 周后,CPS 中的 MBN 含量显著高于 APS。而培养过程中,有机物料种类对 MBN 含量均有极显著影响。达最大值时,APS 与 CPS 中各处理的 MBN 含量较 CK 分别提高 33.32% ~ 107.39% 和 80.00% ~ 198.76%,提升幅度均为 SC > PM > RWC1 > RWC2 > CM;培养结束时,两种土壤各处理的 MBN 含量相比 CK 分别提高了 23.37% ~ 150.08% 和 35.02% ~ 160.02%,提升幅度均为 SC > CM > PM > RWC2 > RWC1。

2.3 有机物料对土壤微生物量碳、氮比 (MBC/MBN) 的影响

MBC/MBN 可用于反映土壤微生物群落的结构信息,施用有机物料导致的土壤 MBC/MBN 变化反映出土壤微生物结构的动态变化^[18]。一般情况下,细菌的碳/氮比在 5:1 左右,真菌在 10:1 左右,放线菌在 6:1 左右^[19]。如图 3 所示,培养初期,APS 和 CPS 的 MBC/MBN 分别为 7.79 ~ 19.59 和 7.65 ~ 18.74,微生物群落以真菌为主,随着培养的进行,APS 的 MBC/MBN 除 CM 处理外呈先升高后降低,

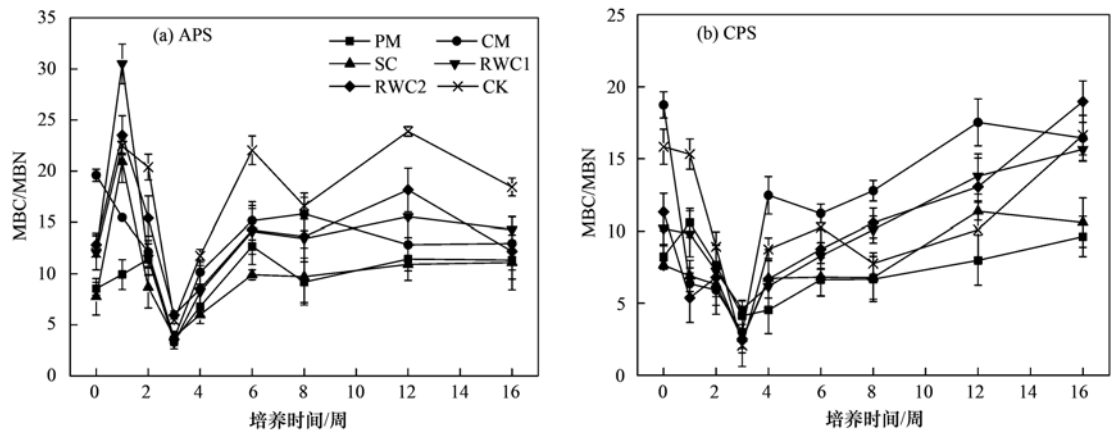


图 3 不同有机物料对土壤 MBC/MBN 的影响
Fig. 3 Effect of different organic materials on soil MBC/MBN

CPS 的 MBC/MBN 除 PM 处理外降低,但两种土壤均在第3周时达最低值,此时的 MBC/MBN 在 3~5 之间,说明土壤微生物群落由开始的真菌为主转化为细菌为主.之后 MBC/MBN 在 APS 中逐渐上升并在第6周后趋于平缓,而 CPS 中一直呈缓慢上升趋势到培养结束,土壤微生物群落又以真菌为主.

有机物料对 MBC/MBN 的影响因土壤的不同而异. APS 中,有机物料使 MBC/MBN 降低,其中,CM、RWC1 和 RWC2 处理的 MBC/MBN 含量较高,且变异较大,PM 与 SC 处理的 MBC/MBN 最低,且二者无显著差异. CPS 中,PM 与 SC 处理的 MBC/MBN 也最低,第4周后的 CM 处理、第8周的 RWC1 和 RWC2 处理、第12周的 RWC1、RWC2 和 SC 处理外,其余有机物料处理的 MBC/MBN 均低于对照,即有机物料降低了土壤的 MBC/MBN. 这与陈安强等^[2]的结果一致,也说明有机物料在不同程度上改变了土壤微生物的群落结构.

2.4 有机物料对玉米幼苗生长及氮素吸收利用的影响

不同有机物料对玉米幼苗生长的影响见图4. 两种土壤中,APS 中的玉米幼苗生物量显著高于 CPS. 不同肥料对两种土壤中玉米生长的影响不同. APS 中,玉米幼苗生物量表现为 CF > SC > RWC1 >

RWC2 > PM > CK > CM, 其中, CF、SC、RWC1、RWC2 和 PM 的差异不显著,但均显著高于 CK,而 CK 处理显著高于 CM; CPS 中,玉米幼苗生物量表现为 SC > CF > RWC1 > RWC2 > PM > CK > CM, SC、CF、RWC1 与 RWC2 的差异不显著,但均显著高于 CK 与 PM,而 CK 和 PM 处理显著高于 CM,表明两种土壤中 CM 显著抑制了玉米幼苗的生长,SC、RWC1 及 RWC2 处理与常规化肥 CF 相当,而 PM 在酸性土壤中与化肥相当,在石灰性土壤中的作用不显著.

玉米幼苗氮素吸收量为玉米地上部干重 × 地上部氮含量 + 根部干重 × 根氮含量^[20]. 图4表明,两种土壤中的玉米幼苗氮吸收量差异不显著,各施肥处理的氮吸收量表现为 CF > SC > PM > RWC1 > RWC2 > CK > CM. 其中,CF 与 SC、SC、PM、RWC2 与 CK,CK 与 CM 间存在显著差异,PM、RWC1 与 RWC2 间的差异不显著,即与常规施肥 CF 比,有机物料使玉米地上部氮吸收量显著降低,与 CK 相比,除 CM 处理显著降低外,其余4种有机物料处理使 APS、CPS 中玉米地上部氮吸收量显著提高,提高幅度分别为 25.93% ~ 177.13% 和 38.24% ~ 99.11%. 表明除 CM 外,有机物料能促进玉米幼苗对氮的吸收,但促进效果不及常规施肥.

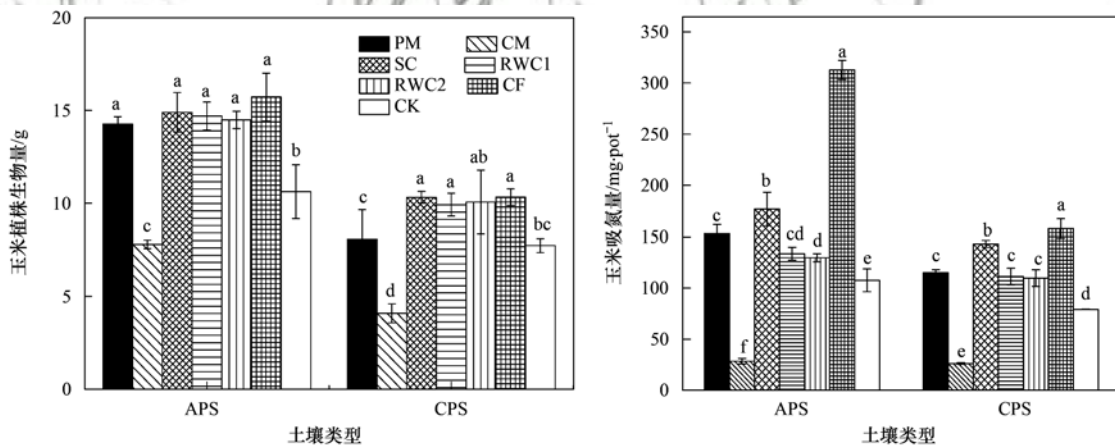


图4 不同有机物料处理下玉米幼苗的生物量及氮素累积量

Fig. 4 Biomass and nitrogen accumulation by maize seedlings treated with different organic materials

玉米幼苗氮素利用率(%)为施肥处理与对照玉米氮吸收量之差除以氮素施用量 × 100^[21], 结果见图5. APS 和 CPS 中各处理氮素利用率分别为 -19.77% ~ 51.30% 和 -13.25% ~ 19.67%, 均表现为 CF > SC > PM > RWC2 > RWC1 > CM, 常规施肥处理(CF)的氮素利用率最高, 显著高于各有机物料处理, 说明等氮量施用下, 化肥中氮素的有效性最高. 结果与晁赢等^[22]的研究一致. CM 处理氮的利用率为负, 说明牛粪沼渣抑制了玉米幼苗对氮素的吸收, 其他有机物料则促进玉米对氮素的吸

收. 氮素的吸收量及利用率中, SC 处理显著高于其它有机物料处理, 而 PM、RWC1 和 RWC2 间无显著差异. 这可能与污泥中蛋白质态氮与可溶性氮化物占全氮比例较高有关, 使得氮肥利用率明显优于其它有机物料^[23].

3 讨论

土壤 MBC 是土壤微生物量大小的指标, 而土壤 MBN 是土壤中有机-无机氮转化的关键环节之一, 其含量是土壤中微生物对碳和氮固定与释放的

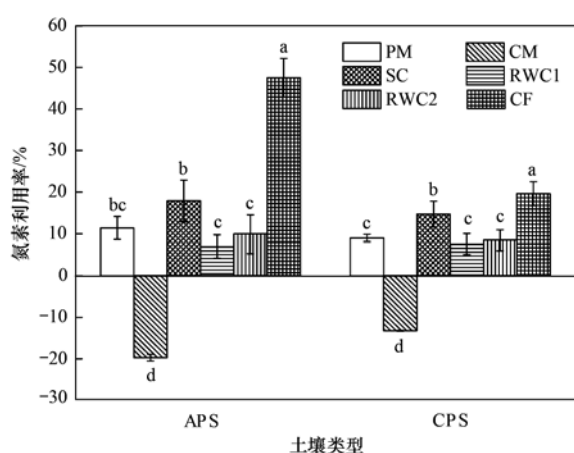


图5 不同有机物料处理下玉米幼苗的氮素利用率

Fig. 5 Nitrogen use efficiency of maize seedlings treated with different organic materials

综合反映^[5]. 培养过程中, 两种土壤中的 MBC 和 MBN 总体表现为上升、达最大值后下降, 最后趋于平缓的变化趋势. 这是因为培养条件下土壤的温湿度适宜, 微生物利用土壤中有机碳源和养分进行大量繁殖, 将碳、氮固定在自身体内, 导致微生物量碳、氮达最大值^[24]. 之后, 随着有机质的分解, 土壤中的能源物质和养分减少, 微生物数量减少, 微生物量碳、氮含量降低, 当土壤有机质处于动态平衡状态时, 微生物量碳、氮含量也趋于稳定^[11, 17].

不同土壤类型的 MBC、MBN 及其比值不同. 其中, APS 的 MBC、MBN 含量低于 CPS, 而 MBC/MBN 则相反, 明显高于 CPS. Li 等^[25]研究表明有机质及黏粒含量是影响土壤 MBC 和 MBN 的主要因素, 徐永刚等^[26]报道偏酸性土壤中微生物量及细菌群落结构多样性相对较低. 本研究中, 酸性紫色土的有机质和全氮含量较石灰性紫色土略高, 但其 MBC、MBN 含量更低可能与其较低的 pH 对土壤微生物活动有一定抑制作用有关. 土壤 MBC/MBN 不仅反映土壤微生物结构, 也反映土壤氮素的供应能力, MBC/MBN 较低时, 土壤氮素具有较高的生物有效性^[27]. 本研究中, CPS 的 MBC/MBN 较 APS 低, 表明其中的氮素有更高的生物有效性.

有机物料可提高土壤有机质含量, 改善土壤理化性状, 为微生物生长提供营养条件和适宜的生长环境, 从而显著提高土壤 MBC 及 MBN 含量, 改变 MBC/MBN, 但这种影响因土壤类型及有机物料性质的不同而异^[27]. 本研究中, 不同有机物料使土壤 MBC 及 MBN 含量均提高, 提高幅度 CPS 较 APS 高, 而 MBC/MBN 在 APS 中表现为降低, 在 CPS 中, 除 CM 处理升高外, 其余有机物料处理 MBC/MBN 降低. 施用有机物料条件下, 土壤微生物量碳、氮主要取决于物料中碳的有效性、C/N、氮含

量^[26]. 一般认为施用碳有效性高的有机物料可使土壤有更高的微生物量碳^[7, 28]. 本研究所用有机物料分解矿化 1/2 的时间 $t_{1/2}$ 以 CM 最长, RWC 最短, SC 和 PM 居中^[29], 氮含量以 PM 最高, CM 最低, C/N 比也以 CM 最高, 但以 PM 最低, SC、RWC2 和 RWC1 的氮含量及 C/N 居中, 且在数值上相近 (见表 1). 两种土壤 MBC 含量均以 CM 处理最高, SC 次之, PM 最低, 有随 C/N 比提高和 $t_{1/2}$ 的延长而增加的变化趋势, 表明有机物料分解愈慢、C/N 比愈高, 土壤 MBC 值愈大. 此外, CM 处理 MBC 含量最高也可能是其含更多能快速利用有机物料纤维素分解菌所致^[30]. 胡玮等^[31]的研究表明, C/N 比低的有机物料更有利于土壤 MBN 提高. 本研究中, 土壤 MBN 含量在最大值时以 SC、PM 较高, CM 最低, 培养结束时仍以 SC 较高, RWC2 及 RWC1 最低, 随有机物料 C/N 比或氮含量的变化并未表现出一定的规律. 与其他物料相比, SC 和 PM 处理的 MBN 含量更高, 这可能与其酸解氮比例高^[32], 相同施氮量下, 有更多的氮被微生物利用有关, 表明有机氮形态同样影响土壤 MBN. SC 处理 MBN 含量最高还可能是因其脲酶含量高于其它物料引起. 有研究表明, 脲酶是土壤中的一种专性酶, 也是土壤氮素循环中的一种关键酶, 直接参与有机氮向有效氮的转化过程, 可为微生物提供更多的可利用氮, 提高土壤 MBN 含量^[33]. 此外, 培养期间 CM 处理的 MBN 在最大值时最低, 培养结束时仅次于 PM, 石灰性土壤中甚至还高于 PM 处理, 表明 C/N 低的物料短期内有助于维持较高的 MBN, 而 C/N 高的物料更有利于 MBN 的长期维持, 该结果与其他研究者的结果一致^[24, 25]. 添加有机物料使两种土壤 MBC/MBN 总体降低, 这可能与有机物料提高了土壤氮素的活性, 使土壤微生物对氮的同化能力增强, 微生物量氮含量升高所致^[26]. 而土壤 MBC/MBN 以 CM 最低, PM 与 SC 最高, 表明有机物料 C/N 同样是影响 MBC/MBN 的重要因素.

等氮量施用条件下, 与有机物料处理相比, 两种土壤中常规施肥处理玉米幼苗生长和氮素的吸收利用更高, 这与化肥较有机物料有更高养分有效性有关^[27]. 有机物料对玉米幼苗生长及氮素吸收量利用的影响也因种类的不同而异, 其中 CM 表现出明显的抑制作用, 而其他有机物料表现出不同程度的促进作用. CM 对玉米幼苗生长的抑制作用在石灰性紫色土中可能是由于其 C/N 较高, 施入土壤后提高了土壤 MBC 含量和 MBC/MBN, 微生物固氮作用增强, 致使土壤氮素有效性降低, 玉米幼苗对氮素的吸收不足, 生长受阻^[34]. 而酸性紫色土中,

CM 处理的 MBC/MBN 降低, 其对玉米幼苗生长的抑制作用也可能与其纤维素含量、矿化分解速度慢、养分含量较低有关^[35]. 因此实际应用中, 施用 CM 需配施无机肥以调节其过高的 C/N 比, 补充其养分较低的不足, 才能实现氮素持续稳定地供给. 其他有机物料处理间玉米幼苗地上部生物量差异不显著, 而氮素的吸收利用以 SC 处理最高, 其次为 PM 处理, 最低为 RWC1, 也未呈现随 C/N 的降低而增高的趋势, 但有随 MBC/MBN 降低而增高的趋势. SC 处理氮素吸收利用最高也可能与其酸解有机氮比例较高、氮素的有效性高有关, 结果与周立祥等^[23]的研究结果一致.

4 结论

(1) 培养过程中, 两种土壤的 MBC 和 MBN 总体表现为上升、达最大值后下降, 最后趋于平缓的变化趋势. 不同土壤类型的 MBC、MBN 及其比值不同, 其中, 酸性紫色土的 MBC、MBN 含量低于石灰性紫色土, 而 MBC/MBN 则相反.

(2) 有机物料使土壤 MBC 及 MBN 含量提高, 使 MBC/MBN 比总体降低. 有机物料分解愈慢、C/N 比愈高, 土壤 MBC 值提高幅度愈大; 有机物料有机氮形态影响土壤 MBN 含量; 有机物料 C/N 也是影响 MBC/MBN 的重要因素, 且高 C/N 的物料有利于 MBN 的长期维持.

(3) 等氮条件下, 不同有机物料对玉米幼苗生长和氮素吸收利用的影响不同. 牛粪沼渣的 C/N 高、养分含量低, 施用后抑制了玉米幼苗生长及氮素吸收量利用, 而其他有机物料表现出不同程度的促进作用, 促进作用以污泥堆肥最明显. 因而, 实际应用中, 牛粪沼渣宜与化肥配合施用, 以调节其过高的 C/N 比, 补充其养分较低的不足.

参考文献:

- [1] Nair A, Ngouajio M. Soil microbial biomass, functional microbial diversity, and nematode community structure as affected by cover crops and compost in an organic vegetable production system[J]. *Applied Soil Ecology*, 2012, **58**: 45-55.
- [2] 陈安强, 付斌, 鲁耀, 等. 有机物料输入稻田提高土壤微生物碳氮及可溶性有机碳氮[J]. *农业工程学报*, 2015, **31**(21): 160-167.
- Chen A Q, Fu B, Lu Y, *et al.* Exogenous organic materials applied to paddy field improving soil microbial biomass C, N and dissolved organic C, N[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, **31**(21): 160-167.
- [3] Deng S P, Parham J A, Hattey J A, *et al.* Animal manure and anhydrous ammonia amendment alter microbial carbon use efficiency, microbial biomass, and activities of dehydrogenase and amidohydrolases in semiarid agroecosystems[J]. *Applied Soil Ecology*, 2006, **33**(3): 258-268.
- [4] De La Rosa J M, Liebner F, Pour G, *et al.* Partitioning of N in growing plants, microbial biomass and soil organic matter after amendment of N-ammonoxidized lignins[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2013, **60**: 125-133.
- [5] 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, Zheng G D, Liu X Y, *et al.* Dynamics, sources and supply characteristic of microbial biomass nitrogen in soil applied with manure and fertilizer[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, **40**(4): 765-772.
- [6] Heijboer A, Ten Berge H F M, De Ruiter P C, *et al.* Plant biomass, soil microbial community structure and nitrogen cycling under different organic amendment regimes; A ¹⁵N tracer-based approach[J]. *Applied Soil Ecology*, 2016, **107**: 251-260.
- [7] Foster E J, Hansen N, Wallenstein M, *et al.* Biochar and manure amendments impact soil nutrients and microbial enzymatic activities in a semi-arid irrigated maize cropping system[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2016, **233**: 404-414.
- [8] OMARI R A, Aung H P, Hou M D, *et al.* Influence of different plant materials in combination with chicken manure on soil carbon and nitrogen contents and vegetable yield[J]. *Pedosphere*, 2016, **26**(4): 510-521.
- [9] Singh J S, Gupta V K. Soil microbial biomass: A key soil driver in management of ecosystem functioning[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, **634**: 497-500.
- [10] 石思博, 王旭东, 叶正钱, 等. 菌渣化肥配施对稻田土壤微生物量碳氮和可溶性碳氮的影响[J]. *生态学报*, 2018, **38**(23): 8612-8620.
- Shi S B, Wang X D, Ye Z Q, *et al.* Effects of the combination of fungal residue and chemical fertilizer on soil microbial biomass carbon and nitrogen and dissolved organic carbon and nitrogen in paddy soil[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, **38**(23): 8612-8620.
- [11] Azeez J O, Van Averbeke W. Nitrogen mineralization potential of three animal manures applied on a sandy clay loam soil[J]. *Bioresource Technology*, 2010, **101**(14): 5645-5651.
- [12] 卢光明, 苟剑渝, 张远淑, 等. 配施有机肥对新复垦土壤氮素及烟叶氮含量的影响[J]. *山地农业生物学报*, 2018, **37**(5): 25-30, 61.
- Lu G M, Gou J Y, Zhang Y S, *et al.* Effects of application of organic fertilizers on soil nitrogen and nitrogen content of tobacco leaves in new reclaimed soil[J]. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 2018, **37**(5): 25-30, 61.
- [13] 张祥明, 孙义祥, 王文军, 等. 有机肥部分替代化肥对水稻土壤供氮特征和氮素表观盈亏的影响[J]. *农学学报*, 2018, **8**(12): 28-34.
- Zhang X M, Sun Y X, Wang W J, *et al.* Organic manure partial replacing chemical fertilizer: effect on supply ability and apparent budget of rice soil nitrogen[J]. *Journal of Agriculture*, 2018, **8**(12): 28-34.
- [14] Brookes P C, Landman A, Pruden G, *et al.* Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1985, **17**(6): 837-842.
- [15] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1987, **19**(6): 703-707.
- [16] 吴金水, 肖和艾. 土壤微生物生物量碳的表观周转时间测定方法[J]. *土壤学报*, 2004, **41**(3): 401-407.
- Wu J S, Xiao H A. Measuring the gross turnover time of soil

- microbial biomass C under incubation [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2004, **41**(3): 401-407.
- [17] 徐阳春, 沈其荣, 冉炜. 长期免耕与施用有机肥对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响[J]. *土壤学报*, 2002, **39**(1): 89-96.
- Xu Y C, Shen Q R, Ran W. Effects of zero-tillage and application of manure on soil microbial biomass C, N, and P after sixteen years of cropping[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2002, **39**(1): 89-96.
- [18] Das B B, Dkhar M S. Organic amendment effects on microbial population and microbial biomass carbon in the rhizosphere soil of soybean [J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2012, **43**(14): 1938-1948.
- [19] Wardle D A. Controls of temporal variability of the soil microbial biomass: A global-scale synthesis [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1998, **30**(13): 1627-1637.
- [20] 赵营, 赵天成, 王世荣. 缓/控释肥在土壤中的氮素释放特征及其对春玉米氮吸收的影响[J]. *中国农学通报*, 2015, **31**(17): 163-168.
- Zhao Y, Zhao T C, Wang S R. Effect of slow/controlled release fertilizers on N uptake of spring maize and their N releasing characteristics in Soil[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2015, **31**(17): 163-168.
- [21] 周博, 高佳佳, 周建斌. 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.
- Zhou B, Gao J J, Zhou J B. Carbon and nitrogen mineralization characteristics of different types of organic manures[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2012, **18**(2): 366-373.
- [22] 晁赢, 李絮花, 赵秉强, 等. 有机无机肥料长期配施对作物产量及氮素吸收利用的影响[J]. *山东农业科学*, 2009, (3): 71-75.
- Chao Y, Li X H, Zhao B Q, *et al.* Effects of long-term combined application of organic and inorganic fertilizers on crop yield and nitrogen uptake [J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2009, (3): 71-75.
- [23] 周立祥, 胡鸞堂, 戈乃玢, 等. 城市污泥土地利用研究[J]. *生态学报*, 1999, **19**(2): 185-193.
- Zhou L X, Hu A T, Ge N F, *et al.* Study on utilization of municipal sewage sludge in farmland and forest land[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, **19**(2): 185-193.
- [24] 李世清, 李生秀. 有机物料在维持土壤微生物体氮库中的作用[J]. *生态学报*, 2001, **21**(1): 136-142.
- Li S Q, Liu S X. Effects of organic materials on maintaining soil microbial biomass nitrogen[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, **21**(1): 136-142.
- [25] Li L, Xu M, Ali E, *et al.* Factors affecting soil microbial biomass and functional diversity with the application of organic amendments in three contrasting cropland soils during a field experiment[J]. *PLoS One*, 2018, **13**(9): e0203812.
- [26] 徐永刚, 宇万太, 马强, 等. 长期不同施肥制度对潮棕壤微生物生物量碳、氮及细菌群落结构的影响[J]. *应用生态学报*, 2010, **21**(8): 2078-2085.
- Xu Y G, Yu W T, Ma Q, *et al.* Effects of long-term fertilizations on microbial biomass C and N and bacterial community structure in an aquic brown soil[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, **21**(8): 2078-2085.
- [27] Malik A M, Khan K S, Marschner P, *et al.* Organic amendments differ in their effect on microbial biomass and activity and on P pools in alkaline soils[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2013, **49**(4): 415-425.
- [28] Mallory E B, Griffin T S. Impacts of soil amendment history on nitrogen availability from manure and fertilizer[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2007, **71**(3): 964-973.
- [29] 肖瑞芳. 有机物料对水稻土有机质组分及水稻吸收磷的影响[D]. 重庆: 西南大学, 2017. 16-17.
- Xiao R F. Effect of organic materials on fractions of organic matter and cadmium uptake by rice in paddy soil [D]. Chongqing: Southwest University, 2017. 16-17.
- [30] 曹云, 常志州, 黄红英, 等. 畜禽粪便堆肥前期理化及微生物性状研究[J]. *农业环境科学学报*, 2015, **34**(11): 2198-2207.
- Cao Y, Chang Z Z, Huang H Y, *et al.* Chemical and biological changes during early stage of composting of different animal wastes [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2015, **34**(11): 2198-2207.
- [31] 胡玮, 李桂花, 任意, 等. 不同碳氮比有机肥组合对低肥力土壤小麦生物量和部分土壤肥力因素的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2011, (2): 22-27.
- Hu W, Li G H, Ren Y, *et al.* The effects of combined organic manure in different carbon-to-nitrogen ratio on wheat biomass and soil fertility in low fertility soil[J]. *Soils and Fertilizers Sciences in China*, 2011, (2): 22-27.
- [32] 张名豪, 卢吉文, 赵秀兰. 有机物料对两种紫色土氮素矿化的影响[J]. *环境科学*, 2016, **37**(6): 2291-2297.
- Zhang M H, Lu J W, Zhao X L. Effect of different organic materials on nitrogen mineralization in two purple soils [J]. *Environmental Science*, 2016, **37**(6): 2291-2297.
- [33] 全少伟, 时连辉, 刘登民, 等. 不同有机废弃物堆肥对土壤有机碳库及酶活性的影响[J]. *水土保持学报*, 2013, **27**(3): 253-258.
- Tong S W, Shi L H, Liu D M, *et al.* Effects of different organic waste compost on soil organic carbon pool and enzyme activities [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2013, **27**(3): 253-258.
- [34] Liu M G, Hu F, Chen X Y, *et al.* Organic amendments with reduced chemical fertilizer promote soil microbial development and nutrient availability in a subtropical paddy field: The influence of quantity, type and application time of organic amendments[J]. *Applied Soil Ecology*, 2009, **42**(2): 166-175.
- [35] De Melo Carvalho M T. Biochar improves fertility of a clay soil in the Brazilian Savannah: short term effects and impact on rice yield[J]. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, 2013, **114**(2): 101-107.

CONTENTS

Characteristics of PM _{2.5} Pollution and the Efficiency of Concentration Control During a Red Alert in the Beijing-Tianjin-Hebei Region, 2016	ZHANG Chong, LANG Jian-lei, CHENG Shui-yuan, <i>et al.</i> (3397)
Concentration Characteristics of PM _{2.5} and the Causes of Heavy Air Pollution Events in Beijing During Autumn and Winter	XU Ran, ZHANG Heng-de, YANG Xiao-wen, <i>et al.</i> (3405)
Elemental Composition Characteristics of PM _{2.5} and PM ₁₀ , and Heavy Pollution Analysis in Hefei	LIU Ke-ke, ZHANG Hong, LIU Gui-jian (3415)
Pollution Characteristics and Source Apportionment of Fine Particulate Matter in Autumn and Winter in Puyang, China	CHEN Chu, WANG Ti-jian, LI Yuan-hao, <i>et al.</i> (3421)
Pollution Characteristics and Sources of Carbonaceous Components in PM _{2.5} in the Guanzhong Area	KANG Bao-rong, LIU Li-zhong, LIU Huan-wu, <i>et al.</i> (3431)
Molecular Composition and Source Apportionment of Fine Organic Aerosols in Autumn in Changchun	WU Xia, CAO Fang, ZHAI Xiao-yao, <i>et al.</i> (3438)
Effects of Urban Expansion and Changes in Urban Characteristics on PM _{2.5} Pollution in China	WANG Gui-lin, ZHANG Wei (3447)
Effect of a Wet Flue Gas Desulphurization System on the Emission of PM _{2.5} from Coal-Fired Power Plants	DENG Jian-guo, MA Zi-zhen, LI Zhen, <i>et al.</i> (3457)
Pollution Characteristics and Emission Coefficients for Volatile Organic Compounds from the Synthetic Leather Industry in Zhejiang Province	XU Jia-qí, WANG Zhe-míng, SONG Shuang, <i>et al.</i> (3463)
Particle Size Distribution and Population Characteristics of Airborne Bacteria Emitted from a Sanitary Landfill Site	MA Jia-wei, YANG Kai-xiong, CHAI Feng-guang, <i>et al.</i> (3470)
Distribution of Total Microbes in Atmospheric Bioaerosols in the Coastal Region of Qingdao	GONG Jing, QI Jian-hua, LI Hong-tao (3477)
Distribution, Sources, and Health Risk Assessment of PAHs in Water Supply Source Regions of Guangzhou	SONG Yu-mei, WANG Chang, LIU Shang, <i>et al.</i> (3489)
Distribution of 16 Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Dianchi Lake Surface Sediments After the Integrated Water Environment Control Project	HU Xin-yi, GAO Bing-li, CHEN Tan, <i>et al.</i> (3501)
Distribution Characteristics and Source Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Salinized Farmland Soil from the Oil Mining Area of the Yellow River Delta	QIU Hui, LIU Yue-xian, XIE Xiao-fan, <i>et al.</i> (3509)
Wind Field Influences on the Spatial Distribution of Cyanobacterial Blooms and Nutrients in Meiliang Bay of Lake Taihu, China	YU Mao-lei, HONG Guo-xi, ZHU Guang-wei, <i>et al.</i> (3519)
Spatial and Temporal Distribution Characteristics and the Retention Effects of Nutrients in Xiangjiaba Reservoir	WANG Yao-yao, LÜ Lin-peng, JI Dao-bin, <i>et al.</i> (3530)
Effects of Exogenous Inputs on Phosphorus Recovery and Transport in Newborn Surface Layers from Sediment Dredging	LI Xin, GENG Xue, WANG Hong-wei, <i>et al.</i> (3539)
Chemical Characteristics and Sources of Groundwater Sulfate in the Kashgar Delta, Xinjiang	WEI Xing, ZHOU Jin-long, NAI Wei-hua, <i>et al.</i> (3550)
Groundwater Chemistry Characteristics and the Analysis of Influence Factors in the Luochuan Loess Tablelands	LI Zhou, LI Chen-xi, HUA Kun, <i>et al.</i> (3559)
Analysis of River Zooplankton Community Characteristics in Autumn in Beijing	WANG Hai-lin, LIU Yu-fei, REN Yu-fen, <i>et al.</i> (3568)
Benthic Diatom Communities in the Main Stream of Three Gorges Reservoir Area and Its Relationship with Environmental Factors	LIU Li, HE Xin-yu, FU Jun-ke, <i>et al.</i> (3577)
Environmental Response and Ecological Function Prediction of Aquatic Bacterial Communities in the Weihe River Basin	WAN Tian, HE Meng-xia, REN Jie-hui, <i>et al.</i> (3588)
Community Composition of <i>nirS</i> -type Denitrifying Bacteria in the Waters of the Lower Reaches of the Fenne River and Its Relationship with Inorganic Nitrogen	WANG Yin-long, FENG Min-quan, DONG Xiang-qian (3596)
Metabolic Functional Analysis of Dominant Microbial Communities in the Rapid Sand Filters for Drinking Water	HU Wan-chao, ZHAO Chen, WANG Qiao-juan, <i>et al.</i> (3604)
Control Measure Effects on the Effluent Quality from Extensive Green Roofs Based on Stabilized Sludge Recycling	PENG Hang-yu, LI Tian, QI Yue, <i>et al.</i> (3612)
Impacts of Vegetation on Quantity and Quality of Runoff from Green Roofs	ZHANG Sun-xun, ZHANG Shou-hong, ZHANG Ying, <i>et al.</i> (3618)
Organic Matter Removal and Membrane Fouling Control of Secondary Effluents Using a Combined Nanofiltration Process	FAN Ke-wen, LI Xing, YANG Yan-ling, <i>et al.</i> (3626)
Adsorption Properties of Ammonia Nitrogen in Aqueous Solution by Various Materials	JIAO Ju-long, YANG Su-wen, XIE Yu, <i>et al.</i> (3633)
Effects of Different Concentrations of Ammonia Nitrogen on the Growth and Enzyme Activity of Four Common Algae Strains	CHANG Ting, XU Zhi-hui, CHENG Peng-fei, <i>et al.</i> (3642)
Treatment of Highly Concentrated Swine Wastewater and Its Degradation Processes Using Three Matrix Materials	LIU Ming-yu, XIA Meng-hua, LI Yuan-hang, <i>et al.</i> (3650)
Phosphorus Removal Performance and Mechanism of Modified Zeolite Using Alum Sludge Acidified Extraction Liquid	HAN Yun, HU Yu-jie, LIAN Jie, <i>et al.</i> (3660)
Advanced Denitrification of Municipal Wastewater Achieved via Partial ANAMMOX in Anoxic MBBR	YANG Lan, PENG Yong-zhen, LI Jian-wei, <i>et al.</i> (3668)
Effect of an Aerobic Unit and a Sedimentation Unit on Sludge and Nitrogen Removal in an Anoxic Unit in a Continuous-flow System	XUE Huan-ting, YUAN Lin-jiang, LIU Xiao-bo, <i>et al.</i> (3675)
Performance and Mechanisms of Advanced Nitrogen Removal via FeS-driven Autotrophic Denitrification Coupled with ANAMMOX	MA Jing-de, PAN Jian-xin, LI Ze-min, <i>et al.</i> (3683)
Simultaneous Conversion Conditions of Ammonia and Sulfate in ANAMMOX Systems	DONG Shi-yu, BI Zhen, ZHANG Wen-jing, <i>et al.</i> (3691)
Potential Source Environments for Microbial Communities in Wastewater Treatment Plants (WWTPs) in China	ZHANG Bing, WU Lin-wei, WEN Xiang-hua (3699)
Comparison of the Microbial Community Structure in Nitrifying Processes Operating with Different Dissolved Oxygen Concentrations	LIU Wen-ru, GU Guang-fa, SONG Xiao-kang, <i>et al.</i> (3706)
Simultaneous Nitrogen and Phosphorus Removal and Kinetics by the Heterotrophic Nitrifying Bacterium <i>Acinetobacter junii</i> NP1	YANG Lei, CHEN Ning, REN Yong-xiang, <i>et al.</i> (3713)
Realization of Limited Filamentous Bulking with Type 0092 Filamentous Bacteria as the Dominant Filamentous Bacteria in Shortcut Nitrification	GAO Chun-di, AN Ran, HAN Hui, <i>et al.</i> (3722)
Nitrification, Denitrification, and N ₂ O Production Under Saline and Alkaline Conditions	DAI Wei, ZHAO Jian-qiang, DING Jia-zhi, <i>et al.</i> (3730)
Effect of Biochar on Ammonia Volatilization in Saline-Alkali Soil	WANG Yi-yu, WANG Sheng-sen, DAI Jiu-lan (3738)
Effect of Two Soil Synergists on Ammonia Volatilization in Paddy Fields	ZHOU Yu-ling, HOU Peng-fu, LI Gang-hua, <i>et al.</i> (3746)
Determination of Heavy Metal Geochemical Baseline Values and Its Accumulation in Soils of the Luanhe River Basin, Chengde	SUN Hou-yun, WEI Xiao-feng, GAN Feng-wei, <i>et al.</i> (3753)
Migration and Source Analysis of Heavy Metals in Vertical Soil Profiles of the Drylands of Xiamen City	ZHANG Wei-hua, YU Rui-lian, YANG Yu-jie, <i>et al.</i> (3764)
Heavy Metal Pollution Characteristics and Influencing Factors in Baoji Urban Soils	ZHANG Jun, DONG Jie, LIANG Qing-fang, <i>et al.</i> (3774)
Stabilizing Effects of Fe-Ce Oxide on Soil As(V) and P	LIN Long-yong, YAN Xiu-lan, YANG Shuo (3785)
Stabilization of Arsenic-Contaminated Soils Using Fe-Mn Oxide Under Different Water Conditions	ZHOU Hai-yan, DENG Yi-rong, LIN Long-yong, <i>et al.</i> (3792)
Effects of Biochar Amendment on Soil Microbial Biomass Carbon, Nitrogen and Dissolved Organic Carbon, Nitrogen in Paddy Soils	LIU Jie-yun, QIU Hu-sen, TANG Hong, <i>et al.</i> (3799)
Effects of Organic Amendments on Microbial Biomass Carbon and Nitrogen Uptake by Corn Seedlings Grown in Two Purple Soils	WANG Yue, ZHANG Ming-hao, ZHAO Xiu-lan (3808)
Effects of Land Use Type on the Content and Stability of Organic Carbon in Soil Aggregates	LUO Xiao-hong, WANG Zi-fang, LU Chang, <i>et al.</i> (3816)
Effects of Converting Farmland into Forest and Grassland on Soil Nitrogen Component and Conversion Enzyme Activity in the Mountainous Area of Southern Ningxia	GAO Han, XIAO Li, NIU Dan, <i>et al.</i> (3825)
Leaching Behavior of Dissolved Organic Matter in Biochar with Different Extracting Agents	HE Pin-jing, ZHANG Hao-hao, QIU Jun-jie, <i>et al.</i> (3833)
Toxicity of PM _{2.5} Based on a Battery of Bioassays	JIANG Xiao-dong, XUE Yin-gang, WEI Yong, <i>et al.</i> (3840)