

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 16 期 Vol.32 No.16 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第32卷第16期 2012年8月 (半月刊)

目次

基于生物多样性保护的兴安落叶松与白桦最佳混交比例——以阿尔山林区为例·····	李菁, 骆有庆, 石娟 (4943)
中国能源消费碳排放的时空特征·····	舒娱琴 (4950)
黄土丘陵沟壑区坡面尺度土壤水分空间变异及影响因素·····	姚雪玲, 傅伯杰, 吕一河 (4961)
新疆艾比湖流域土壤有机质的空间分布特征及其影响因素·····	王合玲, 张辉国, 秦璐, 等 (4969)
雅鲁藏布江山南宽谷风沙化土地土壤养分和粒度特征·····	李海东, 沈渭寿, 邹长新, 等 (4981)
一株溶藻细菌对海洋原甲藻的溶藻效应·····	史荣君, 黄洪辉, 齐占会, 等 (4993)
种形态对黑藻和竹叶眼子菜有机酸含量的影响·····	钟正燕, 王宏镔, 王海娟, 等 (5002)
七项河流附着硅藻指数在东江的适用性评估·····	邓培雁, 雷远达, 刘威, 等 (5014)
杭州湾滨海湿地不同植被类型沉积物磷形态变化特征·····	梁威, 邵学新, 吴明, 等 (5025)
剪形臂尾轮虫形态的时空变化及其与生态因子间的关系·····	葛雅丽, 席貽龙, 马杰, 等 (5034)
太湖流域河流水质状况对景观背景的响应·····	周文, 刘茂松, 徐驰, 等 (5043)
荒漠植物白刺属4个物种的生殖分配比较·····	李清河, 辛智鸣, 高婷婷, 等 (5054)
臭氧浓度升高对香樟叶片光合色素及抗过氧化的影响及其氮素响应·····	牛俊峰, 张巍巍, 李丽, 等 (5062)
不同密度下凤仙花重要形态性状与花朵数的关系·····	田旭平, 常洁, 李娟娟, 等 (5071)
五种高速公路边坡绿化植物的生理特性及抗旱性综合评价·····	谭雪红, 高艳鹏, 郭小平, 等 (5076)
散孔材与环孔材树种枝干、叶水力学特性的比较研究·····	左力翔, 李俊辉, 李秧秧, 等 (5087)
北京城区行道树国槐叶面尘分布及重金属污染特征·····	戴斯迪, 马克明, 宝乐 (5095)
南亚热带米老排人工林碳贮量及其分配特征·····	刘恩, 刘世荣 (5103)
植物生活史型定量划分及其权重配置方法——以四棱豆生活史型划分为例·····	赵则海 (5110)
半干旱区湿地-干草原交错带边界判定及其变化·····	王晓, 张克斌, 杨晓晖, 等 (5121)
氮肥运筹对晚播冬小麦氮素和干物质积累与转运的影响·····	吴光磊, 郭立月, 崔正勇, 等 (5128)
氮肥形态对冬小麦根际土壤氮素生理群活性及无机氮含量的影响·····	熊淑萍, 车芳芳, 马新明, 等 (5138)
基于数字相机的冬小麦物候和碳交换监测·····	周磊, 何洪林, 孙晓敏, 等 (5146)
黄土高原半湿润区气候变化对冬小麦生长发育及产量的影响·····	姚玉璧, 王润元, 杨金虎, 等 (5154)
基于土地破坏的矿区生态风险评价: 理论与方法·····	常青, 邱瑶, 谢苗苗, 等 (5164)
基于生态位的山地农村居民点适宜度评价·····	秦天天, 齐伟, 李云强, 等 (5175)
氯虫苯甲酰胺对黑肩绿盲蝽实验种群的影响·····	杨洪, 王召, 金道超 (5184)
6种植物次生物质对斜纹夜蛾解毒酶活性的影响·····	王瑞龙, 孙玉林, 梁笑婷, 等 (5191)
云南元江芒果园桔小实蝇成虫日活动规律及空间分布格局·····	叶文丰, 李林, 孙来亮, 等 (5199)
重庆市蝴蝶多样性环境健康指示作用和环境监测评价体系构建·····	邓合黎, 马琦, 李爱民 (5208)
专论与综述	
生态系统服务竞争与协同研究进展·····	李鹏, 姜鲁光, 封志明, 等 (5219)
中国沿海无柄蔓足类研究进展·····	严涛, 黎祖福, 胡煜峰, 等 (5230)
冰雪灾害对森林的影响·····	郭淑红, 薛立 (5242)
不同干扰因素对森林和湿地温室气体通量影响的研究进展·····	杨平, 全川 (5254)
采石场废弃地的生态重建研究进展·····	杨振意, 薛立, 许建新 (5264)
研究简报	
基于地统计学和CFI样地的浙江省森林碳空间分布研究·····	张峰, 杜群, 葛宏立, 等 (5275)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 344 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 36 * 2012-08



封面图说: 秋色藏野驴群——秋天已经降临在海拔4200多米的黄河源区, 红色的西伯利亚蓼(生于盐碱荒地或砂质含盐碱土壤)铺满大地, 间有的高原苔草也泛出了金黄, 行走在上面的藏野驴们顾不上欣赏这美丽的秋色, 只是抓紧时间, 在严冬到来之前取食, 添肥增膘以求渡过青藏高原即将到来的漫长冬天。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 16 August, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

The optimum mixture ratio of larch and birch in terms of biodiversity conservation; a case study in Aershan forest area	LI Jing, LUO Youqing, SHI Juan (4943)
Spatiotemporal characteristics of carbon emissions from energy consumption in China	SHU Yuqin (4950)
Spatial patterns of soil moisture at transect scale in the Loess Plateau of China	YAO Xueling, FU Bojie, LÜ Yihe (4961)
The characteristics of the spatial distribution of soil organic matter and factors influencing it in Ebinur Lake Basin of Xinjiang Autonomous Region, China	WANG Heling, ZHANG Huiguo, QIN Lu, et al (4969)
Soil nutrients content and grain size fraction of aeolian sandy land in the Shannan Wide Valley of the Yarlung Zangbo River, China	LI Haidong, SHEN Weishou, ZOU Changxin, et al (4981)
Algicidal activity against <i>Proocentrum micans</i> by a marine bacterium isolated from a HABs area, South China	SHI Rongjun, HUANG Honghui, QI Zhanhui, et al (4993)
Effects of arsenic speciations on contents of main organic acids in <i>Hydrilla verticillata</i> and <i>Potamogeton malaianus</i>	ZHONG Zhengyan, WANG Hongbin, WANG Haijuan, et al (5002)
Exploration of benthic diatom indices to evaluate water quality in rivers in the Dongjiang basin	DENG Peiyan, LEI Yuanda, LIU Wei, et al (5014)
Phosphorus fraction in the sediments from different vegetation type in Hangzhou bay coastal wetlands	LIANG Wei, SHAO Xuexin, WU Ming, et al (5025)
Spatio-temporal variation of morphometric characteristics of <i>Brachionus forficula</i> in relation to ecological factors	GE Yali, XI Yilong, MA Jie, et al (5034)
Response of river water quality to background characteristics of landscapes in Taihu Lake basin	ZHOU Wen, LIU Maosong, XU Chi, et al (5043)
Reproductive allocation in four desert species of the genus <i>Nitraria</i> L.	LI Qinghe, XIN Zhiming, GAO Tingting, et al (5054)
Effects of elevated ozone on foliar chlorophyll content and antioxidant capacity in leaves of <i>Cinnamomum camphora</i> under enhanced nitrogen loads	NIU Junfeng, ZHANG Weiwei, LI Li, et al (5062)
Correlation analysis between floret numbers and important traits of <i>Impatiens balsamina</i> under different planting density	TIAN Xuping, CHANG Jie, LI Juanjuan, et al (5071)
Physiological characteristics and comprehensive evaluation of drought resistance in five plants used for roadside ecological restoration	TAN Xuehong, GAO Yanpeng, GUO Xiaoping, et al (5076)
Comparison of hydraulic traits in branches and leaves of diffuse- and ring-porous species	ZUO Lixiang, LI Junhui, LI Yangyang, et al (5087)
Distribution and heavy metal character of foliar dust on roadside tree <i>Sophora japonica</i> of urban area in Beijing	DAI Sidi, MA Keming, BAO Le (5095)
The research of carbon storage and distribution feature of the <i>Mytilaria laosensis</i> plantation in south sub-tropical area	LIU En, LIU Shirong (5103)
The novel methods of quantitative classification of plant life cycle forms and weight collocation; taking classification of life cycle forms of <i>Psophocarpus tetragonolobus</i> as an example	ZHAO Zehai (5110)
Research on boundary definition and changes of wetland-dry grassland ...	WANG Xiao, ZHANG Kebin, YANG Xiaohui, et al (5121)
Differential effects of nitrogen managements on nitrogen, dry matter accumulation and transportation in late-sowing winter wheat	WU Guanglei, GUO Liyue, CUI Zhengyong, et al (5128)
Effects of nitrogen form on the activity of nitrogen bacteria group and inorganic nitrogen in rhizosphere soil of winter wheat	XIONG Shuping, CHE Fangfang, MA Xinming, et al (5138)
Using digital repeat photography to model winter wheat phenology and photosynthetic CO ₂ uptake	ZHOU Lei, HE Honglin, SUN Xiaomin, et al (5146)
Impacts of climate change on growth and yield of winter wheat in the semi-humid region of the Loess Plateau	YAO Yubi, WANG Runyuan, YANG Jinhu, et al (5154)
Theory and method of ecological risk assessment for mining areas based on the land destruction	CHANG Qing, QIU Yao, XIE Miaomiao, et al (5164)
Suitability evaluation of rural residential land based on niche theory in mountainous area	QIN Tian Tian, QI Wei, LI Yunqiang, et al (5175)
Effects of chlorantraniliprole on experimental populations of <i>Cyrtorhinus lividipennis</i> (Reuter) (Hemiptera: Miridae)	YANG Hong, WANG Zhao, JIN Daochao (5184)
Effects of six plant secondary metabolites on activities of detoxification enzymes in <i>Spodoptera litura</i>	WANG Ruilong, SUN Yulin, LIANG Xiaoting, et al (5191)
Daily activity and spatial distribution pattern of the oriental fruit fly, <i>Bactrocera dorsalis</i> (Diptera: Tephritidae) in mango orchard, Yuanjiang, Yunnan	YE Wenfeng, LI Lin, SUN Lailiang, et al (5199)
The establishment of the indication on environmental health of butterfly and of the environmental monitoring evaluation system in Chongqing	DENG Heli, MA Qi, LI Aimin (5208)
Review and Monograph	
Research progress on trade-offs and synergies of ecosystem services; an overview	LI Peng, JIANG Luguang, FENG Zhiming, et al (5219)
A review on the balanomorph barnacles in the coastal waters of China	YAN Tao, LI Zufu, HU Yufeng, et al (5230)
Effects of ice-snow damage on forests	GUO Shuhong, XUE Li (5242)
Greenhouse gas flux from forests and wetlands; a review of the effects of disturbance	YANG Ping, TONG Chuan (5254)
Advances in ecology restoration of abandoned quarries	YANG Zhenyi, XUE Li, XU Jianxin (5264)
Scientific Note	
Spatial distribution of forest carbon in Zhejiang Province with geostatistics based on CFI sample plots	ZHANG Feng, DU Qun, GE Hongli, et al (5275)

DOI: 10.5846/stxb201111061681

熊淑萍, 车芳芳, 马新明, 王小纯, 安帅, 李燕强. 氮肥形态对冬小麦根际土壤氮素生理群活性及无机氮含量的影响. 生态学报, 2012, 32(16): 5138-5145.

Xiong S P, Che F F, Ma X M, Wang X C, An S, Li Y Q. Effects of nitrogen form on the activity of nitrogen bacteria group and inorganic nitrogen in rhizosphere soil of winter wheat. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(16): 5138-5145.

氮肥形态对冬小麦根际土壤氮素生理群活性 及无机氮含量的影响

熊淑萍^{1,2}, 车芳芳^{1,2}, 马新明^{1,2}, 王小纯^{2,3,*}, 安 帅^{2,3}, 李燕强^{1,2}

(1. 河南农业大学农学院, 郑州 450002; 2. 河南省粮食作物生理生态与遗传改良重点实验室, 郑州 450002;

3. 河南农业大学生命科学学院, 郑州 450002)

摘要: 采用大田盆栽方法研究了硝态氮肥、铵态氮肥、酰胺态氮肥 3 种氮肥形态对冬小麦品种豫麦 50 生育中后期(拔节期、开花期、花后 14 d、花后 28 d)根际土壤氮转化相关微生物活性、酶活性和根际土壤 NH_4^+ 离子、 NO_3^- 离子含量的影响。结果表明:随着生育期的推进,除脲酶外,氨化细菌、硝化细菌、亚硝化细菌、反硝化细菌和蛋白酶活性变化的均为“倒 V”型变化特征,以花后 14 d 活性最强;而脲酶活性在拔节期最强,并且其活性远大于其它微生物及酶。氮肥形态对根际土壤氮素生理群及无机氮的影响不同。酰胺态氮肥促进了根际氨化细菌、反硝化细菌、脲酶、蛋白酶的活性,而硝化细菌、亚硝化细菌在硝态氮肥条件下活性较强。除拔节期外,土壤中 NH_4^+ 离子在铵态氮肥处理下含量较高, NO_3^- 离子在酰胺态氮肥处理下含量较高。因此,酰胺态氮能够促进小麦根际土壤有机氮的分解,硝态氮肥可以促进土壤中氮的转化,以利于小麦根系的吸收与利用。氮肥形态主要是通过影响土壤中氮素生理类群及酶的活性,从而影响土壤中无机氮的含量。

关键词: 氮肥形态;小麦根际;氮素生理群;土壤无机氮

Effects of nitrogen form on the activity of nitrogen bacteria group and inorganic nitrogen in rhizosphere soil of winter wheat

XIONG Shuping^{1,2}, CHE Fangfang^{1,2}, MA Xinming^{1,2}, WANG Xiaochun^{2,3,*}, AN Shuai^{2,3}, LI Yanqiang^{1,2}

1 College of Agronomy, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China

2 Key Laboratory of Physiology, Ecology and Genetic Improvement of Food Crops in Henan Province, Zhengzhou 450002, China

3 College of Life Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China

Abstract: Fertilization with different forms of nitrogen is an important measure to regulate nitrogen metabolism of wheat (*Triticum aestivum* L.). Soil microorganisms and enzymes play significant roles in nutrient transformation and decomposition. Their activities may affect how different forms of nitrogen fertilizer influence nitrogen metabolism in wheat. To understand the effects of nitrogen form on soil nitrogen bacteria group and soil enzyme activity, pot experiments using the wheat cultivar ‘Yumai 50’ were carried out in a sandy loam at the Experimental Farm of Henan Agricultural University in 2009 and 2010. The soil contained 14.29 g/kg organic matter, 1.50 g/kg total N, 16.9 mg/kg Olsen-P and 195.95 mg/kg $\text{NH}_4\text{OAc-K}$. Each pot (30 cm diameter, 38 cm tall) was filled with 20 kg of sieved dry soil. Nitrogen forms were $\text{NH}_2\text{-N}$ as $\text{CO}(\text{NH}_2)_2\text{-N}$, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ as NH_4HCO_3 , and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ as NaNO_3 . The nitrification inhibitor dicyandiamide was applied to each pot. Prior to sowing, each pot received 3.06 g N, 2.9 g P_2O_5 , and 3.3 g K_2O ; an additional 2.04 g N was also

基金项目:行业(农业)科研专项(201103001);河南省现代农业产业技术体系-小麦产业体系(S2010-01-G04)

收稿日期:2011-11-06; 修订日期:2012-05-31

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xiaochun.w@163.com

applied to each pot during the wheat elongation stage. Seven plants from each pot were selected when the plants had five leaves. The experiment was arranged in a completely randomized design with 15 replications, and all pots were managed in the same way. Rhizosphere soil samples from a depth of 5—20 cm for each treatment were taken

at elongation stage (March 25), anthesis (April 30), 14 days after anthesis (May 14), and 28 days after anthesis (May 28). Soil samples were put into sterile bags and transported to the lab as quickly as possible. Part of each soil sample was sieved through a 1 mm screen for analysis of (1) the activities of amination, nitrobacteria, nitrite bacteria, and denitrifying bacteria and (2) inorganic nitrogen ($\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$) contents, and part was air-dried for (3) determination of soil enzyme (urease and protease) activities. This study showed that the activity of nitrogen bacteria group and enzymes in rhizosphere soils planted with wheat responded differently to nitrogen form. Overall, amination, nitrobacteria, nitrite bacteria, denitrifying bacteria, and protease activities graphed as inverted “V”-shapes that peaked 14 days after anthesis. Urease activity peaked at the jointing stage and was much higher than the activities of amination, nitrobacteria, nitrite bacteria, denitrifying bacteria, and proteases in all studied stages. The different nitrogen forms had different effects on soil nitrogen bacteria group, soil enzyme activity, and inorganic nitrogen. When $\text{CO}(\text{NH}_2)_2\text{-N}$ was applied to Yumai 50, the activities of urease, protease, and amination in the rhizosphere soil increased substantially. The content of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ in the soil was highest when NH_4HCO_3 was applied, and the content of $\text{NO}_3^-\text{-N}$ in the soil was highest when $\text{CO}(\text{NH}_2)_2\text{-N}$ was provided. Therefore, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2\text{-N}$ could promote decomposition and the use of organic nitrogen, and the conversion of ammonia in the soil was promoted under NaNO_3 . Nitrogen form affected the content of organic nitrogen in the soil by affecting nitrogen bacteria and the activities of enzymes in the rhizosphere.

Key Words: nitrogen form; wheat rhizosphere; nitrogen bacteria group; inorganic nitrogen in soil

土壤氮素转化过程是全球生态系统氮素循环中最重要的组成部分,微生物在土壤氮素形态转化过程中起主导作用。土壤微生物氮素生理类群主要有土壤自生固氮菌、氨化细菌、硝化细菌、亚硝化细菌及反硝化细菌,它们直接参与有机氮的矿化、无机氮的固定以及生物固氮、氨化、硝化、反硝化等一系列土壤氮素形态转化过程^[1],并因其种群比例和活性的变化,影响土壤供应无机氮的能力,从而对作物的生长发育起到调控作用^[2-3],成为是衡量土壤质量、维持土壤肥力和作物生产力的一个重要指标^[4-5],因此,研究土壤微生物和酶活性及含氮化合物的形态转化过程对于认识和调控土壤氮素循环、提高作物产量、降低氮素损失及其对环境的有害影响具有重要的意义。

施氮可以提高土壤微生物群落的丰富度和功能多样性^[6]。改进施肥方法如增施有机肥^[7]、有机无机肥料配施^[8-10]和施用包膜控释尿素^[11],有利于提高土壤微生物数量或酶活性。不同形态氮素对土壤微生物数量的影响差异显著,马宗斌等^[12]研究表明,施用硝态氮,对小麦根际土壤真菌、细菌和放线菌数量均具有明显的促进作用,严君等^[13]认为大豆根际土壤中真菌和放线菌数量在蛋白态氮处理下显著增加,而细菌在酰胺态氮处理下数量最多。也有研究认为,微生物更易利用铵态氮^[14]。可见,前人研究主要集中于氮素与土壤微生物数量关系上,而微生物的活性特别是不同微生物在土壤氮素转化过程中的作用强度未给关注,尚不能很好的反映不同形态氮肥在具体转化过程中的作用机制。因此,本文以豫麦 50 为材料,研究施用酰胺态氮、铵态氮和硝态氮肥对小麦根际土壤氮素生理群活性及硝态氮和铵态氮含量的影响,揭示不同形态氮肥对小麦根际土壤氮素吸收利用及转化的影响,旨在为减少氮素损失、提高氮肥利用率、建立合理的施肥制度提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验处理与设计

2009—2010 年冬小麦生长季,在河南农业大学科教园区进行大田盆栽试验。盆钵直径 30cm,深 38cm。供试小麦品种为豫麦 50,用土取自园区 0—30 cm 耕层,土壤为黄潮土,基础养分含量为:有机质 14.29 g/kg、

全氮 1.50 g/kg、碱解氮 57.17 mg/kg、有效磷 16.9 mg/kg、速效钾 195.95 mg/kg、pH 值为 7.94。

每盆装干土 20 kg,装土前过筛,设 3 个氮肥形态处理,分别为 N1:硝态氮肥(分析纯 NaNO_3)、N2:铵态氮肥(分析纯 NH_4HCO_3)、N3:酰胺态氮肥(分析纯尿素)。每盆施纯氮 5.1g, K_2O 3.3g 和 P_2O_5 2.9g,磷、钾肥于播种期一次性施入,氮肥按 6:4 的比例分别于播种期和拔节期施入,混肥前每盆施入总氮量 10% 的硝化抑制剂双氰胺(DCD),以保证氮肥形态的相对稳定。施用的肥料和土壤在装盆前充分混匀,每盆上层均覆 5cm 未混肥土壤,以尽量避免氮素的挥发损失,将所有盆埋于大田,盆内土壤与盆外大田齐平。每个处理 15 盆,共计 45 盆。10 月 18 日播种,每盆播种 14 粒,5 叶期定苗,每盆定 7 株。根据天气状况和小麦的需水规律,采用称重法定量灌水,使各处理间灌水量完全一致。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 土样采集

各处理分别在小麦拔节期(03-25)、开花期(04-30)、花后 14 d(05-14)和花后 28 d(05-28),于晴天 10:00 左右,每处理各取 3 盆将 5—20cm 根系带土样挖出,用根际土壤采集方法取土^[15],土样混匀后装入无菌纸袋,立即带回实验室。将新鲜土样研磨过 1mm 筛,一部分测定土壤微生物活性与无机氮含量,另一部分经自然风干后测定土壤酶活性。

1.2.2 根际土壤微生物活性

土壤氨化细菌活性采用土壤培养法^[15]。28℃ 温度下培养 10d,奈氏试剂法测定 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量,以 1g 干土每天 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的增加量表示土壤氨化细菌活性($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$)。

硝化细菌活性和亚硝化细菌活性均采用培养基接种土壤悬液法^[15],28℃ 温度下培养 15d,采用格利斯试剂比色法测定亚硝酸根的含量。其中,亚硝化细菌活性测定以土壤悬液加入灭菌后的亚硝酸细菌培养基中,用 NO_2^- 增加量表示亚硝化细菌的活性($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$)。硝化细菌活性测定以土壤悬液加入灭菌后的硝酸细菌培养基中,用 NO_2^- 减少量表示硝化细菌的活性($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$)。

反硝化作用强度采用硝酸盐消失法^[15]。在真空干燥器中抽真空,28℃ 温度培养 2d,采用酚二磺比色法,测定 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的含量。用 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 减少量表示反硝化细菌活性($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$)。

1.2.3 根际土壤脲酶和蛋白酶活性

用苯酚钠比色法测定脲酶活性,以 24h 后 1g 土壤中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的 μg 数表示脲酶活性($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$)。

用茚三酮比色法测定蛋白酶活性,以 24h 后 1g 土壤中氨基酸变化的 μg 数表示蛋白酶活性($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$)^[16]。

1.2.4 根际土壤 NH_4^+ 离子、 NO_3^- 离子含量

用德国 BRAN+LUEBBE 公司产 AA3 流动分析仪(AA3 Digital Colorimeter)测定土壤 NH_4^+ 离子、 NO_3^- 离子含量(mg/kg)。

1.3 数据处理

利用 Excel 2003 计算平均值,及绘图。用 SPSS 13.0 软件统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同氮肥形态对小麦根际土壤氮转化微生物活性的影响

2.1.1 不同氮肥形态对小麦根际土壤氨化细菌活性的影响

从图 1 可以看出,根际土壤氨化细菌的活性从拔节期开始升高,于花后 14 d 达到最大值,之后下降,各时期均以酰胺态氮肥处理活性最高,并且在各取样时期与其它 2 个处理差异显著,拔节期酰胺态氮肥处理与硝态氮肥、铵态氮肥差异显著,开花期差异极显著,花后 14d 与铵态氮肥差异显著,与硝态氮肥处理差异不显著,花后 28d 三者之间无显著差异。

2.1.2 不同氮肥形态对小麦根际土壤硝化细菌活性的影响

从图 2 可以看出,硝化细菌活性随生育时期的推进变动较大,拔节期活性很弱,之后上升迅速,于花后 14 d 达到最大值,然后下降,且不同生育时期之间差异极显著。不同氮肥形态之间比较,除花后 28d 外,均以硝

态氮肥处理硝化细菌活性最高,其中,拔节期、花后 14 d 显著高于铵态氮肥处理,与酰胺态氮肥处理差异不显著,开花期与其它 2 处理差异均显著。花后 28d 硝态氮肥处理活性极显著低于铵态氮肥与酰胺态氮肥处理。

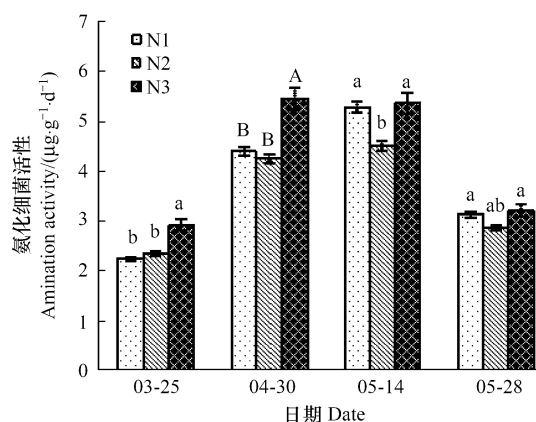


图 1 不同氮肥形态对小麦根际土壤氨化细菌活性的影响

Fig. 1 Effects of different nitrogen forms on ammonifier activity in rhizosphere soil of winter wheat

N1:硝态氮肥,N2:铵态氮肥,N3:酰胺态氮肥

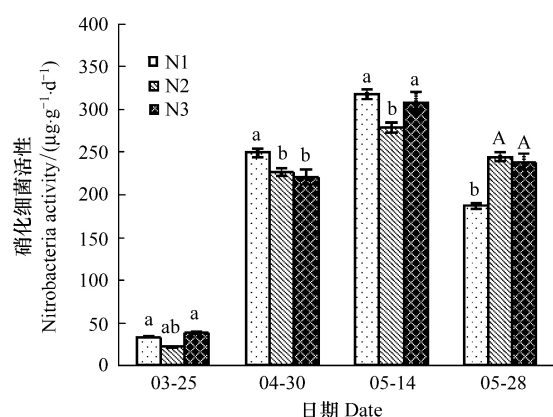


图 2 不同氮肥形态对小麦根际土壤硝化细菌活性的影响

Fig. 2 Effects of different nitrogen forms on nitrifier activity in rhizosphere soil of winter wheat

2.1.3 不同氮肥形态对小麦根际土壤亚硝化细菌活性的影响

图 3 表明,开花期之前根际土壤亚硝化细菌活性极低,之后迅速升高,在花后 14 d 达到最大值,花后 28 d 活性下降。不同氮肥形态处理之间相比,根际土壤亚硝化细菌在花后 14 d 和花后 28 d 均以硝态氮肥处理活性最高,并与其它 2 个处理差异极显著。

2.1.4 不同氮肥形态对小麦根际土壤反硝化细菌活性的影响

由图 4 看出,从拔节期到开花期,反硝化细菌活性迅速增加,并于花后 14 d 达到最大值,之后略有下降,不同生育时期之间差异极显著。不同氮肥形态处理之间比较,在拔节期和开花期以铵态氮肥处理下反硝化细菌活性较高,但三者差异不显著,之后均以酰胺态氮肥处理活性最强,并在花后 14 d 与硝态氮肥和铵态氮肥处理差异显著,在花后 28 d (05-28) 差异极显著,表现为酰胺态氮肥>硝态氮肥>铵态氮肥。

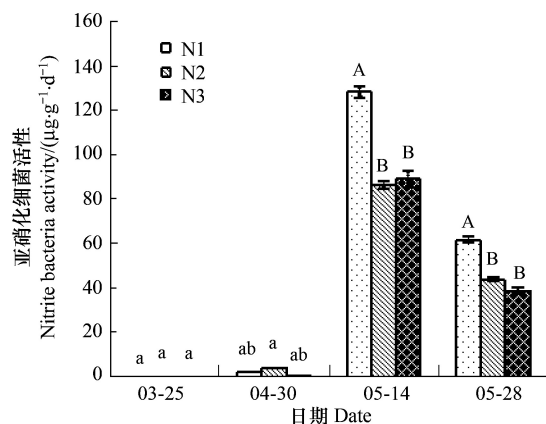


图 3 不同氮肥形态对小麦根际土壤亚硝化细菌活性的影响

Fig. 3 Effects of different forms of nitrogen fertilizers on nitrite bacteria activity

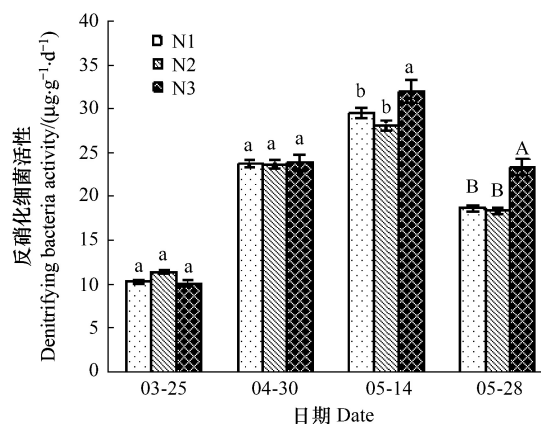


图 4 不同氮肥形态对小麦根际土壤反硝化细菌活性的影响

Fig. 4 Effects of different nitrogen forms on denitrifying bacteria activity in rhizosphere soil of winter wheat

2.2 氮肥形态对小麦根际土壤酶活性的影响

2.2.1 不同氮肥形态对小麦根际土壤脲酶活性的影响

由图 5 可以看出,根际土壤脲酶活性拔节期最高,开花期次之,在花后 14 d 最低,花后 28 d 又有回升。不同氮肥形态之间脲酶活性在开花期三者差异显著,表现为硝态氮肥>>铵态氮肥。拔节期和花后 14 d 差异不显著。在花后 28 d 则以酰胺态氮肥处理活性最高,显著高于铵态氮肥处理,与硝态氮肥差异不显著。除开花期外,脲酶活性均表现为酰胺态氮肥>硝态氮肥>铵态氮肥。

2.2.2 不同氮肥形态对专用小麦根际土壤蛋白酶活性的影响

由图 6 可以看出,蛋白酶的活性从拔节期开始逐渐升高,在花后 14 d 达到最大值,之后下降。不同生育期蛋白酶活性差异显著。除花后 28d 外,根际土壤蛋白酶活性在不同氮肥形态处理下表现为酰胺态氮肥>硝态氮肥>铵态氮肥,拔节期和开花期酰胺态氮肥处理与其它 2 处理差异均显著,在花后 14 d 3 种氮肥形态处理间差异不显著。

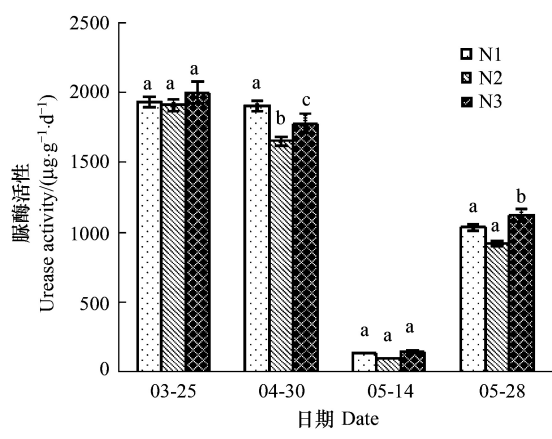


图 5 不同氮肥形态对小麦根际土壤脲酶活性的影响

Fig.5 Effects of different nitrogen forms on urease activity in rhizosphere soil of winter wheat

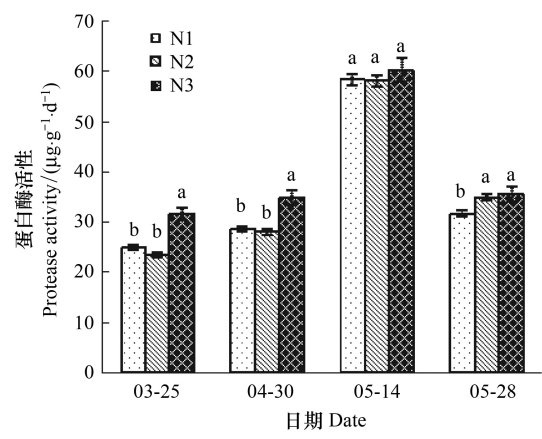


图 6 不同氮肥形态对小麦根际土壤蛋白酶活性的影响

Fig.6 Effects of different nitrogen forms on protease activity in rhizosphere soil of winter wheat

2.3 不同氮肥形态对整个生育期根际土壤氮转化微生物及酶活性影响的比较

不同氮肥形态处理对小麦根际土壤氮素生理群及酶活性影响不同(表 1)。氨化细菌、脲酶、蛋白酶的活性表现为:酰胺态氮肥>硝态氮肥>铵态氮肥,酰胺态氮肥处理与铵态氮肥处理差异显著。硝化细菌的活性表现为:硝态氮肥>酰胺态氮肥>铵态氮肥;亚硝化细菌活性表现为:硝态氮肥>铵态氮肥>酰胺态氮肥;反硝化细菌的活性 3 个氮肥形态间差异不显著。

表 1 氮肥形态对小麦根际土壤氮素转化微生物及酶活性的影响/(生育期平均,μg·g⁻¹·d⁻¹)

Table 1 Effects of nitrogen forms on nitrogen bacteria group and soil enzyme activity in rhizosphere soil /(average of the four stages)

氮肥形态 N-forms	氨化细菌 Ammonifier	硝化细菌 Nitrobacteria	亚硝化细菌 Nitrite bacteria	反硝化细菌 Denitrifying bacteria	脲酶 Urease	蛋白酶 Protease
N1	3.76 ab	201.36 a	48.49 a	20.31 a	1250.11 a	37.32 ab
N2	3.39 b	180.01 b	33.22 b	21.10 a	1095.04 b	35.33 b
N3	4.23 a	198.42 a	32.13 b	21.41 a	1261.37 a	39.84 a

同一栏中 a,b,c 分别表示处理间差异达 0.05 显著水平

2.4 不同氮肥形态对根际土壤无机氮的影响

由表 2 可以看出,从拔节期到花后 28 d,根际土壤中 NH_4^+ 离子含量呈下降趋势。不同形态氮肥之间比较,铵态氮肥处理土壤中 NH_4^+ 离子含量显著高于硝态氮肥和酰胺态氮肥处理,并表现为铵态氮肥>酰胺态氮肥>硝态氮肥。

在各个生育时期,根际土壤 NO_3^- 离子含量表现为先升高然后再降低的趋势,在开花期最大。不同形态氮肥处理之间比较,除拔节期外,根际土壤 NO_3^- 离子含量均表现为酰胺态氮肥>铵态氮肥>硝态氮肥,在开花期和花后 28 d,酰胺态氮肥处理下其含量显著高于其它 2 个处理。

不同氮肥形态对土壤中无机氮(NH_4^+ 离子+ NO_3^- -N 离子)总量的影响,除拔节期以铵态氮肥含量处理最高外,其它时期均以酰胺态氮肥处理下含量最高。

表 2 氮素形态对小麦根际土壤铵态氮和硝态氮含量的影响/(mg/kg)
Table 2 Effects of nitrogen forms on the content of NH_4^+ -N and NO_3^- -N in soil

土壤无机氮 Inorganic nitrogen in soil	氮肥形态 nitrogen forms	取样日期 Sampling date			
		03-25(拔节期)	04-30(开花期)	05-14(灌浆期)	05-28(灌浆期)
铵态氮 NH_4^+ -N	N1	3.7b	3.1b	1.9bc	0.3b
	N2	6.4a	4.0a	2.8a	0.6a
	N3	4.0b	3.3b	2.4ab	0.2b
硝态氮 NO_3^- -N	N1	28.0a	63.5b	18.3a	11.5b
	N2	34.7a	69.5b	19.6a	12.7b
	N3	31.9a	76.4a	20.1a	18.4a
铵态氮+硝态氮 NH_4^+ -N+ NO_3^- -N	N1	31.7b	66.6c	20.2b	11.8b
	N2	41.1a	73.5b	22.4a	13.3b
	N3	35.9b	79.7a	22.5a	18.6a

同一栏中 a,b,c 分别表示处理间差异达 0.05 显著水平

3 结语与讨论

3.1 氮肥形态与小麦根际土壤氮素转化微生物及酶活性

根际是一个很特别的微区域,由于植物根系的影响,使其周围的微域在物理、化学和生物特性方面与本体土壤不同。已有研究表明不同作物的根际有其特定的微生物群落,就是同一作物在不同生育期和营养状态下,其根际微生物也呈现一定的动态变化^[17]。施用一定量的氮肥可增加土壤中细菌的数量,而过多的氮肥有可能抑制细菌数量的增长^[18],短期施用无机氮肥对土壤酶活性和微生物生物量只产生有限的影响,但长期施用无机氮肥可减少土壤微生物的活性^[19],其机制是抑制酶活力和积累毒性化合物。而另一些研究表明,长期施用无机氮肥和磷肥可增加土壤微生物生物量碳和氮^[20]。Ndayeyamiye 等^[21]报道,施用有机肥或有机、无机肥配施可提高土壤细菌、真菌和放线菌数量,也能显著增加氨化细菌、硝化细菌和反硝化细菌及自生固氮菌数量,施用氮肥对微生物生物量的影响很小,但对土壤微生物活性的影响较大^[22]。本试验研究结果表明,氮肥形态对小麦根际土壤不同氮素转化细菌及酶活性影响不同,这种影响又因生育时期的变化而变化。除脲酶外,根际土壤微生物和蛋白酶活性变化的均为“倒 V”型变化特征,并在花后 14d 达到最高值,说明土壤微生物及酶的活跃期在灌浆盛期(花后 14 d)。原因可能在于:(1)大多数氮素转化微生物在一定范围内与温度呈正相关,这个时期土壤温度不断升高,有利于微生物的活动。(2)植株氮需求的负反馈。这一时期是植株氮需求较高的时期,对土壤可供吸收利用的氮需求较多,从而促进了微生物的活性。本文研究也证明了这一点,这个时期土壤中 NO_3^- 离子含量也达到最高(76.4mg/kg)。(3)这个时期根系生长代谢旺盛为微生物提供了环境。根系能分泌出大量的营养物质和激素类物质促进微生物的生长^[3],拔节期之前根系少,活性低,相关微生物活性也低;开花期和花后 14d,营养生长及生殖生长达到高峰,根系活力高,此时微生物活性达最高;花后 28d 时根系大面积衰亡,活性减低。与其它微生物与酶活性相反,脲酶活性则表现为正“V”型变化趋势,以拔节期最高,花后 14d 最低,之后在花后 28d 又有所上升。其原因可能与脲酶作用的底物变化有关,拔节期土壤中高的有机质及氮肥含量激发了脲酶活性^[23],之后随着土壤中底物含量的减少,脲酶活性相应降低,在接近成熟的花后 28d,又由于土壤通透性得到显著改善,土壤与大气的交换量增加,促进了土壤中根系分泌物和脱落物等积累的有机物质分解,土壤脲酶活性又有所提高^[23]。

施用不同形态氮肥必然会影响到土壤温度、土壤 pH 值、土壤水分含量等土壤环境,影响植物根系、土壤动

物、土壤微生物等,从而影响到来源于这三者的土壤酶的活性^[13]。在花后 14d,氨化细菌、反硝化细菌、脲酶、蛋白酶活性以酰胺态氮肥处理最高,硝化细菌、亚硝化细菌以硝态氮肥处理最高,其中,脲酶研究结果与前人一致^[12]。说明,酰胺态氮肥有利于有机氮转化为 $\text{NH}_4^+\text{-N}$,而硝态氮肥对氨转变为 NO_3^- 具有促进作用。试验结果也表明,铵态氮肥处理下,各种氮转化微生物和酶活性均最低,而土壤中 NH_4^+ 含量则较其它处理高,这说明铵态氮肥处理下 NH_4^+ 浓度增加,可能对微生物及酶产生一定的毒害效应,从而抑制了氮转化微生物和酶活性^[19]。在氮转化过程中具体微生物及酶的活性表达对氮肥形态响应的不同,除了氮肥形态对微生物生境的影响之外,其影响机制还需要从分子生态学的层次上做进一步研究。

3.2 氮肥形态与根际土壤无机氮

土壤中交换性铵和硝态氮,既是作物可直接吸收的速效氮,又是各种氮素损失过程的共同的氮源^[24]。土壤中铵态氮和硝态氮含量多少取决于土壤有机质含量、土壤温度、土壤水分和施肥等情况,施用化学氮肥是土壤铵的一个重要来源,含铵的化学氮肥施入土壤后,可直接增加土壤的铵态氮;旱地土壤中铵态氮会很快转化为硝态氮,因此,铵态氮数量较少且相对稳定。土壤的硝态氮主要的来源是铵态氮的硝化,旱地硝化作用的速率远大于矿化速率,释放的铵态氮或施入的铵态氮肥会很快氧化为硝态氮,故以硝态氮为主^[25]。本试验结果表明,除拔节期外,整个生育时期,在酰胺态氮肥处理下,根际土壤无机氮含量最高。其中,土壤中 NH_4^+ 和 NO_3^- 含量在拔节期(春季追肥后)以相应形态氮肥处理下最高,并且各个时期 NO_3^- 离子含量远大于 NH_4^+ 离子含量,这与前人研究结果一致^[26]。拔节期之后 NH_4^+ 离子含量以铵态氮肥处理最高,而 NO_3^- 离子含量在酰胺态肥处理较高,这与同一时期土壤微生物和酶的活性有关,说明,除肥料刚施入土壤这一阶段外,氮肥形态主要是通过土壤中氮素生理类群及酶的活性影响土壤中无机氮的含量。

3.3 小麦根际土壤氮素转化微生物及酶活性差异与氮素损失

氨化细菌及土壤脲酶、蛋白酶将有机氮转化为 NH_4^+ ,硝化细菌和亚硝化细菌则将氨转变为 NO_3^- 。有研究表明,土壤中脲酶活性强弱直接影响土壤氨挥发损失^[27]。本试验表明,不同氮肥形态处理下小麦根际土壤氮素转化微生物活性及酶活性相比,脲酶活性远远大于其它微生物及酶的活性,并且以拔节期最高(1928.69—1998.65 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$),以酰胺态氮肥处理下最为显著,而在酰胺态氮肥处理下,硝化细菌和亚硝化细菌活性又较其它处理低,生成氨的速率要远大于其转化速率,可见,就施用不同形态氮肥来看,在试验区域环境条件下,酰胺态氮肥虽然加快了含氮化合物的分解,但也存在着高的氮素损失的风险。

References:

- [1] Schlöter M, Dilly I O, Muncha J C. Indicators for evaluating soil quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2003, 98: 255-262.
- [2] Ma D Y, Guo T C, Song X, Wang C Y, Zhu Y J, Wang Y H, Yue Y J, Zha F N. Effects of urea application rate on the quantity of microorganisms and activity of enzymes in wheat rhizosphere. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(12): 5222-5228.
- [3] Zaidi A, Khan S. Interactive effect of rhizotrophic microorganisms on growth, yield, and nutrient uptake of wheat. *Journal of Plant Nutrition*. 2005, 28: 2079-2092.
- [4] Zelles L. Fatty acid patterns of phospholipids and lipopolysaccharides in the characterisation of microbial communities in soil: a review. *Biology and Fertility of Soils*, 1999, 29(2): 111-129.
- [5] An S S, Li G H, Chen L D. Soil microbial functional diversity between rhizosphere and non-rhizosphere of typical plants in the hilly area of southern Nixia. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(18): 5225-5234.
- [6] Xia X, Gu J, Che S G, Gao H, Qin Q J. Effects of nitrogen application rates on microbial community and enzyme activities in Lou Soil. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(8): 1618-1627.
- [7] Acosta-Martínez V, Daren H R. Soil microbial communities and enzyme activities under various poultry litter application rates. *Journal of Environmental Quality*, 2006, 35(4): 1309-1318.
- [8] Heflich G, Tauschke M, Kühn G, Rogasik J. Influence of agricultural crops and fertilization on microbial activity and microorganisms in the rhizosphere. *Journal of Agronomy & Crop Science*, 2000, 184(1): 49-54.
- [9] Hou X J, Wang J K, Li S P. Effects of different fertilization and plastic-mulching on functional diversity of soil microbial community. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(2): 655-661.
- [10] Feng W, Guan T, Wang X Y, Zhu Y J, Guo T C. Effects of combined application of biogas slurry and chemical fertilizer on winter wheat rhizosphere

- soil microorganisms and enzyme activities. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(4): 1007-1012.
- [11] Wang X, Xu Q M, Cao B, Zhang Z J, Ma S F. Effects of controlled release coated urea on soil fertility and enzyme activities of protected vegetable field. Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19(5): 77-80.
- [12] Ma Z B, Xiong S P, He J G, Ma X M. Effects of nitrogen forms on rhizosphere microorganisms and soil enzyme activity under cultivation of contrasting wheat cultivars during booting and grain filling period. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(4): 1544-1551.
- [13] Yan J, Han X Z, Wang S Q, Li X H, Zhu W W. Effects of different nitrogen forms on microbial quantity and enzymes activities in soybean field. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(2): 341-347.
- [14] Wang C Y, Zhou J B, Dong Y J, Chen X, Li J. Effects of plant residues and nitrogen forms on microbial biomass and mineral nitrogen of soil in the Loess Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(24): 7092-7100.
- [15] Liu Z Y, Li L M, Shi W M. The research method of rhizosphere, Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1997.
- [16] Yao Z F, Wu Y H. Experimental techniques of microbiology. Meteorological Publishing Company, Beijing, 1998: 119-129.
- [17] Zhong W H, Cai Z C. Effect of soil management practices microbial diversity: a review. Biodiversity Science, 2004, 12(4): 456-465.
- [18] Zhao K J, Ma F M, Jiang F C, Xiao Y Z, Song J. Effect on amount of soil microbe with different level of nitrogen applied in sugar beet fields and fallow fields. China sugar beet, 1995, 3: 21-25.
- [19] Fleischner T L. Ecological costs of livestock grazing in western North America. Conservation Biology, 1994, 8: 629-644.
- [20] Fauci M F, Dick R P. Soil microbial dynamics short and long-term effects of organic and inorganic nitrogen. Soil Science Society of America Journal, 1994, 58: 801-808.
- [21] Ndayeyamiye A, Cote D. Effect of long-term pig slurry and solid cattle manure application on soil chemical and biological properties. Canadian Journal of Soil Science, 1989, 69(1): 39-47.
- [22] Watanabe, Inubushi K. Dynamics of available nitrogen in paddy soil: Changes in available N during rice cultivation and origin of N. Soil Sci Plant Nutr, 1986, 32: 27-50.
- [23] Wang W, Li D P, Wang S, Wu Z J, Zhang Y L. Nutrient release and transformation characteristics of slow/ controlled release urea fertilizers and response of urease in paddy soil. Journal of Soil and Water Conservation, 2010, 24(2): 116-121.
- [24] Zhu Z L. Loss of fertilizer N from plants-soil system and the strategies and techniques for its reduction. Soil and Environmental Sciences, 2000, 9(1): 1-6.
- [25] Li M J, Li S X. The distribution type of some nutrient elements in soil. Agricultural Research in the Arid Areas, 1998, 16(1): 69-75.
- [26] Shang Guan Z P, Li S Q. physiology, ecology of N nutrition in crop on the Arid Areas, Technology Publishing Company, Beijing, 2004.
- [27] Sun K J, Mao X Y, Lu Q M. Mitigation effect of several controlled-release N fertilizers on ammonia volatilization and related affecting factor. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(12): 2347-2350.

参考文献:

- [2] 马冬云, 郭天财, 宋晓, 王晨阳, 朱云集, 王永华, 岳艳军, 查菲娜. 尿素施用量对小麦根际土壤微生物数量及土壤酶活性的影响. 生态学报, 2007, 27(12): 5222-5228.
- [5] 安韶山, 李国辉, 陈利顶. 宁南山区典型植物根际与非根际土壤微生物功能多样性. 生态学报, 2011, 31(18): 5225-5234.
- [6] 夏雪, 谷洁, 车升国, 高华, 秦清军. 施氮水平对壤土微生物群落和酶活性的影响. 中国农业科学, 2011, 44(8): 1618-1627.
- [9] 侯晓杰, 汪景宽, 李世朋. 不同施肥处理与地膜覆盖对土壤微生物群落功能多样性的影响. 生态学报, 2007, 27(2): 655-661.
- [10] 冯伟, 管涛, 王晓宇, 朱云集, 郭天财. 沼液与化肥配施对冬小麦根际土壤微生物数量和酶活性的影响. 应用生态学报, 2011, 22(4): 1007-1012.
- [11] 王鑫, 徐秋明, 曹兵, 张占军, 马生发. 包膜控释尿素对保护地菜地土壤肥力及酶活性的影响. 水土保持学报, 2005, 19(5): 77-80.
- [12] 马宗斌, 熊淑萍, 何建国, 马新明. 氮素形态对专用型小麦中后期根际土壤微生物和酶活性的影响. 生态学报, 2008, 28(4): 1544-1551.
- [13] 严君, 韩晓增, 王树起, 李晓慧, 朱巍巍. 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. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(2): 341-347.
- [14] 王春阳, 周建斌, 董燕婕, 陈兴丽, 李婧. 黄土区六种植物凋落物与不同形态氮素对土壤微生物量碳氮含量的影响. 生态学报, 2010, 30(24): 7092-7100.
- [15] 刘芷宇, 李良谟, 施卫明. 根际研究法. 南京: 江苏科技出版社, 1997.
- [16] 姚占芳, 吴云汉. 微生物学实验技术. 北京: 气象出版社, 1998: 119-129.
- [17] 钟文辉, 蔡祖聪. 土壤管理措施及环境因素对土壤微生物多样性影响研究进展. 生物多样性, 2004, 12(4): 456-465.
- [18] 赵奎军, 马凤鸣, 姜福臣, 肖玉珍, 宋捷. 不同施氮水平对甜菜地和休闲地土壤微生物数量的影响. 中国甜菜, 1995, 3: 21-25.
- [23] 王薇, 李东坡, 王术, 武志杰, 张玉兰. 缓/控释尿素在稻田土壤中养分释放与转化特点及脲酶响应. 水土保持学报, 2010, 24(2): 116-121.
- [24] 朱兆良. 农田中氮肥的损失与对策. 土壤与环境, 2000, 9(1): 1-6.
- [25] 李菊梅, 李生秀. 几种营养元素在土壤中的分布类型. 干旱地区农业研究, 1998, 16(1): 69-75.
- [26] 上官周平, 李世清. 旱地作物氮素营养生理生态. 北京: 科学出版社, 2004.
- [27] 孙克君, 毛小云, 卢其明. 几种控释氮肥减少氨挥发的效果及影响因素研究. 应用生态学报, 2004, 15(12): 2347-2350.

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 32 卷 第 16 期 (2012 年 8 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 16 (August, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 1000717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 1000717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元