

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第17期 Vol.32 No.17 **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 17 期

2012 年 9 月 (半月刊)

目 次

基于生物生态因子分析的长序榆保护策略.....	高建国,章 艺,吴玉环,等 (5287)
闽江口芦苇沼泽湿地土壤产甲烷菌群落结构的垂直分布.....	余晨兴,仝 川 (5299)
涡度相关观测的能量闭合状况及其对农田蒸散测定的影响.....	刘 渡,李 俊,于 强,等 (5309)
地下滴灌下土壤水势对毛白杨纸浆林生长及生理特性的影响.....	席本野,王 焯,邸 楠,等 (5318)
绿盲蝽危害对枣树叶片生化指标的影响.....	高 勇,门兴元,于 毅,等 (5330)
湿地资源保护经济学分析——以北京野鸭湖湿地为例.....	王昌海,崔丽娟,马牧源,等 (5337)
湿地保护区周边农户生态补偿意愿比较.....	王昌海,崔丽娟,毛旭峰,等 (5345)
湿地翅碱蓬生物量遥感估算模型.....	傅 新,刘高焕,黄 翀,等 (5355)
增氮对青藏高原东缘典型高寒草甸土壤有机碳组成的影响.....	郑娇娇,方华军,程淑兰,等 (5363)
大兴安岭 2001—2010 年森林火灾碳排放的计量估算.....	胡海清,魏书精,孙 龙 (5373)
基于水分控制的切花百合生长预测模型.....	董永义,李 刚,安东升,等 (5387)
极端干旱区增雨加速泡泡刺群落土壤碳排放.....	刘殿君,吴 波,李永华,等 (5396)
黄土丘陵区土壤有机碳固存对退耕还林草的时空响应.....	许明祥,王 征,张 金,等 (5405)
小兴安岭 5 种林型土壤呼吸时空变异	史宝库,金光泽,汪兆洋 (5416)
疏勒河上游土壤磷和钾的分布及其影响因素.....	刘文杰,陈生云,胡凤祖,等 (5429)
COII 参与茉莉酸调控拟南芥吲哚族芥子油苷生物合成过程	石 璐,李梦莎,王丽华,等 (5438)
Gash 模型在黄土区人工刺槐林冠降雨截留研究中的应用	王艳萍,王 力,卫三平 (5445)
三峡水库消落区不同海拔高度的植物群落多样性差异.....	刘维湄,王 杰,王 勇,等 (5454)
基于 SPEI 的北京低频干旱与气候指数关系	苏宏新,李广起 (5467)
山地枣树茎直径对不同生态因子的响应.....	赵 英,汪有科,韩立新,等 (5476)
幼龄柠条细根的空间分布和季节动态	张 帆,陈建文,王孟本 (5484)
山西五鹿山白皮松群落乔灌木层的种间分离.....	王丽丽,毕润成,闫 明,等 (5494)
长期施肥对玉米生育期土壤微生物量碳氮及酶活性的影响.....	马晓霞,王莲莲,黎青慧,等 (5502)
基于归一化法的小麦干物质积累动态预测模型.....	刘 娟,熊淑萍,杨 阳,等 (5512)
上海环城林带景观美学评价及优化策略	张凯旋,凌焕然,达良俊 (5521)
旅游风景区旅游交通系统碳足迹评估——以南岳衡山为例.....	窦银娣,刘云鹏,李伯华,等 (5532)
一种城市生态系统现状评价方法及其应用.....	石惠春,刘 伟,何 剑,等 (5542)
黄海中南部细纹狮子鱼的生物学特征及资源分布的季节变化.....	周志鹏,金显仕,单秀娟,等 (5550)
蓝藻堆积和螺类牧食对苦草生长的影响.....	何 虎,何宇虹,姬娅婵,等 (5562)
黑龙江省黄鼬冬季毛被分层结构及保温功能.....	柳 宇,张 伟 (5568)
虎纹蛙选择体温和热耐受性在个体发育过程中的变化	樊晓丽,雷焕宗,林植华 (5574)
水丝蚓对太湖沉积物有机磷组成及垂向分布的影响	白秀玲,周云凯,张 雷 (5581)
专论与综述	
城市绿地生态评价研究进展.....	毛齐正,罗上华,马克明,等 (5589)
全球变化背景下生态学热点问题研究——第二届“国际青年生态学者论坛”	万 云,许丽丽,耿其芳,等 (5601)
研究简报	
雅鲁藏布江高寒河谷流动沙地适生植物种筛选和恢复效果.....	沈渭寿,李海东,林乃峰,等 (5609)
学术信息与动态	
生态系统服务时代的来临——第五届生态系统服务伙伴年会述评	吕一河,卫 伟,孙然好 (5619)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 334 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 36 * 2012-09	



封面图说: 带雏鸟的白枕鹤一家——白枕鹤是一种体型略小于丹顶鹤的优美的鹤。体羽蓝灰色,腹部较深,背部较浅,脸颊两侧红色,头和颈的后部及上背为白色,雌雄相似。其虹膜暗褐色,嘴黄绿色,脚红色。白枕鹤常常栖息于开阔平原芦苇沼泽和水草沼泽地带,有时亦出现于农田和海湾地区,尤其是迁徙季节。主要以植物种子、草根、嫩叶和鱼、蛙、软体动物、昆虫等为食。繁殖区在我国北方和西伯利亚东南部。我国白枕鹤多在黑龙江、吉林、内蒙古繁殖,与丹顶鹤的繁殖区几乎重叠,为国家一级保护动物。

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

DOI: 10.5846/stxb201110191555

马晓霞, 王莲莲, 黎青慧, 李花, 张树兰, 孙本华, 杨学云. 长期施肥对玉米生育期土壤微生物量碳氮及酶活性的影响. 生态学报, 2012, 32(17): 5502-5511.

Ma X X, Wang L L, Li Q H, Li H, Zhang S L, Sun B H, Yang X Y. Effects of long-term fertilization on soil microbial biomass carbon and nitrogen and enzyme activities during maize growing season. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(17): 5502-5511.

长期施肥对玉米生育期土壤微生物量 碳氮及酶活性的影响

马晓霞¹, 王莲莲¹, 黎青慧², 李花¹, 张树兰¹, 孙本华¹, 杨学云^{1,*}

(1. 西北农林科技大学 农业部西北植物营养与农业环境重点实验室, 杨凌 712100; 2. 陕西省土壤肥料工作站, 西安 710003)

摘要:以小麦-玉米轮作长期肥料定位试验为平台,探讨不同养分管理对玉米生育期壤土微生物量碳、氮和酶活性动态变化的影响。试验包括 6 个处理,分别为不施肥(CK)、单施氮肥(N)、氮磷配合(NP)、氮磷钾配合(NPK)、NPK+秸秆(SNPK)以及有机肥+NPK(MNPK)。结果表明玉米生育期土壤微生物量碳、氮变化显著。不同施肥管理下土壤微生物量碳、氮的高低显著性分别为 MNPK > SNPK、NP、NPK > N、CK。玉米生育期内土壤酶活性也变化显著,蔗糖酶、脲酶和纤维素酶在玉米抽雄期达到活性高峰,而磷酸酶在玉米拔节期出现活性高峰。不同施肥管理对土壤酶活性的影响总体表现为 MNPK 处理最高,其次为 SNPK 处理,再次为 NPK 和 NP 处理,N 和 CK 处理最低。不同施肥处理间土壤微生物量碳、氮以及酶活性与土壤有机碳、全氮、速效磷水平密切相关。壤土长期施用氮磷或氮磷钾化肥可以提高土壤微生物量碳、氮以及酶活性。一季作物秸秆还田配合氮磷钾化肥与氮磷钾相比有提高土壤微生物量碳、氮以及酶活性的趋势。在等氮量下,有机肥配合化肥与其他施肥模式相比,均显著提升土壤化学肥力因素、微生物量碳氮和酶活性。因此,壤土上建议进行有机无机肥配合以提高土壤肥力,保持土壤生物健康。
关键词:长期施肥;有机肥;蔗糖酶;碱性磷酸酶;脲酶;纤维素酶

Effects of long-term fertilization on soil microbial biomass carbon and nitrogen and enzyme activities during maize growing season

MA Xiaoxia¹, WANG Lianlian¹, LI Qinghui², LI Hua¹, ZHANG Shulan¹, SUN Benhua¹, YANG Xueyun^{1,*}

1 Key Laboratory of Plant Nutrition and the Agri-environment in Northwest China, Ministry of Agriculture, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China

2 Shaanxi Soil and Fertilizer Station, Xi'an 710003, China

Abstract: This study was designed to examine the effects of continuous fertilization, straw incorporation, and manuring on the soil microbial biomass and activities of enzymes by a long-term fertilizer field trial with winter wheat and summer maize rotation system under temperate conditions in a loess soil in Shaanxi of China. Treatments at the site included application of recommended doses of nitrogen (N), nitrogen and phosphorus (NP), nitrogen, phosphorus and potassium (NPK), wheat/maize straw (S) with NPK (SNPK), dairy manure (M) with NPK (MNPK) and un-amended control (CK), totally six treatments. The results showed that soil microbial biomass carbon and nitrogen changed significantly during maize growing season. The effects of fertilization regimes on soil microbial biomass carbon and nitrogen can be arranged (based on statistical significance) in the following orders: MNPK > SNPK, NP, NPK > N, CK. Soil enzyme activities also significantly changed with maize development stage. Invertase, urease and cellulase activities reached the peak at the silk

基金项目:公益性行业(农业)科研专项(201203030)资助;西北农林科技大学创新团队项目资助

收稿日期:2011-10-19; 修订日期:2012-06-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xueyunyang@nwsuaf.edu.cn

stage, but alkaline phosphatase activities was the highest at the jointing stage. The effects of fertilization regimes on soil enzyme activity generally followed the order: MNPK > SNPK > NPK, NP > N, CK. The difference in soil microbial biomass carbon, nitrogen and enzyme activity was related to the levels of organic carbon, total nitrogen and Olsen P in soils. Overall, long-term application of NP or NPK could significantly increase soil microbial biomass carbon, nitrogen and enzyme activity relative to CK. Compared with NPK, SNPK treated soil had a tendency to increase microbial biomass and enzyme activity. At the same N application rate, manure combined with chemical fertilizer significantly enhanced soil chemical and biochemical fertility compared with the other fertilization regimes. It is, therefore, recommended that NP application combined with crop straw could be a suitable way in the loess soil in order to improve soil fertility and maintain land productivity if organic manure were not applicable.

Key Words: crop straw return; organic manure; invertase; urease; alkaline phosphatase; cellulose

土壤微生物是土壤中物质转化和养分循环的驱动者,微生物体碳、氮被认为是土壤活性养分的储存库,植物生长可利用养分的重要来源^[1-2]。土壤酶主要来源于土壤微生物,在很大程度上可以反映土壤微生物的活性^[3],其活性代表了土壤中物质代谢的旺盛程度,在一定程度上可反映作物对养分的吸收利用与生长发育状况,是土壤肥力的重要指标^[4-5]。研究表明,土壤微生物量及其酶活性较其它土壤性质更迅速地响应施肥管理、种植体系、以及土地利用方式的变化^[6-10]。多数研究表明,施用有机肥料可以显著提高土壤微生物量碳、氮含量及土壤酶活性^[6,11-14]。但由于气候条件、土壤类型以及耕作施肥的复杂多样,施用化肥对土壤微生物量及酶活性影响的结果不尽相同。贾伟等^[6]报道,在旱作褐土上适量施用氮磷化肥与不施肥相比没有显著影响土壤微生物量碳氮及脲酶和碱性磷酸酶活性;而在灌溉褐潮土上,施用氮磷钾化肥较不施肥土壤显著增加了土壤微生物量碳氮以及脲酶活性。另外,由于微生物生长与土壤养分供应容量以及作物生长等密切相关,是一个动态的过程,因此,了解微生物量及酶活性随作物生长的动态变化具有重要的意义。沈宏等盆栽试验结果显示^[15],在玉米生长的前期、中期与后期土壤微生物量碳、氮与土壤酶活性的动态变化呈现先升高后降低之后趋于平稳的趋势。李潮海等的研究表明^[16],尽管随土壤质地(砂壤、中壤、重壤)有所不同,玉米根际土壤酶活性均呈抛物线形,在吐丝期达到最高。侯鹏等^[17]发现玉米超高产田脲酶和转化酶活性的变化与一般大田不同,认为水肥管理差异可能是其主要原因。由此看来,土壤微生物量碳、氮与土壤酶活性受多种因素影响。

壤土是陕西省关中平原的主要土壤类型,冬小麦-夏玉米轮作体系是该区主要的作物体系,了解长期不同养分管理对土壤生物和化学性质的影响对壤土质量提升和维持其可持续生产力有重要理论意义。本研究以陕西杨凌国家黄土肥力与肥料效益监测基地长期肥料定位试验为研究对象,探讨 20a 施用化肥、化肥配合秸秆还田或有机肥对玉米生育期土壤微生物量碳氮以及酶活性的动态影响。

1 材料与方法

1.1 试验点概况及试验设计

本试验在“国家黄土肥力与肥料效益监测基地”进行,试验地位于黄土高原南部的陕西省杨凌示范区渭河三级阶地(N 34°17'51", E 108°00'48", 海拔 534m)。供试土壤属壤土(土垫旱耕人为土),土壤质地为粉砂粘壤土,黄土母质。试验开始前种植了三季作物匀地(不施肥,第三季作物提前收割进行试验准备),试验开始前每个小区多点采集耕层(0—20cm)基础混合土样,进行基本理化性质分析,基础土壤 pH(水土比为 1:1) 8.62,有机碳为 7.44 g/kg,全氮 0.83 g/kg,全 P 0.61 g/kg,全 K 21.64 g/kg, Olsen-P 9.57 mg/kg,有效 K 200.0 mg/kg,土壤容重 1.35 t/m³。试验点年平均气温 13.0℃,年平均降水量约为 550mm,降水主要分布在 6—9 月。

试验开始于 1990 年秋,作物体系为冬小麦-夏玉米轮作,一年两熟。试验共设 13 个处理,小区面积 196m² (14m×14m),重复 1 次,本文涉及其中 6 个处理。(1)对照(不施任何肥料,CK);(2)氮肥(N);(3)氮磷

(NP);(4)氮磷钾(NPK);(5)秸秆+氮磷钾(SNPK);(6)有机肥+氮磷钾(MNPK)。处理(2)至处理(5)的N、P、K均来自化肥,其中小麦季用量分别为165.0、57.6、68.5 kg/hm²,玉米季分别为187.5、24.6、77.8 kg/hm²。处理(5)中秸秆每年于冬小麦播种前施用1次,1990年至1998年每年施入4500 kg/hm²小麦秸秆,1999年开始施入该处理的全部玉米秸秆,平均用量为4392 kg/hm²(变幅为2630—5990 kg/hm²)。处理(6)小麦季N的总用量与NPK处理相同,不过30%氮由化肥提供,70%由有机肥提供,化肥P、K用量与NPK也相同,MNPK处理玉米季施肥量与NPK处理相同,均来自化肥。有机肥也于每年小麦播种前一次施用。

1.2 样品采集与测定方法

1.2.1 样品采集

2010年夏玉米生长季内采集0—20 cm土样,具体为:苗期(6月21)、拔节期(7月9日)、大喇叭口期(8月4日)、抽雄期(8月19日)、成熟期(9月17日)。取样时将每个处理的小区平均划分为3个区域进行采样,作为3次重复。样品带回实验室后手工拣去植物残体、砾石等,过2mm筛,将一部分土样保存在4℃冰箱中用于测定土壤微生物量碳氮,剩余部分风干过1mm筛和0.15mm筛测定土壤酶活性和土壤养分。

1.2.2 土壤酶活性的测定

土壤酶活性的测定根据关松荫的方法^[18],土壤蔗糖酶活性、脲酶活性、碱性磷酸酶活性、纤维素酶活性分别采用3,5-二硝基水杨酸比色法、靛酚蓝比色法、磷酸苯二钠比色法、3,5-二硝基水杨酸比色法测定。蔗糖酶活性以mg glucose/g(37℃ 24h)表示,脲酶活性以mg NH₃-N/g(37℃ 24h)表示,碱性磷酸酶活性以mg phenol/g(37℃ 24h)表示,纤维素酶活性以μg glucose/g(37℃ 72h)表示。

1.2.3 土壤微生物量碳氮的测定

土壤微生物量碳、氮的测定采用氯仿熏蒸浸提法^[19],其含量计算用熏蒸和未熏蒸样品碳含量之差除以回收系数 $K_C=0.38$ 和 $K_N=0.54$ 。

1.2.4 土壤化学性质测定

土壤化学性质采用常规土壤农化分析方法测定^[19]。有机碳(SOC):丘林法(180℃油浴);全氮(TN):混合催化剂催化(K₂SO₄-CuSO₄-Se),浓H₂SO₄消化,半微量凯氏法;全磷(TP):硝酸-氢氟酸-高氯酸消化钼锑钒法测定;土壤速效磷(Olsen P)用Olsen法;土壤速效钾(Available K)用1mol/L乙酸铵提取,火焰光度法测定。

1.3 统计分析

数据采用SPSS16.0软件进行统计分析。土壤微生物量碳氮以及酶活性之间的线性相关分析数据采用总平均值。

2 结果

2.1 耕层土壤化学性质

长期施肥显著影响土壤有机碳和全氮的含量,长期施用有机物料土壤有机碳和全氮含量均显著高于长期施用化肥处理,其中有机肥处理显著高于秸秆还田;长期施用化肥处理显著高于对照。化肥处理间NP和NPK处理相似,并高于单施氮肥处理(表1)。但各处理的碳氮比无差异。长期施肥土壤有效磷积累以MNPK处理最高,其次是施磷肥处理,均显著高于单施氮肥和对照处理(表1)。有机肥或秸秆还田配合化肥施用显著提高了耕层土壤速效钾含量,长期施用化学钾肥也显著提高了土壤速效钾水平;CK处理有效钾含量最低,并与NP和N处理相似(表1)。

2.2 玉米生育期耕层土壤微生物量碳氮

玉米大喇叭口期土壤微生物量碳以MNPK处理最高,SNPK、NPK和NP处理间无差异,均显著高于CK和N处理;CK处理最低。成熟期MBC与大喇叭口期趋势近似。所不同的是CK和N处理均较大喇叭口期有所提高,尤其是CK处理和施化肥及秸秆还田处理无显著差异(表2)。MNPK、SNPK、NP和NPK处理MBC较CK处理分别提高89.7%、54.6%、42.6%和34.6%。

表 1 长期定位试验 20a 不同施肥处理耕层(20cm)土壤有机碳、全氮、速效磷以及速效钾含量

Table 1 Soil organic carbon, total nitrogen, available phosphorus and exchangeable potassium contents in plough layer soils treated with different fertilization managements for 20 years

处理 Treatment	有机碳 SOC/(g/kg)	全氮 TN/(g/kg)	速效磷 Olsen P/(mg/kg)	速效钾 Available K/(mg/kg)	有机碳/全氮 Ratio of SOC to TN
CK	7.18 e	0.85 e	3.06 c	147.28 d	8.51 a
N	8.50 d	1.00 d	3.74 c	172.94 c	8.53 a
NP	9.68 c	1.23 c	26.3 b	158.60 cd	8.44 a
NPK	9.18 cd	1.09 cd	26.32 b	237.10 b	8.42 a
SNPK	10.93 b	1.28 b	32.68 b	309.42 a	8.56 a
MNPK	12.85 a	1.45 a	112.72 a	298.98 a	8.93 a

CK(对照,Control);N(氮,Nitrogen);NP(氮磷,Nitrogen and Phosphorus);NPK(氮磷钾,Nitrogen, Phosphorus and Potassium);SNPK(秸秆+氮磷钾,Stalk plus NPK);MNPK(有机肥+氮磷钾,Organic manure plus NPK);同列中不同小写字母表示处理间差异显著(5%)

表 2 壤土长期定位试验 20 年后玉米生育期耕层土壤(20cm)微生物量的变化(mg/kg)

Table 2 Soil microbial biomass concentration in plough layer soils (20cm)at different growth stages of summer maize in a 20 years long term fertilization experiment of a loess soil(mg/kg)

处理 Treatment	微生物碳 MBC			微生物氮 MBN		
	大喇叭口期 V12 stage	成熟期 Maturity stage	Mean	大喇叭口期 V12 stage	成熟期 Maturity stage	Mean
CK	118.89 d	246.19 bc	182.54f	27.30 c	50.34 bc	38.82e
N	185.48 c	216.04 c	200.76e	37.11 c	35.21 c	36.16f
NP	245.88 b	274.85 b	260.37c	44.68 c	60.91 ab	52.8c
NPK	243.46 b	247.85 bc	245.66d	49.73 bc	49.93 bc	49.83d
SNPK	281.85 b	282.49 b	282.17b	68.82 ab	55.66 ab	62.24b
MNPK	355.32 a	337.13 a	346.23a	82.11 a	72.50 a	77.31a
平均 Mean	238.48	267.43		51.62	54.09	

同列中不同小写字母表示处理间差异显著(5%)

玉米生育期 MBN 趋势与微生物量碳基本一致,大喇叭口期 MNPK 处理 MBN 显著高于化肥处理;SNPK 略高于 NPK,显著高于 CK 和其它化肥处理;化肥处理与 CK 均无显著差异(表 2)。成熟期土壤 MBN 仍以 MNPK 处理最高,并与 SNPK 和 NP 处理含量相似,但显著高于 NPK、N 以及 CK 处理。SNPK 处理与 NPK、NP 以及 CK 处理无显著差异,显著高于 N 处理。各处理微生物量氮平均值显示 MNPK 处理显著高于 SNPK、NPK 及 NP 处理,而后三个处理又显著高于 N 和 CK 处理,N 与 CK 处理相近。MNPK、SNPK、NP 和 NPK 处理 MBN 较 CK 处理分别提高 99.1%、60.3%、36%、28.4%(表 2)。

2.3 玉米生育期土壤酶活性动态

2.3.1 土壤蔗糖酶活性

玉米生育期蔗糖酶活性总体上苗期显著低于其它时期,拔节期至抽雄期维持最高,成熟期明显下降(图 1)。

总体而言,所有施氮磷肥处理(NP、NPK、SNPK、MNPK)蔗糖酶活性从拔节期开始升高,稳定到抽雄期,成熟期回落(图 1)。除拔节期 NP 和成熟期 MNPK 外,施氮磷肥各处理在玉米 5 个生育期的蔗糖酶活性相似,并显著高于 N 和 CK 处理。CK 和 N 处理蔗糖酶活性在拔节期明显升高,此后一直稳定在一个水平(图 1)。各生育期蔗糖酶活性平均表现为 SNPK 处理最高,其次为 NPK、MNPK 和 NP 处理,N 和 CK 最低。MNPK、SNPK、NPK 和 NP 处理蔗糖酶活性较 CK 处理分别提高 39.1%、45.6%、39.5% 和 36.7%(表 3)。

2.3.2 土壤碱性磷酸酶活性动态

各处理玉米生育期碱性磷酸酶活性总体上表现为拔节期显著上升并达到活性高峰,然后急剧下降,自大喇叭口期后趋于稳定(图 2)。MNPK 苗期土壤碱性磷酸酶活性与 SNPK、NPK 和 NP 没有显著性差异,其它时

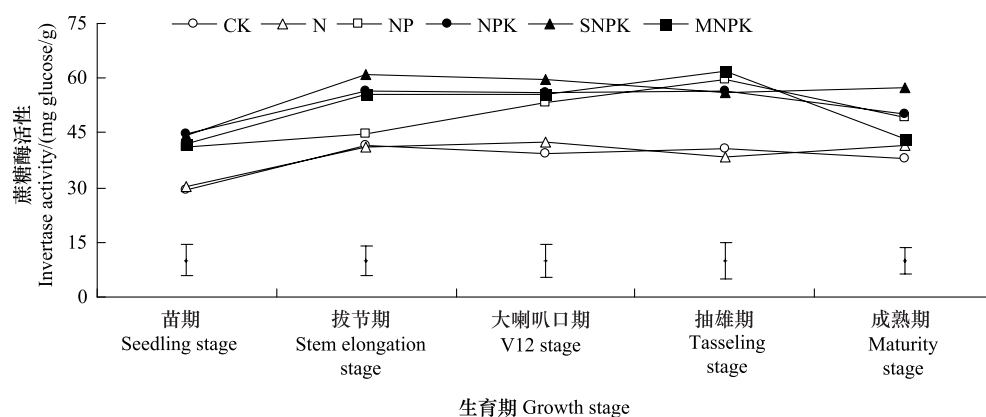


图1 不同施肥处理玉米生育期土壤蔗糖酶活性动态(图中线段表示 LSD 值)

Fig. 1 Invertase activities in soils under various fertilization regimes at different growth stages of summer maize (bar: LSD)

期均显著高于其它各处理。SNPK、NPK 和 NP 处理碱性磷酸酶活性变化趋势基本相似,并显著高于 CK(图 2,表 3)。除大喇叭口和成熟期外,施 N 处理和 CK 处理碱性磷酸酶活性也近似。各生育期所有处理平均值而言,土壤碱性磷酸酶活性高低为 MNPK > NP ≥ SNPK ≥ NPK > N > CK(表 3)。MNPK、SNPK、NPK 和 NP 处理碱性磷酸酶活性较 CK 处理分别提高 56.7%、23%、15.2% 和 34.1%。

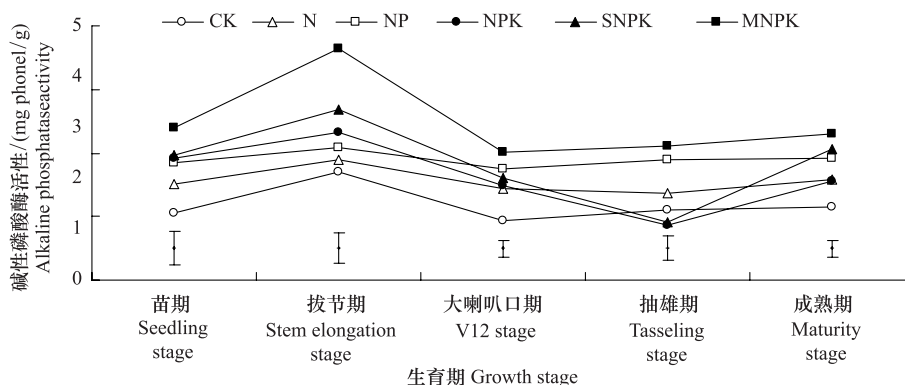


图2 不同施肥处理玉米生育期土壤碱性磷酸酶活性动态(图中线段表示 LSD 值)

Fig. 2 Alkaline phosphatase activities in soils under various fertilization regimes at different growth stages of summer maize (bar: LSD)

2.3.3 土壤脲酶活性的变化

玉米生育期土壤脲酶活性随着玉米生长发育显著升高,并在抽雄期达到活性高峰,成熟期回落(图 3)。

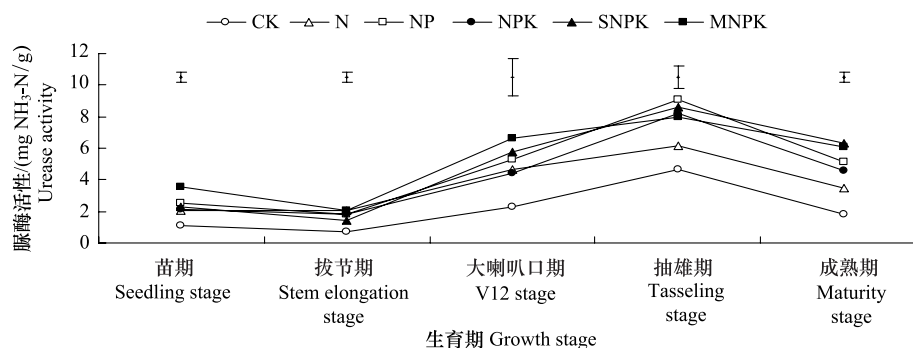


图3 不同施肥处理玉米生育期土壤脲酶活性动态(图中线段表示 LSD 值)

Fig. 3 Urease activities in soils under various fertilization regimes at different growth stages of summer maize (bar: LSD)

所有施肥处理各生育期耕层土壤脲酶活性均显著高于不施肥处理(CK)。MNPk 处理脲酶活性除苗期外在其它时期和 SNPK 无显著差异;苗期也显著高于其它施肥处理,拔节期和大喇叭口期和其他处理无显著差异,抽雄期显著高于 N 处理,成熟期显著高于单施化肥的 3 个处理。SNPK 除成熟期显著高于 NP 和 NPK,其它 4 个时期和这两个处理也无明显差异。后二者几乎在所有生育期均无差异。单施氮肥处理和 NP、NPK、SNPK3 个处理在前 3 个生育期无差异,在抽雄期和成熟期显著低于后 3 个处理(图 3)。平均各生育期土壤脲酶活性,其高低顺序为 MNPk、SNPK、NP > NPK、N > CK,MNPk、SNPK、NPK 和 NP 处理脲酶活性较 CK 处理分别提高 116.7%、111.2%、90.7% 和 115.4%(表 3)。

2.3.4 土壤纤维素酶活性的变化

玉米生育期土壤纤维素酶活性从苗期到拔节期显著下降,喇叭口期以及抽雄期纤维素酶活性趋于升高,成熟期有所下降,且各处理在 5 个玉米生长时期均呈现出 MNPk 高于 SNPK 高于 NPK 高于对照的趋势(图 4)。但处理间土壤纤维素酶活性在苗期均无显著差异。拔节期所有处理都有显著差异,即 MNPk 显著高于其它 3 个处理,SNPK 显著高于 NPK 和 CK,NPK 显著高于 CK 处理。大喇叭口期除 NPK 和 CK 相近外,其它处理间也均差异显著。抽雄期 MNPk 处理较 SNPK 稍高,显著高于 NPK 和 CK 处理;SNPK 处理显著高于 NPK,NPK 显著高于 CK 处理。成熟期土壤纤维素酶活性则表现为 MNPk 处理显著高于 CK,其它几个处理间无显著差异(图 4)。MNPk、SNPK 和 NPK 处理纤维素酶活性较 CK 处理分别提高 70.5%、52.6% 和 22.3%(表 3)。

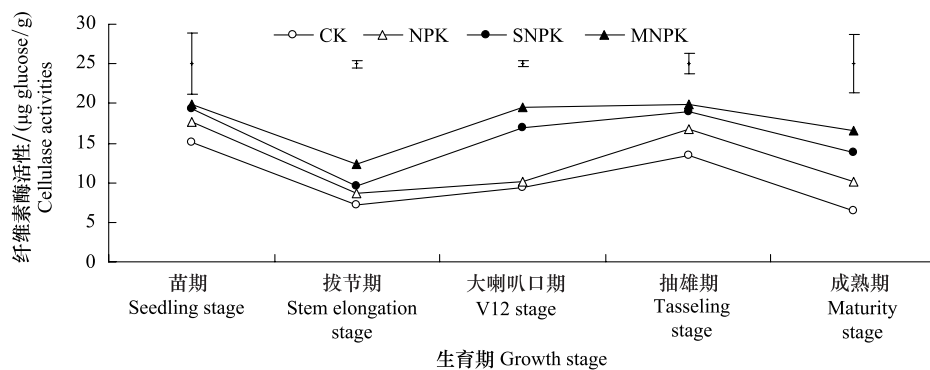


图 4 不同施肥处理玉米生育期土壤纤维素酶活性动态(图中线段表示 LSD 值)

Fig. 4 Cellulase activities in soils under various fertilization regimes at different growth stages of summer maize (bar: LSD)

表 3 不同施肥处理玉米生育期土壤酶活性均值

Table 3 The average activities of enzymes tested in soils treated with various fertilizers for all growth stages of summer maize

处理 Treatment	蔗糖酶 Invertase /(mg/g)	碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase /(mg/g)	脲酶 Urease /(mg/g)	纤维素酶 Cellulase (µg/g)
CK	38.05 c	2.17 e	2.59 c	10.32d
N	38.73 c	2.56 d	4.14 b	—
NP	52.01 b	2.91 b	5.58 a	—
NPK	53.06 ab	2.50 cd	4.94 b	12.62c
SNPK	55.36 a	2.67 bc	5.47 a	15.75b
MNPk	52.94 b	3.40 a	5.61 a	17.6a

同列中数值后面的不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)

2.4 土壤化学肥力因素与土壤微生物量碳氮、酶活性的关系

由表 4 可见,土壤有机碳与其它化学及生物化学指标(蔗糖酶和纤维素酶活性除外)均存在显著或极显著正相关关系。土壤全氮和土壤有机碳一样,也和除了蔗糖酶和纤维素酶活性外的其它化学或生物(化学)性质有显著正相关。土壤速效磷与微生物量碳、氮以及碱性磷酸酶活性相关显著。土壤速效钾仅与 SOC、TN

和 MBN 存在显著相关,与微生物量碳或酶活性均相关不显著。土壤微生物碳与微生物量氮、脲酶以及碱性磷酸酶活性相关显著,与蔗糖酶相关不显著;土壤微生物氮与碱性磷酸酶活性相关显著,与蔗糖酶、脲酶等相关不显著。另外,除蔗糖酶与脲酶之间相关显著外,其它酶之间相关均不显著(表 4)。

表 4 土壤化学性质、微生物量碳氮以及酶活性之间的线性相关系数

	SOC	Olsen P	TN	AK	MBC	MBN	INV	AKP	URE
OlsenP	0.913 *								
TN	0.997 **	0.883 **							
AK	0.833 *	0.696	0.854 *						
MBC	0.986 **	0.928 **	0.983 **	0.803					
MBN	0.963 **	0.929 **	0.958 **	0.824 *	0.984 **				
INV	0.754	0.568	0.793	0.73	0.806	0.785			
AKP	0.913 *	0.894 *	0.891 *	0.542	0.909 *	0.85 *	0.59		
URE	0.826 **	0.602	0.855 *	0.636	0.831 *	0.747	0.888 **	0.786	
CEL	0.542	0.605	0.543	0.805	0.567	0.672	0.48	0.234	0.18

SOC:土壤有机碳;TN:土壤全氮;Olsen P:土壤速效磷;AK:土壤有效钾;MBC:土壤微生物量碳;MBN:土壤微生物量氮;INV:土壤蔗糖酶;URE:土壤脲酶;AKP:土壤碱性磷酸酶;CEL:土壤纤维素酶;*表示差异显著($P<0.05$),**表示差异极显著($P<0.01$); $n=60$

3 讨论

本研究表明土壤微生物量碳、氮受作物生长发育阶段、施肥处理以及二者交互作用的显著影响。土壤微生物量碳、氮含量的变异范围与 Mandal 等^[20]观测到的结果相近,但是远小于沈宏等^[15]在盆栽试验所报道的结果。这可能是由于盆栽试验土壤体积有限受作物根际的影响更为明显。土壤微生物量碳、氮在玉米生育期的变化趋势与沈宏等^[15]的研究结果一致。施肥处理均不同程度地提高了土壤微生物量碳、氮,且 MNPK 处理明显高于化肥处理,与 Goyal 等^[21]和 Simek 等^[22]的研究结果一致,这可能是由于施肥直接增加根系生物量及根系分泌物,促进了微生物生长,同时施用有机肥不但增加了土壤养分,同时也为微生物提供了充足的碳源,使土壤微生物碳、氮量明显高于单施化肥的处理。SNPK 与 NPK 或 NP 相比没有显著影响土壤微生物量碳、氮含量,可能是由于秸秆是施在小麦播种期,施入的秸秆经过 10 个月降解已大幅度降低,导致微生物生长下降所致。这与鲁艳红等^[12]在水稻土上的研究结果基本一致。但李娟等^[14]报道褐潮土玉米秸秆配合 NPK 较 NPK 显著增加了土壤微生物量氮的含量而对微生物量碳无显著影响,可能与取样测定时间有关,该试验中秸秆施入时间与本试验相近,而采样测定时间在 4 月。长期施用 NPK 与 NP 相比,没有显著影响土壤微生物量碳、氮水平,这可能与供试土壤富钾,增加钾肥投入对作物生长影响甚微,因此这两个处理之间土壤碳、氮、磷水平相似(表 1)。土壤速效钾含量与微生物量碳、氮没有显著的相关关系也从另一个方面说明了这一点(表 4)。

壤土长期不同施肥、夏玉米生长发育阶段以及二者交互作用也显著影响土壤酶活性。土壤脲酶随着玉米生长发育其活性苗期和拔节期较低,之后逐渐升高,抽雄期达到活性高峰,这种变化趋势与沈宏等^[15]、李潮海等^[16]以及李东坡等^[23]结果一致。拔节期以后脲酶活性增加一方面与施肥有关,即施入尿素后由于底物诱导提高了土壤脲酶活性,反映在所有施肥处理之间酶活性差异不显著;另一方面,可能与作物生长有关,随着作物生长愈益旺盛,根系分泌物增加,刺激了微生物生长,因而脲酶活性也随之增加。单施氮肥处理脲酶活性自大喇叭口期到抽雄期增加趋势较其它处理缓慢也表明了这一点,这是因为土壤长期不施磷肥,有效磷很低限制了作物生长。土壤碱性磷酸酶活性在拔节期达到活性高峰,之后逐渐降低,并维持稳定。这种动态可能一方面反映了随玉米生长,作物吸磷量增多,土壤有效磷含量相对降低,反馈调节使得磷酸酶活性在这一时期较高^[24];另一方面随着玉米苗期的补充灌溉,土壤水分条件改善,促进了有机磷的矿化。此后碱性磷酸酶活性降低一是因为施入了磷肥(施磷处理而言),其次是由于前期有机磷矿化,底物浓度降低,因而酶活性趋于稳

定。在黑土及黑钙土的土柱试验则报道春玉米生育期土壤碱性磷酸酶和纤维素酶活性均在播种后 60d 达到活性高峰^[25],这可能与夏玉米、春玉米生长期以及土壤温度不同有关。土壤纤维素酶活性从苗期开始下降,拔节期活性达到最低,之后逐渐升高,成熟期回落,可能是因为施肥后,随作物生长带来了一定的外源纤维素酶和有机碳源增加的结果^[26]。

总体看,长期施肥效应也反映在酶活性上。不同施肥处理均不同程度提高了土壤脲酶、纤维素酶、蔗糖酶和碱性磷酸酶活性。平衡施肥(NP 和 NPK)处理耕层土壤蔗糖酶、碱性磷酸酶、脲酶和纤维素酶活性均高于对照不施肥,同时也高于不平衡施肥 N 处理。与褐潮土、褐土以及潮土上结果相似^[6,14,27]。这主要是由于施肥显著增加作物产量^[28],进而增加了根茬还田量以及根系分泌物有关。长期有机物配施氮磷钾有助于提高土壤蔗糖酶、脲酶、碱性磷酸酶,尤其是纤维素的活性,这与其他研究者的结果一致^[6,29-30]。其原因可能有以下几点:首先,有机物料的投入提高了土壤腐殖质(有机质)含量,从而增加了土壤酶的保护性位点^[31-32];其次,有机物料投入增加了土壤有机质,从而增加了土壤微生物的碳源,促进了微生物繁殖,刺激了酶活性提高^[33];再次,有机物作为土壤酶的底物,也可能直接诱导土壤酶活性提高;同时,施用有机肥不但增加了土壤有机碳含量,而且带入了丰富的微生物和酶,显著地影响土壤酶活性;最后,有机物施入土壤可以改善土壤物理和化学性质,为微生物和土壤动物生长提供良好环境,加速了有机物的分解,为土壤酶提供了更多的底物^[34-35]。

土壤酶的专一性和综合性特点使其有可能成为一个有潜力的土壤生物学指标,研究土壤酶活性的变化,将有助于了解土壤肥力的现状和演化^[36]。总体而言,土壤酶活性与玉米生长发育动态基本一致。长期施用氮磷或氮磷钾化肥可以明显改善土壤生物化学肥力状况。一季作物秸秆还田配合氮磷钾化肥与氮磷钾相比有提高土壤生物化学肥力的趋势。在等氮量下,有机肥配合化肥较单施化肥显著提升土壤化学及生物化学肥力因子。塿土小麦-玉米轮作体系有机无机肥配合可以提高土壤肥力,保持土壤健康。

致谢:感谢任卫东、葛玮健、代雪灵在土壤样本采集及分析方面给予的帮助。

References:

- [1] Roy S, Singh JS. Consequences of habitat heterogeneity for availability of nutrients in a dry tropical forest. *Journal of Ecology*, 1994, 82: 503-509.
- [2] Xun Y C, Shen Q R, Ran W. Effect of zero-tillage and application of manure on soil microbial biomass C, N and P. *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(1): 89-96.
- [3] Frankenberger, W T, Dick, W A. Relationships between enzyme activities and microbial growth and activity indices in soil. *Soil Sci. Soc Am J*, 1983, 47: 945-951.
- [4] Nannipieri P. The potential use of soil enzymes as indicators of productivity, sustainability and pollution. In: Pankhurst, C E (Ed). *Soil Biota. Management in Sustainable Farming Systems*, CSIRO, East Melbourne, Victoria, Australia, 1994: 238-244.
- [5] Burns R G. *Soil Enzymes*. Chelsea, USA: Lewis Publishers, 1994: 93-97.
- [6] Jia W, Zhou H P, Xie W Y, Guan C L, Gao C H, Shi Y Q. Effect of long-term inorganic fertilizer combined with organic manure on microbial biomass C, N and enzyme activity in cinnamon soil. *Plant Nutr. Fert. Sci*, 2008, 14(4): 700-705.
- [7] Livia B, Uwe L, Frank B. Microbial biomass, enzyme activities and microbial community structure in two European long-term field experiments. *Agric. Ecosyst. Environ*, 2005, 109: 141-152.
- [8] Yusuf A A, Abaidoo R C, Iwuafor E N, Olufajo O O, Sangina N. Rotation effects of grain legumes and fallow on maize yield, microbial biomass and chemical properties of an Alfisol in the Nigerian savanna. *Agric. Ecosyst. Environ*, 2009, 129: 325-331.
- [9] Liu E K, Zhao B Q, Mei X R, So H B, Li J, Li X Y. Effects of no-tillage management on soil biochemical characteristics in northern China. *Agric. Sci. Camb*, 2010, 148: 217-223.
- [10] Wang X L, Jia Y, Li X G, Long R J, Ma Q, Li F M, Song Y J. Effects of land use on soil total and light fraction organic, and microbial biomass C and N in a semi-arid ecosystem of northwest China. *Geoderma*, 2009, 153: 285-290.
- [11] Ma N N, Li T L, Wu C C, Zhang E P. Effects of long-term fertilization on soil enzyme activities and soil physicochemical properties of facility vegetable field. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(7): 1766-1771.
- [12] Lu Y H, Yang Z P, Zeng S X, Liao Y L, Nie J, Xie J, Xiang Y W. Effects of long-term application of chemical fertilizer, pig manure, and rice straw

- on chemical and biochemical properties of reddish paddy soil. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(4): 921-929.
- [13] Timo K, Stephan W, Frank E. Microbial activity in a sandy arable soil is governed by the fertilization regime. *European journal of soil biology*, 2004, 40(2): 87-94.
- [14] Li J, Zhao B Q, Li X Y. Effect of long-term combined application of organic and mineral fertilizers on soil microbiological properties and fertility. *Sci. Agric. Sin*, 2008, 41(1): 144-152.
- [15] Shen H, Cao Z H, Xu B S. Dynamics of soil microorganism biomass and soil enzyme activity and the irrelationships during maize growth. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(4): 471-474.
- [16] Li C H, Wang X X, Wang Q, He S P. Effect of different textural soils on rhizosphere microorganisms and enzyme activities in maize. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(2): 412-418.
- [17] Hou P, Wang Y J, Wang K J, Yang J S, Li D H, Dong S T, Liu J G. Dynamic changes of soil microbial populations and enzyme activities in super-high yielding summer maize farmland soil. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(8): 1741-1746.
- [18] Guan S Y. *Soil Enzyme and Study Method*. Beijing: Agricultural Press, 1986.
- [19] Bao S D. *Soil and Agricultural Chemistry Analysis*. Beijing: Agricultural Press, 1981.
- [20] Mandal A, Patra A K, Singh D, et al. Effect of long-term application of manure and fertilizer on biological and biochemical activities in soil during crop development stages. *Bioresource Technology*, 2007, 98: 3585-3592.
- [21] Goyal Sneha CK, Mundra MC, Kapoor KK. Influence of inorganic fertilizers and organic amendments on soil organic matter and soil microbial properties under tropical conditions. *Biology and Fertility of Soils*, 1999, 29: 196-200.
- [22] Simek M, Hopkins DW, Kalátek J, Pícek T, Santruckova H, Stana J, Trávník K. Biological and chemical properties of arable soils affected by long-term organic and inorganic fertilizer applications. *Biology and Fertility of Soils*, 1999, 29: 300-308.
- [23] Li D P, Wu Z J, Chen L J, Yang J, Zhu P, Ren J, Peng C, Gao H J. Dynamics of urease activity in a long-term fertilized black soil and its affecting factors. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(12): 2208-2212.
- [24] Xia X, GU Jie, Gao H, Qin Q J, Liu L, Xie Y Y. Effect of inorganic fertilizer combined with organic manure on soil hydrolase activities during the growth of corn. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2010, 28(2): 38-42.
- [25] Mou J M, Sun R, Jiang Y M, Zhang L M, Wang M H, Jiang Y. Effect of different crop stubble remaining in field on soil enzyme activity. *Journal of Jilin Agricultural University*, 1997, 19(4): 65-69.
- [26] Song R, Wu C S, Mou J M, Jiang Y, Guo J X. Effects of maize stubble remaining in field on dynamics of soil microbial biomass C and soil enzyme activities. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(3): 303-306.
- [27] Timo K, Cristina LF and Frank E. Abundance and biodiversity of soil microarthropods as influenced by different types of organic manure in a long-term field experiment in Central Spain. *Applied Soil Ecology*, 2006, 33: 278-285.
- [28] Yang X Y, Sun B H, Ma L J, Tong Y A, Zhang H, Zhang S L, Zhao B Q, Zhang F D. A study on the effect of fertilization and fertility evolution of loess soil: I. Crop yield. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2002, 8: 66-70.
- [29] Vance E D, Brookes P C and Jenkinson D. An extraction method for measuring microbial biomass carbon [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1987, 19: 703-707.
- [30] Liu H, Lin Y H, Zhang Y S, Tan X X, Wang X H. Effect of long-term fertilization on biodiversity and enzyme activity in grey desert soil. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(8): 3898-3904.
- [31] Martens DA, Johanson JB, Frankenberg WT Jr. Production and persistence of soil enzymes with repeated addition of organic residues. *Soil Sci* 1992, 153: 53-61.
- [32] Pascual JA, García C, Hernandez T. Lasting microbiological and biochemical effects of the addition of municipal solid waste to an arid soil. *Biol Fertil Soils*, 1999, 30: 1-6.
- [33] Liliana Gianfreda, Pacifico Ruggiero. Enzyme activities in soil. *Soil Biology*, Volume 8, 2006, 25, 7.
- [34] Timo K, Cristina LF and Frank E. Abundance and biodiversity of soil microarthropods as influenced by different types of organic manure in a long-term field experiment in Central Spain. *Applied Soil Ecology*, 2006, 33: 278-285.
- [35] Petra M, Ellen K, Bernd M. Structure and function of the soil microbial community in a long-term fertilizer experiment. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003, 35: 453-461.
- [36] Cao J C, Li R H, Zhang Z M. Red soil enzyme activity and soil fertility. *Soil and Fertilizers*, 1986, 17(7): 15-19.

参考文献:

- [6] 贾伟, 周怀平, 解文艳, 关春林, 郜春花, 石彦琴. 长期有机无机肥配施对褐土微生物生物量碳、氮及酶活性的影响. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(4): 700-705.

- [11] 马宁宁, 李天来, 武春成, 张恩平. 长期施肥对设施菜田土壤酶活性及土壤理化性状的影响. 应用生态学报, 2010, 21(7): 1766-1771.
- [12] 鲁艳红, 杨曾平, 郑圣先, 廖育林, 聂军, 谢坚, 向艳文. 长期施用化肥、猪粪和稻草对红壤水稻土化学和生物化学性质的影响. 应用生态学报, 2010, 21(4): 921-929.
- [14] 李娟, 赵秉强, 李秀英, Hwat Bing So. 长期有机无机肥料配施对土壤微生物学特性及土壤肥力的影响. 中国农业科学, 2008, 41(1): 144-152.
- [15] 沈宏, 曹志洪, 徐本生. 玉米生长期土壤微生物量与土壤酶变化及其相关性研究. 应用生态学报, 1999, 10(4): 471-474.
- [16] 李潮海, 王小星, 王群, 郝四平. 不同质地土壤玉米根际生物活性研究. 中国农业科学, 2007, 40(2): 412-418.
- [17] 侯鹏, 王永军, 王空军, 杨今胜, 李登海, 董树亭, 柳京国. 超高产夏玉米田土壤微生物与土壤酶的动态变化. 应用生态学报, 2008, 19(8): 1741-1746.
- [18] 关松荫. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 1986.
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 农业出版社, 1981.
- [23] 李东坡, 武志杰, 陈利军, 杨杰, 朱平, 任军, 彭畅, 高红军. 长期培肥黑土脲酶活性动态变化及其影响因素. 应用生态学报, 2003, 14(12): 2208-2212.
- [24] 夏雪, 谷洁, 高华, 秦清军, 刘磊, 解媛媛. 有机肥无机肥配施对玉米生长期土壤水解酶活性的影响. 干旱地区农业研究, 2010, 28(2): 38-42.
- [25] 牟金明, 宋日, 姜亦梅, 王明辉, 姜岩. 不同作物根茬还田对土壤酶活性的影响. 吉林农业大学学报, 1997, 19(4): 65-69.
- [26] 宋日, 吴春胜, 牟金明, 姜岩, 郭继勋. 玉米根茬留田对土壤微生物量碳和酶活性动态变化特征的影响. 应用生态学报, 2002, 13(3): 303-306.
- [28] 杨学云, 孙本华, 马路军, 古巧珍, 同延安, 张航, 张树兰, 赵秉强, 张夫道. 黄土施肥效应与肥力演变的长期定位监测研究. I. 长期施肥好的产量强度. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(增刊), 66-70.
- [29] 郑勇, 高勇生, 张丽梅, 何园球, 贺纪正. 长期施肥对旱地红壤微生物和酶活性的影响. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(2): 316-321.
- [30] 刘骅, 林英华, 张云舒, 谭新霞, 王西和. 长期施肥对灰漠土生物群落和酶活性的影响. 生态学报, 2008, 28(8): 3898-3904.
- [36] 曹承锦, 李荣华, 张志明. 红壤的酶活性与土壤肥力. 土壤通报, 1986, 17(7): 15-19.

CONTENTS

Conservation strategies for <i>Ulmus elongata</i> based on the analysis of biological and ecological factors	GAO Jianguo, ZHANG Yi, WU Yuhuan, et al (5287)
Vertical distribution of methanogen community structures in <i>Phragmites australis</i> marsh soil in the Min River estuary	SHE Chenxing, TONG Chuan (5299)
Energy balance closure and its effects on evapotranspiration measurements with the eddy covariance technique in a cropland	LIU Du, LI Jun, YU Qiang, TONG Xiaojuan, et al (5309)
Effects of soil water potential on the growth and physiological characteristics of <i>Populus tomentosa</i> pulpwood plantation under subsurface drip irrigation	XI Benye, WANG Ye, DI Nan, et al (5318)
Physiological indices of leaves of jujube (<i>Zizyphus jujuba</i>) damaged by <i>Apolygus lucorum</i>	GAO Yong, MEN Xingyuan, YU Yi, et al (5330)
Economic analysis of wetland resource protection: a case study of Beijing Wild Duck Lake	WANG Changhai, CUI Lijuan, MA Muyuan, et al (5337)
Comparative studies on the farmers' willingness to accept eco-compensation in wetlands nature reserve	WANG Changhai, CUI Lijuan, MAO Xufeng, et al (5345)
Remote sensing estimation models of <i>Suaeda salsa</i> biomass in the coastal wetland	FU Xin, LIU Gaohuan, HUANG Chong, LIU Qingsheng (5355)
Effects of N addition on soil organic carbon components in an alpine meadow on the eastern Qinghai-Tibetan Plateau	ZHENG Jiaojiao, FANG Huajun, CHENG Shulan, et al (5363)
Estimating carbon emissions from forest fires during 2001 to 2010 in Daxing'anling Mountain	HU Haiqing, WEI Shujing, SUN Long (5373)
Predicting the effects of soil water potential on the growth of cut lily	DONG Yongyi, LI Gang, AN Dongsheng, et al (5387)
Rain enrichment-accelerated carbon emissions from soil in a <i>Nitraria sphaerocarpa</i> community in hyperarid region	LIU Dianjun, WU Bo, LI Yonghua, et al (5396)
Response of soil organic carbon sequestration to the "Grain for Green Project" in the hilly Loess Plateau region	XU Mingxiang, WANG Zheng, ZHANG Jin, et al (5405)
Temporal and spatial variability in soil respiration in five temperate forests in Xiaoxing'an Mountains, China	SHI Baoku, JIN Guangze, WANG Zhaoyang (5416)
Distributions pattern of phosphorus, potassium and influencing factors in the upstream of Shule river basin	LIU Wenjie, CHEN Shengyun, HU Fengzu, et al (5429)
COI1 is involved in jasmonate-induced indolic glucosinolate biosynthesis in <i>Arabidopsis thaliana</i>	SHI Lu, LI Mengsha, WANG Lihua, et al (5438)
Modeling canopy rainfall interception of a replanted <i>Robinia pseudoacacia</i> forest in the Loess Plateau	WANG Yanping, WANG Li, WEI Sanping (5445)
The differences of plant community diversity among the different altitudes in the Water-Level-Fluctuating Zone of the Three Gorges Reservoir	LIU Weiwei, WANG Jie, WANG Yong, et al (5454)
Low-frequency drought variability based on SPEI in association with climate indices in Beijing	SU Hongxin, LI Guangqi (5467)
Response of upland jujube tree trunk diameter to different ecological factors	ZHAO Ying, WANG Youke, HAN Lixin, et al (5476)
The spatial distribution and seasonal dynamics of fine roots in a young <i>Caragana korshinskii</i> plantation	ZHANG Fan, CHEN Jianwen, WANG Mengben (5484)
Interspecific segregation of species in tree and shrub layers of the <i>Pinus bungeana</i> Zucc. ex Endl. community in the Wulu Mountains, Shanxi Province, China	WANG Lili, BI Runcheng, YAN Ming, et al (5494)
Effects of long-term fertilization on soil microbial biomass carbon and nitrogen and enzyme activities during maize growing season	MA Xiaoxia, WANG Lianlian, LI Qinghui, et al (5502)
A model to predict dry matter accumulation dynamics in wheat based on the normalized method	LIU Juan, XIONG Shuping, YANG Yang, et al (5512)
Optimization strategies and an aesthetic evaluation of typical plant communities in the Shanghai Green Belt	ZHANG Kaixuan, LING Huanran, DA Liangjun (5521)
Carbon footprint evaluation research on the tourism transportation system at tourist attractions; a case study in Hengshan	DOU Yindi, LIU Yunpeng, LI Bohua, et al (5532)
An urban ecosystem assessment method and its application	SHI Huichun, LIU Wei, HE Jian, et al (5542)
Seasonal variations in distribution and biological characteristics of snailfish <i>Liparis tanakae</i> in the central and southern Yellow Sea	ZHOU Zhipeng, JIN Xianshi, SHAN Xiujuan, et al (5550)
Effects of cyanobacterial accumulation and snail grazing on the growth of <i>vallisneria natans</i>	HE Hu, HE Yuhong, JI Yachan, et al (5562)
The structure and thermal insulation capability of <i>Mustela sibirica manchurica</i> winter pelage in Heilongjiang Province	LIU Yu, ZHANG Wei (5568)
Ontogenetic shifts in selected body temperature and thermal tolerance of the tiger frog, <i>Hoplobatrachus chinensis</i>	FAN Xiaoli, LEI Huanzong, LIN Zhihua (5574)
The influence of tubificid worms bioturbation on organic phosphorus components and their vertical distribution in sediment of Lake Taihu	BAI Xiuling, ZHOU Yunkai, ZHANG Lei (5581)
Review and Monograph	
Research advances in ecological assessment of urban greenspace	MAO Qizheng, LUO Shanghua, MA Keming, et al (5589)
Ecological hot topics in global change on the 2 nd International Young Ecologist Forum	WAN Yun, XU Lili, GENG Qifang, et al (5601)
Scientific Note	
Screening trial for the suitable plant species growing on sand dunes in the alpine valley and its recovery status in the Yarlung Zangbo River basin of Tibet, China	SHEN Weishou, LI Haidong, LIN Naifeng, et al (5609)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,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,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 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 17 期 (2012 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 17 (September, 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 100717, 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:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, 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