

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 19 期 Vol.32 No.19 **2012**

中国生态学会
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 19 期

2012 年 10 月 (半月刊)

目 次

中国野生东北虎数量监测方法有效性评估	张常智, 张明海, 姜广顺 (5943)
城市居民食物氮消费变化及其环境负荷——以厦门市为例	于 洋, 崔胜辉, 赵胜男, 等 (5953)
珠江口水域夏季小型底栖生物群落结构	袁俏君, 苗素英, 李恒翔, 等 (5962)
2010 年夏季雷州半岛海岸带浮游植物群落结构特征及其与主要环境因子的关系	龚玉艳, 张才学, 孙省利, 等 (5972)
阿根廷滑柔鱼两个群体间耳石和角质颞的形态差异	方 舟, 陈新军, 陆化杰, 等 (5986)
黄河三角洲滨海草甸与土壤因子的关系	谭向峰, 杜 宁, 葛秀丽, 等 (5998)
盘锦湿地净初级生产力时空分布特征	王莉雯, 卫亚星 (6006)
菜豆根瘤菌对土壤钾的活化作用	张 亮, 黄建国, 韩玉竹, 等 (6016)
花生植株和土壤水浸液自毒作用研究及土壤中自毒物质检测	黄玉茜, 韩立思, 杨劲峰, 等 (6023)
遮荫对金莲花光合特性和叶片解剖特征的影响	吕晋慧, 王 玄, 冯雁梦, 等 (6033)
火干扰对小兴安岭草丛、灌丛沼泽温室气体短期排放的影响	顾 韩, 牟长城, 张博文, 等 (6044)
古尔班通古特沙漠南部植物多样性及群落分类	张 荣, 刘 彤 (6056)
黄土高原樟子松和落叶松与其他树种枯落叶混合分解对土壤的影响	李 茜, 刘增文, 米彩红 (6067)
长期集约种植对雷竹林土壤氨氧化古菌群落的影响	秦 华, 刘卜榕, 徐秋芳, 等 (6076)
H ₂ O ₂ 参与 AM 真菌与烟草共生过程	刘洪庆, 车永梅, 赵方贵, 等 (6085)
北京山区防护林优势树种分布与环境的关系	邵方丽, 余新晓, 郑江坤, 等 (6092)
旱直播条件下弱化感潜力水稻根际微生物的群落结构	熊 君, 林辉锋, 李振方, 等 (6100)
不同森林类型根系分布与土壤性质的关系	黄 林, 王 峰, 周立江, 等 (6110)
臭氧胁迫下硅对大豆抗氧化系统、生物量及产量的影响	战丽杰, 郭立月, 宁堂原, 等 (6120)
垃圾填埋场渗滤液灌溉对土壤理化特征和草本花卉生长的影响	王树芹, 赖 娟, 赵秀兰 (6128)
稻麦轮作系统冬小麦农田耕作措施对氧化亚氮排放的影响	郑建初, 张岳芳, 陈留根, 等 (6138)
不同施氮措施对旱作玉米地土壤酶活性及 CO ₂ 排放量的影响	张俊丽, 高明博, 温晚霞, 等 (6147)
北方农牧交错区农业生态系统生产力对气候波动的响应——以准格尔旗为例	孙特生, 李 波, 张新时 (6155)
辽宁省能源消费和碳排放与经济增长的关系	康文星, 姚利辉, 何介南, 等 (6168)
基于 FARSITE 模型的丰林自然保护区潜在林火行为空间分布特征	吴志伟, 贺红士, 梁 宇, 等 (6176)
不同后作生境对玉米地天敌的冬季保育作用	田耀加, 梁广文, 曾 玲, 等 (6187)
云南紫胶虫种群数量对地表蚂蚁多样性的影响	卢志兴, 陈又清, 李 巧, 等 (6195)
阿波罗绢蝶种群数量和垂直分布变化及其对气候变暖的响应	于 非, 王 吟, 王绍坤, 等 (6203)
专论与综述	
海水养殖生态系统健康综合评价: 方法与模式	蒲新明, 傅明珠, 王宗灵, 等 (6210)
海草场生态系统及其修复研究进展	潘金华, 江 鑫, 赛 珊, 等 (6223)
水华蓝藻对鱼类的营养毒理学效应	董桂芳, 解绶启, 朱晓鸣, 等 (6233)
环境胁迫对海草非结构性碳水化合物储存和转移的影响	江志坚, 黄小平, 张景平 (6242)
生态免疫学研究进展	徐德立, 王德华 (6251)
研究简报	
喀斯特峰丛洼地不同森林表层土壤有机质的空间变异及成因	宋 敏, 彭晚霞, 邹冬生, 等 (6259)
准噶尔盆地东南缘梭梭种子雨特征	吕朝燕, 张希明, 刘国军, 等 (6270)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 336 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2012-10



封面图说: 岸边的小白鹭——鹭科白鹭属共有 13 种, 其中有大白鹭、中白鹭、白鹭 (小白鹭)、黄嘴白鹭等, 体羽皆是全白, 世通称白鹭。夏季的白鹭成鸟繁殖时枕部着生两条狭长而软的矛状羽, 状若双辫, 肩和胸着生蓑羽, 冬季时蓑羽常全部脱落, 白鹭虹膜黄色, 嘴黑色, 脚部黑色, 趾呈黄绿色。小白鹭常常栖息于稻田、沼泽、池塘水边, 以及海岸浅滩的红树林里。白天觅食, 好食小鱼、蛙、虾及昆虫等。繁殖期 3—7 月。繁殖时成群, 常和其他鹭类在一起, 雌雄均参加营巢, 次年常到旧巢处重新修葺使用。

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

DOI: 10.5846/stxb201109051301

张俊丽, 高明博, 温晓霞, 陈月星, 杨生婷, 李露, 廖允成. 不同施氮措施对旱作玉米地土壤酶活性及 CO₂ 排放量的影响. 生态学报, 2012, 32(19): 6147-6154.

Zhang J L, Gao M B, Wen X X, Chen Y X, Yang S T, Li L, Liao Y C. Effects of different fertilizers on soil enzyme activities and CO₂ emission in dry-land of maize. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(19): 6147-6154.

不同施氮措施对旱作玉米地土壤酶活性 及 CO₂ 排放量的影响

张俊丽¹, 高明博¹, 温晓霞¹, 陈月星¹, 杨生婷¹, 李露², 廖允成^{1,*}

(1. 西北农林科技大学 农学院, 杨凌 712100; 2. 十堰市农业科学院, 十堰 442000)

摘要: 对施用速效氮肥(尿素)和缓释氮肥的旱作夏玉米地土壤酶活性及 CO₂ 排放量进行分析。结果表明, 与不施肥处理比较, 不同氮肥种类和施用量均可显著提高土壤脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶活性和 CO₂ 的排放量。在整个生育期, 尿素与缓释氮肥处理土壤酶活性和土壤 CO₂ 排放量表现出相同变化趋势, 尿素和缓释氮肥处理土壤 CO₂ 平均排放量分别为 459.12 mg·m⁻²·h⁻¹ 和 427.11 mg·m⁻²·h⁻¹, 两者达到显著差异水平 ($P < 0.05$)。相关分析表明, 土壤脲酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性与土壤 CO₂ 排放量呈显著或极显著正相关, 相关系数分别为 0.79、0.64 和 0.80。说明相同施氮量缓释氮肥较尿素能有效提高土壤酶活性并降低土壤碳排放量。

关键词: 旱作农田; 夏玉米; 氮肥; 酶活性; CO₂ 排放量

Effects of different fertilizers on soil enzyme activities and CO₂ emission in dry-land of maize

ZHANG Junli¹, GAO Mingbo¹, WEN Xiaoxia¹, CHEN Yuexing¹, YANG Shengting¹, LI Lu², LIAO Yuncheng^{1,*}

1 College of Agronomy, Northwest A&F University, Yangling Shaanxi 712100, China

2 The Academy of Agricultural Sciences of Shiyan, Shiyan Hubei 442000, China

Abstract: CO₂ emitted from the arid farming land is an important source of greenhouse gases, nitrogen application is an effective approach to increase production of farming land, soil quality degraded, however, CO₂ emission will be increased by unreasonable fertilization. Therefore, it is an important problem need to be solved urgently now to reduce the greenhouse gas emissions of farming land by reasonable fertilization without crop yield loss.

An experiment was conducted in the crop planting station of Northwest A&F University in Yangling Shaanxi, P. R. China to explore the effects of different types and dosages of nitrogen fertilizers on soil enzymatic activities and soil CO₂ emission in the arid farming land of summer maize and to elucidate the relationship of soil CO₂ emission and activities of urease, invertase, and catalase, which will provide evidence for carbon emission reduction in the arid farmland management mode of summer maize.

Nine treatment levels were set, including four levels each of available nitrogen (urea) and low-release nitrogen, specifically, 80 kg/hm² urea (N1), 160 kg/hm² urea (N2), 240 kg/hm² urea (N3), 320 kg/hm² urea (N4), 80 kg/hm² slow-release fertilizer (SR1), 160 kg/hm² slow-release fertilizer (SR2), 240 kg/hm² slow-release fertilizer (SR3),

基金项目: 国家自然科学基金项目(31071375, 31171506); 西北农林科技大学基本科研业务费专项资金项目(PY200904); 西北农林科技大学国际科技合作项目

收稿日期: 2011-09-05; 修订日期: 2011-12-06

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

320 kg/hm² slow-release fertilizer (SR4), and no-fertilizer treatment served as control (CK). The results showed that CO₂ emission and activities of urease, invertase and catalase in the fertilizer treatments were higher than those in no-fertilizer treatment ($P < 0.5$). The averages of urease activity in urea and slow-release nitrogen treatments improved by 66.75% and 67.50% respectively compared with no-fertilizer treatment; The averages of invertase activity in urea and slow-release nitrogen treatments were 45.55% and 62.75% respectively higher than those in no-fertilizer treatment; The averages of catalase activity in urea and slow-release nitrogen improved 45.00% and 46.75% than those in no-fertilizer treatment; The averages of soil CO₂ emission in urea and slow-release nitrogen were higher 42.34% and 32.42% respectively than no-fertilizer treatment. The range of soil CO₂ emissions in slow-release nitrogen was smaller than in urea, which indicated that slow-release nitrogen fertilizer can improve effectively soil enzymatic activities and reduce soil CO₂ emissions. During the whole growth period, the same trends of three enzymes activities and CO₂ emissions were detected between the treatments of available nitrogen and slow-release nitrogen, but maximum values reached at different stage, i. e., at jointing stage for urease activity, at maturity stage for invertase activity, at tasseling stage for catalase activity, and at jointing stage for soil CO₂ emission. There were significant differences ($P < 0.5$) between the CO₂ emissions of nitrogen and slow-release nitrogen, 459.12 mg·m⁻²·h⁻¹ and 427.11 mg·m⁻²·h⁻¹ respectively. Correlation analysis showed that, a highly positive correlation existed between soil CO₂ emission and activities of urease, catalase and invertase. Correlation coefficients of soil CO₂ emission with activities of urease, catalase, and invertase were 0.79, 0.80, and 0.64, respectively. In conclusion, at the same application levels of available nitrogen, slow-release nitrogen fertilizer can improve effectively soil quality of arid farming land and reduce soil CO₂ emission compared with urease.

Key Words: aid farming land; summer maize; nitrogen fertilizer; enzymatic activity; CO₂ emissions

全球气候变暖问题备受国际界关注,这与工业生产中化石燃料的大量消耗有关,但农业生产对温室气体排放的影响也不容忽视。旱作农田在农业生态系统中占有重要地位^[1-3],而近年来由于特殊的气候条件加之不合农田管理措施使得旱作农田土壤退化及 CO₂ 排放量增加^[4]。增施氮肥是农田生态系统增产的措施之一,据估算,在施用化肥条件下我国农田土壤固碳潜力为 21.9 Tg/a^[5]。因此,科学合理施肥,在保持或提高作物产量的前提下减少农田温室气体排放是目前农业生产中亟待解决的问题之一。土壤酶活性不单是“土壤肥力”、“土壤质量”及“土壤健康”的重要指标,也是评价各种农业措施和肥料效果的主要因素^[6-8]。土壤 CO₂ 排放和土壤酶活性等生物特性比土壤有机质、养分含量等其它理化性状更能敏感地反映土壤质量的变化^[9-12]。研究 CO₂ 排放与土壤酶活性的关系对改善土壤生态环境,提高土壤肥力具有重要意义^[11,13]。目前,关于土壤酶活性的研究主要集中在不同土地利用方式、施用有机肥和配施氮磷钾肥,以及不同耕作处理和秸秆覆盖土地土壤酶活性与土壤养分关系的研究^[7,9-12,14-16],而对农田 CO₂ 排放多集中在稻田^[11]。在旱作土壤上施用速效氮肥和缓释氮肥对 CO₂ 排放与土壤酶活性影响方面的研究鲜有报道。本试验通过研究不同氮肥种类和氮肥用量对 CO₂ 排放与土壤酶活性的影响,试图探索该施氮措施下的土壤碳排放的酶活性及土壤 CO₂ 排放变化情况,进一步为旱作地区推行固碳减排的农田管理模式提供依据。

1 材料与方法

1.1 试区概况

试验于 2010 年在西北农林科技大学标本区进行,试验田地处于北纬 34°21',东经 108°10',海拔 525 m,年平均日照时数 2196 h,年平均气温 12—14 °C,年均降水量 580.5 mm,属暖温带半湿润气候。试验田土壤为壤土,土层深厚,通气良好,0—20 cm 土层土壤有机质 12.19 g/kg、全氮 1.43 g/kg、速效磷 18.12 mg/kg、速效钾 120.64 mg/kg、pH 值 7.30。

1.2 试验设置

本试验地前茬为冬小麦,旋耕处理后设置本试验,共 9 个处理,速效氮肥采用尿素[$\omega(\text{N}) = 46\%$],施氮量

为 80 kg/hm² (N1)、160 kg/hm² (N2)、240 kg/hm² (N3)、320 kg/hm² (N4), 缓释氮肥由中国农业大学胡树文教授提供, 缓释氮肥 ($\omega(N) = 44.6\%$), 施肥量为 80 kg/hm² (SR1)、160 kg/hm² (SR2)、240 kg/hm² (SR3)、320 kg/hm² (SR4), 不施氮肥处理为对照 (CK), 上述各处理均施过磷酸钙 [$\omega(P_2O_5) \geq 16\%$] 750 kg/hm² 作底肥一次性施入土壤, 施氮、磷量均为纯氮、磷量。小区面积 6 m×9 m=54 m², 采用随机区组设计, 3 次重复。田间整个生育期全部为旱作, 不进行人工浇灌水, 其他管理措施同当地农田。

1.3 试验材料

供试作物为夏玉米, 品种为巡天 19 号, 6 月 20 日播种, 10 月 15 日收获, 播量 90 kg/hm², 行距 60 cm。

1.4 测定方法

1.4.1 酶测定

分别于 2010-07-12 (苗期)、2010-08-12 (拔节期)、2010-08-22 (抽雄期)、2010-09-15 (开花期)、2010-10-11 (成熟期) 进行田间取样, 每小区采用 S 形取样法随机取 5 点, 用土钻取 0—20 cm 层土样, 土样经均匀风干后过 1 mm 土壤筛, 进行土壤脲酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性测定, 参照李振高等^[17] 方法。

1.4.2 土壤 CO₂ 排放量测定

土壤 CO₂ 排放量采用 GXH-3010E1 型便携式红外 CO₂ 气体分析仪测定^[18], 播种后将大盖和底座封闭嵌入土壤内 5 cm, 外围填土、打平, 每个取样点固定一个底座。观测时, 按要求将进出气管与仪器相连, 开启主机测定该样点起始 CO₂ 质量分数, 然后拧紧小盖, 接通风扇电源, 使容器内气体充分混合, 一定时间后, 记录该样点的即时质量分数。于取土样当天测定, 测定时间为 9:00—11:00。CO₂ 排放速率由气腔内气体浓度随时间的变化率计算得出, 计算方程为: $F = A \times (X_2 - X_1) \times H / \Delta t$, 式中 F 为土壤二氧化碳排放速率 [mg·m⁻²·h⁻¹]; H 为容器高 (m); X_1 、 X_2 分别为测定时二氧化碳初始质量分数和二氧化碳测定时的即时质量分数 (mg/kg); Δt 为测定时间变化 (h)。

1.5 数据处理

数据采用 Excel 和 SPSS17.0 软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 不同施氮措施对土壤酶活性的影响

2.1.1 脲酶

由图 1 可知, 从苗期到拔节期, 脲酶活性增高, 拔节期脲酶活性达到最大值, 而后逐渐下降。由表 1 可知, 不同施氮措施下, 脲酶平均活性较对照显著提高 ($P < 0.05$), N1、N2、N3、N4 处理脲酶平均活性较对照分别提高 47%、62%、62%、96%, SR1、SR2、SR3、SR4 处理脲酶平均活性较对照分别提高 53%、53%、70%、94%。随施氮量的增加, 各处理脲酶活性总体呈增加趋势, 但处理之间差异不显著 ($P > 0.05$)。另外, 拔节期缓释氮肥土壤脲酶活性高于等量氮素的尿素处理, 但其他 4 个生育期均低于缓释氮肥处理。

表 1 不同施氮措施土壤酶活性及 CO₂ 排放量的平均值

Table 1 The average of soil enzymatic activities and CO₂ emission on the different fertilizers

处理 Treatment	脲酶/(mg/g) Urease	蔗糖酶/(mg/g) Invertase	过氧化氢酶/(mL/g) Catalase	CO ₂ 排放量/(mg·m ⁻² ·h ⁻¹) CO ₂ emission
CK	0.47b	12.33b	1.66b	322.54f
N1	0.69a	19.56a	2.45a	420.20c
N2	0.76a	17.23ab	2.47a	429.40b
N3	0.76a	17.40ab	2.49a	434.76a
N4	0.92a	17.57ab	2.19a	438.02a
SR1	0.72a	18.96ab	2.39a	399.62e
SR2	0.72a	20.87a	2.52a	406.78de
SR3	0.80a	17.04ab	2.49a	409.52d
SR4	0.91a	23.44a	2.33a	411.86cd

同列相同字母表示各处理间差异不显著 ($P > 0.05$), 不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

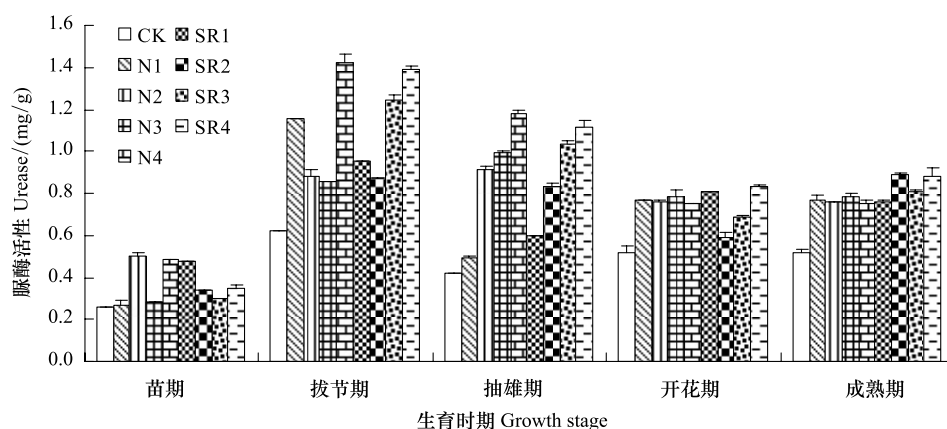


图1 不同施肥措施对脲酶活性的影响

Fig. 1 Urease activities in different fertilizer treatments

CK; 不施氮肥; N1: 80 kg/hm² 尿素; N2: 160 kg/hm² 尿素; N3: 240 kg/hm² 尿素; N4: 320 kg/hm² 尿素; SR1: 80 kg/hm² 缓释氮肥; SR2: 160 kg/hm² 缓释氮肥; SR3: 240 kg/hm² 缓释氮肥; SR4: 320 kg/hm² 缓释氮肥; 施氮量均为纯氮量

2.1.2 蔗糖酶

由图 2 可知, 尿素和缓释氮肥处理, 蔗糖酶活性在整个生育期变化趋势致, 表现为苗期到抽雄期酶活性逐渐升高, 开花期降低, 成熟期又迅速升高并达到最大值。由表 1 可知, 各处理土壤蔗糖酶平均活性较对照均达到显著差异水平 ($P < 0.05$), N1、N2、N3、N4 处理蔗糖酶平均活性较对照分别提高 59%、40%、41%、42%, SR1、SR2、SR3、SR4 处理蔗糖酶平均活性较对照分别提高 54%、69%、38%、90%。但各施氮处理间土壤蔗糖酶活性均没有达到显著差异水平 ($P > 0.05$)。

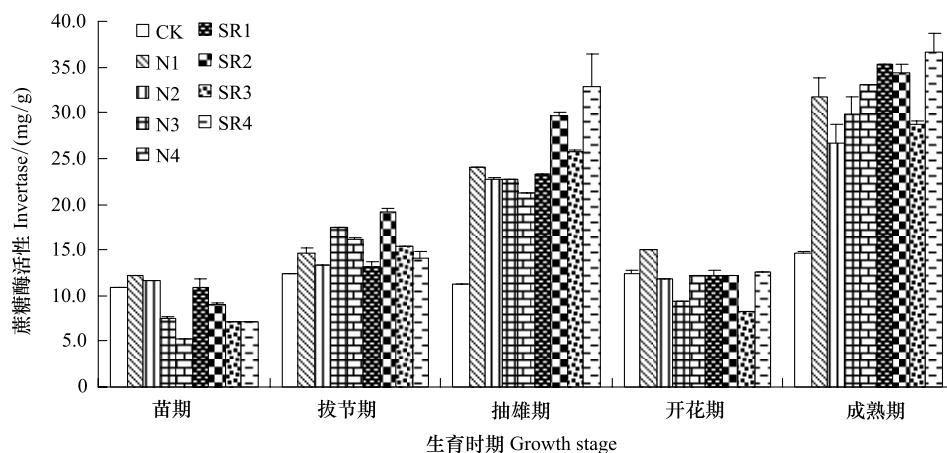


图2 不同施肥措施对蔗糖酶活性的影响

Fig. 2 Invertase activities in different fertilizer treatments

2.1.3 过氧化氢酶

由表 1 可知, 各处理土壤过氧化氢酶平均活性较对照均达到显著差异水平 ($P < 0.05$), N1、N2、N3 和 N4 处理过氧化氢酶平均活性较对照分别提高 48%、49%、50%、33%, SR1、SR2、SR3 和 SR4 处理过氧化氢酶平均活性较对照分别提高 44%、52%、51%、40%。由图 3 可知, 整个夏玉米生长季过氧化氢酶活性表现为先增后减, 在抽雄期达到最大值。

2.2 不同施氮措施对土壤 CO₂ 排放量的影响

由表 1 可知, 不同施肥措施对 CO₂ 排放量有明显影响, 与对照比较, 各处理土壤 CO₂ 排放量均达到显著差异水平 ($P < 0.05$), 且尿素处理 N1、N2 与 N3、N4 达到显著差异水平 ($P < 0.05$); 缓释肥处理除 SR1 和 SR3、

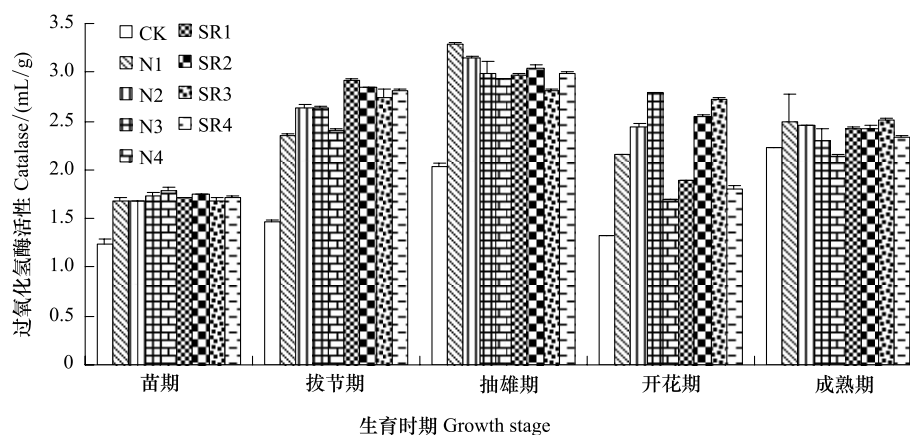
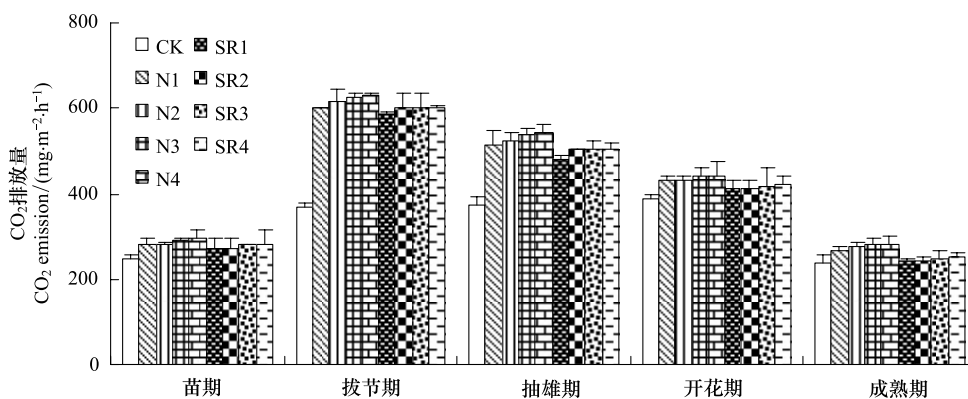


图3 不同施肥措施对过氧化氢酶活性的影响

Fig. 3 Catalase activities in different fertilizer treatments

SR4 均达到显著差异水平 ($P < 0.05$)。由图 4 可知,尿素和缓释氮肥处理土壤 CO₂ 排放量表现出很强的时间变化,具体表现为拔节期 > 抽雄期 > 开花期 > 苗期 > 成熟期。整个夏玉米生长季尿素和缓释氮肥处理土壤 CO₂ 平均排放量分别为 $459.12 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 和 $427.11 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$,两者达到显著差异 ($P < 0.5$)。

图4 不同施肥措施对 CO₂ 排放量的影响Fig. 4 CO₂ emissions in different fertilizer treatments

2.3 土壤酶活性与土壤 CO₂ 排放量相关性

通过相关分析可知,蔗糖酶活性平均值与土壤 CO₂ 排放量达到显著正相关 ($P < 0.5$),相关系数为 0.64。土壤脲酶和过氧化氢酶活性平均值与土壤 CO₂ 排放量呈极显著正相关 ($P < 0.1$),相关系数分别为 0.79 和 0.80。进一步对各生育期酶活性与土壤 CO₂ 排放量进行相关分析(表 2)可以看出,夏玉米生育后期土壤脲酶活性与 CO₂ 排放量都达到显著正相关。成熟期蔗糖酶活性与土壤 CO₂ 排放量达到显著相关,相关系数为 0.72;生育前期过氧化氢酶活性与土壤 CO₂ 排放量达到极显著或显著正相关。

3 结论与讨论

3.1 不同施氮措施对土壤酶活性的影响

本研究表明,不同施氮处理脲酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性较不施肥处理均有显著提高,说明施氮措施可显著改善土壤的肥力状况,这与刘恩科^[9]、张志栋^[11]等研究结果一致;但各处理间脲酶和过氧化氢酶活性没有达到显著差异水平,可能原因是氮肥梯度差异较小,不能引起明显的酶活性变化;或者是夏玉米生长季节地温较高,土壤酶反应处于较适宜的温度范围,酶活性处于较高值,掩盖了梯度施肥造成的酶活性的差异。

苗期到拔节期土壤脲酶活性逐渐增高,拔节期达到最大值,而后逐渐下降。这与张志栋^[11]、沈宏^[19]等研

究结果一致,主要与作物生长习性和对养分的利用情况有关。除拔节期外,相同施氮量缓释氮肥处理脲酶活性均高于尿素处理,这是由于尿素为速效氮肥,养分释放较快,可以很好解决拔节期供肥不足的问题,但后期会出现“脱肥”的现象。而缓释氮肥在整个生育期脲酶活性都保持较高水平,尤其在吐丝和成熟期缓释氮肥整体水平高于尿素处理,说明缓释氮肥可以较好缓解作物生长与肥料短缺的矛盾。

苗期到抽雄期蔗糖酶活性逐渐升高,这是由于这段时期玉米生长迅速,需大量糖类物质,从而促进蔗糖酶活性升高。开花期蔗糖酶活性较低,与关松萌^[20]、王娟^[21]等研究结论不一致,可能与该研究开花期遭遇大量降水,形成田间积水,从而改变土壤微环境,抑制酶活性有关。关松萌^[20]、Guo^[22]等研究结果也表明,田间积水会降低土壤蔗糖酶的活性。

速效氮肥和缓释氮肥土壤过氧化氢酶活性不同与2种肥料自身肥效释放快慢有关,可能原因是在不同生育期释放入土壤中的肥料量不同会引起土壤生物细胞渗透压的改变,从而改变过氧化氢酶催化反应的速率。施氮量由0 mg·m⁻²·h⁻¹增加到240 mg·m⁻²·h⁻¹,土壤过氧化氢酶活性逐渐增强,320 mg·m⁻²·h⁻¹时降低,说明一定范围内施氮量增加有助于氧化氢酶催化过氧化氢反应生成水和氧气在细胞内而起到解毒作用,从而改善土壤环境^[12],这可能也与增施氮肥促进作物增产有关。

3.2 不同施氮措施对土壤 CO₂ 排放量的影响

在农田生态系统中,耕作和施肥等农作措施是影响土壤 CO₂ 排放的主要因素^[22-24]。本研究表明,不同施氮措施对土壤 CO₂ 排放有显著差异,与杨兰芳和蔡祖聪^[25]研究结果一致。尿素和缓释氮肥土壤 CO₂ 排放量表现出很强的时间变化,具体表现为拔节期>苗期>抽雄期>开花期>成熟期,这与韩广轩等^[26-27]研究结果相符。拔节期相同施氮量尿素处理 CO₂ 排放量高于缓释氮肥。拔节期为作物生长盛期,施氮土壤 CO₂ 排放量显著高于不施肥处理,这是由于作物施肥增加了土壤养分供给,促进根部和地上部生长,根系呼吸旺盛,进而增加了土壤 CO₂ 排放量,这与张志栋^[7]等研究结果一致。开花期土壤 CO₂ 排放量低于抽雄期,与开花期田间积水有关,Lambers 等^[28]研究也表明,田间积水会抑制植物根系呼吸,降低土壤 CO₂ 排放量。

3.3 土壤酶活性与土壤 CO₂ 排放量相关性

本研究表明,各生育期土壤脲酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性平均值与土壤 CO₂ 排放量呈显著或极显著正相关,支持前人关于土壤 CO₂ 排放和土壤酶活性等生物特性敏感地反映土壤质量的变化结论。但与张志栋的过氧化氢酶和土壤 CO₂ 排放量相关性不显著的结论不一致,这可能是由于不同试验处理对土壤的生活特性影响有差异。该研究还表明,不同生育时期土壤酶活性与土壤 CO₂ 排放量相关性不同。

References:

- [1] Zhao C X, Zhan C X, Deng X P, Zhao L Y, Zhang Y, Wang X F. Current situation and counter-measures of the development of dryland farming in China. Transactions of the Chinese Society of Agricultural, 2004, 20(4): 280-285.
- [2] Luo Q Y. Agricultural strategy for the dry land in the northern part of our country in the 21st Century. China Soft Science, 2000, (4): 102-105.
- [3] Huang Z B, Shan L. A study on technology line and approaches of dryland farming construction in China. Agricultural Research in the Arid Areas, 2000, 18(2): 1-6.
- [4] Hu L F, Li H W, Gao H W. Influence of conservation tillage on greenhouse effect. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,

表2 各生育时期土壤酶活性与土壤 CO₂ 排放量相关性分析

Table 2 Correlative coefficient between soil enzymatic activities and CO₂ emissions at different growth stages

土壤酶 Soil enzyme	生育时期 Growth stage	相关系数 Correlation coefficient
脲酶 Urease	抽雄期	0.66 *
	开花期	0.74 *
	成熟期	0.72 *
蔗糖酶 Invertase	成熟期	0.72 *
过氧化氢酶 Catalase	苗期	0.92 **
	拔节期	0.72 *
	抽雄期	0.88 **

* 表示显著相关 ($P<0.5$), * * 表示极显著相关 ($P<0.1$)

2009, 25(5): 308-312.

- [5] Lu F, Wang X K, Han B, Ouyang Z Y, Duan X N, Zheng H. Assessment on the availability of nitrogen fertilization in improving carbon sequestration potential of China's cropland soil. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(10): 2239-2250.
- [6] Wu J S, Lin Q M, Huang Q Y, Xiao H A. *Soil Microbial Biomass-Methods and Application*. Beijing: China Meteorological Press, 2006: 117-119.
- [7] Wan C, Xu F L, Zou C, Wang S N. The analysis of soil enzymes activity and soil microorganism under different land uses patterns in the loess hilly gully region. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2009, 18(2): 158-162.
- [8] Yan C S. *Soil Fertility Research Methods*. Beijing: China Agriculture Press, 1999: 242-245.
- [9] Liu E K, Zhao B Q, Li X Y, Jiang R B, Li Y T, Hwat B S. Biological properties and enzymatic activity of arable soils affected by long-term different fertilization systems. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(1): 176-182.
- [10] Doran J W, Sarrantonio M, Liebig M A. Soil health and sustainability. *Advances in Agronomy*, 1996, 56: 1-54.
- [11] Zhang Z D, Liu J H, Yu Q, Wang Y Q, Cui F J, Wang R L. Effects of different fertilizers on soil enzyme activities and soil CO₂ emission under no-tillage on dry land in farming-pastoral zone of northern China. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2010, 28(5): 85-91.
- [12] Qiu X K, Dong Y J, Wan Y S, Hu G Q, Wang Y H. Effects of different fertilizing treatments on contents of soil nutrients and soil enzyme activity. *Soils*, 2010, 42(2): 249-255.
- [13] Wan Z M, Wu J G. Study progress on factors affecting soil enzyme activity. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry: Natural Science Edition*, 2005, 33(6): 87-90.
- [14] Wu F Z, Meng F Z, Wang X Z. Soil enzyme activities in vegetable rotation and continuous cropping system of under Shed Protection. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2006, 12(4): 554-558.
- [15] Yang Z D, Cai L Q, Zhang R Z, Li A Z. Soil enzymatic activities under different tillages practices in dryland. *Chinese Journal of Soil Science*, 2008, 39(3): 514-517.
- [16] Lin C, Wang F, Li Q H, Li Y, He C M, Lin X J. Effects of different fertilizer application strategies on nutrients and enzymatic activities in yellow clayey soil. *Soils and Fertilizers Sciences in China*, 2009, 41(6): 24-27.
- [17] Li Z G, Luo Y M, Teng Y. *Research Methods of Soil and Environmental Microbiology*. Beijing: Science Press, 2008.
- [18] Gao C D, Sun X M, Cao J X, Luan Y N, Hao H D, Li Z J, Tang Q Y. A method and apparatus of measurement of carbon dioxide flux from soil surface in situ. *Journal of Beijing Forestry University*, 2008, 30(2): 102-105.
- [19] Shen H, Cao Z H, Yu B S. Dynamics of soil microbial biomass and soil enzyme activity and their relationships during maize growth. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(4): 471-474.
- [20] Guan S Y, Zhang D S, Zhang Z M. *Methods of Soil Enzyme Activities Analysis*. Beijing: China Agriculture Press, 1986.
- [21] Wang J, Liu S Y, Wang P, Wu Y M. Effect of different fertilization on the dynamical changes of soil enzyme activities. *Chinese Journal of Soil Science*, 2008, 39(2): 299-303.
- [22] Luo Y Q, Zhou X H. *Soil Respiration and the Environment* // Jiang L F, Qu L Y, Zhou Y M, Wen Y X, Transl. Beijing: High Education Press, 2007.
- [23] Wang L G, Qiu J J, Li W J. Study on the dynamics of soil respiration in the field of summer-corn in Huanghuaihai region in China. *Soils and Fertilizers*, 2006, (6): 13-17.
- [24] Zhang Q Z, Wu W L, Wang M X, Zhou Z R, Chen S F. The effects of crop residue amendment and N rate on soil respiration. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(11): 2883-2887.
- [25] Yang L F, Cai Z C. Soil respiration during maize growth period affected by N application rates. *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(1): 9-15.
- [26] Han G X, Zhou G S, Xu Z Z. Seasonal dynamics of soil respiration and carbon budget of maize (*Zea mays* L.) farmland ecosystem. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2009, 17(5): 874-879.
- [27] Han G X, Zhou G S, Xu Z Z. Temporal variation of soil respiration and its affecting factors in a maize field during maize growth season. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(10): 1698-1705.
- [28] Lamber H, Chapin F S III, Pons T L. *Plant Physiological Ecology*. New York: Springer-Verlag, 1998.

参考文献:

- [1] 赵长星, 山仑, 邓西平, 赵丽英, 张煜, 王周锋. 中国旱地农业的发展现状及措施. *农业工程学报*, 2004, 20(4): 280-285.
- [2] 罗其友. 21 世纪北方旱地农业战略问题. *中国软科学*, 2000, (4): 102-105.
- [3] 黄占斌, 山仑. 论我国旱地农业建设的技术路线与途径. *干旱地区农业研究*, 2000, 18(2): 1-6.
- [4] 胡立峰, 李洪文, 高焕文. 保护性耕作对温室效应的影响. *农业工程学报*, 2009, 25(5): 308-312.

- [6] 吴金水, 林启美, 黄巧云, 肖和艾. 土壤微生物生物量测定方法及其应用. 北京: 气象出版社, 2006: 117-119.
- [7] 万超, 徐福利, 邹诚, 王胜男. 黄土丘陵沟壑区不同土地利用模式对土壤酶活性和土壤微生物影响研究. 西北农业学报, 2009, 18(2): 158-162.
- [8] 严昶升. 土壤肥力研究法. 北京: 中国农业出版社, 1988: 242-245.
- [9] 刘恩科, 赵秉强, 李秀英, 姜瑞波, 李燕婷, Hwat B S. 长期施肥对土壤微生物量及土壤酶活性的影响. 植物生态学报, 2008, 32(1): 176-182.
- [11] 张志栋, 刘景辉, Yu Q, 王永强, 崔凤娟, 王润莲. 施肥对旱作免耕土壤酶活性与 CO₂ 排放量的影响. 干旱地区农业研究, 2010, 28(5): 85-91.
- [12] 邱现奎, 董元杰, 万勇善, 胡国庆, 王艳华. 不同施肥处理对土壤养分含量及土壤酶活性的影响. 土壤, 2010, 42(2): 249-255.
- [13] 万忠梅, 吴景贵. 土壤酶活性影响因子研究进展. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2005, 33(6): 87-90.
- [14] 吴凤芝, 孟立君, 王学征. 设施蔬菜轮作和连作土壤酶活性的研究. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(4): 554-558.
- [15] 杨招弟, 蔡立群, 张仁陟, 李爱宗. 不同耕作方式对旱地土壤酶活性的影响. 土壤通报, 2008, 39(3): 514-517.
- [16] 林诚, 王飞, 李清华, 李昱, 何春梅, 林新坚. 不同施肥制度对黄泥田土壤酶活性及养分的影响. 中国土壤与肥料, 2009, (6): 24-27.
- [17] 李振高, 骆永明, 滕应. 土壤与环境微生物研究法. 北京: 科学出版社, 2008.
- [18] 高程达, 孙向阳, 曹吉鑫, 栾亚宁, 郝虎东, 李泽江, 唐青云. 土壤二氧化碳通量原位测定方法及装置. 北京林业大学学报, 2008, 30(2): 102-105.
- [19] 沈宏, 曹志洪, 徐本生. 玉米生长期间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.
- [20] 关松荫, 张德生, 张志明. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 1986.
- [21] 王娟, 刘淑英, 王平, 吴银明. 不同施肥处理对西北半干旱区土壤酶活性的影响及其动态变化. 土壤通报, 2008, 39(2): 299-303.
- [22] 骆亦其, 周旭辉. 土壤呼吸与环境//姜丽芬, 曲来叶, 周玉梅, 温逸馨, 译. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [23] 王立刚, 邱建军, 李维炯. 黄淮海平原地区夏玉米农田土壤呼吸的动态研究. 土壤肥料, 2006, (6): 13-17.
- [24] 张庆忠, 吴文良, 王明新, 周中仁, 陈淑峰. 秸秆还田和施氮对农田土壤呼吸的影响. 生态学报, 2005, 25(11): 2883-2887.
- [25] 杨兰芳, 蔡祖聪. 玉米生长中的土壤呼吸及其受氮肥施用的影响. 土壤学报, 2005, 42(1): 9-15.
- [26] 韩广轩, 周广胜, 许振柱. 玉米农田生态系统土壤呼吸作用季节动态与碳收支初步估算. 中国生态农业学报, 2009, 17(5): 874-879.
- [27] 韩广轩, 周广胜, 许振柱. 玉米生长季土壤呼吸的时间变异性及其影响因素. 生态学杂志, 2008, 27(10): 1698-1705.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 19 October, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Assessment of monitoring methods for population abundance of Amur tiger in Northeast China	5943
..... ZHANG Changzhi, ZHANG Minghai, JIANG Guangshun (5943)	
Changes of residents nitrogen consumption and its environmental loading from food in Xiamen	5953
..... YU Yang, CUI Shenghui, ZHAO Shengnan, et al (5953)	
Analysis of the meiobenthic community in the Pearl River Estuary in summer	5962
..... YUAN Qiaojun, MIAO Suying, LI Hengxiang, et al (5962)	
Community characteristics of phytoplankton in the coastal area of Leizhou Peninsula and their relationships with primary environmental factors in the summer of 2010	5972
..... GONG Yuyan, ZHANG Caixue, SUN Xingli, et al (5972)	
Morphological differences in statolith and beak between two spawning stocks for <i>Illex argentinus</i>	5986
..... FANG Zhou, CHEN Xinjun, LU Huajie, et al (5986)	
Relationships between coastal meadow distribution and soil characteristics in the Yellow River Delta	5998
..... TAN Xiangfeng, DU Ning, GE Xiuli, et al (5998)	
Variation analysis about net primary productivity of the wetland in Panjin region	6006
..... WANG Liwen, WEI Yaxing (6006)	
Mobilization of potassium from Soils by <i>rhizobium phaseoli</i>	6016
..... ZHANG Liang, HUANG Jianguo, HAN Yuzhu, et al (6016)	
Autotoxicity of aqueous extracts from plant, soil of peanut and identification of autotoxic substances in rhizospheric soil	6023
..... HUANG Yuqian, HAN Lisi, YANG Jinfeng, et al (6023)	
Effects of shading on the photosynthetic characteristics and anatomical structure of <i>Trollius chinensis</i> Bunge	6033
..... LV Jinhui, WANG Xuan, FENG Yanmeng, et al (6033)	
Short-term effects of fire disturbance on greenhouse gases emission from sedge and shrubs forested wetland in Lesser Xing'an Mountains, Northeast China	6044
..... GU Han, MU Changcheng, ZHANG Bowen, et al (6044)	
Plant species diversity and community classification in the southern Gurbantunggut Desert	6056
..... ZHANG Rong, LIU Tong (6056)	
Effects of mixing leaf litter from <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i> and <i>Larix principis-rupprechtii</i> with that of other trees on soil properties in the Loess Plateau	6067
..... LI Qian, LIU Zengwen, MI Caihong (6067)	
Effects of long-term intensive management on soil ammonia oxidizing archaea community under <i>Phyllostachys praecox</i> stands	6076
..... QIN Hua, LIU Borong, XU Qiufang, et al (6076)	
Hydrogen peroxide participates symbiosis between AM fungi and tobacco plants	6085
..... LIU Hongqing, CHE Yongmei, ZHAO Fanggui, et al (6085)	
Relationships between dominant arbor species distribution and environmental factors of shelter forests in the Beijing mountain area	6092
..... SHAO Fangli, YU Xinxiao, ZHENG Jiangkun, et al (6092)	
Analysis of rhizosphere microbial community structure of weak and strong allelopathic rice varieties under dry paddy field	6100
..... XIONG Jun, LIN Huifeng, LI Zhenfang, et al (6100)	
Root distribution in the different forest types and their relationship to soil properties	6110
..... HUANG Lin, WANG Feng, ZHOU Lijiang, et al (6110)	
Effect of silicon application on antioxidant system, biomass and yield of soybean under ozone pollution	6120
..... ZHAN Lijie, GUO Liyue, NING Tangyuan, et al (6120)	
Effect of landfill leachate irrigation on soil physiochemical properties and the growth of two herbaceous flowers	6128
..... WANG Shuqin, LAI Juan, ZHAO Xiulan (6128)	
Nitrous oxide emissions affected by tillage measures in winter wheat under a rice-wheat rotation system	6138
..... ZHENG Jianchu, ZHANG Yuefang, CHEN Liugen, et al (6138)	
Effects of different fertilizers on soil enzyme activities and CO ₂ emission in dry-land of maize	6147
..... ZHANG Junli, GAO Mingbo, WEN Xiaoxia, et al (6147)	
The response of agro-ecosystem productivity to climatic fluctuations in the farming-pastoral ecotone of northern China: a case study in Zhunger County	6155
..... SUN Tesheng, LI Bo, ZHANG Xinshi (6155)	
The relationship between energy consumption and carbon emission with economic growth in Liaoning Province	6168
..... KANG Wenxing, YAO Lihui, HE Jienan, et al (6168)	
Spatial distribution characteristics of potential fire behavior in Fenglin Nature Reserve based on FARSITE Model	6176
..... WU Zhiwei, HE Hongshi, LIANG Yu, et al (6176)	
Chill conservation of natural enemies in maize field with different post-crop habitats	6187
..... TIAN Yaojia, LIANG Guangwen, ZENG Ling, et al (6187)	
Effect of population of <i>Kerria yunnanensis</i> on diversity of ground-dwelling ant	6195
..... LU Zhixing, CHEN Youqing, LI Qiao, et al (6195)	
Response of <i>Parnassius apollo</i> population and vertical distribution to climate warming	6203
..... YU Fei, WANG Han, WANG Shaokun, et al (6203)	
Review and Monograph	
Integrated assessment of marine aquaculture ecosystem health: framework and method	6210
..... PU Xinming, FU Mingzhu, WANG Zongling, et al (6210)	
Seagrass meadow ecosystem and its restoration: a review	6223
..... PAN Jinhua, JIANG Xin, SAI Shan, et al (6223)	
Nutri-toxicological effects of cyanobacteria on fish	6233
..... DONG Guifang, XIE Shouqi, ZHU Xiaoming, et al (6233)	
Effect of environmental stress on non-structural carbohydrates reserves and transfer in seagrasses	6242
..... JIANG Zhijian, HUANG Xiaoping, ZHANG Jingping (6242)	
Advances in ecological immunology	6251
..... XU Deli, WANG Dehua (6251)	
Scientific Note	
The causes of spatial variability of surface soil organic matter in different forests in depressions between karst hills	6259
..... SONG Min, PENG Wanxia, ZOU Dongsheng, et al (6259)	
Characteristics of seed rain of <i>Haloxylon ammodendron</i> in southeastern edge of Junggar Basin	6270
..... LÜ Chaoyan, ZHANG Ximing, LIU Guojun, et al (6270)	

《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 19 期 (2012 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 19 (October, 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