

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第15期 Vol.32 No.15 **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 15 期

2012 年 8 月 (半月刊)

目 次

放牧对青藏高原东部两种典型高寒草地类型凋落物分解的影响.....	张艳博,罗 鹏,孙 庚,等 (4605)
北京地区外来入侵植物分布特征及其影响因素.....	王苏铭,张 楠,于琳倩,等 (4618)
温带混交林碳水通量模拟及其对冠层分层方式的响应——耦合的气孔导度-光合作用-能量平衡模型	施婷婷,高玉芳,袁凤辉,等 (4630)
洞庭湖景观格局变化及其对水文调蓄功能的影响	刘 娜,王克林,段亚锋 (4641)
大辽河口水环境污染生态风险评估.....	于 格,陈 静,张学庆,等 (4651)
标准化方法筛选参照点构建大型底栖动物生物完整性指数	渠晓东,刘志刚,张 远 (4661)
不同年龄段大连群体菲律宾蛤仔 EST-SSR 多样性	虞志飞,闫喜武,张跃环,等 (4673)
基于地统计分析西印度洋黄鳍金枪鱼围网渔获量的空间异质性	杨晓明,戴小杰,朱国平 (4682)
广东罗坑自然保护区鳄蜥生境选择的季节性差异.....	武正军,戴冬亮,宁加佳,等 (4691)
甘肃兴隆山森林演替过程中的土壤理化性质.....	魏 强,凌 雷,柴春山,等 (4700)
短轮伐期毛白杨不同密度林分土壤有机碳和全氮动态.....	赵雪梅,孙向阳,康向阳,等 (4714)
放牧对呼伦贝尔草地植物和土壤生态化学计量学特征的影响.....	丁小慧,官 立,王东波,等 (4722)
UV-B 辐射增强对抗除草剂转基因水稻 CH ₄ 排放的影响	娄运生,周文麟 (4731)
基于核磁共振波谱的盐芥盐胁迫代谢组学分析.....	王新宇,王丽华,于 萍,等 (4737)
广西甘蔗根际高效联合固氮菌的筛选及鉴定.....	胡春锦,林 丽,史国英,等 (4745)
不同稻蟹生产模式对土壤活性有机碳和酶活性的影响.....	安 辉,刘鸣达,王耀晶,等 (4753)
大兴安岭火烧迹地恢复初期土壤微生物群落特征.....	白爱芹,傅伯杰,曲来叶,等 (4762)
川西北冷杉林恢复过程中土壤动物群落动态.....	崔丽巍,刘世荣,刘兴良,等 (4772)
内生真菌角担子菌 B6 对连作西瓜土壤尖孢镰刀菌的影响	肖 逸,戴传超,王兴祥,等 (4784)
西江颗粒直链藻种群生态特征.....	王 超,赖子尼,李跃飞,等 (4793)
大型人工湿地生态可持续性评价.....	张依然,王仁卿,张 建,等 (4803)
孢粉、炭屑揭示的黔西高原 MIS3b 期间古植被、古气候演变	赵增友,袁道先,石胜强,等 (4811)
树干径流对梭梭“肥岛”和“盐岛”效应的作用机制	李从娟,雷加强,徐新文,等 (4819)
豆科作物-小麦轮作方式下旱地小麦花后干物质及养分累积、转移与产量的关系	杨 宁,赵护兵,王朝辉,等 (4827)
一次陆源降雨污水引起血红哈卡藻赤潮的成因.....	刘义豪,宋秀凯,靳 洋,等 (4836)
盐城国家级自然保护区景观格局变化及其驱动力.....	王艳芳,沈永明 (4844)
城市屋顶绿化资源潜力评估及绿化策略分析——以深圳市福田区为例.....	邵天然,李超骥,曾 辉 (4852)
黄河三角洲区域生态经济系统动态耦合过程及趋势.....	王介勇,吴建寨 (4861)
重庆市生态功能区蝴蝶多样性参数	李爱民,邓合黎,马 琦 (4869)
专论与综述	
干旱半干旱区不同环境因素对土壤呼吸影响研究进展.....	王新源,李玉霖,赵学勇,等 (4890)
土壤呼吸的温度敏感性——全球变暖正负反馈的不确定因素.....	栾军伟,刘世荣 (4902)
森林土壤甲烷吸收的主控因子及其对增氮的响应研究进展.....	程淑兰,方华军,于贵瑞,等 (4914)
湖泊氮素氧化及脱氮过程研究进展	范俊楠,赵建伟,朱端卫 (4924)
研究简报	
刈割对人工湿地风车草生长及污水净化效果的影响.....	吕改云,何怀东,杨丹菁,等 (4932)
学术信息与动态	
全球气候变化与粮食安全——2012 年 Planet Under Pressure 国际会议述评	安艺明,赵文武 (4940)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 338 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2012-08



封面图说:水杉是中国特有种,国家一级保护植物,有植物王国“活化石”之称,是 1946 年由中国的植物学家在湖北的利川磨刀溪发现的。水杉曾广泛分布于北半球,第四纪冰期以后,水杉属的其他种类全部灭绝,水杉确在中国川、鄂、湘边境地带得以幸存,成为旷世奇珍。水杉耐水,适应力强,生长极为迅速,其树干通直挺拔,高大秀颀,树冠呈圆锥形,姿态优美,枝叶繁茂,入秋后叶色金黄。自发现后被人们在中国南方广泛种植,成为著名的绿化观赏植物,现在中国水杉的子孙已遍及中国和世界 50 多个国家和地区。

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

DOI: 10.5846/stxb201109201383

安辉, 刘鸣达, 王耀晶, 闫颖. 不同稻蟹生产模式对土壤活性有机碳和酶活性的影响. 生态学报, 2012, 32(15): 4753-4761.

An H, Liu M D, Wang Y J, Yan Y. Effects of different rice-crab production modes on soil labile organic carbon and enzyme activities. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(15): 4753-4761.

不同稻蟹生产模式对土壤活性有机碳和酶活性的影响

安 辉¹, 刘鸣达^{1,*}, 王耀晶^{1,2}, 闫 颖¹

(1. 沈阳农业大学土地与环境学院, 辽宁 110866; 2. 沈阳农业大学理学院, 沈阳 110866)

摘要:采取田间定位试验与室内分析相结合的方法,研究了有机稻蟹、常规稻蟹与单作水稻生产模式对土壤活性有机碳和酶活性的影响。结果表明,与单作水稻模式相比,有机稻蟹模式下的土壤总有机碳(TOC)、活性有机碳(LOC)、中活性有机碳(MLOC)、高活性有机碳(HLOC)含量及碳库管理指数(CMI)均显著或者极显著提高,且有机肥用量越大,效果越显著;有机稻蟹模式显著提高了土壤过氧化氢酶、脲酶、转化酶及碱性磷酸酶活性,与2009年相比,2010年中量有机肥稻蟹模式(M3)的LOC和MLOC含量增幅最高,分别达10.11%和5.14%;低量有机肥稻蟹模式(M4)的脲酶和碱性磷酸酶活性增幅最为明显,分别达80.25%和46.62%;常规稻蟹模式各指标的变化也有其类似的规律,但均明显低于有机稻蟹模式。相关分析表明,TOC、LOC、MLOC与4种土壤酶活性呈显著或者极显著正相关,相关系数最低为0.584*($P < 0.05$),最高可达0.940**($P < 0.01$)。因此,有机稻蟹生产模式不仅能显著提高土壤有机质的数量和质量,而且能增加土壤酶活性,提高土壤肥力。

关键词:有机稻蟹;常规稻蟹;单作水稻;活性有机碳;土壤酶活性;土壤肥力

Effects of different rice-crab production modes on soil labile organic carbon and enzyme activities

AN Hui¹, LIU Mingda^{1,*}, WANG Yaojing^{1,2}, YAN Ying¹

1 College of Land and Environmental Sciences, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China

2 College of Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China

Abstract: Concurrent rice and crab farming is an important agricultural process in China's northern rice growing area, which allows the complementary use of scarce sources such as water and land. Rice-crab farming developed from the traditional farming mode of raising fish in paddy fields. As sustainable environmentally-friendly agriculture, this farming mode makes use of the symbiotic relationship between rice and crabs to more effectively use materials, reduce chemical fertilizer and pesticide inputs, increase product safety and overall productivity, and decrease the pollutants discharged from paddy fields. In particular, the combination of organic manure and rice-crab farming not only increases rice production, but also improves soil quality and sustainability. Consequently, soil organic carbon and soil enzymes were measured in this study to assess the influence of rice-crab farming and fertilization on soil quality. A long-term fertilization experiment was set up in Panjin, China in 2009 with six treatments: organic rice-crab production (modes M1, M2, M3 and M4 which correspond to no chemical fertilizer but added pig manure at 48000, 42000, 36000, 30000 kg/hm², respectively); conventional rice-crab mode (MNP with urea added at 375 kg/hm² and pig manure added at 15000 kg/hm²); and rice monoculture (CK with urea added at 750 kg/hm²). All the modes were replicated three times in a randomized block design. Composite surface soil samples (0—20cm) were collected from each plot in April and October 2009 and 2010. The

基金项目:沈阳市科技创新条件与环境建设项目资助(1091179-1-00)

收稿日期:2011-09-20; 修订日期:2012-02-02

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

soil samples were then analyzed for total organic carbon (TOC), labile organic carbon (LOC), moderately labile organic carbon (MLOC), highly labile organic carbon (HLOC), the carbon management index (CMI), and soil catalase, urease, invertase and alkaline phosphatase activities.

The results showed that the TOC, LOC, MLOC and HLOC, and CMI were significantly higher in the organic rice-crab modes than in the rice monoculture mode, and this increase was greater with increasing amounts of organic manure. In 2009, the TOC, LOC, MLOC and HLOC, and CMI in mode M1, which had the highest amount of added organic manure, increased by 33.44%, 26.26%, 35.46%, 47.22%, and 25.76%, respectively, compared to the rice monoculture mode. Similarly, the soil catalase, urease, invertase and alkaline phosphatase activities were significantly higher in the organic rice-crab modes when compared with the rice monoculture mode. This indicates that organic rice-crab farming was efficient at restoring soil organic carbon and improving soil microbial activity in China's northern rice area. In 2010, the highest increase in the LOC (10.11%) and MLOC (5.14%) compared to 2009 was found in the moderate organic manure rice-crab mode (M3). However, the most significant increases in the urease and alkaline phosphatase activities, 80.25% and 46.62%, respectively, were observed in the low organic manure rice-crab mode (M4). A similar but less significant trend was also observed between the organic and conventional rice-crab production modes. A correlation analysis between the soil enzyme activities and the labile organic carbon for different modes indicated that TOC, LOC and MLOC are significantly positively correlated with soil catalase, urease, invertase and alkaline phosphatase activities, with correlation coefficients ranging from 0.584 ($P < 0.05$) to 0.940 ($P < 0.01$). Our results suggest that the organic rice-crab production mode can improve the quantity and quality of soil organic carbon and increase soil enzyme activities and soil fertility.

Key Words: organic rice-crab mode; conventional rice-crab mode; rice monoculture; labile organic carbon; soil enzyme activities; soil fertility

土壤有机碳(TOC)是反映土壤肥力高低的重要标志,但在较短时间内它对因农业管理措施导致的土壤质量变化反应可能不甚敏感^[1]。实际上,农业生产措施引起土壤碳库的最初变化主要是活性碳部分,虽然其占总有机碳的比例较小,但对土壤碳素转化、土壤生产力起到重要的促进作用^[1-3]。目前对不同施肥条件下土壤有机碳和活性碳方面的研究较多,但结果各异。Nayak 等^[4]和赵红等^[5]认为施化肥会降低 TOC 以及活性有机碳(LOC)含量,施有机肥或者有机无机肥配施不仅增加 TOC 含量,也增加 LOC 含量,且有机肥施用越多,TOC 和 LOC 含量增加越大。而徐明岗等^[3]对中国几种典型土壤的长期不同施肥研究结果却与此相反。近年来,学者通常把碳库管理指数(CMI)作为反映土壤碳素动态变化灵敏而有效的指标^[1]。CMI 上升,表明施肥耕作等措施对土壤有培肥作用,土壤性能向良性发展;CMI 下降,则表明土壤肥力下降,土壤性质向不良方向发展^[3]。另一方面,土壤酶活性是土壤生物学活性的综合体现,土壤酶促进有机物的矿化,释放无机养分,参与土壤腐殖物质的分解形成,对推动生态系统中能量流动和物质循环具有重要作用^[6-8]。由于所研究的土壤类型、施肥方式及肥料用量不同,关于施肥对土壤酶活性的影响研究结果也各不相同。有研究表明^[9-12]有机肥或者有机无机肥配施可明显提高土壤酶活性,仅施化肥对土壤酶活性也有一定影响,但效果不显著;也有研究认为^[13-15]无论是施化肥还是有机肥化肥配施,对土壤酶活性影响都不大。总之,有机肥能提高土壤活性有机碳和土壤酶活性虽然已得到国内外学者的认可,但还需要对其深入研究,这对于掌握或预测某些营养物质的转化情况以及土壤肥力的演变趋势是十分必要的^[16]。

近年来,我国北方地区稻蟹生产发展迅速,获得了较好的效益,稻田养蟹已经成为我国一种重要的稻作生态农业模式。开展稻蟹共作模式的生态环境效应方面的理论研究十分重要,尤其是在常规稻蟹模式基础上发展起来的有机稻蟹模式对土壤活性有机碳和酶活性的影响研究还鲜有报道。为此,本研究采取田间定位试验与室内分析相结合的方法,研究了有机稻蟹、常规稻蟹与单作水稻 3 种模式下土壤活性有机碳和土壤酶活性的差异,探讨了土壤有机碳与酶活性的相关性,对于该地区选择适宜的稻作生产模式和土壤培肥制度具有重

要意义。

1 材料与方法

1.1 试验区环境状况

试验于 2009 年 4 月至 2010 年 10 月在盘锦市大洼县平安乡稻田进行(北纬 40°56', 东经 122°9')。大气、土壤及灌溉水等产地环境质量符合 GB/T19630—2005《有机产品》规定的要求。试验区域年均气温 8.9℃, $\geq 5^\circ\text{C}$ 活动积温 3551℃, $\geq 10^\circ\text{C}$ 活动积温 3509℃, 年降水量为 633.6 mm, 蒸发量为 1551.7 mm, 无霜期 171 d。年均日照时数 2787 h。

1.2 试验材料

供试土壤为粘质盐渍型水稻土, 土壤有机碳 9.6 g/kg, 全氮 1.15 g/kg, 全磷 0.31 g/kg, 碱解氮 81.4 mg/kg, 速效磷(P) 14.9 mg/kg, 速效钾(K) 141 mg/kg。供试水稻(*Oryza sativa* L.) 品种为辽河 2 号, 螃蟹为中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)。有机肥选用腐熟好的猪粪, 养分含量分别为有机碳 432.14 g/kg, 活性有机碳 275.41 g/kg, 全氮 11.6 g/kg, 全磷(P_2O_5) 8.5 g/kg, 全钾(K_2O) 12.3 g/kg。氮肥为尿素(N, 46.3%), 磷肥为过磷酸钙(P_2O_5 , 16%)。

1.3 试验设计

采取田间小区试验, 试验小区为随机区组排列, 设 6 个处理: 即有机稻蟹 M1、M2、M3、M4(均不施用化肥、农药和除草剂且养蟹)、常规稻蟹 MNP(有机肥和化肥配施、施用农药和除草剂且养蟹)与单作水稻 CK(施用化肥、农药及除草剂即常规栽培)(以下简称有机稻蟹模式、常规稻蟹模式和单作水稻模式), 且以 CK 模式为对照, 3 次重复, 每小区面积 166 m², 其间筑田埂间隔, 小区外围设尼龙网, 防蟹外逃。

CK 模式施尿素 750 kg/hm², 其中 1/5 作基肥, 4/5 作追肥(分 4 次追施, 每次为总用量的 1/4)。有机稻蟹(M1、M2、M3、M4)模式施氮量分别为 CK 模式的 1.6、1.4、1.2 倍和 1 倍, 即施用腐熟好的猪粪(折算干重)分别约为 48000、42000、36000、30000 kg/hm²; 常规稻蟹(MNP)模式施用有机肥量为 M4 模式的 1/2, 再补加尿素 375 kg/hm²。以 M4 模式施入有机肥含磷量为基准, 确定 MNP 与 CK 模式施磷量, 使 M4、MNP 与 CK 等 3 种模式 N、P 施入量相同。水稻生育期各小区单灌单排, 按常规生产管理。于 2009、2010 年 5 月中旬插秧, 密度为 25 穴/m², 每穴 3—4 株; 6 月末投放蟹苗, 有机稻蟹及常规稻蟹模式均投入 75 只(每只约重 16.7 g), 蟹苗投放后的前 1 个月每两天向各处理投放蟹料半斤(蟹料为煮熟玉米和黄豆, 且按 1:1 比例投加), 随河蟹不断地蜕壳变大, 到 7 月末每天投放蟹料 1 kg, 9 月中旬收成蟹; 10 月初收获水稻, 单打单收。

1.4 研究方法

1.4.1 采样方法

2009 和 2010 年 10 月初水稻收获后, 采用多点混合采样法采集 0—20 cm 耕层土壤作为供试土样, 每个处理取 3 次重复。样品采回后, 剔除可见的动、植物残体和石块等杂质, 风干, 磨细, 过 1 mm 和 0.125 mm 筛备用。

1.4.2 测定方法

土壤总有机碳采用重铬酸钾外加热法测定^[17]; 过氧化氢酶采用高锰酸钾滴定法^[18]测定; 脲酶采用靛酚蓝比色法^[18]测定; 转化酶采用 3,5-二硝基水杨酸比色法^[18]测定; 碱性磷酸酶采用磷酸苯二钠比色法^[19]测定。

土壤活性有机碳各组分测定及碳库管理指数(CMI)计算: 分别采用 33、167、333 mmol/L KMnO_4 氧化法测定土壤样品中高活性有机碳(HLOC)、中活性有机碳(MLOC)和活性有机碳含量(LOC)。以试前土壤为参照土壤。

CMI 等相关指标参照徐明岗等^[3]的方法计算, 计算方法为: 碳库指数(CPI) = 样品总有机碳含量(g/kg)/参照土壤总有机碳含量(g/kg); 土壤碳的不稳定性, 即碳库活度(L) = 样本中的活性有机碳(LOC)/样本中的非活性有机碳(NLOC); 碳损失及其对稳定性的影响用活度指数(LI)表示: $LI = \text{样品的碳库活度}(L) / \text{参照土壤}$

的碳库活度 (LO); 碳库管理指数 (CMI): $CMI = CPI \times LI \times 100$

1.4.3 数据分析

测定的数据均为 3 次重复的平均值, 数据经 Excel 2003 整理后, 采用 SPSS13.0 软件进行相关分析和方差分析, 相关分析采用 Pearson 法, 同一年份不同处理之间的多重比较采用 LSD 法。

2 结果与分析

2.1 不同模式下土壤有机碳及碳库管理指数的比较

不同稻蟹模式对土壤总有机碳 (TOC)、3 种活性有机碳含量及碳库管理指数 (CMI) 均有显著影响 (表 1)。

表 1 连续两年不同模式下土壤有机碳与碳库管理指数的变化

Table 1 The change of organic matter and soil carbon pool management index between different modes during 2 years

年份 Year	处理 Treatment	总有机碳 Total organic carbon (TOC) /(g/kg)	活性有机碳 Labile organic carbon (LOC) /(g/kg)	中活性有机碳 Middle labile organic carbon (MLOC) /(g/kg)	高活性有机碳 High labile organic carbon (HLOC) /(g/kg)	碳库管理指数 CMI
2006	试前	9.60±0.11	1.78±0.04	1.31±0.07	0.74±0.04	100.00
2009	M1	12.01±0.57aA	2.26±0.12aA	1.91±0.15aA	1.06±0.03aA	126.48±3.58aA
	M2	11.55±0.03bA	2.08±0.06bB	1.81±0.10bB	1.03±0.10aA	114.06±4.21bB
	M3	11.92±0.55abA	1.88±0.05cC	1.75±0.15cB	1.06±0.03aA	102.17±1.46cC
	M4	10.54±0.40cB	1.81±0.17cdC	1.63±0.08dC	0.87±0.01bB	100.56±0.58cdCD
	MNP	10.09±0.09dBC	1.79±0.09dC	1.41±0.08eD	0.86±0.08bB	98.78±2.21dD
	CK	9.00±0.36fD	1.79±0.04dC	1.41±0.09eD	0.72±0.04cC	100.57±3.06cdCD
2010	M1	13.83±0.32aA	2.32±0.06aA	1.85±0.01aA	0.94±0.04bA	128.10±1.22aA
	M2	13.03±0.10bB	2.02±0.11bcBC	1.89±0.14aA	0.98±0.01abA	112.14±7.38bBC
	M3	13.20±0.38bB	2.07±0.18bB	1.84±0.11aA	1.01±0.08aA	117.28±8.60bB
	M4	11.61±0.08cC	1.90±0.11cBC	1.66±0.07bB	0.76±0.08cB	104.66±1.33cC
	MNP	11.04±0.18dD	1.82±0.05cC	1.43±0.12cC	0.61±0.05dC	101.02±2.48cdC
	CK	9.39±0.04eE	1.75±0.11cC	1.57±0.14bBC	0.56±0.05dC	98.17±1.81dC

表中的数值为平均值±标准误差 ($n = 3$); 字母为相应指标在同一年份不同模式下的比较, 不同小写字母表示显著差异 ($P < 0.05$), 不同大写字母表示极显著差异 ($P < 0.01$); M1、M2、M3、M4 均为有机稻蟹模式 (不施用化肥且养蟹, 有机肥分别约为 48000、42000、36000、30000 kg/hm²); MNP 为常规稻蟹模式 (施尿素 375 kg/hm², 有机肥 15000 kg/hm² 且养蟹); CK 为单作水稻模式 (施尿素 750 kg/hm²)

2009 年, 有机稻蟹 (M1、M2、M3、M4) 模式的 TOC、LOC、MLOC 及 HLOC 含量均随有机肥用量的增加呈升高趋势。与单作水稻 (CK) 模式相比, 有机稻蟹 (M1、M2、M3、M4) 模式下, TOC 含量分别提高 33.44%、28.33%、32.44% 和 17.11%, LOC 含量分别提高 26.26%、16.20%、5.03% 和 1.12%, MLOC 含量分别提高 35.46%、28.37%、24.11% 和 15.60%, HLOC 含量分别提高 47.22%、43.06%、47.22% 和 20.83%, 上述差异均达显著或者极显著水平, 其中以 M1 模式增加效果最好; 另外, CMI 也表现出类似的规律。常规稻蟹 (MNP) 模式的 TOC 和 HLOC 含量较 CK 模式显著提高, 分别达 12.11% 和 19.44%, 而 LOC、MLOC 含量及 CMI 与 CK 处理基本持平。2010 年各指标也表现出相同的变化趋势, 不过与上年相比各指标含量均有较大提高, 尤其是以 TOC 和 HLOC 含量的增加最为显著, 有机稻蟹 (M1、M2、M3、M4) 模式 TOC 含量较 CK 模式分别提高 49.34%、40.45%、42.34% 和 24.67%, HLOC 含量分别提高 67.86%、75.00%、80.36% 和 35.71%。上述情况说明有机稻蟹模式不仅能提高土壤总有机碳数量, 而且使活性有机碳各组分含量增加, 改善土壤有机质质量。

就年际间的变化而言, 2010 年 CK 模式的 TOC 和 MLOC 含量分别较 2009 年提高 4.33% 和 11.35%, LOC、HLOC 含量及 CMI 则呈下降趋势, 说明单作水稻模式有增加土壤总有机碳和中活性有机碳含量的趋势, 但对提高土壤活性有机碳、高活性有机碳含量及碳库管理指数的效果并不明显。比较有机稻蟹和常规稻蟹模式在年际间的变化可以发现, M1 模式的 TOC 含量增幅最高, 达 15.15%; M3 模式的 LOC、MLOC 含量及 CMI

增幅最高,分别达 10.11%、5.14% 和 14.79%,且 HLOC 含量下降幅度最小。说明有机稻蟹模式有利于土壤总有机碳及活性有机碳各组分的积累,其中中量有机肥稻蟹(M3)模式对持续提高活性有机碳和中活性有机碳含量效果最好。

2.2 不同模式下土壤过氧化氢酶、脲酶、转化酶及碱性磷酸酶活性的比较

测定了不同处理土壤过氧化氢酶、脲酶、转化酶和碱性磷酸酶活性,其结果如图 1 所示。

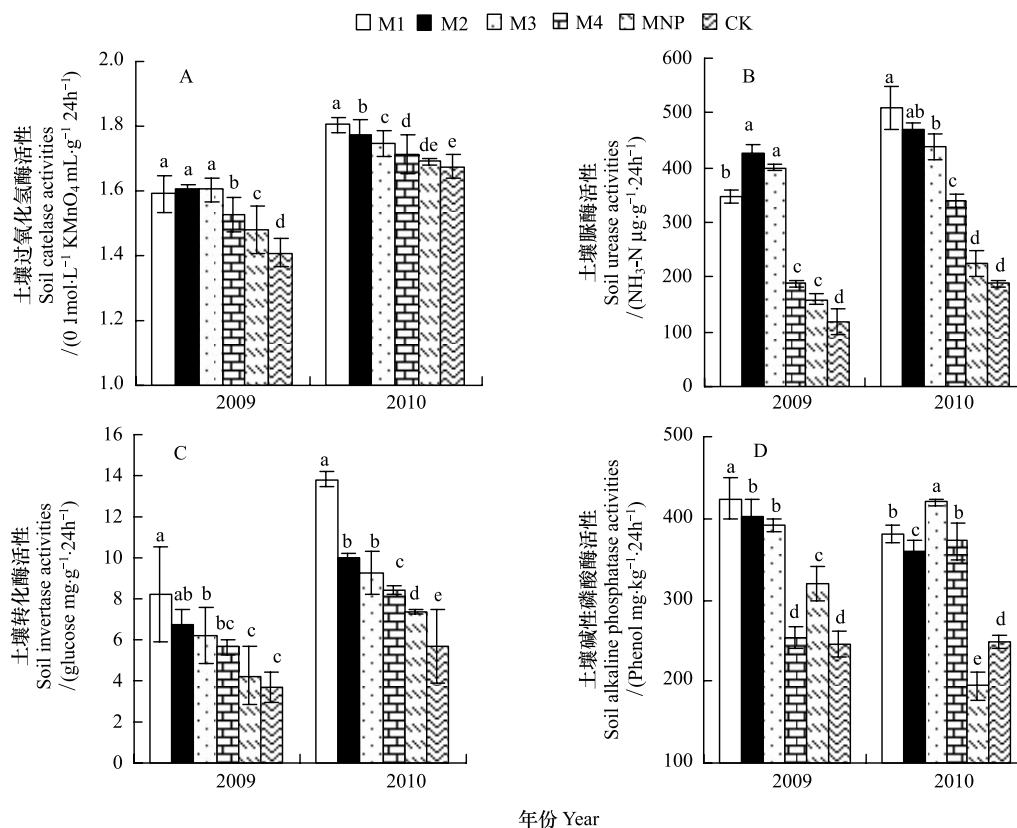


图 1 不同模式下土壤酶活性动态变化(图中的误差线为标准误差)

Fig. 1 Dynamics of soil enzymatic activities of different modes

可以看出,2009 年有机稻蟹(M1、M2、M3、M4)模式的土壤过氧化氢酶、脲酶、转化酶及碱性磷酸酶活性随有机肥用量的增加均有不同程度的提高。有机稻蟹(M1、M2、M3、M4)模式土壤过氧化氢酶活性较 CK 模式分别提高 12.88%、13.95%、13.83% 和 8.27%,脲酶活性分别提高 192.41%、257.70%、237.08% 和 58.41%,转化酶活性分别提高 120.80%、81.75%、68.21% 和 52.07%,碱性磷酸酶活性分别提高 72.67%、63.95%、59.42% 和 3.23%;常规稻蟹(MNP)模式土壤过氧化氢酶、脲酶活性也有所提高,但差异未达到显著水平,而其碱性磷酸酶活性甚至显著降低。以上结果说明有机稻蟹模式可增强土壤的生物氧化能力,对提高土壤酶活性具有明显的促进作用。

从年际间的变化来看,与 2009 年相比,2010 年土壤过氧化氢酶活性以 CK 模式的增幅最高,达 18.91%,而有机稻蟹和常规稻蟹模式增幅相对较小;土壤转化酶活性各处理增幅相差不大,均在 50% 左右;土壤脲酶和碱性磷酸酶活性都以 M4 模式增幅最高,分别达 80.25% 和 46.62%,值得注意的是 M1、M2 模式的碱性磷酸酶活性下降,分别下降了 10.29% 和 10.83%。说明有机稻蟹 M4 模式可明显提高脲酶和碱性磷酸酶活性幅度,而增量施用有机肥且养蟹模式则有抑制脲酶和碱性磷酸酶活性的倾向。

2.3 土壤有机碳与土壤酶活性的相关分析

不同模式下土壤活性有机碳各组分、总有机碳、碳库管理指数与土壤酶活性的相关分析结果如表 2 所示。

表2 土壤有机碳与土壤酶活性的相关分析

Table 2 Correlation analysis between organic carbon and enzyme activity

指标 Factors	过氧化氢酶 Catalase	脲酶 Urease	转化酶 Invertase	碱性磷酸酶 Phosphatase	活性 有机碳 LOC	中活性 有机碳 MLOC	高活性 有机碳 HLOC	总有机碳 TOC	碳库 管理指数 CMI
过氧化氢酶 Catalase	1								
脲酶 Urease	0.749 **	1							
转化酶 Invertase	0.856 **	0.830 *	1						
碱性磷酸酶 Phosphatase	0.342	0.791 *	0.495	1					
活性有机碳 LOC	0.594 *	0.790 *	0.801 **	0.736 **	1				
中活性有机碳 MLOC	0.584 *	0.885 *	0.702 *	0.822 **	0.825 **	1			
高活性有机碳 HLOC	0.100	0.688 *	0.345	0.852 **	0.663 *	0.765 **	1		
总有机碳 TOC	0.767 **	0.940 **	0.897 **	0.713 **	0.805 **	0.822 **	0.660 *	1	
碳库管理指数 CMI	0.488	0.757 *	0.788 **	0.713 **	0.994 **	0.813 **	0.632 *	0.783 *	1

* 在 0.05 水平上相关性显著 ($n=12$); ** 在 0.01 水平上相关性显著 ($n=12$)

结果显示,3种活性有机碳含量间呈显著或者极显著正相关,其中 LOC 与 MLOC 的相关性最好 ($r=0.825^{**}$, $P<0.01$),且这3种活性有机碳含量与 CMI 呈显著或者极显著正相关,相关系数大小依次为活性有机碳 (0.994^{**}) > 中活性有机碳 (0.813^{**}) > 高活性有机碳 (0.632^{*}),这说明碳库管理指数与活性有机碳关系更为密切。3种活性有机碳含量和 TOC 含量也呈显著或者极显著正相关,其中 MLOC 和 LOC 与 TOC 的相关性最高,相关系数分别为 0.822^{**} 和 0.805^{**} ,且达极显著相关;HLOC 与 TOC 显著相关,相关系数为 0.660^{*} 。这说明活性有机碳有别于总有机碳又与总有机碳紧密相关,它们是土壤总有机碳的一部分。4种土壤酶活性的相关分析表明,除土壤过氧化氢酶和转化酶与碱性磷酸酶活性相关关系不显著外,其他土壤酶活性彼此之间呈显著或极显著正相关关系;说明酶在促进土壤有机质转化及参与物质转化和能量交换中,不仅具有专有特性,同时还可能有协同关系。对土壤有机碳与土壤酶活性的相关分析显示,活性有机碳、总有机碳与4种酶活性间呈显著或者极显著正相关;说明土壤酶活性可用来表征代表土壤肥力水平高低的有机碳水平。

3 讨论

土壤中活性有机碳组分的含量和动态变化可以反映土壤有效养分库的大小及其在土壤中的周转^[20-21]。而碳库管理指数 (CMI) 作为反映土壤碳素动态变化灵敏而有效的指标^[1]则可以预测土壤性能发展方向^[3]。大量研究表明,施用有机肥可增加土壤有机碳及活性有机碳各组分含量^[4,20,22]。研究显示,有机稻蟹模式能显著提高土壤 TOC、LOC、MLOC、HLOC 含量及 CMI,且随有机肥施用量的增加而有不同程度的增大,尤其以 M1 模式增加效果最好。这一方面可能是由于有机稻蟹模式施入的有机肥矿化速率较慢^[23],使得施入的有机肥足以补偿水稻生长过程对土壤有机质的耗损,故在土壤中逐年累积;另一方面,也与有机稻蟹模式中养蟹引入的饵料、蟹粪以及生长期蜕壳等营养物质积累有关。可见,有机稻蟹模式能显著增加土壤碳库库容,这与展茗等^[24]的研究结果一致。但也有研究认为并非有机肥施用量越大,土壤 LOC 含量增加越高, CMI 增加越大^[5,25-26],这可能是由于不同研究中的土壤类型、施肥种类及耕作方式等不同的缘故。从年际间变化来看,与 2009 年相比,2010 年 CK 模式的 TOC 和 MLOC 含量有提高趋势,这可能主要是由于 2010 年水稻生育期前期,辽宁地区低温寡照,可能会使土壤有机碳分解速率变慢,故有机碳量小幅积累;有机稻蟹模式中, M3 模式较其他模式的 LOC、MLOC 含量及 CMI 增幅较高,且 HLOC 含量降幅较小,原因可能是 M1 和 M2 模式有机肥施入量过大,碳氮比增高,氮含量低,不能够为微生物提供足够的氮源,所以在施入粪肥高出一定比例后其 LOC、MLOC 含量及 CMI 幅度不增反减^[5];而 M4 和 MNP 模式的土壤碳和氮含量相对较低,不利于土壤碳的矿化和腐殖化,导致 LOC、MLOC 含量及 CMI 增幅较小。由此可以看出,高量有机肥稻蟹模式中量有机肥稻蟹模式在提高土壤活性有机碳各组分含量方面并没有表现出优势,这与张鹏等^[27]的研究结果相似。

土壤酶是土壤生物学活性的重要组成部分,主要来自土壤微生物、植物和动物活体或残体,是土壤生化过

程的产物^[18],可以表征土壤的综合肥力特征及土壤养分转化进程。本试验中,有机稻蟹和常规稻蟹模式的土壤过氧化氢酶、脲酶、转化酶及碱性磷酸酶活性均明显提高。这一方面可能是由于有机稻蟹模式施入的有机肥本身带有外源酶,可为土壤生物创造良好的生活环境而有利于酶活性的提高;另一方面可能是有机稻蟹模式河蟹数量较多^[28],相应排泄物以及生长期蜕壳数增加^[29],也有利于提高土壤生物学活性,进而促进土壤酶活性提高。这与稻鸭和稻鱼共作模式对土壤酶活性的影响研究结果^[30]相同。从年际间土壤酶活性的比较来看,有机稻蟹和常规稻蟹模式的土壤过氧化氢酶活性增幅较小,可能是由于过氧化氢酶属于氧化还原酶,在两种稻蟹模式中因施入有机肥、投入饵料及产生蟹粪等有机物,在淹水情况下,短期内可能会加剧土壤还原程度,从而在一定程度抑制了过氧化氢酶的活性^[31],使其增幅变缓。土壤脲酶、转化酶及碱性磷酸酶是参与高分子有机化合物水解反应的3种水解酶。其中脲酶和碱性磷酸酶均以M4模式增幅最高,原因可能是M1、M2、M3模式虽然为脲酶提供了较多的反应基质,但是由于大量有机肥等外源物质的施入会抑制脲酶的酶促反应^[32],使得脲酶的活性并没有较大幅度的提高。另外,有机稻蟹M1、M2、M3模式施入了大量有机肥,其氮含量很高,增强了核酸酶的活性,而核酸酶的降解产物中有无机磷,土壤中无机磷的增加会促使磷酸酶活性减弱^[6],导致M1、M2、M3模式的碱性磷酸酶活性增幅较小。

相关分析结果表明:除土壤过氧化氢酶和转化酶活性与碱性磷酸酶活性无显著相关外,其他土壤酶活性间均呈显著或极显著正相关。究其原因,可能是在土壤中这4种酶存在某一相同底物,当其中任意一种酶与底物结合后,释放一种或多种信息物质激活另外3种酶的活性^[33]。有机质可以作为土壤酶的底物,又可以为微生物的繁殖和生长提供碳源,因此有机物的含量影响着酶活性的高低。本试验结果显示,土壤有机碳与土壤4种酶活性间呈显著或极显著正相关,这与前人^[16,34-35]的研究结果类似。

4 结论

与单作水稻模式相比,有机稻蟹模式显著提高了TOC、LOC、MLOC、HLOC含量及CMI,且有机肥用量越大,效果越显著。有机稻蟹模式同时显著提高了土壤过氧化氢酶、脲酶、转化酶及碱性磷酸酶活性;从年际间的变化来看,中低量有机肥稻蟹模式更有利于土壤LOC、MLOC含量的提高以及脲酶和碱性磷酸酶活性的增强;相关分析表明,TOC、LOC、CMI与4种土壤酶活性呈显著或者极显著正相关。因此,有机稻蟹生产模式也需适量施入有机肥,才可更好地提高土壤有机质,特别是活性有机质的数量,增加土壤酶活性,进而提高土壤肥力。

References:

- [1] Blair G J, Lefroy R D B, Lisle L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1995, 46(7): 1459-1466.
- [2] Dalal R C, Mayer R J. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland: IV. Loss of organic carbon from different density functions. *Australian Journal of Soil Research*, 1986, 24(2): 301-309.
- [3] Xu M G, Yu R, Sun X F, Liu H, Wang B R, Li J M. Effects of long-term fertilization on labile organic matter and carbon management index (CMI) of the typical soils of China. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2006, 12(4): 459-465.
- [4] Nayak D R, Babu Y J, Adhya T K. Long-term application of compost influences microbial biomass and enzyme activities in a tropical Aerobic Endoaquept planted to rice under flooded condition. *Soil Biology and Biochemistry*, 2007, 39(8): 1897-1906.
- [5] Zhao H, Lü Y Z, Yang X, Zhou L R, Jin X S. Effects of different fertilization proportions on organic carbon content of black soil and carbon pool management index. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(9): 3164-3169.
- [6] Sun R L, Zhao B Q, Zhu L S, Xu J, Zhang F D. Effects of long-term fertilization on soil enzyme activities and its role in adjusting-controlling soil fertility. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2003, 9(4): 406-410.
- [7] Yan S L, Zhao L, Sun H W, Tian X Y, Li F, Lu X B. Effects of planting and straw returning of transgenic Bt maize on soil enzyme activities under field condition. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(15): 4244-4250.
- [8] Yang J S, Zhang E H, Huang G B, Zhang R Z. Effects of conservation tillage on soil microbes quantities and enzyme activities in wheat-herb rotation system. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(3): 824-829.
- [9] De Caire G Z, De Cano M S, Palma R M, De Mule C Z. Changes in soil enzyme activities following additions of cyanobacterial biomass and

- exopolysaccharide. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, 32(13): 1985-1987.
- [10] Li J, Zhao B Q, Li X Y, So H B. Effects of long-term combined application of organic and mineral fertilizers on soil microbiological properties and soil fertility. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(1): 144-152.
- [11] Liu H, Lin Y H, Zhang Y S, Tan X X, Wang X H. Effects of long-term fertilization on biodiversity and enzyme activity in grey desert soil. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(8): 3898-3904.
- [12] Wang Y J, Zhong L G, Li R, Yang Y G, Xiao X J, Lu D, Liu R L, Ye G T. Effects of different fertilizers on the growth of tomato and soil enzymes activities and microbial biomass-C. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2007, 30(3): 83-87.
- [13] Lin T, He Y Q, Li C L, Yang F, Xu J B. Response of soil enzymes to long-term fertilization in upland red soil. *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(4): 682-686.
- [14] Wang X C, Lu Q. Beta-glucosidase activity in paddy soils of the Taihu Lake region, China. *Pedosphere*, 2006, 16(1): 118-124.
- [15] Tang Y S, Ci E, Yan Y M, Wei C F, Yang L Z, Shen M X. Effects of long-term site-specific fertilization on soil enzyme activities of paddy fields under wheat-rice rotation system in Taihu region. *Soils*, 2008, 40(5): 732-737.
- [16] Lu W T, Jia Z K, Zhang P, Wang W, Hou X Q, Yang B P, Li Y P. Effects of straw returning on soil labile organic carbon and enzyme activity in semi-arid areas of southern Ningxia, China. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(3): 522-528.
- [17] Bao S D. *Soil and Agricultural Chemical Analysis*. Beijing: China Agriculture Press, 1999: 25-38.
- [18] Guan S Y. *Soil Enzyme and Its Research Methods*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1986: 274-340.
- [19] Zhou L K. *Soil Enzymology*. Beijing: Science Press, 1987: 263-278.
- [20] Shen H, Cao Z H, Hu Z Y. Characteristics and ecological effects of the active organic carbon in soil. *Chinese Journal of Ecology*, 1999, 18(3): 32-38.
- [21] Gao J S, Cao W D, Li D C, Xu M G, Zeng X B, Nie J, Zhang W J. Effects of long-term double-rice and green manure rotation on rice yield and soil organic matter in paddy field. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(16): 4542-4548.
- [22] Wu X D, Cai L X, Lu Y H, Xie J, Liao Y L, Zheng S X, Nie J. Effects of long-term fertilization systems on soil labile organic matter and carbon management index of reddish paddy soil. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008, 24(12): 283-288.
- [23] Shen H, Cao Z H. Study on soil C pool management index of different farmland ecosystems. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(4): 663-668.
- [24] Zhang M, Cao C G, Jiang Y, Wang J P, Yue L X, Cai M L. Dynamics of active organic carbon in a paddy soil under different rice farming modes. *Chinese journal of Applied Ecology*, 2010, 21(8): 2010-2016.
- [25] Zhang F S. Effects of different applications of fertilizers to lou soil and yellow loamy soil on the oxidable stability of soil. *Acta Agriculturae Universitatis Henanensis*, 1996, 3(1): 80-84.
- [26] Zeng J, Guo T W, Yu X F, Dong B. Effect of fertilization on soil active C and C pool management index. *Chinese Journal of Soil Science*, 2011, 42(4): 812-815.
- [27] Zhang P, Jia Z K, Lu W T, Zhang X F, Sun H X, Yang B P. Effects of organic fertilization on soil nutrient, enzyme activity and crop productivity in semi-arid areas of southern Ningxia. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2011, 17(5): 1122-1130.
- [28] Liu M D, An H, Wang H X, Hao X D. Comparison on the benefits of different rice-crab models. *Soils and Fertilizers Sciences in China*, 2009, (1): 53-56.
- [29] Chen M D, Liu Z P, Liu W B, Wang J Y, Ye Z J. Economy analysis and energy character of the field zoology system of the compound cultivation paddy field of Chinese mitten crab in the three-gorges reservoir. *Journal of Mountain Science*, 2005, 23(4): 469-475.
- [30] Li C F, Cao C G, Xu Y H, Wang J P, Zhan M, Yang X W, Pang H D. Dynamics of soil microbial biomass N and soil enzymes activities in rice-duck and rice-fish ecosystems. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(8): 3905-3912.
- [31] Xiao Y L, Yuan Z P, Zhang Y Z, Jiang J R. Activity of soil enzymes under three cropping systems. *Journal of Hunan Agricultural University*, 1991, 17(S1): 260-266.
- [32] Xia X, Gu J, Gao H, Qin Q J, Liu L, Xie Y Y. Effect of nitrogen application rates on soil hydrolase activities and crop yield. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(5): 756-765.
- [33] Xiong M B, Lei X Z, Tian Y B, Song G Y, Cao S Y. Effects of long-term application of fertilizer on purple soil enzymatic activities. *Journal of Sichuan University: Engineering Science Edition*, 2003, 35(4): 60-63, 99-99.
- [34] Albiach R, Canet R, Pomanes F, Ingelmo F. Microbial biomass content and enzymatic activities after the application of organic amendments to a horticultural soil. *Bioresource Technology*, 2000, 75(1): 43-48.
- [35] Taylor J P, Wilson B, Mills M S, Burns R G. Comparison of microbial numbers and enzymatic activities in surface and subsoils using various techniques. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, 34(3): 387-401.

参考文献:

- [3] 徐明岗, 于荣, 孙小凤, 刘骅, 王伯仁, 李菊梅. 长期施肥对我国典型土壤活性有机质及碳库管理指数的影响. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(4): 459-465.
- [5] 赵红, 吕贻忠, 杨希, 周连仁, 靳向胜. 不同配肥方案对黑土有机碳含量及碳库管理指数的影响. 中国农业科学, 2009, 42(9): 3164-3169.
- [6] 孙瑞莲, 赵秉强, 朱鲁生, 徐晶, 张夫道. 长期定位施肥对土壤酶活性的影响及其调控土壤肥力的作用. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(4): 406-410.
- [7] 颜世磊, 赵蕾, 孙红伟, 田晓燕, 李凡, 路兴波. 大田环境下转 Bt 基因玉米对土壤酶活性的影响. 生态学报, 2011, 31(15): 4244-4250.
- [8] 杨江山, 张恩和, 黄高宝, 张仁陟. 保护性耕作对麦药轮作土壤酶活性和微生物数量的影响. 生态学报, 2010, 30(3): 824-829.
- [10] 李娟, 赵秉强, 李秀英, So H B. 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.
- [11] 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.
- [12] 王延军, 宗良纲, 李锐, 杨永岗, 肖兴基, 卢东, 刘瑞龙, 叶广涛. 不同肥料对有机栽培番茄生长和土壤酶及微生物量的影响. 南京农业大学学报, 2007, 30(3): 83-87.
- [13] 林天, 何园球, 李成亮, 杨芳, 徐江兵. 红壤旱地中土壤酶对长期施肥的响应. 土壤学报, 2005, 42(4): 682-686.
- [15] 唐玉姝, 慈恩, 颜廷梅, 魏朝富, 杨林章, 沈明星. 长期定位施肥对太湖地区稻麦轮作土壤酶活性的影响. 土壤, 2008, 40(5): 732-737.
- [16] 路文涛, 贾志宽, 张鹏, 王维, 侯贤清, 杨保平, 李永平. 秸秆还田对宁南旱作农田土壤活性有机碳及酶活性的影响. 农业环境科学学报, 2011, 30(3): 522-528.
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 1999: 25-38.
- [18] 关松荫. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 1986: 274-340.
- [19] 周礼恺. 土壤酶学. 北京: 科学出版社, 1987: 263-278.
- [20] 沈宏, 曹志洪, 胡正义. 土壤活性有机碳的表征及其生态效应. 生态学杂志, 1999, 18(3): 32-38.
- [21] 高菊生, 曹卫东, 李冬初, 徐明岗, 曾希柏, 聂军, 张文菊. 长期双季稻绿肥轮作对水稻产量及稻田土壤有机质的影响. 生态学报, 2011, 31(16): 4542-4548.
- [22] 吴小丹, 蔡立湘, 鲁艳红, 谢坚, 廖育林, 郑圣先, 聂军. 长期不同施肥制度对红壤性水稻土活性有机质及碳库管理指数的影响. 中国农学通报, 2008, 24(12): 283-288.
- [23] 沈宏, 曹志洪. 不同农田生态系统土壤碳库管理指数的研究. 生态学报, 2000, 20(4): 663-668.
- [24] 展茗, 曹凑贵, 江洋, 汪金平, 乐丽鑫, 蔡明历. 不同稻作模式下稻田土壤活性有机碳变化动态. 应用生态学报, 2010, 21(8): 2010-2016.
- [25] 张付申. 不同施肥处理对壤土和黄绵土有机质氧化稳定性的影响. 河南农业大学学报, 1996, 3(1): 80-84.
- [26] 曾骏, 郭天文, 于显枫, 董博. 长期施肥对土壤活性有机碳和碳库管理指数的影响. 土壤通报, 2011, 42(4): 812-815.
- [27] 张鹏, 贾志宽, 路文涛, 张晓芳, 孙红霞, 杨保平. 不同有机肥施用量对宁南旱区土壤养分、酶活性及作物生产力的影响. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(5): 1122-1130.
- [28] 刘鸣达, 安辉, 王厚鑫, 郝旭东. 不同稻蟹生产模式效益比较的初步研究. 中国土壤与肥料, 2009, (1): 53-56.
- [29] 陈铭达, 刘兆普, 刘文斌, 王景艳, 叶志娟. 三峡库区稻田复养河蟹的农田生态系统能量特征与经济效益. 山地学报, 2005, 23(4): 469-475.
- [30] 李成芳, 曹凑贵, 徐拥华, 汪金平, 展茗, 杨学伟, 庞海东. 稻鸭与稻鱼生态系统土壤微生物量 N 和土壤酶活性动态. 生态学报, 2008, 28(8): 3905-3912.
- [31] 肖永兰, 袁正平, 张杨珠, 蒋健容. 不同耕作制对水田土壤酶活性的影响. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 1991, 17(S1): 260-266.
- [32] 夏雪, 谷洁, 高华, 秦清军, 刘磊, 解缓缓. 施氮水平对土壤水解酶活性和作物产量的影响. 自然资源学报, 2010, 25(5): 756-765.
- [33] 熊明彪, 雷孝章, 田应兵, 宋光煜, 曹叔尤. 长期施肥对紫色土酶活的影响. 四川大学学报: 工程科学版, 2003, 35(4): 60-63, 99-99.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.32 ,No.15 August ,2012(Semimonthly)

CONTENTS

Effects of grazing on litter decomposition in two alpine meadow on the eastern Qinghai-Tibet Plateau	ZHANG Yanbo, LUO Peng, SUN Geng, et al (4605)
Distribution pattern and their influencing factors of invasive alien plants in Beijing	WANG Suming, ZHANG Nan, YU Linqian, et al (4618)
Simulation of CO ₂ and H ₂ O fluxes over temperate mixed forest and sensitivity analysis of layered methods: stomatal conductance-photosynthesis-energy balance coupled model	SHI Tingting, GAO Yufang, YUAN Fenghui, et al (4630)
Analysis on the responses of flood storage capacity of Dongting Lake to the changes of landscape patterns in Dongting Lake area	LIU Na, WANG KeLin, DUAN Yafeng (4641)
Integrated water risk assessment in Daliao River estuary area	YU Ge, CHEN Jing, ZHANG Xueqing, et al (4651)
Discussion on the standardized method of reference sites selection for establishing the Benthic-Index of Biotic Integrity	QU Xiaodong, LIU Zhigang, ZHANG Yuan (4661)
Genetic diversity analysis of different age of a Dalian population of the Manila clam <i>Ruditapes philippinarum</i> by EST-SSR	YU Zhifei, YAN Xiwu, ZHANG Yuehuan, et al (4673)
Geostatistical analysis of spatial heterogeneity of yellowfin tuna (<i>Thunnus albacares</i>) purse seine catch in the western Indian Ocean	YANG Xiaoming, DAI Xiaojie, ZHU Guoping (4682)
Seasonal differences in habitat selection of the Crocodile lizard (<i>Shinisaurus crocodilurus</i>) in Luokeng Nature Reserve, Guangdong	WU Zhengjun, DAI Dongliang, NIN Jiajia, et al (4691)
Soil physical and chemical properties in forest succession process in Xinglong Mountain of Gansu	WEI Qiang, LING Lei, CHAI Chunshan, et al (4700)
Dynamics of soil organic carbon and total nitrogen contents in short-rotation triploid <i>Populus tomentosa</i> plantations	ZHAO Xuemei, SUN Xiangyang, KANG Xiangyang, et al (4714)
Grazing effects on eco-stoichiometry of plant and soil in Hulunbeir, Inner Mongolia	DING Xiaohui, GONG Li, WANG Dongbo, et al (4722)
Effect of elevated ultraviolet-B (UV-B) radiation on CH ₄ emission in herbicide resistant transgenic rice from a paddy soil	LOU Yunsheng, ZHOU Wenlin (4731)
NMR spectroscopy based metabolomic analysis of <i>Thellungiella salsuginea</i> under salt stress	WANG Xinyu, WANG Lihua, YU Ping, et al (4737)
Screening and identification of associative nitrogen fixation bacteria in rhizosphere of sugarcane in Guangxi	HU Chunjin, LIN Li, SHI Guoying, et al (4745)
Effects of different rice-crab production modes on soil labile organic carbon and enzyme activities	AN Hui, LIU Mingda, WANG Yaojing, et al (4753)
The characteristics of soil microbial communities at burned forest sites for the Great Xingan Mountains	BAI Aiqin, FU Bojie, QU Laiye, et al (4762)
Changes of soil faunal communities during the restoration progress of <i>Abies faxoniana</i> Forests in Northwestern Sichuan	CUI Liwei, LIU Shirong, LIU Xingliang, et al (4772)
The effects of the endophytic fungus <i>Ceratobasidium stevensii</i> B6 on <i>Fusarium oxysporum</i> in a continuously cropped watermelon field	XIAO Yi, DAI Chuanchao, WANG Xingxiang, et al (4784)
Population ecology of <i>Aulacoseira granulata</i> in Xijiang River	WANG Chao, LAI Zini, LI Yuefei, et al (4793)
Evaluation of ecosystem sustainability for large-scale constructed wetlands	ZHANG Yiran, WANG Renqing, ZHANG Jian, et al (4803)
MIS3b vegetation and climate changes based on pollen and charcoal on Qianxi Plateau	ZHAO Zengyou, YUAN Daoxian, SHI Shengqiang, et al (4811)
The effects of stemflow on the formation of "Fertile Island" and "Salt Island" for <i>Haloxylon ammodendron</i> Bge	LI Congjuan, LEI Jiaqiang, XU Xinwen, et al (4819)
Accumulation and translocation of dry matter and nutrients of wheat rotated with legumes and its relation to grain yield in a dryland area	YANG Ning, ZHAO Hubing, WANG Zhaohui, et al (4827)
Occurrence characteristics of <i>akashiwo sanguinea</i> bloom caused by land source rainwater	LIU Yihao, SONG Xiukai, JIN Yang, et al (4836)
Analysis on landscape pattern change and its driving forces of Yancheng National Natural Reserve	WANG Yanfang, SHEN Yongming (4844)
Resource potential assessment of urban roof greening and development strategies: a case study in Futian central district, Shenzhen, China	SHAO Tianran, LI Chaosu, ZENG Hui (4852)
Analysis of the dynamic coupling processes and trend of regional eco-economic system development in the Yellow River Delta	WANG Jieyong, WU Jianzhai (4861)
The diversity parameters of butterfly for ecological function divisions in Chongqing	LI Aimin, DENG Heli, MA Qi (4869)
Review and Monograph	
Responses of soil respiration to different environment factors in semi-arid and arid areas	WANG Xinyuan, LI Yulin, ZHAO Xueyong, et al (4890)
Temperature sensitivity of soil respiration: uncertainties of global warming positive or negative feedback	LUAN Junwei, LIU Shirong (4902)
The primary factors controlling methane uptake from forest soils and their responses to increased atmospheric nitrogen deposition: a review	CHENG Shulan, FANG Huajun, YU Guirui, et al (4914)
The research progresses on biological oxidation and removal of nitrogen in lakes	FAN Junnan, ZHAO Jianwei, ZHU Duanwei (4924)
Scientific Note	
Cutting effects on growth and wastewater purification of <i>Cyperus alternifolius</i> in constructed wetland	LÜ Gaiyun, HE Huaidong, YANG Danjing, et al (4932)

《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 15 期 (2012 年 8 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 15 (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:100071	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