

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

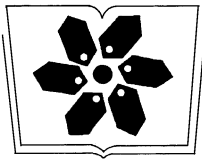
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第4期 Vol.33 No.4 **2013**

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 33 卷 第 4 期

2013 年 2 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 森林水源涵养功能的多尺度内涵、过程及计量方法 王晓学,沈会涛,李叙勇,等 (1019)
- 植物叶片水稳定同位素研究进展 罗伦,余武生,万诗敏,等 (1031)
- 城市景观格局演变的生态环境效应研究进展 陈利顶,孙然好,刘海莲 (1042)
- 城市生物多样性分布格局研究进展 毛齐正,马克明,邬建国,等 (1051)
- 基于福祉视角的生态补偿研究 李惠梅,张安录 (1065)

个体与基础生态

- 土著菌根真菌和混生植物对羊草生长和磷营养的影响 雷垚,郝志鹏,陈保冬 (1071)
- 干旱条件下 AM 真菌对植物生长和土壤水稳定性团聚体的影响 叶佳舒,李涛,胡亚军,等 (1080)
- 转 *mapk* 双链 RNA 干扰表达载体黄瓜对根际土壤细菌多样性的影响 ... 陈国华,弭宝彬,李莹,等 (1091)
- 北京远郊区臭氧污染及其对敏感植物叶片的伤害 万五星,夏亚军,张红星,等 (1098)
- 茅苍术叶片可培养内生细菌多样性及其促生潜力 周佳宇,贾永,王宏伟,等 (1106)
- 低温对蝶蛹金小蜂卵成熟及其数量动态的影响 夏诗洋,孟玲,李保平 (1118)
- 六星黑点豹蠹蛾求偶行为与性信息素产生和释放的时辰节律 刘金龙,荆小院,杨美红,等 (1126)
- 氟化物对家蚕血液羧酸酯酶及全酯酶活性的影响 米智,阮成龙,李姣蓉,等 (1134)
- 不同温度对脊尾白虾胚胎发育与幼体变态存活的影响 梁俊平,李健,李吉涛,等 (1142)

种群、群落和生态系统

- 生态系统服务多样性与景观多功能性——从科学理念到综合评估 吕一河,马志敏,傅伯杰,等 (1153)
- 不同端元模型下湿地植被覆盖度的提取方法——以北京市野鸭湖湿地自然保护区为例 崔天翔,官兆宁,赵文吉,等 (1160)
- 基于光谱特征变量的湿地典型植物生态类型识别方法——以北京野鸭湖湿地为例 林川,官兆宁,赵文吉,等 (1172)
- 浮游植物群落对海南小水电建设的响应 林彰文,林生,顾继光,等 (1186)
- 菹草种群内外水质日变化 王锦旗,郑有飞,王国祥 (1195)
- 南方红壤区 3 种典型森林恢复方式对植物群落多样性的影响 王芸,欧阳志云,郑华,等 (1204)
- 人工油松林恢复过程中土壤理化性质及有机碳含量的变化特征 胡会峰,刘国华 (1212)
- 不同区域森林火灾对生态因子的响应及其概率模型 李晓炜,赵刚,于秀波,等 (1219)

景观、区域和全球生态

- 快速城市化地区景观生态安全时空演化过程分析——以东莞市为例 杨青生,乔纪纲,艾彬 (1230)
- 海岸带生态系统健康评价中能质和生物多样性的差异——以江苏海岸带为例 唐得昊,邹欣庆,刘兴健 (1240)
- 干湿交替频率对不同土壤 CO₂ 和 N₂O 释放的影响 欧阳扬,李叙勇 (1251)

西部地区低碳竞争力评价..... 金小琴,杜受祜 (1260)

基于 HEC-HMS 模型的八一水库流域洪水重现期研究 郑 鹏,林 韵,潘文斌,等 (1268)

基于修正的 Gash 模型模拟小兴安岭原始红松林降雨截留过程 柴汝杉,蔡体久,满秀玲,等 (1276)

长白山北坡不同林型内红松年表特征及其与气候因子的关系..... 陈 列,高露双,张 赞,等 (1285)

资源与产业生态

河西走廊绿洲灌区循环模式“农田-食用菌”生产系统氮素流动特征 李瑞琴,于安芬,赵有彪,等 (1292)

施肥对旱地花生主要土壤肥力指标及产量的影响..... 王才斌,郑亚萍,梁晓艳,等 (1300)

耕作措施对土壤水热特性和微生物生物量碳的影响..... 庞 绪,何文清,严昌荣,等 (1308)

基于改进 SPA 法的耕地占补平衡生态安全评价 施开放,刁承泰,孙秀锋,等 (1317)

学术争鸣

基于生态-产业共生关系的林业生态安全测度方法构想 张智光 (1326)

中国生态学会 2013 年学术年会征稿须知 (I)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 318 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 34 * 2013-02



封面图说: 石羊河——石羊河流域属大陆性温带干旱气候,气候特点是:日照充足、温差大、降水少、蒸发强、空气干燥。石羊河源出祁连山东段,河系以雨水补给为主,兼有冰雪融水成分。上游的祁连山区降水丰富,有雪山冰川和残留林木,是河流的水源补给地。中游流经河西走廊平地,形成武威和永昌等绿洲,下游是民勤,石羊河最后消失在腾格里沙漠中。随着石羊河流域人水矛盾的不断加剧,水资源开发利用严重过度,荒漠化日趋严重,民勤县的生态环境已经相当恶化,继续下去将有可能变成第二个“罗布泊”。

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

DOI: 10.5846/stxb201204230581

王才斌, 郑亚萍, 梁晓艳, 王建国, 郑永美, 孙学武, 冯昊, 吴正峰, 孙奎香. 施肥对旱地花生主要土壤肥力指标及产量的影响. 生态学报, 2013, 33(4): 1300-1307.

Wang C B, Zheng Y P, Liang X Y, Wang J G, Zheng Y M, Sun X W, Feng H, Wu Z F, Sun X S. Effects of fertilization on soil fertility indices and yield of dry-land peanut. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(4): 1300-1307.

施肥对旱地花生主要土壤肥力指标及产量的影响

王才斌*, 郑亚萍, 梁晓艳, 王建国, 郑永美, 孙学武, 冯昊, 吴正峰, 孙秀山

(山东省花生研究所, 青岛 266100)

摘要: 大田条件下, 研究了纯无机肥及不同用量有机-无机配施对旱地砂壤土花生土壤微生物种群及数量、土壤主要酶活性、土壤呼吸速率及产量的影响, 结果表明: (1) 土壤中细菌、放线菌和真菌数量随有机无机肥配施数量的增加而增加; 单施无机复合肥对微生物数量的增加不明显, 中量有机无机肥配施比单纯施中量无机肥处理的细菌、放线菌和真菌数量全生育期平均值分别提高 114.9%、49.0% 和 29.0%。(2) 施肥可以显著提高土壤脲酶、蔗糖酶、酸性磷酸酶、过氧化氢酶活性及土壤呼吸速率, 其中有机无机中、高量配施显著高于其他处理, 中量纯无机肥(农民常规施肥)相近于或低于(尤其在生育后期)低量有机无机肥配施; 施肥对土壤过氧化氢酶活性的影响小于其余 3 种酶。(3) 不同类群土壤微生物数量、土壤主要酶活性及土壤呼吸作用关系密切, 相互间相关系数均达到极显著水平。(4) 有机无机中、高量配施花生产量显著高于其他处理, 中量无机肥加中量有机肥比中量纯无机肥增产 14.0%, 表明在砂壤土上施用有机肥, 其对土壤肥力提高的增产作用远远大于其本身所含花生生育所需营养直接供应作用。(5) 兼顾土壤肥力和花生产量, 肥力中等的砂壤土, 可采用中量有机无机肥混配施用。

关键词: 旱地; 花生; 肥料; 微生物; 酶活性; 土壤呼吸; 产量

Effects of fertilization on soil fertility indices and yield of dry-land peanut

WANG Caibin*, ZHENG Yaping, LIANG Xiaoyan, WANG Jianguo, ZHENG Yongmei, SUN Xuewu, FENG Hao, WU Zhengfeng, SUN Xiushan

Shandong Peanut Research Institute, Qingdao, Shandong 266100, China

Abstract: Effects of pure inorganic fertilizer and different amounts of compound of organic fertilizer (yard manure) and inorganic fertilization on numbers of soil microbe, soil enzyme activities, soil respiration rate and yield of peanut were studied under field condition. The results were as follows: (1) Numbers of bacteria, actinomycetes and fungi were raised with the increase of amount combined application of organic and inorganic fertilizer. Pure inorganic fertilizer had not obviously effect on the number of soil microbe. Numbers of the three kind microorganism were increased by 114.9%、49.0% and 29.0%, respectively, in medium level of combined application of organic and inorganic fertilizer compared to medium level of pure inorganic fertilizer. (2) Fertilization can significantly enhance the enzyme activity of urease, invertase, phosphatase and catalase and soil respiration rate. Enzyme activity and soil respiration rate of medium and high level of combined application were much higher than that of the other treatments. The effect of pure inorganic fertilizer with medium level was near to, or lower in late growing stage, than that of low level of combined application. Fertilization had little effects on the activity of catalase than that of the other three enzymes. (3) Significant correlative relationships were found among soil microorganisms, soil enzyme activities and soil respiration. (4) Pod yields of peanut with medium and

基金项目: 山东省农业重大应用技术创新课题(夏花生高产高效关键技术研究); 山东省科技发展计划项目(2012GNC11102); 青岛市公共领域科技支撑计划项目(12-1-3-28-nsh 和 11-2-3-28-nsh)

收稿日期: 2012-04-23; 修订日期: 2012-12-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: caibinw@126.com

high level of combined application were much higher than that of other treatments, and increased by 14.0% in medium level of combined application compared to in pure medium level of inorganic fertilizer (normal rate for farmer land). So, the role of organic fertilizer to yield increase through improving soil fertility was far greater than that of its direct nourishment supply in sandy soil. (5) Taking into account both soil fertility and yield of peanut, medium level of combined application of organic and inorganic fertilizer was appropriate in middle-fertility sandy soil.

Key Words: dry-land; peanut; fertilizer; microorganism; enzyme activity; soil respiration rate; yield

施肥不仅影响到作物的生长发育和产量,同时也影响到土壤肥力。肥沃的土壤是作物高产和持续高产的基础。反映土壤肥力高低的指标有很多,其中土壤中微生物种群及数量、土壤酶活性等是最主要几个指标^[1-2],研究施肥对这些指标的影响,对指导作物合理施肥和土壤培肥,实现作物当季和持续增产具有重要意义。

玉米田试验表明,有机肥或无机肥可提高酸性粉壤土土壤细菌、真菌和放线菌数量,同时显著增加氨化细菌、硝化细菌、自生固氮菌数量^[3]。氮、磷、钾等不同种类肥料单施或配施可提高麦田土壤酶活性^[4-7]。黄土旱塬区施肥可促进小麦根系呼吸速率,提高根呼吸在土壤呼吸中的贡献率^[8]。施肥条件下土壤中许多酶活性与微生物呼吸作用、微生物种类及数量之间存在着显著或极显著的相关关系^[9-13]。但也有研究表明,施肥对土壤某些肥力指标影响不大。Nanda 等报道,水稻土施用有机-无机肥后,细菌数量增加,真菌数量减少^[14]。武术等研究表明,氮肥对稻田蔗糖酶活性影响不显著^[15],化肥对旱地黑垆土土壤过氧化氢酶活性影响较小^[16-17]。上述研究表明,不同作物不同土壤类型施肥对土壤肥力指标的影响存在一定差异。有必要进一步探讨不同条件下施肥对土壤肥力指标的影响。花生是我国的主要油料作物和重要的经济作物,然而,目前有关施肥对花生田,特别是旱作田,土壤肥力主要指标的影响鲜见报道。在北方,60% 以上的花生分布在旱薄地上,研究旱薄地土壤培肥措施,对大幅度提高我国低产田花生生产量有重要意义^[18]。为此,作者在大田条件下,研究了有机、无机及其不同数量配比对旱作花生田土壤微生物、酶活性及土壤呼吸速率等主要肥力指标的影响,以期对旱地花生合理施肥及土壤培肥提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验设 5 个处理。B1(高量有机无机配施):圈肥 45000 kg/hm²+三元复合肥 1200 kg/hm²;B2(中量有机无机配施):圈肥 30000 kg/hm²+三元复合肥 800 kg/hm²;B3(低量有机无机配施):圈肥 15000 kg/hm²+三元复合肥 400 kg/hm²;B4(中量无机肥单施,多数农民常规施肥量):三元复合肥 800 kg/hm²;B5(CK):不施任何肥料。三元复合肥中氮、磷、钾含量均为 15%,圈肥中氮、磷、钾含量分别为 0.32%、0.13% 和 0.43%。单因素随机区组设计,重复 3 次。

试验于 2010 年在莱西市姜山镇后垛埠村(E120°12';N36°34')进行,当地属于温带半湿润季风气候区,干湿显著。花生生长季节(4—9 月份)平均气温 22.5℃,降雨 532mm。试验地为砂壤土,有机质 8.1 g/kg,全氮 6.7 g/kg,水解氮 58.3 mg/kg,速效磷 26.1 mg/kg,速效钾 88.6 mg/kg,PH 值 5.71。试验田垄距 85 cm,垄面宽 50—55 cm,垄上行距 30—35 cm,穴距 15 cm,每穴 2 粒种子,小区面积 30 m²。随机排列,春播覆膜栽培,起垄前均匀撒施肥料,耕翻 25 cm。其它管理措施同当地常规生产。供试品种山花 9 号,5 月 15 日播种,9 月 17 日收获。

1.2 采样时间

分别于始花期(6 月 22 日)、花针期(7 月 15 日)、结荚期(8 月 11 日)及饱果期(9 月 11 日)采取土样、植株干样。

1.3 样品采集与处理

每区用五点法取 0—30 cm 土层土样,一部分新鲜土壤于 4℃ 下带回实验室,经预处理后测定土壤微生物

数量及土壤呼吸速率;另一部分自然条件下风干,过 1 mm 土壤筛,用于测定土壤酶活性^[1,5,7,17]。收获时,测定植株主要农艺性状,按小区实际面积计产。

1.4 测定项目及方法

根际土壤微生物区系的测定:细菌培养采用牛肉膏蛋白胨培养基,放线菌培养采用高氏 1 号培养基,真菌培养采用马丁氏培养基。细菌、真菌、放线菌计数采用稀释涂布平板法^[19]。微生物数量以每克土壤样品所含菌数表示。每克土壤样品所含菌数=同一个稀释度几次重复的菌落平均数 $\times 10 \times$ 稀释倍数。

土壤呼吸速率采用静态室碱液吸收法^[20]。土壤脲酶活性用靛酚蓝比色法测定,过氧化氢酶活性用高锰酸钾滴定法测定,蔗糖酶活性用 3, 5-二硝基水杨酸比色法测定,酸性磷酸酶活性用磷酸苯二钠比色法测定^[21]。

1.5 数据处理与分析

采用 Word2003、Excel2003 及 DPS、SPSS 软件数据处理、统计分析、绘图与作表。

2 结果与分析

2.1 对土壤微生物数量的影响

从表 1 可以看出,耕层 0—30 cm 内土壤微生物组成以细菌为主,放线菌次之,真菌数量最少。在整个生育期内,微生物数量呈单峰曲线,细菌和放线菌高峰出现在结荚期,真菌出现在花针期。从全生育期平均值看,施肥对细菌的影响明显大于对放线菌和真菌的影响。

同一时期内,各施肥处理间细菌、放线菌和真菌数量大小顺序一致,均为:B1>B2>B3>B4>B5。其中,高量和中量配施(B1、B2)显著高于单施复合肥及 CK(B4、B5),特别在始花期,高量配施 3 种微生物数量分别是 CK 的 2.6、4.3、4.1 倍。

不同处理,细菌数量在始花期与花针期存在极显著差异;放线菌数量在始花期与结荚期达到极显著差异水平,施肥处理真菌数量在花针期与结荚期差异水平达到极显著。由此可以看出,不同时期不同的施肥处理对微生物数量影响的程度与作用效果不同,始花期高量配施处理的微生物数量的提高效果最为明显。有机圈肥与复合肥配施能够有效地增加土壤微生物数量,而且效果随着施肥量的增加而明显,而单施复合肥对微生物数量的提高不明显,效果不稳定。

表 1 不同施肥处理微生物数量变化

Table 1 Amounts of soil microorganism of different fertilizing treatments at different growing stage of peanut

指标 Indices	处理 Treatment	始花期 First flowering stage	花针期 Pegging stage	结荚期 Pod setting stage	饱果期 Pod filling stage	全生育期平均 Average for whole growing season
真菌数量/($\times 10^4$ /g) Fungi	B1	13a	26a	24a	18a	20.3
	B2	10b	24b	21b	16b	17.8
	B3	8bc	21c	19c	14c	15.5
	B4	7cd	19d	16d	13c	13.8
	B5	5d	16e	13e	10d	11.0
细菌数量/($\times 10^6$ /g) Bacterin	B1	34a	36a	48a	39a	39.3
	B2	21b	28b	46a	32b	31.8
	B3	18c	26c	35b	25c	26.0
	B4	10d	23d	15c	11d	14.8
	B5	8e	18e	13c	9d	12.0
放线菌数量/($\times 10^5$ /g) Actinomycets	B1	29a	37a	42a	37a	36.3
	B2	24b	34b	35b	31b	31.0
	B3	21c	27c	30c	25c	25.8
	B4	18d	27c	22d	16d	20.8
	B5	15e	22d	18e	14d	17.3

同列中小写字母表示差异达 5% 显著水平; B1(高量有机无机配施):圈肥 45000 kg/hm²+三元复合肥 1200 kg/hm²; B2(中量有机无机配施):圈肥 30000 kg/hm²+三元复合肥 800 kg/hm²; B3(低量有机无机配施):圈肥 15000 kg/hm²+三元复合肥 400 kg/hm²; B4(中量无机肥单施,多数农民常规施肥量):三元复合肥 800 kg/hm²; B5(CK):不施任何肥料

2.2 对土壤酶活性的影响

2.2.1 对土壤脲酶活性的影响

由图 1 可以看出:有机无机中、高量配施(B1、B2)显著高于其他处理,高量配施除始花期外,其余各期均显著高于中量配施;低量配施(B3)在生育后期(饱果期)与中量纯无机肥(B4)和CK差异显著,其余各期差异不显著;中量纯无机肥在生育后期与CK差异显著,生育前期差异不显著。表明,中量以上的有机无机肥配施有利于提高整个生育期土壤脲酶活性,单纯中量无机肥在生育前期对土壤脲酶活性作用不明显,而低量有机无机配施效果介于高、中量配施和单纯中量无机肥之间。

2.2.2 对土壤蔗糖酶活性的影响

不同处理对土壤蔗糖酶活性的影响为: B1 > B2 > B3 > B4 > CK。除花针期有机无机低量配施(B3)与中量纯无机肥(B4)、中量纯无机肥与CK和饱果期有机无机中量配施(B2)与中量纯无机肥差异不显著外,其余各处理间均达到显著水平。表明增施肥料可以显著提高土壤蔗糖酶活性,有机肥效果更好,且随用量的增加,作用更明显(图 2)。

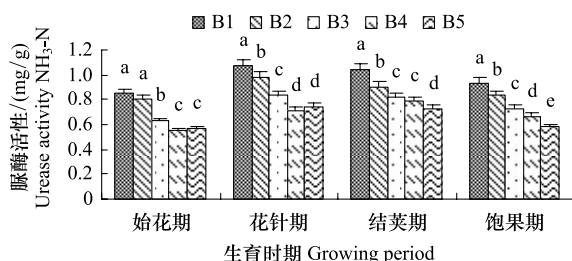


图 1 不同施肥处理对土壤脲酶活性的影响

Fig. 1 Effects of different fertilizing treatments on activity of soil urease

图中不同的小写字母表示处理间差异显著, $P < 0.05$; B1 (高量有机无机配施): 圈肥 45000 kg/hm² + 三元复合肥 1200 kg/hm²; B2 (中量有机无机配施): 圈肥 30000 kg/hm² + 三元复合肥 800 kg/hm²; B3 (低量有机无机配施): 圈肥 15000 kg/hm² + 三元复合肥 400 kg/hm²; B4 (中量无机肥单施, 多数农民常规施肥量): 三元复合肥 800 kg/hm²; B5 (CK): 不施任何肥料

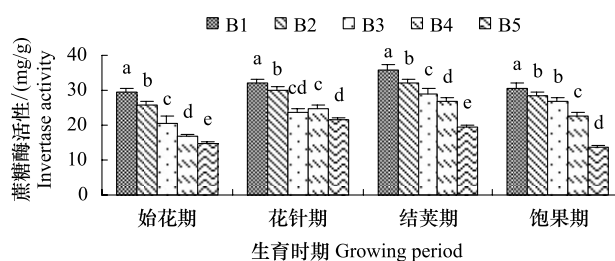


图 2 不同施肥处理对土壤蔗糖酶活性的影响

Fig. 2 Effects of different fertilizing treatments on invertase activities

B1 (高量有机无机配施): 圈肥 45000 kg/hm² + 三元复合肥 1200 kg/hm²; B2 (中量有机无机配施): 圈肥 30000 kg/hm² + 三元复合肥 800 kg/hm²; B3 (低量有机无机配施): 圈肥 15000 kg/hm² + 三元复合肥 400 kg/hm²; B4 (中量无机肥单施, 多数农民常规施肥量): 三元复合肥 800 kg/hm²; B5 (CK): 不施任何肥料

2.2.3 对土壤过氧化氢酶活性的影响

由图 3 可以看出:除始花期与中量有机无机配施(B2)差异不显著外,有机无机高量配施(B1)显著高于其他处理,而其他三个施肥处理间差异不显著,但在多数情况下显著高于CK。表明,施肥对土壤过氧化氢酶活性有一定的影响,但明显不及对土壤脲酶和蔗糖酶活性的影响那样明显。

2.2.4 对土壤酸性磷酸酶活性的影响

由图 4 可以看出, (1) 生育前期, 土壤酸性磷酸酶活性较低, 施肥对土壤酸性磷酸酶活性的影响较小, 处理间差异较小; 随生育期的推进, 土壤酸性磷酸酶活性升高, 处理间差异逐渐拉大。 (2) 有机无机中、高量配施(B1、B2)显著高于其他处理; 生育中期(花针期和结荚期)高量配施显著高于中量配施, 而生育前期和后期, 两处理差异不显著。 (3) 生育中期, 低量配施和中量纯无机肥量处理差异不显著, 但在生育前期和后期低量配施显著高于纯中量无机肥量。 (4) 中量纯无机肥在生育中、后期与CK差异不显著。表明, 中量纯无机肥

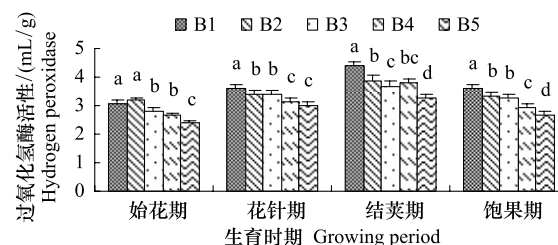


图 3 不同施肥处理对土壤过氧化氢酶活性的影响

Fig. 3 Effects of different fertilizing treatments on activity of soil catalase

后劲不足,而有机肥生育后期效果明显。

2.3 对土壤呼吸速率的影响

由图 5 可见,各施肥处理土壤呼吸均速率呈先升高后降低的趋势,最大值出现在花针期。不同生育期各施肥处理总的趋势是:(1)有机无机中、高量配施(B1、B2)显著高于其他处理,高量配施除始花期外,其余各期均显著高于中量配施;低量配施(B3)显著高于 CK,但在生育中期(花针期和结荚期)与中量纯无机肥(B4)无显著差异;中量纯无机肥在生育后期土壤呼吸速率与 CK 差异不显著,其作用主要在生育前期。(2)从数值看,生育中期不同处理间差异小,生育前期和后期差异大。(3)有机无机中、高量配施生育后期土壤呼吸速率下降率明显慢于其他处理。表明增施有机肥对维持花生生育后期土壤呼吸速率有重要作用。

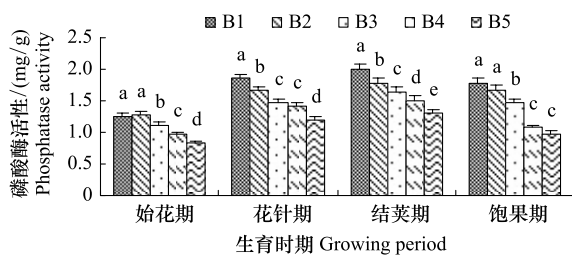


图 4 不同施肥处理对土壤酸性磷酸酶活性的影响

Fig. 4 Effects of different fertilizing treatments on activity of soil phosphatase

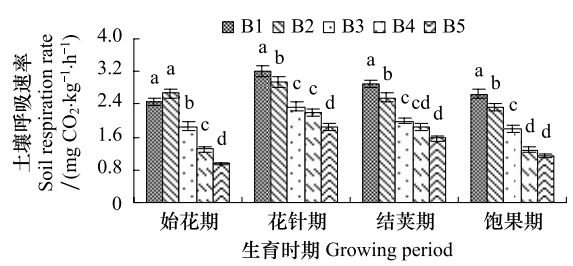


图 5 不同施肥处理对土壤呼吸速率的影响

Fig. 5 Effects of different fertilizing treatments on soil respiration rate

2.4 主要肥力指标相关性分析

相关分析表明(表 2),不同微生物数量间、土壤主要酶活性间相关系数均达到极显著水平;细菌、放线菌和真菌数量与脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶和酸性磷酸酶活性及土壤呼吸速率相关系数均达到极显著水平。表明微生物的生命活动与土壤酶活性及土壤呼吸之间有着密切的联系,而施肥有利于提高这些指标的水平。

表 2 土壤肥力主要指标相关性分析

Table 2 The correlation analysis of main soil fertility indices

指标 Indices	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
X2	0.746 **	1					
X3	0.826 **	0.948 **	1				
X4	0.837 **	0.852 **	0.921 **	1			
X5	0.786 **	0.912 **	0.921 **	0.908 **	1		
X6	0.784 **	0.791 **	0.782 **	0.790 **	0.845 **	1	
X7	0.877 **	0.884 **	0.920 **	0.904 **	0.917 **	0.921 **	1
X8	0.742 **	0.826 **	0.905 **	0.923 **	0.870 **	0.676 **	0.829 **

* * 表示差异达 1% 显著水平; X(1—8) 分别代表真菌、细菌、放线菌、脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶、酸性磷酸酶和土壤呼吸速率

2.5 对花生产量及产量构成因素的影响

由表 3 可以看出,不同施肥处理花生产量及其构成因素差异很大。其中,有机无机中、高量配施(B1、B2)

表 3 不同施肥处理对花生产量及产量构成因素的影响

Table 3 Effects of different fertilizing treatments on peanut yield and yield characters

处理 Treatments	千克果数 Pods/kg/个	百果重 Weight of 100-pod/g	出米率 Kernel rate/%	百仁重 Weight of 100-seed/g	产量 Yield/(kg/hm ²)
B1	552c	185.3a	69.4a	74.2a	6011.7a
B2	556bc	183.1a	69.1a	71.5b	5689.3a
B3	600b	178.4b	68.5a	70.2b	4724.1bc
B4	616a	182.4a	69.0a	70.4b	4989.1b
B5	624a	170.7c	67.0b	65.4c	4428.1c

显著高于其他处理,而中量和高量处理间差异不显著;中量纯无机肥(B4)产量高于低量有机无机配施(B3),但差异未达5%的显著水平;而低量有机无机配施与CK差异不显著。

不同处理对主要农艺性状的影响存在一定差异,其中对公斤果数、百果重和百仁重影响较大,对出米率影响较小。总的趋势是,增施有机肥或无机肥可提高百果重和百仁重,降低公斤果数。

3 讨论与结论

土壤中微生物种群及数量是反映土壤肥力的主要指标之一^[1]。细菌、放线菌和真菌直接参与土壤中碳、氮等营养元素的循环和能量流动,其数量和活性不仅反映了微生物对植物生长发育、土壤肥力的影响和作用,同时也说明了植物对微生物群落结构的制约与共生关系,关系到土壤生态系统的维持与改善^[22]。它们的区系组成和数量变化常能反映出土壤生物活性水平。本试验研究结果表明,施肥能够增加土壤3种微生物数量,对细菌的影响明显大于对放线菌和真菌的影响。有机肥效果好于无机肥,随有机肥数量的增加,3种微生物数量也增加,这可能与有机肥本身携带大量微生物以及有机肥可为微生物繁殖提供天然“培养基”有关。单施无机肥虽然没有上述有机肥功能,也可以提高土壤中微生物数量,此结果与以往研究结论基本一致^[23-25]。这可能与无机肥促进了花生植株发育,增加了花生根系分泌物数量,而这些根系分泌物与微生物繁殖密切相关^[26]。但与有机肥相比,无机肥对微生物数量的提高效果不稳定。本试验中,中量有机无机肥配施,比单纯施中量无机肥处理的细菌、放线菌和真菌数量全生育期平均值分别提高114.9%、49.0%和29.0%。因此,生产中要提倡有机肥与无机肥配施。

土壤酶在生态系统的有机质分解和养分循环所必需的催化反应中起重要作用^[27]。脲酶是土壤中氮转化的关键酶,蔗糖酶对增加土壤中易溶性营养物质有重要作用,酸性磷酸酶能够加速有机磷的脱磷速度,过氧化氢酶可解除土壤过氧化氢的毒害作用。土壤酶活性受土壤理化性状和管理方式的影响很大,常作为微生物活性和土壤肥力的指标^[2]。现有研究表明,小麦-玉米-大豆轮作条件下化肥与有机肥长期配合施用能显著增强褐潮土及黑土等土壤脲酶、转化酶、磷酸酶、过氧化氢酶活性^[4,28-29]。本试验表明,即使花生当季施肥,对土壤主要酶活性也有很大影响。总的趋势是:有机无机配施配施效果好于单施无机肥,随有机肥用量的增加,对土壤主要酶活性的促进作用增强;单纯中量无机肥虽然对土壤主要酶活性有一定的促进作用,但明显低于中量有机无机配施。本试验测定的脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶和酸性磷酸酶四种酶活性全生育期平均值中量有机无机配施比单纯中量无机肥分别提高31%、27%、10%和29%,而且低量有机无机配施在多数情况下,对四种酶的促进作用也显著好于中量单施无机肥。这些结果表明,有机肥对土壤酶活性的促进作用要大于无机肥。因此,有机无机配施是提高土壤肥力的有效途径。本试验同时表明,施肥对土壤过氧化氢酶活性的促进作用小于对其它酶的促进作用,其原因有待于进一步探讨。

一般情况下,土壤呼吸是土壤有机碳输出的主要形式,土壤肥力高的情况下土壤生态状况较好,土壤呼吸也将增强。以往研究表明,氮肥、磷肥和钾肥都对免耕燕麦地土壤呼吸都有明显的影响,但氮磷钾配施对土壤呼吸速率的影响高于任一种肥料的单施^[12]。黑土玉米地施用有机肥,可加快土壤CO₂形成和释放速率,显著增加土壤呼吸量^[30]。本试验表明,有机肥与无机肥配施及单施无机均能提高土壤的呼吸速率,但是有机肥与无机肥配施的效果要大于单施无机肥,中量有机无机肥配施比单纯施中量无机肥全生育期土壤呼吸平均值高59%。这与以往研究结论类似。主要原因是圈肥一方面能增加用于土壤呼吸的有机质的数量,从而改善土壤的理化性状,促进了花生根系的生长;另一方面能显著增强土壤微生物的活性,提高土壤的呼吸强度,加速了土壤有机质的矿化分解。

土壤微生物是土壤中物质转化的动力,土壤酶是土壤新陈代谢的重要因素,它与活着的生物细胞一起推动着物质转化,土壤生物化学反应几乎都是由酶驱动完成的,土壤呼吸速率的高低可以反映土壤微生物促进物质转化以及土壤动物和植物根系呼吸的强度,与微生物种群、数量、土壤酶活性等密切相关^[31]。本试验表明,土壤微生物数量、土壤酶活性及土壤呼吸速率相互间呈极显著相关关系。表明施肥同时提高了这些肥力指标。该结果与李秀莲和孙瑞英等^[4-5]在褐潮土上及高会议等^[8]在黄土旱塬区上施肥对小麦田间土壤肥力

指标的影响研究结果相似。

本试验中,有机无机中、高量配施花生产量显著高于其他处理。农民常规施肥(中量纯无机肥)与低量有机无机配施产量相近,比CK(不施肥)增产12.7%,比有机无机中量配施降低14.0%。这一结果表明,在砂壤土上施用有机肥,其对土壤肥力提高的增产作用远远大于其本身所含花生生育所需营养直接供应作用。兼顾土壤肥力和花生产量,肥力中等的砂壤土,在肥料充足时,可采用中量有机无机配施;肥源不足时,可采用低量有机无机配施。

References:

- [1] Fan J, Hao M D. Study on long-term experiment of crop rotation and fertilization in the Loess Plateau I. Effect of crop rotation and continuous planting on soil enzyme activities. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2003, 9(1): 9-13.
- [2] Fan J, Hao M D. Study on long-term experiment of crop rotation and fertilization in the Loess Plateau II. Relationship between soil enzyme. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2003, 9(2): 146-150.
- [3] Ndayeyamiye A, Côté D. Effect of long-term pig slurry and solid cattle manure application on soil chemical and biological properties. *Canadian Journal of Soil Science*, 1989, 69(1): 39-47.
- [4] Li X Y, Zhao B Q, Li X H, Li Y T, Sun R L, Zhu L S, Xu J, Wang L X, Li X P, Zhang F D. Effects of different fertilization systems on soil microbe and its relation to soil fertility. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(8): 1591-1599.
- [5] 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.
- [6] Xia X, Gu J, Gao H, Qin Q J, Liu L, Xie Y Y. Effects of different fertilization proportions on soil enzyme activities and wheat yield in cumulic cinnamon soil. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2011, 17(2): 472-476.
- [7] 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.
- [8] Gao H Y, Guo S L, Liu W Z, Che S G. Soil respiration and carbon fractions in winter wheat cropping system under fertilization practices in arid-highland of the Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(5): 2551-2559.
- [9] Gagnon B, Lalande R, Simard R R, Roy M. Soil enzyme activities following paper sludge addition in a winter cabbage-sweet corn rotation. *Canadian Journal of Soil Science*, 2000, 80(1): 91-97.
- [10] Zheng Y, Gao Y S, Zhang L M, He Y Q, He J Z. Effects of long-term fertilization on soil microorganisms and enzyme activities in an upland red soil. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2008, 14(2): 316-321.
- [11] Salam A K, Katayama A, Kimura M. Activities of some soil enzymes in different land use systems after deforestation in hilly areas of west Lampung, South Sumatra, Indonesia. *Soil Science and Plant Nutrition*, 1998, 44(1): 93-103.
- [12] 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.
- [13] Bergstrom D W, Monreal C M. Increased soil enzyme activities under two row crops. *Soil Science Society of America Journal*, 1998, 62(5): 1295-1301.
- [14] Nanda S K, Da P K, Behera B. Effects of continuous manuring on microbial population, ammonification and CO₂ evolution in a rice soil. *Oryza*, 1998, 25(4): 413-416.
- [15] Wu, Lin X G, Yi R, Hu J L, Mao T T, Feng Y Z, Zhu J G. Effect of atmospheric CO₂ enhancement on activity of soil enzymes in paddy field incorporated with Wheat Straw. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2008, 24(4): 32-36.
- [16] Wang J, Liu S P, 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.
- [17] Fan J, Hao M D. Distributions fluctuations of enzyme activities and in soil profile during the growing period of winter wheat. *Chinese Journal of Soil Science*, 2003, 34(5): 444-447.
- [18] Wang C B, Wan S B. *Physiological Ecology of Peanuts*. Beijing: China Agriculture Press, 2011.
- [19] Li Z G, Luo Y M, Teng Y. *Soil and Soil Microbial Research Methods*. Beijing: Science Press, 2008.
- [20] Luo Y Q, Zhou X H. *Soil Respiration and the Environment*. Beijing: Higher Education Press, 2007.
- [21] Guan S Y. *Soil Enzyme and Its Research Methods*. Beijing: China Agricultural Press, 1986: 62-142.
- [22] Yang H F, Xie Y L, Fan J F, Li J. The research of different fertilization impact on soil fertility and yield of crop fruits. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(9): 250-254.
- [23] 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.
- [24] Sun R L, Zhu L S, Zhao B Q, Zhou Q X, Xu J, Zhang F D. Effects of long-term fertilization on soil microorganism and its role in adjusting and controlling soil fertility. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(10): 1907-1910.

- [25] Gu Y, Wu C S, Wang Z M, He W A, Liu J L, Chen X F. Effect of different fertilizer treatment on soil microorganism and enzyme activities in soybean. *Soybean Science*, 2010, 29(6): 1008-1011.
- [26] Abbott L K, Murphy D V. *Soil Biological Fertility*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2003.
- [27] Allison V J, Condron L M, Peltzer D A, Richardson S J, Turner B L. Changes in enzyme activities and soil microbial community composition along carbon and nutrient gradients at the Franz Josef chronosequence, New Zealand. *Soil Biology and Biochemistry*, 2007, 39(7): 1770-1781.
- [28] Jiao X G, Sui Y Y, Wei D, Liu Z K, Huang J H. Effect of long-term fertilization on enzyme activities and soil fertility for the black soil in the farmland. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 2010, 26(4): 443-447.
- [29] Li J, Zhao B Q, Li X Y, So H B. Seasonal variation of soil microbial biomass and soil enzyme activities in different long-term fertilizer regimes. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2009, 15(5): 1093-1099.
- [30] Qiao Y F, Miao S J, Wang S Q, Han X Z, Li H B. Soil respiration affected by fertilization in black soil. *Acta Pedologica Sinica*, 2007, 44(6): 1028-1035.
- [31] Lin X G. *Principles and Methods of Soil Microbiology Research*. Beijing: Higher Education Press, 2010.

参考文献:

- [1] 樊军, 郝明德. 黄土高原旱地轮作与施肥长期定位试验研究 I. 长期轮作与施肥对土壤酶活性的影响. *植物营养与肥料学报*, 2003, 9(1): 9-13.
- [2] 樊军, 郝明德. 黄土高原旱地轮作与施肥长期定位试验研究 II. 土壤酶活性与土壤肥力. *植物营养与肥料学报*, 2003, 9(2): 146-150.
- [4] 李秀英, 赵秉强, 李絮花, 李燕婷, 孙瑞莲, 朱鲁生, 徐晶, 王丽霞, 李小平, 张夫道. 不同施肥制度对土壤微生物的影响及其与土壤肥力的关系. *中国农业科学*, 2005, 38(8): 1591-1599.
- [5] 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.
- [6] 夏雪, 谷洁, 高华, 秦清军, 刘磊, 解媛媛. 不同配肥方案对土壤酶活性和小麦产量的影响. *植物营养与肥料学报*, 2011, 17(2): 472-476.
- [7] 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.
- [8] 高会议, 郭胜利, 刘文兆, 车升国. 黄土旱塬区冬小麦不同施肥处理的土壤呼吸及土壤碳动态. *生态学报*, 2009, 29(5): 2551-2559.
- [10] 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.
- [12] 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.
- [15] 武术, 林先贵, 尹睿, 胡君利, 毛婷婷, 冯有智, 朱建国. 大气 CO₂ 浓度升高对添加麦秸条件下稻田土壤酶活性的影响. *生态与农村环境学报*, 2008, 24(4): 32-36.
- [16] 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.
- [17] 樊军, 郝明德. 旱地黑垆土剖面酶活性分布特征与生育期变化. *土壤通报*, 2003, 34(5): 444-447.
- [18] 王才斌, 万书波. *花生生理生态学*. 北京: 中国农业出版社, 2011.
- [19] 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.
- [20] 骆亦其, 周旭辉. *土壤呼吸与环境*. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [21] 关松荫. *土壤酶及其研究法*. 北京: 农业出版社, 1986: 62-142.
- [22] 杨合法, 解永丽, 范聚芳, 李季. 不同施肥对保护地土壤肥力及作物产量的影响. *土壤肥科学*, 2006, 22(9): 250-254.
- [23] 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.
- [24] 孙瑞莲, 朱鲁生, 赵秉强, 周启星, 徐晶, 张夫道. 长期施肥对土壤微生物的影响及其在养分调控中的作用. *应用生态学报*, 2004, 15(10): 1907-1910.
- [25] 谷岩, 吴春胜, 王振民, 何文安, 刘吉利, 陈喜凤. 不同施肥处理对大豆根际土壤微生物和酶活性的影响. *大豆科学*, 2010, 29(6): 1008-1011.
- [28] 焦晓光, 隋跃宇, 魏丹, 刘真可, 黄金花. 长期施肥对农田黑土酶活性及土壤肥力的影响. *农业系统科学与综合研究*, 2010, 26(4): 443-447.
- [29] 李娟, 赵秉强, 李秀英, So H B. 长期不同施肥条件下土壤微生物量及土壤酶活性的季节变化特征. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15(5): 1093-1099.
- [30] 乔云发, 苗淑杰, 王树起, 韩晓增, 李海波. 不同施肥处理对黑土土壤呼吸的影响. *土壤学报*, 2007, 44(6): 1028-1035.
- [31] 林先贵. *土壤微生物研究原理与方法*. 北京: 高等教育出版社, 2010.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 4 February, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Concepts, processes and quantification methods of the forest water conservation at the multiple scales WANG Xiaoxue, SHEN Huitao, LI Xuyong, et al (1019)
- Advances in the study of stable isotope composition of leaf water in plants LUO Lun, YU Wusheng, WAN Shimin, et al (1031)
- Eco-environmental effects of urban landscape pattern changes: progresses, problems, and perspectives CHEN Liding, SUN Ranhao, LIU Hailian (1042)
- An overview of advances in distributional pattern of urban biodiversity MAO Qizheng, MA Keming, WU Jianguo, et al (1051)
- Ecological compensation boosted ecological protection and human well-being improvement LI Huimei, ZHANG Anlu (1065)

Autecology & Fundamentals

- Effects of indigenous AM fungi and neighboring plants on the growth and phosphorus nutrition of *Leymus chinensis* LEI Yao, HAO Zhipeng, CHEN Baodong (1071)
- Influences of AM fungi on plant growth and water-stable soil aggregates under drought stresses YE Jiashu, LI Tao, HU Yajun, et al (1080)
- The effect of transgenic cucumber with double strands RNA of *mapk* on diversity of rhizosphere bacteria CHEN Guohua, MI Baobin, LI Ying, et al (1091)
- The ambient ozone pollution and foliar injury of the sensitive woody plants in Beijing exurban region WAN Wuxing, XIA Yajun, ZHANG Hongxing, et al (1098)
- Diversity and plant growth-promoting potential of culturable endophytic bacteria isolated from the leaves of *Atractylodes lancea* ZHOU Jiayu, JIA Yong, WANG Hongwei, et al (1106)
- Effects of the low temperature treatment on egg maturation and its numerical dynamics in the parasitoid *Pteromalus puparum* (Hymenoptera: Pteromalidae) XIA Shiyang, MENG Ling, LI Baoping (1118)
- Circadian rhythm of calling behavior and sexual pheromone production and release of the female *Zeuzera leuconotum* Butler (Lepidoptera: Cossidae) LIU Jinlong, JING Xiaoyuan, YANG Meihong, et al (1126)
- Influence of fluoride on activity of carboxylesterase and esterase in hemolymph of *Bombyx mori* MI Zhi, RUAN Chenglong, LI Jiaorong, et al (1134)
- Effects of water temperature on the embryonic development, survival and development period of larvae of ridgetail white prawn (*Exopalaemon carinicauda*) reared in the laboratory LIANG Junping, LI Jian, LI Jitao, et al (1142)

Population, Community and Ecosystem

- Diversity of ecosystem services and landscape multi-functionality: from scientific concepts to integrative assessment LÜ Yihe, MA Zhimin, FU Bojie, et al (1153)
- Research on estimating wetland vegetation abundance based on spectral mixture analysis with different endmember model: a case study in Wild Duck Lake wetland, Beijing CUI Tianxiang, GONG Zhaoning, ZHAO Wenji, et al (1160)
- Identifying typical plant ecological types based on spectral characteristic variables: a case study in Wild Duck Lake wetland, Beijing LIN Chuan, GONG Zhaoning, ZHAO Wenji, et al (1172)
- Responses of phytoplankton community to the construction of small hydropower stations in Hainan Province LIN Zhangwen, LIN Sheng, GU Jiguang, et al (1186)
- Diurnal variation of water quality around *Potamogeton crispus* population WANG Jinqi, ZHENG Youfei, WANG Guoxiang (1195)
- Effects of three forest restoration approaches on plant diversity in red soil region, southern China WANG Yun, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (1204)
- Dynamics of soil physical-chemical properties and organic carbon content along a restoration chronosequence in *Pinus tabulaeformis* plantations HU Huifeng, LIU Guohua (1212)
- Probability models of forest fire risk based on ecology factors in different vegetation regions over China LI Xiaowei, ZHAO Gang, YU Xiubo, et al (1219)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Landscape ecological security dynamics in a fast growing urban district: the case of Dongguan City YANG Qingsheng, QIAO Jigang, AI Bin (1230)
- The difference between exergy and biodiversity in ecosystem health assessment: a case study of Jiangsu coastal zone TANG Dehao, ZOU Xinqing, LIU Xingjian (1240)
- Impacts of drying-wetting cycles on CO₂ and N₂O emissions from soils in different ecosystems OUYANG Yang, LI Xuyong (1251)
- Evaluation of low-carbon competitiveness in Western China JIN Xiaoqin, DU Shouhu (1260)
- Flood return period analysis of the Bayi Reservoir Watershed based on HEC-HMS Model ZHENG Peng, LIN Yun, PAN Wenbin, et al (1268)
- Simulation of rainfall interception process of primary korean pine forest in Xiaoxing'an Mountains by using the modified Gash model CHAI Rushan, CAI Tiju, MAN Xiuling, et al (1276)
- Characteristics of tree-ring chronology of *Pinus koraiensis* and its relationship with climate factors on the northern slope of Changbai Mountain CHEN Lie, GAO Lushuang, ZHANG Yun, et al (1285)

Resource and Industrial Ecology

- Nitrogen flows in "crop -edible mushroom" production systems in Hexi Corridor Oasis Irrigation Area LI Ruiqin, YU Anfen, ZHAO Youbiao, et al (1292)
- Effects of fertilization on soil fertility indices and yield of dry-land peanut WANG Caibin, ZHENG Yaping, LIANG Xiaoyan, et al (1300)
- Effect of tillage and residue management on dynamic of soil microbial biomass carbon PANG Xu, HE Wenqing, YAN Changrong, et al (1308)
- Evaluation of eco-security of cultivated land requisition-compensation balance based on improved set pair analysis SHI Kaifang, DIAO Chengtai, SUN Xiufeng, et al (1317)

Opinions

- Methodology for measuring forestry ecological security based on ecology-industry symbiosis: a research framework ZHANG Zhiguang (1326)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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 33 卷 第 4 期 (2013 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 4 (February, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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:100717	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 90.00 元