

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第10期 Vol.31 No.10 **2011**

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 31 卷 第 10 期

2011 年 5 月 (半月刊)

目 次

大熊猫取食竹笋期间的昼夜活动节律和强度·····	张晋东, Vanessa HULL, 黄金燕, 等 (2655)
高枝假木贼的胎生萌发特性及其生态适应·····	韩建欣, 魏 岩, 严 成, 等 (2662)
准噶尔盆地典型地段植物群落及其与环境因子的关系 ·····	赵从举, 康慕谊, 雷加强 (2669)
喀斯特山地典型植被恢复过程中表土孢粉与植被的关系·····	郝秀东, 欧阳绪红, 谢世友, 等 (2678)
青藏高原高寒草甸土壤 CO ₂ 排放对模拟氮沉降的早期响应·····	朱天鸿, 程淑兰, 方华军, 等 (2687)
毛乌素沙地南缘沙漠化临界区域土壤水分和植被空间格局·····	邱开阳, 谢应忠, 许冬梅, 等 (2697)
雪灾后粤北山地常绿阔叶林优势树种幼苗更新动态·····	区余端, 苏志尧, 解丹丹, 等 (2708)
四川盆地四种柏木林分类型的水文效应·····	龚固堂, 陈俊华, 黎燕琼, 等 (2716)
平茬对半干旱黄土丘陵区柠条林地土壤水分的影响·····	李耀林, 郭忠升 (2727)
连栽杉木林林下植被生物量动态格局·····	杨 超, 田大伦, 胡日利, 等 (2737)
近 48a 华北区太阳辐射量时空格局的变化特征·····	杨建堂, 刘 勤, 严昌荣, 等 (2748)
中型景观尺度下杨树人工林林分特征对树干病害发生的影响——以河南省清丰县为例·····	王 静, 崔令军, 梁 军, 等 (2757)
耕作措施对冬小麦田杂草生物多样性及产量的影响·····	田欣欣, 薄存瑶, 李 丽, 等 (2768)
官山保护区白颈长尾雉栖息地适宜性评价·····	陈俊豪, 黄晓凤, 鲁长虎, 等 (2776)
花椒园节肢动物群落特征与气象因子的关系·····	高 鑫, 张晓明, 杨 洁, 等 (2788)
沙漠前沿不同植被恢复模式的生态服务功能差异·····	周志强, 黎 明, 侯建国, 等 (2797)
大豆出苗期和苗期对盐胁迫的响应及耐盐指标评价·····	张海波, 崔继哲, 曹甜甜, 等 (2805)
不同耐盐植物根际土壤盐分的动态变化·····	董利苹, 曹 靖, 李先婷, 等 (2813)
短期 NaCl 胁迫对不同小麦品种幼苗 K ⁺ 吸收和 Na ⁺ 、K ⁺ 积累的影响 ·····	王晓冬, 王 成, 马智宏, 等 (2822)
套袋微域环境对富士苹果果皮结构的影响·····	郝燕燕, 赵旗峰, 刘群龙, 等 (2831)
畜禽粪便施用对稻麦轮作土壤质量的影响·····	李江涛, 钟晓兰, 赵其国 (2837)
土霉素胁迫下拟南芥基因组 DNA 甲基化的 MSAP 分析·····	杜亚琼, 王子成, 李 霞 (2846)
甲藻孢囊在长山群岛海域表层沉积物中的分布·····	邵魁双, 巩 宁, 杨 青, 等 (2854)
湖南省城市群生态网络构建与优化 ·····	尹海伟, 孔繁花, 祈 毅, 等 (2863)
基于多智能体与元胞自动机的上海城市扩展动态模拟 ·····	全 泉, 田光进, 沙默泉 (2875)
城市道路绿化带“微峡谷效应”及其对非机动车道污染物浓度的影响 ···	李 萍, 王 松, 王亚英, 等 (2888)
专论与综述	
北冰洋微型浮游生物分布及其多样性·····	郭超颖, 王桂忠, 张 芳, 等 (2897)
种子微生物生态学研究进展 ·····	邹媛媛, 刘 洋, 王建华, 等 (2906)
条件价值评估的有效性与可靠性改善——理论、方法与应用·····	蔡志坚, 杜丽永, 蒋 瞻 (2915)
问题讨论	
中国生态学期刊现状分析 ·····	刘天星, 孔红梅, 段 靖 (2924)
研究简报	
四季竹耐盐能力的季节性差异·····	顾大彤, 郭子武, 李迎春, 等 (2932)
新疆乌恰泉地震前后泉水细菌群落的变化·····	杨红梅, 欧提库尔·玛合木提, 曾 军, 等 (2940)
两种猎物对南方小花蝽种群增长的影响及其对二斑叶螨的控害潜能 ·····	黄增玉, 黄林茂, 黄寿山 (2947)
学术信息与动态	
全球变化下的国际水文学研究进展: 特点与启示 ——2011 年欧洲地球科学联合会会员大会述评·····	卫 伟, 陈利顶 (2953)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 302 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 34 * 2011-05



封面图说: 藏酋猴 (*Macaca thibetana*) 属猴科 (*Cercopithecidae*) 猕猴属 (*Macaca*) 又名四川短尾猴、大青猴, 为我国特有灵长类之一, 被列为国家二级保护野生动物; 近年来, 由于人类活动加剧, 栖息环境恶化, 导致藏酋猴种群数量和分布日趋缩小; 本照片摄于四川卧龙国家级自然保护区 (拍摄时间: 2010 年 3 月)。

彩图提供: 中国科学院生态环境研究中心张晋东博士 E-mail: zhangjd224@163.com

畜禽粪便施用对稻麦轮作土壤质量的影响

李江涛^{1,3,*}, 钟晓兰², 赵其国³

(1. 广州大学地理科学学院, 广州 510006; 2. 华南农业大学信息学院, 广州 510642;
3. 土壤与农业可持续发展国家重点实验室//中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘要:通过采集试验区长期施用鸡粪(PL)、猪粪(LM)和化肥(CF)的稻麦轮作耕层和犁底层土壤,分析了不同施肥处理土壤有机碳和养分含量、土壤物理结构特征、土壤生物学性质的差异,探讨了长期施用畜禽粪便对土壤质量的影响。研究结果显示,长期施用畜禽粪便耕层和犁底层土壤有机碳含量显著高于施用化肥处理($P<0.05$);与CF处理比较,PL和LM处理土壤氮、磷、钾全量和有效养分含量均明显增加,其中耕层土壤Olsen-P含量为施用化肥处理的7—8倍,速效钾含量比施用化肥土壤高89.2%—102.9%。施用畜禽粪便明显改善了土壤物理结构,其耕层土壤大孔隙体积、中孔隙体积和总孔隙度分别为CF处理土壤的1.48—1.70倍,1.35—1.75倍和1.07—1.11倍;土壤团聚体水稳定性显著增强,而土壤抗张强度显著降低。施用畜禽粪便土壤微生物和生化性质也明显高于施用化肥土壤,其中LM处理耕层土壤MBC和MBN最大,分别是CF处理土壤的2.1倍和1.5倍;施用畜禽粪便土壤脲酶和转化酶活性也分别为施用化肥土壤的3.5—6.7倍和1.6—2.1倍。相关分析显示,土壤有机碳含量与各肥力指标间均表现出极显著相关($P<0.01$)。研究结果说明,长期施用畜禽粪便土壤质量显著高于仅施化肥土壤。

关键词:鸡粪;猪粪;化肥;稻麦轮作;土壤质量

Enhancement of soil quality in a rice-wheat rotation after long-term application of poultry litter and livestock manure

LI Jiangtao^{1,3,*}, ZHONG Xiaolan², ZHAO Qiguo³

1 School of Geographical Sciences, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China

2 College of Informatics, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

3 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China

Abstract: With growth in the livestock and poultry farming industries, a large amount of animal excreta has been applied to agricultural soils as an organic fertilizer over the past 20 years. However, detrimental impacts of animal excreta applications on the quality of agricultural soils may occur, because the excreta can contain some harmful components, such as heavy metal and antibiotics. Soil quality, defined as “The capacity of soil to function”, can reflect the physical, chemical and biological response of the soil to field management practices. The aim of this study was to determine the differences in soil quality after long-term application of organic manures to a rice-wheat rotation field established in 1988 on a Gley paddy soil. Treatments included poultry litter (PL), livestock manure (LM) and chemical fertilizer (CF). Soils from the cultivated horizon (Ap) and plow pan (P) were collected from the long-term experimental site in Jiangsu Province, China, and soil organic carbon, nutrient content, pore structure properties, aggregate stability indexes and microbial and biochemical properties were determined. Our study showed that (1) The PL and LM treatments significantly increased soil organic carbon content, total and available N, P and K, more than in the CF treatment and both in the cultivated horizon and plow pan ($P<0.05$). The Olsen-P content in the cultivated horizon receiving the PL and LM treatments increased by 7—8 times compared with the soil receiving the chemical fertilizer application, and the soil available K doubled. (2) Soil physical

基金项目:中国科学院知识创新项目(KZCX3-SW-435);土壤与农业可持续发展国家重点实验室基金(Y052010035);广州大学新苗计划基金项目

收稿日期:2010-09-23; 修订日期:2011-02-28

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

properties also improved significantly with the long-term application of PL and LM. The PL and LM applications further increased the volumes of soil macropore and mesopore in the Ap horizon by 148%—170% and 135%—175% over those in the CF treatment, respectively, while the soil micropore volume in the PL and LM treatments was less. Compared with the CF treatment, PL and LM treatments decreased the tensile strength of the soil aggregates in the Ap and P layers by 33.7%—36.9% and 31.2%—34.0%, respectively. In addition, soil aggregate wet stability index, represented by normal mean weight diameter, was significantly greater in the PL and LM treatments than the CF in both Ap and P layers. (3) Long-term application of PL and LM significantly improved soil microbial and biochemical properties compared with CF. The soil microbial biomass C and N in the LM treatment was the highest among three treatments, being 2.1 and 1.5 times greater than in the CF treatment. Compared with the CF treatment, PL and LM applications increased the soil microbial quotient by 38.4%—54.8% and 20.1%—59.6%, respectively. Also, the soil basal respiration rate in the PL and LM treatment was 42—138 mg/g, 2.0—3.0 times greater than in the CF treatment. Application of organic manures also changed soil enzyme activities. The urease and intercase activities of the soils receiving the PL and LM treatments were 1.0—2.8 mg/g, and 17.3—33.3 mg/g, 3.5—6.7 and 1.6—2.1 times higher than those of the soil receiving the CF. This study suggests that the long-term application of poultry litter and livestock manure can improve the soil quality in a rice-wheat system, more so than using only chemical fertilizer. A higher organic matter content and a lower amount of harmful substances in the poultry litter and livestock manure may be the reason why it had such a positive impact on soil quality.

Key Words: poultry litter; livestock manure; chemical fertilizer; rice-wheat rotation system; soil quality

近年来,市场对畜禽产品的高需求量促进了我国畜禽养殖业快速发展,同时也使得我国畜禽粪便产生量相应地增加。据估算,2003 年我国畜禽粪便产生量约为 22.1 亿 t,占农业有机废弃物资源的 40% 以上^[1]。大量的畜禽粪便对我国环境造成了严重威胁。自 20 世纪 60 年代以来,我国农田化肥投入量逐年增加。2007 年我国化肥总用量为 5109 万 t,平均每公顷化肥施用量达 379.5 kg,明显高于世界平均水平。尽管化肥施用在保证我国粮食安全方面起到了重要作用,但化肥用量不断增加所引发的非点源污染和土壤质量退化问题受到广泛关注。畜禽粪便农用是实现畜禽粪便资源化的直接途径,也是一种促进农牧良性循环、维持生态平衡的有效措施,对于减少化肥用量、降低农业环境压力等方面具有重要意义。

许多研究表明,施用有机肥能够增加土壤有机质含量,改善土壤物理、化学和生物等性质^[2-9]。但大多数研究是以农家肥、绿肥等有机肥为研究对象,且均以不施肥为对照。有研究表明,畜禽粪便不同于传统有机肥,其中含有重金属、兽药、激素、病原微生物等有害污染物^[10]。而以不施肥为对照的研究结果对于畜禽粪便农用缺乏实际指导意义。目前,有关畜禽粪便报道大多数集中在畜禽粪便对环境的污染等方面,有关其农用户对土壤质量影响报道较少^[11]。

本文选择全国畜禽养殖大县——江苏省海安县里下河冲积母质发育土壤上长期施用鸡粪、猪粪和化肥的稻麦轮作土壤作为供试土壤,以施用化肥土壤为对照,探讨长期施用畜禽粪便对土壤质量指标的影响,为进一步理解畜禽粪便对土壤质量影响及其农用价值提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 样地概况和样品采集

江苏省海安县位于经济高度发达的长江三角洲,属于北亚热带海洋季风性湿润气候区,年平均气温 14.5℃,最高气温 39.7℃,最低气温 -12℃;年均降雨量 1025 mm,无霜期 220d 左右。2002 年以来,海安县饲养和售出鸡总量位于全国县级前列,已经成为江苏省乃至全国的养禽大县。另外,猪、羊等养殖业也有较大规模的增长。畜禽养殖业发展和养殖规模扩大,使得该县畜禽粪便产量巨大,其中鲜鸡粪年生产量达 80 万 t 以上。

试验区位于海安县海安镇,始于 1988 年,试验区共设 3 个处理:PL(鸡粪)、LM(猪粪)和 CF(化肥)。小区面积为 37.5 m²,重复 3 次。畜禽粪便处理以施用新鲜畜禽粪便为主,并辅以适当尿素。其中鸡粪为规模化

养殖的 1—15 d 的鲜鸡粪, 小麦和水稻施用量分别为 21 t/hm^2 (含水量约 54%, N、P、K 含量分别约为 8.98 g/kg, 9.83 g/kg 和 5.34 g/kg); 猪粪为规模化养殖的鲜猪粪, 小麦和水稻施用量分别为 21 t/hm^2 (含水量约 60%, N、P、K 含量分别约为 9.18 g/kg, 7.89 g/kg 和 4.02 g/kg); 新鲜畜禽粪便于翻耕前 2d 撒施, 随翻耕拌入土壤, 尿素分别在水稻和小麦分蘖和拔节孕穗期撒施, 分蘖肥和穗肥比例为 2:3, 年施用量分别为 45 kg/hm^2 。化肥处理氮、磷、钾化肥品种分别为尿素、钙镁磷肥和氯化钾, 小麦和水稻生育期内 N、 P_2O_5 、 K_2O 施用量分别为: 150、60、90 kg/hm^2 。其中氮肥的基肥、分蘖肥和穗肥比例为 2:1:2; 磷肥以基肥形式一次施入; 钾肥 50% 做基肥, 50% 做穗肥; 施肥方式均以撒施。

2006 年 5 月采用环刀分别采集长期各施肥处理耕层 (0—15 cm) 和犁底层 (15—25 cm) 原状土壤样品, 用于测定土壤总孔隙度、土壤孔隙结构分布、土壤贮水性能和饱和导水率, 其中土壤总孔隙度和饱和导水率 3 次重复, 其余 4 次重复。同时采用多点 (15—20 点) S 型采样方法分别采集耕作层和犁底层土壤, 用于测定土壤的基本理化性质和生物学性质, 3 次重复。土壤母质为河相冲积母质, 土壤质地为砂壤土。

1.2 测定方法

土壤总有机碳 (soil organic carbon, SOC)、土壤全氮 (Total N)、全磷 (Total P)、全钾 (Total K)、速效氮 (Available N)、有效磷 (Olsen-P)、速效钾 (Available K)、pH 值、电导率 (Electrical conductivity, EC)、阳离子交换量 (CEC) 等采用《土壤农业化学分析》常规分析方法测定^[12]。土壤总孔隙度采用环刀法测定^[12]。土壤孔隙分布采用压力膜仪测定, 根据 Kay^[13] 孔隙分类方法, 将孔径 $> 30 \mu\text{m}$ 的土壤孔隙称为大孔隙, 孔径为 $0.5—30 \mu\text{m}$ 的土壤孔隙称为中孔隙, 孔径 $< 0.5 \mu\text{m}$ 的土壤孔隙称为细孔隙。土壤颗粒组成采用激光粒度仪 (Mastersizer 2000) 测定。

土壤微生物生物量碳 (microbial biomass carbon, MBC) 和微生物生物量氮 (microbial biomass nitrogen, MBN) 的测定采用氯仿熏蒸-硫酸钾浸提法测定^[12]。土壤基础呼吸速率 (soil basal respiration rate, BR) 采用恒温密封条件培养碱液吸收法测定^[12]。采用关崧荫法^[14]测定土壤脲酶和转化酶活性。

1.3 数据处理

数据处理、统计分析用 Excel 2003 和 SPSS13.0 软件进行, 不同处理间的差异显著性水平采用 LSD 法进行检验, 图形采用 Origin 7.5 绘制。

2 结果与分析

2.1 畜禽粪便对土壤肥力的影响

表 1 可知, 长期施用畜禽粪便耕层和犁底层土壤 pH、CEC 和 EC 均显著高于施用化肥处理 ($P < 0.05$)。长期施用鸡粪和猪粪处理土壤有机碳含量分别为施用化肥处理的 1.10—1.23 倍和 1.23—1.32 倍, 其中施用猪粪处理耕层土壤有机碳含量最高, 比施用化肥处理提高了 31.74%。可见, 施用畜禽粪便有利于土壤有机碳的累积, 从而增加农业土壤有机碳储量。

施用畜禽粪便有效地增加了土壤氮、磷、钾全量和有效养分含量。与施化肥比较, 施用鸡粪和猪粪耕层土壤 TN、TP、TK 含量分别提高了 24.83%、61.76%、7.00% 和 33.10%、39.71%、5.36%。施用鸡粪和猪粪处理土壤有效氮、有效磷、速效钾含量分别为施用化肥土壤 1.35、7.90、2.03 倍和 1.64、6.99、1.17 倍 (表 1)。

2.2 畜禽粪便对土壤物理结构的影响

2.2.1 土壤孔隙结构

土壤孔隙结构是反映土壤质量的重要指标。良好地孔隙结构状况对土壤水分和养分保持、土壤肥力提升、微生物多样性的保护等有着非常重要作用。图 1 显示, 施用畜禽粪便和化肥土壤孔隙分布和总孔隙度均有明显的差异。与施用化肥比较, 施用鸡粪和猪粪均显著提高耕层土壤大孔隙和中孔隙的比例, 降低土壤细孔隙比例。其中施用猪粪处理大孔隙和中孔隙的比例分别是施用化肥处理 1.70 倍和 1.75 倍。与施用化肥比较, 施用畜禽粪便降低了犁底层土壤中孔隙比例, 但提高了土壤细孔隙比例。这与长期施用畜禽粪便增强了耕层土壤粘粒向犁底层的迁移有关。由图 1 可知, 施用鸡粪和猪粪处理土壤总孔隙度均显著高于施用化肥

土壤。土壤有机碳、土壤总孔隙度与土壤大孔隙和中孔隙比例间有极显著相关关系($P<0.05$),而与土壤细孔隙比例间没有相关性(表3),表明施用畜禽粪便主要是通过提高土壤有机碳含量来提高土壤大孔隙和中孔隙的比例,最终提高土壤总孔隙度。

表 1 长期施用畜禽粪便和化肥土壤有机碳和养分含量

Table 1 Organic carbon and nutrient contents in soil with long-term application of poultry litter, livestock manure and chemical fertilizer						
施肥处理 Treatment		pH (H ₂ O)	阳离子交换量 CEC/(cmol/kg)	电导率 EC/(μs/cm)	有机碳 SOC/(g/kg)	全氮 Total N/(g/kg)
耕层 Ap horizon	PL	7.34 a	11.56 a	272.67 a	17.76 b	1.81 b
	LM	6.85 b	11.87 a	294.83 a	18.97 a	1.93 a
	CF	6.24 c	10.24 b	227.93 b	14.40 c	1.45 c
犁底层 Plow pan	PL	7.51 a	10.12 a	165.27 ab	9.46 b	0.92 b
	LM	7.25 b	10.35 a	181.80 a	10.57 a	1.16 a
	CF	6.87 c	9.80 b	141.33 b	8.57 c	0.93 b
施肥处理 treatment		有效氮 Available-N/(mg/kg)	全磷 Total P/(g/kg)	有效磷 Olsen-P/(mg/kg)	全钾 Total K/(g/kg)	速效钾 Available-K/(mg/kg)
耕层 Ap horizon	PL	82.08 b	1.10 a	53.16 a	18.18 a	230.10 a
	LM	99.82 a	0.95 b	47.01 b	17.90 b	133.06 b
	CF	60.98 c	0.68 c	6.73 c	16.99 c	113.40 c
犁底层 Plow pan	PL	39.31 b	0.70 a	7.06 b	17.67 a	153.00 a
	LM	46.79 a	0.65 ab	9.27 a	16.92 b	96.94 b
	CF	31.95 c	0.62 b	3.59 c	15.99 c	80.86 c

PL: 鸡粪;LM: 猪粪;CF: NPK 化肥;CEC: cation exchange capacity; EC: electrical conductivity; SOC: soil organic carbon; 不同小写字母表示同一土壤层次不同施肥处理在 $P<0.05$ 水平上差异显著性

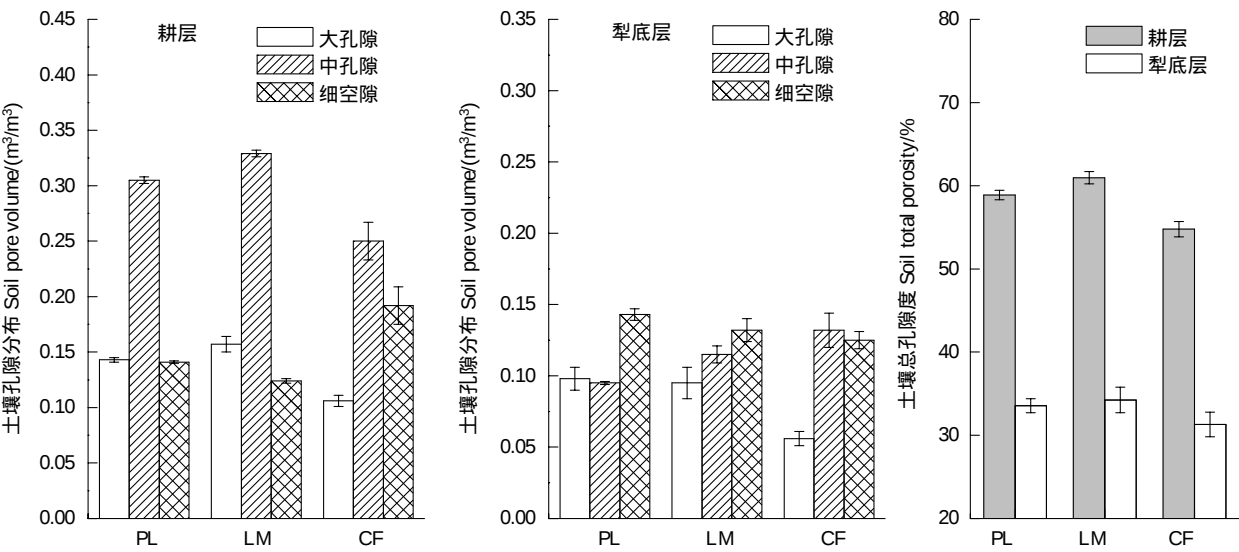


图 1 长期施用畜禽粪便和化肥对土壤孔隙分布和总孔隙度的影响

Fig. 1 Effects of poultry litter, livestock manure and chemical fertilizer on soil pore size distribution and soil total porosity

2.2.2 土壤团聚体稳定性

土壤团聚体稳定性是指土壤团聚体对外力的抗阻能力^[15],包括团聚体机械稳定性和水稳定性^[5]。抗张强度和标准平均重量直径(NMWD)分别是反映土壤团聚体机械稳定性和水稳定性的重要指标。由图2可知,施用畜禽粪便耕层和犁底层土壤团聚体抗张强度显著低于施用化肥土壤,分别降低了33.70%—36.92%和31.19%—34.03%。相关分析(表3)结果显示,土壤抗张强度与土壤总孔隙度和土壤有机碳呈极显著地负

相关,说明畜禽粪便主要是通过改变土壤孔隙状况和有机碳来影响土壤机械稳定性。与施用化肥比较,施用鸡粪和猪粪显著提高了土壤团聚体水稳定性指数 NMWD(图 2)。土壤有机碳与 NMWD 间极显著地($r = 0.80$, $P < 0.01$)正相关关系(表 3),表明土壤有机碳在保持土壤团聚体水稳定性方面起着重要作用。

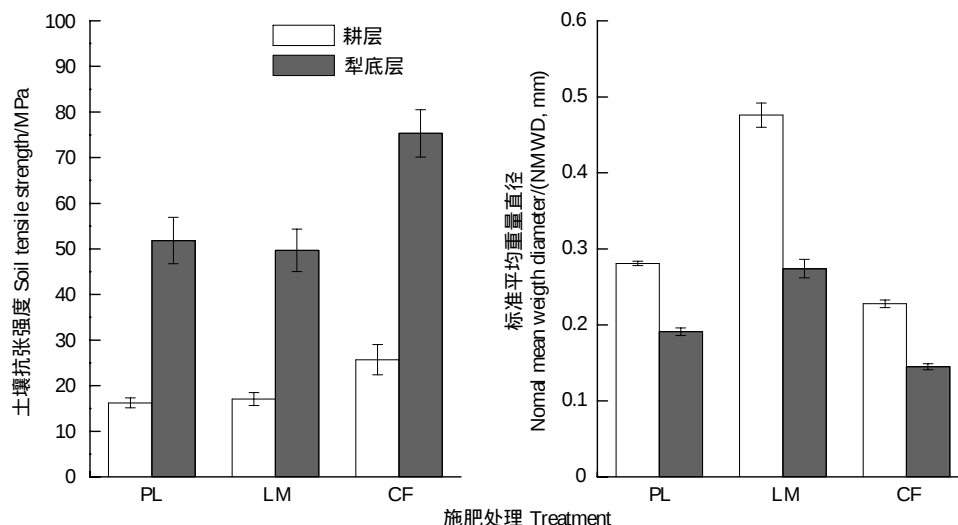


图 2 长期施用畜禽粪便和化肥对土壤团聚体抗张强度和水稳定性的影响

Fig. 2 Effects of poultry litter, livestock manure and chemical fertilizer on tensile strength and wet stability of soil aggregate

2.3 畜禽粪便对土壤微生物生物量、活性和酶活性的影响

生物学性状是土壤质量重要指标,能够敏感地反映农业管理措施对土壤质量的影响。表 2 显示了长期施用畜禽粪便和化肥土壤耕作层和犁底层微生物生物量、活性及酶活性的差异。与施化肥相比,施用畜禽粪便显著提高了土壤微生物生物量。其中,施用猪粪处理耕层土壤 MBC 和 MBN 分别是施用化肥土壤的 2.1 倍和 1.5 倍(表 2)。表 2 可知,施用畜禽粪便和施用化肥处理土壤微生物量碳氮比有明显差异。土壤 MBC/MBN 可反映微生物群落结构信息,其变化预示着土壤微生物群落结构的改变^[16]。这表明,长期施用畜禽粪便和化肥导致土壤微生物群落结构的改变。

表 2 长期施用畜禽粪便和化肥对土壤微生物生物量、生物活性和酶活性的影响

Table 2 Effects of poultry litter, livestock manure and chemical fertilizer on soil microbial biomass, microbial activities and enzyme activities

施肥处理 treatments		微生物量碳 MBC /(mg/kg)	微生物量氮 MBN /(mg/kg)	微生物量 碳/氮 MBC/MBN	微生物熵 SMQ /%	基础呼吸速率 BR /(mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹)	脲酶活性 UA /(mg·g ⁻¹ ·(24h) ⁻¹)	转化酶活性 IA /(mg·g ⁻¹ ·(24h) ⁻¹)
耕层 Ap horizon	PL	1209.0 b	84.66b	14.29a	6.81 b	105.25 b	2.80 a	25.28 b
	LM	1331.9 a	107.35 a	12.41 b	7.02 a	137.96 a	2.57 b	33.31 a
	CF	633.9 c	49.01 c	12.94 b	4.40 c	53.33 c	0.42 c	15.32 c
犁底层 Plow pan	PL	422.6 a	36.69 a	11.54 b	4.47 a	55.42 a	1.00 a	17.26 b
	LM	409.8 b	31.11 b	13.25 a	3.88 b	42.10 b	1.02 a	22.28 a
	CF	276.6 c	23.21 c	11.94 b	3.23 c	17.67 c	0.28 b	10.60 c

MBC: microbial biomass carbon; MBN: microbial biomass nitrogen; SMQ: soil metabolic quotient; BR: soil basal respiration rate; UA: urease activities; IA: intercase activities

土壤微生物活性由土壤微生物熵(SMQ)和土壤基础呼吸速率(BR)表示,其中 SMQ 为土壤 MBC 与 SOC 的比值。表 2 可知,施用鸡粪和猪粪土壤 SMQ 值显著高于施用化肥土壤,分别提高了 38.39%—54.77% 和 20.12%—59.56%;施用鸡粪和猪粪土壤 BR 值也分别为施用化肥处理的 1.97—3.14 倍和 2.38—2.59 倍。这说明施用畜禽粪便有助于保持或提高土壤微生物活性。

表3 土壤质量指标间的相关关系

Table 3 Linear correlation coefficient matrix between soil quality indicators

相关系数 Correlation coefficient	全氮 Total N	有效氮 Available N	全磷 Total P	有效磷 Olsen-P	全钾 Total K	有效钾 Available K	土壤总孔隙度 TP	大孔隙比例 mac-P	中孔隙比例 mes-P	小孔隙比例 mic-P	土壤抗张强度 TS	团聚体稳定性 NMWD	脲酶活性 UA	转化酶活性 IA	微生物量碳 MBC	微生物量氮 MBN	基础呼吸速率 BR	土壤微生物商 SMQ
有效氮 Available N	0.98**																	
全磷 Total P	0.84**	0.83**																
有效磷 Olsen-P	0.89**	0.89**	0.96**															
全钾 Total K	0.27	0.23	0.24	0.15														
有效钾 Available K	0.54*	0.52*	0.84**	0.74**	0.46													
土壤总孔隙度 TP	0.96**	0.93**	0.76**	0.79**	0.31	0.54*												
大孔隙比例 mac-P	0.87**	0.90**	0.75**	0.82**	0.35	0.60**	0.87**											
中孔隙比例 mes-P	0.95**	0.92**	0.78**	0.82**	0.18	0.50	0.97**	0.80**										
小孔隙比例 mic-P	0.02	-0.05	-0.15	-0.25	0.43	0.03	0.19	-0.03	0.01									
土壤抗张强度 TS	-0.86**	-0.83**	-0.69**	-0.72**	-0.50*	-0.60**	-0.90**	-0.91**	-0.81**	-0.24								
团聚体稳定性 NMWD	0.81**	0.88**	0.59**	0.73**	0.09	0.22	0.70**	0.83**	0.70v	-0.24	-0.68**							
脲酶活性 UA	0.96**	0.98**	0.91**	0.96**	0.19	0.65**	0.92**	0.91**	0.92**	-0.10	-0.84**	0.82**						
转化酶活性 IA	0.95**	0.98**	0.87**	0.92**	0.13	0.58**	0.90**	0.91**	0.90**	-0.12	-0.81**	0.86**	0.99**					
微生物量碳 MBC	0.90**	0.96**	0.86**	0.91**	0.20	0.61**	0.84**	0.92**	0.82**	-0.15	-0.79**	0.88**	0.97**	0.98**				
微生物量氮 MBN	0.90**	0.93**	0.92**	0.96**	0.22	0.74**	0.86**	0.92**	0.84**	-0.13	-0.83**	0.79**	0.98**	0.97**	0.97**			
基础呼吸速率 BR	0.82**	0.85**	0.94**	0.97**	0.21	0.76**	0.70**	0.84**	0.71**	-0.30	-0.70**	0.75**	0.91**	0.89**	0.91**	0.95**		
土壤微生物商 SMQ	0.81**	0.88**	0.73**	0.83**	0.24	0.44	0.67**	0.85**	0.65**	-0.30	-0.69**	0.94**	0.85**	0.87**	0.92**	0.86**	0.88**	
土壤有机碳 SOC	0.99**	0.98**	0.84**	0.89**	0.29	0.58**	0.97**	0.89**	0.96**	0.07	-0.88**	0.80**	0.97**	0.96**	0.92**	0.92**	0.82**	0.80**

*, **, * 分别表示 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 下的显著性水平; TP: Total porosity; mac-P: macropore; mes-P: mesopore; mic-P: micropore; TS: tensile strength; NMWD: normal mean weight diameter; UA: urease activities; IA: intercase activities; MBC: microbial biomass carbon; MBN: microbial biomass nitrogen; BR: soil basal respiration rate; SMQ: soil metabolic quotient; SOC: soil organic carbon

土壤酶活性反映着土壤生物的生物化学过程强弱,广泛用于评价土壤管理对土壤质量的影响。其中脲酶主要参与尿素的分解^[7],转化酶主要参与土壤中糖类物质的水解过程^[17]。表2显示,施用畜禽粪便土壤脲酶和转化酶活性均显著高于施用化肥处理($P<0.05$)。其中施用畜禽粪便土壤脲酶活性为施化肥土壤的3.5—6.7倍,而土壤转化酶活性比施用化肥土壤提高了62.9%—117.4%。相关分析结果(表3)显示,脲酶和转化酶活性与土壤有机碳及土壤微生物生物量间有极显著相关关系。

3 讨论

3.1 对土壤肥力影响

长期施用集约化养殖的畜禽粪便土壤有机碳含量和氮磷钾养分含量均显著高于施用化肥土壤,与大多数研究长期施用传统有机肥对土壤肥力影响的结果相似^[18]。可见,集约化养殖的畜禽粪便与传统有机肥一样具有提高农业土壤肥力的作用。从系统角度看,土壤有机碳含量变化取决于土壤生态系统有机物质的输入与输出^[19],当有机物质输入量大于有机质矿化量时,表现为有机质累积,反之则为土壤有机质耗散。本试验中,施用畜禽粪便处理土壤有机碳含量显著高于施用化肥处理的主要与施用畜禽粪便处理长期大量外源有机物(每年约42 t/hm²新鲜畜禽粪便)输入有关。

本试验中,施用鸡粪和猪粪处理年施N总量分别约为264 kg/hm²和244 kg/hm²;而施用化肥处理年施N总量分别为300 kg/hm²,高于施用畜禽粪便土壤。然而土壤全氮和有效氮测定结果均显示施用畜禽粪便土壤显著高于施用化肥土壤。可能的原因有:(1)化肥氮在土壤中容易通过硝化-反硝化作用以及氨挥发等途径损失,即使过量施用化肥氮,土壤中也不会有大量氮素累积^[18];(2)施用畜禽粪便有利于土壤团聚作用,从而延长了土壤中有机氮保存时间;(3)畜禽粪便的C/N比较高,需要更多的无机氮来转化和降解其中的有机物,从而降低了其中土壤氮素的损失率。施用畜禽粪便土壤全磷、全钾含量显著高于施用化肥土壤,主要与畜禽粪便中磷和钾折合含量高于施用化肥量有关;另外,土壤有机质对磷、钾的吸附或固定作用也是一个原因。而施用畜禽粪便土壤有效养分含量高于施用化肥土壤的主要原因,则与施用畜禽粪便增加了全量养分含量、提高了土壤微生物活性、控制着净矿化-固定模式等有密切关系^[20]。

3.2 对土壤物理结构影响

土壤孔隙结构在土壤系统水热传递功能实现过程中发挥着重要作用,是评价土壤质量的主要指标,对农业土壤田间管理措施反映较为敏感。本试验研究结果显示,施用畜禽粪便耕层土壤总孔隙度、大孔隙和中孔隙比例均明显高于施用化肥处理,表明畜禽粪便农用在一定程度上有助于土壤孔隙结构的改善。与Rose^[21]和Rasool等^[22]报道在农业土壤上长期连续施用传统农家肥,土壤总孔隙度显著高于施用化肥土壤的结果一致。Haynes和Naidu认为土壤有机质含量显著增加是土壤孔隙度提高的主要原因^[23]。本试验中土壤有机碳含量与土壤总孔隙度、土壤大孔隙和中孔隙比例间极显著地相关性结果,进一步说明了施用畜禽粪便能够通过提高土壤有机碳含量来改善土壤孔隙结构的作用。但有机物质加入所产生的稀释作用^[23]、有机物质腐解过程中大孔隙的形成^[24],以及畜禽粪便添加导致土壤生物活性和土壤团聚作用增强^[25]等对施用畜禽粪便土壤孔隙结构的改善同样起着重要作用。

土壤团聚体稳定性常用于表征不同管理措施下的土壤质量的变化^[26]。已有研究表明,相对于施用化肥而言,长期施用传统有机肥能显著增强土壤团聚体水稳定性和机械稳定性^[5,27]。本试验研究结果显示,施用畜禽粪便处理土壤团聚体水稳定性指数NMWD明显高于施用化肥土壤,而土壤团聚抗张强度则恰好相反,说明施用集约化养殖的畜禽粪便也有助于增强土壤团聚体稳定性。这主要与施用畜禽粪便能够显著提高了土壤有机质含量,从而改变土壤孔隙结构、土壤矿物颗粒间的胶结作用、土壤湿润速率及微生物性质等有关^[28-30]。土壤团聚体稳定性指数与土壤有机碳,以及土壤有机碳与土壤孔隙度、孔隙分布及土壤微生物生物量和活性等指标间极显著相关关系,进一步证实了他们间的相互作用关系。

3.3 对土壤微生物和酶活性影响

土壤微生物在植物有效养分产生过程中起着关键的作用,其生物量和活性有助于土壤生态系统结构稳定

和功能发挥^[31]。尽管新鲜畜禽粪便中含量重金属、兽药、激素、致病微生物等有害污染物^[10],但本研究结果显示,施用畜禽粪便土壤微生物生物量和活性依然高于施用化肥处理。说明,畜禽粪便中的有害物质对土壤微生物群落没有产生明显毒害作用。但含有有害污染物的畜禽粪便大量长期施用是否改变了土壤微生物群落结构和功能,还有待进一步深入研究。

土壤脲酶主要参与尿素的水解过程。但本试验中,高量施用尿素的化肥处理脲酶活性反而显著低于施用畜禽粪便处理。与 Chang 等^[32]、Chakrabarti 等^[33]和 Pascual 等^[34]以堆肥和农家肥等有机肥为研究对象的结果相似。产生这一结果的可能原因有:(1)采样时间为小麦收获季节,大多数施入土壤中的尿素可能早已水解;(2)有机质对脲酶有稳定作用;(3)土壤微生物的促进作用^[35]等。

综合分析表明,与施用化肥比较,畜禽粪便农用能够改善土壤肥力、物理结构及生物学等性质,有助于土壤质量的提高。另外,2006 年施用鸡粪、猪粪和化肥处理小麦和水稻年产量分别为:12.80、13.58、12.38 t/hm²,说明施用畜禽粪便并辅以少量氮肥也有一定的增产作用。因此,应该加大畜禽粪便的农用推广力度,增加畜禽粪便施用面积。这样既有利于减轻畜禽养殖业规模化和集约化带来的环境压力,也可以减少工业化肥的用量,减轻由此带来的环境压力。但在推广畜禽粪便农用的同时,还应加强相关的风险管理。

4 结论

与施用化肥比较,长期施用畜禽粪便显著提高了土壤有机碳含量、氮、磷和钾等全量和有效养分含量;增高了土壤总孔隙度,土壤孔隙结构、土壤团聚体水稳定性和土壤机械稳定性有明显改善;土壤微生物生物量和活性,土壤脲酶和转化酶活性也显著高于施用化肥土壤。总之,施用畜禽粪便促进了土壤质量的提升。

References:

- [1] Huang H X, Li S T, Li X L, Yao J, Cao W D, Wang M, Liu R L. Analysis on the status of organic fertilizer and its development strategies in China. *Soils and Fertilizers*, 2006, (1): 3-8.
- [2] Edmeades D C. The long-term effects of manures and fertilisers on soil productivity and quality: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2003, 66(2): 165-180.
- [3] Ludwig B, Schulz E, Rethemeyer J, Merbach I, Flessa H. Predictive modelling of C dynamics in the long-term fertilization experiment at Bad Lauchstädt with the Rothamsted Carbon Model. *European Journal of Soil Science*, 2007, 58(5): 1155-1163.
- [4] Ferreras L, Gomez E, Toresani S, Firpo I, Rotondo R. Effect of organic amendments on some physical, chemical and biological properties in a horticultural soil. *Bioresource Technology*, 2006, 97(4): 635-640.
- [5] Li J T, Zhang B. Paddy soil stability and mechanical properties as affected by long-term application of chemical fertilizer and animal manure in subtropical China. *Pedosphere*, 2007, 17(5): 568-579.
- [6] Liu M Q, Hu F, Chen X Y, Huang Q R, Jiao J G, Zhang B, Li H X. Organic amendments with reduced chemical fertilizer promote soil microbial development and nutrient availability in a subtropical paddy field: The influence of quantity, type and application time of organic amendments. *Applied Soil Ecology*, 2009, 42(2): 166-175.
- [7] Chang E H, Chung R S, Tsai Y H. Effect of different application rates of organic fertilizer on soil enzyme activity and microbial population. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2007, 53(2): 132-140.
- [8] Li Z P, Liu M, Wu X C, Han F X, Zhang T L. Effects of long-term chemical fertilization and organic amendments on dynamics of soil organic C and total N in paddy soil derived from barren land in subtropical China. *Soil and Tillage Research*, 2010, 106(2): 268-274.
- [9] Wang S Q, Li X, Xu F A, Qin S W. Effect of long-term use of organic manure and chemical fertilizer on fluvo-aque soils physical quality. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2001, 9(2): 77-78.
- [10] Zhang S Q, Zhang F D, Liu X M, Wang Y J, Zou S W, He X S. Determination and analysis on main harmful composition in excrement of scale livestock and poultry feedlots. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11(6): 822-829.
- [11] Wang H, Dong Y H, Zhang X M, Li D C, An Q. Risk of soil salinisation by application of concentrated animal manures. *Environmental Science*, 2008, 29(1): 183-188.
- [12] Lu R K. *Analytical Methods of Soil and Agricultural Chemistry*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000.
- [13] Kay B D. Rates of change of soil structure under different cropping systems. *Advances in Soil Science*, 1990, 12: 1-52.
- [14] Guan S Y. *Soil Enzymes and its Methodology*. Beijing: Agriculture Press, 1986.
- [15] Dexter A R, Kroesbergen B. Methodology for determination of tensile strength of soil aggregates. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1985, 31(2): 139-147.
- [16] Ritz K, Wheatley R E, Griffiths B S. Effects of animal manure application and crop plants upon size and activity of soil microbial biomass under

- organically grown spring barley. *Biology and Fertility of Soils*, 1997, 24(4): 372-377.
- [17] Kandeler E, Luxhøj J, Tschirko D, Magid J. Xylanase, invertase and protease at the soil-litter interface of a loamy sand. *Soil Biology and Biochemistry*, 1999, 31(8): 1171-1179.
- [18] Xu M G, Liang G Q, Zhang F D. *Changes in Soil Fertility of China*. Beijing: Chinese Agricultural Science Press, 2006.
- [19] Ghani A, Dexter M, Perrott K W. Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003, 35(9): 1231-1243.
- [20] Palm C A, Myers R J K, Nandwa S M. Combined use of organic and inorganic nutrient sources for soil fertility maintenance and replenishment// Buresh R J, Sanchez P A, Calhoun F, eds. *Replenishing soil fertility in Africa*. SSSA Special Publication, Madison, Wisconsin, USA. 1997: 193-217.
- [21] Rose D A. The effect of long-continued organic manuring on some physical properties of soils// Wilson W S ed. *Advances in Soil Organic Matter Research: The Impact of Agriculture and the Environment*. London: Royal Society of Chemistry, Cambridge. 1991, 197-205.
- [22] Rasool R, Kukal S S, Hira G S. Soil organic carbon and physical properties as affected by long-term application of FYM and inorganic fertilizers in maize-wheat system. *Soil and Tillage Research*, 2008, 101(1/2): 31-36.
- [23] Haynes R J, Naidu R. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1998, 51(2): 123-137.
- [24] Blanco-Canqui H, Lal R. Soil structure and organic carbon relationships following 10 years of wheat straw management in no-till. *Soil and Tillage Research*, 2007, 95(1/2): 240-254.
- [25] Li J T, Zhong X L, Zhao Q G. Soil active organic carbon pool and aggregate stability as affected by application of livestock and poultry excrement and chemical fertilizer. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 24: 233-288.
- [26] Mikha M M, Rice C W. Tillage and manure effects on soil and aggregate-associated carbon and nitrogen. *Soil Science Society of America Journal*, 2004, 68(3): 809-816.
- [27] Hati K M, Swarup A, Mishra B, Manna M C, Wanjari R H, Mandal K G, Misra A K. Impact of long-term application of fertilizer, manure and lime under intensive cropping on physical properties and organic carbon content of an Alfisol. *Geoderma*, 2008, 148(2): 173-179.
- [28] Haynes R J, Francis G S. Changes in microbial biomass C, soil carbohydrate composition and aggregate stability induced by growth of selected crop and forage species under field conditions. *European Journal of Soil Science*, 1993, 44(4): 665-675.
- [29] Tisdall J M, Oades J M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *European Journal of Soil Science*, 1982, 33(2): 141-163.
- [30] Caron J, Espindola C R, Angers D A. Soil structural stability during rapid wetting: Influence of land use on some aggregate properties. *Soil Science Society of America Journal*, 1996, 60(3): 901-908.
- [31] Wardle D A, Ghani A. A critique of the microbial metabolic quotient (qCO_2) as a bioindicator of disturbance and ecosystem development. *Soil Biology and Biochemistry*, 1995, 27(12): 1601-1610.
- [32] Chang E H, Chung R S, Tsai Y H. Effect of different application rates of organic fertilizer on soil enzyme activity and microbial population. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2007, 53(2): 132-140.
- [33] Chakrabarti K, Sarkar B, Chakraborty A, Banik P, Bagchi D K. Organic recycling for soil quality conservation in a sub-tropical plateau region. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2000, 184(2): 137-142.
- [34] Pascual J A, García C, Hernández T. Lasting microbiological and biochemical effects of the addition of municipal solid waste to an arid soil. *Biology and Fertility of Soils*, 1999, 30(1/2): 1-6.
- [35] Goyal S, Mishra M M, Dhankar S S, Kapoor K K, Batra R. Microbial biomass turnover and enzyme activities following the application of farmyard manure to field soils with and without previous long-term applications. *Biology and Fertility of Soils*, 1993, 15(1): 60-64.

参考文献:

- [1] 黄鸿翔, 李书田, 李向林, 姚杰, 曹卫东, 王敏, 刘荣乐. 我国有机肥的现状与发展前景分析. *土壤肥料*, 2006, (1): 3-8.
- [9] 王慎强, 李欣, 徐富安, 钦绳武. 长期施用化肥与有机肥对潮土土壤物理性质的影响. *中国生态农业学报*, 2001, 9(2): 77-78.
- [10] 张树清, 张夫道, 刘秀梅, 王玉军, 邹绍文, 何绪生. 规模化养殖畜禽粪主要有毒成分测定分析研究. *植物营养与肥料学报*, 2005, 11(6): 822-829.
- [11] 王辉, 董元华, 张绪美, 李德成, 安琼. 集约化养殖畜禽粪农用对土壤次生盐渍化的影响评估. *环境科学*, 2008, 29(1): 183-188.
- [12] 鲁如坤. *土壤农业化学分析方法*. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [14] 关松荫. *土壤酶及其研究法*. 北京: 农业出版社, 1986.
- [18] 徐明岗, 梁国庆, 张夫道. *中国土壤肥力演变*. 北京: 中国农业科学出版社, 2006.
- [25] 李江涛, 钟晓兰, 赵其国. 施用畜禽粪便和化肥对土壤活性有机碳库和团聚体稳定性影响. *水土保持学报*, 2010, 24(1): 233-238.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 10 May, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Circadian activity pattern of giant pandas during the bamboo growing season	2655
..... ZHANG Jindong, Vanessa HULL, HUANG Jinyan, et al	
The vivipary characteristic of <i>Anabasis elatior</i> and its ecological adaptation	2662
..... HAN Jianxin, WEI Yan, YAN Cheng, et al	
Relationships between plant community characteristics and environmental factors in the typical profiles from Dzungaria Basin	2669
..... ZHAO Congju, KANG Muyi, LEI Jiaqiang	
The relationship between pollen assemblage in topsoil and vegetation in karst mountain during different restoration period of typical vegetation community	2678
..... HAO Xiudong, OUYANG Xuhong, XIE Shiyong, et al	
Early responses of soil CO ₂ emission to simulating atmospheric nitrogen deposition in an alpine meadow on the Qinghai Tibetan Plateau	2687
..... ZHU Tianhong, CHENG Shulan, FANG Huajun, et al	
Spatial pattern of soil moisture and vegetation attributes along the critical area of desertification in Southern Mu Us Sandy Land	2697
..... QIU Kaiyang, XIE Yingzhong, XU Dongmei, et al	
Dynamics of dominant tree seedlings in montane evergreen broadleaved forest following a snow disaster in North Guangdong	2708
..... OU Yudian, SU Zhiyao, XIE Dandan, et al	
A comparative analysis of the hydrological effects of the four cypress stand types in Sichuan Basin	2716
..... GONG Gutang, CHEN Junhua, LI Yanqiong, et al	
Effect of cutting management on soil moisture in semi-arid Loess Hilly region	2727
..... LI Yaolin, GUO Zhongsheng	
Dynamics of understory vegetation biomass in successive rotations of Chinese fir (<i>Cunninghamia lanceolata</i>) plantations	2737
..... YANG Chao, TIAN Dalun, HU Yueli, et al	
Spatial and temporal variation of solar radiation in recent 48 years in North China	2748
..... YANG Jianying, LIU Qin, YAN Changrong, et al	
Impact of stand features of short-rotation poplar plantations on canker disease incidence at a mesoscale landscape: a case study in Qingfeng County, Henan Province, China	2757
..... WANG Jing, CUI Lingjun, LIANG Jun, et al	
Effects of different soil tillage systems on weed biodiversity and wheat yield in winter wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) field	2768
..... TIAN Xinxin, BO Cunyao, LI Li, et al	
Habitat suitability evaluation of Elliot's pheasant (<i>Syrnaticus ellioti</i>) in Guanshan Nature Reserve	2776
..... CHEN Junhao, HUANG Xiaofeng, LU Changhu, et al	
Relationships between arthropod community characteristic and meteorological factors in <i>Zanthoxylum bungeanum</i> gardens	2788
..... GAO Xin, ZHANG Xiaoming, YANG Jie, et al	
The differences of ecosystem services between vegetation restoration models at desert front	2797
..... ZHOU Zhiqiang, LI Ming, HOU Jianguo, et al	
Response to salt stresses and assessment of salt tolerability of soybean varieties in emergence and seedling stages	2805
..... ZHANG Haibo, CUI Jizhe, CAO Tiantian, et al	
Dynamic change of salt contents in rhizosphere soil of salt-tolerant plants	2813
..... DONG Liping, CAO Jing, LI Xianting, et al	
Effect of short-term salt stress on the absorption of K ⁺ and accumulation of Na ⁺ , K ⁺ in seedlings of different wheat varieties	2822
..... WANG Xiaodong, WANG Cheng, MA Zhihong, et al	
Effects of the micro-environment inside fruit bags on the structure of fruit peel in 'Fuji' apple	2831
..... HAO Yanyan, ZHAO Qifeng, LIU Qunlong, et al	
Enhancement of soil quality in a rice-wheat rotation after long-term application of poultry litter and livestock manure	2837
..... LI Jiangtao, ZHONG Xiaolan, ZHAO Qiguo	
MSAP analysis of DNA methylation in <i>Arabidopsis</i> (<i>Arabidopsis thaliana</i>) under Oxytetracycline Stress	2846
..... DU Yaqiong, WANG Zicheng, LI Xia	
Distribution of dinoflagellate cysts in surface sediments from Changshan Archipelago in the North Yellow Sea	2854
..... SHAO Kuishuang, GONG Ning, YANG Qing, et al	
Developing and optimizing ecological networks in urban agglomeration of Hunan Province, China	2863
..... YIN Haiwei, KONG Fanhua, QI Yi, et al	
Dynamic simulation of Shanghai urban expansion based on multi-agent system and cellular automata models	2875
..... QUAN Quan, TIAN Guangjin, SHA Moquan	
"Micro-canyon effect" of city road green belt and its effect on the pollutant concentration above roads for non-motorized vehicles	2888
..... LI Ping, WANG Song, WANG Yaying, et al	
Review and Monograph	
The abundance and diversity of nanoplankton in Arctic Ocean	2897
..... GUO Chaoying, WANG Guizhong, ZHANG Fang, et al	
Advances in plant seed-associated microbial ecology	2906
..... ZOU Yuanyuan, LIU Yang, WANG Jianhua, et al	
Improving validity and reliability of contingent valuation method through reducing biases and errors: theory, method and application	2915
..... CAI Zhijian, DU Liyong, JIANG Zhan	
Discussion	
The analysis of Chinese ecological academic journals	2924
..... LIU Tianxing, KONG Hongmei, DUAN Jing	
Scientific Note	
Seasonal variations in salt tolerance of <i>Oligostachyum lubricum</i>	2932
..... GU Daxing, GUO Ziwu, LI Yingchun, et al	
Variation of a spring bacterial community from Wuqia Sinter in Xinjiang during the pre- and post-earthquake period	2940
..... YANG Hongmei, OTKUR Mahmut, ZENG Jun, et al	
Comparison of the effect of two prey species on the population growth of <i>Orius similis</i> Zheng and the implications for the control of <i>Tetranychus urticae</i> Koch	2947
..... HUANG Zengyu, HUANG Linmao, HUANG Shoushan	

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 10 期 (2011 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 10 2011

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 70.00 元