

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第12期 Vol.32 No.12 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 12 期

2012 年 6 月 (半月刊)

目 次

河口湿地人为干扰度时空动态及景观响应——以大洋河口为例·····	孙永光,赵冬至,吴涛,等 (3645)
鄱阳湖南矶湿地优势植物群落及土壤有机质和营养元素分布特征·····	张全军,于秀波,钱建鑫,等 (3656)
青岛市湿地生态网络评价与构建·····	傅强,宋军,毛锋,等 (3670)
大堤型湖滨带生态系统健康状态驱动因子——以太湖为例·····	叶春,李春华,王秋光,等 (3681)
绿色屋顶径流氮磷浓度分布及赋存形态·····	王书敏,何强,张峻华,等 (3691)
坡度对农田土壤动物群落结构及多样性的影响·····	何先进,吴鹏飞,崔丽巍,等 (3701)
枣园桃蛀果蛾寄生蜂种类及其与寄主的关系·····	姚艳霞,赵文霞,常聚普,等 (3714)
基于逻辑斯蒂回归模型的鹭科水鸟栖息地适宜性评价·····	邹丽丽,陈晓翔,何莹,等 (3722)
温度、盐度和 pH 对马氏珠母贝稚贝清滤率的联合效应·····	朱晓闻,王辉,刘进,等 (3729)
鸡桑药共生模式库区土壤养分变化及流失风险·····	赵丽平,杨贵明,赵同科,等 (3737)
黑河中游典型土地利用方式下土壤粒径分布及与有机碳的关系·····	张俊华,李国栋,南忠仁 (3745)
DEM 栅格分辨率和子流域划分对杏子河流域水文模拟的影响·····	邱临静,郑粉莉, Yin Runsheng (3754)
粒度变化对城市热岛空间格局分析的影响·····	郭冠华,陈颖彪,魏建兵,等 (3764)
基于景观连接度的森林景观恢复研究——以巩义市为例·····	陈杰,梁国付,丁圣彦 (3773)
城市能源利用碳足迹分析——以厦门市为例·····	林剑艺,孟凡鑫,崔胜辉,等 (3782)
高寒牧区村域生态足迹——以甘南州合作市为例·····	王录仓,高静 (3795)
太湖湖滨带生态系统健康评价·····	李春华,叶春,赵晓峰,等 (3806)
秦岭大熊猫栖息地巴山木竹生物量·····	党坤良,陈俊娴,孙飞翔,等 (3816)
盐胁迫对盐生植物黄花补血草种子萌发和幼苗生长的影响·····	尤佳,王文瑞,卢金,等 (3825)
海南霸王岭山地原始林与伐后林中木质藤本对支持木的选择·····	刘晋仙,陶建平,何泽,等 (3834)
闽楠幼树光合特性及生物量分配对光环境的响应·····	王振兴,朱锦懋,王健,等 (3841)
基于形态及分子标记的濒危植物夏蜡梅自然居群的遗传变异研究·····	金则新,顾婧婧,李钧敏 (3849)
不同径级油松径向生长对气候的响应·····	姜庆彪,赵秀海,高露双,等 (3859)
珍稀濒危植物长蕊木兰种群的年龄结构与空间分布·····	袁春明,孟广涛,方向京,等 (3866)
巨桉与 5 种木本植物幼树的耗水特性及水分利用效率的比较·····	胡红玲,张健,万雪琴,等 (3873)
银木凋落叶腐解过程对小白菜生长和抗性生理的影响·····	黄澈澈,胡庭兴,张念念,等 (3883)
基于氡示踪剂和热扩散技术的栓皮栎水分运输速率与效率研究·····	孙守家,孟平,张劲松,等 (3892)
石漠化干旱环境中石生藓类水分吸收特征及其结构适应性·····	张显强,曾建军,湛金吾,等 (3902)
含铜有机肥对土壤酶活性和微生物群落代谢的影响·····	陈琳,谷洁,高华,等 (3912)
钝叶枧不同性别花的花部形态与传粉特征比较·····	王茜,邓洪平,丁博,等 (3921)
我国春玉米潜在种植分布区的气候适宜性·····	何奇瑾,周广胜 (3931)
烯效唑干拌种对小麦氮素积累和运转及籽粒蛋白质品质的影响·····	樊高琼,杨恩年,郑亭,等 (3940)

专论与综述

中国产业共生发展模式的国际比较及对策·····	石磊,刘果果,郭思平 (3950)
-------------------------	-------------------

研究简报

吉林省镇赉县近 10 年景观格局变化·····	张国坤,卢京花,宋开山,等 (3958)
杨树人工林生态系统通量贡献区分析·····	金莹,张志强,方显瑞,等 (3966)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 330 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2012-06



封面图说: 鸳鸯——在分类上属雁形目,鸭科。英文名为 Mandarin Duck(即“中国官鸭”)。鸳指雄鸟,鸯指雌鸟,故鸳鸯属合成词。常常栖息于山地河谷、溪流、湖泊、水田等处,雌雄偶居,以植物性食物为主,也食昆虫等小动物。繁殖期 4—9 月间,雌雄配对后迁至营巢区。巢往往置于树洞中,用干草和绒羽铺垫,每窝产卵 7—12 枚。江西省婺源鸳鸯湖是亚洲最大的野生鸳鸯越冬栖息地。鸳鸯是一种美丽的禽鸟,中国传统文化又赋予它很多美好的寓意,因此,在许多文学艺术作品中经常用以表达爱情。

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

DOI: 10.5846/stxb201109211387

赵丽平, 杨贵明, 赵同科, 马茂亭, 刘宝存, 肖长坤, 杨明宇, 安志装. 鸡桑药共生模式库区土壤养分变化及流失风险. 生态学报, 2012, 32(12): 3737-3744.

Zhao L P, Yang G M, Zhao T K, Ma M T, Liu B C, Xiao C K, Yang M Y, An Z Z. Soil nutrient dynamics and loss risks in a chicken-forage mulberry-medicinal plant intercropping system. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(12): 3737-3744.

鸡桑药共生模式库区土壤养分变化及流失风险

赵丽平¹, 杨贵明², 赵同科¹, 马茂亭¹, 刘宝存¹, 肖长坤³, 杨明宇³, 安志装^{1,*}

(1. 北京市农林科学院植物营养与资源研究所, 北京 100097; 2. 承德医学院蚕业研究所, 承德市 067000;

3. 北京市密云县农业技术推广站, 北京 101500)

摘要: 密云水库是北京市主要地表水源地, 为了有效防控水源保护区坡耕地以氮磷流失为主的农业面源污染, 开展污染防治植物篱种植区散养和单独喂养油鸡试验研究; 采集两种模式区土壤和散养模式区饲用桑植物样品, 测定氮磷钾养分含量, 分析土壤养分变化规律及其流失风险, 建立经济有效种养生态防控模式。结果表明, 与对照相比, 两种油鸡养殖模式区土壤有机质、全氮、速效氮磷钾及硝态氮含量都呈显著或极显著性地升高, 促进了散养共生模式区饲用桑和药用植物的生长, 增加了对土壤养分的吸收; 受养殖密度的影响, 60 只/666.7 m² 高密度油鸡喂养模式区或散养集中活动区有机质、全氮、全磷含量显著高于散养活动较少低密度区; 受地表径流的影响, 散养共生模式区坡下部油鸡少活动区域土壤速效氮磷钾含量与上部活动较多区域相比分别升高 20.3%、71.9% 和 21.9%。喂养模式区承载粪便氮磷环境负荷分别为 189 kg/hm² 和 84.8 kg/hm², 超过欧盟农田氮限量标准 170 kg/hm² 和粪便年施磷限量 80 kg/hm², 具有较大的流失污染风险; 20 只/666.7 m² 低密度散养模式区承载粪便氮磷负荷分别为 75.6 kg/hm² 和 33.9 kg/hm², 远小于环境限量标准, 具有较小的流失污染风险。饲用桑与药用植物间作植物篱种植区散养油鸡排泄粪便矿化分解提供了植物养分资源, 促进它们的生长, 形成发达根系系统又可有效阻截模式产生有机物和氮磷流失, 同时该模式提供了散养油鸡饲料资源。以上结果说明, 桑树/药用植物/低密度散养油鸡是一种有效的农业面源污染生态防控共生模式, 资源循环利用效率高, 生态环境和经济效益好。

关键词: 坡耕地; 种养模式; 防控; 农业面源污染

Soil nutrient dynamics and loss risks in a chicken-forage mulberry-medicinal plant intercropping system

ZHAO Liping¹, YANG Guiming², ZHAO Tongke¹, MA Maoting¹, LIU Baocun¹, XIAO Changkun³, YANG Mingyu³, AN Zhizhuang^{1,*}

1 Institute of Plant Nutrition and Resources, Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Beijing 100097, China

2 Institute of Sericulture, Chengde Medical University, Chengde 067000, China

3 Miyun County Agrotechnique Extension Station, Beijing 101500, China

Abstract: Miyun Reservoir is the main source of drinking water for Beijing. However, it is increasingly threatened by losses of nitrogen and phosphorus from slope farmland in the drinking water source protection catchment. A contour hedgerow intercropping system of forage mulberry (*Morus multicaulis* Perr.) and medicinal plant was planted to control and mitigate the non-point source contaminants in the catchment. Free-range Beijing Fatty Chickens were raised in the intercropping areas (free-range mode) to feed on mulberry additives in the adjacent areas (feeding mode). Topsoil samples from the two modes were collected for determination of organic matter, nitrogen, phosphorus and potassium contents, and mulberry

基金项目: 国家科技支撑计划(2012BAD15B01); 北京市科技计划(D101105046410003)

收稿日期: 2011-09-21; **修订日期:** 2012-03-26

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

samples from the free-range mode and its control were collected for determination of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) contents in the plant. The results showed that compared with the controls, the soil organic matter content (OM), total nitrogen (TN), available N, P and K, and nitrate of the two mode areas increased significantly, which promoted the growth of the mulberry and medicinal plant and the nutrient uptake; the soil organic matter, TN and total phosphorus (TP) were greater in the feeding and free-range mode with high density of 60 and low density of 20 chickens per *mu*, respectively, than those in the free-range mode. However, compared with the upper parts of the slope farmland in the free-range chickens with high density, the soil available N, P and K at the lower parts of the slope farmland were increased by 20.3%, 71.9% and 21.9%, respectively. It suggests that the soil nutrient accumulation could be related to the feeding density and runoff. The nitrogen and phosphorus loads from chicken manure in the feeding mode were 189 kg/hm² and 84.8 kg/hm², respectively, which exceeded the EU (European Union) limits of 170 kg N/hm² and 80 kg P₂O₅/hm², respectively; it could lead to high N and P losses to the Reservoir. The N and P loads in the free-range mode were 75.6 kg/hm² and 33.9 kg/hm², respectively, much less than the environmental limits, thus resulting in less risk of nutrient losses. Therefore, the decomposition and mineralization of chicken manure in the contour hedgerow intercropping system of forage mulberry and medicinal plant can supply nutrients to the intercropping plants, on the other hand, it can effectively prevent the loss of organic matter and nitrogen and phosphorus, and provide feed to free-range chickens. These results suggest that the intercropping system of forage mulberry/medicinal plant/ low-density free-range chicken is an effective ecological mode for controlling and mitigating water contamination by agricultural non-point source pollution in the catchment.

Key Words: slope farmland; chicken-forage mulberry-medicinal plant intercropping system; prevention and control; agricultural non-point source pollution

农业面源污染是环境污染的一种主要类型,是地表地下水体污染物的主要来源,具有发生的随机性、影响的滞后性、影响因素的复杂性、输送途径的广泛性等特点,决定了其监测和治理的难度。与发达国家以环境保护为目标的农业面源污染防治治理思路不同,我国的农业面源污染防治工作必须考虑人多地少的现实国情,实现环境效益和经济效益的协调统一,生态农业模式是我国生产实践中探索形成的一种有效防控措施^[1]。湖北省农业生态环境保护站等单位在丹江口水库流域探索建立了“鸡茶共生”高效生态农业面源污染防治技术模式,制定颁布了《“鸡茶共生”农业生态模式操作技术规程》地方标准(DB4203/T66—2010),即茶园养鸡,以鸡啄食害虫和草,鸡排泄粪便提供茶园生态系统所需养分,有效减少化学农药和化肥的使用量,大面积的推广应用取得良好效果,有效降低了农业面源污染发生风险(内部资料)。密云水库是北京市主要地表水源地,水源保护区坡耕地是密云水库主要面源污染物来源区,密云水库流域来自于面源污染的负荷占水库污染总负荷的百分比分别为:铵态氮约90%、总氮约70%、总磷约90%^[2],同时,该区也是当地主要农业生产区。为有效防控该区域农业面源污染,保障水质安全,建立具有良好水土保持效果和一定经济价值的饲用桑和药用植物间作生态技术模式,开展防控效果研究。为有效利用该模式产生桑叶和药用植物副产品资源,提高经济效益,间作模式区开展散养经济价值较高北京油鸡试验。畜禽养殖产生有机物和氮磷是水体污染的主要类型,但合理的利用可促进农业的持续发展和生态维持平衡。因此,开展饲用桑/药用植物/散养油鸡共生模式区土壤氮磷养分变化规律研究和环境流失风险分析,了解模式区产生有机物和氮磷流失污染风险的大小,为经济有效防控农业面源污染生态技术模式建立提供科学依据,以实现水源保护区污染的有效防控,并促进区域经济发展。

1 材料与方法

1.1 试验区基本情况

位于北京市东北部密云县密云水库水源保护区太师屯镇(北纬40°32',东经117°5'),试验区面积1.33 hm²,坡度为15°。依据适合当地土壤和气候条件、多年生草本或木本植物、水土保持效果好、旺盛生长期

与集中降雨季相一致、经济价值高等原则,选择合适植物类型,建设生态农业模式,开展防控坡耕地水土及氮磷流失农业面源污染监测研究。饲用桑(*Morus multicaulis* Perr.)是一种生长速度快、抗逆性强、生态修复和绿化美化景观效果好,适宜用作蚕及畜禽饲料、食品添加剂及药食兼用的桑树品种。菊花(*Chrysanthemum morifolium* Ramat.)、桔梗(*Platycodon grandiflorus* Jacq.)、苦参(*Sophora flavescens* Ait.)、黄芩(*Scutellaria baicalensis* Georgi.)、丹参(*Salvia miltiorrhiza* Bge.)等是具有较好经济价值的多年生药用植物。坡耕地开展选定饲用桑和药用植物间作种植防控农业面源污染试验,面积 1.2hm^2 。30—70 cm宽坝台种植药用植物,0—30 cm宽坝沿种植2行桑树植物篱(图1a),该试验区从坡顶到坡底总坡长30 m。间作模式区施用有机肥 $500\text{ kg}\cdot 666.7\text{ m}^{-2}\cdot \text{a}^{-1}$)。安装太阳能杀虫灯物理防治虫害,不使用农药。试验区安装自动雨量计,计量降雨量,试验期降雨量见图2。

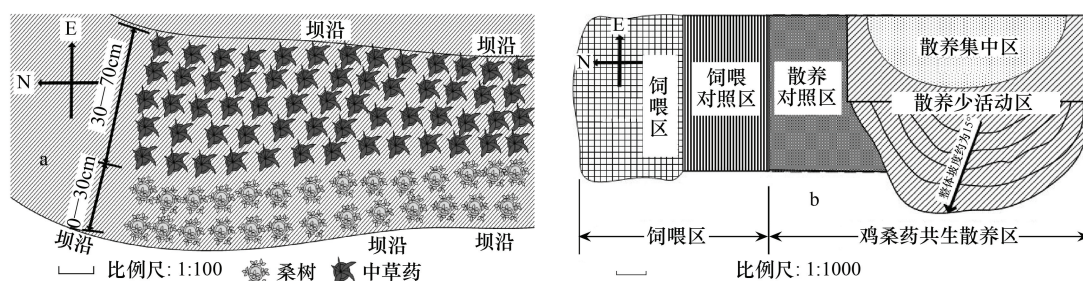


图1 饲用桑与药用植物间作及北京油鸡两种养殖模式分布示意

Fig. 1 Schematic diagram of forage mulberry-medicinal plant inter-cropping and the location of two mode of feeding Beijing Fatty Chickens

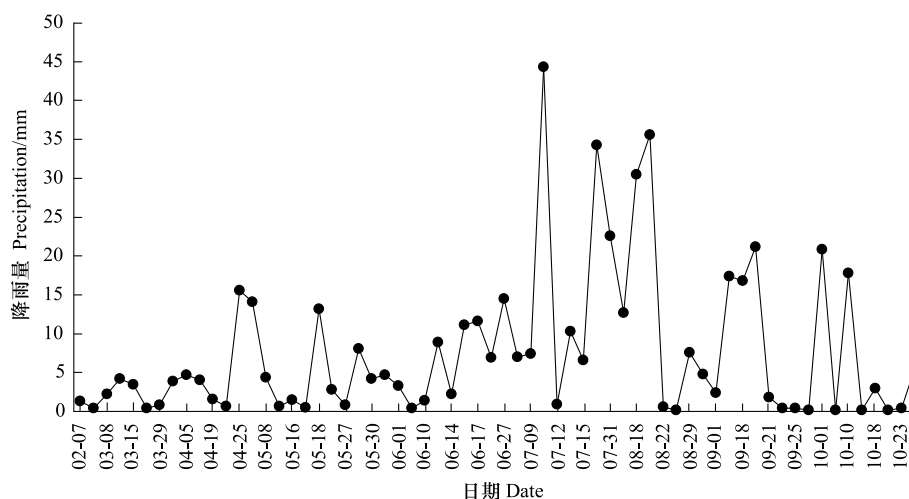


图2 2010年密云县太师屯试验区降雨量

Fig. 2 Precipitation at Taishitun experiment site of Miyun County in February-November 2010

1.2 北京油鸡两种养殖模式试验

为有效利用防控农业面源污染生态模式产生桑叶和药用植物,形成循环农业模式,开展北京油鸡两种养殖模式试验。 1hm^2 桑药间作种植区散养模式,以自然采食间作桑叶和药用植物为主,喂养为辅;周边桑药间作未养殖区为对照,面积 0.2hm^2 。散养区北部 15° 坡耕地设置喂养模式区,以人工喂养饲料为主,面积 0.133hm^2 (图1b)。2010年7月,散养区和喂养区各放养北京市农林科学院畜牧兽医研究所提供50天龄北京油鸡苗120只,11月中旬屠宰,养殖时间共计140 d。

1.3 土壤及植株样品采集与养分指标测定

采集散养和喂养模式区0—25 cm表层土壤样品。散养模式分3个区域采集,由于此种养殖模式区面积

较大,可以明显地区分为鸡舍周边约 0.333hm^2 油鸡日常活动较多区(散养集中区)、远离鸡舍活动较少区(散养少活动区)及散养区外桑药间作未养殖对照区(散养对照区)。喂养模式分两个区域采集土壤样品,由于面积较小,鸡活动范围受限,养殖区(喂养区)及区外花生田对照区(喂养对照区)各采集一个。每区域采集 4 个样点土壤混合均匀作为 1 个土样,每区域采集 3 个重复土样。土样过 2 mm 尼龙筛,鲜样测定硝态氮。剩余风干磨细分别过 1、0.25 和 0.15 mm 尼龙筛,测定有机质、全氮、全磷和速效氮磷钾含量。同时,采集散养共生生态模式及对照区饲用桑植株样品 2 个,分别采集 3 个重复植株样,烘干粉碎,过 0.25 mm 筛,测定氮磷钾含量,土壤和植株样品测定方法参考《土壤农业化学分析方法》^[3]。

1.4 数据分析

土壤和植株样品测定指标数据采用基于 Windows 的 SPSS11.0 统计软件分析,LSD 显著性检验方法比较不同处理间的差异。

2 结果与分析

2.1 北京油鸡两种养殖模式区土壤有机质含量变化

140 d 试验期内,两种养殖模式对照区相比,喂养区有机质含量极显著地高于鸡桑药散养共生区,前者比后者增加 0.47 个百分点(图 3)。这主要与两个对照区域施肥有关,前者是农民花生种植地,肥料使用量大,种类主要为商品有机肥和磷酸二铵;后者为项目实施试验区,试验前茬作物为玉米,施肥量相对较少,试验种植植物为饲用桑树和药用植物,肥料投入量少。另一方面,与植物对土壤养分的吸收有关,与作物相比,桑树作为一种灌木植物吸收携带走养分量较多。

与对照相比,两种养殖模式区 0—25 cm 表层土壤有机质含量都呈极显著性地升高,喂养区增加 0.46 个百分点,增幅达 51.1%;散养集中区增加 0.74 个百分点,增幅达 172.1%,散养少活动区有升高的趋势,与对照相比没有显著差异(图 3)。

两种养殖模式区相比,喂养区极显著高于散养区(图 3),喂养区与散养集中区相比,有机质含量增加 0.19 个百分点,增幅为 16.2%。这与两种养殖模式区油鸡密度大小有关,喂养区密度为 60 只/ 666.7m^2 ,散养区密度为 20 只/ 666.7m^2 ;前者承载鸡粪便有机质量大,后者承载量小。散养集中区有机质含量极显著高于少活动区,前者与后者相比升高 0.63 个百分点,升幅达 116.7%,这一结果证明了养殖密度对有机质含量变化的影响。以上结果说明,两种模式都提高了养殖区土壤有机质含量,不同模式区有机质含量增幅大小与养殖密度密切相关,密度高增幅大。

2.2 北京油鸡两种养殖模式区土壤氮素含量变化

全氮、碱解氮及硝态氮是表征土壤氮素含量变化或流失能力大小的指标,下面就 2 种养殖模式 5 个采样区 3 个土壤氮素指标含量变化规律进行分析。

2.2.1 全氮含量变化

从土壤全氮含量来看,与有机质含量变化规律相似,主要受施肥影响,喂养对照区极显著高于散养对照区,前者是后者的 1.8 倍。两种养殖模式区土壤全氮含量显著高于对照,喂养区与对照相比增幅为 100.0%;散养集中区与对照相比提高 0.054 个百分点,增幅达 270.0%,散养少活动区升幅为 85.0%(图 4)。以上结果说明,两种养殖模式都显著地提高了养殖区土壤全氮含量,油鸡活动高密度区显著高于低密度区。

2.2.2 碱解氮和硝态氮含量变化

碱解氮是反映土壤供应作物氮素营养能力大小的重要指标。两种养殖模式对照区土壤碱解氮含量没有

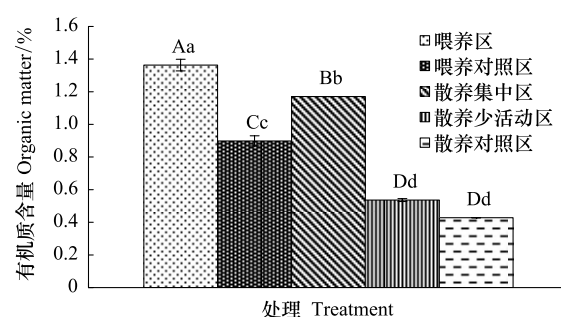


图 3 两种油鸡养殖模式区土壤有机质含量变化

Fig. 3 Organic matter content in topsoils at two mode of feeding Beijing Fatty Chickens

图中数值为 3 次重复平均值,最小显著差法差异性检验,大小写字母分别表示不同处理在 $P=0.01$ 和 $P=0.05$ 水平上差异显著,下文图表相同

显著性地差异。与对照相比,两种养殖模式区土壤碱解氮含量都显著升高,喂养区升幅为 73.9%;散养集中区和少活动区分别是对照的 2.5 倍和 3.0 倍,呈极显著性地升高。两种养殖模式区土壤碱解氮含量相比也呈现出极显著性地差异,散养集中区和少活动区比喂养区分别升高 41.2% 和 51.1%,少活动区显著高于集中区,升幅为 20.3% (表 1)。

硝态氮是土壤中氮素易淋失形态。两种养殖模式对照区土壤硝态氮含量没有显著性地差异。两种养殖模式区都呈显著性地升高,喂养区是对照的 5.6 倍,散养集中区和少活动区分别是对照的 19.0 倍和 4.8 倍。喂养区与散养集中区相比没有显著性地差异,散养少活动区与集中区相比呈极显著性地下降,前者是后者的四分之一。以上试验结果说明,两种养殖模式区土壤碱解氮和硝态氮含量都呈极显著地升高,土壤增加碱解氮以有机可利用态为主。

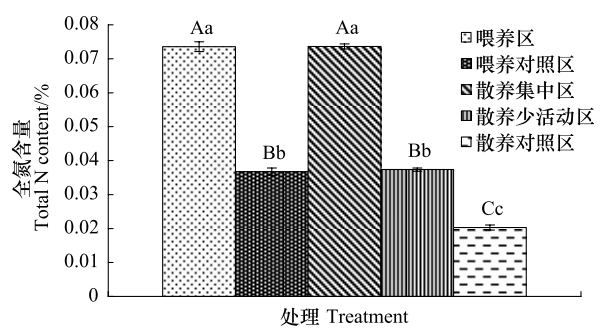


图 4 两种油鸡养殖模式区土壤全氮含量变化
Fig.4 Total nitrogen content in topsoils at two mode of feeding Beijing Fatty Chickens

表 1 两种油鸡养殖模式区土壤碱解氮和硝态氮含量变化

Table 1 Alkali-hydrolyzable N and nitrate content in topsoil at two modes of feeding Beijing Fatty Chickens				
处理 Treatments	水解氮含量 Alkali-hydrolyzable N content/ (mg/kg)	差异显著性 Significance	硝态氮含量 Nitrate content / (mg/kg)	差异显著性 Significance
喂养区 Feeding area	16.6±0.5	Bc	12.1±1.2	Aa
喂养对照区 Feeding control	9.5±0.4	Cd	2.2±0.3	Bb
散养集中区 Free-range concentrated area	28.2±0.8	Ab	11.4±0.6	Aa
散养少活动区 Free-range low activity area	33.9±2.7	Aa	2.9±0.7	Bb
散养对照区 Free-range control area	11.4±1.5	BCd	0.6±0.1	Bb

2.3 北京油鸡两种养殖模式区土壤磷钾含量变化

2.3.1 土壤磷素含量变化

与施入土壤无机氮易于通过各种途径损失不同,磷素作为一种难以移动的营养元素,不同养殖模式区总磷含量变化主要与磷素的输入和植物吸收有关。从土壤全磷含量变化来看,两种养殖模式对照区呈显著性地差异,喂养区是散养区的 1.2 倍。与对照相比,喂养区土壤全磷含量下降 34.7%,散养集中区没有显著差异,少活动区极显著降低 61.5%。两种模式区相比呈现显著性地差异,散养集中区是喂养区的 1.3 倍,喂养区又是散养少活动区的 2.1 倍。散养集中区显著高于少活动区,前者是后者的 2.6 倍(表 2)。

表 2 两种油鸡养殖模式区土壤磷含量变化

Table 2 Total P and rapidly available P content in topsoil at two modes of feeding Beijing Fatty Chickens				
处理 Treatments	全磷含量 Total P content /%	差异显著性 Significance	速效磷含量 Rapidly available P / (mg/kg)	差异显著性 Significance
喂养区 Feeding area	0.062±0.003	Cc	29.6±0.9	Aa
喂养对照区 Feeding control	0.095±0.002	Aa	2.1±0.0	Dd
散养集中区 Free-range concentrated area	0.079±0.000	Bb	9.5±0.4	Cc
散养少活动区 Free-range low activity area	0.030±0.000	Dd	16.4±0.3	Bb
散养对照区 Free-range control area	0.078±0.000	Bb	0.7±0.1	De

鸡粪具有较高的易溶性流失态磷含量, H₂O、NaHCO₃ 独立提取与 H₂O+NaHCO₃ 连续提取无机磷平均含

量分别占全磷含量的 28%、42% 和 48%^[4]。从土壤速效磷含量变化来看,两种养殖模式对照区速效磷含量较低,养殖油鸡排泄粪便矿化分解显著提高了两种模式区土壤速效磷含量,喂养区是对照区的 13.8 倍,散养集中区和少活动区分别是对照的 13.2 倍和 22.7 倍。两种模式相比,养殖密度越大速效磷含量越高,60 只/666.7m² 喂养区含量显著高于 20 只/666.7m² 散养区,喂养区分别是集中区和少活动区的 3.1 倍和 1.8 倍;少活动区显著高于集中区,增幅为 71.9% (表 2)。

2.3.2 土壤速效钾含量变化

总体来看,与耕地土壤速效钾含量标准相比,对照区含量都呈较低水平。油鸡养殖显著提高了土壤速效钾含量,喂养区与对照相比升幅为 138.7%,散养集中区和少活动区与对照相比升幅分别为 99.6% 和 143.3%,少活动区显著高于集中区,升幅为 21.9%。两种模式相比,喂养区比散养集中区高 21.9 mg/kg,呈显著性差异 (图 5)。以上结果说明,两种饲养模式都显著提高了土壤速效钾含量,升幅大小取决于油鸡养殖密度。

3 讨论

3.1 两种养殖模式区土壤养分变化

畜禽粪便与工业源污染物不同,含有大量的有机物质以及作物所需氮、磷、钾等大量和微量营养元素,农田施用可以提高土壤肥力、改善土壤结构、强化土壤持续生产能力,是一种优质的肥料资源^[5]。25℃、120 d 室内培养条件下,土壤添加鸡粪有机碳矿化率为 87.5%,碱解氮、速效磷、速效钾矿化释放量分别为 39.9%、24.6% 和 78.8%^[6]。140 d 鸡桑药共生散养与喂养两种模式露天自然条件下,与室内培养相比,7—9 月较高的气温和降雨条件,加之养殖区发酵床技术所用微生物菌液的使用,使得养殖区排泄鸡粪便有较高的有机碳矿

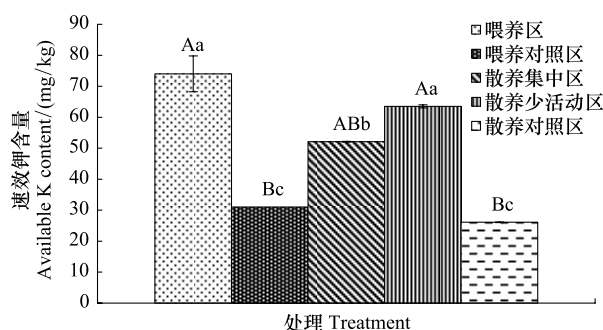


图 5 两种油鸡养殖模式区土壤速效钾含量变化

Fig. 5 Available K content in topsoils at two mode of feeding Beijing Fatty Chickens

化分解率,释放较多量的速效氮磷钾养分,从而提高了土壤有机质和氮磷钾养分含量 (图 3—图 5,表 1、表 2)。

鸡舍位于试验区坡耕地顶部,是养殖油鸡活动较为频繁集中区域,远离鸡舍坡顶下部是活动较少区域。与全量养分变化规律不同,下部少活动区速效氮磷钾含量都显著高于顶部集中区,前者与后者相比升幅分别为 20.3%、71.9% 和 21.9%。这与试验期速效养分的径流流失有关,140 d 养殖期内,2010 年 7 月 11 日、7 月 30 日、8 月 21 日发生 3 次大的自然降雨,降雨量分别达到 44.3、34.3 mm 和 35.6 mm (图 2),鸡桑药共生散养试验区 15° 坡度条件都产生了地表径流,速效氮磷钾作为一种养分易溶形态,部分随表层径流水由坡顶向下部流失,导致下部少活动区速效养分的累积。

土壤养分尤其是速效氮磷钾养分的大幅增加,提高了养殖区土壤供应生态模式桑树和药用植物养分的能力,增加了植物养分吸收量。散养模式区桑树叶片和茎秆氮含量呈增加的趋势,磷含量呈极显著性升高,升幅分别为 30.4% 和 45.4% (图 6、图 7)。一方面,饲用桑和药用植物间作生态农业模式提供了散养油鸡桑叶、药用植物、害虫等饲料资源,另一方面,低密度养殖油鸡排泄粪便较高速率矿化分解提供了间作植物养分,促进了它们的生长。从养分资源循环利用的角度看,鸡桑药共生生态模式是可行的。

3.2 两种养殖模式区养分流失风险分析

畜禽粪便是一种良好的有机肥源,但大量长期使用致使单位耕地面积承载负荷量增加,导致土壤生态环境恶化和地表地下水污染风险加大。刘勤等研究结果表明,大量鸡粪的施用明显增加了土壤渗滤液中 NO₃⁻-N 含量,稻田田面水总磷浓度升高^[7]。本研究鸡桑药共生散养和喂养两种模式区油鸡养殖密度分别为 20 只/666.7m² 和 60 只/666.7m²。粪便排泄量按照 0.1 kg/d 计算,每种模式区 120 只油鸡 140 d 养殖期排泄粪便量分别为 1680 kg,散养模式油鸡活动集中区域面积按照 0.33hm² 计算,喂养模式区按照整个区域 0.133hm²

计算,散养和喂养两种模式区单位土地面积承载粪便负荷量分别为 5.0 t/hm^2 和 12.6 t/hm^2 ,加上使用有机肥负荷 7.5 t/hm^2 ,分别达到 12.5 t/hm^2 和 20.1 t/hm^2 ,都呈较低的水平^[8-9],环境污染风险较小。

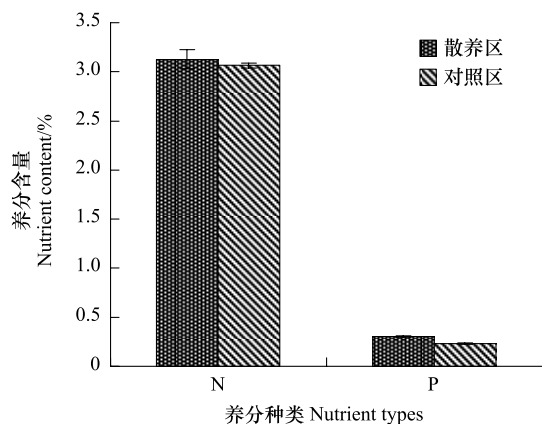


图6 油鸡散养模式区饲用桑叶氮磷含量

Fig. 6 N, P content in mulberry leaves growing at free-range area

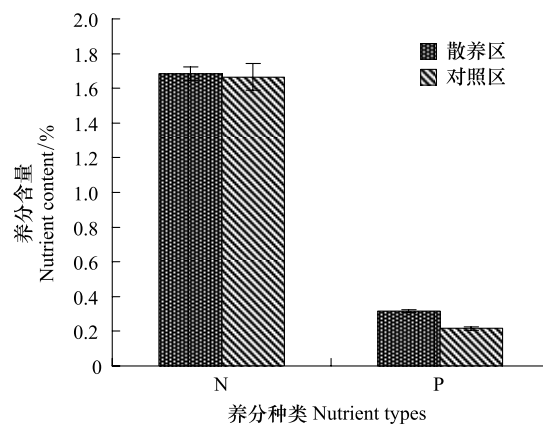


图7 油鸡散养模式区饲用桑茎干氮磷含量

Fig. 7 N, P content in mulberry stem growing at free-range area

氮磷是水体主要污染指标。从两种模式区土壤氮磷养分变化来看,鸡粪氮和磷含量分别为 1.5% 和 0.7% ,每种模式区 120 只油鸡 140 d 养殖期排放氮磷量分别为 25.2 kg 和 11.3 kg ,散养和喂养模式承载氮磷负荷量分别为 75.6 、 33.9 kg/hm^2 和 189 、 84.8 kg/hm^2 。喂养模式区粪便氮负荷超过欧盟限量标准 170 kg/hm^2 ,磷负荷量超过 80 kg/hm^2 使用极限值^[8],加上使用有机肥氮磷负荷 118.5 kg/hm^2 和 56.2 kg/hm^2 ,此种养殖模式具有较高的氮磷流失风险。

考虑饲用桑与药用植物对土壤养分的吸收,散养模式区承载氮磷负荷量较小,远低于限量标准。桑树种植在 $0\text{—}30 \text{ cm}$ 坝沿(图 1),间作模式区总种植面积约为 0.2 hm^2 ,总干物产量为 6000 kg ,按照测定氮磷含量(图 6、图 7),桑树吸收携带走氮磷量分别为 143.4 kg 和 16.2 kg ,加上间作药用植物吸收携带氮磷,植物吸收带走氮和磷量多于排泄鸡粪提供量。说明生态模式区植物吸收氮磷主要来自于土壤和施用有机肥,鸡粪的矿化分解提供养分促进了间作桑树和药用植物的生长,养殖区生物量显著高于对照区,吸收携带走更多的养分,降低了此种模式区氮磷负荷量和流失风险。桑树/药用植物间作植物篱形成发达根系系统,具有良好的固土和持留养分能力,可以逐级截留径流流失水和氮磷,2011 年 7 月 24 日降雨量达到 143.7 mm 暴雨实践条件验证结果表明, 15° 的 30 m 坡长试验区基本未发生土壤流失,上部随径流水流失部分速效养分也未流出试验区,考虑养分的周年循环利用。因此,此种养共生模式具有较小氮磷流失风险。

综上,60 只/666.7 m^2 高密度喂养模式区耕地具有较低的有机污染负荷,具有较高的氮磷流失风险。20 只/666.7 m^2 低密度散养生态模式区有机污染负荷和氮磷流失风险都较小,排泄鸡粪矿化分解提供植物养分可以部分替代有机肥,进一步降低有机污染负荷和氮磷流失风险。低密度散养油鸡食量不会破坏桑树和药用植物间作区生态植被,另一方面,植物篱可以有效拦截水土和氮磷养分流失,从而提高鸡桑药共生系统资源利用效率。散养油鸡品质好,具有较高的市场价值。鸡桑药种养生态农业模式可以实现坡耕地农业面源污染的有效防控和资源的循环高效利用,生态环境和经济效益好。

4 结论

坡耕地鸡桑药共生散养和喂养区土壤有机质和氮磷钾含量显著提高,尤其是速效养分含量。受养殖密度影响,60 与 20 只/666.7 m^2 散养区相比,有机质含量升高 0.2 个百分点,升幅为 16.2% ;受降雨径流的影响,散养少活动区与集中区相比,碱解氮、速效磷、速效钾含量显著升高,升幅分别为 20.3% 、 71.9% 和 21.9% 。共生散养油鸡排泄粪便矿化分解提供养分促进了饲用桑和药用植物的生长。

散养和喂养两种模式区单位土地面积承载有机污染物负荷量分别为 12.5 t/hm^2 和 20.1 t/hm^2 ,呈较低的

水平。喂养模式区承载氮磷负荷量具有较高的流失风险,鸡桑药共生散养模式区承载氮磷负荷量显著低于粪便氮磷负荷限量标准,且饲用桑与药用植物间作植物篱可有效阻截它们的流失,有机污染和氮磷流失风险小。

References:

- [1] Sun H L. The main patterns of ecological agriculture in China and the ecology principles of their sustainable development. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 1996, 4(1): 15-22.
- [2] Huang S B, Ye Z H, Liu B Y. Review on non-point source pollution in Miyun Reservoir. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2008, 16(5): 1311-1316.
- [3] Lu R K. *Methods of Agricultural Chemical Analysis in Soil*. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 1999: 169-175.
- [4] Du H Y, Cheng B, Yuan Z H, Xia W. Study on four kinds of soluble phosphorus content in livestock and poultry. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2010, (5): 66-69, 70-70.
- [5] Zhang M K. Model and technology for recycling use of livestock manure resource. *Modern Agricultural Sciences and Technology*, 2010, (14): 280-283.
- [6] Zhao M, Chen X H, Zhao Z Y, Cai K, Wang Z G. Releasing of N, P and K of organic fertilizers and their effects on the contents of available Cu, Zn, Fe and Mn in soil. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2007, 15(2): 47-50.
- [7] Liu Q, Zhang B, Xie Y P, Li J T, Zhang J F, Yuan M M, Wang D J. Leaching characteristics of nitrogen and phosphorus in treated paddy fields with chicken manure. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2008, 16(1): 91-95.
- [8] Wang F H, Ma W Q, Dou Z X, Ma L, Liu X L, Xu J X, Zhang F S. The estimation of the production amount of animal manure and its environmental effect in China. *China Environmental Science*, 2006, 26(5): 614-617.
- [9] Natural Ecosystem Protection Office of State Environmental Protection Administration. *The National Survey on Intensive Livestock and Poultry Breeding and Its Countermeasures to Prevent and Control Pollution*. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.

参考文献:

- [1] 孙鸿良. 我国生态农业主要种植模式及其持续发展的生态学原理. *生态农业研究*, 1996, 4(1): 15-22.
- [2] 黄生斌, 叶芝茜, 刘宝元. 密云水库流域非点源污染研究概述. *中国生态农业学报*, 2008, 16(5): 1311-1316.
- [3] 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.
- [4] 杜会英, 程波, 袁志华, 夏维. 四种畜禽粪便易溶性磷含量的研究. *中国土壤与肥料*, 2010, (5): 66-69, 70-70.
- [5] 章明奎. 畜禽粪便资源化循环利用的模式和技术. *现代农业科技*, 2010, (14): 280-283.
- [6] 赵明, 陈雪辉, 赵征宇, 蔡葵, 王正国. 鸡粪等有机肥料的养分释放及对土壤有效铜、锌、铁、锰含量的影响. *中国生态农业学报*, 2007, 15(2): 47-50.
- [7] 刘勤, 张斌, 谢育平, 李江涛, 张金福, 袁慢慢, 王德建. 施用鸡粪稻田土壤氮磷养分淋洗特征研究. *中国生态农业学报*, 2008, 16(1): 91-95.
- [8] 王方浩, 马文奇, 窦争霞, 马林, 刘小利, 许俊香, 张福锁. 中国畜禽粪便产生量估算及环境效应. *中国环境科学*, 2006, 26(5): 614-617.
- [9] 国家环境保护总局自然生态保护司. *全国规模化畜禽养殖业污染情况调查及防治对策*. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 12 June, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Temporal and spatial dynamic changes and landscape pattern response of Hemeroby in Dayang estuary of Liaoning Province, China	SUN Yongguang, ZHAO Dongzhi, WU Tao, et al (3645)
Distribution characteristics of plant communities and soil organic matter and main nutrients in the Poyang Lake Nanji Wetland	ZHANG Qunjun, YU Xiubo, QIAN Jianxin, et al (3656)
Evaluation and construction of wetland ecological network in Qingdao City	FU Qiang, SONG Jun, MAO Feng, et al (3670)
Driving forces analysis for ecosystem health status of littoral zone with dikes; a case study of Lake Taihu	YE Chun, LI Chunhua, WANG Qiuguang, et al (3681)
The concentrations distribution and composition of nitrogen and phosphorus in stormwater runoff from green roofs	WANG Shumin, HE Qiang, ZHANG Junhua, et al (3691)
Effects of slope gradient on the community structures and diversities of soil fauna	HE Xianjin, WU Pengfei, CUI Liwei, et al (3701)
Investigation of populations of parasitic wasps parasitizing <i>Carposina sasakii</i> Matsumura (Lepidoptera: Carposinidae) in jujube orchards in China, with respect to the wasp-host relationship	YAO Yanxia, ZHAO Wenxia, CHANG Jupu, et al (3714)
Assessment of ardeidae waterfowl habitat suitability based on a binary logistic regression model	ZOU Lili, CHEN Xiaoxiang, HE Ying, et al (3722)
Combined effects of temperature, salinity and pH on the clearance rate of juveniles of <i>Pinctada martensii</i> (Dunker)	ZHU Xiaowen, WANG Hui, LIU Jin, et al (3729)
Soil nutrient dynamics and loss risks in a chicken-forage mulberry-medicinal plant intercropping system	ZHAO Liping, YANG Guiming, ZHAO Tongke, et al (3737)
Soil particle size distribution and its relationship with soil organic carbons under different land uses in the middle of Heihe river	ZHANG Junhua, LI Guodong, NAN Zhongren (3745)
Effects of DEM resolution and watershed subdivision on hydrological simulation in the Xingzihe watershed	QIU Linjing, ZHENG Fenli, YIN Runsheng (3754)
Impacts of grid sizes on urban heat island pattern analysis	GUO Guanhua, CHEN Yingbiao, WEI Jianbing, et al (3764)
Landscape connectivity analysis for the forest landscape restoration; a case study of Gongyi City	CHEN Jie, LIANG Guofu, DING Shengyan (3773)
Carbon footprint analysis on urban energy use; a case study of Xiamen, China	LIN Jianyi, MENG Fanxin, CUI Shenghui, et al (3782)
The ecological footprint of alpine pastures at the village-level; a case study of Hezuo in Gannan Autonomous Prefecture, China	WANG Lucang, GAO Jing (3795)
The ecosystem health assessment of the littoral zone of Lake Taihu	LI Chunhua, YE Chun, ZHAO Xiaofeng, et al (3806)
The biomass of <i>Bashania fargesii</i> in giant pandas habitat in Qinling Mountains	DANG Kunliang, CHEN Junxian, SUN Feixiang, et al (3816)
Effects of salinity on seed germination and seedling growth in halophyte <i>Limonium aureum</i> (L.) Hill	YOU Jia, WANG Wenrui, LU Jin, et al (3825)
Liana-host tree associations in the tropical montane primary forest and post-harvest forest of Bawangling, Hainan Island, China	LIU Jinxian, TAO Jianping, HE Zeet al (3834)
The response of photosynthetic characters and biomass allocation of <i>P. bournei</i> young trees to different light regimes	WANG Zhenxing, ZHU Jinmao, WANG Jian, et al (3841)
Genetic variation among populations of the endangered <i>Sinocalycanthus chinensis</i> based on morphological traits and ISSR profiles	JIN Zexin, GU Jingjing, LI Junmin (3849)
Growth response to climate in Chinese pine as a function of tree diameter	JIANG Qingbiao, ZHAO Xiuhai, GAO Lushuang, et al (3859)
Age structure and spatial distribution of the rare and endangered plant <i>Alcimandra cathartii</i>	YUAN Chunming, MENG Guangtao, FANG Xiangjing, et al (3866)
The water consumption and water use efficiency of the seedlings of <i>Eucalyptus grandis</i> and other five tree species in Sichuan Province	HU Hongling, ZHANG Jian, WAN Xueqin, et al (3873)
Effects of leaf litter of <i>Cinnamomum septentrionale</i> on growth and resistance physiology of <i>Brassica rapa</i> in the decomposition process of litter	HUANG Weiwei, HU Tingxing, ZHANG Niannian, et al (3883)
Water transport velocity and efficiency in <i>Quercus variabilis</i> detected with deuterium tracer and thermal dissipation technique	SUN Shoujia, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (3892)
The saxicolous moss's features of absorbing water and its structural adaptability in the heterogeneous environment with rock desertification	ZHANG Xianqiang, ZENG Jianjun, CHEN Jinwu, et al (3902)
Effects of organic materials containing copper on soil enzyme activity and microbial community	CHEN Lin, GU Jie, GAO Hua, et al (3912)
Comparison of floral morphology and pollination characteristics between the sexes in <i>Eurya obtusifolia</i>	WANG Qian, DENG Hongping, DING Bo, et al (3921)
Climatic suitability of potential spring maize cultivation distribution in China	HE Qijin, ZHOU Guangsheng (3931)
Effects of uniconazole dry seed dressing on nitrogen accumulation and translocation and kernel protein quality in wheat	FAN Gaoqiong, YANG Ennian, ZHENG Ting, et al (3940)
Review and Monograph	
International comparison and policy recommendation on the development model of industrial symbiosis in China	SHI Lei, LIU Guoguo, GUO Siping (3950)
Scientific Note	
The Change of landscape pattern in Zhenlai Xian, Jilin Province in recent ten years	ZHANG Guokun, LU Jinghua, SONG Kaishan, et al (3958)
Footprint analysis of turbulent flux over a poplar plantation in Northern China	JIN Ying, ZHANG Zhiqiang, FANG Xianrui, et al (3966)

《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 12 期 (2012 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 12 (June, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元