

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第4期 Vol.32 No.4 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 4 期 2012 年 2 月 (半月刊)

目 次

固垦对南汇东滩湿地大型底栖动物的影响.....	马长安,徐霖林,田伟,等	(1007)
基于 ArcView-WOE 的下辽河平原地下水生态系统健康评价	孙才志,杨磊	(1016)
京郊典型集约化“农田-畜牧”生产系统氮素流动特征	侯勇,高志岭,马文奇,等	(1028)
不同辐射条件下苹果叶片净光合速率模拟.....	高照全,冯社章,张显川,等	(1037)
藏北高原典型植被样区物候变化及其对气候变化的响应.....	宋春桥,游松财,柯灵红,等	(1045)
祁连山中段林草交错带土壤水热特征及其对气象要素的响应	唐振兴,何志斌,刘鹄	(1056)
祁连山青海云杉林冠生态水文效应及其影响因素.....	田风霞,赵传燕,冯兆东,等	(1066)
呼伦贝尔沙地樟子松年轮生长对气候变化的响应.....	尚建勋,时忠杰,高吉喜,等	(1077)
结合激光雷达分析上海地区一次连续浮尘天气过程.....	马井会,顾松强,陈敏,等	(1085)
福建中部近海浮游动物数量分布与水团变化的关系	田丰歌,徐兆礼	(1097)
香港巨牡蛎和长牡蛎幼虫及稚贝的表型性状.....	张跃环,王昭萍,闫喜武,等	(1105)
东海原甲藻与中肋骨条藻的种间竞争特征.....	李慧,王江涛	(1115)
起始生物量比对 3 种海洋微藻种间竞争的影响.....	魏杰,赵文,杨为东,等	(1124)
不同磷条件下塔玛亚历山大藻氮的生态幅.....	文世勇,宋琍琍,龙华,等	(1133)
秦岭天然次生油松林冠层降雨再分配特征及延滞效应.....	陈书军,陈存根,邹伯才,等	(1142)
伊犁河谷北坡垂直分布格局及其与环境的关系——一种特殊的双峰分布格局.....	田中平,庄丽,李建贵	(1151)
濒危种四合木与其近缘种霸王水分关系参数和光合特性的比较.....	石松利,王迎春,周红兵,等	(1163)
干旱胁迫下黄土高原 4 种乡土禾草抗氧化特性	单长卷,韩蕊莲,梁宗锁	(1174)
施加角担子菌 B6 对连作西瓜土壤微环境和西瓜生长的影响	肖逸,王兴祥,王宏伟,等	(1185)
内蒙古典型草原区芨芨草群落适生境.....	张翼飞,王炜,梁存柱,等	(1193)
盐渍化灌区土壤盐分的时空变异特征及其与地下水埋深的关系.....	管孝艳,王少丽,高占义,等	(1202)
黄土高原水蚀风蚀交错区坡地土壤剖面饱和导水率空间异质性.....	刘春利,胡伟,贾宏福,等	(1211)
松嫩平原玉米带农田土壤氮密度时空格局.....	张春华,王宗明,居为民,等	(1220)
小麦冬性强弱评价体系的建立.....	王鹏,张春庆,陈化榜,等	(1230)
唐家河自然保护区高山姬鼠和中华姬鼠夏季生境选择的比较.....	黎运喜,张泽钧,孙宜然,等	(1241)
西花蓟马在 6 种蔬菜寄主上的实验种群生命表	曹宇,鄧军锐,孔译贤	(1249)
同位素富集-稀释法研究食性转变对鱼类不同组织 N 同位素转化率的影响	曾庆飞,谷孝鸿,毛志刚,等	(1257)
基于生态网络分析的南京主城区重要生态斑块识别.....	许文雯,孙翔,朱晓东,等	(1264)
珠三角城市绿地 CO ₂ 通量的季节特征.....	孙春健,王春林,申双和,等	(1273)
污染场地地下水渗流场模拟与评价——以柘城县为例.....	吴以中,朱沁园,刘宁,等	(1283)
专论与综述		
湿地退化研究进展.....	韩大勇,杨永兴,杨杨,等	(1293)
绿洲农田氮素积累与淋溶研究述评	杨荣,苏永中,王雪峰	(1308)
问题讨论		
抗辐射菌 <i>Deinococcus radiodurans</i> 的多样性	屠振力,方俐晶,王家刚	(1318)
平茬措施对柠条生理特征及土壤水分的影响	杨永胜,卜崇峰,高国雄	(1327)
研究简报		
祁连山典型灌丛降雨截留特征.....	刘章文,陈仁升,宋耀选,等	(1337)
野生鸭儿芹种子休眠特性及破除方法.....	喻梅,周守标,吴晓艳,等	(1347)



封面图说: 遗鸥群飞来——遗鸥意即“遗落之鸥”(几乎是最后才被发现的新的鸥种,因此得名)。1931年,瑞典动物学家隆伯格撰文记述在中国额济纳采到了标本。1987年,中国的鸟类学家在鄂尔多斯的桃力庙获得了一对遗鸥的标本。1990年春夏之交,发现了湖心各岛上大量的遗鸥种群。近年来的每年夏季,大约全球 90% 以上的遗鸥都会到陕西省神木县境内的沙漠淡水湖-红碱淖上聚集。遗鸥——国家一级重点保护、CITES 附录一物种。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb2011101040006

侯勇,高志岭,马文奇,Lisa Heimann,Marco Roelcke,Rolf Nieder. 京郊典型集约化“农田-畜牧”生产系统氮素流动特征. 生态学报,2012,32(4): 1027-1036.

Hou Y, Gao Z L, Ma W Q, Lisa Heimann, Marco Roelcke, Rolf Nieder. Nitrogen flows in intensive “crop-livestock” production systems typically for the peri-urban area of Beijing. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(4): 1027-1036.

京郊典型集约化“农田-畜牧”生产系统氮素流动特征

侯 勇¹,高志岭¹,马文奇^{1,*}, Lisa Heimann², Marco Roelcke², Rolf Nieder²

(1. 河北农业大学资源与环境科学学院,保定 071001; 2. 德国不伦瑞克工业大学地理生态研究所,德国 不伦瑞克 38106)

摘要:城郊畜牧业的集约化发展在满足人们日益增长的肉蛋奶等动物性产品需求的同时,也带来了巨大的环境压力。本文利用养分流动和模型分析的方法,分析北京市郊区某村三种不同类型“农田-畜牧”生产系统(大型集约化种猪场、种养结合小规模生态养殖园和集约化单一种植区)的氮素流动特征。结果表明:饲料是集约化种猪场和生态养殖园氮素输入的主要来源,饲料投入氮量分别为 12469.0 和 9268.5 kg·hm⁻²·a⁻¹);集约化种猪场农牧体系间生产脱节,致使农田氮素输入主要依赖于化肥投入,化肥氮输入量(435.0 kg·hm⁻²·a⁻¹)占农田氮素输入量的 82.7%。相反,生态养殖园农牧体系结合紧密,猪粪尿氮还田比例达 28.6%,这使得园区化肥氮输入量仅为 135.0 kg·hm⁻²·a⁻¹,因此畜禽粪尿的合理循环利用可作为减少化肥投入的有效途径;集约化种猪场、生态养殖园和单一种植区农牧生产系统氮素利用效率分别为 18.8%、20.6%和 17.3%,均处于较低水平;集约化种猪场猪粪尿在猪舍和储藏处理过程的氮素损失率为 15.8%和 25.4%,分别低于小规模生态养殖园相应损失率约 8.7 和 4.8 个百分点;生态养殖园粪肥氮还田量高,导致农田氮素盈余量高达 1962.8 kg·hm⁻²·a⁻¹,未能实现生态型养殖的理想效果,优化氮素管理、确定合理的消纳畜禽粪尿的农田面积和调整畜禽养殖密度是解决该问题的关键。

关键词:城郊区域;集约化农业;“农田-畜牧”生产系统;氮素流动特征

Nitrogen flows in intensive “crop-livestock” production systems typically for the peri-urban area of Beijing

HOU Yong¹, GAO Zhiling¹, MA Wenqi^{1,*}, Lisa Heimann², Marco Roelcke², Rolf Nieder²

1 College of Resources and Environmental Science, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China

2 Institute of Geoecology, Technische Universitaet Braunschweig, 38106 Braunschweig, Germany

Abstract: A further increasing demand for animal products is anticipated owing to the growing population, rapid urbanization and improvement of living standards in China. This is leading to the development of large-scale livestock husbandry in peri-urban areas at an unprecedented rate. However, the rapid development of intensive animal production has resulted in greatly negative effects on the environment. Linking cropping and animal production systems is very important to realize the improvement of nutrient use efficiency and reduction of resource use. Consequently, a systematic research on “crop-livestock” production systems is urgently required to provide a scientific basis for reducing nutrient losses in China.

In this study, three types of “crop-livestock” systems in a village typical for the peri-urban area of Beijing were selected. The first type was an “intensive pig farm”, which included pig breeding and crop production; the second type was so-called “ecological feeding gardens” consisting of 160 small pig holders; the third one was a “single cropping region” which had no animal production. The characteristics of nitrogen (N) flows in these three systems were analyzed using the

基金项目:中德合作项目(BMBF FKZ: 0330847B, MOST: 2009DFA32710);农业部公益性行业专项(201103003);中德合作科研交流项目(CSC: 201005, DAAD: 50117102)

收稿日期:2011-01-04; 修订日期:2011-06-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mawq@hebau.edu.cn

nutrient flows method. Of the input components, purchased feeds (IN1), chemical fertilizers (IN2), purchased animal manure (IN3), atmospheric deposition (IN4), irrigation water (IN5) and asymbiotic nitrogen fixation (IN6) were considered, while sold animal products (OUT1), crop products (OUT2) including economic products (OUT2a) and byproducts (OUT2b), animal manure (OUT3) and nitrogen losses from animal excreta during animal housing (OUT4) and manure storage (OUT5) were defined as output components of the “crop-livestock” production system. In addition, self-produced feeds (Inter1), recycled manure (Inter2) and crop residues incorporated into fields (Inter3) were considered as the internal components. Nitrogen use efficiencies ((OUT1+OUT2a)/total N inputs (IN1—IN6)) were used to estimate the sustainability of the “crop-livestock” systems.

The results showed that purchased feeds (IN1) were the dominant component of N inputs to the “crop-livestock” systems both in “intensive pig farm” and “ecological feeding gardens” types. Nitrogen input in purchased feed was $12469.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, accounting for 95.9% of total N input in the former type, and in the latter type it was $9268.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, which accounted for 97.6% of total N input. The N application rate of chemical fertilizers (IN2) in the “intensive pig farm” was $435.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, comparing to the corresponding value of $135.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ in the “ecological feeding gardens”. The lower chemical fertilizer N application rate in the latter was attributed to the recycling of manure N (Inter2), where 28.6% of the total excreted N was applied to crops. Consequently, this confirmed that the recycling of manure N is an efficient way to reduce the application rate of chemical N fertilizer.

However, low nitrogen use efficiencies of 18.8%, 20.6% and 17.3% for the “intensive pig farm”, “ecological feeding gardens” and “single cropping region” types, respectively, were found over the study period. This can be partly explained by the relatively high N losses from animal excreta during animal housing (OUT4) and manure storage (OUT5), accounting for 15.8% and 25.4% of animal excreted N in the “intensive pig farm”, respectively, even though they were 8.7 and 4.8 percentage points lower than those from the “ecological feeding gardens”. Positive cropland N balances resulted across all three types of “crop-livestock” systems, especially in the “ecological feeding gardens” where the annual nitrogen surplus reached $1962.8 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, indicating that the purpose of “ecological” feeding was not achieved as planned. It is concluded that a proper animal stocking density associated with the optimization of N management and an appropriate amount of cropland for animal manure recycling are the keys to solve this issue.

Key Words: peri-urban area; intensive agriculture; the “crop-livestock” production system; nitrogen flow

随着我国人口剧增、城镇化进程加快以及人民生活水平的提高,肉蛋奶等动物性产品在人们食品消费中所占的比例也随之增加,从而促进了城市郊区畜牧业的快速发展。畜牧生产模式也由低生产力的农户分散养殖模式转向高生产力的集约化规模养殖模式。然而,这种转变在不断满足人们需求的同时,也导致畜牧养殖与环境保护之间的矛盾日益突出^[1-3]。农田和畜牧体系分别作为农业生态系统的初级生产者和次级生产者,两者之间具有明显的相互依赖和相互制约关系。实行农牧结合能够使养分资源在农业生态系统中的利用更趋于合理化,以减少资源的浪费^[4-5]。Velthof^[6]和 Oenema^[7]等研究结果表明,通过综合评价“农田-畜牧”生产系统的养分流动状况,阐明养分流动特征,对于解决其养分损失和环境污染问题具有重要指导作用。然而,我国农业生态系统养分管理的研究仅局限于农田和畜牧各体系内,针对农牧结合生产系统养分流动的综合评价尚不多见。阐明城市郊区集约化“农田-畜牧”生产系统的养分流动规律,对于优化区域养分资源配置以及协调畜牧发展与生态环境之间的关系等有着重要的指导意义。本文以北京郊区某集约化养殖村为例,分析3种典型“农田-畜牧”生产系统的氮素流动特征,综合评价环境污染潜力,探讨氮素资源优化管理策略,从而为研究区域畜牧业集约化发展的合理规划、降低环境污染潜力以及实现农业生态系统的良性循环提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区域

本研究选择北京市郊区某村作为试验点,该村位于京郊北部,距北京市区 30 km,总耕地面积 268.5 hm^2 ,

属暖温带半湿润的大陆性季风气候,年均气温 11.5℃,年降雨量约 600 mm,土壤类型以冲积性潮褐土为主。

根据养殖规模和经营方式的差异将试验点农业生产系统划分为以下 3 种类型:一是大型集约化种猪场,其特点是配备有猪粪尿沼气处理工程,此外还包括小麦、玉米轮作农田 9.5 hm²。2009 年种猪场母猪年存栏量 1280 头,种猪和育肥猪年出栏总量为 15525 头;二是农牧结合小规模生态养殖园,其特点是以户为单位集中经营,每户猪舍前均种植玉米、白菜等作物。2009 年园区总农户数为 160 户,每户占地约 0.2 hm²,园区母猪年存栏量 1712 头,仔猪和育肥猪年出栏总量为 25962 头,农田种植面积 25.3 hm²;三是集约化单一种植生产系统,其特点是仅种植作物未经营畜禽养殖。单一种植区主要包括两个种植基地,分别为果树种植基地和玉米良种培育基地,还包括少量以玉米、白菜轮作为主的小型农户,单一种植区农田耕地面积 35.8 hm²。

1.2 系统的界定

本研究通过文献资料分析、实地调研和专家建议构建了“农田-畜牧”生产系统氮素养分流动模式(图 1)。化肥、购买粪肥、大气沉降、灌溉、生物固氮和购买饲料为该系统的外源输入项,作物产品、动物活体、出售或运出农场的畜禽粪尿以及粪尿在禽舍和储藏处理过程中的损失为该系统的输出项。“农田-畜牧”生产系统包括农田和畜牧两个子体系。子体系内和子体系间也存在氮素的循环流动,将其视为“农田-畜牧”生产系统内部循环。子体系内氮素循环如农田收获副产品的还田,子体系间氮素循环如农田收获主副产品作饲料(自给饲料)以及畜禽粪尿返还农田(还田粪尿)。

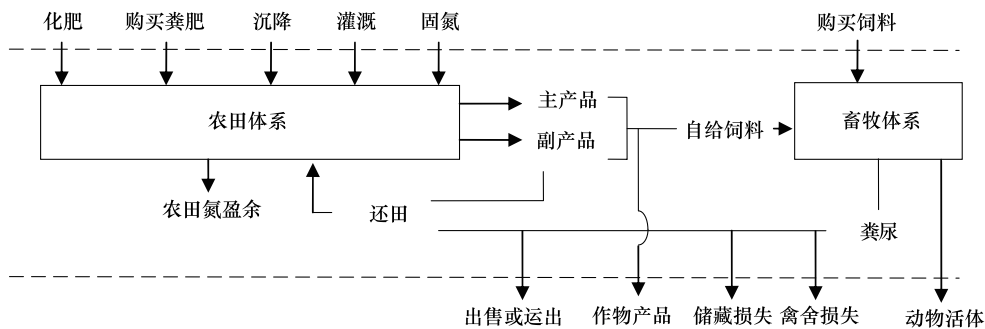


图 1 “农田-畜牧”生产系统氮素流动模式

Fig. 1 Demonstration of nitrogen flow in the “crop-livestock” production system

1.3 模型算法和数据来源

1.3.1 畜牧体系氮素流动模型算法和数据来源

(1) 输入项

$$\text{饲料氮投入量} = \text{日饲料投入量} \times \text{饲养天数} \times \text{饲料含氮量}$$

(2) 输出项

$$\text{猪活体含氮量} = \text{猪活体重} \times (\text{可食部分所占比例} \times \text{可食部分含氮量} + \text{骨所占比例} \times \text{骨含氮量} + \text{副产品所占比例} \times \text{副产品含氮量})$$

$$\text{出栏商品猪粪尿排氮量} = \text{饲料氮投入量} + \text{初始活体含氮量} - \text{出栏时活体含氮量}$$

$$\text{存栏母猪粪尿排氮量} = \text{饲料氮投入量} + \text{年初活体含氮量} - \text{产仔活体含氮量} - \text{年末活体含氮量}$$

$$\text{猪粪尿氮损失量} = \text{猪舍和储藏过程粪尿氮挥发损失量} + \text{猪舍和储藏过程污水排氮量}$$

不同生育期日饲料投入量和饲料含氮量存在差异,因此本研究以生育期为单位计算饲料氮投入量。猪舍和储藏过程粪尿氮挥发损失算法参照刘东等研究结果^[8]。种猪场经猪舍排放的污水全部通过管道转移至沼气处理厂,因此本文假定猪舍内不存在污水向环境的排放,沼气处理后的污水排放氮量可由污水排放量与污水含氮量得^[9]。生态养殖园猪舍内污水排氮量的算法和参数参考第一次全国污染源普查结果,粪尿储藏处理过程中污水排氮量算法参考 Oenema 等研究结果^[7]。

养殖数量、日饲料投入量、饲料种类与配比、浓缩饲料含氮量、各生育期饲养天数、不同生育期猪活体重、

沼气处理厂污水排放量、猪舍结构以及粪尿储藏方式等数据通过实地调查获得;除浓缩饲料外其他饲料的含氮量来源于《中国饲料成分及营养价值表》^[10];可食部分、骨和副产品比例以及各部分含氮量参考刘晓利研究成果^[11]。

1.3.2 农田体系氮素流动模型算法和数据来源

(1) 输入项

化肥输入氮量 = 化肥施入量 × 化肥含氮量

还田粪尿输入氮量 = 猪粪尿排氮量 × 还田比例

购买粪肥输入氮量 = 购买粪肥施入量 × 粪肥含氮量

灌溉输入氮量 = 灌溉量 × 灌溉水含氮量

作物副产品还田氮量 = 作物副产品收获氮量 × 还田比例

(2) 输出项

作物主产品收获氮量 = 主产品产量 × 主产品含氮量

作物副产品收获氮量 = 主产品产量 × 副产品与主产品质量比值 × 副产品含氮量

化肥施入量、化肥含氮量、购买粪肥施入量、猪粪尿还田比例、灌溉量、作物主产品产量和副产品还田比例通过实地调查获得;购买粪肥含氮量参考《中国有机肥料养分数据集》^[12];灌溉水含氮量参考刘宏斌^[13]和李玉堂^[14]等研究成果;大气沉降输入氮量来源于 Zhang^[15]和 Shen^[16];生物固氮量参考鲁如坤等研究成果^[17]。小麦、玉米籽粒含氮量通过文献数据搜集并取其平均值^[18-21]。秸秆含氮量来源于《中国有机肥料养分数据集》^[12];小麦玉米秸秆籽粒比采用常用的 1.1 和 1.2^[22];水果果实含氮量来源于《中国食物成分表》^[23];蔬菜植株含氮量和收获指数参考张晓晟研究成果^[24]。

1.4 氮素流动评价指标

本研究选用流量指标来描述“农田-畜牧”生产系统各流动项之间氮素的转移和交换状况。此外,选择效率指标描述各养分库中氮素产出数量和投入数量的关系。在农田体系中,氮素利用效率是指作物主产品收获带走氮量占总输入氮量的比率;在畜牧体系中,动物活体含氮量与总饲料投入氮量的比例用来表示畜牧体系氮素利用效率;而“农田-畜牧”生产系统的氮素利用效率是指作物主产品收获氮量与动物活体含氮量之和占系统总输入氮量的比率。废弃物养分循环利用是减少系统养分环境排放的有效途径,因此,本研究选用畜牧体系氮素循环效率即循环到农田的畜禽粪尿氮量占畜牧体系总粪尿排氮量的比率来描述系统氮素的循环利用状况。

2 结果与分析

2.1 各生产系统氮素流向和流量分析

2009 年 3 种类型“农田-畜牧”生产系统单位面积(农田面积)氮素流动账户见图 2 所示。由图 2 可知:1) 大型集约化种猪场畜牧体系氮素输入量 $12469.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 全部来源于购买的饲料,饲料氮占农牧结合系统氮素输入量的 95.9%;农田体系氮素输入量 $529.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,化肥氮贡献率达到 82.7%;作物产品和猪粪尿均被出售或运出农场,未形成子体系间养分循环。2) 种养结合小规模生态养殖园畜牧体系氮素输入量 ($9268.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) 同样全部来源于购买的饲料,饲料氮占农牧结合系统氮素输入量的 97.6%;与种猪场不同,生态养殖园猪粪尿排氮量 ($7530.4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) 的 28.6% 返还农田,且还田粪尿氮量占农田体系氮素输入量的 90.4%;在输出项中,作物主副产品收获氮量仅占农田氮素输入量的 17.7%。3) 集约化单一种植区农田体系氮素输入量为 $561.9 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,化肥作为主要氮素输入项其贡献率(50.5%)远超过粪肥氮贡献率(17.0%)。

2.2 各生产系统氮素利用效率的分析

由表 1 可见,无论是大规模集约化种猪场还是小规模种养结合生态养殖园,两者“农田-畜牧”生产系统氮素利用效率均处于较低水平。生态养殖园农田体系氮素利用效率仅为 9.2%,明显低于其他两集约化生产系

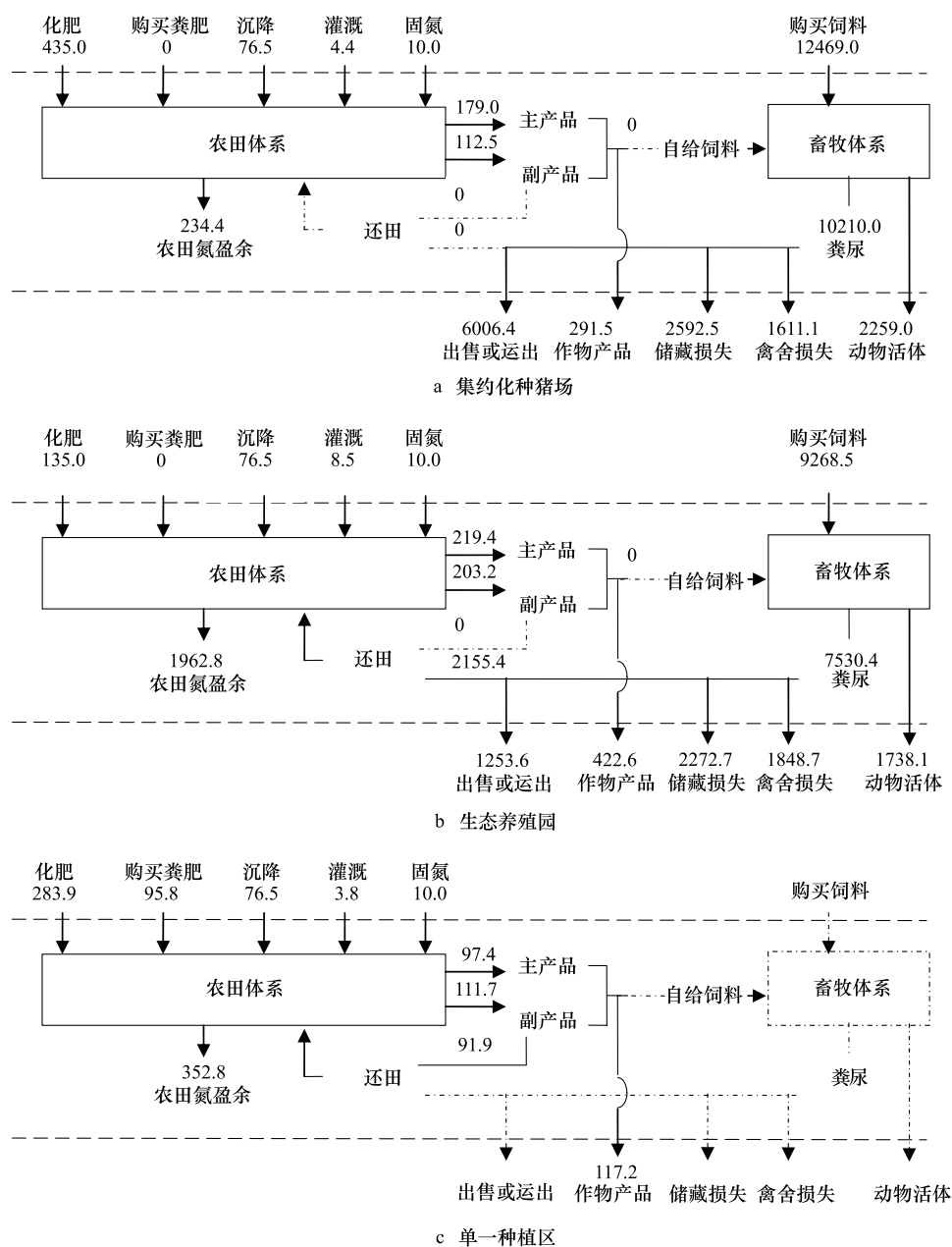
图2 2009年各生产系统单位面积氮素流动账户($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)

Fig. 2 Nitrogen flows of different production systems in the study area in 2009

表1 2009年各生产系统氮素利用效率

Table 1 Nitrogen use efficiencies of different production systems in the study area in 2009

农业生产系统 Agricultural production system	氮素利用效率 Nitrogen use efficiency/%		
	农田体系 Cropping system	畜牧体系 Livestock system	“农田-畜牧”生产系统 “Crop-livestock” system
集约化种猪场 Intensive pig farm	34.0	18.1	18.8
生态养殖园 Ecological feeding gardens	9.2	18.7	20.6
单一种植区 Single cropping region	17.3	—	17.3

统的农田体系氮素利用效率,原因在于生态养殖园农田体系年均氮素输入量(以还田粪尿为主要来源)高达 $2385.5 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,远远超出园区作物生长的需求量(图2b)。但值得一提的是,猪粪尿的循环再利用使得生

态养殖园“农田-畜牧”生产系统氮素利用效率与农田或畜牧子体系氮素利用效率相比有所提高。相反,由于猪粪尿未出现子体系间循环,集约化种猪场“农田-畜牧”生产系统氮素利用效率明显低于农田体系氮素利用效率。

2.3 各生产系统氮素流动造成的环境压力

就畜牧体系粪尿氮损失率而言,大型集约化种猪场猪粪尿在禽舍和储藏处理过程的氮素损失率分别是 15.8% 和 25.4%,生态养殖园猪粪尿在相应过程的氮素损失率分别为 24.5% 和 30.2%,表明无论是猪舍还是粪尿储藏处理过程中,大型集约化种猪场粪尿氮损失率均低于生态养殖园相应的损失率。然而,通过单位面积粪尿氮损失量的比较发现(图 2a 和图 2b),大型集约化种猪场粪尿储藏过程的氮损失量高出生态养殖园粪尿相应的氮损失量,主要原因是种猪场猪粪尿经沼气处理后产生的沼液未经污水处理,而是直接以废弃物的形式排放入周围环境。

本研究区域各生产系统均出现农田氮盈余现象,其中生态养殖园农田单位面积氮盈余量高达 $1962.8 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,分别是集约化种猪场和单一种植区农田氮盈余量的 8.4 倍和 5.6 倍。由此可见,种养结合小规模生态养殖园农田氮盈余问题严重。通过对生态养殖园 26 个农户的养殖密度与农田单位面积氮盈余量的关系分析(图 3),发现两者呈极显著正相关($r=0.5869, P<0.01$)。然而,作物收获带走氮量与农田氮盈余量之间不存在显著相关($r=0.1054, P>0.05$)(图 4)。因此,种养结合生态养殖园的农田氮盈余问题与畜牧体系的生产管理密切相关。

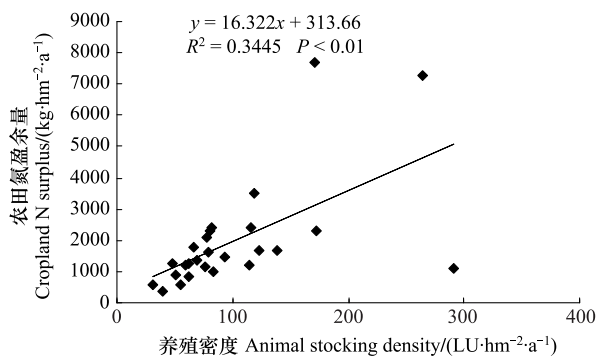


图 3 生态养殖园畜禽养殖密度与农田氮盈余的关系

Fig. 3 Relationship between animal stocking density and cropland N surplus in “Ecologic feeding gardens”

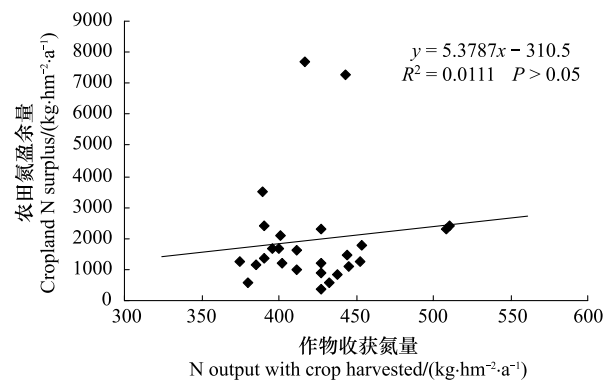


图 4 生态养殖园作物收获氮量与农田氮盈余的关系

Fig. 4 Relationship between N output with crop harvested and cropland N surplus in “Ecologic feeding gradens”

3 讨论

大型集约化种猪场“农田-畜牧”生产系统氮素流量与流向分析结果表明,农田子体系和畜牧子体系之间生产严重脱节。猪粪尿经沼气处理后产生的沼液、沼渣等有机资源未能在场内得到循环利用,致使农田体系氮素输入全部依靠外源氮的投入,其中 82.7% 的氮素来源于化肥,不必要的化肥投入增加了作物生产的成本,而且大量有机资源未能被利用也加剧了周围环境的污染潜力。相比之下,生态养殖园农牧生产体系结合较紧密,猪粪尿氮还田比例达到 30% 左右,这也使得园区农田单位面积化肥氮输入量仅为 $135.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,占农田体系氮素输入量的 5.7%。同样地,Liang^[25]等研究结果表明,日本 Mikasa 市奶牛生产系统粪尿的循环利用有效地降低了农田化肥氮的投入量近 70 个百分点。因此,本研究认为大型集约化种猪场产生的沼液、沼渣等有机资源如得到合理的循环利用不但可以减少农田化肥氮投入同时还可以降低畜禽体系生产过程的环境排放。

本研究区域三种生产体系均存在不同程度的农田氮盈余,虽然原因各不相同,但主要原因均为肥料氮(化肥和粪肥)投入量超过了作物生长的需求量。一般认为,农田盈余的氮素去向有两种可能,一是残留在土壤中供下一季作物利用,二是排入大气和水体造成环境污染。目前,国际上已经把农田氮素盈余量作为评价

农田氮素环境排放代价和污染潜力的重要指标,也成为许多发达国家制定环境保护相关法律法规的主要依据。例如,基于土壤质地和农田类型不同,荷兰政府规定砂质和粘质农田氮素年盈余限量值分别为 $60 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 和 $100 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,超过此标准会产生环境污染风险^[26]。Sun^[27] 等建议采用农田氮素年盈余量 $100 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 和 $180 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,分别作为中国农田评价潜在环境污染和高风险环境污染的指标。从本研究结果看,三种生产体系氮盈余量均超过了上述限量标准,存在比较高的环境污染风险。因此,3种生产体系应将氮素优化管理放到重要位置,以降低氮素盈余量以及由此带来的环境污染风险。

种养结合小规模生态养殖园建设的最初目的是建立一个“饲料-生猪-粪尿-饲料”的生态型农业生产模式,以提高畜禽粪尿资源的综合利用,促进养分的良性循环,最终实现种植业和养殖业的协调发展。然而本研究发现生态养殖园存在严重的农田氮盈余问题,单位面积氮盈余量高达 $1962.8 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,原因在于园区粪尿排泄量已远远超过了配套农田的消纳量,因此无法达到生态养殖的理想效果。部分研究已表明我国养殖业发达区域养殖场附属的耕地面积与其饲养规模不匹配的问题日益严重^[28]。此外,本研究发现养殖密度是影响农牧结合生产系统农田氮盈余的主要因素之一,这与 Bassaninno^[29] 和韩宇峰^[30] 等研究结果相一致。由此可见,确定合理的消纳畜禽粪尿的农田面积和调整畜禽养殖密度成为解决生态养殖园农田养分盈余问题的关键。为了减少硝态氮向水体的迁移,欧盟硝酸盐法令规定施入农田的畜禽粪尿氮量的不能超过 $170 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。如果以此限量标准作为该生态养殖园区农田粪尿氮的承载极限值,那么在保持养殖规模和还田比例不变的情况下,需要配套的农田面积约为 300 hm^2 ,农田体系氮素利用效率同时提高至 54.7% 。沈根祥^[31] 等基于农田氮磷养分管理确定出栏万头生猪需要匹配的粮食作物农田面积约为 $230\text{—}350 \text{ hm}^2$,与本研究计算结果相符(生态养殖园生猪年出栏量万头以上)。但由于城郊区域耕地需求紧迫,同时单位耕地动物产品产出所带来的经济效益往往高于作物产品,所以基于农场或农户尺度考虑,通过缩小养殖规模或扩大农田种植面积以实现环境友好的目标,在实际操作上可能存在一定的难度。在这种情况下,将多余的畜禽粪尿运往周围缺肥区域可以视为解决该方法之一。以本研究区域为例,集约化单一种植区农田体系氮素输入以化肥氮为主,粪肥氮输入量仅占 17.0% ,假设将园区部分猪粪尿施入单一种植区农田,不但可以减少种植区化肥投入量,而且还能缓解生态养殖园高粪肥投入问题。

References:

- [1] Chen D M, Yang J S, Liu G M. Environmental effect and its countermeasure of intensive livestock farm. *Shanghai Environmental Sciences*, 2002, 21(8): 488-512.
- [2] Shi G H. The Impact of Intensive Livestock production on Eco-Environment and Development Countermeasure in Beijing Suburban Area [D]. Beijing: China Agricultural University, 2004.
- [3] Zhang H, Chen X D, Chang W Y, Zhang F, Yuan Y L, Xing F. Discussion on the resource utilization and eco-treatment for livestock and poultry farm wastewater. *Environmental Protection Science*, 2007, 33(3): 38-40.
- [4] Zeng J H, Zhang Y M. Source, pool and flux of nutrient cycling in a combined agro-animal husbandry ecosystem. *Chinese Journal of Ecology*, 1994, 13(4): 42-46, 22.
- [5] Leng Z J, Meng J, Xu Z R, Ge J Q. Establishment of the mixed agri-ecosystem matter flow model. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 1998, 14(1): 53-54, 58.
- [6] Velthof G L, Oudendag D, Witzke H P, Asman W A H, Klimont Z, Oenema O. Integrated assessment of nitrogen losses from agriculture in EU-27 using MITERRA-EUROPE. *Journal of Environmental Quality*, 2009, 38(2): 402-417.
- [7] Oenema O, Witzke H P, Klimont Z, Lesschen J P, Velthof G L. Integrated assessment of promising measures to decrease nitrogen losses from agriculture in EU-27. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2009, 133(3/4): 280-288.
- [8] Liu D, Wang F H, Ma L, Ma W Q, Zhang F S. Estimation of NH_3 emission factor for pig manure in China. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(4): 218-224.
- [9] Zhang Q G. *Biogas Technology and Application*. Beijing: Chemical Industry Press, 2005: 113-141.
- [10] Chinese Feed Database. Tables of feed composition and nutritive values in China 2007 eighteenth edition. *China Feed*, 2007, (21): 34-34.
- [11] Liu X L. Nitrogen Cycling and Balance in “Agriculture-Livestock-Nutrition-Environment” System of China [D]. Baoding: Agriculture University

- of Hebei, 2005.
- [12] Service Centre of National Agricultural Technological Popularization. Data-Base of Nutrients in Organic Fertilizer in China. Beijing: China Agricultural Press, 1999: 1-156.
- [13] Liu H B, Lei B k, Zhang Y G, Zhang W L, Lin B. Investigation and evaluation on nitrate pollution in groundwater of Shunyi District. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2001, 7(4): 385-390.
- [14] Li Y T, Zhen G X, Chen D W, Wang R X, Huang X F, Wei J R, Zhang J L. The distribution of ammonia nitrogen in groundwater of Shunyi and its influencing factors. *Journal of Environmental Health*, 2007, 24(9): 706-708.
- [15] Zhang Y, Zheng L X, Liu X J, Jickells T, Cape J N, Goulding K, Fangmeier A, Zhang F S. Evidence for organic N deposition and its anthropogenic sources in China. *Atmospheric Environment*, 2008, 42(5): 1035-1041.
- [16] Shen J L, Tang A H, Liu X J, Fangmeier A, Goulding K T W, Zhang F S. High concentrations and dry deposition of reactive nitrogen species at two sites in the North China Plain. *Environmental Pollution*, 2009, 157(11): 3106-3113.
- [17] Lu R K, Liu H X, Wen D Z, Qin S W, Zheng J Y, Wang Z Q. Nutrient cycling and balance of agri-ecological systems in typical regions in China II. Parameters of nutrient inputs from cropland. *Chinese Journal of Soil Science*, 1996, 27(4): 151-154.
- [18] Cai Z C, Qin S W. Crop yield, N use efficiency and environmental impact of a long-term fertilization experiment in fluvor aquic soil in North China. *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(6): 885-891.
- [19] Huang S W, Jin J Y, Zuo Y B, Yang L P, Cheng M F. Nutrient balance of agricultural soils and their evaluation. *Soils and Fertilizers*, 2000, (6): 14-19.
- [20] Li X. Fate of Fertilizer Nitrogen and Gaseous N Loss in Winter Wheat-Summer Maize Rotation System in North China Plain [D]. Baoding: Agriculture University of Hebei, 2007.
- [21] Lu R K, Liu H X, Wen D Z, Qin S W, Zheng J Y, Wang Z Q. Nutrient cycling and balance of agri-ecological systems in typical regions in China I. Parameters of nutrient outputs from cropland. *Chinese Journal of Soil Science*, 1996, 27(4): 145-151.
- [22] Service Centre of National Agricultural Technological Popularization. Resource of Organic Fertilizer in China. Beijing: China Agricultural Press, 1999: 57-63.
- [23] Chinese Center for Disease Control and Prevention. China Food Composition 2002. Beijing: Peking University Medical Press, 2002: 80-97.
- [24] Zhang X S, Chen Q, He J D, Zhang H Y, Li X L. Building of target yield nutrients database for open field vegetable fertilizer recommendations in Beijing suburb. *China Vegetables*, 2005 (S1): 53-57.
- [25] Liang L, Nagumo T, Hatano R. Nitrogen flow in the rural ecosystem of Mikasa City in Hokkaido, Japan. *Pedosphere*, 2006, 16(2): 264-272.
- [26] Oenema O, Kros H, de Vries W. Approaches and uncertainties in nutrient budgets: implications for nutrient management and environmental policies. *European Journal of Agronomy*, 2003, 20(1/2): 3-16.
- [27] Sun B, Shen R P, Bouwman A F. Surface N balances in agricultural crop production systems in China for the period 1980—2015. *Pedosphere*, 2008, 18(3): 304-315.
- [28] Zeng Y, Hong H S, Cao W Z, Chen N W, Li Y Y, Huang Y F. Characteristics of nitrogen and phosphorus losses from swine production systems in Jiulong River watershed. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2005, 21(2): 116-120.
- [29] Bassanino M, Grignani C, Sacco D, Allisiardi E. Nitrogen balances at the crop and farm-gate scale in livestock farms in Italy. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2007, 122(3): 282-294.
- [30] Han Y F. Nutrient Cycling and Balance of Agri-Livestock Combining System in the Yanmenguan Ecological Animal Economic Area [D]. Taiyuan: Shanxi University, 2007.
- [31] Shen G X, Qian X Y, Liang D T, Gu H R, Yao Z, Qian Y Q. Research on suitable area for cropland application of animal manure based on nutrients management of nitrogen and phosphorus. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2007, 22(S2): 268-271.

参考文献:

- [1] 陈德明, 杨劲松, 刘广明. 规模化牲畜养殖场的环境效应及其对策. *上海环境科学*, 2002, 21(8): 488-490.
- [2] 史光华. 北京郊区集约化畜牧业发展的生态环境影响及其对策研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2004.
- [3] 张华, 陈晓东, 常文越, 张帆, 袁英兰, 邢峰. 畜禽养殖污水生态处理及资源化利用方式的探讨. *环境保护科学*, 2007, 33(3): 38-40.
- [4] 曾江海, 张玉铭. 一个农牧结合生态系统营养循环的源、库、流. *生态学杂志*, 1994, 13(4): 42-46, 22-22.
- [5] 冷志杰, 孟军, 徐中儒, 葛家麒. 一个农牧结合生态系统物流模型的建立. *农业系统科学与综合研究*, 1998, 14(1): 53-54, 58-58.
- [6] 刘东, 王方浩, 马林, 马文奇, 张福锁. 中国猪粪尿 NH₃ 排放因子的估算. *农业工程学报*, 2008, 24(4): 218-224.
- [7] 张全国. 沼气技术及其应用. 北京: 化学工业出版社, 2005: 113-141.
- [8] 中国饲料数据库. 中国饲料成分及营养价值表 2007 年第 18 版. *中国饲料*, 2007, (21): 34-34.

- [11] 刘晓利. 我国“农田-畜牧-营养-环境”体系氮素养分循环与平衡 [D]. 保定: 河北农业大学, 2005.
- [12] 全国农业技术推广服务中心. 中国有机肥料养分数据集. 北京: 中国科学技术出版社, 1999: 1-156.
- [13] 刘宏斌, 雷宝坤, 张云贵, 张维理, 林葆. 北京市顺义区地下水硝态氮污染的现状与评价. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(4): 385-390.
- [14] 李玉堂, 甄国新, 陈东宛, 王瑞霞, 黄晓凤, 魏建荣, 张金良. 北京市顺义区地下水中氨氮的分布及其影响因素. 环境与健康杂志, 2007, 24(9): 706-708.
- [17] 鲁如坤, 刘鸿翔, 闻大中, 钦绳武, 郑剑英, 王周琼. 我国典型地区农业生态系统养分循环和平衡研究 II. 农田养分收入参数. 土壤通报, 1996, 27(4): 151-154.
- [18] 蔡祖聪, 钦绳武. 华北潮土长期试验中的作物产量、氮肥利用效率及环境效应. 土壤学报, 2006, 43(6): 885-891.
- [19] 黄绍文, 金继运, 左余宝, 杨俐苹, 程明芳. 农田土壤养分平衡状况及其评价的试点研究. 土壤肥料, 2000(6): 14-19.
- [20] 李鑫. 华北平原冬小麦-夏玉米轮作体系中肥料氮去向及氮素气态损失研究 [D]. 保定: 河北农业大学, 2007.
- [21] 鲁如坤, 刘鸿翔, 闻大中, 钦绳武, 郑剑英, 王周琼. 我国典型地区农业生态系统养分循环和平衡研究 I. 农田养分支出参数. 土壤通报, 1996, 27(4): 145-151.
- [22] 全国农业技术推广服务中心. 中国有机肥料养分志. 北京: 中国农业出版社, 1999: 57-63.
- [23] 中国疾病预防控制中心. 中国食物成分表 2002. 北京: 北京大学医学出版社, 2002: 80-97.
- [24] 张晓晟, 陈清, 贺建德, 张宏彦, 李晓林. 京郊露地蔬菜平衡施肥产量和养分数据库的建立. 中国蔬菜, 2005(增刊): 53-57.
- [28] 曾悦, 洪华生, 曹文志, 陈能汪, 李永玉, 黄云凤. 九龙江流域养猪场氮磷流失特征研究. 农业工程学报, 2005, 21(2): 116-120.
- [30] 韩宇峰. 雁门关生态畜牧经济区农牧结合系统养分循环及平衡 [D]. 太原: 山西大学, 2007.
- [31] 沈根祥, 钱晓雍, 梁丹涛, 顾海蓉, 姚政, 钱永清. 基于氮磷养分管理的畜禽场粪便匹配农田面积. 农业工程学报, 2007, 22(增刊 2): 268-271.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 4 February, 2012 (Semimonthly)
CONTENTS

- The influence of a reclamation project on the macrobenthos of an East Nanhui tidal flat MA Changan, XU Linlin, TIAN Wei, et al (1007)
- Ecological health assessment of groundwater in the lower Liaohe River Plain using an ArcView-WOE technique SUN Caizhi, YANG Lei (1016)
- Nitrogen flows in intensive “crop-livestock” production systems typically for the peri-urban area of Beijing HOU Yong, GAO Zhiling, MA Wenqi, et al (1028)
- The simulation of leaf net photosynthetic rates in different radiation in apple canopy GAO Zhaoquan, FENG Shezhang, ZHANG Xianchuan, et al (1037)
- Phenological variation of typical vegetation types in northern Tibet and its response to climate changes SONG Chunqiao, YOU Songcai, KE Linghong, et al (1045)
- Soil moisture and temperature characteristics of forest-grassland ecotone in middle Qilian Mountains and the responses to meteorological factors TANG Zhenxing, HE Zhibin, LIU Hu (1056)
- Eco-hydrological effects of Qinghai spruce (*Picea crassifolia*) canopy and its influence factors in the Qilian Mountains TIAN Fengxia, ZHAO Chuanyan, FENG Zhaodong, et al (1066)
- Response of tree-ring width of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* to climate change in Hulunbuir sand land, China SHANG Jianxun, SHI Zhongjie, GAO Jixi, et al (1077)
- Analysis of a dust case using lidar in Shanghai MA Jinghui, GU Songqiang, CHEN Min, et al (1085)
- Relating the distribution of zooplankton abundance in the coastal waters of central Fujian Province to the seasonal variation of water masses TIAN Fengge, XU Zhaoli (1097)
- Phenotypic traits of both larvae and juvenile *Crasstrea hongkongensis* and *C. gigas* ZHANG Yuehuan, WANG Zhaoping, YAN Xiwu, et al (1105)
- Inter-specific competition between *Prorocentrum donghaiense* and *Skeletonema costatum* LI Hui, WANG Jiangtao (1115)
- Effects of initial biomass ratio on the interspecific competition outcome between three marine microalgae species WEI Jie, ZHAO Wen, YANG Weidong, et al (1124)
- On the ecological amplitude of nitrate of *Alexandrium tamarense* at different initial phosphate concentrations in laboratory cultures WEN Shiyong, SONG Lili, LONG Hua, et al (1133)
- Time lag effects and rainfall redistribution traits of the canopy of natural secondary *Pinus tabulaeformis* on precipitation in the Qinling Mountains, China CHEN Shujun, CHEN Cungen, ZOU Bocai, et al (1142)
- The vertical distribution of vegetation patterns and its relationship with environment factors at the northern slope of Ili River Valley: a bimodal distribution pattern TIAN Zhongping, ZHUANG Li, LI Jianguo (1151)
- Comparative analysis of water related parameters and photosynthetic characteristics in the endangered plant *Tetraena mongolica* Maxim. and the closely related *Zygophyllum xanthoxylon* (Bunge) Maxim. SHI Songli, WANG Yingchun, ZHOU Hongbing, et al (1163)
- Antioxidant properties of four native grasses in Loess Plateau under drought stress SHAN Changjuan, HAN Ruilian, LIANG Zongsuo (1174)
- The effects of the addition of *Ceratobasidium stevensii* B6 and its growth on the soil microflora at a continuously cropped water-melon (*Citrullus lanatus*) site in China XIAO Yi, WANG Xingxiang, WANG Hongwei, et al (1185)
- Suitable habitat for the *Achnatherum splendens* community in typical steppe region of Inner Mongolia ZHANG Yifei, WANG Wei, LIANG Cunzhu, et al (1193)
- Spatio-temporal variability of soil salinity and its relationship with the depth to groundwater in salinization irrigation district GUAN Xiaoyan, WANG Shaoli, GAO Zhanyi, et al (1202)
- Spatial heterogeneity of soil saturated hydraulic conductivity on a slope of the wind-water erosion crisscross region on the Loess Plateau LIU Chunli, HU Wei, JIA Hongfu, et al (1211)
- Spatial and temporal variations of total nitrogen density in agricultural soils of the Songnen Plain Maize Belt ZHANG Chunhua, WANG Zongming, JU Weimin, et al (1220)
- The evaluation system of strength of winteriness in wheat WANG Peng, ZHANG Chunqing, CHEN Huabang, et al (1230)
- A comparison of summer habitats selected by sympatric *Apodemus chevrieri* and *Apodemus draco* in Tiangjiahe Nature Reserve, China LI Yunxi, ZHANG Zejun, SUN Yiran, et al (1241)
- Life tables for experimental populations of *Frankliniella occidentalis* on 6 vegetable host plants CAO Yu, ZHI Junrui, KONG Yixian (1249)
- Effect of diet switch on turnover rates of tissue nitrogen stable isotopes in fish based on the enrichment-dilution approach ZENG Qingfei, GU Xiaohong, MAO Zhigang, et al (1257)
- Recognition of important ecological nodes based on ecological networks analysis: A case study of urban district of Nanjing XU Wenwen, SUN Xiang, ZHU Xiaodong, et al (1264)
- Seasonal characteristics of CO₂ fluxes above urban green space in the Pearl River Delta, China SUN Chunjian, WANG Chunlin, SHEN Shuanghe, et al (1273)
- Simulation and evaluation of groundwater seepage in contaminated sites: case study of TuoCheng County WU Yizhong, ZHU Qinyuan, LIU Ning, LU Genfa, DAI Mingzhoet al (1283)
- Review and Monograph**
- Recent advances in wetland degradation research HAN Dayong, YANG Yongxing, YANG Yang, LI Ke (1293)
- A review concerning nitrogen accumulation and leaching in agro-ecosystems of oasis YANG Rong, SU Yongzhong, WANG Xuefeng (1308)
- Discussion**
- The diversity of the radio-resistant bacteria *Deinococcus radiodurans* TU Zhenli, FANG Lijing, WANG Jiagang (1318)
- Effect of pruning measure on physiology character and soil waters of *Caragana korshinskii* YANG Yongsheng, BU Chongfeng, GAO Guoxiong (1327)
- Scientific Note**
- Characteristics of rainfall interception for four typical shrubs in Qilian Mountain LIU Zhangwen, CHEN Rensheng, SONG Yaoxuan, et al (1337)
- Dormancy break approaches and property of dormant seeds of wild *Cryptotaenia japonica* YU Mei, ZHOU Shoubiao, WU Xiaoyan, et al (1347)

《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 4 期 (2012 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 4 2012

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071 电话:(010)64034563 E-mail: journal@espg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@espg.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