

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

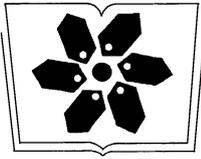
Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 23 期 Vol.32 No.23 **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 23 期 2012 年 12 月 (半月刊)

目 次

中国石龙子母体孕期调温诱导幼体表型:母体操纵假说的实验检测	李 宏,周宗师,吴延庆,等	(7255)
同种或异种干扰对花鼠分散贮藏点选择的影响	申 圳,董 钟,曹令立,等	(7264)
曝气充氧条件下污染河道氨挥发特性模拟	刘 波,王文林,凌 芬,等	(7270)
贵州草海越冬斑头雁日间行为模式及环境因素对行为的影响	杨延峰,张国钢,陆 军,等	(7280)
青藏高原多年冻土区积雪对沼泽、草甸浅层土壤水热过程的影响	常 娟,王根绪,高永恒,等	(7289)
长沙城市斑块湿地资源的时空演变	恭映璧,靖 磊,彭 磊,等	(7302)
基于模型数据融合的千烟洲亚热带人工林碳水通量模拟	任小丽,何洪林,刘 敏,等	(7313)
农田氮素非点源污染控制的生态补偿标准——以江苏省宜兴市为例	张 印,周羽辰,孙 华	(7327)
用 PFU 微型生物群落监测技术评价化工废水的静态毒性	李朝霞,张玉国,梁慧星	(7336)
京郊农业生物循环系统生态经济能值评估——以密云尖岩村为例	周连第,胡艳霞,王亚芝,等	(7346)
基于遥感的夏季西安城市公园“冷效应”研究	冯晓刚,石 辉	(7355)
海南岛主要森林类型时空动态及关键驱动因子	王树东,欧阳志云,张翠萍,等	(7364)
不同播种时间对吉林省西部玉米绿水足迹的影响	秦丽杰,靳英华,段佩利	(7375)
黄土塬区不同品种玉米间作群体生长特征的动态变化	王小林,张岁岐,王淑庆,等	(7383)
密植条件下种植方式对夏玉米群体根冠特性及产量的影响	李宗新,陈源泉,王庆成,等	(7391)
沙地不同发育阶段的人工生物结皮对重金属的富集作用	徐 杰,敖艳青,张璟霞,等	(7402)
增强 UV-B 辐射和氮对谷子叶光合色素及非酶促保护物质的影响	方 兴,钟章成	(7411)
不同产地披针叶茴香光合特性对水分胁迫和复水的响应	曹永慧,周本智,陈双林,等	(7421)
芦芽山林线华北落叶松径向变化季节特征	董满宇,江 源,王明昌,等	(7430)
地形对植被生物量遥感反演的影响——以广州市为例	宋巍巍,管东生,王 刚	(7440)
指数施肥对楸树无性系生物量分配和根系形态的影响	王力朋,晏紫伊,李吉跃,等	(7452)
火烧伤害对兴安落叶松树干径向生长的影响	王晓春,鲁永现	(7463)
山地梨枣树耗水特征及模型	辛小桂,吴普特,汪有科,等	(7473)
两种常绿阔叶植物越冬光系统功能转变的特异性	钟传飞,张运涛,武晓颖,等	(7483)
干旱胁迫对银杏叶片光合系统 II 荧光特性的影响	魏晓东,陈国祥,施大伟,等	(7492)
神农架川金丝猴栖息地森林群落的数量分类与排序	李广良,丛 静,卢 慧,等	(7501)
碱性土壤盐化过程中阴离子对土壤中镉有效态和植物吸收镉的影响	王祖伟,弋良朋,高文燕,等	(7512)
两种绣线菊耐弱光能力的光合适应性	刘慧民,马艳丽,王柏臣,等	(7519)
闽楠人工林细根寿命及其影响因素	郑金兴,黄锦学,王珍珍,等	(7532)
旅游交通碳排放的空间结构与情景分析	肖 潇,张 捷,卢俊宇,等	(7540)
北京市妫水河流域人类活动的水文响应	刘玉明,张 静,武鹏飞,等	(7549)
膜下滴灌技术生态-经济与可持续性分析——以新疆玛纳斯河流域棉花为例	范文波,吴普特,马枫梅	(7559)
高温胁迫及其持续时间对棉蚜死亡和繁殖的影响	高桂珍,吕昭智,夏德萍,等	(7568)
桉树枝瘿姬小蜂虫瘿解剖特征与寄主叶片生理指标的变化	吴耀军,常明山,盛 双,等	(7576)
西南桦纯林与西南桦×红椎混交林碳贮量比较	何友均,覃 林,李智勇,等	(7586)
长沙城市森林土壤 7 种重金属含量特征及其潜在生态风险	方 晰,唐志娟,田大伦,等	(7595)
专论与综述		
城乡结合部人-环境系统关系研究综述	黄宝荣,张慧智	(7607)
陆地生态系统碳水通量贡献区评价综述	张 慧,申双和,温学发,等	(7622)



封面图说: 麋鹿群在过河——麋鹿属于鹿科,是中国的特有动物。历史上麋鹿曾经广布于东亚地区,到 19 世纪时,只剩下在北京南海子皇家猎苑内一群。1900 年,八国联军攻陷北京,麋鹿被抢劫一空。1901 年,英国的贝福特公爵用重金从法、德、荷、比四国收买了世界上仅有的 18 头麋鹿,以半野生的方式集中放养在乌邦寺庄园内,麋鹿这才免于绝灭。在世界动物保护组织的协调下,1985 年起麋鹿从英国分批回归家乡,放养到北京大兴南海子、江苏省大丰等地。这是在江苏省大丰麋鹿国家级自然保护区放养的麋鹿群正在过河。

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

DOI: 10.5846/stxb201205070657

张印, 周羽辰, 孙华. 农田氮素非点源污染控制的生态补偿标准——以江苏省宜兴市为例. 生态学报, 2012, 32(23): 7327-7335.
Zhang Y, Zhou Y C, Sun H. Ecological compensation standard for controlling nitrogen non-point pollution from farmland: a case study of Yixing City in Jiang Su Province. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(23): 7327-7335.

农田氮素非点源污染控制的生态补偿标准 ——以江苏省宜兴市为例

张 印, 周羽辰, 孙 华*

(南京农业大学土地管理学院, 南京 210095)

摘要: 农田氮素流失引起的非点源污染已成为国内外农田生态环境资源可持续利用及农业可持续发展的瓶颈, 对其进行有效控制愈显迫切。对非点源污染的控制不能简单地照搬点源污染的方法, 须针对非点源污染本身具有的强烈外部性及复杂、广泛、不易监测等特征, 探究与非点源污染特征规律相对应的对策。生态补偿作为应对全球生态危机和环境污染的一种公共政策工具, 对于内化外部效应具有良好的效果。以农户减少一定程度的氮肥施用量获得政府补偿为切入点, 论证了农户减少氮肥用量到最佳生态经济施氮量是获得补偿的依据; 以宜兴市为实证对象, 运用意愿调查评估法和成本-收益法相结合的方式测算了农户参与农田氮素非点源污染控制的生态补偿标准。研究表明: (1) 宜兴市主要粮食生产的最佳生态经济施氮量为 375.6 kg/hm², 农户参与农田氮素非点源污染控制的补偿额度理论值为 620.0—7098.0 元/hm²; (2) 68.3% 的受访农户愿意接受补偿而减少氮肥用量, 受偿意愿与种田经验、受教育程度等因素正相关; (3) 愿意接受补偿的农民中 50.7% 选择氮肥量减少到最佳生态经济施氮量, 农田氮素非点源污染控制的补偿标准为 620.0 元/hm²。

关键词: 农田氮素非点源污染; 生态补偿标准; 最佳生态经济施氮量; 外部性; 控制

Ecological compensation standard for controlling nitrogen non-point pollution from farmland: a case study of Yixing City in Jiang Su Province

ZHANG Yin, ZHOU Yuchen, SUN Hua*

College of Land Management, Nanjing Agriculture University, Nanjing 210095, China

Abstract: Farmland nitrogen loss has been identified as the main source of water pollution, which has become a bottleneck of agricultural sustainable development and ecological environmental resource sustainable utilization. To control nonpoint source pollution was extremely urgent for the intensive agriculture in China. Due to its specific characteristics such as strong negative externalities, complexity, and universality the traditional technology for controlling point source pollution could not be simply employed. The ecological compensation, used as a public policy tool to address the global ecological crisis and environmental pollution, has shown the internalization of external effects, and has become a environmental and economic policy to protect field ecological environment in western developed countries.

Taking into account the initial development in China's non-point source pollution control policies and the practical difficulties of watershed pollution control, to explore ecological compensation mechanism of farmland non-point source pollution control is very urgent. Calculating ecological compensation standard is not only the core and key of the ecological compensation mechanism construction and operation, but also related to its success or failure. At present, ecological compensation standard about controlling agricultural non-point source pollution, especially farmland nitrogen, has not been

基金项目: 国土资源部公益性行业科研专项经费项目(200811087); 教育部人文社会科学研究规划基金项目(10YJA630138); 国家自然科学基金基金项目(71073082); 江苏省高等学校大学生实践创新训练计划(JSS1229)和“青蓝工程”资助

收稿日期: 2012-05-07; 修订日期: 2012-12-05

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: sh@njau.edu.cn

fully studied in China. The current ecological compensation standard for agricultural non-point source pollution mainly considered the opportunity cost for agricultural environment protection or producers' willingness for compensation. However, how many pollutants will be decreased after ecological compensation implementation, or contaminants reduced to what extent before the compensation have not yet been considered. Therefore, the ultimate goal of building ecological compensation mechanism is subtracting the pollutants to some extent and the pollution control targets must be clearly set before estimating compensation standard for agricultural non-point source pollution.

The basis for this compensation is that farmers receive government's compensation based on their reduction in nitrogen fertilization in achieving the optimal ecological economic. In this study, Yi Xing City was used as an example to illustrate the contingent valuation of cost and benefits and explore the ecological compensation standards for farmers' controlling farmland nitrogen non-point pollution. The results showed that: (1) ecological economic nitrogen application amount of grain production in Yixing City was 225.0 kilogram per hectare, the theoretical value of compensation margin for controlling farmland nitrogen non-point pollution was 620.0—7098.0 yuan per hectare; (2) 68.3% of the respondents farmers were willing to accept compensation to reduce nitrogen fertilizer and the farmers' willingness of accepting compensation were positively correlated with their farming experience and education; and (3) 50.7% of the farmers that were willing to accept compensation chose to reduce the nitrogen fertilizer to the optimal ecological economic nitrogen amount with a compensation standard for farmland nitrogen non-point pollution controlling at 620.0 yuan per hectare.

Key Words: farmland nitrogen non-point pollution; optimal ecological compensation standard; ecological economic nitrogen application amount; externalities; controlling

农田氮素非点源污染强烈的负外部性及对其控制的正外部性决定了需要采取某种手段或建立某种机制来纠正外部性,构建生态补偿机制是实现外部性内在化的重要策略^[1]。生态补偿标准的测算是构建农田氮素非点源控制的生态补偿机制的核心和关键,补偿标准的合理性关系到补偿机制运行的成败,因此,测算生态补偿标准具有十分重要的理论和现实意义。国外关于农田非点源污染控制的生态补偿量化研究已趋于成熟,如 Babcosk 对农民农用化学品减量化行为的补贴标准开展了理论和实证分析^[2],Stefano 运用生态系统服务功能价值法测算了佛罗里达州农田保护的补偿标准为 $\$ 42 \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[3]。国内有部分学者对农业面源污染控制的补偿标准的测算进行了探索,但专门针对农田氮素非点源污染控制的生态补偿标准的研究至今尚缺少,并且已有关于农业面源污染控制的生态补偿标准的测算仅主要考虑了农业环境保护机会成本或农业生产者意愿^[4-6],其中更关键的问题“实施生态补偿后污染物能减少多少,或污染物减少到什么程度才获得补偿”尚未被考虑。然而,构建污染控制的生态补偿机制的最终目的就是污染物消减到某种程度,故测算补偿标准还必须对污染控制目标进行明确。有鉴于此,本文选取农田氮素非点源污染控制的补偿标准作为研究对象,试图在前人研究的基础上,针对我国关于农田氮素非点源污染控制生态补偿研究的缺乏,尝试采用成本—收益法与意愿调查评估法相结合的方式,测算农田氮素非点源污染控制的生态补偿标准,以期对相关研究以及农业面源污染治理投资预算的编制有所裨益。

1 材料与方法

1.1 测算依据

农田非点源污染源于负外部性极强的农业生产活动,故农业生产者从事具有正外部性的生产建设或减少负外部性的生产活动都可控制农田氮素非点源污染,然而,正外部性极强的生态建设及环境保护活动实际上往往由政府作为公共物品直接提供。面对占某个区域主体的农业人口来说,真正有意义的是如何通过补偿手段刺激农民减弱生产强度或改变生产方式,从而减弱负外部环境效应^[7]。联合国粮农组织^[8]认为环境服务支付是“补偿生产者因转变操作方式提供不同组合或更高水平的环境服务而损失的收益,在许多情况下,对生产者支付是为了减少其生产决策造成的环境损害。为此,笔者认为农田氮素非点源污染控制生态补偿标准

的测算可从减少农业负外部性行为出发,对减少一定程度的化学氮肥施用量的农民进行补偿,补偿因减少氮肥施用量而造成的农作物生产收益损失。而从国外农田生态补偿的政策来看,基本也是从减少农业负外部性行为,应用补贴手段推进农业环境目标的实现^[9-10]。基于此,本研究主要从农民减少一定氮肥用量而获得补偿以及其减氮受偿意愿的角度测算补偿标准。

然而,氮肥施用量减少到什么程度才获偿十分值得探究。农民即使在原来的基础上减少相当量的氮肥,若最终的投入量仍未达到污染控制目标,那么这种减少氮肥用量的行为仍属无效。本研究认为,农民只有在不施氮肥(即施氮量为0)或施氮量少于兼顾生态保护与经济效益的氮肥用量(即最佳生态经济施氮量)时才能获得补偿。即农民为保护农田生态环境而应获得的补偿上限为不施用氮肥时的损失,下限为氮肥用量减少至最佳生态经济施氮量时的损失。由于不施氮肥造成的损失可根据施肥时的收益测算得出,因此,如何确定最佳生态经济施氮量是测算生态补偿标准的关键。

1.2 测算方法及步骤

1.2.1 最佳生态经济施氮量的确定

最佳生态经济施氮量亦称最优社会氮肥施用量,是指对环境污染程度不超过环境容量并能使农产品产出合理增长的、兼顾农民经济收益和社会生态环境的氮肥料投入量。它是在传统农业生产成本的基础上,把外部成本加入生产成本时,依据农业技术经济学原理测算而得的氮肥施用量^[11]。研究表明^[12-14]:在农业生产中,粮食产量 Y 跟氮肥投入量 X 呈二次函数关系,表现为抛物线,表达式为:

$$Y = a + bX - cX^2 \quad (1)$$

式中, a 、 b 、 c 为待定常数(均大于零);设粮食生产的产值 V 是产量 Y 与价格 P 的乘积,则

$$V = Y \times P \quad (2)$$

在粮食生产过程中,假定其他投入要素固定(其相应的成本也固定,设为 K),氮肥作为一种可变投入要素(设其价格为 P_f),则粮食生产的总成本 T 和总利润 W 表示为:

$$T = K + X P_f \quad (3)$$

$$W = V - T = (a + bX - cX^2)P - (K + X P_f) \quad (4)$$

根据效益最大化原理和报酬递减原理,当边际效益等于边际成本时,效益最大,当资源要素投入的边际利润为零时,将有最大利润,即:

$$dW/dX = bP - P_f - 2cPX \quad (5)$$

令(5)式为0,可以得到农户经济效益最优时的氮肥使用量为:

$$X_1 = b/2c - P_f/2cP = (bP - P_f)/2cP \quad (6)$$

式中, X_1 为只考虑农户个人效益最大化时的化肥投入量。如果氮肥过量施用污染了生态环境,产生了负外部性,带来了外部成本,那么,在计算农户化肥投入成本时,应将外部成本考虑进去,构成化肥施用的社会总成本。由于氮肥是能带来负外部效应的投入物,从全社会福利出发,氮肥作为投入资源要素的成本中应当包括外部成本。此时,氮肥的边际社会成本(MSC)由边际生产成本(MPC)、边际使用成本(MUC)和边际外部成本(MEC)组成,即:

$$MSC = MPC + MUC + MEC \quad (7)$$

在计算成本时应以 MSC 作为化肥的影子价格而非氮肥的市场价格 P_f ,此时的总成本为:

$$T' = K + X \cdot MSC \quad (8)$$

总收益为:

$$W' = V - T' = (a + bX - cX^2)P - [K + X(P_f + MUC + MEC)] \quad (9)$$

对(9)式求导,并令其为0,得到此时氮肥投入量为:

$$X_2 = b/2c - (P_f + MUC + MEC)/2cP \quad (10)$$

以上计算得出的“ X_2 ”即为最佳生态经济氮肥投入量,比较 X_1 和 X_2 可知, $X_1 < X_2$,按照规模报酬递减原理

可知农户的经济利益是受损的。因此,为保护农田生态环境,给予农户一定的经济损失补偿,激励其施用不多于“ X_2 ”的氮肥,达到减少外部负效应的目的。

上述 X_1 、 X_2 的求解需明确 b 、 c 、 P 、 P_f 、 MEC 、 MUC 的值,其中, b 、 c 的值可通过多年的粮食的播面单产与氮肥投入量之间的关系进行回归分析后求得, P 、 P_f 分别为作物的市场价格和氮肥的市场价格,本文视氮肥无耗竭成本 ($MUC=0$), 则 X_2 的求解需确定 MEC 。

1.2.2 农田氮肥施用的外部成本的确定

关于化肥施用的外部成本,国内外已有较多研究,但是,由于侧重点不同,至今没有形成统一的标准可供使用。本文拟在总结归纳前人研究成果的基础上,借鉴赖力等^[15]提出的能值分析手段对氮肥施用的外部成本进行估算,估算出氮肥施用的环境外部成本。估算步骤如下:

(1) 氮肥污染分类

根据氮肥可能造成的污染,将氮肥污染分为三类,即大气污染、土壤污染和水体污染,然后确定各类污染的过程及环境影响(见表1)。

表1 氮肥施用的环境影响过程及氮的流转系数

Table 1 Environmental impact process and circulation coefficient of farmland nitrogen

污染类型 Pollution types	过程 Process	环境影响 Environmental Impact	氮流转系数/% Circulation Coefficient
NH ₃ 污染 NH ₃ Pollution	氮肥挥发产生 NH ₃	呼吸系统受害	11
N ₂ O 污染 N ₂ O Pollution	氮肥在微生物作用下转化为温室气体 N ₂ O	温室效应、臭氧层破坏	0.67
NO _x 污染 NO _x Pollution	氮肥通过微生物的硝化或反硝化作用产生的氮氧化物	臭氧层破坏、呼吸系统受害	0.50
土壤污染 Soil Pollution	氮肥淋湿增加地下水硝酸盐含量	土壤盐渍化	0.50
NO ₃ -N 污染 NO ₃ -N Pollution	硝态氮在地表水中富集	富营养化、致癌效应	2
NH ₄ ⁺ -N 污染 NH ₄ ⁺ -N Pollution	铵态氮在地表水中富集	富营养化	5

(2) 污染产生物的环境影响剂量确定

归纳国内外有关农田氮素运移转化比例和污染物产生剂量的研究成果数据,分析确定氮肥施用的营养物流向和污染产生物的影响剂量,污染产生物的影响剂量计算公式如下:

$$Dose_i = M \times C \times (W_c/W_f) \quad (11)$$

式中, $Dose_i$ 表示污染物 i 的产生剂量(t); M 表示氮肥的施用折纯量(t); C 表示氮元素的流转系数; W_f 表示氮的分子量; W_c 表示所产生污染物的分子量。氮元素的流转系数 C 是一个动态变化的值,需要进行动态监测,本研究考虑到自身的实际,拟归纳朱兆良、张东升、DePaz J M 等的研究成果数据^[16-18]。得出氮元素的流转系数(表1);

(3) 环境质量影响量化

采用伤残调整生命年 (Disability adjusted life years, DALY) 法量化氮肥施用对大气、土壤和水体等环境质量影响,估算氮肥施用带来污染物所造成的人类健康影响,计算公式如下:

$$DALY_i = C_{di} \times Dose_i \quad (12)$$

式中, $DALY_i$ 表示某种污染造成的生命损害年累计数, $Dose_i$ 表示污染物 i 的剂量, C_{di} 表示单位污染物剂量引致的生命损害年数(kg/a),取值采用 Eco-indicator 99 的系列评估值^[19]。

(4) 氮肥环境影响总能值估算

依据国内外有关单位劳动力的能值消费数据,乘以生命损害年累计数,以此作为估算化肥施用对环境质量影响的能值的方法,计算出化肥环境影响的总能值。计算公式如下:

$$U = \sum_{i=1}^n Energy_i = \sum_{i=1}^n (DALY_i \times C_m) \quad (13)$$

式中, U 表示氮肥环境影响的总能值成本(sej); $Energy_i$ 表示污染物 i 的能值成本; C_m 表示单位劳动力的年能值消费量,在本文中其取值参照学者 Odium H T^[20] 的研究成果数据,为 9.35×10^{16} sej; $DALY_i$ 表示某种污染造成的生命损害年累计数。

(5) 氮肥施用的综合环境成本折算

依据某一地区各年份的能值货币比率数据,折算化肥施用的综合环境成本。

$$E_{rmb} = U/C_g \quad (14)$$

式中, E_{rmb} 表示氮肥环境影响的宏观经济价值(元); C_g 表示单位宏观经济价值的能值载荷,即一国家或地区单位时间内使用的能值与 GDP 比,单位 sej/元。本文按照江苏省统计年鉴公布的单位 GDP 的能耗,借助能量折算系数^[21]和太阳能值转换率^[22],得出 2009 年宜兴市的 C_g 取值为 7.15×10^{11} sej/元。

1.2.3 生态补偿额度计算

由前文可知,当农户氮肥用量减少为 0 时,可获得最大补偿;减少到最佳生态经济施氮量时,获得最小补偿。设最大、最小补偿值分别 Q_u 、 Q_l ,则:

$$Q_u = P \times Y |_{x=0} - X_1 P_f \quad (15)$$

$$Q_l = (P \times Y |_{x=x_1} - X_1 P_f) - (P \times Y |_{x=x_2} - X_2 P_f) \quad (16)$$

由式(6)及式(15)、式(10)及式(16)计算得出 Q_u 、 Q_l 如下:

$$Q_u = aP - \frac{bPP_f - P_f^2}{2cP} \quad (17)$$

$$Q_l = \frac{MUC + MEC}{4cp} (bp - 2bP_f - MEC - MUC) \quad (18)$$

1.2.4 生态补偿标准的确定

采用意愿调查法调查农民的氮肥减少意愿及能接受相应补偿,以此确定农田氮素非点源污染控制的生态补偿标准。通过问卷设计及调研,对农田氮素非点源污染比较典型的宜兴市农户进行调查,根据农民的意愿情况确定生态补偿标准,并构建计量模型分析影响农民受偿意愿的因素。

(1) 问卷设计

调查内容包括:①受访农民的基本社会经济特征,包括受访者的性别、年龄、文化程度、家庭中是否有村干部、农业生产经验,及家庭收入状况、收入来源、主要从事的工作等基础资料,以此分析受访农民的社会经济特征对氮肥用量减少补偿意愿的影响;②受访农民减氮受偿意愿,以政府对生产者对氮肥施用达到不同的限制标准,并由此提供相应的补偿作为假设前提,调查农户是否愿意按标准减少氮肥施用量及其补偿额度。

(2) 抽样调查及样本特征

在调查问卷设计修改完善后,于 2011 年 12 月开展了调研,随机选择了宜兴市万石镇和周铁镇作为调研地,选取两个镇的 6 个村庄对农户进行随机抽样调查,调研在选择村庄时,主要考虑村庄距离河流的远近以及村庄的经济状况、主营作物类型、土地资源禀赋等,结合农户的性别、年龄、受教育年限、家庭收入、种田规模、主要工作类型等个人及家庭特征随机地抽取农户样本。调研样本 110 份,经整理,有效问卷 101 份,占调查问卷总量的 91.8%。调研涉及的万石镇村庄主要有漕东村、余庄村和万石村,周铁镇的村庄主要有东湖村、洋溪村和棠下村。

受访样本以男性略多,占样本的 60.4%;以中老年劳动力为主,年龄集中在 40—70 岁之间,占样本总数的 91.2%;79.2% 受访农民家庭人数不少于 3 人;受访农民文化程度以小学和初中为主,所占比重分别为小学 29.7%、初中 49.5%;家庭年收入不少于 2 万元的占 71.8%,其中非农收入占家庭收入不小于 50% 的有 74.3%,农业收入占家庭年收入 50% 以上的仅有 22.8%;受访农民中 95.0% 的家庭种植水稻和小麦,其中,92.5% 的家庭以施尿素为主;81.2% 的农民种田经验均不低于 20a,受访农民中有 68.3% 的人从事务农,16.8% 的人以非农打工为主。

(3) 农户受偿意愿影响因素分析

从年龄、性别、文化程度、务农人数、主要工作类型、农业收入占家庭年收入的比重、种田经验、种植规模等几个方面出发,构建出农户“是否愿意”接受补偿的计量经济模型,通过计量分析找出影响农户“是否愿意”接受补偿的决策的显著因素。

农户受偿意愿的确定受多方面因素的综合影响,由于农户补偿意愿的选项只有两个:愿意、不愿意,属于 0—1 二分类因变量。因此,本文拟构建 probit 模型,来找出影响农户受偿意愿的主要因素。在 probit 模型中,被解释变量 adopt 是“农户是否愿意接受补偿”,若农户愿意接受补偿则为 1,反之则为 0;解释变量包括性别 (sex)、年龄 (age)、受教育程度 (edu)、是否是村干部 (cadre)、家庭务农人数 (numb)、农业收入比重 (inco)、种田经验 (expe)、种田规模 (scale)、主要从事工作类型 (job) 等 9 个变量。则 probit 模型的形式为:

$$\text{adopt} = \alpha_0 + \alpha_1 \times \text{sex} + \alpha_2 \times \text{age} + \alpha_3 \times \text{edu} + \alpha_4 \times \text{cadre} + \alpha_5 \times \text{numb} + \alpha_6 \times \text{inco} + \alpha_7 \times \text{expe} + \alpha_8 \times \text{scale} + \alpha_9 \times \text{job}$$

用 stata11.0 软件对 101 个种粮农户样本数据进行处理,并构建 probit 模型进行回归分析,找出影响农户受偿意愿的显著因素。

2 结果与讨论

2.1 氮肥施用的外部成本

根据 2.2 节中关于农田氮肥外部成本的计算步骤,选取宜兴市 2009 年氮肥用量作为基础数据计算氮肥施用的环境影响剂量(数据来源于无锡市统计年鉴),并结合专著 Eco-indicator 99^[19]中采用伤残调整生命年对各类污染物的危害因子评估结果估算宜兴市氮肥施用的人类健康影响,最后结合单位劳动力的年能值消费量和各年份的能值货币比率数据,估算出宜兴市 2009 年氮肥施用的环境成本。宜兴市 2009 年氮肥施用的总环境成本为 1.09×10^7 元(表 2),即宜兴市氮肥施用的外部成本为 1.09×10^7 元,宜兴市施用每千克纯氮的外部成本为 1.11 元。

2.2 粮食生产的最佳生态经济施氮量

(1) 宜兴市主要粮食作物氮肥用量函数分析

对宜兴市 1993—2009 年主要粮食播面单产与氮肥用量之间的关系进行回归分析^①,发现一元二次曲线方程能较好地描述宜兴市粮食播面单产与氮肥用量之间的关系(图 1)。粮食播面单产与氮肥用量的函数关系式为: $y = -0.0119x^2 + 11.423x + 4183.8$, 决定系数 $R^2 = 0.9135$,说明粮食产量与氮肥用量呈高度相关性。因此,可将该函数作为宜兴市粮食生产函数。

表 2 宜兴市氮肥施用的环境成本估算结果

Table 2 Results for estimating environmental costs of nitrogen fertilization in Yixing city

项目 Project	大气污染 Air pollution		土壤污染 Soil pollution		水体污染 Water Pollution	
	NH ₃ 污染	N ₂ O 污染	NO _x 污染	硝酸盐污染	NO ₃ ⁻ -N 污染	NH ₄ ⁺ -N 污染
影响剂量 Impact dose/t	859.1	180.9	257.73	380.46	1521.83	1104.56
单位污染物剂量引致的生命损害年数 Life damage years of per pollutant dose/(kg/a)	5.10×10^{-5}	4.00×10^{-6}	6.79×10^{-5}	4.90×10^{-5}	3.05×10^{-5}	1.67×10^{-5}
生命损害年累计数 cumulative years of life damage/a	43.81	0.72	17.5	18.64	46.42	18.45
总太阳能值 Total energy/sej	1.09×10^{19}	6.73×10^{16}	1.64×10^{18}	1.74×10^{18}	4.34×10^{18}	1.73×10^{18}
宏观经济价值 Macro-economic value/元	5.73×10^6	9.42×10^4	2.29×10^6	2.44×10^6	6.07×10^6	2.41×10^6

① 数据来源于《无锡市统计年鉴》,本文中粮食播面单产指单位面积上水稻和小麦的总产量,氮肥用量为统计年鉴公布的数据,按一定的比例计算而得。

(2) 经济效益最优的氮肥施用量确定

根据上述模拟得出的生产函数可知 a 、 b 、 c 的值分别为 4183.8、11.423、0.0119, 在式(6)中, X_1 的求解只需确定 P 和 P_f , 根据本研究的调查, 宜兴市主要粮食作物为小麦和水稻, 主要施用的氮肥为尿素, 本研究以 2009 年稻谷和小麦的市场收购价格、以及小麦和水稻的总产量, 计算出粮食的平均价格 P 为 2.08 元/kg^①, 以尿素折纯后的价格为氮肥价格 P_f ($P_f = 4.06$ 元/kg)^②。如此, 由式(6)计算得出宜兴市粮食生产经济效益最优的氮肥投入量是 398.0 kg/hm²。这与朱兆良^[23]等在苏南地区田间试验测出的稻麦两季最佳经济效益施氮量之和 391.1 kg/hm² 较接近, 说明回归分析得出的生产函数能较好地反映粮食产量与氮肥投入量之间的关系。

(3) 最佳生态经济施氮量

由式(10)可知, 宜兴市粮食生产的最佳生态经济施氮量 $X_2 = b/2c(P_f + MUC + MEC)/2cP$, 由于受数据获取的限制, 本文视氮肥为非耗竭性资源, 即 $MUC = 0$, 根据上文可知, 2009 年宜兴市氮肥施用的外部成本为 1.11 元/kg, b 、 c 、 P 、 P_f 已知, 如此, 通过计算得出 2009 年宜兴市粮食生产的最佳生态经济施氮量为 375.6 kg/hm²。

2.3 补偿额度

由式(16)和(17)及已求解的 X_1 、 X_2 、 a 、 b 、 c 、 P 、 P_f 计算得出 $Q_u = 7098.0$ 元/hm², $Q_l = 620.0$ 元/hm², 即宜兴市农户参与农田氮素非点源污染控制应获得的补偿值为 620.0—7098.0 元/hm²。

2.4 补偿标准

以政府为了控制农田氮素非点源污染, 实现区域农田生态环境的改善, 而又不牺牲农业的发展为假设前提, 未来有一项计划——规定种粮农民亩均氮肥施用量不得高于最佳生态经济施氮量(宜兴市粮食生产的最佳生态经济施氮量每亩为 25.0kg(合 375.6 kg/hm²), 以下简称“规定量”); 力争不高于《无锡市农业面源污染治理工作指导意见》(锡政办发[2011]139 号文件)^③中规定的目标量(到 2015 年每亩为 14kg(210 kg/hm²), 以下简称目标量), 希望通过限制化学氮肥的使用量, 建设生态环境良好的农田, 鼓励农户自愿减少化学氮肥的使用量, 共同参与到宜兴市农田氮素非点源污染的控制工作中。询问受访农户氮肥施用量的减少及参与该项措施的受偿意愿。问卷访谈时, 设计假定生产经营中化学氮肥施用的限制标准有 3 项: ①化学氮肥施用量减少至目标量(限制 1); ②化学氮肥施用量减少至规定用量(限制 2); ③完全不再施用化学氮肥, 全部改施农家肥或有机肥(限制 3)。根据前文中有关补偿额度的计算方法, 计算得出农户粮食生产在限制 1、2、3 情况下所应获得的补偿额度分别为 1746.0、620.0、7098.0 元/hm², 调研时, 询问农户对限制 1、2、3 的选择意愿, 按照农户的选择意愿情况确定补偿标准。

被调查农民中 68.31% 愿意接受补偿而减少氮肥用量, 农民受偿意愿受种田经验、家庭务农人数及受教育程度显著影响, 与受教育程度呈极显著正相关(表 3), 与种田经验呈显著正相关。说明农民受教育程度越高, 其环保意识就越强, 他们就越懂得过量施用氮肥不仅浪费资源, 还会带来影响农产品的质量、破坏农田生态系统及水体富营养化等危害; 农民的种田经验越丰富, 也越知晓氮肥过量使用的危害性, 深知并不是氮肥投入越多种粮收益就越高, 氮肥一旦过量使用, 将会带来很多负面影响诸如土壤盐渍化、板结等, 造成生产成本

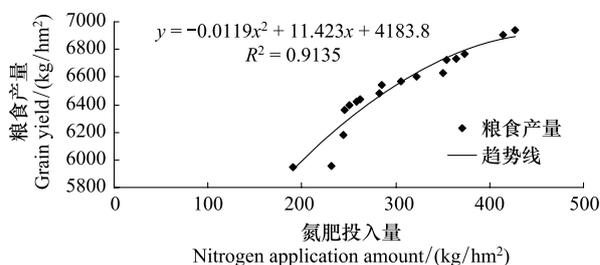


图1 宜兴市主要粮食(水稻和小麦)生产模拟函数图

Fig. 1 Simulated function of main grain (rice and wheat) production in Yixing City

① 数据取自于宜兴粮实网, <http://www.yx-ls.gov.cn/typenews.asp?id=693> 经整理得到

② 数据取自于中国化肥网, <http://www.fert.cn/news/2009/12/22/2009122215201799745.shtml> 经整理得到

③ 资料来源于 <http://thb.wuxi.gov.cn/admin/ArtCreate/ArtPreview.aspx?ArtID=20110616160642140&TypeID=1011>

上升,故在有补偿的情况下其参与控制农田氮素非点源污染的积极性就高。

在愿意接受补偿的 69 户农户中,有 35 户农户选择“限制 2”,占 50.7%;21 户农户选择“限制 1”,占 30.4%;13 户农户选择“限制 3”,占 18.9%。可见,选择“限制 2”的频率及频数最高,因此,可将“限制 2”情况下的补偿值作为宜兴市农户减少氮肥用量而获得的补偿标准,即宜兴市农田氮素非点源污染控制的补偿标准为 620.0 元/hm²。

2.5 讨论

生态补偿作为应对全球环境污染的一种公共政策工具,对于内化外部效应具有良好的效果,并已成为西方发达国家保护农田生态环境的环境经济政策^[23]。国外农业污染控制的生态补偿政策多采取直接对进行环境友好型农业生产的农户给予补贴或补偿的做法,在补偿标准的确定上,多通过政府与农民协商谈判得到^[2,3]。本研究以农户减少一定程度的氮肥施用量从而控制农田氮素非点源污染而获得补偿为切入点,探讨了农户只有减少化肥到最佳生态经济施氮量时才能获得补偿,运用环境经济经济学和农业经济学相关理论测算宜兴市粮食生产的最佳生态经济施氮量,据此测算了农户氮肥施用减少的补偿额度理论值,并采用意愿调查评估法,从农户接受补偿意愿的角度确定了宜兴市农田氮素非点源污染控制的补偿标准为 620.0 元/hm²,具有重要的理论和现实意义。在但论文也存在不足之处,受数据获取的限制,在计算生态经济施氮量时,是以粮食的市场价格而非影子价格作为基础,计算出来的生态经济施氮量略欠精确,希望在以后类似的研究中以粮食的影子价格作为基础,计算粮食生产的最佳生态经济施氮量,据此测算得出的补偿值会更精确;此外,在以后的补偿实施中,也可邀请部分相关领域的专家对补偿标准进行动态评估,不断调整补偿标准,以保持现势性。

表 3 Probit 模型回归分析结果

Table 3 Probit Model Estimate Results

解释变量 Explanatory Variables	系数 coefficient	Z 统计值 Z Statistical Value	解释变量 Explanatory Variables	系数 coefficient	Z 统计值 Z Statistical Value
性别 (sex)	0.2548	0.57	年龄 (age)	-2.1244	-1.53
受教育程度 (edu)	0.891 **	2.62	是否是村干部 (cadre)	0.4625	0.78
家庭务农人数 (numb)	-0.7887	-1.65	农业收入比重 (inco)	-0.3265	-0.42
种田经验 (expe)	0.6908 *	2.01	种田规模 (scale)	0.1454	0.4
主要从事工作类型 (job)	-0.1565	-0.45			

** 表示在 1% 的水平下显著, * 表示在 5% 的水平下显著

3 结论

国外农田氮素非点源污染控制的成功实践证明减少氮肥施用量是从源头控制农田氮素非点源污染的最佳策略之一,氮肥用量的减少是一种外部性行为,实施生态补偿能使这种外部性内部化,本研究运用成本-收益法与意愿调查法相结合的方式测算了农户减少氮肥施用量从而控制农田氮素非点源污染的生态补偿标准,以宜兴市做了案例分析,得出农民氮肥用量减少到最佳生态经济氮肥投入量即可获得补偿,宜兴市主要粮食生产的氮肥最佳生态经济投入量为 375.6 kg/hm²,农户减少氮肥施用获得的政府补偿理论值范围为 620.0—7098.0 元/hm²,宜兴市 68.3% 的农户愿意在政府提供补偿的前提下减少氮肥用量,农户受偿意愿与“受教育程度”、“种田经验”等因素显著正相关。宜兴市农田氮素非点源控制的补偿标准为 620.0 元/hm²。

References:

- [1] Qu H. Study on Compensation Theory and Approach for Controlling of Agricultural Non-Point Source Pollution [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2007.
- [2] Wu J J, Babcock B A. Contract design for the purchase of environmental goods from agriculture. American Journal of Agricultural Economics, 1996, 78(4): 935-945.
- [3] Pagiola S. Payments for environmental services in Costa Rica. Ecological Economics, 2008, 65(4): 712-724.
- [4] Shen G X, Huang L H, Qian X Y, Pan D D, Shi S G, Gullino M L. Ecological compensation criteria for environmental friendly agriculture

- production; case study of green agriculture demonstration project in Dongtan, Chongming Island. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(5): 1079-1084.
- [5] Cai Y Y, Zhang A L. Agricultural land's ecological compensation criteria based on the producers' willingness to accept; a case study of farmer households in Wuhan. *Journal of Natural Resources*, 2011, 26(2): 177-189.
- [6] Pei Y H. Study on Ecological Compensation Mechanism for Controlling Agricultural Non-Point Source Pollution [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2010.
- [7] Wang X Y, Cao L P. Subsidy policy for agricultural non-point source pollution control. *Water Resource Protection*. 2008, 24(1): 34-38.
- [8] FAO. Food and agriculture 2007: 57. <http://www.fao.org/catalog/inter-e.htm>.
- [9] Geiger F, Bengtsson J, Berendse F, Weisser W W, Emmerson M, Morales M B, Ceryngier P, Liira J, Tschamtker T, Winqvist C, Eggers S, Bommarco R, Pärt T, Bretagnolle V, Plantegeest M, Clement L W, Dennis C, Palmer C, Oñate J J, Guerrero I, Hawro V, Aavik T, Thies C, Flohre A, Hänke S, Ficcher C, Goedhart P W, Inchausti P. Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic and Applied Ecology*, 2010, 11(2): 97-105.
- [10] Baylisa K, Peplow S, Rausser G, Simon L. Agri-environmental policies in the EU and United States: a comparison. *Ecological Economics*, 2008, 65(4): 753-764.
- [11] Lv Y, Cheng X. Nitrogen pollution from agricultural non-point sources in lake Tai region and its environmental economic analysis. *Shanghai Environmental Science*, 2000, 19(4): 143-146.
- [12] Mao X Q, Yang J R, Wang H D. Application of production function model in environmental economic analysis of agricultural production. *Journal of Environmental Science*, 1997, 17(4): 480-486.
- [13] Zhang Y F, Cao W Z. Environmental economic analysis in the application of chemical fertilizer. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2009, 15(2): 41-43.
- [14] Xiang P A, Zhou Y, Zhen H, Yan H M, Huang H, Huang Q Y. Optimal chemical fertilizer application rate accorded with local economic and ecological benefits. *Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(11): 2059-2066.
- [15] Lai L, Huang X J, Wang H, Dong Y H, Xiao S S. Estimation of environmental costs of chemical fertilizer utilization in China. *Acta Pedologica Sinica*, 2009, 46(1): 64-70.
- [16] Zhu Z L, Sun B. China's Agricultural Non-point Pollution Countermeasure. Beijing: China Environmental Science Press, 2006: 117-120.
- [17] Zhang D S, Shi X Z, Yu D S, Huang B, Zhao Y C, Huang Y, Born I, Larsson M. Numerical simulation of soil nitrogen circling in Peri-urban vegetable farming systems. *Acta Pedologica Sinica*, 2007, 44(3): 64-70.
- [18] De Paz J M, Ramos C. Simulation of nitrate leaching for different nitrogen fertilizer rates in a region of Valencia (Spain) using a GIS-GLEAMS system. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2004, 103(1): 59-73.
- [19] Goedkoop M, Spriensma R. The Eco-indicator99: A Damage Oriented Method for Life Cycle Impact Assessment-methodology Annex. www.pre.nl 2001, 3rd Ed.
- [20] Odum H T. Environmental Accounting; Emerge and Environmental Decision Making. New York: Wiley and Sons, 1996: 100-105.
- [21] Li S C, Fu X F, Zhen D. Energy analysis for evaluating sustainability of Chinese economy. *Journal of Natural Resources*, 2001, 16(4): 297-304.
- [22] Wang H Y, Cao Z. Agricultural Ecology. Beijing: Chemical Industry Press, 2008: 44-46.
- [23] Zhu Z L, Zhang F S. Basic Research of Mainly Farmland Ecosystem Nitrogen Behaviors and Nitrogen Fertilizer Efficient Use. Beijing: Science Press, 2010: 286-291.
- [24] Ozanne A, Hogan T, Colman D. Moral hazard, risk aversion and compliance monitoring in agri-environmental policy. *European Review of Agricultural Economics*, 2001, 28(3): 329-347.

参考文献:

- [1] 曲环. 农业面源污染控制的补偿理论与途径研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2007.
- [4] 沈根祥, 黄丽华, 钱晓雍, 潘丹丹, 施圣高, Gullino M L. 环境友好农业生产方式生态补偿标准探讨——以崇明岛东滩绿色农业示范项目为例. *农业环境科学学报*, 2009, 28(5): 1079-1084.
- [5] 蔡银莺, 张安录. 基于农户受偿意愿的农田生态补偿额度测算——以武汉市的调查为实证. *自然资源学报*, 2011, 26(2): 177-189.
- [6] 裴永辉. 农业面源污染控制的生态补偿机制研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2010.
- [7] 王晓燕, 曹利平. 农业非点源污染控制的补贴政策. *水资源保护*, 2008, 24(1): 34-38.
- [8] 联合国粮农组织. 2007 年粮食及农业状况: 57 [EB/OL]. <http://www.fao.org/catalog/inter-e.htm>
- [11] 吕耀, 程序. 太湖地区农田氮素非点源污染及环境经济分析. *上海环境科学*, 2000, 19(4): 143-146.
- [12] 毛显强, 杨居荣, 王华东. 二次生产函数模型在生产行为环境经济分析中的应用. *环境科学学报*, 1997, 17(4): 480-486.
- [13] 张云芳, 曹文志. 化肥投入的环境经济分析. *安徽农学通报*, 2009, 15(2): 41-43.
- [14] 向平安, 周燕, 郑华, 燕惠民, 黄璜, 黄清云. 符合经济生态效益的农田化肥施用量. *应用生态学报*, 2006, 17(11): 2059-2063.
- [15] 赖力, 黄贤金, 王辉, 董元华, 肖思思. 中国化肥施用的环境成本估算. *土壤学报*, 2009, 46(1): 64-70.
- [16] 朱兆良, 孙波. 中国农业面源污染控制对策. 北京: 中国环境科学出版社, 2006: 117-120.
- [17] 张东升, 史学正, 于东升, 黄标, 赵永存, 黄耀, Born I, Larsson M. 城乡交错区蔬菜生态系统氮循环的数值模拟研究. *土壤学报*, 2007, 44(3): 484-491.
- [21] 李双成, 傅小锋, 郑度. 中国经济持续发展水平的能值分析. *自然资源学报*, 2001, 16(4): 297-304.
- [22] 王宏燕, 曹志. 农业生态学. 北京: 化学工业出版社, 2008: 44-46.
- [23] 朱兆良, 张福锁. 主要农田生态系统氮素行为与氮肥高效利用的基础研究. 北京: 科学出版社, 2010: 86-291.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 23 December, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Maternal thermoregulation during gestation affects the phenotype of hatchling Chinese skinks (*Eumeces chinensis*): testing the maternal manipulation hypothesis LI Hong, ZHOU Zongshi, WU Yanqing, et al (7255)

Effects of conspecific and interspecific interference competitions on cache site selection of Siberian chipmunks (*Tamias sibiricus*) SHEN Zhen, DONG Zhong, CAO Lingli, et al (7264)

Characterization of ammonia volatilization from polluted river under aeration conditions: a simulation study LIU Bo, WANG Wenlin, LING Fen, et al (7270)

Diurnal activity patterns and environmental factors on behaviors of Bar-headed Geese *Anser indicus* wintering at Caohai Lake of Guizhou, China YANG Yanfeng, ZHANG Guogang, LU Jun, et al (7280)

Impacts of snow cover change on soil water-heat processes of swamp and meadow in Permafrost Region, Qinghai-Tibetan Plateau CHANG Juan, WANG Gengxu, GAO Yongheng, et al (7289)

Spatial-temporal changes of urban patch wetlands in Changsha, China GONG Yingbi, JING Lei, PENG Lei, et al (7302)

Modeling of carbon and water fluxes of Qianyanzhou subtropical coniferous plantation using model-data fusion approach REN Xiaoli, HE Honglin, LIU Min, et al (7313)

Ecological compensation standard for controlling nitrogen non-point pollution from farmland: a case study of Yixing City in Jiang Su Province ZHANG Yin, ZHOU Yuchen, SUN Hua (7327)

Static toxicity evaluation of chemical wastewater by PFU microbial communities method LI Zhaoxia, ZHANG Yuguo, LIANG Huixing (7336)

Emergy evaluation of an agro-circulation system in Beijing suburb: take Jianyan village as a case study ZHOU Liandi, HU Yanxia, WANG Yazhi, et al (7346)

Research on the cooling effect of Xi'an parks in summer based on remote sensing FENG Xiaogang, SHI Hui (7355)

The dynamics of spatial and temporal changes to forested land and key factors driving change on Hainan Island WANG Shudong, OUYANG Zhiyun, ZHANG Cuiping, et al (7364)

Impact of different sowing dates on green water footprint of maize in western Jilin Province QIN Lijie, JIN Yinghua, DUAN Peili (7375)

The dynamic variation of maize (*Setaria mays* L.) population growth characteristics under cultivars-intercropped on the Loess Plateau WANG Xiaolin, ZHANG Suiqi, WANG Shuqing, et al (7383)

Effect of different planting methods on root-shoot characteristics and grain yield of summer maize under high densities LI Zongxin, CHEN Yuanquan, WANG Qingcheng, et al (7391)

Heavy metal contaminant in development process of artificial biological Soil Crusts in sand-land XU Jie, AO Yanqing, ZHANG Jingxia, et al (7402)

Effects of enhanced UV-B radiation and nitrogen on photosynthetic pigments and non-enzymatic protection system in leaves of foxtail millet (*Setaria italica* (L.) Beauv.) FANG Xing, ZHONG Zhangcheng (7411)

Photosynthetic response of different ecotype of *Illicium lanceolatum* seedlings to drought stress and rewatering CAO Yonghui, ZHOU Benzhi, CHEN Shuanglin, et al (7421)

Seasonal variations in the stems of *Larix principis-rupprechtii* at the treeline of the Luya Mountains DONG Manyu, JIANG Yuan, WANG Mingchang, et al (7430)

Influence of terrain on plant biomass estimates by remote sensing: a case study of Guangzhou City, China SONG Weiwei, GUAN Dongsheng, WANG Gang (7440)

Effects of exponential fertilization on biomass allocation and root morphology of *Catalpa bungei* clones WANG Lipeng, YAN Ziyi, LI Jiyue, et al (7452)

Effects of fire damages on *Larix gmelinii* radial growth at Tahe in Daxing'an Mountains, China WANG Xiaochun, LU Yongxian (7463)

A model for water consumption by mountain jujube pear-like XIN Xiaogui, WU Pute, WANG Youke, et al (7473)

Specificity of photosystems function change of two kinds of overwintering broadleaf evergreen plants ZHONG Chuanfei, ZHANG Yuntao, WU Xiaoying, et al (7483)

- Effects of drought on fluorescence characteristics of photosystem II in leaves of *Ginkgo biloba* WEI Xiaodong, CHEN Guoxiang, SHI Dawei, et al (7492)
- Numerical classification and ordination of forest communities in habitat of Sichuan Snub-nosed Monkey in Hubei Shennongjia National Nature Reserve LI Guangliang, CONG Jing, LU Hui, et al (7501)
- Impact of inorganic anions on the cadmium effective fraction in soil and its phytoavailability during salinization in alkaline soils WANG Zuwei, YI Liangpeng, GAO Wenyan, et al (7512)
- Photosynthetic adaptability of the resistance ability to weak light of 2 species *Spiraea* L. LIU Huimin, MA Yanli, WANG Baichen, et al (7519)
- Fine root longevity and controlling factors in a *Phoebe Bournei* plantation ZHENG Jinxing, HUANG Jinxue, WANG Zhenzhen, et al (7532)
- Analysis on spatial structure and scenarios of carbon dioxide emissions from tourism transportation XIAO Xiao, ZHANG Jie, LU Junyu, et al (7540)
- The hydrological response to human activities in Guishui River Basin, Beijing LIU Yuming, ZHANG Jing, WU Pengfei, et al (7549)
- Socio-economic impacts of under-film drip irrigation technology and sustainable assessment: a case in the Manas River Basin, Xinjiang, China FAN Wenbo, WU Pute, MA Fengmei (7559)
- Effects of pattern and timing of high temperature exposure on the mortality and fecundity of *Aphis gossypii* Glover on cotton GAO Guizhen, LÜ Zhaozhi, XIA Deping, et al (7568)
- Physiological responses of *Eucalyptus* trees to infestation of *Leptocybe invasa* Fisher & La Salle WU Yaojun, CHANG Mingshan, SHENG Shuang, et al (7576)
- Carbon storage capacity of a *Betula alnoides* stand and a mixed *Betula alnoides* × *Castanopsis hystrix* stand in Southern Subtropical China: a comparison study HE Youjun, QIN Lin, LI Zhiyong, et al (7586)
- Distribution and ecological risk assessment of 7 heavy metals in urban forest soils in Changsha City FANG Xi, TANG Zhijuan, TIAN Dalun, et al (7595)
- Review and Monograph**
- The relationship between humans and the environment at the urban-rural interface: research progress and prospects HUANG Baorong, ZHANG Huizhi (7607)
- Flux footprint of carbon dioxide and vapor exchange over the terrestrial ecosystem: a review ZHANG Hui, SHEN Shuanghe, WEN Xuefa, et al (7622)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,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,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 23 期 (2012 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 23 (December, 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:1000717 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