

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第3期

Vol.33 No.3

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版



目次

典型排放源黑碳的稳定碳同位素组成研究	陈颖军,蔡伟伟,黄国培,李军,张干(673)
天山典型冰川区雪冰中碳质气溶胶浓度特征研究	王圣杰,张明军,王飞腾,李忠勤(679)
兰州市夏秋季颗粒物谱分布特征研究	赵素平,余晔,陈晋北,刘娜,何建军(687)
不同交通状况下道路边大气颗粒物数浓度粒径分布特征	杨柳,吴焯,宋少洁,郝吉明(694)
南京市夏季大气气溶胶新粒子生成事件分析	王红磊,朱彬,沈利娟,康汉青,刁一伟(701)
西北干旱区降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 变化特征及其水汽输送	李小飞,张明军,李亚举,王圣杰,黄小燕,马潜,马雪宁(711)
海南东部河口和近岸海域总溶解态无机砷的分布及季节变化	曹秀红,任景玲,张桂玲,张金娥,杜金洲,朱德弟(720)
大辽河口痕量元素砷的河口混合行为	简慧敏,姚庆祯,于立霞,田琳(727)
渤海湾表层沉积物各形态重金属的分布特征与生态风险评价	徐亚岩,宋金明,李学刚,袁华茂,李宁(732)
青岛近岸表层海水中 PAHs 的分布特征及物源初步解析	李先国,邓伟,周晓,唐旭利,魏新运,王岩(741)
广西乐业大石围天坑群多环芳烃的干湿沉降	孔祥胜,祁士华,黄保健,张原,李杰(746)
上海宝山区城市土壤铅污染来源的同位素判别	董辰寅,张卫国,王冠,马鸿磊,刘圆,刘莹,叶雷平,俞立中(754)
溶质迁移模型在地下水有机污染源识别中的应用	王树芳,王丽亚,王晓红,林沛,刘久荣,辛宝东,贺国平(760)
地下水污染风险评估中特征污染物量化方法探讨	王俊杰,何江涛,陆燕,刘丽雅,张小亮(771)
用于地下水回灌的再生水预处理工艺研究	高清端,张薛,赵璇,赵刚(777)
菲律宾蛤仔养殖对胶州湾沉积物-水界面生源要素迁移的影响	邓可,刘素美,张桂玲,陆小兰,张经(782)
南京市九乡河流域景观格局空间分异对河流水质的影响	胡和兵,刘红玉,郝敬峰,安静(794)
上海都市农业村域地表水非点源氮素的时空分异特征	王楠,毛亮,黄海波,张进忠,周培(802)
不同粒径地表街尘中重金属在径流冲刷中的迁移转化	何小艳,赵洪涛,李叙勇,连宾,王小梅(810)
新型人工湿地对工业区降雨径流的净化研究	何丽君,马邕文,万金泉,李东亚,王艳(817)
改性膨润土应急截留液态有机物的性能及机制	李宇,刘贤君,张兴旺,雷乐成(825)
卵圆卡盾藻香港株过氧化氢产生的影响因素研究	江涛,吴霓,钟艳,江天久(832)
芽孢杆菌 B1 胞外活性物质对球形棕囊藻的溶藻特性研究	李蕾,赵玲,尹平河(838)
底泥对洋河水库微囊藻和鱼腥藻生长影响的研究	储昭升,张玉宝,金相灿,徐颖,杨红君(844)
新型无极准分子光源深度处理水相中含 N-杂环化合物	叶招莲,汪斌,路娟娟,李峰,张仁熙(849)
La/Ce 掺杂钛基二氧化铅电极的制备及电催化性能研究	郑辉,戴启洲,王家德,陈建孟(857)
DTT 对三苯基甲染料脱色的研究	潘涛,刘大伟,任随周,郭俊,孙国萍(866)
pH 及络合剂对亚铁活化 $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ 氧化去除活性艳蓝的影响研究	张成,万金泉,马邕文,王艳,黄明智,兰明(871)
臭氧降解高浓度腐殖酸动力学	郑可,周少奇,杨梅梅(879)
采用体积信息熵表征颗粒污泥系统稳定性及其稳定机制	李志华,姬晓琴,李胜,谢磊,赵海龙,王晓昌(885)
活性污泥的理化性质与絮凝调理投药量的关系	李婷,王毅力,冯晶,徐萌(889)
不同颗粒龄的好氧颗粒污泥性能的研究	周曼,杨昌柱,濮文虹,罗应东,龚建宇(896)
颗粒粒径与数量对硝化与反硝化过程的影响	李志华,曾金锋,李胜,姬晓琴,王晓昌(903)
氧化沟不同曝气模式对氮磷去除性能的优化与比较	郭昌梓,彭党聪,陈雪梅,王丹(910)
生物沥浸的酸化效应对城市污泥脱水性能的影响	朱海风,周立祥,王电站(916)
2 种不同生物接触氧化工艺性能差异的微生物生态研究	钱殷,全向春,裴元生,马景赞,陶锟(922)
微生物群落对土壤微生物呼吸速率及其温度敏感性的影响	范分良,黄平容,唐勇军,李兆君,梁永超(932)
干旱沙区人工固沙植被演变过程中土壤有机碳氮储量及其分布特征	贾晓红,李新荣,周玉燕,李元寿(938)
密云水库上游流域土壤有机碳和全氮密度影响因素研究	王淑芳,王效科,欧阳志云(946)
外加营养源作用下微生物黏结剂对土壤团聚体的影响	莫艳华,汤佳,张仁铎,李方舟(952)
低分子量腐殖酸改性蒙脱土对黄曲霉素的吸附作用	姚佳佳,康福星,高彦征(958)
液固比对土壤洗涤去除多环芳烃效果的影响	吴威,姜林,陈家军,彭胜(965)
基于 PPI 的土地利用优化研究	武晓峰,李婷(971)
若尔盖高原湿地藻类多样性研究	陈曦,刘如钢,王艳芬,张洪勋(979)
3 种杀真菌剂对 AM 真菌侵染和黄芩生长的影响	贺学礼,王平,马丽,孟静静(987)
崇明东滩夏季沉积物厌氧氨氧化菌群落结构与空间分布特征	郑艳玲,侯立军,陆敏,谢冰,刘敏,李勇,赵慧(992)
厌氧条件下 2,2',4,4'-四溴联苯醚的微生物降解	卢晓霞,陈超琪,张姝,欧阳,尹力,吴蔚(1000)
重金属对白腐菌降解十溴联苯醚的影响	熊士昌,尹华,彭辉,何宝燕,龙焰,叶锦韶,张娜,彭素芬(1008)
有机农药滴滴涕和毒死蜱生物降解机制的分子模拟研究	林玉珍,曾光明,张斌,陈明,蒋敏,张嘉超,鲁伦慧,刘利锋(1015)
高效木薯渣分解复合菌群 RXS 的构建及其发酵特性研究	何江,毛忠贵,张庆华,张建华,唐蕾,张宏建(1020)
四环素类抗生素污染畜禽粪便的厌氧消化特征	童子林,刘元璐,胡真虎,袁守军(1028)
上推流厌氧反应器连续干发酵猪粪产沼气试验研究	陈闯,邓良伟,信欣,郑丹,刘刈,孔垂雪(1033)
《环境科学》征稿简则(878) 《环境科学》征订启事(1007) 信息(759, 770, 870, 1027)	

基于 PPI 的土地利用优化研究

武晓峰, 李婷

(清华大学水文水资源研究所水沙科学与水利水电工程国家重点实验室, 北京 100084)

摘要: 土地利用类型和管理方式是非点源污染的主要影响因素, 受人类活动影响较大。基于对非点源污染防治措施的汇总分析, 在三道防线的理念指导下, 对密云水库流域 3 个典型小流域的土地利用现状进行了合理性分析, 并设计了 9 个土地利用优化情景。以曹家路流域为例, 利用 PPI 模型和 R-PPI 指数对比分析不同土地利用优化情景对环境的影响, 得到最佳的土地利用组合。运用 PPI 模型和 R-PPI 指数进行土地利用优化情景的设计和比较, 可以得到土地利用和管理方式的最优组合, 从而优化流域内土地利用的空间分布和管理方式, 削减水土流失, 为土地利用规划和污染防治方案的制定和选择提供支撑。

关键词: 河段; 水质; PPI; R-PPI; 污染治理

中图分类号: X143 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)03-0971-08

Study on the Land Use Optimization Based on PPI

WU Xiao-feng, LI Ting

(State Key Laboratory of Hydro-science and Engineering, Institute of Hydrology & Water Resources, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Land use type and managing method which is greatly influenced by human activities, is one of the most important factors of non-point pollution. Based on the collection and analysis of non-point pollution control methods and the concept of the three ecological fronts, 9 land use optimized scenarios were designed according to rationality analysis of the current land use situation in the 3 typed small watersheds in Miyun reservoir basin. Take Caojialu watershed for example to analyze and compare the influence to environment of different scenarios based on potential pollution index (PPI) and river section potential pollution index (R-PPI) and the best combination scenario was found. Land use scenario designing and comparison on basis of PPI and R-PPI could help to find the best combination scenario of land use type and managing method, to optimize space distribution and managing methods of land use in basin, to reduce soil erosion and to provide powerful support to formulation of land use planning and pollution control project.

Key words: river section; water quality; potential pollution index (PPI); river section potential pollution index (R-PPI); pollution control

据有关研究成果, 很多水域非点源污染比例均超过点源污染^[1]。随着点源污染防治工作的开展和深入, 非点源污染将成为水体污染的主要来源。

根据污染物的流失形态可将非点源污染源分为两大类: 溶解态污染源和吸附态污染源。其中溶解态污染源主要包括地表径流(农村、城市、矿山开采、建筑工地等)、农田污水灌溉、农村生活污水和水体人工养殖等; 吸附态污染源主要包括土壤侵蚀和流失、化肥和农药施用、畜禽粪便、大气干湿沉降和底泥二次污染等^[2,3]。这两类污染源中除大气沉降外均与土地利用类型及其管理方式密切相关。因此, 土地利用类型和管理方式是影响非点源污染的关键性因素, 很多简单的非点源污染评价的经验模型或算法就是通过建立土地利用类型与污染负荷相关关系来计算非点源污染负荷总量的^[4~6]。

土地利用类型和管理方式代表了人类活动的强度。不同土地利用类型产生的单位面积污染负荷量差异很大, 污染物的下渗和降解作用也不同。自然用

地如草地、林地等产生的单位面积污染负荷量较小; 而非自然用地如耕地、居民地等由于地表覆盖、土壤结构的改变和化肥、农药的施用, 产生的单位面积污染负荷量较大。即使是同一种土地利用类型在不同管理方式下产生的污染负荷也不同。

我国人口数量多、密度大, 在山区上游的小流域内, 尽管坡度、土壤类型、到河网距离等自然条件并不一定利于人类居住和耕种, 但由于各种历史原因, 造成耕地的分布、人口的分布和土地的管理方式不合理的现象非常普遍, 加剧了水土流失和对河网的污染。因此, 对现状的土地利用类型和管理方式进行合理优化, 可望有效控制水土流失, 降低对河流水体的污染。

目前国内外相关的研究主要可分为以下 2 个方面。

收稿日期: 2011-03-14; 修订日期: 2011-09-16

作者简介: 武晓峰(1967~), 男, 副教授, 主要研究方向为水环境保护, E-mail: wuxiaofeng@tsinghua.edu.cn

(1)通过对不同土地利用类型的污染影响比较,从而提出土地利用类型优化的建议.如李俊然等^[7]利用GIS研究了于桥水库流域内不同土地利用结构与地表水水质的相关关系;王晓燕等^[8]利用试验监测手段分析不同土地利用类型小区地表径流和泥沙中氮磷污染物的流失情况等.

(2)通过研究比较不同管理方式对污染的控制效果,给出推荐的最优管理方式.目前,国内外应用最广泛的是最佳管理措施,在下文中给出了较多的研究案例.

而将2个方面的优化结合起来,对全流域的土地利用类型和管理方式进行空间上优化的研究目前仍较少.本研究是在三道防线理念指导下,对整个流域内的土地利用类型和管理方式进行优化.

本研究利用PPI模型和R-PPI指数的计算,对密云水库流域的3个典型小流域——曹家路、蛇鱼川和黄土坎进行了土地利用优化情景设计及其环境影响的计算分析.通过情景设计和模型计算,对不同非点源污染防治措施的环境影响进行对比分析,进而给出最佳的组合优化情景及其实施后的环境影响,优化流域内土地利用的空间分布和管理方式,从而削减由于土地利用和管理方式不合理导致的水土流失和水质恶化,从源头上控制污染的产生,减少进入河网的污染负荷量,以期为土地利用规划、污染防治方案的制定及其效果的预判提供支撑.

1 PPI模型^[9]和R-PPI指数^[10]简介

PPI模型(potential pollution index)是在借鉴欧洲学者建立的潜在非点源污染指数模型(PNPI)的基础上,根据我国的社会经济条件和流域状况对其进行了土地利用类型扩展、土地利用类型比对和土壤渗透性等级划分等3个重要改进后得到的.改进后的PPI模型能够综合考虑包括养殖场、旅游区等在内的各种污染源对河流的潜在污染影响,更适用于我国的情况,从而给出流域内各种污染源对河流造成的潜在污染的空间分布信息.

由于PPI模型简单方便、易于操作,只需输入少量基础数据即可得到潜在非点源污染影响的空间分布,因此,在相关监测数据缺乏甚至尚无的区域具有明显的优势,考虑到我国非点源污染研究开始较晚,相关观测数据并不健全,恰恰需要这样的模型来指导非点源污染的防治工作.

$$PPI = a \times LCI + b \times ROI + c \times DI \quad (1)$$

式中, $a=4.8$, $b=c=2.6$,通过专家打分法得到;LCI

是土地利用指标.代表了不同土地利用类型可能产生的污染负荷量,由专家打分法确定,污染负荷产生量越大,则LCI越大,值域为0~4;ROI是径流指标.代表了由坡度引起的污染物的运动以及土地利用类型、地质条件和土壤类型引起的下渗影响,下渗影响越大,最终进入河道的污染负荷越少,ROI越小.ROI由计算单元到河流流径上所有单元的坡度、土地利用类型和土壤类型共同确定,值域为0~1.基于土地利用类型和土壤类型通过专家打分法可以确定初步径流参数,然后根据坡度修正表和坡度数据对单元的初步径流参数进行修正得到径流参数,其值介于0~1之间,>1则取1,单元的ROI即该单元到河流的流径上所有单元径流参数的算术平均值;DI是距离指标.代表了污染物在汇入河流过程中所受到的降解影响,降解作用的影响越大,DI越小. DI采用经验公式计算,由计算单元到河网的流径长度确定,值域为0~1.

为了解不同河段汇入水质的好坏,从而识别受两侧汇流区影响较大的重点污染河段以及重点污染源,在PPI模型的基础上通过汇流计算可得到河段潜在污染指数R-PPI指数(river section potential pollution index),代表了河段两侧汇流区单元产生的潜在污染影响的均值,其计算公式如下.

$$R-PPI = Q_{\text{总}} / W_{\text{总}} \quad (2)$$

式中, $Q_{\text{总}}$ 表示每固定长度河段的汇流区汇入的总的潜在污染影响; $W_{\text{总}}$ 表示相应长度河段的汇流区总单元数,R-PPI值域范围与PPI一致,为0~25.

R-PPI能够综合反映潜在污染影响,识别重点污染河段、区域和污染源,可用于评价流域治理效果和不同方案的环境影响.

在本研究中对不同土地利用情景的评价正是基于PPI模型和R-PPI指数的计算进行的,其计算只需要土地利用类型、土壤类型和DEM等基础数据.

2 流域土地利用分布合理性分析

目前国内主要有以下2个方法用于对土地利用分布的合理性分析.

2.1 基于三道防线的土地利用分布合理性分析

北京市水务局基于“人与自然和谐”的理念提出了构建“生态修复、生态治理、生态保护”三道防线的水源保护新模式^[11].

第一道防线,也称生态修复区,山高坡陡、土壤及土地利用方式持水保水能力弱,极易发生洪涝和泥石流灾害,同时又是重要的水源补给区.该防线土

地利用类型优化方向为水保防护林(包括水源涵养林和经济林)及自然植被,加强水土保持,尽可能减少水土流失和人类活动的影响,诸如居民区、耕地、旅游区等都不应布置在这一区域。

第二道防线,也称生态治理区,土地利用强度大、人口密集,对自然植被和生态系统的破坏大,导致生态环境脆弱,水土流失和农业面源污染严重。但该区域不论坡度、水土保持能力、土壤类型及其养分含量、灾害发生概率、地形地势等条件都是比较适宜人类居住、发展的区域。因此,该防线土地利用类型优化方向为发展节水高效的农业,居民区进行污水和垃圾集中处理、实现企业和养殖业的清洁化生产等。

第三道防线,也称生态保护区,离河道较近,污染物排放后若不加以有效的处理,易直接进入河道,导致河流水质恶化,对河流生态系统和人居环境有很大影响。由于距离河道近、灌溉和农村生活用水取用方便,土地较肥沃湿润,因此人类活动强度大,农田和居住区密集,盲目用水和浪费易导致河流断流、生态系统严重破坏,同时由于很多居民、养殖场、游客就近随意抛弃、堆放废弃物,排放废水,导致河道内及附近堆积着许多生产、生活垃圾,严重影响了河

流的水质和居民的用水安全。该防线土地利用类型优化方向为退耕还湖还林还草,禁止河道附近垃圾堆放和污水直接排放,健全河网生态系统,恢复并维系河道及水库周边湿地生态系统,净化水质等。

目前在文献[12]中已形成一套初步的划分方法,其中第一道防线和第二道防线以坡度 25°为分界线,第三道防线集中在沟(河)道两侧及水库周边地带,文献[13]中关于一级保护区陆域沿岸纵深与河岸的水平距离不小于 50 m 的规定,取第三道防线为距沟(河)道两侧及水库周边 50 m 范围内的区域。

根据三道防线的划分方法对 3 个小流域的居住用地和耕地的空间分布进行统计如表 1 所列。可见,现状条件下,3 个流域中居民地、养殖场、旅游区、旱地和菜地在第一道防线中比例较小,但均有一定分布,而在第三道防线中比例较大,其中居民地的 35%~46%、养殖场的 20%~40%、旅游区的 50%以上、旱地的 36%~40%以及菜地的 50%左右均分布在第三道防线,这与 3 道防线的土地利用分布的要求不一致,对河道水体的潜在污染威胁较大,需进行优化。

表 1 基于三道防线的土地利用分布统计

Table 1 Land use distribution statistics based on three ecological fronts											
编码	用途	土地利用类型 ¹⁾	曹家路流域比例/%			蛇鱼川流域比例/%			黄土坎流域比例/%		
			第一道防线	第二道防线	第三道防线	第一道防线	第二道防线	第三道防线	第一道防线	第二道防线	第三道防线
99	居住用地	居民地	1.49	62.78	35.74	10.27	50.32	39.41	2.15	51.68	46.17
399		养殖场	0.00	87.90	12.10	26.68	5.92	67.40	8.16	91.84	0.00
499		旅游区	1.37	46.50	52.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
92201	耕地	旱地	2.67	55.95	41.39	10.41	50.49	39.10	2.38	60.97	36.65
92501		菜地	0.00	50.41	49.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00

1) 土地利用类型划分原则和方法详见文献[9]

2.2 基于坡度的土地利用分布合理性分析

李俊波等^[14]将¹³⁷Cs 示踪技术与 RS、GIS 技术相结合,对密云水库周边地区进行了土壤侵蚀状况判定,得到土壤侵蚀状况随坡度和植被覆盖度的变化规律。在坡度不大于 5°时,不论植被覆盖状况如何,土壤侵蚀均为中度及以下,在这些区域可以进行村庄建设、开展农业活动,不会导致土壤侵蚀过于剧烈。而坡度在 5°~15°之间时,当植被覆盖度在 30%以下,或是坡耕地情况下,土壤侵蚀均为强或极强,说明在这个坡度范围内要保证一定的植被覆盖度,如果要开展农业活动,需采取一些保护性的措施以减少土壤和养分流失。当坡度在 15°~25°之间时,土壤侵蚀剧烈,要把土壤侵蚀控制在中度及以下,需

保证植被覆盖度在 50%以上,此时不宜布置坡耕地、居住地,为了保证一定的经济效益,宜改为植被覆盖度较高的果园。当坡度在 25°以上时,土壤侵蚀普遍强度较大,宜布置水保林,涵养水源。

3 个流域除黄土坎流域外均有部分比例居住用地和耕地分布在坡度较大的区域,且比例大的可达 60%以上,如曹家路流域内养殖场面积的 61.27%分布在坡度 15°以上区域,这些区域坡度较大,不适宜进行频繁的人类活动,同时,人类活动也将导致地表覆盖遭到破坏,水土流失加剧,对河流的潜在影响增大。因此,有必要对坡度较大的居民用地和耕地采取必要的措施。

上述 2 种方法所考虑的因素都是合理的,本研

究在土地利用情景设计中综合了上述 2 种方法,在不同区域因地制宜地采取优化措施。

3 土地利用优化情景设计

基于三道防线的定义和划分、坡度以及现有的非点源污染防治措施,通过合理性和适应性分析,选取较为优化的土地利用类型空间分布和管理方式,设计相应的土地利用优化情景。

3.1 非点源污染防治措施

在控制非点源污染方面,除改变土地利用类型外,目前国内外应用最广泛的是最佳管理措施,包括:耕作管理措施(保护性耕作和等高耕作)、农田养分管理措施(平衡施肥、缓释肥料和水肥综合管理)、畜禽养殖管理(生态营养饲料、庭院生态工程和沼气池)、修筑梯田、种植植物篱、设置河岸缓冲带、设置人工湿地以及水生植物修复技术等方法 and 措施。这些措施由于其管理目标、面向对象及原理的不同,各自有不同的优缺点和适用范围,需要根据研究区的土地利用现状、污染现状、经济条件和治理目标等进行选择和组合。

最佳管理措施可分为非工程管理措施和工程措施两大类。非工程管理措施主要包括以下 3 种。

(1) 耕作管理措施

保护性耕作包含秸秆残茬覆盖、免耕、少耕、深松和控制杂草等。保护性耕作主要是通过简化生产流程,增加地表覆盖,从而增加入渗,降低地表径流,降低农田对河流的污染影响。赵延祥^[15]经研究得出,保护性耕作技术可减少地表径流量 50% ~ 60%,提高土壤含水量 16% ~ 19%,减少土壤流失 80% 左右,增产幅度在 10% 左右。

等高耕作指的是在等高线上布置耕地、进行耕作,可防止坡耕地发生成片或沟道状的土壤侵蚀,但其对高强度暴风雨的侵蚀抵抗能力不够^[16],如能结合一定的保护性耕作措施,可以达到增加入渗,减少水土流失的效果。同顺坡种植相比,可以减少约 30% 的土壤流失量^[17]。Elliott 等^[18]通过试验研究发现等高耕作可提高冬季水分贮量 $82 \text{ mm} \pm 49 \text{ mm}$ 。

(2) 农田养分管理措施

平衡施肥技术指的是基于养分平衡法理论,在掌握历年土壤质量、养分含量以及作物需肥特性的周期变化,通过测土配方,使得满足作物相应产量所需的养分量与土壤供应的养分量达到平衡^[16],可提高化肥利用率 5% ~ 10%,增产 10% ~ 15%^[19]。

缓释肥料是指一种根据作物特性设计的包膜

(裹)型肥料,它能在土壤中随作物不同时期的需肥量和特征而缓慢释放元素,使作物在不同生长期得到不同的营养补充,可提高化肥利用率 0.3% ~ 0.7%,但缺点是价格过高,为普通化肥的 2 ~ 8 倍,且针对其肥效和释放机制的研究还不多,产量较少,对环境的影响尚不明确^[20,21]。

水肥综合管理是指根据作物不同生长阶段的需求特点对水分和肥料进行统筹管理。石艳平等^[22]通过田间试验发现,相对于化肥表施,合理的有机-无机肥料配合施用以及化肥深施,可分别降低地表径流中总氮和总磷平均浓度 53% 和 39%,而通过小区间沟渠的改造,可减少农田向环境水体输出总径流量的 76% 以上。

(3) 畜禽养殖管理

生态营养饲料是指利用生态营养学的理论和方法,对饲料原料的选购、配方设计、加工等过程进行严格质量控制,并实施动物营养系统调控,从而改变和控制可能发生的畜禽产品公害和环境污染^[23]。据报道,在猪日粮中添加赖氨酸,粪便中的氮可减少 25% 左右,若按照理想蛋白质模式配制,氨排出量可减少 20% ~ 50%^[23]。

以畜禽养殖为主的庭院生态工程指的是在现代生态经济学的指导下,将畜牧业与种植业、加工业、渔业、沼气池建设等联合在一起,利用系统工程的思想进行建设和联合运作,以达到经济、环境、社会三者的良性循环^[16],缺点是这些工程大多数工程量大、技术要求高、实施起来较为困难。

农村户用沼气池指的是将畜禽粪便放入沼气池中进行厌氧发酵,将其转化为沼气、沼液和沼渣,沼气可取代薪柴作为燃料,而沼液可作为高效的有机肥、杀虫剂和饲料添加剂,通过厌氧发酵既解决了畜禽粪便处理的难题,又能减少化肥、农药使用和水土流失。研究发现,沼气发酵全氮保存率比敞口池沤肥保存率增加 46%,其氮、磷、钾的回收率在 90% 以上^[24,25]。

工程措施主要包括以下 5 个方面。

(1) 梯田是一种水土保持坡面治理措施,通过增加地表面积、改变耕地所在位置的坡度和坡长,增加地表入渗能力,减少径流冲刷,减少土壤肥料的流失率,进一步改变土壤的理化性状、微生物状况、土壤水分状况,达到更好的水土保持效果^[17]。阮伏水等^[26]通过试验发现,在同等条件下,菠萝种植在水平梯田与顺坡种植相比,拦蓄径流率达 92.1%,拦沙率达 99%。

(2) 植物篱种植模式是指通过植物篱机械拦截, 改变侵蚀坡面的有效长度, 从而降低地表径流速度, 改善土壤水分参数, 增加水分的入渗量. 姚桂枝等^[27]针对紫穗槐、金银花、黄花菜和龙须草这 4 种植物篱进行试验, 发现这 4 种植物篱可减少地表径流量 26% ~ 38%、土壤流失量 10% ~ 37%、总氮 30% ~ 39%、总磷 61% ~ 78%.

(3) 河岸缓冲带是指水体边缘向岸坡爬升的植被带, 一方面减弱该区的水土流失, 另一方面通过增加地面粗糙度, 减缓地表水流动速度, 从而促使流经的径流中土壤侵蚀带来的泥沙颗粒和吸附态的养分污染沉降, 一般情况下, 认为河岸缓冲带可削减总氮 3% ~ 50%, 总磷 65% ~ 95%, 泥沙 75% ~ 90%^[28,29].

(4) 人工湿地指的是由人工建造的与沼泽类似的地面, 基于对自然湿地中的物理、化学和生物作用的优化组合进行设计, 通过土壤、植物和生物的吸收和降解作用, 减少进入水体的氮、磷, 对氮的吸收可达到 79%, 对硝态氮的吸收能力更强, 达到 96%, 对磷的吸收率为 25% ~ 98%^[30].

(5) 水生植物修复技术是指利用水生植物对污染物质的吸收能力, 截留水体中的富营养化元素, 最后通过植物的收割, 将污染物带离水体的一项技术, 同时还起到降解、吸附和过滤的作用, 抑制藻类的生长, 促使悬浮物沉降^[31]. 据研究, 野茨菰对水体中氮的去除率达 75.0%, 芦苇和香蒲对总磷的去除率分别为 58.3% 和 66.2%, 水芹菜对氮、磷吸收量可以分别达到 282 kg/hm² 和 60 kg/hm², 水蕹菜达到 774 kg/hm² 和 109 kg/hm²^[32].

3.2 土地利用情景设计

根据以上分析, 共设计了以下 9 个土地利用情景: SC1: 第一道防线中的居住用地和耕地还林; SC2: 在第二道防线中, 改变 15° ~ 25° 居住用地和耕地为果园 (经济林); SC3: 在第二道防线中, 对 5° ~ 15° 坡耕地进行保护性耕作, 保护性耕作的坡耕地的 LCI 减小为原来的 45%, 径流系数减小为原来的 45%; SC4: 在第二道防线中, 对 5° ~ 15° 坡耕地设置植物篱, 植物篱的坡耕地的 LCI 减小为原来的 65.5%, 径流系数减小为原来的 68%; SC5: 在第二道防线中, 将 5° ~ 15° 坡耕地修筑成梯田, 建设梯田的坡耕地的 LCI 减小为原来的 7.9%, 径流系数减小为原来的 7.9%; SC6: 在第二道防线中推广使用户用沼气池, 户用沼气池的居民用地 LCI 减小为原来的 10%; SC7: 在第二道防线中对耕地采取平衡

施肥技术, 采取该技术施肥的耕地 LCI 减小为原来的 92.5%; SC8: 第三道防线中的居住用地和耕地还林; SC9: 重点污染河段^[10]设置河岸缓冲带, 河岸缓冲带的土地利用类型分布为 17 m 林地 (河岸侧) 和 8 m 草地 (耕地侧).

其中, SC1 和 SC8 主要是根据 2.1 节中基于三道防线划分对流域中土地利用分布的合理性分析得到的, 根据三道防线的理念, 第一、第三道防线不适宜布置居住地和农业活动等污染产生量较大、对植被破坏严重的土地利用类型. 而现状条件下, 3 个流域内居住用地和耕地等人类影响较大的土地利用类型在第一和第三道防线均有一定比例的分布, 这与三道防线中对土地利用类型的要求是不一致的, 这些土地利用类型将加剧水土流失, 对河道造成污染.

文献[12]中对坡面地块防治措施的配置以及坡度对土壤侵蚀状况的影响, 针对第二道防线中坡度在 15° 以上的区域, 设计了 SC2, 即在坡度较小的区域, 水土流失相对较少, 可以将耕地、居民地和旅游区改为种植一些经济林, 在减少水土流失的同时, 产生较好的经济效益, 这种方式比退耕还林更易被农民接受.

而对于坡度为 5° ~ 15° 的坡耕地, 需要通过改变坡耕地的形态和管理方式来减少土壤流失量, 增加入渗量, 从源头上控制坡耕地对河流的非点源污染影响. 在改变耕作方式和耕地形态方面, 3.1 节中介绍的保护性耕作、等高耕作、梯田和植物篱种植都可以达到这一目标, 但考虑到等高耕作对高强度暴雨的抗侵蚀能力不大, 设计情景时不予考虑. 因此, 设计了 SC3、SC4 和 SC5, 即对坡耕地进行保护性耕作, 修筑成梯田或种植植物篱, 在利用 PPI 模型计算其环境影响时, 认为这 3 种措施对地表径流和土壤流失都有一定的削减效果, 即对 PPI 模型中的 LCI 和径流参数都有一定的削减效果. 而在改变管理方式方面, 由于耕地水土流失中携带的养分主要来源有 2 部分, 一是流失土壤的自身养分, 二是施用的化学肥料. 过度使用肥料, 不仅浪费能源、资源, 还使作物的营养过剩而大量流失, 造成地下水及地表水环境污染, 因此, 需要科学管理坡耕地的化肥施用方法和数量, 因此设计了 SC7.

对于养殖场、旅游区和居民地产生的生活垃圾和废水, 由于其相对集中、对河道污染影响较大, 需要采取相应的措施进行集中收集和处理, 为此设计了 SC6, 相比于生态营养饲料和以畜禽养殖为主的

庭院生态工程,户用沼气池能将生活垃圾和废水转化为能被再利用的新能源,既节约能源、降低生活成本,又减少了环境污染影响,具有更高的经济、环境效益和更好的适用性。

最后,考虑到上述措施发挥效用所需时间长,有必要针对河道水质较差的部分(敏感河段)设置河岸缓冲带,将污染物在输送途中进行拦截,减少进入水体的污染物。为此设计了 SC9,这里的重点污染河段^[10]通过 PPI 模型和 R-PPI 指数确定。

4 情景分析

4.1 情景对比分析

以曹家路流域为例,利用 VB 编程计算了不同情景的 PPI 削减率、单位单元 PPI 削减量以及 R-PPI 的方差,统计结果如表 2 所列。

其中,PPI 削减率指的是采取某方案时,流域 PPI 总量与现状总量之差除以现状总量,以百分数表示。PPI 削减率越大,说明该方案削减的潜在污染量越大,环境效益越大,采取该方案对环境越有益。

单位单元 PPI 削减量指的是某方案流域 PPI 总量与现状总量之差除以在该方案中采取非点源污染控制措施的单元数。单位单元 PPI 削减量越大,说明该方案平均改变一个单元的土地利用类型或是管理措施所能削减的 PPI 总量越大,在 PPI 削减率相近的方案中选取单位单元 PPI 削减量最大的方案,可以以较小的成本获得最大的经济和环境效益。

R-PPI 的方差并不是指 R-PPI 相对于自身均值的方差,而是指 R-PPI 相对于全流域 PPI 均值的方差,即 $\sum (R-PPI - PPI \text{ 均值})^2/n$,代表了不同河段汇流区单元平均潜在污染影响相对于全流域 PPI 均值的差异大小。R-PPI 的方差越小,说明远超过河段水体自净容量或远小于河段水体自净容量的河段越

少,不同河段两侧汇入的水质相近,河段水体的自净容量得到了较好的利用。

所有情景中 SC8 的 PPI 削减率最高,说明在曹家路流域内,如果不考虑经济成本,采取 SC8 削减的 PPI 总量最大,对污染的控制效果最明显。所有方案中 SC6 单位单元 PPI 削减量最大,说明在曹家路流域内,采取 SC6 每改变一个单元所得到的 PPI 削减量最大,即每改变一个单元对潜在污染的控制效果最明显。

9 种情景的 R-PPI 方差如图 1 所示,可以看出所有情景的 R-PPI 方差均比现状要小,说明这些方案不仅削减了流域 PPI 总量,改善了流域出口水质,同时减小了河流中各河段汇入水质的差异,其对河段自净容量的利用也更充分。

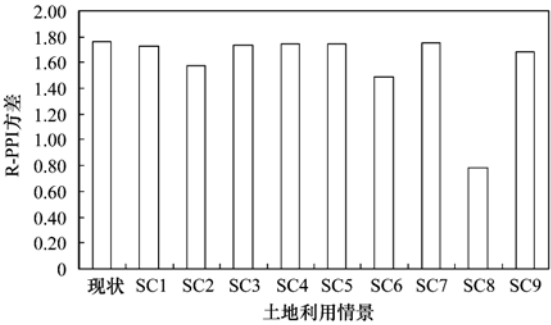


图 1 9 种情景和现状的 R-PPI 方差对比图

Fig. 1 Comparison diagram of R-PPI variance among 9 scenarios and current situation

SC8 的 R-PPI 方差与其它方案相比小很多,这主要是因为这些方案面对的单元对象不同。SC1 的对象是第一道防线中的居民地、养殖场、旅游区和耕地; SC2 的对象是第二道防线中坡度 15°~25°范围内的居民地、养殖场、旅游区和耕地; SC8 的对象是河道两侧 50 m 范围内所有居民地、养殖场、旅游区和耕地; SC9 的对象是河道两侧 25 m 范围内所有单元。SC3~5 的对象是第二道防线坡度 5°~15°的耕地; SC6 的对象是第二道防线所有居民地、养殖场和旅游区; SC7 的对象是第二道防线的所有耕地,从这些情景的面向对象和效果的差异可以看出,曹家路流域内各河段 R-PPI 的差异主要是由河道两侧 25~50 m 的区域内的居民地、养殖场、旅游区和耕地引起的,对这些污染源的有效控制,可以显著地削减 R-PPI 的峰值,使得各河段间 R-PPI 的差异性更小,河流的自净能力利用更充分。

9 个情景中 SC3~SC5 中采取措施的对象为坡度 5°~15°范围内的耕地,或为工程性措施,或为非

表 2 曹家路流域 9 种情景结果统计

Table 2 9 scenarios result statistics in Caojialu watershed

措施分类	情景	PPI 削减率 /%	单位单元 PPI 削减量	R-PPI 方差
	现状	0.00	0.00	1.76
改变第一道防线	SC1	0.22	3.05	1.73
	SC2	1.09	4.09	1.57
	SC3	2.01	3.22	1.74
改变第二道防线	SC4	1.22	1.95	1.74
	SC5	3.37	5.38	1.74
	SC6	2.53	7.22	1.49
	SC7	0.31	0.23	1.75
改变第三道防线	SC8	5.26	4.25	0.79
	SC9	1.15	2.92	1.69

工程性措施,这 3 个措施只需根据需要选取其一即可.从图 2、3 中可以看出,在 SC3、SC4 和 SC5 中,不论是 PPI 削减率还是单位单元 PPI 削减量,SC5 都是最大的,说明 3 种措施中修筑梯田对坡度 5°~15°范围内耕地的潜在污染控制效果最明显,需要改变的单元数最少.因此,应选择 SC5.而其他情景方案由于面向对象不同,均可同时采用,因此,最佳的组合方案应为 SC1+2+5+6+7+8+9.

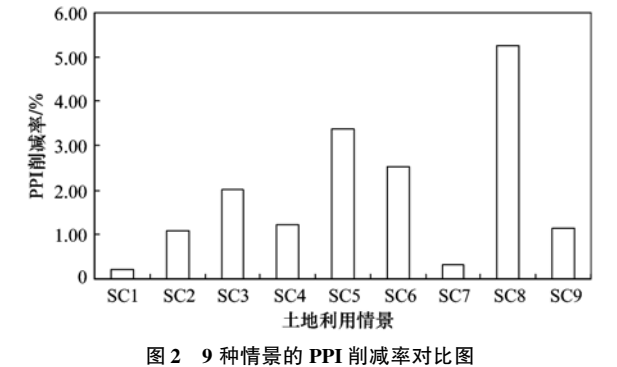


图 2 9 种情景的 PPI 削减率对比图

Fig. 2 Comparison diagram of PPI decrement rate among 9 scenarios

4.2 组合情景应用分析

组合方案是对第一、三道防线采取了居民地、养殖场、旅游区和耕地还林措施,在第二道防线中改变坡度 15°~25°范围内的居民地、养殖场、旅游区和耕地为经济林,对坡度 5°~15°范围内的居民地、养

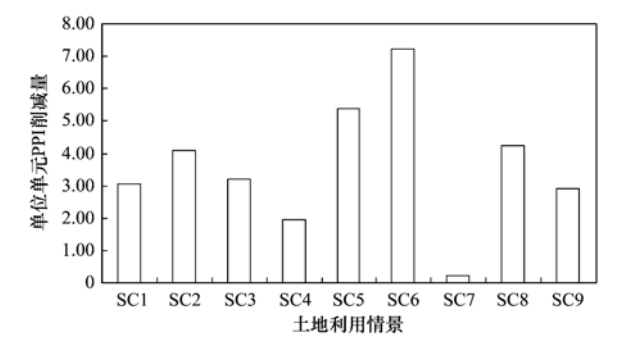


图 3 9 种情景的单位单元 PPI 削减量对比图

Fig. 3 Comparison diagram of PPI decrement per grid among 9 scenarios

殖场、旅游区推广使用户用沼气池,而耕地则修筑成梯田,并采用测土配方——平衡施肥法进行施肥,对重点污染河段设置河岸缓冲带.

将 3 个流域的现状和组合方案实施后 2 种情景的 PPI 削减率等指标进行对比如表 3 所列.3 个流域在组合情景实施后,PPI 总量、PPI 均值和 R-PPI 方差均有所减小,即对下游输出的潜在污染影响总量、流域平均每个单元的潜在污染影响减小了,而对河流自身自净能力的利用程度则有一定程度的提高,说明组合情景使得土地利用方式和管理方式更加合理,削减了对河流的污染影响.

表 3 3 个典型小流域组合情景与现状情景的对比

Table 3 Comparison between combination scenario and actuality scenario in the 3 typed small watersheds							
流域名称	情景	PPI 总量	PPI 削减率/%	采取措施单元数	PPI 均值	单位单元 PPI 削减量	R-PPI 方差
曹家路	现状	2 711 729. 35			3. 46	0. 00	1. 76
	组合	2 398 114. 88	11. 57	72 631	3. 06	4. 32	0. 6
黄土坎	现状	2 367 144. 54			3. 36	0. 00	2. 13
	组合	2 245 236. 32	5. 15	19 816	3. 19	6. 15	1. 82
蛇鱼川	现状	3 075 634. 83			3. 05	0. 00	1. 12
	组合	2 870 622. 33	6. 67	42 466	2. 85	4. 83	0. 67

5 结论

(1)土地利用类型和管理方式是非点源污染的主要影响因素,受人类活动影响较大.本研究基于对非点源污染防治措施的汇总分析,在三道防线的理念指导下,选择密云水库流域的 3 个典型小流域作为研究对象,在现状土地利用合理性分析的基础上设计了 9 个可供改进的土地利用情景,以曹家路流域为例通过 PPI 模型和 R-PPI 指数的计算对不同情景的环境影响进行对比分析.

(2)9 个情景中,除 SC3、SC4 和 SC5 外,其他情景均针对不同空间区域,可组合采用,而 SC3、4、5

中,SC5 的 PPI 削减率、单位单元 PPI 削减量均最大,R-PPI 的方差最小,说明这 3 个情景中选取 SC5 其污染控制效果是最明显的,因此,最佳的组合方案应为 SC1+2+5+6+7+8+9.

(3)在所有情景中,SC8 的 R-PPI 方差最小,通过对比分析可知曹家路流域内各河段 R-PPI 的差异主要是由河道两侧 25~50 m 的条状区域内的居民地、养殖场、旅游区和耕地引起的,对这些污染源产生的潜在污染的有效控制,可以显著地削减 R-PPI 的峰值,使得各河段间 R-PPI 的差异性更小,所有河段的汇入水质均得到较有效的控制.

(4)3 个流域在采取经过优化的土地利用措施

后,PPI 总量、PPI 均值和 R-PPI 方差均有所减小,即对下游输出的潜在污染负荷总量、流域平均每个单元的潜在污染影响都得到减小,而河流自身自净能力的利用程度都有一定程度的提高。

参考文献:

- [1] 刘晓燕,张国珍. 中国水环境非点源污染负荷的估算研究[J]. 环境科学与管理, 2007, **32**(6): 63-66.
- [2] 陈洪波. 三峡库区水环境农业非点源污染综合评价与控制对策研究[D]. 北京: 中国环境科学研究院, 1996. 1-2.
- [3] 王晓燕, 王晓峰, 汪清平, 等. 北京密云水库小流域非点源污染负荷估算[J]. 地理科学, 2004, **24**(2): 227-231.
- [4] 黄虹, 邹长伟, 陈新庚. 中国非点源污染研究评述[J]. 生态环境, 2004, **13**(2): 255-257.
- [5] 胡雪涛, 陈吉宁, 张天柱. 非点源污染模型研究[J]. 环境科学, 2002, **23**(3): 124-128.
- [6] 陈庆青. 土地利用变化对饮用水源地非点源污染源强的影响分析——以合肥市董铺水库为例[D]. 安徽: 合肥工业大学, 2008. 4-6.
- [7] 李俊然, 陈利顶, 郭旭东, 等. 土地利用结构对非点源污染的影响[J]. 中国环境科学, 2000, **20**(6): 506-510.
- [8] 王晓燕, 王一岫, 王晓峰, 等. 密云水库小流域土地利用方式与氮磷流失规律[J]. 环境科学研究, 2003, **16**(1): 30-33.
- [9] 武晓峰, 李婷. 流域内污染负荷分布的评价模型研究——以密云县蛇鱼川小流域为例[J]. 中国环境科学, 2011, **31**(4): 423-430.
- [10] 李婷, 武晓峰. 基于 PPI 的河段水体潜在污染研究[J]. 环境科学, 2010, **31**(11): 2619-2626.
- [11] 毕小刚. 构筑“三道防线”保护饮用水源[J]. 环境保护, 2007, **381**(10A): 52-54.
- [12] DB11/T 548-2008, 生态清洁小流域技术规范[S].
- [13] HJ/T 338-2007, 饮用水水源地保护区划分技术规范[S].
- [14] 李俊波, 华璐, 冯琰, 等. 密云水库周边地区土壤侵蚀状况的有效性判定[J]. 自然灾害学报, 2005, **14**(4): 8-13.
- [15] 赵廷祥. 农业保护性耕作与生态环境保护[J]. 农村牧区机械化, 2002, (4): 7-8.
- [16] 张雅帆. 非点源污染最佳管理措施的环境经济评价——以密云县太师屯镇为例[D]. 北京: 首都师范大学, 2008. 2-5.
- [17] 仓恒瑾, 许炼峰, 李志安, 等. 农业非点源污染控制中的最佳管理措施及其发展趋势[J]. 生态科学, 2005, **24**(2): 173-177.
- [18] Elliott L F, Saxton K E, Papendick R I. The effect of residue management and paratillage on soil water conservation and spring barley yields[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1995 **50**(6): 656-658.
- [19] 北京中农新科生物科技有限公司. 测土配方施肥与肥料施用方法[J]. 中国农业信息, 2007, (2): 42-43.
- [20] 乌兰. 缓释化肥的研究现状与进展[J]. 西北民族大学学报(自然科学版), 2004, **25**(3): 64-67.
- [21] 奚振邦. 缓释化肥再认识[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, **12**(4): 578-583.
- [22] 石艳平, 段增强. 水肥综合管理对减少滇池北岸韭菜地氮磷流失的研究[J]. 农业环境科学学报, 2009, **28**(10): 2138-2144.
- [23] 魏利平. 生态营养饲料的研究概况[J]. 养殖与饲料, 2006, (11): 32-34.
- [24] 孙忠孝. 沼气技术能有效治理农村面源污染[J]. 吉林农业, 2005, (12): 9.
- [25] 方仁声, 赖昭胜. 猪场废水沼气发酵综合处理工程技术研究[J]. 中国沼气, 1999, **17**(3): 17-19.
- [26] 阮伏水, 周伏建. 坡地果园开发水土保持新模式[J]. 农村生态环境, 1995, **11**(2): 7-10, 14.
- [27] 姚桂枝, 刘章勇. 丹江口库区坡耕地不同植物篱对径流及养分流失的影响初探[J]. 安徽农业科学, 2010, **38**(6): 3015-3016, 3047.
- [28] 罗晓娟, 余勇利. 植被缓冲带结构与功能对水质的影响[J]. 水土保持应用技术, 2006, (4): 1-3.
- [29] 周早弘, 张敏新. 防治农业面源污染的工程技术[J]. 环境与可持续发展, 2007, (6): 55-57.
- [30] Abad A, Manclus J J, Mojarra F, *et al.* Hapten synthesis and production of monoclonal antibodies to DDT and related compounds[J]. Agricultural and Food Chemistry, 1997, **45**(9): 3694-3702.
- [31] 朱铁群. 我国水环境农业非点源污染防治研究简述[J]. 农村生态环境, 2000, **16**(3): 55-57.
- [32] 白明英. 农业非点源污染及控制对策研究[J]. 安徽农业科学, 2010, **38**(8): 4228-4230.

CONTENTS

Stable Carbon Isotope of Black Carbon from Typical Emission Sources in China	CHEN Ying-jun, CAI Wei-wei, HUANG Guo-peí, <i>et al.</i> (673)
Characteristics of Carbonaceous Aerosol Concentration in Snow and Ice of Glaciers in Tianshan Mountains	WANG Sheng-jie, ZHANG Ming-jun, WANG Fei-teng, <i>et al.</i> (679)
Size Distribution Properties of Atmospheric Aerosol Particles During Summer and Autumn in Lanzhou	ZHAO Su-ping, YU Ye, CHEN Jin-bei, <i>et al.</i> (687)
Particle Number Size Distribution near a Major Road with Different Traffic Conditions	YANG Liu, WU Ye, SONG Shao-jie, <i>et al.</i> (694)
Atmospheric Particle Formation Events in Nanjing During Summer 2010	WANG Hong-lei, ZHU Bin, SHEN Li-juan, <i>et al.</i> (701)
Characteristics of $\delta^{18}\text{O}$ in Precipitation and Moisture Transports over the Arid Region in Northwest China	LI Xiao-fei, ZHANG Ming-jun, LI Ya-ju, <i>et al.</i> (711)
Distributions and Seasonal Variations of Total Dissolved Inorganic Arsenic in the Estuaries and Coastal Area of Eastern Hainan	CAO Xiu-hong, REN Jing-ling, ZHANG Gui-ling, <i>et al.</i> (720)
Mixing Behavior of Arsenic in the Daliaohe Estuary	JIAN Hui-min, YAO Qing-zheng, YU Li-xia, <i>et al.</i> (727)
Variation Characteristics and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in the Surface Sediments of Bohai Bay	XU Ya-yan, SONG Jin-ming, LI Xue-gang, <i>et al.</i> (732)
Distribution of PAHs in Surface Seawater of Qingdao Coast Area and Their Preliminary Apportionment	LI Xian-guo, DENG Wei, ZHOU Xiao, <i>et al.</i> (741)
Atmospheric Deposition of PAHs in Dashiwei Karst Tiankeng Group in Leye, Guangxi	KONG Xiang-sheng, QI Shi-hua, HUANG Bao-jian, <i>et al.</i> (746)
Lead Isotope Signatures and Source Identification in Urban Soil of Baoshan District, Shanghai	DONG Chen-yin, ZHANG Wei-guo, WANG Guan, <i>et al.</i> (754)
Solute Transport Modeling Application in Groundwater Organic Contaminant Source Identification	WANG Shu-fang, WANG Li-ya, WANG Xiao-hong, <i>et al.</i> (760)
Quantitative Method of Representative Contaminants in Groundwater Pollution Risk Assessment	WANG Jun-jie, HE Jiang-tao, LU Yan, <i>et al.</i> (771)
Study on the Advanced Pre-treatments of Reclaimed Water Used for Groundwater Recharge	GAO Yu-tuan, ZHANG Xue, ZHAO Xuan, <i>et al.</i> (777)
Influence of <i>Ruditapes philippinarum</i> Aquaculture on Benthic Fluxes of Biogenic Elements in Jiaozhou Bay	DENG Ke, LIU Su-mei, ZHANG Gui-ling, <i>et al.</i> (782)
Influence of Spatial Difference on Water Quality in Jiuxiang River Watershed, Nanjing	HU He-bing, LIU Hong-yu, HAO Jing-feng, <i>et al.</i> (794)
Temporal and Spatial Variation of Non-Point Source Nitrogen in Surface Water in Urban Agricultural Region of Shanghai	WANG Nan, MAO Liang, HUANG Hai-bo, <i>et al.</i> (802)
Migration and Transformation of Heavy Metals in Street Dusts with Different Particle Sizes During Urban Runoff	HE Xiao-yan, ZHAO Hong-tao, LI Xu-yong, <i>et al.</i> (810)
Treatment Studies of Industrial Rainoff With a New Type of Constructed Wetland	HE Li-jun, MA Yong-wen, WAN Jin-quan, <i>et al.</i> (817)
Emergent Retention of Organic Liquid by Modified Bentonites: Property and Mechanism	LI Yu, LIU Xian-jun, ZHANG Xing-wang, <i>et al.</i> (825)
Production of Peroxide Hydrogen in <i>Chattonella ovata</i> Hong Kong Strain	JIANG Tao, WU Ni, ZHONG Yan, <i>et al.</i> (832)
Characteristics Study of Extracellular Active Substance of <i>Bacillus</i> sp. B1 on <i>Phaeocystis globosa</i>	LI Qiang, ZHAO Ling, YIN Ping-he (838)
Effects of Sediment on the Growth of <i>Microcystis</i> and <i>Anabaena</i> in Yanghe Reservoir	CHU Zhao-sheng, ZHANG Yu-bao, JIN Xiang-can, <i>et al.</i> (844)
New-Type Electroless Excilamp for Advanced Treatment on Nitrogen-Heterocyclic Compounds (NHCs) in Aqueous Solution	YE Zhao-lian, WANG Bin, LU Juan-juan, <i>et al.</i> (849)
Preparation and Electro-catalytic Characterization on La/Ce Doped Ti-base Lead Dioxide Electrodes	ZHENG Hui, DAI Qi-zhou, WANG Jia-de, <i>et al.</i> (857)
Study on Decolorization of Triphenylmethane Dyes by DTT	PAN Tao, LIU Da-wei, REN Sui-zhou, <i>et al.</i> (866)
Influences of pH and Complexing Agents on Degradation of Reactive Brilliant Blue KN-R by Ferrous Activated Persulfate	ZHANG Cheng, WAN Jin-quan, MA Yong-wen, <i>et al.</i> (871)
Degradation Kinetics of Ozone Oxidation on High Concentration of Humic Substances	ZHENG Ke, ZHOU Shao-qi, YANG Mei-mei (879)
Index of Stability and Its Mechanisms of Aerobic Granular System Using Volume-based Information Entropy	LI Zhi-hua, JI Xiao-qin, LI Sheng, <i>et al.</i> (885)
Relationship Between Physicochemical Characteristics of Activated Sludge and Polymer Conditioning Dosage	LI Ting, WANG Yi-li, FENG Jing, <i>et al.</i> (889)
Research of Aerobic Granule Characteristics with Different Granule Age	ZHOU Man, YANG Chang-zhu, PU Wen-hong, <i>et al.</i> (896)
Effect of Size and Number of Aerobic Granules on Nitrification and Denitrification	LI Zhi-hua, ZENG Jin-feng, LI Sheng, <i>et al.</i> (903)
Optimization and Comparison of Nitrogen and Phosphorus Removal by Different Aeration Modes in Oxidation Ditch	GUO Chang-zi, PENG Dang-cong, CHENG Xue-mei, <i>et al.</i> (910)
Effect of Acidification on the Dewaterability of Sewage Sludge in Bioleaching	ZHU Hai-feng, ZHOU Li-xiang, WANG Dian-zhan (916)
Microbial Ecology Analysis of the Biofilm from Two Biological Contact Oxidation Processes with Different Performance	QIAN Yin, QUAN Xiang-chun, PEI Yuan-sheng, <i>et al.</i> (922)
Altered Microbial Communities Change Soil Respiration Rates and Their Temperature Sensitivity	FAN Fen-liang, HUANG Ping-rong, TANG Yong-jun, <i>et al.</i> (932)
Storages and Distributed Patterns of Soil Organic Carbon and Total Nitrogen During the Succession of Artificial Sand-Binding Vegetation in Arid Desert Ecosystem	JIA Xiao-hong, LI Xin-rong, ZHOU Yu-yan, <i>et al.</i> (938)
Factors Controlling Soil Organic Carbon and Total Nitrogen Densities in the Upstream Watershed of Miyun Reservoir, North China	WANG Shu-fang, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun (946)
Impact of Microbial Aggregating Agents on Soil Aggregate Stability Under Addition of Exogenous Nutrients	MO Yan-hua, TANG Jia, ZHANG Ren-duo, <i>et al.</i> (952)
Adsorption of Aflatoxin on Montmorillonite Modified by Low-Molecular-Weight Humic Acids	YAO Jia-jia, KANG Fu-xing, GAO Yan-zheng (958)
Influence of Operating Parameters on Surfactant-enhanced Washing to Remedy PAHs Contaminated Soil	WU Wei, JIANG Lin, CHEN Jia-jun, <i>et al.</i> (965)
Study on the Land Use Optimization Based on PPI	WU Xiao-feng, LI Ting (971)
Research on Algal Diversity in Zoige Alpine Wetland	CHEN Xi, LIU Ru-yin, WANG Yan-fen, <i>et al.</i> (979)
Effects of Three Fungicides on Arbuscular Mycorrhizal Fungal Infection and Growth of <i>Scutellaria baicalensis</i> Georgi	HE Xue-li, WANG Ping, MA Li, <i>et al.</i> (987)
Community Structure and Spatial Distribution of Anaerobic Ammonium Oxidation Bacteria in the Sediments of Chongming Eastern Tidal Flat in Summer	ZHENG Yan-ling, HOU Li-jun, LU Min, <i>et al.</i> (992)
Microbial Degradation of 2,2',4,4'-Tetrabrominated Diphenyl Ether Under Anaerobic Condition	LU Xiao-xia, CHEN Chao-qi, ZHANG Shu, <i>et al.</i> (1000)
Effect of Heavy Metals on Degradation of BDE-209 by White-rot Fungus	XIONG Shi-chang, YIN Hua, PENG Hui, <i>et al.</i> (1008)
Biodegradation Mechanism of DDT and Chlorpyrifos Using Molecular Simulation	LIN Yu-zhen, ZENG Guang-ming, ZHANG Yu, <i>et al.</i> (1015)
Construction of a Microbial Consortium RXS with High Degradation Ability for Cassava Residues and Studies on Its Fermentative Characteristics	HE Jiang, MAO Zhong-gui, ZHANG Qing-hua, <i>et al.</i> (1020)
Anaerobic Digestion of Animal Manure Contaminated by Tetracyclines	TONG Zi-lin, LIU Yuan-lu, HU Zhen-hu, <i>et al.</i> (1028)
Continuous Dry Fermentation of Pig Manure Using Up Plug-Flow Type Anaerobic Reactor	CHEN Chuang, DENG Liang-wei, XIN Xin, <i>et al.</i> (1033)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2012年3月15日 33卷 第3期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 3 Mar. 15, 2012

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行人