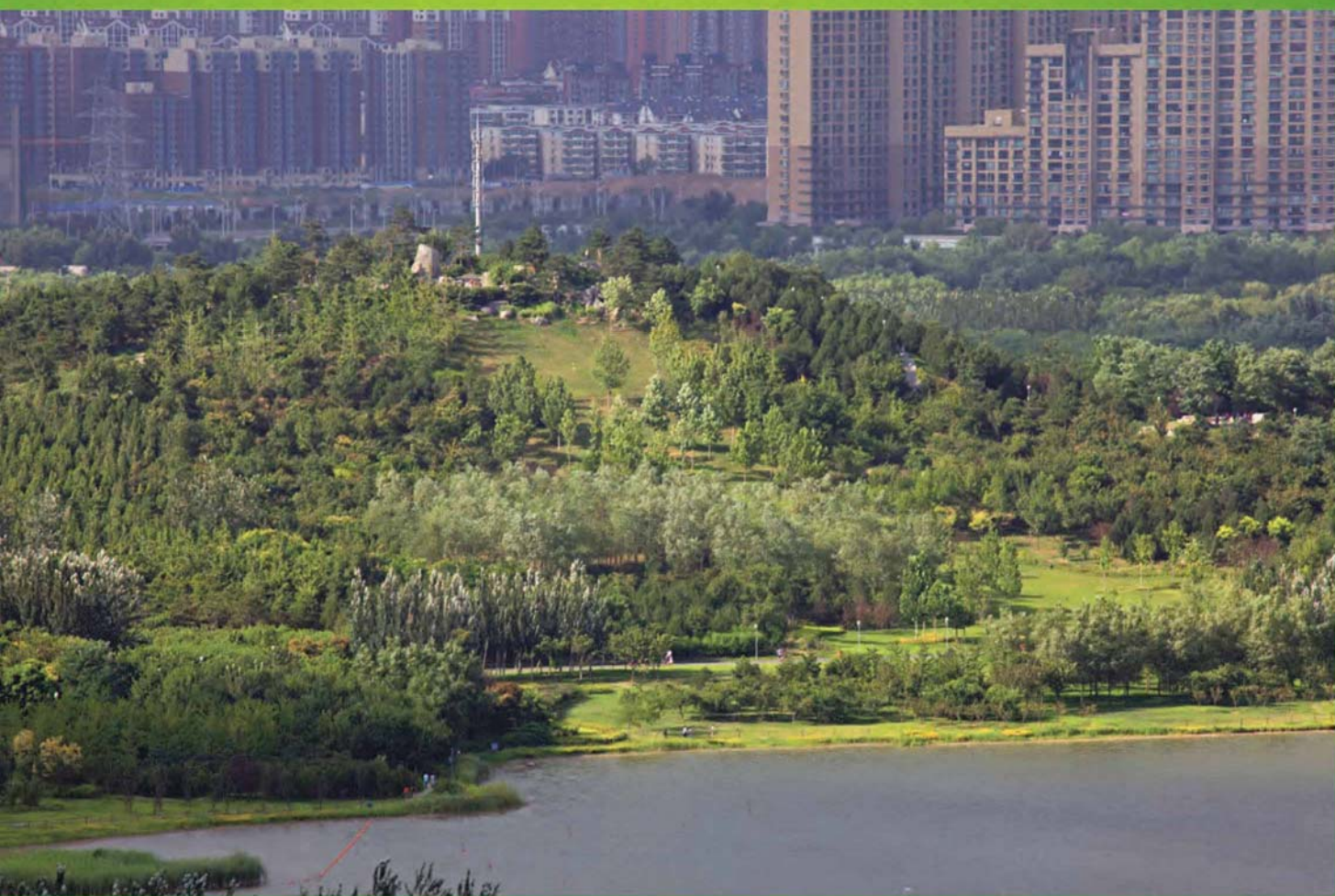


ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

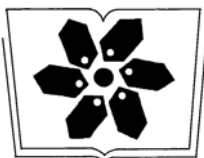
Acta Ecologica Sinica



第34卷 第1期 Vol.34 No.1 **2014**

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 34 卷 第 1 期 2014 年 1 月 (半月刊)

目次

卷首语: 复杂与永续..... (I)

前沿理论与学科综述

城市复合生态及生态空间管理 王如松, 李 锋, 韩宝龙, 等 (1)

海洋生态系统固碳能力估算方法研究进展 石洪华, 王晓丽, 郑 伟, 等 (12)

城市生态系统灵敏度模型评述 姚 亮, 王如松, 尹 科, 等 (23)

城市生活垃圾代谢的研究进展..... 周传斌, 徐琬莹, 曹爱新 (33)

个体与基础生态

胶州湾生物-物理耦合模型参数灵敏度分析 石洪华, 沈程程, 李 芬, 等 (41)

渤海湾大型底栖动物调查及与环境因子的相关性 周 然, 覃雪波, 彭士涛, 等 (50)

生物扰动对沉积物中污染物环境行为的影响研究进展 覃雪波, 孙红文, 彭士涛, 等 (59)

种群、群落和生态系统

密云水库上游流域生态系统服务功能空间特征及其与居民福祉的关系 ... 王大尚, 李屹峰, 郑 华, 等 (70)

长岛自然保护区生态系统维护的条件价值评估 郑 伟, 沈程程, 乔明阳, 等 (82)

海岛陆地生态系统固碳估算方法 王晓丽, 王 媛, 石洪华, 等 (88)

景观、区域和全球生态

区域生态文明建设水平综合评估指标 刘某承, 苏 宁, 伦 飞, 等 (97)

基于生境质量和生态响应的莱州湾生态环境质量评价 杨建强, 朱永贵, 宋文鹏, 等 (105)

1985 年以来黄河三角洲孤东海岸演变与生态损益分析 刘大海, 陈小英, 徐 伟, 等 (115)

基于复合生态系统理论的海洋生态监控区区划指标框架研究 徐惠民, 丁德文, 石洪华, 等 (122)

我国环境功能评价与区划方案 王金南, 许开鹏, 迟妍妍, 等 (129)

资源与产业生态

生态产业园的复合生态效率及评价指标体系 刘晶茹, 吕 彬, 张 娜, 等 (136)

我国农业生态效率的时空差异..... 程翠云, 任景明, 王如松 (142)

内蒙古半干旱生态脆弱矿区生态修复耦合机理与产业模式 陈玉碧, 黄锦楼, 徐华清, 等 (149)

基于物质流分析方法的生态海岛建设研究——以长海县为例 陈东景, 郑 伟, 郭惠丽, 等 (154)

再生(污)水灌溉生态风险与可持续利用 陈卫平, 吕斯丹, 张炜铃, 等 (163)

基于流域单元的海湾农业非点源污染负荷估算——以莱州湾为例..... 麻德明, 石洪华, 丰爱平 (173)

集约用海对海洋生态环境影响的评价方法 罗先香,朱永贵,张龙军,等 (182)

城乡与社会生态

基于生态系统服务的城市生态基础设施:现状、问题与展望..... 李 锋,王如松,赵 丹 (190)

北京城区道路系统路网空间特征及其与 LST 和 NDVI 的相关性 郭 振,胡 聃,李元征,等 (201)

基于复合生态功能的城市土地共轭生态管理 尹 科,王如松,姚 亮,等 (210)

重庆市森林生态系统服务功能价值评估 肖 强,肖 洋,欧阳志云,等 (216)

渤海湾港口生态风险评估 彭士涛,覃雪波,周 然,等 (224)

达标污水离岸排海末端处置技术研究综述 彭士涛,王心海 (231)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 238 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 28 * 2014-01



封面图说: 北京奥林匹克公园——在高楼林立的大城市中,办公楼、居民区、学校、路网系统、公园以及各种水泥、沥青硬路面和树木、绿草地、土面、水面等等组成了复杂多样的城市生态景观,居住着密集的人口并由于人们不断的、强烈的干预,使这个城市生态系统显得尤其复杂而又多变。因此,系统复杂性及灵敏度是困扰城市生态系统研究和管理的重要因素,建立灵敏度模型是致力于解决城市规划管理中的复杂性问题的有效方法,网状思维与生物控制论观是其核心,也是灵敏度模型的思想基础。图为北京中轴线北端被高楼簇拥着的奥林匹克公园的仰山和龙型水系。

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

DOI: 10.5846/stxb201304280853

麻德明, 石洪华, 丰爱平. 基于流域单元的海湾农业非点源污染负荷估算——以莱州湾为例. 生态学报, 2014, 34(1): 173-181.

Ma D M, Shi H H, Feng A P. Estimation of agricultural non-point source pollution based on watershed unit: a case study of Laizhou Bay. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(1): 173-181.

基于流域单元的海湾农业非点源污染负荷估算 ——以莱州湾为例

麻德明, 石洪华*, 丰爱平

(国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266061)

摘要: 生产力较高、生物多样性丰富、人类利用较早的区域之一,也是全球生态系统中最有价值和最受人类关注的区域之一。同时,海湾也是全球变化反映最敏感、陆海相互作用过程最激烈的地带,是人类活动最频繁的地域。开展海湾入海污染物总量控制研究对保护海洋环境和维护生态健康,协调和促进沿海经济发展与海洋的合理开发利用,实现海洋经济的可持续发展具有重要意义。入海污染物总量是开展海湾环境保护的重要指标,因进入海湾的河流往往较多,河流入海污染物的估算受监测频率、流量的季节变化等因素影响,存在很多困难。农业非点源污染是我国海湾入海污染负荷的重要来源。基于 DEM (SRTM Data, 90 m 分辨率),借助美国 ESRI 公司的 ARC/INFO 软件中的 ArcHydro 模块,进行莱州湾主要入海河流水文分析,利用 GIS 提取河网,划定流域边界,并划分汇水区和子流域,为流域农业非点源污染入海总量的估算提供基础数据平台。在此基础上,与该流域土地利用专题图叠加,计算各个子流域内不同土地利用类型的面积,利用主要污染物排放系数和入河系数,估算农业污染入海总量。结果表明:COD、NH₃-N、TN 和 TP 的每年入海排污总量分别约为 236933、23956、53684 t 和 15922 t。COD、NH₃-N、TN 和 TP 的排放量占总排放量的比例分别为 71.69%、7.25%、16.24% 和 4.82%,这说明莱州湾入海主要污染物为 COD。在陆海统筹理念指导下,以入海河口为源头,采取溯源追踪的思路,确定影响海湾入海污染负荷的流域单元,提供一种海岸带地区农业非点源负荷估算方法,可为莱州湾入海污染物总量调控提供科学依据,也可作为海岸带综合管理过程中确定陆地范围的参考。

关键词: 汇水区;子流域;排放系数;污染总量

Estimation of agricultural non-point source pollution based on watershed unit: a case study of Laizhou Bay

MA Deming, SHI Honghua*, FENG Aiping

The First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China

Abstract: The control of total amounts of pollutants has become an important measure for controlling water pollution in China and is also an important basis for objective management of water resources. Estuary is one of the regions where the productivity and biodiversity are higher and is utilized by human earlier. Estuary is one of the most valuable ecosystems in the world that has attracted human's increasing attention. Furthermore, estuary is the most sensitive zone to respond to global changes and a place where the most vigorous interactions between land and sea take place. Estuary is the region where human activities take place more frequently. In particularly, estuaries are the places where a number of rivers enter into seas and receive a large amount of pollutants from lands and human's life activities. Thus, estuary and coasts are vigorously disturbed by human activities. Conducting research on controlling total amounts of pollutants that enter estuaries from lands is of great significance for protecting marine environment, maintaining ecological health, promoting coastal economic

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41206111, 41206112); 海洋公益性行业科研专项经费资助项目(201005008, 201305023); 国家海洋局第一海洋研究所中央级科研院所基本科研业务经费资助项目(2013G30, 2013G27)

收稿日期: 2013-04-28; **修订日期:** 2013-10-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shihonghua@fio.org.cn

development, rationally utilizing marine resources, and for achieving sustainable development of marine economy. Total amount of pollutants that enter seas is an important index for protecting estuary environment. Because numerous rivers flow into estuaries, estimation of total pollutants brought by rivers into sea is influenced by such factors as monitoring frequency and seasonal changes in flow rates. The agricultural non-point source pollution is an important source of pollution load that enter the estuaries in China. Based on DEM (SRTM Data with 90m resolution) and with the help of Arc Hydro module in ARC/INFO software developed by ESRI company, we conducted hydrological analysis on major rivers that enter Laizhou Bay by using GIS to extract river network, define watershed boundaries and divide the catchments and sub-watershed, aiming to provide the basic data platform for estimation of total amounts of pollutants from agricultural non-point pollution. On this basis, we calculated the areas of different types of land use in various sub-basins by overlaying them with land-use thematic map, and estimated total amounts of agricultural pollutants entering into sea by using emission factors and river load ratio of major pollutants. Our results revealed that the annual amounts of COD, $\text{NH}_3\text{-N}$, TN and TP that entered into Laizhou Bay was about 666994, 94398, 114614 and 19574 tons, respectively, accounting for 74.48%, 10.54%, 12.80% and 2.18% of total amounts of released pollutants, indicating COD is the major pollutant that enters Laizhou Bay. This study was planned and conducted under the guidance of the principle of cooperation between land and sea, by taking the estuary as the source and with the idea of tracing sources, to determine watershed unit that influence marine pollution load. This study could provide an estimation method of agricultural non-point source load and the a scientific basis for controlling total amounts of pollutants that flow into Laizhou Bay, and can also serve as a reference for defining the land range during the process of comprehensive management along the coastal zone.

Key Words: catchments; sub-watershed; emission factor; pollution total amount

水环境污染问题已经是影响人类社会可持续发展的主要制约因素,正越来越受到人们的关注。全球有 30%—50% 的地表水体受到非点源污染的影响^[1]。研究表明,非点源污染是导致地表水污染的主要原因,其中又以农业非点源污染贡献率最大。在美国,即使点源污染全面控制之后,水体的质量也并未因此而有所改善。美国的非点源污染约占污染总量的 2/3,其中农业非点源污染占非点源污染总量的 68%—83%,农业非点源污染已经成为全美河流污染的第一污染源^[2]。荷兰农业非点源提供的总氮、总磷分别占水环境污染总量的 60% 和 40%—50%^[3]。在我国,非点源污染问题也日益严重,农业非点源污染已经成为水质恶化的主要原因之一。因此,加强农业非点源污染研究对我国水污染防治具有重要意义。

农业非点源污染是指在农业生产活动中,农田中的土粒、氮素、磷、农药及其他有机或无机污染物质,在降水或灌溉过程中,通过农田地表径流、农田排水和地下渗漏,进入水体而形成的水环境污染^[4]。随着沿海经济的快速发展,农业非点源污染正日益成为水体富营养化最主要的污染源,并已成为当前

限制我国经济可持续发展的重要因素,控制陆源污染是防治海洋污染的关键,而陆源污染物定量估算则是控制陆源污染的基础。

海湾区域非点源污染的研究在国外较早引起学者的重视^[5-7],国内在该领域的研究还相对薄弱。在我国沿海城市工业、生活污水等点源污染治理程度逐步提高的前提下,近岸海域水环境仍然没有明显的改善,局部区域甚至还面临着恶化的趋势^[8],非点源污染作为海湾主要污染源之一日益受到管理部门和研究学者的重视。由于非点源污染的发生具有随机性和复杂性,计算非点源污染负荷的难度比较大,随着水环境实施总量控制的管理,非点源污染的量化尤为重要^[9]。目前,估算非点源污染的传统方法有很多^[10-23],归纳起来主要可以分为 4 种:断面实测总负荷减去点源负荷的方法、水文估算法、输出系数法(单位负荷法)和模型估算法,这 4 种方法各有优缺点。一般来说,农业非点源污染包括农田径流、畜禽养殖、水产养殖和农村生活 4 个主要来源。本文以流域单元划分的思想为基础,借助 GIS 技术,以汇水区为单元,尝试建立适宜的机理模型,提出一种基于流域单元的农业非点源污染负荷估算方法,应

用于莱州湾入海流域,从以上 4 个方面来定量地估算农业非点源主要污染物入海总量。

1 研究区概况

莱州湾位于山东半岛北侧,渤海南部,是山东省最大的海湾,也是山东半岛城市群经济圈的腹地。湾口东起砣姆岛的高角,西至现代黄河新入海口。莱州湾总面积 23370 km²,海岸线 577.91 km,海域面积约 11603 km²,其中浅海面积 8726 km²,滩涂广袤,海洋渔业生物资源和土地资源丰富,盛产蟹、蛤、虾等,还是许多海洋生物的产卵场和索饵场。本区域海洋渔业、海洋油气业、海洋盐业、海洋化工、海洋矿业、海洋交通运输业等主要海洋产业优势明显,在全省海洋经济中占有重要地位。本海区地处中纬度,水温分布有明显的季节性,冬季(2 月)近海在 0℃ 以下,有冰冻出现;春季(5 月)在 14℃ 左右。夏季(8 月)表层水温可达 26℃;秋季(11 月)在 11℃ 左右。东部海水较清,西南部较混浊,海湾东部有两个附属小湾,即龙口湾和太平湾。湾东南部海底有一西北东南走向的水下浅滩,即“莱州浅滩”。莱州湾的海岸由 3 部份组成:高角至虎头崖为沙质岸段,虎头崖至溜脉沟为粉砂淤泥质岸,溜脉沟以北为现代黄河三角洲的迅速淤进型岸段。沿岸自北向南、自西向东有小岛河、溢洪河、广利河、溜脉沟、小清河、弥河、白浪河、虞河、潍河、胶莱河、沙河、王河和界河等十几条较大河流,这些河流是造成海岸的最活跃的参与者。随着经济、人口的迅速增长,莱州湾的环境问题日趋严重^[24]。

2 汇水区和子流域划分方法

河网的提取、汇水区和子流域的划分,借助已经成熟的美国 ESRI 公司的 ARC/INFO 软件中的 ArcHydro 模块。

2.1 ArcHydro 模型介绍

ArcHydro 模块是由得克萨斯大学的水资源研究中心(Center for research in Water Resources, CRWR)基于 ARC/INFO 联合 ESRI 开发的,其数据模型是把水文的地表水流模拟和 GIS 数据结构相结合形成的。ArcHydro 数据模型包括 5 个部分:Drainage(汇流)、Hydrography(水文地形)、Channel(河道)、Network(水文网络)和 TimeSeries(时间序列)。

2.2 流域划分

采用地表径流漫流模型,模拟地表径流在地表从高到低的流动来生成水系,即借助 ArcGIS 软件中的 ArcHydro 水文分析模块,先填洼,然后根据坡降确定每个格网的水流方向的方法提取汇流网络,最终生成汇水区。利用 ArcGIS 可以提取不同级别的汇流网络,对同一流域可以划分为面积由大到小不同等级的子汇流区域。

(1) 数据预处理

数据源采用 SRTM DEM(分辨率 90 m),首先利用 ArcGIS 的 Mosaic To New Raster 工具,把涉及研究区域的两幅 DEM 进行合并,然后利用 ArcGIS 的 Extract by Polygon 工具,裁减出研究区域的 DEM 数据。如图 1 所示。

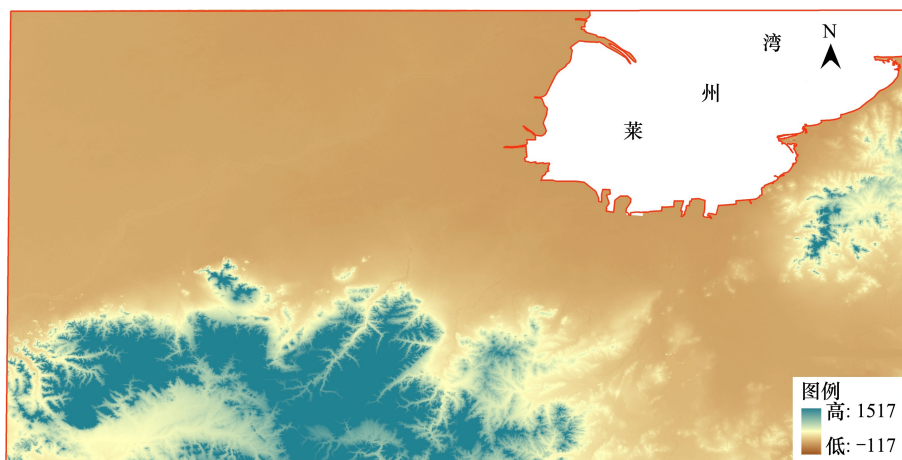


图 1 研究区域 DEM

Fig.1 the study area of DEM

(2) 洼地填充

DEM 是比较光滑的地形表面的模拟,但由于内插的原因以及一些真实地形(如喀斯特地貌)的存在,使得 DEM 表面存在着一些凹陷的区域。在进行地表水流模拟时,会得到不合理的或错误的水流方向。因此,在进行水流方向的计算之前,利用 ArcHydro 模块中 Fill 功能,把洼地点的高程升高,与洼地边缘的最低点的高程相同,生成无洼地 DEM。

(3) 流向计算

流向计算基于无洼地 DEM,通过计算中心栅格与邻域栅格的最大距离权落差来确定(D8 算法),应用 ArcHydro 模块下的 Flow Direction 功能,生成格网流向图,每个格网值表示它流向相邻像元的方向。

(4) 汇流累积量计算

基于无洼地 DEM 的水流方向的计算,执行 ArcHydro 模块中 Flow Accumulation 命令计算出每个格网上游累积汇流数,得到汇流累积量分布图。

(5) 河网提取

基于汇流累积矩阵,首先执行 map algebra 工具集中的 Raster Calculator 工具中的 con 命令;然后设置阈值,阈值的设定在河网的提出过程中非常关键,直接影响到河网的提取结果,本研究经多次试验,设定阈值为 10000,其单位是栅格数,可获得基于 DEM 的水系栅格图;最后进行栅格河网矢量化,执行 ArcHydro 模块中的 stream to feature 命令,得到矢量形式的河网分布图(图 2)。

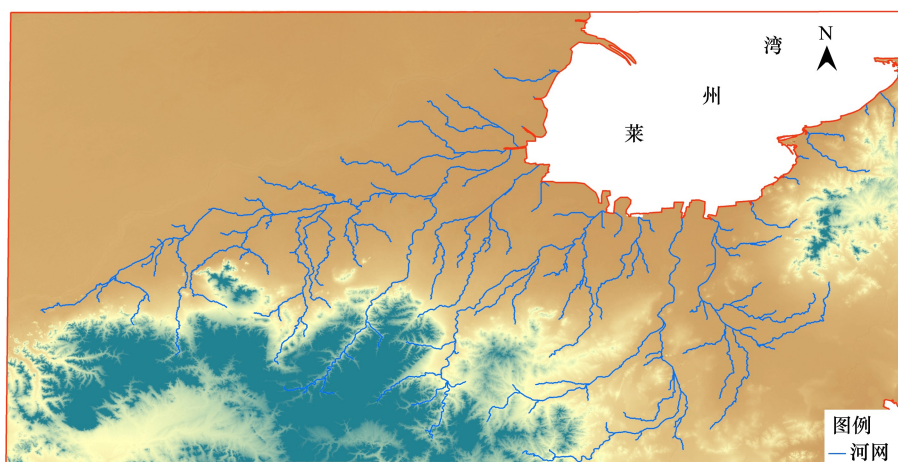


图 2 莱州湾入海河网分布图

Fig.2 The distribution map of river network into Laizhou Bay

(6) 流域划分

流域又称集水区域,是指流经其中的水流和其它物质从一个公共的出水口排出从而形成一个集中

的排水区域,是给定点的汇水区域。汇水区划分基于水流方向数据,执行 basin 命令,获得汇水区,如图 3 所示。

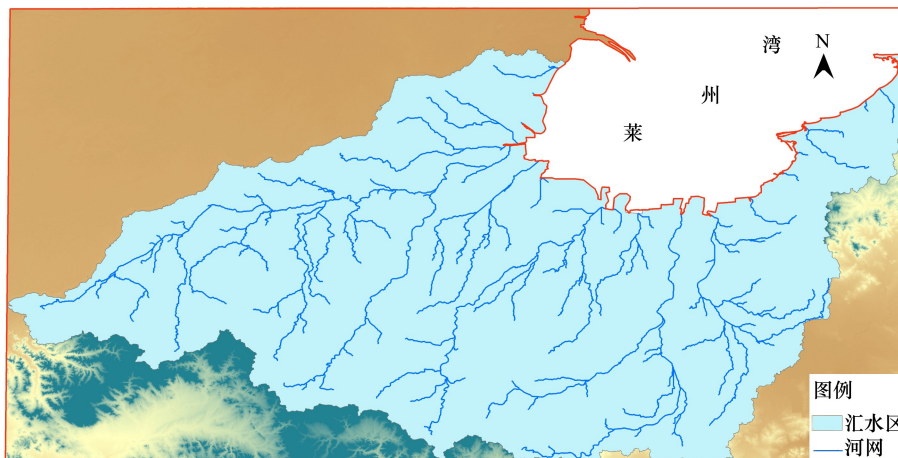


图 3 莱州湾入海河流汇水区

Fig.3 Rivers into Laizhou Bay catchments

(7) 子流域划分

子流域的划分是水文模拟的重要一步,也是流域农业污染的重要研究步骤。本研究基于 DEM,根据河流入海口的位置,结合实际情况,从北向南,从东到西,划分为十一大子流域,包括小岛河流域;溢

洪河、广利河和滋脉河(沟)/支脉河流域;小清河流域;弥河流域;白浪河流域;虞河流域;潍河流域;胶莱河流域;沙河流域;王河流域和界河流域。各子流域如图 4 所示。



图 4 莱州湾子流域分布图

Fig.4 The distribution map of Laizhou Bay sub-watershed

2.3 子流域汇水区面积计算

在划分出汇水区和子流域的基础上,经等面积投影,计算出各入海河流子流域的汇水区面积,如表 1 所示。

表 1 莱州湾各子流域面积

Table 1 The area of Laizhou Bay sub-watershed

序号 Serial nuber	子流域 Sub-watershed	流域面积/km ² Basin area
1	小島河流域	607.15
2	溢洪河、广利河和滋脉河(沟)流域	2104.49
3	小清河流域	10028.15
4	弥河流域	2218.21
5	白浪河流域	4536.07
6	虞河流域	1026.54
7	潍河流域	4123.06
8	胶莱河流域	4043.88
9	沙河流域	533.16
10	王河流域	854.15
11	界河流域	484.65

3 污染排放系数与入河系数

根据调查,认为海湾农业非点源污染主要来源于农业种植、畜禽养殖污染物、农村生活污水排放和海水养殖。因此,在划分汇水区和子流域的基础上,重点研究该区内由农田耕作、畜禽饲养、海水养殖、

农村居民生活所排放的农业非点源污染中 COD、NH₃-N、TN 和 TP 污染负荷的流域分配情况。

汇水区内各污染物总量为:

$$W_i = \sum_{j=1}^4 W_{ij} = \sum_{j=1}^4 S_j \times k_{ij}$$

式中, W_i 为第 i 种(1、2、3、4 分别代表 COD、NH₃-N、TN、TP)农业污染负荷总量, W_{ij} 是土地利用类型为 j 种(1、2、3、4 分别代表农田、畜禽饲养用地、海水养殖用地、农村居住地)污染物的污染负荷; S_j 为第 j 种土地利用类型的面积,其中 $j = 4$ 为汇水中农村人口总数; k_{ij} 为第 j 种土地利用类型对应第 i 种污染物的排污系数^[25-29],其中,农田耕作和农村居民部分排污系数参照《全国水环境容量核定技术指南》提供的系数^[30];畜禽饲养用地内各畜禽种类排污系统采用国家环保总局环发[2004]43 号文件《关于减免家禽业排污费等有关问题的通知》中提供的排污系数^[26];海水养殖排污系数参见黄渤海海水养殖污染排放成果^[31-32](表 2)。

农业非点源污染入河量是指一定时期内,由地表径流携带进入河流等地表水体的污染负荷。要估算入河量,需要确定入河系数。入河系数需要较长期对水质和水量的同步监测,本文利用已有的研究成果^[33-36](表 3)。

表 2 排污系数

Table 2 Pollutant emission coefficients

类型 Type	COD	NH ₃ -N	TN	TP
农田 Farmland/(kg·hm ⁻² ·a ⁻¹)	150	30	26.72	2.12
农村居民 Rural residents/(kg·人 ⁻¹ ·a ⁻¹)	14.6	1.46	4.38	0.88
海水养殖 Mariculture/(kg·hm ⁻² ·a ⁻¹)	285.00	13.50	43.00	7.00
畜禽种类 牛 Bovine/(kg·头 ⁻¹ ·a ⁻¹)	248.20	25.185	61.101	10.074
Animal species 猪 Pig/(kg·头 ⁻¹ ·a ⁻¹)	26.606	2.153	4.507	1.699
鸡、鸭家禽 Chicken and duck poultry/(kg·只 ⁻¹ ·a ⁻¹)	2.398	0.142	0.548	0.305

表 3 入河系数

Table 3 Into the river coefficients

类型 Type	COD/%	NH ₃ -N/%	TN/%	TP/%
农田 Farmland	10	10	10	10
农村居民 Rural residents	25	25	25	25
海水养殖 Mariculture	90	90	90	90
畜禽饲养 Animal species	7	7	7	7

4 污染排放总量估算与精度评定

利用 2005 年的山东省土地利用图和 2010 年的海水养殖分布图(图 5),土地利用现状图包括居民

用地、草地、林地、耕地等类型,由于本研究是针对农业非点源污染进行估算,因此只考虑农用地,而农村居住地则通过农村居民数进行估算,畜禽饲养用地通过畜禽种类的数量进行估算,汇水区内 2005 年到 2010 年间耕地的面积变化不大,对估算结果的影响在允许误差范围内,故可作为 2010 年的污染物估算结果。把土地利用现状图和海水养殖分布图与汇水区进行叠加,分别计算不同土地利用类型的汇水区面积,利用上面的污染排放系数,估算出各子流域污染排放量。

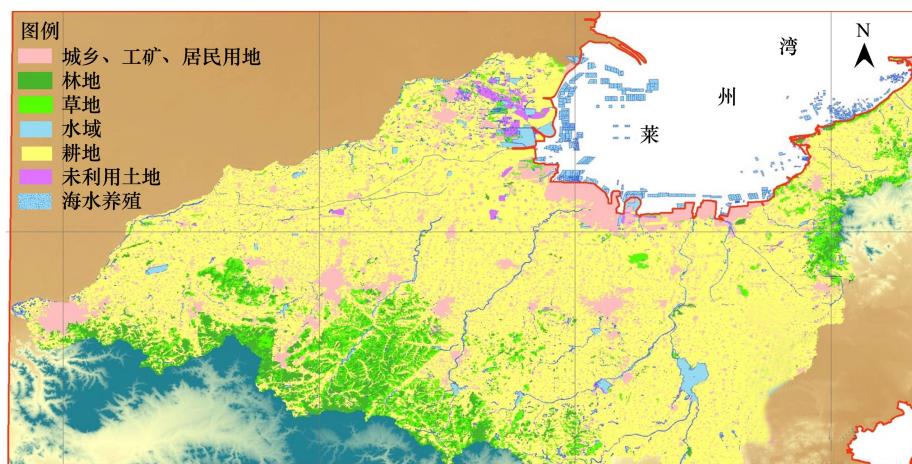


图 5 莱州湾汇水区土地利用分布图

Fig.5 the land-use map of Laizhou Bay catchments

经过叠加分析,计算得到汇水区内耕地面积约为 2392810 hm²;海水养殖面积为 1.7 hm²;根据山东省 2011 年统计年鉴^[37],截至到 2010 年底,汇水区内农村人口数约为 360.85 万人;牛总数约为 529.66 万头,猪为 1106.27 万头;鸡、鸭等家禽约为 44825.05 万只。

由上述的公式计算可得,COD 的每年污染总量约为 3095461 t;NH₃-N 的每年污染总量约为 297917 t;TN 的每年污染总量约为 698870 t;TP 的每年污染

总量约为 217118 t。再根据表 3 中的各污染物的入河系数,计算得到 COD、NH₃-N、TN 和 TP 每年的入河总量分别为:236933、23956、53684 t 和 15922 t。利用子流域所占的面积,分别计算出各子流域的 COD、NH₃-N、TN 和 TP 每年的入河总量(表 4)。

目前还没有见到针对莱州湾污染总量的估算,相应的污染监测也没有形成每年入湾的农业非点源污染总量数据,不能与实际的污染总量进行直接的对比来评定本文的估算精度,但从已有对小清河流

域氮素污染总量的研究成果来看,朱虎^[38]计算 2006 年小清河流域年均氮失潜力为 $10.44\times 10^3\text{—}36.86\times 10^3\text{t}$,平均 $23.65\times 10^3\text{t}$,本文估算的小清河流域全氮和氨氮的总入海量为 25477 t,在其范围值内,基本与平均量相同,比较接近实际情况,其精度具有一定的可靠性。

表 4 莱州湾各子流域入海主要污染物排放量/t
Table 4 Each sub-watershed emissions of major pollutants into Laizhou Bay

各子流域 Sub-watershed	COD	NH ₃ -N	TN	TP
小岛河流域 Xiaodao river basin	4707	476	1067	316
溢洪河、广利河和滋脉河(沟)流域 Yihong river, guangli river and zimai river basin	16316	1650	3697	1096
小清河流域 Xiaoqing river basin	77750	7861	17616	5225
弥河流域 Mi river basin	17198	1739	3897	1156
白浪河流域 Bailang river basin	35169	3556	7969	2363
虞河流域 Yu river basin	7959	805	1803	535
潍河流域 Wei river basin	31967	3232	7243	2148
胶莱河流域 Jiaolai river basin	31353	3170	7104	2107
沙河流域 Sha river basin	4134	418	937	278
王河流域 Wang river basin	6622	670	1500	445
界河流域 Jie river basin	3758	380	851	253
总计 Total	236933	23956	53684	15922

5 结论

本文借助 GIS 技术,提出一种基于流域单元的农业非点源污染负荷的估算方法,并以莱州湾为例,分别估算了由农业污染引起的非点源污染物 COD、NH₃-N、TN 和 TP 入海污染总量。上述 4 种农业非点源污染物的定量化估算表明,莱州湾农业非点源污染主要是由农业生产过程所产生的;从主要污染物角度来看,4 种主要污染物中 COD 入海量最大,TN 次之,然后是 NH₃-N 和 TP,COD、NH₃-N、TN 和 TP 的排放量占总排放量的比例分别为 71.69%、7.25%、16.24%和 4.82%,这为莱州湾环境污染原因诊断和调控措施的制定更有针对性。该研究通过探索适合的流域农业非点源污染负荷计算方法,来识别流域非点源污染的负荷量及其空间分布,从而为相应流域管理措施的制定和海洋环境的调控提供依据。

虽然对莱州湾入海非点源负荷进行了定量估算,但由于缺乏详细的、长序列的、以及农业非点源污染专项监测资料,并且海湾污染是一个非常复杂的机理过程,其农业非点源污染影响因素众多,各污染系数主要采用文献中的方法确定,并不一定完全适应于莱州湾区域,今后应更多地通过典型区域的

污染发生学试验研究来确定各类系数的值;其次由于 DEM 的分辨率为 90 m,缺乏部分特殊地形的细部特征,在汇水区划分上不够精细。可以预计,随着人们对非点源污染机制、过程的深入理解,海湾农业非点源污染必将获得进一步发展,为流域非点源的管理、控制提供更好的技术支持。

我国海湾区域农业非点源污染控制还处于探索阶段,国家尚未进行全面调控,缺乏对造成海湾污染的农业非点源进行全面、系统的认识和研究,但非点源污染对于近岸海湾主体的影响日益突出,因此,正确的引导政府管理部门和公众提高对非点源污染的重视并采取有效的调控措施,对保护海湾水环境意义重大。期望进一步开展海湾非点源污染总量控制、管理计划等方面的研究。

致谢:感谢厦门大学黄金良博士给予的帮助。

References:

[1] Dennis L C, Peter J V, Keith L. Modeling non-point source pollution in vadose zone with GIS. Environmental Science and Technology, 1997, 8: 2157-2175.

[2] Miller G T. Living in the Environment: An Introduction to Environmental Science. 17th ed. Belmont: Wadsworth Publishing Company, 1992: 602-611.

[3] Boers P C M. Nutrient emissions from agriculture in the netherlands: causes and remedies. Water Science and Technology,

- 1996, 33(4/5): 22-25.
- [4] Huang H, Zou C W, Chen X G. Review of the researches on non-point source pollution in China. *Ecology and Environment*, 2004, 13(2): 255-257.
- [5] Donigan A S, Bichnell B R, Patwardhan A S, Linker L C, Chang C H, Reynolds R, Carsel R. Chesapeake Bay Program Watershed Model Application to Calculate Bay Nutrient Loadings-Final Facts and Recommendations. Report No. EPA 903-R-94-042. Annapolls, Maryland: USEPA Chesapeake Bay Program Office, 1994.
- [6] Thomson J A. Assessment and Control of Non-Point Source Pollution of Aquatic Ecosystems; A practical Approach. Pearl River, New York: The Parthenon Publishing Group, 1999.
- [7] Prink C R. Estimating nutrient exports to estuaries. *Journal of Environ Quality*, 1999, 20(4): 717-724.
- [8] Liu J H, Lai G Y. Research progress of the agricultural non-point source pollution. *Journal of Water Resources & Water Engineering*, 2007, 18(1): 29-32.
- [9] Liang B, Wang X Y, Cao L P. Water environment non-point source pollution loading estimation methods in China. *Journal of Jilin Normal University: Natural Science Edition*, 2004, 25(3): 58-61.
- [10] Gilliland M W, Baxter-Potter W. A geographic information system to predict non-point source pollution potential. *Water Resources Bulletin*, 1987, 23(2): 281-291.
- [11] Yong R A, Onstad C A, Bosch D D, Anderson W P. AGNPS: A nonpoint-source pollution model for evaluating agricultural watersheds. *Journal of Soil Water Conservation*, 1989, 44(2): 168-173.
- [12] Bouraoui F, Dllaha T A. Answers-2000: runoff and sediment transport model. *Journal of Environmental Engineering*, 1996, 122(6): 493-502.
- [13] Sivertun Å, Prange L. Non-point source critical area analysis in the Gisselö watershed using GIS. *Environmental Modelling & Software*, 2003, 18(10): 887-898.
- [14] Cai M, Li H N, Zhuang Y T. Rainfall deduction method for estimating non-point source pollution load for watershed. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry: Natural Science Edition*, 2005, 33(4): 102-106.
- [15] Wang L J. Application of partial least square regress method to estimate the annual load of non-point source pollution. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2007, 16(6): 810-813.
- [16] Chen Y Y, Hui E Q, Jin C J, Qiu H X, Wu D X. A hydrological method for estimation of non-point source pollution loads and its application. *Research of Environmental Sciences*, 2003, 16(1): 10-13.
- [17] Li H E. Mean concentration method for estimation of nonpoint source load and its application. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2000, 20(4): 397-400.
- [18] Hong X K, Li H E. Correlation method of water quality and quantity and its application to load estimation of nonpoint source pollution. *Journal of Xi'an University of Technology*, 2000, 16(4): 384-386.
- [19] Yang Y H, Shen W B. Preliminary study on estimating surface water non-point source pollution loads. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2006, 36(S1): 105-108.
- [20] Li Q K, Li H E, Hu Y W, Sun J. Unit-analysis-based assessment of agricultural non-point source pollution in Qingtongxia Irrigation Area. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2007, 23(4): 33-36.
- [21] Li H E, Zhuang Y T. The export coefficient modeling approach for load prediction of nutrient from nonpoint source and its application. *Journal of Xi'an University of Technology*, 2003, 19(4): 307-310.
- [22] Yu T, Meng W, Ongley E, Zheng B H, Deng Y X. Problems and recommendations for non-point source pollution identification in China. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2008, 28(3): 401-407.
- [23] Cai M, Li H E, Zhuang Y T, Wang Q H. Application of modified export coefficient method in polluting load estimation of non-point source pollution. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2004, (7): 40-45.
- [24] Shandong Provincial Oceanic and Fishery Information Network. The Laizhou Bay ecological demonstration project planning. 2011. <http://www.mingbo-aquatic.com/showarticle.asp?newsid=160>
- [25] Dai X Y, Guo Z Y, Shi C, Wu J P. Study on watershed distribution of agricultural non-point source pollution in typical areas of Shanghai. *Environmental Pollution & Control*, 2004, 26(4): 278-280.
- [26] The State Environmental Protection Administration of China. For the Reduction of the Poultry Industry Sewage Related Issues Notice. Beijing: The State Environmental Protection Administration of China, 2004.
- [27] Lin Z L, Yu X G, Liu X, Chen B. Estimation of COD discharge from non-point pollution into Luoyuan Bay. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2006, 25(2): 209-215.
- [28] Yang S J, Zhang A P, Yang Z L, Yang S Q. Agricultural non-point source pollution in Ningxia irrigation district and preliminary study of load estimation methods. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(11): 3947-3955.
- [29] Yuan X T, Zhang M J, Liang Y B, Liu D, Guan D M. Self-pollutant loading from a suspension aquaculture system of Japanese scallop (*Patinopecten yessoensis*) in the Changhai sea area, Northern Yellow Sea of China. *Aquaculture*, 2010, 304(1/4): 79-87.
- [30] Chinese Academy for Environmental Planning. National Water Environmental Capacity Verification Manual. Beijing: Chinese Academy for Environmental Planning, 2003.

- [31] Cui Y, Chen B J, Chen J F. Evaluation of self-pollution of marine culture in the Yellow Sea and Bohai Sea. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(1): 180-185.
- [32] Huang X Q, Yao Y M, Wang J H, Jiang X S, Shi S H, Chen L. Leqing Bay Marine Environmental Capacity and Total Pollutants Control Research. Beijing: China Ocean Press, 2011.
- [33] Funge-Smith S J, Briggs M R P. Nutrient budgets in intensive shrimp ponds: implications for sustainability. *Aquaculture*, 1998, 164(1/4): 117-133.
- [34] Xin Z W, Sun R, Lu X Q. Comprehensive Analysis and Management Strategy for Regional Water Environment GEF in Tianjin. Beijing: China Environmental Science Press, 2009.
- [35] Zhu M. Study on Agricultural NPS Loads of Haihe Basin and Assessment on Its Environmental Impact [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2011.
- [36] Ren X S. The Haihe River Basin Water Resources Evaluation. Beijing: China Water Power Press, 2007.
- [37] Shandong Provincial Bureau of Statistics, National Bureau of Statistics in Shandong Investigated Teams. Shandong Statistical 2011 Year Book. Beijing: China Statistics Press, 2011.
- [38] Zhu H. Quantifying Analysis on Non-Point Source Nitrogen Pollution in Xiaoqing River Basin of Shandong Province [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2009.
- [19] 杨育红, 沈万斌. 地表水非点源污染负荷计算方法探讨. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2006, 36(S1): 105-108.
- [20] 李强坤, 李怀恩, 胡亚伟, 孙娟. 基于单元分析的青铜峡灌区农业非点源污染估算. *生态与农村环境学报*, 2007, 23(4): 33-36.
- [21] 李怀恩, 庄咏涛. 预测非点源营养负荷的输出系数法研究进展与应用. *西安理工大学学报*, 2003, 19(4): 307-310.
- [22] 于涛, 孟伟, Ongley E, 郑丙辉, 邓义祥. 我国非点源负荷研究中的问题探讨. *环境科学学报*, 2006, 28(3): 401-407.
- [23] 蔡明, 李怀恩, 庄咏涛, 王清华. 改进的输出系数法在流域非点源污染负荷估算中的应用. *水利学报*, 2004, (7): 40-45.
- [24] 山东省海洋与渔业厅. 莱州湾生态整治示范工程规划. 2011. <http://www.mingbo-aquatic.com/showarticle.asp?newsid=160>
- [25] 戴晓燕, 过仲阳, 石纯, 吴建平. 上海市青浦区农业非点源污染的流域分配研究. *环境污染与防治*, 2004, 26(4): 278-280.
- [26] 国家环境保护总局. 关于减免家禽业排污费等有关问题的通知. 北京: 国家环境保护总局, 2004.
- [27] 林志兰, 余兴光, 刘希, 陈彬. 罗源湾区域入海非点源污染COD排放量估算. *台湾海峡*, 2004, 25(2): 209-215.
- [28] 杨淑静, 张爱平, 杨正礼, 杨世琦. 宁夏灌区农业非点源污染负荷估算方法初探. *中国农业科学*, 2009, 42(11): 3947-3955.
- [30] 中国环境规划院. 全国水环境容量核定技术指南. 北京: 中国环境规划院, 2003.
- [31] 崔毅, 陈碧鹃, 陈聚法. 黄渤海海水养殖自身污染的评估. *应用生态学报*, 2005, 16(1): 180-185.
- [32] 黄秀清, 姚炎明, 王金辉, 蒋晓山, 石少华, 陈雷. 乐清湾海洋环境容量及污染物总量控制研究. 北京: 海洋出版社, 2011.
- [34] 辛志伟, 孙韧, 卢学强. 区域水环境综合解析与管理策略-GEF在天津. 北京: 中国环境科学出版社, 2009.
- [35] 朱梅. 海河流域农业非点源污染负荷估算与评价研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2011.
- [36] 任宪韶. 海河流域水资源评价. 北京: 中国水利水电出版社, 2007.
- [37] 山东省统计局, 国家统计局山东调查总队. 山东统计年鉴2011. 北京: 中国统计出版社, 2011.
- [38] 朱虎. 小清河流域农田非点源氮污染定量评价研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2009.
- [4] 黄虹, 邹长伟, 陈新庚. 中国非点源污染研究评述. *生态环境*, 2004, 13(2): 255-257.
- [8] 刘纪辉, 赖格英. 农业非点源污染研究进展. *水资源与水工程学报*, 2007, 18(1): 29-32.
- [9] 梁博, 王晓燕, 曹利平. 我国水环境非点源污染负荷估算方法研究. *吉林师范大学学报: 自然科学版*, 2004, 25(3): 58-61.
- [14] 蔡明, 李怀恩, 庄咏涛. 估算流域非点源污染负荷的降雨量差值法. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2005, 33(4): 102-106.
- [15] 王玲杰. 偏最小二乘回归法在非点源污染年负荷量估算中的应用. *长江流域资源与环境*. 2007, 16(6): 810-813.
- [16] 陈友媛, 惠二青, 金春姬, 邱汉学, 吴德星. 非点源污染负荷的水文估算方法. *环境科学研究*, 2003, 16(1): 10-13.
- [17] 李怀恩. 估算非点源污染负荷的平均浓度法及其应用. *环境科学学报*, 2000, 20(4): 397-400.
- [18] 洪小康, 李怀恩. 水质水量相关法在非点源污染负荷估算中的应用. *西安理工大学学报*, 2000, 16(4): 384-386.

参考文献:

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.1 Jan., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Foreword: Complexity and Sustainability	(I)
Frontiers and Comprehensive Review	
Urban eco-complex and eco-space management	WANG Rusong, LI Feng, HAN Baolong, et al (1)
Review of carbon sequestration assessment method in the marine ecosystem .....	.....
.....	SHI Honghua, WANG Xiaoli, ZHENG Wei, et al (12)
A review of sensitivity model for urban ecosystems	YAO Liang, WANG Rusong, YIN Ke, et al (23)
Urban ecological metabolism of municipal solid waste: a review	ZHOU Chuanbin, XU Wanying, CAO Aixin (33)
Autecology & Fundamentals	
Parameter sensitivity analysis of a coupled biological-physical model in Jiaozhou Bay .....	.....
.....	SHI Honghua, SHEN Chengcheng, LI Fen, et al (41)
Macroinvertebrate investigation and their relation to environmental factors in Bohai Bay .....	.....
.....	ZHOU Ran, QIN Xuebo, PENG Shitao, et al (50)
Review of the impacts of bioturbation on the environmental behavior of contaminant in sediment .....	.....
.....	QIN Xuebo, SUN Hongwen, PENG Shitao, et al (59)
Population, Community and Ecosystem	
Ecosystem services' spatial characteristics and their relationships with residents' well-being in Miyun Reservoir watershed .....	.....
.....	WANG Dashang, LI Yifeng, ZHENG Hua, et al (70)
Contingent valuation of preserving ecosystem of Changdao Island Nature Reserve .....	.....
.....	ZHENG Wei, SHEN Chengcheng, QIAO Mingyang, et al (82)
Discussion of carbon sequestration estimates in the island terrestrial ecosystems .....	.....
.....	WANG Xiaoli, WANG Ai, SHI Honghua, et al (88)
Landscape, Regional and Global Ecology	
An integrated indicator on regional ecological civilization construction	LIU Moucheng, SU Ning, LUN Fei, et al (97)
The eco-environmental evaluation based on habitat quality and ecological response of Laizhou Bay .....	.....
.....	YANG Jianqiang, ZHU Yonggui, SONG Wenpeng, et al (105)
Analysis of the evolution and value of coastal ecosystem services at Gudong Coast in the Yellow River Delta since 1985 .....	.....
.....	LIU Dahai, CHEN Xiaoying, XU Wei, et al (115)
Research of index system framework in marine ecology monitoring & regulation areas division based on complex ecosystem of nature-human-society	XU Huimin, DING Dewen, SHI Honghua, et al (122)
The environmental function assessment and zoning scheme in China	WANG Jinnan, XU Kaipeng, CHI Yanyan, et al (129)
Resource and Industrial Ecology	
Definition and evaluation indicators of ecological industrial park's complex eco-efficiency .....	.....
.....	LIU Jingru, LÜ Bin, ZHANG Na, et al (136)
Spatial-temporal distribution of agricultural eco-efficiency in China	CHENG Cuiyun, REN Jingming, WANG Rusong (142)
The coupling mechanism and industrialization mode of ecological restoration in the weak semi arid mining area of Inner Mongolia .....	.....
.....	CHEN Yubi, HUANG Jinlou, XU Huaqing, et al (149)
Evaluation of ecological marine islands construction based on material flow analysis: a case study of Changhai County .....	.....
.....	CHEN Dongjing, ZHENG Wei, GUO Huili, et al (154)
Ecological risks and sustainable utilization of reclaimed water and wastewater irrigation .....	.....
.....	CHEN Weiping, LÜ Sidan, ZHANG Weiling, et al (163)

Estimation of agricultural non-point source pollution based on watershed unit: a case study of Laizhou Bay	MA Deming, SHI Honghua, FENG Aiping (173)
The evaluation method in the impact of intensive sea use on the marine ecological environment	LUO Xianxiang, ZHU Yonggui, ZHANG Longjun, et al (182)
Urban, Rural and Social Ecology	
Urban ecological infrastructure based on ecosystem services;status,problems and perspectives	LI Feng, WANG Rusong, ZHAO Dan (190)
Spatial features of road network in Beijing built up area and its relations with LST and NDVI	GUO Zhen,HU Dan,LI Yuanzheng,et al (201)
The conjugate ecological management model for urban land administration based on the land complex ecological function	YIN Ke, WANG Rusong, YAO Liang, et al (210)
Value assessment of the function of the forest ecosystem services in Chongqing	XIAO Qiang, XIAO Yang,OUYANG Zhiyun, et al (216)
Ecological risk evaluation of port in Bohai Bay	PENG Shitao, QIN Xuebo, ZHOU Ran, et al (224)
Research review of the tail disposal technology of the standard sewage offshore outfall	PENG Shitao,WANG Xinhai (231)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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 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 34 卷 第 1 期 (2014 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 34 No. 1 (January, 2014)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@ cspg. net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@ cspg. net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元