

大沽河流域辇止头村水生态规划研究

孔祥荣, 全闻一, 刘通, 刘洋, 张羽丰

青岛市规划设计研究院, 山东 青岛

收稿日期: 2022年10月8日; 录用日期: 2022年11月7日; 发布日期: 2022年11月14日

摘要

乡村水生态环境质量影响流经的河流水质, 是保障河流水质需要解决的关键问题。利用ArcGIS空间分析功能, 水文分析模块和最小耗费距离模型, 分析了辇头村水生态环境质量的现状, 得出了生态源斑块数量占比少, 生态廊道不足, 无法形成生态网, 生态韧性差。生活污水和农田径流直接进入大沽河引发河流水质超标。依据生态连通性原理, 规划了21条生态廊道, 形成了村庄的生态网, 增强了村域的生态韧性。对村庄生活污水进行集中处理和深度净化, 在大沽河沿岸规划了宽度为100 m的缓冲带, 减少农田径流污染, 保障了河流水质。

关键词

水生态环境, 缓冲带, 生态网络, 河流水质

Research on Water Ecological Planning of Nianzhitou Village in Dagu River Basin

Xiangrong Kong, Wenyi Tong, Tong Liu, Yang Liu, Yufeng Zhang

Qingdao Planning and Design Institute, Qingdao Shandong

Received: Oct. 8th, 2022; accepted: Nov. 7th, 2022; published: Nov. 14th, 2022

Abstract

The quality of rural water ecological environment affects the water quality of the river nearby, which is the key problem to be solved to ensure the water quality of the river. ArcGIS spatial analysis function, hydrological analysis module and minimum cost distance model were used to analyze the current situation of water ecological environment quality in the Qiantou Village. The results showed that the number of ecological source patches were small, ecological corridors were insufficient, ecological network could not be formed, and ecological resilience was poor. Domestic sewage and farm runoff directly enter the Dagu River, causing water quality to exceed standards.

According to the principle of ecological connectivity, 21 ecological corridors are planned to form the ecological network of the village and enhance the ecological resilience of the village. Centralized treatment and deep purification of village domestic sewage have been carried out, and a buffer zone of 100 m width has been planned along the Dagu River to reduce runoff pollution from farmland and ensure the water quality of the river.

Keywords

Water Ecological Environment, Buffer Zone, Ecological Network, River Water Quality

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

乡村河流水系污染的主要来源是农田径流，未经处理养殖废水和生活污水，以及大气沉降[1]。我国乡村河流多数属于内流河，是中小河流的重要组成部分，承担区域行洪排涝、灌溉供水等任务，也承接农田污水、生活污水排放等功能，是农村水环境的重要载体，与农村人居环境密不可分[2]。改善农村河流水系污染，通用的方法是最佳管理实践(BMP)用于减少污染，改善水环境，具体包括：河流缓冲带植被覆盖、控制水土流失、生态沟和湿地等[3][4]。

大沽河是青岛市重要的水源地，流域村庄数量多，分布密度大，达到 53 个/100 km²，村庄的平均人口规模仅约 700 人，村庄平均的人均建设用地约 150 m²，高于山东省人均 90 m²~100 m² 的规定[5]。辇止头村位于大沽河沿线与支流潞河流域交叉口(图 1)，面临的水生态问题复杂，涉及取水，排水、农田雨水径流和生活污染防治问题突出，流经的大沽河断面水质长期超标。研究汇水区水生态规划，有利于地表径流水质管控，同步有效结合各类污水污染防治，改善水生态环境。



Figure 1. The location of Nianzhitou Village

图 1. 辇止头村位置

2. 水生态环境问题与潜在困境

潞河发源于莱西市谭格庄，经辇止头村边界入大沽河，潞河全长 50.7 km，流域面积 420.5 [6]。辇止头村隶属望城街道位于莱西市中心南部，辇止头村全域，如图 1 所示，北至大沽河，南至张家庄村和庞家屯村，西至张格庄村，东至辛庄，总面积约 359 公顷。辇止头村共 503 户、常住人口 1501 人。

辇止头村生产、生活空间分布聚集度高，主要分布在村庄中心和东部区域，生态空间主要沿大沽河呈

带状分布, 如图 2 所示。村庄总用地面积为 359 公顷, 生产用地 237 公顷, 其中: 耕地 152 公顷, 园地 33 公顷, 工业工地 23 公顷, 采矿用地 14 公顷; 生活用地 63 公顷, 其中: 农村宅基地 24 公顷, 交通用地 18 公顷; 生态用地 68 公顷, 其中: 林地 39 公顷, 河流水面 14 公顷。

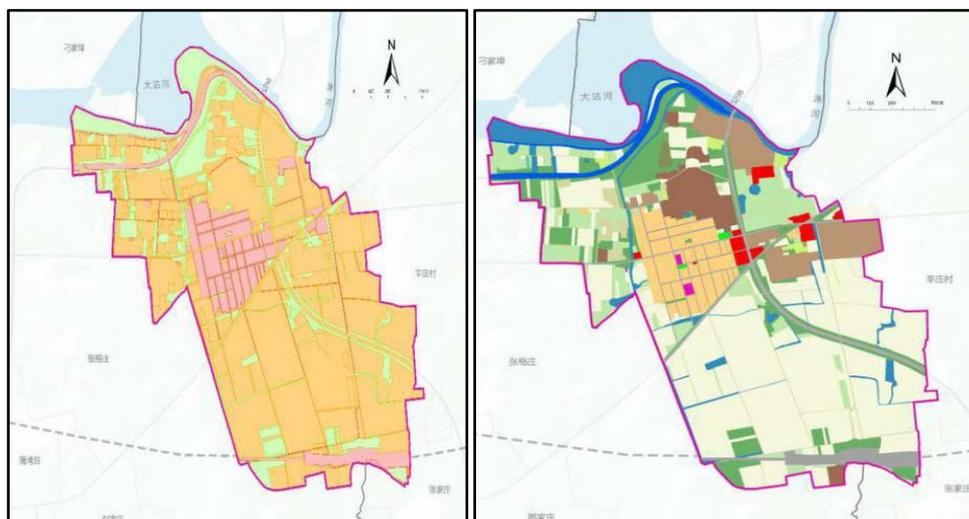


Figure 2. Production, living and ecological spatial distribution

图 2. 生产、生活和生态空间分布

2.1. 水环境质量

沿大沽河左岸有沿河道路, 园地, 耕地等农业用地, 降雨径流汇流进入大沽河, 对大沽河水质产生影响; 城乡供水一体化, 村庄生活用水来自莱西市统一供水, 村庄生活污水和工业废水没有集中处理设施[7], 河道周边的工矿业生产、禽畜规模养殖产生的污水的直接排放造成水环境质量下降[8]; 农田灌溉取水来自大沽河, 通过截灌渠回到大沽河, 如图 3 所示。

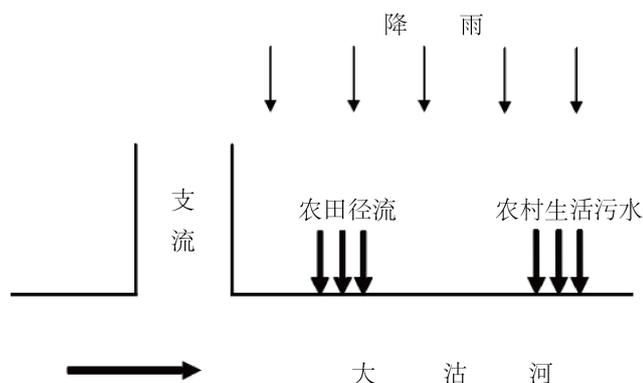


Figure 3. Village sewage and ground runoff enter the Dagu River

图 3. 村庄污水与地面径流进入大沽河

参照生态环境部 2021 年发布的《排放源统计调查产排污核算方法和系数手册》, 李伟娜, 田建茹等核算了大沽河中游段(北起莱西市产芝水库坝下, 南至即墨区移风坝, 流域面积约 1688 km)流域农业面源污染, 明确流域内畜禽养殖是大沽河流域农业面源污染的主要污染源; 氨氮污染物排放以农村生活污水

和畜禽养殖业为主，总氮和总磷污染物排放以畜禽养殖业为主[9]。大沽河辇止村断面为例行监测市控断面，超标因子为 BOD₅，COD 和总磷，最大超标倍数为 0.8 倍，0.6 倍和 0.2 倍。农村污水直排、农村农业废弃物沿岸堆存、农业面源污染、生态径流小等因素是大沽河水质不达标的主要原因[10]。

2.2. 生态环境质量

村庄生态要素本底值如图 4 所示，利用最小耗费距离模型，将研究区辇头村划分为 6 m × 6 m 的栅格，根据各景观单位面积生态系统服务价值对不同栅格的景观类型赋予阻力值，构建成本表面，利用 ArcGIS10.3 空间分析功能中的成本距离模块，计算出研究区累积耗费距离表面，将获得的累积耗费距离表面用水文分析模块处理，确定研究区最小耗费路径，根据最小耗费路径分析结果，提取出研究区潜在生态廊道，对生态现状进行分析。



Figure 4. Background value of village ecological elements

图 4. 村庄生态要素本底值

1) 最小耗费距离模型

最小耗费距离指的是生态流经过不同的景观单元时，克服一定阻力所需的耗费，用最小累积阻力表示。该模型可以找出物种迁移与扩散的最佳路径，有效避免外界的干扰，揭示景观格局与生态过程和功能之间的关系[11][12]。生态服务价值越高，生态功能越完善，完成生态流过程需克服的阻力值越小，所需耗费越小。通过最小耗费距离模型，模拟表达空间上不同生态过程的运行特征。该模型需要考虑的影响因子主要包括，源、距离、景观介质特征等，公式如下：

$$C_i = f_{\min} \sum (D_{ij} \times R_i) (i=1,2,3,\dots,m; j=1,2,3,\dots,n)$$

其中， D_{ij} 表示空间某一点穿越景观基面 i 到源 j 的实地距离； R_i 表示景观 i 对某运动的阻力值， C_i 表示第 i 景观单元到源地的累积耗费值， n 为基本的单元总数。

2) 生态源地提取

“生态源”是指具有重要生态系统服务功能或生态环境脆弱、生态敏感性较高，以发挥自然生态功能为主的区域[13]。“生态源”是具有一定的空间拓展性和连续性的景观类型，可以促进生态过程发展[14]。依据景观生态服务功能强弱和价值大小，生态服务价值越高的景观类型将构成生态功能良好的源。借助 ArcGIS 空间分析功能，选择水体和林地景观中面积较大的斑块作为生态源地[15]。

3) 景观阻力值确定

计算最小耗费距离，首先需要确定“源”和代价表面，确定的代价表面要确定景观阻力值，参考相

关研究[16],以单位面积生态系统服务功能价值对景观阻力值进行赋值。景观生态功能强弱可用单位面积生态服务价值衡量,景观要素的单位面积生态服务价值越高,生态功能越强,则物种在景观单元之间发生物质和能量交换得到阻碍性越小,景观要素阻力值越小,生态流更通畅;反之,景观要素的单位面积生态服务价值越低,则景观要素阻力值越高。

犂头村村水体的单位面积生态服务价值最高,景观阻力值最小,将其设置为 1;建筑用地的单位面积生态服务价值最低,景观阻力值最大,将其设置为 100,通过内插法确定其余景观阻力值,范围介于 1~100 之间,见表 1。

Table 1. Resistance values of different landscape types

表 1. 不同景观类型阻力值

景观类型	单位面积生态系统服务价值(元/hm ² *a)	阻力值
水域	40676.4	1
林地	19334.0	20
耕地	6114.3	55
建筑用地	-8852.1	100
草地	6406.5	70
园地	12724.2	38
未利用地	371.4	80

4) 现状生态廊道

借鉴 ArcGIS 水文分析模块,通过洼地填充、流向分析、计算汇流累积量等步骤,对累积耗费距离表面进行分析,提取景观生态流的“脊线”和“谷线”,反复设定阈值得到最小耗费路径,以犂头村村土地利用现状为背景,输出最小耗费路径。

5) 现状生态阻力点

基于“源”、“汇”理论和生态连通性原理,将生态廊道交汇点视为生态节点。当生态廊道较长,且和其他景观廊道无交汇点时,根据廊道长度和土地利用现状合理选择生态节点;生态节点穿过建设用地的区域,宜根据建设用地选择节点。

犂头村村有各类生态斑块 25 个,其中小型斑块 15 个,中小型斑块 5 个,中型斑块 4 个,大中型斑块 1 个。生态源点 5 个,包括两处水域和三处林地;采矿用地和工业用地生态阻力值较高,生态阻力点 4 个;13 条生态廊道,主要以河流和道路绿化带为主,大部分河流、道路绿化带较窄(1 级生态廊道生态质量较高,4 级生态廊道生态质量较低);村庄南侧生态廊道质量低,无法连接成网,如图 5 所示。生态源斑块数量占比少,分散,生态廊道不足,无法将生态斑块联结形成生态网,生态韧性差。犂头村村耕地面积占比最大,且连通性最好,耕地构成了犂头村的生态基质。

3. 犂头村水生态环境优化策略

3.1. 优化生态韧性

增加自然斑块类型提升景观异质性,优化乡村生态景观和维持物种多样性;充分利用现有道路和水系廊道,恢复和保持本土生态系统和生态过程连通性[17],统筹布局廊道、斑块的性质规模,构建形成完整的生态网络系统,提升乡村生态系统稳定性。

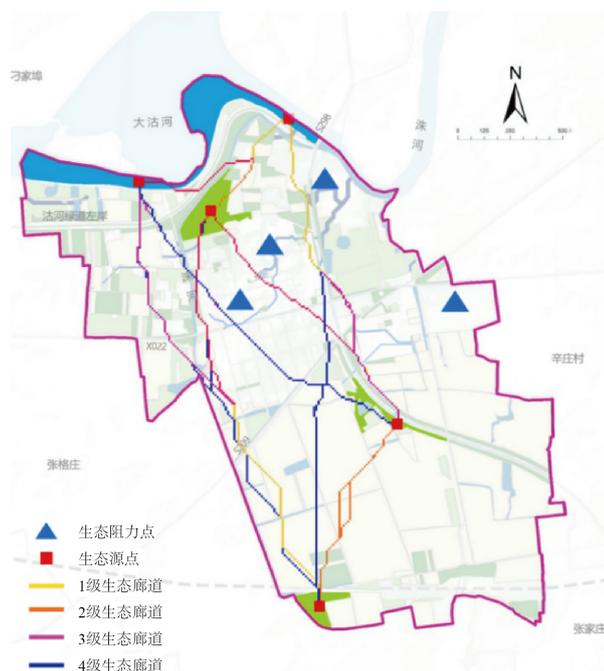


Figure 5. Current ecological sources, resistance points and ecological corridors

图 5. 现状生态源、阻力点和生态廊道

村域生态源地大多数集中在河流和林地周围，生态源地的生物多样性较高。区域内林地景观相对丰富，生态源地内部应保持自然发展为主，限制建设用地的扩张，及时通过土地复垦整治，进行生态保护与恢复，改善生态源地生境质量在与其他类型景观连接的边界处建立一定宽度的缓冲区，减少外界对生态源地的干扰和冲击。

3.1.1. 强化生态源地

牵头村村生态源地集中分布在林地和水体周边，区域林地景观较丰富，水体景观相对较少，林地和水体组成的生态源地有较高的生态系统服务价值。“源地”是保障物种生存、生态系统维持和生态流流动的基本生态用地，是生产建设和居民生活不可逾越的红线，禁止任何开发建设活动。结合村庄土地利用现状规划 9 个生态源地，如图 6 所示，增强源地在区域生态保护中作用。

3.1.2. 构建生态廊道形成生态网络

河道和路网等是构成生态廊道的重要景观要素，利用现状河道和绿带规划生态廊道，将分散独立的生态斑块连接起来，提升生态连接程度形成生态网络，促进区域内物种间物质与能量交换，增强生态系统生态效应。根据最小耗费路径分析结果，依托牵头村村水体缓冲带、道路绿化带和林地廊道将村域范围内分散的生态斑块连接为闭合性整体，生态廊道网络布局见图 6 所示。规划后村域有 9 个生态源点，21 条生态廊道。沿大沽河南侧生态廊道质量高，形成高质量生态交错带，强化沿河生态韧性。

牵头村村构建的生态廊道分为一级生态廊道和二级生态廊道，一级生态廊道将村域内生态源地与其它相隔较远的生态斑块相连，包括河流、沟渠缓冲带，交通干道绿化带和林地缓冲带，二级生态廊道是一级生态廊道的补充，主要为宽度较小河流或等级较低道理的绿化带，介于一级生态廊道之间或连接部分生态源地和一级廊道，在一级生态廊道的基础上增加廊道网密度。

通常情况下，生态廊道越宽，景观异质性越强，物种多样性越多。植被宽度与生态功能之间关系的

分析如表 2 所示。

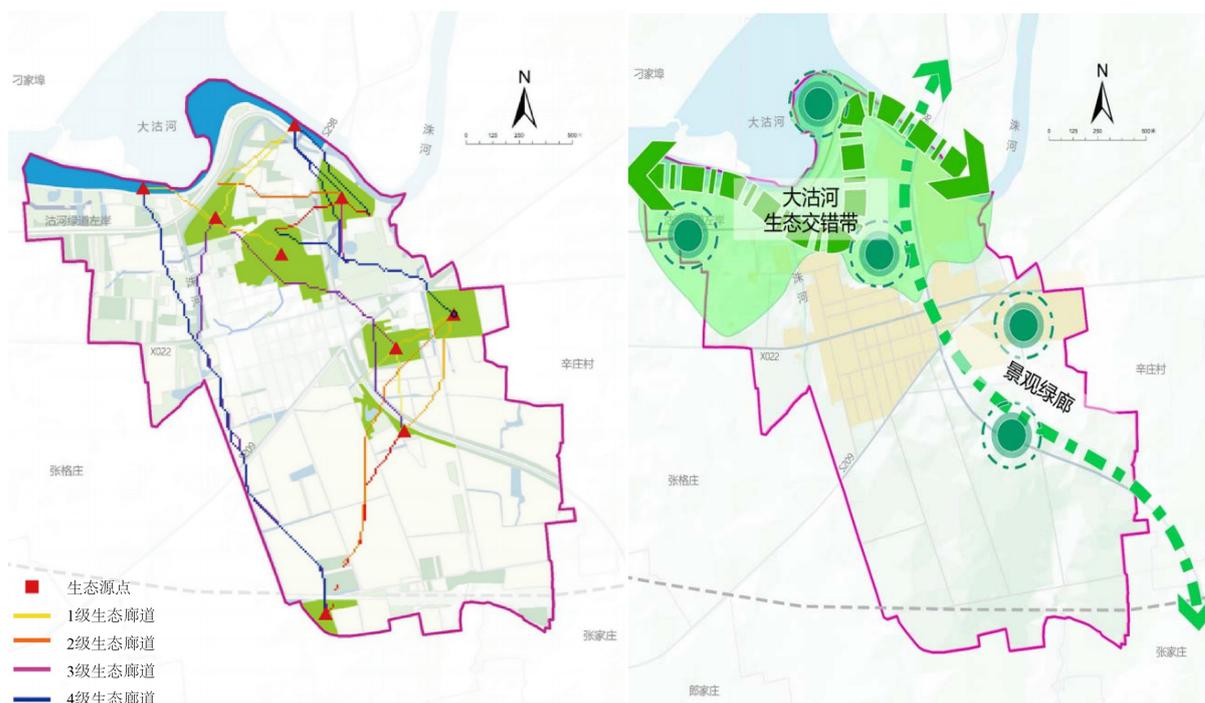


Figure 6. Layout of ecological corridors, networks and ecological sources

图 6. 生态廊道、网络及生态源点布局

Table 2. Analysis of the relationship between vegetation width and ecological function

表 2. 植被宽度与生态功能之间关系分析[18] [19]

植被宽度(m)	生物多样性分析
3~12	廊道宽度与物种多样性之间相关性接近于零，草本植物和鸟类物种多样性基本无影响，基本满足保护无脊椎动物种群的功能
12	草本植物多样性平均为狭窄地带的 2 倍以上
15	有可能降低环境湿度、过滤污染物、控制河道浑浊
30~60	能有效地降低环境温度，增加河流生物食物供应，有效地过滤污染物，有相对稳定的生境，林内含有较多边缘物种，但多样性仍很低；多样性仍很低，基本满足动植物迁移和保护生物多样性的功能；保护鱼类、小型哺乳、爬行和两栖类动物，可截获周围土地向河流的 50% 以上的沉积物，控制氮、磷和养分的流失，为鱼类提供有机碎屑、为鱼类繁殖创造多样化的生境
60~100	能较好地控制沉积物及土壤元素的流失，满足动植物迁移和传播以及保护生物多样性的功能；满足鸟类及小型生物迁移和生物保护功能的道路缓冲带宽度，许多乔木种群存活的最小廊道宽
600	能创造自然化的，物种丰富的景观结构，含有大量林内种

根据以上研究成果确定犇头村村生态廊道宽度如下：犇头村村一级生态廊道应不低于 60 m，二级生态廊道应不低于 30 m，道路、沟渠绿化带及耕地防护林宽度应不低于 12 m。

3.1.3. 规划生态节点

生态节点作为物种栖息和迁移的跳板，具有连接相邻生态源地、强化生态廊道的功能，对于保证区

域生态功能的发挥以及维护景观结构的连续性和完整性具有重要意义。本研究将生态节点分为三类，第一类是一级生态廊道之间的交点，是景观网络中的关键节点，共 3 处；第二类是一级与二级生态廊道或二级与二级生态廊道之间的交点，共 13 处。第三类生态节点是生态廊道穿越建设用地，这类节点位置应根据建设用地的分布确定，共 4 处。

4. 改善水环境质量

依据《关于加强农村环境保护工作的意见》[20]，《省级生态乡镇申报及管理规定(试行)》规划建设生活污水集中收集处理设施，达标排放进入生态塘进行深度净化，回用作为农田灌溉用水，如图 7 所示。沿大沽河规划缓冲带，减少农田径流污染。依据 30 m 宽的河岸森林缓冲带可去除来自地下水含水层中绝大多数的硝酸盐[21]。Lena 等从草地与林地的景观结构与功能角度分析了河岸植被缓冲带对改善水质的重要作用，得出 10 m 宽的草地廊道可以去除径流中 95% 的磷，理想的滨林地及湿地能够通过土壤微生物作用使 NO_3N 的去除率达到 100% [22]。沿大沽河规划植被宽度为 100 m。



Figure 7. Riverside buffer zone planning
图 7. 河边缓冲带规划

5. 结论

利用 ArcGIS 空间分析功能，ArcGIS 水文分析模块，和最小耗费距离模型，依据“源”、“汇”理论，分析了犂头村水生态环境质量的现状，得出了生态源斑块数量占比少，分散，生态廊道不足，无法将生态斑块联结形成生态网，生态韧性差。犂头村村耕地面积占比最大，连通性最好，耕地是犂头村的重要生态基质。生活污水没有集中收集处理，农田径流直接进入大沽河引发河水水质超标。

依据生态连通性原理，结合村庄现状和土地利用规划，通过构建生态廊道，构建了村庄的生态网，规划后村域生态源点从现状的 5 个，增加到 9 个，生态廊道原有的 13 条，增加到 21 条生态廊道。规定了廊道两侧的缓冲带宽度犂头村村一级生态廊道应不低于 60 m，二级生态廊道应不低于 30 m，道路、沟渠绿化带及耕地防护林宽度应不低于 12 m。增强了村域的生态韧性。

依据山东省的有关规定对村庄生活污水进行集中处理和深度净化，保证进入河道污水达到景观用水标准；在大沽河沿岸规划了宽度为 100 m 缓冲带，减少农田径流污染。

参考文献

- [1] Rao, J., Ji, X.T., Ouyang, W., Zhao, X.C. and Lai, X.H. (2012) Dilemma Analysis of China Agricultural Non-Point Source Pollution Based on Peasants' Household Surveys. *Procedia Environmental Sciences*, **13**, 2169-2178. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.206>

- [2] 黄为. 中小河流河道治理探析[J]. 东北水利水电, 2016(5): 64-65.
- [3] Díaz, F.J., Ó'Geen, A.T. and Dahlgren, R.A. (2012) Agricultural Pollutant Removal by Constructed Wetlands: Implications for Water Management and Design. *Agricultural Water Management*, **104**, 171-183. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.12.012>
- [4] Bhattarai, R., Kalita, P.K. and Patel, M.K. (2009) Nutrient Transport through a Vegetative Filter Strip with Subsurface Drainage. *Journal of Environmental Management*, **90**, 1868-1876. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.12.010>
- [5] 周广礼. 大沽河生态化治理对策的研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 青岛理工大学, 2014.
- [6] 邹桂红. 基于 Ann AGNPS 模型的非点源污染研究——以大沽河典型小流域为例[D]: [博士学位论文]. 青岛: 中国海洋大学, 2007.
- [7] 李彬. 农村环境整治相关问题探讨[J]. 科技创新与应用, 2014(13): 122.
- [8] 陈为, 朱小娇. 浅析我国南方农业面源污染现状与治理对策[J]. 中国资源综合利用, 2020, 38(4): 133-136.
- [9] 李伟娜, 田建茹, 李亚男, 宁海丽, 李昊伦. 大沽河农业面源污染核算及防控对策[J]. 青岛职业技术学院学报, 2022, 35(2): 46-50.
- [10] 于丽华. 大沽河莱西段水质污染现状调查及改善对策研究[J]. 山东化工, 2020, 49(15): 229-231.
- [11] 孙贤斌, 刘红玉. 基于生态功能评价的湿地系统景观格局优化及其效应——以江苏盐城海滨湿地为例[J]. 生态学报, 2010, 30(5): 1157-1166.
- [12] 刘杰, 叶晶, 杨婉. 基于 GIS 的滇池流域景观格局优化[J]. 自然资源学报, 2012, 27(5): 801-808.
- [13] 张远景, 俞滨洋. 城市生态网络空间评价及其格局优化[J]. 生态学报, 2016, 36(21): 6969-6984.
- [14] 陈利顶, 傅伯杰, 赵文武. “源”“汇”景观理论及其生态学意义[J]. 生态学报, 2006, 1(5): 1444-1449.
- [15] 邓文洪, 赵匠, 高玮. 破碎化次生林斑块面积及栖息地质量对繁殖鸟类群落结构的影响[J]. 生态学报, 2003, 23(6): 1087-1094.
- [16] 谢高地, 肖玉, 甄霖. 我国粮食生产的生态服务价值研究[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(3): 10-13.
- [17] Fischer, R.A. (2001) Wild-Link, Connecting Fragmented Habitats with Ecological Corridors in Northern Michigan. Conservation Resource Alliance, Traverse City.
- [18] 朱强, 俞孔坚, 李迪华. 景观规划中的生态廊道宽度[J]. 生态学报, 2005, 25(9): 2406-2412.
- [19] 姚小琴, 窦华港. 天津河道廊道的生态修复[J]. 城市规划, 2009, 33(9B): 69.
- [20] 中华人民共和国环境保护部. 关于加强农村环境保护工作的意见[Z]. 2007.
- [21] Pinay, G. and Decamps, H. (1988) The Role of Riparian Woods in Regulating Nitrogen Fluxes between the Alluvial Aquifer and Surface Water: A Conceptual Model. *River Research and Applications*, **2**, 507-516. <https://doi.org/10.1002/rrr.3450020404>
- [22] Lena, B.M., Gilles, P. and Charles, R. (1995) Structure and Function of Buffer Strips from a Water Quality Perspective in Agriculture Landscapes. *Landscape and Urban Planning*, **31**, 323-331. [https://doi.org/10.1016/0169-2046\(94\)01057-F](https://doi.org/10.1016/0169-2046(94)01057-F)