

南湾水库水源地保护区污染源调查评价

任 彧¹, 田洁玫¹, 陈杰², 王海洋² (1. 郑州大学公共管理学院, 河南郑州 450001; 2. 郑州大学水利与环境学院, 河南郑州 450001)

摘要 对南湾水库饮用水水源地保护区各乡镇工业、农业、生活及养殖情况调查的基础上, 采用等标污染负荷法, 分析了保护区主要污染源、污染物及其空间分布特征, 并提出了水源地保护的防控对策。结果表明: 保护区主要污染源为畜禽养殖、化肥流失及水土流失, 主要点源及非点源污染物均为氮、磷, 为非点源污染的潜在威胁; 点源污染源主要为靠近河道的 158 家养猪场, 其等标污染负荷比达 87.41%; 非点源污染源主要分布在谭家河乡、李家寨镇、洧河港镇及董家河镇, 其等标污染负荷比分别为 31.64%、24.50%、16.95% 与 15.68%, 累计达 88.77%。最后根据污染源评价结果提出了水源地保护的防控对策。

关键词 南湾水库; 水源地; 污染调查; 污染源评价; 防控对策

中图分类号 X524 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2018)04-0057-05

Study on the Investigation and Evaluation of the Pollutant Sources in Nanwan Reservoir Drinking Water Source Reserve

REN Yu¹, TIAN Jie-mei¹, CHEN Jie² et al (1. School of Public Administration, Zhengzhou University, Zhengzhou, Henan 450001, 2. College of Water Conservancy & Environmental Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou, Henan 450001)

Abstract Based on the investigation of industry, agriculture, residential live and livestock situation in protected areas of Nanwan reservoir drinking water sources, equivalent standard pollution load method was used to analyze each pollution source, thus clarified the main pollution source, pollutant and its spatial distribution in the protected area, proposed control measures on drinking water source protection. The results show that the main pollution comes from livestock, chemical fertilizer loss and water loss and soil erosion, the main pollutant of both point source and non-point source is TN, while TP is the potential threat to the non-point source water body. Point source pollutant comes most from the 158 piggery along the river, which equivalent pollution load ratio is 87.41%. Non-point pollutant mainly distributed in Tanjiahe Town, Lijiazhai Town, Shihegang Town and Dongjiahe Town, the equivalent pollution load ratio are 31.64%, 24.50% and 15.68% respectively. Relative protective measurements are proposed according to the evaluation results, which can provide reference for the safety and protection of drinking water source.

Key words Nanwan reservoir; Pollutant source; Pollutant investigation; Pollutant source evaluation; Control measures

饮用水安全直接关系到人民群众生命健康和社会和谐稳定大局, 是全面建设小康社会的重要支撑条件^[1]。自 2006 年水利部先后核准公布第三批全国重要饮用水水源地名录以来, 关于水源地污染源的研究日益增多。代堂刚^[2]根据云南省污染物排放系数, 计算了渔洞水库总氮(TN)、总磷(TP)及氨氮排放总量; 徐文^[3]通过调查沙河水库的主要污染源探讨了水源地污染防治措施; 陈伟^[4]采用等标污染负荷法确定了张家口市点源污染的主要污染源、污染行业及污染区域; 廖振良等^[5]分别采用异标、等标污染负荷法, 对黄浦江上游保护区、中上游地区进入水体的点污染源进行评价。目前关于南湾水库水源地研究多从水质及富营养化状况^[6-10]等方面展开, 较少涉及影响水质的污染源调查评价。尤宾^[11]将南湾水库上游 3 个乡镇作为研究对象, 利用等标污染负荷法对其入河排污口进行评价, 指出主要污染源为生活污染, 主要污染物为 COD_{Cr} 与氨氮, 并在此基础上提出了水质目标控制与排污总量控制及水源地保护对策。笔者对南湾水库饮用水水源地保护区河南省境内 7 个乡镇进行污染调查研究, 采用等标污染负荷法评价各类污染源, 识别主要污染源及污染物, 并在此基础上提出相应的防控对策, 以期对南湾水库饮用水水源地建设、水污染治理及水环境保护提供科学依据。

1 研究区概况

南湾水库位于信阳市西南 8 km 的洧河干流上, 横跨河南、湖北两省, 涉及 9 个乡镇 81 个行政村或居委会, 流域面积 1.24 × 10⁵ hm², 主要水系有洧河支流、沙河支流、谭家河支

流与五道河支流等。南湾水库饮用水水源地河南省境内保护区涉及 7 个乡镇, 总面积 9.59 × 10⁴ hm², 水源地供水人口 48.2 万人, 年供水能力 4 × 10¹⁰ L。其地理位置及保护区范围见图 1。

2 研究区污染物调查

2.1 点源污染调查 南湾水库水源地保护区的点源污染主要包括工业废水和生活污水污染, 通常有固定的排污口集中排放。经调查, 保护区点源排污包括工业排污、乡镇污水集中排污与规模化养猪场集中排污。

2.1.1 工业污染物排放量。 研究区规模以上排污企业为 2 家位于董家河镇的猪鬃加工企业, 其排污废水包括生产废水与生活污水。主要污染物排放量见表 1。

2.1.2 生活污染物排放量。 研究区生活污水集中排放集镇有 3 个。主要污染物排放量见表 2。

2.1.3 规模化养猪点污染负荷量。 研究区正常生产的规模化养猪场有 341 家, 其中距离河道 200 m 以内有 158 家, 主要分布在谭家河乡和李家寨镇。主要污染物排放量见表 3。

2.2 非点源污染调查 非点源污染成分复杂、类型多样, 主要包括土壤侵蚀和流失、农村生活污水、化肥农药污染、畜禽粪便、水体人工养殖、大气干湿沉降、底泥二次污染、旅游污染等^[12-13]。由于研究区内无人工养殖, 且底泥二次污染无相关资料, 因此仅调查计算其余 6 种主要非点源污染物负荷量。

2.2.1 水土流失导致的污染物负荷量。 根据研究区表层土壤的氮、磷含量, 流失土壤富集比取 1.2, 氮污染物进入水体率为 10%, 磷污染物进入水体率为 5%, 得到保护区由于水土流失而进入水库水体的氮、磷污染量, 结果见表 4。

作者简介 任 彧(1988—), 男, 河南郑州人, 博士研究生, 研究方向: 公共管理。

收稿日期 2017-11-29

2.2.2 农村生活污染导致的污染物负荷量。依据研究区的社会经济状况,COD、TN、TP的排污系数^[14-15]分别取9.25、3.15、0.22 g/(d·人),计算出研究区农村生活污染源污染物

排放量,其中,生活污水污染物进入水体率取50%,居民粪尿污染物进入水体率取7.5%,从而得出污染物流入水体总量,结果见表5。

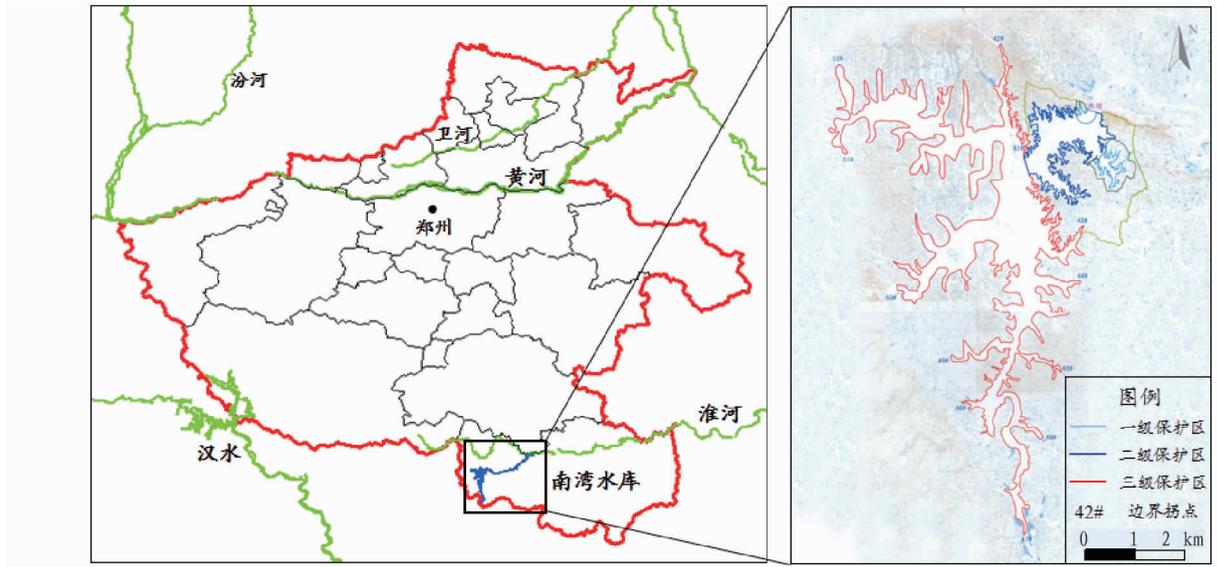


图1 南湾水库饮用水源地保护区位置及范围

Fig.1 Location and range of Nanwan reservoir drinking water source reserve

表1 猪鬃加工企业主要污染物排放量

Table 1 Main pollutant discharge of bristle processing enterprises

序号 No.	企业名称 Enterprise name	产品产量 Product yield//箱/a	污水排量 Sewage discharge//t/a	主要污染物排量 Main pollutant discharge//t/a		
				COD	N	P
1	富民猪鬃有限公司	13 278	7 967	19.92	0.82	0.04
2	恒大猪鬃加工有限公司	12 969	7 781	19.46	0.80	0.04
合计 Total		26 247	15 748	39.38	1.62	0.08

表2 生活污染主要污染物排放量

Table 2 Main pollutant discharge of domestic pollution

序号 No.	行政区 Administrative area	人口 Population 人	人均用水量 Per capita water con- sumption //t/a	综合用水量 Comprehensive water con- sumption//t/a	综合排水量 Compr- ehensive drainage//t/a	主要污染物排量 Main pollutant discharge//t/a		
						COD	TN	TP
1	谭家河镇	2 349	65*	183 222	146 578	40.31	5.37	0.54
2	泌河港镇	2 218		173 004	138 403	38.06	5.07	0.51
3	董家河镇	2 269		176 982	141 586	38.94	5.19	0.52
合计 Total		6 836		533 208	426 566	117.31	15.64	1.56

注: *河南省地方标准用水定额 DB41T 385—2009

Note: Local standard water quota of Henan Province DB41T385 - 2009

表3 规模化养猪点主要污染物排放量

Table 3 Main pollutant discharge of large scale pig farms

序号 No.	行政区 Administra- tive area	年末存栏量 Store volume at the end of the year//头	主要污染物排量 Main pollutant discharge//t/a		
			COD	TN	TP
1	李家寨镇	22 600	281.79	81.60	7.27
2	谭家河乡	16 950	211.34	61.20	5.45
合计 Total		39 550	493.13	142.80	12.72

2.2.3 降水污染导致的污染物负荷量。由降水带入水体的污染负荷可由水面模型计算,计算公式见式(1):

$$M_i = P \cdot F \cdot K \cdot C_i \quad (1)$$

表4 水土流失导致的污染物流失量

Table 4 Pollutant discharge caused by water and soil erosion t/a

序号 No.	行政区 Administra- tive area	TN	TP	合计 Total
1	李家寨镇	20.50	1.78	22.28
2	柳林乡	1.82	0.12	1.94
3	谭家河乡	60.82	5.43	66.25
4	十三里桥乡	3.89	0.34	4.23
5	泌河港镇	15.67	1.08	16.75
6	董家河镇	29.89	2.64	32.53
7	南湾办事处	0.14	0.03	0.17
合计 Total		132.73	11.42	144.15

表 5 农村生活污染物流入水体量

Table 5 Pollutant discharge of rural domestic pollution t/a

序号 No.	行政区 Administrative area	COD	TN	TP	合计 Total
1	李家寨镇	65.78	7.78	1.67	75.23
2	柳林乡	29.98	3.55	0.76	34.29
3	谭家河乡	127.28	15.05	3.24	145.57
4	十三里桥乡	29.87	3.53	0.76	34.16
5	灑河港镇	111.23	13.15	2.83	127.21
6	董家河镇	100.72	11.91	2.56	115.19
7	南湾办事处	6.72	0.79	0.17	7.68
合计 Total		471.57	55.77	12.01	539.35

式中, M_i 为污染物 i 的负荷量; P 为流域内年均降水量 (mm); F 为水库水面面积 (km^2); K 为换算系数 (10^{-3}); C_i 为降水中污染物 i 的浓度 (g/m^3)。

南湾水库年平均降水量为 1 138.2 mm, 降水污染物平均含量: COD 0.675 mg/L, TN 0.253 mg/L, TP 0.004 mg/L。根据水面模型计算得知, 由降雨引起的 COD 污染负荷值为 62.22 t/a, 氮污染负荷值 23.32 t/a, 磷污染负荷值 0.37 t/a。

2.2.4 化肥污染导致的污染物负荷量。根据研究区农业化肥施用情况, 结合地形地貌与水系特征, 将氮、磷流失量分别定为施肥量的 6%、2%, 由此计算得出各乡镇化肥污染物流入水体量, 结果见表 6。

表 6 化肥污染物流入水体量

Table 6 Pollutant discharge of fertilizer t/a

序号 No.	行政区 Administrative area	TN	TP	合计 Total
1	李家寨镇	28.96	1.39	30.35
2	柳林乡	8.55	0.36	8.91
3	谭家河乡	51.47	2.74	54.21
4	十三里桥乡	5.85	0.85	6.70
5	灑河港镇	57.14	4.24	61.38
6	董家河镇	49.26	3.37	52.63
7	南湾办事处	1.71	0.07	1.78
合计 Total		202.94	13.02	215.96

2.2.5 散养畜禽污染导致的污染物负荷量。参照《全国饮用水水源地环境保护规划》编制技术大纲以及文献[16]中的畜禽排泄系数以及粪便中污染物的平均含量, 计算得出研究区散养畜禽污染物排放量, 根据相应畜禽污染物的进入水体率, 可以得出畜禽污染物流失量, 结果见表 7。

2.2.6 规模化养猪(非点)污染导致的污染物负荷量。由于近 50% 的规模化养猪场距离河道较远, 污染物不直接排入沟渠, 属于非点污染源, 且污染物的进入水体率远比散养畜禽粪便污染物的进入水体率高。根据文献[17]及实际调查, 将粪中污染物 COD、TN、TP 的进入水体率取值 29.55%、10.86%、1.70%, 尿液中污染物的进入水体率取 37.50%。研究区规模化养猪污染物流失量见表 8。

2.2.7 旅游污染造成的污染物负荷量。南湾水库的旅游包

括 2 部分, 一是大坝—旅游码头—库内旅游景点观光, 据统计, 多年 4 个季度平均旅游人次分别为 3.70 万、20.25 万、21.25 万、4.80 万人, 总计 50 万人; 二是到沿库生态园、农家乐旅游休闲, 实地调查统计这些地方接待的人次基本相当于南湾旅游公司接待的游客, 故南湾水库年内平均接待 100 万人次。由于旅游活动带来的污染主要是游客产生的生活污水, 且沿库旅店、餐馆大多临水而建, 污水基本直接排放至水库, 根据生活污染排污系数, 按游客平均滞留 1 d, 旅游污染物的入库量为 COD 70.25 t/a, TN 9.99 t/a, TP 1.84 t/a。

表 7 散养畜禽污染物流失量

Table 7 Pollutant discharge of free range livestock t/a

序号 No.	行政区 Administrative area	COD _{Cr}	TN	TP	合计 Total
1	李家寨镇	98.1	56.8	2.2	157.1
2	柳林乡	76.4	40.5	1.9	118.7
3	谭家河乡	492.2	63.2	2.7	558.1
4	十三里桥乡	31.7	15.6	0.7	48.1
5	灑河港镇	125.1	58.0	2.6	185.6
6	董家河镇	40.5	38.4	1.9	80.8
7	南湾办事处	3.5	1.3	0.1	4.9
合计 Total		867.5	273.7	12.0	1 153.2

表 8 规模化养猪污染物流失量

Table 8 Pollutant discharge of large scale pig farms t/a

序号 No.	行政区 Administrative area	COD _{Cr}	TN	TP	合计 Total
1	李家寨镇	62.55	17.72	1.16	81.43
2	柳林乡	42.86	12.14	0.80	55.80
3	谭家河乡	61.23	17.35	1.14	79.72
合计 Total		166.64	47.21	3.10	216.95

3 污染源综合评价

3.1 评价方法 采用等标污染负荷比法评价 COD_{Cr}、TN、TP 3 个指标。等标污染负荷是把污染物 i 的排放量稀释到相应排放标准时所需的介质质量, 是各污染源和各污染物的相对污染程度的度量^[18], 计算方法见式(2):

$$P_i = C_i / C_0 \quad (2)$$

式中, P_i 为污染物 i 的等标排放量 ($\times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$); C_i 为污染物 i 的流失量 (t/a); C_0 为污染物按 III 类地表水标准 (GB 3838—2002) 系列的阈浓度。COD_{Cr} 浓度为 20 mg/L, TN 浓度为 1 mg/L, TP 浓度为 0.2 mg/L。

第 j 个污染源有 n 个污染物, 其源内的等标排放量为

$$P_j = \sum_{i=1}^n P_{ij} \quad (3)$$

某区域有 m 个污染源, 则该区域多年污染排放量为

$$P = \sum_{j=1}^m P_j = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n P_{ij} \quad (4)$$

该区域第 j 个污染源的等标污染负荷比为

$$K_{ij} = \sum_{j=1}^m P_{ij} / P \times 100\% \quad (5)$$

该区域污染物 i 的等标污染负荷比为

$$K_{ij} = \frac{\sum_{j=1}^m P_{ij}}{P} \times 100\% \quad (6)$$

式中, K_{ij} 中最大值表示该区域内主要污染源; K_i 中最大值表示该地区内的主要污染物。

3.2 点源污染评价 根据等标污染负荷比法计算出各类点源污染物入库量、等标污染负荷及负荷比, 结果见表9。

表9 各类点源污染物的等标污染负荷

Table 9 Equal standard pollution load of point source pollution

序号 No.	污染源 Pollution source	污染物入库量 Pollutant discharge//t/a			等标污染负荷 Equal standard pollution load// $\times 10^6$ t/a			等标污染负荷比 Equal standard pollution load ratio//%			合计 Total
		COD	TN	TP	COD	TN	TP	COD	TN	TP	
1	养猪(点)污染	493.13	142.80	12.72	24.66	142.80	63.60	9.33	54.02	24.06	87.41
2	生活污染	117.31	15.64	1.56	5.87	15.64	7.80	2.22	5.92	2.95	11.09
3	工业生产污染	39.38	1.62	0.08	1.97	1.62	0.40	0.74	0.61	0.15	1.50
合计 Total		649.82	160.06	14.36	32.49	160.06	71.80	12.29	60.55	27.16	100

3.3 非点源污染评价 各类非点源污染物的入库量、等标污染负荷及负荷比见表10。由表10可知, COD是研究区入库量最高的非点源污染物, 但其等标污染负荷比最小, 因此是主要非点源污染物; 而TN污染物流失入库总量高, 其等标污染负荷比达69.10%, 说明TN是构成南湾水库水体污染

由表9可知, 研究区点源污染物主要为TN, 等标污染负荷比为60.55%, TP次之, 等标污染负荷比为27.16%。从污染来源角度分析, 研究区点源污染物主要来自于距离河道沟渠200m以内的158家养猪场, 其等标污染负荷比为87.41%, 故防控重点为养猪场的污染治理。

的主要非点源污染物, 主要来源为畜禽养殖、化肥污染及水土流失; 非点源TP污染物的流失入库量最少, 但其等标污染负荷达24.90%, 表明TP是构成南湾水库水体污染的主要潜在威胁。

表10 各类非点源污染物的等标污染负荷

Table 10 Equal standard pollution load of non-point source pollution

序号 No.	污染源 Pollution source	污染物入库量 Pollutant discharge//t/a			等标污染负荷 Equal standard pollution load// $\times 10^6$ t/a			等标污染负荷比 Equal standard pollution load ratio//%			合计 Total
		COD	TN	TP	COD	TN	TP	COD	TN	TP	
1	畜禽养殖	694.61	322.53	15.20	34.73	322.53	76.00	3.21	29.82	7.03	40.06
2	化肥污染	—	202.94	13.02	—	202.94	65.10	—	18.76	6.02	24.78
3	水土流失	—	132.73	11.42	—	132.73	57.10	—	12.27	5.28	17.55
4	居民生活	471.57	55.77	12.01	23.58	55.77	60.05	2.18	5.16	5.55	12.89
5	降水携带	62.22	23.32	0.37	3.11	23.32	1.85	0.29	2.16	0.17	2.61
6	旅游污染	70.25	9.99	1.84	3.51	9.99	9.20	0.32	0.92	0.85	2.10
合计 Total		1 228.40	737.29	52.02	61.42	737.29	260.10	6.00	69.10	24.90	100

阮晓红^[12]研究表明, COD的等标污染负荷最大, 为 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的6倍左右, 这主要是由于COD本身排放量基数大, 且其采用的标准为《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)中的一级标准, COD限值仅为 $\text{NH}_3\text{-N}$ 限值的4倍, 而地表水Ⅲ类标准中, COD限值为TN的20倍; 尤宾^[11]在等标负荷计算中就相对放大了COD的污染程度。综上, COD并非主要的点源污染物, 在进行污染物的监控与防治中反而应加大TN和TP的治理力度。

从污染来源角度, 畜禽养殖、化肥污染及水土流失污染物的等标污染负荷比分别为40.06%、24.78%、17.55%, 累积达82.40% (表10), 故可确定研究区的主要污染源为畜禽养殖、化肥流失及水土流失, 其中畜禽养殖为最大污染源。2001—2017年信阳市浉河区尤其是谭家河乡、浉河港乡、董家河镇及李家寨镇的散养畜禽户有所增加, 规模化养殖厂迅猛发展, 这是造成研究区主要污染源评价结果与文献^[12]不一致的主要原因。

对比表9与表10可知, 研究区点源污染和非点源污染的污染物流失入库量分别为824.24、2 017.71 t/a, 分别占总入库量的29.00%、71.00%; 等标污染负荷及负荷比分别为 264.35×10^6 、 $1 058.81 \times 10^6$ t/a和19.98%、80.02%, 这表明非点污染源是南湾水库饮用水水源地保护区的主要污染源。

3.4 污染物空间分布特征 由于降水污染源无法按行政区划统计, 工业污染源仅分布于局部地区, 且这2部分污染物的等标污染负荷比合计4.08%, 污染影响较小, 故按行政区划统计剩余各类污染源的污染物入库量、等标污染负荷及负荷比, 结果见表11、12。

由表11可知, 各乡镇污染物的流失入库量及等标污染负荷比从大到小依次为谭家河乡、李家寨镇、浉河港镇、董家河镇、柳林乡、十三里桥乡、南湾办事处, 这主要是由于散养畜禽、规模化养殖大多分布在谭家河乡、董家河镇、浉河港镇及李家寨镇, 且十三里桥、柳林乡及南湾办事处的土地面积仅占7个乡镇总面积的19.5%, 总人口占35.2%, 对应的水

土流失污染、农村生活污染较轻,加之基本无点污染源分布,故其等标污染负荷较小。

4 讨论

(1) 畜禽养殖是南湾水库水源地保护区内的主要支柱产业,但配套的污染处理设施较少,针对畜禽养殖污染,信阳市

灊河区政府于 2010 年通过了《关于划定畜禽养殖禁养区的通知》(灊政[2010]58 号),划定了入库河流及环库周边的畜禽禁养区,同时还应制定保护区畜牧业发展规划,研发生态治污技术,提高畜禽养殖污水处理率,引领畜禽养殖场拆迁户发展茶产业。

表 11 主要污染物的空间分布情况
Table 11 Spatial distribution of main pollutants

序号 No.	污染源 Pollution source	污染物入库量 Pollutant discharge//t/a			等标污染负荷 Equal standard pollution load $\times 10^6$ t/a			等标污染负荷比 Equal standard pollution load ratio//%			合计 Total
		COD	TN	TP	COD	TN	TP	COD	TN	TP	
1	李家寨镇	508.25	213.33	15.50	25.41	213.33	77.50	1.97	16.53	6.00	24.50
2	柳林乡	149.24	66.52	3.89	7.46	66.52	19.45	0.58	5.15	1.51	7.24
3	谭家河乡	553.42	274.44	21.26	27.67	274.44	106.30	2.14	21.26	8.24	31.64
4	十三里桥乡	61.61	28.89	2.67	3.08	28.89	13.35	0.24	2.24	1.03	3.51
5	灊河港镇	274.35	149.02	11.22	13.72	149.02	156.10	1.06	11.54	4.35	16.95
6	董家河镇	219.50	136.30	11.03	10.98	136.30	55.15	0.85	10.56	4.27	15.68
7	南湾办事处	10.26	3.89	0.35	0.51	3.89	1.75	0.04	0.30	0.14	0.48
合计 Total		1 776.63	872.39	65.92	88.83	872.39	329.60	6.88	67.58	25.53	100

表 12 7 个乡镇点源、非点源污染物等标污染负荷
Table 12 Equal standard pollution load of two kinds of pollutant in 7 villages

序号 No.	行政区划 Administrative division	点源污染 Point source pollution			面源污染 Non-point source pollution		
		COD	TN	TP	COD	TN	TP
1	李家寨镇	281.79	81.6	7.27	226.43	131.76	8.20
2	柳林乡	0	0	0	149.24	66.56	3.94
3	谭家河乡	251.65	66.57	5.99	680.71	207.89	15.25
4	十三里桥乡	0	0	0	61.57	28.87	2.65
5	灊河港镇	38.06	5.07	0.51	236.33	143.96	10.75
6	董家河镇	77.88	5.19	0.52	151.73	129.46	10.47
4	南湾办事处	0	0	0	10.22	3.94	0.37

(2) 对于水土流失导致的污染,应建立特色生态保护区,对水源地保护区周边湿地、环库岸生态和植被进行修复和保护,同时合理规划土地利用类型,提高森林覆盖率,营造水源地良性生态系统,完善生态补偿机制。

(3) 针对化肥污染,应大力推广“测土施肥”,根据土壤特性,调整肥料结构,采取“适氮、适磷、增钾”的施肥技术,并与有机肥搭配使用。

(4) 农村生活污染虽然不是保护区主要污染源,但仍不可忽视,各乡镇应不断完善污水收集和处理系统,统筹安排建设乡镇污水集中处理设施及配套管网,提高区域内乡镇污水的收集率和处理率。

5 结论

(1) 南湾水库水源地保护区的污染源以非点源为主,其污染物排放量为点源污染物排放量的近 2.5 倍。非点源污染中以畜禽养殖、化肥污染和水土流失污染物排放入库量最多,等标污染负荷最大;点源污染中以规模化养猪点污染物排放入库量最多,等标污染负荷最大。

(2) 保护区内 COD 污染物入库量分别是 TN、TP 的 2、28 倍,其等标污染负荷仅为 TN、TP 的 1/9、1/4, TN 为保护区内的主要污染物,TP 的相对污染程度最大。各类污染均主要

分布在谭家河乡、李家寨镇、灊河港镇及董家河镇 4 个乡镇。

(3) 针对污染源的表征及分布情况,建议保护区尤其在南湾水库上游谭家河乡、灊河港镇及董家河镇 3 个乡镇划定畜禽禁养区,提高污水处理率,推广测土施肥,建立特色生态保护区,完善乡镇污水收集与处理系统。

参考文献

- [1] 吴坤杰. 南湾水库沉积物重金属污染及潜在生态风险评价[D]. 南京: 南京农业大学, 2013.
- [2] 代堂刚. 云贵高原渔洞水库面源污染调查研究[J]. 人民长江, 2014 (S1): 51-56.
- [3] 徐文. 饮用水源地沙河水库污染源调查与保护研究[J]. 水利科技与经济, 2010, 16(4): 410-412.
- [4] 陈伟. 官厅水库流域上游张家口市点源污染调查分析[J]. 水资源保护, 2004, 20(1): 46-48.
- [5] 廖振良, 徐祖信. 黄浦江上游水源保护区污染源超标污染负荷评价分析[J]. 环境污染与防治, 2004(2): 160.
- [6] 李林春. 南湾水库富营养化现状与养鱼调控的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2007.
- [7] 于刚. 南湾水库水质及富营养化特征分析[J]. 河南水利与南水北调, 2013(4): 3-4.
- [8] 王超. 南湾水库及入库河流水质现状与控制对策[J]. 江西农业学报, 2012, 24(8): 137-140.
- [9] 李自荣. 南湾水库水质状况调查及治理对策[J]. 水利渔业, 2007, 27(5): 65-66.

力,能保持最适 pH 时的 70% 以上, pH 为 7、8 时,酶活力为最适 pH 时的 94%,而 pH 为 6 时,酶活力仅为最适 pH 时的 40%,说明 PBO2 产生的为碱性蛋白酶(图 8)。

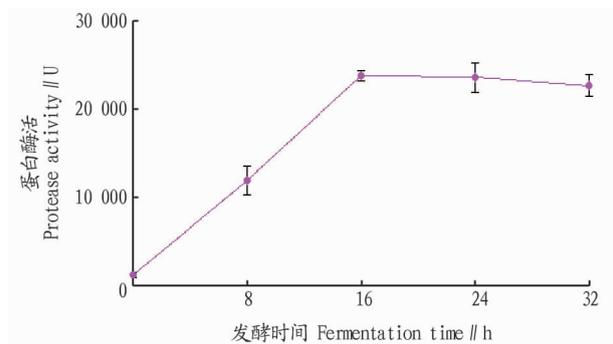


图 7 发酵时间对菌株产酶的影响

Fig. 7 Effects of fermentation time on the enzyme activity of the strain

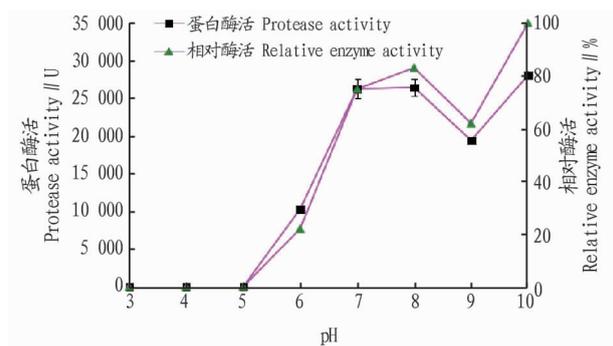


图 8 pH 对蛋白酶活力和稳定性的影响

Fig. 8 Effects of pH on activity and stability of protease

2.4.2 酶的 pH 稳定性测定。将酶液置于不同 pH 环境中保温 60 min,测定剩余酶活力结果表明:该菌产酶在 pH 为 7~10 内,酶活力均可保持在 62% 以上(图 8)。

2.4.3 酶反应最适温度测定。不同温度条件下的酶促反应结果表明:最适反应温度为 40 °C,在 30~60 °C 内具有较高的酶活力,可保持在最适温度时的 79% 以上,而当温度升高至 60 °C 时,酶活力急剧下降至最适温度时的 27% (图 9)。

2.4.4 酶的热稳定性测定。将酶液在不同温度下保温 60 min 后测剩余酶活力,发现温度超过 60 °C 以后,酶活力下降很快,30~60 °C 时酶活保持 84% 以上,而 90 °C 时酶活力下降至 30% (图 9)。

3 结论

此次试验分别从洋沙山和象山海域采集海洋样品进行

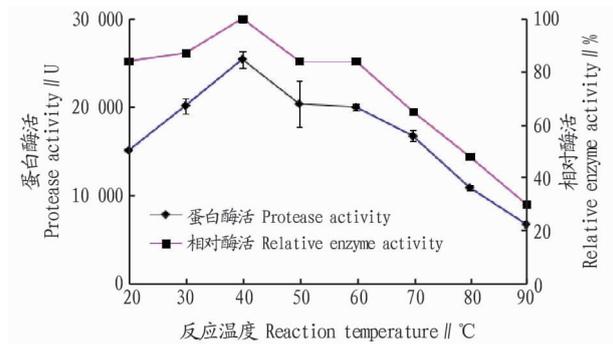


图 9 温度对蛋白酶活力和稳定性的影响

Fig. 9 Effects of temperature on activity and stability of protease

产蛋白酶海洋细菌的筛选,初筛共得到 15 株蛋白酶活性菌株,其中 1 株酶活较高的菌株 PBO2 经 16S rDNA 鉴定为交替假单胞菌(*Pseudoalteromonas* sp.)。通过产酶条件优化得出,PBO2 号菌培养的最适 pH 为 7,0.5% 的接种量,10% 的装液量,20 °C 的培养温度,100 r/min 的摇床转速,发酵时间 16 h 最利于产酶。酶学性质研究表明,PBO2 号菌产生的为碱性蛋白酶,酶反应的最适 pH 为 10,蛋白酶在 pH 为 7~9 时具有稳定的酶活力,能保持最适 pH 的 70% 以上。PBO2 号菌株不耐高温,酶反应的最适温度为 40 °C。该研究为今后对产蛋白酶海洋活性菌株的深入研究奠定了基础。

参考文献

- 胡学智,王俊. 蛋白酶生产和应用的进展[J]. 工业微生物,2008,38(4): 49-61.
- 路英华. 蛋白酶的研究进展[J]. 生命科学信息,1991,8(2): 8-10.
- NASCIMENTO W C A, MARTINS M L L. Production and properties of an extracellular protease from thermophilic *Bacillus* sp[J]. Brazilian journal of microbiology, 2004, 35: 91-96.
- RAI S K, ROY J K, MUKHERJEE A K. Characterisation of a detergent-stable alkaline protease from a novel thermophilic strain *Paenibacillus tezpurenensis* sp. nov. AS-S24-II[J]. Applied microbiology and biotechnology, 2010, 85(5): 1437-1450.
- 张晓. 海洋产蛋白酶菌的分离、培养及其防污活性研究[M]. 青岛:中国海洋大学,2013:12.
- 刘婷,张天斌,林云山. 产中性蛋白酶菌株的筛选及其发酵条件的优化[J]. 湖南农业科学,2009(5): 102-104,107.
- 张锐. 极端微生物产碱性蛋白酶菌株的筛选及发酵条件的研究[J]. 微生物学通报,2001,28(4): 5-9.
- 万琦,陆兆新,高宏. 低温碱性蛋白酶菌株的筛选及产酶条件的研究[J]. 微生物学杂志,2002,22(5): 16-18.
- 宋明徽. 产碱性蛋白酶海洋细菌筛选及发酵研究[M]. 大连:大连工业大学,2013:12-14.
- 张力元. 海洋来源产蛋白酶的菌株筛选及其产酶条件的优化研究[M]. 保定:河北农业大学,2009:20-47.
- 方春玉,周健,邓静,等. 沪型大曲霉产酸性蛋白酶条件的优化及其酶学性质的研究[J]. 食品与发酵科技,2011,47(2): 13-19.
- 曲均革,姚晓敏,朱鹏,等. 产纤维素酶海洋细菌的筛选鉴定和产酶条件优化[J]. 上海海洋大学学报,2012,21(6): 1054-1056.
- 胡爽. 重庆市生活污染源产排污系数研究[D]. 重庆:重庆大学,2008.
- 王文林,胡孟春,唐晓燕. 太湖流域农村生活污水产排污系数测算[J]. 生态与农村环境学报,2010,26(6): 616-621.
- 王梦雅,李海华,赵宝帅,等. 河南省畜禽养殖污染调查及时空特征分析研究[J]. 环境科学与管理,2014,39(10): 48-51.
- 宋大平,庄大方,陈巍. 安徽省畜禽粪便污染耕地、水体现状及其风险评估[J]. 环境科学,2012,33(1): 110-116.
- 钟定胜,张宏伟,等. 产纤维素酶海洋细菌的筛选鉴定和产酶条件优化[J]. 中国给水排水,2005,21(5): 101-103.

(上接第 61 页)

- 余国忠,苏华,刘向春,等. 信阳市大型水库功能演变对水库水质的影响:以南湾水库为例[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版),2009,22(1): 84-87.
- 尤宾. 信阳市南湾水库饮用水水源地现状评价及保护对策研究[J]. 水资源保护,2001(4): 45-47.
- 阮晓红. 非点源污染负荷的水环境影响及其量化方法研究[D]. 南京:河海大学,2002.
- 曹高明,杜强,宫辉力,等. 非点源污染研究综述[J]. 中国水利水电科学研究院学报,2011,9(1): 35-40.