

棘洪滩水库水生植物调查及其营养负荷分析

郭小雅¹, 于军², 葛建华², 王蕾¹

(1. 山东省胶东调水局, 山东 济南 250100; 2. 山东省胶东调水局 棘洪滩水库管理处, 山东 青岛 266111)

摘要: 对引黄济青工程唯一调蓄水库——棘洪滩水库的水生植被进行了种类、覆盖面积、现存生物量等的系统调查。结果表明:棘洪滩水库共有水生植物12种,其中沉水植物9种、挺水植物3种,优势种为黑藻。通过计算水库中9种沉水植物体内氮、磷蓄积量,分析了植物残体中营养盐的释放速率,为后期建立库区水动力水质模型提供了数据支持。

关键词: 棘洪滩水库; 水生植物; 氮、磷蓄积量; 营养盐释放速率

中图分类号: TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)15-0064-06

Aquatic Plants Survey and Analysis of Nutrients Load in Jihongtan Reservoir

GUO Xiao-ya¹, YU Jun², GE Jian-hua², WANG Lei¹

(1. Jiaodong Water Transfer Bureau of Shandong Province, Jinan 250100, China; 2. Administrative Office of Jihongtan Reservoir, Jiaodong Water Transfer Bureau of Shandong Province, Qingdao 266111, China)

Abstract: Species, coverage and existing biomass of aquatic plants in the Jihongtan Reservoir, which is the only storage reservoir in the Yellow River Diversion Project, were surveyed. The results showed that there were twelve species of aquatic plants in the reservoir, including nine species of submerged plants and three species of emergent plants. The dominant species was *Hydrilla verticillata*. The release rate of nutrients in plant residues was analyzed based on the calculation of nitrogen and phosphorus accumulation in the nine species of submerged plants, to provide data supports to the subsequent development of the hydrodynamic water quality model.

Key words: Jihongtan Reservoir; aquatic plant; nitrogen and phosphorus accumulation; release rate of nutrients

棘洪滩水库是引黄济青工程唯一调蓄水库。近年来,受黄河中下游流域持续偏旱及库区周边地区用水量逐年增加的影响,棘洪滩水库蓄水量持续减少,库区水位显著下降。而棘洪滩水库库区全年水质为Ⅲ类地表水,平均透明度在2 m左右,水下光场强度足以满足高等水生植物的生长需求;再加上水库所在地为平原,库区底部地势平坦,这些因素共同导致近年来水生植物尤其是沉水植物在库区内大面积生长。

高等水生植物在维持健康的淡水生态系统方面

具有积极的作用,但是库区内水生植物如果大量增殖而加管理,任其自然死亡分解,其分解产物将会造成水体浊度、电导率升高,溶解氧、pH值下降,进而对水生生物的生长产生不利影响^[1];营养盐的释放则会增加水体富营养化风险,进而影响库区内的氮、磷循环及迁移转化过程^[2];上述因素的综合作用会对库区水质造成不利影响。此外,大面积、高密度的水生植被也会影响库区水体流动。棘洪滩水库作为青岛地区的重要水源地,其水质安全意义重大,因此非常有必要针对近年来库区内水生植物大量生

长的现象开展相关研究工作,准确评价当前库区内水生植物的生长和分布情况。

笔者通过现场采样调查,对库区内水生植被进行全面评价,掌握目前水库中水生植物群落的物种组成、生物量、盖度;结合试验数据,评价水生植物自然衰亡过程的氮、磷营养盐释放储量;分析计算库区水生植物残体释放营养物对库区水质的动态影响过程,为水库运行管理和水质安全保障提供参数支撑。

1 调查范围及时间

棘洪滩水库是山东省引黄济青工程下游调蓄水库。水库库区面积为 14.42 km²,围坝长为 14.28 km,设计水位为 14.2 m,总库容为 1.58 × 10⁸ m³,是中国目前最大的平原型水库,青岛地区的重要水源地。此次调查范围为水库库区 14.42 km² 内全部水域面积,呈八角形。棘洪滩水库水生植物调查时间为 2016 年 9 月下旬。

2 调查方法

2.1 网格划分

棘洪滩水库网格划分结果见图 1。



图 1 棘洪滩水库网格划分

Fig. 1 Grid partition of Jihongtan Reservoir

结合棘洪滩水库的面积、形状等整体形态特征,对库区进行了 400 m × 500 m 的网格划分。共将棘洪滩水库库区划分为 51 个网格,并间隔选取其中 26 个网格作为调查点进行详细的样方调查。在现场调查时,根据库区内水生植物的分布情况,临时在原定的 13 号网格附近增加了一个调查点,记为 13+, 实际调查网格共计 27 个。调查区域总面积约为 7.6 km²,占库区总面积的 53%,网格 1 ~ 13、13+、14 ~ 26 的面积分别为 125 418、239 380、281 315、267 149、264 702、256 276、398 544、231 349、241 545、

324 385、261 800、258 157、258 471、404 940、388 791、215 441、220 318、317 348、264 409、256 838、277 517、369 474、219 805、505 867、314 995、351 435、86 508 m²。

调查主要内容为网格内水生植物物种组成、生物量、盖度以及水体理化指标。

2.2 采样方法

采用 GPS 对采样点进行精确定位。在到达预定的调查网格后,使用沉水植物定量采集器^[3]随机采集 3 个样方的水生植物,将每个样方内的所有水生植物进行现场分类和称重,获得每个采样单元的物种组成和生物量,以此代表该网格的物种组成和单位面积生物量;同时估算该网格内的水生植物覆盖率,结合各网格面积,计算得出全库区水生植物覆盖率和覆盖面积。

由于水生植物地下器官挖掘分离工作较困难,研究中采集水生植物地上部分进行生物量及氮、磷蓄积量调查。

2.3 水体理化指标测定方法

对每个采样点均测定水深和透明度;使用 YSI 多参数水质分析仪测定水温 (T)、pH 值、电导率、氧化还原电位 (ORP) 以及溶解性总固体含量 (TDS)。

2.4 水生植物氮、磷蓄积量测定方法

水生植物氮、磷蓄积量测定参照《土壤农化分析》(第 3 版)中的方法,氮、磷的测定分别采用奈氏比色法和钼锑抗分光光度法,每个水生植物样品测定 3 个重复以校准误差。

3 结果与讨论

3.1 水生植物物种组成与类型

通过网格调查发现棘洪滩水库库区共有水生植物 12 种,其中沉水植物 9 种、挺水植物 3 种,无浮叶植物生长分布。物种名录如下:马来眼子菜 (*Potamogeton malaianus*)、菹草 (*Potamogeton crispus*)、篦齿眼子菜 (*Potamogeton pectinatus*)、黑藻 (*Hydrilla verticillata*)、苦草 (*Vallisneria natans*)、大茨藻 (*Najas marina*)、穗花狐尾藻 (*Myriophyllum spicatum*)、金鱼藻 (*Ceratophyllum demersum*)、芦苇 (*Phragmites australis*)、香蒲 (*Typha orientalis*)、水蓼 (*Polygonum hydroper*)、轮藻 (*Chara*)。

黑藻的出现频率和相对生物量较其他物种略高,在库区 27 个网格调查点内均有分布,为棘洪滩水库 9 月份水生植被中的优势种;其次是穗花狐尾

藻和大茨藻,伴生于黑藻群落中;再次是篦齿眼子菜、马来眼子菜、金鱼藻和苦草,为偶见种。芦苇、香蒲、水蓼主要分布在库区内高出水面的裸地和东南部岸带,为库区内仅有的3种挺水植物。水生植物群落主要是以黑藻为优势种的单优群落,群落结构为黑藻+穗花狐尾藻或黑藻+大茨藻。

由于此次调查时间为9月下旬,菹草种群已经衰退,仅发现有少许菹草,但6月份的库区水生植物群落以菹草为绝对优势种,并且调查中也发现了已经萌发的菹草休眠芽。

3.2 水生植物空间分布

3.2.1 覆盖面积

除物种类型外,水生植物在库区内的覆盖面积也是影响库区水质状况的重要因素。根据获得的各调查网格水生植被覆盖率以及网格面积,通过加权平均得到全库区植被覆盖率和覆盖面积。网格1~13、13+、14~26的水生植被覆盖率分别为0.9、0.5、0.7、0.2、0.3、0.05、0.05、0.2、0.5、0.85、0.6、0.3、0.05、0.8、0.35、0.05、1.0、0.6、0.3、0.5、0.1、0.3、0.01、0.9、0.05、0.05、0.1,植被面积分别为112 876.2、119 690、196 920.5、53 429.8、79 410.6、12 813.8、19 927.2、46 269.8、120 772.5、275 727.25、157 080、77 447.1、12 923.55、323 952、136 076.85、10 772.05、220 318、190 408.8、79 322.7、128 419、27 751.7、110 842.2、2 198.05、455 280.3、15 749.75、17 571.75、8 650.8 m²,植被面积合计为3 012 602.25 m²。

计算得出库区内现有水生植被覆盖率为39.63%,覆盖面积约为5.71 km²。库区内不同区域水生植被覆盖率差异性较大,目前北部和中东部的植被覆盖率较高,南部和西北部罕有水生植物发现。这主要是由于库区管理局为了保障水库的进水和出水水质,定期对位于库区西北部的进水口和位于南部的取水口周边区域水生植物进行人工打捞造成的。

3.2.2 生物量

生物量是指某一时间单位面积或体积栖息地内所含一个或一个以上生物种,或所含一个生物群落中所有生物种的总个数或总干质量(包括生物体内所存食物的质量)^[4]。由于植物群落中各种群的植物量很难测定,地下器官的挖掘分离工作也非常艰巨,故常用地上部分生物量进行调查统计,来判断样

方内各种群生物量在总生物量中所占比例^[5]。

棘洪滩水库库区内水生植物分布不均,除去在某些调查点(4号和7号)极少有水生植物分布,样方生物量为零外,在有水生植物生长覆盖的区域中,以黑藻+穗花狐尾藻为群落结构的单位面积生物量最高,最高值达到26 kg/m²;以穗花狐尾藻+金鱼藻为群落结构的单位面积生物量最低,最低值为0.35 kg/m²;水生植被覆盖区域的平均单位面积生物量为6.27 kg/m²。

根据各个调查网格面积和网格内水生植物的平均单位面积生物量进行加权平均计算,可以得到库区内有水生植被覆盖区域的平均单位面积生物量为7.46 kg/m²,全库区现有水生植物总生物量为4.26 × 10⁴ t。

由于整个库区的水生植物生物量空间分布不均匀且调查点偏多,根据每个采样点的单位面积生物量实测值,使用插值法^[6]对整个库区进行空间分析,结果见图2。

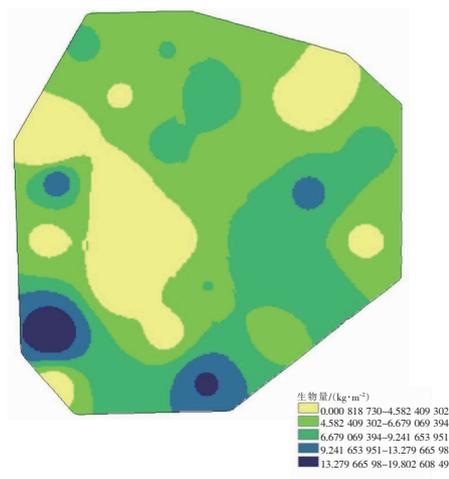


图2 棘洪滩水库水生植物单位面积生物量空间分布

Fig.2 Spatial distribution of biomass per unit area of aquatic plants in Jihongtan Reservoir

由图2可以看出,库区水生植物单位面积生物量最高的位置集中在西南部和南部的部分区域,并且在库区西南角和南部取水口附近出现最高值;而单位面积生物量较低的位置集中在库区西北部进水口、西侧中部,以及东北角的部分区域。相对于南部来说,北部的生物量分布较为均一,东部生物量略高于北部,而西部生物量分布最为不均,这是由于近期库区对西部实施了人工打捞措施。棘洪滩水库库区内水生植物生物量的整体趋势为南部高于北部。除

现存生物量外,相对生物量(该种的生物量与群落中所有种的生物量之比)更能体现库区各种水生植物类群的对比状况。

结果表明,在库区各种水生植物中,黑藻对整体生物量的贡献最大,相对生物量高达 58.79%;其次是穗花狐尾藻,相对生物量为 20.94%;这两类植物占到库区全部水生植物生物量的近 80%。轮藻的相对生物量为 8.64%;大茨藻的相对生物量为 5.55%;其余约占 6% 的生物量由篦齿眼子菜、马来

眼子菜、金鱼藻、苦草和菹草组成。

3.3 水体理化指标

导致植物腐烂分解的因素有很多,包括植物自身的性质、环境的化学性质及物理性质等,不同的理化条件对于植物腐烂分解的影响也不同,为增加研究的严谨性与准确度,调查中测定了棘洪滩水库库区内的 27 个调查点位的水体理化指标,共 7 项,包括水深、透明度、水温、pH 值、氧化还原电位、电导率以及溶解性总固体含量,结果如表 1 所示。

表 1 棘洪滩水库各网格区域水质

Tab. 1 Quality of per grid of Jihongtan Reservoir

网格	水深/m	透明度/m	水温/℃	pH 值	ORP/mV	电导率/ ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)	TDS/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
1	3.7	1.7	23.4	8.58	146.7	1 030	689
2	4.0	1.7	23.2	8.46	154.1	1 008	676
3	4.2	1.8	23.7	8.44	152.6	1 100	728
4	5.6	2.2	23.4	8.59	150.9	1 088	728
5	4.2	2.1	24.0	8.64	145.9	1 038	689
6	3.0	1.2	24.0	8.45	144.1	1 005	669.5
7	4.0	0.7	23.7	8.39	143.5	996	663
8	4.3	1.7	23.8	8.48	147.7	1 008	669.5
9	3.4	1.9	25.0	8.84	133.5	1 111	708.5
10	3.1	2.8	23.4	8.51	149.4	1 107	741
11	4.4	2.2	23.2	8.41	159.6	1 072	721.5
12	5.5	2.5	23.7	8.49	150.5	1 037	689
13	2.6	1.8	23.7	8.49	153.6	1 010	676
13 +	2.5	1.9	24.8	8.53	147.3	1 014	663
14	3.9	1.5	23.8	8.80	149.6	1 053	702
15	4.7	2.0	23.6	8.88	149.5	1 038	695.5
16	4.2	2.5	24.0	8.82	147.0	1 095	721.5
17	3.2	1.8	25.5	8.96	134.3	1 193	767
18	2.6	1.9	24.0	9.14	134.0	1 234	806
19	4.4	1.8	24.0	9.04	141.3	1 160	767
20	5.5	1.6	23.5	8.77	150.8	1 043	695.5
21	3.2	1.8	23.7	8.71	151.1	1 096	728
22	4.5	1.8	23.5	8.72	150.9	1 079	728
23	3.9	2.2	24.6	9.15	138.7	1 189	780
24	5.6	1.5	23.3	8.71	151.2	1 118	747.5
25	3.9	1.7	23.2	8.71	151.1	1 081	728
26	4.5	1.7	23.2	8.71	151.8	1 099	741
均值	4.02	1.85	23.8	8.68	147.4	1 077.9	715.5

由表 1 可以得到,全库区平均水深为 4.02 m、水体透明度平均为 1.85 m、9 月份平均水温为 23.8℃、水体 pH 值平均为 8.68、ORP 均值为 147.4 mV、电导率均值为 1 077.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、TDS 均值为 715.5 mg/L 。

3.4 库区水生植物中氮、磷含量

棘洪滩水库中 9 种沉水植物体内氮、磷蓄积量^[7,8]测定结果如表 2 所示。可知,目前棘洪滩水库内沉水植物总干质量为 4 057.39 t、N 蓄积量为 106.34 t、P 蓄积量为 14.25 t。黑藻是棘洪滩水库

水生植物氮、磷蓄积量的主要贡献者,贡献率分别为68.75%和70.22%。

表2 棘洪滩水库沉水植物干质量及氮、磷蓄积量

Tab.2 Dry weight, nitrogen and phosphorus accumulation of submerged macrophytes in Jihongtan Reservoir

项 目	生物量干质量	N 蓄积量	P 蓄积量
黑藻	2 506.28	73.11	10.00
穗花狐尾藻	803.364 3	16.58	2.21
轮藻	257.760 3	4.44	0.55
大茨藻	236.608	5.53	0.78
马来眼子菜	125.245	3.75	0.33
篦齿眼子菜	100.756	2.18	0.27
金鱼藻	13.204	0.31	0.06
苦草	10.296	0.34	0.04
菹草	3.873	0.10	0.01
合计	4 057.39	106.34	14.25

3.5 营养盐释放速率

由于棘洪滩水库秋、冬季水温下降明显,长时间处于低温状态,沉水植物开始衰亡后无法完全分解,大量营养盐仍残留在植物残体,到翌年春天,沉水植物残体才开始随着水温的升高而迅速腐解,将营养盐释放到水体。由于目前库区内沉水植被以黑藻为绝对优势种,并且黑藻残体对释放氮、磷的贡献值也最高,在计算营养盐释放速率时,调查将库区内的沉水植物全部概化为黑藻。实际情况中,水生植物残体中的氮、磷无法实现完全分解释放,根据原位试验和模拟试验结果计算,以棘洪滩水库目前的沉水植物群落组成和生物量核算,翌年春季初期其植物残体将向水体中释放氮 86.79 t、磷 12.24 t。

根据模拟结果,黑藻残体向水体中释放营养盐的速率和持续时间如表3所示。水生植物残体向水体中释放营养盐是一个复杂的动态平衡过程^[2]:首先,在残体分解释放初期,持续7~10 d,水体中营养盐浓度将较快升高,随后释放速率有所下降;同时残体释放到水体中的营养盐还将参与到整个水生生态系统内的物质循环,一部分逐渐沉积到底泥中,长期处于低氧或厌氧状态,累积效应明显,另一部分被水生生态系统内的其他生物所消耗^[9],致使水体中的营养盐浓度出现下降趋势;最终植物残体中仍有部分含氮、磷物质无法被完全分解。如果对水生植物的大量增殖不加管理,任其自由腐烂,则释放的氮、磷营养盐易加剧水体的富营养化程度,导致水体溶解氧、pH值显著降低,浊度显著升高^[10],对水库水质造成

较大不利影响,进而影响棘洪滩水库作为饮用水水源地的使用功能。

表3 植物残体中营养盐释放速率

Tab.3 Nutrient release rate in plant residues

时间/d	释放速率/(mg · m ⁻² · d ⁻¹)		
	TP	TN	NH ₃ - N
1	5.646	39.430	14.270
2	5.646	39.430	14.270
3	5.646	39.430	14.270
4	5.646	39.430	14.270
5	5.646	39.430	14.270
6	5.646	39.430	14.270
7	5.646	39.430	14.270
8	0	7.186	18.866
9	0	7.186	18.866
10	0	7.186	18.866
11	0	7.186	18.866
12	0	7.186	18.866
13	0	7.186	18.866
14	0	7.186	18.866
15	0	0	2.470
16	0	0	2.470
17	0	0	2.470
18	0	0	2.470
19	0	0	2.470
20	0	0	2.470
21	0	0	2.470

4 结论

调查发现,棘洪滩水库共有12种水生植物,其中优势种为黑藻(*Hydrilla verticillata*),其次是穗花狐尾藻(*Miriophyllum spicatum*)。

库区现有水生植物覆盖面积为5.71 km²,水生植物覆盖率为39.63%,全库区生物量达4.26 × 10⁴ t,空间分布不均。全库区平均水深为4.02 m,水体透明度均值为1.85 m,9月份平均水温为23.8℃,水体pH均值为8.68,ORP均值为147.4 mV,电导率均值为1 077.9 μS/cm, TDS均值为715.5 mg/L。

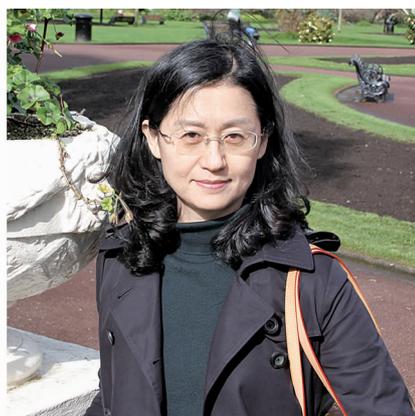
库区由沉水植物积累的氮、磷含量分别约为106.34和14.25 t,至翌年春季约有86.79 t氮和12.24 t磷从植物残体中释放。但是,释放的氮、磷并不完全进入水体,大部分磷将沉积到库区底泥中,氮将参加更复杂的化学循环,此外库区内沉水植物在春季的复苏生长也将吸收部分氮、磷。

水生植物残体营养盐释放对棘洪滩水库供水水质存在不利影响,建议采用割草船对全库区范围内

水生植物进行定期割除和打捞,以防止水生植物过度增殖及其残体营养盐释放,为确保青岛市供水水质安全提供保障。

参考文献:

- [1] 刘丽贞,秦伯强,朱广伟,等. 太湖蓝藻死亡腐烂产物对狐尾藻和水质的影响[J]. 生态学报,2012,32(10):3154-3159.
Liu Lizhen, Qin Boqiang, Zhu Guangwei, *et al.* Effect of decomposition products of *Cyanobacteria* on *Myriophyllum spicatum* and water quality in Lake Taihu, China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(10): 3154-3159 (in Chinese).
- [2] 唐金艳,曹培培,徐驰,等. 水生植物腐烂分解对水质的影响[J]. 应用生态学报,2013,24(1):83-89.
Tang Jinyan, Cao Peipei, Xu Chi, *et al.* Effects of aquatic plants during their decay and decomposition on water quality [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24(1): 83-89 (in Chinese).
- [3] 牛海玉,陈纯,韩博平. 基于浓缩法的浮游植物定量数据稳定性与可靠性分析[J]. 湖泊科学,2015,27(5):776-782.
Niu Haiyu, Chen Chun, Han Boping. Quality and reliability of quantifying phytoplankton abundance and biomass data based upon the concentrated water sample method [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2015, 27(5): 776-782 (in Chinese).
- [4] 储昭升,叶碧碧,田桂平,等. 洱海沉水植物空间分布及生物量估算[J]. 环境科学研究,2014,27(1):1-5.
Chu Zhaosheng, Ye Bibi, Tian Guiping, *et al.* Spatial distribution characteristics and estimation of submerged plant biomass in Lake Erhai [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2014, 27(1): 1-5 (in Chinese).
- [5] 张远,陈立斌,渠晓东,等. 辽宁太子河大型水生植物的群落特征及其与环境的关系[J]. 植物科学学报,2011,29(5):552-560.
Zhang Yuan, Chen Libin, Qu Xiaodong, *et al.* Environmental factors and community characteristics of aquatic macrophytes in Taizi River tributaries of Liaoning Province [J]. *Plant Science Journal*, 2011, 29(5): 552-560 (in Chinese).
- [6] 李昆,王玲,李兆华,等. 丰水期洪湖水水质空间变异特征及驱动力分析[J]. 环境科学,2015,36(4):1286-1292.
Li Kun, Wang Ling, Li Zhaohua, *et al.* Spatial variability characteristics of water quality and its driving forces in Honghu Lake during high water-level period [J]. *Environmental Science*, 2015, 36(4): 1286-1292 (in Chinese).
- [7] Sundborg A. Some aspects of fluvial sediments and fluvial morphology general views and graphic methods [J]. *Geografiska Annaler*, 1967, 49(2/4): 333-343.
- [8] Horppila J, Nurminen L. Effects of different macrophyte growth forms on sediment and P resuspension in a shallow lake [J]. *Hydrobiologia*, 2005, 545(1): 167-175.
- [9] 潘慧云,徐小花,高士祥. 沉水植物衰亡过程中营养盐的释放过程及规律[J]. 环境科学研究,2008,21(1):64-68.
Pan Huiyun, Xu Xiaohua, Gao Shixiang. Study on process of nutrition release during the decay of submerged macrophytes [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2008, 21(1): 64-68 (in Chinese).
- [10] 张菊,邓焕广,王东启,等. 不同温度条件下徒骇河沉水植物腐烂对上覆水体中营养盐浓度的影响[J]. 水资源保护,2011,27(4):22-26.
Zhang Ju, Deng Huanguang, Wang Dongqi, *et al.* Impacts of decomposition of submerged plants on nutrient concentrations in overlying water in Tuhai River under different temperatures [J]. *Water Resources Protection*, 2011, 27(4): 22-26 (in Chinese).



作者简介:郭小雅(1966-),女,山东青岛人,大学本科,高工,从事水质保护工作。

E-mail: gxy66110@163.com

收稿日期:2018-03-12