

库底土壤物质溶出对水库正常蓄水初期水质的影响

吴云鑫

(浙江大学 建筑工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘要: 现场选取太湖流域老虎潭水库砂壤质竹林地、水田土壤和库区天然来水样本, 进行水库正常蓄水初期模拟实验, 分析研究了库水中 pH 值、DO、COD_{Cr}、BOD、氮、磷及氟化物等组分在 60 d 内的动态变化及特征。实验结果表明, 库底竹林地和水田地土壤在浸泡过程中会导致库水中 pH 值和 DO 的降低, COD_{Cr}、BOD₅、氮、磷及氟化物等组分的含量则会增大。相对而言, 竹林地土壤对水库水质的影响比水田地土壤要严重, 建议对竹林地土壤采取相应处理措施。

关键词: 竹林地; 水田地; 土壤物质; 水库; 蓄水初期

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)03-0069-04

中图分类号: P431.1

Impacts on Water Quality by Nutrient Dissolving of Submerged Soil at Initial Stage of Reservoir Normal Impoundment

WU Yun-xin

(Architecture and Engineering, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310027, China)

Abstract: The submerged soil may dissolve in water and influence water quality when a reservoir begins to run. The Laohutan Reservoir in Taihu Lake basin is taken as an example. In order to study the dynamic features of reservoir water about pH, DO, COD_{Cr}, BOD, nitrogen, phosphorus, and fluoride within 60 days, after taking samples from bamboo soil, paddy soil, and natural water on site, a simulation experiment is carried on. Results reveal that soaking bamboo land and paddy field soil lead to the reduction of the pH and DO in water and however, the contents of COD_{Cr}, BOD, nitrogen, phosphorus, and fluoride are increased. Compared to the paddy soil, bamboo soil impacts reservoir water quality more seriously. This is why we recommend taking corresponding treatment measures for bamboo soil.

Keywords: bamboo land; paddy land; soil material; reservoir; water initial impoundment stage

太湖流域人口密集, 经济发达, 水质性缺水已成为制约当地经济社会持续发展的瓶颈, 建设供水水源水库是当前解决该问题的主要工程措施。水库的建设一般需要占用大量的水田和竹林地。从技术经济学的角度出发, 库底一般不设置人工防渗隔层, 仅对淹没区的淹没物进行简单清理和消毒, 利用现有地面(地基)作为水库基底。大量水库工程实例表明, 水田对水库初期蓄水水质影响不大。而目前太湖流域水库库区许多都涉及竹林地, 且普遍栽培笋用竹种, 为促进竹笋早出高产大量施用化肥。

因此, 基底竹林地土壤中有有机质、氮、磷及重金属的含量和与水体交换进度、程度, 对水库蓄水后水质影响很大, 进而影响水库的功能和效益, 特别是初期功能、效益的发挥。本文针对竹林地对水库水质的影响, 以老虎潭水库砂壤质竹林地土壤为例, 进行模拟

实验研究, 为太湖流域的水库建设工作提供指导性数据。

1 研究区概况

正在建设中的湖州市老虎潭水库, 位于浙江省湖州市东苕溪支流的上游, 是一座集防洪、供水和灌溉的中型水库。老虎潭水库坝址以上集水面积 110 km², 涉及湖州市吴兴区的埭溪镇和德清县的莫干山镇两个乡镇。水库总库容 9.966 × 10⁷ m³, 正常蓄水量 7.207 × 10⁷ m³, 建成后日供水量 2.2 × 10⁶ m³, 年供水量 6.342 × 10⁷ m³, 将成为湖州中心城市生活和生产的主要供应水源。水库淹没影响土地 537 hm², 根据水库建设前地质勘察结果分析, 库底土壤普遍为砂壤土, 其中竹林地近 125.2 hm², 水田 340.2 hm²。竹林地栽培笋用竹种在 15 a 左右。

2 模拟实验过程与方法

2.1 土壤样品的采集与分析

根据调查,库区埭溪镇和莫干山镇在水田和竹林地施肥方式和施肥水平上存在一定差异,因此在两地各选取一个土样采集区。

采样小区按梅花型布点,各取 5 个样,考虑到土壤主要组分分层含量及对水质的影响均随深度增大而变小,采样深度为 0—50 cm。所取 2 组各 5 个样品带回实验室,风干、研磨后,每组 5 个样本各取等重

量土壤过 3 mm 筛后,均匀混合^[1],接着对每组按两地竹林地面积数量比例取相应比例重量土壤混合,再对混合样土壤进行分析。同时,采用相同方法对水田土壤取样实验分析作为对比。

对上述土样采用《农田土壤环境质量监测技术规范》中规定的标准方法进行分析。其中,有机质测定采用低温外热重铬酸钾氧化—比色法,总氮与总磷的测定采用半微量开氏法和钼锑抗光度法,铵态氮的测定采用靛酚蓝比色法。土壤样品的监测项目共 18 项,针对该区域实际,摘录 12 项结果列入表 1。

表 1 老虎潭水库淹没区土壤分析结果

土样	pH	总磷/ (g·kg ⁻¹)	总氮/ (g·kg ⁻¹)	总有 机碳/ %	总有 机质/ %	铵态氮/ (mg·kg ⁻¹)	Cr/ (μg·g ⁻¹)	Zn/ (μg·g ⁻¹)	Cd/ (μg·g ⁻¹)	Pb/ (μg·g ⁻¹)	Hg/ (μg·g ⁻¹)	As/ (μg·g ⁻¹)
竹林	6.31	1.95	1.52	2.09	3.6	44.56	39.5	101	0.23	36.8	0.2	6.37
水田	5.32	0.86	1.42	1.00	1.73	27.76	33.4	57.7	0.15	33.4	0.16	2.88
一级标准	—	—	—	—	—	—	90.0	100.0	0.20	35.0	0.15	15.00

按《土壤环境质量标准》(GB15618-1995)和土壤背景值对分析结果进行评价。与太湖流域水稻土磷背景值(0.53 ±0.006 g/kg)和该处水田土壤(0.86 g/kg)相比,竹林土总磷含量分别高出 264% 和 127%;竹林地的有机质含量也较水田高出 1 倍;并且竹林地总氮含量也明显高于水田土,达 60.5%。竹林、水田土壤的锌、镉、铅、汞含量则略高于一级土壤质量标准。不过,考虑到取样地点离公路偏近(受汽车尾气排放污染物的影响),结合后续的浸泡实验分析,重金属元素及氰化物等项目含量均不超标。

2.2 土壤浸泡试验

模拟水库蓄水后的状况,按 18:1 的水、土重量之比(按正常蓄水位时水库淹没土壤面积和水库水量计算确定)进行土壤浸泡实验,浸泡用水取自水库上游河道现状来水,分别浸泡 1, 5, 10, 20, 30, 40, 60 d,浸泡期间,适当地对容器进行轻微振荡。将竹林地土壤样本分别浸泡 1, 5, 10, 20, 30, 40, 60 d 后取出上层浸出液进行水质监测。水质监测方法根据《水和废水监测分析方法指南》^[2]。

3 结果与讨论

库底竹林地和水田地土壤浸泡时间对水体 pH 值和 DO 的影响如图 1 所示。由图 1 可知,两种土壤在浸泡时都导致原水 pH 值从 9.22 迅速下降到 7 左右,在第 5 d 时 pH 均降到了 6 以下,其后浸泡水体 pH 值缓慢上升,基本保持在 7 左右的水平,这说明两种土壤均呈酸性,这可能是由于土壤有机物腐败产生

的腐殖酸的溶解所导致的。虽然两种土壤对水体 pH 值影响差别较小,但相对而言,竹林地土壤对水体的 pH 值影响更大一些。

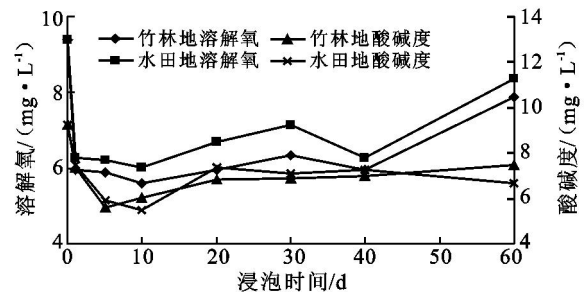


图 1 库底土壤浸泡时间对水体 pH 值和 DO 的影响
(其中 0 时刻的溶解氧为浸泡原水的指标,下同。)

对于水体 DO 的影响而言,两种土壤的加入均导致水体 DO 从 9.4 mg/L 迅速下降到 6 mg/L 左右,其后随浸泡时间而逐渐升高到 8 mg/L 左右,说明浸泡水体中所含有的有机物的耗氧量逐渐减小;相对而言,竹林地土壤浸泡过程中水体的 DO 更低,其 6.23 mg/L 的平均值比水田地的 6.71 mg/L 低了约 0.5 mg/L,这说明竹林地土壤浸泡过程中会释放更多的耗氧污染物。

库底竹林地和水田地土壤浸泡时间对水体 COD_{Cr} 和 BOD₅ 的影响如图 2 所示。

由图 2 可知,竹林地土壤开始浸泡时,水体 COD 从原水样的 3.99 mg/L 增加到 7 mg/L 以上,其后随着浸泡时间延长而逐渐增大,在第 40 d 时 COD_{Cr} 达到最大值 17.76 mg/L,第 60 d 时 COD 又有所下降,

这可能是由于水体中微生物滋生对 COD 的降解作用。水田地对水体的影响相对较小。在开始浸泡时 COD 增大到 6.75 mg/L,然后略有增大,在第 20 d 时达到最大值 8.97 mg/L,其后就逐渐降低,到第 60 d 时降到了 2.13 mg/L,这也说明水体中微生物滋生对 COD 的降解作用的存在。

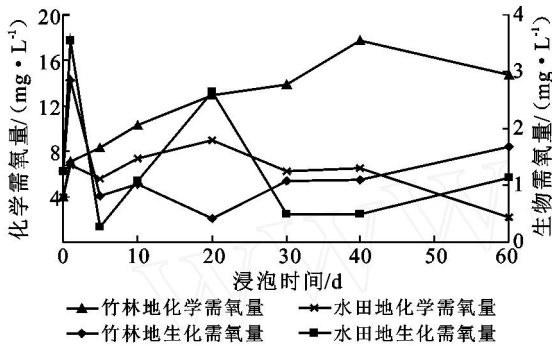


图 2 库底土壤浸泡时间对水体 COD_{Cr} 和 BOD₅ 的影响

分析土壤浸泡对 BOD 的影响可以看出,竹林地和水田地两种土壤对水体的 BOD 影响主要体现在浸泡的第 1 d,分别达到 2.85 mg/L 和 3.54 mg/L,其后水体的 BOD 值迅速降低到低于浸泡原水 BOD 的水平,说明 2 种土壤浸泡后的水体可生物降解性较差。相比较而言,竹林地土壤浸泡时间对水体的有机污染物的影响要大于水田地,这进一步验证了竹林地土壤浸泡时会释放更多耗氧污染物的观点。

库底竹林地和水田地土壤浸泡时间对水库水质较为敏感的指标如总氮、总磷、氨氮的影响如图 3 所示。由图 3 可知,库底土壤对总氮、总磷、氨氮等的影响主要发生在淹没初期,随着浸泡时间的增长,土壤中的污染物继续释放到水体并影响浸泡液的水质,但释放数量变少。

浸泡液中污染物的浓度大致呈逐渐增加的趋势。随着浸泡时间的增长,浸出液中能降解的污染物开始降解,溶解、交换、扩散与降解等作用不停地进行,最终趋向平衡。

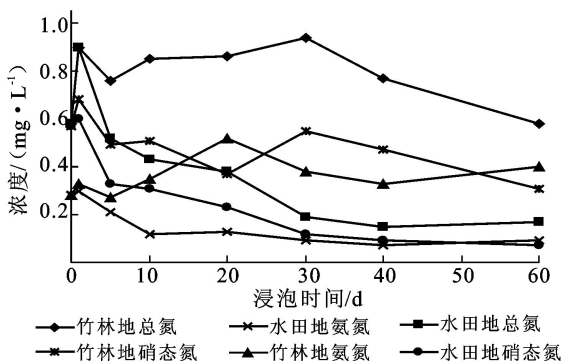


图 3 库底土壤浸泡时间对水体总氮、氨氮和硝态氮的影响

竹林地土壤在浸泡 1 d 后,浸泡液中总氮含量快速升高 0.55 倍,并在第 30 d 观测值再次形成高峰,再逐步回落,60 d 观测值基本等同于样本水中总氮含量,硝酸态氮 95% 以上以水溶态存在,其变化趋势基本与总氮变化趋势雷同。主要由于浸泡初期样本水体溶解氧含量较高,土壤—水体系有较高的氧化还原电位,同时由于硝化细菌作用,从而使 NO₃-N 含量快速增加;后期水体溶解氧含量降低,NO₃-N, NO₂-N 在厌氧反硝化过程中以 N₂, N₂O 和 NO 等气态形式逸出水体,水体总氮含量出现回落^[4]。

1 d 后,浸泡液中氨氮含量略有升高,到第 5 d 有所下降,可能是由于土壤虽有部分离子氨(NH₄⁺)溶出,但样本水中游离氨(NH₃)挥发大于溶出量,5 d 后氨氮含量逐步上升,至 20 d 出现峰值 0.52 mg/L,缓步回落再上升,至 60 d 再次测得次高值 0.4 mg/L,结合类似项目经验判断氨氮含量变化趋势已属稳定。其后期释放速率高于溶解性总氮也符合一般规律。

库底竹林地和水田地土壤浸泡时间对水库水质中 TP 和 F⁻ 的影响如图 4 所示。浸泡 1 d 后,浸泡液中总磷急剧上升 1 倍多,达到 0.15 mg/L,其后缓步上升,至第 20 d 观测值再次陡升,其后基本保持稳定,至第 60 d 观测值突升至 0.56 mg/L。从其变化趋势看,浸泡液总磷含量尚有一定上升空间,土壤总磷量达 1.95 g/kg。参考周边地区竹林土壤有效磷含量情况,该处地表厚 50 cm,土壤平均有效磷含量不会大于 300 mg/kg^[5],而水溶性磷含量一般占有效磷 5% 以下,土壤水溶性磷含量按 15 mg/kg 计,浸泡液总磷含量值上升空间已不大。浸泡初期由于水体 pH 值较高,土壤水溶性磷快速向水体释放,由于水体 pH 值降低磷释放速度有所减缓,随着水体溶解氧含量降低,磷的释放速度重新加快。另外,竹林地和水田地土壤均会造成水库水体 F⁻ 含量升高,在浸泡第 20 d 后,竹林地和水田地土壤浸泡水体中 F⁻ 含量分别达到 0.5 mg/L 和 0.35 mg/L 以后,趋于稳定,相对而言,竹林地土壤的影响更大。

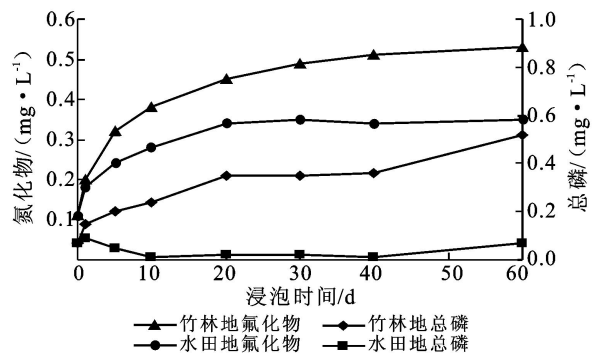


图 4 库底土壤浸泡时间对水体 TP 和 F⁻ 的影响

通过实验研究认为,该处库底的土壤在浸泡时,竹林地土壤比水田地土壤对水库水质的影响更严重,其原因可能是该处竹林大量施用复合肥和尿素等肥料。而复合肥具有氮、磷含量较高,尿素具有含氮量高等特点,长期施用的肥料部分被农作物吸收利用,另有部分在土壤中残留。当水库初蓄水时,残留在受淹土壤上的有机污染物和 N、P 受到来水浸泡,通过溶解、交换、扩散迁移到库水中,增加库水中相应成分的含量,将明显影响水库水质,并导致水库富营养化。根据 N、P 在土壤中积累主要集中在地表下 20 cm 以内土层^[4]的一般情况,建议对老虎潭水库竹林地表层 20 cm 以内土层清除、外运。

4 结论

(1) 以 60 d 作为浸泡变化稳定周期,竹林地和水田地土壤均会导致水库水体中耗氧污染物浓度的增加。相对而言,竹林地土壤对水库水体水质的影响更严重,这说明竹林地土壤会向水体中释放更多的耗氧污染物,导致水库水质变坏。

(2) 同等质量土壤浸泡液中,竹林地浸泡液中总氮含量是水田浸泡液的 3.41 倍,总磷含量是后者的 7.43 倍,氨氮含量是后者的 5.83 倍,高锰酸盐指数是后者 2.1 倍,而湖州市老虎潭水库库区竹林地面积约占库区淹没土地总面积的 19%,是水田的 0.36 倍。若采取常规库底清理方式,竹林地土壤物质释放对水库水质主要指标总氮、总磷、氨氮含量的影响将超过水田土壤,成为水库内源污染的首要因素。另外,根据水库入库水样水质指标分析,总氮含量略超地表类水要求,总磷含量已超 Ⅲ 类水要求。因此,在加强水库集水区污染物排放量控制和做好库底点污染源

及地表植物常规清理工作基础上,特别应及早开展竹林清理工作,将竹林地表层 20 cm 以内土层清除外运,减少竹林土壤营养物质向水体释放量,降低水体富营养化的风险。

(3) 竹林地和水田地土壤均会导致水库水体的 pH 值降低。由于水库库底清理中普遍大量使用生石灰,第一库水 pH 值一般较高,同时太湖流域水库一般设定在 4 月份下闸蓄水,随着库水位上升,下部水温逐步降低,而有实验表明,厌氧条件下,底泥中磷向水体释放,释放强度随 pH 值的升高而增大,且其释放强度随温度的升高而提前^[6];氮的释放与 pH 值、ORP、微生物和温度关系也非常密切^[4]。建议今后进行类似实验时予以重视。

[参 考 文 献]

- [1] 崔磊,郝芳华,许嘉琳,等. 水库蓄水初期库底土壤对水质影响的模拟实验研究[J]. 北京师范大学学报:自然科学版,2003,39(5):688-693.
- [2] 《水和废水监测分析方法指南》编委会. 水和废水监测分析方法指南(上册)[M]. 北京:中国环境科学出版社,1989.
- [3] 黄芳,蔡荣荣,孙达,等. 集约经营雷竹林地土壤氮素状况及氮平衡的估算[J]. 植物营养与肥料学报,2007,13(6):1193-1196.
- [4] 范成新,相崎守弘. 好氧和厌氧条件对霞浦湖沉积物—水体界面氮磷交换的影响[J]. 湖泊科学,1997,9(4):337-342.
- [5] 孙达,秦华,黄芳,等. 集约经营雷竹林地土壤磷素的时空变化[J]. 杭州:浙江林学院学报,2007,24(6):670-674.
- [6] 汪家权,孙亚敏,钱家忠,等. 巢湖底泥磷的释放模拟实验研究[J]. 环境科学学报,2002,22(6):738-742.