

储存温度以及材料对屋面雨水水质的影响

毕 凡 (同济大学环境科学与工程学院, 上海 200092)

摘要: 保障储存过程中屋面雨水水质是实现雨水高利用率的重要环节之一。文中采用测定污染物浓度和微生物浓度等方法考察储存温度以及储存材料对屋面雨水水质的影响。研究结果表明: 在储存 60 天时, 10℃、镀锌铁桶是更好的储存选择。在 10℃ 储存温度下, 储存水的污染物变化范围更小, 水质更为稳定; 镀锌铁桶中雨水 TOC、总氮等污染物浓度和波动性均优于其他两个储水桶, 储存水质更为稳定。储存 60 天后水质符合《城市污水再生利用城市杂用水水质》标准。

关键词: 屋面雨水; 储存; 温度; 材料; 稳定

近年来, 由于节水意识上升、城市暴雨径流问题恶化及环境友好型建筑蓬勃发展等多重原因, 雨水作为重要的淡水资源在世界范围内受到极大关注。典型屋面雨水系统涵盖屋顶集水面、屋面排水沟和落水管、初期雨水弃流装置、过滤系统、蓄水池和输配系统。雨水污染主要发生在降雨过程中, 该过程中雨水会吸收路径中的某些物质(颗粒物、胶体或者溶解物), 从而造成不同程度的水质变化。而由于降雨的时空分布不均, 常会对收集雨水进行短期或长期储存, 雨水储存技术成为雨水利用过程中的关键所在, 也是制约雨水综合利用发展的瓶颈之一。本研究系统地研究了不同温度、不同储存材料条件下储存雨水水质随时间的变化状况, 探究储存水中物理化学污染因子及微生物污染因子的迁移转化规律, 以期优化屋面雨水储存条件。

1 试验条件和方法

1.1 采样地点

本研究以本地同济大学某一层建筑屋面雨水为储存研究对象, 屋面材料为彩钢板材料, 集水槽为不锈钢材质, 落水管为 PVC 材质。屋面收集雨水经砂滤反应器预处理后进行储存

1.2 试验材料和分析方法

1.2.1 试验材料

本研究雨水储存罐材料分别为 PE (聚乙烯), 镀锌铁和混凝土, 体积 50L, 储存温度使用加热棒 (型号) 控制。本研究储存雨水来自于 2018 年 5 月 31 日降雨降雨历时 5h, 降雨强度 20mm/min。收集雨水水质见表 1。

表 1 屋面雨水主要污染物含量

Tab.1 Main Pollutant Content of Roof-harvested Rainwater

水质指标	$\text{NH}_4^+-\text{N}/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	浊度 / NTU	TOC/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	COD (mg/L)
浓度	1.67	11	3.35	8

1.2.2 分析方法

氨氮浓度测定采用纳什试剂分光光度法, 选用紫外可见光光度计 (UV2750); 浊度测定采用便携式浊度计 (2100Q); TOC 测定采用非分散红外吸收法 (GB 13193-91); COD 测定采用快速密闭催化消解法; ATP 采用 AQT200 水质采样棒采集水样, 使用快速荧光检测

仪 (3M Clean-Trace ATP, 美国) 进行测定; 16s rRNA 通过实时定量基因扩增荧光检测系统 (q-PCR) 测定 (7500 Applied Biosystems, 美国)。

1.3 试验方法

本试验将预处理后的出水作为储存水, 以体积为 50 L 的 PE (聚乙烯) 材质塑料桶为储存容器, 将 150 L 预处理后的屋面雨水等体积分装于 3 个相同的储存桶内。选取了 10℃、20℃、30℃ 三个温度条件, 采用可调温度的控温棒来控制温度。储存容器置于阴暗的室内。储存周期为 60 天, 取样周期为每两天进行取样分析, 测定浊度、氨氮 (NH_4^+-N)、硝酸盐氮 (NO_3^--N)、pH、 COD_{Mn} 、总有机碳 (TOC)、三磷酸腺苷 (ATP) 等指标, 进行分析。

2 试验结果与讨论

2.1 储存温度对屋面雨水水质的影响

2.1.1 不同储存温度中雨水中污染物浓度变化

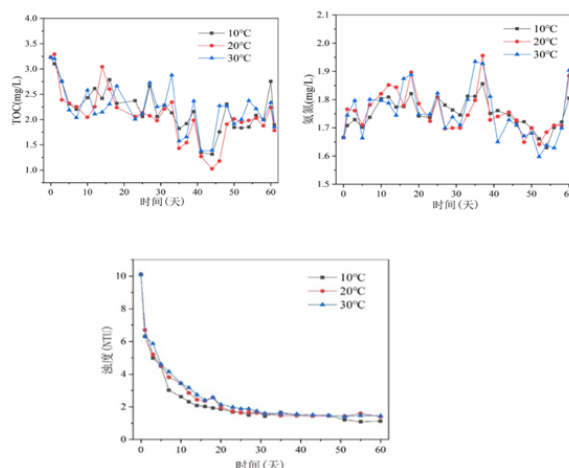


图 1 储存温度对屋面雨水中污染物浓度的影响

图 1 为不同储存温度条件下, 屋面雨水中氨氮, TOC 以及浊度的浓度变化。如图 1 所示, 在不同的温度条件下, 储存雨水的 NH_4^+-N 浓度在 60 天储存时间内有一定的波动, 且储存时间越长波动越大; 温度对储存水 NH_4^+-N 有一定的影响。10℃ 储存温度下, NH_4^+-N 浓度数据最集中稳定。随储存时间增加, 储存水的 TOC 浓度在 0-40 天时间内呈现总体下降趋势。在屋面雨水储存过程中, 浊度都会经历一个快速下降的阶段然后稳定在

较低的水平, 储存 5 天后浊度就能够达到洗车和扫除标准; 60 天后 10℃ 条件下屋面雨水的浊度最低。

从理论上分析, 温度越低, 微生物新陈代谢活动越弱, 氨氮的消耗和产生速度趋于缓慢。随着储存时间增加, 微生物消耗水中的溶解性有机物, TOC 浓度整体下降。由于静置作用, 储存水颗粒物下沉, 雨水的浊度不断降低。因而在三种储存温度条件下, 雨水中污染物浓度整体呈下降趋势, 但保持储存温度 10℃ 时, 储存水的污染物变化范围更小, 水质更为稳定。

2.1.2 不同储存温度对雨水中微生物的影响

本研究采用两种指标对雨水储存过程中总生物量进行表征, ATP (三磷酸腺苷) 和 16S rRNA 基因浓度。在屋面收集雨水微生物安全早期研究中三磷酸腺苷作为细胞及细菌的能量因子, 在一定程度上可以反应水中细菌的生存能力, 也可作为水中总细菌的反应参数, 且商业化的 ATP 检测方法操作简单且快速; 在许多研究中, 通过 qPCR 定量进行 16S rRNA 基因计数已被用于指示雨水和饮用水中的细菌总数。图 2 为不同储存温度条件下, 屋面雨水中微生物指标的变化。储存温度明显影响了储存雨水中微生物的生长, 20℃ 和 30℃ 条件下, 储存雨水 ATP 在储存前期快速升高, 储存 30 天以后 20℃ 雨水 ATP 更高, 10℃ 雨水 ATP 浓度较低, 储存 16 天后升高, 但仍低于另外两个水桶储存水。储存前期, 30℃ 储存雨水中 16s rRNA 水平快速升高, 14 天后开始下降; 20℃ 条件下, 储存 18 天后雨水 16s rRNA 水平快速增长, 于 30 天到达峰值后保持稳定; 雨水储存过程中 10℃ 储存雨水中 16s rRNA 水平稳定在较低水平, 储存 14 天到 20 天期间有所增加后保持稳定。

综合 ATP 和 16s rRNA 的数据表明, 温度对储存水微生物的增长有较大影响。10℃ 水桶储存水在储存初期微生物没太大变化甚至出现下降情况, 是因为 10℃ 不是微生物生长适宜的温度, 在适应环境后微生物才会缓慢增长; 20℃ 和 30℃ 水桶储存水微生物增长速度更快, 且微生物数量远大于 10℃ 水桶储存水, 在储存前 30 天 30℃ 水桶储存水微生物浓度更高, 储存后 30 天 20℃ 水桶储存水微生物增长上来; 在储存 45~50 天后, 储存水桶的微生物会出现一定程度的下降趋势。综上所述, 10℃ 水桶储存水微生物增长最为缓慢, 微生物浓度最低, 20℃ 和 30℃ 水桶储存水都会有较高的微生物浓度, 选择在较低温度下储存雨水是减少微生物滋生的有效选择。

2.2 储存材料对屋面雨水水质的影响

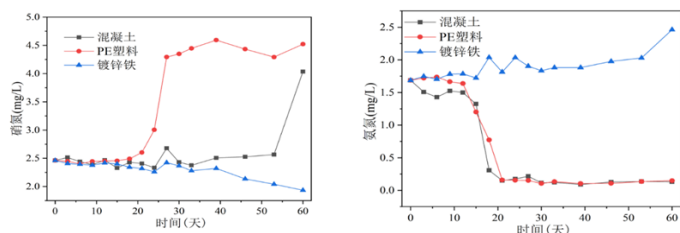
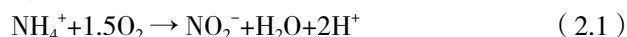


图 2 储存材料对屋面雨水中氨氮, 硝氮和亚硝氮浓度的影响

图 2 反应了不同储存材料中屋面雨水中氨氮, 硝氮和亚硝氮浓度的变化。从图 3 可以看出, 在储存过程中, 混凝土池储存水 NH_4^+-N 浓度降低而 NO_3^--N 浓度没有明显变化, 表明 NH_4^+-N 浓度的降低不是因为发生硝化反应, 混凝土池 pH 偏高不利于硝化反应的发生, 而是 NH_4^+-N 转化为其他形式的氮化合物或与混凝土材料发生了物理化学反应。PE 塑料桶储存水 NH_4^+-N 浓度降低而 NO_3^--N 浓度升高, 前后 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 浓度的总和没有明显变化, 说明储水桶里可能滋生了硝化菌, 发生了硝化反应导致氨氮浓度降低而硝酸盐氮浓度升高; 在 15~21 天时两种形态氮总和比前后都低, 表明 NH_4^+-N 可能先发生亚硝化反应转化为 NO_2^--N , 再硝化为 NO_3^--N , 反应式如下 2.1 与 2.2 所示。



镀锌铁桶储存水一直比较稳定, 在储存 40 天后 NH_4^+-N 浓度升高而 NO_3^--N 浓度降低, 但两种形态氮总和不变且变化不大, 说明有少部分 NO_3^--N 发生了反硝化反应生成了氨氮。

综合来看, 储存材料对储存水 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 有较大的影响, 混凝土池和 PE 塑料桶储存水 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 浓度发生了较大变化, 存在一些生物法反应导致两种形态氮的转变, 而镀锌铁桶储存水两种氮化合物并没有发生明显变化, 是更稳定的储存容器。

3 结论

通过对屋面雨水储存过程中不同温度、不同储存材料条件下水质随时间, 主要得到以下结论: 温度对储存水浊度、 NH_4^+-N 、TOC 等物理化学污染物指标不会造成明显的影响, 相对来说 10℃ 储存水的污染物变化范围更小, 水质更为稳定, 但在储存过程中都能达到城市杂用水水质标准; 储存材料会对储存水 NH_4^+-N 、 NO_3^--N 、TOC 等物理化学污染物指标造成明显的影响, 混凝土池储存水在储存过程中 pH 升高 (平均 9.3), 超过城市杂用水水质标准, NH_4^+-N 浓度降低, PE 塑料桶储存水 NH_4^+-N 会转化为 NO_3^--N , 镀锌铁桶储存水质更为稳定, 且 TOC、总氮等污染物浓度和波动性均优于其他两个储水桶。本试验研究的因素里, 对于本试验研究所取屋面雨水的储存, 在储存 60 天时, 10℃、镀锌铁桶是更好的储存选择。

参考文献:

- [1] HAMILTON K, REYNEKE B, WASO M, et al. A global review of the microbiological quality and potential health risks associated with roof-harvested rainwater tanks [J]. NPJ Clean Water, 2019, 2(1): 1-18.
- [2] 李微. 短程反硝化除磷脱氮工艺与微生物特性研究 [D]. 沈阳: 东北大学, 2013: 45-58
- [3] 李绪谦, 朱雅宁, 于光, 等. pH 值影响下 NH_4^+-N 在弱透水层迁移转化的实验研究 [J]. 水资源保护, 2011, 27(04): 10-14.