

污水土地好氧生物过滤系统反冲洗效果研究

郭一令, 杜亚南 (青岛理工大学环境与市政工程学院, 山东青岛 266033)

摘要 [目的] 研究反冲洗对污水土地好氧生物过滤系统的影响。[方法] 在流量 $1.4 \text{ m}^3/\text{d}$ 和曝气量 $1.8 \text{ m}^3/\text{h}$ 的条件下, 以海泊河污水厂初沉池出水为试验进水, 系统 19 d 完成挂膜。在气冲强度 $13.9 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 水冲强度 $0.1 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 的条件下, 研究系统不同反冲洗周期(4、8 d)和反冲洗时间(1、2、4、6 min)下进出水 COD 和氨氮含量。[结果] 4 d 周期反冲洗 4、2、1 min 对系统生物膜破坏较小, 平均出水 COD 含量为 $76.0 \text{ mg}/\text{L}$, 出水氨氮含量均在 $5 \text{ mg}/\text{L}$ 以下, 维持系统连续运行 28 d。在 8 d 反冲洗周期中, 反冲洗 1、2、4 min 后平均出水 COD 含量为 $93.0 \text{ mg}/\text{L}$, 氨氮含量为 $6.8 \text{ mg}/\text{L}$, 与 4 d 周期时出水相比略高; 反冲洗 6 min 后, 系统生物膜受到一定程度的破坏, 出水 COD 和氨氮分别上升至 130.8 和 $14.1 \text{ mg}/\text{L}$, 系统恢复需要 4 d。[结论] 建议对类似系统 4~8 d 进行 1 次 4 min 的反冲洗, 如果出现堵塞可进行 6 min 反冲洗。

关键词 污水土地处理; 好氧生物过滤; 反冲洗周期; 反冲洗时间

中图分类号 S181 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2016)33-0057-04

Effect of Backflush on Sewage Land Aerobic Biological Filtration System

GUO Yi-ling, DU Ya-nan (School of Environmental and Municipal Engineering, Qingdao University of Technology, Qingdao, Shandong 266033)

Abstract [Objective] The aim was to study effects of backflush on sewage land aerobic biological filtration system. [Method] In the flow of $1.4 \text{ m}^3/\text{d}$ and aeration $1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, the water test conditions to primary sedimentation tank effluent of Haibohe wastewater treatment plant, bio-film had been completed for 19 days in the system, the effluent COD removal rate reached 80%. Under the condition that in air impact strength $13.9 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, water impact strength $0.1 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, we studied the removal efficiency of COD and NH_4^+-N of the system with different backflushing interval (4, 8 d) and backflushing time (1, 2, 4, 6 min). [Result] The results showed that: under the conditions that backflushing interval 4 d and backflushing time (1, 2, 4 min), the biofilm was less damaged, the effluent average COD was $76 \text{ mg}/\text{L}$ and NH_4^+-N was lower than $5 \text{ mg}/\text{L}$, the system could run for 28 days. Under the conditions that backflushing interval 8 d and (1, 2, 4 min), the effluent average COD was $93.0 \text{ mg}/\text{L}$ and NH_4^+-N was $6.8 \text{ mg}/\text{L}$, and the effluent was slightly higher than that of the 4 day period; in backflushing time 6 min, the system biofilm certain degree of damage, the effluent COD and NH_4^+-N increased to $130.8 \text{ mg}/\text{L}$ and $14.1 \text{ mg}/\text{L}$, it should take 4 days to recover the system. [Conclusion] 4 min backflush is recommended for similar system 4-8 d, 6 min backflush should be carried out if there is a blockage.

Key words Wastewater land treatment; Aerobic biological filtration; Backflushing interval; Backflushing time

污水土地好氧生物过滤系统^[1]是对传统污水土地处理系统的升级, 通过强制曝气, 利用土壤-微生物-植物生态系统的自我净化和调控机制, 通过一系列的物理、化学和生物作用, 使污水得到净化, 并对污水中的氮、磷等资源加以利用的一种污水处理技术。与其他污水处理系统相比, 其具有投资低、运行简便等优点, 但由于土地好氧生物过滤系统运行过程中生物膜的过量增殖和老化, 导致处理效率降低以及滤料对污水悬浮物的不断截留, 从而使系统的水头损失增加, 沟流现象加重^[2], 出水效果变差, 甚至会导致滤池堵塞、系统瘫痪^[3-6]。因此, 须通过定期反冲洗^[7-8]维持系统的连续高效运行。然而, 不恰当的反冲时间、强度和周期都会影响系统运转, 反冲洗不足易使系统堵塞、生物膜腐化影响出水; 反冲洗过度会使生物膜遭受破坏, 影响出水水质。笔者以海泊河污水厂初沉池出水为进水, 研究了土地好氧生物过滤系统反冲洗时间、强度和周期。

1 材料与方

1.1 试验装置与材料 试验装置为升流式污水土地好氧生物过滤系统, 填料为天然碎石, 直径 3~5 cm, 高 2.5 m, 实际填料高度 2.0 m, 直径 1.6 m, 孔隙率 50%, 有效容积 2 m^3 。进水管、曝气管平行布置在池体底端, 进水管采用 DN 20 的 PE 管, 在 PE 管斜向下 45° 开 10 mm 的布水孔, 间距为

40 cm, 共 8 个布水孔, 呈“十”字形布置。曝气管和反冲洗管为同一管路采用 DN 40 的 PE 管, 开 12 mm 孔作为布气孔, 共 80 个, 平均分布于 3 条平行的进气管上。试验装置如图 1 所示。

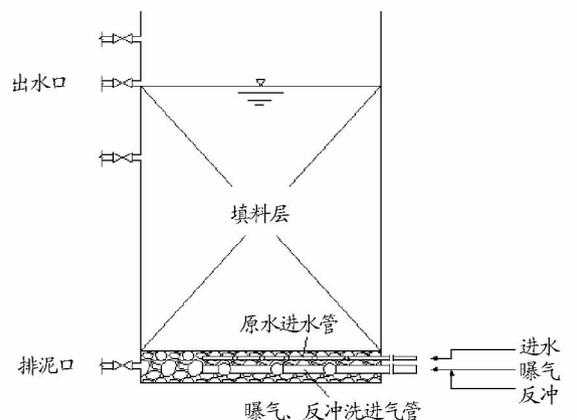


图 1 试验装置

Fig. 1 Experimental device diagram

试验进水为青岛市海泊河污水厂初沉池出水, 进水主要指标: 化学需氧量 (COD) 为 $178.6 \sim 662.7 \text{ mg}/\text{L}$, 氨氮含量 $28.45 \sim 110.09 \text{ mg}/\text{L}$, pH $7.17 \sim 8.31$, 溶解氧 (DO) $0.35 \sim 1.89 \text{ mg}/\text{L}$ 。进水采用澳滨 WQD2-5-0.18 型水泵, 反冲风机百惠 BHR80 型风机。

1.2 运行条件 在该系统运行半年后总结出最佳运行条

作者简介 郭一令(1962-), 男, 山东青岛人, 教授, 从事水污染控制研究。

收稿日期 2016-09-02

件:进水量 $1.4 \text{ m}^3/\text{d}$,曝气量 $1.8 \text{ m}^3/\text{h}$,停留时间 34 h。周宝俊等^[9]以粒径 $3 \sim 5 \text{ mm}$ 轻质滤料(EPS 粒子)为填料,填料层高度为 2 m,采用负压脉冲方式反冲洗,曝气生物滤池平均水力反冲洗强度可达到 $26.25 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,反冲洗时间为 169 s 进行了试验;凌霄等^[8]以粒径 $3 \sim 6 \text{ mm}$ 的陶粒为填料,采用气冲 $4.88 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,水冲 $1.44 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,反冲洗时间为 3、4、5 min 的条件,取得较好的效果。笔者采用 $3 \sim 5 \text{ cm}$ 粒径的碎石为填料,参照前人研究,结合所选用的系统设备,设定气洗强度为 $13.90 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,水洗强度为 $0.14 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ (主要作用是将污泥排出,防止污泥下落过程中将进水口堵塞),反冲洗时间设为 1、2、4、6 min。

1.3 试验方法 共设 4 个试验,设计见表 1。反冲洗后排空系统内污水,排泥量大约为总污泥量的 1/4,而后恢复系统的正常运行。反冲洗后 2、4、6、8 d 取进出水样,测定 COD 和氨氮含量。COD 含量采用重铬酸钾法测定,氨氮含量采用纳氏试剂分光光度法测定。



图2 挂膜期第2、11、19天滤料挂膜情况

Fig.2 Second, eleventh, nineteenth day of biofilm media situation

生物膜挂膜过程可分为 3 个阶段:适应期、增长期、稳定期。在适应期,少量微生物附着于滤料表面,滤料表层无明显颜色变化;在增长期,微生物开始快速增长繁殖,不断向外扩散并逐渐连在一起形成菌胶团,该阶段异养菌在生物膜结构中生长速度较快并占主导地位,滤料表面生物膜颜色变为深黄色;进入稳定期,生物膜中各微生物种群数量及分布趋于稳定,逐渐形成相对平衡的生态菌落,滤料表层生物膜厚度明显增加且颜色变为浅褐色。

在第 14、第 17 和第 19 天分别取样测定,结果见表 2。

表2 系统挂膜阶段 COD 含量及去除率变化

Table 2 COD content and removal rate change in system biofilm phase

时间 Time	进水 COD 含量 Water inlet COD content mg/L	出水 COD 含量 Effluent COD content//mg/L	COD 去除率 COD removal rate//%	温度 Temperature ℃
第 14 天 14 th day	435.2	182.1	58	12.3
第 17 天 17 th day	482.0	80.1	83	17.9
第 19 天 19 th day	256.1	55.5	78	18.5

由表 2 可知,在进水 COD 含量为 $256.1 \sim 482.0 \text{ mg/L}$,容积负荷为 $0.14 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,温度为 $12.3 \sim 18.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 的条件下,系统对 COD 的处理效果较为稳定,去除率为 $58\% \sim 83\%$ 。如图 2 所示,滤料表面覆盖有较明显完整的生物膜厚度,根据江萍等^[10]的挂膜成功标准是 COD_c 去除率达到 70% 的研

表 1 试验设计

Table 1 Experimental design

试验号 Test No.	试验名称 Test name	反冲洗时间 Backflushing time//min	试验时间 Test time
①	系统挂膜试验		2015 年 3 月 11—30 日
②	反冲洗周期确定试验	6	2015 年 8 月 1—11 日
③	反冲洗 4 d 周期试验	1、2、4	2015 年 10 月 31 日至 11 月 28 日
④	反冲洗 8 d 周期试验	1、2、4、6	2016 年 4 月 1 日至 5 月 3 日

2 结果与分析

2.1 系统挂膜试验 该系统运行是在 2015 年 3 月 11 日采用自然富集培养法进行挂膜启动,进水量 $1.4 \text{ m}^3/\text{d}$,曝气量 $1.8 \text{ m}^3/\text{h}$ 。取反应器表层,距池底 2.0 m 处滤料进行生物膜观察,取挂膜期(共 19 d)第 2、11、19 天表层滤料进行观察,结果如图 2 所示。

究结果,可以判定系统在运行 19 d 后挂膜成功。

2.2 反冲洗周期确定试验 土地好氧生物过滤系统的反冲洗周期受 2 个因素的影响:一是滤料的性质,由于该试验采用碎石为滤料,孔隙率为 50%,且孔隙空间较大,对污染物的容纳量较传统人造悬浮小颗粒滤料有明显优势;二是进水悬浮物浓度及生物膜生长特性也将影响系统反冲洗周期,进水悬浮物浓度过高、生物膜生长老化速度快,滤料易堵塞,反冲洗周期将会缩短。

从图 3 可以看出,随着系统运行时间的延长,进出水口的水头损失不断增加,出水 COD 含量也随之增大。在反应器运行前 3 d,水头损失没有明显增加,为 0.7 m。在运行第 4 天,水头损失增加到 0.9 m。当系统运行至第 8 天,出水水头损失增加至 1.3 m,较初期上升了 86%。在第 10 天水头损失达 1.6 m。这说明在系统运行到第 8 天时,反应器保持对污染物的截留作用,但已开始接近饱和状态,随着系统继续运行,生物膜的老化脱落及悬浮物沉积,反应器已经开始堵塞并形成沟流现象。根据以上分析可知,土地好氧生物过滤系统的反冲洗周期为 8 d 内,在工程应用上,可针对具体的进水质、出水 COD 含量及水头损失变化确定反冲洗周期。第 4 天水头损失上升,原因可能是系统内局部有堵塞现象,因此可以在第 4 天至第 8 天进行 1 次反冲洗,由此可以确定进行反冲洗的周期为 4、8 d。

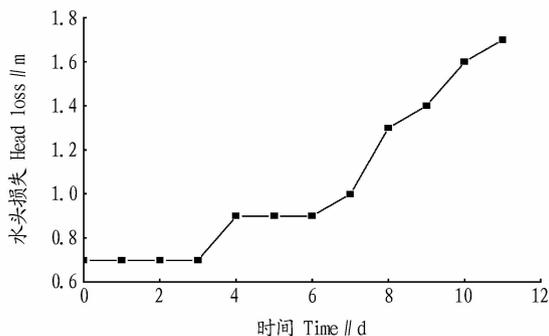


图3 系统水头损失随时间变化情况

Fig. 3 System head loss changes over time

2.3 反冲洗 4 d 试验

2.3.1 对 COD 去除效果的影响。从图 4 可见,进水 COD 含量为 180.1 ~ 487.7 mg/L,波动较大,出水 COD 含量为 51.9 ~ 141.2 mg/L,平均出水 COD 含量为 76.0 mg/L,水质波动对系统运行影响较小,验证了土地生物过滤系统具有较强的耐负荷冲击能力。在 10 月 31 日至 11 月 16 日,反冲洗 4 min 后,出水 COD 从 141.0 mg/L 迅速下降并稳定在 50.0 mg/L 左右, COD 去除率在 80.0% 左右,最高达到 87.0%;反冲洗 2、1 min 后,出水稳定与反冲前差别不大,有持续转好趋势。11 月 10 日 COD 去除率较低,与近期持续降雨及进水 COD 较低有关;11 月 14 出现了反冲洗后堵塞现象,这可能由于反冲洗后污泥未完全排出,污泥下落过程中再次附着于滤料上,从而造成堵塞。因此,要在排泥过程中注意该类现象的发生,适当延长排泥阶段的水冲时间。

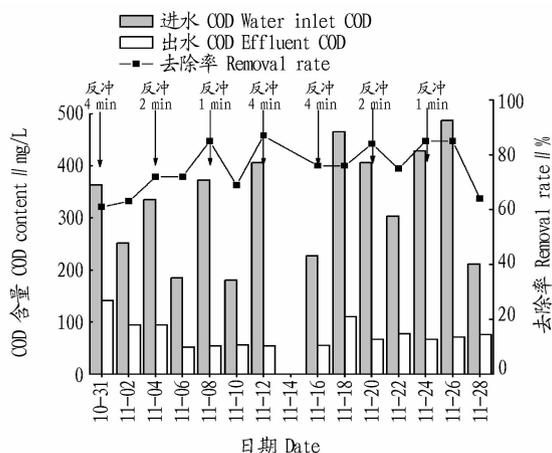


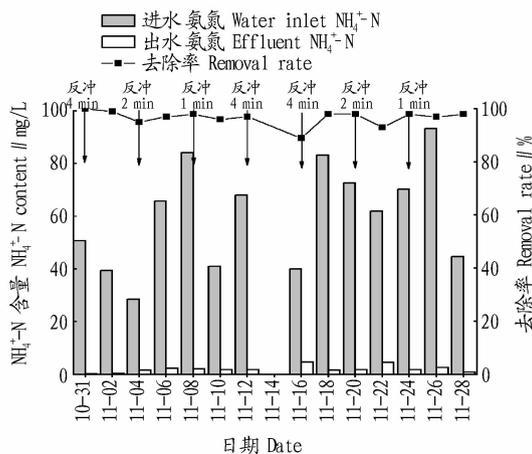
图4 4 d 反冲洗周期 COD 含量及去除率的变化

Fig. 4 COD content and removal rate change in 4 d backflushing interval

11 月 18 日出水 COD 含量较高,达到 110.0 mg/L,这与进水 COD 含量较高有关。11 月 24 日出水 COD 含量有所升高,这是由 22 日线路故障,系统停止运转,曝气停止,系统充氧不足所导致。11 月 28 日系统出现堵塞现象,可能是该试验只进行了 1、2、4 min 的反冲洗,反冲洗时间较短,未完全对滤料进行反冲洗,下层滤料截滤的悬浮物并未完全被冲洗排放干净。较短的反冲洗时间,也减少了对系统微生物的影响,在试验期间 COD 平均去除率为 77.0%,平均出水 COD

含量为 76.0 mg/L,远优于二级排放标准。

2.3.2 对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除效果的影响。从图 5 可见,进水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量与进水 COD 含量的变化趋势几乎一致。试验期间,进水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 为 28.5 ~ 93.3 mg/L,出水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量均在 5.0 mg/L 以下,达一级 A 的排放标准。反冲洗对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 处理效果的影响小于对 COD 处理效果的影响,原因可能是升流式好氧生物过滤系统对污水悬浮物的截滤作用和降解 COD 的异氧菌只集中在系统底部^[11] (50 cm 以下),而硝化细菌主要集中在系统中部(50 ~ 150 cm),反冲洗对系统底部的冲击要强于中上部,异养菌受到影响大于硝化细菌,又由于中上层滤料的生物膜在反冲洗后污泥下落过程中受到滤料的阻碍,重新附着于滤料表面,并未完全排出系统,保证了系统较低的污泥负荷,维持了系统的良好处理效果;且反冲洗后截滤作用会出现短时减弱,出水 $\text{SS}^{[12]}$ 会上升,出水悬浮物中含有 COD 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$,测定 COD 含量时并未对水样进行预处理,而测定 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 时,进行了絮凝过滤预处理。11 月 16 日出水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量有所升高,达到 4.6 mg/L,虽然污水停留时间延长,但是系统曝气受阻,DO 不足,硝化过程受到一定程度的影响。在 11 月 23 日出水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量上升到 4.4 mg/L,这是由于 11 月 22 日线路故障,系统停止运转,曝气停止,系统充氧不足所致。该试验虽然保持了系统的有效运转,但是 4 d 周期的反冲洗会排出大量污泥,而处理污泥及频繁的反冲会增加运行成本。

图5 4 d 反冲洗周期 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量及去除率的变化Fig. 5 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ content and removal rate change in 4 d backflushing interval

2.4 反冲洗 8 d 试验 系统重新启动成功后,于 2016 年 4 月 1 日至 5 月 3 日进行 8 d 周期的反冲洗,安排进行了反冲洗 6、4、2、1 min 的试验,运行期间平均进水 COD 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 分别为 428.0 和 79.0 mg/L,温度在 15.8 ~ 21.3 °C 波动,平均温度为 17.5 °C,进水 pH 在 7.17 ~ 8.29。其中 4 月 25 日出现系统堵塞现象,系统连续运行 24 d。

2.4.1 对 COD 去除效果的影响。从图 6 可见,COD 去除率波动较大,为 69.0% ~ 85.0%,平均出水 COD 含量为 93.0 mg/L,高于 4 d 周期平均出水 COD 含量(76.0 mg/L),这主

要与该试验是重新启动系统后进行的有关,系统内生物膜的稳定性和生物量均与试验③(正常运行半年系统后)有一定差距,但与大多数生物滤池系统相比效率较高,重启系统后生物膜活性迅速恢复,维持了系统的高效处理。4月1日反冲洗4 min后,出水COD含量从76.9 mg/L上升至4月3日的138.7 mg/L,但去除率变化不大,这是由于4月3日进水COD含量增加。随后出水COD含量逐渐下降,4月9日和17日分别反冲2和1 min并未对出水产生影响,这与试验③规律一致。在4月25日系统出现堵塞现象,故对系统进行6 min反冲洗,使系统恢复进水。4月27日出水COD含量升高,COD含量由74.5 mg/L升至130.8 mg/L,去除率有所下降,这说明反冲洗6 min对系统生物膜产生了一定程度的破坏,但系统恢复较快,在29日后出水恢复正常。对比试验④和试验③,不同反冲洗周期反冲洗4、2、1 min后的COD平均去除率分别为75.0%、78.0%、78.0%,变化不大,这是由于试验④在重新挂膜启动后硝化细菌恢复较慢,但去除率仍分别达到91.0%、90.0%、95.0%。

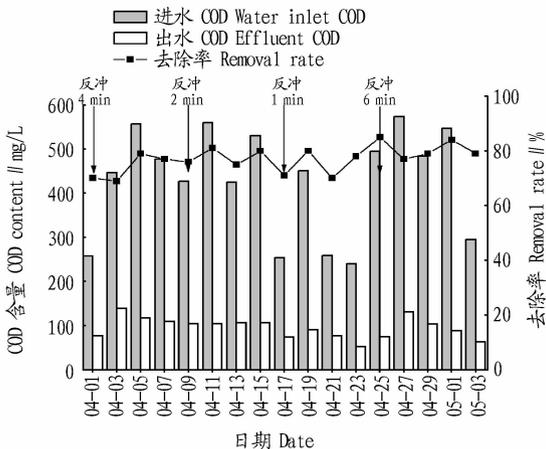


图6 8 d周期反冲洗COD含量及去除率的变化

Fig.6 COD content and removal rate change in 8 d backflushing interval

2.4.2 对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除效果的影响。从图7可见, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率较为稳定,在80.0%以上,较4 d周期时有降低;平均出水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量为6.4 mg/L,这是由于该系统运行时间较长,虽然系统重新启动挂膜,但硝化细菌有长达1~2 a的休眠期^[13],系统恢复较快。在4月1日至17日出水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量存在较大波动,但不是反冲洗所造成,而是由于进水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 维持在80.0 mg/L以上,硝化细菌繁殖世代周期较长,系统重新启动,系统硝化作用并未达到最优;4月17日至25日出水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量逐渐下降,为5.0 mg/L以下。4月27日 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量上升至14.1 mg/L,但去除率有所下降,这说明反冲洗6 min对系统生物膜产生了一定程度的破坏,但系统恢复较快,在4月29日后出水恢复正常,因此,要根据系统运行情况控制好反冲洗6 min的周期。该试验的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 平均去除率比试验③略低,这是由于该试验在重新挂膜启动后硝化细菌恢复较慢,但去除率仍分别达91.0%、90.0%、95.0%。因此,8 d周期反冲洗较4 d周期反冲洗更

加经济。但只进行4、2、1 min的反冲洗并不能完全使系统通畅,6 min反冲洗(反冲4 min没有通)可将污泥冲洗干净,使系统通畅,但对系统出水影响较大。

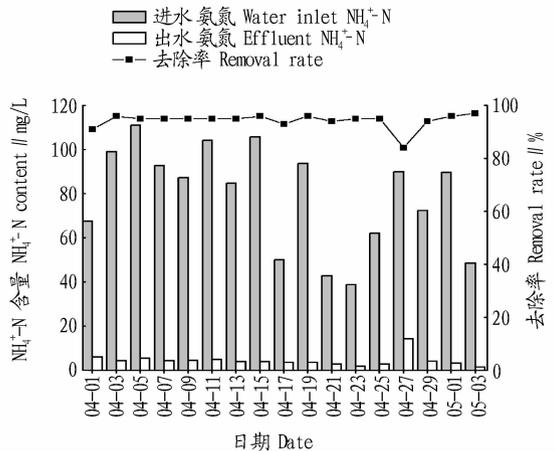


图7 8 d反冲洗周期 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量及去除率的变化

Fig.7 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ content and removal rate change in 8 d backflushing interval

3 结论与建议

(1)该研究表明,土地好氧生物滤池挂膜进水平均COD含量为400 mg/L,容积负荷为0.14 kg/($\text{m}^3 \cdot \text{d}$),温度在12~19℃的条件下,19 d可以达到出水COD去除率80%左右,结合观察生物膜认定挂膜完成。在进水量1.4 m^3/d 、曝气量1.8 m^3/h 的条件下,以碎石为填料的升流式污水土地好氧生物滤池极易产生堵塞现象,系统水头损失随运行时间变化很快,8 d后水头损失增加86.0%,达到1.3 m。因此,建议根据进水情况将反冲洗周期维持在8 d内。

(2)在反冲洗气洗强度为13.90 L/($\text{m}^2 \cdot \text{s}$),水洗强度为0.14 L/($\text{m}^2 \cdot \text{s}$) (主要作用是将污泥排出,防止污泥下落过程中将进水口堵塞)的条件下,进行4 d周期的反冲洗试验,反冲洗4、2、1 min对系统生物膜破坏较小,平均出水COD含量为76.0 mg/L,出水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量均在5.0 mg/L以下,维持系统连续运行28 d。在8 d反冲洗周期中,反冲洗1、2、4 min后出水平均COD含量为93.0 mg/L、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 为6.8 mg/L,与4 d周期时出水平均COD和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 分别为76.0、1.9 mg/L相比略高,但去除率相差不大。反冲6 min后,系统生物膜受到一定程度的破坏,出水COD和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量分别上升至130.8和14.2 mg/L,系统恢复需要4 d。

(3)通过反冲洗4 d周期和8 d周期试验,根据水头损失,结合现场运行情况,建议在进水量1.4 m^3/d 、曝气量1.8 m^3/h 、进水COD含量400 mg/L的土地好氧生物滤池采取反冲洗气洗强度为13.9 L/($\text{m}^2 \cdot \text{s}$)、水洗强度为0.1 L/($\text{m}^2 \cdot \text{s}$)的情况下,4~8 d进行1次4 min内的反冲洗,如果出现堵塞可进行6 min反冲洗。

参考文献

[1] 郭一令,苏林萌,徐进,等.污水土地好氧生物过滤处理系统的小试研究[J].水处理技术,2011,37(12):99-102,108.

(下转第117页)

吸收峰属于 α -螺旋结构,根据二者吸收峰的相对强度,表明在蒜头果蛋白中 β -折叠结构所占的比例大于 α -螺旋结构。

表 1 蒜头果蛋白酰胺基团的特征振动

Table 1 The characteristics of vibration of malanin amide group

名称 Name	波数 Wave numbers cm^{-1}	振动模式 Vibration mode
酰胺 A Amide A	3 310.52	N-H 伸缩振动
酰胺 B Amide B	3 100.20	酰胺 II 带的一次泛频, 费米共振
酰胺 I Amide I	1 649.62	C=O 伸缩振动
酰胺 II Amide II	1 538.83	N-H 面内弯曲振动和 C-N 伸缩振动
酰胺 III Amide III	1 240.63	C-N 伸缩振动和 N-H 面内弯曲振动
酰胺 IV Amide IV	668.68	O=C-N 面内弯曲振动
酰胺 V Amide V	756.46	N-H 面外弯曲振动
酰胺 VI Amide VI	609.68	C=O 面内弯曲振动

2.2 圆二色谱分析 图 2 为在 pH 5.0、6.0、7.0 和 8.0 溶液状态下,蒜头果蛋白的圆二色谱(CD 谱)。图 2 结果表明,在上述 4 种不同 pH 条件下,pH 6.0、pH 7.0 和 pH 8.0 的 CD 谱相差不大,摩尔椭圆度 $[\theta]$ 分别为 $-9.481 \times 10^{+3}$ 、 $-10.044 \times 10^{+3}$ 、 $-10.3783 \times 10^{+3} \text{ deg} \cdot \text{cm}^2/\text{dmol}$,pH 5.0 的 CD 谱的摩尔椭圆度 $[\theta]$ 为 $-7.534 \times 10^{+3} \text{ deg} \cdot \text{cm}^2/\text{dmol}$,均在 192 nm 处有 1 个正峰,在 208 和 222 nm 处有 2 个负槽,208 nm 比 222 nm 的 CD 值数据要大,但峰的负值不大,说明蒜头果蛋白中 α -螺旋和 β -折叠都含有,是一种 $\alpha + \beta$ 型蛋白。

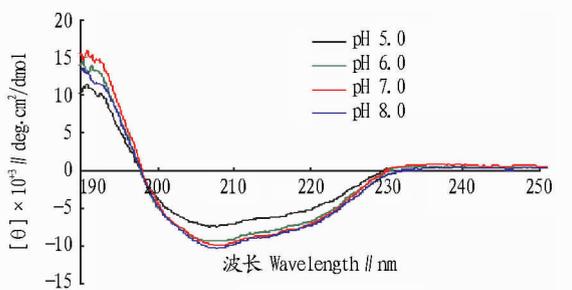


图 2 蒜头果蛋白在不同 pH 下的 CD 图谱

Fig. 2 The CD map of malanin under different pH

由表 2 可知,蒜头果蛋白中 β -折叠的含量大于 α -螺旋,但这 2 种结构都大于 15.0%,说明蒜头果蛋白应该是一种 $\alpha + \beta$ 型蛋白质。

表 2 蒜头果蛋白的二级结构

Table 2 The secondary structure of malanin %

pH	α -螺旋 Helix	β -折叠 β -sheet	无规卷曲 Coil and turn
5.0	15.7	36.1	48.2
6.0	18.7	32.6	48.7
7.0	20.8	30.2	49.0
8.0	21.9	28.8	49.3

3 结论

由于蒜头果蛋白的结构还未知,该研究采用红外光谱、圆二色谱的方法分析蒜头果蛋白微观结构的变化。蒜头果蛋白的红外光谱图显示其反式吸收($1\,400.35 \text{ cm}^{-1}$)强于顺式吸收($1\,538.83 \text{ cm}^{-1}$),说明蒜头果蛋白在顺式构型状态下较稳定;在不同 pH 条件下测得的圆二色谱图并按 Chen 等^[7]的方法进行计算,结果发现蒜头果蛋白中 β -折叠的含量均大于 α -螺旋,但这 2 种结构都大于 15%,说明蒜头果蛋白应该是一种 $\alpha + \beta$ 型蛋白质。试验结果为进一步研究蒜头果蛋白的结构与抗肿瘤活性功能奠定了基础。

参考文献

- [1] 丘华兴,林有润. 中国植物志:二十四卷[M]. 北京:科学出版社,1988: 89.
- [2] YUAN Y, DAI X C, WANG D B, et al. Purification, characterization and cytotoxicity of malanin, a novel plant toxin from the seeds of *Malania oleifera* [J]. *Toxicol*, 2009, 54(2): 121-127.
- [3] 李建蕊, 陈建波, 周群, 等. 中药三七不同部位和组织的红外光谱分析 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2014, 34(3): 634-637.
- [4] 杜娟, 彭惜媛, 马芳, 等. 黑豆和牵牛子红外光谱的分析与鉴定 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2014, 34(9): 2429-2433.
- [5] 陈格飞, 贾小娜, 郑翔宇, 等. 重组蜘蛛丝蛋白 MiSp NT 结构域在不同 pH 环境下的 Trp 荧光光谱及圆二色谱分析 [J]. *中国生物化学与分子生物学报*, 2014, 30(1): 68-74.
- [6] 席加富, 唐蕾, 张建华, 等. 圆二色谱表征芥蓝抗坏血酸过氧化物酶变性过程中的结构变化 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2014, 34(11): 3062-3065.
- [7] CHEN Y H, YANG J T, CHAU K H. Determination of the helix and β form of proteins in aqueous solution by circular dichroism [J]. *Biochemistry*, 1974, 13(16): 3350-3359.
- [8] 柯惟中, 余乡慰. 胰蛋白酶溶液的激光拉曼谱 [J]. *光散射学报*, 1995 (Z1): 159.
- [9] 周瑞明, 沈永嘉. 蛋白质二级结构的红外光谱 [J]. *华东理工大学学报*, 1997, 23(4): 422-425.
- [10] FU F N, DEOLIVERIRA D B, TRUMBLE W R, et al. Secondary structure estimation of proteins using the amide III region of fourier transform infrared spectroscopy: Application to analyze calcium-binding-induced structural changes in colchestrin [J]. *Applied spectroscopy*, 1994, 48(11): 1432-1441.
- [11] 李正强, 陶艳春, 王永婷. 单链核糖体失活蛋白的 Raman 和红外光谱 [J]. *光散射学报*, 2000, 11(4): 335-337.
- [12] 式研究 [J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2006, 38(7): 1045-1046, 1050.
- [13] 凌霄, 胡勇. 曝气生物滤池反冲洗关键因子的确定及机理浅析 [J]. *给水排水*, 2005, 31(10): 19-23.
- [14] 周宝俊, 秦树林. 曝气生物滤池处理矿区生活污水中反冲洗强度的控制研究 [J]. *能源环境保护*, 2015, 29(2): 17-19.
- [15] 江萍, 胡九成. 国产轻质球型陶粒用于曝气生物滤池的研究 [J]. *环境科学学报*, 2002, 22(4): 459-464.
- [16] 李方, 杨波, 田晴, 等. 滤层高度对升流式曝气生物滤池硝化性能的影响 [J]. *水处理技术*, 2008, 34(10): 46-49.
- [17] 齐兵强. 曝气生物滤池 (BIOFOR) 处理生活污水中试研究 [D]. 北京: 清华大学, 2000.
- [18] 周群英, 王士芬. 环境工程微生物学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2008.

(上接第 60 页)

- [2] 许保玖, 龙腾锐. 当代给水与废水处理原理 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [3] 孔刚, 许昭怡, 李华伟, 等. 地下土壤渗滤法净化生活污水研究进展 [J]. *土壤*, 2005, 37(3): 251-257.
- [4] 雷明, 李凌云. 人工湿地土壤堵塞现象及机理探讨 [J]. *工业水处理*, 2004, 24(10): 9-12.
- [5] KRISTIANSEN R. Sand-filter trenches for purification of septic tank effluent I. The clogging mechanism and soil physical environment [J]. *J Environ Qual*, 1981, 10(3): 353-357.
- [6] 何江涛, 马振民, 张金炳, 等. 污水渗滤土地处理系统中的堵塞问题 [J]. *中国环境科学*, 2003, 23(1): 85-89.
- [7] 张宝杰, 闫立龙, 甄捷, 等. 曝气生物滤池最佳反冲洗周期及反冲洗方