



文章栏目：水污染防治

DOI 10.12030/j.cjee.201912033

中图分类号 X52

文献标识码 A

王天志, 胡洪营, 巫寅虎. 纳管印染废水生物处理特性及其定量评价[J]. 环境工程学报, 2020, 14(11): 3021-3029.

WANG Tianzhi, HU Hongying, WU Yinhu. Bio-treatment feature and its quantitative evaluation of dyeing wastewater in pipeline[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2020, 14(11): 3021-3029.

纳管印染废水生物处理特性及其定量评价

王天志^{1,2}, 胡洪营^{1,*}, 巫寅虎¹

1. 清华大学环境学院, 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100084

2. 清华-苏州环境创新研究院, 苏州 215163

第一作者: 王天志(1992—), 男, 博士, 在站博士后。研究方向: 水处理与利用。E-mail: wangtianzhi@tsinghua.edu.cn

*通信作者: 胡洪营(1963—), 男, 博士, 教授。研究方向: 再生水安全等。E-mail: hyhu@tsinghua.edu.cn

摘 要 生物处理技术因其成本低廉、具有良好的环境效应和经济效应, 成为印染废水最常用的处理技术之一。为适应对印染废水水质的高标准处理需求, 同时考虑污水中污染物组分的复杂性, 需对其生物处理特性进行评价, 以印染企业内部处理后排放到污水处理厂的纳管废水为研究对象, 通过分析确定不同降解难度的有机物所占比例, 实现对废水中有机物降解特性定量评价。结果表明: 当印染废水的 B/C 值为 0.26 时, 在实际运行工况下, 该类印染废水中仅有 18.6% 的有机物可被生物降解, 在这些可被生物降解的有机物中, 生物快速降解、生物易降解、生物可降解有机物的平均含量分别为 15.48%、64.29%、20.83%; 通过增加氮源和磷源的含量, 印染废水中可被生物降解的有机物含量可提高 53.45%~60.34%, 其中氮源主要提高生物快速降解的有机物含量, 磷源主要提高生物易降解的有机物含量。对印染废水的生物处理特性评价方法及评价结果, 可作为污水处理中水征指标评价方法与理论体系的一部分, 有利于重新认识现有污水处理工艺和水质标准、优化现有技术和工艺组合及其运行操作。

关键词 生物处理特性; 印染废水; 污水处理; 高标准

印染行业是纺织产业链中提高产品附加值的关键行业, 也是能耗和水耗较高、废水排放量较大的行业, 约占纺织废水排放量的 80%^[1], 仅江浙地区印染行业的废水排放量即可达到 $2 \times 10^6 \sim 3 \times 10^6 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$ ^[2]。印染行业废水排放量的不断增加, 成为我国工业系统中重点污染源之一, 而污染治理带来的高成本严重削弱了企业的竞争力, 成为制约纺织印染行业健康、可持续发展的瓶颈^[3]。目前, 印染废水处理方法主要包括物理法、化学法以及生物法。其中, 利用生物技术处理印染废水成本低廉、对环境的二次污染小、污泥产量少、不需要复杂的设备, 具有良好的环境效应和经济效应, 故其成为最常用的印染废水处理技术^[4]。

但是印染废水中含有大量浆料、染料、助剂、表面活性剂等, 使其具有水质成分复杂、可生化性较差等特点, 只经生物处理难以满足严格的排放要求, 废水中仍含有极细微的悬浮物、磷、氮和难以生物降解的有机物、矿物质、病原体等^[5-7]。由于印染废水是一个复杂的体系, 因此, 需要从复杂体系的视角, 研究和掌握污水的特性^[8]。现阶段, 污水处理工艺通常由多个处理单元串联形成组合工艺, 但是这些组合工艺的设计缺乏系统性理论指导, 仅仅依据 COD、BOD、TN 和

收稿日期: 2019-12-05; 录用日期: 2020-03-07

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项 (2017ZX07205001)

TP等污染物浓度的综合指标,参照类似的污水处理工程进行工艺设计,这种设计方法具有很大的盲目性^[9-11]。事实上,仅仅从COD值难以得到污水处理特性的信息。污水中的污染物质量浓度仅可表明污染程度,与生物处理特性没有直接关系^[12-13]。目前,对印染废水生物处理特性的研究较少,仅有一些研究使用BOD₅/COD比值,粗略、简单地对印染废水的生物处理特性进行了评价^[14-15]。但废水中既含有一些易被微生物降解的物质,又含有不能被微生物降解、甚至对微生物产生抑制的物质,这些污染物质的性质和比例不但决定了该废水生物处理的难易性,也决定了是否适宜使用生物处理方法对废水进行处理^[15]。BOD₅/COD比值仅仅是一个特征值,无法动态表征污水中有机物降解的过程^[16],很难准确地分析有机组分转化机制^[17-18],只通过区分有机物的生物降解难度,无法正确指导生物手段在印染废水处理过程中的应用。

基于以上问题,本研究直接对印染废水的生物处理过程进行测量,实时测定生物对废水中的污染物质降解过程中的耗氧量,得到完整的生物耗氧过程,结合耗氧速率的变化特征,可直观准确地观察有机物降解的动态过程,定量测定不同降解难度的有机物所占比例以及在降解过程中的降解启动时间和耗时情况,实现对废水中有机物降解特性的定量评价;通过对曝气时间、氮磷平衡、无机盐投加等条件的优化,进一步提高了印染废水的生物处理特性。本研究作为污水处理中水征指标评价方法与理论体系的一部分,有利于重新认识现有污水处理工艺和水质标准,研究可为优化现有污水处理技术和工艺组合及其运行操作提供参考。

1 实验材料与方法

1.1 水样采集与水质分析

水样为苏州吴江区某印染废水处理厂的进水,采集后的水样放入4℃冰箱保存。该部分水样采集后经0.45 μm滤膜过滤后,测定其水质指标。抽滤前,印染废水的TN=8.67 mg·L⁻¹、TP=0.18 mg·L⁻¹、COD=328 mg·L⁻¹、BOD=85 mg·L⁻¹、B/C=0.26;抽滤后,印染废水的TN=6.14 mg·L⁻¹、TP=0.05 mg·L⁻¹、COD=320 mg·L⁻¹、BOD=82 mg·L⁻¹、B/C=0.26。

1.2 实验系统

本实验系统工作流程如图1所示,系统由反应单元、二氧化碳吸附单元、微量气体测定单元、数据分析单元构成。

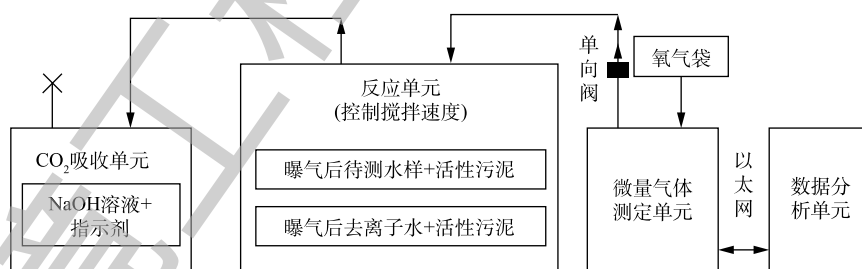


图1 生物处理特性评价实验系统

Fig. 1 Evaluation experiment system of bio-treatment feature

1.3 活性污泥采集与保存

本实验采用的污泥直接取自该印染废水处理厂的好氧池污泥。从生物处理单元曝气池出水处采集活性污泥悬浮液,然后立即在实验室进行清洗,将活性污泥悬浮液离心(4 000 r·min⁻¹, 10 min),得到清晰的泥水界面,弃去上清液,加曝气除氯的自来水重悬。以上操作重复3次。清洗完成后,以105℃烘干且测其干重。将活性污泥悬浮液置于4℃冷藏,保存时间不宜超过3 d。在实验前,根据干重测定结果,将冷藏的活性污泥悬浮液调整为实验所需浓度的接种液,然后持续搅拌

并连续曝气，待恢复 20 ℃ 后，用于配制实验混合液。

1.4 反应体系

本实验反应体系的混合液体积为 300 mL，反应体系中待测废水的投加占比为 50%，污泥的投加占比为 50%，搅拌速率为 80 r·min⁻¹。水温控制在 20~30 ℃，pH 控制在 6.5~8.5。反应体系中的污泥为 3 g·L⁻¹，废水曝气时间分别为 5、10、20 min(气泵流量为 2 L·min⁻¹)，此外，抽滤实验组的污泥浓度控制在 4 g·L⁻¹。除未抽滤实验组外，其余实验组的待测废水均经过 0.45 μm 滤膜抽滤处理。营养源种类及投加情况如表 1 所示。

1.5 耗氧量与耗氧速率的测定

将废水、污泥、营养液按照一定比例加入反应单元的标准反应器中，反应器可模拟废水生物处理过程。利用微生物降解作用消耗氧气，产生 CO₂，CO₂ 再被二氧化碳吸附单元吸收。反应瓶中产生负压，外部的氧气通过微量气体测定单元补充到反应瓶中，在补充气体的过程中，微量气体测定单元实时记录气体补充量。微量气体测定单元 (Bioprocess Control，瑞典) 基于脉冲信号的数据采集系统，内置压力及温度传感器。根据不同实验室的环境温度和压力换算为标准状况下的数值，可实现耗氧量的即时测量。通过以太网传输到数据分析单元，完成数据收集和分析。

1.6 废水中有机物降解难易程度的判定方法

高于内源呼吸速率的阶段为生物处理有机物阶段^[19]，在此阶段内的累积耗氧量就是废水中可被生物降解的有机物，总有机物(以 COD 计)减去这部分有机物含量，则为生物不可降解有机物。在生物可降解有机物中，0~5 h 内，生物耗氧速率高于内源呼吸速率变化趋势，呈现上升趋势，则此阶段为生物快速降解有机物阶段 (I 阶段)，在此阶段内，生物物的累积耗氧量就是废水中生物快速降解的有机物的量；5 h 之后，若生物耗氧速率仍然高于高于内源呼吸速率，在其显著下降之前的阶段为生物容易降解有机物阶段 (II 阶段)，在此阶段内，生物物的累积耗氧量就是废水中生物易降解的有机物的量；可被生物降解的有机物总量减掉生物快速降解有机物和生物快速易有机物，得到的耗氧量为生物可降解有机物含量 (III 阶段)。

2 结果与讨论

2.1 不同曝气时间对生物处理特性的影响

不同曝气时间条件下印染废水耗氧过程如图 2 所示。根据图 2(a) 中耗氧速率变化特征曲线，可将印染废水中的有机物分为生物快速处理、生物易处理、生物可处理、生物不可处理 4 种有机物，结合图 2(b) 中耗氧量的变化，得到有机物降解难易程度的分布，如表 2 所示。由表 2 可知，当废水不曝气时，活性污泥很难快速降解印染废水中的有机物，说明此印染废水的生物处理特性较差。这是由于印染工序中会使用大量的合成浆料、染料、表面活性剂，这些物质都具有分子结构复杂，难以被生物降解的特点^[3]。经过曝气处理后，废水中可被生物降解的有机物含量有所增加，由 15.24% 增加到 16.16%~18.60%。这主要是由于曝气处理会改善微生物降解有机物的环境，

表 1 营养源种类及投加情况
Table 1 Types of nutrient sources and their doses in test

营养源种类	投加浓度 (以体系浓度计)	投加营养源后废水中 该类营养源的浓度 mg·L ⁻¹		
		TN	TP	Fe ³⁺
尿素	15	15.67	—	—
	30	22.67	—	—
	45	29.67	—	—
K ₂ HPO ₄	14	—	2.67	—
	28	—	5.17	—
	42	—	7.66	—
FeCl ₃	0.15	—	—	0.15
	0.30	—	—	0.20
	0.60	—	—	0.31

注：—表示废水中并未额外投加该类营养源。

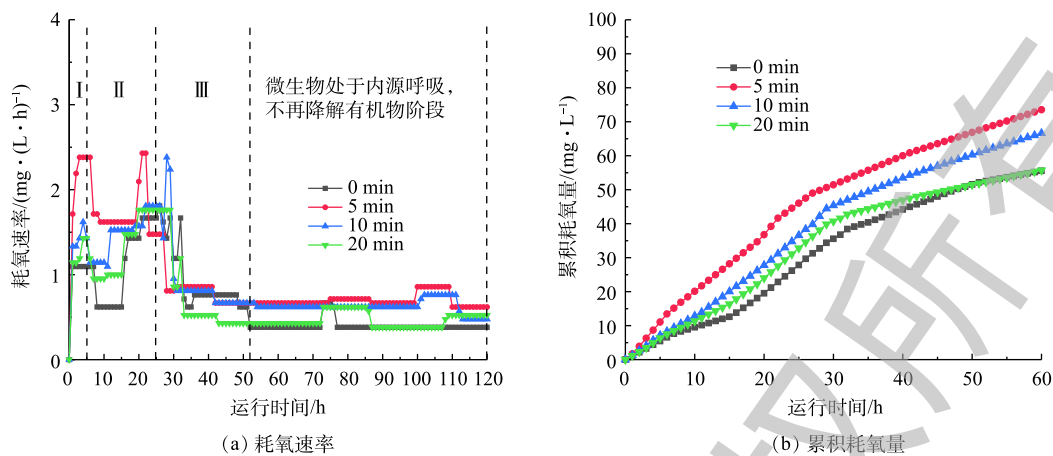


图 2 不同曝气时间条件下印染废水耗氧过程

Fig. 2 Oxygen consumption process of dyeing wastewater under different aeration time conditions

表 2 不同曝气时间条件下有机物降解难易程度分布

Table 2 Distribution of degradation difficulty degree of organic matters in dyeing wastewater at different aeration times $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

有机物类型	曝气0 min后COD	曝气5 min后COD	曝气10 min后COD	曝气20 min后COD
生物快速处理	0	13	7	6
易生物处理	8	37	37	34
可生物处理	42	11	11	13
不可生物处理	278	267	273	275

有利于活性污泥降解废水中的有机物。在可被生物降解的有机物中，生物快速处理、生物易处理、生物可处理的有机物的平均含量占比分别为 15.48%、64.29%、20.83%。其中经 5 min 曝气处理后的废水中生物快速处理的有机物含量最高，为 21.31%，分别比 10 min 和 20 min 处理组高出 67.45% 和 88.25%。

2.2 抽滤处理对生物处理特性的影响

抽滤处理后印染废水耗氧过程如图 3 所示。由图 3 可知，印染废水经过抽滤后，微生物降解有机物的过程发生了显著的变化。首先，在微生物快速降解有机物的阶段，生物耗氧速率显著增

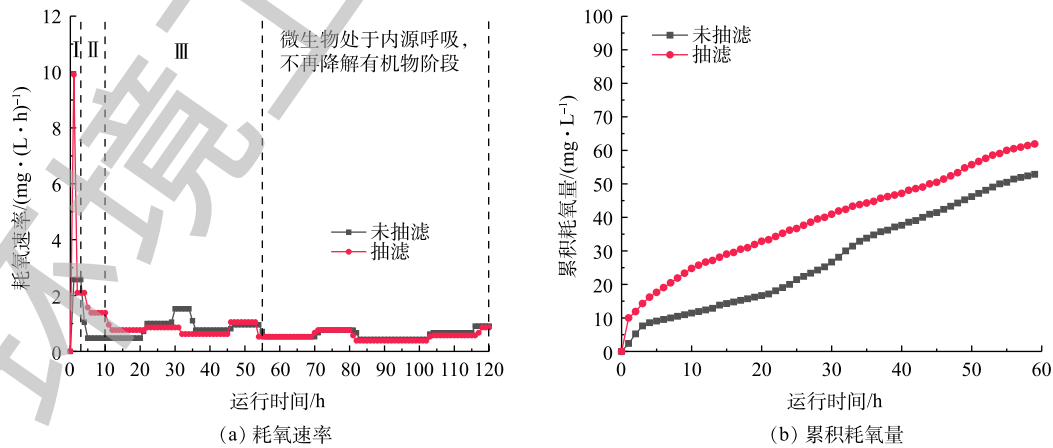


图 3 抽滤处理后印染废水耗氧过程

Fig. 3 Oxygen consumption process of dyeing wastewater under filtration conditions

加，由 $2.97\text{ mg}\cdot(\text{L}\cdot\text{h})^{-1}$ 增加到 $9.90\text{ mg}\cdot(\text{L}\cdot\text{h})^{-1}$ 。而未抽滤的印染废水中不存在生物易降解阶段，在 5 h 后，微生物直接进入内源呼吸阶段，耗氧速率维持在 $0.47\text{ mg}\cdot(\text{L}\cdot\text{h})^{-1}$ 左右；而在 20 h 后，生物耗氧速率逐渐增加到 $1.00\sim 1.52\text{ mg}\cdot(\text{L}\cdot\text{h})^{-1}$ ，此时印染废水中的有机物仍可被缓慢降解。经过抽滤后的印染废水在 5 h 之后，耗氧速率维持在 $1.38\sim 1.57\text{ mg}\cdot(\text{L}\cdot\text{h})^{-1}$ ，微生物处于容易降解有机物阶段；在 10 h 之后，抽滤和未抽滤的印染废水中微生物的呼吸速率变化趋势比较一致；在 55 h 之后，废水耗氧速率稳定在 $0.52\text{ mg}\cdot(\text{L}\cdot\text{h})^{-1}$ ，微生物基本上进入内源呼吸阶段，不再降解有机物，因此，耗氧量仅统计 60 h 内的累积值。

结合图 3(b) 中耗氧量的变化，得到有机物降解难易程度的分布，如表 3 所示。由表 3 可知，经过抽滤处理后，印染废水中可被生物降解的有机物含量由 15.55% 增加到 18.44%。在可被生物降解的有机物中，生物快速处理、生物易处理、生物可处理有机物的含量占比由 17.65%、0.00%、82.35% 变为 30.51%、15.25%、54.24%，其中，生物快速处理和生物易处理有机物组分的含量增加较为明显。这说明抽滤处理虽然使该印染废水的 COD 由 $328\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 降低到 $320\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，但对其生物可处理有机物含量的分布影响较大，尤其是增加了生物快速处理和生物易处理有机物组分的含量。这很有可能是由于抽滤滤掉的 $8\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ COD 中含有一些抑制生物处理过程的物质，但具体是何种物质，尚需进一步通过组分分析手段确认^[8]。

2.3 外加营养源对生物处理特性的影响

在印染废水生物处理体系中，分别以梯度浓度为 15、30、45 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 尿素补充氮源，以梯度浓度为 14、28、42 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ K_2HPO_4 补充磷源，以梯度浓度为 0.15、0.30、0.60 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ FeCl_3 补充无机盐，分别得到不同营养源种类条件下生物处理过程的耗氧速率和累积耗氧量变化特征，结果如图 4~图 6 所示，有机物降解难易程度分布结果如表 4 所示。由表 4 可知，氮源和磷源的补充显著影响生物处理过程，尤其是提升了生物快速降解和生物易降解阶段的处理效果。随着氮源和磷源浓度增加，印染废水中可被生物处理的有机物含量逐渐增加，可由 18.13% 提高到 29.06%，提高幅度可达 53.45%~60.34%，但铁盐对该印染废水的生物处理过程影响不大。

表 3 抽滤处理前后下有机物降解难易程度分布
Table 3 Distribution of degradation difficulty degree of organic matters in dyeing wastewater before and after filtration treatment $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

有机物类型	抽滤前COD	抽滤后COD
生物快速处理	9	18
易生物处理	0	9
可生物处理	42	32
不可生物处理	277	261

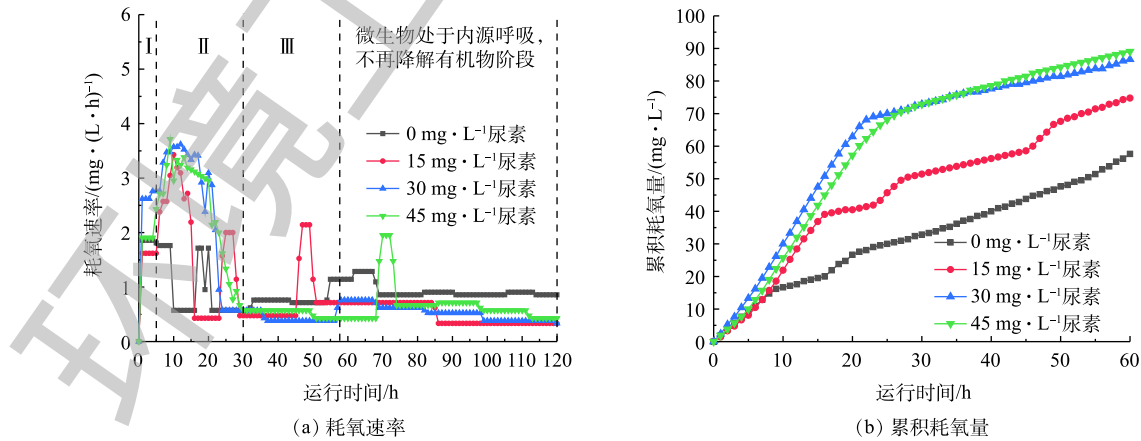


图 4 投加氮源后印染废水耗氧过程

Fig. 4 Oxygen consumption process of dyeing wastewater with nitrogen source addition

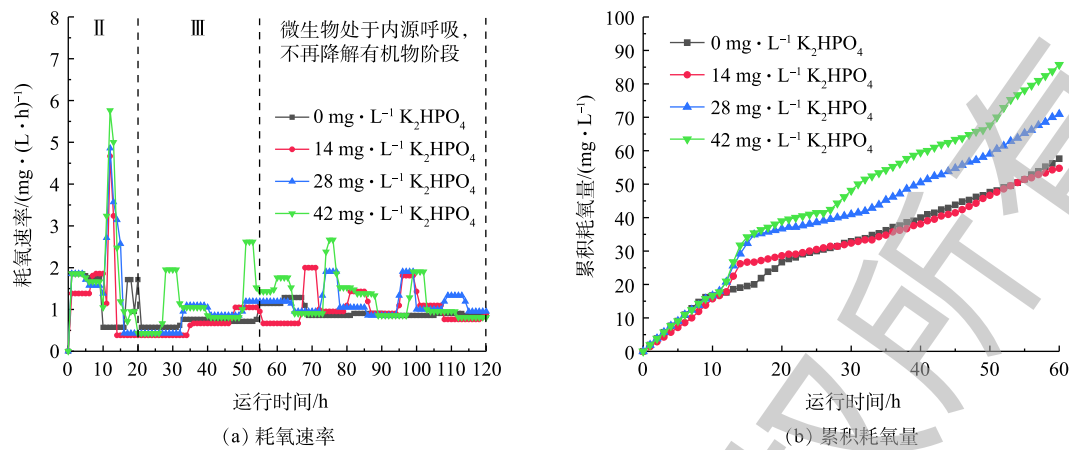


图 5 投加磷源后印染废水耗氧过程

Fig. 5 Oxygen consumption process of dyeing wastewater with phosphorus source addition

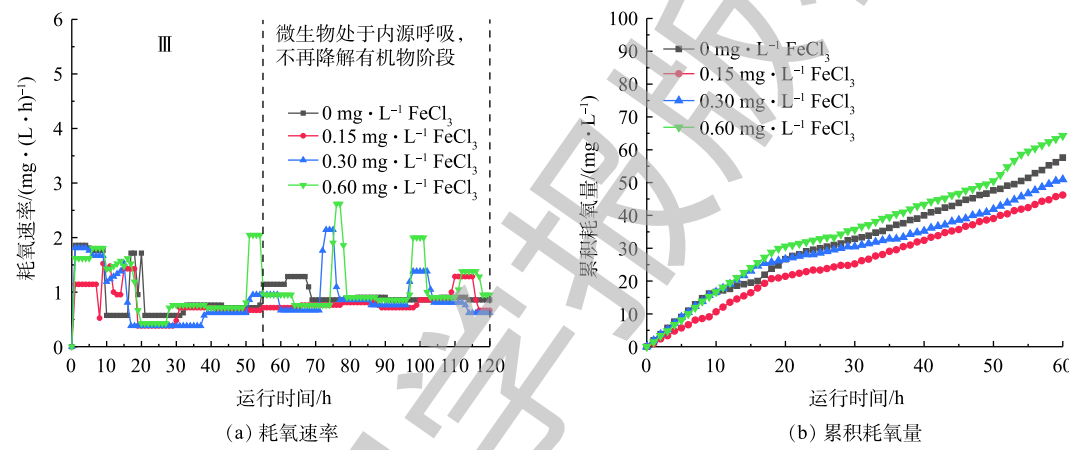


图 6 投加铁盐后印染废水耗氧过程

Fig. 6 Oxygen consumption process of dyeing wastewater with Fe^{3+} source addition

表 4 外加营养源条件下有机物(以 COD 计)降解难易程度分布
Table 4 Distribution of degradation difficulty degree of organic matters (as COD) in dyeing wastewater with different nutrients addition

有机物类型	KB	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
生物快速处理	0	0	13	10	0	0	0	0	0	0
易生物处理	16	39	57	63	26	35	39	21	25	31
可生物处理	42	36	17	16	25	42	54	25	26	33
不可生物处理	262	245	233	231	269	243	227	274	269	256

注: KB表示废水中未投加任何营养源; A1、A2、A3分别表示废水中投加15、30、45 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 尿素; B1、B2、B3分别表示废水中投加14、28、42 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ K_2HPO_4 ; C1、C2、C3分别表示废水中投加0.15、0.30、0.60 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ FeCl_3 。

单独使用氮源时,在微生物快速降解有机物阶段,30 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理组的平均耗氧速率最高,为 2.68 $\text{mg}\cdot(\text{L}\cdot\text{h})^{-1}$,比 45 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理组高 33.18%,KB 组和 15 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理组无快速降解有机物阶段;在 5 h 后,所有氮源处理组的耗氧速率均进一步有所提高,30 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理组的耗氧速率在 16 h 达到峰值,为 3.42 $\text{mg}\cdot(\text{L}\cdot\text{h})^{-1}$,分别比 KB 组、15 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理组、45 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理组的耗氧速率峰值高出 92.31%、4.17%、5.63%;在 57 h 之后,废水耗氧速率稳定在 0.33~0.86 $\text{mg}\cdot(\text{L}\cdot\text{h})^{-1}$,微生物基本上

进入内源呼吸阶段, 不再降解有机物。此外, 由表 4 可知, 与 KB 组相比, 氮源的使用增加了快速处理有机物和易处理有机物的含量, 在可被生物降解的有机物中, $30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理组的快速处理有机物比例含量最高, 为 14.94%, 比 $45 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理组高出 30.00%。 $45 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理组的易生物处理有机物比例含量最高, 为 70.79%, 分别比 $15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理组、 $45 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理组高出 36.13%、8.04%。

单独使用磷源时, 在 0~10 h 时, 微生物耗氧速率均维持在 $1.71 \text{ mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{h})^{-1}$ 左右, 该时间段内微生物处于内源呼吸阶段, 此时微生物处于适应该磷源浓度阶段; 在 10 h 后, 所有磷源处理组的耗氧速率快速增加, 耗氧速率在 12 h 均达到峰值, $42 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理组的耗氧速率最大, 为 $5.76 \text{ mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{h})^{-1}$, 分别比 $14 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $28 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理组高出 23.47% 和 18.63%; 在 55 h 之后, 废水耗氧速率稳定在 $0.67 \sim 1.90 \text{ mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{h})^{-1}$, 微生物基本上进入内源呼吸阶段, 不再降解有机物。此外, 由表 4 可知, 与 KB 组相比, 磷源的使用增加了易处理有机物有机物的含量, $42 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理组的增加幅度最大, 增幅达到 143.75%, 分别比 $14 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $28 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理组高 50.00% 和 11.43%。在单独补充铁盐时, 铁盐仅对微生物的内源呼吸作用产生影响, $0.60 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的铁盐使微生物呼吸速率均值由 $0.92 \text{ mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{h})^{-1}$ 提高到 $1.10 \text{ mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{h})^{-1}$ 。

以上结果说明, 在生物处理过程中, 该废水缺少足够的氮源和磷源。由于微生物所需的理想的 C:N:P 比值为 100:5:1^[20], 但该印染废水的实际 C:N:P 比值为 380:8.67:0.18, 可通过补充氮源和磷源来提高微生物的活性^[21], 进而提高了生物处理效果。由此可见, 制约该废水生物处理过程的原因是缺少足够的氮源和磷源。本研究所得到的适宜尿素(氮源)投加浓度为 $30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 适宜的 K_2HPO_4 (磷源)投加浓度为 $42 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

3 结论

1) 通过实时测定生物对废水中的污染物质降解过程中耗氧量, 得到完整的生物耗氧过程, 结合耗氧速率的变化特征, 定量确定不同降解难度的有机物所占比例。

2) 印染废水中含有 18.60% 的有机物可被生物处理, 在这些可被生物处理的有机物中, 生物快速处理、生物易处理、生物可处理有机物的平均含量分别为 15.48%、64.29%、20.83%。

3) 氮源和磷源可提升生物快速处理和生物易处理阶段的处理效果, 可被生物处理的有机物含量由 18.13% 提高到 29.06%。氮源增加了快速处理有机物和易处理有机物的含量, 微生物需要适应磷源环境之后进入快速降解有机物阶段。本研究所得到的适宜尿素(氮源)投加浓度为 $30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 适宜的 K_2HPO_4 (磷源)投加浓度为 $42 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

4) 抽滤可以降低废水中有机物含量, 增加生物快速处理和生物易处理有机物组分的含量, 提高废水的生物可处理性。

参 考 文 献

- [1] 梅林春, 吴乾元, 黄满红, 等. 混凝-生物接触氧化-臭氧氧化工艺对印染废水处理特性评价[J]. 环境工程学报, 2016, 10(6): 3043-3050.
- [2] 周可英. 印染废水回用技术[J]. 能源环境保护, 2012, 26(4): 35-36.
- [3] 牛全睿. 印染废水生物处理系统中钙的富集特征及其对活性污泥的影响研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2017.
- [4] 耿云波, 刘永红, 赵鹏飞, 等. 印染废水生物处理技术的应用现状及研究进展[J]. 工业用水与废水, 2010, 41(4): 1-4.
- [5] 朱虹. 印染废水处理技术[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2004.

- [6] VERMA A K, DASH R R, BHUNIA P. A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters[J]. *Journal of Environmental Management*, 2012, 93(1): 154-168.
- [7] LOTITO A M, FRATINO U, MANCINI A, et al. Effective aerobic granular sludge treatment of a real dyeing textile wastewater[J]. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2012, 69: 62-68.
- [8] 胡洪营, 吴乾元, 吴光学, 等. 污水特质(水征)评价及其在污水再生处理工艺研究中的应用[J]. *环境科学研究*, 2019, 32(5): 7-15.
- [9] 胡洪营, 黄晶晶, 孙艳. 水质研究方法[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- [10] 国家环境保护总局, 国家质量监督检验检疫总局. 城镇污水处理厂污染物排放标准: GB 18918-2002[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [11] 国家卫生部, 国家标准化管理委员会生活饮用水卫生标准: GB 5749-2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [12] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [13] 邱勇, 施汉昌, 曾思育, 等. 污水处理厂自动控制系统的全流程策略与方法[J]. *中国给水排水*, 2011, 27(2): 16-19.
- [14] 譙建军. 三苯甲烷类染料废水微生物降解研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2005.
- [15] BABAN A, YEDILER A, CILIZ N K, et al. Biodegradability oriented treatability studies on high strength segregated wastewater of a woolen textile dyeing plant[J]. *Chemosphere*, 2004, 57(7): 731-738.
- [16] 蒋红梅, 陈玉成, 王定勇. 用BOD₅/TOD值评价废水可生化性的可行性分析[J]. *重庆环境科学*, 2000, 22(4): 47-49.
- [17] ZHAO X, HUANG H, HU H Y, et al. Increase of microbial growth potential in municipal secondary effluent by coagulation[J]. *Chemosphere*, 2014, 109: 14-19.
- [18] ZHAO X, HU H Y, YU T, et al. Effect of different molecular weight organic components on the increase of microbial growth potential of secondary effluent by ozonation[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2014, 26(11): 2190-2197.
- [19] GARCIA-OCHOA F, GOMEZ E, SANTOS V E, et al. Oxygen uptake rate in microbial processes: An overview[J]. *Biochemical Engineering Journal*, 2010, 49(3): 289-307.
- [20] 翁稣颖. 环境微生物学[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [21] NING Z, PATRY G G, SPANJERS H. Identification and quantification of nitrogen nutrient deficiency in the activated sludge process using respirometry[J]. *Water Research*, 2000, 34(13): 3345-3354.

(本文编辑: 曲娜, 郑晓梅, 张利田)

Bio-treatment feature and its quantitative evaluation of dyeing wastewater in pipeline

WANG Tianzhi^{1,2}, HU Hongying^{1,*}, WU Yinhu¹

1. Environmental Simulation and Pollution Control State Key Joint Laboratory, School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China

2. Research Institute for Environmental Innovation (Suzhou) Tsinghua, Suzhou 215163, China

*Corresponding author, E-mail: hyhu@tsinghua.edu.cn

Abstract Bio-treatment has become one of common treatment technologies for wastewater due to its low cost, simple equipment, economic and environmental benefits. In order to adapt to the high standard requirements in effluent quality in dyeing wastewater treatment, and consider the complexity of pollutant composition, the bio-treatment characteristics of dyeing wastewater need to be evaluated. In this study, the wastewater in pipeline to the wastewater plant discharged from the treated dyeing wastewater in the enterprises was taken as object, the quantitatively evaluation of biodegradation characteristics of organics in wastewater was achieved by analyzing the proportions of organic pollutions with different biodegradation difficulties. The result showed that when the B/C value of the dyeing wastewater was 0.26, only 18.60% organic matters in it could be biodegradable under the practical operational conditions. Among these biodegradable organic matters, the average contents of rapid biodegradable, easy biodegradable and normal biodegradable organic matters were 15.48%, 64.29% and 20.83%, respectively. Through increasing the nitrogen source and phosphorus source, the content of biodegradable organic matter in the dyeing wastewater increased by 53.45%~60.34%. Of which, nitrogen source mainly increased rapid biodegradable organic matters, phosphorus source mainly increased easy biodegradable organic matters. The evaluation method and result of dyeing wastewater bio-treatment feature could be taken as one part of the theoretical system and evaluation method for water characteristic indexes in wastewater treatment, which is conducive to knowing the current wastewater treatment process and water quality standard again, and optimizing the current technologies, processes combination and their operation.

Keywords biodegradation characteristics; dyeing wastewater; wastewater treatment; high standard