



蔬菜腌制厂清洗废水砂滤预处理的工艺

王学魁¹, 刘莹¹, 唐娜¹, 陈文东²

(1. 天津市海洋资源与化学重点实验室, 天津科技大学海洋科学与工程学院, 天津 300457;
2. 天津市食品加工工程中心, 天津 300457)

摘要: 采用预沉淀与砂滤结合的方法处理蔬菜腌制厂清洗废水. 通过小试实验和中试实验研究探讨滤料粒径、滤层厚度与滤料有效粒径比值(L/d_{10})及滤速对处理效果的影响, 比较研究不同因素在放大过程中的规律, 确定适宜的中试操作条件. 实验结果表明: 滤料粒径越小, 对浊度的去除效果越好, 粒径为 0.7~1.2 mm 的滤料对废水的浊度平均去除率可达 85.09%; L/d_{10} 越大, 过滤周期越长, 周期产水量越高. 小试中 L/d_{10} 由 60.4 增大为 120.1, 对应的过滤周期、周期产水量分别由 17 h、17.68 m³/m² 增长到 35 h、36.4 m³/m². 滤速越小, 过滤周期越长. 滤速由 2.08 m/h 减小为 0.52 m/h, 对应的过滤周期由 11 h 增长到 82 h. 中试实验设计条件为: $L/d_{10}=1100$, 滤速 $v=7.5$ m/h. 废水处理, 浊度、悬浮物(SS)的去除率分别为 82.56%、83.72%, 出水水质满足再生水用作工业回用水水源的水质要求. 同时此方法流程简单、容易操作, 为探索低成本高含盐废水处理技术提供了实验依据.

关键词: 蔬菜腌制厂; 清洗废水; 砂滤

中图分类号: X703 文献标志码: A 文章编号: 1672-6510(2013)04-0055-05

Sand Filtration Applied to the Treatment of Washing Wastewater in Vegetable Curing Factories

WANG Xuekui¹, LIU Ying¹, TANG Na¹, CHEN Wendong²

(1. Tianjin Key Laboratory of Marine Resources and Chemistry, College of Marine Science and Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China;
2. Tianjin Food Engineering Center, Tianjin 300457, China)

Abstract: Pretreatment of washing wastewater in vegetable curing factories was done through a combined process of precipitation and sand filtration. The effect of particle size of the filter material, the ratio of bed thickness to effective size of the filter material (L/d_{10}) and filtering velocity to the filter function were studied by laboratory and pilot tests. The best pilot operating conditions were chosen through the comparison between laboratory tests and enlarged experiments. The results showed that: the removal of turbidity increased with the decrease of particle size of the filter material; the removal of turbidity was up to 85.09% when the particle size of the filter material was 0.7~1.2 mm. The filter cycle and the periodic quantity of water produced increased with the increasing of L/d_{10} . The increase was from 17 h, 17.68 m³/m² at 60.4 (L/d_{10}) to 35 h, 36.40 m³/m² at 120.1 (L/d_{10}), respectively. The filter cycle increased from 11 h at 2.08 m/h (filtering velocity) to 82 h at 0.52 m/h (filtering velocity) with the decrease of filtering velocity. When the pilot operating conditions were 1100 (L/d_{10}) and 7.5 m/h (filtering velocity), the removal efficiency of turbidity, suspended substance (SS) was 82.56% and 83.72%, respectively. The production quality of the effluent could meet the standards of the reclaimed water to be reused in industry. At the same time, this method was simple and easy to operate. The research can thus lay a foundation for the exploration of low-cost treatment technology for the high-salt wastewater.

Key words: vegetable curing factory; washing wastewater; sand filtration

蔬菜腌制加工过程中, 盐水对蔬菜保存、腌制均具有良好的杀灭虫害作用, 不仅可以有效解决因淡水

收稿日期: 2012-12-14; 修回日期: 2013-01-21

作者简介: 王学魁(1956—), 男, 天津人, 教授, wxk@tust.edu.cn.

清洗造成的蔬菜腐烂变质的问题, 保证食品质量, 降低损失, 而且满足了国内外市场对腌制行业规范化生产的技术要求. 然而对于含盐废水的处理, 特别是高含盐腌制废水的处理一直以来是个难题. 研究^[1-3]表明, 腌制厂废水高盐度的特性对其处理方法产生很大的制约. 以辣椒腌制厂为例, 在废水处理过程中根据清洗废水的理化特点对废水依次进行沉淀、砂滤除去废水中固体不溶物, 然后采用活性炭吸附废水中水溶性有机污染物, 处理后废水无须排放, 可循环使用, 对腌渍产品质量无任何不良影响. 石英砂过滤作为水中悬浮物和胶体物质去除率较高的工序, 能降低水的浊度、色度, 去除水中细菌、藻类、病毒、铁、锰、放射性物质、某些溶解度低的重金属和有机物. 随着浊度的降低, 细菌基本上按比例降低, 病毒也在相当程度上随浊度的去除而去除. 砂滤过滤过程受滤前水质及其预处理程度、滤料级配、滤料不均匀系数、滤层厚度、滤速、过滤方式、水温、pH 等诸多因素的影响, 其中助滤剂、滤速和 L/d_{10} 比值 (L 为滤层的厚度, d_{10} 为滤料的有效粒径) 被认为对过滤性能影响相对较大^[4].

本研究选取滤料粒径、 L/d_{10} 、滤速 3 个影响因素进行了清洗废水小试实验、放大及中试实验, 探讨小试到中试的影响规律, 验证参数在过程中的放大效应, 为中试提供基础数据.

1 实验

1.1 实验水质

以天津某辣椒腌制厂清洗废水为进水, 其水质见表 1.

表 1 原水水质
Tab. 1 The raw water quality

色度	盐度/°Bé	温度/°C
<5	19~21	20~28
pH	浊度/NTU	总固体悬浮物 SS/(mg·L ⁻¹)
6.51~7.20	19.7~25	83.5~106

1.2 实验装置

砂滤实验装置如图 1 所示.

装置主要由原水箱、缓冲水箱、流量计、蠕动泵以及过滤柱组成, 连接管为乳胶管. 其中流量计为 LZB-15 型玻璃转子流量计, 蠕动泵型号为 BT300-2J. 小试实验过滤柱为内径 35 mm、总长 440 mm 的玻璃过滤柱, 放大实验过滤柱为内径 69 mm、总长 960 mm 的塑料过滤柱; 小试及放大实验过滤柱中石

英砂滤料自由填充于柱内, 装置底部设多孔板, 上部设溢流口.

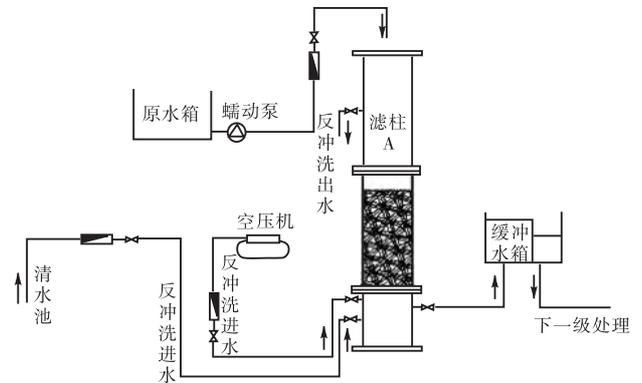


图 1 蔬菜腌制厂清洗废水砂滤实验装置

Fig. 1 Sand filtration device for washing wastewater from vegetable curing factories

1.3 检测方法

实验以浊度为水质主要的考察指标, 辅以水温、pH、悬浮物 (SS) 等指标. 浊度采用哈纳 HI98713 型便携式浊度仪测定, 滤速采用体积法测定, 其他指标测定参见《水与废水监测分析方法》^[5]. 实验周期开始前, 先用清水对滤层进行冲洗, 静置过夜以确保颗粒密集无缝隙. 过滤性能用浊度去除率、过滤周期或周期产水量表示. 为了保证实验结果的可比性, 尽可能使每个滤柱除考察因素外的实验条件相同.

2 结果与讨论

2.1 滤料粒径对过滤性能的影响

实验滤料为 0.5~2 mm 的石英砂, 用标准样筛筛分粒径分别为 0.5~1.0 mm、1.0~2.0 mm、0.7~1.2 mm 的滤料. 在 $L/d_{10} = 120.1$, $v = 1.04$ m/h 的条件下, 在小试过滤柱内进行实验. 实验结果如图 2 所示.

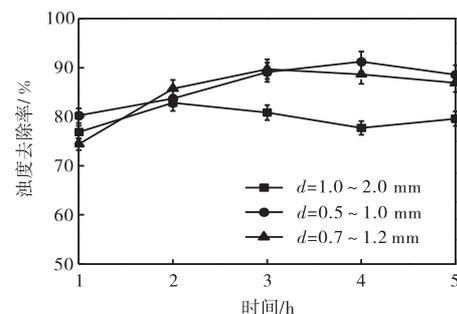


图 2 粒径对浊度去除率的影响

Fig. 2 Effect of particle size of the filter material on the removal of turbidity

从图2可以看出,3种粒径的石英砂滤料在设定的过滤条件下均有80%以上的浊度去除率。同时实验结果表明滤料粒径为0.5~1.0 mm、0.7~1.2 mm的滤柱较1.0~2.0 mm的滤柱有更高的浊度去除率,即较小的滤料粒径可获得更好的出水水质。但考虑到滤料粒径越小,过滤过程中水头损失就越大,可能导致较短的过滤周期,不利于提高滤层的产水量^[6],因此选择粒径为0.7~1.2 mm的滤料进行后续的实验研究。

2.2 L/d_{10} 对过滤性能的影响

前人^[7-9]的研究和生产实践表明,滤层厚度与滤料粒径的关系对过滤性能的影响很大。一般由于单位厚度的滤料与悬浮颗粒可能的接触次数的原因,滤料粒径越大,要求滤层的厚度就越大;滤料粒径越小,滤层的厚度相对可以较小。由于实际的滤层滤料粒径 d 并不均匀,故本研究采用 d_{10} 来代表滤层滤料粒径。 d_{10} 称为有效粒径,表示级配曲线上通过10%滤料质量的筛孔直径。有实验^[10]表明,起主要过滤作用的有效部分正是粒径小于 d_{10} 的那些颗粒。在滤料粒径为0.7~1.2 mm、滤速为1.04 m/h(小试实验)与2.14 m/h(放大实验)的条件下,研究 L/d_{10} 对过滤性能的影响。实验结果见图3、表2。

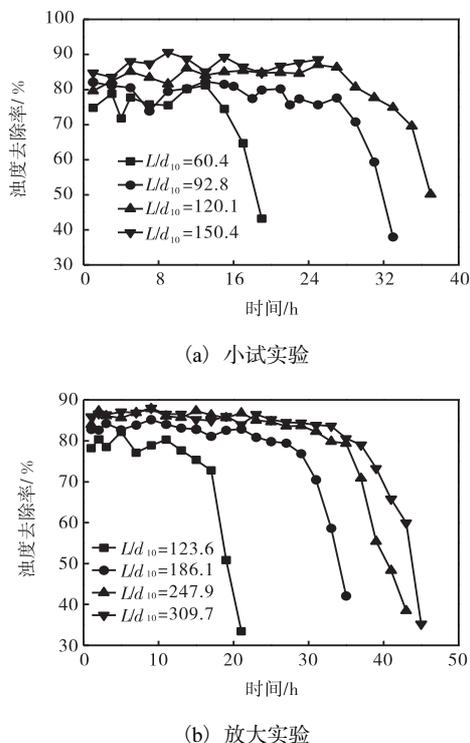


图3 不同 L/d_{10} 下浊度去除率比较

Fig. 3 Comparison of the removal efficiency of turbidity at different L/d_{10}

表2 不同 L/d_{10} 下周期产水量比较

Tab. 2 Comparison of the periodic quantity of water produced at different L/d_{10}

实验类型	L/d_{10}	过滤周期/h	周期产水量/($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$)
小试实验	60.4	17	17.68
	92.8	31	32.24
	120.1	35	36.40
	150.4	23	23.92
放大实验	123.6	19	40.66
	186.1	33	70.62
	247.9	39	83.46
	309.7	41	87.74

由图3及表2可知:不论是小试实验还是实验室放大实验, L/d_{10} 值越大,其浊度去除率越高,即相同的进水水质时, L/d_{10} 值越大出水水质越好,同时 L/d_{10} 值越大,过滤周期越长,周期产水量越高,但是随着 L/d_{10} 值增大,周期产水量增大的速率减小。如放大实验中, L/d_{10} 值由123.6增大为186.1时,对应的周期产水量由 $40.66 \text{ m}^3/\text{m}^2$ 增长为 $70.62 \text{ m}^3/\text{m}^2$,即 L/d_{10} 值增长50.56%,周期产水量的增长率为73.68%;同样, L/d_{10} 值由247.9增大为309.7时,对应的周期产水量由 $83.46 \text{ m}^3/\text{m}^2$ 增长为 $87.74 \text{ m}^3/\text{m}^2$,即 L/d_{10} 值增长率为24.93%,周期产水量的增长率仅为5.13%。然而,小试 L/d_{10} 值为120.1时的周期产水量反而较 L/d_{10} 为92.8时的周期产水量更小,这是由于 $L/d_{10}=120.1$ 实验过程中,滤层截污量大,滤层水头损失大,导致过滤终止。此现象在放大实验过程中并未出现,可见随着过程的放大,更深处的滤层被利用,滤层利用率提高。同时可知实验室放大实验相对于小试实验有较好的放大验证效果。比如小试实验中, $v=1.04 \text{ m/h}$, $L/d_{10}=120.1$ 时,过滤周期为35 h,周期产水量为 $36.4 \text{ m}^3/\text{m}^2$;放大实验中, $v=2.14 \text{ m/h}$, $L/d_{10}=247.9$ 时,过滤周期为39 h,周期产水量为 $83.46 \text{ m}^3/\text{m}^2$ 。

现有的过滤理论^[11-12]表明,滤料对水中悬浮颗粒的截留能力来自于滤料颗粒所具有的表面积。单位截面积滤层的滤料所提供的表面积越大,滤层对水中悬浮颗粒的截留能力越强。根据Susumu Kawamura提出的滤料表面积与滤层厚度及滤料粒径的关系式可知,较大的 L/d_{10} 比值能给滤层提供较大的表面积,因此增大 L/d_{10} 值能够改善滤层过滤性能。为保证更经济的过滤周期和周期产水量, L/d_{10} 值宜取较大值,然而过大的 L/d_{10} 值将增大滤层的水头损失及反冲洗难度,增加处理成本。

2.3 滤速的影响

在滤料粒径为 0.7 ~ 1.2 mm、 L/d_{10} 为 120.1 (小试实验) 与 247.9 (放大实验) 的条件下, 研究滤速对过滤性能的影响. 实验结果见图 4 及表 3.

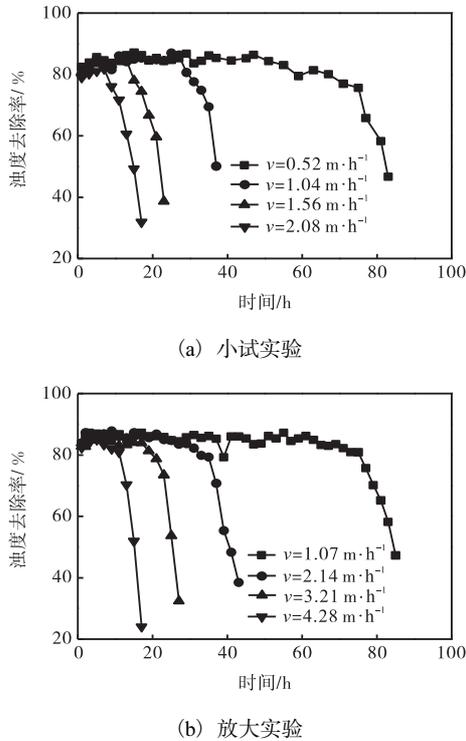


图 4 不同滤速下浊度去除率比较

Fig. 4 Comparison of the removal efficiency of turbidity at different filtering velocity

表 3 不同滤速下周期产水量比较

Tab. 3 Comparison of the periodic quantity of water produced at different filtering velocity

实验类型	滤速/(m·h ⁻¹)	过滤周期/h	周期产水量/(m ³ ·m ⁻²)
小试实验	0.52	79	41.08
	1.04	35	36.40
	1.56	21	32.76
	2.08	11	22.88
放大实验	1.07	83	88.81
	2.14	37	79.18
	3.21	24	77.04
	4.28	15	64.20

由图 4、表 3 可知, 滤速越大, 浊度去除率越小, 同时过滤过程波动较大、过滤周期较短, 并且放大实验过程中滤速对过滤性能的影响被放大. 这是由于过滤主要是悬浮颗粒与滤料颗粒间吸附作用的结果. 即在颗粒间吸附作用的同时, 还存在由于孔隙中水流剪力作用而导致颗粒从滤料表面脱落的趋势. 吸附力和水流剪力相对大小, 决定了颗粒吸附和脱落

的程度^[13-14]. 过滤的过程初期吸附作用占优势, 水流剪力较小, 孔隙率较大, 随着过滤过程的进行, 滤层中的杂质逐渐增多, 导致杂质堵塞孔隙, 孔隙率逐渐减小, 水流剪力因此增大, 以至最后被吸附上的颗粒将首先脱落下来, 或者由水流夹带的后续颗粒不再有吸附现象. 于是悬浮颗粒便向滤料下层推移, 下层滤料的截留作用慢慢得到发挥. 因此, 在滤速较低时, 吸附作用占优势, 滤层能够有效地截留悬浮颗粒, 因而滤后水水质较好, 浊度较低. 尽管过程中随着时间的延长滤层中杂质增多会导致悬浮颗粒下移, 最后堵塞孔隙, 过滤终止, 但相对来说这个过程较长, 即过滤周期较长, 周期产水量较高. 当滤速增加时, 水流剪力作用增强, 相应的吸附作用减弱, 原来附着在滤料或杂质颗粒表面的悬浮颗粒被剥落的数量增加, 导致滤后水浊度增高, 水质变差, 滤料孔隙被大量悬浮颗粒堵塞, 使过滤周期缩短, 周期产水量减小.

2.4 中试实验

在假设没有填装滤料 (石英砂) 的情况下, 水流通过整个滤层所占空间需要的时间称为空床接触时间^[15]. 在已给定设计流量的情况下, 空床接触时间是由滤层的截面面积及滤层的厚度来决定的. 它们之间的关系可用式 (1) 表示.

$$EBCT = \frac{0.7839D^2H}{Q} \quad (1)$$

式中: EBCT 为空床接触时间, min; D 为圆形滤层的直径, m; H 为滤层的厚度, m; Q 为设计吸附流量, m³/min.

小试及放大实验的结果均表明: L/d_{10} 值越大, 其浊度去除率越高, 过滤周期越长, 周期产水量越高; 滤速越大, 浊度去除率越小, 过滤周期越短. 同时通过分析可得到, 两种实验的最佳条件具有相同的 EBCT 为 10 min, 因此设计中试过程中 EBCT 为 10 min 左右. 中试实验选用过滤器尺寸: 内径 500 mm, 总长 1 750 mm, 材质为玻璃钢; 采用上流式进水; 水力停留时间设计为 10 min ($L/d_{10} = 1100$, 滤速 $v = 7.5$ m/h). 按操作条件进行实验, 结果见表 4.

表 4 中试实验结果

Tab. 4 Results of the pilot test

样品	浊度/(NTU)	SS/(mg·L ⁻¹)
原水样	25	86
出水	4.36	14
去除率/%	82.56	83.72

中试结果显示, 废水处理前后盐度、pH 基本不发生改变, 浊度、SS 的去除率分别为 82.56%、

83.72%,出水水质已达到 GB/T 19923—2005《城市污水再生利用·工业用水水质》中再生水用作工业用水水源的水质标准。

3 结 论

(1)砂滤处理废水过程中,滤料粒径、 L/d_{10} 、滤速对过滤性能的影响表现为:滤料粒径越小,对浊度的去除效果越好,但是粒径较小对延长过滤周期、提高滤层产水量、减缓水头损失的增长都是不利的,粒径为 0.7~1.2 mm 的滤料对废水浊度平均去除率可达 85.09%,满足实验出水要求; L/d_{10} 越大,过滤周期越长,周期产水量越高,小试实验中 L/d_{10} 由 60.4 增大为 120.1,对应的过滤周期、周期产水量分别由 17 h、 $17.68 \text{ m}^3/\text{m}^2$ 增长到 35 h、 $36.4 \text{ m}^3/\text{m}^2$;滤速越小,过滤周期越长,小试实验中滤速由 2.08 m/h 减小为 0.52 m/h,对应的过滤周期由 11 h 增长到 82 h。

(2)实验室放大过程中滤料粒径、 L/d_{10} 、滤速对过滤性能的影响与小试实验中的结果相一致。在此基础上,对中试操作条件进行了初步设计:空床接触时间为 10 min 左右, L/d_{10} 取 900~1 100,滤速 v 取 7.5~8.5 m/h。

(3)通过中试实验验证了砂滤对清洗废水的预处理效果,主要污染物指标得到有效降低,出水水质满足再生水用作工业用水水源的水质要求,同时为下一步废水的后续处理减轻了负担,有助于改善生态环境,同时此方法流程简单、容易操作、基建费和运行费低,便于管理,在探索低成本废水处理技术领域具有重要意义。

参考文献:

- [1] 雷云,解庆林,李艳红. 高盐度废水处理研究进展[J]. 环境科学与管理,2007,32(6):94-98.
- [2] Lefebvre O, Moletta R. Treatment of organic pollution in industrial saline wastewater: A literature review [J]. Water Research, 2006, 40(20):3671-3682.
- [3] 吴绮桃. 超高盐榨菜腌制废水处理技术试验研究[D]. 重庆:重庆大学,2007.
- [4] 袁旭安. 常规过滤工艺优化研究[D]. 长沙:湖南大学,2003.
- [5] 国家环保总局. 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.
- [6] 谢桂丽,何文杰,蔺洁,等. 不同滤料对丹江口水库水的过滤效果研究[J]. 供水技术,2012,6(5):1-4.
- [7] 李孟,刘新明. 国内外深层过滤理论的最新研究进展[J]. 中国水运,2006,6(10):45-46.
- [8] 雷济民,易伟,祝年俊. 深层过滤工艺技术与理论的研究发展[J]. 西南给排水,2010,32(2):15-17.
- [9] 邹家庆. 工业废水处理技术[M]. 北京:化学工业出版社,2003.
- [10] 曹建树,李卫清. 深层过滤流体力学性能的研究[J]. 过滤与分离,2006,16(3):26-28.
- [11] Vieno N M, Härkki H, Tuhkanen T, et al. Occurrence of pharmaceuticals in river water and their elimination in a pilot-scale drinking water treatment plant [J]. Environmental Science and Technology, 2007, 41(14):5077-5084.
- [12] 罗旭胜. 常规过滤影响因素的试验研究[J]. 湖南城市学院学报:自然科学版,2008,17(1):21-24.
- [13] 吕建波. 改性滤料高速过滤技术用于再生水生产的研究[D]. 天津:天津大学,2009.
- [14] 聂水源,吕小梅,李继,等. 纤维与石英砂过滤技术的比较研究[J]. 环境工程学报,2012,6(1):141-145.
- [15] 胡明城. 粒状活性炭固定床吸附系统的重要设计参数:空床接触时间(EBCT)[J]. 化工给排水设计,1998(3):17-18.

责任编辑:周建军