

Research Progress on Technology of Winery Wastewater Treatment

Wanjun Chen¹, Xueqin Li², Qiang An^{2*}

¹Grape Research Institute of Shandong Province, Ji'nan Shandong

²Chongqing University, Chongqing

Email: anqiang@cqu.edu.cn

Received: Sep. 5th, 2016; accepted: Sep. 30th, 2016; published: Oct. 7th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The characteristics of winery wastewater were introduced in this paper. The research status was reviewed from aerobic treatment, anaerobic treatment, physical adsorption treatment, advanced oxidation processes and advanced oxidation technology combined with biological treatment of winery wastewater treatment. The advantages and disadvantages of various technologies were also analyzed. Research perspective on technology of winery wastewater treatment was discussed; it pointed out that the optimal combination technology which is advanced oxidation technology combined with biological treatment could be an inevitable development trend of winery wastewater treatment technologies, and can provide the reference for the development of the wastewater treatment industries.

Keywords

Winery Wastewater, Traditional Process, Advanced Oxidative Process, Combined Process

葡萄酒生产废水处理技术研究进展

陈万钧¹, 李雪琴², 安强^{2*}

¹山东省葡萄研究院, 山东 济南

²重庆大学, 重庆

Email: anqiang@cqu.edu.cn

*通讯作者。

摘要

本文简单介绍了葡萄酒废水的产生及特性，从好氧处理、厌氧处理、物理吸附处理、高级氧化处理以及高级氧化与生物处理相结合等技术方面综述了葡萄酒生产废水处理的研究现状，并着重分析了各处理技术的优缺点。对葡萄酒生产废水处理技术的研究方向进行了展望，指出高级氧化技术与生物处理的组合工艺是葡萄酒生产废水处理技术的发展趋势，为废水处理行业提供参考依据。

关键词

葡萄酒生产废水，传统工艺，高级氧化技术，组合工艺

1. 引言

随着葡萄酒产业的日益发展，建厂数量越来越多、规模越来越大，葡萄酒生产废水的排放量逐年增加，葡萄酒生产废水的处理则成为众多研究者所关注的问题。葡萄酒生产废水主要来源于葡萄加工过程中的压榨、倒灌后的发酵罐清洗、过滤及灌装等工序，一般压榨 1 t 葡萄会产生 3~5 t 废水[1]。这些废水具有高浓度、高色度、高 SS 且悬浮物质不易沉淀、BOD/COD 比值大、存在不易降解的酯类或多酚类化合物等特点，是酿造业较难处理的一种废水[2]，若不加治理直接外排会引起水体的富营养化以及赤潮等现象，因此葡萄酒生产废水处理技术方面面临着严峻的挑战。针对葡萄酒生产这种季节性波动的高浓度有机废水，目前主要采用的是传统的生化处理法，在传统工艺基础之上，也有部分葡萄酒生产废水处理厂采用新兴的高级氧化技术以及高级氧化技术和生物处理的组合工艺，组合工艺相对节约成本、能耗较少，本文主要对相应处理技术进行了综述，为葡萄酒生产废水处理提供借鉴和参考，并对今后的研究方向提出建议。

2. 葡萄酒废水的产生及特性

葡萄酒生产工艺流程见图 1。

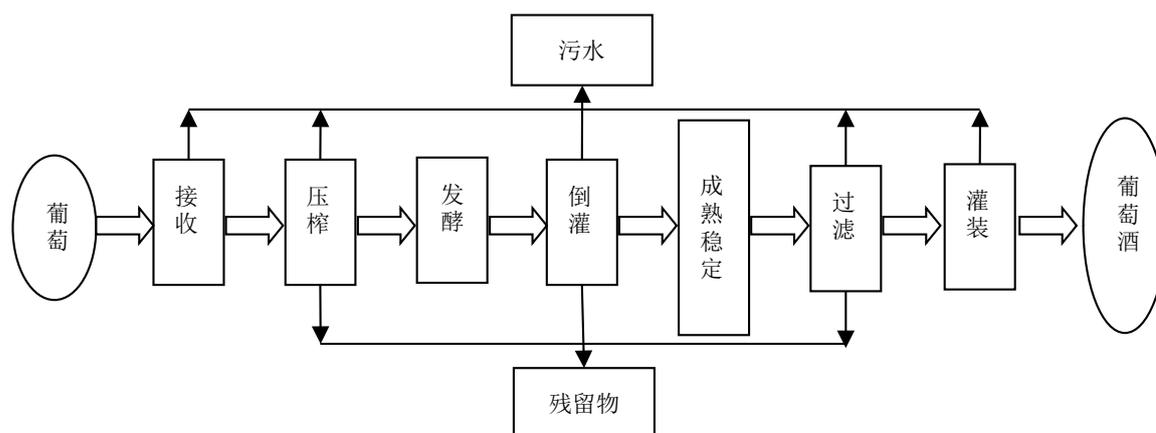


Figure 1. Production process of wine

图 1. 葡萄酒生产工艺流程

葡萄酒生产废水主要来源于设备的清洗和残液的排出,其中压榨阶段的废水占生产期间总废水量的30%左右, Mosse K P 等[3]采用 GS/MS 测定压榨阶段葡萄酒废水的成分,发现主要含有糖类、有机酸、低分子醇酯和多酚等成分,其 COD 非常高,是污染最严重的一个阶段;倒灌阶段产生的废水约占总废水量的19%,其含有大量的乙醇和乙酸,由于残渣的排放,废水中的 SS 很高;过滤阶段产生的废水量最大,约占总废水量的35%;灌装阶段持续时间长,废水量占总量的16%左右,污染物浓度较低。

葡萄酒生产废水主要特性[4]: 1) 有机物浓度高,生产高峰期的葡萄酒废水 COD 含量一般在 10,000 mg/L 以上,有的甚至能达到 20,000 mg/L; SS 浓度在 1000 mg/L 左右,色度在 500 倍以上; 2) 葡萄酒生产废水的水质水量随季节性波动较大,具有明显的季节性,每年的 9~11 月为集中加工期,其他时间为停工或深加工状态; 3) 含有大量易降解的有机成分, $\rho(\text{BOD}_5)/\rho(\text{COD})$ 一般大于 0.5,可生化性较好,同时还含有一定量的多酚类化合物,其可生化性较差; 4) 悬浮物浓度很高,且颗粒细小,不易沉淀; pH 值变化大,生产高峰期 pH 在 4.0 左右,而其他时期 pH 处于 7~8 范围。

3. 葡萄酒生产废水处理技术

3.1. 好氧生物处理技术

好氧生物法是在溶解氧充足条件下,利用污泥中好氧菌的新陈代谢作用对水中的有机污染物进行降解,从而净化水质。根据微生物存在形式的不同,可将好氧生物法分为活性污泥法和生物膜法。活性污泥法常见有序批式活性污泥法(SBR)和循环式活性污泥法(CASS), SBR 工艺运行操作是间歇的,主要通过控制曝气量、反应时间和污泥龄进行污水处理,工艺流程简单,设备及运行管理费用低,有较强的耐冲击负荷和处理高浓度有机废水的能力; CASS 则是在 SBR 与氧化沟技术基础上开发的新工艺,使反应器以好氧-缺氧-厌氧状态周期循环运行,其具有无需初沉池及二沉池、无需污泥回流、占地面积小等优点,提高了系统运行的稳定性。买文宁[5]采用 CASS 工艺处理葡萄酒生产废水,可使出水平均 COD、SS 分别为 49 mg/L 和 41 mg/L。Beck C 等[6]用活性污泥法处理葡萄酒废水,可去除 98% 的 COD, 85% 的磷酸盐和 50% 的 BOD_5 。针对葡萄酒废水水质波动大的特点, Maurizio Petruccioli 等[7]利用喷射环流活性污泥法处理葡萄酒废水,研究结果显示,该反应器对于季节性变化的废水可以稳定运行超过 12 个月,并且可以有效处理负荷在 $0.4\sim 5.9 \text{ kg COD/m}^3\cdot\text{d}$ 之间波动的废水,去除率均在 90% 以上。生物膜法则是利用固着生长与填料表面的微生物进行处理,主要有生物滤池、生物转盘法和接触氧化法。Lida Malandra 等[8]对生物转盘(RBC)处理葡萄酒废水进行了研究,结果显示提纯后的酵母菌株在曝气 24 h 时 COD 去除率可达 95%,而采用同样提纯后的细菌菌株对 COD 去除效果不明显,则微生物的选择性培养对葡萄酒生产废水处理至关重要,生物膜法在啤酒废水中的应用相对较多,葡萄酒生产废水方面的研究还不够完善。

3.2. 厌氧处理技术

厌氧处理技术是在系统无氧或缺氧条件下,通过专性厌氧菌和兼性菌的新陈代谢作用对有机物进行降解,最终代谢产物为 CO_2 和 CH_4 气体,从而去除有机污染物,且 CH_4 气体能作为燃料并能用于合成氨、尿素和炭黑等多种资源化途径。对于高浓度的有机废水往往采用厌氧工艺作为预处理,去除部分有机物,降低后续工艺的运行负荷。厌氧处理的优点主要有处理成本低、能源需求少,设备负荷高、占地少,剩余污泥比好氧法少,对营养物的需求量少,菌种在中止供给营养情况下保留活性,适合处理高浓度有机废水等;厌氧处理的缺点主要是出水 COD 高,微生物对有毒物质敏感,初次启动过程缓慢,对水温要求较高等。常见的厌氧处理反应器有上流式厌氧污泥床反应器(UASB)、厌氧序批间歇式反应器(ASBR)、厌氧流化床反应器(AFB)。UASB 污泥床层的污泥颗粒化从而提高污泥体积指数,其在啤酒废水处理方面应用较为广泛与成熟。Bileen Wolmarans 等[9]利用 UASB 处理葡萄酒生产废水,研究结果表明 UASB 每年

关闭 10 个月后,再次启动只需数日即可运行稳定,且 COD 去除率可达 90%;Keyser M 等研究表明接种含 *E. sakazakii* 菌种的颗粒污泥时, COD 去除率能达 90%;马可民等[10]采用 UASB 反应器处理葡萄酒生产废水,对 COD 的去除率在 80%左右;ASBR 是 UASB 的分批处理变型,它所需体积比连续工艺所需体积大,但不需要单独的沉淀池和外部固体回流,且不会发生断流现象。Ruiz C [11]利用 ASBR 工艺对葡萄酒生产废水进行处理,有机负荷为 8.6 g COD/L·d,水力停留时间(HRT)为 2.2 d 时, COD 的去除率可达到 98%;也有研究学者向 ASBR 中投加聚亚安酯泡沫,固定反应器中的微生物,使悬浮床和固定膜于一体,从而提高系统的稳定性和处理效率。Converti A 等[12]用 AFB 反应器处理葡萄酒废水,研究表明当有机负荷率分别为 6.2、42.8 kg/(m³·d)时,相应的 COD 去除率为 91%和 62%; Ganesh R [13]同样采用 AFB 反应器处理葡萄酒生产废水,在最大有机负荷为 42 g/L·d 时, COD 去除率在 80%左右。也有学者利用 IC 厌氧反应器培养大量厌氧微生物对酿酒废水进行处理,温度为 35℃~37℃,有机负荷 8.64 kg/(m³·d)时, COD 去除率可达 85%以上。COD 的去除效率与污泥接种类型、污泥负荷、温度以及 pH 等因素有关,部分研究表明接种啤酒厂废水的颗粒污泥比接种市政污水厂的颗粒污泥更易达到稳定,且处理效果更好。

3.3. 物理吸附处理技术

物理吸附处理主要是借助含有多孔的固体物质,使水中污染物被吸附在固体孔隙内而得到去除。由于葡萄酒生产废水中含有难降解的多酚类化合物,物理吸附常作为葡萄酒废水处理的一种辅助处理技术,物理吸附处理中常采用膨润土、粉煤灰、活性炭、树脂等吸附材料,其中膨润土主要由蒙脱石等粘土矿物组成,具有吸水率大,膨胀容大,在水介质中分散性好,阳离子交换容量大等优点。李金娥等[14]采用新疆有机膨润土处理葡萄酒生产废水,膨润土用量为 1.2 g/50mL,初始 pH = 5.0,反应时间为 60 min 时,可使 COD_{Cr} 和 BOD₅ 去除率达到 60%和 79%;孙凤娟等[15]人采用膨润土吸附-微波催化氧化处理葡萄酒生产废水,膨润土用量为 1.3 g/50mL,质量分数 30%的 H₂O₂ 用量为 2.1 mL,反应时间 25 min, pH = 3.5, 时,可使 COD 去除率达到 80%以上;采用活性炭吸附-微波催化氧化协同处理葡萄酒生产废水,最大 COD 去除率可达 90%。由于葡萄酒废水具有高浓度的特点,单一的物理吸附处理难以达到国家一级排放标准,故常与其他处理技术相结合以及做后续的生化处理,且物理吸附技术主要在于吸附剂的研发与选择,该技术仍具有广阔的研发领域。

3.4. 高级氧化处理技术

葡萄酒生产废水存在难降解的多酚类化合物,传统的生物处理技术,不论是厌氧还是好氧处理法,出水 COD 仍保持一定浓度无法降低,使最终出水 COD 难以降到 60 mg/L 或更高的排放标准。有研究表明采用生物处理技术时,多酚浓度会抑制微生物的活性,从而降低 COD 的去除效率,为了克服这一难题,新兴的高级氧化技术便逐渐应用到葡萄酒生产废水处理中,且常用的主要有臭氧氧化和 Fenton 氧化。

3.4.1. 臭氧氧化

臭氧对废水有机物的氧化途径分为直接氧化和间接氧化。直接氧化是 O₃ 作为氧化剂进行氧化,间接氧化是在利用水溶液中产生的羟基自由基·OH 氧化有机物,两种氧化的区别在于氧化的主体不同。臭氧对一些难降解的多酚类有机物有很好的反应性和选择性,在碱性环境下,臭氧产生·OH 的速率较快,可直接氧化有机物,在酸性环境下其产生·OH 的反应速率较慢,故常采用投加 H₂O₂ 和 UV 等方法催化臭氧分解产生·OH 以提高反应速率。李金成等[16]利用臭氧预氧化处理葡萄酒废水结果显示单一臭氧氧化并不能使水中的有机物彻底矿化,而是将大部分复杂有机物分解并转化为中间产物,这些中间产物包括醇、酸、醛等,但对色度的去除效果较明显。O₃/H₂O₂ 组合工艺是在传统的单一氧化技术上发展而来的一项新

的高级氧化技术, 结合了臭氧氧化和过氧化氢氧化化的优点, 产生更多的具有强氧化性的基团·OH, 在 $O_3/H_2O_2 = 1$ 时, COD 的去除率和脱色率均达最优, 葡萄酒废水的 COD 去除率比单独臭氧氧化提高 4 倍, 除色效果也有提高。Marco S L 等[17]在一定 pH 条件下, 研究了多种氧化方式组合对葡萄酒废水 COD 的去除效果, 其实验结果为 $O_3/UV/H_2O_2 > O_3/UV > O_3 > UV-C$, 且 Visnja Orescanin 等[18]以 $O_3/UV/H_2O_2$ 处理葡萄酒废水, 对 COD 的去除率达到 77%, 色度、SS 去除率达 99%。也有部分研究利用臭氧氧化作为预处理, 使葡萄酒生产废水的可降解性得到改善, 再结合好氧处理使葡萄酒生产废水中的 COD 能得到更快、更彻底的去除, 可见以臭氧为基础的高级氧化技术是处理葡萄酒生产废水的另一发展方向。

3.4.2. Fenton 氧化

Fenton 氧化处理即在溶液中加入亚铁离子和过氧化氢, H_2O_2 在 Fe^{2+} 的催化作用下形成具有强氧化性的自由基·OH, ·OH 氧化电极电位较高, 具有很强的氧化性; ·OH 可以无选择地氧化废水中的任何污染物, 将其氧化为无机盐、 CO_2 、 H_2O 或一些小分子有机物, 而不会产生二次污染; 其反应速率较其他传统化学氧化法快; 氧化条件温和, 不需要过高的温度, 容易得到应用。李金成等[2]利用 Fenton 试剂对葡萄酒生产废水进行了预处理研究, 结果表明葡萄酒生产废水的 pH 正好与 Fenton 试剂氧化的最佳 pH 范围(3~5)相近, 故采用 Fenton 法进行预处理, 可不用调节废水 pH。UV/Fenton 试剂法作为一种新型催化氧化技术应用广泛, 其作用原理是在光的催化作用下产生·OH 自由基, 利用其强氧化性氧化有机污染物, 相对于传统 Fenton 氧化技术提高了处理效率。Monteagudo J M 等[19]采用 UV/Fenton 试剂法处理葡萄酒生产废水, 反应时间 6 h 时, TOC 的去除率达到 61%, Maria P. Ormad [20]采用均相光 Fenton 氧化技术进行葡萄酒生产废水的预处理, TOC 最高去除率为 47%, Rosa Mosteo [21]利用非均相光 Fenton 氧化技术预处理葡萄酒生产废水, TOC 最高去除率可达到 55%。Fenton 氧化常与不同光源联合进行废水处理, 如可见光和紫外光等, 不同的光源和光强对葡萄酒生产废水中的多酚类物质降解效果也各不相同, 故高级氧化技术仍有进一步研究的空间。

3.5. 高级氧化技术 + 生物处理技术

随着各地废水排放标准的不断加严, 废水深度处理已成为目前研究的热点及必要趋势, 新兴的高级氧化技术处理效率高、操作灵活、处理效果不受水质水量变化影响, 且可提高废水的可生化性, 故通常作为深度处理技术对废水进一步处理。面对愈严的排放标准, 单一处理技术已不能较好地达到排放要求, 为了提高废水处理效率, 不少学者对高级氧化与生物处理进行组合, 进一步进行深度处理, 通常有以下几种: 高级氧化预处理 + 厌氧 + 好氧工艺, 厌氧 + 高级氧化 + 好氧工艺, 厌氧 + 好氧 + 高级氧化后处理。李金成等[2] [16]利用臭氧氧化 + SBR 工艺处理葡萄酒废水, 出水 COD 可降至 80 mg/L 以下, Fenton 氧化 + SBR 工艺处理葡萄酒废水, 出水 COD 可降至 40 mg/L。Mosteo R 等[21]采用自然光-Fenton/活性污泥工艺处理葡萄酒生产废水, 结果显示自然光-Fenton 预处理可使原水中 COD 降低至好样处理需求范围内, 同时预处理后水中多酚类化合物浓度由 99 mg/L 下降至 40 mg/L, 从而使好氧处理出水水质大大提高。Francisca C M 等[22]用不同的高级氧化技术作为生物处理的后处理即深度处理, 结果表明高级氧化能将生物处理出水中无法去除的多酚成分有效去除。Beltran F J 等[23]利用臭氧氧化 + 生物处理能使葡萄酒生产废水中的多酚类物质去除率由 14% 提高到 25.8%。高级氧化一方面可直接分解部分难降解有机物, 同时又能氧化大量的中间产物如丙醇、丙酸等, 进一步利用生物处理可实现葡萄酒生产废水 COD 的深度去除。将不同技术相结合, 一方面针对预处理, 另一方面作为深度处理, 达到互补共益的效果, 高级氧化 + 生物处理技术能节约一定成本, 并提高废水处理效率, 故组合工艺在葡萄酒生产废水处理中的应用与推广有不可估量的前景。

4. 结论与展望

葡萄酒生产废水的处理是酿造业的一项重要的研究课题, 受到了国内外各界人士的密切重视。本文对现阶段葡萄酒生产废水的产生、特性及处理技术进行了总结, 较传统的处理技术主要是好氧处理、厌氧处理及物理吸附处理, 处理葡萄酒废水效果一般, 较为新兴的处理技术是高级氧化技术以及高级氧化技术与生物处理相结合的工艺, 高级氧化技术能改善葡萄酒废水的可生化性, 能够有效降解多酚类难降解有机物, 为葡萄酒生产废水的处理开辟了新思路。组合工艺的引用是葡萄酒生产废水深度处理的一大前景, 目前国内对葡萄酒废水的处理大多处于实验室模拟研究阶段, 只有极少数工艺已经应用于生产实践, 新兴技术的推广应用还有待进一步的研究。

参考文献 (References)

- [1] Sheridan, C.M., *et al.* (2011) An Annual and Seasonal Characterisation of Winery Effluent in South Africa. *South African Journal for Enology & Viticulture*, **32**, 1-8.
- [2] 李金成, 张旭, 张慧英, 等. Fenton 预氧化——SBR 处理葡萄酒废水试验研究[J]. 工业水处理, 2014, 34(4): 47-50.
- [3] Mosse, K.P.M., *et al.* (2011) Review: Winery Wastewater Quality and Treatment Options in Australia. *Australian Journal of Grape & Wine Research*, **17**, 111-122. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1755-0238.2011.00132.x>
- [4] 张旭. 葡萄酒生产废水处理工艺研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 青岛理工大学, 2013.
- [5] 买文宁, 苗利, 曾科. 葡萄酒废水处理工程的设计与运行[J]. 工业用水与废水, 2002, 33(2): 48-49.
- [6] Beck, C., Prades, G. and Sadowski, A.G. (2005) Activated Sludge Wastewater Treatment Plants Optimisation to Face Pollution Overloads during Grape Harvest Periods. *Water Science & Technology: A Journal of the International Association on Water Pollution Research*, **51**, 81-88.
- [7] Petruccioli, M., Duarte, J. and Federici, F. (2000) High-Rate Aerobic Treatment of Winery Wastewater Using Bioreactors with Free and Immobilized Activated Sludge. *Journal of Bioscience & Bioengineering*, **90**, 381-386. [http://dx.doi.org/10.1016/S1389-1723\(01\)80005-0](http://dx.doi.org/10.1016/S1389-1723(01)80005-0)
- [8] Malandra, L., *et al.* (2003) Microbiology of a Biological Contactor for Winery Wastewater Treatment. *Water Research*, **37**, 4125-4134. [http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354\(03\)00339-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00339-7)
- [9] Wolmarans, B. and Villiers, G.H.D. (2002) Start-Up of a UASB Effluent Treatment Plant on Distillery Wastewater. *Water SA*, **28**, 63-68. <http://dx.doi.org/10.4314/wsa.v28i1.4869>
- [10] 马可民, 曲颂华. 厌氧-好氧工艺在长城葡萄酒厂废水处理中的应用[J]. 环境保护, 1999(1): 13.
- [11] Ruiz, C., *et al.* (2002) Treatment of Winery Wastewater by an Anaerobic Sequencing Batch Reactor. *Water Science & Technology: A Journal of the International Association on Water Pollution Research*, **45**, 219-224.
- [12] Converti, A., *et al.* (1990) The Fluidized Bed Reactor in the Anaerobic Treatment of Wine Wastewater. *Bioprocess & Biosystems Engineering*, **5**, 49-55. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00589145>
- [13] Ganesh, R., *et al.* (2009) Anaerobic Treatment of Winery Wastewater in Fixed Bed Reactors. *Bioprocess & Biosystems Engineering*, **33**, 619-628. <http://dx.doi.org/10.1007/s00449-009-0387-9>
- [14] 李金娥, 代斌. 有机膨润土处理葡萄酒废水的试验研究[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2011(5): 41-44.
- [15] 孙凤娟, 鲁建江, 李晓蓉, 等. 膨润土吸附-微波催化氧化协同处理葡萄酒废水[J]. 环境工程学报, 2010, 4(4): 805-808.
- [16] 李金成, 张旭, 张慧英, 等. 臭氧预氧化处理葡萄酒废水[J]. 环境工程学报, 2014, 8(7): 2843-2847.
- [17] Lucas, M.S., Peres, J.A. and Puma, G.L. (2010) Treatment of Winery Wastewater by Ozone-Based Advanced Oxidation Processes (O_3 , O_3/UV and $O_3/UV/H_2O_2$) in a Pilot-Scale Bubble Column Reactor and Process Economics. *Separation & Purification Technology*, **72**, 235-241. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2010.01.016>
- [18] Orescanin, V., Kollar, R., Nad, K., Mikelic, I.L. and Gustek, S.F. (2013) Treatment of Winery Wastewater by Electrochemical Methods and Advanced Oxidation Processes. *Journal of Environmental Science & Health Part A*, **48**, 1543-1547. <http://dx.doi.org/10.1080/10934529.2013.797267>
- [19] Monteagudo, J.M., Durán, A., Corral, J.M., Carnicer, A., Frades, J.M. and Alonso, M.A. (2012) Ferrioxalate-Induced Solar Photo-Fenton System for the Treatment of Winery Wastewaters. *Chemical Engineering Journal*, **181-182**, 281-288. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2011.11.080>

- [20] Ormad, M.P., Mosteo, R., Ibarz, C. and Ovelleiro, J.L. (2006) Multivariate Approach to the Photo-Fenton Process Applied to the Degradation of Winery Wastewaters. *Applied Catalysis B: Environmental*, **66**, 58-63. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apcatb.2006.02.014>
- [21] Mosteo, R., Ormad, P., Mozas, E., Sarasa, J. and Ovelleiro, J.L. (2006) Factorial Experimental Design of Winery Wastewaters Treatment by Heterogeneous Photo-Fenton Process. *Water Research*, **40**, 1561-1568. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2006.02.008>
- [22] Moreira, F.C., Boaventura, R.A.R., Brillas, E. and Vilar, V.J.P. (2015) Remediation of a Winery Wastewater Combining Aerobic Biological Oxidation and Electrochemical Advanced Oxidation Processes. *Water Research*, **75**, 95-108. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2015.02.029>
- [23] Beltrán, F.J., Garcíaaraya, J.F. and Alvarez, P.M. (1999) Wine Distillery Wastewater Degradation. 2. Improvement of Aerobic Biodegradation by Means of an Integrated Chemical (Ozone)-Biological Treatment. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, **47**, 3919-3924. <http://dx.doi.org/10.1021/jf9812634>

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>期刊邮箱: wpt@hanspub.org