

## 薯类淀粉废水处理技术及资源化利用研究进展

肖继波<sup>1</sup>, 赵委托<sup>2</sup>, 褚淑祎<sup>1</sup>, 陆国权<sup>3</sup>

(1. 浙江农林大学 环境与资源学院, 浙江 临安 311300; 2. 浙江农林大学 工程学院, 浙江 临安 311300;  
3. 浙江农林大学 农业与食品科学学院, 浙江 临安 311300)

**摘要:** 薯类淀粉加工过程中产生的大量高浓度有机废水不仅严重污染环境, 还造成了资源的巨大浪费。对薯类淀粉废水处理及其资源化利用方法进行了综述, 介绍了絮凝沉淀法、生物处理法及土地处理法在薯类淀粉废水处理方面的发展和运用, 及薯类淀粉废水处理资源化利用的途径。指出回收、利用废水中的有效成分不仅具有一定的经济效益, 而且可有效降低废水污染负荷, 减轻后续处理的压力。参 48

**关键词:** 环境保护学; 薯类淀粉; 废水处理; 处理技术; 资源化利用; 综述

**中图分类号:** X712      **文献标志码:** A      **文章编号:** 2095-0756(2013)02-0292-07

## Research progress on treatment technology and resource utilization of potato starch wastewater

XIAO Jibo<sup>1</sup>, ZHAO Weituo<sup>2</sup>, CHU Shuyi<sup>1</sup>, LU Guoquan<sup>3</sup>

(1. School of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China;  
2. School of Engineering, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 3. School of Agriculture and Food Science, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

**Abstract:** Production process of potato starch produces large volume of wastewater containing high-concentration organic compounds, which not only pollutes the environment seriously, but also results in a huge waste of resources. This paper reviewed both the treatment technologies and resource utilization approaches of potato starch wastewater. Resource utilization approaches of the wastewater as well as the development and application of methods such as flocculation/sedimentation, biological treatment, and land treatment were discussed. The paper pointed out that recycling of the effective components from the wastewater would not only generate economic benefits but also significantly reduce the pollution load, hence reducing the subsequent treatment pressure. [Ch, 48 ref.]

**Key words:** environmental protection science; potato starch; wastewater treatment; treatment technology; resource utilization; review

薯类(包括马铃薯 *Solanum tuberosum*, 甘薯 *Ipomoea batatas*, 木薯 *Manihot esculenta* 等)是生产淀粉的重要原料。薯类淀粉加工过程产生大量含有淀粉和蛋白质的高浓度有机废水, 根据生产工艺分为洗薯废水和黄浆水。该废水一般无毒, 生化性较好, 但排放量大, 生产 1 t 薯类淀粉耗水量约为 10~20 m<sup>3</sup>, 且化学需氧量(chemical oxygen demand, COD)质量浓度高达 5.0~50.0 g·L<sup>-1</sup>, 五日生化需氧量(BOD<sub>5</sub>)和

收稿日期: 2012-03-15; 修回日期: 2012-04-24

基金项目: 国家甘薯产业技术体系岗位专家专项(CARS-11-B-18); 国家水体污染控制与治理重大科技专项(2008ZX07101-006-08); 浙江省重大科技专项(2009C03006-3); 温州市招投标项目(F-GB201106130119, Z100602217); 浙江省大学生科技创新项目(2010R412037)

作者简介: 肖继波, 副教授, 博士, 从事污染水体生态修复和环境生物技术研究。E-mail: jbx958@yahoo.com.cn。通信作者: 陆国权, 教授, 博士, 从事根茎植物生物技术及其高新技术产品开发研究。E-mail: lugq10@zju.edu.cn

固体悬浮物质量浓度(SS)分别达  $20.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  和  $3.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。废水若直接排放将造成水体缺氧,使水生生物大量死亡,随着废水中有机质沉积腐烂,释放出硫化氢、氨气和硫醇一类的有害气体,严重污染环境。由于薯类淀粉加工具有季节性强、周期短及分散性大等特点,使得薯类资源难以规模化加工利用;且淀粉加工过程中耗水量和排污量大,不仅给治理造成诸多困难,而且限制了薯类产业规模集聚效益的发展。薯类淀粉废水中含有大量可回收利用的溶解性淀粉和蛋白质,若将它们回收利用,不仅可变废为宝,亦可减轻废水处理的压力。本文综述了薯类淀粉废水处理方法及资源化利用方法,并对其发展方向作出展望。

## 1 薯类淀粉废水处理方法

### 1.1 絮凝沉淀法

絮凝沉淀法可有效降低薯类淀粉废水的浊度和色度,能去除多种高分子有机物<sup>[1-2]</sup>。薯类淀粉废水处理常用的絮凝剂有无机、有机和微生物絮凝剂。絮凝剂的种类决定了絮凝沉淀效果。杜新贞等<sup>[3]</sup>采用聚合氯化铝(PAC)混凝沉淀、泡沫分离和吸附法联用处理马铃薯淀粉废水,化学需氧量(COD)和蛋白质总去除率分别达 80.1%和 89.4%。韩冬等<sup>[4]</sup>用 PAC 和助凝剂聚丙烯酰胺(PAM)处理马铃薯淀粉废水,在 pH 10 时, COD、浊度、悬浮物 SS, 去除率分别为 58.14%, 91.97%和 91.11%。Xie 等<sup>[5]</sup>将阳离子变性淀粉与聚合硫酸铁(PFS)复配使用预处理马铃薯淀粉废水, COD 去除率达 61.32%。王有乐等<sup>[6]</sup>用根霉 *Rhizopus* M9 和 M17 复配生产复合型微生物絮凝剂 CMBF917, 其投药量为  $0.1 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ , 无需调节废水 pH 值, 在 1 L 废水中投加 5 mL  $100.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  的助凝剂氯化钙, 即可使马铃薯淀粉废水的浊度和 COD 去除率分别达 92.11%和 54.09%, 通过絮凝还可回收无毒无害的蛋白物质  $1.1 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

传统絮凝剂具有投药量少、沉降速度快、对气温变化适应性强等优点,但对废水中分子量较小和水溶性的有机污染物,处理效果并不理想。此外,研究表明:以 PAM 为代表的人工合成的有机高分子絮凝剂不易被降解,且具二次污染。与传统絮凝剂相比,微生物絮凝剂以其除浊脱色性好、易降解、无毒无害、无二次污染,适用性广,沉淀物还可回收利用等优点,在薯类淀粉废水处理中应用前景广阔。

### 1.2 生物处理法

常用的高浓度薯类淀粉废水生物处理方法有厌氧生物法<sup>[7]</sup>、好氧生物法<sup>[8]</sup>、厌氧-好氧组合法及膜生物反应器法(MBR)等。厌氧生物法是在无游离氧(分子氧)条件下,利用兼性与厌氧微生物降解和稳定有机物。厌氧生物法处理薯类淀粉废水具有能耗低、污泥产量量少、处理效率高等优点,但反应时间较长,处理构筑物容积大,对水温比较敏感,处理后的水质较差。目前,该废水厌氧生物处理工艺主要有上流式厌氧污泥床(UASB)<sup>[9-10]</sup>,折流式厌氧反应器(ABR)<sup>[11]</sup>,颗粒污泥膨胀床(EGSB)<sup>[12-13]</sup>,厌氧接触法(ACP)<sup>[14]</sup>,厌氧滤池(AF)<sup>[15-16]</sup>及厌氧流化床(AFB)<sup>[17]</sup>等。好氧生物法是在游离氧(分子氧)存在条件下,好氧微生物降解有机物,使它们稳定、无害化的处理方法。薯类淀粉废水好氧生物法主要有序批式活性污泥法(SBR)<sup>[18]</sup>,生物接触氧化法<sup>[19]</sup>,循环式活性污泥法(CASS),好氧塘法等。与厌氧生物法相比,好氧生物法具有处理能力强、出水水质好、占地少等优点。但其能耗大,运行条件苛刻,无能量回收等,适合处理低浓度的有机废水。由于薯类淀粉废水有机负荷高,处理难度大,实际薯类淀粉加工废水处理中,常将厌氧生物法与好氧生物法联合使用。

1.2.1 厌氧-好氧组合法 Abeling 等<sup>[20]</sup>, Park 等<sup>[21]</sup>, Lin 等<sup>[22]</sup>采用厌氧-好氧组合工艺处理淀粉废水都取得较好的效果。Hien 等<sup>[23]</sup>采用 UASB-氧化塘工艺处理木薯淀粉废水,经厌氧处理, COD 由  $13\ 449 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  降至  $624\sim 780 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , COD 去除率达 90%~95%, 废水进入后续处理单元氧化塘,在水力停留时间(HRT)为 12~20 d 条件下, COD 可降到  $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  以下。张秀明等<sup>[24]</sup>采用 UASB-A/O 工艺处理马铃薯淀粉废水, COD, BOD<sub>5</sub>, SS 去除率分别为 99.0%, 99.5%, 99.5%, 系统运行稳定且处理费用较低。韩彪等<sup>[25]</sup>采用 UASB-CASS-混凝工艺处理木薯淀粉废水,在进水 COD, BOD<sub>5</sub>, SS 分别为 13 078, 7 297,  $3\ 386 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  时,出水 COD, BOD<sub>5</sub>, SS 分别为 96, 18,  $42 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 三者去除率均在 99%以上,出水水质较好,同时可回收利用处理过程中产生的沼气,具有良好的环境效益和社会经济效益。李嘉等<sup>[26]</sup>应用水解酸化反应器+AB 活性污泥工艺处理高浓度马铃薯淀粉废水。在进水 COD 为  $8 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  左右,最佳水力停留时间为 15 h 时,该系统运行费用低,出水稳定,可达到(GB 8978-1996)《污水综合排放标准》一级标

准。王向华等<sup>[27]</sup>采用 ABR-氧化沟工艺处理高浓度甘薯淀粉废水, BOD<sub>5</sub> 和 COD 去除率分别达到 99.7% 和 99.2%, 出水水质达到(GB 8978-1996)《污水综合排放标准》一级标准。Wang 等<sup>[28]</sup>采用三级厌氧-好氧一体式折流板生物反应器处理马铃薯淀粉废水, 通过在好氧室添加废弃橡胶作为好氧微生物附着生长的填料, 在 25~35 ℃, pH 5.0~8.5 时, COD 和氨氮总去除率分别达 98.7% 和 82.3%。而何玉凤等<sup>[29]</sup>同样使用三级厌氧-好氧一体式折流板生物反应器, 通过在好氧室添加多孔炉渣, 作为好氧微生物附着生长的填料, 当 COD 为 1.4~3.0 g·L<sup>-1</sup>, 氨氮为 15~24 mg·L<sup>-1</sup> 时, 系统出水 COD ≤ 200 mg·L<sup>-1</sup>, 氨氮为 10.8 mg·L<sup>-1</sup>。

综上所述: 采用厌氧-好氧组合法处理薯类淀粉废水, 具有抗冲击负荷能力强、能耗低、运行稳定等优点。该法启动周期长, 微生物活性受水温和碱度影响较大。由于薯类淀粉废水浓度高, 厌氧处理效果的好坏是整个工程造价和运行成本高低的关键。近年来, 随着厌氧技术的发展, 以 ABR 为代表的第 3 代厌氧反应器以其生物固体截留能力强、启动速度快、水力混合条件好、受环境影响小等优点受到越来越多的重视。在薯类淀粉废水处理中, 今后将更注重研究运行稳定、处理效果好、费用低的高级高效厌氧反应器与好氧技术的联合运用。

**1.2.2 膜生物反应器法** 膜生物反应器(membrane bio-reactor, MBR)法, 是将膜分离单元与生物处理单元相结合而开发的新型水处理技术。MBR 具有污染物去除率高, 抗冲击负荷能力强等优点, 在实际应用中, 单一处理很难达到废水处理标准, 往往需要其他工艺与 MBR 结合使用。吕建国<sup>[30]</sup>采用超滤(UF)+膜生物反应器处理马铃薯淀粉废水。在进水 COD 质量浓度为 5~9 g·L<sup>-1</sup>, HRT 为 30 h 时, COD 的去除率大于 90%。王文正等<sup>[31]</sup>采用厌氧内循环反应器(IC)与 MBR 联用工艺处理马铃薯淀粉生产废水, 结果表明: 15~25 ℃范围内 IC 反应器最经济有效的 HRT 为 5 h, 最佳 COD 负荷为 23.62 kg·m<sup>-3</sup>·d<sup>-1</sup>, MBR 反应器最佳 DO 为 4 mg·L<sup>-1</sup>, 最佳 HRT 为 8 h, 操作压力为 16.4 kPa 左右时, IC-MBR 系统出水 COD 在 55 mg·L<sup>-1</sup> 以下。采用 MBR 处理薯类淀粉废水具有占地面积小和出水水质优异等优点, 然而, 膜污染及膜组件昂贵的价格是阻碍膜技术广泛应用的主要原因。

### 1.3 土地处理技术

土地处理技术即通过慢速渗流方式使用污水进行农田灌溉。污水中的氮磷等营养元素可改良土壤, 满足农作物生长的需求, 同时又使废水得以净化。唐晓春等<sup>[32]</sup>将马铃薯淀粉废水与造纸黑液以体积比 2:1 混合, 经过 15 d 常温发酵后可得到 pH 值接近中性的混合废水。该混合废水应用于沙性土壤的改良, 可使沙性土壤的 pH 值升高, 干容重降低, 有机质含量提高, 保水能力明显增强。李洪民等<sup>[33]</sup>将甘薯淀粉废水排入土壤 30 d 左右可使绝大部分有机酸分解, 80 d 左右有机质几乎完全分解, 且麦苗长势良好, 说明该法不仅能经济有效地处理薯类淀粉废水, 而且还能充分利用废水中的营养物质, 增加土壤肥力, 提高农作物产量, 从而带来更多经济效益。但该法处理效率低, 占地面积较大, 同时在薯类重病感染区采用此法容易使病原物返田, 造成病原物积累, 形成恶性循环。

## 2 薯类淀粉废水资源化利用方法

薯类淀粉废水主要含有淀粉、蛋白质和有机酸等有机物, 若回收其中有用成分, 既可获得一定的经济效益, 亦可有效降低废水中有机污染物浓度, 减轻后续处理的负担。薯类淀粉废水资源化处理的方法主要有以下几种。

### 2.1 利用薯类淀粉废水回收蛋白质

Jin 等<sup>[34]</sup>将 100.0 g·L<sup>-1</sup> 的 DAR2710 真菌接种于马铃薯淀粉废水中, 在 35 ℃, 在起始 pH 4.0 条件下反应 14 h, 可回收蛋白质 2.07~2.39 g·L<sup>-1</sup>, 且 COD 去除率达 95%。李东伟等<sup>[35]</sup>应用投药气浮-UASB-SBR 组合工艺处理马铃薯淀粉废水, 不仅出水水质达标排放, 而且在运行过程中可提取约 4.0 kg·t<sup>-1</sup> 的蛋白饲料, 经济效益明显。陈珏等<sup>[36]</sup>在操作压力为 0.10 MPa, 室温 22 ℃, pH 5.8 条件下, 超滤回收蛋白质的截留率高达 80.46%, 处理后 COD 去除率可达 58%。Jamuna 等<sup>[37]</sup>采用酵母菌 *Candida tropicalis* 处理木薯淀粉废水, 不仅能生产可供食用及饲用的单细胞蛋白, 还可有效处理木薯淀粉生产废水, 具有良好的经济效益和环境效益。

### 2.2 利用薯类淀粉废水生产微生物絮凝剂

微生物絮凝剂是一类由微生物产生的具有絮凝活性的高分子有机物<sup>[38]</sup>。它具有絮凝范围广、絮凝活

性高,大多不受离子强度、pH值及温度影响等优点,广泛用于薯类淀粉废水处理。李琳等<sup>[39]</sup>用甘薯淀粉废水扩大培养胶质芽孢杆菌 *Bacillus polymyxa* 和酿酒酵母菌 *Saccharomyces cerevisiae*, 制备成复合微生物絮凝菌液,对甘薯淀粉废水的絮凝率高达97%,废水COD去除率达到65%。王有乐等<sup>[40]</sup>用马铃薯淀粉废水培养微生物絮凝剂产生菌,不仅大大降低成本,絮凝剂产量和性能也无明显下降,经过微生物培养后的马铃薯淀粉废水COD去除率达93.60%,浊度去除率达82.87%。由此可见:以薯类淀粉废水为原料培养具有高絮凝活性的微生物,不仅大大降低了絮凝剂的生产成本,且絮凝效果也无明显下降,同时废水COD大幅降低。

### 2.3 利用薯类淀粉废水生产微生物油脂

以薯类淀粉废水为培养基,可筛选获取产油真菌,低成本生产微生物油脂,为生物柴油提供廉价油脂来源。杜鹃等<sup>[41]</sup>以甘薯淀粉废水为发酵基质,筛选出一株刺孢小克银汉霉 *Cunninghamella echinulata* F7,该菌株发酵第11天时,生物量达到18.140 g·L<sup>-1</sup>,含油量达到51.2%,COD去除率达87%。王宏勋等<sup>[42]</sup>对马铃薯淀粉废水资源化利用进行了初步研究,研究表明:刺孢小克银汉霉能利用马铃薯淀粉废水生产多不饱和脂肪酸(GLA),GLA质量分数达到229.72 mg·L<sup>-1</sup>,COD去除率达76.31%。说明在利用微生物产生微生物油脂的同时,也可有效去除COD,为薯类淀粉废水处理提供了一条经济可行的途径。

### 2.4 利用薯类淀粉废水生产多糖

普鲁兰多糖是一种由出芽短梗霉 *Aureobasidium pullulans* 发酵所产生的类似葡聚糖、黄原胶的胞外水溶性黏质多糖。由于它具有良好的成膜、成纤维、阻气、粘接、易加工、无毒性等特性,已广泛应用于医药、食品、化工和石油等领域。Barnetta等<sup>[43]</sup>通过对不同酶水解马铃薯淀粉废水效果进行研究,结果表明:用普鲁兰多糖酶和 $\beta$ -淀粉酶水解废水的普鲁兰产量是用普鲁兰多糖酶和淀粉普糖苷酶水解的2倍,前者水解产物主要为麦芽糖,后者主要为葡萄糖,可见酶水解产物不同,会对普鲁兰的产量造成影响。陈洁等<sup>[44]</sup>以马铃薯淀粉废水为碳源,发酵培养出芽短梗霉 W2003,不用酶水解制得普鲁兰多糖,该方法不仅简化发酵工艺,降低生产成本,而且还减轻了环境污染。

### 2.5 利用薯类淀粉废水生产乳酸

Jin等<sup>[45]</sup>利用少根根霉 *Rhizopus arrhizus* DAR 36017,选用马铃薯淀粉废水和玉米 *Zea mays* 淀粉废水作为培养基生产乳酸。在起始淀粉废水质量浓度为20~60 g·L<sup>-1</sup>时,经40 h发酵,乳酸产量可达19.5~44.3 g·L<sup>-1</sup>。Huang等<sup>[46]</sup>利用少根根霉 DAR 36017和米根霉 *Rhizopus oryzae* DAR 2062,以马铃薯淀粉废水为培养基,采用同步糖化发酵方法生产乳酸。在马铃薯淀粉质量浓度为20 g·L<sup>-1</sup>,pH 6.0,温度为30℃时,经36~48 h发酵,乳酸产量为1.5~3.5 g·L<sup>-1</sup>。该技术为薯类淀粉废水资源化和降低乳酸生产成本开辟了新途径。除上述资源化利用方法外,还可利用薯类淀粉废水生产新能源,如生产沼气<sup>[47]</sup>、生物制氢<sup>[48]</sup>等。

## 3 展望

在薯类淀粉废水处理方法方面,传统絮凝剂虽能耗低、对温度变化适应性强,但单一使用去除效率较低。针对高浓度薯类淀粉废水水质特点,近年来,趋向于研发絮凝效率高、适用范围广的复合絮凝剂和易降解、无二次污染的微生物絮凝剂。生物法处理薯类淀粉废水效果虽好,但该法启动慢、易受水温等影响,且单纯厌氧或好氧生物处理效果并不明显,因此,开发耐冲击负荷能力强、启动快的高效厌氧、好氧组合工艺,在薯类淀粉废水处理中具有更广阔的应用前景。薯类淀粉废水资源化利用的主要途径是利用废水中的营养物质生产和回收油脂、多糖、蛋白等产品,既回收利用了其中的有效成分,又降低了废水的污染负荷,减轻了废水处理的压力,为薯类淀粉行业重要的发展方向。

### 参考文献:

- [1] HOLMSTROM K, RNBERG U, SBIGNERT A. Temporal trends of PFO S PFO A in guillemot eggs from the Baltic Sea, 1968–2003 [J]. *Environ Sci Technol*, 2005, **39** (1): 80–84.
- [2] MOODY C A, MARTIN C W, KWAN W C, et al. Monitoring perfluorinated surfactants in biota and surface water

- samplers following an accidental release of fire fighting foam into Etobicoke Creek [J]. *Environ Sci Technol*, 2003, **36** (4): 545 – 551.
- [3] 杜新贞, 薛林科, 司长代, 等. 混凝沉淀-泡沫分离-吸附工艺处理马铃薯淀粉废水的实验研究[J]. 西北师范大学学报: 自然科学版, 2009, **45** (5): 88 – 92.  
DU Xinzhen, XUE Linke, SI Changdai, *et al.* Experimental studies on the treatment of potato starch wastewater by coagulation and precipitation-foam fractionation-adsorption [J]. *J Northwest Norm Univ Nat Sci*, 2009, **45** (5): 88 – 92.
- [4] 韩冬, 安兴才, 李杰. 混凝沉淀法处理马铃薯淀粉废水的应用研究[J]. 水处理技术, 2009, **35** (2): 68 – 71.  
HAN Dong, AN Xingcai, LI Jie. Application of potato starch wastewater by coagulation precipitation [J]. *Technol Water Treat*, 2009, **35** (2): 68 – 71.
- [5] XIE An, LI Shujun, LIN Yaling. Preliminary study on the preparation of new flocculant and the application on treatment of potato starch wastewater [C]//Quebec: 17th World Congress of the International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering (CIGR), 2010.
- [6] 王有乐, 张宝茸, 范志明, 等. 复合型微生物絮凝剂处理马铃薯淀粉废水的研究[J]. 水处理技术, 2009, **35** (5): 79 – 82.  
WANG Youle, ZHANG Baorong, FAN Zhiming, *et al.* Study on potato starch wastewater treatment with complex microbial flocculant [J]. *Technol Water Treat*, 2009, **35** (5): 79 – 82.
- [7] COLIN X, FARINET J L, ROJAS O, *et al.* Anaerobic treatment of cassava starch extraction water using a horizontal flow filter with bamboo as support [J]. *Bioresour Technol*, 2007, **98** (8): 1602 – 1607.
- [8] AL-MUTAIRI N A. Aerobic selectors in slaughterhouse activated sludge systems: a preliminary investigation [J]. *Bioresour Technol*, 2009, **100** (1): 50 – 58.
- [9] KARTHIKEYAN C, SABARATHINAM P L. Biodegradation of cassava starch wastewater using up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor [J]. *J Ind Poll Control*, 2002, **18** (1): 33 – 40.
- [10] 郑平, 胡宝兰, Deffu Soufo Herve Joe. UASB 工艺常温处理木薯加工废水[J]. 太阳能学报, 2002, **23** (6): 774 – 777.  
ZHENG Ping, HU Baolan, Deffu Soufo Herve Joel. Biotreatment of cassava-process wastewater using UASB [J]. *Acta Energ Sol Sin*, 2002, **23** (6): 774 – 777.
- [11] 刘豆豆, 乔梁, 赵大传, 等. ABR 处理甘薯淀粉废水的试验研究[J]. 山东大学学报: 工学版, 2006, **36** (4): 70 – 74.  
LIU Doudou, QIAO Liang, ZHAO Dachuan, *et al.* Study on the treatment of sweet potato starch wastewater in an anaerobic baffled reactor [J]. *J Shandong Univ Eng Sci*, 2006, **36** (4): 70 – 74.
- [12] GEORGE R Z, ZERRIN E. Anaerobic treatment of potato processing wastewater [J]. *Water Sci Technol*, 1999, **40** (1): 297 – 304.
- [13] AUSTERMAMM H U, MEYER H, SEYFRIED C F, *et al.* Full scale experiences with anaerobic treatment plants in the food and beverage industry [J]. *Water Sci Technol*, 1999, **40** (1): 305 – 312.
- [14] SUVAJITTANONT W, CHAI PRASERT P. Potential of biogas recirculation to enhance biomass accumulation on supporting media [J]. *Bioresour Technol*, 2003, **88**: 157 – 162.
- [15] AHN J H, FORSTER C F. Kinetic analyses of the operation of mesophilic and thermophilic anaerobic filters treating a simulated starch wastewater [J]. *Process Biochem*, 2000, **35**: 19 – 23.
- [16] MISHRA B N, ANILKUMAR. Anaerobic treatment of potato-starch wastewater using a foam bed bioreactor [J]. *Genet Eng Biotechnol*, 1997, **17** (4): 165 – 173.
- [17] YANAGI C, SATO M, YOSHIMASA, *et al.* Treatment of deproteinized wastewater from potato starch factory by a membrane/two-phase methane fermentation system [J]. *Oyo Toshitsu Kagaku*, 1995, **42** (4): 337 – 344.
- [18] 刘耕耘, 李亚威, 赛音. 淀粉废水的絮凝沉淀及生物处理[J]. 内蒙古大学学报: 自然科学版, 2002, **33** (2): 230 – 235.  
LIU Gengyun, LI Yawei, SAI Yin. Flocculent and biological treatment of starch wastewater [J]. *Acta Sci Nat Univ NeiMongol*, 2002, **33** (2): 230 – 235.
- [19] NIKOLVAVCIC B, SVARDAL K. Biological treatment of potato-starch wastewater design and application of an aéro-

- bic selector [J]. *Water Sci Technol*, 2000, **41** (9): 251 – 258.
- [20] ABELING U, SEYFRIED C F. Anaerobic-aerobic treatment of potato-starch wastewater [J]. *Water Sci Technol*, 1993, **28** (2): 165 – 176.
- [21] PARK S M, JUN H B, HONG S P, *et al.* Small sewage treatment system with an anaerobic-anoxic-aerobic combined biofilter [J]. *Water Sci Technol*, 2003, **48** (11-12): 213 – 220.
- [22] LIN C Y, CHOU C H. Anaerobic hydrogen production from sucrose using an acid-enriched sewage sludge microflora [J]. *Eng Life Sci*, 2004, **4** (1): 66 – 70.
- [23] HIEN P G, KOANH L T. Closed wastewater system in the tapioca industry in vietnam [J]. *Water Sci Technol*, 1999, **39** (5): 89 – 96.
- [24] 张秀明, 韩雪, 陈志强. UASB-A/O 工艺处理马铃薯淀粉废水[J]. 中国给水排水, 2011, **27** (14): 78 – 80.  
ZHANG Xiuming, HAN Xue, CHEN Zhiqiang. Combined process of UASB and A/O for treatment of potato starch wastewater [J]. *China Water Wastewater*, 2011, **27** (14): 78 – 80.
- [25] 韩彪, 张萍, 张维维, 等. UASB-CASS-混凝工艺处理木薯淀粉废水[J]. 工业水处理, 2010, **30** (8): 75 – 77.  
HAN Biao, ZHANG Ping, ZHANG Weiwei, *et al.* Treatment of cassava starch wastewater by UASB-CASS-coagulation [J]. *Ind Water Treat*, 2010, **30** (8): 75 – 77.
- [26] 李嘉, 刘博, 李杰. 水解酸化+AB 工艺处理马铃薯淀粉废水[J]. 环境工程, 2009, **27** (增刊 1): 41 – 43.  
LI Jia, LIU Bo, LI Jie. Treatment to potato starch wastewater during production by hydrolytic acidification and adsorption biodegradation (AB) process [J]. *Environ Eng*, 2009, **27** (supp 1): 41 – 43.
- [27] 王向华, 朱晓东, 李鹏鹏, 等. ABR/氧化沟工艺处理高浓度淀粉废水[J]. 中国给水排水, 2007, **23** (6): 65 – 67.  
WANG Xianghua, ZHU Xiaodong, LI Pengpeng, *et al.* ABR/Oxidation Ditch process for treatment of high-concentration starch wastewater [J]. *China Water Wastewater*, 2007, **23** (6): 65 – 67.
- [28] WANG Rongmin, WANG Yan, MA Guoping, *et al.* Efficiency of porous burnt-coke carrier on treatment of potato starch wastewater with an anaerobic-aerobic bioreactor [J]. *Chem Eng J*, 2009, **148**: 35 – 40.
- [29] 何玉凤, 王俊峰, 王荣民, 等. 厌氧/好氧一体式折流板反应器处理淀粉废水 [J]. 中国给水排水, 2010, **26** (21): 130 – 132.  
HE Yufeng, WANG Junfeng, WANG Rongmin, *et al.* Treatment of starch wastewater by three-stage anaerobic/aerobic integrated baffled bioreactor [J]. *China Water Wastewater*, 2010, **26** (21): 130 – 132.
- [30] 吕建国. 膜生物反应器处理马铃薯淀粉工艺废水[J]. 环境工程学报, 2010, **4** (8): 1776 – 1778.  
LÜ Jianguo. Treatment of potato starch wastewater with membrane bioreactor (MBR)[J]. *Chin J Environ Eng*, 2010, **4** (8): 1776 – 1778.
- [31] 王文正, 张明霞. IC-MBR 处理马铃薯淀粉废水的试验研究[J]. 工业水处理, 2011, **31** (1): 22 – 25.  
WANG Wenzheng, ZHANG Mingxia. Tentative study on the treatment of potato starch wastewater by IC-MBR process [J]. *Ind Water Treat*, 2011, **31** (1): 22 – 25.
- [32] 唐晓春, 石辉文, 冯泽民, 等. 造纸黑液与马铃薯淀粉废水对沙性土壤的改良作用[J]. 安徽农业科学, 2009, **37** (24): 11690 – 11692.  
TANG Xiaochun, SHI Huiwen, FENG Zemin, *et al.* Improving effect of paper making black liquor and potato starch wastewater on sandy soil [J]. *J Anhui Agri Sci*, 2009, **37** (24): 11690 – 11692.
- [33] 李洪民, 徐飞, 唐忠厚. 土壤对甘薯淀粉加工废水的降解效果[J]. 江苏农业科学, 2010 (6): 556 – 557.  
LI Hongmin, XU Fei, TANG Zhonghou. Study on factors influencing the degradation of sweet potato starch process wastewater by soil [J]. *Jiangsu Agric Sci*, 2010 (6): 556 – 557.
- [34] JIN Bo, van LEEUWEN H J, PATEL B, *et al.* Production of fungal protein and glucoamylase by *Rhizopus oligosporus* from starch processing wastewater [J]. *Process Biochem*, 1999, **34** (1): 59 – 65.
- [35] 李东伟, 何晓曼, 李斗, 等. 淀粉废水的资源化处理[J]. 水处理技术, 2007, **33** (3): 69 – 71.  
LI Dongwei, HE Xiaoman, LI Dou, *et al.* Starch wastewater treatment for its resource recovery [J]. *Technol Water Treat*, 2007, **33** (3): 69 – 71.
- [36] 陈珏, 潘晓琴, 钟振声, 等. 马铃薯淀粉加工废水中超滤回收马铃薯蛋白质[J]. 食品研究与开发, 2010, **31** (9): 37 – 41.

- CHEN Yu, PAN Xiaoqin, ZHONG Zhensheng, *et al.* Study on recovery of potato protein from starch producing waste water by ultrafiltration [J]. *Food Res Dev*, 2010, **31** (9): 37 – 41.
- [37] JAMUNA R, RAMAKRISHNA S V. SCP production and removal of organic load from cassava starch industry by yeasts [J]. *J Ferment Bioeng*, 1989, **67** (2): 126 – 131.
- [38] 王镇, 王孔星, 谢玉敏. 几株絮凝剂产生菌的特性研究[J]. 微生物学报, 1995, **35** (2): 121 – 129.  
WANG Zhen, WANG Kongxing, XIE Yumin. Studies on bioflocculant-producing microorganisms [J]. *Acta Microbiol Sin*, 1995, **35** (2): 121 – 129.
- [39] 李琳, 张清敏, 杨建华. 复合微生物絮凝处理红薯淀粉废水的研究[J]. 环境科学与技术, 2006, **29** (7): 75 – 76.  
LI Lin, ZHANG Qingmin, YANG Jianhua. Treatment of wastewater of sweet potato starch with combined microbial flocculation [J]. *Environ Sci Technol*, 2006, **29** (7): 75 – 76.
- [40] 王有乐, 张宝茸, 范志明, 等. 淀粉废水培养复合型微生物絮凝剂产生菌研究[J]. 工业水处理, 2009, **29** (10): 55 – 59.  
WANG Youle, ZHANG Baorong, FAN Zhiming, *et al.* Study on the culture of complex microbial flocculant produced by bacteria with starch wastewater [J]. *Ind Water Treat*, 2009, **29** (10): 55 – 59.
- [41] 杜娟, 詹成雄, 王宏勋, 等. 产油真菌在甘薯淀粉废水中发酵的初步研究[J]. 生物技术, 2007, **17** (2): 72 – 75.  
DU Juan, ZHAN Chengxiong, WANG Hongxun, *et al.* Elementary study on oil production by fungi growing in sweet potato starch processing waste water [J]. *Biotechnology*, 2007, **17** (2): 72 – 75.
- [42] 王宏勋, 邓张双, 周帅, 等. 利用淀粉废水生产多不饱和脂肪酸初步研究[J]. 环境科学与技术, 2007, **30** (6): 94 – 96.  
WANG Hongxun, DENG Zhangshuang, ZHOU Shuai, *et al.* Elementary study of using amyllum wastewater to produce polyunsaturated fatty acids [J]. *Environ Sci Technol*, 2007, **30** (6): 94 – 96.
- [43] CHRISTIAN B, ALAN S, BERNARD S. Pullulan production by *Aureobasidium pullulans* growing on hydrolysed potato starch waste [J]. *Carbohydr Polym*, 1999, **38**: 203 – 209.
- [44] 陈洁, 傅正生, 王长青, 等. 普鲁兰多糖在土豆淀粉废水中的发酵条件研究[J]. 食品工程, 2006 (1): 28 – 30.  
CHEN Jie, FU Zhengsheng, WANG Changqing, *et al.* Studies on the fermentation conditions of *Pullulan polysaccharide* using potato starch wastewater as substrate [J]. *Food Eng*, 2006 (1): 28 – 30.
- [45] JIN Bo, HUANG Liping, LANT P. *Rhizopus arrhizus*: a producer for simultaneous saccharification and fermentation of starch waste materials to L(+)-lactic acid[J]. *Biotechnol Lett*, 2003, **25** (23): 1983 – 1987.
- [46] HUANG Liping, JIN Bo, LANT P, *et al.* Simultaneous saccharification and fermentation of potato starch wastewater to lactic acid by *Rhizopus oryzae* and *Rhizopus arrhizus* [J]. *Biochem Eng J*, 2005, **23**: 265 – 276.
- [47] KAMARAJ A, GOPAL N O, VENKATACHALAM P, *et al.* Biofuel production from tapioca starch industry wastewater using a hybrid anaerobic reactor [J]. *Energy Sustain Dev*, 2006, **10** (3): 73 – 77.
- [48] van GINKEL S W, OH S E, LOGAN B E. Biohydrogen gas production from food processing and domestic wastewaters [J]. *Int J Hydrogen Energ*, 2005, **30** (15): 1535 – 1542.