

## 豆制品加工污水减量化·清洁化处理技术研究进展

吴翔, 万娅琼, 徐雅芑, 王灼琛, 程江华\* (安徽省农业科学院农产品加工研究所, 安徽合肥 230031)

**摘要** 豆制品历史悠久、品类众多、营养丰富,是最经济最环保的蛋白质来源,也是广大消费者日常不可或缺的食品原料,深受国内外消费者的欢迎,市场需求也稳步增长。但传统豆制品加工属于高耗水、高污染产业,直接排放带来了严重的环境问题,在新的环保政策压力下,大量的污水处理也给企业带来了沉重的经济负担。因此,污水减量化和清洁化处理技术成了豆制品产业发展的制约瓶颈。通过对豆制品污水营养成分、现有处理工艺、资源化利用现状进行综述和分析,提出了有效减量化、清洁化处理和综合利用发展方向。该研究为促进构建资源节约型、环境友好型的豆制品加工产业快速健康发展,实现清洁化、标准化、智能化和副产物有效综合利用提供了基础。

**关键词** 豆制品加工;污水处理;环保

**中图分类号** X 703 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2019)24-0013-04

**doi**: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.24.005



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Research Progress on Reduction and Cleaning Treatment Technology of Soybean Products Processing Wastewater

WU Xiang, WAN Ya-qiong, XU Ya-yuan et al (Agro-Products Processing Research Institute, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei, Anhui 230031)

**Abstract** Bean products have a long history, a wide variety of products, and rich in nutrients. They are the most economical and environmentally-friendly source of protein. They are also indispensable food raw materials for consumers. They are welcomed by domestic and foreign consumers, and market demand is also growing steadily. However, the processing of traditional soybean products is a high-consumption water and high-pollution industry. Direct discharge brings serious environmental problems. Under the pressure of new environmental protection policies, a large amount of sewage treatment also brings a heavy economic burden to enterprises. Therefore, sewage reduction and clean treatment technologies have become the bottleneck of the development of the soybean products industry. This paper summarized and analyzed the nutrient composition, existing treatment process and resource utilization of soybean products, and proposed the development direction of effective reduction, clean treatment and comprehensive utilization. In order to promote the rapid and healthy development of the resource-saving and environment-friendly soybean product processing industry, it provided a basis for clean, standardized, intelligent and effective comprehensive utilization of by-products.

**Key words** Soybean products processing; Sewage treatment; Environmental protection

我国是最早种植和食用大豆的国家,以大豆和大豆为原料制成的豆制品传承至今已有一千多年的历史,以豆腐为基础衍生出了豆干、豆皮等多种非发酵豆制品和以腐乳、酱等代表的发酵豆制品,丰富了人们的饮食。豆制品是一种深受我国人民喜爱的植物蛋白食品,其蛋白质含量高、氨基酸组成合理且营养价值高、口感和风味良好,具有“植物肉”的美誉,其吸收利用率高达 85%。近期研究发现,经常吃豆制品不仅能降低患糖尿病的风险和乳腺癌死亡风险,还可能降低患孕期抑郁症的风险,同时有利于骨骼健康<sup>[1]</sup>。大豆可以提高细胞免疫功能,调节神经质传递,增强大脑功能<sup>[2]</sup>。

目前我国豆制品产业不断升级,产品品种持续增多,安全质量稳步提高。2017年,我国大豆产量为 1 260 万 t,比 2016 年增加 5%,豆制品加工占比 55%,约占 700 万 t,其他使用占 25%<sup>[3]</sup>。随着豆制品加工量的增大,废水处理的问题也迫切地需要解决。豆制品废水属于高浓度的有机废水,化学需氧量(COD)严重超标,目前豆制品加工厂的污水治理在规模企业常见办法是生化处理。但我国豆制品加工厂大多属于中小型企业甚至是家庭式小作坊生产,由于生产规模小,难以承担污水处理费用,普遍存在废水处理环保问题,随着

人们对环境要求的不断提高,政府加大了环保监察力度,使得这些小型工厂面临停产危机<sup>[4-5]</sup>。从整体市场前景分析,我国豆制品加工行业正面临一个艰难的转折时机,需要从传统的高耗能、低智能化的发展阶段向现代化的智能化、环保化发展阶段转变<sup>[5]</sup>。

### 1 豆制品加工污水的分类与主要营养成分分析

**1.1 豆制品生产流程及产污过程** 豆制品加工由于产品品种不同,生产工艺也有所差异,其生产工艺及污水产生环节见图 1,主要包括原料大豆的浸泡水、清洗水,此类污水为轻度污染废水;压滤过程中产生的黄浆水因含有大量有机质,包括水溶性蛋白质、多糖等,为污染程度较高的废水,同时也有一定的利用价值;因豆制品加工产业特性,涉及到大量的设备、厂房等清洗水,为中度污染废水。

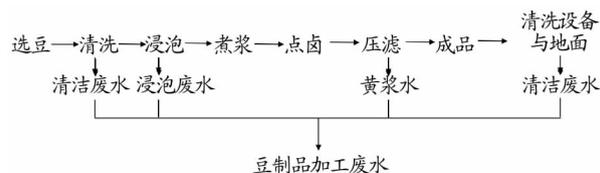


图 1 豆制品加工流程及污水产生环节

Fig.1 Soybean products process flow and sewage production link

**1.2 豆制品加工污水营养成分** 豆制品加工污水主要分为清洁废水、浸泡废水、黄浆水,由于加工环节不同导致各种废水所含成分不同,成分含量见表 1<sup>[6]</sup>。

豆制品废水属于高浓度的有机废水,化学需氧量(COD)

**基金项目** 农业部公益性行业专项(201403063),安徽省农业科学院科技创新团队(18C1226)。

**作者简介** 吴翔(1981—),男,安徽合肥人,研究实习员,从事农产品加工研究。\*通信作者,副研究员,从事农产品加工及副产物综合利用研究。

**收稿日期** 2019-06-03; **修回日期** 2019-06-20

严重超标,特别是黄浆水,其COD高达10 000~20 000 mg/L,其中有机物含量很高。这些有机物以结合形式和游离状态存在于水体中,使水中溶解氧含量急剧降低,甚至为零,导致水体兼性厌氧菌微生物无法存活。厌氧条件

下,厌氧微生物大量繁殖导致水体变黑,并产生硫化氢、醛类、胺类、氨、硫醇等气体,向环境散发大量恶臭气味,豆制品中总磷和有机物等营养物质直接进入水体很容易造成水体富营养化,出现水华现象<sup>[7]</sup>。

表1 各污水成分含量  
Table 1 Components content of each sewage

种类 Types	COD mg/L	pH	溶解氧 Dissolved oxygen mg/L	浑浊度 Turbidity 度	总固体物 Total solid content mg/L	悬浮性物质 Suspended material mg/L	总氮 Total nitrogen mg/L	蛋白质 Protein mg/L
清洁废水 Clean waste water	651.7	6.72	3.72	150	546.3	237.6	16.9	101.4
浸泡废水 Soak waste water	11 417.4	5.80	0	505	7 665.0	616.2	243.6	1 461.6
黄浆水 Yellow serofluid	26 780.4	5.10	0	2 475	28 837.5	3 582.3	722.2	4 453.2

## 2 豆制品污水利用方式和处理方法

**2.1 豆制品污水资源化利用** 豆制品污水中黄浆水的COD值、总固体物、总氮、总蛋白质含量均较高,直接排放后不但造成可利用营养物质的资源浪费,而且给微生物繁殖创造了营养条件,造成环境污染。通过一定的科学手段将黄浆水资源化利用不仅可以节能减排,还能创造一定的经济价值。

**2.1.1 黄浆水饮料。**黄浆水因为含有大量的水溶性多糖、氨基酸和大量异黄酮等功效成分,是饮料的天然原料。李佳栋等<sup>[8]</sup>以抽滤法除去黄浆水中的杂质和沉淀蛋白质,通过10%体积活性炭45℃脱色30 min除去色素除去异味,采用离子交换法脱盐,最后添加2 g/L混合酸(苹果酸:柠檬酸=1:1)、8%蔗糖、0.01%黄桃香精、0.004 g/kg的柠檬黄色素调配,得到酸甜可口、色泽一致的黄桃口味乳清蛋白饮料,为黄浆水乳酸饮料的进一步开发和利用奠定基础。

**2.1.2 黄浆水培养微生物。**黄浆水含有大量营养物质,稍加改良即可以培养大多数微生物。刘玉等<sup>[9]</sup>通过在黄浆水中添加5%发蜜糖、1%磷酸二氢铵、pH 5.5、4%白地霉FL44接菌量,30℃摇床培养48 h,在此优化培养条件下,白地霉FL44生物量、蛋白含量和蛋白质产量分别为15.13 g/L、49.04%和7.42 g/L。

**2.1.3 黄浆水发酵生产酱油。**大豆是传统发酵酱油的主要原料,黄浆水含有一定量的酱油成分,也是很好的原料来源。张瑞等<sup>[10]</sup>利用大豆黄浆水代替传统配制酱油生产中所使用的酸水解蛋白,不仅能提高酱油的营养价值,还能避免酸水解蛋白中可能存在的有毒物质。新型配制的酱油产品与传统配制的酱油产品在色泽、香气、滋味和体态方面均无明显差异。

**2.1.4 黄浆水制作点卤剂。**豆制品加工过程中,需要将豆浆中的蛋白质团粒很快地聚集到一起(胶体的聚集),形成豆腐脑,才能进行压滤做进一步的加工,传统点卤剂有盐卤、石膏、酸卤等凝固剂。盐卤和石膏含有大量的盐物质,长期食用危害人体健康;葡萄糖- $\delta$ -内脂是一种新型凝固剂,所制豆腐质量较好,但成本较高,豆香味不足,有微酸味、涩味。孟宏昌等<sup>[11]</sup>将黄浆水经乳酸菌和醋酸菌发酵制备成酸性豆腐凝固剂,当豆浆浓度13Bx、pH 7.0、凝固剂添加量12%、点卤

温度80~85℃、凝固时间15~20 min时,制作豆腐效果最好。该方法将黄浆水中的部分营养物质得到了利用,同时也解决了传统豆腐生产中自然发酵时杂菌污染和产品质量不稳定等问题,但黄浆水的利用率较低,使得该技术具有一定的局限性,此技术已经有部分应用,但相对黄浆水产量而言,制作点卤剂的量不及黄浆水总量的1%,远不能解决黄浆水全量化利用问题。

**2.1.5 黄浆水有效成分提取。**黄浆水中所含的蛋白质大多为大豆乳清蛋白,大豆乳清蛋白中某些生物活性因子具有抗癌、降血糖等功效,提取后可适用于儿童食品和保健食品的生产。因此,大豆乳清蛋白是一种具有良好应用价值的功能性食品,目前提取大豆乳清蛋白主要有超滤法、絮凝法、泡沫法<sup>[12-14]</sup>。

大豆异黄酮是存在于大豆中的一种生物活性成分,具有预防癌症、调节雌性激素、抗氧化、预防骨质疏松等多种生理功能,黄浆水中大豆异黄酮浓度为0.1~0.2 mg/mL,约占大豆总异黄酮含量的50%<sup>[15]</sup>。提取方法有大孔树脂吸附法和萃取法。袁其朋等<sup>[16]</sup>通过大孔树脂吸附法,提取黄浆水中大豆异黄酮,最终从1 t黄浆水中提取130 g纯度40%的大豆异黄酮。该方法提取成本过高,提取物纯度较低,难以推广;刘少静等<sup>[17]</sup>使用乙酸乙酯法提取大豆异黄酮,向已脱蛋白的黄浆水中加入等体积的乙酸乙酯萃取3次,黄浆水中的大豆异黄酮基本完全提取,经旋转蒸发浓缩可得到较为纯净的大豆异黄酮。

大豆低聚糖是大豆中可溶性寡糖的总称,其主要成分为棉籽糖、水苏糖和蔗糖。其中棉籽糖和水苏糖虽然不能被人体内消化酶分解吸收,但可以被人体肠道内的双歧杆菌利用,双歧杆菌在肠道内将大豆低聚糖分解成乳酸和醋酸,降低肠道pH,抑制有害细菌生长,从而达到改善肠道环境的目的<sup>[18]</sup>。大豆低聚糖在磨浆和煮浆过程中得到大量释放,由于其水溶性好,在压滤环节中,大多流入黄浆水中<sup>[15]</sup>。黄浆水经过超滤,由于大豆低聚糖分子量小大多进入滤透液中,褚绍霞<sup>[19]</sup>将滤透液经过活性炭脱色和脱盐得到较为纯净的糖液,再经过真空浓缩和喷雾干燥得到低聚糖成品。

虽然此类研究较多,如王应平等<sup>[20]</sup>采用膜集成技术处

理马铃薯淀粉废水,陈晓燕等<sup>[21]</sup>采用马铃薯废水 UASB 处理装置,支撑豆制品凝固剂<sup>[22-23]</sup>,或者生产 GABA<sup>[24]</sup>等,但马铃薯淀粉废水处理设备和工艺也可以在黄浆水处理过程中应用,但总体而言黄浆水中含量低和提取成本太高,或整正黄浆水的用量有限,不足以解决全量黄浆水等问题,目前尚未见该技术在实际生产中的应用。

**2.2 豆制品废水的处理工艺** 豆制品废水因排放量巨大,含有一定的蛋白质、淀粉、脂肪、矿物质等营养物质,利用方式虽然较多,但使用量有限,因此目前产业上主要采取工业化废水处理技术,处理方法主要有好氧法、厌氧法、好氧-厌氧法。

**2.2.1 好氧法。**蔡不忒等<sup>[25]</sup>研究发现 SBR 法处理豆制品废水可以将废水中的 COD<sub>Cr</sub> 从 2 000 mg/L 降低至 ≤90 mg/L, TN 由 470 mg/L 降低至 ≤75 mg/L, NH<sub>3</sub>-N 从 465 mg/L 降低至 ≤9 mg/L, 去除率分别达 96%、85% 和 98%。Tay<sup>[26]</sup>通过传统污泥法处理豆制品污水,结果表明传统方法 BOD<sub>5</sub> 去除率达 95%, 氮、磷去除率分别为 67% 和 57%, 悬浮物去除率在 90% 以上, 具有较好的处理效果。陈亮等<sup>[27]</sup>在传统污泥处理方法上进行改进, 确定了 AB 活性污泥法, 该方法效果明显, COD<sub>Cr</sub> 总去除率为 97%, 其中 A 段去除率为 89%, B 段去除率为 83%。

**2.2.2 厌氧法。**污水采用多级厌氧生物滤池处理相比于单级厌氧生物滤池处理效果更好。俞汉青等<sup>[28]</sup>采用盾式填料上流式厌氧滤器处理经酸化处理的豆制品废水, 当发酵温度 35 ℃、进水 COD<sub>Cr</sub> 10 000 mg/L 时, 系统 COD<sub>Cr</sub> 的有效负荷率达 13.2 kg/(m<sup>3</sup>·d), COD<sub>Cr</sub> 去除率为 96%, HRT 为 8.5 h。陈洪斌等<sup>[29]</sup>采用厌氧折流板反应器 (ABR) 处理豆制品废水, 当容积负荷增大时, 反应器运行稳定, 抗冲击负荷能力强, COD<sub>Cr</sub> 去除率稳定在 80% 以上, COD<sub>Cr</sub> 容积负荷达 14.3 g/(L·d), 产气性能良好。在处理豆制品废水过程中具有启动快、去除率高、易培养颗粒污泥等特点。

**2.2.3 厌氧-耗氧法。**厌氧-耗氧处理工艺能充分发挥厌氧微生物承担高浓度、高负荷污水处理与回收有效降低能源的优势, 同时又可以利用好氧微生物繁殖速度快、处理效果好的特点。浙江建明豆制品废水净化沼气示范工程主要采用水解酸化、厌氧消化、兼氧消化、好氧消化和生物净化 5 段组成, 运行 2 年发现 COD<sub>Cr</sub> 总消除率平均为 99.6%, 出水 COD<sub>Cr</sub> <100 mg/L, 达到国家处理标准<sup>[30]</sup>。工艺化处理的优点是可以大规模地处理豆制品废水, 符合生产需求, 缺点是治理工程一次性的投资过大, 装置运行费用较高。北京豆制品工业公司是一家年产 1.5 t 各类豆腐、2 000 t 豆制品和 1 万 t 豆浆的大型国有豆制品加工企业, 在装备污水工程时占地 2 800 m<sup>2</sup>, 总投资为 320 万元, 其中土建 150 万元、设备 170 万元。废水处理运行成本为 1.82 元/m<sup>3</sup>, 其中电费 0.89 元/m<sup>3</sup>, 药剂 0.75 元/m<sup>3</sup>, 人工 0.18 元/m<sup>3</sup>, 给企业带来了沉重的经济负担<sup>[31]</sup>。

### 3 改革方向和思路

#### 3.1 加工工艺革新减少废水产量

**3.1.1 新型点浆工艺。**传统点浆工艺难以直接生成豆腐需

要压制成型, 在加工过程中就会有大量黄浆水产生, 改良点浆工艺让豆浆点卤后直接成豆腐或减少在加工过程中黄浆水的产生, 如新型内脂豆腐, 就不产生黄浆水等, 如此类新产品的开发。

**3.1.2 制浆工艺改良。**豆浆中豆汁含量决定了豆腐的产量, 豆汁含量过低无法用于豆制品生产, 改良制浆工艺提高豆浆中的豆汁含量, 可以提高豆腐产量从而减少压制时所产生的黄浆水。当前普及的超声波预处理<sup>[32]</sup>、微压煮浆技术等新技术已经得到生产者的广泛应用和一致好评, 还有如湿法超微粉碎、干法超微粉碎、豆皮预去除、大豆干热预处理、与冷藏等技术<sup>[33-35]</sup>, 对促进豆制品加工产业有一定的促进作用。总体而言, 需要更多的科研推入, 促进传统豆制品工艺和设备的转型升级。

**3.1.3 快速制浆工艺。**传统整粒大豆因豆皮的存在和较大的颗粒, 浸泡时间需要 5~12 h, 新开发的快速制浆技术对大豆进行破碎并去除豆皮, 以破碎豆粒进行浸泡制浆, 时间缩短为 1.0~1.5 h, 同时大大减少了浸泡水和清洗水的使用量, 而豆皮可以另作为饲料使用<sup>[36-37]</sup>。

### 3.2 废水分类收集分类综合利用

**3.2.1 加工废水分类收集处理。**豆制品加工过程主要生成浸泡水、黄浆水、清洁废水 3 种废水, 由于不同种类的废水所含的营养物质浓度不同, 导致它们最适的处理方式不同<sup>[38]</sup>。由于黄浆水营养物质含量明显高于浸泡水和清洁废水, 工艺化污水处理成本占比很高, 适合用来资源化利用, 如付旭东<sup>[39]</sup>对马铃薯淀粉资源化处理和综合利用进行研究, 朱泉雯等<sup>[40]</sup>对马铃薯淀粉废水处理还田等技术进行研究, 也可以在豆制品副产物处理过程中借鉴。浸泡水和清洁废水中 COD<sub>Cr</sub> 含量较低, 适合工艺化处理, 难以做到资源化利用。传统加工过程是将所有废水混合排放、处理, 难以做到效益最大化。

**3.2.2 清洁化生产。**传统豆制品加工过程大多需要人工操作, 操作过程中会有材料外溢, 为了维持车间的清洁, 企业不得不用大量清洁水定期清洁车间, 其过程造成了大量清洁废水。做到清洁化生产, 可以提高豆制品的卫生质量安全, 降低清洁用水量, 从而达到节能减排的目的。

**3.2.3 多途径综合利用技术。**黄浆水含有一定的营养物质, 可以充分利用, 包括上述的制作点卤剂、饮料等和发酵生产动物益生菌等<sup>[41]</sup>, 尽量实现多方向多途径全量利用<sup>[42-43]</sup>。传统上一直用来喂养牲畜, 但因为工业化生产巨大的量和黄浆水本身易腐败的特质, 很难做到大规模收集、运输、使用, 而无法有效利用。如果解决黄浆水保鲜问题, 并将其饲料化利用, 不仅可以降低污水排放量还能创造一定的经济效益。

### 4 结论

当前环保政策对豆制品加工污水处理提出了更高的要求, 同时也是产业转型升级快速发展的机遇和转折点。传统豆制品产业发展到现在, 确实需要一定的外力作用, 加大科研力度, 促进自主创新, 发展多重利用途径和方法, 加强对废水、豆渣等副产物有效利用, 减少生产企业污水处理的经济

压力,对延长产业链、促进一二三产业融合发展、实现豆制品加工产业从传统的高耗能、高排放、低效率、低效益的增量发展阶段到现代化的智能化、机械化、环保化的提质增效发展阶段具有重要意义。

### 参考文献

- [1] 李浩明.舌尖上的中国豆制品——中国豆制品 2014 年行业发展高峰论坛特别报道[J].食品工业科技,2014,35(16):18-22.
- [2] YIMIT D,HOXUR P,AMAT N,et al.Effects of soybean peptide on immune function,brain function,and neurochemistry in healthy volunteers[J].Nutrition,2012,28(2):154-159.
- [3] 吴月芳.2018 年中国豆制品行业报告[R].2010.
- [4] 程江华,闫晓明,江舰,等.安徽淮南豆制品加工产业现状与对策[J].农产品加工,2012(2):23-26.
- [5] 籍保平,李博.豆制品安全生产与品质控制[M].北京:化学工业出版社,2005.
- [6] 聂莉莎.豆制品污水的研究及防治对策[J].电大理工,2006(2):17-18.
- [7] 刘恒明,马媛,刘靖,等.豆制品废水处理技术综述[J].广东化工,2012,39(16):106-107.
- [8] 李佳栋,江连洲,富校轶,等.大豆乳清蛋白饮料的研制[J].食品工业科技,2009,30(1):204-205,208.
- [9] 刘玉,宋俊梅,曲静然.豆腐酸浆中高产蛋白的白地霉发酵条件的研究[J].广州食品工业科技,2004,20(2):14-16.
- [10] 张瑞,李丽梅,张新,等.新型黄浆水配制酱油的研制[J].食品研究与开发,2017,38(1):37-41.
- [11] 孟宏昌,成宇,宁有才.传统浆豆腐工艺探讨[J].山西食品工业,2004(2):36-38.
- [12] 冯晓,任南琪,陈兆波.超滤膜分离工艺处理大豆乳清蛋白废水的效能[J].化工学报,2009,60(6):1477-1486.
- [13] 褚绍霞,潘秋月,孟祥河,等.壳聚糖絮凝分离豆腐废水蛋白的研究[J].中国粮油学报,2010,25(3):102-106.
- [14] JIANG C S,WU Z L,LI R,et al.Technology of protein separation from whey wastewater by two-stage foam separation[J].Biochemical engineering journal,2011,55(1):43-48.
- [15] 赵冬梅,刘凌,张京健.豆制品生产中高浓度废水的检测与分析[J].食品与发酵工业,2006,32(1):68-71.
- [16] 袁其朋,张恭孝,姜焱.树脂及活性炭吸附技术回收大豆乳清中的异黄酮和低聚糖[J].大豆科学,2003,22(1):6-10.
- [17] 刘少静,王多宁,刁颖博,等.大豆异黄酮纯化工艺研究[J].大豆科学,2013,32(4):535-538.
- [18] 于治中,丁长河,李里特.大豆低聚糖的生产、生理功能及其应用[J].中国食品添加剂,2007(1):159-163.
- [19] 褚绍霞.大豆黄浆水的资源化利用[D].杭州:浙江工业大学,2010.
- [20] 王应平,何葆华.膜集成技术处理马铃薯淀粉废水的实验研究[J].水处理技术,2017,43(10):114-116.
- [21] 陈晓燕,何秉宇,左昌平,等.马铃薯淀粉废水处理 UASB 装置制作与试验[J].新疆大学学报(自然科学版),2015,32(3):357-361.
- [22] 乔明武,田洁,赵秋艳,等.用响应曲面法优化发酵黄浆水制备豆腐凝固剂的工艺[J].江西农业学报,2014,26(3):85-89.
- [23] 吕博,黎晨晨,刘宁,等.双菌发酵黄浆水制备豆腐凝固剂培养条件优化[J].食品工业科技,2015,36(2):212-216.
- [24] 姚子鹏.乳酸菌发酵黄浆水生产 GABA 的研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2014.
- [25] 蔡不忒,包洪新,朱敏文.SBR 法处理豆制品废水的试验研究[J].上海环境科学,1993,12(12):33-35.
- [26] TAY J H.Biological treatment of soya bean waste[J].Water science & technology,1990,22(9):141-147.
- [27] 陈亮,朱铮.AB 活性污泥法处理豆制品废水的工艺研究[J].上海环境科学,1997,16(2):19-21,29.
- [28] 俞汉青,秦麟源,朱锦福,等.盾式填料厌氧处理豆制品废水的试验研究[J].中国给水排水,1993,9(3):14-17.
- [29] 陈洪斌,张国政,高廷耀.厌氧折流板反应器处理豆制品废水的研究[J].中国沼气,1999,17(1):12-16.
- [30] 施玉书,徐健,马建萍.厌氧-好氧和生物净化工艺处理豆制品废水技术研究[J].中国沼气,1999,17(1):34-36.
- [31] 梁延周.豆制品生产废水处理工程[J].给排水,2007,33(6):60-62.
- [32] WANG Y T,WANG Z J,HANDA C L,et al.Effects of ultrasound pretreatment on the structure of  $\beta$ -conglycinin and glycinin and the antioxidant activity of their hydrolysates[J].Food chemistry,2017,218:165-172.
- [33] 蓝海军,刘成梅,涂宗财,等.大豆膳食纤维的湿法超微粉碎与干法超微粉碎比较研究[J].食品科学,2007,28(6):171-174.
- [34] 汪建明,李娜,范红梅,等.大豆干热预处理对豆浆品质的影响[J].粮食与油脂,2019,32(1):20-23.
- [35] 林文硕,白莹,陈巧玲,等.物理冷藏条件与浸泡时间对大豆常温吸水率的影响[J].大学物理实验,2016,29(5):10-14.
- [36] 侯世忠,祝平,井长伟.大豆皮的营养价值及在饲料中的应用[J].吉林畜牧兽医,2007,28(9):18-21.
- [37] 胡金杰,肖凯,姜时保.大豆皮的营养价值及在猪饲料中的应用[J].广东饲料,2015,24(3):38-40.
- [38] 李芙蓉,贺莉萍,王英,等.马铃薯淀粉生产废水资源化处理及综合利用[J].粮食与饲料工业,2018(6):31-37.
- [39] 付旭东.高浓度马铃薯淀粉废水处理工艺研究及发展方向[J].环境研究与监测,2016,29(1):48-54.
- [40] 朱泉雯,赵君宇,杨柳,等.絮凝法处理马铃薯淀粉废水回灌农田实验研究[J].产业与科技论坛,2017,16(2):55-56.
- [41] 王欣欣.利用黄浆水制备富含苷元型大豆异黄酮发酵乳的研究[D].青岛:中国海洋大学,2014.
- [42] 崔慧,李佳文,陈美思,等.大豆副产物中活性物质研究及综合利用现状[J].食品安全导刊,2016(18):52.
- [43] 郑玉玺.大豆黄浆水回收利用研究进展[J].广州城市职业学院学报,2015,9(2):58-61.