

# 降低植物油厂废水处理过程中污泥产率的措施与应用

江明超, 刘海波, 李 剑, 杨蕊竹, 张 宇, 黄婉光

(广西大学 化学化工学院, 南宁 530004)

**摘要:**植物油厂废水处理过程中污泥产生量大,降低废水处理过程中的污泥产率,不仅可以降低成本,还可以降低环保风险。结合实际应用经验,对植物油加工废水特征进行了分析,并结合废水处理工艺特点,对污泥产生的各个环节进行了分析。通过优选破乳剂收集废水中的可利用成分,降低加药量,采用合适的生化处理工艺,选择高效的污泥脱水处理设备等措施,可成功地将污泥产率控制在较低的水平,且可回收较多的废油皂。

**关键词:**废水处理;污泥产率;油脂加工;污泥脱水

中图分类号:X792;X703

文献标识码:A

文章编号:1003-7969(2021)06-0141-05

## Measures and applications for reducing sludge yield in wastewater treatment of vegetable oil processing plants

JIANG Mingchao, LIU Haibo, LI Jian, YANG Ruizhu,  
ZHANG Yu, HUANG Wanguang

(School of Chemistry and Chemical Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

**Abstract:** A large amount of sludge is produced in the wastewater treatment of vegetable oil processing plants, and reducing the sludge yield can not only reduce the cost, but also reduce the risk of environmental protection. Combined with practical application experience, the characteristics of wastewater produced in vegetable oil processing was analyzed, and the various aspects of sludge production were analyzed by describing the characteristics of wastewater treatment process. The sludge yield could be successfully controlled at a low level and more waste oils/soaps could be recovered by collecting the available components in the wastewater through using suitable demulsifier, reducing the dosing amount, adopting a suitable biochemical treatment process and selecting an efficient sludge dehydration equipment.

**Key words:** wastewater treatment; sludge yield; oil processing; sludge dehydration

我国油脂企业面临的环保问题主要集中在“三废”治理上,即废水、废气、固体废弃物的处理。废水作为主要污染源之一,处理难度较大,投入成本也相对较高。按照废水排放标准的要求,废水的处理主要针对COD<sub>Cr</sub>、氨氮、总磷和总氮等指标,常规的处理方法有物化处理(如隔油破乳、混凝沉淀、气浮法等)和生化处理方法(如活性污泥法、生物接触氧化法、水解酸化法等)。排放要求较高的有深度处理工艺,如强化除磷、膜过滤和离子交换等工

艺。在上述废水处理的每一个工艺环节中或多或少产生固体废弃物——污泥。随着环保要求越来越严格,固体废弃物的管控力度逐渐加大,其处理成本逐渐升高,目前油脂工厂废水处理产生的污泥处理费用多在300~800元/t,有的甚至更高;污泥处理费用占整个废水处理成本的比例越来越高,这无疑增加了企业环保的投入。

现阶段大多油脂企业聚焦于废水处理工艺的研究和改善,对废水处理过程中污泥产率的研究较少,现有的污泥处理工艺主要集中在末端的压滤,同时对处理成本的关注较少,但随着固废相关管理条例的出台,对企业的管理要求相对提高。因此,如何降低废水处理过程中污泥产率的问题显得尤为重

收稿日期:2021-01-26;修回日期:2021-04-01

作者简介:江明超(1989),男,工程师,在读硕士,研究方向为水污染控制与净水工程及技术(E-mail)jmingc0428@126.com。

要<sup>[1]</sup>。本文主要论述植物油厂废水处理过程中污泥产生来源和如何降低其产率, 以为植物油厂废水处理提供参考。

## 1 植物油厂废水处理过程中污泥产生来源

### 1.1 废水处理工艺

植物油厂废水主要分为含油废水和其他废水, 其中: 含油废水主要是油脂精炼过程中产生的, 其磷浓度高, 含油、含皂, 处理难度大, 产生污泥量多; 其他废水主要是油料压榨、浸出过程中产生的, 相对处理难

度较小。油脂压榨废水主要特征为高温、高氨氮、量大; 油脂精炼废水主要特征为高含油、含皂、含磷, 同时还具有一定温度, 废水量相比压榨的稍少。图 1 为废水处理工艺流程。由图 1 可知, 不同的废水处理工段需添加不同种类的药剂, 会产生不同形态的固废。与压榨废水处理工艺相比, 精炼废水处理工艺增加了隔油破乳工段, 对于废水排放标准要求较严格的则要进行强化除磷<sup>[2]</sup>。根据植物油厂废水处理工艺, 可分析废水处理过程中污泥产生的来源。

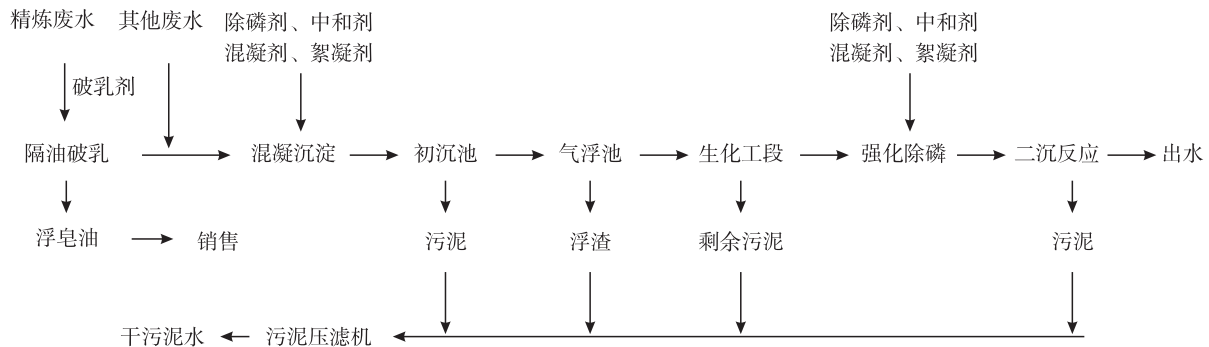


图 1 废水处理工艺流程

### 1.2 污泥产生来源

#### 1.2.1 隔油破乳系统产泥

油脂精炼废水含有较多油、皂, 通常采用硫酸破乳, 浮油长时间积聚变硬, 较早的做法为人工打捞浮油, 有的则是反溶后进入下一步工序, 这将导致后续处理负荷增大, 需要更多的药剂和能耗; 隔油破乳系统长时间运行后设备内部也将产生污泥, 通常由破乳系统增加的污泥量较少, 且污泥无机质含量较高, 较易压滤, 但如果破乳、隔油不彻底会导致过多的乳化油进入下一道工序, 经混凝沉淀后的污泥含油量增加, 难以压滤, 泥饼含水率增高, 将导致大量的污泥产生。

#### 1.2.2 混凝沉淀和气浮产泥

油脂精炼废水通常含磷较高, 以前较多的废水处理工艺没有破乳系统, 而是直接在精炼废水中添加混凝剂 PAC、絮凝剂 PAM 和协同除磷剂  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  除磷, 药剂之间的相互作用使得磷和药剂之间形成絮体。药剂使用量较大时, 废水中的油脂在药剂的作用下形成密度较大的胶体转变成污泥, 在初沉池中进行泥水分离、沉淀压缩, 然后通过排泥系统进入污泥浓缩池进行污泥浓缩, 整个过程伴随着药剂与磷的反应, 其反应效率影响药剂的添加量和磷的去除率; 而密度较小的胶体则随水流进入下一步气浮, 通过溶气系统溶解在水中气泡的减压释放, 携带至设备表面, 通过刮渣设备收集至污泥池中。在气浮过程中同样添加少量的混凝剂 PAC 和絮凝剂 PAM, 密

度较大的颗粒、胶体则沉淀至气浮池底部, 气浮池底部的污泥有机质含量较低, 无机质含量较高, 容易压滤, 压滤后的污泥含水率较低; 刮渣过程产生的污泥较多, 含油率较高, 不易压滤脱水, 含水率较高, 是油厂废水处理过程中污泥产生的主要来源。

#### 1.2.3 生化反应产泥

在植物油厂废水处理工艺中生化反应工艺通常较多采用生物接触氧化法或活性污泥法, 实际根据废水排放要求选用, 通常对出水含磷有较高要求的采用活性污泥法, 对出水没有含磷要求或含磷要求不高的则通常采用生物接触氧化法。

生物接触氧化法主要依靠向安装在设备设施内部的填料接种驯化微生物, 微生物附着在填料的表面, 随着时间的推移形成越来越厚的生物膜, 生物膜的微生物种类也从生物膜的内表面至外表面形成厌氧菌、兼氧菌和好氧菌, 形成较为稳定的菌落环境, 对营养物质进行分解。附着在填料上的生物膜, 微生物成分复杂, 污泥龄相对较长, 依靠曝气和水流的冲刷力使生物膜脱落、更新, 随水流入沉淀系统分离。与活性污泥法不同之处在于同样的好氧系统中, 生物接触氧化法存在着较为复杂的 3 种菌群协同处理废水中的污染物。生物接触氧化法尤其适合低负荷水质, 污染物浓度较低时, 活性污泥法难以形成大量的悬浮污泥, 从而影响处理效果, 而采用生物接触氧化法, 则可通过增加设备设施内部填料, 快速形成较多的生物膜, 从而缩短生化反应启动时间, 改

善出水水质,使出水指标更好。生物接触氧化法由于污泥龄相对较长,产生的活性污泥老化程度较高,因此产生的剩余污泥量较少,且污泥无机质含量相对较高,更容易压滤,压滤后的泥饼含水率较低,因此污泥产量也较低。

活性污泥法在废水生物处理方法中是最普遍使用的方法,具有处理效率高、脱氮除磷能力强、运行维护方便等优点。活性污泥法通常选用的工艺有AAO工艺、奥贝尔氧化沟工艺和SBR工艺等。其中:AAO工艺具有较高的脱氮除磷效率,对进水水质的适应能力较强,适合低中高负荷水质,调控灵活方便,易管控;奥贝尔氧化沟工艺要求较长的停留时间和较低的BOD负荷,出水指标较低,另外该工艺具有完全混合活性污泥法的优点,有较强的抗冲击能力等特点;SBR工艺处理流程较短,控制灵活,适合工业废水的间断运行,系统整体构筑物较简单,布置紧凑,节省投资,可适应中高负荷水质。

活性污泥法工艺需要污泥回流和循环液回流,具有较高的COD<sub>Cr</sub>去除率,同时兼具脱氮除磷功能,总磷以剩余污泥的形式排出。活性污泥法较为适合高负荷生化反应,污泥龄较短,剩余污泥的老化程度较低,因此产生的剩余污泥量比生物接触氧化法稍多,污泥有机质含量较高,同样压滤后的泥饼含水率也较高。生物接触氧化法污泥较易脱水、产量少<sup>[3]</sup>。表1是活性污泥法(脱氮、除磷)和生物接触氧化法在污泥量、污泥龄等方面的对比<sup>[4]</sup>。由表1可见,在不同工艺下,生化反应产泥率不同。

表1 活性污泥法和生物接触氧化法对比

工艺类型	污泥量	污泥龄/d	有机质含量
活性污泥法-脱氮	一般	10~23	一般
活性污泥法-除磷	较多	5~10	较高
生物接触氧化法	较少	较长	较低

#### 1.2.4 强化除磷和深度处理产泥

当出水总磷要求较高时,依靠前端物理化学处理和生化反应除磷较难达标排放,后续需辅助强化除磷设施,通常采用混凝沉淀化学法除磷,与前端混凝沉淀一样会产泥。当要求出水回用时,则需增加深度处理工艺,该深度处理工艺废水悬浮物含量较小,产生的污泥量极少,同时污泥脱水性能较好,几乎不影响整个系统的产泥率。

综上,植物油厂废水处理过程中污泥来源主要有混凝沉淀+气浮和生化反应,其中在混凝沉淀过程中需要去除大量的污染物磷,因此需投加大量的药剂,产生的污泥量大且不易脱水。因此,根据出水

水质的不同要求,有针对性地选择合适的废水处理物化和生化工艺,优化每个工段的设备设施,对降低整个系统污泥的产率尤为重要。

## 2 降低植物油厂废水处理过程中污泥产率的措施

### 2.1 优选破乳剂,回收废水中的油和皂类物质

油脂精炼废水含有较多的油、皂,回收废水中的有机皂类对降低后续污泥产率至关重要,同时回收的皂类物质还可以变废为宝再利用。工业上通常选用硫酸进行破乳除皂,硫酸破乳除皂具有以下缺点:①硫酸属于危化品,在经济较为发达地区采购较为困难,同样在添加时有一定的安全隐患,加大了企业安全生产管理的难度;②引入了硫酸根,会消耗后续添加的除磷用钙离子,药剂之间相互作用,相互消耗,降低了药剂的处理效率,增加了药剂投加量和污泥产量;③硫酸的酸性较强,破乳后的浮油流动性较差、黏度较高,不易收集和输送。考虑上述缺点,选用硫酸破乳不易降低污泥产率,同时存在安全隐患,因此选择新型破乳剂势在必行。

结合生产实际情况,新型破乳剂需具备以下特点:①具有较高的酸度,同时可规避危化品管理的要求,即pH不能小于2;②具有除磷功能,同时不与后续添加的除磷剂钙盐相互反应,最好具有混凝沉淀的功能;③不影响破乳后皂类物质的经济性能,能够使其具有较好的流动性,便于输送、储存;④不含有磷酸根和其他有机酸,因为硫酸根与后续添加的除磷剂钙盐相互反应,而磷酸根和有机酸则增加后续生化处理的难度。因此,该新型破乳剂只能是经盐酸调配而成,同时引入在中性条件下具有混凝沉淀功能的三价铁离子,结合市场情况新型破乳剂选用酸性聚合氯化铁最为合适。

酸性聚合氯化铁中的盐酸与乳化的皂类物质发生化学反应,以强酸置换弱酸的原理,能够较容易地置换出皂类物质中的脂肪酸类物质,该脂肪酸类物质不溶于水,密度比水小,因此浮于废水表面。酸性聚合氯化铁中的铁盐则溶于废水中,经后续加碱和石灰调节pH至中性后,可发生水解反应形成胶体,同时与废水中的磷酸根反应生成难溶物质,在胶体的作用下产生混凝沉淀,通过初沉池进行泥水分离,达到除磷的目的。表2为新型破乳剂酸性聚合氯化铁与硫酸进行破乳时的优缺点比较。

由表2可见:新型破乳剂酸性聚合氯化铁破乳彻底,使得水化磷脂变成非水化磷脂被分离出系统(形成了废油皂),减少了沉淀的污泥量,产生的废油皂量大,较易集中收集;非水化磷脂含有大量的磷,起到除磷的作用,同时药剂中的铁离子具有混凝

除磷功能,减少了后续除磷剂的添加量,进而降低了产生的污泥量;回收的油皂类物质则能变废为宝进行销售,能够产生较好的经济效益。

表2 新型破乳剂酸性聚合氯化铁与硫酸进行破乳时的优缺点比较

破乳剂	破乳效果	除磷效果	皂类产量
酸性聚合氯化铁	接近 100%	约 60%	约 2.75 kg/m <sup>3</sup> (以废水计)
硫酸	约 95%	无	忽略不计

## 2.2 优化药剂添加种类和配比

隔油破乳后精炼废水中不溶性有机悬浮物的含量降低,但仍含有较高的磷,少量的有机悬浮物将影响后续处理工艺,增加生化工段处理的难度,降低生化处理效率。较高含量的磷增加了生化除磷及后续除磷的难度,受生化除磷能力的限制,较高含磷废水进入生化工段后,污染物中碳、氮、磷含量不成比例,导致污泥生长受到影响,常见的现象有污泥沉降缓慢、生长过快等;生化工段出水含磷将超过控制标准,需在后续工段中强化除磷,如:需增加混凝沉淀工序,增加了药剂的使用量,即使如此仍然存在水质超标的风险。因此,在隔油破乳后仍需添加混凝剂 PAC、絮凝剂 PAM 和除磷剂 Ca(OH)<sub>2</sub>,预先将过多的悬浮物和总磷去除。此时添加的药剂受溶解性悬浮物的影响较小,主要作用是除磷。常规的除磷剂通常是使用生石灰,而生石灰的主要成分是 CaO,使用生石灰时有两个作用:①生石灰与水反应生成碱性熟石灰,提供钙离子结合磷酸盐生成难溶物质,此过程主要作用是除磷;②生石灰与水反应生成碱性熟石灰,提供碱性基团氢氧根用于中和隔油破乳后废水的酸性,使得 pH 为 7.5 左右,为混凝剂 PAC、絮凝剂 PAM 的反应提供较为适合的中性环境,此过程主要作用是调节 pH。在废水磷含量一定的条件下,使用足够量的生石灰除磷时,除磷效果取决于废水中的 pH,因此在使用生石灰除磷时,通过实验确定用以满足除磷的反应所需要的生石灰添加量之后,用强碱代替生石灰调节 pH,则效果更好、调节速度更快,同时能够降低生石灰的使用量,减少因投加生石灰而产生的污泥量。考虑经济性,代替生石灰调节 pH 最适合的强碱为片碱或液碱,所以选用一部分液碱代替生石灰调节 pH。因此,优化药剂添加种类和配比能够显著提高药剂的利用率,有效减少污泥的产生量。

## 2.3 选用合适的生化处理工艺

废水处理工艺对于污泥产生量有重要影响。在前面生化反应的两种工艺即活性污泥法和生物接解

氧化法对比时,发现两种工艺产生的污泥量是不同的。因此,针对不同的进水水质和排放标准选用合适生化处理工艺,对降低污泥的产率有较大的帮助。

## 2.4 提高污泥压滤设备的压力,降低含水率

污泥压滤关乎着压滤后泥饼的含水率,而含水率决定着最终产出的污泥量。压滤设备的压力较低时,不能有效挤压出污泥中的水分,则会导致泥饼含水率较高,污泥产量较大;反之,压滤设备的压力较高时,能够有效挤压出污泥中的水分,使得泥饼含水率较低,从而有效降低污泥的产率。因此,选用合适的污泥压滤设备能够有效降低污泥含水率,直接降低污泥的产率。目前污泥压滤设备使用较多的有叠螺机、带式压滤机和隔膜板框式压滤机,在不同的运行工况下各有优点:污泥有机质含量较低时可优先考虑采用程控式隔膜压滤机(板框式压滤机的一种),其具有二次加压功能,再根据不同工况条件选用不同透气量和不同型号的滤布,能够使泥饼含水率降低至 60% 左右,远低于叠螺机和带式压滤机泥饼含水率,可大大减少污泥的产生量<sup>[5]</sup>。表 3 是叠螺机、带式压滤机、隔膜板框式压滤机在泥饼含水率、脱水形式、压力大小方面的对比。

表3 3种常用压滤设备的对比

设备类型	泥饼	脱水	压力
	含水率/%	形式	大小
叠螺机	85~90	离心脱水	较小
带式压滤机	80~90	挤压脱水	一般
隔膜板框式压滤机	60~80	油压+水压/气压	较高

通过上述分析可知,废水处理系统污泥的产生来源于整个废水处理环节,充分发挥每一个处理环节的作用、提高药剂的利用率、选择合适的生化处理工艺和污泥压滤设备,可以有效降低废水处理系统污泥产生量。

## 3 应用实例

以某粮油工业废水项目为例,其废水站设计处理能力 1 500 m<sup>3</sup>/d,油脂精炼废水含皂量超过 3 000 mg/L,选用酸性聚合氯化铁为破乳剂,添加常规药剂如混凝剂 PAC、絮凝剂 PAM 和除磷剂,用部分液碱代替除磷剂 Ca(OH)<sub>2</sub> 调节 pH,污泥压滤设备选用品控式隔膜压滤机。优化工艺前(破乳剂为硫酸,未用液碱调节 pH,选用带式压滤机或叠螺机等压滤污泥),由于产生的能够回收的皂类物质较少,并未进行统计。表 4 为该废水项目与行业平均水平的进、出水效果与执行标准指标,混凝剂 PAC、絮凝剂 PAM 和除磷剂用量,污泥含水率、污泥产率等的对比。表 5 是选用新型破乳剂后 2017—2019 年度

回收皂类物质的量和污泥产率统计。

表4 项目各指标与行业平均水平各指标对比

项目	项目指标	行业指标
进水 COD <sub>Cr</sub> /(mg/L)	≈14 500	10 000 ~ 15 000
进水总磷/(mg/L)	≈145	80 ~ 150
出水 COD <sub>Cr</sub> /(mg/L)	30	50
出水总磷/(mg/L)	0.3	0.5
PAC 单耗/(mg/L)	109	200
PAM 单耗/(mg/L)	8.5	15
除磷剂单耗/(mg/L)	465	550
污泥产率/(kg/m <sup>3</sup> )	2.95	5.5
污泥含水率/%	60	75

表5 2017—2019年回收皂类物质质量和污泥产率统计

年份	皂类物质回收量/t	污泥产率/(kg/m <sup>3</sup> )
2017	220	2.75
2018	550	2.65
2019	850	2.62

注:污泥产率以废水量计。

由表4可见:该废水站进水水质与行业平均进水水质相似,排放标准高于行业排放标准,出水水质优于排放标准;该项目使用的常规药剂量明显低于行业平均水平,污泥含水率和污泥产率明显低于行业平均水平,说明采取上述降低污泥量的措施可以有效降低植物油加工行业废水处理过程中的污泥产率。由表5可见,采用优化措施,回收了皂类物质,

这有助于增加企业经济效益。

#### 4 结 语

植物油厂废水处理过程中会产生大量的污泥。随着我国环保要求越来越严格,固体废弃物的管控力度加大,植物油厂污泥处理成本也逐渐增高。根据植物油厂废水水质和排放标准,优化废水处理过程中每个产泥工段来降低污泥产率至关重要。实践表明,通过优选破乳剂,降低加药量,选择合适的生化处理工艺和污泥压滤设备等措施,可有效降低植物油厂污泥产率。

#### 参考文献:

- [1] 张磊. 油脂工业废水处理工艺研究趋向分析[J]. 生物技术世界, 2012, 1(4):23-25.
- [2] 蒋立先, 肖少丹. 混凝/气浮/水解/生物接触氧化工艺处理食品加工废水[J]. 广州化工, 2018, 46(12):122-123,152.
- [3] 吴东兴, 黄婉光, 江明超. 水解酸化 + A<sup>2</sup>O 组合工艺在油脂加工行业废水治理中的应用[J]. 粮食与食品工业, 2019, 26(6):17-19.
- [4] 苑泉, 吴远远, 金正宇, 等. 水解酸化对好氧颗粒污泥形成及脱氮除磷的影响[J]. 环境科学研究, 2018, 31(2):360-368.
- [5] 王先恺, 董滨, 高勇, 等. 污泥生物处理技术在长江大保护中的应用前景[J]. 环境科学研究, 2020, 33(5):181-186.
- [6] 帕尔哈提·克里木, 蔡宇, 阿西亚·拜山伯. 新疆草棉花总黄酮的提取工艺研究[J]. 新疆医科大学学报, 2005(3):193-195.
- [7] 徐锐, 杨明, 赵毅民. 双波长分光光度法测定棉籽提取物中黄酮苷含量[J]. 解放军药学报, 2007(3):212-214.
- [8] 梁明炜, 刘海峰, 陆雪莹, 等. 棕色棉类黄酮 3'-羟化酶基因(F3'H)的克隆及色素合成途径中相关基因表达特性研究[J]. 农业生物技术学报, 2011, 19(5):808-815.
- [9] 丁旭光, 侯冬岩, 回瑞华. 棉籽化学成分的分析[J]. 分析试验室, 2005(11):62-65.
- [10] 张庆建, 杨明, 赵毅民, 等. 无毒棉花籽中黄酮苷的分离与结构鉴定[J]. 药学报, 2001(11):827-831.
- [11] BROWN D F, PICCOLO B, TRIPP V W, et al. Chemical composition of dusts from cottonseed oil mills[J]. J Am Oil Chem Soc, 1977, 54(6):255-258.
- [12] EI-MALLAH M H, EI-SHAMI S M, HASSANIEN M M M, et al. Effect of chemical refining steps on the minor and major components of cottonseed oil[J]. Agric Biol J N Am, 2011, 2(2):341-349.
- [13] JAMIESON G S, BAUGHMAN W F. The chemical composition of cottonseed oil[J]. J Am Oil Chem Soc, 1920, 42(6):1197-1204.
- [14] GADELHA I C N, FONSECA N B S, OLORIS S C S, et al. Gossypol toxicity from cottonseed products[J/OL]. Sci World J, 2014(5/6):231635 [2020-07-20]. <https://www.hindawi.com/journals/tswj/2014/231635>.
- [15] 唐志荣. 天然彩色棉色素组分、结构及其相关性研究[D]. 杭州:浙江理工大学, 2013.
- [16] 田小红. 新疆棉副产品的主要成分的提取分析研究[D]. 乌鲁木齐:新疆大学, 2012.
- [17] 吴海艳. 棉籽油脱臭馏出物中提取维生素E和植物甾醇[D]. 天津:天津大学, 2010.
- [18] 阎平, 李江利, 谢剑伟, 等. 高效液相色谱法测定棉籽提取物中总黄酮醇苷的含量[J]. 分析试验室, 2008, 27(S2):309-310.

(上接第113页)