

玉米秸秆作为制备生物絮凝剂培养基技术研究

闫海洋¹, 王飞虎², 张淑莹³, 李海云¹, 魏天娇¹, 闫秋良¹, 李忠和^{1*}, 高星爱^{1*}

(1. 吉林省农业科学院, 长春 130033; 2. 吉林省通化生态环境监测中心, 吉林 通化 134001; 3. 吉林省动物疫病预防控制中心, 长春 130062)

摘要:本研究利用秸秆发酵液作为产絮凝菌培养基, 接种复合微生物絮凝菌(*Bacillus* sp. CX15), 对絮凝菌培养条件进行了优化实验。本研究验证了秸秆降解程度, 并对菌株产生的还原糖含量进行测定。结果表明, 该菌上清液还原糖活性高于菌悬液和发酵液, 发酵液还原糖产出率为35%, 适宜的秸秆降解菌接种量为1%, 秸秆降解最优时间为6 d, 接种适宜的底物秸秆量为3 g, 利用获得的秸秆糖化液作为絮凝剂低成本产絮凝培养基, 絮凝菌反应60 h后, 发酵液中补加0.5 g/L氮源调节秸秆糖化液碳氮比, 絮凝率表现为90.4%, 对污水表现出絮凝效果, 具有良好的应用前景。

关键词:生物絮凝剂; 秸秆降解; 降解率; 絮凝率

中图分类号: X712

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2022)06-0147-06

Study on Straw as Medium for Preparation of Biofloculant

YAN Haiyang¹, WANG Feihu², ZHANG Shuying³, LI Haiyun¹, WEI Tianjiao¹, YAN Qiuliang¹, LI Zhonghe^{1*}, GAO Xing'ai^{1*}

(1. Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033; 2. Jilin Tonghua Ecological Environment Monitoring Center, Tonghua 134001; 3. Jilin Provincial Center for Animal Disease Control and Prevention, Changchun 130062, China)

Abstract: In this paper, the straw fermentation broth was used as the medium for flocculating bacteria, inoculated with a compound microbial flocculant (*Bacillus* sp. CX15) and optimized the culture conditions for flocculating bacteria. The reducing sugar content of the supernatant of the bacteria was higher than that of the suspension and fermentation broth, and the reducing sugar yield of the fermentation broth was 35%, the appropriate inoculum amount of straw degrading bacteria was 1%, the optimal time for straw degradation was 6 d, and the inoculum amount of the appropriate substrate straw was 3 g. The straw saccharification broth was used as a low-cost flocculant production medium, and after 60 h of flocculation bacteria reaction, the fermentation broth was supplemented with 0.5 g/L nitrogen source to adjust the carbon to nitrogen ratio of the straw molasses. The flocculation rate was 90.4%, which showed an obvious flocculation effect on the wastewater and has good application prospects.

Key words: Biofloculant; Straw degradation; Degradation rate; Flocculation rate

微生物絮凝剂是微生物的代谢产物, 通过微生物发酵制取, 主要由蛋白质、多糖和核酸等物质组成, 是一类具有高絮凝活性的水处理剂^[1-2]。微生物絮凝剂与传统絮凝剂相比, 具有能去除污

水中悬浮颗粒物、降解高分子化合物、易生物降解、沉淀性能良好等优点^[3-5]。目前, 国外已实现工业化生产应用, 但国内起步相对较晚, 絮凝剂制备技术还不够成熟。制约生物絮凝剂大规模生产和工业化应用的主要瓶颈是絮凝剂在生产过程中需要大量有机碳, 且培养基造价及污水处理运行成本高昂, 导致生物絮凝剂这一高效环保的处理手段无法应用于水处理^[6-8]。因此, 如何降低生产成本、提高生产效率是未来的主要研究方向。

制备生物絮凝剂培养基, 要成本低且不能造成二次污染。作为农业废弃物的玉米秸秆资源, 除少部分基质化、能源化利用外, 大部分被作为

收稿日期: 2021-11-02

基金项目: 吉林省农业科技创新工程项目(CXGC2021TD101、CXGC2021DX019-21); 吉林省科技厅重点攻关项目(20190303062SF、20200403032SF)

作者简介: 闫海洋(1990-), 女, 研究实习员, 硕士, 主要从事农业微生物研究。

通讯作者: 李忠和, 男, 研究员, 博士, E-mail: lizhonghe6@126.com
高星爱, 女, 副研究员, 博士, E-mail: 1164355468@qq.com

低热值燃料燃烧或废弃,这是对资源的严重浪费,同时产生的气体和飞灰对环境也造成较大污染^[9-10]。本研究为制备低成本生物絮凝剂培养基、提高农业废弃物的资源化再利用,选择玉米秸秆作为发酵底物的主要碳源^[11-12],通过秸秆的糖化以及培养基营养成分的合理配置等实验,研发低成本、高效的生物絮凝菌培养基,构筑具有纤维素降解及微生物产絮功能的有机共生结合体,由此获得高效价廉生物絮凝剂生产工艺技术,为生物絮凝剂的广泛应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 培养基的制备

LB 细菌培养基:胰蛋白胨 10 g/L,酵母浸粉 5 g/L,氯化钠 10 g/L,定容至 1 L。富集培养基:1 L LB 细菌培养基中加入微量元素 0.5 mL。微量元素溶液:浓 H₂SO₄ 0.5 mL, MnSO₄·H₂O 2.28 g, ZnSO₄·7H₂O 0.5 g, H₃BO₃ 0.5 g, CaSO₄·5H₂O 0.025 g, Na₂MoO₄·2H₂O 0.025 g, CoCl₂·6H₂O 0.045 g。玉米秸秆发酵培养基:富集培养基(pH 7.2~7.4),加入通过 60 目筛的玉米秸秆粉 10 g,定容至 1 L, 121 °C 高压灭菌 30 min。絮凝菌培养基:利用秸秆分解菌降解秸秆,秸秆发酵糖化液作为产絮菌培养基,培养产絮菌^[13]。

1.2 还原糖含量测定

利用 DNS 法(3,5 二硝基水杨酸)比色法测定秸秆降解后的多糖产量^[14]。

1.3 絮凝剂的絮凝效果测定

取 1 mL 发酵菌液加到 100 mL 猪场污水中,再加入 2 mL 1% CaCl₂溶液作为助凝剂,室温条件下, 100 r/min 摇床震荡培养 10 min,静置 30 min,取烧杯中上清液,利用分光光度计,测定 OD₆₆₀值^[15]。

絮凝率计算公式如下:

$$\text{絮凝率} = [(B-A)/B] \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:A 为污水反应后在 660 nm 处吸光度;B 为原污水在 660 nm 处吸光度。

1.4 秸秆降解率的测定

制备菌悬液,接种 5 mL 菌悬液于每瓶培养基中,置于 30 °C 120 r/min 震荡培养箱中恒温培养。10 d 后将培养基取出,蒸馏水冲洗三次,稀酸溶液冲洗一次,以去除附着在秸秆上的菌体和 CaCO₃沉淀,蒸馏水反复冲洗 3 次后,置于 80 °C 烘干箱烘至恒重,采用失重法计算秸秆降解率^[16]。

$$\text{秸秆降解率} = (W_0 - W_t) / W_0 \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:W₀为原始秸秆干重;W_t为烘干 t 时间后

秸秆干重。

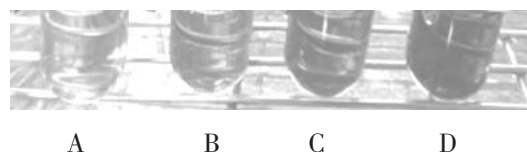
1.5 絮凝剂成分的提取

将获得的生物絮凝剂发酵液在 4 °C 条件下 5000 r/min 离心 10 min。上清液进行浓缩处理,加入 2~3 倍体积的预冷 12 h 以上的无水乙醇,室温条件下 5000 r/min 离心 10 min,用无水乙醇反复清洗并收集沉淀,干燥后称重^[17]。

2 结果与分析

2.1 玉米秸秆生物降解糖化液还原糖含量分析

利用实验室分离获得的秸秆降解菌 *Bacillus* sp. JG11,按照培养条件,进行玉米秸秆预处理降解实验。以秸秆发酵液作为产絮菌培养基,利用絮凝菌株 *Bacillus* sp. CX15 经过 3 d 产絮实验得到菌悬液。絮凝剂的菌悬液离心分离后,得到三种状态的菌液离心分离后的沉淀物、发酵液和上清液,利用 DNS 方法(3,5-二硝基水杨酸比色法)测定菌悬液、发酵液、上清液三种状态菌液还原糖活性,结果见图 1。



注:A. 对照,B. 菌悬液,C. 发酵液,D. 上清液

图1 发酵液多糖含量 DNS 显色情况

菌悬液、发酵液、上清液分泌的还原糖含量分别为 0.318 mg/mL、0.666 mg/mL 和 1.33 mg/mL,上清液 DNS 反应颜色最深。从而得出,产絮菌上清液的还原糖活性高于菌悬液和发酵液。

2.2 絮凝率分布

由表 1 可知,产絮菌的菌悬液、发酵液和上清液絮凝率分别为 42%、70% 和 78%,上清液的絮凝率高于菌悬液和发酵液,表明分离获得的菌株发酵产物产生絮凝物质,即菌株的胞外分泌物质产生絮凝效果。因此,可将秸秆发酵上清液作为产絮凝剂的低成本培养基。曾苏等^[18]试验得到的秸秆发酵上清液活性达到 82.59%,絮凝菌 *Bacillus* sp. T1 发酵液对生活污水的絮凝率为 83.85%。

表 1 产絮菌的菌悬液、发酵液、上清液絮凝率分布表

絮凝活性分布	絮凝率(%)
菌悬液	42
发酵液	70
上清液	78

2.3 秸秆发酵液糖化作用分析

纤维素是一种不溶于水的多糖碳水化合物,经过微生物分泌的降解酶可转化成溶于水的小分子物质^[19]。在 35℃摇床 150 r/min 条件下,进行了秸秆降解菌 *Bacillus* sp. JG11 对还原糖产率及秸秆降解率的影响实验(图 2、图 3)。由图 2 可知,发酵 1~5 d 时,秸秆降解产生的还原糖量不断增加,在 6 d 达到最高值为 38%,之后还原糖产率开始下降。在 35℃摇床 150 r/min 条件下,还原糖产率为 35%,秸秆降解率为 65%(图 3),培养最优时间为 6 d。综合分析,原因可能是当发酵液中的还原糖活性逐渐增加达到一定值以后,底物对纤维素降解菌开始产生抑制作用,迫使纤维素降解菌利用发酵液中的还原糖维持自身的生长繁殖。但节约成本考虑,秸秆发酵液糖化作用的糖化发酵时间控制在 5 d,还原糖含量为 35% 左右为最佳。

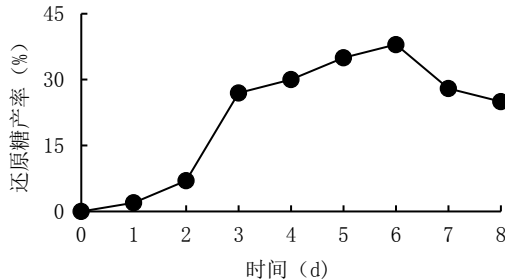


图2 发酵液还原糖产率随时间变化情况图

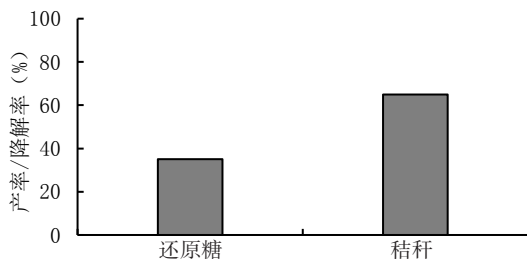


图3 菌剂降解秸秆产生的还原糖产率和秸秆降解率的影响情况

2.4 秸秆发酵液碳氮比分析

由图 4 可知,总有机碳(TOC)浓度在第 6 天达到最高值,为 374 mg/L。而总氮(TN)含量随着 TOC 含量的增加反而减少,原因可能是纤维素降解菌利用氮源进行自身繁殖,致使氮源逐渐减少。通过第一阶段糖化液中 TN 含量的测定,能分析出第二阶段秸秆糖化液作为底物接种产絮菌发酵液中氮源含量。

2.5 秸秆降解菌分泌的酶用量分析

秸秆降解菌 *Bacillus* sp. JG11 培养时间对酶活力变化的影响情况见图 5。秸秆降解菌活性随着

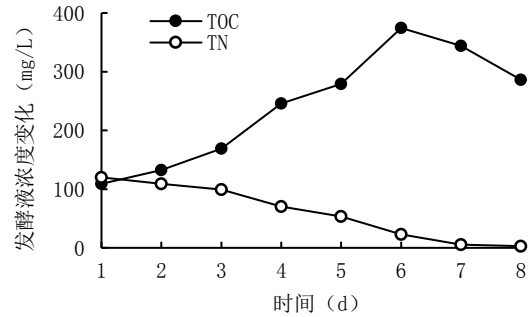


图4 发酵液中总有机碳、总氮浓度的变化情况

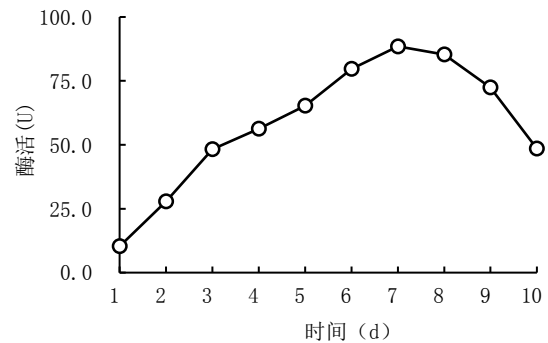


图5 菌株培养时间对酶活力变化影响

培养时间的增长,呈抛物线变化趋势,在培养第 7 天时酶活最高为 88.5 U,在 6~9 d 保持相对稳定酶活力,到第 7 天进入生长对数期。但是从节约成本考虑,选择酶活性值为接近 80 U 的第 6 天作为菌株最佳培养时间。

2.6 底物(秸秆)浓度对降解率的影响分析

设置四个不同秸秆底物浓度处理,分别为 1.5、3、5、7 g/L,在添加同样菌剂量的情况下,分析秸秆降解菌 *Bacillus* sp. JG11 在不同秸秆底物浓度下的秸秆降解率(图 6)。秸秆降解菌 *Bacillus* sp. JG11 反应时间在 1~3 d 内,添加 7 g/L 的秸秆处理比其他处理的降解率高,其降解率顺序为 7 g/L>5 g/L>3 g/L>1.5 g/L 秸秆处理,造成这种现象的原因可能是由于刚开始发酵液中糖含量逐渐增加。当微生物分泌的酶活性到第 6~8 天时秸秆降解率达

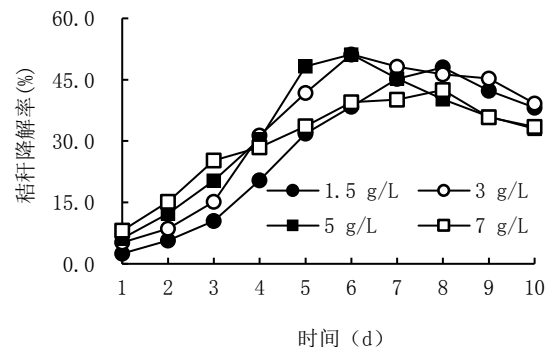


图6 底物浓度对秸秆降解率的影响

到最高值,反应到第6天,添加秸秆3 g/L和5 g/L的处理秸秆降解率最高。添加7 g/L秸秆的处理秸秆降解率比其他处理低,也许是发生抑制作用导致的。一般情况下,底物浓度越高产生的葡萄糖浓度也越高,但是产生的葡萄糖越多,微生物分泌的纤维素酶反而对降解产物有抑制作用,导致秸秆降解率降低。因此,考虑节约成本,选取3 g/L秸秆处理为最适宜的秸秆底物浓度。从该结论可以得出,利用秸秆降解液为底物制取生物絮凝剂的生产是完全可行的。

2.7 菌株接种量对秸秆降解率的影响分析

实验选取秸秆浓度为3 g/L,pH 5.8,反应6 d,150 r/min进行秸秆降解反应,分别研究了菌株不同接种量(0.25%~2.0%)对秸秆降解率的影响(图7)。当接种量为0.75%时,酶活为78.3 U,与接种量为1%时的酶活87.5 U/m相比偏低,当接种量为1.25%时,酶活为90 U达到最高值。直到接种量2%为止,酶活力逐渐保持平稳。从节约成本的角度考虑,秸秆选取3 g/L时,选择适宜的菌剂接种量为1%。

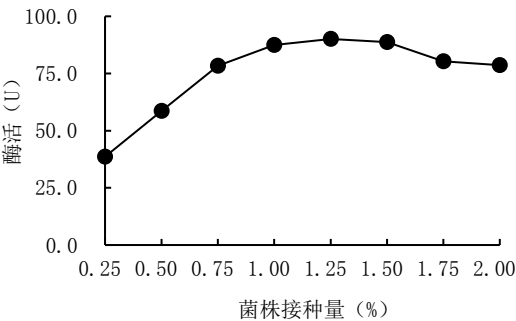


图7 菌株适宜接种量对秸秆降解率的影响

2.8 灭菌处理对絮凝效果的影响分析

将秸秆糖化液分为未灭菌处理和高压灭菌处理,秸秆糖化液作为底物接种产絮菌,进行制取生物絮凝剂的第二段发酵实验(图8)。灭菌处理组(絮凝率85%)的絮凝效果高于未经灭菌处理组(絮凝率63%),推测是由于经过高压灭菌,导致菌体里面的细胞发生了溶解,释放营养成分和高

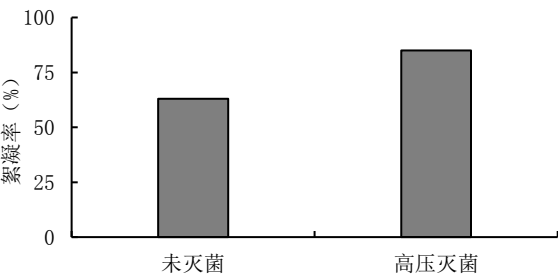


图8 灭菌处理对絮凝效果的影响

分子物质,为絮凝剂的产生菌提供了生长物质。

2.9 秸秆糖化液灭菌后测定碳氮含量

秸秆糖化液灭菌之后TN、TOC和总碳(TC)的含量测定结果见表2。糖化液灭菌前TC浓度为400.71 mg/L,灭菌后为528.7 mg/L,比灭菌前增加1.32%。糖化液灭菌前TOC浓度为209.8 mg/L,灭菌后为237.2 mg/L,比灭菌前增加1.13%。糖化液灭菌前TN浓度为19.4 mg/L,灭菌后为25.8 mg/L,比灭菌前增加1.33%。产生以上现象的原因推测为菌体细胞自溶,释放出碳和氮,灭菌后的糖化液的碳氮比为10.1:1。

表2 灭菌前后糖化液碳氮浓度 mg/L			
稀释发酵液 (稀释10倍)	培养基(对照)	糖化液	
		灭菌前	灭菌后
TC	198.83	400.71	528.7
TOC	115.04	209.8	237.2
TN	110.21	19.4	25.8

2.10 不同发酵底物对产絮菌 Bacillus sp. CX15 的产絮能力分析

以秸秆糖化液和葡萄糖为底物发酵制取絮凝剂絮凝效果见图9。由图9可知,产絮菌 Bacillus sp. CX15以秸秆糖化液为营养源,培养60 h后絮凝率不再提升,并趋于稳定在75%左右,说明秸秆糖化液作为廉价碳源制取絮凝剂具有一定的絮凝效果。以葡萄糖作为底物,生物絮凝效果的高峰期推迟了12 h,但以葡萄糖为底物的对照组絮凝率达90%,高出秸秆糖化液15%左右。分析其原因,主要是因为秸秆糖化液中碳氮比不适合生物絮凝剂的产生。研究表明,在絮凝阶段,葡萄糖含量过高,絮凝剂在发酵液中渗透压变高,细胞生长受到抑制;发酵液中葡萄糖含量过低,会导致细胞缺乏足够的生长所需能量^[20]。因此有必要合理分配培养液中的碳氮源比例,确定絮凝菌生长最优条件。

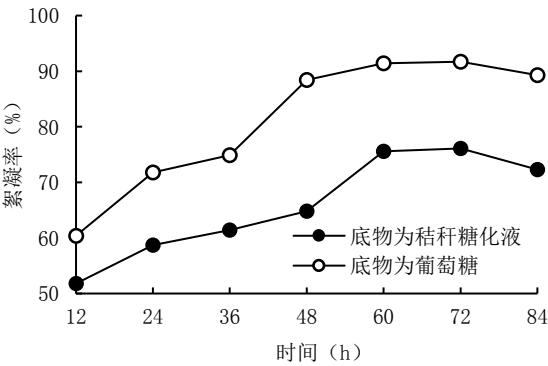


图9 秸秆糖化液和葡萄糖为底物发酵

2.10.1 发酵液中不同碳氮比对絮凝活性的影响

碳源和氮源是微生物生长的重要影响因素,适宜的碳氮比有利于促进微生物的生长繁殖和絮凝活性物质的形成。在基础培养液中,采用秸秆糖化液和酵母膏作为碳氮源,对絮凝效果进行研究,碳氮比例选择4:1~12:1梯度范围,如图10所示,得到的絮凝率平均值分别为82.2%、91.4%、90.7%、80.7%、76.7%、74.5%、71.8%、68.7%、61.2%。结果表明,当碳氮比高于7:1时,絮凝率呈阶梯下降趋势,碳氮比为4:1~7:1时,絮凝率达80%以上,最高絮凝率产生在碳氮比5:1时,为91.4%。但是不同的菌株对碳氮比的需求是不一样的,陈成等^[21]从活性污泥中分离得到生物絮凝剂产生菌株B17,其最适接种量为3%,碳氮比为20:1时,B17絮凝能力最强。

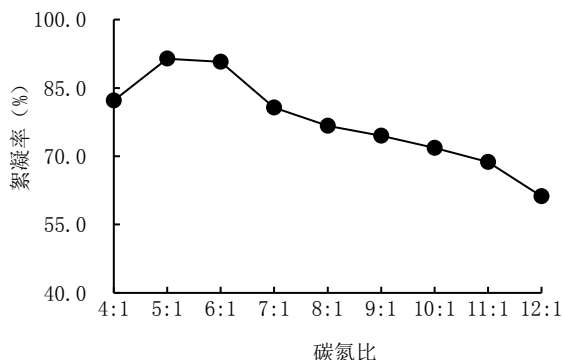


图10 不同碳氮比对絮凝率的影响

2.10.2 补加氮源对絮凝效果的影响

结合表2数据得出,灭菌后的秸秆糖化液碳氮比为10:1,但是从图10的实验结果分析,产絮凝剂最优碳氮比为5:1,絮凝菌产生絮凝效果无法达到最优值,故实验通过补加氮源,重新调整碳氮比。分别向秸秆糖化液中补加0.1~1.5 g/L酵母膏,结果如图11所示。补加酵母膏能提高絮凝率,提前达到产絮高峰,反应48 h之前,补加0.5 g/L的酵母膏的絮凝效果最佳,为85.7%,到60 h以后,氮源的絮凝率表现出最高值为90.4%。但是补加量为1.5 g/L氮源的絮凝率表现出逐渐下降趋势。以上现象表明,补加少量酵母膏能调节秸秆糖化液的碳氮比,缩短絮凝剂反应时间,节约生产成本,提高絮凝效果。

2.10.3 秸秆糖化液作为底物发酵制备复合絮凝剂

利用秸秆降解菌 *Bacillus* sp. JG11 降解秸秆,培养6 d,适宜的底物秸秆浓度为3 g/L,秸秆生物降解糖化液里添加产絮凝剂,培养60 h之后,发酵液中补加0.5 g/L氮源,调节秸秆糖化液碳氮

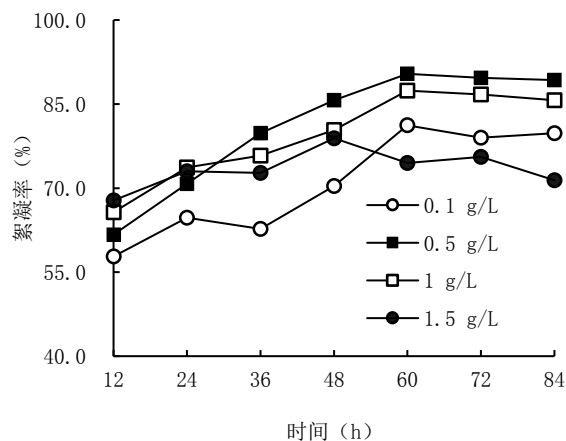


图11 补加氮源对产絮菌利用秸秆糖化液的絮凝效果的影响

比,絮凝率达到90%以上。利用无水乙醇法提取絮凝物质,得到了棕色的絮凝剂。每千克秸秆可以制取生物絮凝剂110 g,获得率为11%。通过以上实验证明,秸秆发酵得到的产物糖化液可用于替代葡萄糖原料,从而在一定程度上降低了培养基制备成本。朱艳彬等^[22]利用纤维素降解菌株来降解秸秆,降解产物作为低成本培养基分离、筛选了2株絮凝率较高的菌株F2与F6,成功利用秸秆发酵产物制备产絮菌低成本培养基,该研究也印证了本文的分析与观点。

3 结 论

(1)在糖化发酵实验阶段,本文通过测定发酵菌液中TOC含量的变化,对纤维素的降解效率进行了分析。微生物分泌的秸秆降解酶可将秸秆中的纤维素分解为小分子物质。为了减少成本,利用秸秆降解酶分解秸秆底物,减少糖化过程中秸秆降解酶用量,以秸秆发酵液作为产絮凝剂的培养基,得到产絮菌培养液(菌悬液、发酵液、上清液)的还原糖活性分别为0.318、0.666、1.33 mg/mL,产絮菌的絮凝率分别为42%、70%、78%。结果表明,产絮菌的上清液还原糖含量高于菌悬液和发酵液,说明菌株 *Bacillus* sp. CX15 的胞外分泌物质可能产生絮凝剂。

(2)碳源和氮源是微生物生长的重要影响因素,适宜的碳氮比不仅有利于微生物的生长繁殖,且有利于絮凝活性物质的形成。本研究得出最适宜的发酵时间为6 d,此时还原糖产率为35%,秸秆降解率为65%,TOC浓度达到最高为374 mg/L,TN含量随着TOC含量的增加反而减少,最优酶活性达到80 U,适宜的菌剂用量为1%~1.25%,底物适宜秸秆接种量为3 g/L。

(3)在糖化实验阶段,秸秆降解菌 *Bacillus* sp. JG11 降解秸秆中的纤维素,形成小分子物质,使发酵液中的 TOC 含量增加,絮凝阶段提供了微生物生长所需碳源,有效降低生物絮凝剂生产成本。本研究通过补加适量的氮源,调整发酵液碳氮比,确定了絮凝菌生长最优条件,当秸秆糖化液补加氮源 0.5 g/L 酵母膏时,灭菌处理组絮凝率表现最佳为 91.4%。最后,利用无水乙醇法提取了棕色絮凝物质,获得率为 11%。

参考文献:

- [1] 王润沛,单爱琴,李 达,等. 1 株微生物絮凝剂产生菌培养条件优化及污泥调理研究[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(7): 319-321.
- [2] 马 放,刘俊良,李淑更,等. 复合型微生物絮凝剂的开发[J]. 中国给水排水, 2003, 19(4): 1-4.
- [3] 李立欣,刘婉萌,马 放. 复合型微生物絮凝剂研究进展[J]. 化工学报, 2018, 69(10): 4139-4147.
- [4] 吴大付,李东方,任秀娟,等. 微生物絮凝剂的生产工艺及絮凝效果研究[J]. 广东农业科学, 2010, 37(1): 88-91.
- [5] 巩彧玄,高星爱,王 鑫,等. 分离、筛选和鉴定猪场污水污染物降解微生物及应用效果分析[J]. 东北农业科学, 2020, 45(1): 99-103.
- [6] 章沙沙,柳增善,周红梅,等. 微生物絮凝剂研究及在污水领域的应用现状[J]. 环境保护科学, 2022, 48(1): 74-80.
- [7] 王 真,刘 伟. NH₄ 产絮凝剂菌利用猪场废水廉价培养基的制备[J]. 环保科技, 2010, 16(3): 39-42.
- [8] 张艳君,张志强,戴晓晴,等. 微生物絮凝剂廉价制备的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(1): 434-436.
- [9] 王 丽,苏欣颖,刘丽红,等. 同步代谢戊糖、己糖产絮凝菌的选育[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2015, 47(6): 50-53.
- [10] 李大鹏. 以秸秆和谷氨酸废液制取生物絮凝剂及其净水效能研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010.
- [11] 陆静超,阎灵均,李大鹏,等. 秸秆资源化制取生物絮凝剂[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2009, 25(1): 161-164.
- [12] 周英勃. 微生物絮凝剂产生菌的廉价培养基研究及应用[D]. 太原: 中北大学, 2017.
- [13] 高星爱,李 莉,赵新颖,等. 纤维素分解微生物复合菌剂降解固态物料特性研究[J]. 东北农业大学学报, 2014, 45(12): 71-76.
- [14] Miller G L. The use of dinitrosalicylic acid reagent for the determination of reducing sugars[J]. Analytical Chemistry, 1959, 31: 426-428.
- [15] 张鲁新,鲁 陈,李吕木,等. 产絮凝剂菌种的筛选及其在猪场污水净化中的应用[J]. 农业工程学报, 2017, 33(20): 250-256.
- [16] 何晶晶,方文娟,吕 凡,等. 乙酸常温预处理对木质纤维素厌氧消化的影响[J]. 中国环境科学, 2008, 28(12): 1116-1121.
- [17] 马 放,张惠文,李大鹏,等. 以稻草秸秆为底物制取复合型生物絮凝剂的研究[J]. 中国环境科学, 2009, 29(2): 196-200.
- [18] 曾 苏,陈晓平,李南华,等. 微生物絮凝剂生产菌 T1 的鉴定及其对生活污水絮凝特性[J]. 环境化学, 2015, 34(3): 578-583.
- [19] 高星爱,王 鑫,解 娇,等. 低温秸秆降解复合微生物菌剂的研究进展[J]. 生物技术通报, 2020, 36(4): 144-150.
- [20] 邵承斌,敖黎鑫,思显佩,等. 猪粪水培养絮凝剂产生菌的研究[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2011, 36(1): 142-147.
- [21] 陈 成,刘人荣,夏 祥,等. 高效生物絮凝剂产生菌的筛选及培养优化[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(6): 52-54, 61.
- [22] 朱艳彬,马 放,杨基先,等. 絮凝剂复配与复合型絮凝剂研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2010, 42(8): 1254-1258.

(责任编辑:王丝语)

(上接第 84 页)

- [9] 邸 娜,崔 超,王 靖,等. 利用诱捕作物防除向日葵列当的研究现状及展望[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(21): 8.
- [10] 牛庆杰,于学鹏,李慧英,等. 向日葵抗列当材料的实验室鉴定方法[J]. 吉林农业科学, 2010, 35(1): 21-22.
- [11] Packer C. The parasitic weeds of the *Orobanchaceae* Parasitic *Orobanchaceae*[M]. Berlin: Springer, 2013: 313-344.
- [12] Lytton J, Musselman. Parasitic Weeds of the World: Biology and Controls[J]. Economic Botany, 1994, 48(3): 332.
- [13] 张 锐,宁繁华,兰艳丰,等. 烟草向日葵列当化学防治研究[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(22): 4609-4611.
- [14] 程乐强,王晓波. 防治烟草寄生性杂草列当的药剂筛选研究[J]. 湖南农业科学, 2013(1): 76-79.
- [15] 冷廷瑞,姚德军,李秀华,等. 吉林省向日葵列当防治药剂筛选[J]. 黑龙江农业科学, 2014(11): 63-65.
- [16] 徐 玮,孔 毅,苏燕妮,等. 防治烟草向日葵列当药剂的筛选[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(2): 194-195, 268.
- [17] 王 丽,王佰众,朱统国,等. 向日葵列当生物学特性及防除研究[J]. 农业科技与信息, 2017(15): 61-64.
- [18] GB/T 17980.129-2004, 农药田间药效试验准则(二)第 129 部分: 除草剂防治烟草田杂草[S].
- [19] 王建平,刘小民,许 贤,等. 7 种除草剂对夏玉米田杂草的防治及安全性研究[J]. 河北农业科学, 2018, 22(1): 50-53.
- [20] 王江红,孙 扬,李光华,等. 高粱田间封闭除草剂的初步筛选[J]. 东北农业科学, 2017, 42(6): 31-35.
- [21] 刘煜财,王义山,蒋文敏,等. 异丙甲草胺乳油防除西葫芦田杂草的研究[J]. 吉林农业科学, 2008, 33(6): 63-64.
- [22] 张 娣,潘映雪,隋虹杰,等. 高粱播后苗前和苗后除草剂的初步筛选[J]. 东北农业科学, 2016, 41(1): 78-80, 99.

(责任编辑:王 昱)