

DOI:10.13364/j.issn.1672-6510.20160018

大麻纤维微生物脱胶菌株的筛选、鉴定及其应用

杨 田, 随树珍, 刘逸寒, 黎 明

(工业发酵微生物教育部重点实验室, 工业酶国家工程实验室, 天津市工业微生物重点实验室,
天津科技大学生物工程学院, 天津 300457)

摘 要: 为了筛选并获得高效的大麻纤维脱胶菌株, 以沤麻液为筛选来源, 采用选择平板进行初筛, 再以摇瓶脱胶实验进行复筛, 以脱胶麻的残胶率为指标, 筛选大麻脱胶微生物。最终获得两株高效的脱胶菌株, 经形态学和 16S rRNA 鉴定均属于枯草芽胞杆菌。大麻分别经两株菌和两株菌混合脱胶 4 d 后, 残胶率由原麻的 50% 左右都降低到了 13% 左右, 纤维素含量由原麻的 50% 都增长到 82%, 肉眼观察纤维完全发散, 色泽光亮洁白, 在电镜下扫描观察没有明显的纤维损伤。这说明筛选到的两株枯草芽胞杆菌都具有应用到大麻脱胶工业的潜力, 也为大麻的生物法脱胶提供了一定的依据。

关键词: 大麻; 微生物脱胶; 枯草芽胞杆菌; 残胶率

中图分类号: Q939.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6510(2017)04-0024-06

Screening and Identifying Strains for Microbial Degumming of Hemp and their Application

YANG Tian, SUI Shuzhen, LIU Yihan, LI Ming

(Key Laboratory of Industrial Fermentation Microbiology, Ministry of Education, National Engineering Laboratory for Industrial Enzymes, Tianjin Key Laboratory of Industrial Microbiology, College of Biotechnology, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China)

Abstract: For screening and obtaining microbial strains suitable for degumming of hemp, two fine strains were selected from the degumming liquid through preliminary screening using selection plates and then rescreening again using shake flask. The residual gum rate of degummed hemp was taken as the index. Two effective strains for degumming hemp were obtained, which were identified as *Bacillus subtilis* through sequence analysis of 16 S rRNA and morphology observation. The raw hemp was put into a shaker at 37 °C for 4 days with the strains; correspondingly the residual gum rate was decreased from 50% to 13% and the cellulose content increased from 50% to 82%. SEM shows that the fiber was completely divergent and in bright white color without obvious damage. These results indicate that the screened strains possess the potential to be applied to industry and the research has provided important parameters for degumming hemp by microorganism.

Key words: hemp; microbial degumming; *Bacillus subtilis*; residual gum rate

大麻也称为汉麻、寒麻、线麻、花麻等^[1], 为一年的桑科。大麻属植物, 高度约 3 m, 其种植对气候和土壤的要求很低, 而且在生长过程中无需农药和施肥, 抗虫害能力强, 生长迅速, 种植收获期短。最重要的是大麻纤维具有许多特有的优异性能, 如抗静电、

防过敏、保温性和散热性良好、防菌、防腐、抗紫外等^[2], 因此其作为一种纯天然的绿色纤维, 越来越受到人们的青睐。在我国, 大麻种植具有悠久历史, 是我国劳动人民最早驯化和栽培利用的作物之一。我国大麻的生产种植主要分布在黑龙江、陕西、甘肃、

收稿日期: 2016-01-15; 修回日期: 2016-04-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(21176190); 天津市科技支撑计划资助项目(11ZCKFSY00900)

作者简介: 杨 田(1991—), 男, 安徽人, 硕士研究生; 通信作者: 黎 明, 教授, liming09@tust.edu.cn

山西、云南、贵州等省,与东北的亚麻,西南的苧麻,被誉为“国纺源头、万年衣祖”。

目前,麻纤维的脱胶在工业上多采用化学脱胶法,即采用强酸、强碱、表面活性剂、螯合剂等在高温、高压下对原麻进行处理^[3]。此种脱胶的方法虽然所用时间比较短,在几小时之内就能得到精干麻,但是脱胶后的工业废水会给环境带来极大的污染^[3-4];最重要的是,所使用的化学试剂严重损伤了纤维的结构,降低了纤维的质量^[3]。为了克服这些缺点,改进工业上的脱胶工艺,近些年来国内外对麻纤维的微生物脱胶或是用微生物所产的酶脱胶进行了广泛的研究,同时取得了不少研究成果^[6-12]。生物脱胶作为一种新型绿色的麻纤维的脱胶方法,具有广阔的开发前景。由于大麻的主要胶质成分是果胶和半纤维素等,因此需要筛选不产纤维素酶、高产果胶酶、半纤维素酶等多种脱胶酶系的微生物进行大麻脱胶的研究。本实验室保存有从大麻上采集的大麻菌粉,本研究根据大麻的胶质成分,从大麻菌粉中筛选能分解相应胶质的脱胶细菌,对这些细菌进行相关的酶活测定以及脱胶效果检测,最终获得两株优良的脱胶菌株。

1 材料与方法

1.1 材料

大麻由西双版纳汉麻产业投资控股有限公司提供,样品来自云南西双版纳勐海县汉麻种植园,从成熟汉麻茎秆上剥制下来,晾干后经机械加工去掉表皮的原麻。大麻菌粉由本实验室从该县汉麻种植园采集并保存。

果胶、半乳糖醛酸、木聚糖、木糖, Sigma 公司;其他试剂均为国产分析纯试剂。

富集培养基(g/L):大麻粉末 20,硝酸铵 2,磷酸氢二钾 0.5,硫酸钠 0.5, pH 7.0。

果胶培养基(g/L):果胶 5,硝酸铵 2,磷酸氢二钾 1,硫酸钠 0.5,硫酸镁 0.6,琼脂粉 20,刚果红 0.2, pH 7.0~7.5。

木聚糖培养基(g/L):木聚糖 10,硝酸钾 1,硫酸镁 0.5,氯化钠 0.5,磷酸氢二钾 0.5,刚果红 0.2,琼脂粉 20, pH 7.0~7.5。

LB 培养基(g/L):胰蛋白胨 10,酵母提取物 5,氯化钠 10,琼脂粉 20, pH 7.0。

1.2 菌株的富集

称取大麻菌粉 0.2 g,接种于富集培养基中,37 °C 富集培养 24 h。

1.3 脱胶细菌的筛选

1.3.1 平板初筛

富集培养后的菌液用灭菌生理盐水稀释成 10^{-1} 、 10^{-2} 、 10^{-3} 、 10^{-4} 、 10^{-5} 、 10^{-6} 、 10^{-7} 不同稀释度的菌悬液,分别吸取 10^{-5} 、 10^{-6} 、 10^{-7} 的菌悬液各 200 μ L,分别涂布于果胶和木聚糖培养基中,37 °C 倒置培养 24 h。测量透明圈直径(d_1)和菌落直径(d_2),以 d_1/d_2 值来初步判断菌株的产酶能力。挑取长势较好、 d_1/d_2 值较大的单菌落,将果胶平板上筛选的菌点接到木聚糖培养基,同样在木聚糖平板上筛选的菌点接到果胶培养基中,37 °C 倒置培养 24 h,挑选 d_1/d_2 值较大的单菌落在 LB 固体培养基中分离纯化,获得既能产果胶酶又能产木聚糖酶的菌种。

1.3.2 摇瓶复筛

将初筛获得菌株在 LB 固体培养基中活化,取 1 环接种到装有 50 mL LB 培养基的 250 mL 三角瓶中,37 °C 摇瓶培养 16 h,作为种子液,并用灭菌后的生理盐水调节种子液至相同吸光度。精确称取 5 g 原麻,装入 250 mL 三角瓶中沸水浴处理 30 min,用灭菌后的自来水定容至 95 mL,再接入相同吸光度的种子液 5 mL(料液比 1:20),加入 0.2% 硫酸铵作为氮源,37 °C、180 r/min 脱胶 10 h 后取出,检测残胶率,选取残胶率低的菌株作为脱胶菌。

1.4 大麻纤维残胶率的检测及大麻纤维化学成分分析

大麻纤维的残胶率是指原麻脱胶后残余的胶质(主要为果胶和半纤维素)质量占脱胶麻质量的百分比,反映了脱胶菌株的脱胶能力。参照 GB/T 18147.2—2008《大麻纤维试验方法·第 2 部分:残胶率试验方法》检测残胶率^[13]。

大麻精干麻化学成分检测参照 GB 5889—86《苧麻化学成分定量分析方法》^[14]。

1.5 细菌的形态学观察

细菌的菌落形态的观察以及革兰氏染色参照《常见细菌系统鉴定手册》^[15]。

1.6 筛选菌株的生理生化实验

筛选细菌的生理生化实验的鉴定采用 Biolog 自动微生物分析系统。配制含 0.25% 的麦芽糖的 BUG 固体培养基平板,并在培养基表面均匀涂布 1 滴 7.66% 的巯基乙酸钠溶液,以便抑制待测细菌胞外代谢产物的分泌。挑取单菌落在培养基中作十字形划线接种,30 °C 培养 16~24 h。用灭过菌的接种棒蘸取培养出的待测菌,小心地在干试管内壁上下划动,将菌落均匀分散。倒入一定量的生理盐水冲洗菌悬液,

并在浊度计上测量浓度,当数值达到 30 时用排枪把分散均匀的菌悬液吸入到含有 95 种碳源的平板上,于 30 ℃ 培养,并在 6 h 和 24 h 分别进行测定.

1.7 细菌 16S rRNA 基因测序以及序列分析

DNA 的提取采用 OMEGA 公司的细菌基因组 DNA 提取试剂盒按照标准操作流程操作.

PCR 的扩增所用引物为 27 F (5'-AGAGTTTGAT CCTGGCTCAG-3') 和 1 492 R (5'-GGTTACCTTGTT ACGACTT-3'). PCR 扩增体系为 50 μL, 反应条件: 94 ℃ 5 min; 94 ℃ 45 s, 55 ℃ 90 s, 72 ℃ 90 s, 30 个循环; 72 ℃ 10 min. PCR 扩增产物由北京金唯智公司测序.

1.8 大麻生物脱胶的单因素实验

先将 5 g 原麻置于 250 mL 的摇瓶中,加入自来水浸泡 24 h 左右,然后用自来水定容至 95 mL,接入种子液 5 mL,加入 0.2% 硫酸铵,180 r/min、37 ℃ 振荡脱胶 48 h,每组 3 个平行.通过单因素实验,只改变接种量、温度、料液比、氮源等因素,探索大麻微生物脱胶的最适条件.

1.9 菌株的脱胶应用

精确称取 5 g 原麻,按照 1 : 20 的料液比加入放置 24 h 的自来水 95 mL,并加入 0.2% 硝酸铵作为氮源,其他操作与 1.3.2 方法相同,其中两株菌的混合脱胶是在吸光度为 0.5 时按体积比 1 : 1 加入种子液,空白对照组则等体积无菌水.每隔 1 d 取样,检测残胶率,连续取样 4 d.检测最后 1 d 的混菌脱胶所得精干麻的化学成分.运用扫描电子显微镜观察其微观表面结构.

2 结果与分析

2.1 脱胶菌株的筛选

2.1.1 初筛

根据 d_1/d_2 值初筛出 28 株既能产木聚糖酶也能产果胶酶菌株,编号为 1[#]、2[#]、3[#]、...、28[#].

2.1.2 摇瓶复筛

以大麻脱胶后的残胶率为指标,将初筛得到的 28 株菌通过大麻脱胶进行复筛,筛选出两株脱胶效果较好的菌株 13[#] 和 16[#],脱胶 10 h 后的残胶率分别为 21% 和 20.5%,其余脱胶后的残胶率都相对较高,为 26% ~ 40%.因此,选择 13[#] 和 16[#] 菌株作为后期的脱胶菌株进行菌株鉴定和脱胶实验研究.

2.1.3 脱胶麻的形态观察

在 37 ℃ 条件下,按照 1 : 20 的料液比,摇瓶脱

胶 10 h 后,脱胶麻以清水洗净,观察 13[#] 与 16[#] 菌株脱胶效果,并以不加菌液的空白脱胶组为对照.结果如图 1 所示,肉眼观察脱胶麻纤维发散,颜色较白,没有其他杂质,且原麻韧皮纤维表面的绿色成分基本脱去.

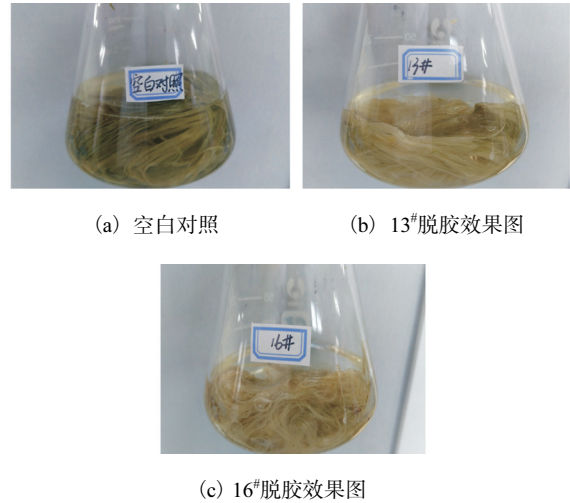


图 1 大麻纤维微生物脱胶 10 h 后的效果图

Fig. 1 Effect drawing of hemp degummed by microorganism for 10 h

2.2 脱胶菌株 13[#] 和 16[#] 的鉴定

2.2.1 形态学鉴定

13[#] 与 16[#] 菌株的菌落形态与菌体形态如图 2 所示.两株菌菌落呈乳白色,菌落较大,黏稠,表面光滑不透明.培养时间延长至 24 h 左右,菌体表面起褶皱.革兰氏染色均为阳性,菌体中央形成芽胞,初步断定两株菌都为芽胞杆菌属.

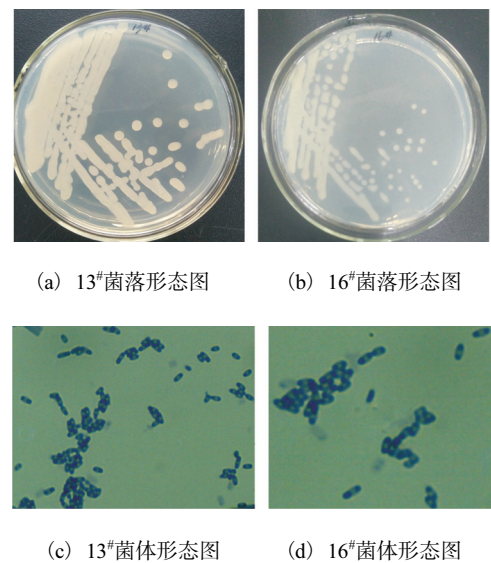


图 2 13[#] 与 16[#] 菌株的菌落形态与菌体形态

Fig. 2 Colony and microscope photos of 13[#], 16[#] strain

2.2.2 生理生化实验

将待测菌株培养 24 h 后,根据 Biolog 自动微生物分析系统的软件分析,结果见表 1 和表 2。根据相似性和位距这两个最重要的参数,可以确定 16[#]菌株为枯草芽胞杆菌,但 13[#]菌株相似性值小于 0.5,由于同属的相似性值总和大于 0.5,因此通过 Biolog 方法只能鉴定 13[#]为芽胞杆菌属,种的确定还得与 16S rDNA 鉴定结果以及形态学鉴定结合分析。

表 1 13[#]菌株的生理生化实验鉴定

Tab. 1 Identification of 13[#] strains based on physiology and biochemistry experiments

编号	菌种学名	相似性	位距
1	<i>Bacillus subtilis A</i>	0.445	6.85
2	<i>Bacillus licheniformis</i>	0.102	7.33
3	<i>Bacillus circulans</i>	0.005	8.35
4	<i>Bacillus amyloliquefaciens B</i>	0.002	8.61
5	<i>Bacillus coagulans</i>	0.001	8.81
6	<i>Paenibacillus macerans</i>	0.001	8.99
7	<i>Geobacillus atearothermophilus</i>	0	9.14
8	<i>Virgibacillus pantothenicus</i>	0	9.22
9	<i>Paenibacillus azotofixans</i>	0	9.66
10	<i>Bacillus halodurans</i>	0	10.00

表 2 16[#]菌株的生理生化实验鉴定

Tab. 2 Identification of 16[#] strains based on physiology and biochemistry experiments

编号	菌种学名	相似性	位距
1	<i>Bacillus subtilis A</i>	0.56	6.92
2	<i>Bacillus licheniformis</i>	0	8.76
3	<i>Bacillus amyloliquefaciens B</i>	0	8.96
4	<i>Bacillus megaterium A</i>	0	10.22
5	<i>Bacillus subtilis C</i>	0	10.65
6	<i>Paenibacillus polymaxa</i>	0	11.00
7	<i>Bacillus circulans</i>	0	11.18
8	<i>Bacillus amyloliquefaciens A</i>	0	11.23
9	<i>Bacillus subtilis B</i>	0	12.26
10	<i>Bacillus pumilus B</i>	0	13.23

2.2.3 16S rDNA 鉴定

以 13[#]和 16[#]菌株的基因组 DNA 为模板进行 PCR 扩增出它们的 16S rDNA 并测序。在 NCBI 上进行 Blast 分析表明:13[#]和 16[#]菌株的 16S rDNA 序列与枯草芽胞杆菌(*Bacillus subtilis*)16S rDNA 序列的一致性高达 99%,结合形态学鉴定以及生理生化实验分析,确定 13[#]和 16[#]为枯草芽胞杆菌。

2.3 单因素的实验分析

2.3.1 温度对脱胶效果的影响

温度对脱胶效果的影响如图 3 所示。由图 3 可见,13[#]和 16[#]菌都是在 37℃时脱胶效果最好,这很可能与所筛得的脱胶细菌的生长习性有关。温度过低

或过高,可能影响菌体生长、微生物的代谢活动和相关酶类的分泌。

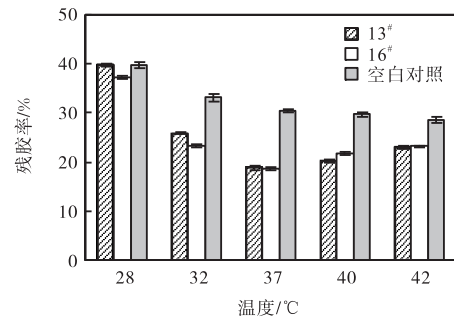


图 3 温度对脱胶效果的影响

Fig. 3 Effect of different temperature on degumming

2.3.2 接种量对脱胶效果的影响

接种量对脱胶效果的影响如图 4 所示。接种量为 5、10 mL 时,脱胶效果最好。接种量过少,菌体生长比较缓慢,相同时间内脱胶效果不明显;接种量过多,菌体生长过快,培养液的黏度增加,可能导致溶氧不足,同时脱胶前期,脱胶液中营养成分有限,会有一定的竞争抑制。由于接种量为 5、10 mL 时,脱胶效果基本一致,因此最佳接种量选择 5 mL。

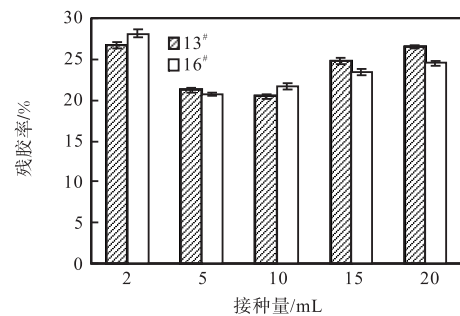


图 4 接种量对脱胶效果的影响

Fig. 4 Effect of the amount of inoculation on degumming

2.3.3 料液比对脱胶效果的影响

料液比对脱胶效果的影响如图 5 所示。

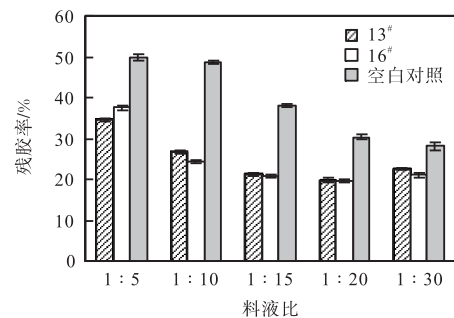


图 5 料液比对脱胶效果的影响

Fig. 5 Effect of liquor ratio on degumming

随着料液比的提高,脱胶效果也逐渐提高.当料液比达到 1:20 时,脱胶效果最佳;继续提高料液比至 1:30 时,脱胶效果反而较低.可能原因是:原麻质地比较干硬,需要吸水膨胀,料液比太低影响原麻吸水,菌体生长;而料液比太高可能降低脱胶前期脱胶液中有有机物质的浓度,影响菌体生长,同时,料液太多可能导致溶氧量不足,影响好氧型的枯草芽胞杆菌生长,使得脱胶变得缓慢.因此,最适料液比为 1:20.

2.3.4 氮源对脱胶效果的影响

接种量 5 mL、料液比 1:20、37 °C 条件下考察了添加 0.2% 的不同氮源对脱胶效果的影响,结果如图 6 所示.草酸铵、硝酸铵和硫酸铵作为氮源,可以显著增加脱胶效果,可能是这 3 种铵盐不仅能够作为氮源,而且也能当作脱胶助剂,对脱胶效果起到一定的促进作用.考虑到成本,选用硝酸铵作为最适氮源.

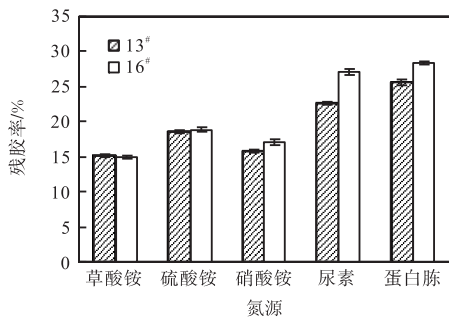


图 6 氮源对脱胶效果的影响

Fig. 6 Effect of nitrogen source on degumming

2.4 13#和 16#菌株联合进行大麻脱胶实验

2.4.1 脱胶实验

分别利用 *Bacillus subtilis* 13#、16#和混合利用两菌对大麻进行 4 d 的连续脱胶实验,检测大麻的残胶率,结果见表 3.对 13#和 16#混合脱胶的第 4 天脱胶麻的化学成分进行了分析,结果见表 4.

表 3 13#与 16#菌株大麻脱胶实验所对应的残胶率

Tab. 3 The residual gum content after degummed by 13# and 16#

脱胶时间/d	残胶率/%			
	13#	16#	13#与 16#	对照
1	20.13±0.23	19.91±0.34	19.8±0.44	32.31±0.61
2	16.63±0.40	16.42±0.29	16.40±0.37	27.34±0.41
3	13.72±0.47	13.69±0.35	13.28±0.22	22.13±0.86
4	12.98±0.26	12.89±0.32	12.89±0.39	19.15±1.03

由表 3 可知,筛选的枯草芽胞杆菌 13#与 16#菌株都有较好的大麻脱胶效果,而且它们的脱胶效果相当,没有太明显的差异.两菌株单独脱胶仅 1 d,大麻

残胶率就降到 19.8% 左右;而且,随着脱胶时间的延长,大麻的残胶率逐渐降低,到第 4 天残胶率就降到 13% 左右,与纺织业的最低要求(残胶率为 2% ~ 10%)仅差 3%.两菌株混合脱胶时的效果与单菌脱胶效果几乎一致,说明筛选的枯草芽胞杆菌 13#与 16#菌株对于大麻脱胶没有互补作用.空白对照在脱胶 4 d 后的残胶率也降低到约 19%,这可能是由于大麻脱胶是在开放空间、大麻也没有被灭菌,大麻或空间本身可能含有可以脱胶的某些菌类所致.

表 4 脱胶麻的化学成分分析结果

Tab. 4 Chemical analysis results of degummed hemp

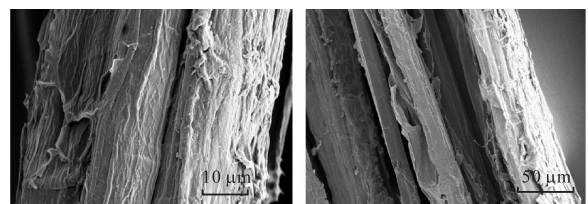
化学成分	原麻	脱胶 4 d
脂蜡质/%	1.40±0.10	—
水溶物/%	13.76±0.31	—
果胶/%	6.95±0.14	2.14±0.22
半纤维素/%	22.49±0.21	12.46±0.27
木质素/%	7.34±0.16	4.16±0.30
纤维素/%	48.06±0.25	81.24±0.35

注:—表示未检出.

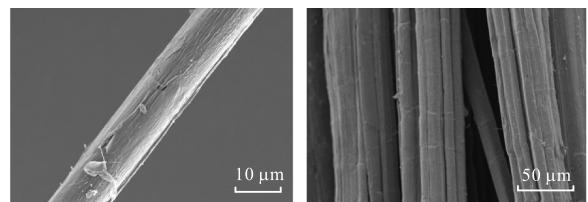
对混菌脱胶 4 d 后的精干麻进行化学成分分析(表 4),精干麻中纤维素的含量约 82%,比原麻提高了 30%;果胶质、半纤维素和木质素虽有不同程度的降低,但它们的含量仍然偏高,特别是半纤维,它的含量达到 12%.因此,在后期的研究中,应进一步加强对新菌种的筛选和培养,尽可能筛选相关酶系更加健全的脱胶菌株,也可加强本研究筛选的菌株与产半纤维素酶的菌株的微生物协同脱胶研究.

2.4.2 扫描电子显微镜观察

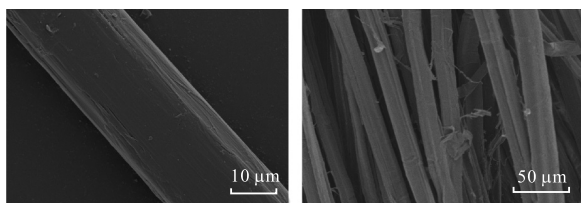
对混合脱胶后的精干麻用扫描电子显微镜观察其表面微观结构,如图 7 所示.



(a) 原麻



(b) 脱胶第 1 天



(c) 脱胶第4天

图7 脱胶麻的电镜图

Fig. 7 SEM photos of fibers

原麻中,内部的若干纤维束被胶质紧密包裹,几乎看不到单根纤维结构;脱胶1d后,大麻单纤维的表面结构发生了明显的变化,表面的胶质层明显减少、变薄;脱胶4d后,纤维表面光滑,几乎没有损伤,单纤维束上的胶质基本除去。

3 讨论

自从浸渍的亚麻上分离得到某些脱胶细菌后,大量的具有脱胶功能的微生物被分离得到^[16]。近些年来,麻类纤维的生物脱胶的研究也取得了一定的研究成果。如 Zheng 等^[6]筛选出耐碱性的枯草芽胞杆菌 *Bacillus subtilis* NT-39、NT-53 和 NT-76 作用于苧麻脱胶,残胶率减少到 9.4%; Das 等^[7]选用 *Bacillus* sp. L6(GQ891097)、短小芽胞杆菌 *Bacillus pumilus* EK-17、*B. pumilus* Geo-03-422 等细菌联合作用于黄麻的脱胶,使脱胶时间由原来的 19 d 缩短到 13 d,且提高了脱胶麻纤维的柔软度; Fan 等^[8]用 *Bacillus* sp. HG-28 脱胶苧麻,仅用 16 h 就分解了胶质成分的 77%,而且并未发现纤维素的损耗;石杰等^[9]从亚麻雨露麻茎上分离筛选到两株高产碱性果胶酶和半纤维素酶的细菌,190 h 内完成了亚麻的脱胶过程。

与其他麻类(苧麻、亚麻等)相比,大麻纤维的生物脱胶研究却相对较少,脱胶难度也要高于其他麻类。其胶质含量高达 40%~50%,纤维素含量却相对较少^[10];而且其纤维结构比较特殊,单纤维长度差异较大,纤维分离性差等,这些原因都大大增加了大麻的脱胶难度。但由于大麻纤维特有的优异性能,越来越受到人们的青睐。Li 等^[11]用白腐真菌(*Schizophyllum commune*)处理大麻纤维两周,得到的精干麻色泽光亮,脂蜡质、半纤维素和木质素等都有不同程度的降低,半纤维含量由原来的 18.4% 降到了 13.5%,木质素由原来的 6.8% 降到了 4%,但由于所使用的脱胶菌株能够产生纤维素酶,分解胶质的同时也一定程度上损伤了纤维。Zhang 等^[12]首次开创了用海

水沤制大麻,并从沤麻液中筛选出高产果胶酶的菌株嗜麦芽窄食单胞菌(*Stenotrophomonas maltophilia*)和人苍白杆菌(*Ochrobactrum anthropi*),被海水浸泡 14 d 后的精干麻通过扫描电镜观察到纤维表面的胶质成分基本去除,纤维素含量达到 80%,脱胶效果与淡水沤麻相当,减少了淡水资源的消耗与污染。

本研究筛选出的脱胶菌株枯草芽胞杆菌(*B. subtilis*) 13[#]和 16[#],仅脱胶 4 d 残胶率降低到 13%,纤维素含量达到 82%。精干麻纤维完全发散,手感柔软,色泽光亮洁白且没有其他杂质。通过电镜扫描观察精干麻的微观结构,纤维表面光滑,几乎没有受到损伤,胶质成分基本去除。与前期其他研究相比,明显缩短了脱胶的时间、降低了成本,脱胶后的废水没有化学试剂的污染。这充分说明,筛选的枯草芽胞杆菌 13[#]与 16[#]菌株都具有应用到大麻脱胶工业的潜力,为大麻的生物法脱胶的工业研究奠定了一定的基础。

参考文献:

- [1] 吴红玲,蒋少军,张新璞,等. 大麻纤维生物酶脱胶工艺试验[J]. 染整技术,2010,32(7):24-27.
- [2] 孙小寅,管映亭,温桂清,等. 大麻纤维的性能及其应用研究[J]. 纺织学报,2001,22(4):34-36.
- [3] Fan X S, Liu Z W, Liu Z T, et al. A novel chemical degumming process for ramie bast fiber[J]. Textile Research Journal, 2010, 80(19):2046-2051.
- [4] Kapoor M, Beg Q K, Bhushan B, et al. Application of an alkaline and thermostable polygalacturonase from *Bacillus* sp. MG-cp-2 in degumming of ramie(*Boehmeria nivea*) and sunn hemp(*Crotalaria juncea*) bast fibres[J]. Process Biochemistry, 2001, 36(8/9):803-807.
- [5] Evans J D, Akin D E, Foulk J A, et al. Flax-retting by polygalacturonase-containing enzyme mixtures and effects on fiber properties[J]. Journal of Biotechnology, 2002, 97(3):223-231.
- [6] Zheng L, Du Y, Zhang J. Degumming of ramie fibers by alkalophilic bacteria and their polysaccharide-degrading enzyme[J]. Bioresource Technology, 2001, 78(1):89-94.
- [7] Das B, Chakrabarti K, Ghosh S, et al. Effect of efficient pectinolytic bacterial isolates on retting and fibre quality of jute[J]. Industrial Crops and Products, 2012, 36(1):415-419.

(下转第 35 页)