



# 麻纤维连续流生物反应器脱胶技术

汇报人：李毓陵

东华大学 纺织学院  
纺织品设计与产业经济系  
纺织面料技术教育部重点实验室  
[lylu@dhu.edu.cn](mailto:lylu@dhu.edu.cn)

**李毓陵：博士，教授**  
 东华大学，纺织学院  
 纺织品设计与产业经济系

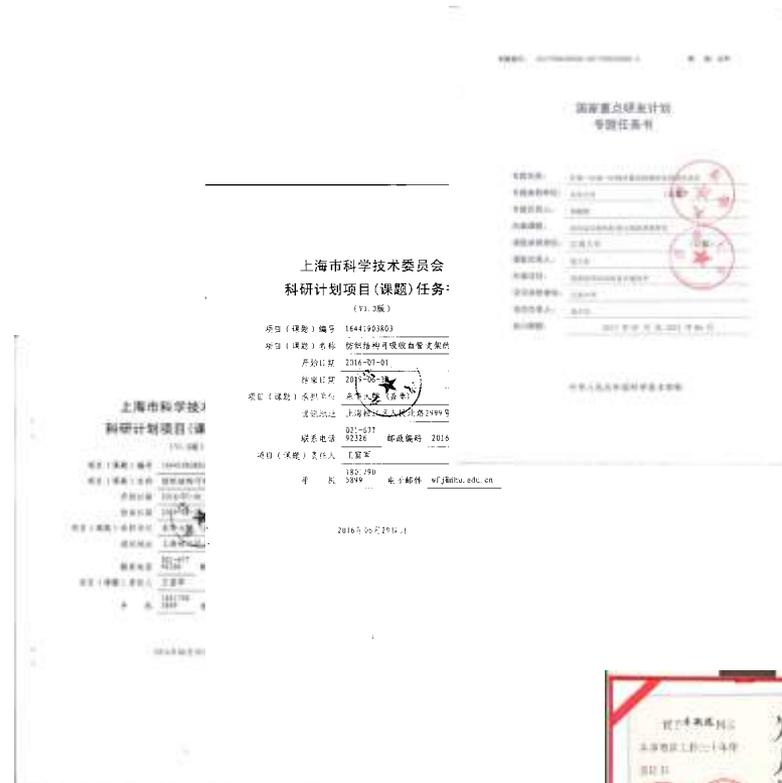


**主要研究方向：**

- ❑ 高档纺织面料设计与生产
- ❑ 生态纺织加工技术
- ❑ 国防用纺织品
- ❑ 纺织复合材料
- ❑ 生物医用纺织材料

**主持或参与项目：**

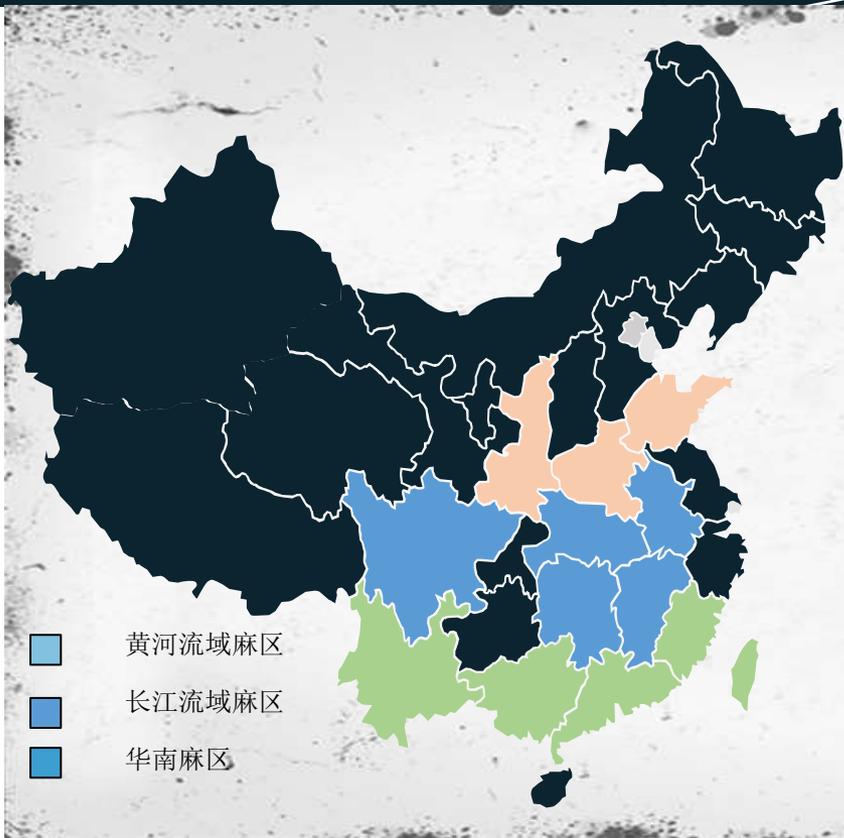
- ❑ 国家级： 8项
- ❑ 省部级： 26项
- ❑ 企业委托： 45项



- 发表论文：100余篇
- 授权发明专利：40多件
- 获国家科技进步二等奖：2项
- 省部级科技进步一等奖：6项



# 项目背景



- 麻类纺织品是具有抗菌、吸汗、防紫外线特点的绿色产品
- 用之不尽，取之不竭
- 原麻含有胶质，不能直接用于纺织

脱胶

## 项目背景

目前麻脱胶的方法主要有**传统沤麻法**、**化学脱胶法**、**生物脱胶法**等。这些方法在麻脱胶中发挥了一定的作用，但技术上还存在瓶颈尚需突破。

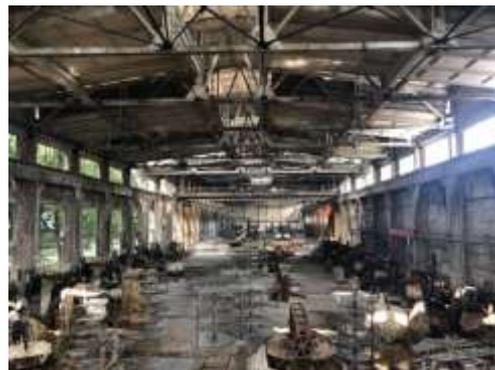
### A 传统沤麻法

- 污染大
- 耗时长
- 不适应于工业化生产



### B 化学脱胶法

- 高耗能
- 高污染，废水中的COD含量高
- 对苕麻纤维的损害大

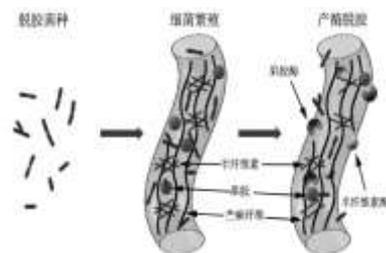


# 项目背景

## 生物脱胶法

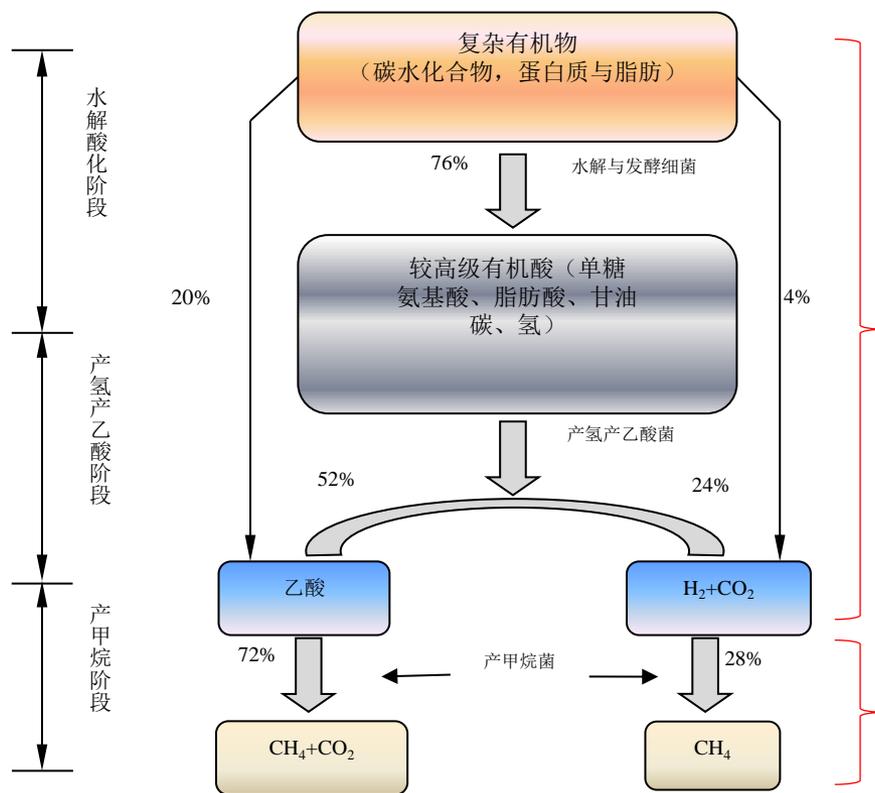
- ❑ **酶脱胶法：**酶制剂生产环境苛刻，成本较高；胶质成分复杂，生物酶的脱胶能力有限，脱胶效果不易控制
- ❑ **微生物脱胶法：**流程简短，节约成本；提高精干麻质量、不损伤纤维；节能减排，降低污染

存在问题：成本高，脱胶效果不好，稳定性差（部分脱胶）、安全性？



# 新 思 路

基于厌氧生物反应器（专利）的连续流脱胶，以期达到高效、稳定、可控的效果。



厌氧消化三阶段过程图谱

# 技术背景

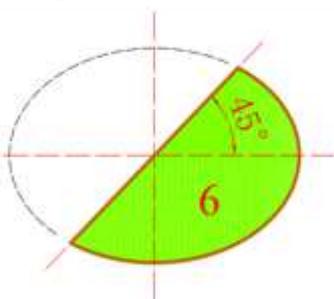
## 螺旋对称流厌氧生物反应器

### Spiral Symmetry Stream Anaerobic Bioreactor

(SSSAB)

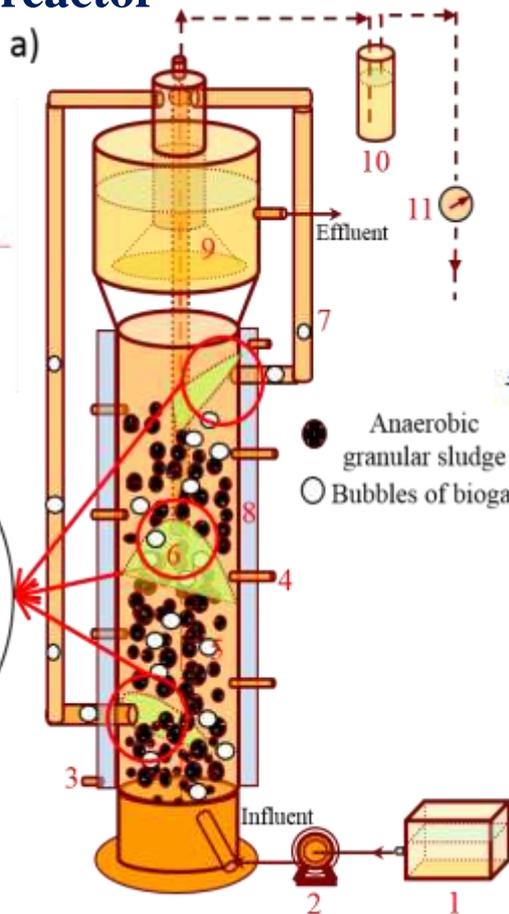
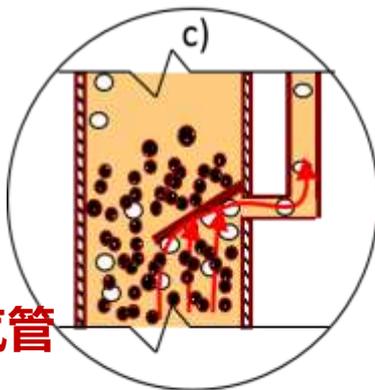
形成螺旋流  
态，增强相间  
传质

半椭圆板



消除中间气体产  
物抑制，稳定菌  
群结构分布

分段集气管

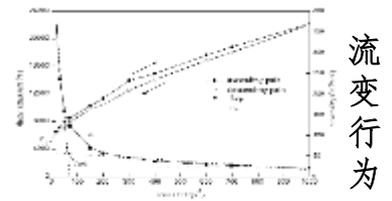
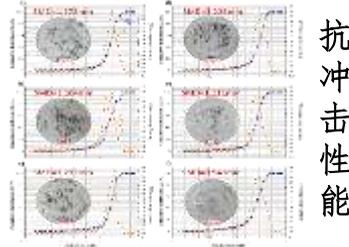
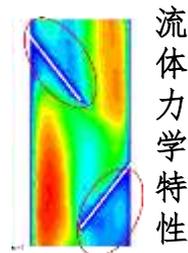
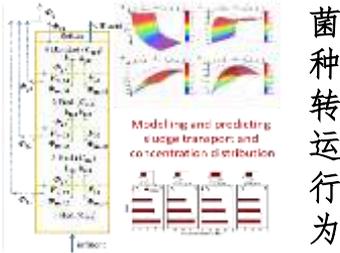
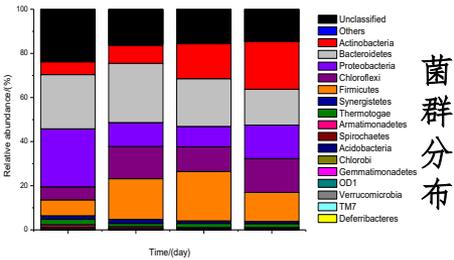
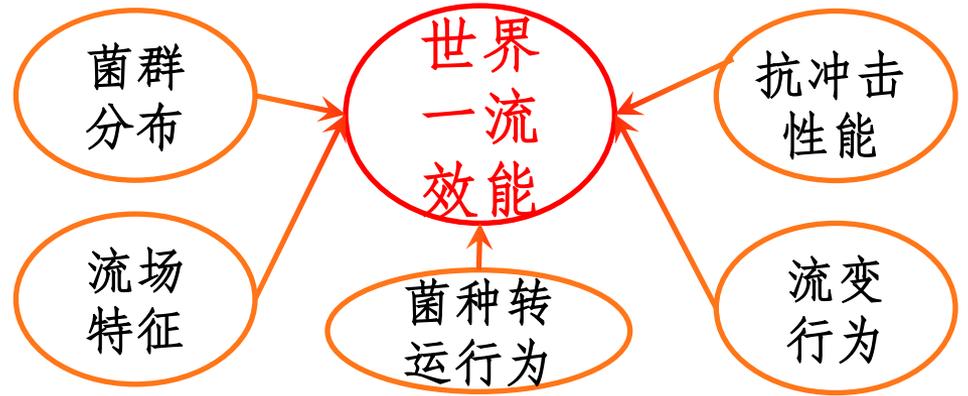
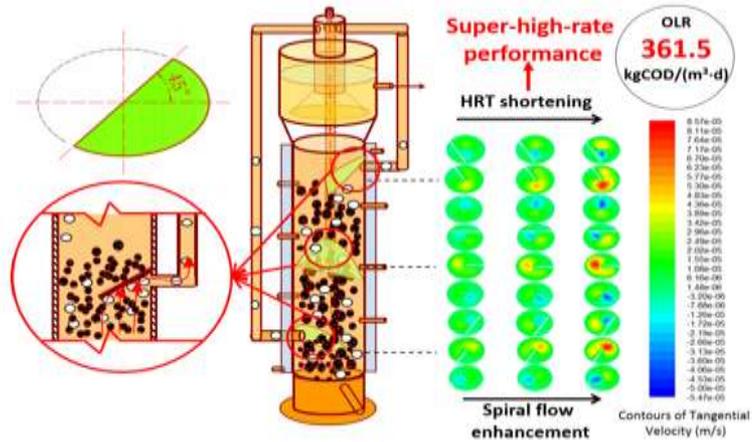


专利号: ZL201210054218.6

- 容积负荷高达  $361.5 \text{ kg m}^{-3} \text{ d}^{-1}$
- 为目前世界最高水平。

# 技术背景

探清了其菌群分布、菌种转运行为、流体力学特性、抗冲击性能和流变行为。



# 技术背景

历时八年

50 m<sup>3</sup>

2.5L



5L



20 L



200L



工程现场  
1 m<sup>3</sup>



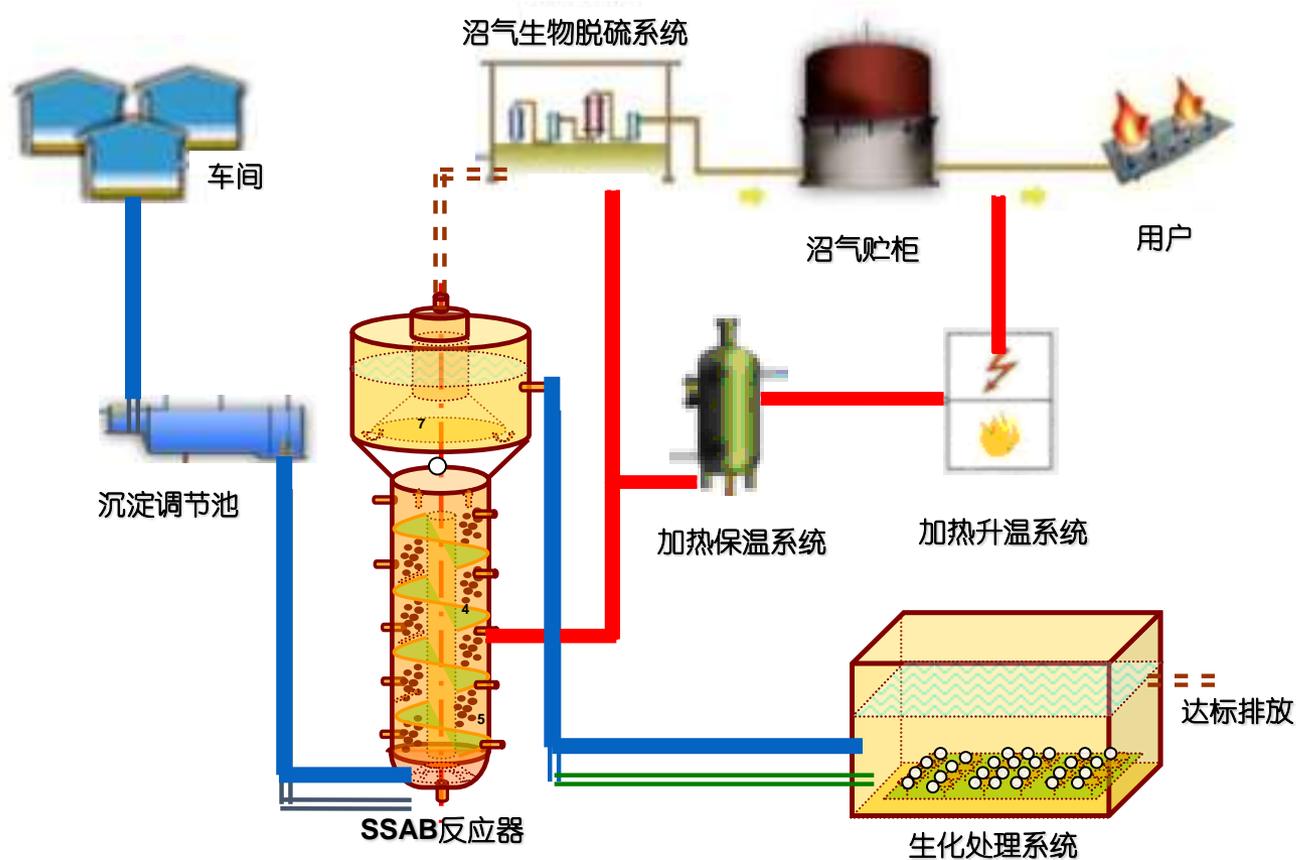
30 m<sup>3</sup>



# 技术背景

成熟的“螺旋对称流厌氧生物反应器”为核心的水污染控制及资源化技术

- 节能低碳
- +
- 绿色环保
- +
- 资源化

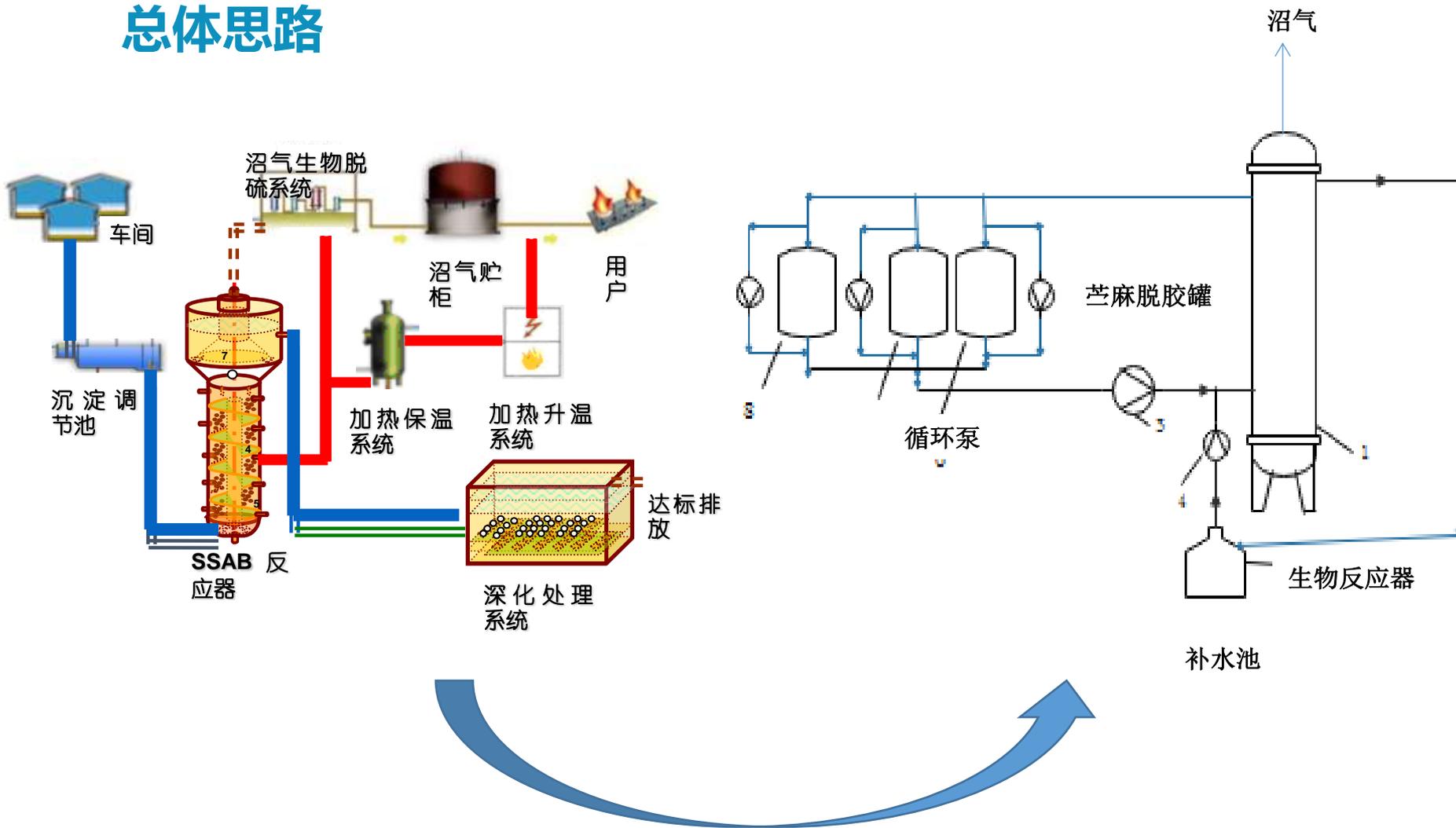


# 技术背景

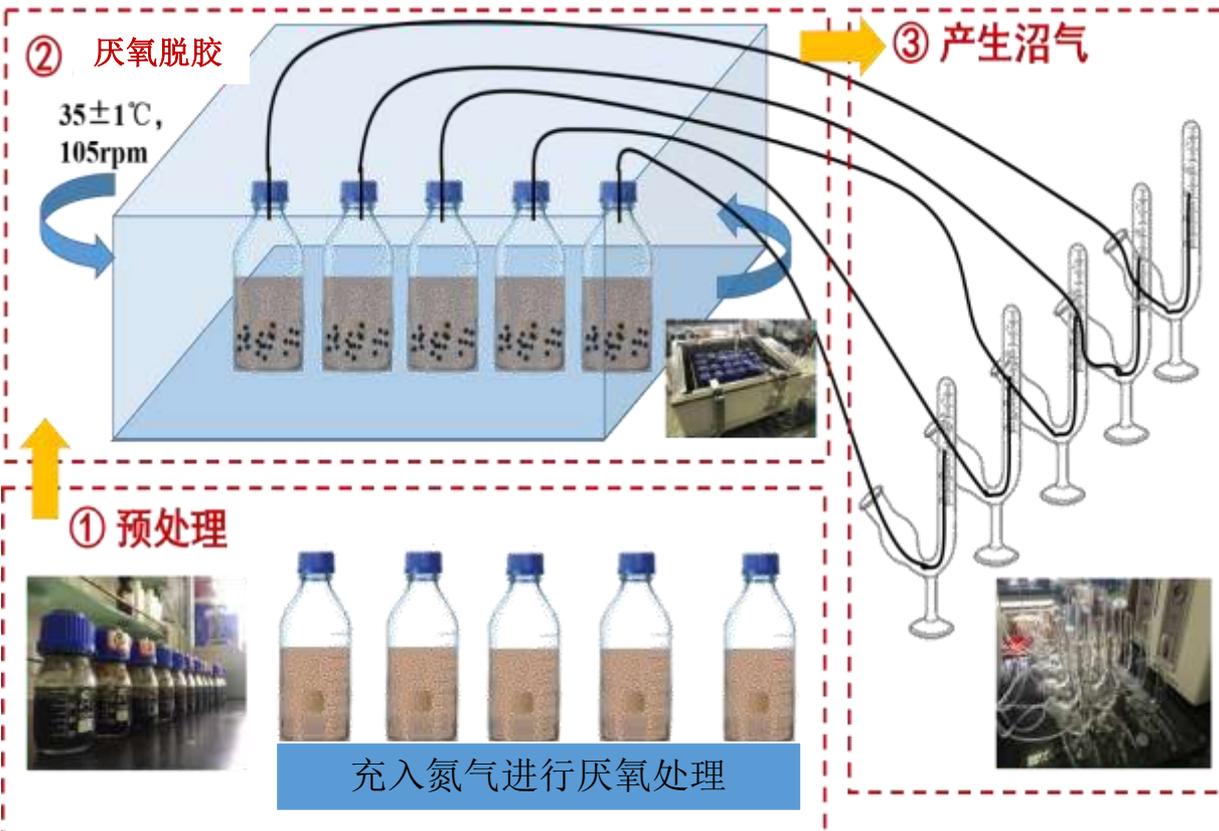


# 脱胶研究进展

## 总体思路



# 预实验



- 反应器中菌种是否适用于苧麻脱胶
- 对原麻进行了预处理
- 确定基本的试验参数

# 脱胶研究进展

## 试验微生物基质 (菌种)

- 颗粒菌种平均粒径: 2.62 mm
- VSS/SS值: 0.76



厌氧反应器接种微生物基质 (菌种)

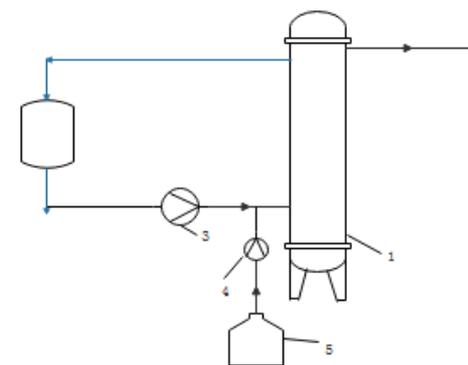
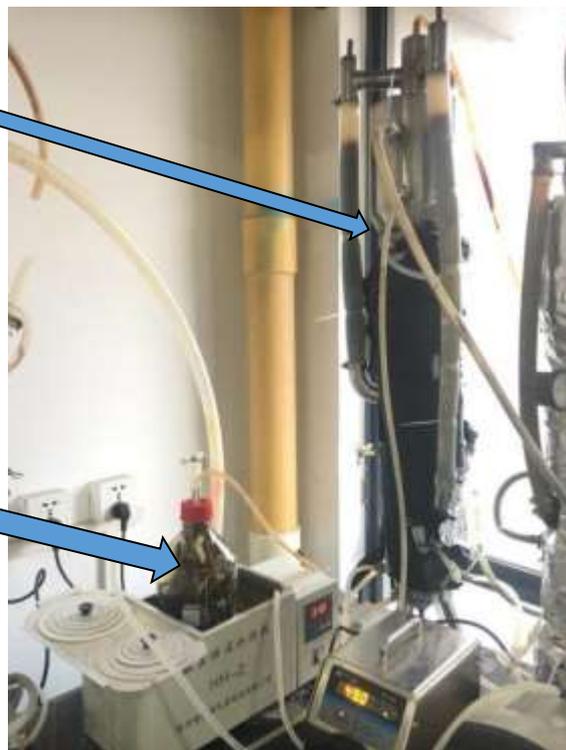
# 菌种驯化



菌种



麻皮、麻杆



- 在反应器启动初始阶段，利用**淀粉溶液、麻皮麻杆、特制营养剂**等配合进行菌种驯化；
- 菌种取自某**工程现场反应器**中；
- 驯化周期**30~60d**。

# 菌种驯化

驯化初期



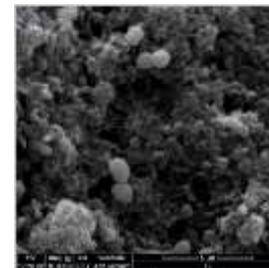
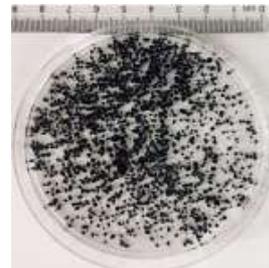
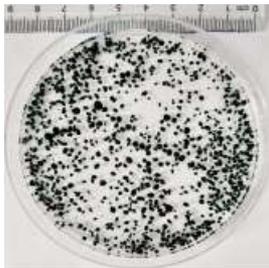
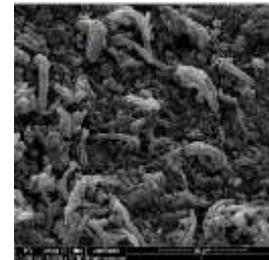
1个月后



2个月后

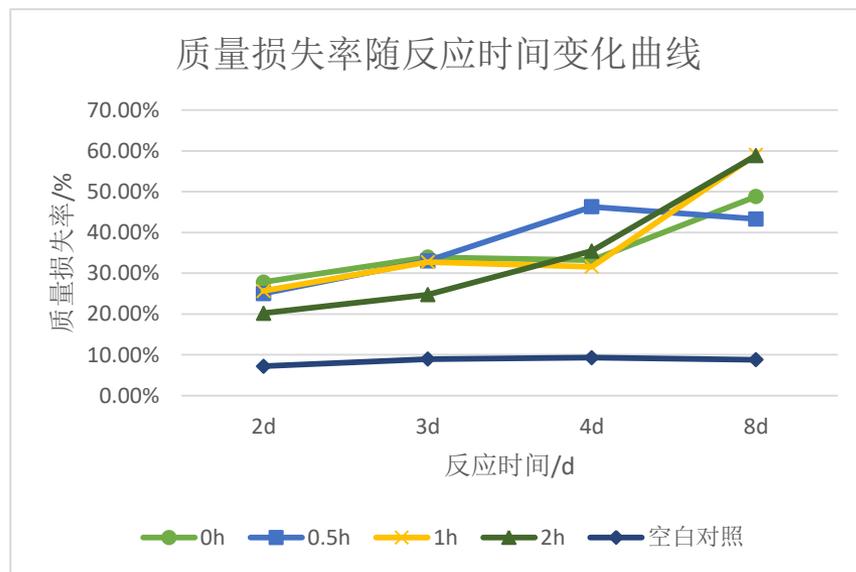
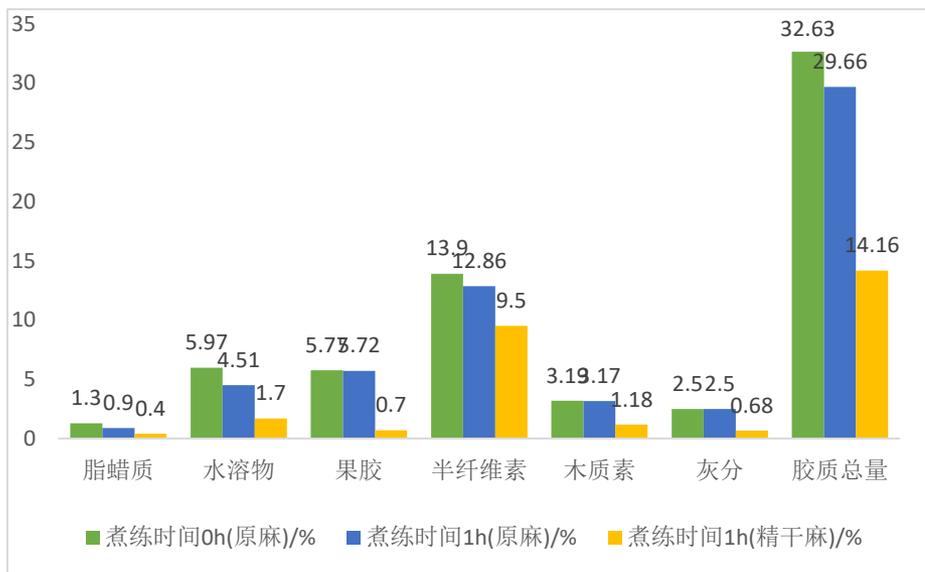


SEM



# 沸水熟练

## 原料沸水预处理效果

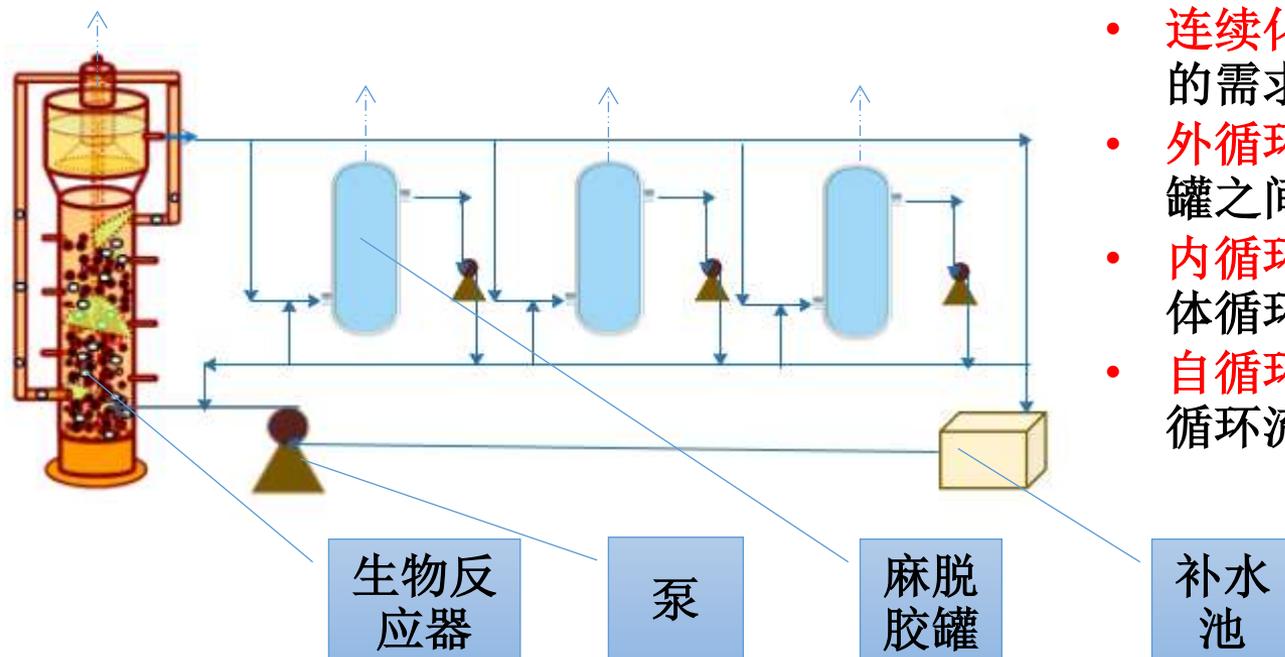


原麻沸水熟练可促进苧麻原麻成分的松解，去除部分水溶性胶质，并去除所带杂菌，有助于脱胶。

# 连续流试验

## 试验系统：

- 有效利用反应器的**负荷能力**
- 贴近**工程化生产**
- 首期原料——**苧麻**



- 采用**逐渐提高脱胶试样重量**的方法进行启动
- **HRT**维持在**3d**;
- 三个脱胶罐，**逐天放入原料**，减少对系统的冲击;
- **连续化过程**，符合工程化生产的需求;
- **外循环**：生物反应器与麻脱胶罐之间的液体循环流动
- **内循环**：生物反应器自身的液体循环流动
- **自循环**：麻脱胶罐自身的液体循环流动

# 连续流试验

不同预处理参数下的外观脱胶效果



0h



0.5h

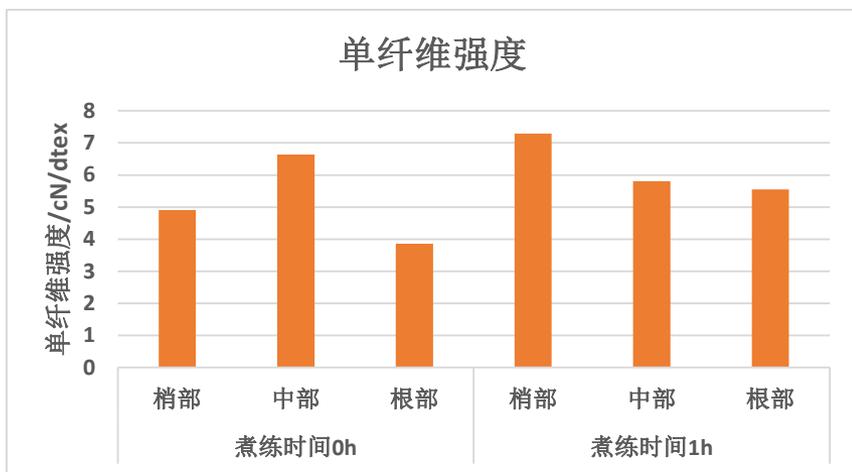


1h



2h

## 强度测试



- 1.煮练时间0h的苧麻纤维单纤维强度中部>梢部>根部；
- 2.煮练时间1h的苧麻单纤维强度梢部>中部>根部。
- 3.综合来讲，煮练时间1h的苧麻纤维的单纤维强度梢部最大。

表2 技术指标

级别	束纤维断裂强度/ (cN/dtex)	残胶率/(%)	含油率/(%)	白度/度	pH值
一级	≥4.50	≤2.00	0.60~1.00	≥50	6~8
二级	≥4.00	≤3.50	0.50~1.20		
三级	≥3.50	≤5.00	0.50~1.50		



# 连续流试验

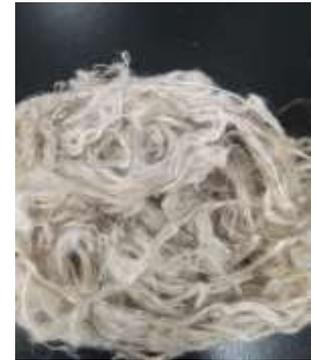
## 试验条件

试验参数		
生物反应器	温度	37°C
	体积	6L
	菌种量	4L
	内循环速度	20r/min
	外循环速度	3r/min
麻脱胶罐	温度	37°C
	反应时间	72h
原料	清水预浸15min后蒸45min	

## 试验方案1

试验方案	麻脱胶罐接种量	自身循环速度	试样重量
1	0	0	20g
2	10%	0	
3	10%	60r/min	
4	0	60r/min	

# 连续流试验



- 脱胶罐中是否接种对脱胶效果影响不大；
- 脱胶瓶自身循环有一定的影响。

# 连续流试验

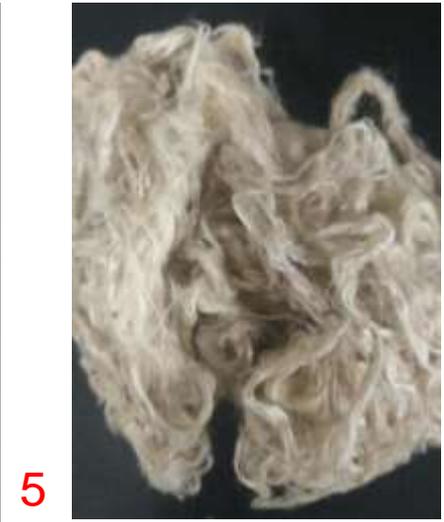
## 试验方案2

试验方案	试样重量	自身循环速度
1	100g	60r/min
2	150g	
3	200g	
4	250g	
5	300g	

- 评判整个苧麻生物反应器脱胶系统的**耐负荷冲击能力**；
- 不同试样重量的苧麻来测试系统的**脱胶能力和稳定性**。
- 试验过程：**固定HRT为3d**。
- 指标：**COD浓度和脱胶效果**为指标判断反应器耐冲击能力。

# 连续流试验

表观形态

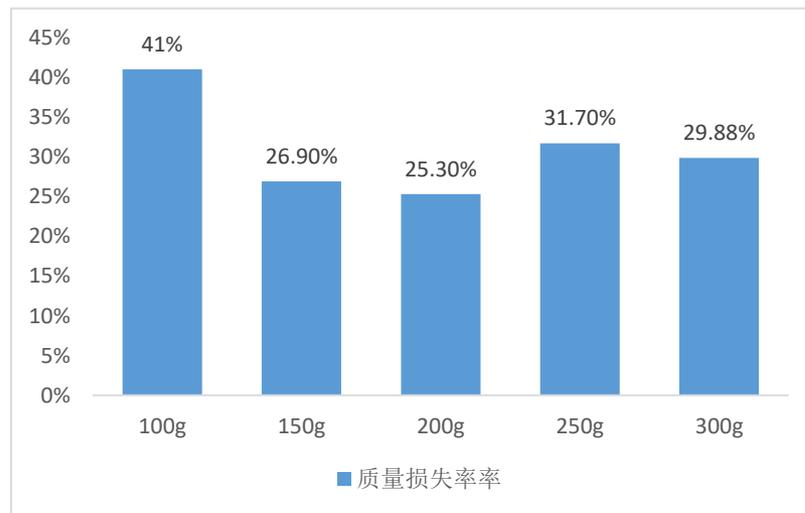


# 连续流试验

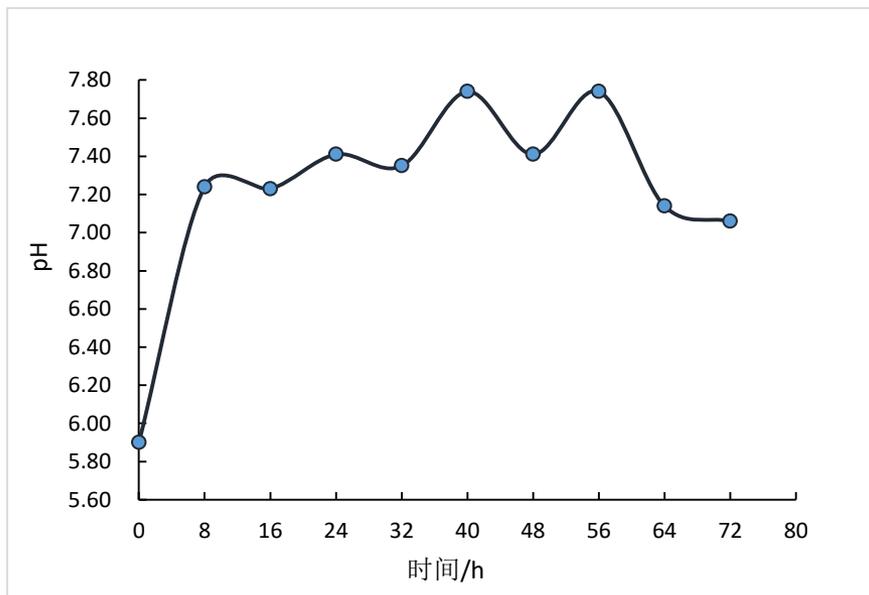
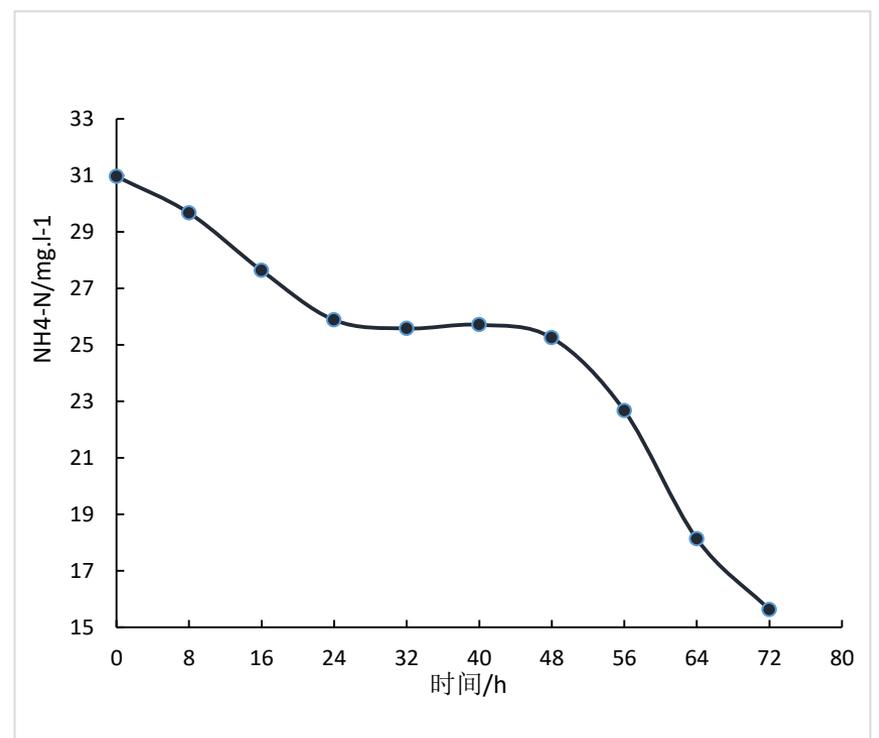
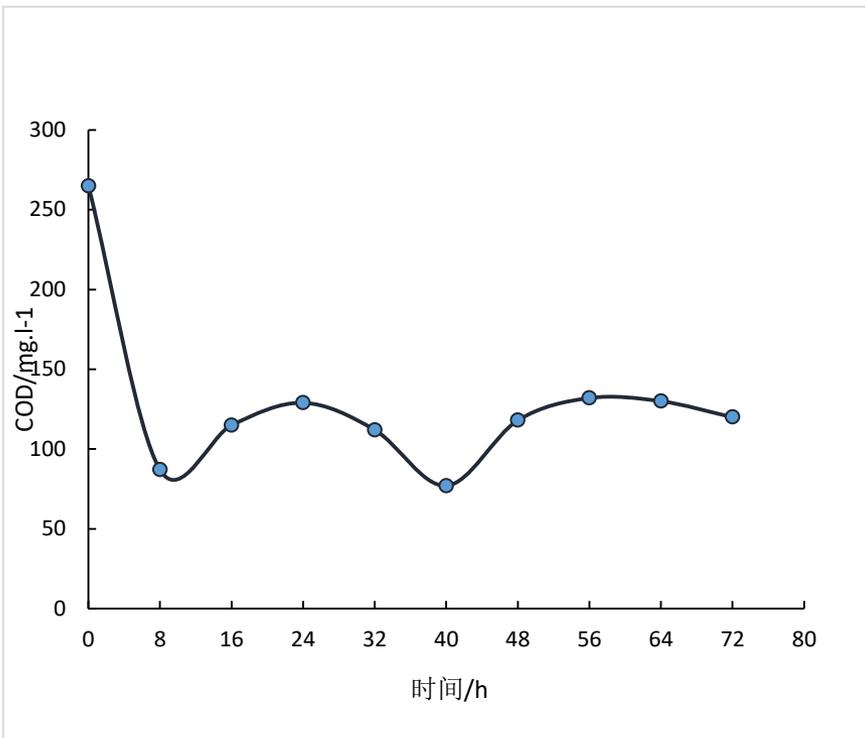
## 强伸性能

试样重量	强力 (cN)	伸长率 (%)	线密度 (dtex)	强度 (cN/dtex)
50g	22.62	2.12	6.00	3.77
100g	18.60	1.22	4.57	4.07
150g	53.83	2.05	5.50	9.79
200g	43.11	2.12	6.00	7.18
250g	42.20	1.53	6.80	6.21
300g	45.86	2.24	7.8	5.87

## 质量损失率



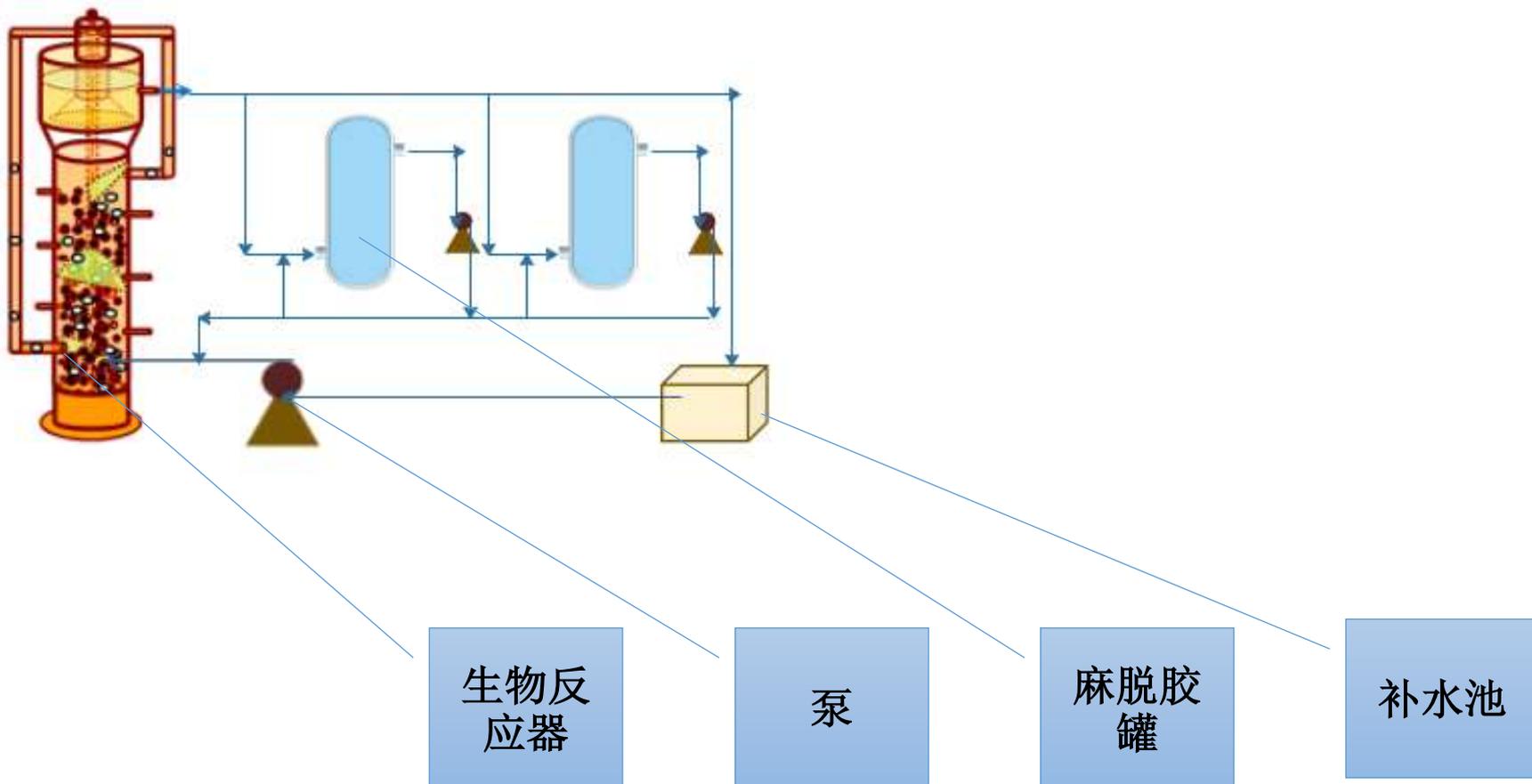
苧麻脱胶罐中的纤维量有较大的影响，量少时容易脱胶过头，损伤强力。



- 1、COD、氨氮和pH呈规律性变化
- 2、纤维质量指标与之有关联
- 3、成为适时检测控制的依据。

## 连续流试验(红麻)

结合苕麻生物反应系统的经验以及红麻现有脱胶方法，试验装置如下。



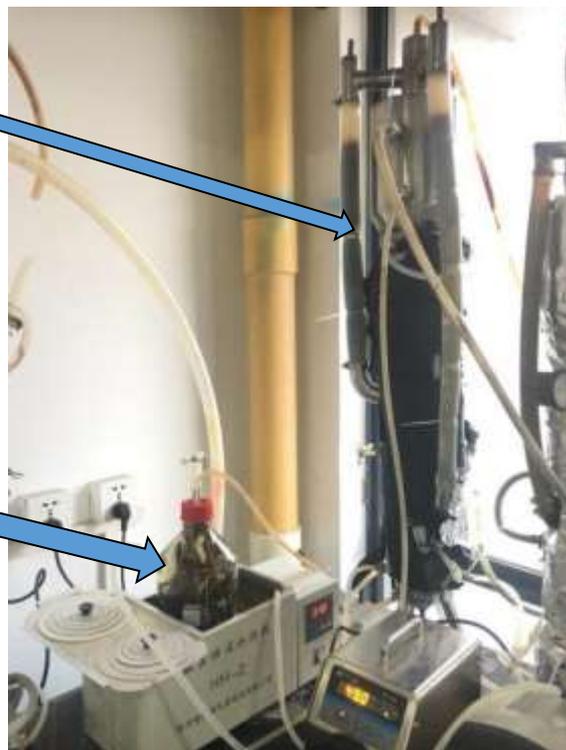
# 连续流试验(红麻)



菌种



红麻原麻



在反应器启动初始阶段，利用淀粉溶液进行启动，以此实现菌种对胶质的快速适应；  
菌种取自某工程现场反应器中；  
驯化周期7d。

# 连续流试验(红麻)

原料处理:



称取原麻



清水浸泡



高压汽3蒸



处理后原麻

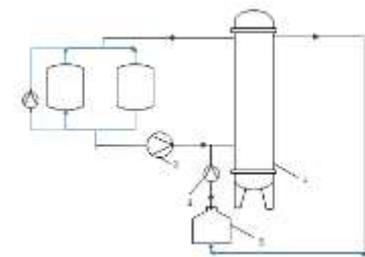
高温预处理可促进红麻原麻成分的**松解**，且能对红麻原麻上所携带的**杂菌**进行灭活。

# 连续流试验(红麻)

试验参数		
生物反应器	温度	37°C
	体积	6L
	菌种量	4L
	内循环速度	20r/min
	外循环速度	3r/min
麻脱胶罐	体积	2L
	接种量	0
	温度	37°C
	自循环速度	60r/min



# 连续流试验(红麻)



## 外观品质



工厂对照样



方案1



方案2

# 连续流试验(红麻)

## 强伸性能

试样重量	强力 (cN)	细度 (dtex )	伸长率 (%)	强度 (cN/dtex)
方案1	88.89	45	2.08	1.98
CV(%)	22.9		15.4	22.6
方案2	198.42	47	1.70	4.22
CV(%)	34.81		18.31	34.81
工厂	188.57	42	1.64	4.48
CV(%)	41.9		19.04	41.99

除臭效果强

## 连续流试验(红麻)

- 脱胶时间相较于自然沤麻缩短了三分之二
- 产品质量已达生产要求



祛色效果好

# 深度研究计划

## 产业化应用试验：

- 1.建立**纤维细度、强度**等制品质量指标与**氨氮、COD、pH值**以及**产气量**等过程指标之间的关系，为确定最优工艺奠定基础；
- 2.确立系统**外循环、内循环、自循环**之间流量分布模型；
- 3.建立**脱胶罐浴比和菌种接种量、厌氧反应器与脱胶罐体积适配比**等工艺参数优选模型；
- 4.改进工艺系统，提高**均匀性和稳定性**；
- 5.拓展实验麻的品种，探讨装置的适应性



## ■彻底解决麻脱胶**污染**的难题

纯生物处理技术，不添加任何化学药剂，不产生任何有毒有害物质，绿色环保。

## ■解决脱胶时间**效率低**的难题

该工艺核心装备为生物反应器，应用的是常规生物菌种，平均脱胶时间2~3天。

## ■解决脱胶运行**成本高**的难题

本技术的生物反应器将麻的胶质作为营养质，具有微生物自身循环再生的功能，一次投入，长期运行，无中间制剂成本，运行费用极低。

## ■解决脱胶**效果不理想**的难题

应用独特的微生物梯度驯化技术，驯化出对纤维素损伤低，对胶质处理效果好的菌种。

## ■核心技术**成熟可靠**，应用**风险小**

本生物反应器的菌群分布、菌种转运行为和流变行为等理论研究清晰，50M<sup>3</sup>级装置运转稳定，安装场地无特殊要求，占地小，规模应用风险小，所用厌氧菌安全系数高。

## ■副产物可以**综合利用**

沼气供热、发电

沉淀淤泥回用、肥料、.....



## 合作学者



### 陈小光 博士/副教授

东华大学 环境科学与工程学院（2011-至今）

澳大利亚昆士兰大学水管理高等研究中心访问学者（2017-2018）

●研究方向：纺织水污染控制与资源化技术

●学历情况：浙江大学工学博士（2013）、四川大学本科和硕士（2004）

●学术情况：发表论文50余篇（SCI论文20余篇）；授权发明专利20余项

●项目情况：主持各类项目10余项，成果转让2项，成果转化4项



感谢您的聆听！

