

## 微生物能源转化及利用实验室

微生物能源转化技术是利用废弃生物质、二氧化碳等原料在微生物的作用下高效转化制取氢气、甲烷、柴油、乙醇等清洁的能源，具有绿色、可再生、原料来源广泛等优势，是生物质能利用和环境污染控制重要的途径。本实验室围绕生物质预处理水解、微生物燃料转化、微生物固碳三个方面开展了深入的研究工作，涉及工程热物理、生物工程、环境工程、化学工程等学科的新型交叉研究领域。

实验室拥有超低温冷冻储存箱、冷冻干燥机、高速冷冻离心机等菌株保存和收获设备；人工光合温室，光照培养箱，光生物反应器等微藻光合培养系统；槽式太阳能光热生物质预处理系统、连续式流动传热水解实验系统、全自动厌氧发酵系统等生物质能源化利用设备；总有机碳分析仪、高效液相离子色谱、气相色谱等成分分析测试设备。形成微生物废水废气处理-生物质预处理-燃料制取完整的科研系统。

微生物能源转化及利用实验室现有教授1名、特聘研究员2名、副教授1名。在读博士研究生6名，在读硕士研究生13名。近年来承担了包括国家杰出青年基金项目、国家自然科学基金重点项目、国家自然科学基金重点国际合作研究项目、国家重点研发计划子课题等国家和省部级项目10余项，近五年发表SCI论文50余篇，申请或授权发明专利20余项。



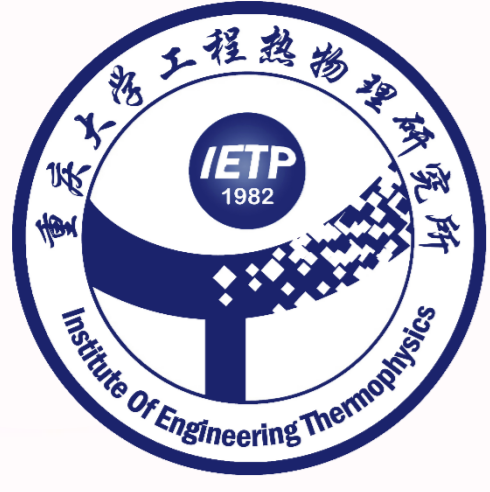
## 主要研究方向

光合固碳生物反应器内流动及能质传递强化，有机废气生物治理中光生化转化和传输机理，微生物多相光生化转化过程中的界面行为及能质传递强化，新型生物燃气系统中物质传递与转化，第三代生物燃料技术及应用等。

## 主要科研项目

- 国家杰出青年科学基金项目 (NO.50825602)：微生物能源转化过程中的多尺度热物理问题研究
- 国家自然科学基金国际(地区)合作与交流项目 (NO.51561145013)：太阳能水热水解及生化转化耦合制取微藻生物燃料基础研究
- 国家自然科学基金重点项目 (NO.51136007)：多相光生化转化过程中的界面行为及能质传递强化
- 国家自然科学基金重点项目 (NO.90510020)：光生物制氢中光生化转化和传输机理
- 国家重点研发计划子课题 (NO. 2016YFB0601002)：微藻烟气CO<sub>2</sub>多相传递与固碳机理
- 国家自然科学基金面上项目 (No. 51606020)：含光生化反应的双重弥散结构多孔介质内多元多相流体流动与传输特性
- 国家自然科学基金青年项目 (NO.51606020)：含光合自养/异养微藻生物膜的双重结构多孔介质内气液传输和生化转化特性
- 国家自然科学基金青年项目 (NO.51606021)：降流式两步厌氧发酵制取氢烷气生物膜反应器内传递与转化特性及调控方法研究
- 教育部科学技术研究项目 (NO.113053A)：燃煤电厂海藻固碳光生物反应器及能源综合利用集成系统研究
- 重庆市自然科学基金重点项目 (NO.CSTC2013JJB9004)：微藻光生物反应器内多相流界面行为及光生化转化过程强化





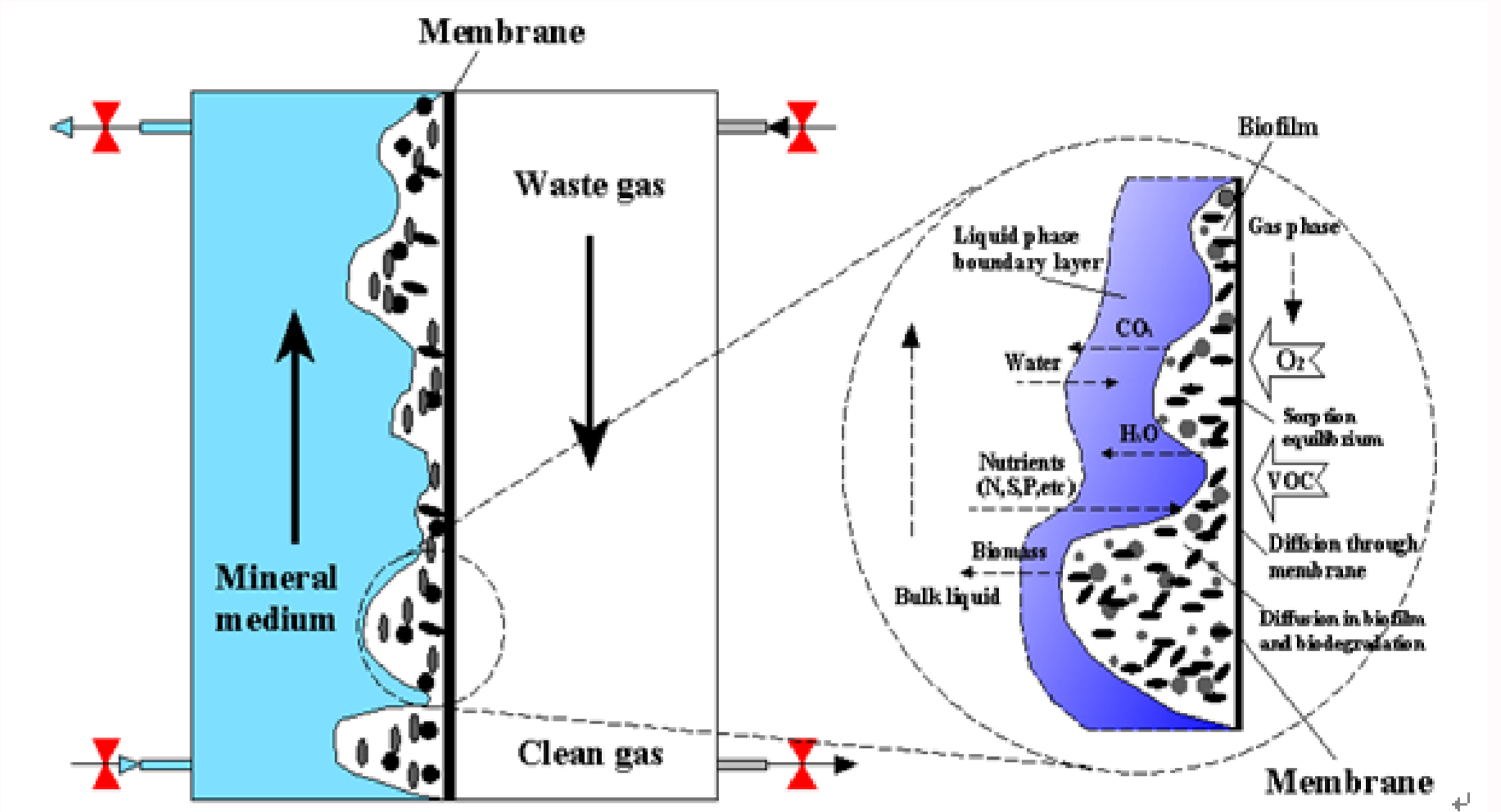
# 低浓度工业有机废气生物净化技术

## 一、废气生物净化技术简介

生物法处理工业低浓度废气就是针对这类工业废气的净化处理而研究开发的环境生物技术，基本原理就是利用微生物的新陈代谢活动将废气中的污染物降解成对环境无害的二氧化碳和水或被微生物自身所利用。具有净化效果好、操作稳定、运行费用低、无二次污染等优点。

## 二、生物膜滴滤塔废气净化生化过程

在生物废气处理过程中，其核心装置是生物膜多孔填料滤塔，是含生化反应的多元多相流体流动、传热传质的复杂体系，本课题从工程热物理学角度出发，考虑多孔介质中的两相流动及多孔介质内的传质问题，并结合生化反应动力学分别从实验和理论两方面来研究生物膜多孔填料塔的降解性能。



有机废气生物膜反应器内污染物和产物传递

## 三、主要研究进展

### 1. 生物膜滴滤塔净化废气反应器性能

#### 生物滴滤塔实验系统

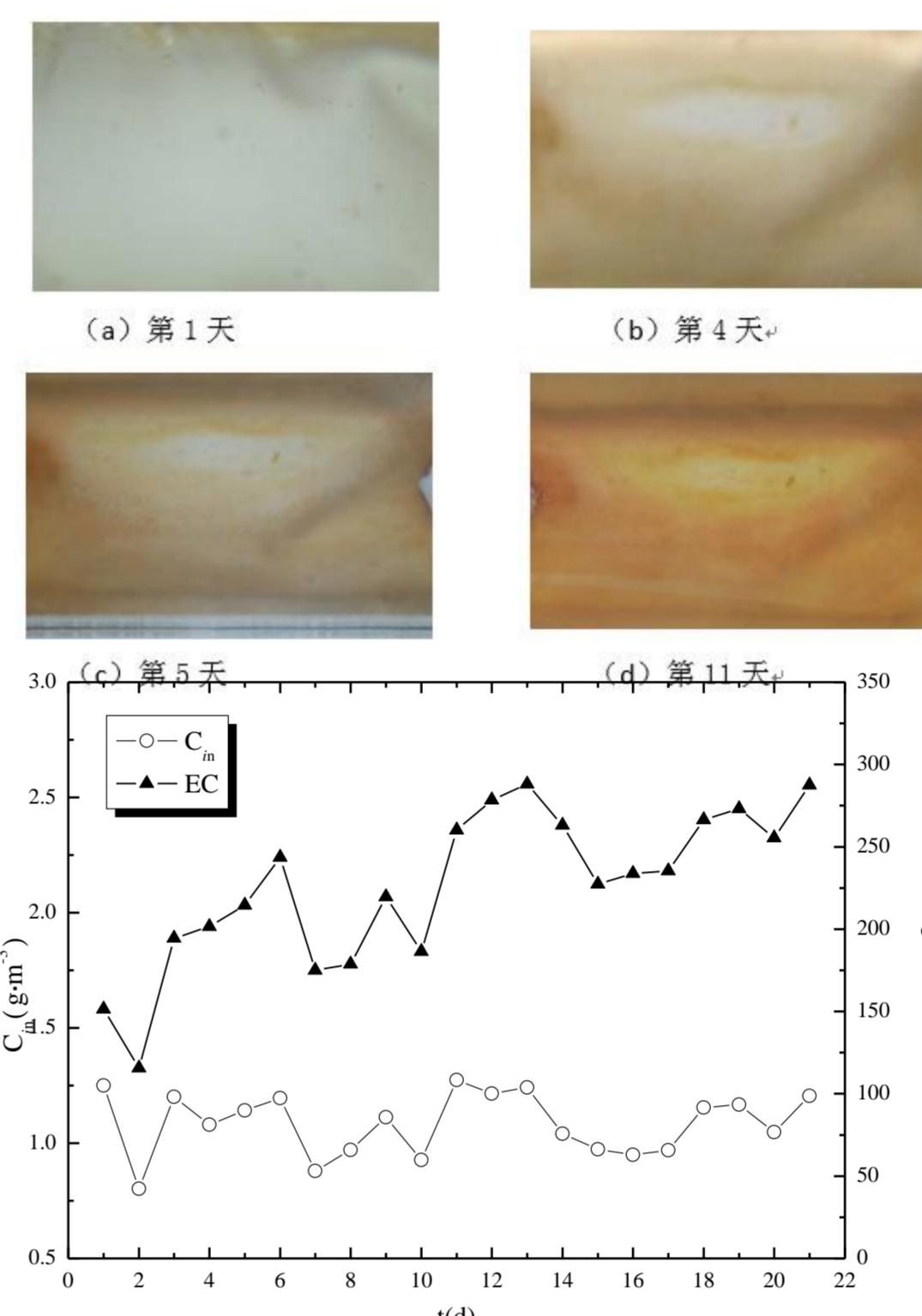


生物膜滴滤塔实物照



φ25 mm球形滴滤塔填料照片

菌种革兰氏染色照片



进口浓度与生化降解量随时间变化

#### 生物滴滤塔中试应用



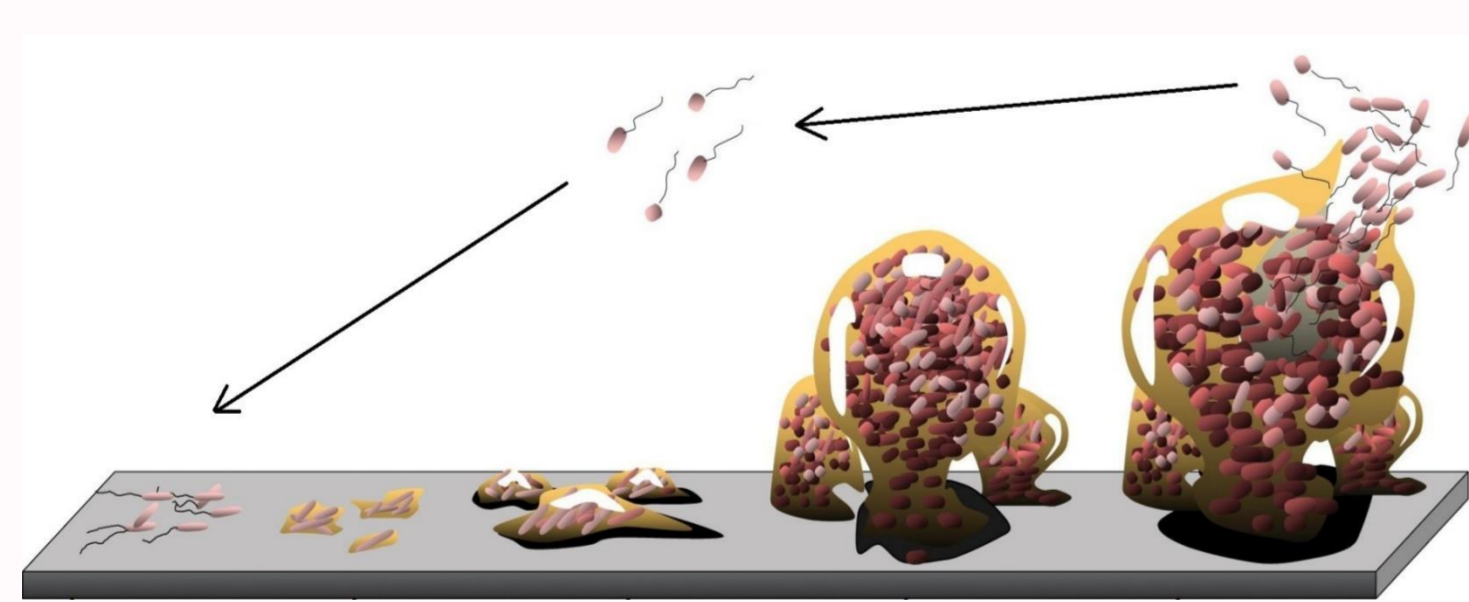
中试试验现场照片

### 2. 多相体系中细菌吸附成膜过程中吸附运动的模拟

#### 填料塔生物膜侧视图及正视图



#### 生物膜堆积形成过程示意图

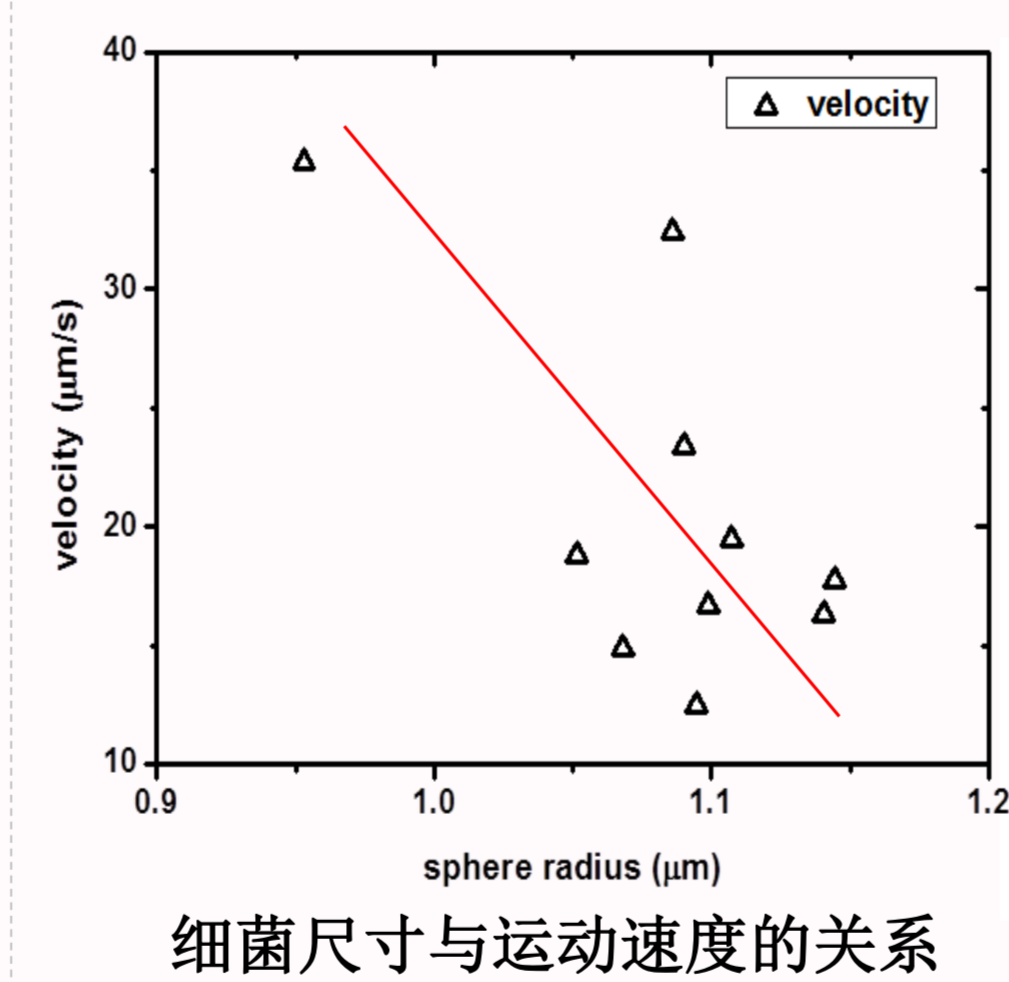


#### 多相体系中单个细菌运动轨迹的模拟

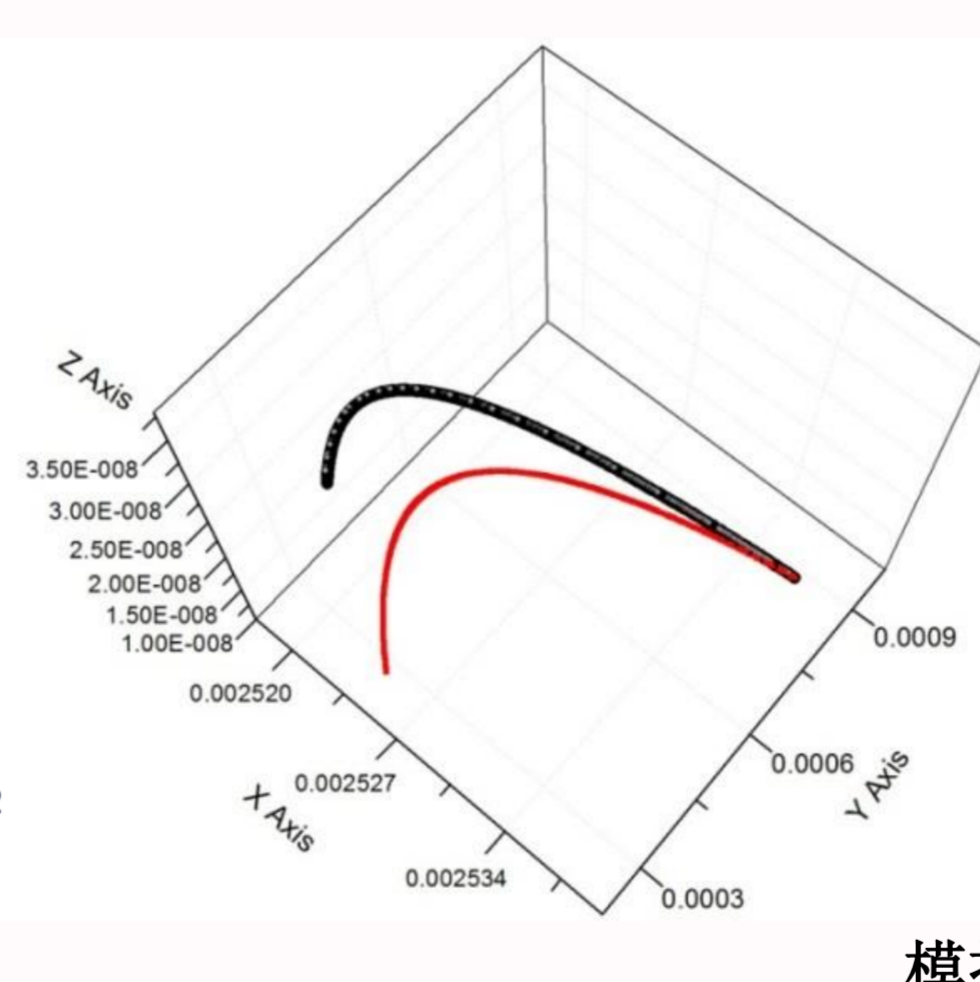


细菌的运动及简化示意图

细菌运动吸附及生物膜生长的程序模拟—计算区域的划分

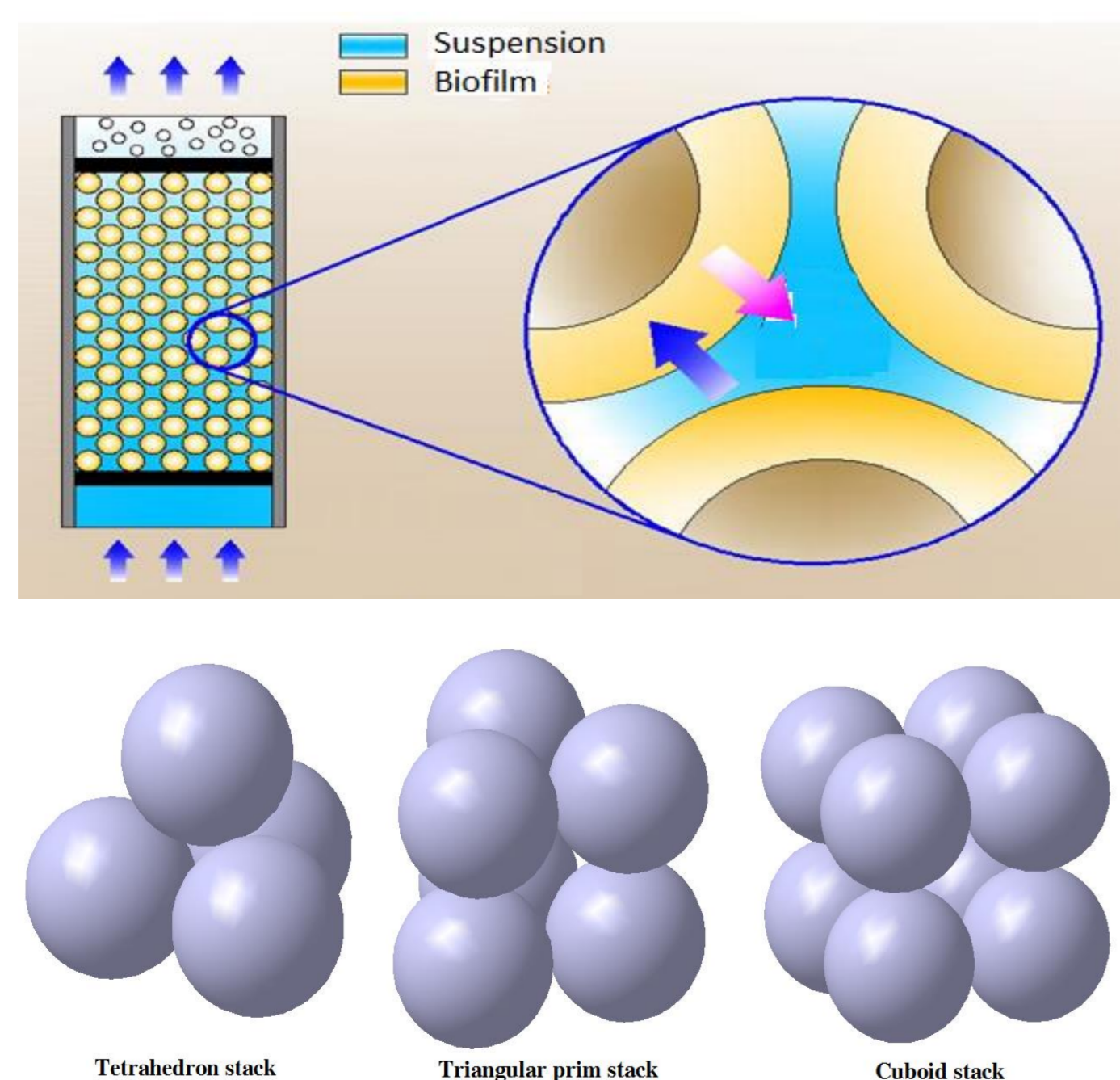


细菌尺寸与运动速度的关系

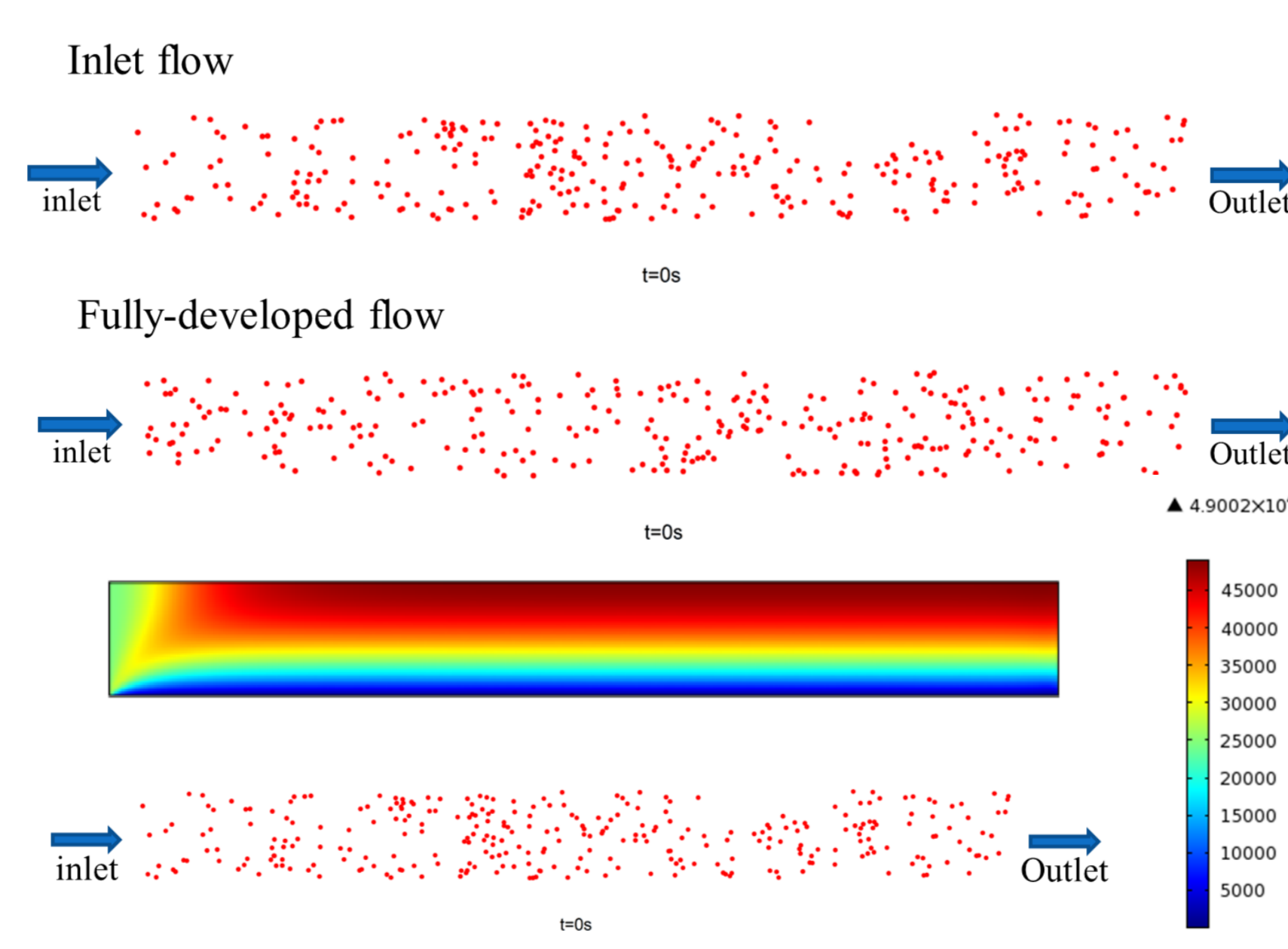


模拟得到的细菌运动轨迹图

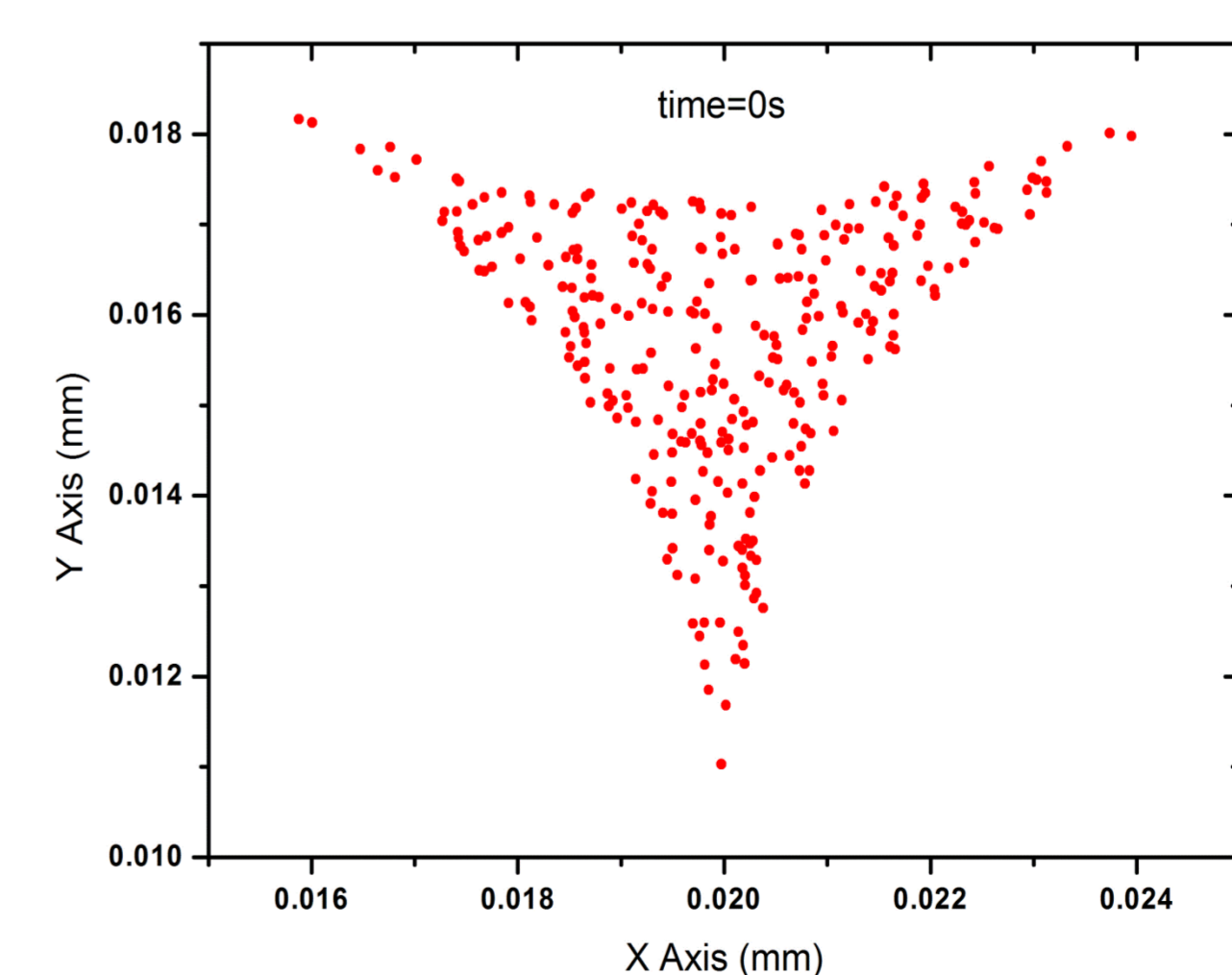
### 填充床中细菌运动吸附过程的模拟结果



填充床反应器中细菌的三种典型的堆积方式



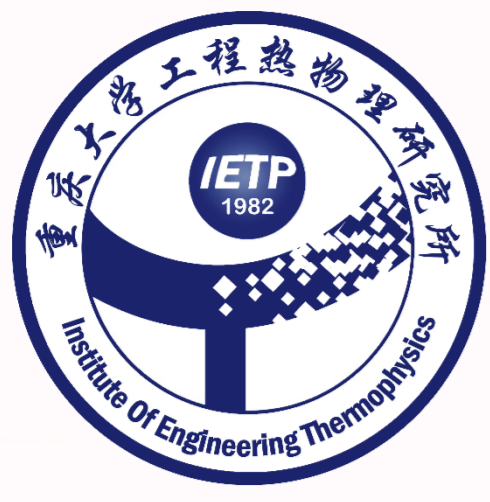
细菌的扩散比例和对流的佩克莱特数



二维空间中细菌分布的演化



Welcome to CQU



# 微生物光合制氢过程中能质传递及生化转化技术

## 一、微生物光合制氢简介

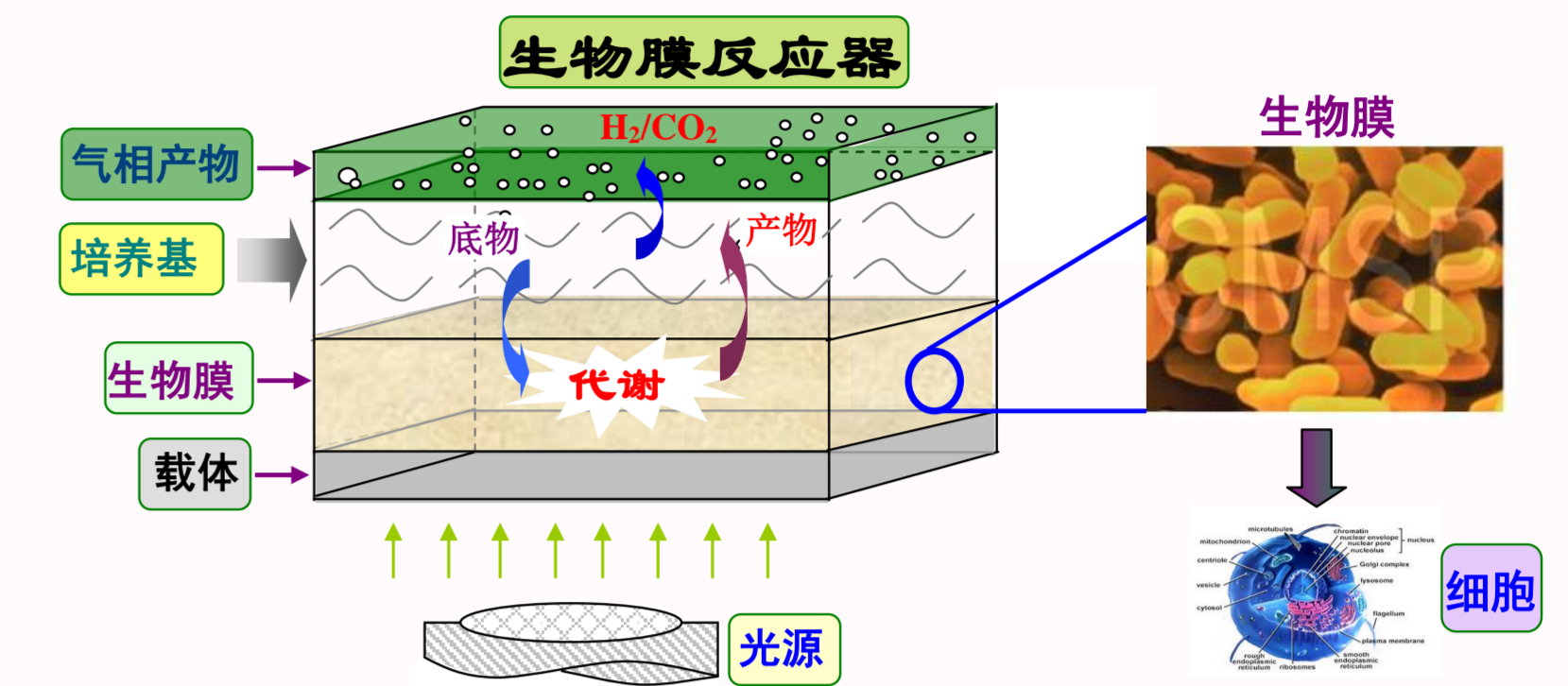
光合细菌是一类具有原始光能合成体系，以光作为能源，在好氧黑暗或厌氧光照条件下利用周围环境介质中的有机物、硫化物、氨等作为供氢体兼碳源进行光合作用的微生物。光合细菌制氢技术具有条件温和、环境友好以及能量投入低等优点，在国际上被普遍认为具有竞争力和广阔发展前景。



光合产氢细菌

## 二、光合细菌生物膜内的能质传递及生化转化

光合细菌生物制氢过程是集多相（气、液、固）、多层次（宏观层次、微观层次）、多过程（生化反应、能量传递、物质传递）于一体的复杂的耦合问题。课题组针对光合细菌生物制氢采取了实验和数值模拟相结合的对各因素对反应器产氢过程多相流动和物质传输进行研究，开发高效光纤生物膜反应器及基于光纤技术的生物膜在线测量及控制系统。

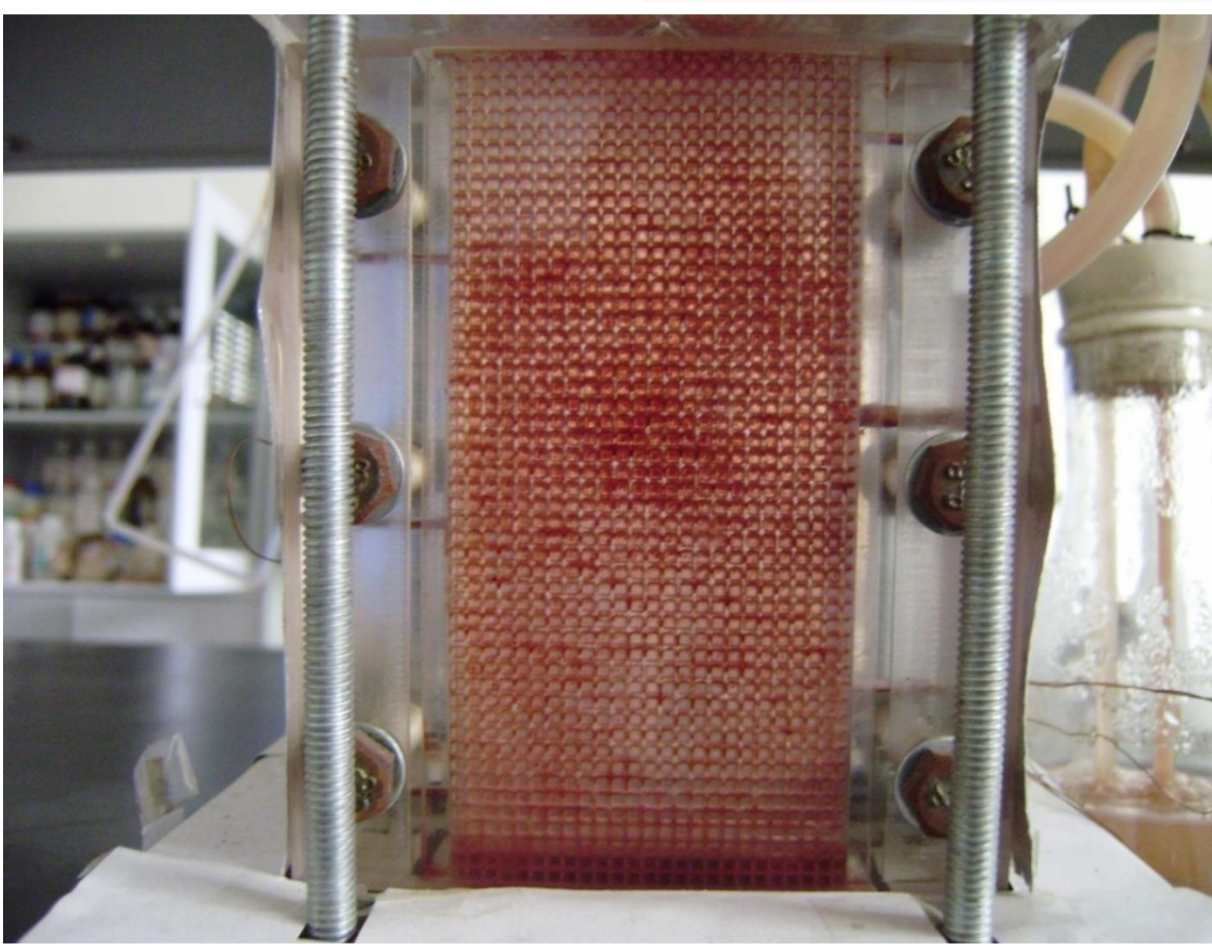


生物膜光生物反应器内能质传递过程

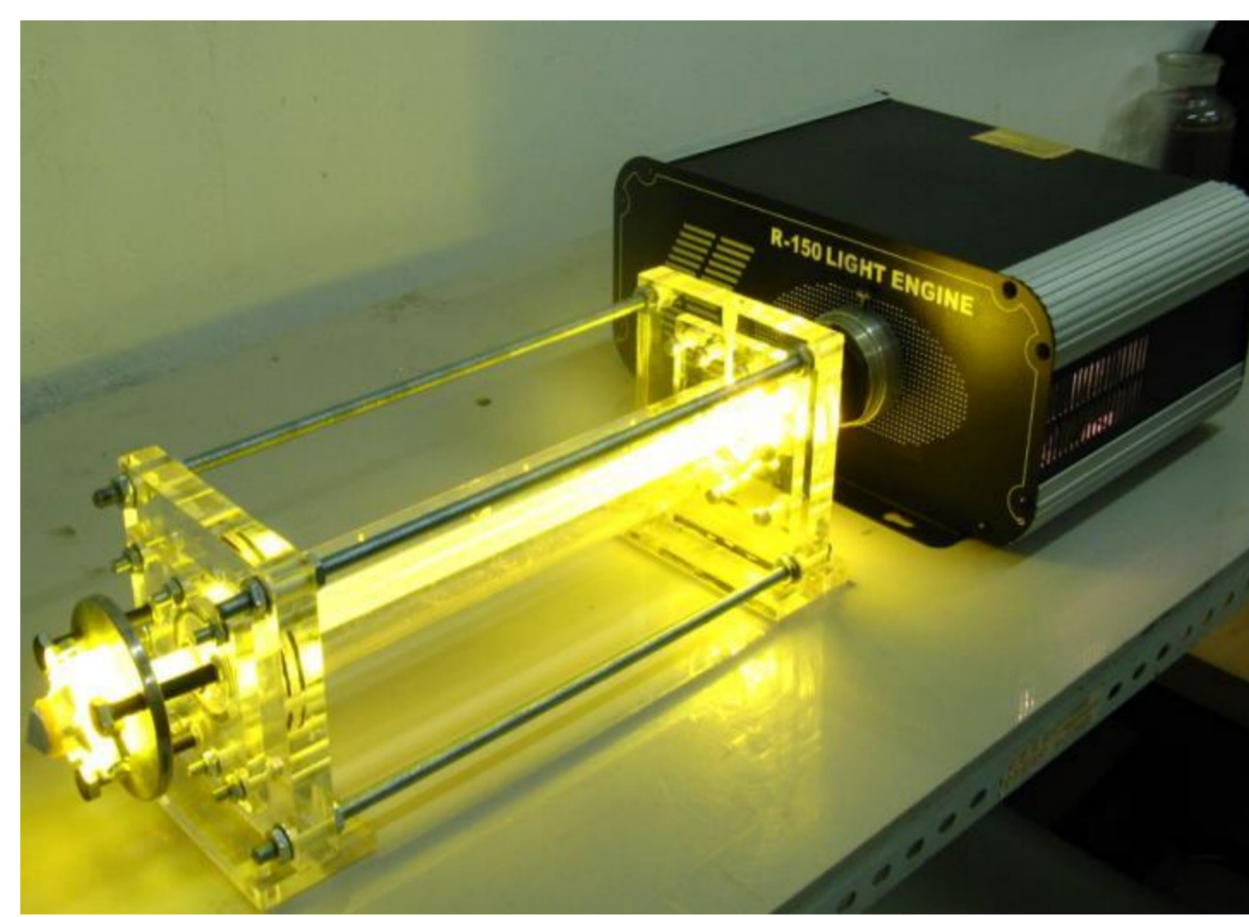
## 三、主要研究进展

### 1. 表面吸附光合细菌生物膜光生化制氢反应器及性能

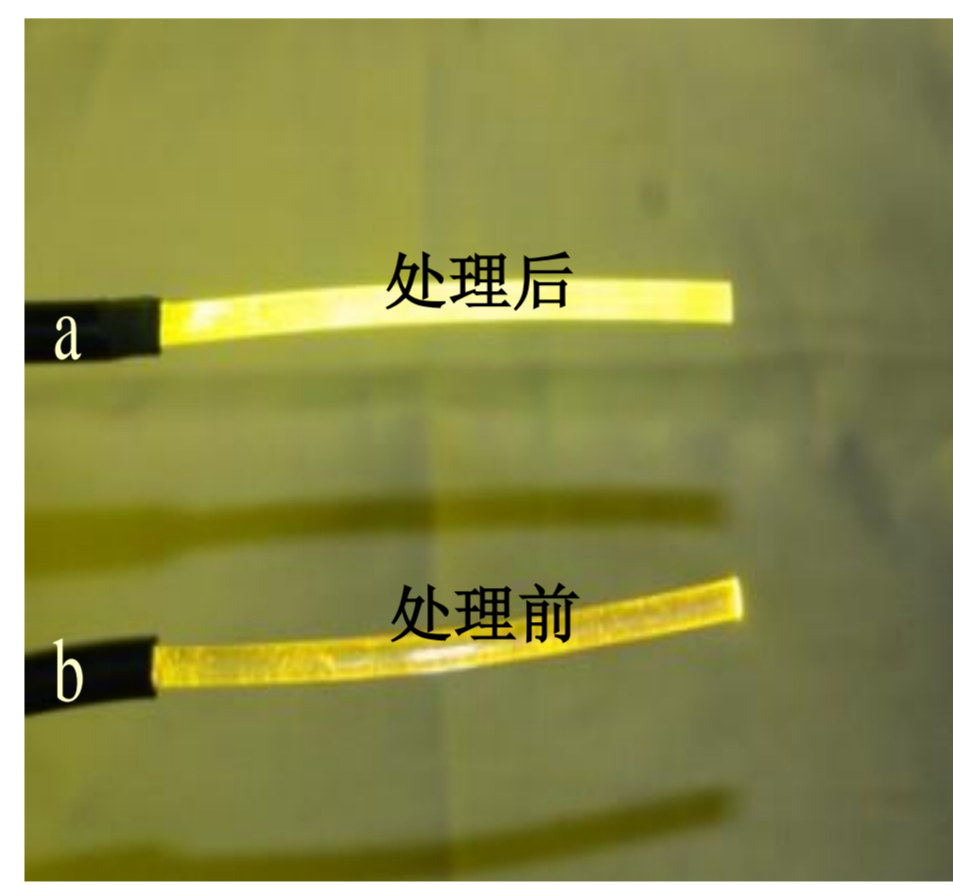
#### 微槽透光板式光生物膜反应器



微槽透光板式光生物制氢反应器挂膜结果

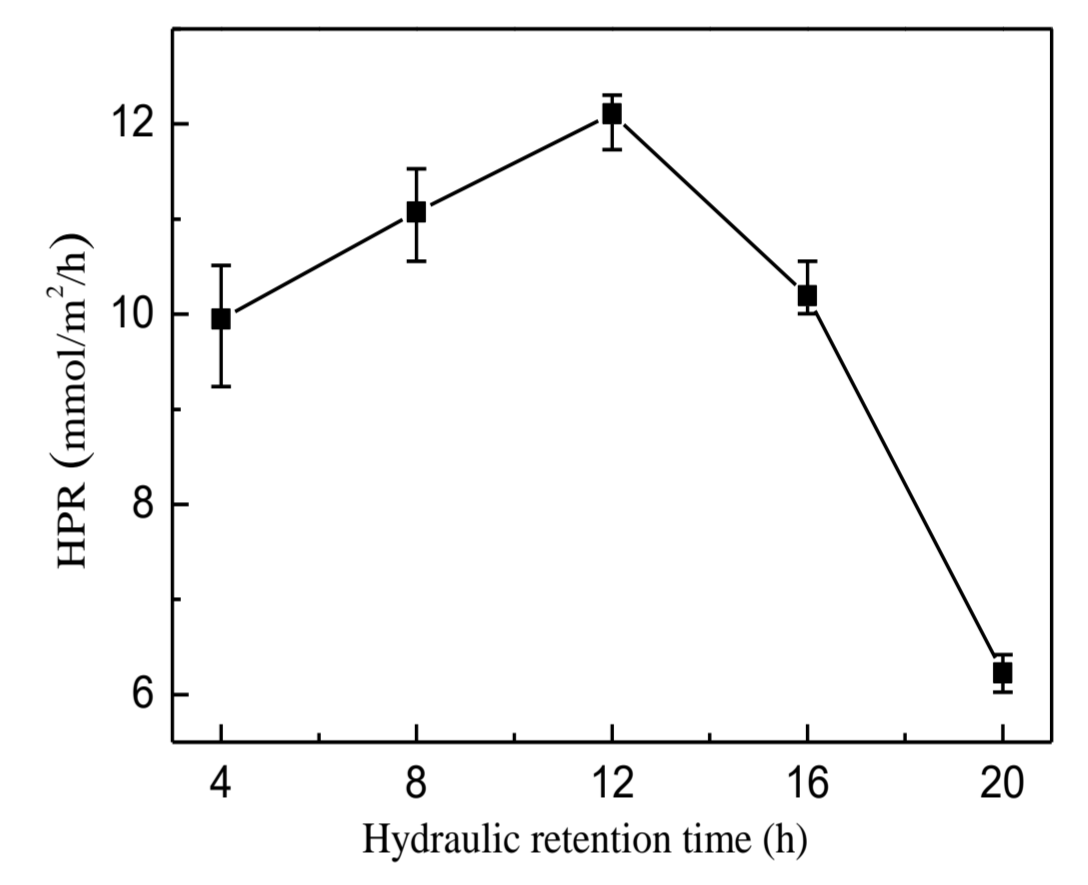
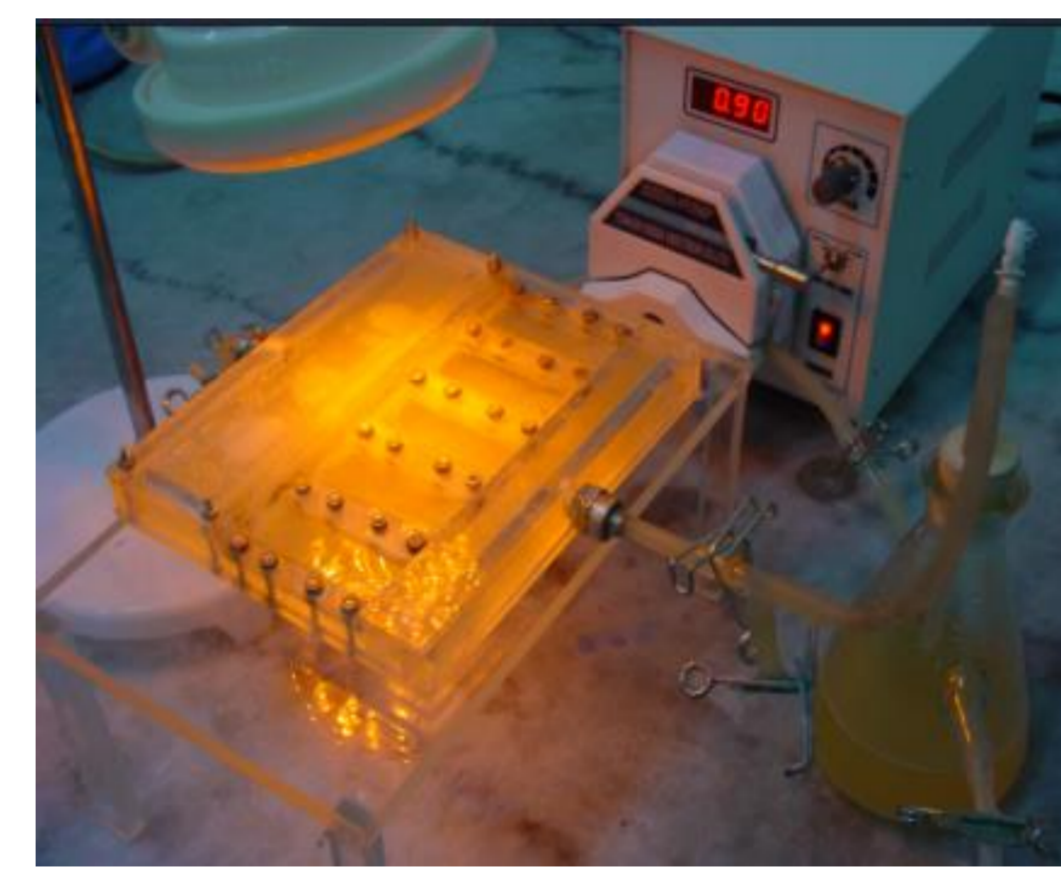


光纤生物制氢反应器实验装置



光纤发光效果对比图

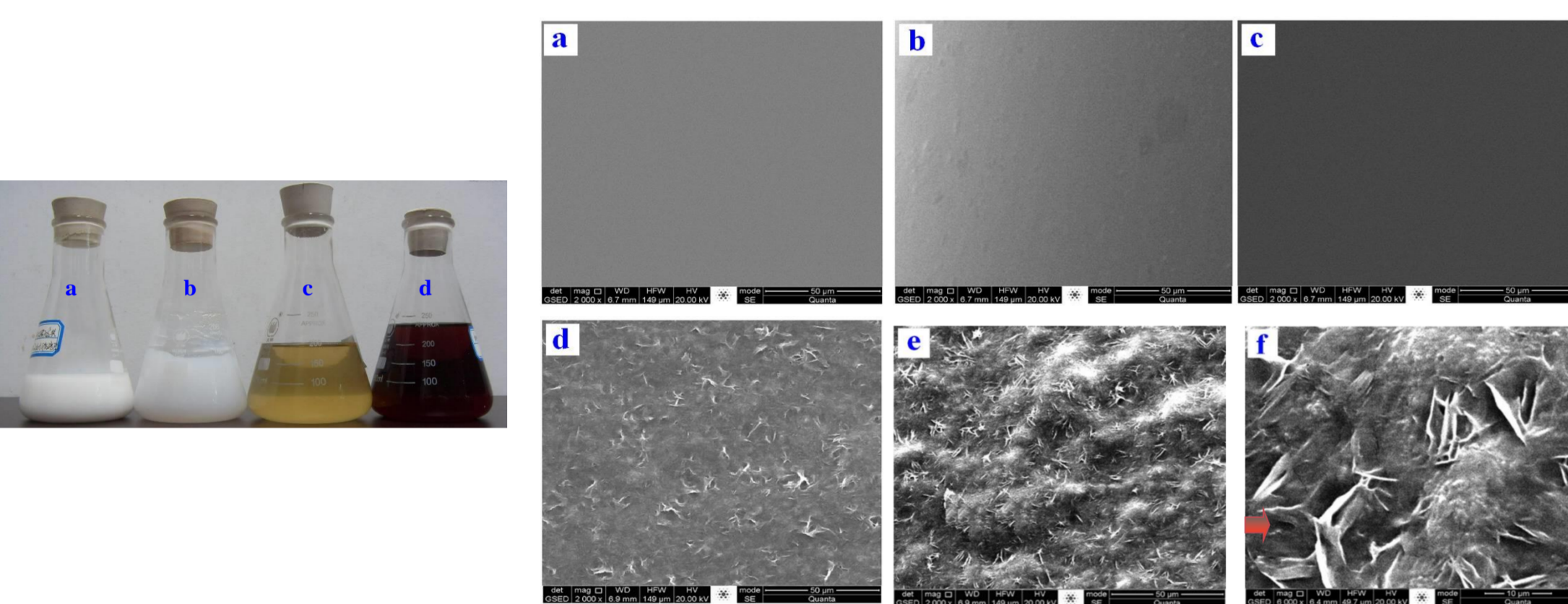
#### 弥散光纤束光合细菌生物膜反应器产氢特性



水力停留时间对产氢速率的影响

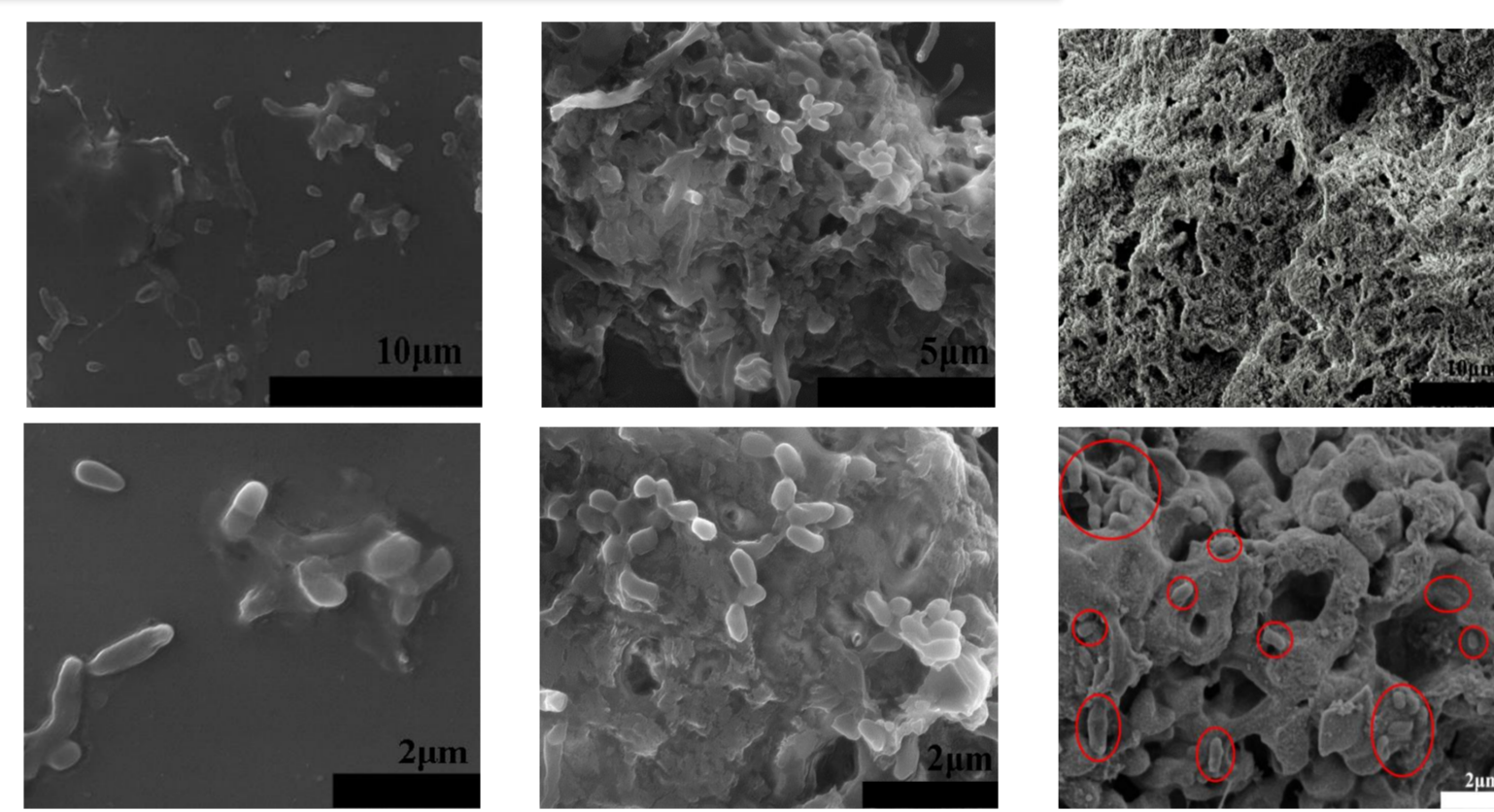
### 2. 生物膜载体表面改性

#### 光合细菌生物膜载体表面改性

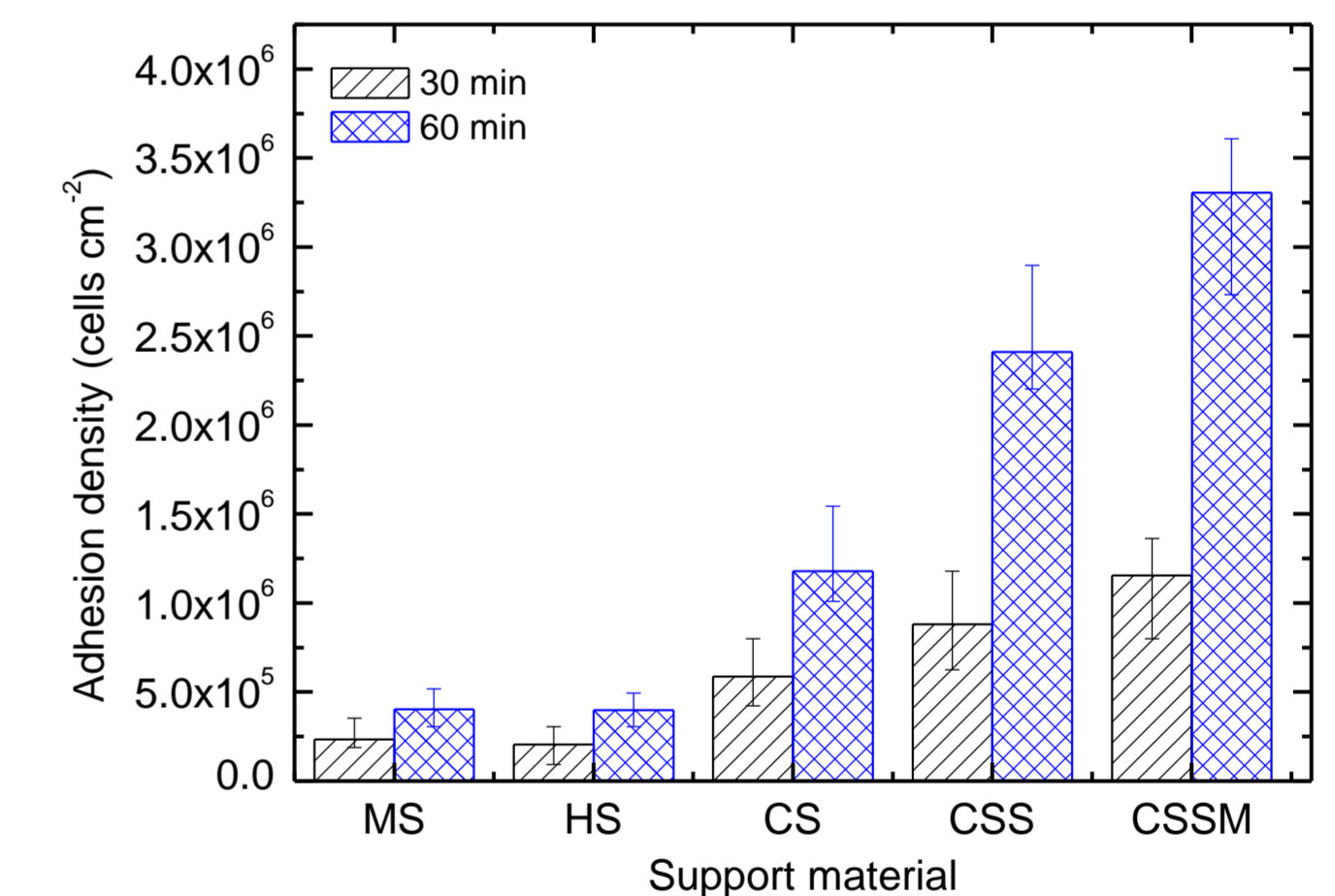


改性基质

改性载体表面环境扫描照片

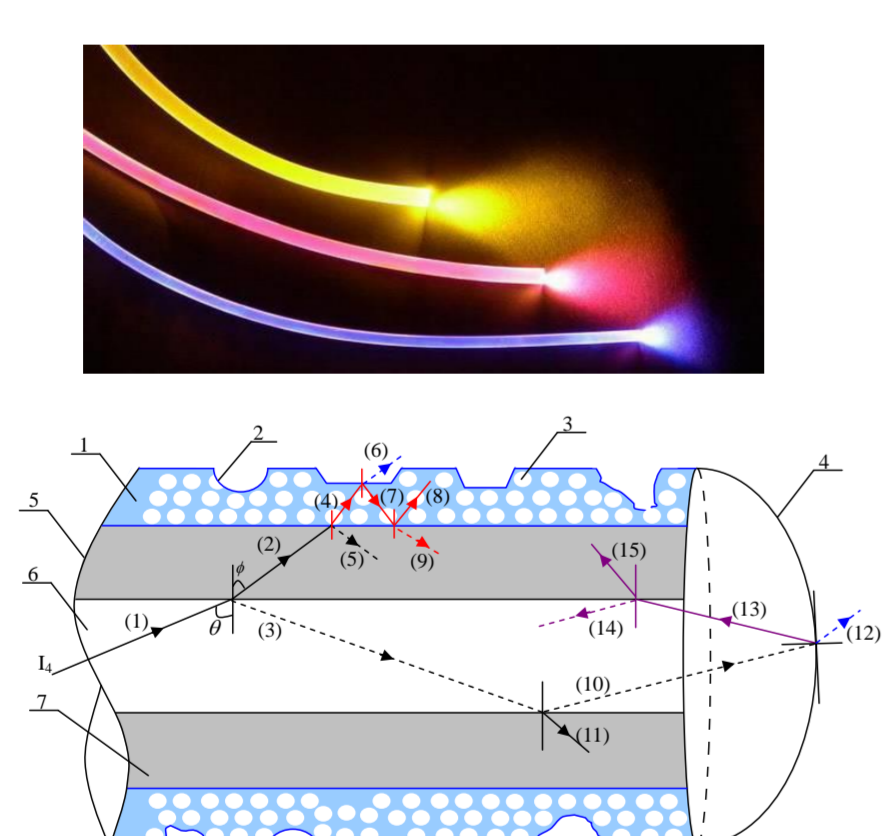


吸附微生物的生载体表面环境扫描照片

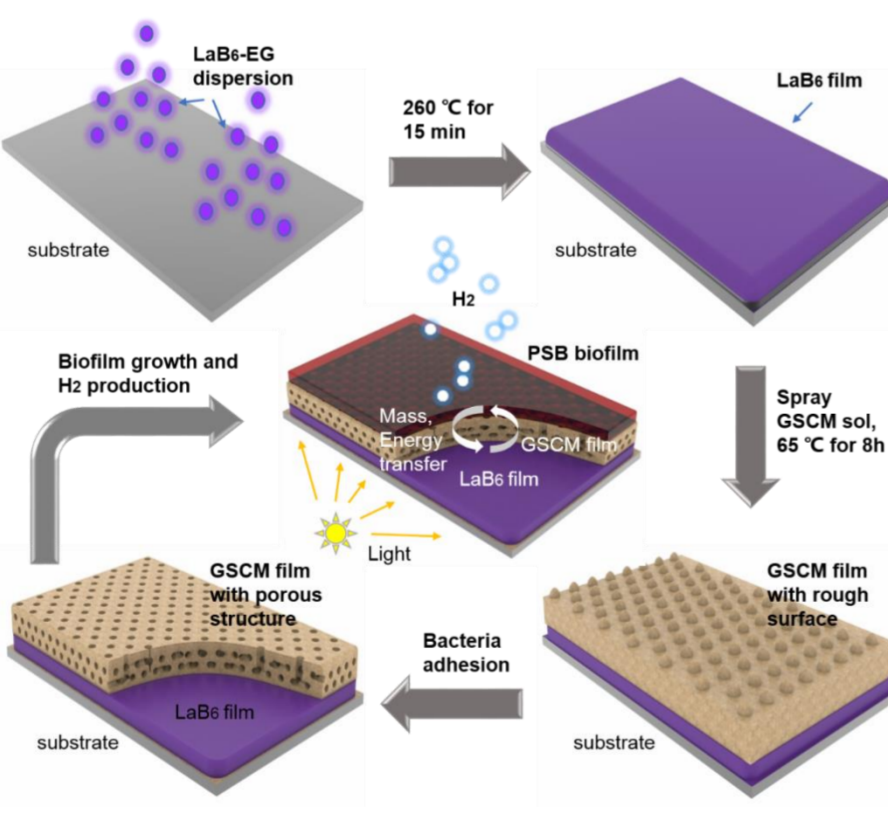


不同载体表面吸附的光合细菌

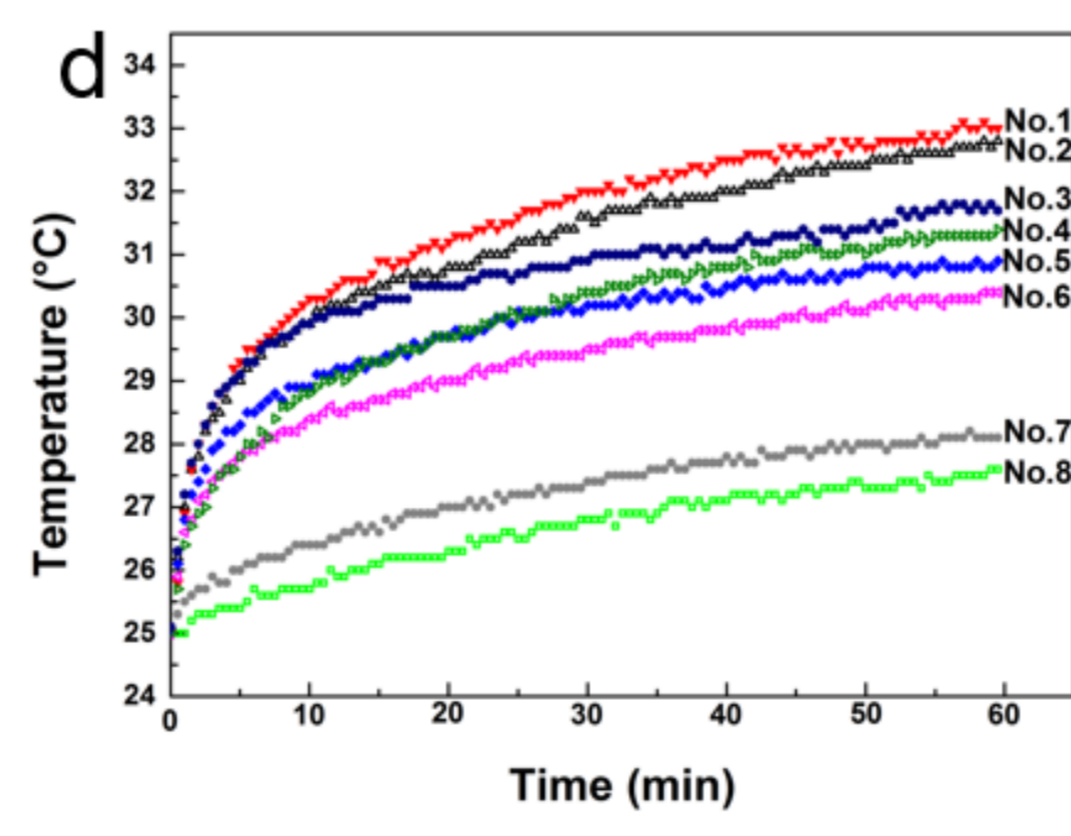
#### 调控细菌生物膜光、热转换及分布特性的生物材料



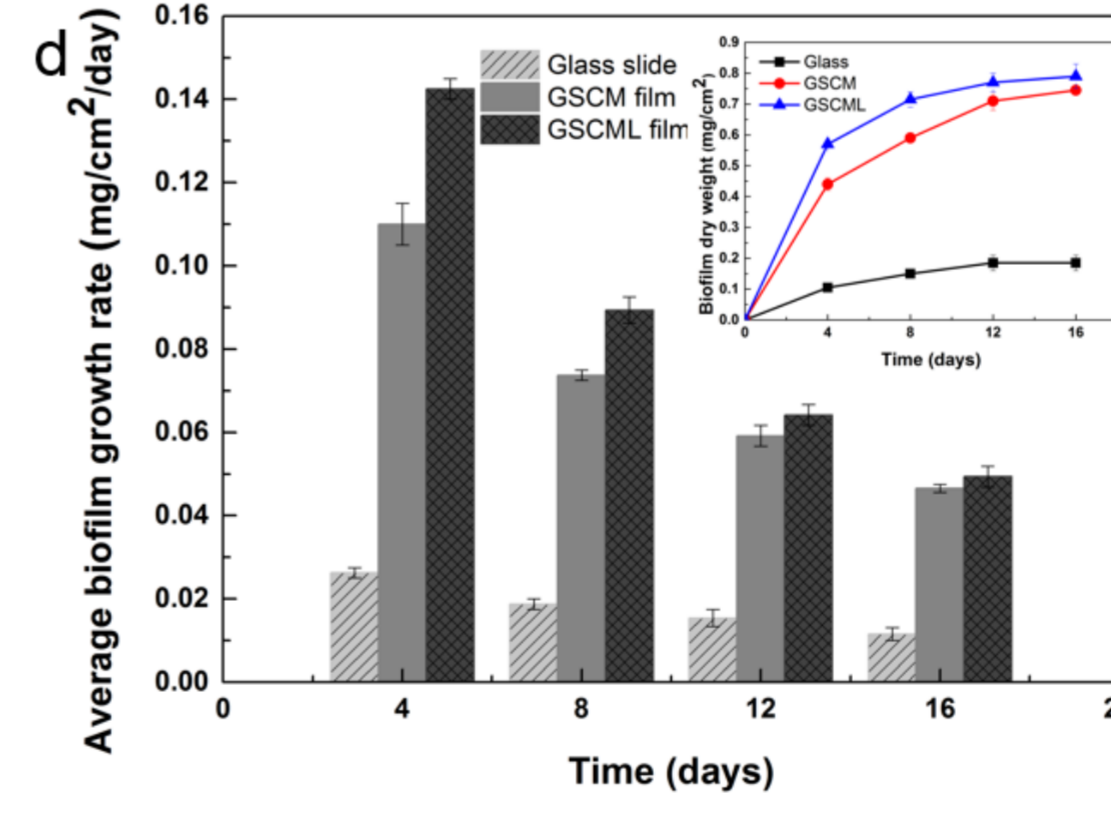
发光光纤表面



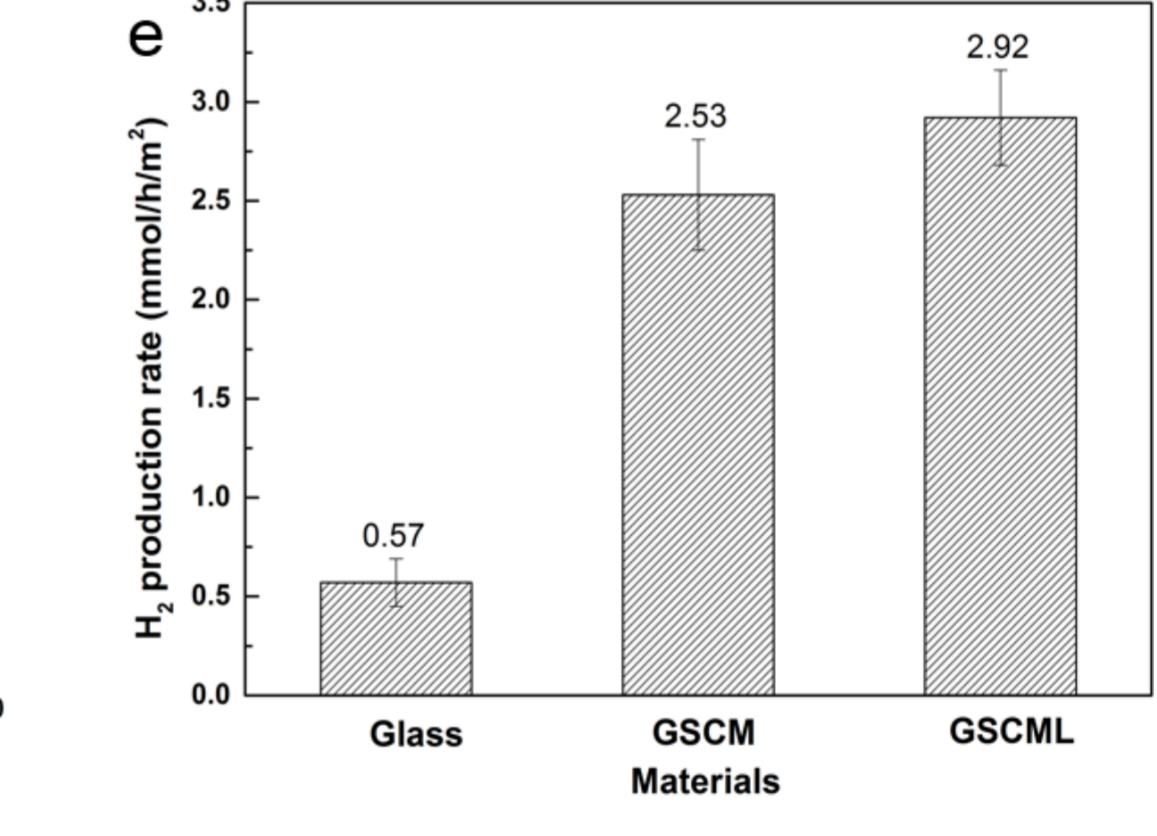
光致光热生物材料示意图



不同配比生物材料光热特性



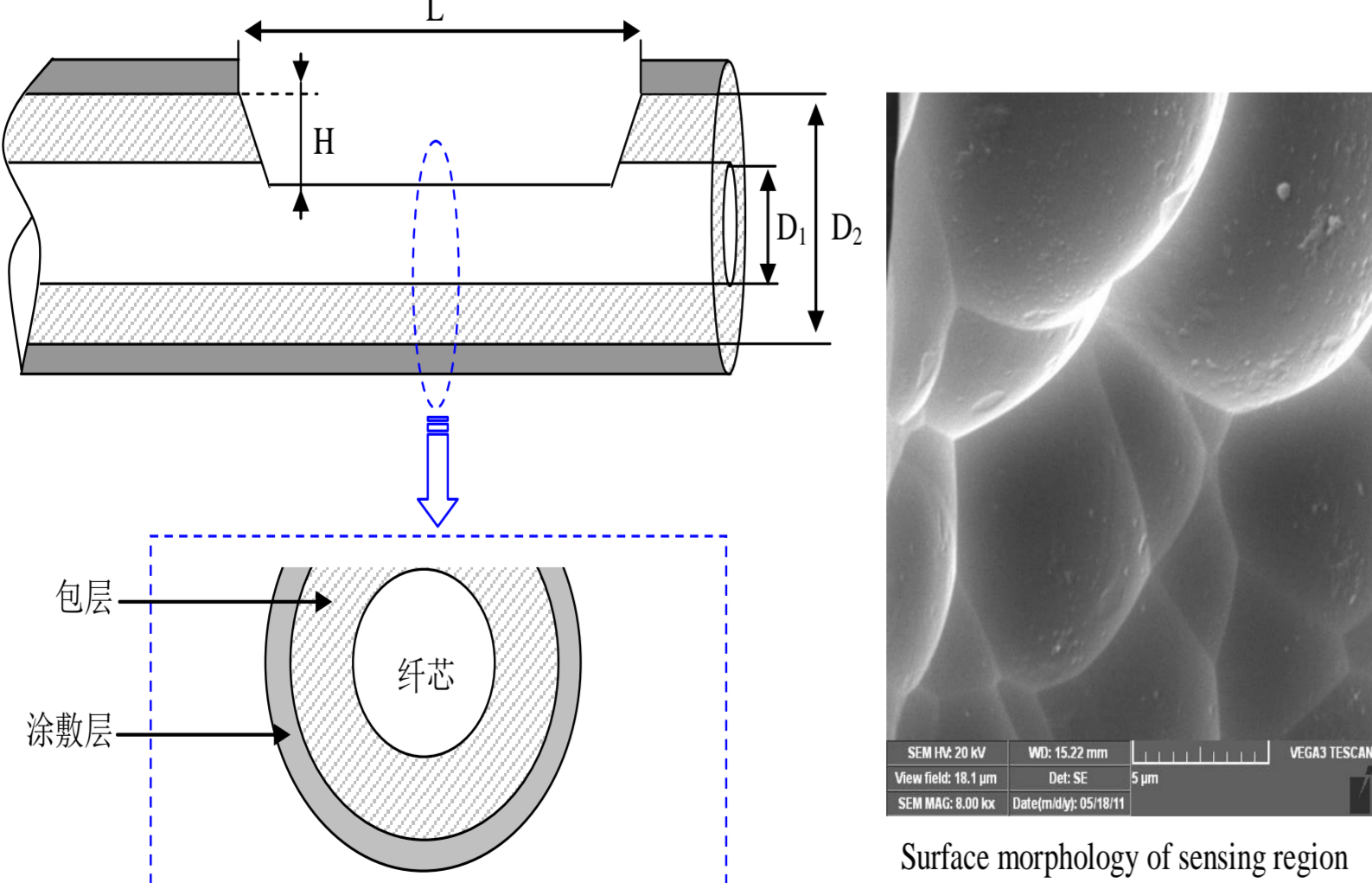
不同载体表面生物膜生长速率



不同载体表面生物膜产氢速率

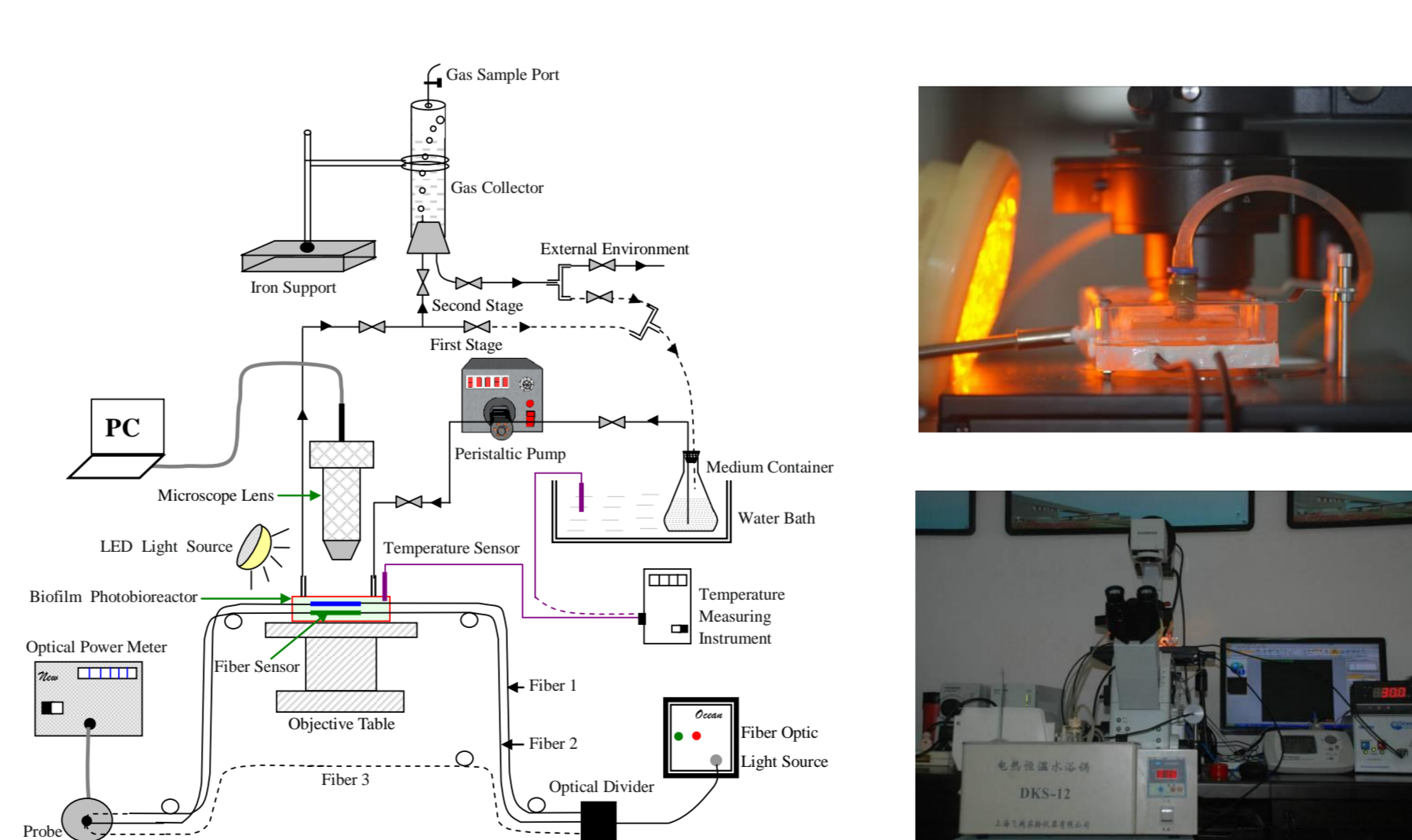
### 3. 生物膜光纤传感器研究

#### 光纤在线传感器构建

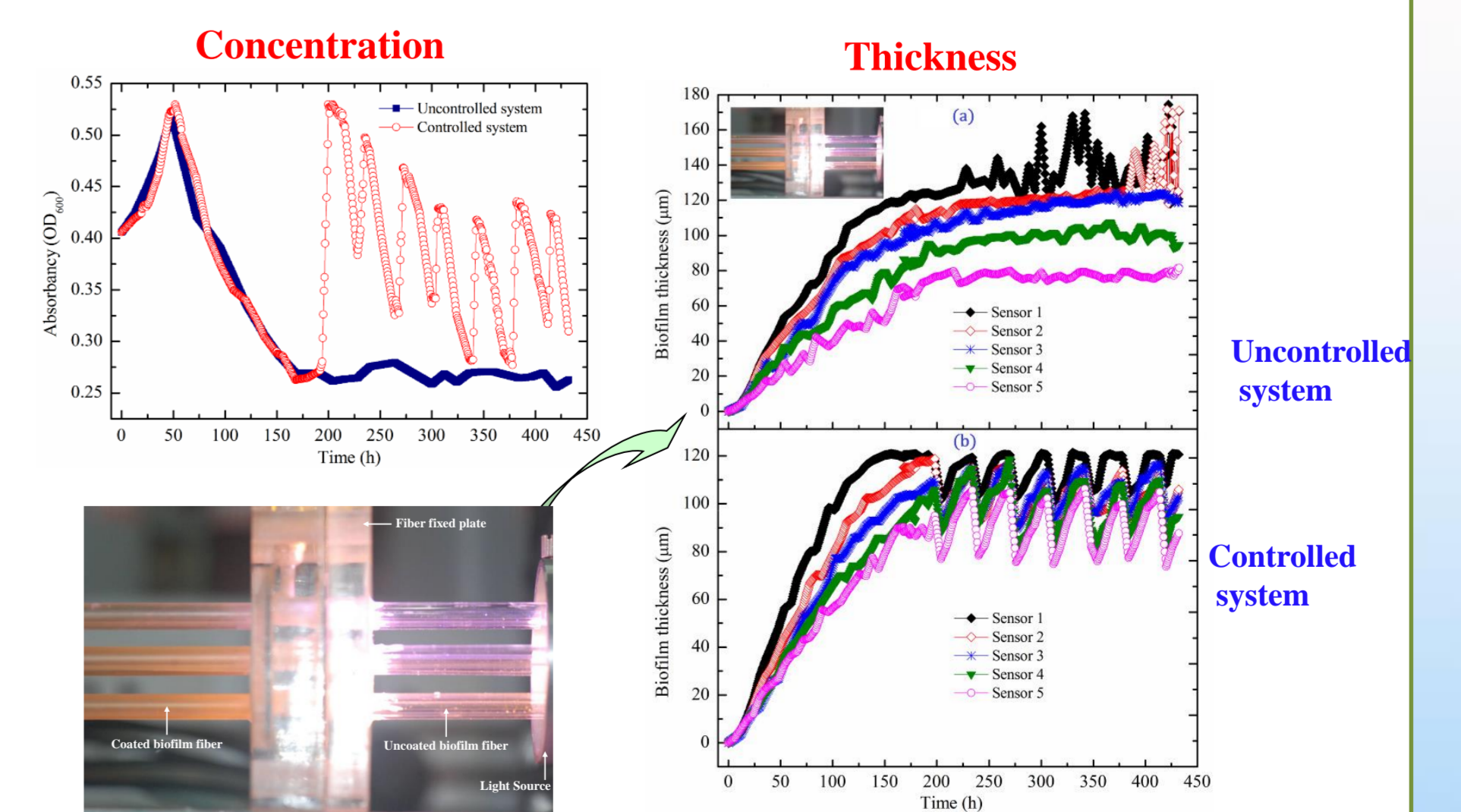


Surface morphology of sensing region

#### 生物膜在线测量传感器及测量反馈调节系统



#### 光纤在线测量控制效果



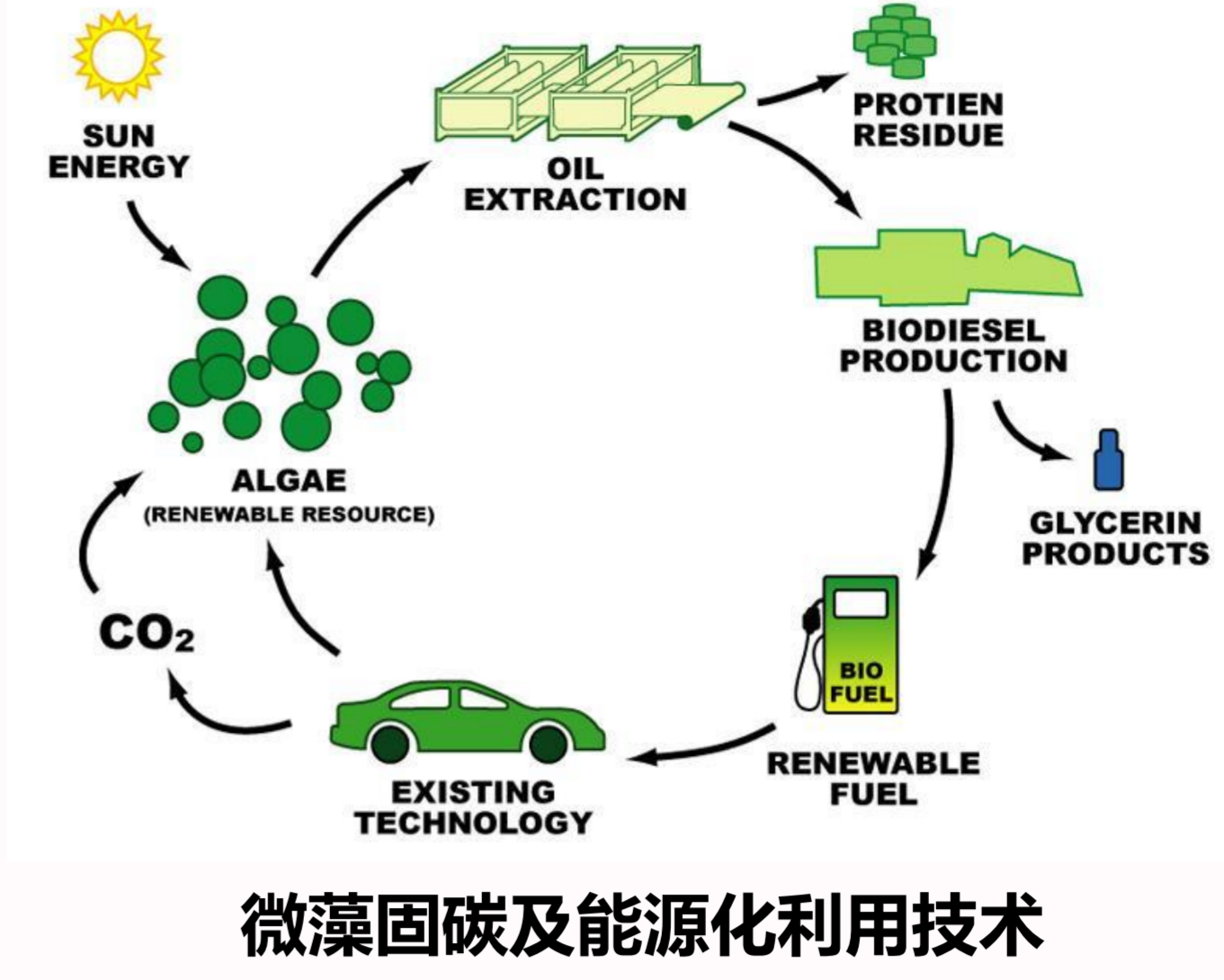
Welcome to CQU



# 微藻减排CO<sub>2</sub>光生物反应器内界面现象及能质传递强化

## 一、微藻光合固碳及能源化利用简介

微藻可进行光合作用，在太阳光能的驱动下将CO<sub>2</sub>和光能转化为含化学能的碳水化合物，并释放出氧气。微藻具有高油脂含量、高生长速率以及高CO<sub>2</sub>固定率的优点，是新型生物柴油原料油来源之一，代表着未来生物柴油发展的趋势。与其他减排技术相比，微藻技术具有固定CO<sub>2</sub>、降解废水、并能实现能源化再利用的突出优势，微藻固定CO<sub>2</sub>和能源化利用技术具有广阔的应用前景。



## 二、微藻光生物反应器内多相流动及能质传递特性

本课题组针对微藻生物能源转化领域光生化反应系统中典型的多相流动与传递问题，从认识多相光生化转化过程中的界面行为和能质传递机理及规律着手，系统地研究了微藻细胞在含CO<sub>2</sub>气液相界面的微观行为、吸附有微藻的两相界面CO<sub>2</sub>传递机理及传递行为，基于气液流动及界面传递行为、光能传递特性、微藻生长对营养物质消耗速率，建立了微藻游离细胞悬浮液光生物反应器多相阶段传递强化机理及方法，为微藻光生化转化高效反应器的应用及发展奠定了基础。

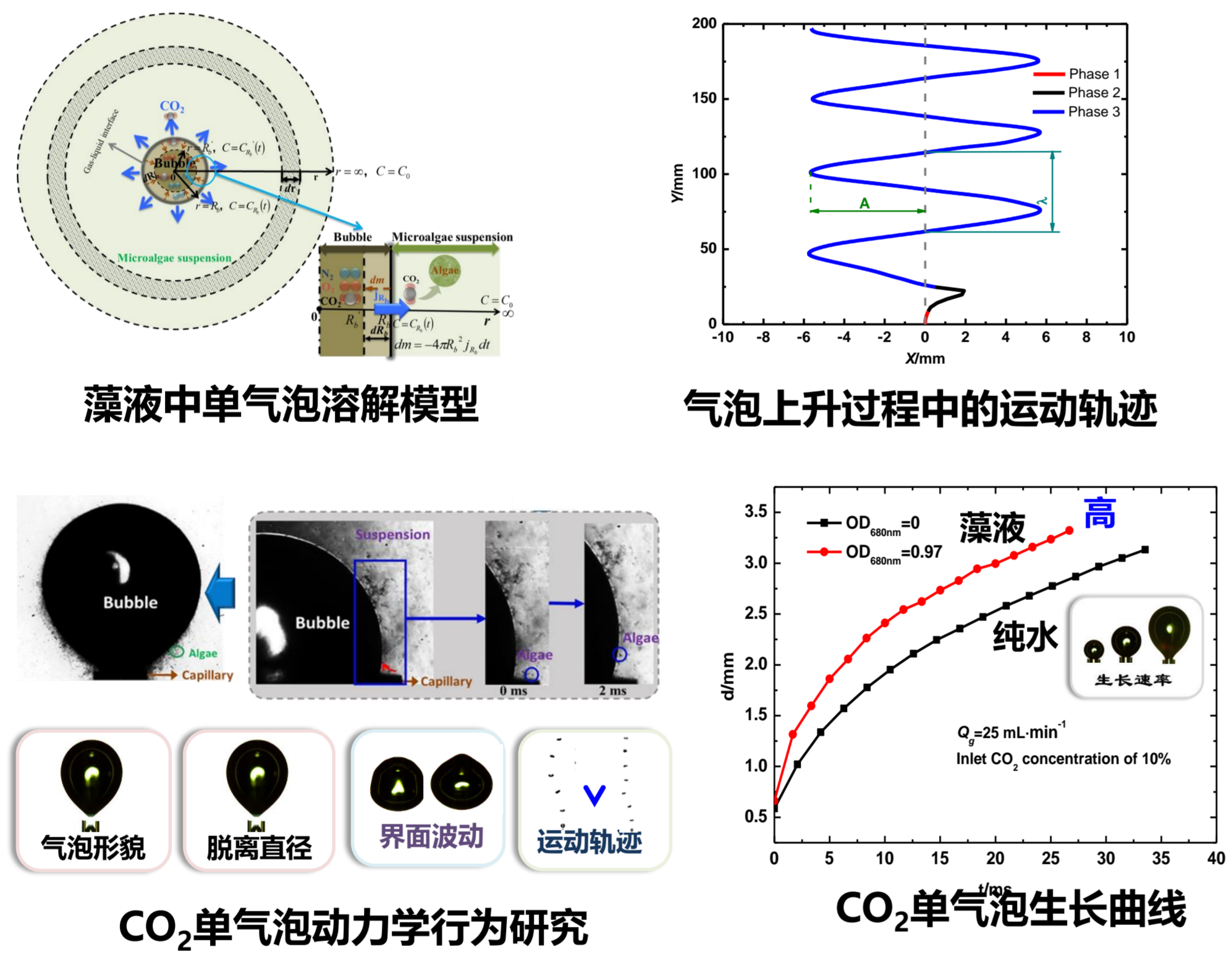


多元多相流体流动与微藻生长代谢的耦合作用及能质传递问题

## 三、主要研究进展

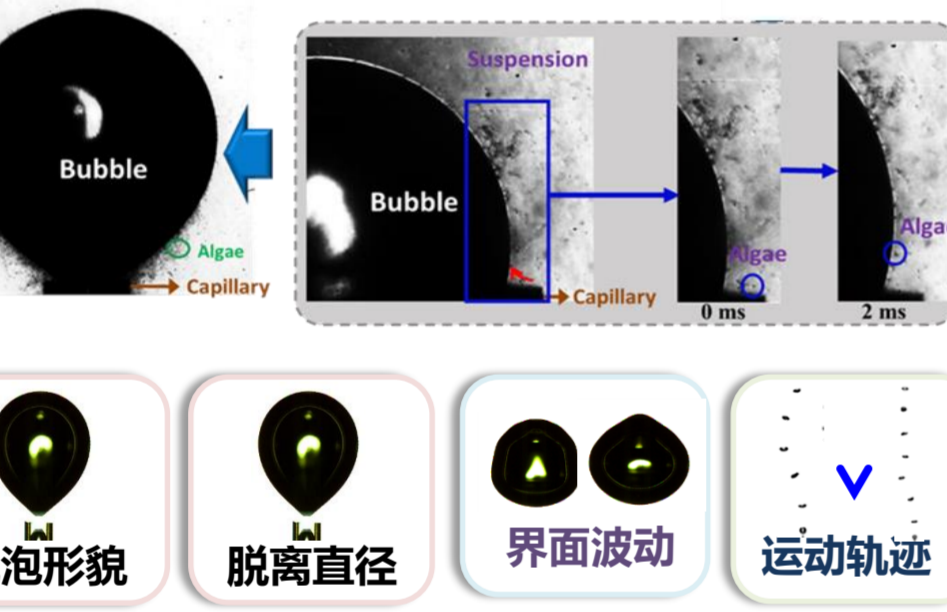
### 1. 微藻生化反应系统中的界面现象及CO<sub>2</sub>传递强化

#### 微藻悬浮液中含CO<sub>2</sub>静止单气泡的溶解传输特性及动力学行为



藻液中单气泡溶解模型

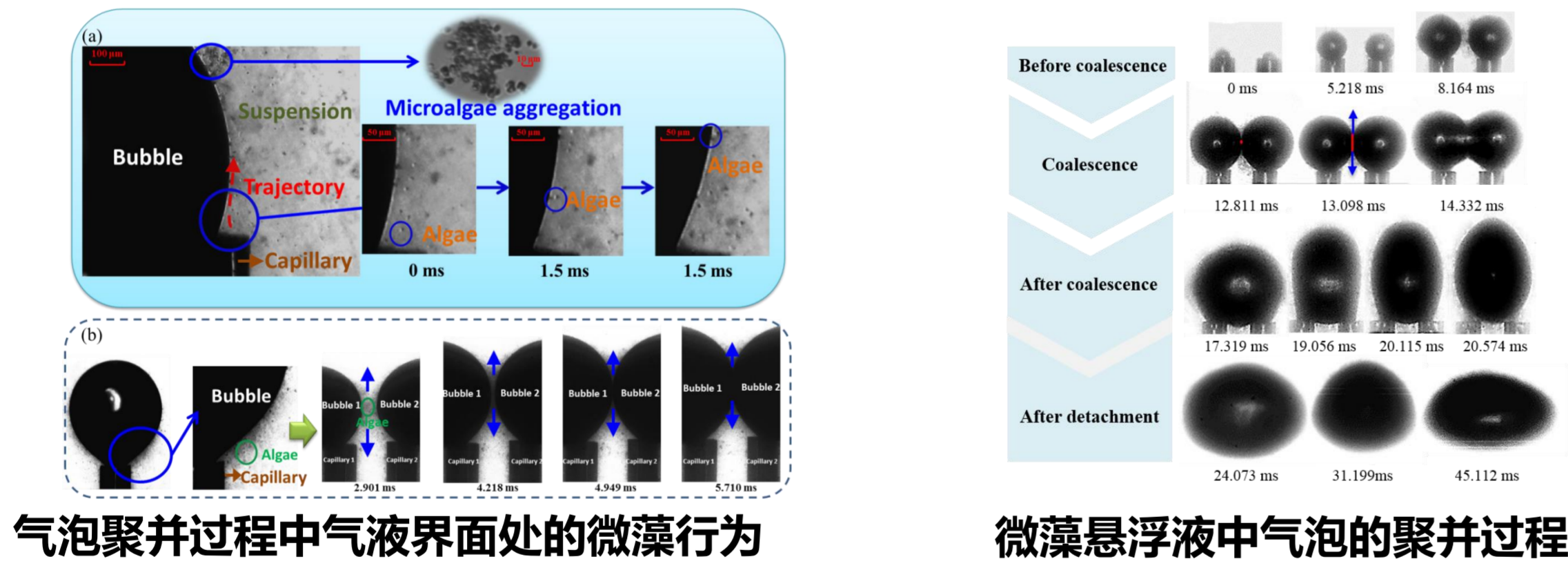
气泡上升过程中的运动轨迹



CO<sub>2</sub>单气泡动力学行为研究

CO<sub>2</sub>单气泡生长曲线

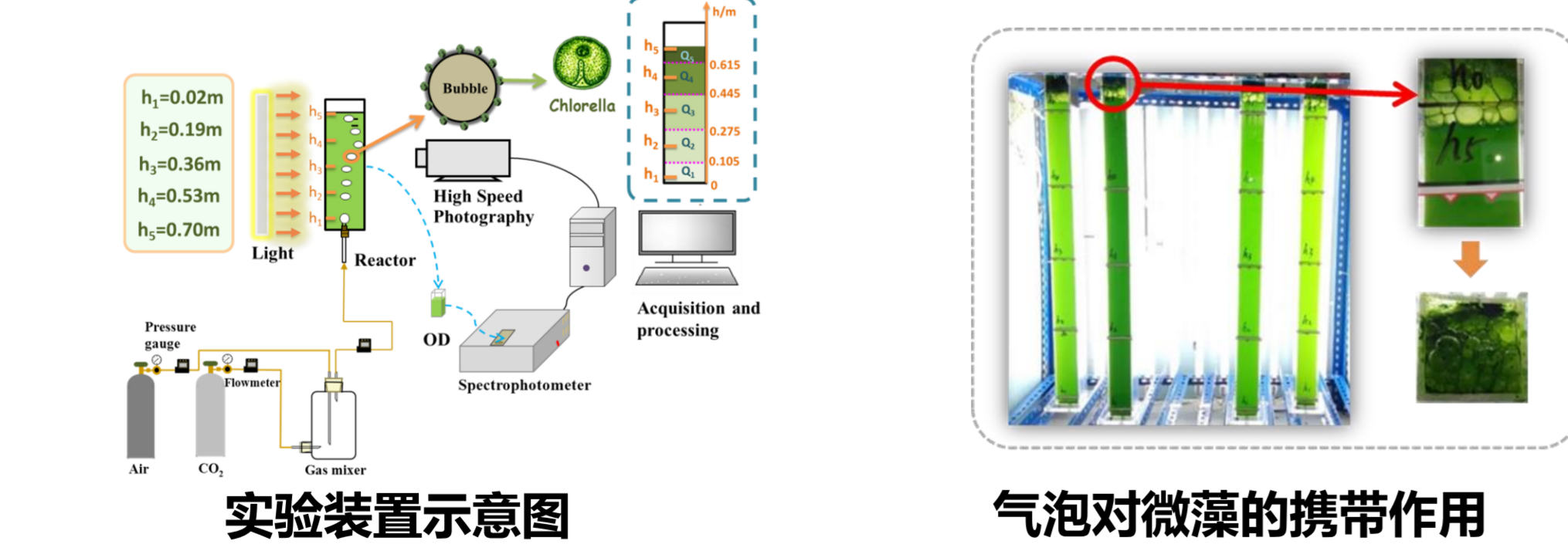
#### 微藻悬浮液中两个CO<sub>2</sub>气泡聚并的动力学行为特性研究



气泡聚并过程中气液界面处的微藻行为

微藻悬浮液中气泡的聚并过程

#### 气泡动力学行为对微藻生长及分布特性的影响

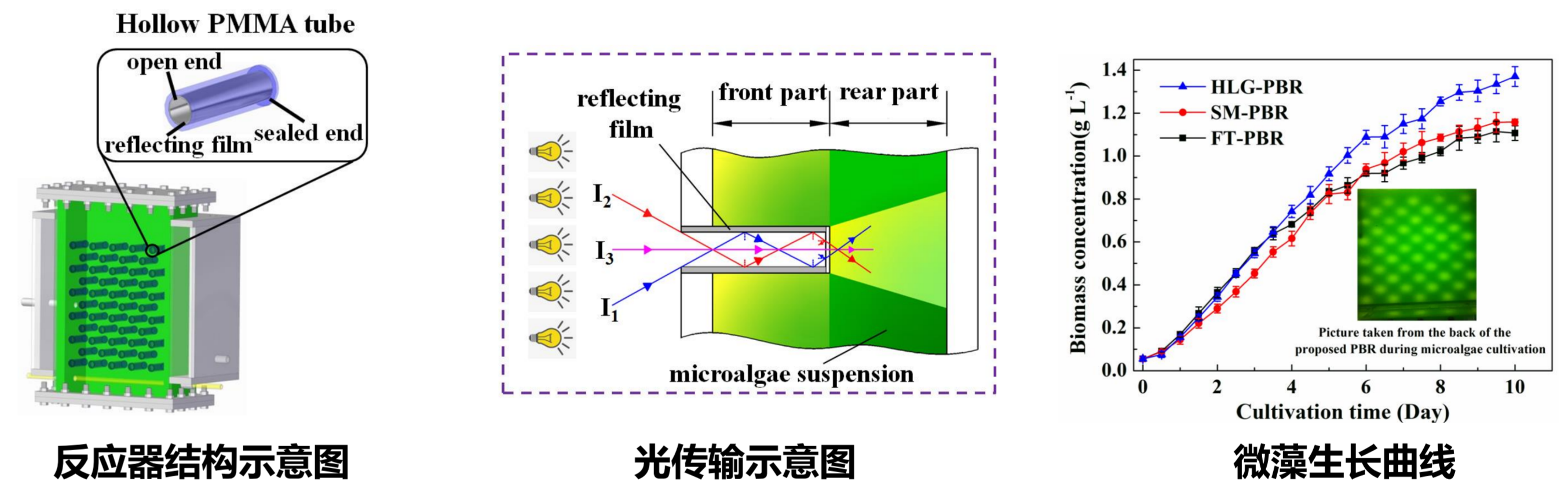


实验装置示意图

气泡对微藻的携带作用

### 2. 微藻生化反应系统中光传递强化

#### 空心导光管式微藻光生物反应器

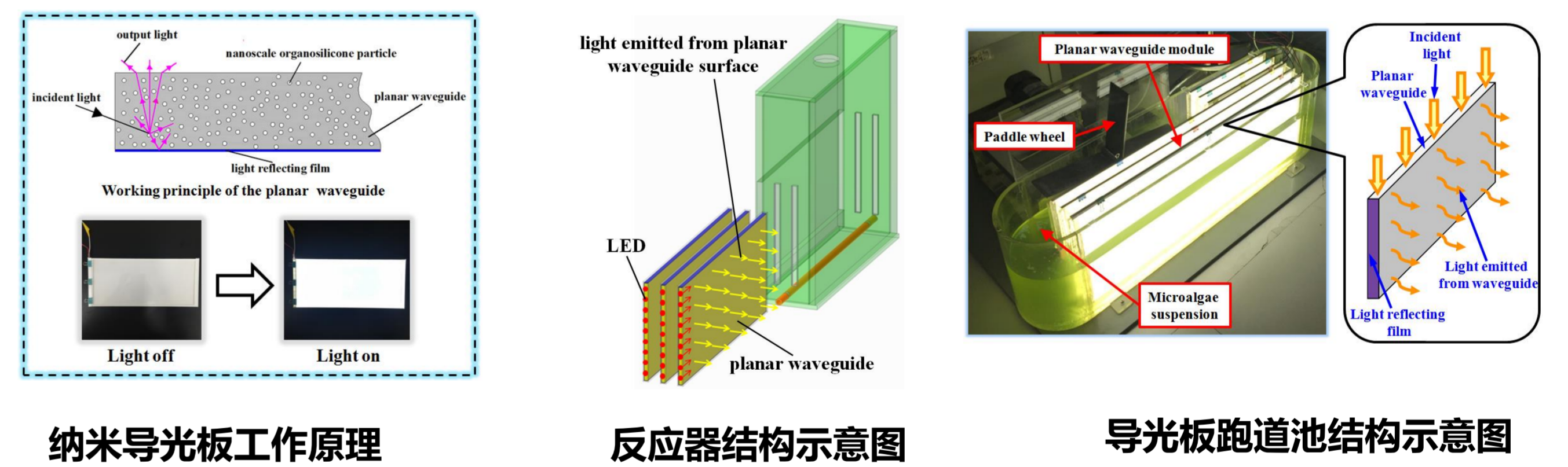


反应器结构示意图

光传输示意图

微藻生长曲线

#### 纳米导光板微藻光生物反应器

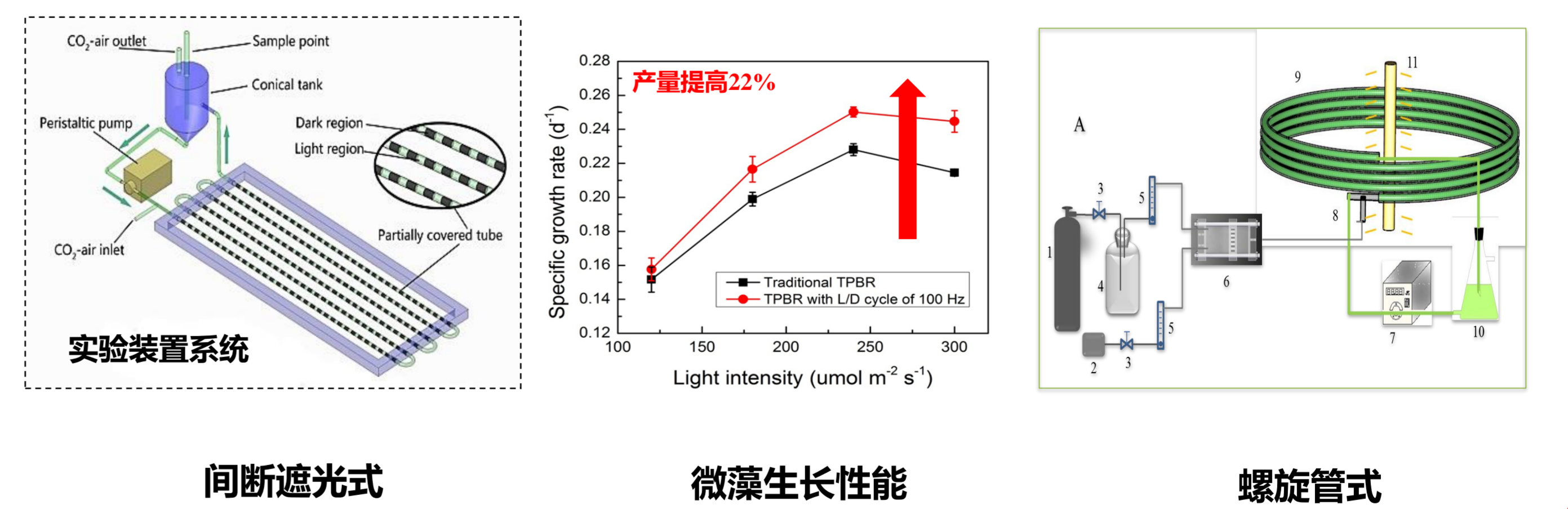


纳米导光板工作原理

反应器结构示意图

导光板跑道池结构示意图

#### 新型流动致闪光效应管式反应器



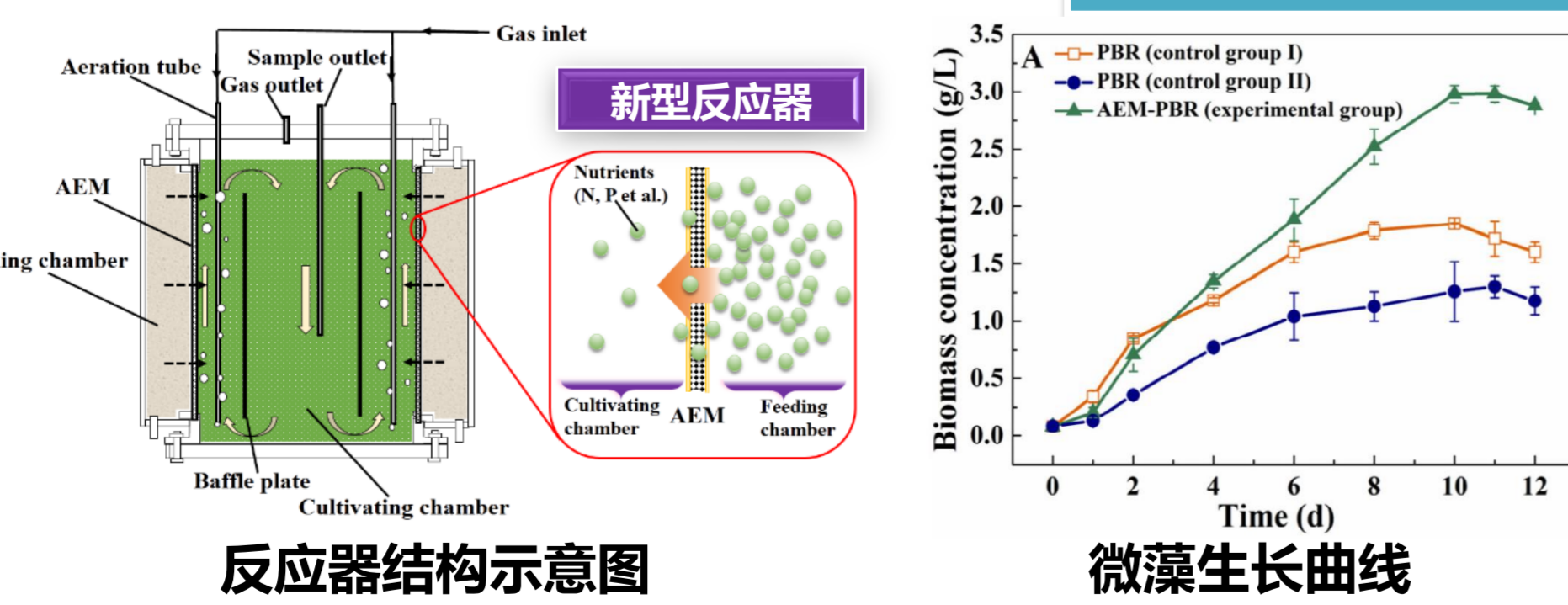
间断遮光式

微藻生长性能

螺旋管式

### 3. 微藻生化反应系统中营养物质传递强化

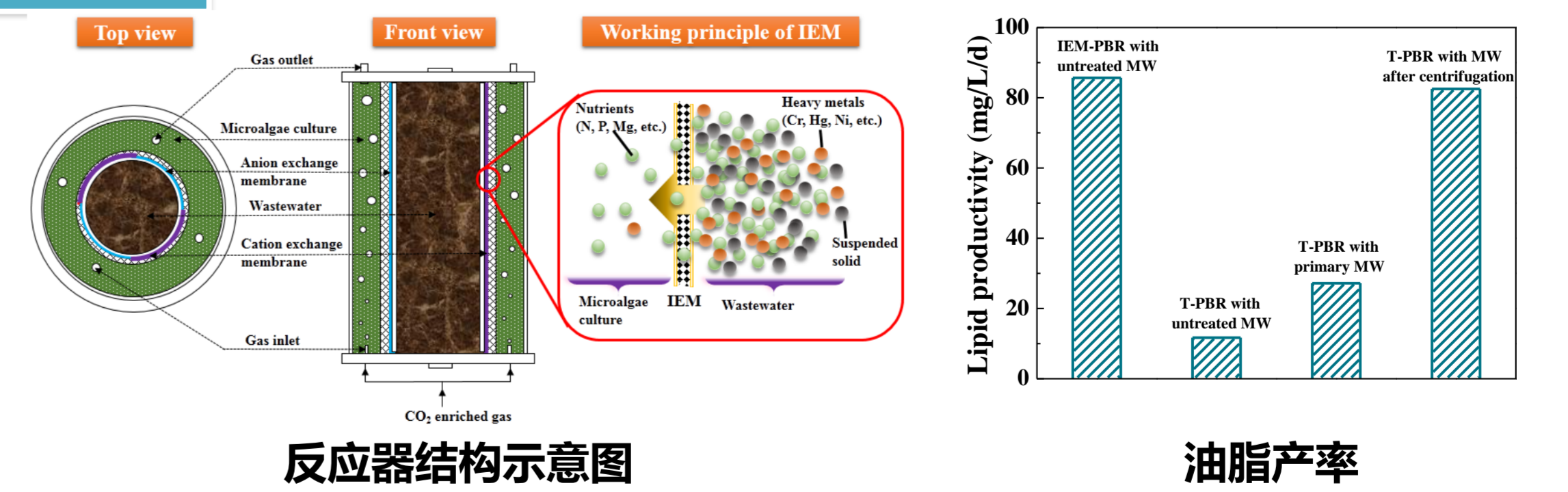
#### 自适应离子交换膜式反应器



反应器结构示意图

微藻生长曲线

可实现微藻与污水非直接接触式培养的微藻光生物反应器



反应器结构示意图

油脂产率



Welcome to CQU



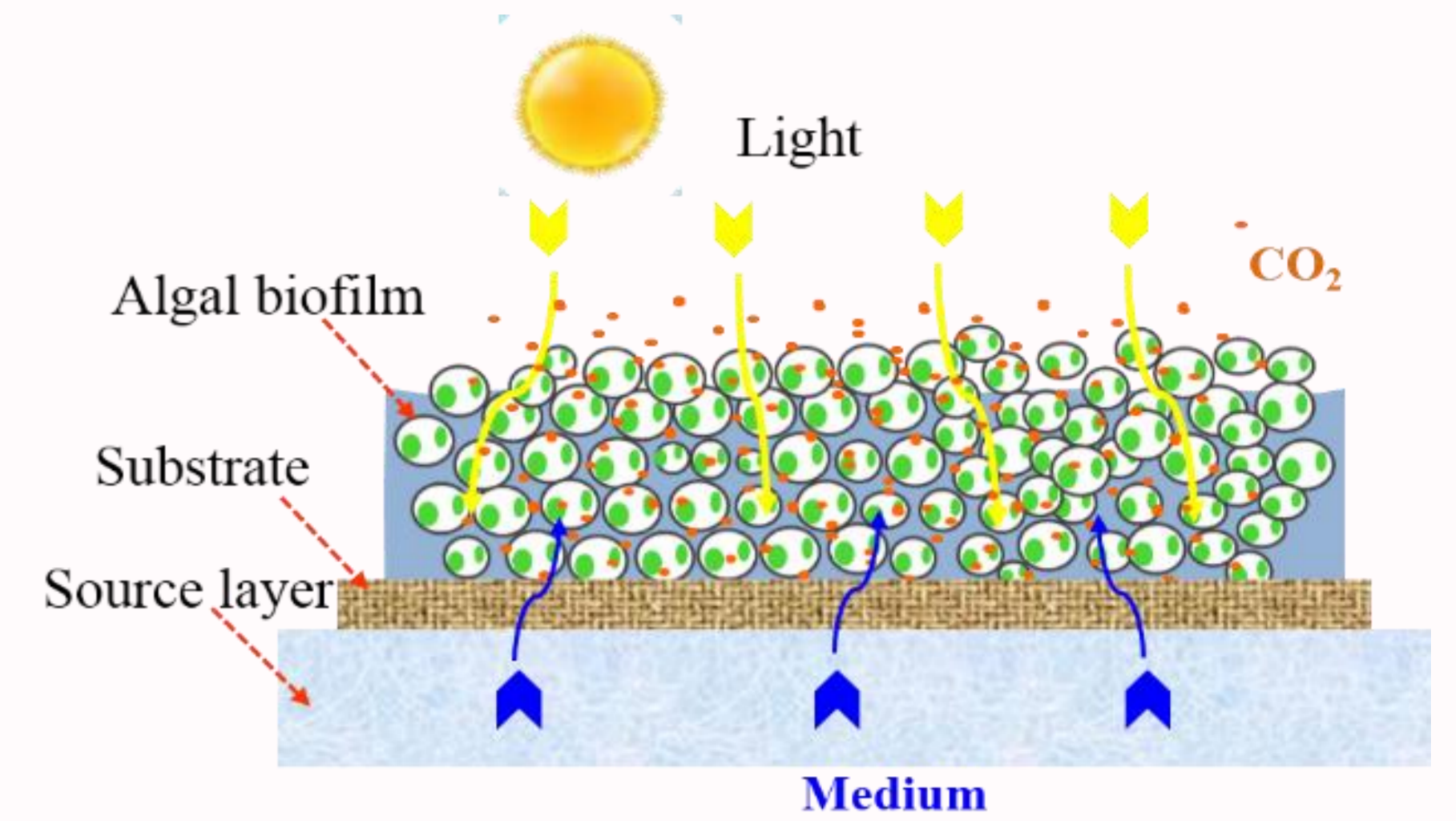
# 微藻净化废水生物膜内的传递及生化反应特性研究

## 一、微藻生物膜培养简介

微藻生物膜培养是藻细胞吸附于固体基质表面，在营养物质作用下分裂增殖形成微藻生物膜，并不断进行生长的一项技术。该培养方式可有效提高光生物反应器内单位体积生物量，且具有操作稳定、采收方便、节能等优点，且能与废水处理相互耦合，相比于悬浮态微藻培养技术具有更大优势。

## 二、微藻生物膜内的能质传递及生化转化

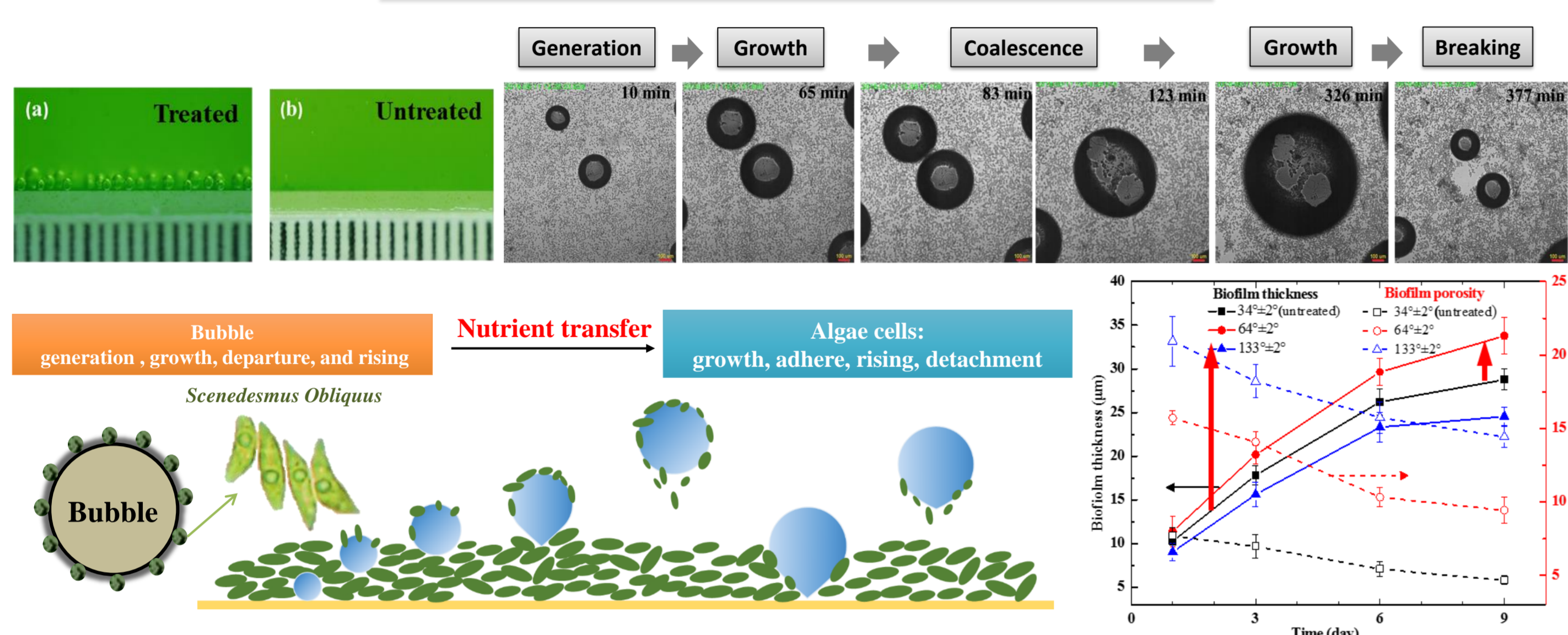
本课题在气-液-固三相体系中对微藻生物膜在固相基质表面吸附生长特性的进行了可视化实验研究，获得微生物运动、吸附及生长现象与规律，并对多相流动与传递过程中生物膜在固相基质表面上的生长及膜内传递机理与特性进行了深入的实验探究。具有重要的工程价值和学术意义。



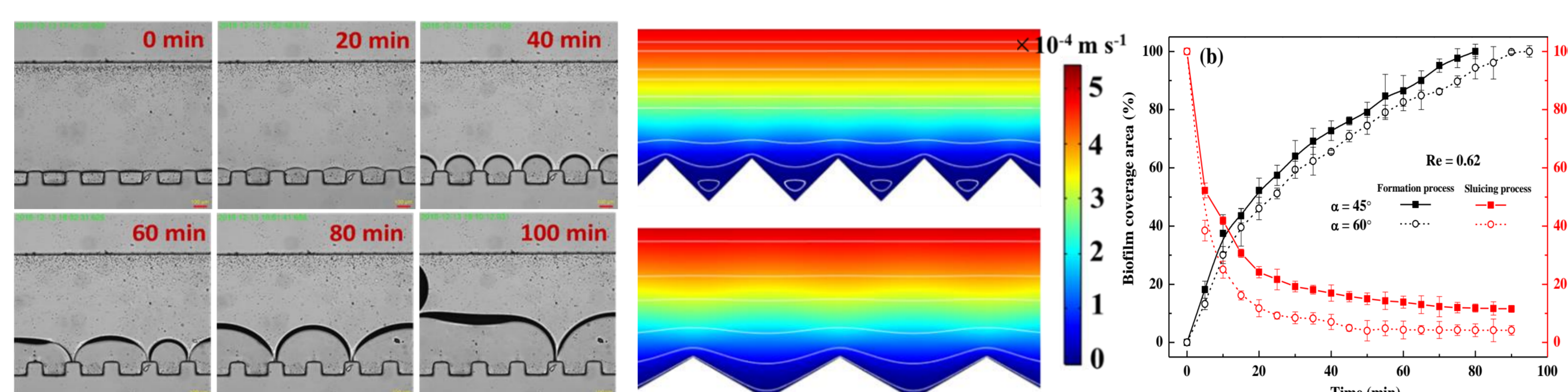
## 三、主要研究进展

### 1. 微藻在固体基质表面的吸附及生长特性

生物膜生长过程中产氧集集成气泡过程及影响



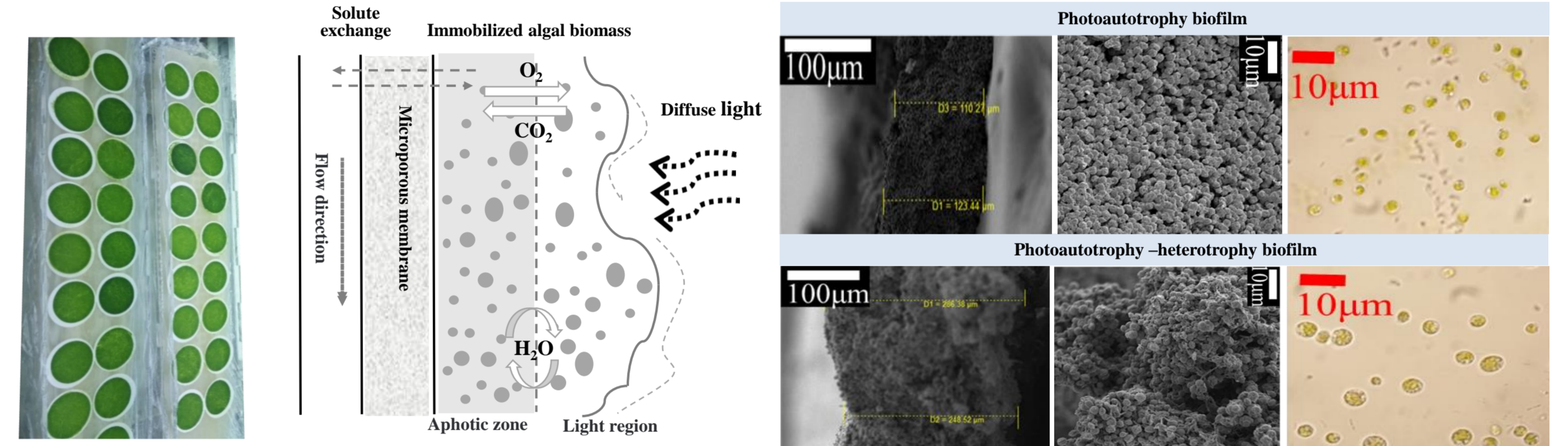
微沟槽表面吸附成膜及流动



基质表面的微沟槽形貌可以有效的减小水力剪切力对生物膜的不利影响，使藻细胞在微沟槽表面吸附成膜速度缩短。

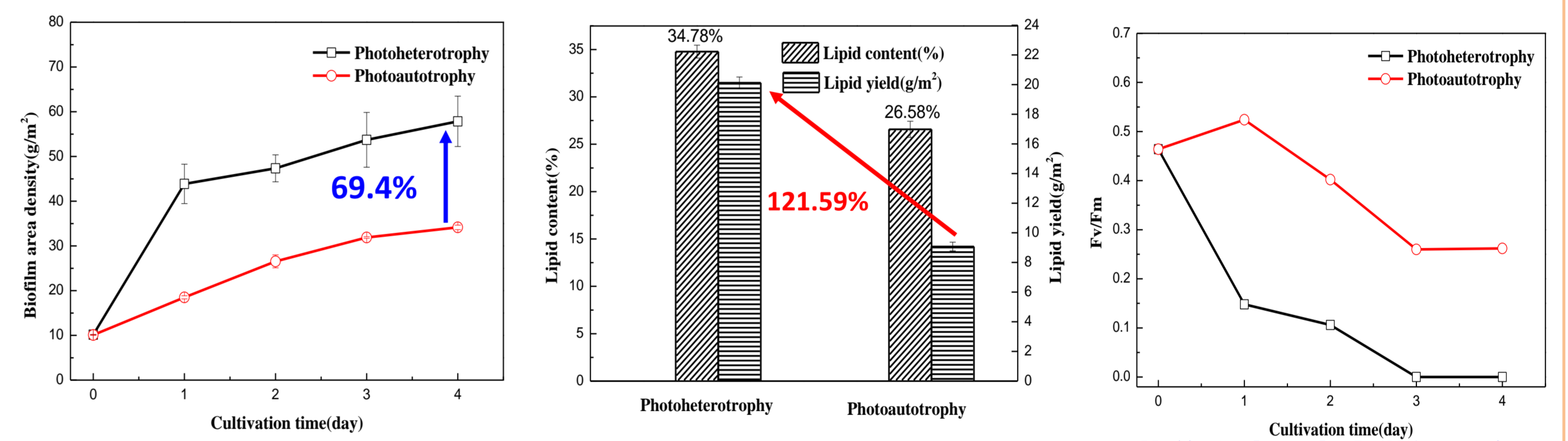
### 2. 异养辅助自养微藻生物膜生长特性及微观结构

异养辅助光合自养生物膜内传输和微观结构



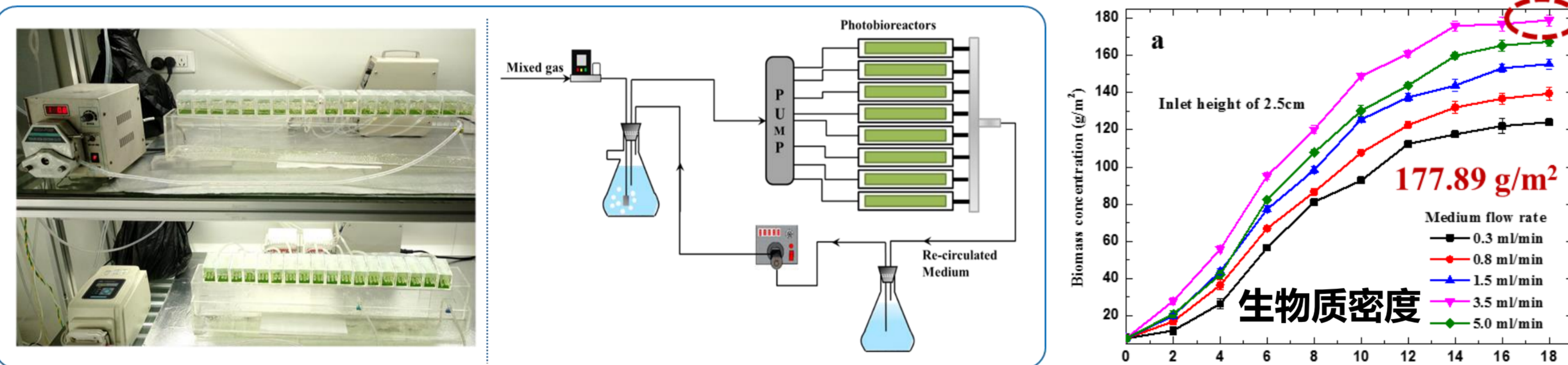
异养生长辅助生物膜微观结构较为疏松，孔隙率更高，更有利于营养物质在生物膜内部的传输过程

异养辅助光合自养生物膜生长和产油性能

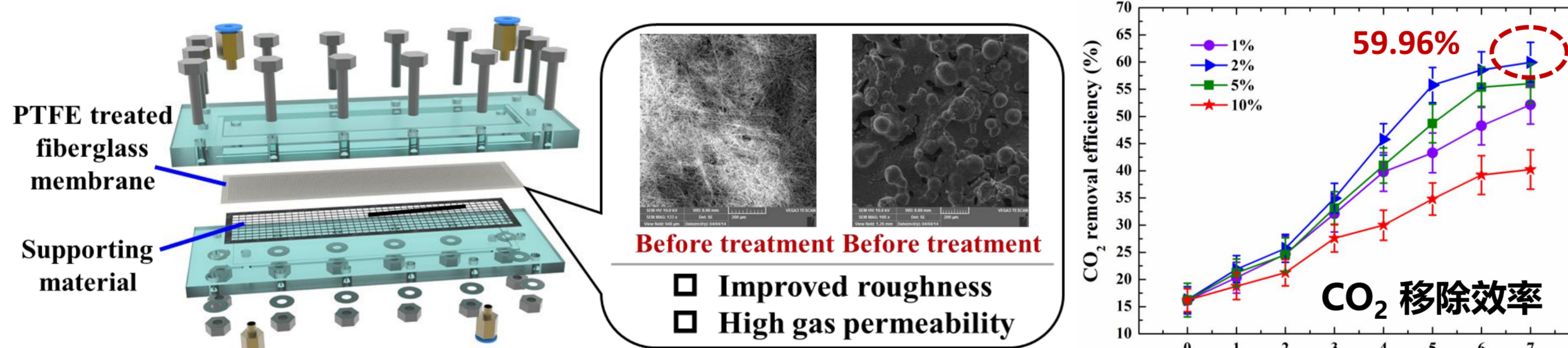


有效地解决了生物膜底部藻细胞活性差的问题，异养使微藻生物膜的生物量与油脂量均有明显提高。

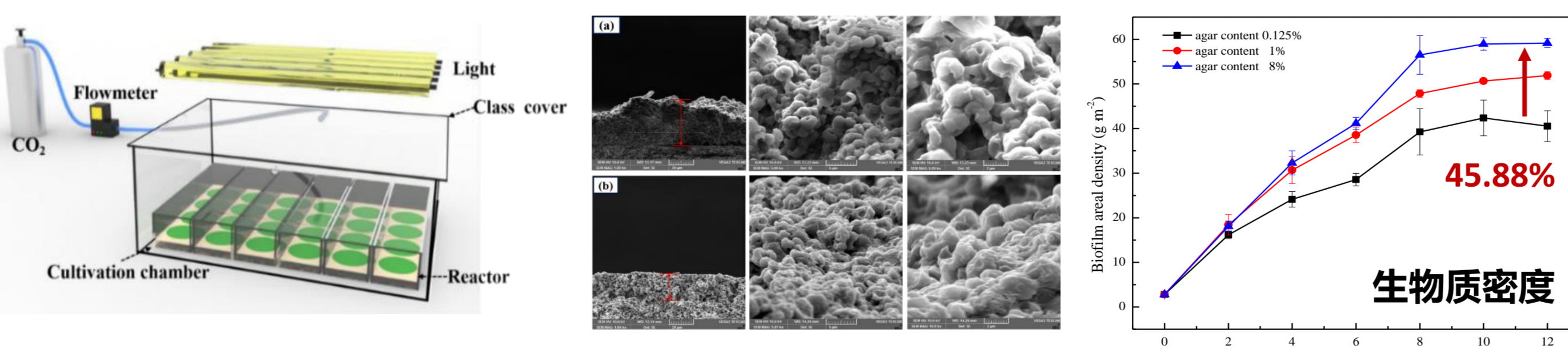
### 3. 新型微藻生物膜光生物反应器



饱和式—循环培养基光生物膜反应器 优化营养物供给，使生物质密度大大提高



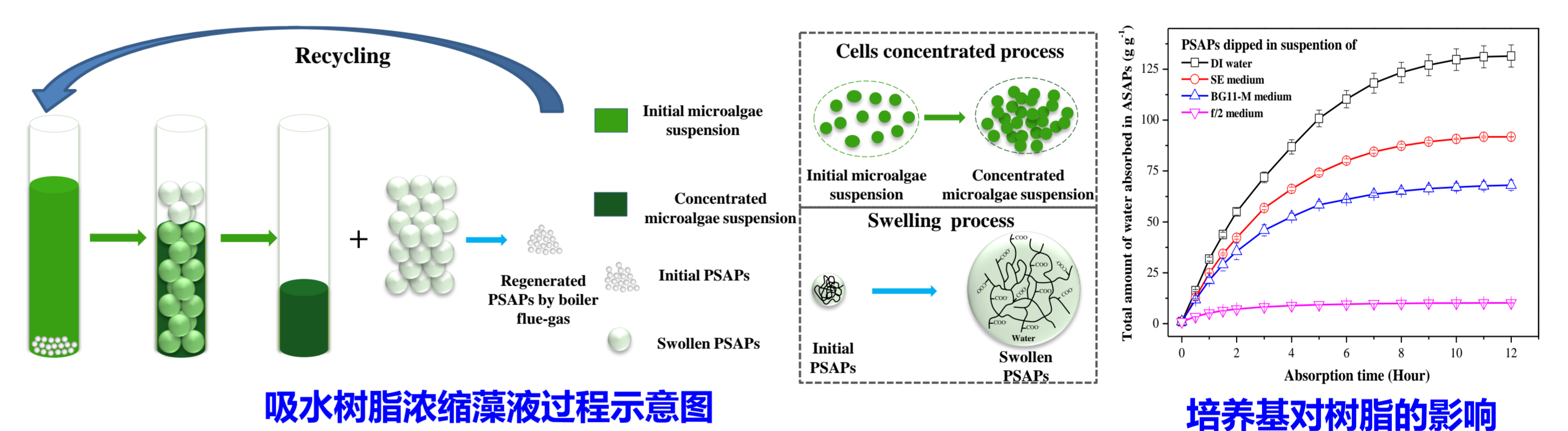
半饱和式—气液分离膜光生物膜反应器 优化CO2传递，使CO2移除效率大大提高



半干式—双层密封腔光生物膜反应器 减少光衰减，使生物质密度大大提高

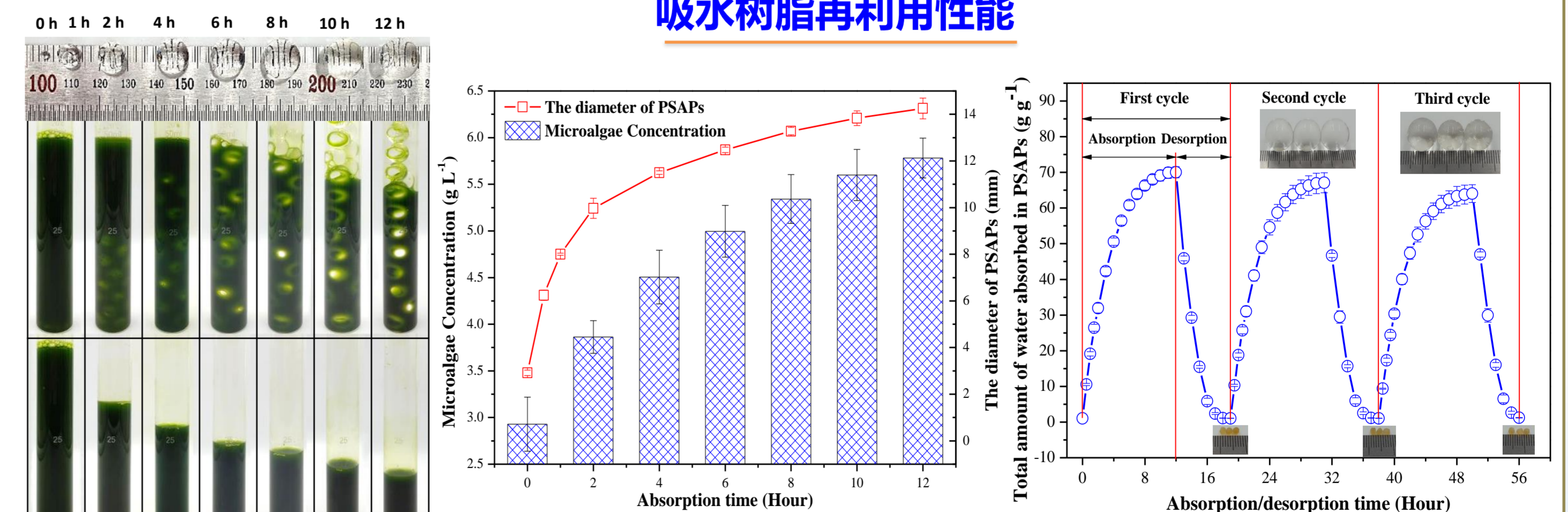
### 4. 聚丙烯酸系吸水树脂吸水浓缩藻液

微藻浓缩脱水过程动力学



通过移除藻液中水分浓缩微藻，构建不同盐度及藻液浓度下聚丙烯酸系吸水树脂的松弛扩散模型方程

吸水树脂再利用性能



实验系统图

树脂吸水性能

树脂再生性能

研究温度对树脂吸水、再生及重复利用性能的影响，再生重复利用性能良好



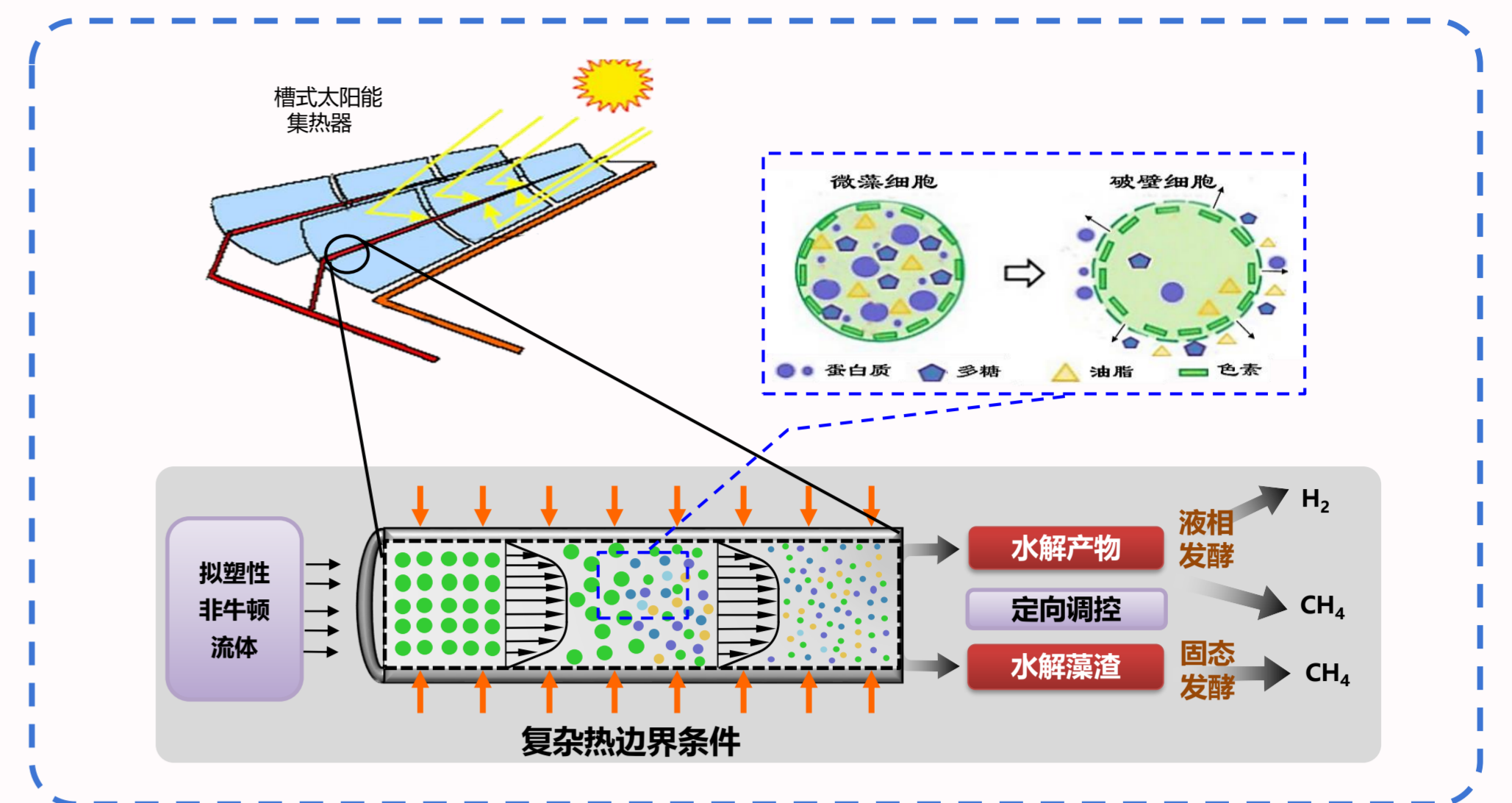
Welcome to CQU



# 太阳能水热水解及生化转化制取微藻生物燃料研究

## 一、微藻水热水解技术简介

微藻水热水解技术是在一定的温度和压力 (100~200°C, 1~2.5MPa) 的液态环境下使微藻生物质水解为碳水化合物和蛋白质以提升后期发酵产甲烷性能的热化学过程。利用太阳能热能为水热预处理过程供热,一方面可以节省预处理过程中能量投入,另一方面可以把太阳能存储为化学能、提高太阳能热能的品位。利用太阳能水热水解,不仅提升了微藻生物质发酵产甲烷性能,而且充分地利用了太阳能、提升了太阳能的品位。



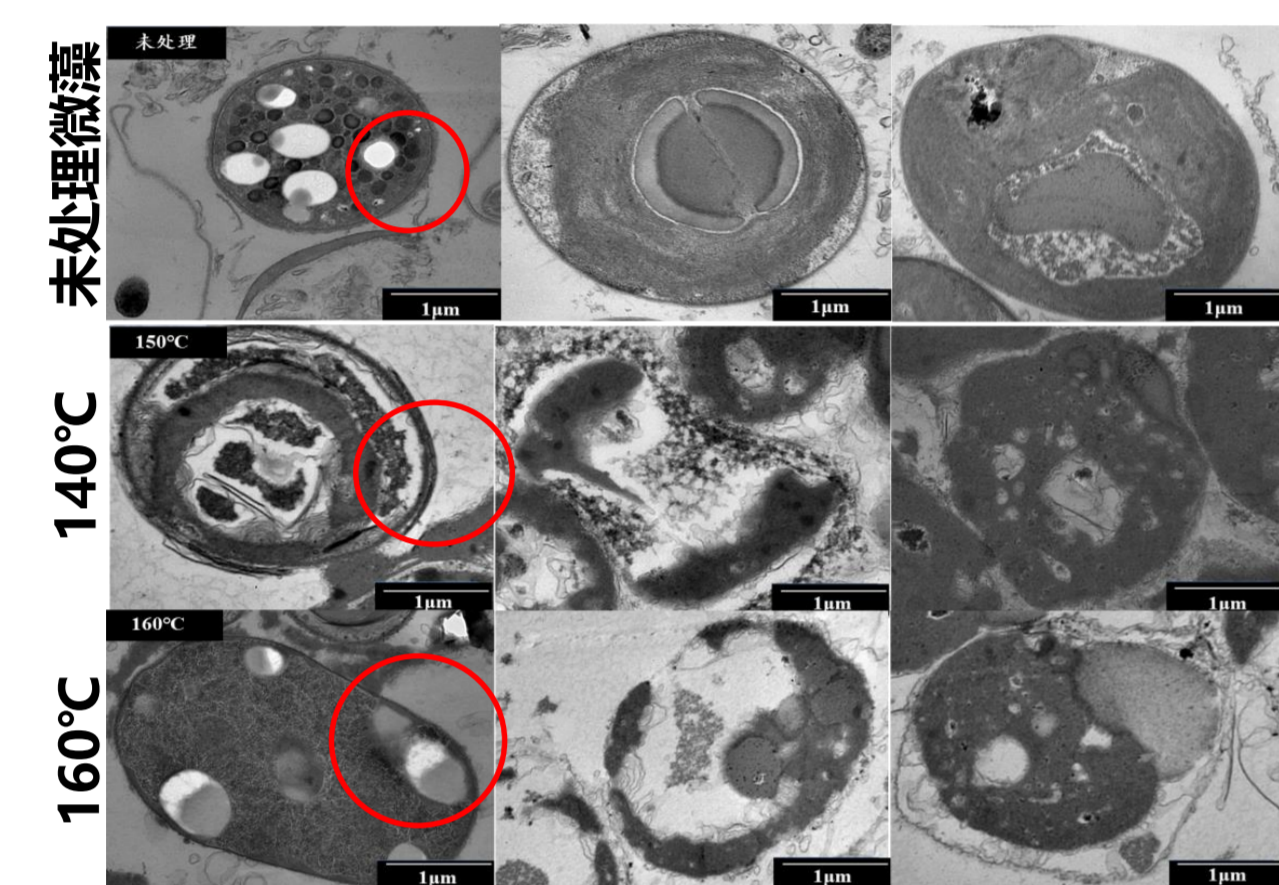
## 二、水热水解中微藻浆液流动和热质传递及转化特性

本课题重点研究太阳能水热水解及生化转化制取生物燃料耦合过程。分别开展微藻生物质水热水解定向调控机理与特性,微藻水热水解过程中浆液流动和热质传递及转化特性及太阳能水热水解及生化转化耦合制取微藻生物燃料系统集成理论等高水平研究工作。建立非牛顿流体管内流动及传热理论模型,并获得流动、热质传递、水热转化之间的耦合关系,为生物质高效清洁制取燃料过程的研发提供指导。

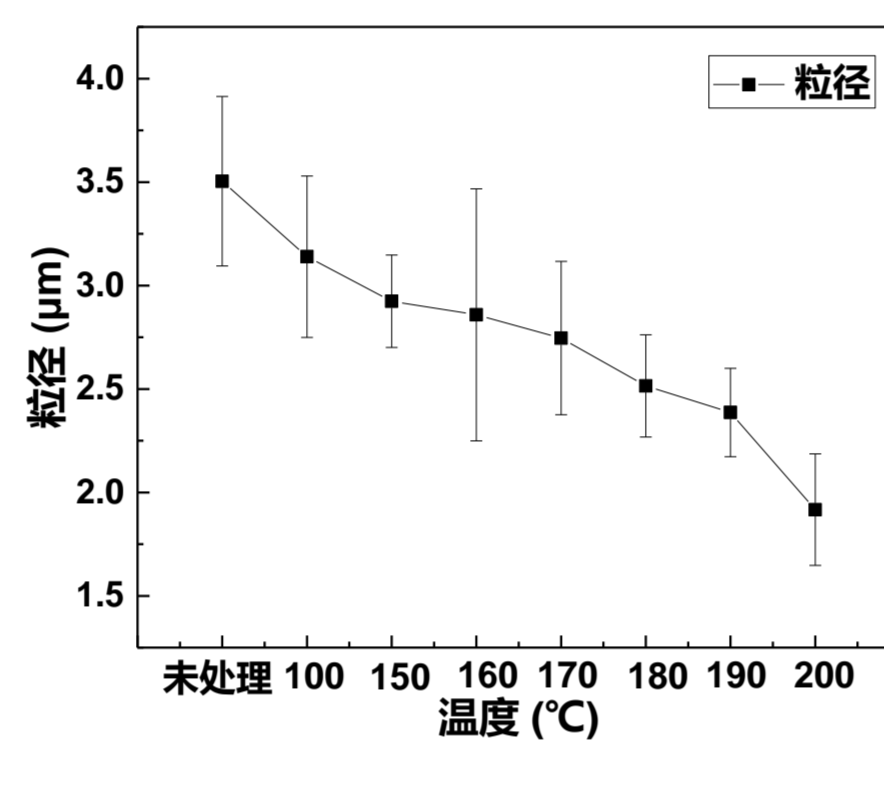
## 三、主要研究进展

### 1. 微藻生物质水热水解定向调控机理与特性

#### ◆ 水热条件下微藻细胞形态变化

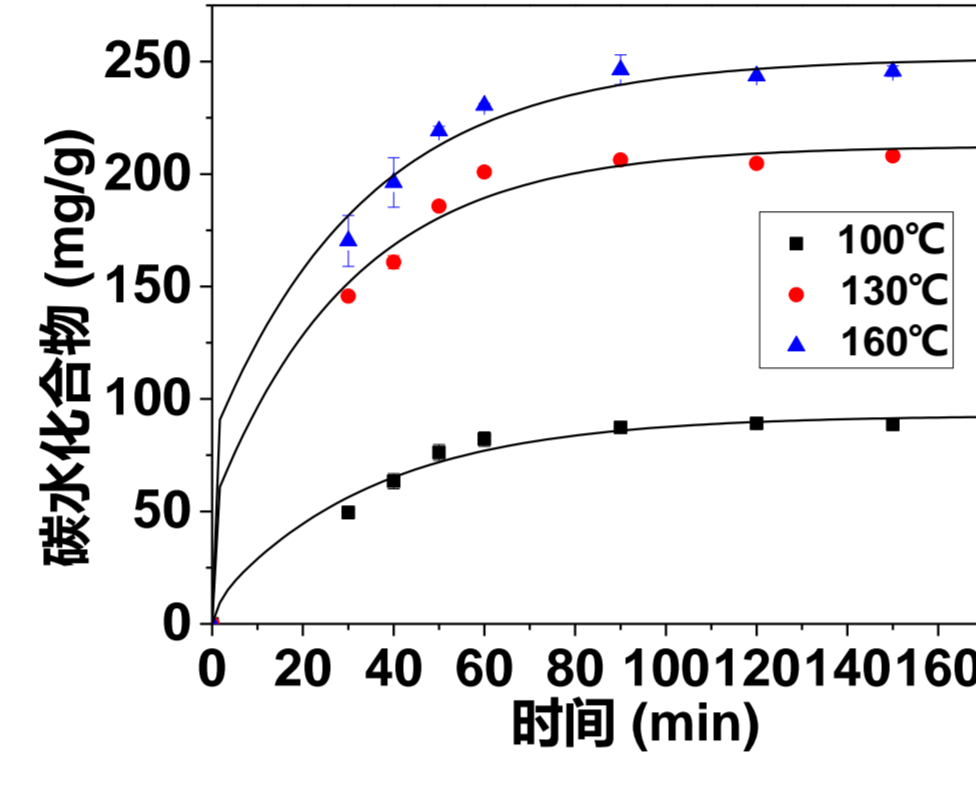


不同温度水热处理下微藻TEM图



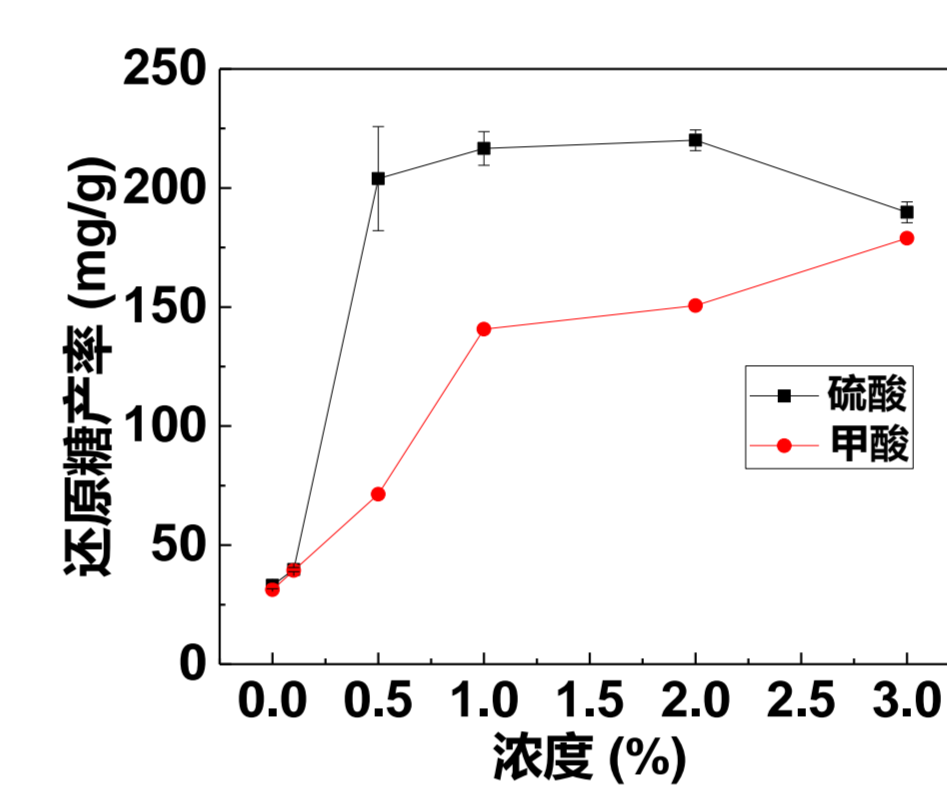
温度对微藻粒径的影响

#### ◆ 微藻水热水解物质析出动力学

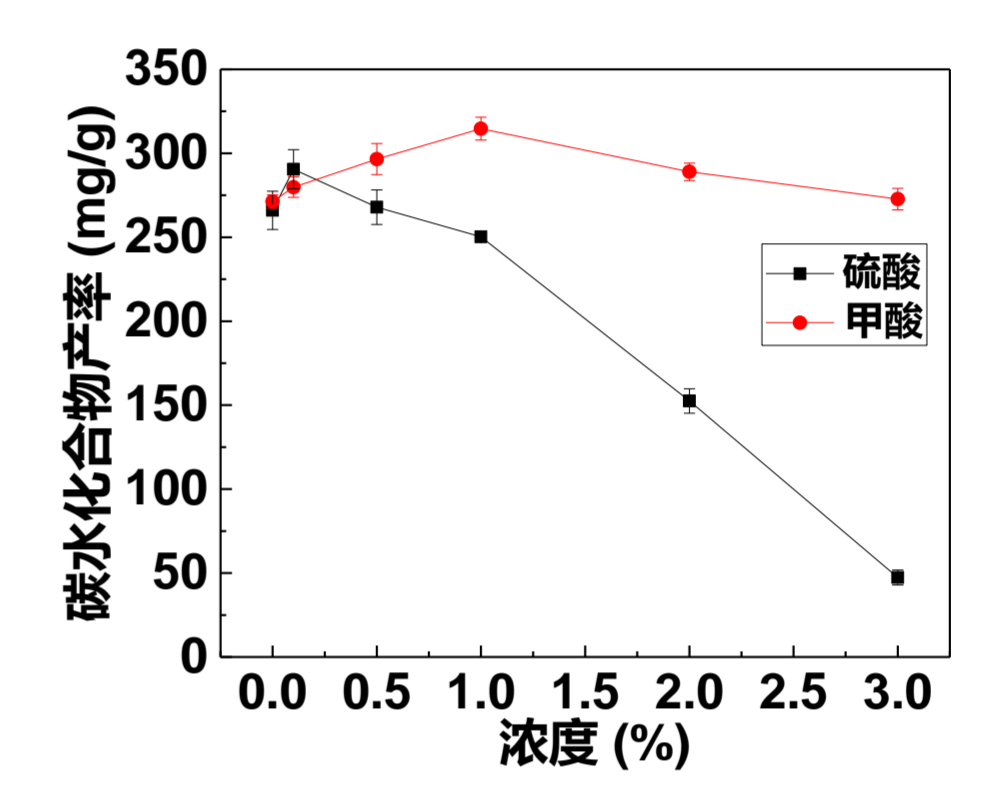


碳水化合物析出动力学

#### ◆ 微藻水热水解定向调控-低含量稀酸(甲酸)辅助法



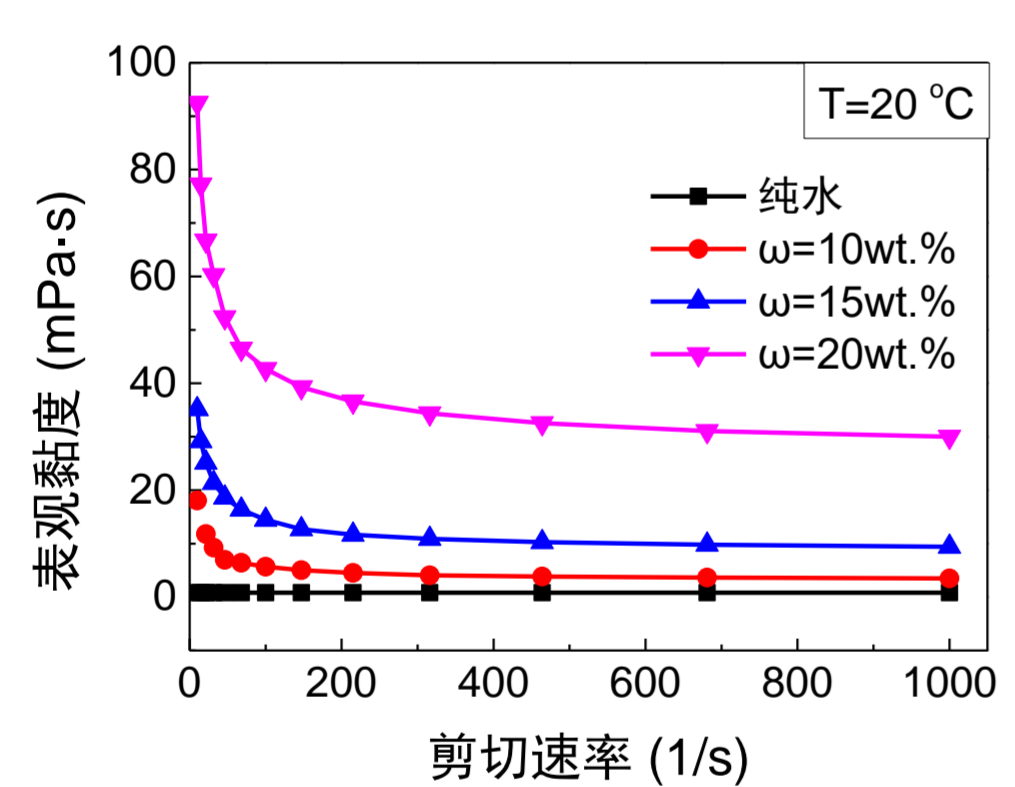
还原糖产率



碳水化合物产率

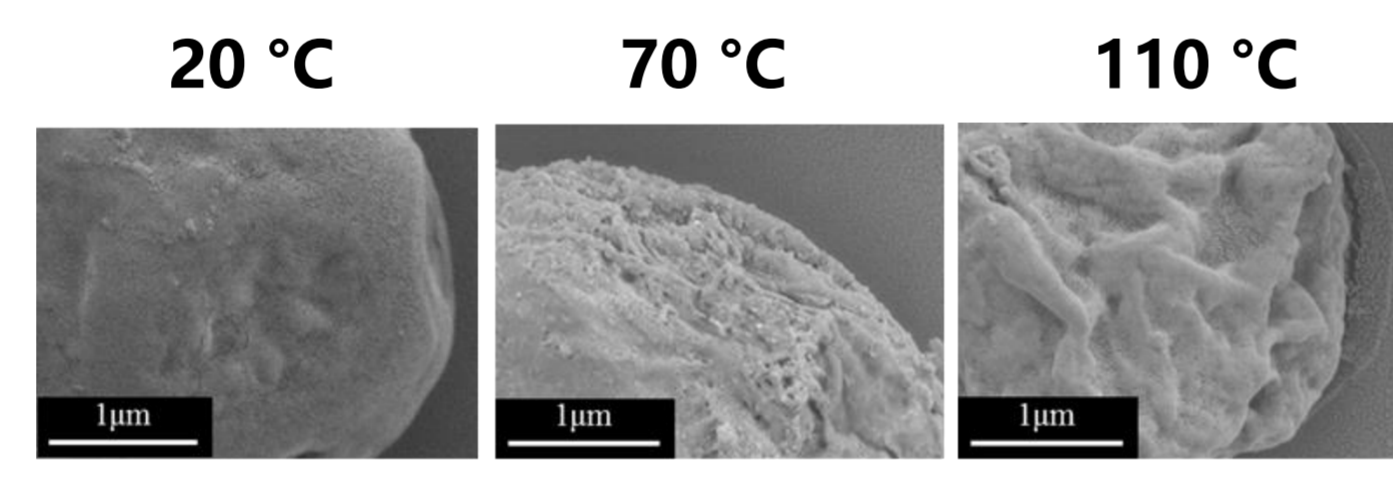
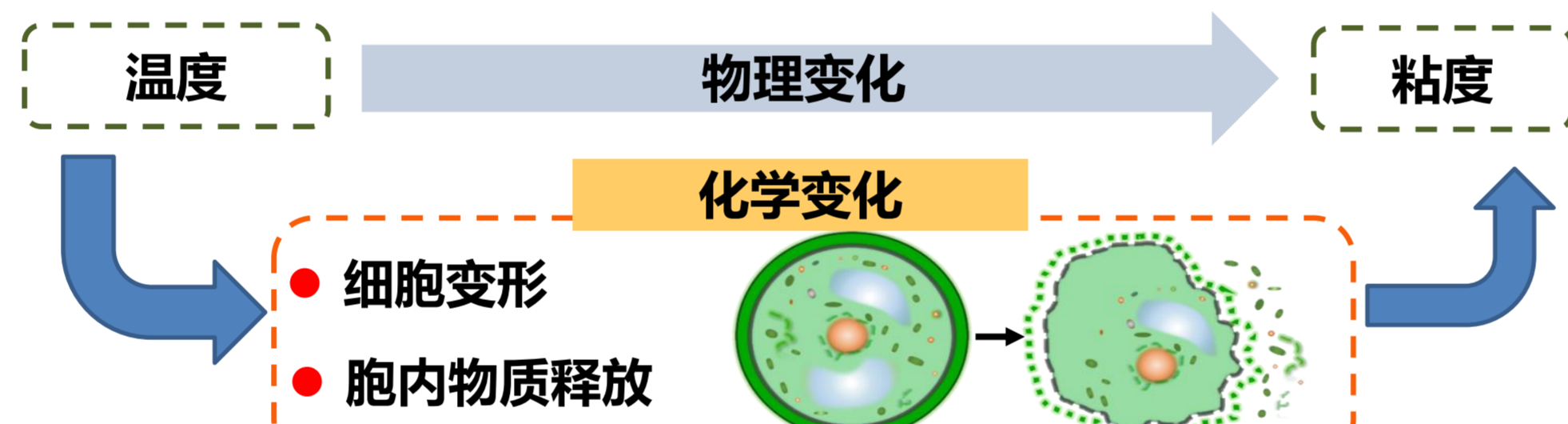
### 2. 微藻浆液流动和热质传递及转化特性

#### ◆ 微藻浆液剪切稀化现象

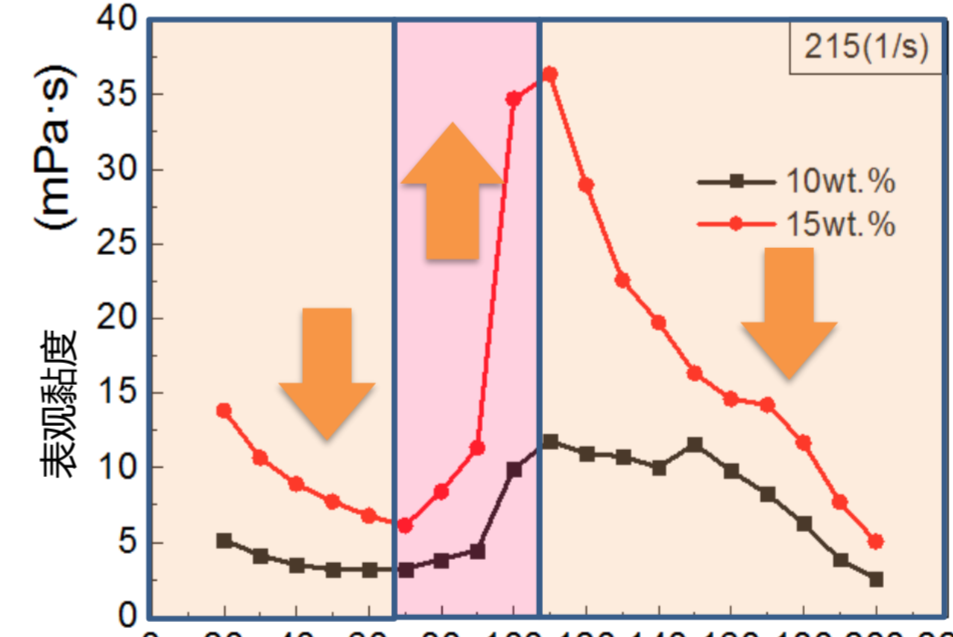


粘度-剪切速率关系

#### ◆ 温度对微藻流变特性的影响

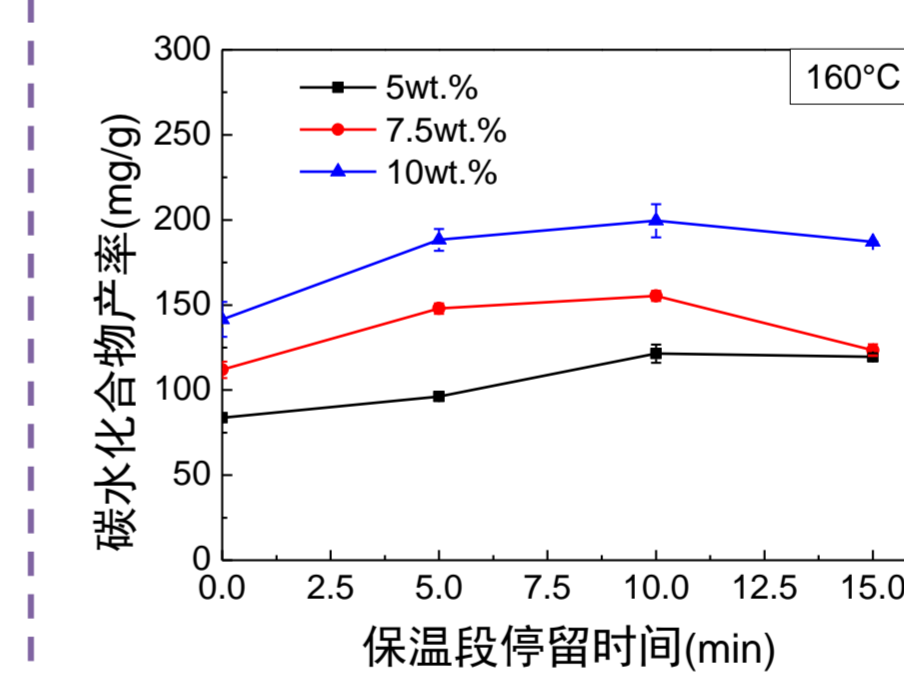


微藻细胞表面形貌随温度变化

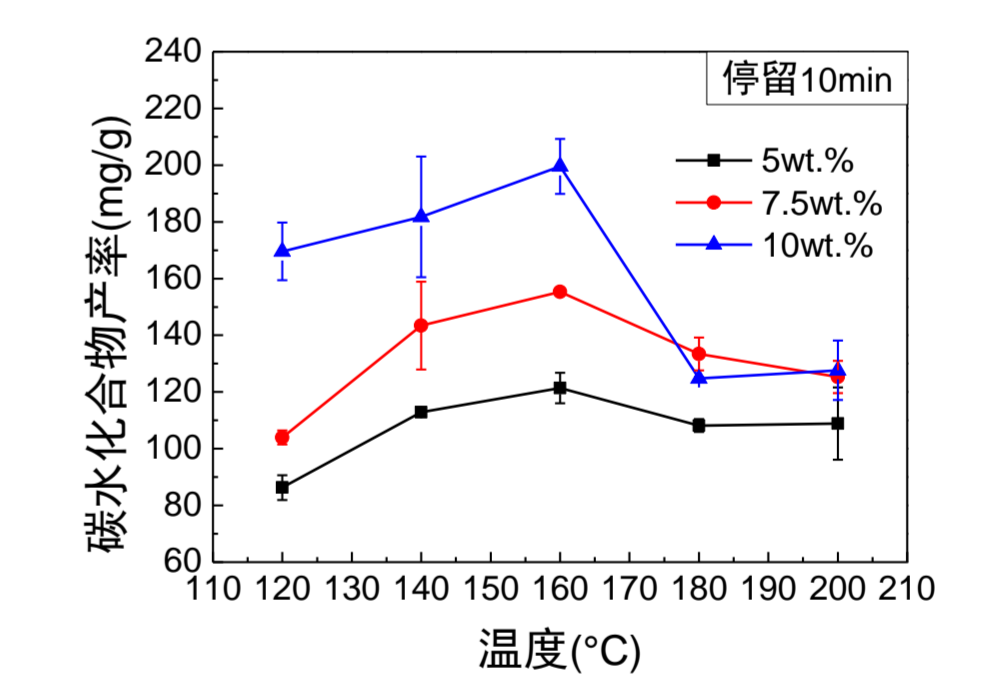


藻浆粘度随温度变化趋势

#### ◆ 拟塑性非牛顿流体流动及能质转化实验研究



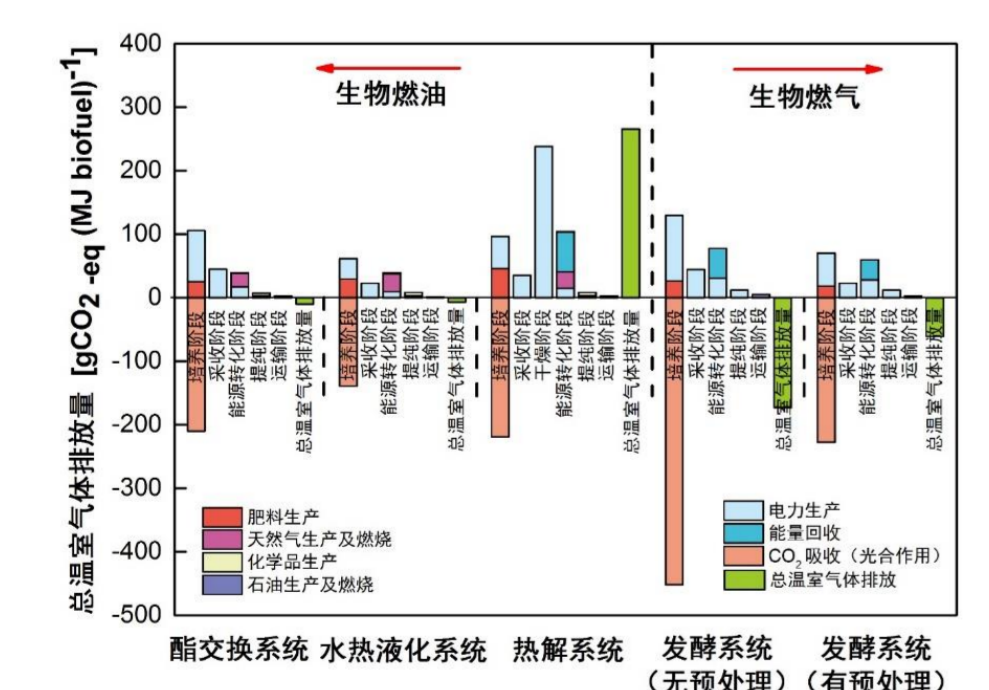
反应停留时间对水解产物的影响



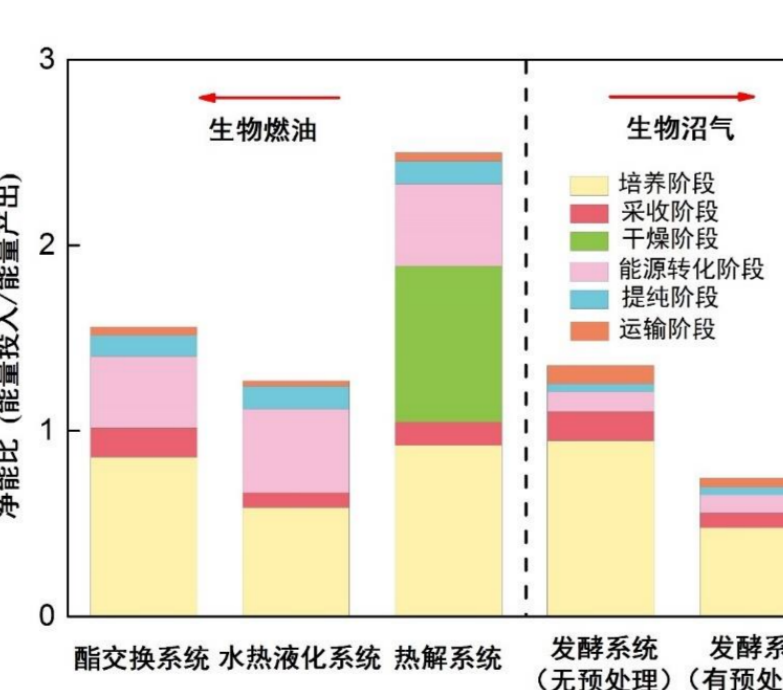
温度对水解产物的影响

### 3. 太阳能水热水解及生化转化耦合系统

#### ◆ 制取燃料过程的全生命周期评价



燃料制取过程GHGS排放

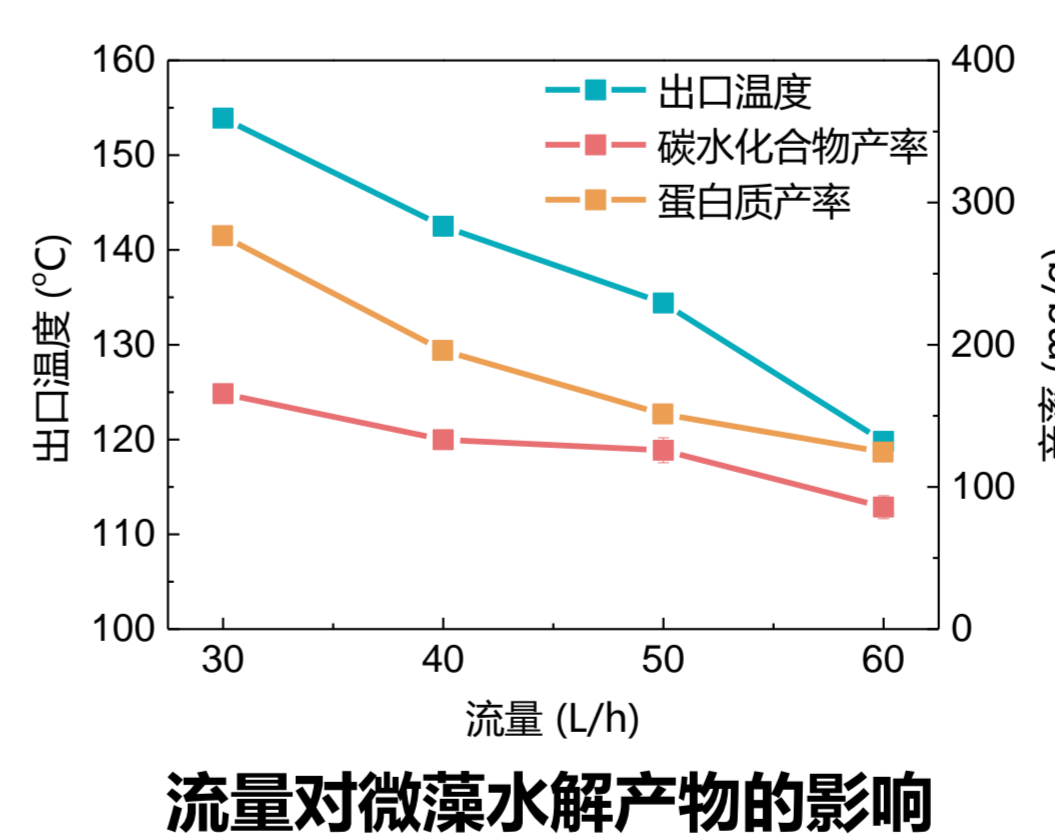


微藻燃料制取过程净能量

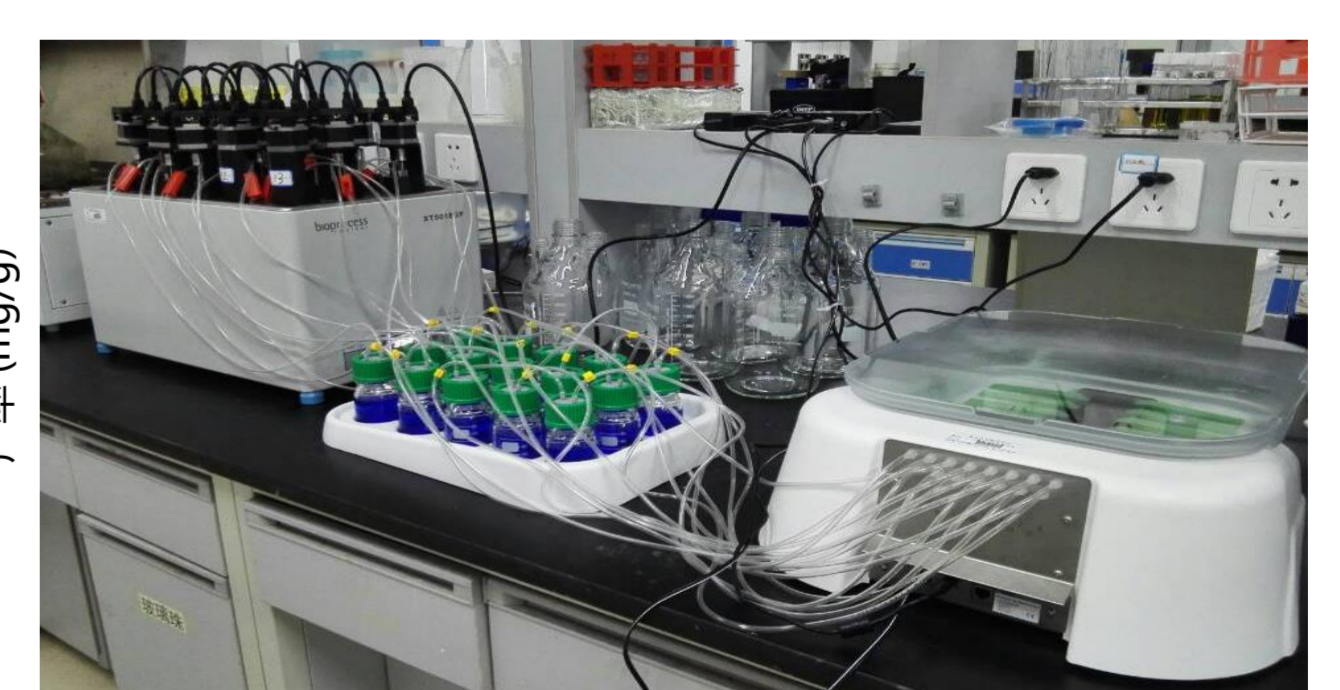
#### ◆ 太阳能水热水解微藻实验研究



太阳能水热水解预处理系统



流量对微藻水解产物的影响



微藻水热水解液发酵测试平台



Welcome to CQU