

# NEWS CENTER

## 科技进展

## 科技进展

### [\(/a/news/development/\)](/a/news/development/)

- 行业信息  
[\(/a/news/msg/\)](/a/news/msg/)
- 政策法规  
[\(/a/news/fagui/\)](/a/news/fagui/)
- 科技进展  
[\(/a/news/development/\)](/a/news/development/)
- 域外信息  
[\(/a/news/yuwai/\)](/a/news/yuwai/)
- 食品安全  
[\(/a/news/safe/\)](/a/news/safe/)
- 供应商推荐  
[\(/a/news/recommend/\)](/a/news/recommend/)
- 公开信息  
[\(/a/news/zlxz/\)](/a/news/zlxz/)

### 相关新闻

- 中国工程院增选75位院士...  
[\(/a/news/msg/20191201/1610.html\)](/a/news/msg/20191201/1610.html)
- 大连工业大学朱蓓薇院士...  
[\(/a/news/development/20200828/1935.html\)](/a/news/development/20200828/1935.html)
- “益生菌科学研究十大热...  
[\(/a/news/development/20200820/1932.html\)](/a/news/development/20200820/1932.html)
- 《益生菌的科学共识 (2...  
[\(/a/news/development/20200424/1802.html\)](/a/news/development/20200424/1802.html)
- 为什么植物肉或成未来食...  
[\(/a/news/development/20200602/1841.html\)](/a/news/development/20200602/1841.html)
- 供应玻璃瓶, 香油瓶, 酱...  
[\(/a/news/recommend/20151104/71.html\)](/a/news/recommend/20151104/71.html)
- 中国食品科学技术学会年...  
[\(/a/news/zlxz/20180502/856.html\)](/a/news/zlxz/20180502/856.html)
- 关于疫情防控期间饮食安...  
[\(/a/news/safe/20200208/1645.html\)](/a/news/safe/20200208/1645.html)
- 国家食品安全风险评估中...  
[\(/a/news/fagui/20211028/2288.html\)](/a/news/fagui/20211028/2288.html)
- 中国食品科学技术学会年...  
[\(/a/news/zlxz/20190513/1040.html\)](/a/news/zlxz/20190513/1040.html)

### 《中国食品学报》特约文章推荐——Pickering乳液生物催化体系研究进展

2023-04-10 08:59 新闻来源：中国食品科学技术学会 浏览人次：248次

本期介绍中国农业科学院农产品加工研究所王强研究员发表在《中国食品学报》第23卷第3期特约专栏（前沿科技）上的文章《Pickering乳液生物催化体系研究进展》。

固体纳米颗粒稳定的Pickering乳液作为高效的生物催化反应体系一直是材料化学领域研究的热点。该体系具有催化效率高、酶和载体易于回收等诸多优势，近几年受到食品研究者的关注。

#### 1 Pickering乳液生物催化中颗粒乳化剂的设计

##### 1.1 润湿性和表面形貌设计

具有中等润湿性的固体颗粒在连续相和分散相中有足够的浸润程度以构建稳定的乳液体系，进而为酶行使催化功能提供一个平稳的环境。天然固体颗粒材料通常难以直接稳定Pickering乳液，因此需要对颗粒进行改性处理。对于本身具有一定两亲性的材料，其颗粒的改性主要采用酸、碱表面处理。蛋白质材料的改性方法主要采用热处理、溶剂诱导或多糖形成复合物等。对于自身不具有两亲性的材料，其改性方法通常是表面化学接枝。Pickering乳液体系的稳定性高低与界面膜强度大小有着直接的联系，其强度与颗粒的吸附性能相关联，而表面形貌是影响吸附强度的关键因素之一，增加固体颗粒的表面粗糙度能有效提高乳液体系的稳定性。

##### 1.2 形状结构设计

具有相同润湿性以及粗糙度的固体颗粒，当其外部形状不一时，其乳液稳定性会有所差异，这主要是因为不同形状的颗粒在乳液界面处的组装行为不一。常见的颗粒外部形状包括球形、管状和片状等，其中管状和片状颗粒具有较高的长径比（即长轴与短轴之比），吸附在乳液界面处能够产生更大的界面面积，在提高乳液的稳定性同时能够进一步扩大酶与底物的触及度并缩短底物扩散距离，从而提高酶促反应速率。

颗粒内部结构设计的主要目的是建立酶载体以保护酶活性不受极端系统环境（例如强酸/碱、有机溶剂、高温等）的影响。根据颗粒对酶固定化方法的不同，主要有内表面固定和物理包埋两种策略。对于前者，无论是化学接枝还是物理吸附，主要是将其设计为介孔结构，这些介孔不仅可用于酶在颗粒内表面的固定，还可促进底物扩散，提高反应速率。物理包埋是固体颗粒将酶分子包裹起来，因颗粒外壳具有足够的密度，而能够保护酶不直接暴露在有机相中，避免了酶活的损失。这类颗粒通常被设计成胶囊形状，通过氢键、静电力等物理相互作用将酶封装到胶囊内部。

### 1.3 智能响应型设计

通过智能响应设计，Pickering乳液催化体系可以在特定温度、CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>、磁场和电场/电化学等条件变化下发生定向变化，以高效、便捷、灵活地实现酶的回收再利用。

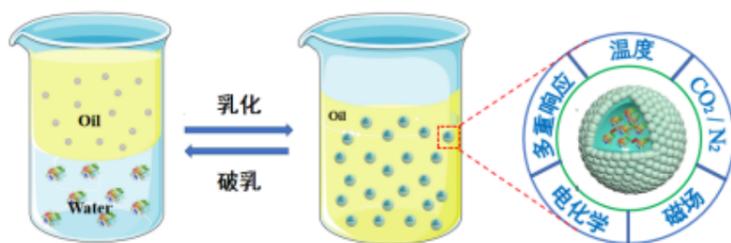


图1. 各种环境响应型Pickering乳液生物催化体系的示意图

(包括温度、CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>、磁场、电化学以及多重刺激响应方法)

#### 1.3.1 温度

在温度响应型设计中，聚合物通常作为改性剂接枝到固体颗粒表面以获得温度响应能力，反应后通过改变体系温度使Pickering乳液失稳，以实现固体颗粒和酶的便捷回收。在温度响应设计中，不同于无机催化，生物酶的最适温度与失活温度也必须考虑其中。

#### 1.3.2 CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>

向Pickering乳液体系鼓入CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>后，颗粒乳化剂表面的某些基团会定向发生质子化/去质子化，从而改变固体颗粒表面的润湿性，导致乳液发生破乳或重新乳化。在该策略中，CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>响应过程是一个非累积过程，即体系中不会出现盐效应或产物化学物质来抑制乳液稳定性和反应，使得体系的循环稳定性增强。

#### 1.3.3 磁场

颗粒的磁场响应性是根据添加磁场控制响应性材料的行为，以调节乳液状态，从而实现酶的分离与回收。Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等磁性/顺磁性材料通常经过修饰后被设计用于磁场响应和稳定乳液。

#### 1.3.4 电场/电化学

在外加电场电位变化的影响下，颗粒表面的被接枝的特殊基团的氧化/还原状态会随之发生可逆转变。利用Fc的氧化-还原反应，微凝胶和相应的Pickering乳液的形成和变形可以被外加电位可逆刺激。

#### 1.3.5 多重刺激

与单一响应型刺激系统相比，在固体颗粒上同时赋予多种刺激响应型功能，能够进一步促进酶的分离以及提高其可重复利用性。目前在生物催化研究方面尚处于起步阶段，相关报道并不多见。

## 2. Pickering乳液生物催化反应类型

Pickering乳液催化可分为PIC和PAC两类，在PAC中，酶大多被分散在乳液的水相，从而能够有效减少载体的使用以及对酶的复杂修饰。在PIC中，酶被颗粒乳化剂所固载，在稳定乳液的同时使得酶能够直接从界面上与外相中的底物接触，大幅提升了酶的使用效率和催化效率。

### 2.1 PAC

PAC体系最大程度减少了传统固定化过程对于酶结构和活性的影响，亦可称之为新型酶“固定化”技术。除了能够避免传统酶催化应用中使用载体时对酶的复杂修饰外，当体系破乳后，酶可以随着两相分离而分离，实现了可逆的酶固定化处理，这无疑有利于在分子水平上研究酶的催化性能，并且为固定化材料的经济循环利用提供了前提条件。

通过对乳液自身特性进行调节，能够进一步提升PAC的催化效率。在乳液中，随着液滴直径的减小，其整体比表面积会大大增加，有利于促进底物与酶之间的充分接触，提高传质扩散效率，从而大幅提高酶促反应效率。

## 2.2 PIC

基于Pickering乳液的生物催化体系能直接使用两种不相容的反应底物作为油水两相，形成无溶剂体系。由于Pickering乳液界面生物催化体系可以大幅扩大反应底物在不相容液-液两相间的接触面积以及改善其传质扩散过程，从而能够有效解决传统无溶剂体系中的酶促反应效率低下的难题。

除了用于催化单一反应外，Pickering乳液界面生物催化还能够很好地适用于酶的级联反应，通过反应混合物的部分相转移行为，能够有效促进底物转化的同时，简化底物的纯化步骤。值得注意的是，PIC中固定化酶有时能够同时催化两种不同类型的反应类型，进一步减少反应体系中酶的用量。此外，PIC体系还能应用到有气体参与的反应中。

## 3. Pickering乳液生物催化中反应器工程的进展

目前在Pickering乳液生物催化中仍多以间歇反应体系为主，该体系中难以避免地存在一些不足：1) 间歇体系需要设置额外的步骤来进行产物分离回收；2) 外部机械搅拌可能会导致酶结构被破坏并失活；3) 产物浓度因素可能限制了生物转化效率。将Pickering乳液装载于流动反应器中以构建流动催化体系，具有解决上述问题的潜力。

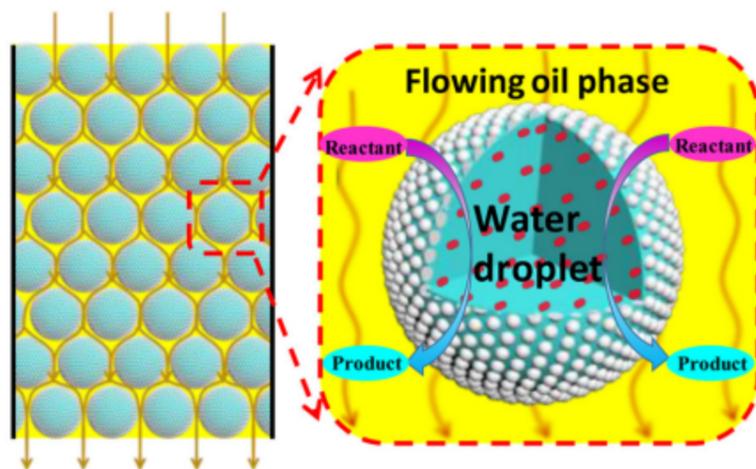


图2. 连续流动的W/O型Pickering乳液生物催化策略示意图

## 4. Pickering乳液生物催化在食品领域中的应用发展

### 4.1 高酸值油的脱酸及深加工应用

高酸值油是食用植物油加工和储存不当造成的。然而，目前高酸值油再利用的几种主要加工方法，如化学酯化、碱精炼和物理蒸馏均容易造成能量损耗大、营养成分流失严重等问题，使循环可利用性过低，而酶法脱酸有着作用条件温和、绿色环保以及产品易于分离等优势。

### 4.2 低脂食品的风味释放

低脂食品符合当代消费者对于健康饮食的追求，然而低脂食品中游离脂肪酸（FFA）含量低，食品风味释放不完全，降低了消费者的购买欲，例如低脂奶酪的风味较全脂或半脂奶酪要差。添加外源性修饰脂肪酶能有效水解低脂奶酪中的脂肪，产生更多的FFA，从而提高风味释放水平。

### 4.3 脂质改性

酶法脂质改性技术已成为食品领域的研究热点，油酯、植物甾醇酯和脂肪替代品酯等脂质经修饰改性后，已被广泛应用于各种食品及食品添加剂中。将引入Pickering乳液体系引入脂质改性反应体系，能够有效提高其中酶与底物之间的可及性，改善底物传质效率。

## 5 结论与展望

Pickering乳液作为一类高效的生物催化反应体系，其巨大的两相界面面积以及优异的体系稳定性，有望解决非均相食品催化体系中酶与底物触及度低、产物难以分离以及酶的可重复利用度低等问题。

食品领域中Pickering乳液的目前仍处于初期阶段，亟待从以下4个方面展开深入的研究：1) 颗粒乳化剂与酶的组装关系、颗粒乳化剂与底物/产物之间在油水界面的行为仍需进一步阐明；2) 多重刺激性响应方式在食品级颗粒中的设计和应用有待进一步探索；3) 食品级PIC和PAC催化反应体系中的界面催化增益机制需在分子层面深入挖掘；4) 连续搅拌式Pickering乳液催化反应器在实际工业应用领域前景巨大，需尽快创制配套反应体系和设备，满足工业化需求。食品领域研究者需借鉴无机或有机合成领域中的Pickering乳液催化的前沿研究，深度交叉融合，建立食品级Pickering乳液催化反应体系，并用于真实食品工业非均相催化场景，提升食品加工生产效率和产品质量，减少废弃物排放并降低环境污染，促进食品工业高质量、可持续发展。

原文链接：<https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=EDlt4ro-5bq7rqEU53pvFt6FHWOHdn42aJlXCctzA4Q4uWzhA6GoeNxU3Sau9-h6uSwzocooHjIzIkAc5xw3-uqB14MC-4jE8zyOo8XGtoDM4JObIzejw==&uniplatform=NZKPT>