
藻油精炼一石二鸟！新型固定化酶让ARA营养不流失 Engineering

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/40329.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

藻油精炼一石二鸟！新型固定化酶让ARA营养不流失 Engineering。论文标题：Two Birds with One Stone: Enzymatic Degumming and Deacidification for Arachidonic Acid-Enriched Algae Oil Using PLA1@MCM-41-C8

期刊：Engineering





DOI：<https://doi.org/10.1016/j.eng.2025.11.030>



微信链接：[点击此处阅读微信文章](#)

Research

Food Science and Engineering—Article

Two Birds with One Stone: Enzymatic Degumming and Deacidification for Arachidonic Acid-Enriched Algae Oil Using PLA1@MCM-41-C₈

Zhonghui Liu ^{a,b}, Yi Zhang ^a  , Tieliang Liu ^a, Qi Zhou ^a, Yandaizi Zhou ^b, Kheng-Lim Goh ^c, Siew-Young Quek ^d, Fenghong Huang ^a, Mingming Zheng ^a  

[Show more](#) [+](#) Add to Mendeley  Share  Cite<https://doi.org/10.1016/j.eng.2025.11.030> [Get rights and content](#) [Under a Creative Commons license](#)  [Open access](#)

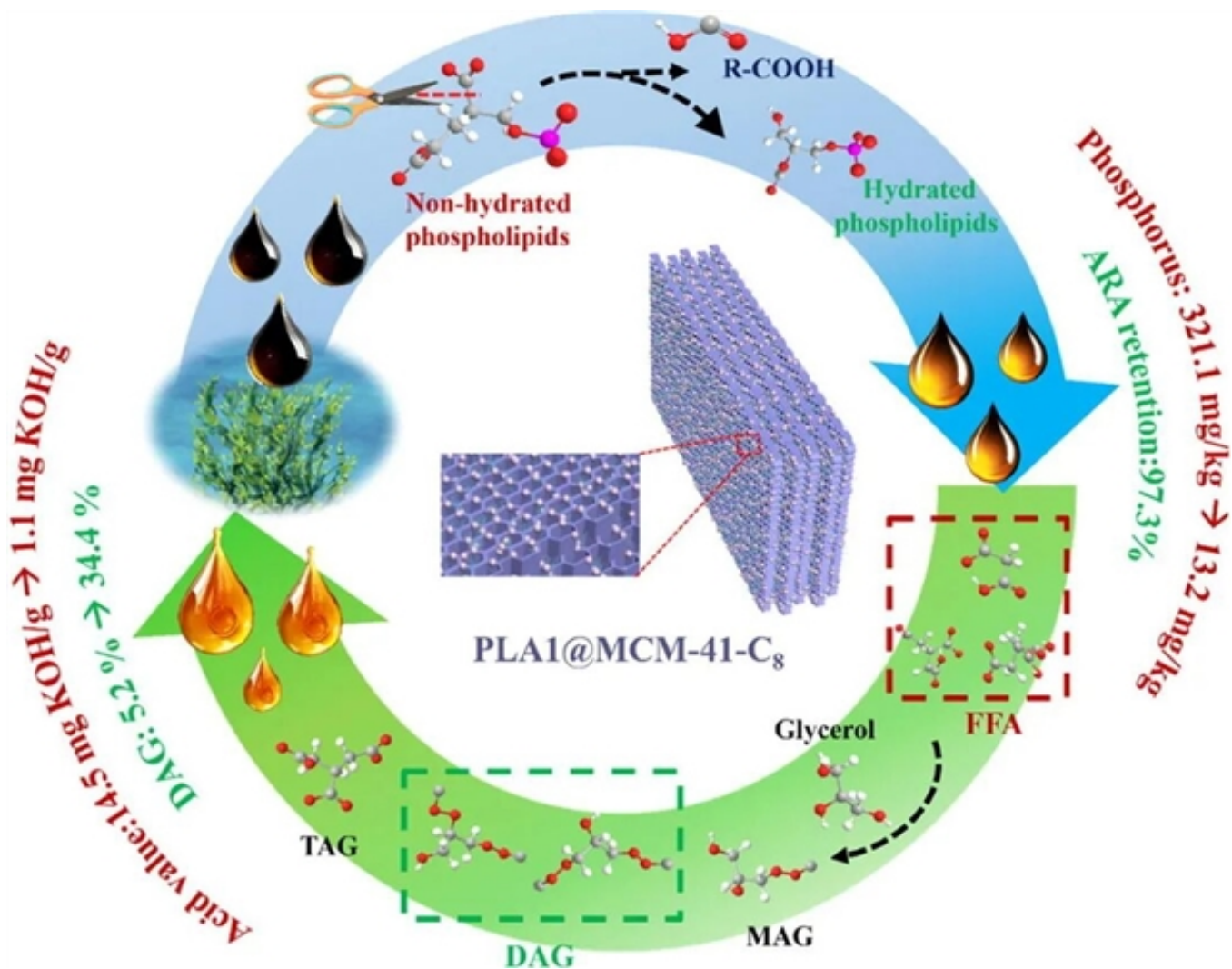
中国农业科学院油料作物研究所郑明明、张逸科研团队联合武汉工程大学、新加坡纽卡斯尔大学、奥克兰大学等机构研究人员，在Engineering发表题为一石二鸟：基于高活性固定化磷脂酶PLA1@MCM-41-C₈的富含花生四烯酸（ARA）藻油酶法级联脱胶和脱酸研究的研究性文章，刘忠慧为第一作者。研究团队提出了一种基于固定化磷脂酶的ARA藻油绿色高效精炼方法，通过创制新型固定化磷脂酶PLA1@MCM-41-C₈，实现了ARA藻油的酶法级联脱胶和脱酸，为油脂加工提供了省时、降本、提质和增效的新路径。

藻油来源于高山被孢霉等产油微生物，生产周期短，不占用土地和水资源，且富含DHA、ARA、EPA等多种对人体有益的多不饱和脂肪酸（PUFAs），具有降血脂、增强免疫系统、促进婴幼儿大脑和视觉发育等作用。与鱼油和南极磷虾油相比，藻油的产量和品质不受海洋重金属积累和微塑料污染影响，被认为是可持续且经济的功能性油脂，在食品和医疗保健行业备受关注。

在油脂精炼过程中，脱胶和脱酸是去除磷脂（PLs）和游离脂肪酸（FFA）、保证油脂营养成分和品质的关键步骤。传统脱胶方法包括水化脱胶和酸法脱胶，都会消耗大量淡水并产生大量废水；传统脱酸方法有碱中和、物理蒸馏和溶剂萃取等，存在油脂损耗严重、能耗高、有毒溶剂残留等问题。而油脂酶法精炼具有选择性高、反应条件温和等特点，正逐步替代化学催化，但传统酶法脱胶和脱酸通常需要不同类型的酶，且存在酶的催化稳定性低、重复使用性差和适用范围窄等

问题。

为解决上述难题，研究团队提出"一石二鸟"的新策略，利用疏水修饰的MCM-41固定化PLA1对ARA藻油进行酶法脱胶和脱酸。研究首先制备了固定化磷脂酶A1（PLA1@MCM-41-C8），通过硅烷偶联剂C8对介孔载体MCM-41进行疏水改性，再将游离PLA1固定到改性载体上。经结构表征和酶学性质评价，该固定化酶表现出优异的性能。



实验结果显示，PLA1@MCM-41-C8可实现藻油毛油的脱胶率达95.9%，并且ARA保留率高达97.3%。对酶法脱胶后的ARA藻油进一步脱酸发现，藻油酸价从14.5降至1.1 mg KOH/g，并同步生成29.2%的功能性甘油二酯（DAG）。甘油二酯作为功能性脂质，不仅提高了油脂品质，还增强了其营养价值。

通过比较酶法脱胶脱酸ARA藻油（EDDO）与ARA毛油（CO）、市售精炼藻油（CRO）发现，酶法精炼对藻油的抗氧化稳定性、脂肪酸组成和含油量影响较小。在抗氧化稳定性方面，EDDO的过氧化值（PV）、水分含量和氧化诱导时间与CO相比几乎保持不变；脂肪酸组成上，CO由13.10%的饱和脂肪酸（SFAs）和83.18%的不饱和脂肪酸（USFAs）组成，其中ARA占51.50%，经酶法脱胶和脱酸后，脂肪酸组成未发生显著变化，而碱炼脱酸会导致不饱和脂肪酸含量大幅下降。

风味特性分析表明，PLA1@MCM-41-C8酶炼前后藻油的风味特征保持不变，主要的挥发性化合物仍以醇类和醛类为主。共检测到74种挥发性化合物，分为酮类、醇类、酸类、含硫化合物、醛类和杂环化合物六类，酶法精炼对藻油挥发性成分的影响更为温和，避免了传统精炼过程中风味化合物的大量流失或异常变化。

与游离磷脂酶PLA1相比，PLA1@MCM-41-C8的热稳定性、pH耐受性、溶剂耐受性和长期重复使用性显著提升。在15-65 温度范围内，PLA1@MCM-41-C8的酶活性始终高于游离PLA1，尤其在高温下优势明显；在不同pH条件下，固定化酶的稳定性更优，在pH7.0时固载率和酶活性达到峰值；在丙酮、乙醚和石油醚等溶剂中保持较高催化性能，在石油醚中酶活性最高可达1043.3 U/g；在4℃下储存45天后，仍保留75%的初始活性，七次重复使用循环后仍保留90%的初始催化能力。

此外，研究还通过Michaelis-Menten动力学模型和阿伦尼乌斯方程分析了酶法脱酸的反应动力学，发现PLA1@MCM-41-C8的米氏常数（ K_m ）显著低于游离PLA1，最大反应速率（ V_m ）是游离PLA1的1.8倍，表观动力学参数（ V_m/K_m ）是游离PLA1的20.6倍，活化能则从77.8 kJ/mol降至65.3 kJ/mol，表明固定化后酶对底物的亲和力更高、催化效率更强。分子对接模拟揭示，油酸和甘油均通过氢键和疏水相互作用与PLA1的氨基酸残基形成稳定相互作用，结合能分别为-7.5和-3.7 kcal/mol。

该固定化酶还表现出广泛的适用性，将其应用于花生油、大豆油、菜籽油、米糠油、核桃油等多种食用油的酶法脱胶和脱酸，所有测试植物油的脱胶率均超过91.7%，其中大豆油的脱胶率最高，为96.5%；经酶法脱酸后，各种油脂的酸价均降至食用油标准要求以下，部分达到精炼油的一级标准。

这项研究开发的固定化磷脂酶PLA1@MCM-41-C8，在实现高效脱胶脱酸的同时，保持了藻油的营养成分、风味特征和抗氧化稳定性，且具有良好的稳定性和重复使用性，在油脂绿色加工领域展现出广阔的产业化前景。

论文信息：

Zhonghui Liu, Yi Zhang, Tieliang Liu, Qi Zhou, Yandaizi Zhou, Kheng-Lim Goh, Siew-Young Quek, Fenghong Huang, Mingming Zheng. Two Birds with One Stone: Enzymatic Degumming and Deacidification for Arachidonic Acid-Enriched Algae Oil Using PLA1@MCM-41-C8. Engineering, DOI: 10.1016/j.eng.2025.11.030

来源：Engineering

更多科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发