



合成生物学的加入，让塑料污染治理有了突破性的“生物武器”。通过开发“源头-末端”双向治理体系，我们不仅提升了聚酯塑料的可降解性，也打通了酯基塑料治理的“最后一公里”，为实现聚酯全生命周期的绿色治理提供了可持续、可扩展的路径。未来，我们希望能将这一技术拓展至更广泛的塑料种类与自然环境中，让海洋真正拥有“自净能力”。

[1] Yang Y et al. Nature Communications, 2023, 14(1): 1645.



POLYGONE

BUCT-iGEM

尽管聚酯塑料（如 PET、PBAT、PLA 等）作为目前应用较为广泛的可降解塑料，但它们在海洋环境中的降解效率并不高，与传统塑料无异，导致海洋环境中塑料的长期积累。为了应对这一挑战，我们的项目聚焦于开发一类能够在海洋环境中高效降解聚酯塑料的酯水解酶。

通过文献调研，我们发现一种名为“角质酶”的天然酶，在降解 PBAT 方面表现优异。这种酶最早来源于高温细菌 *Thermobifida fusca*，属于 α/β 水解酶超家族，其特殊的 α/β 水解酶折叠结构使得角质酶具有较大的底物结合位点，能够高效结合大分子聚酯塑料^[ii]。同时其开阔的底物结合口袋使塑料在角质酶的活性位点处得以稳定结合，为后续的水解反应创造有利条件。

为了使酶能够适配海洋环境，我们团队以角质酶基因序列 (TfCut) 为模板，利用 BLAST 工具比对筛选出多种具有高度相似性的海洋来源的细菌产生的酶的基因序列。随后，我们结合溶解度预测、分子对接以及动力学模拟评估酶与 PBAT/PLA/PET 的结合能力以及结合稳定性，最终优选出几种性能优越的工程化酶，并正在进行实验验证。

鉴于海洋环境中大量存在塑料薄膜、塑料瓶等废弃物，本项目所研究的高效降解聚酯塑料的酶可用于海洋塑料垃圾的生物处理。我们计划通过固定化技术开发新型酶制剂，并在塑料工业生产过程中将其与聚酯材料混合，制备出一种适用于海洋环境、具备高效降解性能的酯基功能性塑料。这一技术不仅能减少海洋污染物积累，还可降低对生态系统和人类健康的潜在危害，为“塑料无害化”提供新的解决路径。



除了从源头增强塑料可降解性，我们还基于该高效酯水解酶设计了一套微塑料富集与降解系统，可在水体中有效捕捉并分解酯基微塑料，并通过检测降解产物实现对环境中聚酯污染程度的量化评估。未来我们将借助合成生物学方法，整合检测与降解功能，构建基于生物传感器的全细胞系统，为塑料污染的智能监测与治理提供全新解决方案。



With the addition of synthetic biology, plastic pollution control now has a breakthrough “biological weapon.” By developing a dual “source-to-end” governance system, we not only improved the degradability of polyester plastics but also bridged the “last mile” of ester-based plastic treatment. This offers a sustainable and scalable pathway for green governance across the full life cycle of polyester. Looking ahead, we hope to expand this technology to more types of plastics and broader natural environments, ultimately enabling the ocean to regain its true “self-purifying capacity.”

[1] Yang Y et al. Nature Communications, 2023, 14(1): 1645.



POLYGONE

BUCT-iGEM



Although polyester plastics (such as PET, PBAT, PLA, etc.) are currently among the most widely used degradable plastics, their degradation efficiency in the marine environment is low, making them essentially indistinguishable from traditional plastics and leading to the long-term accumulation of plastics in the ocean. To address this challenge, our project focuses on developing a class of ester hydrolases capable of efficiently degrading polyester plastics in marine environments.

Through literature research, we discovered that a natural enzyme known as cutinase shows excellent performance in degrading PBAT. This enzyme was first identified in the thermophilic bacterium *Thermobifida fusca* and belongs to the α/β hydrolase superfamily. Its special α/β hydrolase fold structure provides cutinase with a large substrate-binding site, allowing efficient interaction with macromolecular polyester plastics[1]. Moreover, its wide substrate-binding pocket enables stable binding of plastics at the enzyme's active site, creating favorable conditions for subsequent hydrolysis reactions.

To adapt the enzyme to marine environments, our team used the cutinase gene sequence (TfCut) as a template and employed the BLAST tool to screen gene sequences from marine-derived bacteria with high similarity. We then combined solubility prediction, molecular docking, and kinetic simulations to evaluate enzyme-substrate binding ability and stability with PBAT/PLA/PET. Ultimately, we selected several engineered enzymes with superior performance, which are currently undergoing experimental validation.

Given the abundance of plastic films, bottles, and other waste in marine environments, the enzymes we are studying for efficient polyester degradation could be applied in the biotreatment of marine plastic debris. We plan to develop novel immobilized enzyme formulations and integrate them with polyester materials during industrial plastic production to create ester-functional plastics suitable for marine environments with enhanced degradation capacity. This technology not only reduces the accumulation of marine pollutants but also minimizes potential risks to ecosystems and human health, providing new solutions for the “harmless treatment of plastics.”



In addition to enhancing plastic degradability at the source, we designed a microplastic enrichment and degradation system based on this efficient ester hydrolase. This system can effectively capture and decompose ester-based microplastics in water and quantify polyester pollution levels by detecting degradation products. In the future, we aim to integrate detection and degradation functions using synthetic biology, constructing a whole-cell system based on biosensors to provide new intelligent solutions for monitoring and managing plastic pollution.



Avec l'apport de la biologie de synthèse, la lutte contre la pollution plastique dispose désormais d'une « arme biologique » innovante. En développant un système de gouvernance « de la source à l'aval », nous avons non seulement amélioré la biodégradabilité des plastiques polyesters, mais aussi franchi le « dernier kilomètre » du traitement des plastiques esters. Cela ouvre une voie durable et extensible vers une gouvernance verte du cycle de vie complet des polyesters. À l'avenir, nous espérons étendre cette technologie à d'autres types de plastiques et à des environnements naturels plus larges, permettant ainsi aux océans de retrouver une véritable « capacité d'auto-épuration ».

[1] Yang Y et al. Nature Communications, 2023, 14(1): 1645.



POLYGONE

BUCT-iGEM

Bien que les plastiques polyesters (tels que le PET, le PBAT, le PLA, etc.) soient actuellement parmi les plastiques dits « biodégradables » les plus utilisés, leur efficacité de dégradation dans l'environnement marin reste très faible, ce qui les rend similaires aux plastiques traditionnels et entraîne une accumulation à long terme dans les océans. Pour relever ce défi, notre projet se concentre sur le développement d'une classe d'estérases hydrolases capables de dégrader efficacement les plastiques polyesters en milieu marin. À travers des recherches bibliographiques, nous avons découvert qu'une enzyme naturelle appelée cutinase présente d'excellentes performances dans la dégradation du PBAT. Cette enzyme a été initialement identifiée chez la bactérie thermophile *Thermobifida fusca* et appartient à la superfamille des hydrolases α/β . Sa structure repliée particulière en α/β confère à la cutinase un site de liaison au substrat de grande taille, ce qui lui permet d'interagir efficacement avec les macromolécules de plastiques polyesters[1]. De plus, sa poche de liaison ouverte assure une fixation stable des plastiques sur le site actif de l'enzyme, créant ainsi des conditions favorables aux réactions d'hydrolyse ultérieures.

Afin d'adapter cette enzyme aux environnements marins, notre équipe a utilisé la séquence génique de la cutinase (TfCut) comme modèle et a employé l'outil BLAST pour cribler des séquences géniques provenant de bactéries marines présentant une forte similarité. Nous avons ensuite combiné des prédictions de solubilité, des simulations de docking moléculaire et des modélisations cinétiques pour évaluer la capacité et la stabilité de liaison enzyme-substrat vis-à-vis du PBAT/PLA/PET. Finalement, nous avons sélectionné plusieurs enzymes modifiées présentant des performances supérieures, actuellement en cours de validation expérimentale.

Compte tenu de la grande quantité de films plastiques, bouteilles et autres déchets présents dans les océans, les enzymes étudiées pour la dégradation efficace des polyesters pourraient être appliquées au traitement biologique des déchets plastiques marins. Nous prévoyons de développer de nouvelles formulations enzymatiques immobilisées et de les intégrer aux matériaux polyesters lors de la production industrielle de plastiques, afin de fabriquer des plastiques fonctionnels à base d'esters adaptés aux environnements marins et dotés de hautes performances de dégradation. Cette technologie pourrait non seulement réduire l'accumulation de polluants marins, mais également limiter les risques potentiels pour les écosystèmes et la santé humaine, offrant ainsi une nouvelle voie pour un traitement « inoffensif » des plastiques.



En plus d'améliorer la biodégradabilité des plastiques dès leur conception, nous avons conçu un système d'enrichissement et de dégradation des microplastiques basé sur cette estérase performante. Ce système permet de capturer et de décomposer efficacement les microplastiques à base d'esters présents dans l'eau, tout en quantifiant le degré de pollution polyester grâce à la détection des produits de dégradation. À l'avenir, nous visons à intégrer les fonctions de détection et de dégradation grâce à la biologie de synthèse, afin de construire un système cellulaire complet basé sur des biocapteurs, offrant une nouvelle solution intelligente pour le suivi et la gestion de la pollution plastique.



Con la incorporación de la biología sintética, el control de la contaminación plástica ahora cuenta con un innovador “arma biológica”. Al desarrollar un sistema de gestión “de la fuente al final”, no solo mejoramos la degradabilidad de los plásticos de poliéster, sino que también superamos el “último kilómetro” del tratamiento de plásticos a base de ésteres. Esto ofrece una ruta sostenible y escalable hacia la gestión verde del ciclo de vida completo de los poliésteres. En el futuro, esperamos expandir esta tecnología a más tipos de plásticos y a entornos naturales más amplios, permitiendo que los océanos recuperen su verdadera “capacidad de auto-purificación.”

[1] Yang Y et al. Nature Communications, 2023, 14(1): 1645.



POLYGONE
BUCT-iGEM

Aunque los plásticos de poliéster (como PET, PBAT, PLA, etc.) se consideran actualmente entre los plásticos degradables más utilizados, su eficiencia de degradación en ambientes marinos es muy baja, siendo en la práctica similares a los plásticos tradicionales y provocando una acumulación a largo plazo en los océanos. Para enfrentar este desafío, nuestro proyecto se centra en desarrollar una clase de esterasas hidrolasas capaces de degradar eficientemente los plásticos de poliéster en ambientes marinos.

A través de la investigación bibliográfica, descubrimos que una enzima natural llamada cutinasa muestra un rendimiento sobresaliente en la degradación del PBAT. Esta enzima fue identificada por primera vez en la bacteria termófila *Thermobifida fusca* y pertenece a la superfamilia de hidrolasas α/β . Su estructura de pliegue α/β particular le otorga a la cutinasa un sitio de unión al sustrato amplio, lo que le permite interactuar eficazmente con macromoléculas de plásticos de poliéster. Además, su bolsillo de unión abierto permite la fijación estable de los plásticos en el sitio activo de la enzima, creando condiciones favorables para las reacciones de hidrólisis posteriores.

Aunque los plásticos de poliéster (como PET, PBAT, PLA, etc.) se consideran actualmente entre los plásticos degradables más utilizados, su eficiencia de degradación en ambientes marinos es muy baja, siendo en la práctica similares a los plásticos tradicionales y provocando una acumulación a largo plazo en los océanos. Para enfrentar este desafío, nuestro proyecto se centra en desarrollar una clase de esterasas hidrolasas capaces de degradar eficientemente los plásticos de poliéster en ambientes marinos. A través de la investigación bibliográfica, descubrimos que una enzima natural llamada cutinasa muestra un rendimiento sobresaliente en la degradación del PBAT. Esta enzima fue identificada por primera vez en la bacteria termófila *Thermobifida fusca* y pertenece a la superfamilia de hidrolasas α/β . Su estructura de pliegue α/β particular le otorga a la cutinasa un sitio de unión al sustrato amplio, lo que le permite interactuar eficazmente con macromoléculas de plásticos de poliéster. Además, su bolsillo de unión abierto permite la fijación estable de los plásticos en el sitio activo de la enzima, creando condiciones favorables para las reacciones de hidrólisis posteriores.



Además de mejorar la degradabilidad de los plásticos desde el origen, hemos diseñado un sistema de enriquecimiento y degradación de microplásticos basado en esta esterase altamente eficiente. Este sistema puede capturar y descomponer eficazmente los microplásticos a base de ésteres presentes en el agua, y cuantificar el nivel de contaminación por poliéster mediante la detección de los productos de degradación. En el futuro, pretendemos integrar funciones de detección y degradación a través de la biología sintética, construyendo un sistema celular completo basado en biosensores para proporcionar nuevas soluciones inteligentes para la monitorización y gestión de la contaminación plástica.