

因此，我们必须正视一个事实：“可降解”并不等于“可自然降解”，“环保塑料”也未必代表“无害塑料”。在缺乏完善降解系统和环境适配技术的困境下，这类材料可能只是“换了包装”的污染源，而非真正实现环境友好。

要解决这一难题，我们必须重新审视“可降解”的真正含义。真正的环保不只是材料的更替，更需要技术、制度与社会意识的共同演进。我们必须重新思考“可降解”的概念与真实效益，探索即使在复杂自然环境中也能稳定高效降解的方案，尤其是在日益严峻的海洋塑料污染问题上。这是一场对技术的挑战，也是一场关乎我们未来生活方式的深刻革命。为此，很多前沿团队和小组尝试从合成生物学角度切入，试图用酶工程打开破解之门。

[1] Kang J. Resources Recycling, 2022, 5: 30-33.

[2] Nakayama A, Yamano N, Kawasaki N. Polymer Degradation and Stability, 2019, 166: 290-299.

[3] Han S, Zhang F. China Environmental Science, 2023, 43: 6445-6464.

[4] Ingrao C et al. Science of the Total Environment, 2015, 537: 385.

[5] Choi B et al. Sustainability, 2018, 10: 2369.



# POLYGONE

BUCT-iGEM

随着塑料产品被越来越广泛使用，我们早已无法完全摆脱它们的存在。但与此同时，塑料污染问题也日益严峻，促使人们不断寻找更环保的替代材料。自20世纪末以来，兼备使用特性和环保特性的“可降解塑料”被人们视为破解塑料污染困局的绿色钥匙。PET、PBAT和PLA作为主流聚酯类塑料，被广泛应用于纺织、包装、电子电器、医疗卫生等领域。因此不少国家也出台了相关政策，鼓励它们逐步取代传统塑料，以减轻塑料对环境的伤害。然而，由于现存主流降解工艺存在缺陷，真正实现回收再利用的比例仅不到10%<sup>[1]</sup>。该类材料的实际降解率未能达到预期，它们的“绿色”形象因此逐渐受到质疑，甚至与传统塑料无异。特别是在自然环境中，主流可降解塑料降解缓慢，效果不理想，反而可能带来新的污染隐患。人们原以为已经远离“白色污染”，实际上却可能落入了另一种环保误区。

PET、PLA与PBAT虽具备一定的可降解性，在实验室或工业堆肥条件下，表现出良好的降解能力，但这些降解需要满足高温、高湿、充足氧气和特定微生物群落等理想环境。尤其在海洋这样低温、缺氧的复杂生态系统中，远远无法满足这些条件。相关研究显示，PET、PBAT和PLA在土壤中降解速率较快，其表面形貌和化学结构会发生显著变化；而在海洋中，其缺乏可降解性导致它们被认定为海洋中的污染物<sup>[2]</sup>。这意味着，它们仍可能在自然界中长期残留，加重海洋塑料污染。

虽然PET、PLA、PBAT等材料具有一定的生物可降解性，但它们在自然环境中的降解速度仍然十分缓慢，降解周期长达数十年，因此需要通过堆肥化处理来加速其降解过程。我国针对城市固废垃圾的主要处理方式仍为厌氧发酵，生物可降解塑料在厌氧发酵时几乎不降解，通常都需要进行繁琐的分拣过程将其分离<sup>[3]</sup>。因此，开发新型可降解塑料，提高其在环境中的自然降解能力，对于降低塑料的环境污染具有重要意义。

更令人意外的是，这些“环保材料”在生产环节本身也可能对环境造成更大伤害。以PLA为例，其生产主要依赖玉米、甘蔗等生物质原料，但大规模制造过程中往往伴随大量土地使用、水资源消耗和温室气体排放，可能带来不容忽视的环境代价。相关研究显示，在部分使用场景中，PLA的碳足迹甚至高于某些石油基塑料<sup>[4、5]</sup>。且若其降解条件无法被满足，大量的塑料制品最终仍以焚烧或填埋的传统方式处理，不仅环保效益大打折扣，还可能造成二次污染。

Therefore, we must face the fact that "biodegradable" does not equate to "naturally degradable," and "eco-friendly plastics" are not necessarily "harmless plastics." Without a complete degradation system and environmental adaptation technology, these materials may simply be a "repackaged" source of pollution, rather than truly environmentally friendly.

To solve this problem, we must reexamine the true meaning of "biodegradable." True environmental protection is not just about replacing materials; it requires the joint evolution of technology, policies, and social awareness. We must rethink the concept of "biodegradable" and its real benefits, and explore solutions that can degrade stably and efficiently, even in complex natural environments—especially in the face of the increasingly severe issue of ocean plastic pollution. This is a technological challenge, but also a profound revolution regarding our future way of life. To this end, many cutting-edge teams and groups are trying to approach the problem from the perspective of synthetic biology, aiming to open the door to a solution through enzyme engineering.

[1] Kang J. Resources Recycling, 2022, 5: 30–33.

[2] Nakayama A, Yamano N, Kawasaki N. Polymer Degradation and Stability, 2019, 166: 290–299.

[3] Han S, Zhang F. China Environmental Science, 2023, 43: 6445–6464.

[4] Ingrao C et al. Science of the Total Environment, 2015, 537: 385.

[5] Choi B et al. Sustainability, 2018, 10: 2369.



# POLYGONE

BUCT-iGEM



With the increasing use of plastic products, we have long been unable to completely eliminate their presence. However, at the same time, the issue of plastic pollution has become increasingly severe, prompting efforts to find more environmentally friendly alternative materials. Since the late 20th century, "biodegradable plastics," which combine functional properties with environmental benefits, have been seen as the green key to solving the plastic pollution dilemma. PET, PBAT, and PLA, as mainstream polyester plastics, are widely used in textiles, packaging, electronics, and healthcare. As a result, many countries have enacted policies to encourage their gradual replacement of traditional plastics in order to reduce the environmental harm caused by plastics. However, due to the flaws in current mainstream degradation processes, the actual recycling rate is less than 10% [1]. The actual degradation rate of these materials has not met expectations, and their "green" image is gradually being questioned, even resembling traditional plastics. Especially in natural environments, mainstream biodegradable plastics degrade slowly, with unsatisfactory results, and may even pose new pollution risks. What people once thought would eliminate "white pollution" may, in fact, lead to another environmental misconception.

PET, PLA, and PBAT—although they have some degradability—show good degradation capabilities under laboratory or industrial composting conditions. However, these degradation processes require ideal conditions such as high temperature, high humidity, sufficient oxygen, and specific microbial communities. In the ocean, which is a low-temperature, oxygen-poor, and complex ecosystem, these conditions are far from being met. Research shows that PET, PBAT, and PLA degrade more rapidly in soil, with significant changes in their surface morphology and chemical structure. However, in the ocean, their lack of degradability classifies them as pollutants[2]. This means they may still persist in nature for long periods, aggravating ocean plastic pollution. While PET, PLA, and PBAT materials have some biodegradability, their degradation rate in natural environments is still very slow, with degradation cycles lasting decades. As a result, they require composting treatment to accelerate their degradation process. In China, the main treatment method for urban solid waste is still anaerobic fermentation, and biodegradable plastics barely degrade during anaerobic fermentation. They usually require a tedious sorting process to separate them[3]. Therefore, developing new biodegradable plastics that enhance their natural degradation in the environment is of great significance in reducing plastic pollution.

What is even more surprising is that these "environmentally friendly materials" might cause more environmental damage during production. Take PLA, for example. Its production mainly relies on biomass materials such as corn and sugarcane. However, large-scale manufacturing often involves extensive land use, water resource consumption, and greenhouse gas emissions, leading to significant environmental costs. Research shows that in some usage scenarios, PLA's carbon footprint is even higher than some petroleum-based plastics[4,5]. Furthermore, if the degradation conditions are not met, many plastic products are still treated by incineration or landfill, which not only diminishes their environmental benefits but may also cause secondary pollution.

Il est donc nécessaire de reconnaître un fait : "biodégradable" ne signifie pas "biodégradable naturellement", et "plastiques écologiques" ne sont pas nécessairement des "plastiques inoffensifs". En l'absence d'un système de dégradation complet et de technologies d'adaptation environnementale, ces matériaux peuvent être simplement une source de pollution "reconditionnée", et non véritablement écologiques.

Pour résoudre ce problème, nous devons réexaminer la véritable signification du terme "biodégradable". La véritable protection de l'environnement ne se résume pas à un remplacement de matériaux, elle nécessite l'évolution conjointe des technologies, des politiques et de la conscience sociale. Nous devons repenser le concept de "biodégradable" et ses véritables bénéfices, et explorer des solutions qui permettent une dégradation stable et efficace, même dans des environnements naturels complexes, en particulier face au problème croissant de la pollution plastique marine. Il s'agit d'un défi technologique, mais aussi d'une révolution profonde concernant nos modes de vie futurs. À cet égard, de nombreuses équipes de pointe et groupes tentent d'aborder le problème du point de vue de la biologiesynthétique, afin d'ouvrir la porte à une solution grâce à l'ingénierie des enzymes.

- [1] Kang J. Resources Recycling, 2022, 5: 30-33.
- [2] Nakayama A, Yamano N, Kawasaki N. Polymer Degradation and Stability, 2019, 166: 290-299.
- [3] Han S, Zhang F. China Environmental Science, 2023, 43: 6445-6464.
- [4] Ingrao C et al. Science of the Total Environment, 2015, 537: 385.
- [5] Choi B et al. Sustainability, 2018, 10: 2369.



# POLYgone

BUCT-IGEM

Avec l'utilisation croissante des produits en plastique, il est désormais impossible de se débarrasser complètement de leur présence. Cependant, parallèlement, le problème de la pollution plastique devient de plus en plus grave, incitant les chercheurs à trouver des matériaux alternatifs plus écologiques. Depuis la fin du 20e siècle, les "plastiques biodégradables", alliant propriétés fonctionnelles et avantages environnementaux, sont considérés comme la clé verte pour résoudre le dilemme de la pollution plastique. PET, PBAT et PLA, en tant que plastiques polyesters de premier plan, sont largement utilisés dans les secteurs du textile, de l'emballage, de l'électronique et de la santé. De ce fait, de nombreux pays ont adopté des politiques pour encourager leur remplacement progressif des plastiques traditionnels afin de réduire les dommages environnementaux. Cependant, en raison des défauts des processus de dégradation actuellement utilisés, le taux réel de recyclage est inférieur à 10 %[1]. Le taux de dégradation réel de ces matériaux n'a pas répondu aux attentes, et leur image "verte" est progressivement remise en question, ressemblant même aux plastiques traditionnels. En particulier, dans les environnements naturels, les plastiques biodégradables principaux se dégradent lentement, avec des résultats insatisfaisants, et peuvent même entraîner de nouveaux risques de pollution. Ce que l'on pensait être l'élimination de la "pollution blanche" pourrait, en réalité, conduire à un autre malentendu environnemental.

PET, PLA et PBAT, bien qu'ils présentent une certaine biodégradabilité, montrent de bonnes capacités de dégradation dans des conditions de laboratoire ou de compostage industriel. Cependant, ces processus de dégradation nécessitent des conditions idéales telles qu'une température élevée, une humidité élevée, un oxygène suffisant et des communautés microbiennes spécifiques. Dans l'océan, qui est un écosystème à basse température, pauvre en oxygène et complexe, ces conditions sont loin d'être remplies. Des recherches montrent que le PET, le PBAT et le PLA se dégradent plus rapidement dans le sol, avec des changements importants dans leur morphologie de surface et leur structure chimique. Cependant, dans l'océan, leur manque de biodégradabilité les classe comme des polluants[2]. Cela signifie qu'ils peuvent persister dans la nature pendant de longues périodes, aggravant la pollution plastique marine. Bien que les matériaux PET, PLA et PBAT aient une certaine biodégradabilité, leur taux de dégradation dans les environnements naturels reste très lent, avec des cycles de dégradation pouvant durer des décennies. Ils nécessitent donc un traitement par compostage pour accélérer leur processus de dégradation. En Chine, la méthode principale de traitement des déchets solides urbains reste la fermentation anaérobie, et les plastiques biodégradables se dégradent à peine lors de la fermentation anaérobie. Ils nécessitent généralement un processus de tri fastidieux pour les séparer[3]. Par conséquent, le développement de nouveaux plastiques biodégradables qui améliorent leur dégradation naturelle dans l'environnement revêt une grande importance pour réduire la pollution plastique.

Ce qui est encore plus surprenant, c'est que ces "matériaux écologiques" peuvent également causer des dommages environnementaux plus importants lors de leur production. Prenons l'exemple du PLA, dont la production repose principalement sur des matières premières biologiques comme le maïs et la canne à sucre. Cependant, la fabrication à grande échelle entraîne souvent une consommation excessive des terres, des ressources en eau et des émissions de gaz à effet de serre, ce qui engendre des coûts environnementaux considérables. Des recherches montrent que dans certains scénarios d'utilisation, l'empreinte carbone du PLA est même plus élevée que celle de certains plastiques à base de pétrole[4,5]. De plus, si les conditions de dégradation ne sont pas satisfaites, de nombreux produits plastiques sont toujours traités par incinération ou mise en décharge, ce qui réduit considérablement leurs avantages environnementaux et peut entraîner une pollution secondaire.

Por lo tanto, debemos enfrentar el hecho de que "biodegradable" no significa "biodegradable de manera natural", y "plásticos ecológicos" no son necesariamente "plásticos inofensivos". Sin un sistema de degradación completo y tecnologías de adaptación ambiental, estos materiales pueden ser simplemente una fuente de contaminación "reempacada", en lugar de verdaderamente ecológicos. Para resolver este problema, debemos reexaminar el verdadero significado de "biodegradable". La verdadera protección ambiental no solo consiste en reemplazar materiales, sino que requiere la evolución conjunta de la tecnología, las políticas y la conciencia social. Debemos repensar el concepto de "biodegradable" y sus verdaderos beneficios, y explorar soluciones que permitan una degradación estable y eficiente, incluso en entornos naturales complejos, especialmente frente al creciente problema de la contaminación plástica marina. Este es un desafío tecnológico, pero también una revolución profunda relacionada con nuestros futuros estilos de vida. Con este fin, muchos equipos de vanguardia y grupos intentan abordar el problema desde la perspectiva de la biología sintética, con el objetivo de abrir la puerta a una solución mediante la ingeniería enzimática.

[1] Kang J. Resources Recycling, 2022, 5: 30-33.

[2] Nakayama A, Yamano N, Kawasaki N. Polymer Degradation and Stability, 2019, 166: 290-299.

[3] Han S, Zhang F. China Environmental Science, 2023, 43: 6445-6464.

[4] Ingrao C et al. Science of the Total Environment, 2015, 537: 385.

[5] Choi B et al. Sustainability, 2018, 10: 2369.



# POLYGONE

BUCT-IGEM



Con el uso creciente de productos plásticos, ya no podemos eliminar completamente su presencia. Sin embargo, al mismo tiempo, el problema de la contaminación plástica se ha vuelto cada vez más grave, lo que impulsa los esfuerzos para encontrar materiales alternativos más ecológicos. Desde finales del siglo XX, los "plásticos biodegradables", que combinan propiedades funcionales con beneficios ambientales, se han visto como la clave verde para resolver el dilema de la contaminación plástica. PET, PBAT y PLA, como plásticos poliéster principales, se utilizan ampliamente en sectores como textiles, empaques, electrónica y salud. Como resultado, muchos países han promulgado políticas para fomentar su reemplazo gradual de plásticos tradicionales con el fin de reducir el daño ambiental causado por los plásticos. Sin embargo, debido a los defectos de los procesos de degradación existentes, la tasa real de reciclaje es inferior al 10% [1]. La tasa de degradación real de estos materiales no ha cumplido las expectativas y su imagen "verde" está siendo cuestionada gradualmente, siendo casi indistinguible de los plásticos tradicionales. Especialmente en los entornos naturales, los plásticos biodegradables principales se degradan lentamente, con resultados insatisfactorios, y pueden incluso generar nuevos riesgos de contaminación. Lo que la gente pensaba que eliminaría la "contaminación blanca" podría, en realidad, caer en otra falacia ambiental.

PET, PLA y PBAT—aunque tienen cierta biodegradabilidad—muestran buenas capacidades de degradación en condiciones de laboratorio o compostaje industrial. Sin embargo, estos procesos de degradación requieren condiciones ideales como alta temperatura, alta humedad, suficiente oxígeno y comunidades microbianas específicas. En el océano, que es un ecosistema de baja temperatura y oxígeno, estas condiciones están lejos de cumplirse. Investigaciones muestran que PET, PBAT y PLA se degradan más rápidamente en el suelo, con cambios significativos en su morfología superficial y estructura química. Sin embargo, en el océano, su falta de biodegradabilidad los clasifica como contaminantes[2]. Esto significa que pueden persistir en la naturaleza durante largos períodos, agravando la contaminación plástica marina. Si bien los materiales PET, PLA y PBAT tienen cierta biodegradabilidad, su tasa de degradación en los entornos naturales sigue siendo muy lenta, con ciclos de degradación que duran décadas. Por lo tanto, requieren tratamiento por compostaje para acelerar su proceso de degradación. En China, el método principal para el tratamiento de los desechos sólidos urbanos sigue siendo la fermentación anaeróbica, y los plásticos biodegradables apenas se degradan durante la fermentación anaeróbica. Por lo general, se requiere un proceso tedioso de separación para separarlos[3]. Por lo tanto, desarrollar nuevos plásticos biodegradables que mejoren su degradación natural en el medio ambiente es de gran importancia para reducir la contaminación plástica.

Lo que es aún más sorprendente es que estos "materiales ecológicos" también pueden causar más daños ambientales durante su producción. Tomemos el PLA como ejemplo, cuya producción depende principalmente de materias primas biológicas como el maíz y la caña de azúcar. Sin embargo, la fabricación a gran escala a menudo conlleva un uso extensivo de tierras, consumo de recursos hídricos y emisiones de gases de efecto invernadero, lo que genera costos ambientales significativos. Las investigaciones muestran que en algunos escenarios de uso, la huella de carbono del PLA es incluso mayor que la de algunos plásticos derivados del petróleo[4,5]. Además, si no se cumplen las condiciones de degradación, muchos productos plásticos aún se tratan por incineración o vertido en vertederos, lo que reduce significativamente sus beneficios ambientales y puede generar contaminación secundaria.