

TIỀM NĂNG ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ SINH HỌC TRONG XỬ LÝ CHẤT THẢI VI NHỰA

Chu Đức Hà¹, Vũ Khánh Linh^{1,2}, La Việt Hồng^{3,4}, Lê Thị Ngọc Quỳnh⁵,
Nguyễn Quốc Trung⁶, Nguyễn Xuân Cảnh⁶, Lê Trường Giang⁷

¹Viện Di truyền Nông nghiệp, Viện Khoa học Nông nghiệp Việt Nam

²Đại học Gonzaga (Hoa Kỳ)

³Trường Đại học Sư phạm Hà Nội 2

⁴Đại học Quốc gia Jeonbuk (Hàn Quốc)

⁵Trường Đại học Thủy lợi

⁶Học viện Nông nghiệp Việt Nam

⁷Viện Khoa học Nông nghiệp Việt Nam

Nhựa đã trở thành một vật liệu quan trọng trong thế giới hiện đại. Tuy nhiên, rác thải nhựa và vi nhựa xuất hiện ở tất cả các hệ sinh thái đang là một trong những thảm họa nhân tạo đáng báo động. Công nghệ sinh học đang là một trong những công cụ hiệu quả nhằm tổng hợp ra các loại nhựa sinh học có khả năng phân hủy hoàn toàn để thay thế cho nhựa có nguồn gốc dầu mỏ. Song song với đó, sự phát triển của công nghệ vi sinh cũng đạt được những thành tựu trong phân hủy sinh học vật liệu nhựa.

Vi nhựa: Bài toán môi trường toàn cầu

Quản lý rác thải vi nhựa được xem là một trong những bài toán khó xử lý nhất trong câu chuyện bảo vệ môi trường. Điều này càng trở nên nan giải bởi các sản phẩm từ nhựa được sản xuất với số lượng ngày càng lớn trên toàn thế giới, trong khi các biện pháp tái chế hay xử lý rác thải nhựa đã không thể theo kịp. Nghiên cứu của Awasthi và cộng sự [1] cho thấy, có khoảng 110.000-730.000 tấn hạt vi nhựa/năm được thải vào đất canh tác nông nghiệp tại khu vực Bắc Mỹ và châu Âu. Con số này còn lớn hơn rất nhiều ở các nước đang phát triển, nơi có nhu cầu sử dụng nhựa cao.

Bất cập thứ hai cần nhắc đến, đó là vi nhựa có thể xâm nhập vào chuỗi thức ăn thông qua các mắt xích cơ bản (động vật biển, cây trồng cạn) [2]. Cụ thể, 99% các loài chim biển có thể đã hấp thụ vi nhựa, hơn 600 loài sinh vật biển (gần 15% tổng số loài) sẽ bị đe dọa vì nhiễm vi nhựa hay vướng vào rác thải nhựa trên biển trước năm 2050. Đặc biệt, vi nhựa đã được chứng minh có thể ảnh hưởng gián tiếp (qua chuỗi thức ăn) và trực tiếp (vi nhựa có thể chứa phụ gia và vật liệu thô dạng polymer trong quá trình sản xuất sản phẩm nhựa...) đến các cơ quan

trong cơ thể (hệ thần kinh, cơ quan hô hấp, hệ tiết niệu, ống tiêu hóa và hệ bài tiết, da của con người) [3]. Xét về mặt kinh tế, số lượng vi nhựa đang tăng lên cũng có ảnh hưởng nhất định về kinh tế, đặc biệt là các quốc gia phụ thuộc chủ yếu vào ngành du lịch và thủy sản [4].

Có thể thấy, vi nhựa mặc dù rất nhỏ bé nhưng đã trở thành một bài toán về môi trường vô cùng lớn ở tất cả các nước trên thế giới. Để đối phó với vấn đề môi trường mới phát sinh này, các phương pháp công nghệ sinh học bền vững trong xử lý chất thải vi nhựa đã được xem xét.

Giải pháp công nghệ sinh học nhằm loại bỏ các sản phẩm nhựa có nguồn gốc dầu mỏ

Phần lớn rác thải nhựa có nguồn gốc dầu mỏ nên phân hủy rất chậm và tồn tại lâu dài trong tự nhiên. Vì vậy, sử dụng nhựa có nguồn gốc sinh học có khả năng phân hủy hoàn toàn và phân hủy sinh học vật liệu nhựa được xem là hai giải pháp có thể giúp giải quyết vấn đề này.

Nhựa sinh học có khả năng phân hủy

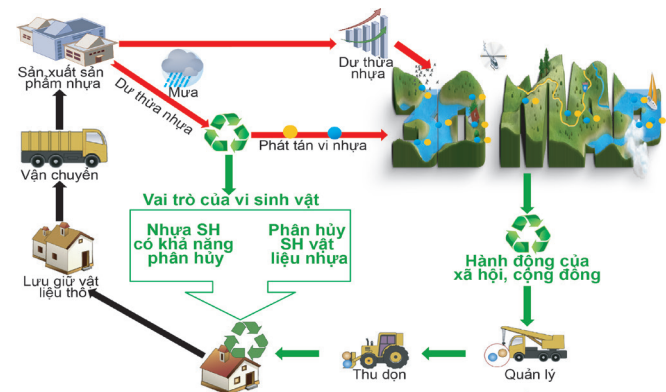
Nhựa sinh học có khả năng phân hủy chủ yếu làm từ nguồn nguyên liệu thô như mía, ngô hay

khoai tây, có thể được sử dụng để thay thế cho polyethylene $[(C_2H_4)_n]$, polypropylene $[(C_3H_6)_n]$, polystyrene $[(C_8H_8)_n]$, polyvinyl chloride $[(C_2H_3Cl)_n]$ và polyethylene terephthalate $[(C_{10}H_8O_4)_n]$ trong bao bì đóng gói [5] (hình 1). Mặc dù số lượng vật liệu nhựa sinh học có khả năng phân hủy được sản xuất vẫn còn rất nhỏ so với nhu cầu sử dụng trên thế giới, nhưng giải pháp thân thiện môi trường này luôn nhận được nhiều sự chú ý trong việc thay thế các nguyên liệu từ dầu mỏ (tài nguyên không tái tạo) bằng nguyên liệu nông nghiệp (có thể tái tạo). Tuy nhiên, phát triển nhựa sinh học có khả năng phân hủy vẫn còn gặp khó khăn do loại vật liệu này có tính tương thích sinh học kém, giòn, dễ thấm nước, tính chất về điện, nhiệt và vật lý kém [6].



Hình 1. Sản phẩm nhựa có nguồn gốc từ polymer truyền thống và polymer có thể phân hủy sinh học.

Trong số các dạng nhựa sinh học có tính phân hủy hoàn toàn, polyhydroxybutyrate (tổng hợp trong quá trình lên men của các loài vi sinh vật như *Bacillus*, *Pseudomonas* và *Alcaligenes* [7]) được xem là một trong những polymer có triển vọng nhất. Đây là dạng polymer có tính chất tương tự như nhựa làm từ dầu mỏ, nhưng có tính phân hủy sinh học (được phân giải bởi enzyme depolymerase trong nấm và vi khuẩn), tương thích sinh học cao, vì vậy được xem là không độc hại với môi trường và con người. Bên cạnh đó, việc sử dụng hoặc trộn lẫn các polymer có thể phân hủy sinh học như polylactic acid, polyhydroxyoctanoate, polybutylene succinate, poly-ε-caprolactone, poly(butylene succinate-co-adipate) và poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) cũng được sử dụng để thay thế các sản phẩm nhựa làm từ dầu mỏ truyền thống (hình 1 và 2). Phần lớn các loại nhựa này có thể được phân hủy trong điều kiện kỵ khí có gia nhiệt [8].



Hình 2. Sơ đồ hóa trong xử lý chất thải vi nhựa.

(SH: sinh học).

Hiện nay, nhựa sinh học có khả năng phân hủy hoàn toàn được sử dụng khá phổ biến trong sản xuất bao bì sản phẩm (vỏ sữa chua, cốc cà phê dùng một lần và túi rác phân hủy sinh học). Các dạng nhựa này được quy định là đủ tiêu chuẩn phân hủy sinh học nếu chúng bị phân hủy đến 90% (thành nước, các chất khoáng phụ gia và carbon dioxide) sau 12 tuần xử lý ở điều kiện nhiệt độ 60°C [1].

Phân hủy sinh học vật liệu nhựa nhờ vi sinh vật

Một số vi sinh vật (như nấm *Mucor rouxii* NRRL 1835, *Aspergillus flavus*, vi khuẩn *Streptomyces*) đã được chứng minh có khả năng phân hủy sinh học vật liệu nhựa [9]. Cụ thể, một số thành phần polymer trong nhựa trở thành chất nền cho quá trình trao đổi chất của các nhóm vi sinh vật dị dưỡng này. Một phương pháp công nghệ sinh học khác được ghi nhận là sử dụng quá trình nhiệt phân để chuyển đổi nhựa thành các loại dầu, sau đó được vi khuẩn hấp thụ [1, 9].

Trong quá trình phân hủy sinh học, các polymer trước tiên được phá vỡ thành các đơn phân, sau đó các monomer này tiếp tục được khoáng hóa. Để tăng hiệu quả phân hủy, một số tác động vật lý (gia nhiệt) hoặc hóa học sẽ được áp dụng nhằm tạo ra các tổn thương cơ học (đứt gãy các polymer), tạo điều kiện cho sự xâm nhập của nấm hay các vi khuẩn tiết enzyme phân giải polymer, chủ yếu là hai dạng depolymerase ngoại bào và nội bào [9]. Quá trình thủy phân polymer được xúc tác bởi enzyme theo hai bước. Đầu tiên, enzyme có nguồn gốc từ vi sinh vật bám vào bề mặt chất nền của polymer để xúc tác quá trình thủy phân polymer phức tạp, tạo ra các phân tử nhỏ hơn (monomer, dimer và oligomer). Các đơn phân này đi qua các màng ngoài bán thấm của vi khuẩn và trở thành nguồn năng

lượng và carbon. Tuy vậy, quá trình phân giải sinh học hợp chất polymer không diễn ra triệt để do một phần nhỏ của polymer được chuyển vào sinh khối của vi sinh vật, tạo ra mùn và các sản phẩm tự nhiên khác [1, 9]. Ví dụ, các nhà khoa học đã phát hiện ra chủng vi khuẩn *Ideonella sakaiensis* có khả năng phân giải polyethylene terephthalate nhờ enzyme polyethylene terephthalatease [10]. Kết quả này đã mở ra hướng đi mới cho việc sử dụng enzyme mono-(2-hydroxyethyl) terephthalatease để phân giải polyethylene terephthalate.

Tương tự, sự phân hủy sinh học polyethylene cũng được diễn ra qua hai cơ chế phân hủy sinh học 'oxo' và 'hydro'. Các tiền chất oxy hóa và tinh bột được biết đến là hai phụ gia chính đóng vai trò trong việc sản xuất ra dạng polyethylene có thể phân hủy sinh học. Trong quá trình thủy phân, các vi sinh vật có thể tìm và loại bỏ các chất phụ gia này, làm cho cấu trúc liên kết của vật liệu nhựa yếu đi, thúc đẩy quá trình oxy hóa quang và oxy hóa nhiệt xảy ra. Cuối cùng, vật liệu nhựa được phân rã dưới điều kiện áp suất thấp.

Về vấn đề tái chế vật liệu nhựa, mặc dù hiện nay đã có những công nghệ tái chế hiện đại nhưng vẫn còn một số hạn chế. Chi phí xử lý cao là một trở ngại cho việc tái chế các polymer chất lượng thấp. Sử dụng công nghệ vi sinh vật để biến rác thải nhựa thành những sản phẩm giá trị cao có thể là sự lựa chọn thay thế đáng tin cậy cho công nghệ tái chế đang được áp dụng hiện nay. Các thành công bước đầu của công nghệ sinh học đã cho thấy tiềm năng của việc tổng hợp polymer phân hủy sinh học.

*
* *

Vi nhựa đã phát tán ra toàn bộ sinh quyển nên cần phải có chiến

lược đa quốc gia để giải quyết do vi nhựa ẩn chứa nhiều tác động nguy hiểm, ảnh hưởng đến toàn bộ chuỗi thức ăn và sức khỏe của con người [2-4]. Phân hủy vi nhựa trở thành một vấn đề được quan tâm nhiều. Các vi sinh vật bản địa có khả năng phân hủy polymer được xem là một giải pháp thân thiện với môi trường và hiệu quả, nhất là trong bối cảnh sản phẩm nhựa tồn tại rất lâu ngoài tự nhiên. Sinh giới, xét cho cùng, trải qua hàng triệu năm tiến hóa, đã hình thành các loài vi sinh vật có hệ thống enzyme phân giải polymer phức tạp (như cellulose, hemicellulose và chitin) một cách tối ưu. Vì vậy, không có gì quá ngạc nhiên khi tìm thấy vi khuẩn *I. sakaiensis* có khả năng phân giải polymer tổng hợp. Đồng thời, ứng dụng kỹ thuật di truyền có thể làm tăng cường khả năng phân hủy sinh học thông qua việc nuôi cấy chủng vi sinh vật mới hoặc tạo ra sinh vật sản xuất enzyme có hoạt lực cao hơn. Tuy vậy, phương pháp công nghệ sinh học có thể chỉ giải quyết vấn đề rác thải vi nhựa ở quy mô nhỏ.

Bên cạnh đó, việc sản xuất nhựa sinh học có khả năng phân hủy từ các polymer tổng hợp sinh học cũng là một xu hướng của thời đại nhằm thay thế cho các loại nhựa không phân hủy sinh học hiện nay [5]. Trong giai đoạn tiếp theo, nếu quy trình phân hủy sinh học polyhydroxybutyrate diễn ra một cách triệt để [7], việc thương mại hóa sản xuất polymer sinh học này có thể trở thành một lựa chọn tốt để thay thế cho các polymer gốc dầu mỏ trong nhiều lĩnh vực. Tuy nhiên, quá trình phân hủy kỵ khí có gia nhiệt để phân rã các polymer sinh học này thường đòi hỏi thời gian rất dài. Đây có lẽ là một cơ hội phát triển cho ngành chế tạo vật liệu tổng hợp nano sinh học (bionanocomposite) [11] ✍

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] A.K. Awasthi, Q. Tan, J. Li (2020), "Biotechnological potential for microplastic waste", *Trends Biotechnol.*, **38**(11), pp.1196-1199.
- [2] Y.L. Wang, et al. (2020), "Potent impact of plastic nanomaterials and micromaterials on the food chain and human health", *Int. J. Mol. Sci.*, **21**(5), DOI: 10.3390/ijms21051727.
- [3] C. Campanale, et al. (2020), "A detailed review study on potential effects of microplastics and additives of concern on human health", *Int. J. Environ. Res. Public Health*, **17**(4), DOI: 10.3390/ijerph17041212.
- [4] P. Agamuthu, et al. (2019), "Marine debris: a review of impacts and global initiatives", *Waste Manag. Res.*, **37**(10), pp.987-1002.
- [5] L.P. Wackett (2019), "Bio-based and biodegradable plastics: an annotated selection of world wide web sites relevant to the topics in microbial biotechnology", *Microbial Biotechnology*, **12**(6), pp.1492-1493.
- [6] R. Ciriminna, M. Pagliaro (2019), "Biodegradable and compostable plastics: a critical perspective on the Dawn of their global adoption", *ChemistryOpen*, **9**(1), pp.8-13.
- [7] Y.S. Mostafa, et al. (2020), "Production and characterization of bioplastic by polyhydroxybutyrate accumulating erythrobacter aquimaris isolated from mangrove rhizosphere", *Molecules*, **25**(1), DOI: 10.3390/molecules25010179.
- [8] T. Narancic, et al. (2018), "Biodegradable plastic blends create new possibilities for end-of-life management of plastics but they are not a panacea for plastic pollution", *Environ. Sci. Technol.*, **52**(18), pp.10441-10452.
- [9] F.M. Lamberti, L.A. Román-Ramírez, J. Wood (2020), "Recycling of bioplastics: routes and benefits", *J. Polym. Environ.*, **28**, pp.2551-2571.
- [10] G.J. Palm, et al. (2019), "Structure of the plastic-degrading *Ideonella sakaiensis* MHETase bound to a substrate", *Nat. Commun.*, **10**, DOI: 10.1038/s41467-019-09326-3.
- [11] A.M. Díez-Pascual (2019), "Synthesis and applications of biopolymer composites", *Int. J. Mol. Sci.*, **20**(9), DOI: 10.3390/ijms20092321.