



NHỰA PHÂN HỦY SINH HỌC POLY (LACTIC ACID) TỔNG QUAN VÀ ỨNG DỤNG

Phuong Thanh Vũ¹, Trần Công Huyện¹, Đặng Thị Cẩm Tiên¹ và Phạm Ngọc Trúc Quỳnh¹

¹ Khoa Công nghệ, Trường Đại học Cần Thơ

Thông tin chung:

Ngày nhận: 16/06/2015

Ngày chấp nhận: 27/10/2015

Title:

Biodegradable Poly (lactic acid) (PLA): Overview and Applications

Từ khóa:

Nhựa nhiệt dẻo, nhựa phân hủy sinh học, tinh bột ngô, poly(lactic acid) PLA

Keywords:

Biodegradable plastic, corn-starch, thermoplastic, poly (lactic acid) (PLA)

ABSTRACT

Poly(lactic acid) (PLA) is made from a natural resource - corn starch and formulated from the condensation polymerization of D- or L- lactic acid or ring opening polymerization of the lactide. It is completely biodegradable, compostable, and can maintain its mechanical properties without rapid hydrolysis even in high humidity conditions. In this review, we study and explain why Poly (lactic acid) is considered as one of the most environment-friendly biodegradable thermoplastic polyesters with extensive applications.

TÓM TẮT

Nhựa Poly (lactic acid) (PLA) được sản xuất từ tinh bột ngô bằng quá trình trùng ngưng D- hoặc L-lactic acid hoặc mở vòng Lactide. Đây là loại vật liệu phân hủy sinh học, có khả năng phân hóa và có thể duy trì cơ tính kể cả trong điều kiện ẩm độ cao. Chính vì lý do đó, bài báo này sẽ tổng hợp và trình bày lý do tại sao Poly(lactic acid) lại được quan tâm như vật liệu thân thiện với môi trường có khả năng ứng dụng rộng rãi nhất hiện nay.

1 TỔNG QUAN

1.1 Giới thiệu chung

Poly(lactic acid) (PLA) là một trong những loại biopolymers được sử dụng phổ biến nhất hiện nay (khoảng 200.000 tấn/năm) (Johansson, *et al.*, 2012, Mehta, *et al.*, 2005) do có độ bền kéo cao, giá thành thấp, trong suốt, khả năng tương hợp sinh học cao. PLA được sản xuất từ tinh bột bắp và đây là nguồn nguyên liệu có khả năng tái tạo từ quá trình sản xuất nông nghiệp, không như các loại polymer khác được sản xuất từ nguyên liệu dầu mỏ. Đặc biệt, PLA rất thân thiện với môi trường bởi khả năng phân hủy sinh học cao (phân hủy hoàn toàn từ 90 đến 180 ngày, tùy theo điều kiện phân hủy sinh học) (Phuong, 2012). Chính vì vậy, trong mười năm trở lại đây, PLA được tập trung nghiên cứu và đưa vào sử dụng rộng rãi trên thị trường, thay thế cho những sản phẩm polymers có

nguồn gốc dầu mỏ không phân hủy sinh học.

Năm 2002, công ty Cargill Dow polymers (LLC) đã đưa PLA vào sản xuất ở qui mô công nghiệp đầu tiên ở Nebraska với công suất 140.000 tấn/năm (Phuong, 2012). Ước tính đến năm 2015 sản lượng tiêu thụ PLA có thể đạt đến 500.000 tấn/năm và còn có thể tăng đến 1 triệu tấn/năm đến năm 2020 (Gongzhuling Annual Output, 2014).

1.2 Tính chất hóa lý của PLA

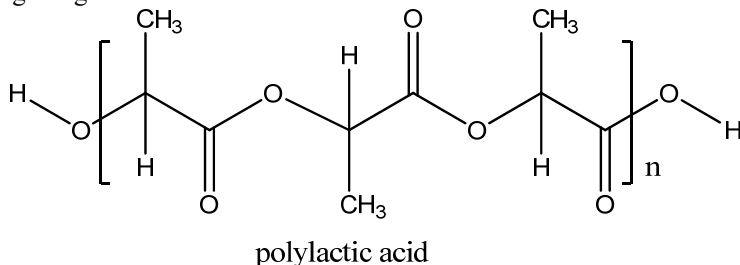
Poly (lactic acid) (PLA) có công thức hóa học là $(C_3H_4O_2)_n$, $M_w=0,89-2,98 \cdot 10^6$ (Lu L, 1999, Poly(lactic acid, 2014).

PLA thuộc nhóm poly (α -hydroxy ester), được điều chế từ nguồn nguyên liệu có nguồn gốc tự nhiên là tinh bột (đa phân từ tinh bột bắp).

PLA có tính chất hóa lý gần giống như poly

(ethylene terephthalat) (PET) được tổng hợp từ nguyên liệu hóa thạch như độ cứng cao, modun đàn hồi cao, độ bền kéo đứt lớn, nhưng khác với các vật liệu polymers có nguồn gốc dầu mỏ là PLA có

khả năng phân hủy sinh học cao nên thân thiện với môi trường (Drumright, *et al.*, 2000, Sawyer, 2003).

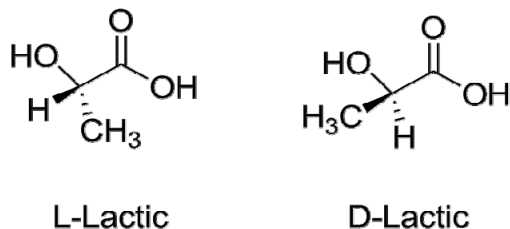


Hình 1: Công thức cấu tạo của PLA (CAS: 26100-51-6)

Lu L, 1999, *Polylactic acid*, 2014

Từ hai loại đồng phân của Lactic acid trong Hình 2 là D-Lactic, L-Lactic có thể điều chế được ba dạng đồng phân hình học của Lactide (Auras, *et al.*, 2011), từ đó thông qua phản ứng polymer hóa mở vòng, tạo ra ba dạng PLA với tính chất hóa lý được trình bày trong Bảng 1: poly (D-Lactic acid) (PDLA), poly (L-Lactic acid) (PLLA), poly (D,L-Lactic acid) (PDLLA) (Drumright, *et al.*, 2000, Xiao, *et al.*, 2012). Quá trình tạo thành Lactide là một trong những giai đoạn quan trọng nhất bởi độ tinh khiết quang học của Lactide có ảnh hưởng trực tiếp đến sản phẩm PLA. Trên thị trường hiện nay, PLA thương mại là sản phẩm blend của PLLA và PDLLA được tổng hợp dựa trên phản ứng polymers hóa giữa DLLA và LLA (Cargill/ Nature Works LLC Press Release, 2009). Trong đó tỉ lệ

phần trăm của PLLA trong hỗn hợp “blended” sẽ ảnh hưởng đến nhiệt độ chuyển thủy tinh T_g và nhiệt độ nóng chảy T_m của PLA thương mại (Drumright, *et al.*, 2000, Rasal, *et al.*, 2010).



Hình 2: Hai dạng đồng phân của monomer Lactic acid để tổng hợp PLA

Gupta, *et al.*, 2007, Xiao, *et al.*, 2012

Bảng 1: Tính chất hóa lý cơ bản của 3 dạng PLA (Xiao, *et al.*, 2012)

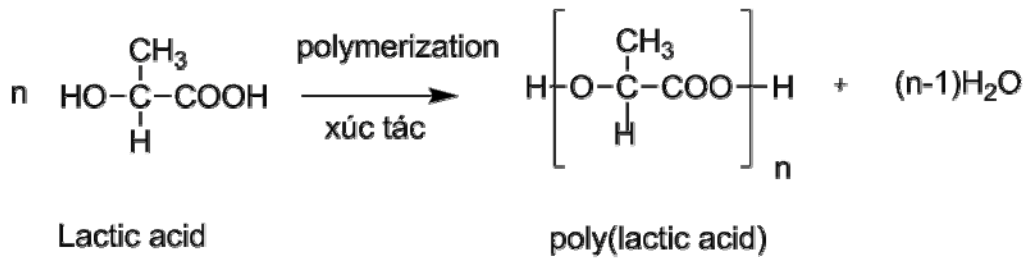
Tính chất	PDLA	PLLA	PDLLA
Khả năng hòa tan	Không tan trong nước, tan tốt trong các dung môi hữu cơ như benzene, chloroform, acetonitrile, tetrahydrofuran (THF), dioxane...		
Cấu trúc tinh thể	Kết tinh	Bán kết tinh	Vô định hình
Nhiệt độ nóng chảy (T_m) (°C)	~180	~180	Có thể thay đổi
Nhiệt độ chuyển thủy tinh (T_g) (°C)	50 – 60	55-60	Có thể thay đổi
Nhiệt độ phân hủy (°C)	~200	~200	185-200
Độ dẫn dài (%)	< 10		Có thể thay đổi
Thời gian bán hủy 37°C trong dung dịch nước muối thường (tháng)	4 – 6	4 - 6	2 – 3

1.3 Phương pháp chính điều chế PLA

PLA có thể được tổng hợp từ ba phương pháp khác nhau nhưng chủ yếu bằng phương pháp polymers hóa trực tiếp và phương pháp “cationic ring opening polymersization” (ROP) (Hartmann, *et al.*, 1998, Linnemann, *et al.*, 2003, Xiao, *et al.*, 2012).

1.3.1 Phương pháp polymers hóa trực tiếp

PLA chủ yếu được tổng hợp bằng phương pháp polymer hóa Lactic acid thành PLA có khối lượng phân tử thấp (vài nghìn đến vài chục nghìn đvC) sau đó tăng phân tử khối bằng các tác nhân kéo dài mạch cho đến khối lượng phân tử mong muốn. Phương trình polymer hóa bằng phương pháp polymer hóa trực tiếp được thể hiện trong Hình 3 (Garlotta, 2001, Xiao, *et al.*, 2012).

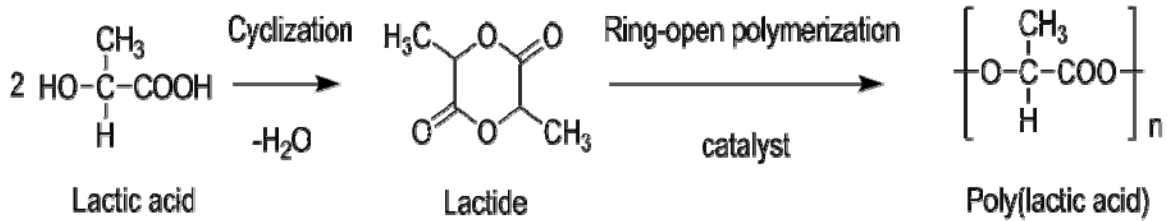


Hình 3: Phương trình điều chế PLA bằng phương pháp polymer hóa trực tiếp (Xiao, et al., 2012)

1.3.2 Phương pháp mở vòng “cationic ring opening polymerization” (ROP)

Phản ứng tạo Lactide trải qua hai giai đoạn. Đầu tiên, monome Lactic acid được trùng ngưng để tạo thành oligome. Sau đó oligome trải qua quá trình đồng thời polymer hóa đồng thời vòng hóa tạo thành Lactide. Phương pháp ROP sử dụng antimony, zinc(II), titanium(IV), tin(II) 2-ethylhexanoate

(Sn(Oct)₂) và một số chất xúc tác hữu cơ như 4-(dimethylamino)pyridine (DMAP), N-Heterocyclic carbene (NHC) (Linnemann, et al., 2003) làm xúc tác trong dung dịch alcohol ở điều kiện nhiệt độ cao và áp suất thấp được trình bày ở Hình 4. (Garlotta, 2001, Gupta, et al., 2007, Hartmann and Kaplan, 1998, Jiménez, et al., 2014, Nieuwenhuis, 1992).



Hình 4: Phương pháp ROP để điều chế PLA (Linnemann, et al., 2003, Xiao, et al., 2012)

1.4 Ưu và nhược điểm của PLA

1.4.1 Ưu điểm

PLA là loại nhựa có khả năng phân hủy sinh học cao với thời gian phân hủy ngắn, vì vậy có thể tiết kiệm được nguồn năng lượng nhất định để xử lý PLA. Đồng thời loại polymer này có độ tương thích sinh học cao, không độc hại với cơ thể người, nên được ứng dụng nhiều trong các lĩnh vực đặc biệt là y sinh. Hiện nay, PLA đang là sản phẩm được sản xuất và ứng dụng đại trà trong công nghiệp với giá thành rẻ hơn so với các loại nhựa phân hủy sinh học khác (2-3,2 USD/kg) (Information from NatureWorks LLC, 2014) với độ bền kéo và môđun đàn hồi cao (Tensile Strength 55-75 MP, Young’s modulus 3-4GP) (Lu L, 1999, PLA monomere (Polylactic Acid), 2014, Polylactic Acid (PLA, 2014).

1.4.2 Nhược điểm

PLA có những hạn chế về mặt tính chất như: độ đàn dài (5-7%) (Information from NatureWorks LLC, 2014, Phuong, 2012), nhiệt độ chuyển thủy tinh thấp T_g (60-68°C) dẫn đến khả năng ổn định

thấp (Phuong, 2012), hơn nữa PLA dễ bị thủy phân, tốc độ phân hủy thấp (Rasal, et al., 2010) và để sản xuất PLA trong qui mô công nghiệp đòi hỏi phải có chi phí cho quy trình công nghệ cao, do đó giá thành sản phẩm cao hơn so với các loại nhựa có nguồn gốc hóa thạch như PP, PE, PA,...(giá hiện tại của PLA trên thị trường là 2,6-3,2 USD/kg, trong khi PP, PE chỉ có 1,2-1,8 USD/kg) (SE Asian, 2014).

2 ỨNG DỤNG CỦA PLA

Mặc dầu polylactic acid có những ưu điểm phù hợp với xu hướng sử dụng vật liệu polymers hiện nay, tuy nhiên những yếu điểm như độ bền kéo thấp, khả năng chịu nhiệt kém, khó gia công đã phần nào hạn chế khả năng ứng dụng PLA. Cũng như các loại polymer khác trên thị trường, PLA thường được biến tính trước khi đưa vào sản xuất nhằm đáp ứng những yêu cầu cụ thể trong từng lĩnh vực ứng dụng. Các nghiên cứu gần đây cho thấy PLA thường được biến tính dựa trên hai phương pháp. Phương pháp thứ nhất là biến tính bề mặt (surface modification) nhằm tạo độ bám dính của PLA với vật liệu khác. Vật liệu biến tính này

được ứng dụng trong lĩnh vực y sinh (truyền dẫn thuốc). Phương pháp biến tính thứ hai là trộn hợp hoặc hóa dẻo với các polymner khác nhằm tăng cường cơ tính và khả năng chịu nhiệt của vật liệu. Phương pháp này thường được ứng dụng trong lĩnh vực bao bì, đóng gói, ô tô, vật liệu cách điện và composites) (Gupta, *et al.*, 2007, Jiménez, *et al.*, 2014, Obuchi, *et al.*, 2011, Phuong, 2012).

2.1.1 Trong kỹ thuật mô

Từ những năm 1988, kỹ thuật cấy mô ra đời và trở thành phương pháp được ứng dụng phổ biến trong lĩnh vực y sinh (Drumright, *et al.*, 2000). Phương pháp này giúp tái tạo lại các mô sống bằng cách liên kết các tế bào sống với hệ thống khung bằng các vật liệu sinh học, ở đó các tế bào có thể sinh sôi nảy nở nhanh chóng theo các chiều hướng khác nhau. Vật liệu sinh học ra đời mở ra con đường tiềm năng trong việc thay thế các mô sống và cả trong cấy ghép nội tạng. Có rất nhiều loại vật liệu sinh học được đưa vào thử nghiệm lâm sàng, trong đó có kim loại, vô cơ nhưng chúng lại có những nhược điểm lớn như tuy kim loại có cơ tính tốt nhưng lại không phân hủy sinh học, tích trữ trong cơ thể con người gây những phản ứng bất lợi (Mathew, *et al.*, 2005), hay vật liệu vô cơ bị hạn chế do khó xử lý được và cấu trúc xốp (Liu, *et al.*, 2004). Vật liệu sinh học làm hệ thống khung trong phải thỏa các điều kiện sau: độ tương thích sinh học cao, có độ tính thấp, có khả năng phân hủy sinh học, vật liệu phải có đủ độ xốp, cơ tính và kích thước phù hợp, để các tế bào hoặc mô có thể tăng trưởng và phát triển tốt và loại bỏ được chất độc trong quá trình trao đổi chất. Chính vì vậy

biopolymers, đặc biệt là PLA biến tính là lựa chọn tốt nhất trong lĩnh vực này.

Ví dụ: Trong số các loại biến tính, PLA/Poly (Glycolic Acid) và copolymers poly (lactic acid-co-glycolic acid) (PLGA) là một trong số ít polymers được Cục quản lý thực phẩm và dược phẩm của Mỹ (Food and Drug Administration FDA) cho phép ứng dụng lâm sàng ở người. Loại copolymers này được thử nghiệm thành công trong việc tái tạo các loại mô ở nhiều cơ quan khác nhau như: bàng quang, sụn, gan, xương, van tim cơ học (Ilan, *et al.*, 2002).

2.1.2 Trong kỹ thuật dẫn truyền thuốc

Con người luôn mong muốn tìm ra cách để phân phối các dược chất vào đúng cơ quan mong muốn để tối ưu hóa khả năng điều trị của nó cũng như duy trì các hoạt tính trong thời gian cần thiết và giảm thiểu những tác dụng phụ của thuốc. Con người đã thử nghiệm lâm sàng nhiều nhóm chất khác nhau trong vai trò chất dẫn truyền thuốc như: liposome, các hạt nano lipid rắn. Tuy nhiên, trong thời gian gần đây các loại polyester phân hủy sinh học trong đó có PLA, PGA và copolymers của chúng (như PLGA) đã được ứng dụng nhiều trong lĩnh vực truyền dẫn do vật liệu có khả năng tương thích sinh học cao, khả năng phân hủy sinh học, độ bền cơ học, khả năng xử lý nhiệt và độ hòa tan cao trong các dung môi hữu cơ. Bên cạnh những ưu điểm trên thì PLGA lại có khuyết điểm là cấu trúc của chúng lại thiếu đi những nhóm chức năng hoạt hóa để tạo điều kiện tương tác với các tế bào, vì vậy nó làm cho hiệu quả dẫn truyền thấp và thời gian lưu trong cơ thể không lâu.

Bảng 2: Ứng dụng của một số loại PLA biến tính khác nhau trong kỹ thuật dẫn truyền thuốc (Drumright, *et al.*, 2000)

Loại PLA	Ứng dụng	Hiệu quả
PLA- PEG dạng hạt	Dẫn truyền cho bệnh uốn ván	Tăng cường vận chuyển qua niêm mạc mũi
PLA-b-pluronic-b- PLA	Hỗ trợ dẫn truyền cho thuốc insulin xịt ở miệng cho bệnh đái tháo đường loại 2	Kiểm soát tốt nồng độ glucose trong máu
PLA microsphere	Dẫn truyền cho nhóm thuốc paclitaxel chống ung thư	Giảm sưng viêm
PEO-PLA copolymers	Dẫn truyền cho nhóm thuốc 5 FU và paclitaxel	Hoàn thành quá trình giải phóng thuốc
PLA-PEG-PLA copolymers	Dẫn truyền cho nhóm thuốc 5 FU và paclitaxel	Kiểm soát tốt quá trình giải phóng thuốc
AP-PEG-PLA	Dẫn truyền thuốc cho quá trình điều trị ung thư	Có khả năng kháng lại các tế bào ung bướu

Vì vậy, để giảm thiểu hạn chế trên, các nhà nghiên cứu đã thử nghiệm PLA biến tính dưới nhiều dạng bào chế khác nhau: bột viên, viên nang

siêu nhỏ, vi hạt (MP) và hạt nano (NP). Kết quả thí nghiệm cho thấy, PLGA ở dạng MP và NP là 2 dạng cho kết quả tốt nhất, vì với kích thước siêu

nhỏ, chúng có thể dễ dàng thẩm thấu qua các màng tế bào, cải thiện khả năng dẫn truyền và với đặc tính vật lý của hạt nano, thời gian phân hủy của PLGA giảm đáng kể, duy trì được hoạt chất trong suốt quá trình vận chuyển (Drumright, *et al.*, 2000).

Ngoài ra, PLA biến tính còn được ứng dụng để cấy ghép hay chế tạo các thiết bị y tế như thanh định hình, tấm, ghim, đinh vít, chỉ tự tiêu (Raghoobar, *et al.*, 2006, Roney, *et al.*, 2005)... hay ứng dụng PLA biến tính cho phương pháp điều trị cho da (như teo mỡ, sẹo trên khuôn mặt...).

2.2 Ứng dụng trong lĩnh vực bao bì đóng gói

So với các PLA thông thường với những hạn chế như giòn, ổn định nhiệt thấp... thì PLA biến tính đã khắc phục được những khuyết điểm của PLA thông thường. Theo các nghiên cứu thì PLA biến tính bằng phương pháp hóa dẻo, copolymer hóa và composite được ứng dụng nhiều trong việc sản xuất màng phim mỏng để đóng gói thực phẩm, làm khay, hộp đựng thức ăn (Hình 5), túi xách

trong các siêu thị và các vật gia dụng khác như ly, muỗng, đĩa... Đặc biệt PLA biến tính dạng nanocomposites, có cơ tính tăng, tính chất chắn khí và chắn quang cao so với PLA thông thường. Bên cạnh đó, các loại PLA biến tính gia cường bằng bentonite, được phủ lớp silicate và microcrystalline cellulose có tính kháng tia UV và ánh sáng khả kiến (thành phần có hại làm biến tính chất lượng sản phẩm) nên thích hợp ứng dụng làm bao bì bảo quản thực phẩm (Obuchi and Ogawa, 2011).

Ngoài ra trong bảo quản thực phẩm, việc kháng khuẩn luôn được quan tâm chú trọng, bao bì phải đáp ứng được yêu cầu đó vì những thực phẩm tươi sống như thịt cá, rau củ quả,... nếu tiếp xúc với bao bì nhiễm khuẩn sẽ sinh ra hoạt chất gây bệnh. Để giải quyết vấn đề đó, các nhà nghiên cứu đã tìm ra loại PLA biến tính dạng composite là hỗn hợp giữa PLA dạng nền liên kết với hạt pectin, trên bề mặt vật liệu sẽ hấp thụ và lưu giữ những hoạt chất kháng khuẩn, hạn chế quá trình tấn công của vi khuẩn lên bề mặt tiếp xúc giữa bao bì và thực phẩm.



Hình 5: Ứng dụng của PLA biến tính trong sản phẩm bao bì thực phẩm

2.2.1 Ứng dụng trong lĩnh vực điện tử

Năm 2002, công ty Mitsubishi Plastics đã chế tạo thành công PLA chịu nhiệt bằng kỹ thuật phun và nó được đưa vào ứng dụng làm vỏ máy nghe nhạc “Walkman” của công ty Sony (Obuchi and Ogawa, 2011).

PLA biến tính dạng composite được ứng dụng và phát triển rộng rãi trong lĩnh vực điện tử. Năm 2004, công ty NEC Corp của Nhật đã sử dụng vật liệu composite nhựa nền PLA gia cường bằng sợi Kenaf (Việc thêm sợi Kenaf gia cường giúp tăng cường khả năng chịu nhiệt của vật liệu) để làm

dummy card cắm trực tiếp vào laptop để chống bụi bẩn xâm nhập vào. Năm 2006, nó còn được ứng dụng làm vỏ điện thoại cho dòng sản phẩm cellular phone (Obuchi and Ogawa, 2011).

Năm 2005, Fujitsu bắt đầu ứng dụng composite của PLA vào thiết bị chống cháy trong nhà, sau đó được công ty NEC phát triển, sử dụng 10% sợi carbon gia cường, sản phẩm đạt được có tính năng gấp 2 lần so với sử dụng thép không gỉ truyền thống. Cùng năm đó, Fujitsu đã cho ra đời dòng máy tính xách tay FMV-BIBLO NB80K với hệ thống khung được chế tạo từ hỗn hợp blend PLA/PC/phosphorus (Obuchi and Ogawa, 2011).

Năm 2007, Samsung đã sử dụng PLA/Polycarbonate bisphenol A (PC) trong việc sản xuất vỏ các linh kiện điện tử của mình như vỏ điện thoại, vỏ máy tính,... (PC có T_g và khả năng chịu va đập cao, vì vậy khi trộn hợp sẽ nâng khả năng chịu nhiệt và va đập của vật liệu) (Samsung's Bioplastics for Automobile, 2014).

2.3 Ứng dụng trong lĩnh vực ô tô vận tải

Hiện nay, vật liệu composites nền PLA là một trong những vật liệu được ưa chuộng và sử dụng rộng rãi trong lĩnh vực ô tô vận tải. Năm 2003, Công ty Toyota đã ứng dụng composite nền PLA và sợi kenaf để sản xuất ra lớp xe dự phòng bằng kỹ thuật đúc khuôn trong dòng sản phẩm Raum và Prius (Bioplastics, 2014). So với lớp xe thông thường, sản phẩm chế tạo từ vật liệu mới có khả năng chịu được tác động bên ngoài cao hơn. Bên cạnh đó, công ty Toyota đã nghiên cứu vật liệu "xanh" đầy tiềm năng đó cho các bộ phận khác của xe như ghế ngồi, tấm trải sàn, tay cầm (Bioplastics, 2014).

Một phương pháp khác được nghiên cứu là thêm chất độn phù hợp vào nhựa nền PLA, kết hợp với kỹ thuật phun khuôn, công ty Ford đã thành công và ứng dụng composite nền PLA vào chế tạo hệ thống vô lăng xe và tấm thảm trải cho dòng sản phẩm U (Auras, *et al.*, 2011).

Năm 2007, Mitsubishi đã ứng dụng PLA sợi và Nylon 6 để làm tấm trải xe cho các dòng sản phẩm của công ty (Auras, *et al.*, 2011).

Năm 2012, công ty ô tô Fiat- Italy, trong dự án Evolution, đã tiến hành nghiên cứu phát triển vật liệu polymer "xanh" nhằm thay cho các bộ phận trong ô tô mà trước đây được sản xuất từ các loại nhựa có nguồn gốc hóa thạch khác. Trong tương lai, composite nền PLA sẽ có thể thay thế cho các bộ phận khác của các dòng xe "Eco-friendly" với con người và môi trường (Project, 2014).

2.4 Ứng dụng trong lĩnh vực nông nghiệp

Việc sử dụng màng phủ giúp tăng tốc độ chín của cây trồng, bảo tồn độ ẩm và phân bón, ức chế sự tăng trưởng của cỏ dại, nhiễm nấm và côn trùng phá hoại. The FkuR Kunststoff GmbH, Willich hợp tác với The Fraunhofer Institute UMSICHT, nghiên cứu thành công màng phủ sinh học từ hỗn hợp blend của PLA, chất phụ gia và một số polymers phân hủy sinh học khác. Sản phẩm này có ưu điểm là khả năng phân hủy chậm hơn các loại màng phủ sinh học khác và khả năng chống chịu với sự thay đổi của thời tiết. Vì vậy đến năm 2005, Oerlemans Plastics đã đưa màng phủ sinh

học đó vào sản xuất ở qui mô công nghiệp với tên gọi Bio-Plex. Loại màng phủ này có thể thay thế cho loại màng bằng Polyethylene (PE) truyền thống. Ngoài ra, PLA biến tính còn được ứng dụng làm chậu cây, dây buộc cà chua và một số vật dụng khác...

3 KẾT LUẬN

Trong 10 năm trở lại đây, PLA đã phát triển nhanh chóng và dần có chỗ đứng trong thị trường vật liệu polymers và ngày càng được các nhà sản xuất và người tiêu dùng lựa chọn thay thế cho các loại vật liệu có nguồn gốc từ dầu mỏ. Tuy nhiên, những ứng dụng của PLA biến tính vẫn còn gặp nhiều thách thức, trở ngại do một số điểm yếu về mặt cơ tính (như độ giãn dài thấp) và chưa thật sự tối ưu về mặt kỹ thuật lẫn kinh tế. Việc cải thiện, nghiên cứu và phát triển rộng những phương pháp biến tính sẽ mang lại bước tiến mới cho việc ứng dụng vật liệu phân hủy sinh học PLA biến tính vào trong đời sống và các ngành công nghiệp trong tương lai. Bên cạnh đó, việc ứng dụng rộng rãi nhựa phân hủy PLA biến tính sẽ giải quyết được phần nào các vấn đề ô nhiễm môi trường gây ra do các loại vật liệu polymers có nguồn gốc hóa thạch.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Auras, R. A., L.-T. Lim, S. E. Selke and H. Tsuji, 2011. Poly (lactic acid): synthesis, structures, properties, processing, and applications. John Wiley & Sons. Bioplastics, 2014. <http://www.speautomotive.com>. (đăng nhập ngày 21/11/2014):
- Cargill/ Nature Works LLC Press Release, 2009. <http://www.natureworldsllc.com>. (đăng nhập ngày 20/11/2014):
- Drumright, R. E., P. R. Gruber and D. E. Henton, 2000. Polylactic Acid Technology. Advanced Materials: 1841-1846.
- Garlotta, D., 2001. A literature review of poly (lactic acid). Journal of Polymers and the Environment: 63-84.
- Gongzhuling Annual Output, 2014. <http://www.english.jl.gov.cn> (đăng nhập ngày 18/11/2014):
- Gupta, A. and V. Kumar, 2007. New emerging trends in synthetic biodegradable polymers—PolyLactide: A critique. European polymer journal: 4053-4074.

- Gupta, B., N. Revagade and J. Hilborn, 2007. Poly (lactic acid) fiber: an overview. *Progress in polymer science*: 455-482.
- Hartmann, M. and D. Kaplan, 1998. *Biopolymers from renewable resources*. Kaplan, DL, Ed: 367.
- Ilan, D. I. and A. L. Ladd, 2002. Bone graft substitutes. *Operative Techniques in Plastic and Reconstructive Surgery*: 151-160.
- Information from NatureWorks LLC, 2014. <http://www.natureworkslc.com/>. (đăng nhập ngày 20/11/2014):
- Jiménez, A., M. Peltzer and R. Ruseckaite, 2014. *Poly (lactic Acid) Science and Technology: Processing, Properties, Additives and Applications*. Royal Society of Chemistry.
- Johansson, C., J. Bras, I. Mondragon, P. Nechita, et al., 2012. Renewable fibers and bio-based materials for packaging applications—a review of recent developments. *BioResources*: 2506-2552.
- Linnemann, B., M. Sri Harwoko and T. Gries, 2003. FIBER TABLE-Fiber Table polyLactide fibers (PLA). *Chemical Fibers International*: 426-433.
- Liu, X. and P. X. Ma, 2004. Polymeric scaffolds for bone tissue engineering. *Annals of biomedical engineering*: 477-486.
- Lu L, M. A., 1999. *Polymer Data Handbook*. 627-633.
- Mathew, A. P., K. Oksman and M. Sain, 2005. Mechanical properties of biodegradable composites from poly lactic acid (PLA) and microcrystalline cellulose (MCC). *Journal of applied polymer science*: 2014-2025.
- Mehta, R., V. Kumar, H. Bhunia and S. Upadhyay, 2005. Synthesis of poly (lactic acid): a review. *Journal of Macromolecular Science, Part C: Polymer Reviews*: 325-349.
- Nieuwenhuis, J., 1992. Synthesis of polyLactides, polyglycolides and their copolymers. *Clinical materials*: 59-67.
- Obuchi, S. and S. Ogawa, 2011. Packaging and other commercial applications. *Poly (lactic acid): Synthesis, Structures, Properties, Processing, and Applications*: 457.
- Phuong, V. T., 2012. *Sustainable Biocomposites from Renewable Resources and Recycled Polymers*. PhD Thesis - University of Pisa:
- PLA monomere (Polylactic Acid), 2014. <http://www.matbase.com/>. (đăng nhập ngày 21/11/2014):
- Polylactic acid, 2014. <http://en.wikipedia.org/>. (đăng nhập ngày 20/11/2014):
- Polylactic Acid (PLA, p., 2014. <http://www.makeitfrom.com/>. (đăng nhập ngày 22/11/2014):
- Project, E., 2014. <http://evolutionproject.eu/> (đăng nhập ngày 20/11/2014):
- Raghoobar, G. M., R. S. Liem, R. R. Bos, J. E. Van Der Wal, et al., 2006. Resorbable screws for fixation of autologous bone grafts. *Clinical Oral Implants Research*: 288-293.
- Rasal, R. M., A. V. Janorkar and D. E. Hirt, 2010. Poly(lactic acid) modifications. *Progress in Polymer Science*: 338-356.
- Roney, C., P. Kulkarni, V. Arora, P. Antich, et al., 2005. Targeted nanoparticles for drug delivery through the blood-brain barrier for Alzheimer's disease. *Journal of Controlled Release*: 193-214.
- Samsung's Bioplastics for Automobile, 2014. http://www.speautomotive.com. (đăng nhập ngày 20/11/2014):
- Sawyer, D. J., 2003. Bioprocessing—no longer a field of dreams. *Wiley Online Library*.
- SE Asian, M. E. p. r. D. P., PE prices to SEA, 2014. http://www.chemorbis.com. (đăng nhập ngày 21/11/2014):
- Xiao, L., B. Wang, G. Yang and M. Gauthier, 2012. *Poly (lactic acid)-based biomaterials: synthesis, modification and applications*. INTECH Open Access Publisher.