

TỔNG QUAN CÔNG NGHỆ TRÁNG PHỦ AN TOÀN, THÂN THIỆN VỚI MÔI TRƯỜNG CHO SẢN XUẤT GIẤY CHỐNG THẨM VÀ CHỊU NHIỆT SỬ DỤNG TRONG CHẾ BIẾN THỰC PHẨM

LÝ HỒNG LỆ, NGUYỄN THỊ THANH, NGÔ VĂN HỮU, ĐỖ THỊ THU NGUYỆT

TÓM TẮT:

Nhu cầu thay thế nhựa trong bao gói và chế biến thực phẩm đang thúc đẩy phát triển giấy chức năng có lớp phủ chống thấm dầu mỡ/nước và khả năng chịu nhiệt. Tuy nhiên, với lớp phủ truyền thống như nhựa PE, sập thường khó tái chế, có thể gây hại đến sức khỏe con người, khiến nhu cầu sử dụng các giải pháp an toàn và bền vững trở nên cấp thiết. Bài báo trình bày tổng hợp các nhóm lớp phủ chính gồm silicone, polymer sinh học (nanocellulose), lớp phủ vô cơ và các hệ hữu cơ-vô cơ, dựa trên cơ chế tạo rào cản, khả năng chống thấm, chịu nhiệt và mức độ an toàn tiếp xúc thực phẩm sử dụng cho giấy chống thấm và chịu nhiệt dùng trong chế biến thực phẩm. Đồng thời, các phương pháp đánh giá hiệu suất và an toàn của lớp phủ trong điều kiện chế biến thực tế cũng được thảo luận. Tổng quan cho thấy các hệ tráng phủ sinh học và đa lớp là hướng phát triển tiềm năng cho vật liệu giấy bền vững trong ngành thực phẩm.

Từ khóa: giấy chống thấm, giấy chịu nhiệt, giấy nướng, lớp phủ thân thiện môi trường, giấy và bột giấy.

1. MỞ ĐẦU

Trong bối cảnh toàn cầu hóa và xu hướng chuyển dịch sang mô hình kinh tế tuần hoàn, ngành công nghiệp thực phẩm đang phải đối mặt với áp lực phụ thuộc vào nhựa và các vật liệu có nguồn gốc hóa dầu. Hiện nay, phần lớn vật liệu dùng cho bao gói thực phẩm là vật liệu từ nhựa, với các thị trường chính như bao gói đồ ăn nhanh, làm bánh, chứa đựng đồ uống. Chỉ 26% là vật liệu nền giấy, và trong phần nền giấy đó chỉ 43% là giấy được xử lý bề mặt bằng hóa chất, bao gồm các hệ tráng phủ sáp và hợp chất fluor. Tuy nhiên, việc sử dụng các vật liệu không thể tái tạo và không phân hủy sinh học như vậy không chỉ gây ra mối đe dọa cho môi trường và sức khỏe con người mà còn thải ra khí nhà kính. Ngoài ra, việc sử dụng nhựa và các vật liệu gốc nhiên liệu hóa thạch làm lớp phủ chần trong bao bì bằng giấy khiến việc tái chế trở nên khó khăn, làm tăng chi phí tái chế tổng thể và gây ra những lo ngại về môi đã thúc đẩy việc tìm kiếm các vật liệu thay thế an toàn hơn [1].

Giấy với ưu thế về nguồn gốc tái tạo và khả năng tái chế thân thiện môi trường, đang được xem là vật liệu quan trọng để thay thế nhựa dùng một lần hoặc

vật liệu phủ nhựa PE trong ngành công nghiệp thực phẩm. Đặc biệt, giấy không chỉ có vai trò bao gói mà còn tham gia trực tiếp vào các công đoạn chế biến như nướng, hấp, thấm dầu/nước... Những ứng dụng này đặt ra yêu cầu kỹ thuật cao hơn so với giấy bao gói thông thường, do giấy phải đồng thời chịu nhiệt độ cao, hơi ẩm, và tiếp xúc dầu mỡ. Có hai nhóm ứng dụng giấy chính yêu cầu tiếp xúc với thực phẩm:

- Nhóm giấy bao gói (packing paper) giúp chứa đựng thực phẩm đã qua chế biến như chứa đồ ăn nhanh, bánh, kẹo... Phạm vi ứng dụng rộng rãi của loại giấy này đã tạo ra một thị trường toàn cầu đáng kể. Từ năm 2010, tổng sản lượng toàn cầu xấp xỉ 2,40 triệu tấn [2]. Trong riêng ngành thực phẩm, lượng tiêu thụ khoảng 178.000 tấn/năm [3]. Theo báo cáo mới nhất của Fact.MR, thị trường giấy chống dính toàn cầu ước tính đạt giá trị 12,88 tỷ USD vào năm 2024 và dự kiến sẽ tiếp tục tăng lên 20,39 tỷ USD vào cuối năm 2034. Nhu cầu được đánh giá sẽ tăng trưởng với tốc độ tăng trưởng kép (CAGR) là 4,5% trong vòng 10 năm tới.

- Nhóm giấy chống thấm dầu và chịu nhiệt sử dụng trực tiếp cho quá trình chế biến. Thị trường giấy nướng và giấy nấu ăn dự kiến sẽ tăng trưởng từ 3,2 tỷ

USD năm 2025 lên 6,8 tỷ USD vào năm 2035, đạt tốc độ tăng trưởng kép hàng năm (CAGR) là 7,9%. Nhu cầu sử dụng của giấy gắn liền với sản xuất bánh mì chiếm 48% tổng lượng sử dụng, tiêu thụ bánh nướng tại nhà và hoạt động ẩm thực chuyên nghiệp.

Trước đây, để đạt hàng rào chống thấm dầu mỡ hoặc nước, công nghệ xử lý bề mặt thường dựa vào những hệ phủ có hiệu năng mạnh, có năng lượng bề mặt thấp như fluoroalkyl silane (FAS) để tăng cường khả năng chống thấm chất lỏng của giấy. Mặc dù các giải pháp này mang lại khả năng kháng dầu mỡ/ nước hiệu quả nhưng có thể đi kèm hai thách thức đó là: khó tái chế do lớp phủ tạo màng bền, khó tách khỏi xơ sợi và nguy cơ thôi nhiễm. Do đó, xu hướng hiện nay là phát triển giấy chức năng theo hướng an toàn hơn, bền vững hơn, trong khi vẫn đảm bảo hiệu năng ở điều kiện sử dụng thực tế (đặc biệt khi có sự tiếp xúc với nhiệt).

2. CÔNG NGHỆ XỬ LÝ VẬT LIỆU CELLULOSE SẢN XUẤT GIẤY CHỐNG THẤM VÀ CHỊU NHIỆT

Cellulose gồm các chuỗi β -(1 \rightarrow 4)-D-glucopyranose liên kết với nhau bằng liên kết hydro, tạo nên mạng lưới vi sợi (microfibrils). Các nhóm hydroxyl (-OH) dày đặc trên bề mặt cellulose là nguyên nhân chính gây ra tính ưa nước cao, khả năng hấp phụ làm suy giảm độ bền khi tiếp xúc nhiệt và ẩm. Do đó, các công nghệ xử lý cellulose thường tập trung vào: giảm mật độ nhóm hydroxyl tự do, làm đặc cấu trúc giấy, giảm độ xốp, tăng liên kết nội bộ và ổn định nhiệt.

2.1. Công nghệ xử lý cơ học

Sử dụng công nghệ nghiền phân tơ, chổi hóa trên máy nghiền chuyên dụng giúp làm tăng diện tích bề mặt sợi và khả năng liên kết giữa các sợi cellulose, giúp tăng độ bền cơ học, giảm độ xốp của giấy [4]. Tuy nhiên, nghiền quá mức có thể làm tăng khả năng hút nước và không đủ để tạo tính chống thấm dầu.

Bên cạnh đó, nén, ép và cán láng giúp làm tăng mật độ giấy, giảm kích thước lỗ rỗng, từ đó cải thiện khả năng chống thấm ở mức nhất định. Đây là biện pháp hỗ trợ, thường kết hợp với các xử lý hóa học hoặc lớp phủ.

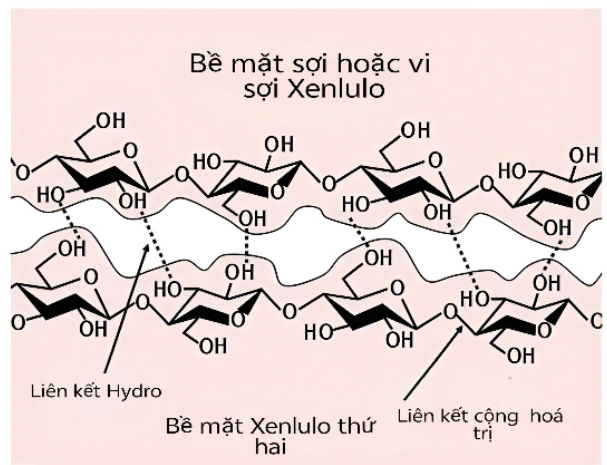
Ưu điểm: Đạt các chỉ tiêu cơ lý của giấy.

Hạn chế: khả năng chống thấm và chịu nhiệt không cao.

2.2. Công nghệ xử lý hóa học

Công nghệ xử lý giấy cellulose bằng axit mạnh trong thời gian ngắn, tạo lớp cellulose biến tính có mật độ cao và độ bền ướt lớn [5]. Quá trình này làm trương nở và tái cấu trúc bề mặt cellulose giúp giảm đáng kể độ xốp và khả năng thấm nước. Tạo ra giấy phù hợp cho các lớp phủ chống thấm và chịu nhiệt. Lý do các

sợi cellulose tinh chế cao có thể chống thấm dầu mỡ không chỉ là do mật độ cao của các lớp giấy này mà còn do liên kết hydro rộng rãi và có tổ chức xảy ra giữa các bề mặt cellulose được làm khô trong khi vẫn tiếp xúc với nhau. Ý tưởng này dựa trên việc liên kết hydro có năng lượng tương đối cao so với thành phần lực phân tán của lực van der Waals. Do đó, các vật liệu có khả năng hình thành liên kết hydro, điển hình là những hệ giàu nhóm -OH, khi được sắp xếp thành một mạng liên kết dày đặc sẽ tạo ra các lớp màng chắn hiệu quả. Ngược lại, các polyme không phân cực như polyetylen (PE) chủ yếu dựa vào lực van der Waals phân tán, nên khó hình thành mạng tương tác chặt chẽ, dẫn đến khả năng cản khí và hơi ẩm thường kém hơn.



Hình 1. Minh họa sơ đồ về cách các liên kết hydro khi parchment hóa

Ưu điểm: Quá trình xử lý đơn giản.

Hạn chế: Chưa đạt được hiệu quả chống thấm và chịu nhiệt phù hợp với nhu cầu.

3. CÔNG NGHỆ XỬ LÝ BỀ MẶT TẠO LỚP PHỦ CHO SẢN XUẤT GIẤY CHỐNG THẤM VÀ CHỊU NHIỆT SỬ DỤNG TRONG CHẾ BIẾN THỰC PHẨM

3.1. Xử lý bề mặt bằng lớp phủ nhũ tương silicone SYL-OFF™ kháng nước và chịu nhiệt

Công nghệ xử lý bề mặt bằng nhũ tương silicone là phương pháp phủ được ưu tiên cho nhiều ứng dụng khác nhau, bao gồm cả các ứng dụng có sự tiếp xúc với thực phẩm. Kỹ thuật này dựa trên hệ silicone đóng rắn kiểu cộng hợp dùng xúc tác platin, silicone sau khi đóng rắn khá trơ và bền nhiệt do thành phần chính của lớp phủ chống dính silicone là các polyme silicone phản ứng có chuỗi liên kết Si-O-Si với năng lượng liên kết cao hơn đáng kể so với các polyme chuỗi carbon truyền thống. Đặc tính này mang lại độ ổn định nhiệt và khả năng kháng hóa chất vượt trội, ít bị phân hủy hoặc biến tính khi gặp nhiệt độ cao, giảm nguy cơ tạo

các sản phẩm không mong muốn trong điều kiện sử dụng nóng [6]. Lớp phủ silicone hoạt động thông qua cơ chế sau:

- Năng lượng bề mặt thấp (bề mặt giàu nhóm $-CH_3$ kỵ nước): Với sức căng bề mặt tối hạn là 19-24 dyn/cm (thấp hơn đáng kể so với dầu mỡ, khoảng 30 dyn/cm), giúp giảm thiểu sự bám dính, đảm bảo sự tách rời tự động giữa thực phẩm và giấy trong quá trình chế biến.

- Khả năng chịu nhiệt: Có khả năng chịu được nhiệt độ từ $-55^{\circ}C$ đến $300^{\circ}C$, duy trì sự ổn định ở $220^{\circ}C$ trong 20 phút mà không bị phân hủy, đáp ứng nhu cầu sử dụng cho mục đích nướng bánh hoặc nổi chiên.

- Tính trơ hóa học: Không phản ứng với các thành phần thực phẩm, đáp ứng các tiêu chuẩn an toàn thực phẩm (ví dụ: FDA, EU 10/2011).

- Rào cản vật lý: Tạo ra một lớp kỵ nước đồng nhất trên bề mặt giấy, làm giảm sự tiếp xúc trực tiếp với thực phẩm.

- Độ bền: Sau quá trình xử lý, lớp phủ thể hiện tính ổn định và khả năng tái sử dụng.

Trong các ứng dụng phủ như giấy thực phẩm hoặc nhãn dán, hệ phủ nhũ tương gốc nước gồm hai phần phản ứng được trộn ngay trước khi phủ:

- Phần A chứa polymer và chất liên kết chéo.
- Phần B chứa chất xúc tác platinum được pha loãng trong polymer để dễ thao tác.

Việc phủ nhũ tương khá dễ và có thể thực hiện online như một phần của quy trình tráng phủ thông thường trong sản xuất giấy. Theo báo cáo các kết quả thử nghiệm của Tập đoàn hóa chất Dow [7] cho thấy, giấy được phủ với khoảng $0,30 \text{ g/m}^2$ chất nhũ tương đã cho đặc tính chống dính cao. Giá trị độ thấm hút nước $Cobb_{60}$ đo được khoảng $8-15 \text{ g/m}^2$. Vật liệu chống thấm tạo ra có thể dùng trong lò vi sóng, tái chế lại bột và phân hủy trong môi trường đất. Bên cạnh đó,

giấy chống thấm và chịu nhiệt cần khả năng kháng dầu tốt theo thời gian, điều này cũng quan trọng. Một lớp phủ biến tính của nhũ tương có thể cho giá trị chống thấm dầu (KIT) lên đến 12.

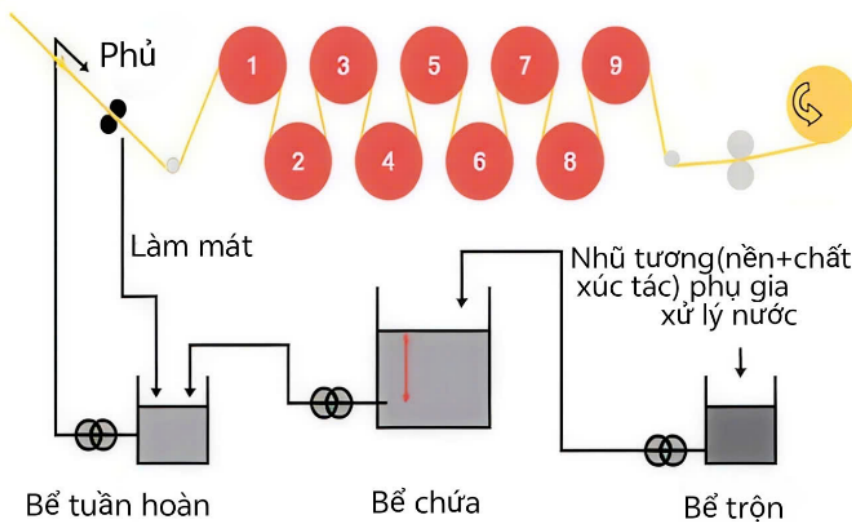
Để tăng cường khả năng chống thấm nước của vật liệu bao bì làm từ giấy, một lớp phủ nhũ tương có đặc tính chống thấm nước cao đã được phát triển để ứng dụng cho các vật liệu này. Lớp phủ này được tổng hợp bằng cách sử dụng isooctyl acrylate, lauryl methacrylate, styrene và axit methacrylic làm monome phản ứng, organosilicone KH151 làm chất liên kết, heptadecanol polyoxyethylene ether monophosphate làm chất nhũ hóa và glycerol triglycidyl ether làm chất liên kết chéo sau đó. Thông qua quy trình trùng hợp nhũ tương mầm, một nhũ tương styrene-acrylic biến tính organosilicone gốc nước đã được chế tạo một cách chuyên nghiệp. Sau khi được trải lên giấy nền và làm khô, lớp phủ nhũ tương có khả năng chống thấm nước cao đã được thu được. Kết quả cho thấy sự giảm đáng kể về khả năng hấp thụ nước từ $89,23$ xuống còn $3,15 \text{ g/m}^2$ ở trọng lượng lớp phủ $3,01 \text{ gsm}$ trên giấy nền, và không quan sát thấy hiện tượng thấm nước ở mặt sau của giấy trong 20 phút, chứng tỏ đặc tính chống thấm nước cao của lớp phủ. Hơn nữa, lớp phủ này còn có ưu điểm là chống bám dính và chịu được nhiệt độ dưới $360,3^{\circ}C$. Nhũ tương lớp phủ không gây nguy cơ độc tính cấp tính ở nồng độ thử nghiệm 100 mg/L , cho thấy tính an toàn khi ứng dụng trong vật liệu bao bì làm từ giấy [8].

3.2. Lớp phủ bio-polymer

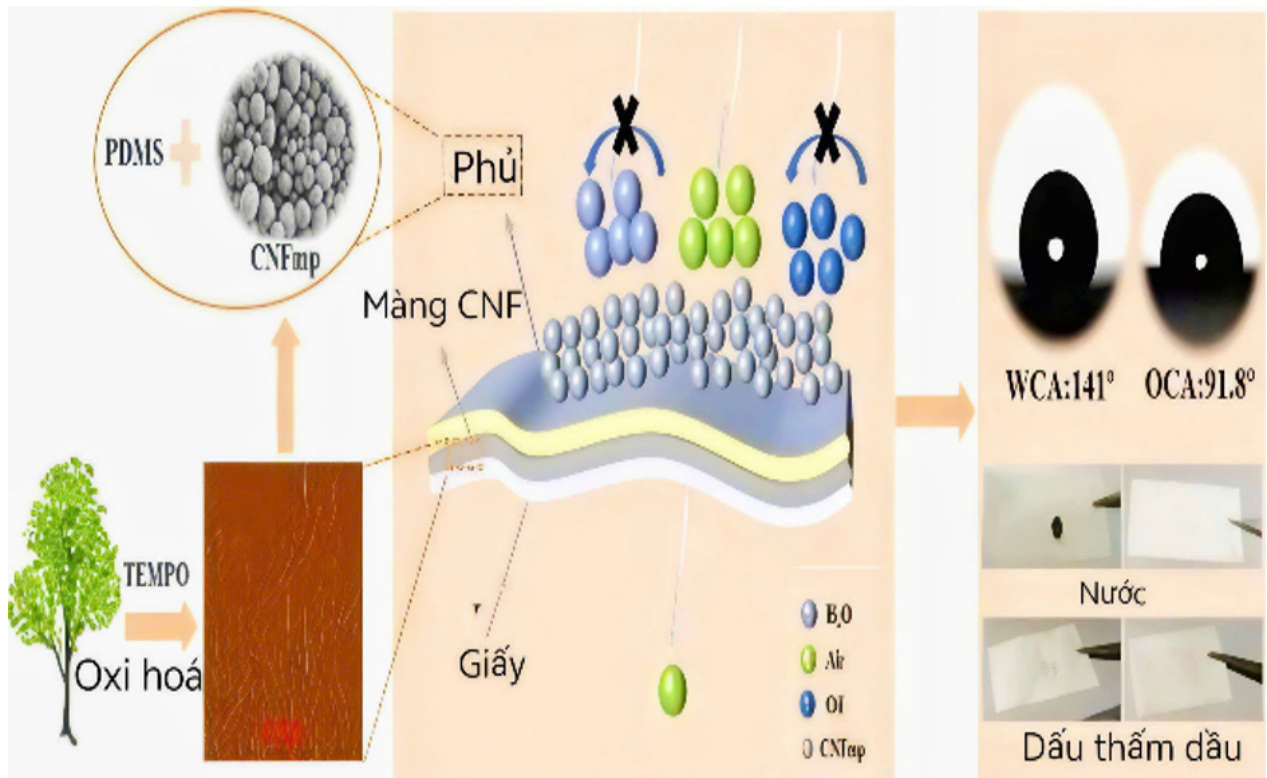
Song song với lớp phủ nhũ tương, các lớp phủ bio-polymer đang được nghiên cứu mạnh mẽ nhằm đáp ứng yêu cầu bền vững. Các hệ dựa trên polysaccharide (tinh bột biến tính, dẫn xuất cellulose, chitosan) có khả năng tạo màng và đóng mao quản tốt, trong khi nanocellulose (CNF/MFC) giúp tăng độ chặt bề mặt và giảm khuyết tật của lớp phủ.

Năm 2022, Kai Yi và cộng sự đã nghiên cứu tạo lớp phủ đơn giản với huyền phù CNF để chống thấm dầu mỡ và làm mịn bề mặt giấy. Sau đó, phun các lớp phủ bao gồm polydimethylsiloxane (PDMS) và các vi hạt CNF (CNFmp) lên bề mặt để tạo khả năng chống thấm nước cho giấy (Hình 3).

Các nghiên cứu ảnh hưởng của nồng độ CNF, độ dày lớp phủ và lớp thứ hai PDMS và CNFmp lên độ ổn định nhiệt, tính chất cơ học, khả năng chống thấm nước



Hình 2. Mô hình tạo lớp phủ nhũ tương lên giấy trên dây chuyền sản xuất



Hình 3. Mô phỏng quá trình tạo lớp phủ chống thấm lên bề mặt giấy

và dầu, khả năng chắn khí của giấy đã được nghiên cứu. Khi nồng độ huyền phù CNF dùng để phủ đạt 2% trọng lượng, độ dày lớp CNF là 16 μm và độ dày lớp phủ thứ hai là 18 μm , giấy thể hiện độ bền kéo tuyệt vời ($35,02 \pm 2 \text{ MPa}$), khả năng chống thấm nước cao (góc tiếp xúc nước WCA là $141^\circ \pm 3,2^\circ$), khả năng chống dầu ($91,8^\circ \pm 1,9^\circ$, chỉ số KIT đạt 12/12) và khả năng cản khí ($1,38 \pm 0,2 \text{ mL/giấy}$). Nghiên cứu này có tiềm năng lớn trong việc chế tạo các vật liệu có khả năng cản khí cao, không chứa flo, và chống nước/dầu trong lĩnh vực bao bì thực phẩm [9]. Tương tự, Hamdani và cộng sự đã nghiên cứu phương pháp để tạo ra giấy chống thấm dầu bằng cách sử dụng lớp phủ poly(dimethylsiloxane) (PDMS) phân tán trong nước, không chứa flo, thân thiện với môi trường trên giấy kraft. PDMS chức năng carboxyl (PDMS-COOH) được tổng hợp và sau đó được trung hòa bằng amoni bicacbonat để thu được nhũ tương gốc nước, sau đó được phủ lên giấy kraft. Khả năng chống nước của giấy được phủ được xác định thông qua phép đo Cobb₆₀. Giá trị Cobb₆₀ giảm xuống còn $2,70 \pm 0,14 \text{ g/m}^2$ so với $87,6 \pm 5,1 \text{ g/m}^2$ đối với giấy không tráng phủ, cho thấy sự cải thiện đáng kể về khả năng chống nước. Tương tự, khả năng chống dầu được xác định là 12/12 trên thang đo thử nghiệm so với 0/12 đối với giấy không tráng phủ. Ngoài ra, giấy tráng phủ giữ lại được 70-90% các đặc tính cơ học vốn có của nó, và quan trọng hơn, giấy tráng phủ được tái chế thông qua quá trình

thu hồi bột giấy bằng cách sử dụng quy trình tiêu chuẩn với hiệu suất 91,1% [10].

Việc kết hợp polysaccharide và nanocellulose trong các lớp phủ composite cho phép thiết kế hàng rào đa chức năng: lớp nền sinh học đóng mao quản kết hợp với lớp kỵ dầu/kỵ nước mỏng ở bề mặt. Cách tiếp cận này đặc biệt phù hợp với xu hướng PFAS-free, đồng thời duy trì khả năng tái chế của giấy.

4. KẾT LUẬN

Giấy chống thấm và chịu nhiệt đang giữ vai trò ngày càng quan trọng trong ngành công nghiệp chế biến thực phẩm. Tuy nhiên, các công nghệ xử lý cellulose truyền thống hiện nay vẫn chưa đạt hiệu quả cao về khả năng chống thấm, đặc biệt là khả năng chịu nhiệt ở điều kiện chế biến. Trái lại, nhiều nghiên cứu gần đây cho thấy các phương pháp xử lý bề mặt và tráng phủ, bao gồm lớp phủ silicone, polymer sinh học (như nanocellulose), vật liệu vô cơ, cũng như các hệ lai hữu cơ-vô cơ, có thể cải thiện đáng kể tính chống thấm và độ bền nhiệt của giấy. Bên cạnh đó, những hạn chế liên quan đến tác động môi trường và khả năng tái chế của các công nghệ truyền thống đang thúc đẩy việc phát triển các giải pháp xử lý mới theo hướng an toàn và bền vững hơn. Các định hướng này được kỳ vọng sẽ góp phần tạo ra các vật liệu giấy chức năng đáp ứng đồng thời yêu cầu về hiệu năng, an toàn thực phẩm và thân thiện với môi trường ❖

Lời cảm ơn:

Tổng quan các kết quả nghiên cứu được hỗ trợ kinh phí từ Đề tài nghiên cứu khoa học và phát triển công nghệ số 030.2025.ĐT.BO/HĐKHNCN.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Silicone coatings offer new opportunities for food contact paper performance; The Dow Chemical Company (2021).
2. The Future of Specialty papers to 2015, Pira Internat
3. Specialty Papers and Paperboards Global Sourcebook, Alexander Watson Associates (2010).
4. Przybysz, P et al., The effect of the refining intensity on the progress of internal fibrillation and shortening of cellulose fibers, 2020
5. Martin A. Hubbe. et al., Greaseproof Paper Products: A Review Emphasizing, 2020. Ecofriendly Approaches.
6. Application of Silicone Release Coating in Baking Paper: Synergistic Advancements in Technology and Food Safety, 2025.
7. Dow data; The Dow Chemical Company.
8. Yunwei Huang et al., Investigation on the preparation of a highly water-resistant emulsion coating for paper-based packaging materials, 2025.
9. Kai Yi. et al., Cellulose nanofibrils/polydimethylsiloxane double-layer coating for fabrication of high barrier and excellent water- and oil-resistance paper, 2022.
10. Hamdani et al., Synthesis of Water-Dispersible Poly(dimethylsiloxane) and Its Potential Application in the Paper Coating Industry as an Alternative for PFAS-Coated Paper and Single-Use Plastics, 2024.

Ngày nhận bài: 12/01/2026; Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 29/01/2026; Ngày chấp nhận đăng bài: 10/2/2026

Người phản biện: PGS.TS.Phan Huy Hoàng - Đại học Bách khoa Hà Nội

Thông tin tác giả:

LÝ HỒNG LỆ, NGUYỄN THỊ THANH, NGÔ VĂN HỮU, ĐỖ THỊ THU NGUYỆT
Viện Công nghiệp Giấy và Xenlulô

AN OVERVIEW OF SAFE AND ENVIRONMENTALLY FRIENDLY COATING TECHNOLOGIES FOR THE PRODUCTION OF RELEASE AND HEAT RESISTANT PAPER USED IN FOOD PROCESSING

LY HONG LE, NGUYEN THI THANH, NGO VAN HUU, DO THI THU NGUYET

Research institute of pulp and paper industry

ABSTRACT:

The increasing demand to replace plastics in food packaging and food processing applications has accelerated the development of functional paper materials featuring grease- and water-resistant coatings together with sufficient thermal stability. Nevertheless, conventional coatings such as polyethylene (PE) and wax suffer from limited recyclability and may raise concerns regarding food safety, highlighting the urgent need for safer and more sustainable alternatives. This review provides a comprehensive overview of major coating technologies, including silicone-based coatings, biopolymer coatings (e.g., nanocellulose), inorganic coatings, and organic-inorganic hybrid systems. These approaches are critically analyzed in terms of their barrier formation mechanisms, resistance to oil and moisture, thermal stability, and suitability for food-contact applications. Furthermore, commonly used methods for evaluating the performance and safety of coated papers under realistic food processing conditions are discussed. Overall, the review identifies biobased and multilayer coating systems as particularly promising strategies for the development of sustainable, high-performance paper materials for food processing and packaging applications.

Keywords: *release paper; heat-resistant paper; baking paper; coatings; pulp and paper.*