



## Nghiên cứu ứng dụng zeolit Cr-Cu/ZSM-5 làm xúc tác cho quá trình chuyển hóa dịch đường glucose từ lõi ngô thành hydroxymethyl furfural

### Study on application of Cr-Cu/ZSM-5 zeolite catalyst for conversion of corn-cob derived glucose to hydroxymethyl furfural

Phan Huy Hoàng<sup>1\*</sup>, Thái Đình Cường<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Viện Kỹ thuật Hóa học, Đại học Bách Khoa Hà Nội*

*\*Email: hoang.phanhuy@hust.edu.vn*

#### ARTICLE INFO

Received: 31/8/2021

Accepted: 28/9/2021

Published: 30/9/2021

#### Keywords:

Corn-cob, glucose, Cu-Cr/ZSM-5, hydroxymethyl furfural

#### ABSTRACT

Cr-Cu/ZSM-5 zeolite catalysts were prepared by ion exchanged method and were characterized by XRD, SEM-EDS. The catalysts were applied to catalyze the transformation of corn-cob derived glucose into 5-hydroxymethyl furfural (HMF) under suitable reaction conditions. The effect of reaction conditions such as: catalyst dosage, temperature and reaction time on the yield of HMF product was investigated. The highest HMF yield of 32.6% was obtained when transformation carried out at suitable reaction conditions.

#### Giới thiệu chung

Zeolit là một loại vật liệu vô cơ tìm thấy trong tự nhiên, chúng được ứng dụng rộng rãi trong các lĩnh vực khoa học cũng như trong công nghiệp hóa chất. Zeolit chủ yếu được dùng trong hấp phụ, trao đổi ion, tách và làm sạch khí. Chính nhờ những đặc tính nổi trội như: Bề mặt riêng lớn, cấu trúc tinh thể xốp với kích thước mao quản đồng đều và khả năng biến tính tốt mà nó được đánh giá là xúc tác có độ bền, hoạt tính, tính chọn lọc cao, có thể thay đổi kích thước bằng cách lựa chọn zeolit phù hợp [1,2]. Zeolit ZSM-5 là một trong những xúc tác rắn được sử dụng rộng rãi bởi tính axit tương đối, là một trong những xúc tác rất hiệu quả và được ưa thích cho phản ứng chuyển hóa hữu cơ [3].

Tính axit của zeolit ZSM-5 cũng như kích thước hạt có ảnh hưởng lớn đến tính chất xúc tác của chúng. Do đó để nâng cao hoạt tính xúc tác và tăng độ chọn lọc của zeolit ZSM-5 người ta đã nghiên cứu và lai tạp, đưa thêm các ion kim loại vào trong mao quản hoặc lên bề

mặt của zeolit ZSM-5 [4,5]. 5-Hydroxymethyl furfural (HMF) là một chất trung gian quan trọng trong công nghiệp hóa học, có thể được thu nhận từ sinh khối lignoxenluloza, được sử dụng để tổng hợp thành các hóa chất cơ bản quan trọng khác [6-8]. Cho nên tổng hợp HMF từ nguồn sinh khối hoặc dẫn xuất của sinh khối như glucose thu nhận từ quá trình đường hóa xenluloza là một trong những nghiên cứu rất có ý nghĩa và mang tính thực tiễn cao.

Quá trình chuyển hóa glucose thành HMF có thể sử dụng nhiều loại xúc tác khác nhau. Trong đó, Yu Su và các cộng sự [7], đã chuyển hóa cellulose thu nhận HMF sử dụng xúc tác lỏng  $\text{CuCl}_2$  và  $\text{CrCl}_2$ . Hiệu suất HMF thu nhận được cao nhất là 57,5% với nồng độ HMF trong sản phẩm lên tới 96%. Nghiên cứu này đã cho thấy việc sử dụng các xúc tác chứa ion kim loại Cu, Cr cho hiệu suất thu nhận HMF khá cao. Tuy nhiên sử dụng xúc tác lỏng còn nhiều hạn chế hơn xúc tác rắn vì xúc tác lỏng khó thu hồi và tái sử dụng, ngoài ra còn không lợi về mặt kinh tế và môi trường [9-11]. Việc sử

dụng xúc tác rắn cho thấy kết quả thu nhận HMF tương đối cao và có thể thu hồi cũng như tái sử dụng xúc tác. Bên cạnh đó cũng có một số nghiên cứu sử dụng zeolit làm xúc tác cho quá trình chuyển hóa glucose hoặc xenluloza thành HMF [12,13]. Chính vì vậy, việc ứng dụng xúc tác zeolit lai tạo Cr-Cu/ZSM-5 trong phản ứng chuyển hóa sinh khối lignoxenluloza thu nhận HMF có nhiều ưu điểm vượt trội hơn cả. Quá trình này kết hợp được ưu điểm của xúc tác axit rắn zeolit ZSM-5 và khả năng xúc tác của ion Cu, Cr trong phản ứng chuyển hóa sinh khối thành HMF.

Do đó, mục đích chính của bài báo này là ứng dụng xúc tác rắn lai tạo có hoạt tính cao zeolit Cr-Cu/ZSM-5 để làm xúc tác cho phản ứng chuyển hóa dịch đường glucose, thu được từ quá trình đường hóa lõi ngô thành hydroxymethyl furfural (HMF).

## Thực nghiệm và phương pháp nghiên cứu

### Vật liệu

Hóa chất sử dụng trong nghiên cứu này là dạng thương phẩm xuất xứ Sigma Aldrich. Lõi ngô thu nhận từ Vĩnh Phúc, Việt Nam.

### Tổng hợp vật liệu xúc tác Cr-Cu/ZSM-5

Zeolit ZSM-5 được tổng hợp theo phương pháp thủy nhiệt được trình bày trong các công bố trước [3]. Dung dịch phản ứng được cho vào autoclave có thể tích 1 lít, đóng chặt và đặt trong lò nung ở nhiệt độ 175 °C trong khoảng thời gian 24 giờ. Sau khi kết thúc phản ứng thu được sản phẩm được tách ra bằng máy ly tâm và rửa nhiều lần bằng nước cất. Tiếp đó, các hạt zeolit ZSM-5 được sấy khô ở nhiệt độ 100°C và nung ở nhiệt độ 550°C trong 5 giờ.

Tiến hành thực nghiệm thu nhận vật liệu Cr-Cu/ZSM-5 bằng phương pháp trao đổi ion. Zeolit ZSM-5 ở dạng bột mịn, được khuấy trộn đều trong dung dịch (CrCl<sub>3</sub>, CuSO<sub>4</sub>) trên máy khuấy từ ở nhiệt độ phòng. Sản phẩm thu được được tách ra khỏi dung dịch bằng cách ly tâm, rửa nhiều lần bằng nước cất và sấy khô ở nhiệt độ 100°C, cuối cùng nung ở nhiệt độ 550°C trong 5 giờ. Vật liệu xúc tác thu được được phân tích bằng các phương pháp phân tích XRD (D8-Advance -Trường Đại học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội), SEM-EDS (JEOL JSM-7600F, Viện Tiên tiến Khoa học và Công nghệ, Đại học Bách Khoa Hà Nội) để xác định tính chất và cấu trúc của sản phẩm.

### Đường hóa lõi ngô thu nhận dịch đường glucose

Lõi ngô được thu gom và sử dụng để làm nguyên liệu cho quá trình đường hóa thu nhận dịch glucose. Lõi ngô được nghiền nhỏ tới kích thước 2 mm, và được tiền xử lý bằng natri hydroxit ở điều kiện là: nhiệt độ khoảng 100°C, thời gian tiền xử lý 2 giờ, tỷ lệ rắn:lỏng=1:10 và mức dùng kiềm hoạt tính là 20%.

Đối với quá trình đường hóa bằng enzym, sinh khối lõi ngô đã được xử lý được cho vào bình tam giác 250 ml để thủy phân bằng enzym với nồng độ 10% ở 50°C trong 120 h. Dung dịch natri xitrat 0,05 M được sử dụng làm chất đệm. Mức dùng enzyme Cellic® Ctec2 (Novozymes, Đan Mạch) là 35 FPU/g sinh khối khô. Sau quá trình thủy phân, hỗn hợp được lọc để tách lấy cặn rắn và dịch đường.

### Chuyển hóa glucose thành HMF sử dụng xúc tác Cr-Cu/ZSM-5

Dịch đường glucose sau thủy phân được chuyển hóa thành HMF sử dụng chất xúc tác Cr-Cu/ZSM-5 trong thiết bị phản ứng autoclave. Autoclave được gia nhiệt để đạt đến nhiệt độ mong muốn (120–140°C) và duy trì ở nhiệt độ đó trong một khoảng thời gian nhất định (2– 8 giờ). Sau phản ứng, hỗn hợp phản ứng được ly tâm để tách chất xúc tác rắn và dung dịch sản phẩm. Dung dịch sau phản ứng được phân tích HPLC để xác định hiệu suất chuyển hóa. Vật liệu xúc tác rắn được thu hồi và rửa sạch, sấy khô ở 100°C.

Sản phẩm lỏng được phân tích bằng HPLC nhãn hiệu Agilent HPLC-1200 với UV Detector tại phòng thí nghiệm Viện Công nghệ Sinh học & Thực phẩm – Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội. Nhiệt độ hoạt động từ 5÷50°C, độ ẩm từ 5÷95%, tiêu chuẩn phù hợp GLP\GMP. Máy được trang bị bơm chân không khử khí G1322A. Cột phân tích Aminex HPX-87P, pha tĩnh: lead form, kích thước hạt 9 µm, 8% cross linkage, dải pH hoạt động 5-9. Pha động là nước khử ion được lọc qua màng 0,45 µm và khử khí.

Hiệu suất HMF được tính theo công thức sau:

$$\text{Hiệu suất (\%)} = \frac{\text{Số mol HMF}}{\text{số mol glucose}} \times 100\%$$

## Kết quả và thảo luận

### Nghiên cứu tổng hợp xúc tác Cr-Cu/ZSM-5

Zeolit ZSM-5 được tổng hợp theo phương pháp thủy nhiệt, có sử dụng chất tạo cấu trúc TPAOH và CTAB để thu nhận cấu trúc mao quản trung bình. Vật liệu zeolit ZSM-5 sau đó được tiến hành trao đổi ion để đưa các cation kim loại Cr, Cu vào cấu trúc zeolit.

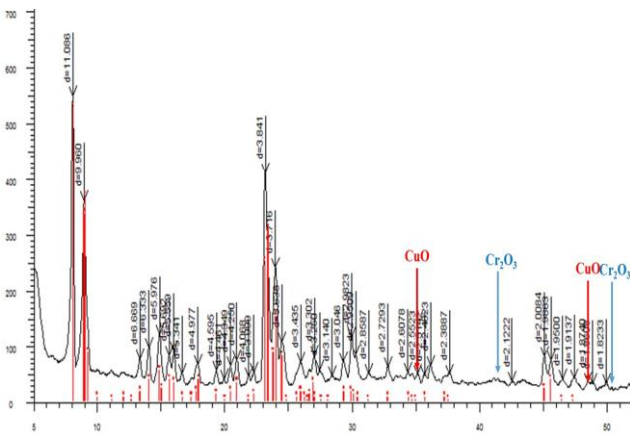
Tiến hành quá trình trao đổi ion với hỗn hợp dung dịch CuSO<sub>4</sub> 1M và CrCl<sub>3</sub> 1M ở nhiệt độ phòng, với thời gian khác nhau, nhằm thu được các vật liệu xúc tác có hàm lượng cation khác nhau. Quá trình thực nghiệm được tiến hành ở nhiệt độ phòng (khoảng 30°C), với thời gian trao đổi ion là 3, 4 và 5h.

Sản phẩm zeolit Cr-Cu-ZSM-5 thu được, được phân tích thành phần nguyên tố bằng phương pháp phân tích EDS (Energy-dispersive X-ray spectroscopy) để xác định hàm lượng nguyên tố Cu, Cr đã đưa vào trong cấu trúc zeolit ZSM-5. Kết quả phân tích được đưa ra trong bảng 1 (thành phần tính theo % khối lượng).

Nhìn vào bảng số liệu ta thấy khi thay đổi thời gian cho kết quả là thành phần của Cu và Cr thay đổi. Có thể thấy rằng, nhìn chung khi tăng thời gian quá trình trao đổi ion thì hàm lượng Cu và Cr trong sản phẩm zeolit thu được là tăng lên.

Bảng 1: Kết quả trao đổi ion ở các thời gian khác nhau

Mẫu	Thời gian, h	Thành phần Cu, %	Thành phần Cr, %
M1	3	0,1	0,1
M2	4	0,2	0,1
M3	5	0,25	0,07



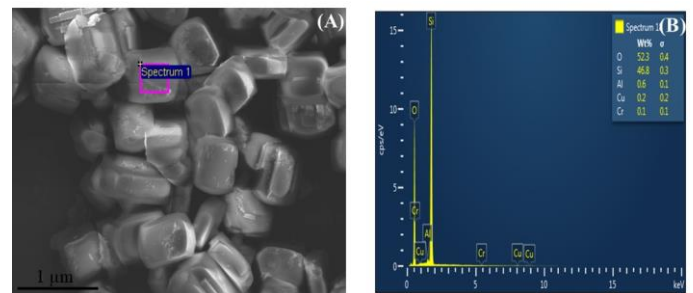
Hình 1: Phổ XRD của Cr-Cu/ZSM-5 thu được (màu đen), so sánh với phổ chuẩn của ZSM-5 (màu đỏ)

Cụ thể, khi tăng thời gian từ 3 đến 4h thì thành phần Cu trong cấu trúc zeolit tăng lên từ 0,1 lên 0,2% và thành phần Cr không thay đổi. Tuy nhiên, chỉ có đối với Cr, khi thời gian trao đổi ion quá dài (tăng từ 4h lên 5h) thì hàm lượng Cr trong cấu trúc zeolit lại giảm từ 0,1% xuống 0,07%; trong khi hàm lượng Cu lại tăng từ 0,2 lên 0,25%. Bởi vì khi thời gian trao đổi ion diễn ra dài, sẽ có sự cạnh tranh trong quá trình trao đổi và lắng đọng của ion Cu và Cr. Điều này có thể là do bán

kinh ion nguyên tử của Cu là 0,96 Å nhỏ hơn bán kính ion nguyên tử của Cr là 1,28 Å, làm cho Cr khó lai tạp vào mạng cấu trúc của zeolit ZSM-5. Và sự lựa chọn ion Cu đi vào trong cấu trúc mạng của zeolit được ưu tiên hơn làm cho hàm lượng của ion Cu càng tăng trong khi hàm lượng ion Cr lại giảm dần. Do đó, lựa chọn thời gian thích hợp cho quá trình trao đổi ion là 4h.

Vật liệu zeolit Cr-Cu/ZSM-5 sau quá trình trao đổi ion được phân tích phổ XRD để xác định cấu trúc và tính chất sản phẩm. Kết quả được thể hiện trong hình 1.

Từ phổ thu được trong hình 1 ta thấy phổ XRD của sản phẩm zeolit Cr-Cu/ZSM-5 thu được (phổ màu đen) trùng khớp với phổ zeolit ZSM-5 chuẩn lấy từ ngân hàng phổ XRD (phổ màu đỏ). Từ cấu trúc của Cr-Cu/ZSM-5 và ZSM-5 nguyên thể ban đầu cho thấy rằng cấu trúc của ZSM-5 vẫn được giữ nguyên vẹn ngay cả sau quá trình trao đổi ion với dung dịch chứa ion Cu, Cr. Độ kết tinh với cường độ cao của Cr-Cu/ZSM-5 ở các pic có góc  $2\theta = 7\div 10$  và  $22\div 25$  là không hề thay đổi sau khi có sự trao đổi ion Na với Cu và Cr diễn ra trong cấu trúc zeolit ZSM-5. Bên cạnh đó cũng có các pic mới xuất hiện ở các góc  $2\theta = 42$  và  $50$  đặc trưng cho hợp chất Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> và ở các góc  $2\theta = 36$ ,  $48$  đặc trưng cho hợp chất CuO. Chứng tỏ là zeolit Cr-Cu/ZSM-5 được tổng hợp thành công bằng phương pháp trao đổi ion. Sản phẩm zeolit thu được có độ tinh thể cao, với cấu trúc zeolit MFI. Kết quả này cũng phù hợp và được hỗ trợ bởi kết quả thu được từ phân tích ảnh SEM.



Hình 2: (A) Ảnh SEM và (B) phổ EDS của zeolit Cr-Cu/ZSM-5.

Từ hình ảnh SEM (hình 2-A) ta thấy, kích thước hạt trung bình của vật liệu zeolit là khoảng 0,6-0,8 μm. Sản phẩm zeolit Cr-Cu-ZSM-5 có độ tinh thể cao, hình dạng và kích thước tương đối đồng đều, hạt có hình dạng đặc trưng của vật liệu zeolit ZSM-5 với cấu hình orthorhombic.

Từ phổ EDS (hình 2-B) của zeolit Cr-Cu/ZSM-5, ta thấy trong cấu trúc của zeolit có mặt nhiều thành phần với hàm lượng khác nhau gồm các nguyên tử là O, Al, Si,

Cr, Cu. Hàm lượng nguyên tố Cr trong cấu trúc lai tạp Cr-Cu/ZSM-5 khoảng 0,1%, còn hàm lượng nguyên tố Cu trong cấu trúc lai tạp Cu-Cr/ZSM-5 khoảng 0,2%. Điều này chứng tỏ rằng ion Cr, Cu đã có mặt trong cấu trúc của zeolit ZSM-5, ở tại bề mặt hoặc trong các mao quản thay thế cho cation Na. Như vậy có thể thấy Cr-Cu/ZSM-5 đã được tổng hợp thành công bằng phương pháp trao đổi ion. Kết quả này phù hợp và bổ sung thêm cho kết quả của phổ XRD.

### Nghiên cứu ứng dụng xúc tác zeolit Cr-Cu/ZSM-5 cho quá trình chuyển hóa sinh khối thành HMF

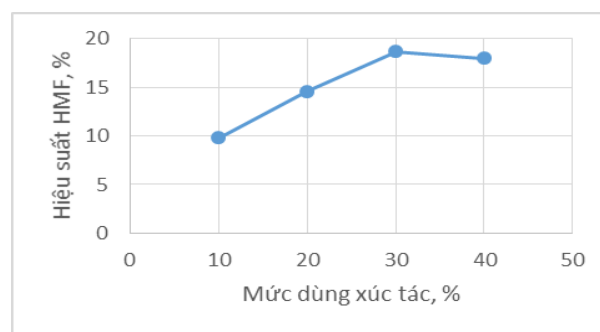
Trong các phản ứng tổng hợp hữu cơ, xúc tác có vai trò rất quan trọng giúp thúc đẩy phản ứng diễn ra nhanh hơn, tốc độ phản ứng cao và nhanh chóng thu nhận được sản phẩm mục tiêu với hiệu suất cao. Do đó đã nghiên cứu ứng dụng zeolit Cr-Cu/ZSM-5 với hàm lượng ion lai tạp Cr, Cu khác nhau thu được làm xúc tác cho phản ứng chuyển hóa dịch đường glucose thành HMF. Điều kiện tiến hành thí nghiệm cụ thể như sau: mức dùng xúc tác là 30%, trong thời gian phản ứng là 2h ở nhiệt độ 130°C. Kết quả thu được trình bày trong bảng 2.

Bảng 2: So sánh hiệu quả các xúc tác

Mẫu	M1	M2	M3
Hàm lượng Cr-Cu,%	0,1-0,1	0,1-0,2	0,07-0,25
Hiệu suất thu HMF, %	13,5	18,7	15,2

Từ bảng số liệu ta thấy khi tiến hành thí nghiệm ở cùng điều kiện cụ thể phản ứng nhưng các mẫu xúc tác có hàm lượng của Cu, Cr khác nhau thì sẽ cho các kết quả khác nhau. Ở mẫu M1 khi cho hàm lượng Cu và Cr là 0,1 và 0,1 thì hiệu suất thu được HMF là 13,5 %, khi tăng hàm lượng Cu lên 0,25 và thành phần Cr giảm còn 0,07 thì hiệu suất HMF thu được chỉ tăng nhẹ lên 15,2%. Với mẫu xúc tác M2 có hàm lượng Cr-Cu là 0,1-0,2 cho hiệu suất HMF cao nhất do đó lựa chọn mẫu xúc tác M2 là xúc tác cho các nghiên cứu tiếp theo, và điều này cũng phù hợp với kết quả ở quá trình tổng hợp Cr-Cu/ZSM-5 ở trên.

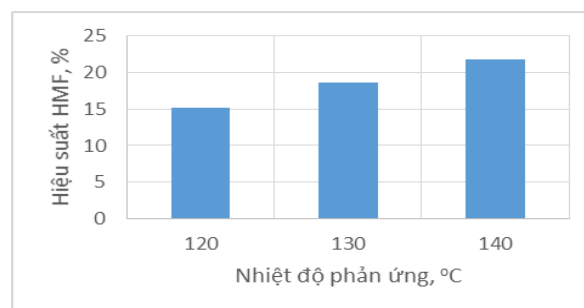
Bên cạnh đó, cũng đã tiến hành nghiên cứu ảnh hưởng của mức dùng xúc tác đến hiệu suất thu nhận HMF. Quá trình thực nghiệm được tiến hành nghiên cứu sử dụng xúc tác M2 tại 4 mức dùng khác nhau từ 10%, 20%, 30%, 40% và cố định những điều kiện phản ứng khác, cụ thể như sau: Nhiệt độ phản ứng là 130°C, trong thời gian 2h. Kết quả được thể hiện trong đồ thị hình 3.



Hình 3: Ảnh hưởng của mức dùng xúc tác đến hiệu suất thu nhận HMF.

Từ kết quả thu được như trên đồ thị nhận thấy khi tăng mức dùng xúc tác từ 10% lên 30%, hiệu suất thu nhận HMF tăng lên rõ rệt. Chứng tỏ rằng xúc tác Cr-Cu/ZSM-5 cho hiệu quả tốt trong chuyển hóa glucose thành HMF. Khi tiếp tục tăng mức dùng xúc tác từ 30 lên 40%, hiệu suất HMF thu nhận được có xu hướng giảm nhẹ. Việc này có thể là do khi sử dụng nhiều xúc tác, ở trong dung dịch có hiện tượng kết đám một phần làm cho lượng xúc tác bị lắng xuống đáy thiết bị phản ứng, không tiếp xúc được với chất phản ứng. Ngoài ra, khi lượng xúc tác lớn, có khả năng xảy ra phản ứng phụ, cũng như sản phẩm bị hấp phụ trong mao quản, làm giảm hiệu suất thu nhận sản phẩm HMF. Từ kết quả trên, lựa chọn mức dùng xúc tác 30% là thích hợp, sử dụng cho các nghiên cứu tiếp theo.

Theo lý thuyết nhiệt động hóa học, nhiệt độ là một trong những yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến hiệu suất của các phản ứng hóa học. Vì thế đã tiến hành nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ đến phản ứng chuyển hóa glucose thành HMF. Điều kiện phản ứng cụ thể như sau: mức dùng xúc tác là 30%, thời gian phản ứng là 2h, với nhiệt độ thay đổi trong khoảng từ 120-140°C. Hỗn hợp dung dịch sau phản ứng chuyển hóa glucose có sử dụng xúc tác zeolit Cr-Cu/ZSM-5 ở các nhiệt độ phản ứng khác nhau được lấy ra, ly tâm tách loại xúc tác và sản phẩm, sau đó hỗn hợp dung dịch sản phẩm được đem đi phân tích HPLC để xác định hiệu suất thu nhận HMF. Kết quả được thể hiện trong đồ thị hình 4.

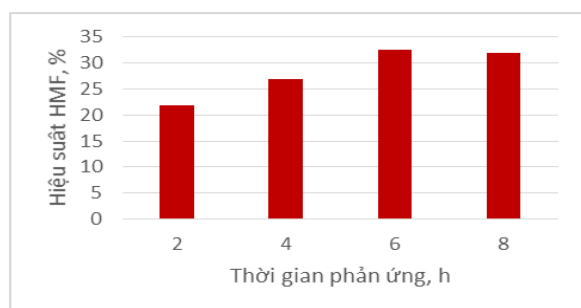


Hình 4: Ảnh hưởng của nhiệt độ

Từ kết quả thu được ở các nhiệt độ khác nhau như trong đồ thị hình 4 cho thấy khi tăng nhiệt độ phản ứng thì hiệu suất HMF tăng. Khi nhiệt độ tăng từ 120 đến 130°C thì hiệu suất HMF tăng từ 15% lên 18,78%, và khi tăng nhiệt độ lên đến 140°C thì hiệu suất thu nhận HMF đạt xấp xỉ 22%. Điều này có thể giải thích là khi tăng nhiệt độ, khả năng khuếch tán cũng như số va chạm hiệu quả giữa các phân tử chất phản ứng với nhau và với các tâm hoạt động trên xúc tác cũng tăng, phản ứng đã được cấp thêm một phần năng lượng hoạt hóa để có thể diễn ra dễ dàng hơn. Vì thế tốc độ phản ứng tăng, và hiệu suất thu nhận HMF tăng lên.

Như vậy các kết quả khảo sát trên cho thấy nhiệt độ có ảnh hưởng tích cực đối với hiệu suất chuyển hóa glucose thành HMF. Từ đó có thể dự đoán rằng, khả năng khuếch tán cũng như số va chạm hiệu quả giữa các phân tử chất phản ứng với nhau và với các tâm hoạt động trên xúc tác ở điều kiện nhiệt độ này là lớn nhất. Do đó nhiệt độ thích hợp cho phản ứng được lựa chọn là 140°C.

Để nghiên cứu ảnh hưởng của thời gian phản ứng đến hiệu suất chuyển hóa gluco thành HMF, quá trình thực nghiệm được tiến hành với sự thay đổi thời gian từ 2h-8h và cố định những điều kiện khác là mức dùng xúc tác và nhiệt độ, cụ thể như sau: mức dùng xúc tác zeolit Cr-Cu-ZSM-5 là 30%, nhiệt độ: 140°C. Kết quả được thể hiện trong hình 5.



Hình 5: Ảnh hưởng của thời gian phản ứng đến hiệu suất thu nhận HMF

Thay đổi thời gian ở các mức 2h, 4h, 6h, 8h. Từ biểu đồ hình 5, khi tăng thời gian phản ứng thì hiệu suất thu nhận HMF có tăng nhưng sau thời gian phản ứng dài lại giảm nhẹ. Cụ thể là, khi thời gian phản ứng là 2h thì hiệu suất thu nhận HMF đạt 21,8%, tăng lên khoảng 32,6% khi thời gian phản ứng là 6h. Khi tăng thời gian phản ứng lên 8h, hiệu suất thu nhận HMF giảm nhẹ xuống còn khoảng 32%, điều này có thể là do ở thời gian phản ứng quá dài đã tạo ra nhiều sản phẩm phụ không mong muốn. Như vậy có thể thấy, dù có tăng thêm thời gian phản ứng nhưng hiệu suất thu nhận HMF cũng không tăng lên được nhiều thậm chí còn

giảm nhẹ (ở 8h). Điều này có thể được lý giải là do phản ứng tạo ra các sản phẩm phụ bắt đầu tăng lên và ở thời gian phản ứng dài thì HMF có thể bị phân hủy thành humin hoặc các sản phẩm phụ khác. Vì vậy, chọn thời gian phản ứng thích hợp là 6h để chuyển hoá glucose thu nhận HMF.

Từ các nghiên cứu trên, điều kiện thích hợp được lựa chọn cho phản ứng chuyển hóa dịch đường glucose, thu nhận từ quá trình đường hóa lõi ngô thành HMF như sau: mức dùng xúc tác zeolit Cr-Cu/ZSM-5 là 30%, nhiệt độ phản ứng là 140°C, thời gian phản ứng là 6h. Phản ứng chuyển hóa glucose ở điều kiện trên, hiệu suất HMF thu nhận được khoảng 32,6%, kết quả này tương tự kết quả thu được từ quá trình chuyển hóa glucose hoặc sinh khối sử dụng một số xúc tác khác [6,10,11].

## Kết luận

Vật liệu lai tạo zeolit Cr-Cu/ZSM-5 sau khi tổng hợp có độ tinh thể cao, và vẫn giữ nguyên cấu trúc đặc trưng MFI của zeolit ZSM-5. Xúc tác lai tạo Cr-Cu-ZSM-5 đã thể hiện hoạt tính và hiệu quả cao trong phản ứng chuyển hóa glucose thành Hydroxymethylfufural (HMF).

Đã tìm ra được điều kiện công nghệ thích hợp chuyển hóa dịch đường thu nhận từ quá trình đường hóa lõi ngô thành HMF sử dụng xúc tác zeolit Cr-Cu/ZSM-5, như sau: mức dùng xúc tác khoảng 30%, ở nhiệt độ phản ứng là 140°C với thời gian phản ứng 6h. Hiệu suất thu nhận HMF là tương đối cao, khoảng 32,6% khi tiến hành phản ứng chuyển hóa glucose ở điều kiện thích hợp tìm được.

## Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội trong đề tài mã số T2020-TĐ-005.

## Tài liệu tham khảo

1. Mai Tuyên, Xúc tác zeolit trong hoá dầu, NXB khoa học và kỹ thuật, Hà Nội, 2004.
2. C.S. Cundy, P.A. Cox, Chem Rev, 103, (2003) 663–701.  
<https://doi.org/10.1021/cr020060i>
3. P.H. Hoang, L.Q. Dien, Chem Eng J, 262, (2015) 140–145.  
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.09.092>

4. F. Ayari, M. Mhamdi, J. Alvarez-Rodriguez, A. Guerrero-Ruiz, G. Delahay, A. Ghorbel, *Applied Catalysis B: Environmental*, (2013) 134–135, 367–380. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2013.01.026>
5. P.H. Hoang, N.T. Nhung, L.Q. Dien, *AIP Adv*, 7, (2017) 105311–105318. <https://doi.org/10.1063/1.4986310>
6. J.N. Chheda, Y. Román-Leshkov and J.A. Dumesic, *Green Chemistry*, 9, (2007) 342 – 350. <https://doi.org/10.1039/B611568C>
7. Y. Su, H.M. Brown, X. Huang, X.D. Zhou, J.E. Amonette, Z.C. Zhang, *Applied Catalysis A: General*, 361, (2009) 117 – 122. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2009.04.002>
8. I. Jiménez-Morales, A. Teckchandani-Ortiz, J. Santamaría-González, P. Maireles-Torres, A. Jiménez-López, *Appl Catal B*, 144, (2014) 22–28. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2013.07.002>
9. T. Wang, M.W. Nolte, B.H. Shanks, *Green Chem*, 16, (2014) 548–572. <https://doi.org/10.1039/C3GC41365A>
10. Z. Xue, M.G. Ma, Z. Li, T. Mu, *RSC Adv*, 6, (2016) 98874–98892. <https://doi.org/10.1039/C6RA20547J>
11. G.P. Perez, A. Mukherjee, M. Dumont, *J Ind Eng Chem*, 70, (2019) 1–34. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2018.10.002>
12. L. Hu, Z. Wu, J. Xu, Y. Sun, L. Lin, S. Liu, *Chem Eng J*, 244, (2014) 137–144. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.01.057>
13. P.H. Hoang, N.M. Dat, T.D. Cuong and D.T. Tung, *RSC Adv.*, 10, (2020) 13489. <https://doi.org/10.1039/D0RA02037K>