

Nghiên cứu sự tạo thành và phân hủy gốc tự do HO*, dưới tác dụng của xúc tác phức [Co(Acac)]⁺

Lê Văn Huỳnh*, Trương Thị Thủy, Trần Thị Hà

Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

Đến Toà soạn 10-5-2016; Chấp nhận đăng 25-10-2016

Abstract

Homogeneous catalysts complex is increasingly widely used in many fields. Under the catalytic effect of the complex, the reaction occurs in softer conditions, so the energy savings for the response process. Using the method, the inhibitor - competition, special effects with free radicals HO*, have demonstrated arising and destroying of free radicals HO*, under the effect of the catalytic complex [Co(Acac)]⁺, there is a change of oxidation of Co²⁺. Demonstrate, mechanism of reactions that take place under the original circuit. This paper is the research results arise and destroying the free radicals HO*, under the effect of the catalytic complex [Co(Acac)]⁺, has determined the reaction mechanism is the Circuit of radical and the oxidation rate constants $k_{(Ind+HO^*)} = 5.46 \times 10^8 \text{ (l.mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1})$.

Keywords. The free radicals formation, the free-radical decomposition.

1. MỞ ĐẦU

Phức xúc tác được nghiên cứu dựa trên cơ sở mô phỏng thành phần, cấu trúc và cơ chế hoạt động của xúc tác enzym. Trong đó trung tâm tạo phức là các ion kim loại chuyển tiếp, còn protein được thay thế bằng các ligand hữu cơ có chứa các nhóm chức hoạt động, có khả năng phối trí với các ion kim loại, tạo thành phức chất có khả năng xúc tác tương tự như enzym. Xúc tác phức ngày càng được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực như: công nghiệp, phân tích vi lượng, chế tạo vật liệu, hóa dầu, dược phẩm, chế biến thực phẩm, công nghệ sinh học, xử lý nước thải bảo vệ môi trường... Dưới tác dụng của xúc tác phức, thì các phản ứng xảy ra ở điều kiện mềm hơn, do đó, tiết kiệm được năng lượng cho các quá trình phản ứng [1, 3, 5].

Phức chất xúc tác có những ưu điểm như: Thành phần và cấu tạo phân tử đơn giản hơn enzym, cơ chế xúc tác, độ chọn lọc, hoạt tính xúc tác rất gần với xúc tác enzym, nhưng độ bền nhiệt động của phức xúc tác cao hơn nhiều so với enzym, nên các quá trình phản ứng khi có mặt của xúc tác phức được thực hiện ở ngay điều kiện nhiệt độ và áp suất thường. Chính vì vậy, xúc tác phức được xem như là mô hình hóa của xúc tác enzym. Điều này đã tạo nên một hướng nghiên cứu mới.

Phức xúc tác được tạo bởi các ion kim loại chuyển tiếp với các ligand hữu cơ, sử dụng các phức chất này để hoạt hóa O₂ không khí cũng như H₂O₂, là những chất tương đối rẻ tiền, để sinh ra các gốc tự

do HO*. Các gốc tự do HO* này là những chất oxy hóa rất mạnh, có khả năng phân hủy các hợp chất hữu cơ [3, 5].

Sử dụng xúc tác phức, nhằm mục đích là có thể tối ưu hóa các dây chuyền sản xuất, tăng hiệu quả và năng suất quá trình, giảm sản phẩm phụ, hướng tới nền sản xuất ít chất thải – sản xuất sạch hơn, giảm giá thành sản phẩm [1, 2].

Để nghiên cứu sự phát sinh và hủy diệt các gốc tự do HO* dưới tác dụng của xúc tác phức, thì người ta hay sử dụng phương pháp dùng các chất ức chế – cạnh tranh giành gốc tự do HO*. Khi có mặt chất ức chế, thì tốc độ phản ứng bị kiềm hãm, xuất hiện chu kỳ cảm ứng. Nguyên nhân là do chất ức chế đã tranh giành gốc tự do HO*, nên tốc độ phản ứng bị chậm lại, cho đến khi trong dung dịch phản ứng không còn chất ức chế nữa, thì tốc độ phản ứng lại diễn ra như ban đầu. Phương pháp này, không những phát hiện sự phát sinh và hủy diệt các gốc tự do HO*; HO₂*; O₂*⁻ ... ở nồng độ rất nhỏ, cỡ từ 10⁻⁹ đến 10⁻⁷ mol/l, mà còn có thể xác định được hằng số tốc độ phản ứng, giữa các gốc tự do này với cơ chất. Indigocarmine (Ind) là chất mang màu thường được sử dụng là cơ chất [2, 4, 5].

Bài báo này, là kết quả nghiên cứu sự phát sinh và hủy diệt các gốc tự do HO*, dưới tác dụng của xúc tác phức [Co(Acac)]⁺ để oxy hóa Indigocarmine, đồng thời xác định được hằng số tốc độ oxy hóa Indigocarmine $k_{(Ind+HO^*)}$, bằng phương pháp dùng các chất ức chế – cạnh tranh.

2. THỰC NGHIỆM

Các hoá chất được sử dụng trong nghiên cứu có độ sạch PA, do hãng Merck (CHLB Đức) sản xuất.

Dung dịch CoSO_4 được sử dụng tạo nguồn ion Co^{2+} , dung dịch H_2O_2 được sử dụng là chất oxy hóa.

Axetylaxeton (Acac) $\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$ là ligand tạo phức với ion Co^{2+} ; pH của dung dịch phản ứng được đo trên máy pH – meter HANNA.

Điều chỉnh độ pH của dung dịch phản ứng bằng các HClO_4 và NaOH . Nhiệt độ của bình phản ứng được giữ không đổi ở $(30 \pm 0,1)^\circ\text{C}$ nhờ máy ổn nhiệt U10. Indigocarmin (Ind) $\text{C}_{16}\text{H}_8\text{N}_2\text{Na}_2\text{O}_8\text{S}_2$ là chất mang màu, được sử dụng làm cơ chất cho quá trình phản ứng. Sử dụng phương pháp phổ hấp thụ electron phân tử UV-Vis, trên máy Angilet 8432 của Thụy Sĩ, để theo dõi sự biến thiên mật độ quang của dung dịch phản ứng tại bước sóng hấp thụ cực đại của Ind là $\lambda = 612 \text{ nm}$.

Thực nghiệm được tiến hành như sau: Cho lần lượt vào bình phản ứng nước cất 2 lần, các dung dịch CoSO_4 ; Acac; Ind và chất ức chế In như: axit Ascorbic (Ac) $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$; hydroquinon (Hq) $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_2$ và paranitrozodimetylanilin (Pa) $\text{C}_8\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}$.

Tổng thể tích dung dịch nghiên cứu là 30 ml, hỗn hợp phản ứng được khuấy trộn liên tục bằng máy khuấy từ, để tạo điều kiện ổn định cho quá trình tạo phức. Thời điểm bắt đầu cho H_2O_2 vào, được coi là mốc bắt đầu xảy ra phản ứng.

Độ biến thiên mật độ quang của hỗn hợp dung dịch phản ứng.

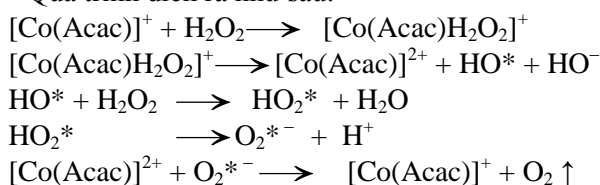
Tốc độ phản ứng W^{Ind} được xác định theo công thức:

$$W^{\text{Ind}} = \frac{\Delta D}{\varepsilon \cdot d \cdot \Delta t} \quad (\text{mol.l}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (1)$$

Trong đó: ΔD là hiệu mật độ quang; Δt là thời gian phản ứng; $d = 1 \text{ cm}$ là độ dày của cuvet; $\varepsilon = 1,02 \cdot 10^4 \text{ l.mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ là hệ số hấp thụ phân tử của Ind tại bước sóng $\lambda = 612 \text{ nm}$.

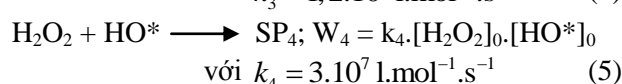
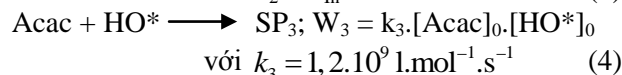
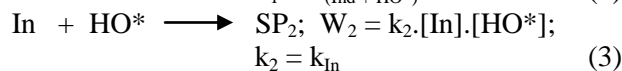
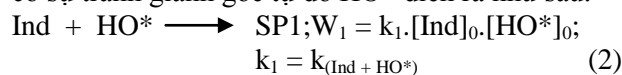
Dưới tác dụng của xúc tác phức $[\text{Co}(\text{Acac})]^+$, H_2O_2 bị phân hủy trong nội cầu của phức, sinh ra các gốc tự do HO^* . Chính các gốc tự do này tương tác với những phân tử khác, có phát sinh gốc tự do O_2^{*-} để phục hồi dạng xúc tác ban đầu [2, 3, 5].

Quá trình diễn ra như sau:



Sử dụng các chất ức chế có tác dụng đặc thù với gốc tự do HO^* , để xác định hằng số tốc độ oxy hoá

Ind $k_{(\text{Ind} + \text{HO}^*)}$. Khi sử dụng các chất ức chế (In), thì có sự tranh giành gốc tự do HO^* diễn ra như sau:



Biến thiên nồng độ ΔC của Ind sau những khoảng thời gian Δt , ứng với mỗi giá trị nồng độ của chất ức chế $[\text{In}]_0$, $d = 1 \text{ cm}$ là độ dày cuvet với hệ số hấp thụ phân tử ε của Ind, được tính theo công thức:

$$\Delta C_i = \frac{\Delta D_i}{\varepsilon \cdot d} \quad (6)$$

Mặt khác theo [2, 5], ta có:

$$\frac{1}{\Delta C_i} = a + \frac{a}{k_1} \cdot \frac{k_2 \cdot [\text{In}]_0 + k_3 \cdot [\text{Acac}]_0 + k_4 \cdot [\text{H}_2\text{O}_2]_0}{[\text{Ind}]_0} \quad (7)$$

$$\text{Nếu đặt: } y = \frac{1}{\Delta C_i}; \quad b = \frac{a}{k_1}$$

$$\text{và } x = \frac{k_2 \cdot [\text{In}]_0 + k_3 \cdot [\text{Acac}]_0 + k_4 \cdot [\text{H}_2\text{O}_2]_0}{[\text{Ind}]_0}$$

Phương trình (7) có dạng: $y = a + b \cdot x$.

Trong đó a, b được xác định theo phương pháp bình phương bé nhất:

$$a = \frac{\sum x^2 \cdot \sum y - \sum x \cdot \sum x \cdot y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (8)$$

$$b = \frac{n \cdot \sum x \cdot y - \sum x \cdot \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (9)$$

$$k_1 = a/b \quad (10)$$

Sử dụng lập trình Pascal, ta có thể xác định được hằng số tốc độ phản ứng oxy hóa Indigocarmin (Ind) $k_{(\text{Ind} + \text{HO}^*)}$.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của chất ức chế axit ascorbic (Ac)

Thêm chất ức chế (Ac) vào hỗn hợp dung dịch phản ứng. Theo dõi sự biến thiên mật độ quang ΔD của hỗn hợp dung dịch phản ứng theo thời gian Δt , ở điều kiện sau:

Nồng độ $[\text{Co}^{2+}]_0 = [\text{Acac}]_0 = 10^{-5} \text{ M}$;
 $[\text{Ind}]_0 = 1,5 \times 10^{-4} \text{ M}$; $[\text{H}_2\text{O}_2]_0 = 10^{-2} \text{ M}$; pH = 11;
 nồng độ của chất ức chế $[\text{Ac}]_0 = (0-30) \times 10^{-5} \text{ M}$.

Kết quả nghiên cứu được thể hiện trên bảng 1 và hình 1 cho thấy:

Khi chưa có chất ức chế Ac trong hỗn hợp dung dịch phản ứng, sự biến thiên mật độ quang ΔD là lớn nhất ứng với đường cong số (1).

Khi nồng độ chất ức chế $[Ac]_0$ tăng dần, sự biến thiên ΔD của dung dịch giảm chậm dần, ứng với đường cong từ số (2) đến (10) (hình 1a).

Như vậy khi nồng độ chất ức chế càng lớn, độ giảm ΔD càng chậm, nguyên nhân là do chất ức chế Ac đã tranh giành gốc tự do HO^* .

Mặt khác, khi sử dụng nồng độ chất ức chế $[Ac]_0 = 10^{-6} M$ và tiến hành theo dõi sự biến thiên mật độ quang của dung dịch phản ứng tại bước sóng hấp thụ cực đại của Ac là $\lambda = 265 \text{ nm}$, nhận thấy rằng: bản thân chất ức chế Ac cũng bị tiêu hao trong

quá trình phản ứng (hình 1b).

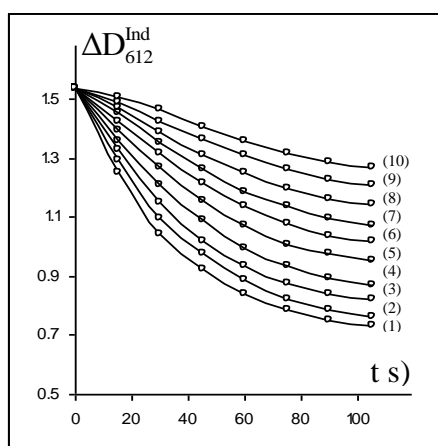
Bảng thực nghiệm có thể khẳng định rằng: Trong quá trình oxi hoá Ind đã phát sinh ra gốc tự do HO^* . Đặc trưng của cơ chế là trong phản ứng có sự tạo thành các gốc tự do HO^* , HO_2^* , O_2^{*-} ... đồng thời có sự thay đổi số oxi hoá của ion kim loại M^{Z+} . Chứng tỏ cơ chế của phản ứng diễn ra theo cơ chế mạch gốc.

Từ các số liệu trên bảng 1 và theo các phương trình phản ứng (2-5) và các công thức (1-10), ta xác định được hằng số tốc độ oxi hóa $k_{(Ind + HO^*)}$.

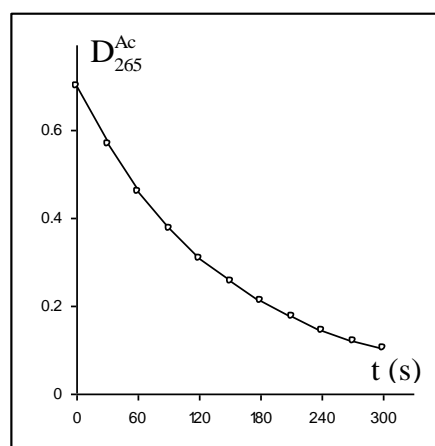
Bảng ngôn ngữ lập trình Pascal xác định được hằng số tốc độ oxi hoá Ind đối với chất ức chế Ac là $k_{Ind+HO^*} = 5,25 \cdot 10^8 \text{ l.mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$.

Bảng 1: Bảng số liệu xác định hằng số tốc độ oxi hóa $k_{(Ind + HO^*)}$ đối với chất ức chế Ac

N	$[Ac]_0$ $\times 10^5 M$	ΔD $\times 10^5 M$	ΔC $\times 10^5 M$	$K_2[Hq]_0$ $\times 10^{-5} M$	$K_3[Acac]_0$ $\times 10^{-5} M$	$K_4[H_2O_2]_0$ $\times 10^{-5} M$	X $\times 10^{-9}$	Y $\times 10^{-4}$
1	0,25	0,257	2,520	0,18	0,12	3	2,20	3,969
2	0,50	0,217	2,127	0,36	0,12	3	2,32	4,700
3	1,00	0,181	1,774	0,72	0,12	3	2,56	5,635
4	3,00	0,143	1,402	2,16	0,12	3	3,52	7,133
5	4,00	0,114	1,118	2,88	0,12	3	4,00	8,947
6	7,00	0,084	0,823	5,04	0,12	3	5,44	12,143
7	10,00	0,067	0,657	7,20	0,12	3	6,88	15,224
8	15,00	0,052	0,510	10,80	0,12	3	9,28	19,615
9	30,00	0,033	0,324	21,60	0,12	3	16,48	30,909



(a) Sự phụ thuộc của ΔD vào $[Ac]_0$



(b) Sự tiêu hao chất ức chế Ac

Hình 1: Xác định hằng số $k_{(Ind + HO^*)}$ với chất ức chế axit ascorbic (Ac)

3.2. Nghiên cứu ảnh hưởng của chất ức chế hydroquinon (Hq)

Thêm chất ức chế hydroquinon (Hq) vào hỗn hợp dung dịch phản ứng. Theo dõi sự biến thiên mật độ quang ΔD theo thời gian ở điều kiện:

Nồng độ $[Co^{2+}]_0 = [Acac]_0 = 10^{-5} M$; $[Ind]_0 = 1,5 \times 10^{-4} M$; $[Hq]_0 = (0-40) \times 10^{-5} M$; $[H_2O_2]_0 = 10^{-2} M$; pH = 11. Tại bước sóng hấp thụ cực đại của Hq

là $\lambda = 288 \text{ nm}$. Kết quả nghiên cứu được thể hiện trên bảng 2 và hình 2 cho thấy:

Khi chưa có chất ức chế Hq, quá trình oxi hoá Ind diễn ra nhanh nhất được thể hiện trên hình 2a, ứng với đường cong số (1).

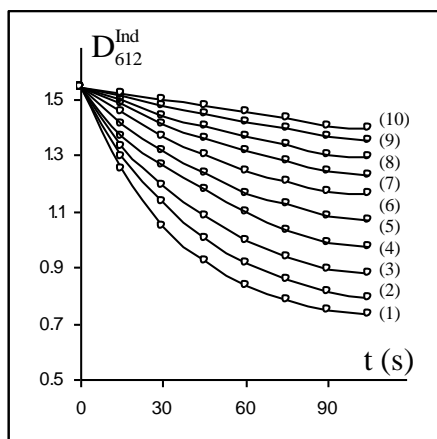
Khi nồng độ chất ức chế $[Hq]_0$ tăng lên, sự biến thiên mật độ quang ΔD của hỗn hợp dung dịch phản ứng giảm chậm dần, có nghĩa là tốc độ phản ứng oxi

hoá Ind giảm chậm dần, khi nồng độ chất ức chế $[Hq]_0$ tăng lên. Điều này chứng tỏ, sự có mặt của Hq, đã ức chế quá trình oxi hoá Ind, làm cho hỗn hợp dung dịch phản ứng chậm mất màu, ứng với

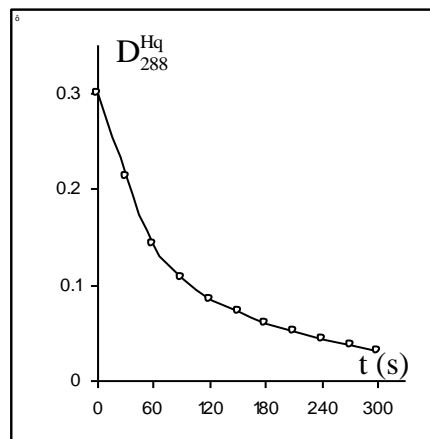
đường cong từ số (2) đến số (9) và bị ức chế gần như hoàn toàn, ứng với đường cong số (10). Nguyên nhân là do hydroquinon (Hq) đã tranh giành gốc tự do HO^* , dẫn đến quá trình oxi hóa Ind giảm.

Bảng 2: Bảng số liệu xác định hằng số tốc độ oxi hóa $k_{(Ind + HO^*)}$ đối với chất ức chế Hq

N	$[Hq]_0$ $\times 10^5$ M	ΔD $\times 10^5$ M	ΔC $\times 10^5$ M	$K_2[Hq]_0$ $\times 10^{-5}$ M	$K_3[Acac]_0$ $\times 10^{-5}$ M	$K_4[H_2O_2]_0$ $\times 10^{-5}$ M	X $\times 10^{-9}$	Y $\times 10^{-4}$
1	0,50	0,246	2,411	0,6	0,12	3	2,48	4,15
2	1,00	0,211	2,069	1,2	0,12	3	2,88	4,83
3	2,00	0,171	1,676	2,4	0,12	3	3,68	5,96
4	3,00	0,125	1,226	3,6	0,12	3	4,48	8,16
5	5,00	0,087	0,853	6,0	0,12	3	6,08	11,72
6	7,00	0,055	0,539	8,4	0,12	3	7,68	18,55
7	10,00	0,039	0,382	12	0,12	3	10,08	26,15
8	20,00	0,026	0,255	24	0,12	3	18,08	39,23
9	40,00	0,016	0,157	48	0,12	3	34,08	63,75



(a) Sự phụ thuộc của ΔD vào $[Hq]_0$



(b) Sự tiêu hao chất ức chế Hq

Hình 2: Xác định hằng số $k_{(Ind + HO^*)}$ với chất ức chế hydroquinon (Hq)

Mặt khác, theo dõi sự biến thiên mật độ quang ΔD của hỗn hợp dung dịch phản ứng, với nồng độ chất ức chế $[Hq]_0 = 10^{-4}$ M theo thời gian, tại bước sóng hấp thụ cực đại của Hq là $\lambda = 288$ nm, được thể hiện trên hình 2b, nhận thấy rằng: Bản thân chất ức chế Hydroquinon (Hq) cũng bị tiêu hao trong quá trình phản ứng.

Kết quả nghiên cứu chứng tỏ rằng: Đã có sự phát sinh gốc tự do HO^* trong quá trình phản ứng oxi hoá Ind. Đặc trưng của cơ chế là trong phản ứng có sự tạo thành các gốc tự do HO^* , HO_2^* , O_2^{*-} ... đồng thời có sự thay đổi số oxi hoá của ion kim loại M^{Z+} . Chứng tỏ, cơ chế của phản ứng diễn ra theo cơ chế mạch gốc.

Từ kết quả nghiên cứu thực nghiệm được thể hiện trên bảng 2, có thể xác định được hằng số tốc độ oxi hóa $k_{(Ind+HO^*)}$ theo các phương trình phản ứng (2-5) và các công thức (1-10).

Bằng ngôn ngữ lập trình Pascal, ta có thể xác định được hằng số tốc độ oxi hoá Ind là: $k_{Ind+HO^*} = 5,7.10^8 \text{ l.mol}^{-1}.s^{-1}$.

3.3. Nghiên cứu ảnh hưởng của chất ức chế parnitrozodimetylanilin (Pa)

Thêm chất ức chế Pa vào hỗn hợp dung dịch phản ứng. Theo dõi sự biến thiên mật độ quang ΔD theo thời gian Δt , ở điều kiện sau:

Nồng độ $[Co^{2+}]_0 = [Acac]_0 = 10^{-5}$ M; $[Ind]_0 = 1,5 \times 10^{-4}$ M; $[H_2O_2]_0 = 10^{-2}$ M; pH = 11; Nồng độ chất ức chế $[Pa]_0 = (0-30) \times 10^{-5}$ M. Tại bước sóng hấp thụ cực đại của Pa là $\lambda = 440$ nm. Kết quả nghiên cứu thể hiện trên bảng 3 và hình 3 cho thấy, khi chưa có chất ức chế Pa, biến thiên mật độ quang ΔD của dung dịch phản ứng là lớn nhất, ứng với

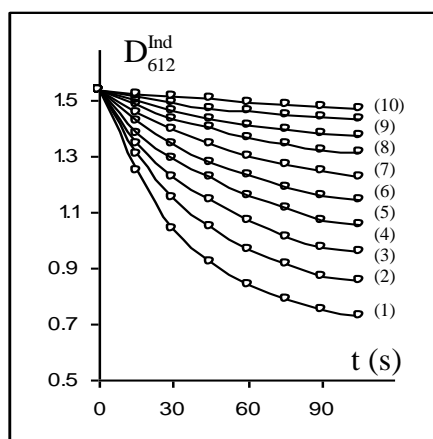
đường cong số (1), tốc độ phản ứng oxi hoá Ind là lớn nhất, tức là màu của hỗn hợp dung dịch phản ứng nhanh mất màu nhất. Khi có mặt chất ức chế Pa, sự biến thiên mật độ quang ΔD của hỗn hợp dung dịch phản ứng giảm dần, chứng tỏ Pa đã kìm hãm tốc độ phản ứng oxi hoá Ind. Khi càng tăng nồng độ của $[Pa]_0$, mật độ quang của dung dịch phản ứng giảm dần, ứng với đường cong từ số (2 \rightarrow 9) và ức chế gần như hoàn toàn ứng với đường cong số (10).

Thực nghiệm chứng tỏ, Pa đã ức chế quá trình oxi hóa Ind, làm cho hỗn hợp dung dịch phản ứng chậm mất màu. Pa đã tranh giành gốc tự do HO^* của Ind, dẫn đến tốc độ oxi hóa Ind giảm.

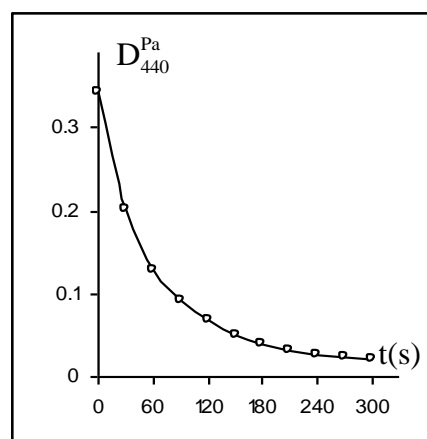
Tính ức chế của Pa lớn hơn rất nhiều, so với Hq và Ac, điều này hoàn toàn phù hợp khi mà: $k_{Ac+HO^*} < k_{Hq+HO^*} < k_{Pa+HO^*} = 18.10^9 \text{ l.mol}^{-1}.s^{-1}$.

Bảng 3: Bảng số liệu xác định hằng số tốc độ $k_{(Ind+HO^*)}$ với chất ức chế Pa

N	$[Pa]_0$ $\times 10^5 \text{ M}$	ΔD $\times 10^5 \text{ M}$	ΔC $\times 10^5 \text{ M}$	$K_2[Pa]_0$ $\times 10^{-5} \text{ M}$	$K_3[Acac]_0$ $\times 10^{-5} \text{ M}$	$K_4[H_2O_2]_0$ $\times 10^{-5} \text{ M}$	X $\times 10^{-9}$	Y $\times 10^{-4}$
1	0,10	0,232	2,275	0,18	0,12	3	2,20	4,397
2	0,25	0,193	1,892	0,45	0,12	3	2,38	5,285
3	0,50	0,154	1,510	0,90	0,12	3	2,68	6,623
4	0,75	0,111	1,088	1,35	0,12	3	2,98	9,189
5	3	0,081	0,794	5,40	0,12	3	5,68	12,593
6	7	0,049	0,480	12,60	0,12	3	10,48	20,816
7	10	0,034	0,333	18,00	0,12	3	14,08	30,000
8	15	0,021	0,206	27,00	0,12	3	20,08	48,571
9	30	0,013	0,127	54,00	0,12	3	38,08	78,461



(a) Sự phụ thuộc của ΔD vào $[Pa]_0$



(b) Sự tiêu hao chất ức chế Pa

Hình 3: Xác định hằng số $k_{(Ind+HO^*)}$ với chất ức chế paranitrozodimetylanilin (Pa)

Mặt khác, theo dõi sự biến thiên mật độ quang ΔD của hỗn hợp dung dịch phản ứng, với nồng độ chất ức chế $[Pa]_0 = 10^{-5} \text{ M}$, tại bước sóng hấp thụ cực đại $\lambda = 440 \text{ nm}$ được thể hiện trên Hình 3b cho thấy, bản thân chất ức chế paranitrozodimetylanilin (Pa) cũng bị tiêu hao trong quá trình phản ứng.

Bằng thực nghiệm đã chứng tỏ rằng, đã có sự phát sinh và phân hủy gốc tự do HO^* . Đặc trưng của cơ chế là trong phản ứng có sự tạo thành các gốc tự do HO^* , HO_2^* , O_2^{*-} ... đồng thời có sự thay đổi số oxi hoá của ion kim loại M^{Z+} . Chứng tỏ, cơ chế của phản ứng diễn ra theo cơ chế mạch gốc. Bằng ngôn

ngữ lập trình Pascal, ta có thể xác định được hằng số tốc độ oxi hoá Ind là $k_{Ind+HO^*} = 5,43.10^8 \text{ l.mol}^{-1}.s^{-1}$.

4. KẾT LUẬN

Bằng phương pháp dùng các chất ức chế - cạnh tranh, đã chứng minh được có sự phát sinh và hủy diệt gốc tự do HO^* và có sự thay đổi hóa trị của ion Co^{2+} , chứng tỏ cơ chế phản ứng diễn ra theo cơ chế mạch gốc.

Tính chất ức chế của paranitrozodimetylanilin

(Pa) lớn hơn rất nhiều, so với hydroquinon (Hq) và axit ascorbic (Ac).

Đã xác định được hằng số tốc độ oxi hoá Ind là $k_{(Ind+HO^*)} = 5,46.10^8 \text{ (l.mol}^{-1}.\text{s}^{-1})$.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Alfons Vogelpohl, Soo-Myung Kim. *Advanced oxidation processes (AOPs) in wastewater treatment*, J. Ind. Eng. Chem., **10(1)**, 33-40 (2004).
2. Anbar M. Neta P. *Compilation of Specific Bimolecular Rate Constants for the Reaction of Hydrated Electrons, Hydrogen Atoms and Hydroxyl Radicals with Inorganic and Organic Compounds in Aqueous Solutions*, Int. J. Appl-Rad. and Isotopes, **18**, 493 (1987).
3. Nguyễn Văn Xuyên, Ngô Kim Định. *Một số kết quả nghiên cứu về xúc tác phức ở Việt Nam và triển vọng phát triển của xúc tác phức đồng thể*, Tạp chí Xúc tác và Hấp phụ, **5(1)** (2016).
4. Ngô Kim Định, Nguyễn Văn Xuyên. *Đánh giá khả năng xúc tác của một số phức chất trong phản ứng Catalaza*, Tạp chí Xúc tác và Hấp phụ, **5(1)** (2016).
5. Lê Văn Huỳnh. *Luận án Tiến sĩ hóa học*, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội (2012).

Liên hệ: Lê Văn Huỳnh

Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp
Số 353, Trần Hưng Đạo, Thành phố Nam Định/
Số 456, Minh Khai, Quận Hai Bà Trưng, Hà Nội
E-mail: lehuynh1058@gmail.com; Điện thoại: 0912208709.