

ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG BẮT GỐC TỰ DO CỦA 2-HYDROXYBENZYL-CHITOLIGOSACCHARIDE

Ngô Đại Nghiệp⁽¹⁾

(1) Trường Đại học Khoa học tự nhiên, VNU-HCM
 Ngày nhận bài 14/4/2025; Chấp nhận đăng 14/5/2025
 Liên hệ email: ndnghiep@hcmus.edu.vn

Tóm tắt

Chitooligosaccharide (COS) là một oligosaccharide có nguồn gốc từ chitosan, nổi bật với đặc tính phân hủy sinh học, không độc và khả năng trung hòa các gốc tự do. Việc gắn nhóm 2-hydroxybenzyl vào COS tạo thành dẫn xuất 2-hydroxybenzyl-chitooligosaccharide (HBCOS), giúp tăng cường đáng kể hoạt tính chống oxy hóa mà không làm thay đổi cấu trúc carbohydrate cơ bản. Trong nghiên cứu này, HBCOS được tổng hợp thông qua phản ứng base-Schiff giữa COS và 2-hydroxybenzaldehyde ở pH 3,5; 45°C trong 12 giờ, sau đó khử bằng NaBH₄. Sản phẩm thu được đạt hiệu suất 21,4% với độ thay thế chức đạt 64,56%. Kết quả thử nghiệm *in vitro* cho thấy HBCOS có hoạt tính chống oxy hóa vượt trội so với COS chưa biến tính. Cụ thể, ở nồng độ 1000µg/ml, HBCOS thể hiện năng lực khử mạnh hơn COS (OD = 0,249 so với 0,083) và hiệu quả quét gốc hydroxyl cao hơn (48,79% so với 31,73%). Ngoài ra, HBCOS cũng cho thấy khả năng bảo vệ DNA khỏi tổn thương do stress oxy hóa ở nhiều mức nồng độ từ 10-100µg/ml. Các kết quả này khẳng định tiềm năng của HBCOS như một tác nhân chống oxy hóa hiệu quả, mở ra hướng ứng dụng trong lĩnh vực dược phẩm và thực phẩm chức năng có nguồn gốc sinh học.

Từ khóa: 2-hydroxybenzyl-chitooligosaccharide (HBCOS), bảo vệ DNA gan heo, gốc tự do, hoạt tính chống oxy hóa, thực phẩm chức năng

Abstract

EVALUATION OF FREE RADICAL SCAVENGING ACTIVITY OF 2-HYDROXYBENZYL-CHITOLIGOSACCHARIDE

Chitooligosaccharide (COS), an oligosaccharide derived from chitosan, is known for its biodegradability, non-toxicity, and free radical scavenging properties. The incorporation of a 2-hydroxybenzyl group into the COS structure yields a derivative (HBCOS) with significantly enhanced antioxidant activity, while preserving the original carbohydrate backbone. In this study, HBCOS was synthesized via a Schiff base reaction between COS and 2-hydroxybenzaldehyde under optimal conditions (pH 3.5, 45°C, 12 hours), followed by reduction with sodium borohydride (NaBH₄). The resulting product exhibited a yield of 21.4% and a substitution degree of 64.56%. The *in vitro* results demonstrated that HBCOS exhibited significantly enhanced antioxidant activity compared to unmodified chitooligosaccharide (COS). At a concentration of 1000µg/ml, HBCOS showed a markedly higher reducing power (OD = 0.249 vs. 0.083) and greater hydroxyl radical scavenging efficiency (48.79% vs. 31.73%). Furthermore, HBCOS effectively protected DNA from oxidative damage induced by reactive oxygen species across a concentration range of 10-100µg/ml. These findings highlight the strong antioxidant potential of HBCOS and support its prospective application as a bio-based agent in pharmaceutical and functional food development.

1. Giới thiệu

Sự tích lũy quá mức các loại oxy phản ứng (Reactive Oxygen Species – ROS) do rối loạn cân bằng giữa quá trình sinh ROS và hệ thống loại bỏ nội sinh có thể gây tổn thương đáng kể đến các thành phần thiết yếu của tế bào như lipid màng, protein và DNA. Tình trạng stress oxy hóa kéo dài được xem là yếu tố khởi phát hoặc làm trầm trọng thêm nhiều bệnh lý nghiêm trọng như ung thư, tiểu đường, viêm mạn tính, thoái hóa thần kinh và lão hóa sớm. Trước thực trạng đó, các hợp chất có nguồn gốc tự nhiên với khả năng chống oxy hóa hiệu quả và an toàn đang thu hút sự quan tâm trong nghiên cứu y sinh và thực phẩm chức năng. Trong số đó, chitosan và chitoooligosaccharide (COS) – polysaccharide có nguồn gốc từ chitin – cho thấy nhiều triển vọng nhờ đặc tính chống oxy hóa (Sun và cộng sự., 2023; Liu và cộng sự., 2022).

Đặc biệt, việc gắn nhóm 2-hydroxybenzyl vào cấu trúc COS đã được chứng minh có thể tăng cường đáng kể khả năng trung hòa các gốc tự do như DPPH, superoxide và hydroxyl mà không làm thay đổi khung cấu trúc carbohydrate ban đầu. Nhóm chức phenolic góp phần tạo phức với ion kim loại, từ đó hạn chế các phản ứng oxy hóa xúc tác bởi kim loại nặng – một yếu tố quan trọng trong bảo vệ tế bào. Dẫn xuất này thể hiện hoạt tính chống oxy hóa vượt trội so với COS chưa biến tính, mở ra tiềm năng ứng dụng trong dược phẩm và sản phẩm chăm sóc sức khỏe (Sun và cộng sự., 2022). Trong nghiên cứu này, khả năng chống oxy hóa của dẫn xuất 2-hydroxybenzyl-COS (HBCOS) được đánh giá thông qua khả năng trung hòa các gốc tự do và bảo vệ tế bào trước stress oxy hóa, qua đó làm sáng tỏ tiềm năng ứng dụng của hợp chất này trong y sinh học và thực phẩm chức năng.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khảo sát điều kiện tạo base-Schiff

Để xác định pH tối ưu cho phản ứng tạo base-Schiff, mẫu COS phân đoạn 1-3 kDa (COS PD 1-3 kDa) 1% được chuẩn bị ở pH 3,0; 3,5; 4,0 và 4,5 thêm 2ml aldehyde, khuấy đều và giữ ở nhiệt độ phòng trong 6-12 giờ. Sau đó, lấy 0,1ml từ mỗi mẫu để thực hiện phản ứng Ninhydrin, nhằm xác định hiệu suất phản ứng và pH thích hợp. Tiếp theo, xác định nhiệt độ tối ưu bằng cách xử lý các mẫu ở các nhiệt độ 30°C, 35°C, 40°C, 45°C, sau đó kiểm tra hiệu suất bằng Ninhydrin. Cuối cùng, xác định thời gian tối ưu bằng cách thay đổi thời gian phản ứng từ 6 đến 12 giờ, kiểm tra mỗi giờ (Thatte, 2004).

2.2. Xác định độ thay thế (ES) bằng phương pháp Ninhydrin

Phương pháp Ninhydrin xác định nhóm amine tự do qua phản ứng màu, giá trị OD tỉ lệ thuận với số nhóm amine. Thuốc thử gồm Ninhydrin 4% trong ethylene glycol monomethylether và SnCl₂.2H₂O, giữ lạnh sau pha chế. Tiến hành: trộn 0,1ml mẫu với 0,1ml ninhydrin, đun cách thủy 20 phút, làm lạnh, thêm 5ml n-propanol 50%, để yên 15 phút, đo OD ở 570nm. Dùng đường chuẩn glucosamine, tính hiệu suất tạo base Schiff dựa trên sự giảm nhóm –NH₂ tự do, từ đó suy ra độ thay thế (ES) (Sun và cộng sự., 2019).

2.3. Tạo dẫn xuất 2-hydroxybenzyl-chitoooligosaccharide (HBCOS)

Dẫn xuất COS với aldehyde thơm được tạo bằng phản ứng giữa nhóm –NH₂ ở vị trí C-2 của glucosamine với nhóm –CHO của 2-hydroxybenzaldehyde trong môi trường acid yếu, tạo base Schiff trung gian. Sau đó, base Schiff được khử bởi NaBH₄ để tạo dẫn xuất COS. Chuẩn bị 100ml COS 1% ở pH thích hợp, thêm 2ml aldehyde thơm, khuấy đều ở nhiệt độ tối ưu trong khoảng 12-14 giờ. Thêm 0,1g NaBH₄ để chuyển base-Schiff

thành dẫn xuất, điều chỉnh pH lên 7 bằng NaOH 15%, lọc hoặc ly tâm, rửa nhiều lần bằng acetone hoặc ether. Dẫn xuất COS được sấy ở 40°C. Dẫn xuất được tổng hợp là 2-hydroxybenzyl-chitooligosaccharide (HBCOS).

2.4. Thử hoạt tính chống oxy hóa

Năng lực khử: Năng lực khử của một chất biểu thị khả năng cho điện tử trong phản ứng oxy hóa khử, cũng thể hiện khả năng chống oxy hóa. Phương pháp này sử dụng khả năng khử potassium ferricyanide ($K_3[Fe(CN)_6]$) thành potassium ferrocyanide ($K_4[Fe(CN)_6]$). Sau đó, ferrocyanide phản ứng với Fe^{3+} tạo phức ferric ferrocyanide (Prussian Blue) có màu xanh, cường độ màu tỷ lệ với năng lực khử. Chuẩn bị mẫu COS, HBCOS và chất chống oxy hóa ở các nồng độ 200-1000 μ g/ml. Sau phản ứng, đo độ hấp thu ở 700nm; độ hấp thu càng cao, năng lực khử càng mạnh (Sadowska-Bartosz và Bartosz, 2022).

Hoạt tính quét gốc hydroxyl tự do: Phản ứng Fenton giữa H_2O_2 và Fe^{2+} tạo ra Fe^{3+} , gốc hydroxyl (OH^*) và ion hydroxyl (OH^-). Các chất quét gốc hydroxyl sẽ làm giảm lượng OH^* tự do, từ đó giảm cường độ màu của thuốc thử Safranine O (Yu và cộng sự., 2008). Thí nghiệm được tiến hành bằng cách pha COS, HBCOS và chất chống oxy hóa (vitamin C và BHA) ở nồng độ 200-1000 μ g/ml. Thêm 1ml mẫu vào 1,5ml dung dịch sodium phosphate 0,15M (pH 7,4); 0,7ml EDTA- Fe^{2+} 2mM; 0,1ml Safranine O 0,036% và 0,8ml H_2O_2 3%. Hỗn hợp được ủ ở 37°C trong 30 phút, sau đó đo OD ở 520nm. Hiệu quả quét gốc hydroxyl tự do của các mẫu thí nghiệm được tính bằng công thức: Hiệu quả lọc OH^* (%) = $[(A_{mẫu} - A_{thử\ không}) / (A_{đối\ chứng} - A_{thử\ không})] \times 100$. Trong đó: $A_{thử\ không}$ là độ hấp thu của mẫu thử không (thay mẫu bằng nước cất) ở bước sóng 520nm, $A_{đối\ chứng}$ là độ hấp thu của mẫu đối chứng (thay H_2O_2 bằng nước cất) ở bước sóng 520nm.

2.5. Tách chiết và định lượng DNA từ gan heo

Tách chiết DNA từ gan heo gồm hai giai đoạn: thu nhận dịch đồng nhất và tách chiết DNA. Đầu tiên, 30g gan heo được cắt nhỏ, nghiền trong 70ml dung dịch S1 lạnh, lọc qua vải để thu dịch đồng nhất. Quy trình tách chiết gồm ly tâm dịch đồng nhất với dung dịch S1, phá vỡ hồng cầu bằng TritonX100, xử lý bằng proteinase K và SDS. Sau đó, tủa DNA bằng ethanol, rửa sạch, hòa tan trong TE 1X và bảo quản ở -20°C. DNA được định lượng bằng đo quang phổ ở 260nm và 280nm để kiểm tra độ tinh sạch (Biase và cộng sự., 2002).

2.6. Phương pháp khảo sát sự ảnh hưởng của nồng độ H_2O_2 lên DNA

Cho hỗn hợp phản ứng (40 μ l) gồm dịch 5 μ l DNA trong dung dịch đệm TE, $FeSO_4$ 100 μ M và H_2O_2 . Sau đó hỗn hợp được ủ ở nhiệt độ phòng trong vòng 10 phút và cuối cùng thêm EDTA 10mM để kết thúc phản ứng. Sau đó tiến hành chạy điện di trên gel agarose 1% trong 30 phút ở 100V. Sau đó gel được nhuộm màu với ethidium bromide 1mg/ml và quan sát bằng ánh sáng UV.

2.7. Phương pháp khảo sát hoạt tính bảo vệ DNA của COS và HBCOS

Chuẩn bị hỗn hợp gồm 5 μ l DNA, 4 μ l COS/HBCOS (10-100 μ g/ml), 3 μ l nước cất, 14 μ l $FeSO_4$ 300 μ M, 14 μ l H_2O_2 (0,05-0,2mM), ủ ở nhiệt độ phòng 10 phút. Thêm 4 μ l EDTA 130mM để dừng phản ứng. Tiến hành điện di gel agarose 1%, nhuộm gel với ethidium bromide, quan sát gel dưới UV và chụp hình.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Khảo sát điều kiện tối ưu tạo base-Schiff

3.1.1. Khảo sát pH tối ưu để tạo base-Schiff

Dựa vào đường chuẩn glucosamine theo phương pháp Ninhydrin $y = 0,2731x$ với $R^2 = 0,9958$ ta xác định hiệu suất tạo base-Schiff (độ thay thế - ES) khi tiến hành khảo sát các điều kiện tối ưu để tạo base-Schiff (hàm lượng $-NH_2$ tự do càng tăng, phản ứng màu ninhydrin càng đậm). Dựa vào đường chuẩn glucosamine theo phương pháp Ninhydrin ta có kết quả hàm lượng $-NH_2$ tự do là 9,063 (mM). Bảng 1 cho thấy hiệu suất tạo base-Schiff phụ thuộc vào pH của dịch phản ứng. Quá trình tạo base-Schiff làm giảm đi hàm lượng NH_2 tự do của COS, hàm lượng NH_2 càng giảm thì phản ứng màu ninhydrin càng nhạt. Dựa vào hàm lượng NH_2 tự do của COS ban đầu và lượng NH_2 tự do của COS sau khi tham gia tạo phức trung gian này, ta có thể tính ra được hiệu suất tạo base-Schiff. Hiệu suất đạt giá trị cao nhất ở pH 3,5 (90,75%). Do đó pH 3,5 là pH thích hợp cho quá trình tạo base-Schiff vì sự cân bằng tối ưu giữa hoạt hóa nhóm carbonyl và giữ nguyên khả năng phản ứng của nhóm amino. Đây là nền tảng quan trọng khi tối ưu hóa phản ứng tạo dẫn xuất Schiff (El Hosry và cộng sự., 2025; Smith và March, 2007; Rabbani và Thornalley, 2012).

Bảng 1. Hiệu suất tạo Base - Schiff theo giá trị pH

pH	Hiệu suất tạo Base - Schiff (%)
3,0	85,29 ^b ± 0,67
3,5	90,75 ^a ± 0,21
4,0	59,95 ^c ± 0,19
4,5	35,44 ^d ± 0,19

Ghi chú: Giá trị trong bảng là trung bình ± độ lệch chuẩn (n = 3). Các chữ cái khác nhau trong cùng một cột biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê tại mức $p < 0,05$ (Tukey HSD)

3.1.2. Khảo nhiệt độ tối ưu để tạo base-Schiff

Sau khi xác định được pH thích hợp cho phản ứng tạo base-Schiff, ta cố định ở pH này để tiếp tục thực hiện phản ứng tạo base-Schiff lần lượt ở các nhiệt độ khác nhau từ 35°C, 40°C, 45°C, 50°C. Bảng 2 cho thấy nhiệt độ có ảnh hưởng đến hiệu suất tạo base-Schiff, trong quá trình khảo sát hiệu suất tạo Base-Schiff tăng dần từ 35°C (74,39%) đến đỉnh tại 45°C (85,33%), sau đó giảm nhẹ ở 50°C (82,27%). Điều này cho thấy 45°C là nhiệt độ tối ưu cho phản ứng tạo liên kết Schiff. Ở mức này, nhiệt độ đủ cao để thúc đẩy phản ứng ngưng tụ và loại nước – yếu tố cần thiết cho sự hình thành liên kết imin, nhưng chưa vượt quá giới hạn gây phân hủy hoặc phản ứng phụ. Khi vượt quá 45°C, liên kết Schiff có thể bị thủy phân ngược do nhiệt độ cao, làm giảm hiệu suất (Rabbani và Thornalley, 2012). Nhiệt độ thấp hơn thì phản ứng diễn ra chậm và kém hiệu quả (El Hosry và cộng sự., 2025).

Vì vậy 45°C là nhiệt độ thích hợp để tạo base-Schiff.

Bảng 2. Hiệu suất tạo base-Schiff theo nhiệt độ

Nhiệt độ (°C)	Hiệu suất tạo Base - Schiff (%)
35	74,39 ^d ± 0,33
40	77,41 ^c ± 0,42
45	85,33 ^a ± 0,75
50	82,27 ^b ± 0,35

Ghi chú: Giá trị trong bảng là trung bình ± độ lệch chuẩn (n = 3). Các chữ cái khác nhau trong cùng một cột biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê tại mức $p < 0,05$ (Tukey HSD)

3.1.3. Khảo sát thời gian tối ưu để tạo base-Schiff

Sau khi xác định được pH và nhiệt độ thích hợp, ta tiếp tục thực hiện phản ứng tạo base-Schiff lần lượt ở các khoảng thời gian khác nhau từ 6 giờ đến 12 giờ. Ngoài sự ảnh hưởng của pH và nhiệt độ thì quá trình tạo base-Schiff còn phụ thuộc vào thời gian phản ứng. Kết quả bảng 3 cho thấy hiệu suất tạo base-Schiff đạt cao nhất ở thời gian 12 giờ (86,30%). Diễn biến này cho thấy phản ứng ngưng tụ giữa nhóm $-NH_2$ và $-CHO$ cần thời gian đủ dài để đạt trạng thái cân bằng thuận lợi cho hình thành liên kết imin. Tuy nhiên, khi kéo dài thời gian quá mức, sản phẩm Schiff có thể bị thủy phân ngược do tiếp xúc lâu với môi trường nước, làm giảm hiệu suất (Rabbani và Thornalley, 2012). Thời gian 12 giờ được xem là thích hợp, giúp tối đa hóa hiệu suất phản ứng mà chưa gây phân hủy hoặc mất ổn định liên kết imin (El Hosry và cộng sự., 2025).

Bảng 3. Hiệu suất tạo base-Schiff theo thời gian

Thời gian (giờ)	Hiệu suất tạo base-Schiff (%) \pm SD
6	78,46 ^c \pm 0,6
8	81,37 ^d \pm 0,19
10	83,73 ^c \pm 0,18
12	86,30 ^a \pm 0,45
14	84,00 ^b \pm 0,45

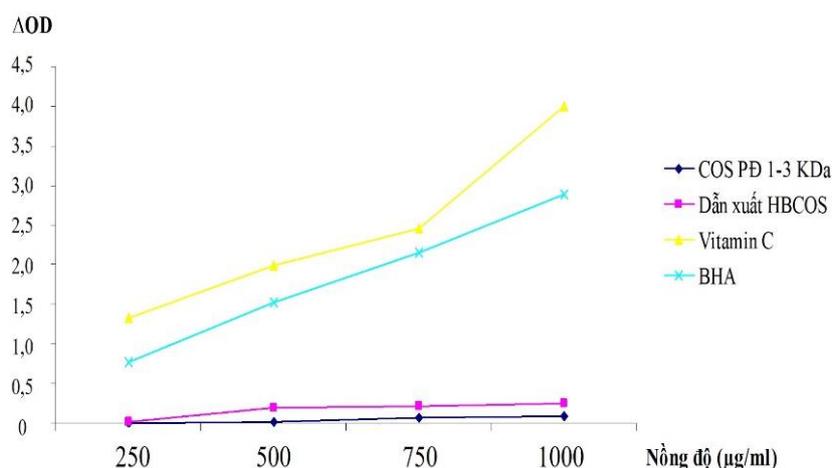
Ghi chú: Giá trị trong bảng là trung bình \pm độ lệch chuẩn ($n = 3$). Các chữ cái khác nhau trong cùng một cột biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê tại mức $p < 0,05$ (Tukey HSD)

3.2. Tạo dẫn xuất của chitoooligosaccharide với 2-hydroxybenzaldehyde (HBCOS)

Cho COS 1%, pH 3,5; thêm 2ml aldehyde cho phản ứng ở nhiệt độ 35°C, khuấy đều trong 6 giờ để tạo dạng base-Schiff. Sau đó cho thêm 0,1g $NaBH_4$ để chuyển dạng base-Schiff thành dẫn xuất COS gắn aldehyde thơm. Từ 2g COS ban đầu, sau phản ứng thu được 0,428g dẫn xuất COS gắn 2-hydroxybenzaldehyde (HBCOS), đạt hiệu suất thu 21,4%, độ thay thế (ES) là 64,56%.

3.3. Thử nghiệm hoạt tính chống oxy hóa

3.3.1. Năng lực khử của COS và HBCOS

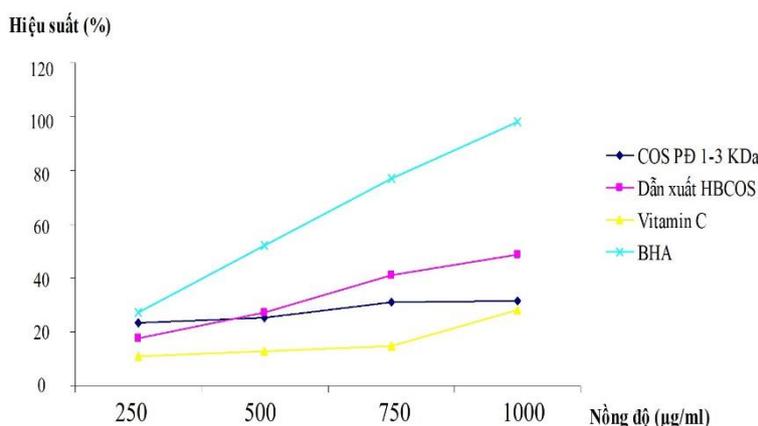


Hình 1. Năng lực khử của COS và HBCOS

Kết quả hình 1 cho thấy COS và HBCOS đều có năng lực khử tỉ lệ thuận với nồng độ chất thử nghiệm. Trong đó hoạt tính khử của COS là thấp nhất. Nhiều tác giả cho rằng năng lực khử có liên quan trực tiếp đến khả năng chống oxy hóa của các hợp chất (Oyaizu, 1986; Duh và cộng sự., 1999; Gülçin và Alwasel, 2023). Năng lực khử của một chất thể hiện ở lượng chất khử có trong chất đó. Chất khử sẽ phá vỡ các gốc tự do bằng cách cho một nguyên tử hydro. Chất khử còn có khả năng liên kết với các tiền chất của peroxide, do đó kìm hãm sự hình thành các gốc peroxide tự do. So sánh năng lực khử của COS và HBCOS đối với các mẫu chống oxy hóa (vitamin C và BHA) ta thấy sự chênh lệch tương đối lớn, trong đó năng lực khử của vitamin C là mạnh nhất.

3.3.2. Khả năng quét gốc hydroxyl tự do của COS và HBCOS

Kết quả hình 2 cho thấy COS và HBCOS đều có hoạt tính quét gốc hydroxyl tự do và hoạt tính lọc hydroxyl tự do cũng tỉ lệ thuận với nồng độ các chất thử nghiệm. HBCOS có hoạt tính quét gốc hydroxyl tự do cao hơn so với COS ban đầu và cao hơn cả vitamin C. Từ kết quả này cho thấy vòng benzyl có vai trò làm tăng hoạt tính quét gốc hydroxyl tự do, chiết xuất HBCOS có thể đã được cải biến để tăng nhóm chức khử electron, làm tăng năng lực chống oxy hóa. Các nghiên cứu gần đây, các dẫn xuất COS gắn acid phenolic được ghi nhận có khả năng khử vượt trội so với COS gốc. Điều này phù hợp với xu hướng cải thiện hoạt tính chống oxy hóa nhờ tăng khả năng truyền electron (Liu và cộng sự., 2022).



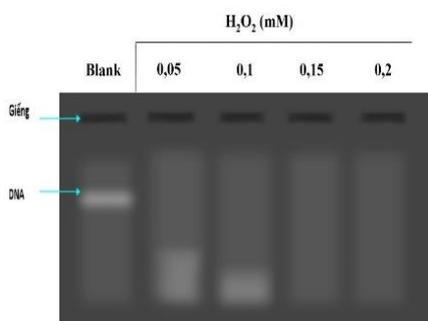
Hình 2. Hiệu suất quét gốc hydroxyl tự do của COS và HBCOS

3.4. Thử nghiệm ức chế quá trình oxy hóa DNA

Sau khi tách chiết, DNA được định lượng và kiểm tra độ tinh sạch bằng phương pháp đo quang phổ. Kết quả OD của DNA ở các bước sóng 260nm và 280nm tỉ lệ là 2,045. Kết quả cho thấy DNA sau khi tách chiết được coi là tinh sạch, ít bị nhiễm protein và nồng độ DNA cũng tương đối cao (910µg/ml).

3.4.1. Khảo sát sự ảnh hưởng của nồng độ H₂O₂ lên DNA

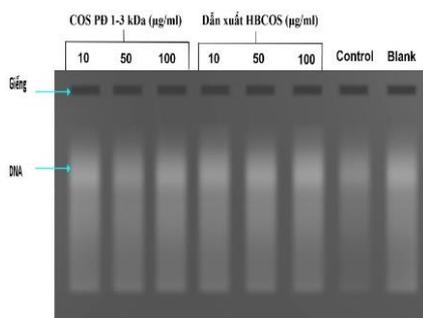
Kết quả điện di ở hình 3 khi khảo sát sự ảnh hưởng của H₂O₂ ở các nồng độ khác nhau, các gốc hydroxyl được tạo bởi phản ứng Fenton làm tác nhân phá vỡ DNA và có sự khác nhau giữa giếng có cho H₂O₂ và giếng không có H₂O₂ (blank). Ở giếng có nồng độ H₂O₂ 0,1mM thì DNA bị phá vỡ nhiều chỉ còn lại những vệt mờ hơn so với giếng đối chứng (blank). Vì vậy H₂O₂ nồng độ 0,1mM được chọn để khảo sát tiếp hoạt tính bảo vệ DNA của COS và HBCOS.



Hình 3. Sự ảnh hưởng của nồng độ H_2O_2 trên DNA

3.4.2. Khảo sát hoạt tính bảo vệ DNA của COS và HBCOS

Kết quả khảo sát hoạt tính ức chế sự oxy hóa DNA của COS và HBCOS ở các nồng độ khác nhau (hình 4) cho thấy cả hai mẫu đều có khả năng bảo vệ DNA cao hơn so với mẫu đối chứng (control: có H_2O_2 , không có mẫu). Đặc biệt, HBCOS thể hiện khả năng ức chế phá hủy DNA vượt trội hơn so với COS ở tất cả các nồng độ khảo sát. Mẫu HBCOS ở nồng độ $100\mu\text{g/ml}$ có mức độ bảo vệ DNA gần tương đương với mẫu trắng (blank: không chứa H_2O_2), cho thấy hiệu quả bảo vệ cao. Kết quả cho thấy HBCOS có khả năng chống oxy hóa hiệu quả hơn so với COS trong việc bảo vệ DNA.



Hình 4. Hoạt tính ức chế sự oxy hóa DNA của COS và HBCOS

4. Kết luận

Dưới các điều kiện (pH 3,5; 45°C , 12 giờ), dẫn xuất HBCOS được tổng hợp thành công với hiệu suất 21,4% và độ thay thế chức đạt 64,56%. Kết quả thử nghiệm *in vitro* cho thấy HBCOS có năng lực khử và khả năng loại bỏ gốc hydroxyl vượt trội so với COS ban đầu và thậm chí cao hơn vitamin C ở cùng nồng độ. HBCOS cũng thể hiện hiệu quả rõ rệt trong việc bảo vệ DNA khỏi tổn thương do stress oxy hóa, cho thấy tiềm năng ứng dụng trong dược phẩm và thực phẩm chức năng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Biase, F. H., Franco, M. M., Goulart, L. R., & Antunes, R. C. (2002). Protocol for extraction of genomic DNA from swine solid tissues. *Genetics and Molecular Biology*, 25(3), 731-734. <https://doi.org/10.1590/S1415-47572002000300011>
- [2] Duh, P. D., Tu, Y. Y., & Yen, G. C. (1999). Antioxidant activity of water extract of Harg Jyur (*Chrysanthemum morifolium* Ramat). *LWT - Food Science and Technology*, 32(5), 269-277.

- [3] El Hosry, L., Elias, V., Chamoun, V., Halawi, M., Cayot, P., Nehme, A., & Bou-Maroun, E. (2025). Maillard Reaction: Mechanism, Influencing Parameters, Advantages, Disadvantages, and Food Industrial Applications: A Review. *Foods*, 14(11), 1881. <https://doi.org/10.3390/foods14111881>
- [4] Gülçin, İ., & Alwasel, S. H. (2023). DPPH radical scavenging assay. *Processes*, 11(8), 2248. <https://doi.org/10.3390/pr11082248>
- [5] Liu, Y., Wen, F., Yang, H., Bao, L., Zhao, Z., & Zhong, Z. (2022). The preparation and antioxidant activities of three phenyl-acylchitooligosaccharides. *Heliyon*, 8(9), e10624. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10624>
- [6] Oyaizu, M. (1986). Studies on products of browning reactions: Antioxidative activities of product of browning reaction prepared from glucosamine. *Japan Journal of Nutrition*, 44(6), 307-315.
- [7] Rabbani, N., & Thornalley, P. J. (2012). Methylglyoxal, glyoxalase 1 and the dicarbonyl proteome. *Amino Acids*, 42(4), 1133-1142. <https://doi.org/10.1007/s00726-010-0783-0>
- [8] Sadowska-Bartosz, I., & Bartosz, G. (2022). Evaluation of the antioxidant capacity of food products: Methods, applications and limitations. *Processes*, 10(10), 2031. <https://doi.org/10.3390/pr10102031>
- [9] Smith, M. B., & March, J. (2007). *March's advanced organic chemistry: Reactions, mechanisms, and structure* (6th ed.). Wiley.
- [10] Sun, Y., Cui, J., Tian, L., Mi, Y., & Guo, Z. (2023). Phenolic acid functional quaternized chitooligosaccharide derivatives: Preparation, characterization, antioxidant, antibacterial, and antifungal activity. *Marine Drugs*, 21(10), 535. <https://doi.org/10.3390/md21100535>
- [11] Sun, Y., Ji, X., Cui, J., Mi, Y., Zhang, J., & Guo, Z. (2022). Synthesis, characterization, and the antioxidant activity of phenolic acid chitooligosaccharide derivatives. *Marine Drugs*, 20(8), 489. <https://doi.org/10.3390/md20080489>
- [12] Sun, Y., Kunc, F., Balhara, V., Coleman, B., Kodra, O., Raza, M., Chen, M., Brinkmann, A., Lopinski, G. P., & Johnston, L. J. (2019). Quantification of amine functional groups on silica nanoparticles: A multi-method approach. *Nanoscale Advances*, 1(4), 1598-1607. <https://doi.org/10.1039/C9NA00016J>
- [13] Thatte, M. R. (2004). *Synthesis and antibacterial assessment of water soluble hydrophobic chitosan derivatives bearing quaternary ammonium functionality* [Master's thesis, Louisiana State University and Agricultural & Mechanical College].
- [14] Yu, F., Xu, D., Lei, R., Li, N., & Li, K. (2008). Free-radical scavenging capacity using the Fenton reaction with Rhodamine B as the spectrophotometric indicator. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(3), 730-735. <https://doi.org/10.1021/jf072383r>