

Ảnh hưởng của NaCl, CaCl₂ và sucrose đến tính chất lưu biến của agar từ rong câu chỉ vàng (*Gracilaria*) tại Việt Nam

Nguyễn Trọng Bách^{1*}, Đinh Văn Hiện²

¹Khoa Công nghệ Thực phẩm, Trường Đại học Nha Trang, 2 Nguyễn Đình Chiểu, phường Vĩnh Thọ, TP Nha Trang, tỉnh Khánh Hòa, Việt Nam

²Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng, Sở Khoa học và Công nghệ tỉnh Khánh Hòa, 37 Hùng Vương, phường Lộc Thọ, TP Nha Trang, tỉnh Khánh Hòa, Việt Nam

Ngày nhận bài 26/10/2022; ngày chuyển phản biện 28/10/2022; ngày nhận phản biện 22/11/2022; ngày chấp nhận đăng 25/11/2022

Tóm tắt:

Agar là một polysaccharide được chiết xuất chủ yếu từ rong câu chỉ vàng (*Gracilaria*). Agar được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp thực phẩm như một chất tạo độ nhớt, độ dày, chất nhũ hóa hoặc chất ổn định thực phẩm. Sự hiện diện của NaCl/CaCl₂ hoặc sucrose ảnh hưởng đến trạng thái lỏng-gel, độ nhớt của dung dịch hoặc độ bền gel của agar. Agar hình thành gel ở nồng độ cao hoặc ở nồng độ thấp hơn nếu có sự hiện diện của NaCl, CaCl₂ hoặc sucrose. Nhiệt độ tạo gel (T_g) của dung dịch agar 0,2% tăng lên 36, 36 hoặc 38°C khi bổ sung tương ứng 300 mM NaCl, 100 mM CaCl₂ hoặc 30% sucrose. Độ nhớt của dung dịch agar 0,2% tăng không đáng kể khi cường độ ion dưới 100 mM, nhưng tăng mạnh ở trên 100 mM. Độ bền gel tăng khi thêm tương ứng NaCl, CaCl₂ lên đến 100 và 30 mM, sau đó giảm nhẹ khi nồng độ NaCl, CaCl₂ cao hơn. Trong khi đó, độ nhớt của dung dịch agar chỉ tăng ở nồng độ sucrose trên 10%. Độ bền của gel tăng khi nồng độ sucrose tăng, cao hơn từ 1,2 đến 1,8 lần nếu thêm 30% sucrose.

Từ khóa: agar, độ bền gel, độ nhớt, rong câu chỉ vàng.

Chỉ số phân loại: 2.10

1. Đặt vấn đề

Agar là một polysaccharide được chiết tách chủ yếu từ loài rong đỏ thuộc họ rong câu chỉ vàng (*Gelidium* và *Gracilariaceae*), là chất phụ gia sử dụng nhiều trong thực phẩm với vai trò là chất tạo gel, tạo nhớt, tạo đặc, nhũ hóa và ổn định... [1, 2]. Agar tồn tại trong thành tế bào của tảo agarophytes chủ yếu ở dạng muối canxi của nó hoặc hỗn hợp muối canxi và magie. Agar là polysaccharide gồm 2 thành phần chính là agarose (trung tính) và agaropectin (tích điện) [3]. Tính chất lưu biến của dung dịch agar phụ thuộc vào giống loài rong [4-7], phương pháp tách chiết [4, 7-11] cấu trúc, thành phần hóa học của agar [7, 9, 10, 12-14], chất đồng tạo gel [15] pH dung dịch [2, 10] hay mùa vụ sinh trưởng [12]. Đặc biệt, tính chất lưu biến ảnh hưởng rất lớn bởi nồng độ agar [16, 17], sự có mặt của các muối [2, 8, 18-21] hay các chất không mang điện tích như sucrose, glycerol... [13, 22-29].

L. Piculell và cs (1989) [19] đã nghiên cứu ảnh hưởng của một số muối đến sự hình thành cấu trúc của agarose qua phân tích độ đục và quan sát tính chất quang. Muối NaCl làm ổn định gel yếu, các muối khác làm mất ổn định gel như NaBr, NaNO₃ và NaSCN (NaBr < NaNO₃ < NaSCN). Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, khi tăng nồng độ đến 4 M thì muối NaCl tạo ra nhiệt độ chuyển trạng thái gel tăng, các muối còn lại làm giảm nhiệt độ hình thành gel của dung dịch agarose 1%. Độ đục của dung dịch agar có muối NaCl cũng cao hơn dung dịch agar chứa các muối còn lại. Ảnh

hưởng của sucrose đến cấu trúc và tính chất lưu biến của agarose hay agar cũng được nghiên cứu khảo sát [24, 26-29]. Nghiên cứu của S. Maurer và cs (2012) [24], K. Nishinari và cs (2016) [26] hay V. Normand và cs (2003) [29] đã sử dụng sucrose lên đến 60%, kết quả chỉ ra rằng, nhiệt độ tạo gel và mô đun đàn hồi của agarose tăng khi tăng nồng độ sucrose đến 50%, sau đó các giá trị này giảm xuống nếu tiếp tục tăng nồng độ sucrose.

Ở Việt Nam, agar chủ yếu được tách chiết từ loài rong câu chỉ vàng thuộc họ *Gracilariaceae*. Nghiên cứu tính chất của agar được tách chiết còn khá ít công bố khoa học, việc khảo sát trạng thái tồn tại và tính chất lưu biến của dung dịch agar ở dải nồng độ từ 0,01 đến 8% tại các nhiệt độ khác nhau đã được thực hiện bởi D.V. Hien và cs (2019) [16]. Tuy nhiên, trong ứng dụng vào lĩnh vực thực phẩm, ngoài thành phần agar được bổ sung còn có muối hay đường. Vì vậy, việc nghiên cứu ảnh hưởng của muối hay đường đến trạng thái, độ nhớt hay độ bền gel của gel agar có ý nghĩa quan trọng để định hướng ứng dụng của agar trong công nghiệp chế biến thực phẩm.

Trạng thái, độ nhớt của dung dịch agar hay độ bền gel của gel agar phụ thuộc vào nhiều yếu tố như nồng độ agar, nhiệt độ, chất đồng tạo gel, muối, đường... [21]. Ở nghiên cứu này, chúng tôi tập trung khảo sát ảnh hưởng của nồng độ muối (NaCl, CaCl₂) hay sucrose tại các nhiệt độ khác nhau đến sự hình thành trạng thái, độ nhớt của dung dịch agar hay độ bền gel của gel agar.

*Tác giả liên hệ: Email: ntbachnt@ntu.edu.vn

Effect of NaCl, CaCl₂, and sucrose on the rheological properties of agar from *Gracilaria* in Vietnam

Trong Bach Nguyen^{1*}, Van Hien Dinh²

¹Faculty of Food Technology, Nha Trang University,

2 Nguyen Dinh Chieu Street, Vinh Tho Ward, Nha Trang City, Khanh Hoa Province, Vietnam

²Quality Assurance and Testing Center, Department of Science and Technology of Khanh Hoa Province,

37 Hung Vuong Street, Loc Tho Ward, Nha Trang City, Khanh Hoa Province, Vietnam

Received 26 October 2022; revised 22 November 2022; accepted 25 November 2022

Abstract:

Agar is a polysaccharide extracted mainly from *Gracilaria*. Agar is widely used in the food industry as a viscous agent, thickness, emulsifier or food stabiliser. The presence of NaCl, CaCl₂ or sucrose influences in sol-gel transition, viscosity of the agar solution or gel strength of the agar. Agar forms a gel at high concentration or lower one if there is the presence of NaCl, CaCl₂ or sucrose. Gelling temperature (T_g) of agar solution at 0.2 wt% increasing at 36, 36 or 38°C upon addition of 300 mM NaCl, 100 mM CaCl₂, or 30% sucrose, respectively. The viscosity of the 0.2% agar solution increased insignificantly when the ionic strength was below 100 mM, but increased sharply above 100 mM. The gel strength increases with added NaCl, CaCl₂ up to 100 mM, 30 mM, respectively; then they drop slightly at higher concentrations of NaCl, CaCl₂. Meanwhile, the viscosity of agar solution only increases at sucrose concentrations above 10%. Gel strength increased with increasing sucrose concentration, being 1.2 to 1.8 times higher if 30% sucrose was added.

Keywords: agar, gel strength, *Gracilaria*, viscosity.

Classification number: 2.10

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng

Agar được tách chiết từ rong câu chỉ vàng (*Gracilaria*), là sản phẩm thương mại của Công ty TNHH Long Hải (Hải Phòng). Thành phần bột agar chứa 37 mg/100 g Na⁺, 6,8 mg/100 g K⁺ và 0,46% gốc SO₄²⁻ [30].

2.2. Hóa chất

NaCl, CaCl₂ là sản phẩm của Công ty Merck (Đức) và sucrose của Công ty Xilong (Trung Quốc). Độ tinh khiết theo thứ tự là ≥99,5, 99,5, 99,0% và độ hòa tan tương ứng là 358, 1280 và 2115 g/l.

2.3. Chuẩn bị mẫu

Chuẩn bị mẫu quan sát trạng thái: 10 g mẫu chứa muối (NaCl, CaCl₂) hay sucrose được đựng trong lọ thủy tinh chịu nhiệt có đường kính 15 mm, cao 120 mm. Mẫu được gia nhiệt trong bể ổn nhiệt tại 95°C trong 15 phút và đồng hóa cho mẫu tan hoàn toàn bằng thiết bị lắc MS2 Minishaker ở tốc độ 2200 vòng/phút.

Chuẩn bị mẫu đo độ nhớt: Mẫu 0,2% agar chứa muối hay sucrose được chuẩn bị trong nước tinh khiết và gia nhiệt trong bể ổn nhiệt ở 95°C trong 15 phút. Sau đó làm lạnh bằng bể ổn nhiệt lạnh tới nhiệt độ đo được giữ duy trì 20 phút trước khi đo độ nhớt.

Chuẩn bị mẫu đo cường độ gel: Dung dịch agar 1% chứa nồng độ muối (NaCl, CaCl₂) hay sucrose khác nhau được gia nhiệt trong bể ổn nhiệt ở 95°C trong 15 phút, sau đó rót khay tạo hình (dài x rộng x cao là 100x70x20 mm) có nắp đậy để chống bay hơi nước, chiều dày mẫu là 15 mm. Khay mẫu được giữ trong tủ lạnh điều khiển tại các nhiệt độ 5, 10, 20 và 25°C trong 15 giờ trước khi đo. Dùng ống cắt gel agar thành khối hình trụ tròn có đường kính (2R) 20 mm và chiều dày (H) 15 mm.

2.4. Phương pháp nghiên cứu

Quan sát trạng thái: Dung dịch agar được chứa trong lọ thủy tinh chịu nhiệt được chuẩn bị ở 95°C trong 15 phút, sau đó đặt trong bể ổn nhiệt làm lạnh giảm nhiệt độ và theo dõi trạng thái từ 60 xuống 5°C với bước nhảy giảm 5 hay 1°C khi gần tới trạng thái chuyển pha lỏng sang gel. Mẫu được giữ ổn định ở nhiệt độ quan sát 60 phút trước khi xác định trạng thái. Các lọ mẫu được quan sát trạng thái bằng cách đặt dốc lọ xuống một góc 45°, mẫu ở trạng thái gel nếu không thấy chảy khi nghiêng dốc lọ mẫu.

Đo độ nhớt (μ): Độ nhớt của dung dịch agar được thực hiện đo trên thiết bị đo độ nhớt Brookfield Viscometer LVDV I-Prime. 50 ml dung dịch agar được chứa đựng trong ống đo chuyên dụng và được đặt trong bể ổn nhiệt (Circulator Bath TC-502, Brookfield) ở nhiệt độ đo trong 20 phút trước khi xác định độ nhớt. Độ nhớt của mẫu được xác định tại tốc độ quay của đầu đo là 50 vòng/phút.

Đo độ bền gel: Độ bền gel của gel agar (2RxH=20x15 mm) được xác định bằng thiết bị đo lưu biến Sun Scientific Rheometer CR-500DX (Nhật Bản) sử dụng đầu đo số 10 (dạng dao cắt) với tốc độ dịch chuyển 60 mm/phút.

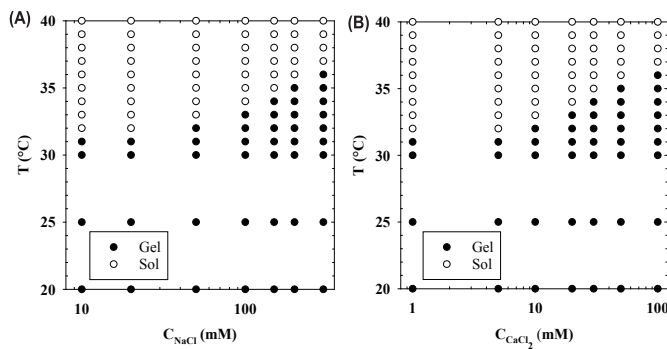
2.5. Xử lý số liệu

Tất cả các thí nghiệm được lặp lại 3 lần. Số liệu được xử lý, phân tích trên phần mềm SPSS (Version 22.0, Chicago, IL, Mỹ) và lấy giá trị trung bình với độ lệch chuẩn của 3 lần đo. Sự khác biệt được xem là đáng kể khi giá trị $p < 0,05$.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Ảnh hưởng của NaCl, CaCl₂ đến tính chất lưu biến của dung dịch/gel agar

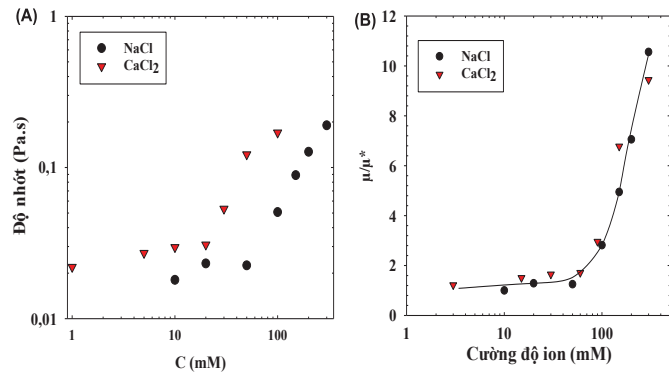
Sự dịch chuyển trạng thái của dung dịch agar: Khi bổ sung muối NaCl hay CaCl₂ vào thì nhiệt độ tạo gel của agar có sự thay đổi lớn, nhiệt độ tạo gel của dung dịch agar 0,2% là 23°C [16], nhưng khi có sự hiện diện của NaCl hay CaCl₂ thì agar tạo gel ở nhiệt độ cao hơn. Tăng nồng độ NaCl từ 10 đến 300 mM thì nhiệt độ tạo gel tăng lên từ 31 đến 36°C (hình 1A), kết quả tương tự khi tăng nồng độ CaCl₂ từ 5 đến 100 mM (hình 1B).



Hình 1. Ảnh hưởng của NaCl (A) và CaCl₂ (B) đến trạng thái lỏng (sol)-gel của agar 0,2%.

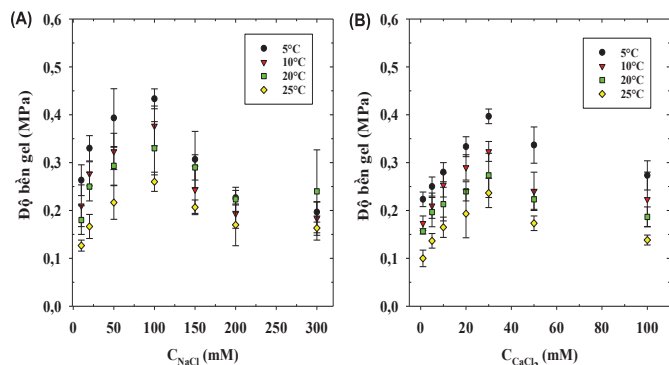
Kết quả xem xét ảnh hưởng của NaCl hay CaCl₂ đến trạng thái của agar phù hợp với nghiên cứu của L. Piculell và cs (1989) [19]. Nhóm nghiên cứu cho rằng, khi thêm muối vào làm ảnh hưởng đến quá trình chuyển đổi lỏng (sol)-gel của agarose, cấu trúc gel và độ đục của trạng thái gel. Khi cho 2 M NaCl vào dung dịch thì muối này làm tăng tính ổn định trạng thái gel, bằng chứng là có sự tăng nhẹ nhiệt độ tạo gel (T_g) và nhiệt độ tan chảy gel (T_m). Điều này được giải thích khi có mặt của các phân tử muối trong agar làm tăng lực hút tĩnh điện giữa các cầu nối, dẫn đến các cuộn xoắn mạch trong dung dịch agar nhanh chóng đóng lại đạt trạng thái gel do đó nhiệt độ tạo gel tăng.

Ảnh hưởng của NaCl, CaCl₂ đến độ nhớt của dung dịch agar: Độ nhớt của dung dịch agar có sự thay đổi tăng mạnh khi bổ sung trên 50 mM NaCl và trên 20 mM CaCl₂. Sự ảnh hưởng của nồng độ CaCl₂ đến độ nhớt của agar cao hơn của NaCl (hình 2A), độ nhớt của agar 0,2% khi chưa bổ sung muối là $\mu^* = 0,017$ Pa.s, sau khi bổ sung 10 mM NaCl hay CaCl₂ thì độ nhớt tăng lên 1,5 hay gần 2 lần. Tuy nhiên, nếu so sánh cùng cường độ ion thì sự ảnh hưởng của NaCl hay CaCl₂ đến tỷ lệ tăng độ nhớt là tương tự nhau (hình 2B). Khi thêm muối vào sẽ làm tăng lực hút tĩnh điện giữa các cầu nối, làm cho các vùng liên kết nhỏ lại và dần tạo nên sự sắp xếp có trật tự các phân tử agar, do đó làm tăng độ nhớt [2].



Hình 2. Ảnh hưởng của nồng độ muối (C)/cường độ ion đến độ nhớt dung dịch agar (A) và tỷ số độ nhớt của dung dịch agar 0,2% có (μ) và không bổ sung muối (μ^*) (B) tại 50°C.

Ảnh hưởng của NaCl, CaCl₂ đến độ bền gel agar: Độ bền gel agar tăng lên khi bổ sung đến 100 mM NaCl hay 30 mM CaCl₂, sau đó có xu hướng giảm xuống (hình 3). Trong khoảng biến thiên tăng này, độ bền gel tăng khoảng 1,8 lần khi nồng độ muối tăng 10 lần. Sau đó độ bền gel có xu hướng giảm, kết quả tương tự công bố của J.N.C. Whyte và cs (1984) [21]. Nguyên nhân có thể là khi đạt tới một nồng độ tới hạn ảnh hưởng của muối thì khi tăng vượt quá tới hạn này, sự có mặt của muối sẽ nhanh chóng làm cho lực đẩy tĩnh điện trung hòa làm ngăn cản sự kết tụ polysaccharide dẫn đến làm yếu mạng lưới gel agar [2].

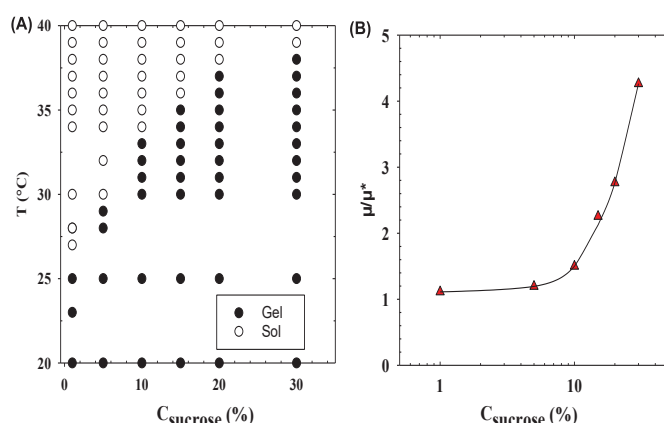


Hình 3. Độ bền gel của agar 1% tại các nồng độ muối NaCl (A) và CaCl₂ (B).

Nhiệt độ cũng ảnh hưởng đến độ bền gel của gel agar hình thành. Ở nhiệt độ từ 50°C giảm xuống 5°C, khi thêm 10 mM NaCl, cường độ gel tăng từ 0,13 đến 0,26 MPa và tăng lên 3,2 lần nếu thêm 100 mM NaCl (hình 3A); xu hướng này cũng tương tự đối với muối CaCl₂ (hình 3B). Khi tăng hàm lượng cation làm tăng nhiệt độ tạo gel và độ bền gel của agar cũng được phát hiện bởi K. Prasad và cs (2005) [18]. Việc giảm nhiệt độ, đồng nghĩa sự hình thành các xoắn đôi, xoắn ba của mạch polysaccharide nhiều hơn, liên kết hydro mạnh mẽ hơn nên gel agar hình thành chắc chắn hơn [2, 19, 21].

3.2. Ảnh hưởng của sucrose đến tính chất lưu biến của dung dịch/gel agar

Ảnh hưởng của sucrose đến trạng thái và độ nhớt của dung dịch agar: Nhiệt độ tạo gel của agar có sự thay đổi lớn khi bổ sung đường sucrose, nhiệt độ tạo gel của agar 0,2% tăng lên 2°C khi bổ sung 1% sucrose và nhiệt độ tạo gel có thể đạt 38°C khi bổ sung 30% sucrose (hình 4A). Kết quả này tương tự với nghiên cứu của V. Normand và cs (2003) [29] khi nồng độ sucrose lên đến 60%, tăng nồng độ sucrose trong dung môi dẫn đến giảm nhiệt độ gel hóa, tăng tỷ lệ hình thành gel. Trong phạm vi nồng độ 0-60%, sucrose dường như làm tăng cường quá trình gel hóa. Điều này được giải thích là do khi có mặt của các phân tử đường sucrose vào trong agar thì các phân tử đường sẽ chiếm chỗ các không gian trống trong phân tử agar làm các vùng liên kết nhỏ lại, đồng thời tăng số lượng vùng liên kết lên dẫn đến cấu trúc xoắn của agar bền chặt hơn.



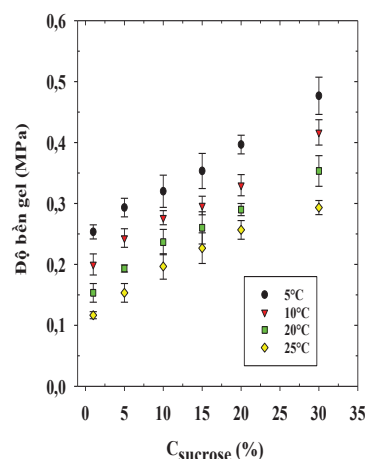
Hình 4. Ảnh hưởng của nồng độ sucrose đến trạng thái lỏng (sol)-gel (A) và tỷ số độ nhớt của dung dịch agar 0,2% có (μ) và không bổ sung sucrose (μ^*) (B) tại 50°C.

Khi bổ sung sucrose vào thì độ nhớt của agar tăng không đáng kể khi nồng độ sucrose dưới 10%, $\mu/\mu^* \approx 1,1$. Nhưng khi bổ sung sucrose trên 10% thì độ nhớt của agar 0,2% tăng từ 1,4 đến 4,4 lần (hình 4B). Nghiên cứu của V. Normand và cs (2003) [29] cũng đã nhận định rằng, sucrose ảnh hưởng lớn đến độ nhớt của agarose, khi tăng nồng độ sucrose thúc đẩy sự gia tăng độ nhớt, sự gia tăng tuyến tính trên khoảng 55-60%. Kết quả được giải thích khi thêm sucrose vào tạo cấu trúc gel của agar bền chặt hơn làm cho các phân tử trong agar dễ va chạm ma sát với nhau dẫn đến độ nhớt của agar tăng.

Độ nhớt của dung dịch agar có bổ sung sucrose cũng chịu ảnh hưởng bởi nhiệt độ, nồng độ agar, quy luật thay đổi giá trị độ nhớt tương tự như đối với dung dịch agar tinh khiết được công bố bởi D.V. Hien và cs (2019) [16]. Nghiên cứu này cũng tìm ra độ nhớt dung dịch agar bổ sung 20% sucrose tăng khi tăng nồng độ agar (0,01-0,2%) hay giảm nhiệt độ dung dịch (50-5°C) (kết quả không được trình bày).

Ảnh hưởng của sucrose đến độ bền gel của agar: Hình 5 trình bày sự biến đổi của độ bền gel khi thay đổi lượng sucrose bổ sung (0-30%) tại nhiệt độ khác nhau. Ở cùng nhiệt độ, độ

bền gel cao hơn khoảng 1,2 lần khi tăng lượng sucrose lên 5 lần, mức tăng độ bền gel tăng khi tăng lượng sucrose bổ sung, chẳng hạn độ bền gel của gel agar bổ sung 30% sucrose cao hơn khoảng 1,8 lần của gel agar bổ sung 1% sucrose. Kết quả nghiên cứu cũng chỉ ra ở cùng nồng độ sucrose bổ sung, độ bền gel tăng khi nhiệt độ giảm. Kết quả này phù hợp với nghiên cứu của V. Normand và cs (2003) [29] khi tăng nồng độ sucrose dẫn đến sự chuyển đổi các gel giòn, tạo độ biến dạng lớn làm dễ vỡ nứt. Nghiên cứu khác cũng chỉ ra rằng, sucrose có tác dụng ổn định sự hình thành và đóng chặt của hai dây xoắn polysaccharide làm tăng độ cứng của polysaccharide [22].



Hình 5. Ảnh hưởng của nồng độ sucrose đến độ bền gel của agar 1%.

4. Kết luận

Sự có mặt của muối (NaCl , CaCl_2) hay sucrose có ảnh hưởng lớn đến trạng thái và một số tính chất lưu biến của dung dịch agar. Ở nồng độ 0,2%, dung dịch agar hình thành gel ở nhiệt độ trên 30°C khi bổ sung trên 10 mM NaCl , 1 mM CaCl_2 hay 1% sucrose. Trong khoảng nồng độ muối và sucrose sử dụng, độ nhớt của dung dịch agar 0,2% tăng mạnh khi bổ sung trên 50 mM NaCl , 20 mM CaCl_2 hay 10% sucrose. Độ bền gel của agar 1% tăng khi tăng lượng muối đến 100 mM NaCl hay 30 mM CaCl_2 , sau đó nếu tiếp tục tăng lượng muối, gel bị mềm hóa, giảm cường độ gel. Sucrose không hỗ trợ tăng độ nhớt tốt như NaCl , CaCl_2 nhưng hỗ trợ tăng nhiệt độ hình thành gel, tăng độ bền gel của agar 1% tốt hơn NaCl hay CaCl_2 .

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] K. Alba, V. Kontogiorgos (2018), "Seaweed polysaccharides (agar, alginate carrageenan)", *Encycl. Food Chem.*, pp.240-250, DOI: 10.1016/B978-0-08-100596-5.21587-4.
- [2] S. Banerjee, S. Bhattacharya (2012), "Food gels: Gelling process and new applications", *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, **52**(4), pp.334-346, DOI: 10.1080/10408398.2010.500234.
- [3] M. Lahaye, C. Rochas (1991), "Chemical structure and physico-chemical properties of agar", *Hydrobiologia*, **221**, pp.137-148, DOI: 10.1007/978-94-011-3610-5.

- [4] S. Yarnpakdee, S. Benjakul, P. Kingwascharapong (2015), "Physico-chemical and gel properties of agar from *Gracilaria tenuistipitata* from the lake of Songkhla, Thailand", *Food Hydrocoll.*, **51**, pp.217-226, DOI: 10.1016/j.foodhyd.2015.05.004.
- [5] P.S.D. Alwis, I. Wijesekara (2022), "Gel properties of agar from two *Gracilaria* species in Sri Lanka and development of food jellies", *Ruhuna J. Sci.*, **13**(1), DOI: 10.4038/rjs.v13i1.111.
- [6] Z. Belattmania, F. Bentiss, C. Jama, et al. (2021), "Spectroscopic characterisation and gel properties of agar from two *Gelidium* species from the Atlantic coast of Morocco", *Biointerface Res. Appl. Chem.*, **11**(5), pp.12642-12652, DOI: 10.33263/BRIAC115.1264212652.
- [7] A. Chirapart, Y. Katou, H. Ukeda, et al. (1995), "Physical and chemical properties of agar from a new member of *Gracilaria*, *G. lemaneiformis* (*Gracilariales*, *Rhodophyta*) in Japan", *Fish. Sci.*, **61**(3), pp.450-454, DOI: 10.2331/fishsci.61.450.
- [8] W.K. Lee, Y.Y. Lim, A.T.C. Leow, et al. (2017), "Factors affecting yield and gelling properties of agar", *J. Appl. Phycol.*, **29**(3), pp.1527-1540, DOI: 10.1007/s10811-016-1009-y.
- [9] K. Nishinari, Y. Fang (2017), "Relation between structure and rheological/thermal properties of agar: A mini-review on the effect of alkali treatment and the role of agarpectin", *Food Struct.*, **13**, pp.24-34, DOI: 10.1016/j.foostr.2016.10.003.
- [10] B. Mao, A. Bentaleb, F. Louerat, et al. (2017), "Heat-induced aging of agar solutions: Impact on the structural and mechanical properties of agar gels", *Food Hydrocoll.*, **64**, pp.59-69, DOI: 10.1016/j.foodhyd.2016.10.020.
- [11] Q. Xiao, X. Wang, J. Zhang, et al. (2021), "Pretreatment techniques and green extraction technologies for agar from *Gracilaria lemaneiformis*", *Mar. Drugs*, **19**(11), DOI: 10.3390/md19110617.
- [12] M. Lahaye, W. Yaphe (1988), "Effects of seasons on the chemical structure and gel strength of *Gracilaria pseudoverrucosa* agar (*Gracilariaceae*, *Rhodophyta*)", *Carbohydrate Polymers*, **8**(4), pp.285-301, DOI: 10.1016/0144-8617(88)90067-7.
- [13] Z. Wang, K. Yang, T. Brenner, et al. (2014), "The influence of agar gel texture on sucrose release", *Food Hydrocoll.*, **36**, pp.196-203, DOI: 10.1016/j.foodhyd.2013.09.016.
- [14] L.M. Barrangou, M. Drake, C.R. Daubert, et al. (2006), "Textural properties of agarose gels. II. Relationships between rheological properties and sensory texture", *Food Hydrocoll.*, **20**(2-3), pp.196-203, DOI: 10.1016/j.foodhyd.2005.03.013.
- [15] J.M.H. Rahman, M.N.I. Shiblee, K. Ahmed, et al. (2020), "Rheological and mechanical properties of edible gel materials for 3D food printing technology", *Heliyon*, **6**(12), DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e05859.
- [16] D.V. Hien, T.T.T. Nguyen, T.H. Tran, et al. (2019), "Effect of CMC, temperature and agar concentration on viscosity of agar solution, hardness of agar gel", *J. Fish. Sci. Technol.*, **1**, pp.22-29 (in Vietnamese).
- [17] K.D.E. Fernandez, D. Lopez, C. Mijangos, et al. (2007), "Rheological and thermal properties of agarose aqueous solutions and hydrogels", *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, **46**(3), pp.322-328, DOI: 10.1002/polb.21370.
- [18] K. Prasad, A.K. Siddhanta, A.K. Rakshit, et al. (2005), "On the properties of agar gel containing ionic and non-ionic surfactants", *Int. J. Biol. Macromol.*, **35**(3-4), pp.135-144, DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2005.01.004.
- [19] L. Piculell, S. Nilsson (1989), "Anion-specific salt effects in aqueous agarose systems. 1. Effects on the coil-helix transition and gelation of agarose", *J. Phys. Chem.*, **93**(14), pp.5596-5601, DOI: 10.1021/j100351a053.
- [20] S. Arnott, A. Fulmer, W.E. Scott, et al. (1974), "The agarose double helix and its function in agarose gel structure", *J. Mol. Biol.*, **90**(2), pp.269-284, DOI: 10.1016/0022-2836(74)90372-6.
- [21] J.N.C. Whyte, J.R. Englar, S.P.C. Hosford (1984), "Factors affecting texture profile evaluation of agar gels", *Bot. Mar.*, **27**(2), pp.63-70, DOI: 10.1515/botm.1984.27.2.63.
- [22] J. Tang, R. Mao, M.A. Tung, et al. (2001), "Gelling temperature, gel clarity and texture of gellan gels containing fructose or sucrose", *Carbohydr. Polym.*, **44**(3), pp.197-209, DOI: 10.1016/S0144-8617(00)00220-4.
- [23] I.F. Farrés, I.T. Norton (2015), "The influence of co-solutes on tribology of agar fluid gels", *Food Hydrocoll.*, **45**, pp.186-195, DOI: 10.1016/j.foodhyd.2014.11.014.
- [24] S. Maurer, A. Junghans, T.A. Vilgis (2012), "Impact of xanthan gum, sucrose and fructose on the viscoelastic properties of agarose hydrogels", *Food Hydrocoll.*, **29**(2), pp.298-307, DOI: 10.1016/j.foodhyd.2012.03.002.
- [25] S. Shimizu, N. Matubayasi (2014), "Gelation: The role of sugars and polyols on gelatin and agarose", *J. Phys. Chem. B*, **118**(46), pp.13210-13216, DOI: 10.1021/jp509099h.
- [26] K. Nishinari, Y. Fang (2016), "Sucrose release from polysaccharide gels", *Food Funct.*, **7**(5), pp.2130-2146, DOI: 10.1039/c5fo01400j.
- [27] K. Yang, Z. Wang, T. Brenner, et al. (2015a), "Sucrose release from agar gels: Effects of dissolution order and the network inhomogeneity", *Food Hydrocoll.*, **43**, pp.100-106, DOI: 10.1016/j.foodhyd.2014.05.005.
- [28] K. Yang, Z. Wang, T. Brenner, et al. (2015b), "Sucrose release from agar gels: Correlation with sucrose content and rheology", *Food Hydrocoll.*, **43**, pp.132-136, DOI: 10.1016/j.foodhyd.2014.05.007.
- [29] V. Normand, P. Aymard, D.L. Lootens, et al. (2003), "Effect of sucrose on agarose gels mechanical behaviour", *Carbohydr. Polym.*, **54**(1), pp.83-95, DOI: 10.1016/S0144-8617(03)00153-X.
- [30] Association of Official Analytical Chemist (2012), "Method 920.6", *Official Methods of Analysis* (19th Edition), Mayland (USA).