

THÔNG BÁO KHOA HỌC

ẢNH HƯỞNG CỦA CMC, NHIỆT ĐỘ VÀ NỒNG ĐỘ AGAR ĐẾN ĐỘ NHỚT CỦA DUNG DỊCH, ĐỘ CỨNG GEL AGAR**EFFECT OF CMC, TEMPERATURE AND AGAR CONCENTRATION ON VISCOSITY OF AGAR SOLUTION, HARDNESS OF AGAR GEL****Đình Văn Hiện¹, Nguyễn Thị Thanh Thúy²,****Trần Thị Huyền², Nguyễn Trọng Bách²**

Ngày nhận bài: 5/11/2018; Ngày phản biện thông qua: 13/11/2018; Ngày duyệt đăng: 1/3/2019

TÓM TẮT

Agar, một polysaccharide được chiết tách từ loài rong đỏ và có nhiều trong họ rong câu chỉ vàng – có khả năng nuôi trồng với sản lượng lớn tại Việt Nam. Agar được ứng dụng nhiều trong công nghệ thực phẩm và một số lĩnh vực khác. Chúng được dùng như một phụ liệu tạo nhớt, tạo đặc, tạo gel, nhũ hóa và ổn định hệ thực phẩm. Việc nghiên cứu trạng thái, độ nhớt của dung dịch agar hay độ cứng của gel agar dưới ảnh hưởng của Sodium carboxymethyl cellulose (CMC), nhiệt độ và nồng độ agar làm cơ sở khoa học cho việc ứng dụng có hiệu quả agar trong nhiều lĩnh vực của cuộc sống. Trạng thái của dung dịch agar được khảo sát trong khoảng nhiệt độ 5÷60 °C, nó phụ thuộc vào nhiệt độ hình thành cấu trúc cũng như nồng độ agar có trong dung dịch. Dung dịch agar hình thành trạng thái gel ở nồng độ 0,2% tại nhiệt độ phòng nhưng nhiệt độ tạo gel có thể trên 45 °C nếu nồng độ agar trên 1%. CMC bổ sung (0,1÷1%) hỗ trợ dung dịch agar tăng độ nhớt khi tăng tỷ lệ CMC thêm vào. Gel agar hình thành ở nồng độ cao và nhiệt độ thấp có độ bền cao được thể hiện ở kết quả đo độ cứng, khi nồng độ agar tăng lên 5 lần thì lực cắt tăng 4÷5 lần và lực đâm xuyên tăng 7÷9 lần, điều này phụ thuộc vào nhiệt độ quá trình hình thành gel. Phương pháp quan sát, xác định độ nhớt động học, độ cứng bằng các phân tích lưu biến học được sử dụng trong nghiên cứu này.

ABSTRACT

Agar, a polysaccharide extracted from red seaweed and especially in *Gracilaria verrucosa* – has good growing possibility in large quantities in Vietnam. Agar is widely used in food technology and some other fields as a viscous agent, thickness, emulsifier and food stabilizer. The study of the state, viscosity of the agar solution or hardness of the agar gel under the influence of Sodium carboxymethyl cellulose (CMC), temperature and agar concentration (Ca) provides the scientific basis for the effective application of agar in the fields of life. The state of agar solution was investigated in the range of 5÷60 °C, depended on the temperature of the structural formation as well as Ca contained in the solution. The agar formed a gel at Ca = 0.2% at room temperature, but the gelling temperature can be above 45 °C if Ca was above 1%. CMC (0.1÷1%) made increase the viscosity of the agar solution when increasing the added amount of CMC. Agar gel was formed at high concentration and low temperature that had a high gel strength, which was shown in hardness results when the Ca increased 5 times, the cutting force increased 4÷5 times and the penetrated force increased 7÷9 times, depending on the temperature of the gelation process. Visual observation, dynamic viscosity, hardness measurement by rheological analysis were used in this study.

Keywords: agar; temperature; viscosity; hardness; gel

¹ Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng, Sở Khoa học và Công nghệ tỉnh Khánh Hòa

² Khoa Công nghệ Thực phẩm, Trường Đại học Nha Trang

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Rong biển là nguồn nguyên liệu có giá trị dinh dưỡng cao, có khả năng cung cấp các khoáng chất đặc biệt là các nguyên tố vi lượng, nhiều axit amin cần thiết cho cơ thể, nhiều loại vitamin, các cacbohydrat đặc trưng và các chất có hoạt tính sinh học cao. Đặc biệt trong các loài rong biển thì rong đỏ có các loại keo rong như agar, carrageenan... có khả năng tạo gel đông rất tốt có thể ứng dụng vào các ngành công nghiệp thực phẩm, y học, sinh học... (Trần Thị Luyến và cộng sự, 2004). Trong các loại rong đỏ hiện nay thì rong câu chỉ vàng (*Gracilaria verrucosa*) đang là đối tượng được người dân quan tâm vì dễ trồng, ít mắc bệnh và có thể kết hợp trồng rong với việc nuôi trồng thủy sản khác mà không ảnh hưởng gì đến cây rong. Đặc biệt thành phần chính trong rong câu chỉ vàng là agar, agar là một trong các chất phụ gia được sử dụng nhiều trong thực phẩm với vai trò là chất tạo gel, tạo nhót, tạo đặc, nhũ hóa,... (Saha và Bhattacharya, 2010).

Agar là một polysaccharide được chiết tách chủ yếu từ loài rong đỏ thuộc họ rong câu chỉ vàng (Humm, 1962; Chirapart và cộng sự, 1995; Suzuki và cộng sự, 2001; Praiboon và cộng sự, 2006). 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. Đây là hỗn hợp các polysaccharide gồm hai thành phần chính là agarose (một polyme trung tính) và agaropectin (một polyme sunphat tích điện) (Lahaye & Rochas, 1991).

Tại Việt Nam, các nghiên cứu chủ yếu tập trung vào phân loại, nuôi trồng và bảo vệ nguồn lợi rong (Nguyễn Xuân Hòa và cộng sự, 2013; Nguyễn Thị Thanh Thủy, 2013) hay nghiên cứu tách chiết agar (Trần Thị Luyến và cộng sự, 2004) mà chưa có nhiều những nghiên cứu chuyên sâu nào được công bố về sự hình thành trạng thái, tính chất lưu biến của dung dịch agar. Để sử dụng có hiệu quả nguồn chế phẩm agar cũng như nhằm đa dạng hóa sản phẩm từ nguồn agar này thì việc phân tích các tính chất hóa lý của chúng là rất quan trọng. Một trong các tính chất quan trọng của agar chính là tính chất lưu biến liên quan đến sự chảy và sự biến dạng của vật chất dưới tác

dụng của ngoại lực. Việc nghiên cứu lực cắt, đâm xuyên giúp hiểu rõ hơn về độ cứng của gel agar nguyên chất cho các ứng dụng trong công nghệ thực phẩm hay các lĩnh vực khác như làm môi trường nuôi cấy vi sinh, hay các sản phẩm mà agar làm chất nền,... (Banerjee & Bhattacharya, 2012; Kihara K, 1986).

Trạng thái của agar cũng như độ nhót của dung dịch agar hay độ cứng của gel agar phụ thuộc vào nhiều yếu tố như nồng độ agar, nhiệt độ, chất đông tạo gel, muối,... (Whyte, Englar, & Hosford, 1984); ở nghiên cứu này chúng tôi tập trung xem xét ảnh hưởng của nồng độ agar, CMC hay nhiệt độ đến sự hình thành trạng thái của dung dịch agar, độ nhót hay độ bền đông kết của gel agar.

II. ĐỐI TƯỢNG, VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

1. Vật liệu

Agar là sản phẩm thương mại của công ty TNHH Hải Long được sản xuất tại Hải Phòng, Việt Nam. Lô sản phẩm sử dụng được sản xuất ngày 18/01/2017 và có hạn sử dụng 3 năm.

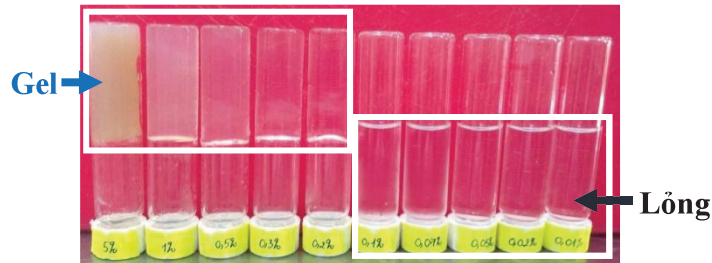
Sodium carboxymethyl cellulose (CMC) được mua tại công ty TNHH Tam Hưng, do Thổ Nhĩ Kỳ sản xuất và được nhập khẩu bởi công ty TNHH Vĩnh Nam Anh.

2. Phương pháp nghiên cứu và xử lý số liệu

2.1. Phương pháp quan sát trạng thái của dung dịch agar

Chuẩn bị: Dung dịch agar ở các nồng độ (0,01; 0,02; 0,05; 0,07; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8%) được chứa trong ống nghiệm nắp kín có đường kính 1,5 cm, cao 12 cm với khối lượng dung dịch agar là 10 g được giữ trong bể ổn nhiệt có nhiệt độ 95 °C trong khoảng thời gian 15 phút. Để tăng khả năng hòa tan, mẫu được lắc đều bởi máy lắc MS2 Minishaker với tốc độ 2200 vòng/phút. Sau đó mẫu được đem quan sát trạng thái ở các nhiệt độ khác nhau (60 °C ÷ 5 °C).

Để tiến hành quan sát mẫu được đặt trong bể ổn nhiệt ở 60 °C, sau đó tiến hành giảm dần nhiệt độ xuống 5 °C với bước nhảy 1 °C, ở mỗi nhiệt độ giữ nhiệt trong 60 phút rồi quan sát. Ghi nhận trạng thái, nhiệt độ tạo gel của dung dịch agar (Hình 1).



Hình 1: Mẫu dung dịch agar ở các nồng độ (0,01÷5%) được giữ trong 60 phút tại 5 °C

2.2. Phương pháp xác định độ nhớt của dung dịch agar không có và có CMC

Độ nhớt được xác định bằng máy đo độ nhớt Brookfield Viscometer LVDV I – Prime (Hoa Kỳ). Mẫu lỏng được rót vào ống chứa mẫu, đặt vào bể ổn nhiệt (Circulator Bath TC 502) của máy Brookfield tại từng nhiệt độ đo (5, 10, 20, 30, 40 và 50 °C) trong 20 phút, khi nhiệt độ mẫu ổn định tiến hành đo mẫu với các đầu đo thích hợp (số 61 hoặc 62) ở tốc độ quay của đầu đo 5, 10, 20, 50 và 100 vòng/phút.

Chuẩn bị dung dịch agar: Agar ở các nồng độ (0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1%) được hòa tan tại nhiệt độ 95 °C trong khoảng thời gian 15 phút rồi tiến hành đo độ nhớt các mẫu lỏng (được xác định ở phần quan sát trạng thái tại các nhiệt độ khác nhau) tại nhiệt độ đo.

Chuẩn bị dung dịch agar có bổ sung CMC: Agar ở nồng độ 0,1% được bổ sung CMC với các nồng độ (0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1%) được hòa tan tại nhiệt độ 95 °C trong khoảng thời gian 15 phút rồi tiến hành đo độ nhớt tại nhiệt độ đo.

2.3. Phương pháp xác định độ cứng của gel agar

Đo độ cứng - Lực đâm xuyên và lực cắt của gel (có đường kính 20 mm và chiều dày 15 mm) được xác định bằng thiết bị đo lưu biến Sun Scientific Rheometer CR-500DX (Nhật Bản) với các đầu đo tương ứng là đầu đo số 3 (10 mm) và số 10 có tốc độ di chuyển là 60 mm/phút.

Chuẩn bị gel agar: Sau khi agar được hòa tan tại nhiệt độ 95 °C trong khoảng thời gian 15 phút ở các nồng độ khác nhau (1; 2; 3; 4; 5%), tiến hành rót khuôn có nắp đậy kín để chống sự bay hơi nước (dài x rộng = 10x7 cm) với độ dày mẫu 15 mm rồi giữ lạnh ở các nhiệt độ (5,

10, 20 °C và nhiệt độ phòng) trong 15 giờ. Sau đó tạo mẫu có hình trụ tròn (đường kính 20 mm và chiều cao 15 mm) bằng cách dùng đục tròn rỗng inox (đường kính trong là 20 mm) có cạnh sắc đục khối gel agar đã được chuẩn bị trong khuôn. Các mẫu gel agar được tiến hành đo lực đâm xuyên và lực cắt bằng thiết bị Rheometer CR-500DX tại nhiệt độ phòng.

2.4. Phương pháp xử lý số liệu

Các thí nghiệm được thực hiện 3 lần, kết quả thu được là giá trị trung bình của các lần đo. Xử lý số liệu và vẽ biểu đồ bằng phần mềm Sigmaplot 12.0.

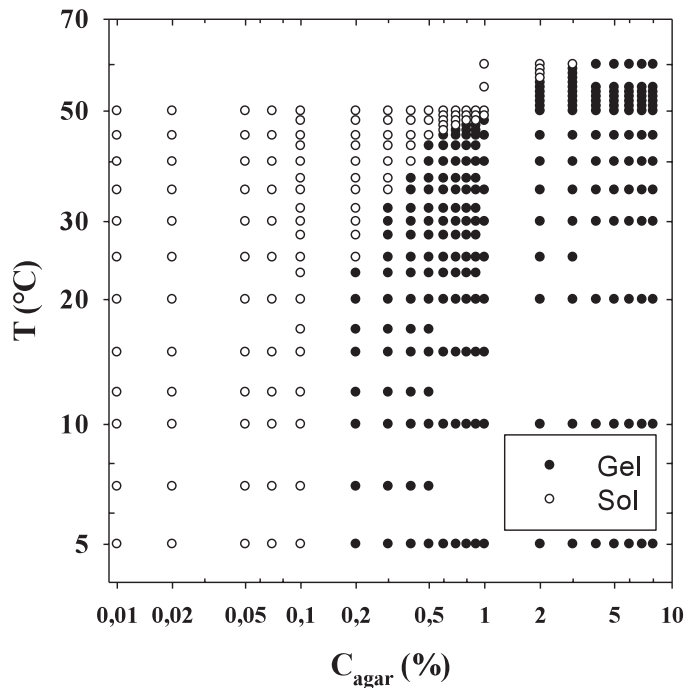
III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

1. Sự hình thành trạng thái của agar

Các mẫu agar có nồng độ khác nhau, được quan sát trạng thái sau khi đặt trong bể ổn nhiệt lạnh (Circulator Bath TC 502, Brookfield). Kết quả quan sát trạng thái các mẫu theo nồng độ agar sau 60 phút ở các nhiệt độ khác nhau được trình bày ở hình 2.

Khi nồng độ tăng thì nhiệt độ tạo gel của agar tăng theo, agar bắt đầu tạo gel ở nồng độ 0,2% tại nhiệt độ 5 °C, khi nồng độ agar tăng từ 0,2÷8% thì nhiệt độ tạo gel tăng từ 23 °C đến 60 °C; đặc biệt khả năng tạo gel của agar ở nồng độ cao trên 1% là rất lớn với nhiệt độ tạo gel tăng từ 54 °C đến 60 °C; còn agar có nồng độ thấp dưới 0,2% thì vẫn ở trạng thái lỏng kể cả ở nhiệt độ thấp (5 °C). Điều này do khi nồng độ agarose tăng thì số lượng các tương tác polyme-polyme hình thành các xoắn ốc tăng (Arnott và cộng sự, 1974; Piculell & Nilsson, 1989; Mao và cộng sự, 2017), dẫn đến các gel mạnh hơn và đục hơn khi quan sát (Barrangou và cộng sự, 2006).

Ngoài ra, khả năng tạo gel của agar phụ



Hình 2: Trạng thái lỏng-gel (Sol-Gel) của dung dịch agar ở các nồng độ và nhiệt độ khác nhau

thuộc vào nhiệt độ và nồng độ agar ban đầu trong dung dịch (Whyte và cộng sự, 1984). Khi đưa nhiệt độ lên cao (lớn hơn 90 °C), agar trở thành pha phân tán và nước đóng vai trò là pha liên tục do lúc này hình thành dạng dung dịch bao gồm những tiểu phân mixen, ở giữa mixen là phân tử agar. Khi hạ nhiệt độ xuống thấp, các hạt mixen được bao bọc xung quanh một lớp nước liên kết lại tạo thành gel dẫn đến sự phân bố lại điện tích trên bề mặt của những hạt mixen. Khi tạo gel, các cầu nối hydro làm tăng tính bền vững của cấu trúc mạch agar, chống lại sự phân ly của hỗn hợp dịch khi tăng nhiệt độ quá mạnh. Bên cạnh đó, liên kết β -1, 4 dễ bị phân cắt bởi axit và tạo thành các agarobiose (Whyte và cộng sự, 1984). Agarobiose làm cho agar trong môi trường nước có khả năng tạo gel.

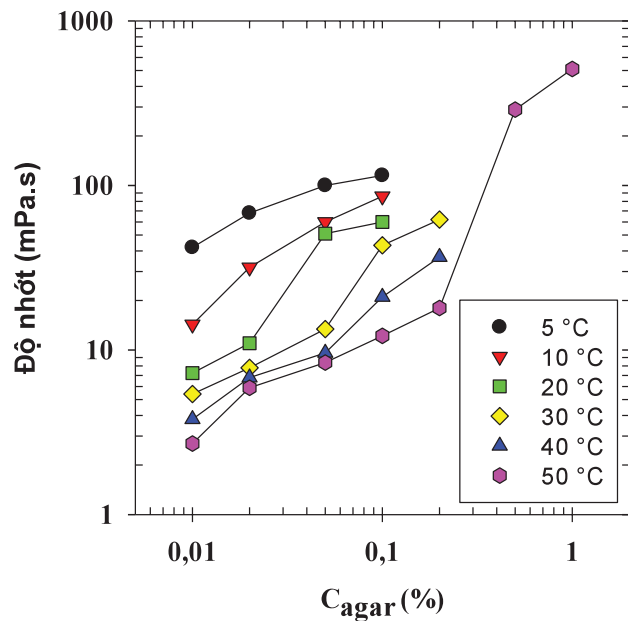
2. Ảnh hưởng của nhiệt độ và nồng độ agar đến độ nhớt của dung dịch agar

Độ nhớt của dung dịch agar (0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1%) được xác định ở các nhiệt độ khác nhau (5, 10, 20, 30, 40 và 50 °C). Kết quả đo độ nhớt tại tốc độ quay của đầu đo là 50 vòng/phút được trình bày ở hình 3.

Khi hạ nhiệt độ từ 50 °C xuống 5 °C thì

độ nhớt của dung dịch agar ở tất cả các nồng độ đều tăng, cụ thể ở nồng độ agar 0,01% độ nhớt tăng từ 2,7 đến 42 mPa.s. Kết quả đo cũng chỉ ra ở cùng một nhiệt độ, nồng độ agar tăng thì độ nhớt cũng tăng theo. Ở nhiệt độ 50 °C, khi nồng độ tăng từ 0,01 đến 1% thì độ nhớt tăng từ 2,7 đến 510 mPa.s, độ nhớt có sự tăng đột ngột khi nồng độ agar trên 0,5% do gần vùng nhiệt độ tạo gel (Hình 2), do đó có sự định hướng sắp xếp các chuỗi polysaccharide thành các xoắn đơn hay kép để hình thành gel khi đạt tới nhiệt độ và nồng độ tới hạn tạo gel (C_g) (Arnott và cộng sự, 1974; Whyte và cộng sự, 1984; Matsuo, Tanaka, & Ma, 2002). Giới hạn nồng độ tạo gel giảm dần khi nhiệt độ hạ xuống, ví dụ tại 43 °C, $C_g = 0,5\%$ và trên 0,1% khi hạ nhiệt độ xuống dưới 20 °C. Các dung dịch agar hình thành cấu trúc gel nếu nồng độ lớn hơn C_g , vì thế không thể đo được độ nhớt của dung dịch agar ở những nồng độ này.

Do nguyên liệu agar sử dụng trong nghiên cứu là hỗn hợp chứa agarose và agaropectin nên khi tăng hàm lượng agar đồng nghĩa với việc tăng hàm lượng agarose, do đó kết quả nghiên cứu có thể so sánh với các nghiên cứu về agarose. Sự biến đổi độ nhớt của agar có xu



Hình 3: Độ nhớt của dung dịch agar ở các nồng độ và nhiệt độ khác nhau

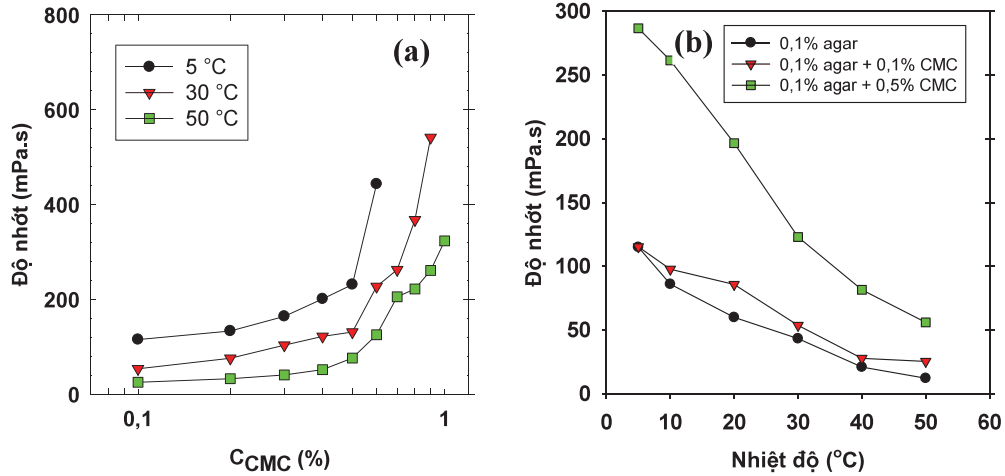
hướng tương tự như kết quả nghiên cứu của Emiliano Fernandez và cộng sự (2007) về độ nhớt của agarose, nhóm tác giả đã chỉ ra rằng độ nhớt tăng theo nồng độ dung dịch agarose, ở nồng độ thấp độ nhớt không thay đổi nhưng khi giảm nhiệt độ xuống khoảng 38÷40 °C thì độ nhớt tăng lên vì sự kết hợp của sợi agarose gần ngưỡng tạo đông (Emiliano và cộng sự, 2007). Kết quả nghiên cứu cũng phù hợp với nghiên cứu của Lyudmila K. Asyakina và cộng sự (2016), độ nhớt của dung dịch agar tăng tuyến tính với nồng độ agar (Lyudmila K. Asyakina, 2016). Điều này được giải thích là do sự hình thành các sợi xoắn kép của chuỗi agarose được hỗ trợ bởi sự hình thành liên kết hydro trong phân tử (Tako & Nakamura, 1988; Lahaye & Rochas, 1991). Các liên kết này ổn định các xoắn kép và tăng độ chắc của chuỗi. Mặt khác, sự kết hợp của các xoắn kép agarose được hỗ trợ bởi liên kết hydro liên phân tử làm gel hóa dung dịch agarose cũng dẫn đến sự gia tăng độ nhớt (Tako & Nakamura, 1988).

3. Ảnh hưởng của CMC đến độ nhớt của dung dịch agar

Hình 4a trình bày ảnh hưởng của CMC đến độ nhớt của dung dịch agar 0,1% được đo tại tốc độ quay của đầu đo là 50 vòng/phút. Kết quả cho thấy CMC giúp độ nhớt của dung dịch

agar 0,1% tăng lên đáng kể, đặc biệt khi nồng độ CMC (CCMC) bổ sung trên 0,5% bởi vì bản chất CMC là một polyme được ứng dụng làm tăng độ đặc (Vicki Deyarmond, 2014). Độ nhớt của dung dịch agar tăng mạnh tại nồng độ tiệm cận giới hạn nồng độ tạo gel do sự sắp xếp lại các phân tử polyme theo trật tự và có sự tương tác với mạch agar nhờ các cầu (liên kết) hydro (Arnott và cộng sự, 1974; Saha & Bhattacharya, 2010). Tại 5 °C, độ nhớt của dung dịch agar 0,1% có bổ sung 0,1% CMC là 115 mPa.s tăng lên 286,7 mPa.s nếu thêm 0,5% CMC và 443,2 mPa.s nếu thêm 0,6% CMC (Hình 4a). Sự thay đổi độ nhớt của dung dịch agar cũng được khảo sát tại nhiều nồng độ CMC và ở nhiều nhiệt độ khác nhau (5, 10, 20, 30, 40 và 50 °C), kết quả đo độ nhớt của agar 0,1% thu được có xu hướng tương tự.

Bên cạnh đó, nhiệt độ cũng ảnh hưởng đến độ nhớt của dung dịch agar có bổ sung CMC (Hình 4b). Kết quả đo chỉ ra rằng ở cùng một nhiệt độ, ví dụ ở 50 °C, độ nhớt của dung dịch agar 0,1% tăng từ 12,2 mPa.s lên 25,4 và 56 mPa.s khi thêm lần lượt 0,1 và 0,5% CMC. Hay khi giảm nhiệt độ từ 50 °C xuống 20 °C, độ nhớt có sự tăng đột ngột và có giá trị đo tương ứng là 60 mPa.s (0,1% agar); 85,8 mPa.s (0,1% agar + 0,1% CMC) và 196,6 mPa.s (0,1% agar



Hình 4: Độ nhớt của dung dịch agar 0,1% theo nồng độ CMC (a); độ nhớt của dung dịch agar 0,1% với 0,1 và 0,5% CMC theo nhiệt độ (b)

+ 0,5% CMC) (Hình 4b).

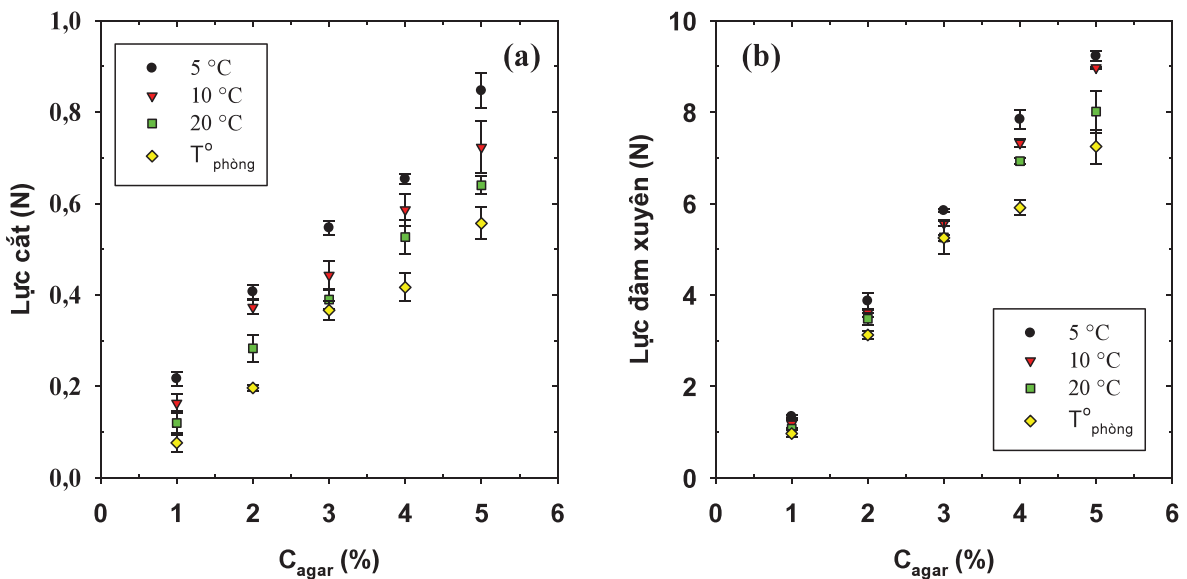
Như vậy, có sự ảnh hưởng đáng kể của CMC và nhiệt độ đến độ nhớt của dung dịch agar 0,1%. Sự ảnh hưởng này được thể hiện rõ khi tăng hàm lượng CMC thêm vào hay độ nhớt được đo ở nhiệt độ thấp.

4. Ảnh hưởng của nồng độ và nhiệt độ đến lực cắt và lực đâm xuyên của gel agar

Mẫu gel agar được chuẩn bị được chứa đựng trong thiết bị kín để tránh mất nước và đặt trong tủ lạnh kiểm soát nhiệt độ bằng bộ điều khiển Dixell RC60 ở các nhiệt độ 5, 10, 20 °C và nhiệt độ phòng trong khoảng thời

gian 15 giờ để ổn định cấu trúc. Lực cắt và lực đâm xuyên là hai đại lượng dùng để đánh giá độ cứng của gel agar, kết quả đo lực cắt và lực đâm xuyên của gel agar được trình bày ở hình 5.

Từ biểu đồ kết quả hình 5, ta thấy trạng thái của gel agar bền chắc hơn khi tăng nồng độ agar hay gel hình thành ở nhiệt độ thấp hơn. Gel agar được hình thành ở 5 °C thì lực cắt và lực đâm xuyên của agar cao nhất và chúng tăng theo việc tăng dần nồng độ agar trong dung dịch, khi nồng độ tăng 5 lần thì lực cắt tăng khoảng 4÷5 lần (Hình 5a), trong khi đó lực đâm



Hình 5: Lực cắt (a) và lực đâm xuyên (b) của gel agar theo nồng độ và nhiệt độ

xuyên tăng 7÷9 lần (Hình 5b). Cụ thể ở nồng độ agar 1% lực cắt tăng từ 0,08 N (nhiệt độ phòng) đến 0,22 N (5 °C), còn lực đâm xuyên tăng từ 0,97 đến 1,34 N; tương tự các nồng độ agar khác. Kết quả đo cũng chỉ ra ở cùng một nhiệt độ hình thành gel, nồng độ agar càng cao thì lực cắt và lực đâm xuyên càng lớn. Ví dụ ở nhiệt độ phòng, khi nồng độ tăng từ 1 đến 5% thì lực cắt tăng từ 0,08 đến 0,56 N; còn lực đâm xuyên tăng từ 0,97 đến 7,25 N. Như đã trình bày ở trên (Hình 2), dung dịch agar 1% sẽ hình thành trạng thái gel khi nhiệt độ hạ xuống 48 °C sau 60 phút, và nhiệt độ hình thành trạng thái gel sẽ cao hơn (60 °C) khi tăng nồng độ agar trong dung dịch (đạt 5%). Như vậy ở nồng độ agar thấp hay nhiệt độ cao thì sự sắp xếp trật tự chuỗi polysaccharide sẽ chậm chạp, xuất hiện xoắn đôi và ít xoắn ba nên lực cắt và lực đâm xuyên của gel agar sẽ thấp hơn của gel khi mật độ polyme tăng lên (nồng độ tăng); cũng như gel agar hình thành ở nhiệt độ thấp hơn (Arnott và cộng sự, 1974; Lahaye & Rochas, 1991; Matsuo và cộng sự, 2002). Việc tăng lực cắt thấp hơn việc tăng của lực đâm xuyên của gel agar thể hiện trạng thái gel agar là gel cứng và giòn. Đây cũng là nguyên nhân giải thích tại sao có sự khác biệt về lực cắt của gel agar ở các nhiệt độ hình thành gel (cùng một nồng độ agar trong dung dịch) (Hình 5a); hay không có sự khác biệt về giá trị đo lực đâm xuyên đối với gel agar 1% trong khi sự khác biệt là rõ ràng đối với gel có nồng độ agar 4 hay 5% (Hình 5b).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

1. Nguyễn Xuân Hòa, Nguyễn Thị Thanh Thủy, Nguyễn Nhật Như Thủy, 2013. Hiện trạng hệ sinh thái rừng ngập mặn và thảm cỏ biển ở khu vực đầm thủy triều tỉnh Khánh Hòa. Hội nghị khoa học toàn quốc về sinh thái và tài nguyên sinh vật lần thứ 5, 488–496.
2. Trần Thị Luyến, Đỗ Minh Phụng, Nguyễn Anh Tuấn, Ngô Đăng Nghĩa, 2004. Chế biến rong biển. Nhà xuất bản Nông Nghiệp Tp. HCM.
3. Nguyễn Thị Thanh Thủy, Nguyễn Xuân Hòa, Nguyễn Nhật Như Thủy, 2013. Hiện trạng nuôi trồng và khai thác thủy sản tại đầm Thủy Triều huyện Cam Lâm, tỉnh Khánh Hòa. Tạp Chí Khoa Học và Công Nghệ Biển, 13(4), 397–405.

Kết quả nghiên cứu có xu hướng giống với kết quả nghiên cứu của Whyte và cộng sự đã nghiên cứu gel agar có nồng độ 0,25÷2% cho độ bền gel tăng từ 4,8 đến 968 g (Whyte và cộng sự, 1984); Barrangou hoặc Xiong và cộng sự nghiên cứu trên đối tượng agarose, gel có nồng độ agarose cao có chuỗi mềm mại ngắn hơn, nó duỗi dài hoàn toàn ở dạng biến dạng nhỏ hơn và do đó dễ vỡ hơn (Xiong và cộng sự, 2005; Barrangou và cộng sự, 2006).

IV. KẾT LUẬN

Nhiệt độ, nồng độ agar hay CMC bổ sung sẽ ảnh hưởng đến sự hình thành trạng thái lỏng-gel của dung dịch agar cũng như tính chất lưu biến của chúng. Khả năng tạo gel/ độ nhớt của dung dịch agar tỉ lệ thuận với nồng độ agar và tỉ lệ nghịch với nhiệt độ; nồng độ agar càng cao thì khả năng tạo gel/ độ nhớt của agar tăng và ngược lại khả năng tạo gel/ độ nhớt của agar giảm khi nhiệt độ tăng dần. Agar không tạo gel ở 5 °C nếu nồng độ dưới 0,1%; khi nồng độ 0,2% agar sẽ tạo gel ở nhiệt độ 23 °C và nhiệt độ tạo gel của agar tăng trên 40 °C khi nồng độ agar trên 0,5%. Gel agar hình thành ở nồng độ cao và nhiệt độ thấp có độ bền gel cao, khi nồng độ agar tăng 5 lần thì lực cắt tăng 4÷5 lần và lực đâm xuyên tăng 7÷9 lần, mức độ tăng phụ thuộc vào nhiệt độ quá trình hình thành gel. Khi được bổ sung CMC, độ nhớt của dung dịch agar tăng tỷ lệ thuận với nồng độ CMC thêm vào.

Tiếng Anh

4. Arnott, S., Fulmer, A., Scott, W. E., Dea, I. C. M., Moorhouse, R., & Rees, D. A., 1974. Agarose Double Helix and Its Function in Agarose-Gel Structure. *Journal of Molecular Biology*, 90(2), 269–284.
5. Banerjee, S., & Bhattacharya, S., 2012. Food Gels: Gelling Process and New Applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52, 334–346.
6. Barrangou, L. M., Daubert, C. R., & Foegeding, E. A., 2006. Textural properties of agarose gels. I. Rheological and fracture properties. *Food Hydrocolloids*, 20(2–3 SPEC. ISS.), 184–195.
7. Chirapart, A., Katou, Y., Ukeda, H., Sawamura, M., & Science, B., 1995. Physical and Chemical Properties of Agar from a New Member *lemaneiformis* (*Gracilariales, Rhodophyta*) in Japan. *Fisheries Science*, 61(3), 450–454.
8. Emiliano Fernandez, Daniel Lopez, Carmen Mijangos, Miroslava Duskova-Smrckova, Michal Ilavsky, K. D., 2007. Rheological and Thermal Properties of Agarose Aqueous Solutions and Hydrogels, 322–328.
9. Humm, H. J., 1962. Marine algae of virginia as a source of agar and agaroids. *Special Scientific Report No. 37*, 37, 1–13.
10. Kihara K, I. S., 1986. The quantitative and useful expression of the hardness of agar plate medium for mycoplasmas and bacteria. *Journal of Biological Standardization*, 45–56.
11. Lahaye, M., & Rochas, C., 1991. Chemical structure and physico-chemical properties of agar. *International Workshop on Gelidium*, 137–148.
12. Lyudmila K. Asyakina, L. S. D., 2016. Study of viscosity of aqueous solutions of natural polysaccharides. *Science Evolution*, 1(2), 3–10.
13. Mao, B., Bentaleb, A., Louerat, F., Divoux, T., & Snabre, P., 2017. Heat-induced aging of agar solutions: Impact on the structural and mechanical properties of agar gels. *Food Hydrocolloids*, 64, 59–69.
14. Matsuo, M., Tanaka, T., & Ma, L., 2002. Gelation mechanism of agarose and κ -carrageenan solutions estimated in terms of concentration fluctuation. *Polymer*, 43(19), 5299–5309.
15. Piculell, L., & Nilsson, S., 1989. Anion-specific salt effects in aqueous agarose systems. 1. Effects on the coil-helix transition and gelation of agarose. *Journal of Physical Chemistry*, 93(14), 5596–5601.
16. Praiboon, J., Chirapart, A., & Akakabe, Y., 2006. Physical and Chemical Characterization of Agar Polysaccharides Extracted from the Thai and Japanese Species of *Gracilaria*, 1, 11–17.
17. Saha, D., & Bhattacharya, S., 2010. Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: A critical review. *Journal of Food Science and Technology*, 47(6), 587–597.
18. Suzuki, H., Sawai, Y., & Takada, M., 2001. The effect of apparent molecular weight and components of agar on gel formation. *Food Science and Technology Research*, 7(4), 280–284.
19. Tako, M., & Nakamura, S., 1988. Gelation mechanism of agarose. *Carbohydrate Research*, 180(2), 277–284.
20. Vicki Deyarmond., 2014. *Cellulose Derivatives in Food Applications (Dow Wolff Cellulosics)*. Polyslip OF-50 Polymer.
21. Whyte, J. N. C., Englar, J. R., & Hosford, S. P. C., 1984. Factors Affecting Texture Profile Evaluation of Agar Gels. *Botanica Marina*, 27(2), 63–70.
22. Xiong, J., Narayanan, J., Liu, X., Chong, T. K., Chen, S. B., & Chung, T., 2005. Topology Evolution and Gelation Mechanism of Agarose Gel, 5638–5643.