

BỘ GIÁO DỤC
VÀ ĐÀO TẠO

VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC
VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM

HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ



Đỗ Kim Ngân

**KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG CỦA PLASMA LẠNH ĐẾN
TĂNG TRƯỞNG VÀ HÀM LƯỢNG CỦA MỘT SỐ HỢP
CHẤT HỮU CƠ TRONG RONG NHO (*Caulerpa lentillifera*)
Ở ĐIỀU KIỆN *IN VITRO***

LUẬN VĂN THẠC SĨ SINH HỌC

ĐỖ KIM NGÂN

SINH HỌC THỰC NGHIỆM

2025

Thành phố Hồ Chí Minh - 2025

BỘ GIÁO DỤC
VÀ ĐÀO TẠO

VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC
VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM

HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ



Đỗ Kim Ngân

**KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG CỦA PLASMA LẠNH ĐẾN
TĂNG TRƯỞNG VÀ HÀM LƯỢNG CỦA MỘT SỐ HỢP CHẤT
HỮU CƠ TRONG RONG NHO (*Caulerpa lentillifera*)
Ở ĐIỀU KIỆN *IN VITRO***

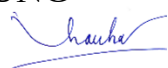
LUẬN VĂN THẠC SĨ SINH HỌC

Ngành: Sinh học thực nghiệm

Mã số: 8 42 01 14

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

1. TS. NGUYỄN HOÀNG DŨNG 

2. TS. THÂN QUỐC AN HẠ 

Thành phố Hồ Chí Minh - 2025

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đề tài nghiên cứu trong luận văn này là công trình nghiên cứu của tôi dựa trên những tài liệu, số liệu do chính tôi tự tìm hiểu và nghiên cứu. Chính vì vậy, các kết quả nghiên cứu đảm bảo trung thực và khách quan nhất. Đồng thời, kết quả này chưa từng xuất hiện trong bất cứ một nghiên cứu nào. Các số liệu, kết quả nêu trong luận văn là trung thực nếu sai tôi hoàn toàn chịu trách nhiệm trước pháp luật.

Tác giả luận văn**ĐỖ KIM NGÂN**

LỜI CẢM ƠN

Lời đầu tiên, xin chân thành cảm ơn thầy Tiến sĩ Nguyễn Hoàng Dũng, thầy Tiến sĩ Thân Quốc An Hạ và thầy Phó Giáo sư – Tiến sĩ Phạm Hữu Thiện đã tận tâm chỉ dẫn, giảng dạy cho tôi về chuyên môn, đồng thời động viên, khích lệ và tạo mọi điều kiện thuận lợi nhất cho tôi trong suốt thời gian thực hiện luận văn.

Tôi xin trân trọng cảm ơn Ban lãnh đạo Viện Công nghệ tiên tiến (tiền thân Viện khoa học Vật liệu ứng dụng) – Viện hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam đã giúp đỡ, tạo mọi điều kiện về cơ sở vật chất để tôi thực hiện luận văn tốt nghiệp.

Tôi xin cảm ơn ban Lãnh đạo, phòng Đào tạo, các phòng chức năng và Quý Thầy, Cô Học viện Khoa học và Công nghệ - Viện hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam luôn tận tụy truyền thụ kiến thức và dành sự quan tâm hỗ trợ tôi trong suốt thời gian học tập và nghiên cứu.

Xin gửi lời cảm ơn tới các đồng nghiệp trong phòng Công nghệ plasma và Vật lý tính toán đã nhiệt tình giúp đỡ tôi trong quá trình hoàn thành luận văn.

Cuối cùng, tôi xin gửi lời tri ân sâu sắc đến cha mẹ, gia đình và những người bạn thân yêu, những người luôn sát cánh, ủng hộ và động viên tôi trong suốt quá trình học tập và hoàn thiện luận văn này.

Xin chân thành cảm ơn!

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN	i
LỜI CẢM ƠN	ii
MỤC LỤC	iii
DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU, CÁC CHỮ VIẾT TẮT	v
DANH MỤC CÁC BẢNG	vi
DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ, ĐỒ THỊ	vii
MỞ ĐẦU	1
Đặt vấn đề	1
Mục tiêu nghiên cứu	2
Nội dung nghiên cứu	2
Những đóng góp của luận văn	2
Chương 1. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU	3
1.1.TỔNG QUAN VỀ RONG NHO (<i>C. lentillifera</i>)	3
1.1.1.Hệ thống phân loại và đặc điểm hình thái	3
1.1.2.Các thành phần hợp chất trong rong nho.....	4
1.1.3.Đặc điểm sinh trưởng và phân bố.....	5
1.2.TÌNH HÌNH NUÔI TRỒNG RONG NHO	6
1.2.1.Mô hình nuôi trồng rong nho.....	6
1.2.2.Tình hình nghiên cứu nuôi trồng rong nho (<i>C. lentillifera</i>)	7
1.3.TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ PLASMA	7
1.3.1.Khái niệm và phân loại	7
1.3.2.Sự hình thành nước hoạt hóa plasma và một số đặc tính lý hóa	8
1.3.3.Cơ chế kích thích tăng trưởng từ nước hoạt hóa plasma trên thực vật.....	11
1.3.4.Ứng dụng PAW trong kích thích tăng trưởng thực vật	12
Chương 2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU	14
2.1.ĐỐI TƯỢNG NGHIÊN CỨU	14
2.2.NGUYÊN VẬT LIỆU	14
2.2.1.Hóa chất.....	14
2.2.2.Dụng cụ.....	15
2.2.3.Thiết bị.....	15
2.3.PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU	16
2.3.1.Quy trình thực hiện thí nghiệm.....	16

2.3.2.Nội dung 1: Xây dựng hệ thống chế tạo nước biển hoạt hóa plasma (PASW) và phân tích đặc tính lý hóa PASW.	16
2.3.3.Nội dung 2: Ảnh hưởng của PASW đến sự tăng trưởng của rong nho trong điều kiện <i>in vitro</i>	18
2.3.4.Nội dung 3: Phân tích tác động của PASW đến hàm lượng một số hợp chất hữu cơ trong rong nho	21
2.4.PHƯƠNG PHÁP XỬ LÝ SỐ LIỆU	22
Chương 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN	23
3.1.ĐẶC TÍNH LÝ HÓA CỦA PASW	23
3.2.ẢNH HƯỞNG CỦA PASW ĐẾN SỰ TĂNG TRƯỞNG CỦA RONG NHO TRONG ĐIỀU KIỆN <i>IN VITRO</i>	25
3.2.1.Chất lượng nước	25
3.2.2.Trọng lượng và tốc độ tăng trưởng.	25
3.2.3.Hàm lượng chlorophyll, carotenoid và tỷ lệ tích lũy chất khô	32
3.3.TÁC ĐỘNG CỦA PASW ĐẾN SỰ BIẾN ĐỔI HÀM LƯỢNG CÁC HỢP CHẤT SINH HỌC TRONG RONG NHO	38
3.3.1.Hàm lượng protein.....	38
3.3.2.Hàm lượng phenolic tổng và hàm lượng flavonoid.....	40
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	45
Kết luận.....	45
Kiến nghị	46
DANH MỤC TÀI LIỆU THAM KHẢO	47
PHỤ LỤC	58

DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU, CÁC CHỮ VIẾT TẮT

Ký hiệu/ viết tắt/ thuật ngữ	Tiếng anh	Tiếng việt
BSA	Bovine Serum Albumin	Albumin huyết thanh bò
<i>C. lentillifera</i>	<i>Caulerpa lentillifera</i>	Rong nho
DBD	Dielectric barrier discharge	Phóng điện rào cản điện môi
PASW	Plasma activated seawater	Nước biển hoạt hóa plasma
PAW	Plasma activated water	Nước hoạt hóa plasma
PUFA	Polyunsaturated fatty acids	Axit béo không bão hòa chứa nhiều nối đôi trong phân tử
RF	Radio frequency	Tần số vô tuyến
RNS	Reactive nitrogen species	Các gốc Nitrogen hoạt động
RONs	Reactive oxygen and nitrogen species	Các gốc oxy và nitrogen hoạt động
ROS	Reactive oxygen species	Các gốc oxy hoạt động
SGR	Specific Growth Rate	Tốc độ tăng trưởng tương đối
TFC	Total flavonoid content	Tổng hàm lượng flavonoid
TPC	Total phenolic content	Tổng hàm lượng phenolic

DANH MỤC CÁC BẢNG

Bảng 2.1. Danh sách hóa chất sử dụng trong nghiên cứu	14
Bảng 2.2. Danh sách dụng cụ sử dụng trong nghiên cứu	15
Bảng 2.3. Danh sách thiết bị sử dụng trong nghiên cứu.....	15
Bảng 2.4. Tổng quan các nghiệm thức thí nghiệm	19
Bảng 3.1. Nhiệt độ, độ mặn, pH trong thời gian nghiên cứu.....	25

DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ, ĐỒ THỊ

Hình 1.1. Hình thái rong nho <i>Caulerpa lentillifera</i> , bao gồm: thân đứng (B), thân bò (S) và rễ giả (R) [29].....	4
Hình 1. 2. Chu trình sinh sản của tảo lục <i>Caulerpa</i> [39].....	5
Hình 1.3. Sự hình thành và phản ứng của các gốc tự do trong môi trường nước dưới tác động của plasma [26].....	10
Hình 1.4. Ảnh hưởng của các loại oxy và nitrogen phản ứng do plasma tạo ra trong các cơ quan khác nhau của thực vật ở các giai đoạn sinh trưởng khác nhau.	12
Hình 2.1. Sơ đồ bố trí thí nghiệm	16
Hình 2.2. Hệ thống chế tạo nước biển hoạt hóa plasma (PASW) và mô hình nuôi trồng rong nho.....	17
Hình 3.1. Đặc điểm lý hóa của PASW. Các giá trị của a) pH, b) H ₂ O ₂ và O ₃ , c) NO ₂ ⁻ và NO ₃ ⁻ của PASW được đo như mô tả trong phần vật liệu và phương pháp.	24
Hình 3.2. Sự thay đổi trọng lượng của rong nho a) Nuôi trực tiếp trong PASW b) Nuôi trong PASW kết hợp dinh dưỡng, tại các thời điểm 7, 14 ngày sau nuôi..	26
Hình 3.3. Sự thay đổi tốc độ tăng trưởng của rong nho a) Nuôi trực tiếp trong PASW b) Nuôi trong PASW kết hợp dinh dưỡng, tại các thời điểm 7, 14 ngày sau nuôi	28
Hình 3.4. Hình thái rong nho sau 7 ngày ở các nghiệm thức	30
Hình 3.5. Hình thái rong nho sau 14 ngày nuôi trồng.	31
Hình 3.6. Sự thay đổi hàm lượng Chlorophyll (mg/ g FW). a) Nuôi trực tiếp trong PASW b) Nuôi trong PASW kết hợp dinh dưỡng, tại các thời điểm 7, 14 ngày sau nuôi.	33
Hình 3.7. Sự thay đổi hàm Carotenoid (mg/g FW). a) Nuôi trực tiếp trong PASW b) Nuôi trong PASW kết hợp dinh dưỡng, tại các thời điểm 7, 14 ngày sau nuôi	35
Hình 3.8. Sự thay đổi tỷ lệ tích lũy chất khô (%). a) Nuôi trực tiếp trong PASW b) Nuôi trong PASW kết hợp dinh dưỡng, tại các thời điểm 7, 14 ngày sau nuôi.	36
Hình 3.9. Hàm lượng Protein (% DW/g). a) Nuôi trực tiếp trong PASW b) Nuôi trong PASW kết hợp dinh dưỡng, tại các thời điểm 7, 14 ngày sau nuôi.	39
Hình 3.10. Hàm lượng TPC (mg GAE/ g DW). a) Nuôi trực tiếp trong PASW b) Nuôi trong PASW kết hợp dinh dưỡng, tại các thời điểm 7, 14 ngày sau nuôi.	42
Hình 3.11. Hàm lượng TFC (mg QE/g DW). a) Nuôi trực tiếp trong PASW b) Nuôi trong PASW kết hợp dinh dưỡng, tại các thời điểm 7, 14 ngày sau nuôi.	43

MỞ ĐẦU

Đặt vấn đề

Nuôi trồng thủy sản là một lĩnh vực quan trọng trong phát triển kinh tế và đảm bảo an ninh lương thực trong bối cảnh dân số ngày càng tăng. Trong đó, tảo lớn chiếm hơn 50% sản lượng nuôi trồng ven biển toàn cầu, được ứng dụng trong nhiều mục đích khác nhau từ sản xuất vật liệu, nhiên liệu, xử lý môi trường đến thực phẩm và dược liệu [1–3]. Trong những năm gần đây, rong nho, thuộc nhóm tảo xanh ăn được đã thu hút sự quan tâm đáng kể trong ngành thực phẩm nhờ giá trị dinh dưỡng cao và kết cấu đặc biệt, cũng như tiềm năng cải thiện sức khỏe do chứa nhiều hợp chất có hoạt tính sinh học. Chính những ưu thế này đã góp phần nâng cao giá trị kinh tế, cũng như sự ưa chuộng loại rong này trên thị trường toàn cầu [4,5].

Trước đây, việc thu hoạch rong nho tự nhiên được xem là nguồn cung cấp chính nhờ khả năng tái tạo nhanh cũng như thích nghi cao với điều kiện sống. Tuy nhiên, sản lượng và chất lượng rong tự nhiên bị ảnh hưởng bởi các yếu tố như thời tiết, nhiệt độ, độ mặn và mùa vụ, trong khi khai thác quá mức đã gây suy giảm số lượng và làm tổn hại đa dạng sinh học ven biển [6]. Đồng thời, khả năng hấp thụ kim loại nặng và chất ô nhiễm từ môi trường tự nhiên của rong nho cũng có thể gây rủi ro sức khỏe [7]. Để đáp ứng nhu cầu ngày càng tăng cũng như kiểm soát điều kiện nuôi trồng tốt hơn, mô hình nuôi trồng nhân tạo đã được áp dụng rộng rãi, đảm bảo sản lượng ổn định và an toàn cho chuỗi cung ứng [8]. Các phương pháp canh tác hiện đại bao gồm việc sử dụng phân bón, điều chỉnh nhiệt độ, độ mặn, cường độ chiếu sáng, tỷ lệ ánh sáng đỏ/xanh, chất điều hòa sinh trưởng giúp tối ưu hóa dinh dưỡng, hỗ trợ trao đổi chất và tăng cường hợp chất chống oxy hóa non-enzym trong rong hay cải thiện ngoại quan giúp nâng cao giá trị sản phẩm [9–14].

Trong xu hướng tìm kiếm các giải pháp công nghệ bền vững, công nghệ plasma lạnh được xem là một hướng tiếp cận mới nhờ các ưu điểm vượt trội bao gồm hiệu quả cao, thân thiện với môi trường và tính linh hoạt trong việc điều chỉnh các thành phần hoạt tính thông qua thay đổi thông số hệ thống ban đầu [15–19]. Trong đó, nước hoạt hóa plasma (PAW) đã cho thấy tiềm năng trong nông nghiệp như cải thiện tỷ lệ nảy mầm hạt giống, thúc đẩy sự phát triển của thực vật và gia tăng hợp chất sinh học ở nhiều đối tượng khác nhau như đậu, giá đỗ, cà chua, rau diếp, vi tảo, lúa ...[20–25]. Các gốc oxygen phản ứng (ROS) như hydro peroxide (H_2O_2) và ozon (O_3) hoạt động như các tín hiệu nội bào, thúc đẩy mở rộng tế bào và điều chỉnh quá trình trao đổi chất. Trong khi đó, các gốc nitrogen (RNS), bao gồm nitrite (NO_2^-), nitrate (NO_3^-), bên cạnh tham gia điều hòa sinh lý tế bào còn đóng vai trò là nguồn

nitrogen vô cơ hữu cơ, góp phần tối ưu hóa quá trình sinh trưởng và phát triển ở cây [26–28].

Tuy nhiên, nghiên cứu sử dụng PASW trong kích thích tăng trưởng và tích lũy hợp chất sinh học trên rong nho, với tính chất khác biệt so với các đối tượng thực vật trên, vẫn chưa được báo cáo. Từ những cơ sở trên, nghiên cứu “Khảo sát ảnh hưởng của plasma lạnh đến tăng trưởng và hàm lượng của một số hợp chất hữu cơ trong rong nho (*Caulerpa lentillifera*) ở điều kiện *in vitro*.” được thực hiện nhằm sáng tỏ cơ chế tác động của công nghệ này đến rong nho nhằm cung cấp cơ sở khoa học ứng dụng plasma lạnh trong nuôi trồng rong nho với hàm lượng các chất có hoạt tính sinh học được cải thiện, góp phần phát triển ngành nuôi trồng thủy sản.

Mục tiêu nghiên cứu

Đánh giá được tác động plasma lạnh đến quá trình tăng trưởng và tích lũy của một số hợp chất hữu cơ có hoạt tính sinh học trong rong nho ở điều kiện *in vitro*.

Nội dung nghiên cứu

Nội dung 1: Xây dựng hệ thống chế tạo nước biển hoạt hóa plasma (PASW) và phân tích đặc tính lý hóa PASW.

Nội dung 2: Khảo sát ảnh hưởng của PASW đến sự tăng trưởng của rong nho trong điều kiện *in vitro*.

Nội dung 3: Đánh giá tác động của PASW đến hàm lượng một số hợp chất hữu cơ trong rong nho.

Những đóng góp của luận văn

Nghiên cứu đóng góp vào việc mở rộng kiến thức khoa học về tác động của PAW đối với thực vật thủy sinh, đặc biệt là rong nho.

Việc sử dụng PASW có thể giúp tăng năng suất, cải thiện chất lượng dinh dưỡng và giảm thiểu sử dụng hóa chất độc hại trong nuôi trồng rong nho, góp phần phát triển ngành nuôi trồng thủy sản bền vững.

Cung cấp cơ sở khoa học cho việc ứng dụng PASW trong nuôi trồng rong nho quy mô lớn.

Làm nền tảng cho các nghiên cứu tiếp theo về tối ưu hóa ứng dụng PASW trong nông nghiệp và thủy sản.

Chương 1. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU

1.1. TỔNG QUAN VỀ RONG NHỎ (*C. lentillifera*)

1.1.1. Hệ thống phân loại và đặc điểm hình thái

Rong nhỏ (*C. lentillifera*), thuộc chi *Caulerpa* và ngành Chlorophyta, là một loại tảo xanh đơn bào đa nhân, sống trong môi trường nước biển [29]. Loài này phát triển tự nhiên tại các khu vực nhiệt đới và cận nhiệt đới như Biển Đông, khu vực Đông Nam Á, Nhật Bản (Okinawa), Đài Loan và Châu Đại Dương. Trên thế giới, loài tảo này được biết đến với nhiều tên gọi khác nhau ví dụ như "nama" ở Fiji, "bulung boni" ở Indonesia, và "rong nhỏ" tại Việt Nam. Tại Việt Nam, rong nhỏ được phát hiện và nuôi trồng tại các khu vực ven biển và trên các đảo như Lý Sơn (Quảng Ngãi), Nha Trang (Khánh Hòa), Phú Quý (Bình Thuận) và Phú Quốc (Kiên Giang). Không chỉ là một nguồn thực phẩm giàu dinh dưỡng, rong nhỏ còn đóng góp giá trị kinh tế đáng kể. Theo hệ thống phân loại NCBI taxonomy, rong nhỏ được xếp loại như sau:

Ngành: Chlorophyta

Lớp: Ulvophyceae

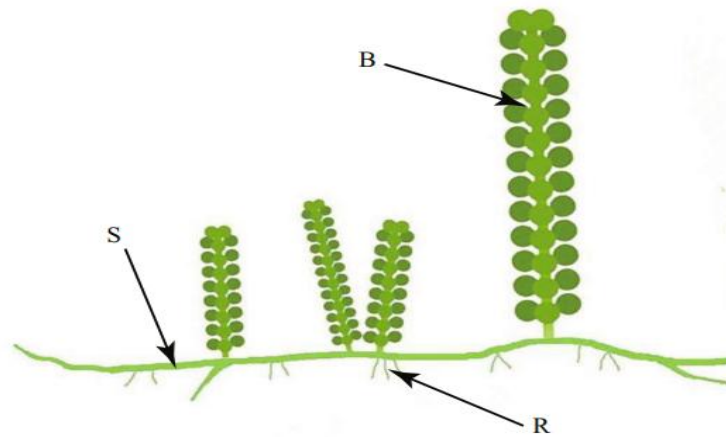
Bộ: Bryopsidales

Họ: Caulerpaceae

Chi: *Caulerpa*

Loài: *Caulerpa lentillifera*

Về mặt hình thái, *Caulerpa lentillifera* có cấu trúc đặc trưng của một loại tảo siphonous với thân bò (stolon) hình trụ tròn, đường kính 1-2 mm, bò lan trên bề mặt đáy. Từ thân bò, các thân đứng (frond) mọc lên, có thể đạt chiều cao 10 cm hoặc hơn. Đồng thời, trên thân bò còn có các rễ giả (rhizoid) dạng sợi phân nhánh, giúp cây bám chặt vào nền đáy. Đặc điểm nổi bật của *C. lentillifera* là sự xuất hiện của vô số nhánh nhỏ trên thân đứng, kết thúc bằng các cấu trúc hình cầu gọi là ramuli, có đường kính từ 1,5 – 3 mm. Các nhánh đứng cũng có khả năng phân nhánh, tạo nên cấu trúc phức tạp và mở rộng diện tích quang hợp. Màu xanh đậm của rong nhỏ là do sự hiện diện của sắc tố chlorophyll, tham gia vào quá trình quang hợp của tảo [19].



Hình 1.1. Hình thái rong nho *Caulerpa lentillifera*, bao gồm: thân đứng (B), thân bò (S) và rễ giả (R) [30].

1.1.2. Các thành phần hợp chất trong rong nho

Rong nho không chỉ là một loại thực phẩm an toàn mà còn chứa đựng nguồn dinh dưỡng phong phú và đa dạng. Hàm lượng carbohydrate dao động từ 0,36 % đến 72,9 % trọng lượng khô, kết hợp với chất xơ chiếm từ 17,5 % đến 36,7 % [31,32], khiến rong nho trở thành lựa chọn lý tưởng cho chế độ ăn uống lành mạnh. Đặc biệt, chất xơ hòa tan (2,45 % - 17,21 %) trong rong nho có khả năng hấp thụ nước tốt, hỗ trợ chức năng tiêu hóa và tiềm năng ngăn ngừa ung thư đại tràng [33,34]. Đồng thời, chất xơ không hòa tan (15,75 % - 28,98 %) đóng vai trò quan trọng trong việc tăng cường nhu động ruột và duy trì hệ tiêu hóa khỏe mạnh [35].

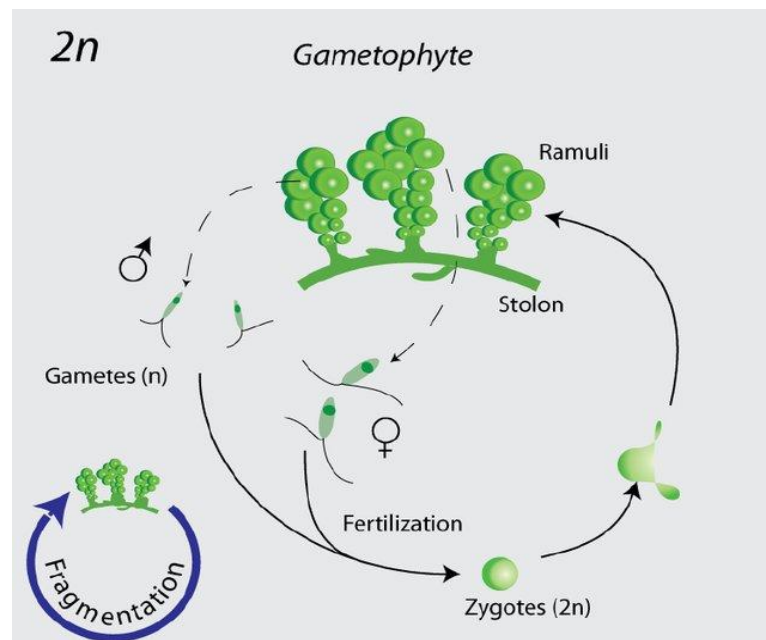
Hàm lượng protein trong rong nho dao động từ 0,43 – 19,38 %, dù thay đổi tùy thuộc vào điều kiện môi trường nhưng vẫn được đánh giá cao nhờ sự hiện diện của hầu hết các acid amin thiết yếu. Các acid amin như leucine, valine, aspartic acid và glutamic acid không chỉ tăng giá trị dinh dưỡng mà còn góp phần tạo nên hương vị đặc trưng của loại rong biển này, giúp nó có giá trị tương đương với những nguồn thực phẩm giàu protein khác như trứng và đậu nành [35].

Dù hàm lượng lipid chỉ ở mức thấp chiếm 0,05 % - 14,0 % trọng lượng khô, rong nho lại là một nguồn dồi dào axit béo không bão hòa chứa nhiều nối đôi trong phân tử (Polyunsaturated fatty acids - PUFA) và carotenoid. PUFA, bao gồm axit linoleic (ω -6) và axit α -linolenic (ω -3) vượt trội so với các loại rau trên cạn, mang lại lợi ích vượt bậc trong phòng ngừa các bệnh tim mạch, viêm xương khớp và tiểu đường. Bên cạnh đó, carotenoid với đặc tính chống oxy hóa mạnh mẽ, kết hợp cùng PUFA, càng làm tăng giá trị dinh dưỡng cho loài rong này. Ngoài ra, rong nho còn cung cấp vitamin A, B2, B12 và C, đáp ứng đáng kể nhu cầu vitamin hàng ngày, nâng cao giá trị sử dụng của loại thực phẩm này [36,37].

1.1.3. Đặc điểm sinh trưởng và phân bố

Rong nho sinh sản bằng cả hai hình thức là sinh sản hữu tính và sinh sản vô tính, nhưng chủ yếu là sinh sản vô tính [38,39].

- Sinh sản hữu tính: Trong điều kiện thời tiết ấm áp từ mùa xuân đến hè, loài này tiến hành sinh sản hữu tính, quá trình bắt đầu bằng sự chuyển hóa tế bào sinh dưỡng thành giao tử đực và cái. Sau khi được phóng thích vào môi trường nước, các giao tử kết hợp tạo thành hợp tử, hợp tử phát triển thành cây con bám trên sỏi, đá và nảy mầm phát triển thành cây con.
- Sinh sản vô tính: Tất cả các bộ phận dinh dưỡng của rong nho đều có thể phát triển thành cây rong mới. Trong hình thức sinh sản sinh dưỡng của rong nho, phần thân bò sẽ mọc dài ra, phân nhánh và mọc ra các nhánh đứng. Các nhánh nhỏ hình cầu này cũng có thể tái sinh lại toàn bộ thành một cây rong mới. Nhờ tính sẵn có và hiệu quả/ tỉ lệ thành công cao hình thức này đã áp dụng rộng rãi trong nuôi trồng với rong giống ở dạng các đoạn thân đứng.



Hình 1. 2. Chu trình sinh sản của tảo lục *Caulerpa* [40].

Quá trình nuôi trồng rong nho chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố tự nhiên, trong đó nhiệt độ đóng vai trò quan trọng vì tác động trực tiếp đến hoạt động enzyme tế bào, qua đó ảnh hưởng đến tăng trưởng và phát triển. Các nghiên cứu trước đây chỉ ra rằng ở nhiệt độ dưới 18 °C, rong nho có nguy cơ bị mềm và phân hủy, gây giảm nghiêm trọng năng suất sinh khối. Ngược lại, khoảng nhiệt độ 28 -30 °C tạo điều kiện thuận lợi cho sự phát triển mạnh mẽ của loài này, nhấn mạnh tầm quan trọng của việc duy trì nhiệt độ phù hợp trong suốt quá trình nuôi trồng [41].

Ngoài nhiệt độ, độ mặn cũng là yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến sự phát triển của rong nho. Deraxbudsarakom và cộng sự (2003) khuyến nghị độ mặn lý tưởng để rong nho sinh trưởng bình thường là từ 2,5 – 3,0 ‰ [42], trong khi Wang (2011) nhận thấy mức tăng trưởng tối ưu xảy ra ở độ mặn 3,6 ‰. Độ mặn cao có thể ức chế quá trình quang hợp của rong biển, gây bất hoạt các trung tâm phản ứng trong hệ thống quang hợp II (PSII) và các chuỗi vận chuyển điện tử [43].

Về dinh dưỡng, nồng độ nitrate tối ưu thường nằm ở mức 0,6 mmol/L và tỷ lệ N:P là 8:1 là điều kiện tối ưu để thúc đẩy sự phát triển của *C. lentillifera* [42]. Bên cạnh đó, các chất điều hòa sinh trưởng cũng đóng vai trò quan trọng trong việc kiểm soát các quá trình sinh lý và sinh hóa, giúp tăng trưởng, biệt hóa và phát triển ở rong biển [13].

Nghiên cứu của Tao và cộng sự (2017) đã làm sáng tỏ vai trò của các phytohormone như gibberellin (GA), 6-benzyl aminopurine (6-BA) và auxin (IAA) đối với tăng trưởng của rong nho. Kết quả cho thấy, nồng độ 0,8 và 1,4 mg/L 6-BA thúc đẩy đáng kể trọng lượng và tốc độ tăng trưởng, trong khi nồng độ GA tối ưu là 11 mg/L. Đáng lưu ý, GA không ảnh hưởng nhiều đến sản xuất polysaccharide thô, trong khi IAA lại làm tăng đáng kể hàm lượng polysaccharide nội bào [47].

1.2. TÌNH HÌNH NUÔI TRỒNG RONG NHO

1.2.1. Mô hình nuôi trồng rong nho

➤ *Mô hình nuôi trồng ngoài biển*

Mô hình nuôi trồng ngoài biển, đã đóng vai trò quan trọng trong ngành thủy sản, được chia thành hai loại hình chính: nuôi trồng nước nông ven bờ và nuôi trồng nước sâu. Nuôi trồng nước nông ven bờ, diễn ra ở vùng biển gần đất liền với độ sâu từ 5 đến 50 mét, tận dụng lợi thế về nguồn dinh dưỡng phong phú, vận tốc nước biển và mức độ sóng, gió vừa phải, tạo điều kiện lý tưởng cho sự phát triển của thủy sản. Ngược lại, nuôi trồng nước sâu, sử dụng bè nổi hoặc dây dãi có thể giải quyết vấn đề khan hiếm tài nguyên đất, nhưng lại đối diện với nhiều khó khăn khác như dễ bị ảnh hưởng bởi điều kiện thời tiết thay đổi, nguy cơ xâm nhập của loài ngoại lai, và tác động đến môi trường. Tóm lại, cả hai mô hình đều cho thấy ưu điểm từ giải quyết vấn đề khan hiếm đến vấn đề quản lý môi trường, ảnh hưởng bởi biến động môi trường như nhiệt độ, ánh sáng và thời tiết, cùng với những hạn chế trong việc tối ưu hóa quy trình nuôi và thúc đẩy tăng trưởng thực vật [45,46].

➤ *Mô hình nuôi trồng trên cạn*

Nuôi trồng tảo trên cạn chủ yếu diễn ra trong các hệ thống khép kín như bể chứa nước, ao, đầm phá và đường ống, phù hợp với nhiều loài tảo, trong đó có rong nho. Ưu điểm của phương pháp này là thiết bị đơn giản, dễ tiếp cận, cho phép theo

đổi và điều chỉnh các điều kiện nuôi (dinh dưỡng, ánh sáng, pH, CO₂, độ mặn) để nâng cao năng suất, đáp ứng chuỗi cung ứng [47].

1.2.2. Tình hình nghiên cứu nuôi trồng rong nho (*C. lentillifera*)

Để đáp ứng nhu cầu thị trường ngày càng tăng đối với rong nho (*C. lentillifera*) việc tối ưu hóa điều kiện nuôi trồng nhằm nâng cao năng suất và chất lượng sản phẩm là vấn đề cấp thiết. Các yếu tố môi trường như ánh sáng, độ mặn và dinh dưỡng đóng vai trò then chốt trong quá trình sinh trưởng và phát triển của loài tảo này. Nghiên cứu của Guo và cộng sự (2015) cũng nhấn mạnh tầm quan trọng của độ mặn và dinh dưỡng đối với sự phát triển của rong nho. Độ mặn tối ưu là 3.5 ‰, tốc độ tăng trưởng (SGR), hàm lượng diệp lục và hiệu suất quang hợp (F_v/F_m) đạt mức cao nhất. Về dinh dưỡng, nồng độ 0,5 mmol/L NO₃-N và 0,1 mmol/L PO₄-P được chứng minh là tối ưu cho sự phát triển của rong nho. Tuy nhiên, việc vượt quá ngưỡng 1,0 mmol/L NO₃-N và 0,4 mmol/L PO₄-P lại gây ức chế khả năng quang hợp của hệ thống quang hợp II (PSII) [30]. Tương tự, nghiên cứu của Kang và cộng sự (2020) đã làm sáng tỏ ảnh hưởng của tỷ lệ ánh sáng xanh và đỏ đến các đặc tính sinh hóa của rong nho. Kết quả nghiên cứu cho thấy ánh sáng đỏ có tác động tích cực đến sự tăng trưởng về trọng lượng. Đặc biệt, tỷ lệ ánh sáng đỏ chiếm ưu thế (83,3 % đỏ và 16,7 % xanh) mang lại hiệu quả cao nhất, thể hiện qua trọng lượng và hàm lượng sắc tố quang hợp (Chlorophyll a và b) vượt trội so với các tỷ lệ khác. Ngược lại, việc tăng cường ánh sáng xanh lại gây ra tác động tiêu cực, làm giảm cả trọng lượng và hàm lượng sắc tố. Bên cạnh đó, ánh sáng xanh lam cũng được ghi nhận là thúc đẩy sự biểu hiện của gen phytoene desaturase (PDS), dẫn đến tăng cường hoạt động chống oxy hóa [14].

Tại Việt Nam, trong những năm gần đây, nhiều nghiên cứu về rong nho đã được thực hiện và phần lớn các nghiên cứu này tập trung vào việc đánh giá mật độ kết hợp với phương pháp nuôi trồng, cũng như thử nghiệm các loại rong giống và các nền đáy khác nhau [48,49]. Tuy nhiên, các khía cạnh liên quan đến hàm lượng dinh dưỡng hoặc tác động của nước hoạt hóa plasma trong việc nuôi trồng rong nho vẫn chưa được quan tâm và nghiên cứu đầy đủ.

1.3. TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ PLASMA

1.3.1. Khái niệm và phân loại

Plasma, thường được gọi là "trạng thái thứ tư của vật chất" là một môi trường có mức độ ion hóa cao, bao gồm các hạt điện tích (electron, ion dương, ion âm) và các hạt trung hòa (như nguyên tử và phân tử). Khi khí được cung cấp năng lượng đủ lớn, quá trình ion hóa xảy ra, khiến các electron tách khỏi nguyên tử và tạo thành một môi trường dẫn điện mạnh [45].

Plasma được phân loại thành hai nhóm chính: plasma nhiệt (thermal plasma) và plasma lạnh (non-thermal plasma) dựa trên trạng thái cân bằng nhiệt động lực học của các thành phần cấu tạo. Trong số đó, plasma lạnh thu hút sự quan tâm đặc biệt trong các ứng dụng sinh học nhờ khả năng tương tác với vật liệu sinh học ở nhiệt độ gần với môi trường, giảm thiểu tối đa tổn thương nhiệt.

Hiện nay, plasma lạnh có thể được tạo ra từ nhiều hệ thống khác nhau như: phóng điện cảm ứng tần số vô tuyến (RF, radio frequency) [51], phóng điện rào cản điện môi (DBD, dielectric barrier discharge) [52], phóng điện vi sóng (microwave) [53], phóng điện corona [54]. Trong đó, plasma DBD nhận được nhiều sự chú ý nhờ hiệu quả cao trong các ứng dụng như xử lý vi sinh vật, chất màu, thuốc bảo vệ thực vật, kích thích nảy mầm và tăng trưởng thực vật, cùng với thiết kế và vận hành đơn giản, ổn định và khả năng mở rộng trong quy mô công nghiệp [55–57].

1.3.2. Sự hình thành nước hoạt hóa plasma và một số đặc tính lý hóa

Nước hoạt hóa plasma (PAW) là sản phẩm của quá trình tương tác giữa nước và khí plasma. Các loại phản ứng chính được sinh ra sau đó tiếp tục phản ứng với các phân tử nước và tương tác với nhau để hình thành nhiều loài thứ cấp, đóng vai trò quan trọng trong các ứng dụng khác nhau. Các gốc hoạt động này có thể được chia thành hai nhóm [26,58–61]:

- Các gốc có thời gian dài: Bao gồm hydro peroxide (H_2O_2), ozon (O_3), nitrite (NO_2^-) và nitrate (NO_3^-), có thời gian bán hủy từ vài phút đến vài ngày.
- Các loài có tuổi thọ ngắn: Gồm gốc hydroxyl ($\text{OH}^\bullet$), oxit nitric (NO), và peroxyxynitrit (ONOO^-), với thời gian bán hủy từ nano giây đến vài giây, thường tham gia các phản ứng nhanh để tạo thành các gốc ổn định.

Về mặt kỹ thuật, quá trình tạo PAW có thể được phân loại thành ba nhóm chính:

- Phóng điện trực tiếp trong pha lỏng: Plasma được tạo ra trực tiếp trong môi trường nước.
- Phóng điện trong pha khí ở trên chất lỏng: Plasma được tạo ra trong pha khí ngay trên bề mặt nước, các sản phẩm của plasma sẽ khuếch tán vào nước.
- Phóng điện trong các bong bóng khí trong chất lỏng: Plasma được tạo ra trong các bong bóng khí nhỏ li ti phân bố trong nước, tăng diện tích tiếp xúc giữa plasma và nước.

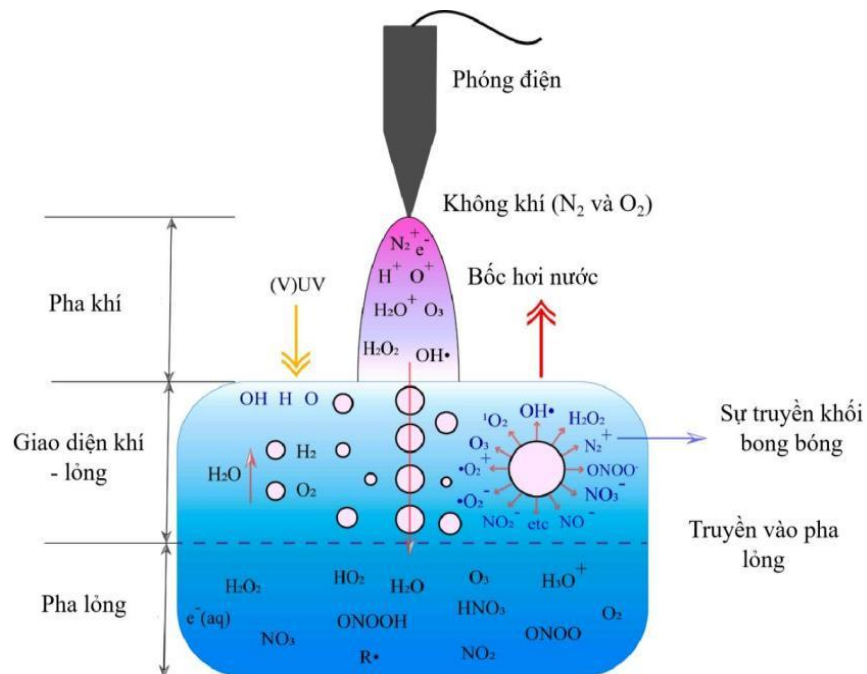
So với nước thường, PAW sở hữu những đặc tính lý hóa đặc biệt, bao gồm:

- Tính chất vật lý:
- pH: Độ pH của PAW giảm dần theo thời gian xử lý plasma, tạo ra môi trường axit nhẹ (khoảng 3-6) do sự hình thành các nitric acid và nitrous acid.

- **Thế oxy hóa khử (ORP):** PAW có ORP dương cao, cho thấy khả năng oxy hóa mạnh. Ví dụ, H_2O_2 là một trong những loài quan trọng góp phần vào thế oxy hóa-khử cao nhờ khả năng hoạt động như một chất oxy hóa hoặc một chất khử. Tương tự, các ROS (Reactive Oxygen Species - các gốc oxy phản ứng) như gốc hydroxyl ($\cdot\text{OH}$) và ozone (O_3), cũng như các RNS (Reactive Nitrogen Species - các gốc nitrogen phản ứng) như nitrate (NO_3^-), nitrite (NO_2^-), và peroxynitrit (ONOO^-) cũng đóng góp vào thế oxy hóa-khử cao.
- **Độ dẫn điện:** Độ dẫn điện của PAW tăng do sự hiện diện của một lượng lớn các ion và các hạt mang điện tích tự do, hình thành từ quá trình khuếch tán các loài phản ứng vào nước trong quá trình xử lý bằng plasma. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng độ dẫn điện của PAW có thể đạt mức từ 100 đến 500 mS/cm, cho thấy mật độ cao của các hạt mang điện trong dung dịch. Độ dẫn điện là một trong những chỉ số quan trọng phản ánh tổng nồng độ của các loài phản ứng và ion trong PAW.
 - **Các gốc oxy phản ứng (ROS):**
- **Gốc hydroxyl ($\text{OH}\cdot$):** Là tiền chất của hydrogen peroxide (H_2O_2) trong nước hoạt hóa bằng plasma (PAW) và là một chất oxy hóa mạnh. $\text{OH}\cdot$ có thời gian sống ngắn trong pha khí ($\sim 200 \mu\text{s}$) và pha lỏng (vài nano giây) do tính phản ứng cao. Trong PAW, $\cdot\text{OH}$ thường hình thành từ các phản ứng thứ cấp như phân hủy H_2O_2 hoặc phản ứng giữa ozone (O_3) với H_2O_2 .
- **Hydrogen peroxide (H_2O_2):** Là một trong những loài có tuổi thọ dài phổ biến nhất trong PAW và hình thành qua hai cơ chế chính: (1) OH trong pha khí kết hợp để tạo thành H_2O_2 và khuếch tán vào pha lỏng; (2) OH khuếch tán từ pha khí vào pha lỏng rồi kết hợp để tạo thành H_2O_2 .
- **Ozone (O_3):** Là chất oxy hóa kháng khuẩn mạnh, có thể oxy hóa-khử cao nhất so với các chất oxy hóa thông thường như permanganate hay chlorine. Ozone trong PAW hình thành từ hai cơ chế: khuếch tán từ pha khí vào pha lỏng hoặc được tạo ra trực tiếp trong pha lỏng thông qua quá trình phóng điện plasma. Tuy nhiên, nồng độ ozone trong PAW thường thấp do phản ứng mạnh với oxit nitrogen và nitrite.
- **Superoxide (O_2^-):** Là một ROS quan trọng, hình thành khi nước được xử lý bằng plasma áp suất khí quyển. Nó có thể sinh ra từ phản ứng của các electron năng lượng cao với phân tử oxy, hoặc từ phản ứng giữa OH và O_3 . Superoxide rất cần thiết cho việc diệt khuẩn, đặc biệt ở các giá trị pH quan trọng.

➤ Các gốc nitrogen hoạt động (RNS):

- Nitrite (NO_2^-) và nitrate (NO_3^-): Là các loài có tuổi thọ dài, sinh ra như sản phẩm thứ cấp trong PAW. Nitrite dễ phân hủy trong môi trường pH thấp thành các chất như H_2O_2 hoặc oxit nitrogen. Thêm vào đó, NO_2^- cũng có thể chuyển đổi thành NO_3^- khi tương tác với các chất oxy hóa như H_2O_2 hoặc ozone.
- Nitric oxide (NO): Là phân tử tín hiệu có khả năng diệt khuẩn, kích hoạt apoptosis tế bào ung thư và hỗ trợ lành vết thương. NO trong PAW chủ yếu hình thành từ các phản ứng thứ cấp do khả năng hòa tan thấp của nó trong nước.
- Peroxynitrite (ONOO^-): ONOO^- hình thành từ phản ứng giữa NO và H_2O_2 hoặc O_2^- . Nó có thể giúp vô hiệu hóa vi sinh vật trong môi trường PAW.



Hình 1.3. Sự hình thành và phản ứng của các gốc tự do trong môi trường nước dưới tác động của plasma [26].

Nhờ sự hiện diện của nhiều gốc oxy phản ứng (ROS) và gốc nitrogen phản ứng (RNS) với khả năng oxy hóa mạnh, PAW được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau. Trong lĩnh vực y sinh, PAW được sử dụng rộng rãi để khử trùng bề mặt, hỗ trợ quá trình lành vết thương và điều trị các bệnh nhiễm khuẩn nhờ đặc tính diệt khuẩn mạnh mẽ.[62,63] Đối với xử lý môi trường, PAW giúp loại bỏ vi khuẩn và các chất ô nhiễm trong nước thải (kháng sinh, thuốc nhuộm,...) mà không cần đến các hóa chất độc hại, mang lại giải pháp an toàn và thân thiện với môi trường [64,65]. Trong nông nghiệp, PAW đã được chứng minh có khả năng kích thích nảy mầm, thúc đẩy sự phát triển của cây trồng và tăng cường tích lũy các hợp chất sinh học có lợi,

giúp cải thiện năng suất và chất lượng nông sản [66,67]. Ngoài ra, PAW còn thể hiện tiềm năng lớn trong ngành thực phẩm khi hỗ trợ kiểm soát vi sinh vật trên bề mặt trái cây, thịt và các sản phẩm tươi sống, góp phần kéo dài thời gian bảo quản và duy trì chất lượng sản phẩm [68,69]. Với những tiềm năng to lớn này, PAW hứa hẹn sẽ tiếp tục được nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi, đóng góp tích cực vào sự phát triển bền vững trong tương lai.

1.3.3. Cơ chế kích thích tăng trưởng từ nước hoạt hóa plasma trên thực vật

Thành phần hóa học đặc trưng của PAW bao gồm các dạng oxy phản ứng (Reactive Oxygen Species - ROS), các dạng nitrogen phản ứng (Reactive Nitrogen Species - RNS) và độ pH được điều chỉnh, đóng vai trò quan trọng trong nhiều quá trình sinh lý của cây [28,70]. Cụ thể:

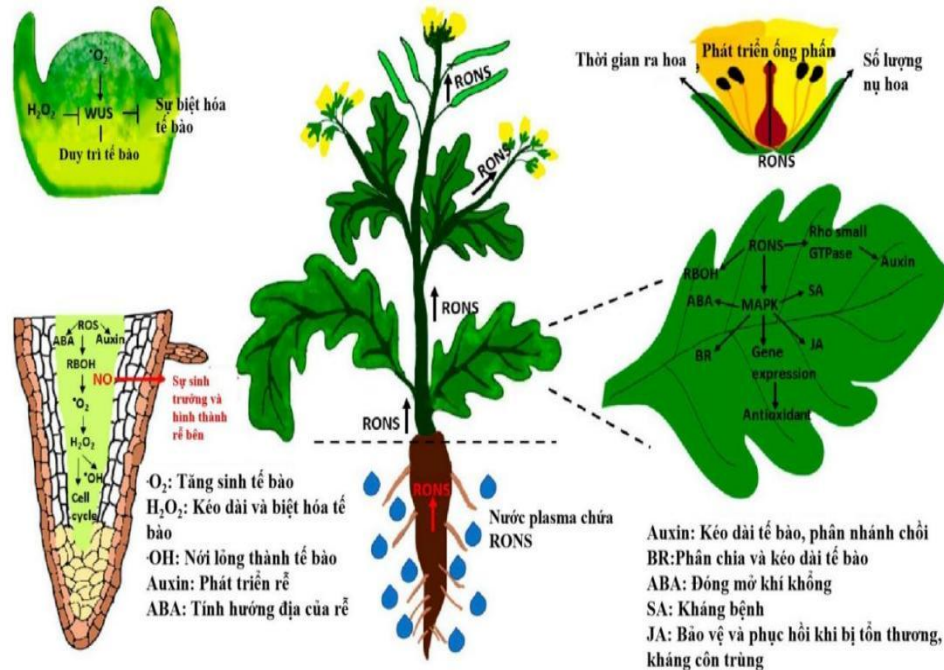
Hydrogen peroxide (H_2O_2): một trong những ROS ổn định và phổ biến nhất trong PAW, đóng vai trò thiết yếu trong việc thúc đẩy quá trình nảy mầm của hạt giống. H_2O_2 phá vỡ trạng thái ngủ của hạt bằng cách điều chỉnh sự cân bằng hormone thực vật, tăng cường gibberellin (GA) và giảm axit abscisic (ABA) – kích thích nảy mầm. Ngoài ra, H_2O_2 gây oxy hóa làm suy yếu lớp vỏ hạt, tạo điều kiện cho phôi dễ dàng phá vỡ lớp bảo vệ và bắt đầu phát triển. Không chỉ dừng lại ở quá trình nảy mầm, H_2O_2 còn kích hoạt các con đường tín hiệu như MAP kinase, từ đó hỗ trợ sự phân chia và kéo dài tế bào. Đồng thời, H_2O_2 điều hòa biểu hiện gene liên quan đến việc sản xuất enzyme chống oxy hóa và các protein bảo vệ, giúp cây giảm thiểu thiệt hại do stress oxy hóa, góp phần quan trọng vào quá trình tăng trưởng và phát triển tổng thể.

Ozon (O_3): một ROS mạnh, ozone có khả năng hoạt động như một phân tử tín hiệu, kích thích sự phân chia và kéo dài tế bào, đặc biệt ở vùng rễ và chồi.

Nitrite (NO_2^-) và nitrate (NO_3^-): Là các dạng ổn định của RNS, được hình thành như sản phẩm cuối cùng của quá trình chuyển hóa nitric oxide (NO) trong PAW. Hai hợp chất này không chỉ hoạt động như các chất oxy hóa mạnh, mà còn đóng vai trò thiết yếu như nguồn cung cấp nitrogen cho cây trồng. Nitrogen, được cung cấp qua NO_2^- và NO_3^- , là yếu tố quan trọng duy trì các chức năng sinh lý của thực vật, bao gồm quang hợp, hô hấp và quá trình sinh tổng hợp thông qua sự điều chỉnh sắc tố quang hợp như chlorophyll a và carotenoid, cùng với việc thúc đẩy hoạt động của các enzyme liên quan, là nền tảng cho sự phát triển và sinh trưởng của cây trồng.

pH: Độ pH của PAW giảm dần theo thời gian xử lý plasma, tạo ra môi trường axit nhẹ (khoảng 3-6) do sự hình thành các axit nitric và axit nitrous. Mặc dù có tính

axit, PAW vẫn thể hiện khả năng làm mềm vỏ hạt, tăng tính thấm màng tế bào và hỗ trợ quá trình hấp thu dinh dưỡng.



Hình 1.4. Ảnh hưởng của các loại oxy và nitrogen phản ứng do plasma tạo ra trong các cơ quan khác nhau của thực vật ở các giai đoạn sinh trưởng khác nhau. [70]

1.3.4. Ứng dụng PAW trong kích thích tăng trưởng thực vật

Với đặc tính lý hóa nổi bật, PAW đã chứng minh vai trò quan trọng trong việc cải thiện các khía cạnh khác nhau trong ứng dụng nông nghiệp, bao gồm việc tăng cường tỷ lệ nảy mầm và sự phát triển của hạt giống, tăng khả năng hấp thụ chất dinh dưỡng, cải thiện sức đề kháng của cây trước sâu bệnh, và giảm thiểu ô nhiễm vi sinh vật trên sản phẩm tươi sống [71–73]. Trong những năm gần đây, một số nghiên cứu đã cho thấy hiệu quả của PAW như một nhóm tín hiệu hay phân bón kích thích quá trình sinh trưởng và phát triển của cây, mở ra một hướng tiếp cận đột phá trong lĩnh vực khoa học nông nghiệp. Ví dụ, nghiên cứu của Fan và cộng sự (2020) việc sử dụng nước hoạt hóa plasma ở thời gian 15 giây đã làm tăng tỷ lệ nảy mầm của giá đỗ xanh lên đến $93,01 \pm 2,59$ %, cao hơn đáng kể so với nhóm đối chứng sử dụng nước cất ($84,41 \pm 8,62$ %). Ngoài ra, tổng hàm lượng phenolic và flavonoid cũng tăng lần lượt là 3,53 % và 2,22 % [22].

Năm 2023, Wang và cộng sự đã tiến hành nghiên cứu về tác động của nước hoạt hóa plasma (PAW) được tạo ra từ plasma áp suất khí quyển Ar–O₂ trong khoảng thời gian xử lý từ 1 đến 5 phút lên hạt giống lúa mì và cây con. Kết quả nghiên cứu cho thấy PAW có khả năng thúc đẩy đáng kể tỷ lệ nảy mầm, chỉ số nảy mầm, cũng như trọng lượng tươi, trọng lượng khô và sức sống của cây trong 7 ngày đầu sau khi gieo. Đặc biệt, PAW kích hoạt trong 3 phút (PAW-3) đạt hiệu suất tối ưu trong các chỉ

số này. Bên cạnh đó, PAW còn mang lại sự cải thiện rõ rệt về đặc tính dinh dưỡng của cây trong 14 ngày đầu. Các đặc tính bao gồm tổng chất rắn hòa tan, hàm lượng protein, sắc tố quang hợp, tổng lượng phenolic, hoạt tính chống oxy hóa, enzyme, axit amin tự do và khoáng chất đều cho thấy sự gia tăng rõ rệt, với hiệu quả cao nhất được ghi nhận ở PAW-3 [74].

Một nghiên cứu khác, cũng đã chứng minh ảnh hưởng của nước hoạt hóa plasma (PAW) lên hạt giống ớt và cây con. Thí nghiệm cho thấy, sử dụng PAW giúp tăng đáng kể tiềm năng và tốc độ nảy mầm của hạt ớt lần lượt thêm 18,0 % và 28,3 %, cùng với chỉ số sức sống tăng vượt trội đạt 250,0 %. Cây con được xử lý với PAW cũng phát triển tốt hơn, với các thông số như chiều dài rễ, số lượng rễ, chiều dài thân và diện tích lá lần lượt tăng 138,6 %, 69,2 %, 47,9 % và 28,4 cm². Đồng thời, PAW tạo ra các thay đổi trong thành phần nội sinh và hoạt động enzyme của cả hạt giống lẫn cây con [75].

Ngoài ra, nước hoạt hóa plasma (PAW) cũng cho thấy tiềm năng trong nuôi vi tảo. Kết quả chỉ ra rằng, hàm lượng diệp lục của vi tảo được nuôi bằng PAW tương đương với dung dịch natri nitrit, khẳng định PAW có thể thay thế có nguồn gốc từ dầu mỏ và khoáng sản. Sinh khối thu được lần lượt là 311 ± 58 mg/l (PAW), 227 ± 25 mg/l (nitrate), 434 ± 94 mg/l (nitrite), và 362 ± 138 mg/l (hỗn hợp) [76].

Tại Việt Nam, Than và cộng sự (2022) đã nghiên cứu ứng dụng PAW trên cây xà lách xoăn (*Lactuca sativa* L.). PAW được kích hoạt trong khoảng 10-20 phút, chứa các loài oxy phản ứng và nitrogen ở nồng độ phù hợp, mang lại tác động tích cực lên sự nảy mầm và phát triển cây con. Sau 15 phút xử lý, tiềm năng nảy mầm tăng lần lượt khoảng 117 %, 56 % và 77 % trong 3 ngày đầu, so với đối chứng. Tuy nhiên, khi thời gian xử lý PAW kéo dài (25-30 phút), tỷ lệ nảy mầm không thay đổi hoặc giảm. PAW cũng cải thiện các thông số sinh trưởng như chiều dài thân, rễ, trọng lượng và diện tích lá, hàm lượng diệp lục và sức sống. Hàm lượng diệp lục tăng 220 % khi xử lý trong 15 phút và 165 % ở 20 phút. Ngoài ra, PAW còn thay đổi hình thái hạt rau diếp, hỗ trợ quá trình hấp thụ nước và dưỡng chất hiệu quả hơn [77].

Chương 2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. ĐỐI TƯỢNG NGHIÊN CỨU

- Đối tượng nghiên cứu: Rong nho được thu thập từ trang trại nuôi rong nho ở tỉnh Khánh Hòa, Việt Nam (tọa độ: 12.58338 ° B, 109.22198 ° Đ).
- Phạm vi nghiên cứu: Nghiên cứu này tập trung đánh giá khả năng kích thích tăng trưởng và tích lũy một số hợp chất sinh học của PASW trên rong nho trong 7 và 14 ngày đầu, cũng như phân tích các đặc tính lý hóa của PASW được tạo ra bởi hệ thống plasma DBD tại phòng Công nghệ plasma và Vật lý tính toán - Viện Công nghệ Tiên Tiến (tiền thân là Viện Khoa học Vật liệu ứng dụng thuộc Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam).

2.2. NGUYÊN VẬT LIỆU

2.2.1. Hóa chất

Các hóa chất sử dụng trong nghiên cứu được trình bày ở Bảng 2.1.

Bảng 2.1. Danh sách hóa chất sử dụng trong nghiên cứu

STT	Tên hóa chất	Hãng sản xuất	Độ tinh khiết
1	Acetone	Xilong	> 95 %
2	Aluminum chloride (AlCl ₃)	Fisher	> 98,5 %
3	Bộ test kit Sera NO ₂ ⁻	Germany	
4	Bộ test kit Sera NO ₃ ⁻	Germany	
5	Boric acid (H ₃ BO ₃)	Merck	> 99 %
6	Bovine serum albumin (BSA)	Sigma	> 99 %
7	Copper (II) sulfate pentahydrate (CuSO ₄ .5H ₂ O)	Merck	> 95 %
8	Folin-Ciocalteu reagent	Himedia	> 95 %
9	Gallic acid (GA)	Biobasic	> 99 %
10	Lithium nitrate (LiNO ₃)	Merck	> 98 %
11	Magnesium chloride (MgCl ₂)	Fisher	> 95 %
12	Magnesium sulfate (MgSO ₄)	Xilong	> 95 %
13	Methanol	Xilong	> 95 %
14	Nước cất 2 lần	Việt Nam	
15	Potassium chloride (KCl)	Sigma	> 99 %
16	Potassium dihydrogen phosphate (KH ₂ PO ₄)	Fisher	>98 %
17	Potassium iodide (KI)	Fisher	> 99 %

18	Potassium permanganate (KMnO ₄)	Fisher	> 98 %
19	Quercerin (QE)	Njduly	> 99 %
20	Sodium bicarbonate (NaHCO ₃)	Xilong	> 95 %
21	Sodium carbonate (Na ₂ CO ₃)	Fisher	> 98 %
22	Sodium chloride (NaCl)	Sigma	> 99 %
23	Sodium citrate (C ₆ H ₅ Na ₃ O ₇)	Fisher	> 95 %
24	Sodium hydroxide (NaOH)	Fisher	> 97 %
25	Sodium nitrite (NaNO ₂)	Fisher	> 98 %
26	Sodium nitrate (NaNO ₃)	Fisher	> 98 %
27	Sodium silicate (Na ₂ SiO ₃)	Fisher	> 95 %
28	Sodium thiosulfate (Na ₂ S ₂ O ₃)	Merck	> 95 %
29	Sulfuric acid (H ₂ SO ₄)	Merck	> 95-97 %

2.2.2. Dụng cụ

Các dụng cụ sử dụng trong nghiên cứu được trình bày ở Bảng 2.2.

Bảng 2.2. Danh sách dụng cụ sử dụng trong nghiên cứu

STT	Tên dụng cụ	Hãng sản xuất	Xuất xứ
1	Bình định mức 100 mL	Duran	Đức
2	Burette 25 mL	Duran	Đức
3	Cốc thủy tinh 250 mL	Duran	Đức
4	Bộ chày, cối sứ Ø100mm	Việt Nam	Việt Nam
5	Eppendorf 2 mL	Biologix	Mỹ
6	Erlen 250 mL	Duran	Đức
7	Micropipet 1000µL	Vitlab	Đức
8	Micropipet 200µL	Vitlab	Đức
9	Ống đong 100mL	Duran	Đức
10	Ống nghiệm thủy tinh Ø16mm	Duran	Đức
11	Pipette 5 mL	Duran	Đức

2.2.3. Thiết bị

Các thiết bị sử dụng trong nghiên cứu được trình bày ở Bảng 2.3.

Bảng 2.3. Danh sách thiết bị sử dụng trong nghiên cứu

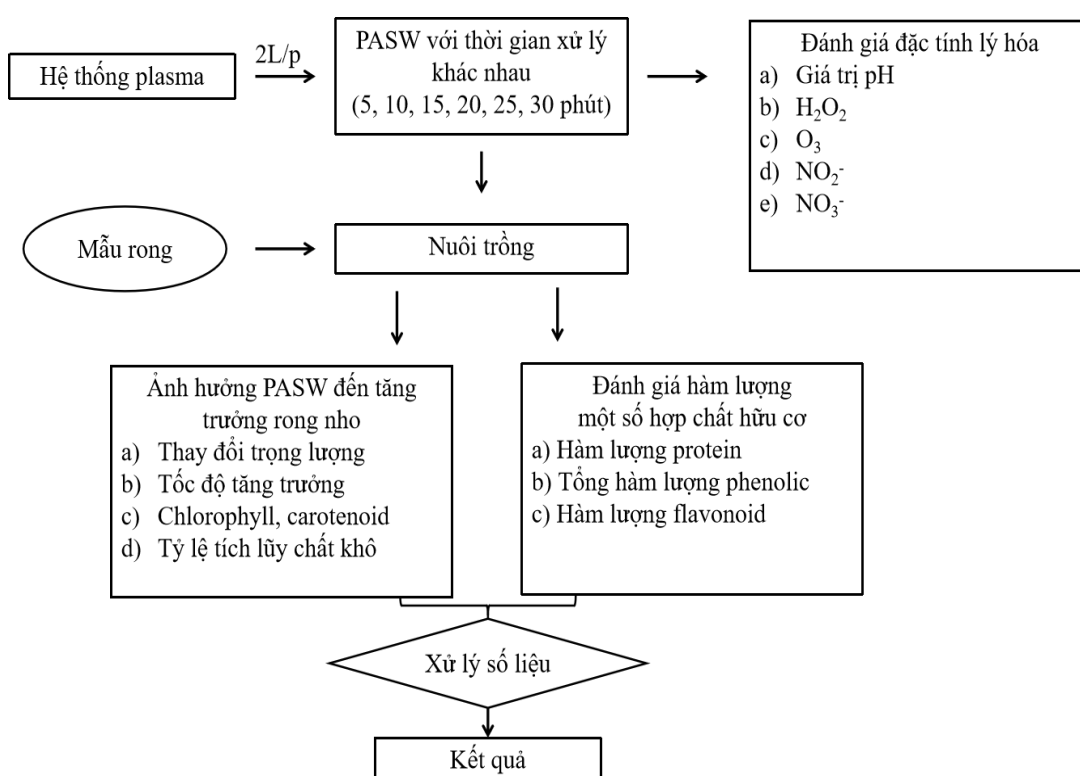
STT	Tên thiết bị	Hãng sản xuất	Xuất xứ
1	Máy đo pH	Hanna	Ý
2	Máy đo quang phổ UV-Vis	Shimadzu	Nhật Bản

3	Máy ly tâm Spindown	Dlab	Mỹ
4	Khúc xạ kế đo độ mặn	Alla	Pháp
5	Cân phân tích 4 số	Ohaus	Mỹ
6	Tủ sấy	Memmert	Đức

2.3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.3.1. Quy trình thực hiện thí nghiệm

Các bước tiến hành thí nghiệm đánh giá tác động plasma lạnh đến tăng trưởng và hàm lượng của một số hợp chất hữu cơ trong rong nho (*Caulerpa lentillifera*) ở điều kiện *in vitro* được thể hiện ở hình 2.1.



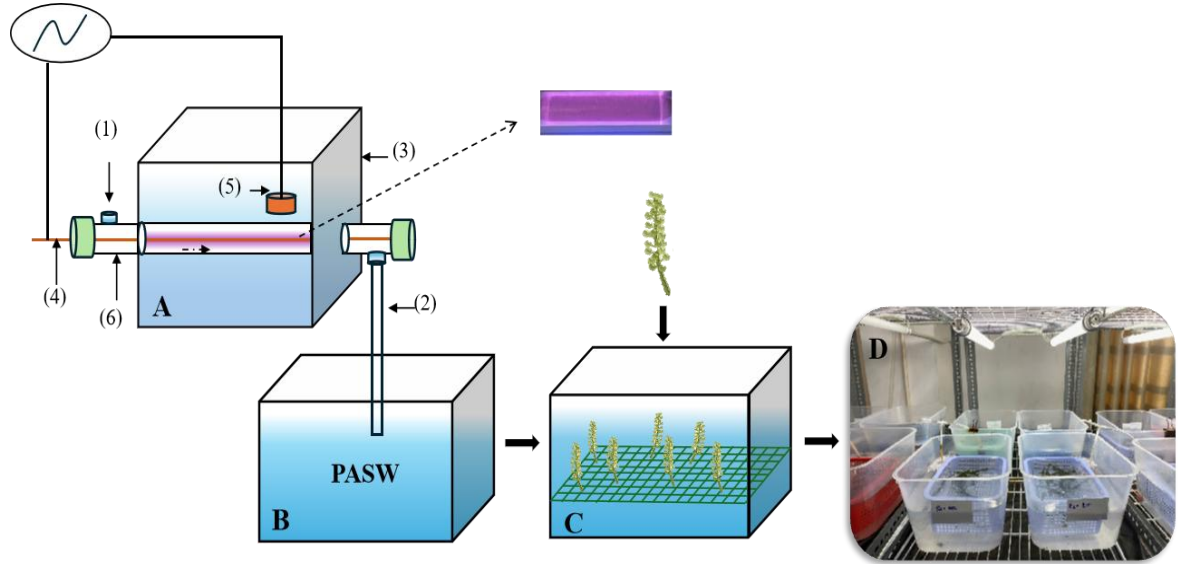
Hình 2.1. Sơ đồ bố trí thí nghiệm.

2.3.2. Nội dung 1: Xây dựng hệ thống chế tạo nước biển hoạt hóa plasma (PASW) và phân tích đặc tính lý hóa PASW.

a) Xây dựng hệ thống chế tạo PASW

Hệ thống plasma DBD dùng trong thí nghiệm được thiết kế tại phòng Công nghệ plasma và Vật lý tính toán - Viện Công nghệ Tiên Tiến (tiền thân là Viện khoa học Vật liệu ứng dụng). Hệ thống này gồm một ống thạch anh chứa một điện cực làm từ ống đồng rỗng dài 40 cm và điện cực ngoài là một khối đồng hình trụ được nhúng vào nước, trong trường hợp này nước đóng vai trò là điện cực và giữ nhiệt độ ổn định trong quá trình vận hành. Để tạo ra tia plasma, không khí được dẫn vào ống thạch anh với lưu lượng 2 lít/phút, kết hợp với một plasma reactor sử dụng nguồn điện cao áp

220 V, tần số 5 kHz. Sản phẩm tạo thành từ phóng điện plasma được dẫn vào 5 lít nước biển qua hệ thống ống dẫn khí, với thời gian xử lý khác nhau (5, 10, 15, 20, 25, 30 phút) để tạo ra nước biển hoạt hóa plasma (PASW), ký hiệu tương ứng P5 đến P30. Các đặc tính lý hóa của PASW sau đó được phân tích để đánh giá sự thay đổi.



Hình 2.2. Hệ thống chế tạo nước biển hoạt hóa plasma (PASW) và mô hình nuôi trồng rong nho.

Trong đó:

A: Sơ đồ hệ thống chế tạo PASW gồm (1) Khí đầu vào, (2) Ống dẫn khí ra, (3) Thùng chứa nước, (4) Điện cực trong, (5) Điện cực ngoài, (6) Ống thạch anh.

B: Nước biển hoạt hóa plasma (PASW)

C: Mô hình nuôi trồng rong nho

D: Mô hình nuôi trồng rong nho ảnh thực tế.

b) Phân tích đặc tính lý hóa của PASW

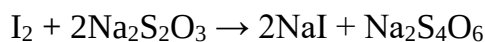
Giá trị pH

Giá trị pH dùng để xác định môi trường của dung dịch là tính acid hay bazơ hay trung tính do PASW tạo ra. Giá trị pH được đo bằng thiết bị cầm tay (Hanna).

Nồng độ Ozon:

Nồng độ ozon được xác định bằng phương pháp chuẩn độ iod (I_2) bằng natri thiosulfat ($Na_2S_2O_3$) theo Hozák và cộng sự (2018) [69].

Nguyên tắc: Phản ứng giữa I_2 và $Na_2S_2O_3$ trong dung dịch dẫn đến sự hình thành NaI và $Na_2S_4O_6$. Kết quả làm giảm màu của dung dịch I_2 , và khi toàn bộ I_2 phản ứng hết, dung dịch sẽ trở nên không màu.



Cách thực hiện: Thêm 0,5 mL PASW, 0,5 mL dung dịch H₂SO₄ 10%, dung dịch tinh bột và 0,5 mL dung dịch KI tiêu chuẩn 0,02 M. Iod (I₂) tạo thành được chuẩn độ lại ở 50°C bằng dung dịch natri thiosulfat Na₂S₂O₃ tiêu chuẩn 0,001 M.

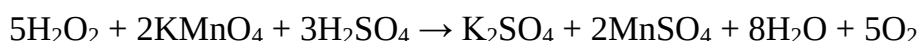
Công thức tính:

$$C_{O_3} \text{ (mg/L)} = (V_{Na_2S_2O_3} * C_{Na_2S_2O_3} * M_{O_3} * 1000) / V_{mẫu}$$

Nồng độ H₂O₂:

Nồng độ H₂O₂ được xác định bằng phương pháp chuẩn độ oxy hóa khử Hozák và cộng sự, 2018 [78].

Nguyên tắc: Dựa trên phản ứng oxy hóa khử giữa H₂O₂ và KMnO₄ trong môi trường axit sulfuric loãng, theo tỷ lệ mol 5:2, nồng độ H₂O₂ được xác định bằng phương pháp chuẩn độ oxy hóa khử. Phản ứng xảy ra như sau:



Cách thực hiện: Lấy 10 ml nước hoạt hóa plasma cho vào bình tam giác, sau đó dùng H₂SO₄ 1 M hiệu chỉnh để pH 2-3. Mẫu được chuẩn độ với KMnO₄ 0.001 M đến khi dung dịch nước có màu hồng nhạt. Ghi lại thể tích dung dịch KMnO₄ đã sử dụng.

Công thức tính:

$$N_{H_2O_2} = (V_{KMnO_4} \times N_{KMnO_4}) / V_{H_2O_2}$$

Trong đó:

$N_{H_2O_2}$: Nồng độ đương lượng gam của dung dịch H₂O₂ cần xác định

N_{KMnO_4} : Nồng độ đương lượng gam của dung dịch KMnO₄ tiêu chuẩn

V_{KMnO_4} : Thể tích dung dịch KMnO₄ tiêu chuẩn đã dùng (ml)

$V_{H_2O_2}$: Thể tích dung dịch H₂O₂ đã hút (ml)

Nồng độ ion NO₂⁻, NO₃⁻

Nồng độ các ion có trong PAW được xác định dựa vào phản ứng màu và thang đo đã quy định sẵn trong bộ kit (NO₂⁻, NO₃⁻ - Sera test kit, Đức).

2.3.3. Nội dung 2: Ảnh hưởng của PASW đến sự tăng trưởng của rong nho trong điều kiện *in vitro*

a) Thu thập, xử lý và nuôi thích nghi:

Mẫu được đặt vào túi chứa nước biển để bảo quản, tránh ánh sáng trực tiếp và vận chuyển về phòng thí nghiệm trong vòng 4 giờ. Sau khi làm sạch sơ bộ, 100g mẫu được nuôi phục hồi và thích nghi trong bể nước biển với nhiệt độ 28 ± 2 °C, độ mặn 28 ± 2 ‰, pH 7.5 ± 0.5, cường độ ánh sáng khoảng 45 μmol photon m⁻² s⁻¹ (đèn huỳnh quang), chu kỳ sáng tối 12/12 giờ và được sục khí liên tục trong 3-7 ngày. Các thông số về môi trường nuôi sẽ được theo dõi hàng ngày nhằm đảm bảo sự ổn định cần thiết cho quá trình nuôi trồng [12].

b) Quy trình thực hiện:

Sau khi chuẩn bị nước biển hoạt hóa plasma (PASW) với các khoảng thời gian xử lý khác nhau theo mục 2.3.2, thí nghiệm được phân thành hai nhóm chính. Nhóm thứ nhất gồm các mẫu rong nho nuôi trong PASW, ký hiệu từ P5 đến P30, ứng với các mức thời gian xử lý plasma, mẫu P0 làm đối chứng với nước biển nhân tạo. Nhóm thứ hai là PASW có bổ sung dinh dưỡng, gồm nitrate (21,25 ppm NaNO_3) và phosphate (6,8 ppm KH_2PO_4), ký hiệu từ H5 đến H30, với mẫu H0 làm đối chứng dinh dưỡng (nước biển nhân tạo có nitrate và phosphate nhưng không qua xử lý plasma). Để đảm bảo so sánh khách quan, nghiệm thức đối chứng dương chung được thiết kế với nước biển nhân tạo chứa 42,5 ppm nitrate và 13,6 ppm phosphate. Việc bổ sung dinh dưỡng dựa trên nghiên cứu của Sia và cộng sự (2024) [12]. Chi tiết các nghiệm thức được trình bày trong bảng 2.4.

Các nhánh rong có kích thước đồng đều sau giai đoạn nuôi phục hồi được nuôi trong các bể nhựa (30 x 22 x 16 cm) chứa 5 L môi trường theo từng nghiệm thức thí nghiệm. Rong được cố định trên khung lưới với trọng lượng ban đầu 4 g/ khung (tương đương mật độ 50 g/ m^2). Các bể sau đó được nuôi duy trì trong điều kiện tương tự quá trình nuôi thích nghi. Vệ sinh bể và thay nước được thực hiện 7 ngày một lần để loại bỏ các mảnh vụn [12].

Nước biển dùng trong thí nghiệm là nước biển nhân tạo được pha theo phương pháp của Segedi và cộng sự (1964) [79].

Bảng 2.4. Tổng quan các nghiệm thức thí nghiệm

Nhóm	Diễn giải	Tên mẫu	Hoạt hóa plasma	Dinh dưỡng bổ sung	
				Nitrate (ppm)	Phosphate (ppm)
Nhóm đối chứng	Nước biển không plasma - không dinh dưỡng	P0	Không	0	0
	Nước biển không plasma – có dinh dưỡng	H0	Không	21,25	6,8
		F0	Không	42,5	13,6
Nhóm xử lý PASW	Nước biển có plasma – không dinh dưỡng	P5-P30	Có (thời gian khác nhau)	0	0
	Nước biển	H5-H30	Có	21,25	6,8

	có plasma – có dinh dưỡng		(thời gian khác nhau)		
--	------------------------------	--	-----------------------------	--	--

Các chỉ tiêu đánh giá bao gồm:

Trọng lượng tuyệt đối

Trọng lượng tuyệt đối của rong nho được xác định theo phương pháp của Ghani và cộng sự, 2023 [80]. Cụ thể, khối lượng rong tươi (W_0) được xác định bằng cân phân tích 4 số (PA214 - Ohaus). Sau 7 ngày nuôi cấy, khối lượng rong tươi được đo lại và tính toán theo công thức.

$$G = W_t - W_0$$

Trong đó:

G : Trọng lượng tuyệt đối (g)

W_0 : khối lượng rong lúc bắt đầu nuôi (g)

W_t : khối lượng rong sau 7 ngày nuôi (g)

Tốc độ tăng trưởng (Specific Growth Rate- SGR)

Dựa trên trọng lượng tuyệt đối, tốc độ sinh trưởng riêng (SGR) được tính toán như sau [80]:

$$SGR = \left(\frac{\ln(W_t)}{t} - \frac{\ln(W_o)}{t} \right) \times 100$$

Trong đó:

SGR: tốc độ tăng trưởng (% ngày)

W_t : khối lượng rong vào cuối quá trình nuôi cấy (g)

W_o : khối lượng rong khi bắt đầu nuôi cấy (g)

t : Thời gian nuôi cấy (ngày).

Chlorophyll và carotenoid

Chlorophyll và carotenoid được chiết xuất bằng aceton theo phương pháp của Sulaimana et al. (2024) [81]. Cụ thể, 0,1 g mẫu cành tươi được nghiền nhỏ trong 1,5ml 80 % aceton và sau đó được ly tâm để thu dịch chiết. Dịch chiết được làm trong bằng cách ly tâm bổ sung (10000 rpm, 5 phút) trước khi tiến hành đo quang phổ UV-Vis (Shimadzu 1800) và hàm lượng sắc tố được tính toán tại các bước sóng 480, 645 và 663 nm theo công thức:

$$\text{Carotenoid (mg/ g)} = 4 A_{480}$$

$$\text{Total Chlorophyll (mg/ g)} = 8.02 A_{663} + 20.21 A_{645}$$

Tỷ lệ tích lũy chất khô

Tỷ lệ tích lũy chất khô của rong được xác định thông qua quy trình đo lường khối lượng tươi và khối lượng khô của mẫu. Đầu tiên, khối lượng tươi của rong được xác định bằng cách sử dụng cân kỹ thuật số, sau khi rong đã được thấm khô bằng giấy

để loại bỏ độ ẩm bề mặt. Tiếp theo, rong được sấy khô trong tủ sấy ở nhiệt độ từ 60 đến 70 °C cho đến khi trọng lượng không đổi, sau đó tiến hành cân lại để xác định khối lượng khô. Tỷ lệ tích lũy chất khô được tính toán bằng tỷ số giữa khối lượng tươi và khối lượng khô của rong, cung cấp thông tin quan trọng về khả năng tích lũy chất dinh dưỡng và hiệu quả sinh trưởng của loài rong này [82].

2.3.4. Nội dung 3: Phân tích tác động của PASW đến hàm lượng một số hợp chất hữu cơ trong rong nho

Chuẩn bị mẫu

Mẫu rong nho tươi được rửa với nước biển đã lọc và chải nhẹ để loại bỏ mảnh vụn. Sau đó, mẫu được thấm khô để loại bỏ lượng nước dư thừa và tiến hành sấy khô mẫu ở nhiệt độ 60 °C đến khi khối lượng mẫu không đổi. Sau đó, mẫu được nghiền thành bột mịn (để lọt qua rây 1mm) và bảo quản mẫu ở nhiệt độ - 20 °C.

Protein

Hàm lượng protein trong mẫu được xác định bằng phương pháp Lowry. Quy trình bao gồm: nghiền 10 mg rong biển khô trong 1 mL NaOH 0,1 N; sau đó, trộn 0,1 mL dịch nghiền với 0,9 mL NaOH và pha loãng (10 lần). Tiếp theo, thêm 3 mL thuốc thử C (dung dịch A [NaOH 0,1 M, Na₂CO₃ 2 %] và dung dịch B [CuSO₄.5H₂O 0,5 % trong Na₃C₆H₅O₇ 1%] pha tỷ lệ 1:50) vào 1 mL mẫu và ủ 30 phút ở nhiệt độ phòng. Cuối cùng, thêm 0,3 mL thuốc thử Folin-Ciocalteu 0,5 N, ủ 45 phút trong tối ở nhiệt độ phòng và đo độ hấp thụ ở 750 nm bằng máy quang phổ UV-Vis. Đường chuẩn BSA được sử dụng để định lượng protein. Đường chuẩn albumin huyết thanh bò (BSA) được sử dụng để định lượng protein [83,84].

Tổng hàm lượng phenolic

Hàm lượng phenolic tổng trong mẫu được xác định thông qua phương pháp quang phổ UV-Vis, sử dụng phản ứng màu với thuốc thử Folin-Ciocalteu, theo quy trình đã được mô tả Ainsworth & Gillespie (2007). Cụ thể, 5 µL dịch chiết (0,025g trong 2,5 ml metanol 80 %) được thêm vào với 25 µL thuốc thử Folin–Ciocalteu. Sau thời gian ủ 5 phút, 75 µL dung dịch Na₂CO₃ 20 % được thêm vào, và hỗn hợp tiếp tục được ủ trong 60 phút ở nhiệt độ phòng. Độ hấp thụ cực đại của dung dịch sau đó được ghi nhận sử dụng máy quang phổ UV-Vis ở bước sóng 765 nm. Hàm lượng phenolic tổng sau đó được tính toán dựa trên đường chuẩn sử dụng axit gallic và được biểu thị dưới dạng mg GAE/g mẫu [85].

Tổng hàm lượng flavonoid

Cụ thể, 10 µL trong 10mg/ml dịch chiết mẫu được thêm vào với 250 µL được trộn với 250 µL AlCl₃ 2% (Sigma-Aldrich, Đức). Tiếp theo, 250 µL acetic acid 1 M được thêm vào sau đó là 490 µl nước cất, và hỗn hợp tiếp tục được ủ trong 60 phút ở

hiệt độ phòng. Độ hấp thu cực đại của dung dịch sau đó được ghi nhận sử dụng máy quang phổ UV-Vis ở bước sóng 425 nm. Hàm lượng flavonoid sau đó được tính toán dựa trên đường chuẩn sử dụng Quercetin và được biểu thị dưới dạng mg QE/g mẫu [86].

2.4. PHƯƠNG PHÁP XỬ LÝ SỐ LIỆU

Thí nghiệm được bố trí hoàn toàn ngẫu nhiên với 3 lần lặp lại ở mỗi thí nghiệm. Phần mềm Microsoft Excel được sử dụng để tổng hợp số liệu, dữ liệu thu được hiển thị dưới dạng trung bình $\pm$ độ lệch chuẩn (TB $\pm$ SD). Phân tích thống kê được thực hiện bằng phần mềm SPSS phiên bản 26.0 (SPSS Inc., USA), sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nhóm xử lý được phân tích ANOVA và phép thử Tukey ở mức ý nghĩa $p < 0,05$.

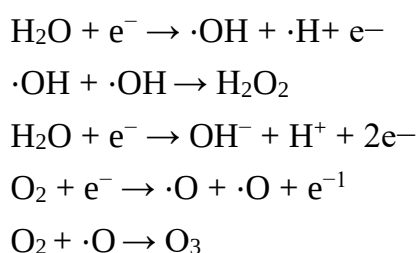
Chương 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. ĐẶC TÍNH LÝ HÓA CỦA PASW

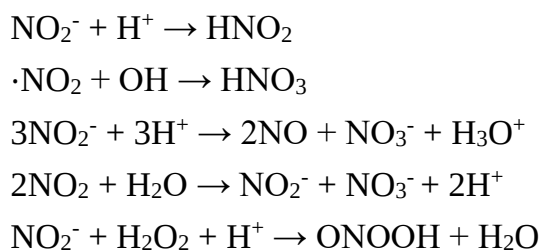
Nước biển hoạt hóa plasma (PASW) chứa các gốc oxy và nitrogen phản ứng (RONS), có khả năng tác động đến quá trình sinh trưởng của rong nho. Vì vậy, nghiên cứu này tập trung đánh giá một số đặc tính hóa lý của PASW, bao gồm pH, nồng độ NO_2^- , O_3 và H_2O_2 , được trình bày trong hình 3.1. Các giá trị pH, H_2O_2 , O_3 , NO_2^- , NO_3^- đều có sự thay đổi đáng kể theo thời gian hoạt hóa. Cụ thể, mẫu đối chứng ghi nhận giá trị pH cao nhất là 8,88, nhưng sau 30 phút hoạt hóa plasma, giá trị này giảm xuống 7,93. Sự suy giảm pH chủ yếu do tương tác giữa NO_x (sản phẩm của quá trình ion hóa N_2 và O_2 trong plasma) và phân tử nước trong quá trình xử lý plasma, dẫn đến việc hình thành HNO_2 và HNO_3 góp phần vào sự acid hóa của dung dịch [87–90]. Tuy nhiên, sự giảm nhẹ pH không ảnh hưởng đến quá trình nuôi trồng mẫu.

Khi không khí được sử dụng làm khí đầu vào, nồng độ NO_2^- trong PASW tăng từ 0 lên 4,1 mg/L, trong khi nồng độ NO_3^- tăng từ 2,69 lên 32,15 mg/L, khi thời gian xử lý kéo dài từ 0 đến 30 phút. Theo Oehmigen và cộng sự, nồng độ NO_2^- thấp hơn so với NO_3^- có thể được giải thích bởi quá trình chuyển đổi từ NO_2^- thành NO_3^- diễn ra nhanh hơn trong môi trường acid [91]. Song song đó, nồng độ O_3 và H_2O_2 cũng tăng đáng kể, đạt lần lượt 2,5 mg/L và 2,25 mg/L sau 30 phút (hình 3.1c). Quá trình phóng điện trong không khí tạo ra hàng loạt ion và gốc tự do (ROS/RNS), bao gồm $\cdot\text{O}$, $\cdot\text{OH}$, $\cdot\text{NO}$ và $\cdot\text{NO}_2$. Khi tiếp xúc với nước biển, các loài này hòa tan và tham gia vào chuỗi phản ứng thứ cấp, hình thành các chất oxy hóa mạnh như O_3 và H_2O_2 . Dưới đây là một số phương trình phản ứng tiêu biểu:

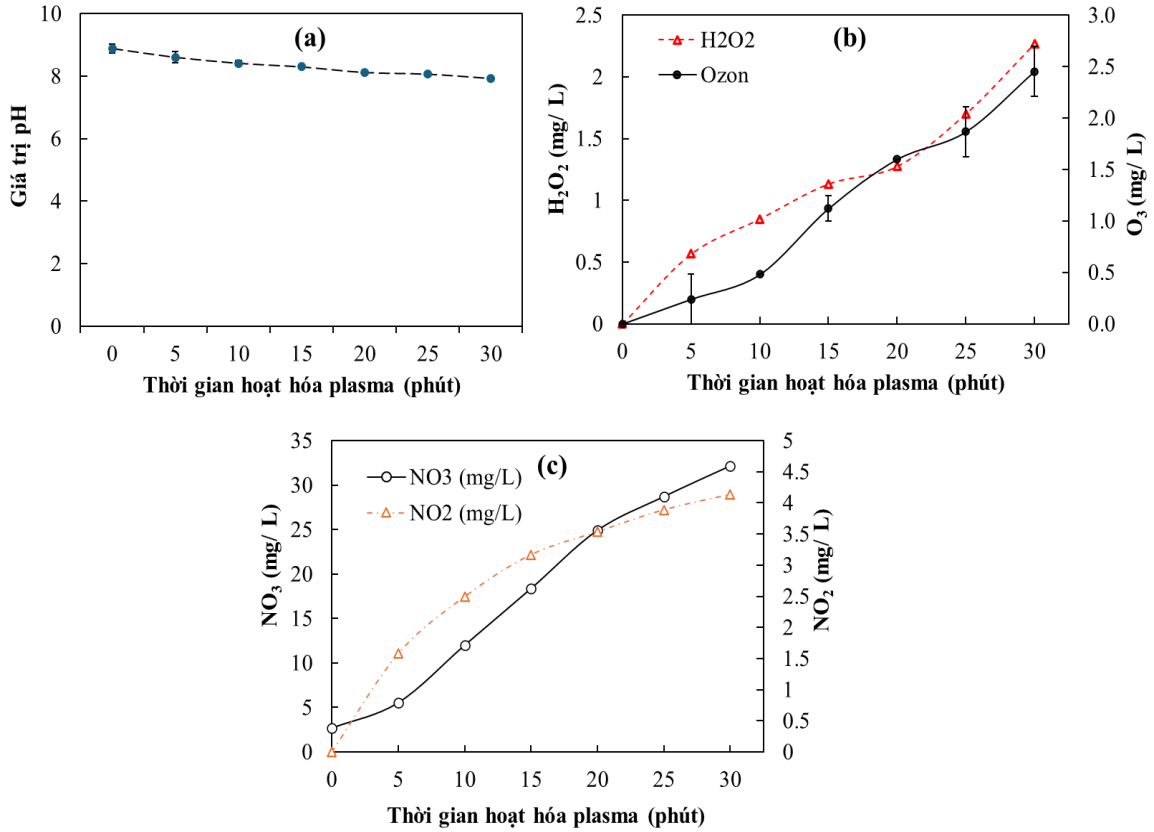
ROS:



RNS:



Kết quả phân tích các đặc tính hóa lý của PASW trong nghiên cứu này cho thấy sự tương đồng với kết luận của Ke và cộng sự (2024) về nước biển hoạt hóa plasma (PASW). Cụ thể, pH của PASW có xu hướng giảm đi, trong khi nồng độ H_2O_2 và NO_2^- lại có xu hướng tăng lên sau quá trình xử lý [92]. Xu hướng này cũng phù hợp với các nghiên cứu trước đó về PAW [30,84,85].



Hình 3.1. Đặc điểm lý hóa của PASW. Các giá trị của a) pH, b) H_2O_2 và O_3 , c) NO_2^- và NO_3^- của PASW được đo như mô tả trong phần vật liệu và phương pháp.

Nhìn chung, kết quả nghiên cứu cho thấy nước biển hoạt hóa plasma (PASW) có tiềm năng lớn trong nuôi trồng rong nho nhờ sự hiện diện của RONS có khả năng thúc đẩy quá trình sinh trưởng. Theo nghiên cứu của Sarinont và cộng sự (2017), việc sử dụng không khí làm khí đầu vào, tạo ra hàm lượng RONS cao hơn so với các khí như heli (He), argon (Ar) hay nitơ (N_2) [94]. Hơn nữa, tính sẵn có của không khí giúp giảm đáng kể chi phí vận hành hệ thống plasma, làm tăng tính khả thi về mặt kinh tế khi ứng dụng công nghệ này. Tuy nhiên, do mỗi đối tượng nghiên cứu có cơ chế sinh trưởng và phản ứng sinh học riêng biệt, việc tối ưu hóa thời gian xử lý plasma, lưu lượng và loại khí sử dụng là cần thiết để đạt hiệu quả sinh học tối đa mà không gây tác động bất lợi.

3.2. ẢNH HƯỞNG CỦA PASW ĐẾN SỰ TĂNG TRƯỞNG CỦA RONG NHO TRONG ĐIỀU KIỆN *IN VITRO*

3.2.1. Chất lượng nước

Để đảm bảo tính khách quan và loại trừ ảnh hưởng của các yếu tố môi trường lên kết quả thí nghiệm về tác động của plasma đối với rong nho, các thông số chất lượng nước quan trọng đã được kiểm soát chặt chẽ trong suốt 7 và 14 ngày thí nghiệm, với kết quả chi tiết được trình bày trong bảng 3.1. Cụ thể, pH được duy trì ở mức tối ưu cho sự phát triển của *C. lentillifera*, với giá trị trung bình là $7,90 \pm 0,6$ sau 7 ngày và giảm nhẹ xuống $7,8 \pm 0,5$ sau 14 ngày. Nhiệt độ nước ổn định ở 28 ± 2 °C, trong khi độ mặn được duy trì ở mức $30 \pm 0,5$ ‰ trong toàn bộ quá trình thí nghiệm. Nhìn chung, các yếu tố môi trường nuôi cấy được duy trì ở mức thích hợp cho sự phát triển của *C. lentillifera* [41,71,89].

Bảng 3.1. Nhiệt độ, độ mặn, pH trong thời gian nghiên cứu

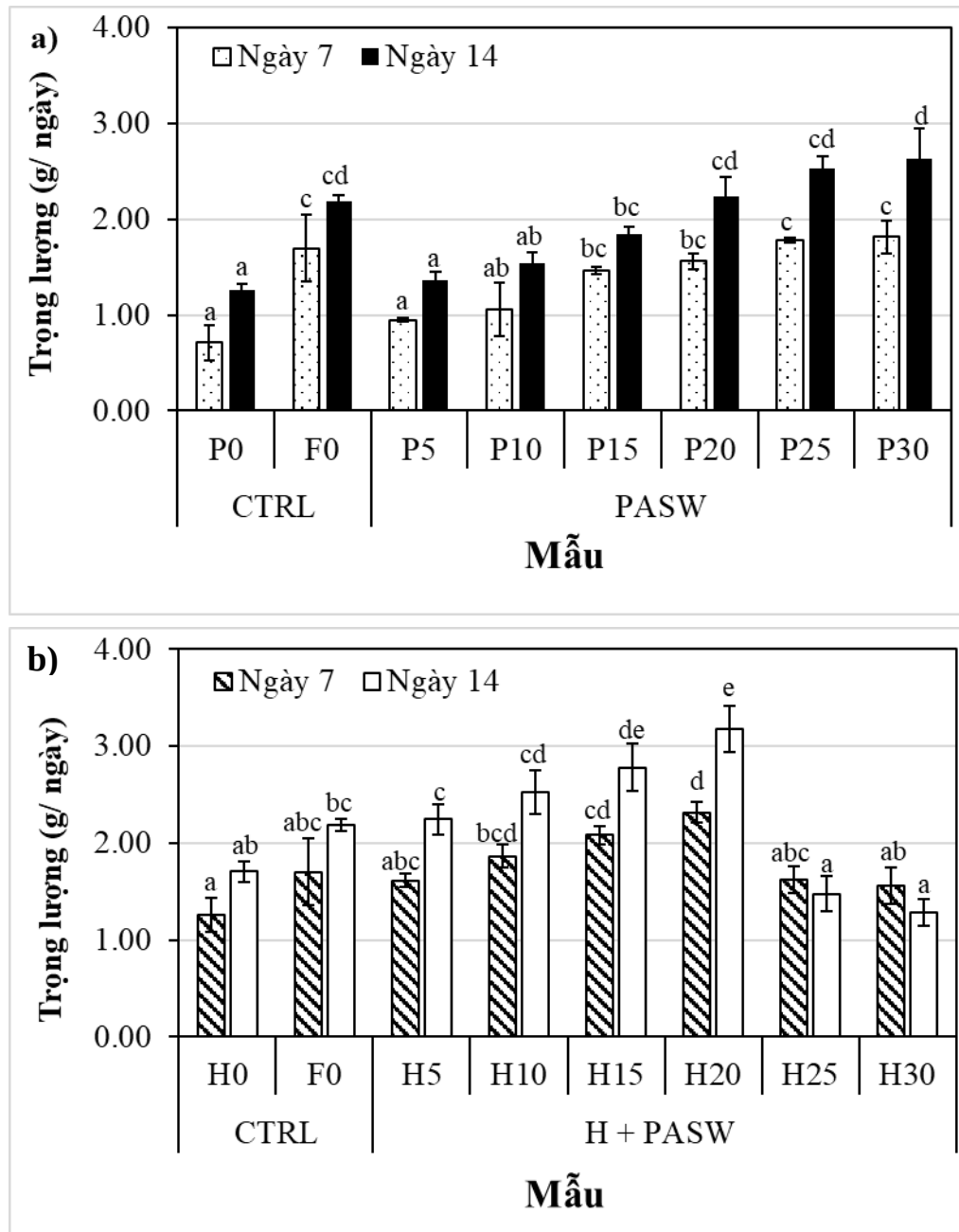
Điều kiện môi trường	Thời gian (ngày)	
	7 ngày	14 ngày
pH	$7,90 \pm 0,6$	$7,80 \pm 0,5$
Nhiệt độ (°C)	28 ± 2	28 ± 2
Độ mặn (‰)	$30 \pm 0,5$	$30 \pm 0,5$

3.2.2. Trọng lượng và tốc độ tăng trưởng.

Tác động của PASW ở các thời gian hoạt hóa khác nhau trên rong nho trong nghiên cứu này được đánh giá thông qua trọng lượng và tốc độ tăng trưởng. Kết quả thí nghiệm cho thấy việc xử lý plasma kết hợp bổ sung dinh dưỡng đã tác động rõ rệt đến trọng lượng rong nho, như được thể hiện ở hình 3.2. Ở nhóm đối chứng (P0), trọng lượng mẫu tăng từ $0,71 \pm 0,18$ g (ngày 7) lên $1,26 \pm 0,06$ g (ngày 14), tương ứng mức tăng khoảng 1,77 lần. Ở nhóm bổ sung dinh dưỡng (H0, F0) cho thấy sự phát triển vượt trội. Cụ thể, mẫu H0 tăng từ $1,26 \pm 0,18$ g (ngày 7) lên $1,71 \pm 0,10$ g (ngày 14), đạt mức tăng 1,36 lần. Tương tự, mẫu F0 tăng từ $1,7 \pm 0,35$ g lên $2,19 \pm 0,06$ g sau 14 ngày nuôi trồng, phản ánh tốc độ phát triển cao hơn đáng kể so với P0.

Các mẫu chỉ xử lý plasma (P5 - P30) cho thấy khả năng thúc đẩy tăng trưởng với xu hướng trọng lượng tăng dần theo thời gian xử lý, dao động từ $0,95 \pm 0,02$ g đến $1,81 \pm 0,17$ g sau 7 ngày nuôi. Tuy nhiên, hiệu quả hiệp đồng rõ rệt nhất được ghi nhận ở nhóm kết hợp giữa xử lý plasma và bổ sung dinh dưỡng (H5 - H30), với trọng lượng tăng trưởng vượt trội so với các nghiệm thức khác. Trọng lượng mẫu tăng dần từ H5 ($1,61 \pm 0,07$ g) và đạt giá trị tối ưu ở H20 ($2,32 \pm 0,11$ g), sau đó giảm nhẹ ở các thời gian xử lý sau. Xu hướng tăng trưởng tương tự cũng được quan sát

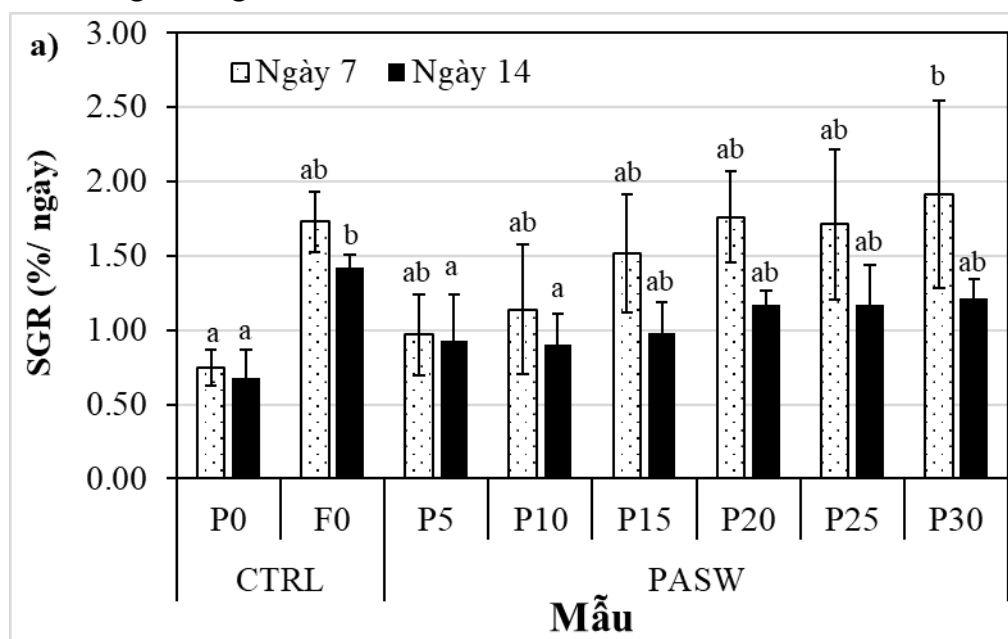
thấy qua trọng lượng của rong nho trong 14 ngày nuôi. Cụ thể ở mẫu P30 ở ngày 14 tăng ~ 0,69 lần so với ngày 7. Trong khi đó mẫu H25 và H30 sau 14 ngày nuôi có xu hướng giảm nhẹ ~ 1,10 và 1,22 lần so với ngày 7. Đáng chú ý, mẫu H20 đạt trọng lượng tốt nhất trong tất cả các mẫu thí nghiệm ở cả ngày thứ 7 và ngày thứ 14.

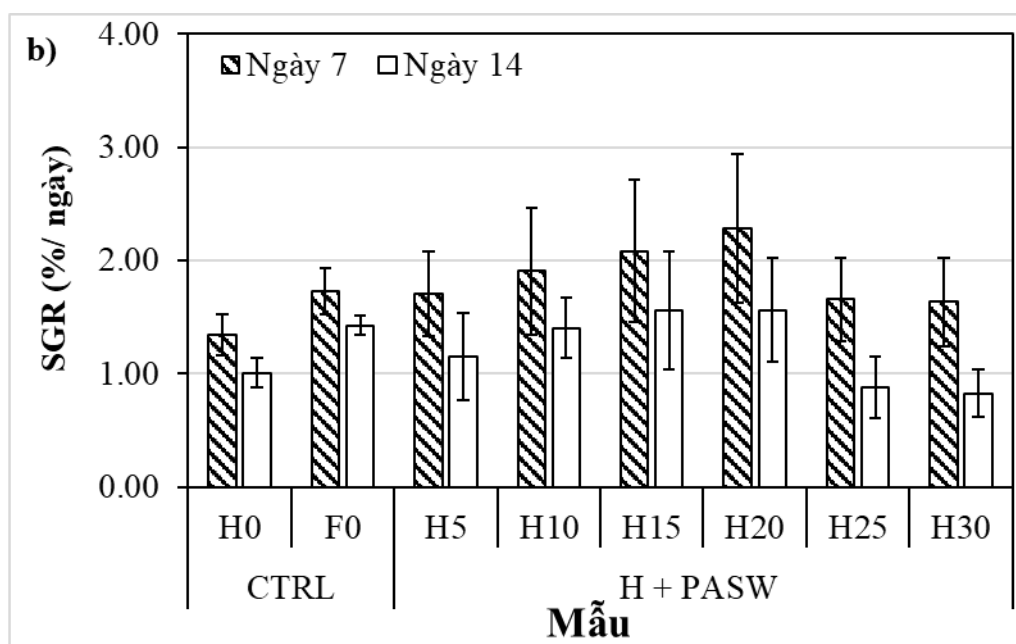


Hình 3.2. Sự thay đổi trọng lượng của rong nho a) Nuôi trực tiếp trong PASW b) Nuôi trong PASW kết hợp dinh dưỡng, tại các thời điểm 7, 14 ngày sau nuôi. Các chữ cái khác nhau biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức $p < 0,05$.

Ghi chú: P0: nước biển nhân tạo, H0: nước biển nhân tạo chứa 21,5 ppm nitrate và 6,8 ppm phosphate, F0: nước biển nhân tạo chứa 43 ppm nitrate và 13,6 ppm phosphate, P5 - P30: Nuôi trực tiếp trong PASW, H5 - H30: Nuôi trong PASW kết hợp với dinh dưỡng.

Bên cạnh đó, kết quả nghiên cứu cho thấy có mối tương quan chặt chẽ giữa trọng lượng và tốc độ tăng trưởng rong nho trong 7 ngày đầu tiên. Cụ thể, mẫu H20 ghi nhận tốc độ tăng trưởng cao nhất, đạt $2,28 \pm 0,7$ %/ ngày, gấp 3,05 lần so với mẫu P0, 1,32 lần so với mẫu F0 và 1,70 lần so với mẫu H0. Xu hướng này phù hợp với sự gia tăng trọng lượng của rong nho trong cùng giai đoạn. Tuy nhiên, sau 14 ngày, tốc độ tăng trưởng của tất cả các mẫu đều giảm. Cụ thể, trong nhóm PASW (từ P5 đến P30), tốc độ tăng trưởng trong 7 ngày đầu dao động từ $0,97 \pm 0,27$ %/ngày đến $1,91 \pm 0,63$ %/ ngày, nhưng từ ngày thứ 8 trở đi, tốc độ này giảm xuống còn từ $0,923 \pm 0,32$ %/ ngày đến $1,21 \pm 0,51$ %/ ngày. Việc tốc độ tăng trưởng ngày 14 giảm so với ngày 7, cũng đã được ghi nhận trên *Sargassum fusiformis* [97] và tảo đỏ *Gracilaria lemaneiformis* [98]. Hiện tượng này có thể được lý giải bởi sự khác biệt giữa các giai đoạn phát triển của cây, cũng như cây dần chuyển sang thực hiện các chức năng sinh lý như tích lũy dưỡng chất, sinh sản và điều chỉnh cấu trúc tế bào, từ đó dẫn đến sự giảm tốc độ tăng trưởng [99].





Hình 3.3. Sự thay đổi tốc độ tăng trưởng rong nho a) Nuôi trực tiếp trong PASW b) Nuôi trong PASW kết hợp dinh dưỡng, tại các thời điểm 7, 14 ngày sau nuôi.

Các chữ cái khác nhau biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức $p < 0,05$.

Ghi chú: P0: nước biển nhân tạo, H0: nước biển nhân tạo chứa 21.5 ppm nitrate và 6.8 ppm phosphate, F0: nước biển nhân tạo chứa 43 ppm nitrate và 13.6 ppm phosphate, P5 - P30: Nuôi trực tiếp trong PASW, H5 - H30: Nuôi trong PASW kết hợp với dinh dưỡng.

Nhìn chung, thành phần và nồng độ các chất hoạt tính trong PASW như H_2O_2 , O_3 , NO_3^- , NO_2^- có tác động đáng kể đến tốc độ tăng trưởng và hiệu quả sinh khối của rong nho. Cụ thể, việc hoạt hóa nước biển bằng plasma trong 20 phút (P20) cho thấy hiệu quả kích thích tăng trưởng tương tự như khi bổ sung dinh dưỡng ở liều tối ưu (F0). Trong khi đó, việc giảm một nửa liều dinh dưỡng tiêu chuẩn kết hợp với hoạt hóa plasma trong 5 phút (H5) cũng cho thấy hiệu quả tương đương so với việc bổ sung 100% dinh dưỡng ở mẫu F0. Đặc biệt, tác động tích cực này tiếp tục tăng khi kéo dài thời gian xử lý, cho thấy tiềm năng ứng dụng của PAW trong canh tác với liều dinh dưỡng được tối ưu hóa hoặc giảm thiểu sử dụng phân bón tổng hợp từ dầu mỏ, khoáng sản.

Hiệu ứng kích thích tăng trưởng tương tự của nước hoạt hóa plasma cũng được quan sát thấy trên nhiều đối tượng thực vật khác nhau. Ví dụ, trên giá đỗ, xử lý PAW làm tăng đáng kể chiều dài thân và trọng lượng trung bình lần lượt là 8,09% và 12,75% so với các mẫu được xử lý bằng nước cất [22]. Không chỉ ở thực vật bậc cao, sự hiện diện của RONS trong PAW kích thích tích lũy sinh khối (26,6 mg/L/ngày) và phân bào trên vi tảo cao hơn so với dung dịch dinh dưỡng nito đơn lẻ, cụ thể nitrite (22,5 mg/L/ngày) [90].

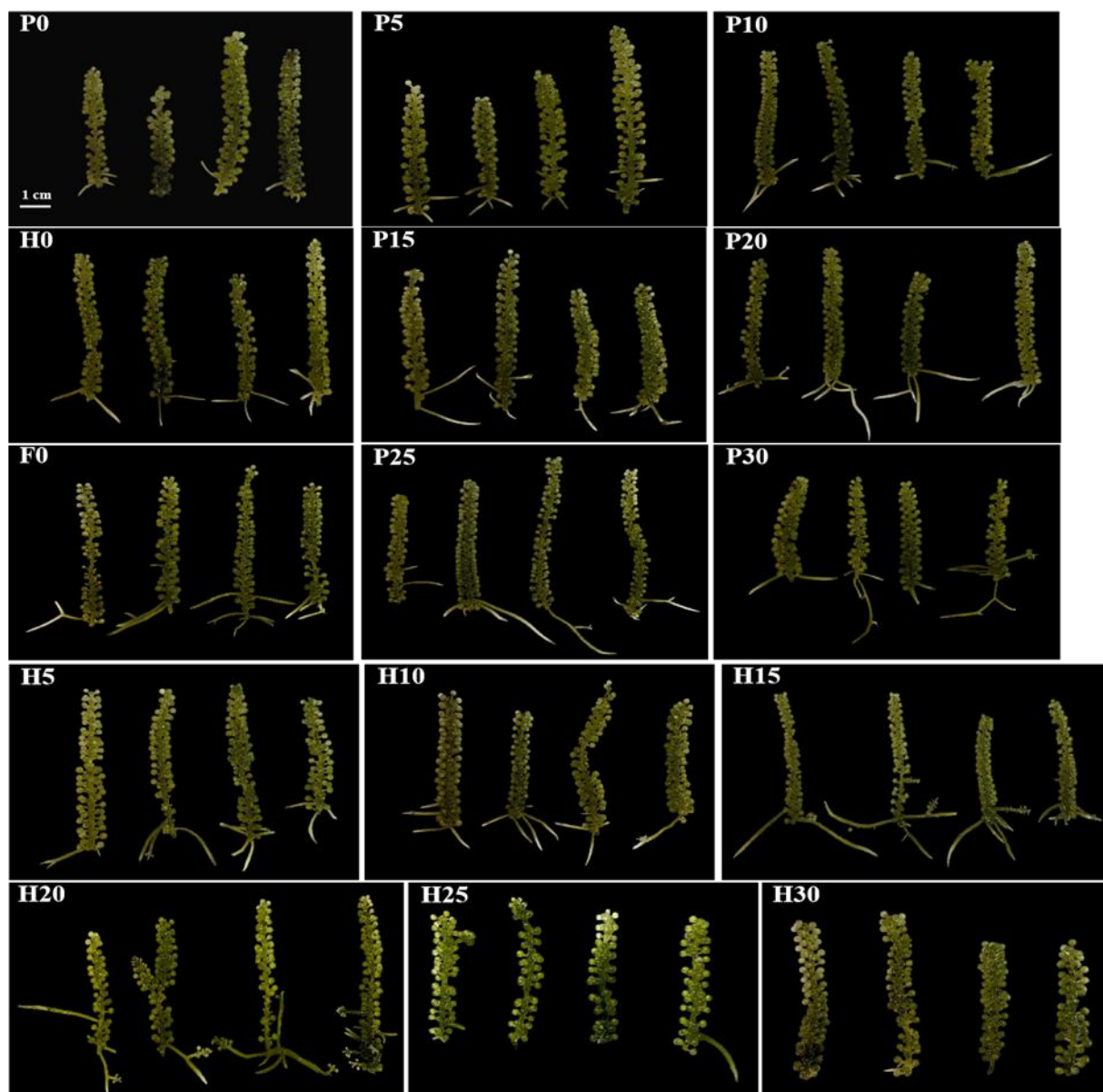
Ở thực vật, sự tăng trưởng và phát triển chủ yếu được thúc đẩy bởi sự tăng sinh và mở rộng tế bào trên toàn bộ cơ thể. Trong khi đó, RONS đã được chứng minh là tham gia điều hòa nhiều quá trình sinh hóa quan trọng, chẳng hạn như phân chia tế bào, mở rộng, biệt hóa và chu kỳ tế bào.

Nhiều nghiên cứu đã báo cáo rằng nitrogen là yếu tố giới hạn chính đối với sự phát triển của nhiều loài tảo biển và thực vật thủy sinh, đặc biệt trong các hệ sinh thái nghèo dinh dưỡng [91]. Việc cung cấp đầy đủ nitrogen được chứng minh là hỗ trợ duy trì các chức năng sinh lý quan trọng của thực vật, bao gồm quang hợp, hô hấp và sinh tổng hợp, thông qua sự điều chỉnh các sắc tố quang hợp như chlorophyll a và carotenoid, cũng như hoạt động của các enzyme [88, 89, 90]. Ngoài ra, nitrogen cũng được xác định là thành phần cấu tạo của các đại phân tử sinh học thiết yếu như protein, DNA và RNA, những phân tử này đóng vai trò then chốt trong cấu trúc tế bào và quá trình tăng sinh, mở rộng tế bào, từ đó thúc đẩy sự phát triển liên tục của thực vật. Nhờ đó, RNS trong PASW góp phần quan trọng thúc đẩy các chức năng sinh lý thiết yếu của thực vật, như quang hợp, hô hấp và tổng hợp các đại phân tử sinh học.

Bên cạnh RNS, ROS cũng được báo cáo là có ảnh hưởng đáng kể đến sự phát triển của cây. Trong mô thực vật, ROS nội sinh là sản phẩm phụ của quá trình trao đổi chất tế bào và được xem là có vai trò kép trong sinh lý thực vật. Các gốc oxy phản ứng này, với khả năng tương tác với nhiều đại phân tử sinh học, đã được chứng minh là hỗ trợ sự tăng trưởng và phân chia tế bào thông qua quá trình oxy hóa polysacarit, giúp nối lỏng thành tế bào. Thêm vào đó, các gốc oxy phản ứng cũng tham gia điều hòa hoạt động của các hormone tăng trưởng bằng cách điều chỉnh sự biểu hiện của các gen hoặc con đường tín hiệu liên quan. Ví dụ, brassinosteroid (BRs), một nhóm phytohormone ảnh hưởng đến sự biểu hiện của các gen liên quan đến sự phát triển và đáp ứng căng thẳng, được điều hòa bởi H_2O_2 thông qua quá trình oxy hóa các yếu tố phiên mã Brassinazole-Resistant 1 (BZR1). Sự thay đổi này tăng cường hoạt động của BZR1 và tạo điều kiện cho sự tương tác của nó với yếu tố phản ứng Auxin 6 (ARF6) và yếu tố tương tác Phytochrome 4 (PIF4), từ đó thúc đẩy sự tăng trưởng và phát triển của mô phân sinh khi mức H_2O_2 tăng lên [70]. Trong khi đó, đối với tảo - một nhóm sinh vật có cấu tạo đơn giản - nhiều nghiên cứu đã cho thấy sự hiện diện và hoạt động của một số phytohormone tương tự như auxin, GA, và cytokinin, cho thấy tác động của ROS trên rong nho có thể xảy ra với cơ chế tương tự [102,103].

Không những thế, khi rong nho được nuôi cấy trong điều kiện đồng nhất về ánh sáng, nhiệt độ, pH thì các mẫu rong nho được xử lý PASW (bao gồm bổ sung dinh dưỡng hoặc plasma) đã cho thấy sự tăng trưởng về mặt hình thái tốt hơn so với nhóm đối chứng. Như minh họa trong hình 3.4, sau 7 ngày nuôi trồng các mẫu xử lý

PASW không chỉ phát triển kích thước lớn hơn, màu sắc xanh tươi hơn, mà còn gia tăng đáng kể số lượng thân bò. Đặc biệt, các mẫu P30, H15 và H20 ghi nhận sự xuất hiện của các hạt rong mới, đánh dấu một giai đoạn quan trọng trong chu trình phát triển của rong nho. Ngược lại, nhóm đối chứng (P0 và H0) cho thấy số lượng thân bò xuất hiện ít hơn đáng kể sau 7 ngày nuôi cấy.



Hình 3.4. Hình thái rong nho sau 7 ngày ở các nghiệm thức.

Ghi chú: P0: nước biển nhân tạo, H0: nước biển nhân tạo chứa 21,5 ppm nitrate và 6,8 ppm phosphate, F0: nước biển nhân tạo chứa 43 ppm nitrate và 13,6 ppm phosphate, P5 - P30: Nuôi trực tiếp trong PASW, H5 - H30: Nuôi trong PASW kết hợp với dinh dưỡng.

Sau 14 ngày nuôi cấy, hình thái của các mẫu rong nho đã thay đổi một cách rõ rệt, đặc biệt ở các mẫu H20 và P30, khi chiều dài thân bò của chúng vượt trội hơn rõ ràng so với nhóm đối chứng, thân rễ xuất hiện nhanh dài, như thể hiện ở hình 3.5. Sự

khác biệt này đồng thời củng cố tính nhất quán của số liệu đã được đánh giá ở các chỉ tiêu trước đó, nhấn mạnh hiệu quả của các yếu tố xử lý thí nghiệm. Đặc biệt, mẫu H30 còn biểu hiện màu sắc nhạt hơn và chuyển sang trắng. Không chỉ vậy, các mẫu này, đặc biệt là H20, cho thấy số lượng nhánh rong, hạt rong mới được hình thành nhiều hơn, đồng thời có sự xuất hiện của rễ giả - một chỉ số quan trọng đánh dấu khả năng sinh trưởng và phát triển toàn diện của rong nho. Kết quả này tương tự như nghiên cứu của Windarto và cộng sự (2024) đã chứng minh rằng việc sử dụng chất điều hòa sinh trưởng thực vật ngoại sinh có khả năng kích thích mạnh mẽ sự phát triển của rong nho, gia tăng vượt trội về số lượng nhánh, hạt nho, thân đứng và rễ giả so với các mẫu đối chứng [46].



Hình 3. 5. Hình thái rong nho sau 14 ngày nuôi trồng.

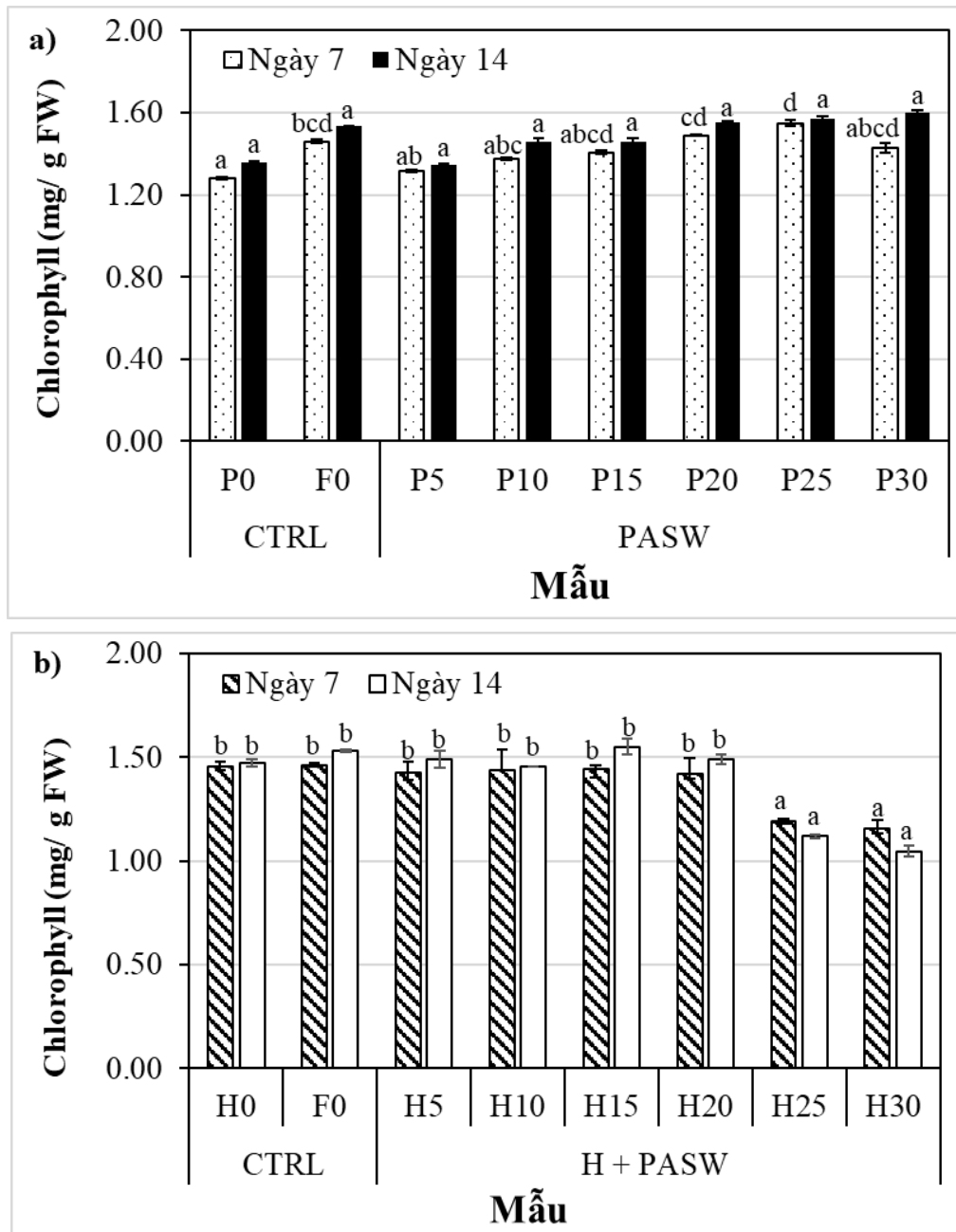
Ghi chú: P0: nước biển nhân tạo, H0: nước biển nhân tạo chứa 21,5 ppm nitrate và 6,8 ppm phosphate, F0: nước biển nhân tạo chứa 43 ppm nitrate và 13,6 ppm phosphate, H20 - H30: Nuôi trong PASW kết hợp với dinh dưỡng.

3.2.3. Hàm lượng chlorophyll, carotenoid và tỷ lệ tích lũy chất khô

Đánh giá hàm lượng sắc tố và tỷ lệ tích lũy chất khô trong rong là vô cùng quan trọng, bởi sắc tố diệp lục đóng vai trò then chốt trong quá trình quang hợp, chuyển hóa ánh sáng thành năng lượng. Trong khi đó, tỷ lệ tích lũy chất khô, cho thấy khả năng tăng trưởng sinh khối của thực vật.

Kết quả nghiên cứu trong 7 ngày đầu cho thấy sự khác biệt rõ rệt về hàm lượng chlorophyll giữa các nhóm nghiệm thức. Đối với nhóm đối chứng, hàm lượng chlorophyll tăng theo nồng độ nitrogen trong môi trường nuôi cấy. Cụ thể, nghiệm thức F0 ghi nhận mức tăng 15,87 % so với P0 và 0,69 % so với H0, như minh họa ở hình 3.6. Đối với nhóm nuôi trong PASW (P5 - P30) cho thấy xu hướng tăng hàm lượng chlorophyll theo thời gian hoạt hóa plasma (hình 3.6a). Đồng thời, nhóm nuôi trong PASW kết hợp bổ sung dinh dưỡng (H5 – H20) cũng ghi nhận mức tăng hàm lượng chlorophyll tương đương hoặc cao hơn nhóm đối chứng (hình 3.6b). Cụ thể, hàm lượng chlorophyll tăng dần từ 5,14 % ở H5 đến 8,82 % H20 song đã giảm lần lượt 18,05 % ở H25 và 20.27 % ở H30 so với mẫu H0.

Đến ngày thứ 14, xu hướng gia tăng hàm lượng diệp lục vẫn được duy trì rõ rệt, với sự khác biệt nổi bật giữa các nghiệm thức. Nhóm đối chứng, F0 ($1,53 \pm 0,08$ mg/g FW) ghi nhận hàm lượng diệp lục cao hơn 12,5% so với P0 ($1,29 \pm 0,01$ mg/g FW) và 4,08 % so với H0 ($1,47 \pm 0,07$ mg/g FW). Ở nhóm nuôi trong PASW, các nghiệm thức P20, P25 và P30 đều ghi nhận sự gia tăng đáng kể về hàm lượng diệp lục, trong đó P30 dẫn đầu với hiệu quả vượt trội, đạt $1,60 \pm 0,02$ mg/g FW, tăng 19,05 % so với P5, 4,5 % so với F0 và 17,64 % so với P0 (hình 3.6a). Trong khi đó, ở nhóm PASW kết hợp bổ sung dinh dưỡng (H5 - H30), hàm lượng diệp lục tăng từ 5,14 % ở H5 lên 8,82 % tại H20. Tuy nhiên, tại H25 và H30, hàm lượng này giảm lần lượt 16,91 % và 23,5 2% so với P0, phản ánh sự suy giảm hiệu quả tại các mức hoạt hóa cao. Đặc biệt, mẫu H30 sau 14 ngày biểu hiện màu sắc nhạt hơn đáng kể so với các nghiệm thức khác, cho thấy tác động rõ nét của việc bổ sung dinh dưỡng kết hợp với plasma vượt ngưỡng tối ưu lên khả năng tích lũy sắc tố, như minh họa trong hình 3.5.



Hình 3.6. Sự thay đổi hàm lượng Chlorophyll (mg/ g FW). a) Nuôi trực tiếp trong PASW b) Nuôi trong PASW kết hợp dinh dưỡng, tại các thời điểm 7, 14 ngày sau nuôi. Các chữ cái khác nhau biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức $p < 0,05$.

Ghi chú: P0: nước biển nhân tạo, H0: nước biển nhân tạo chứa 21,5 ppm nitrate và 6,8 ppm phosphate, F0: nước biển nhân tạo chứa 43 ppm nitrate và 13,6 ppm phosphate, P5 - P30: Nuôi trực tiếp trong PASW, H5 - H30: Nuôi trong PASW kết hợp với dinh dưỡng.

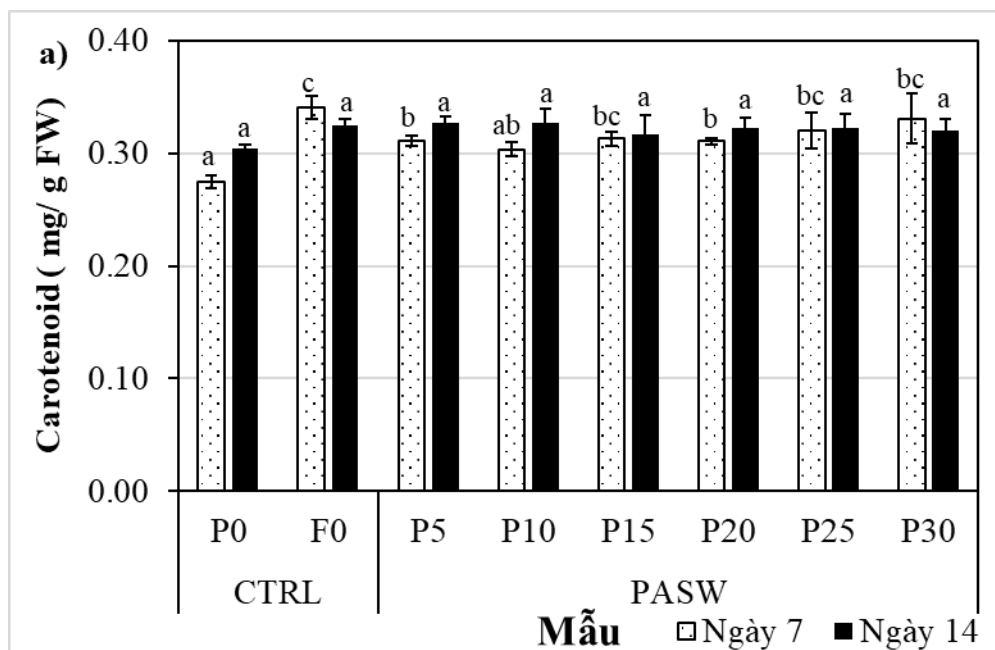
Hàm lượng carotenoid là yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến khả năng quang hợp, thúc đẩy sinh trưởng và bảo vệ tế bào thực vật, đặc biệt là rong nho, trước các tổn thương do stress oxy hóa. Nghiên cứu nhằm đánh giá sự thay đổi hàm lượng

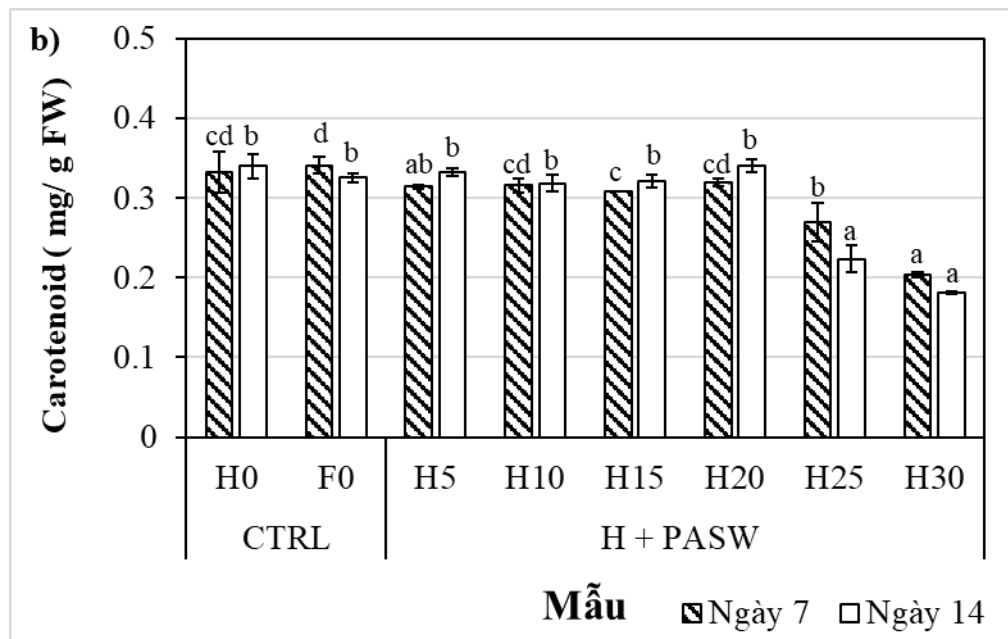
carotenoid trong các nghiệm thức khác nhau khi sử dụng PASW và kết hợp bổ sung dinh dưỡng, tại hai mốc thời gian 7 ngày và 14 ngày.

Như thể hiện ở hình 3.7, sau 7 ngày thí nghiệm (hình 3.7), kết quả cho thấy sự khác biệt đáng kể giữa các nghiệm thức. Trong nhóm PASW, hàm lượng carotenoid tăng theo thời gian hoạt hóa plasma, với P30 đạt mức cao nhất $0,33 \pm 0,01$ mg/g FW, tăng 20,5 % so với P0 ($0,27$ mg/g FW) và vượt qua P25 ($0,32 \pm 0,01$ mg/g FW). Nhóm đối chứng (F0) ghi nhận giá trị vượt trội, đạt $0,34 \pm 0,01$ mg/g FW, tăng 24,2% so với P0, khẳng định sự ổn định cao trong điều kiện không xử lý plasma. Trong khi đó, kết quả của nhóm plasma kết hợp bổ sung dinh dưỡng cho thấy H5 ($0,31$ mg/g FW) và H20 ($0,32 \pm 0,01$ mg/g FW) lần lượt tăng 14,3 % và 16,3 % so với P0, nhưng H30 giảm mạnh xuống $0,20$ mg/g FW, thấp hơn 25,9 % so với P0, kết quả cho thấy tác động tiêu cực khi thời gian xử lý plasma vượt quá ngưỡng thích hợp.

Đến ngày thứ 14, xu hướng gia tăng hàm lượng carotenoid vẫn tiếp tục được duy trì. Trong nhóm PASW, nghiệm thức P30 đạt giá trị cao nhất ở mức $0,33 \pm 0,02$ mg/g FW, tăng 9,0% so với P0 ($0,30 \pm 0,01$ mg/g FW) và cao hơn P25 ($0,32 \pm$ mg/g FW) và P5 ($0,33 \pm 0,01$ mg/g FW, tăng 7,4 % so với P0). Nhóm đối chứng (F0) duy trì hàm lượng ổn định ở mức $0,33 \pm 0,01$ mg/g FW, tăng 6,8 % so với P0 nhưng thấp hơn P30. Ở nhóm plasma kết hợp bổ sung dinh dưỡng, nghiệm thức H20 ($0,34 \pm 0,03$ mg/g FW) ghi nhận mức tăng vượt trội, đạt 11,6 % so với P0. Tuy nhiên, H30 tiếp tục giảm sâu xuống mức $0,18$ mg/g FW, thấp hơn 40,5 % so với P0, nhấn mạnh sự suy giảm rõ rệt khi áp dụng thời gian hoạt hóa plasma quá mức.

Nhìn chung, trong cả hai mốc thời gian, nhóm nuôi trong PASW (P30, P25) và nhóm đối chứng (H0, F0), nhóm plasma kết hợp dinh dưỡng (H5 – H20) cho thấy sự tăng đáng kể hàm lượng carotenoid so với P0.





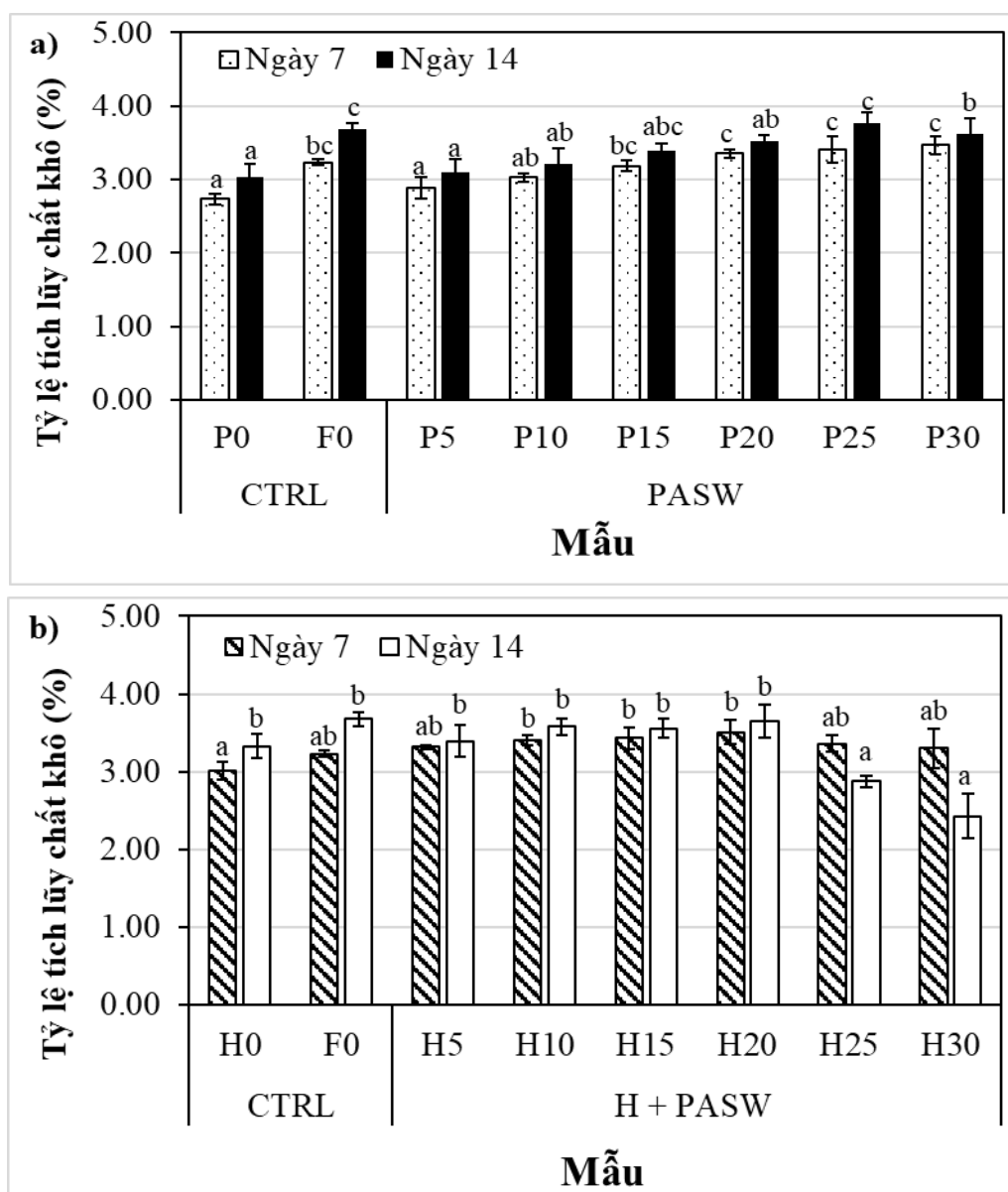
Hình 3.7. Sự thay đổi hàm Carotenoid (mg/g FW). a) Nuôi trực tiếp trong PASW
b) Nuôi trong PASW kết hợp dinh dưỡng, tại các thời điểm 7, 14 ngày sau nuôi.
Các chữ cái khác nhau biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức $p < 0,05$.

Ghi chú: P0: nước biển nhân tạo, H0: nước biển nhân tạo chứa 21,5 ppm nitrate và 6,8 ppm phosphate, F0: nước biển nhân tạo chứa 43 ppm nitrate và 13,6 ppm phosphate, P5 - P30: Nuôi trực tiếp trong PASW, H5 - H30: Nuôi trong PASW kết hợp với dinh dưỡng.

Trong nghiên cứu về sinh trưởng và phát triển của rong nho, tỷ lệ tích lũy chất khô được coi là một yếu tố quan trọng bên cạnh các chỉ số như trọng lượng và tốc độ tăng trưởng. Dựa trên số liệu tại hình 3.8, kết quả cho thấy sự thay đổi tỷ lệ tích lũy chất khô từ 7 ngày đến 14 ngày ở hầu hết các nhóm mẫu.

Sau 7 ngày thí nghiệm, tỷ lệ tích lũy chất khô ở các nghiệm thức cho thấy sự khác biệt rõ rệt. Trong đó nhóm mẫu nuôi trong PASW, tỷ lệ tích lũy chất khô tăng đáng kể theo nồng độ plasma (hình 3.8a). Mẫu P25 đạt mức tăng 10,6 % so với P0 ($2,74 \pm 0,07$ %), đạt $3,41 \pm 0,17$ %, trong khi P30 tăng 12,3 %, lên $3,47 \pm 0,12$ %. Tuy nhiên, đến ngày thứ 14, xu hướng này bắt đầu chậm lại ở P30, chỉ tăng thêm 8,7 % so với ngày thứ 7, trong khi P25 duy trì mức tăng vượt trội với 10,5 %.

Đáng chú ý, việc hoạt hóa nước biển bằng plasma trong 15 phút (P15) mang lại hiệu quả tích lũy chất khô tương đương với nhóm đối chứng F0. Hơn nữa, sự kết hợp giữa hoạt hóa plasma trong 5 phút và giảm một nửa liều dinh dưỡng tiêu chuẩn vẫn đạt hiệu quả cao, với tỷ lệ tăng trưởng vượt trội 9,3 % so với F0 ở ngày thứ 7 (hình 3.8b).



Hình 3.8. Sự thay đổi tỷ lệ tích lũy chất khô (%). a) Nuôi trực tiếp trong PASW
b) Nuôi trong PASW kết hợp dinh dưỡng, tại các thời điểm 7, 14 ngày sau nuôi.
Các chữ cái khác nhau biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức $p < 0,05$.

Ghi chú: P0: nước biển nhân tạo, H0: nước biển nhân tạo chứa 21,5 ppm nitrate và 6,8 ppm phosphate, F0: nước biển nhân tạo chứa 43 ppm nitrate và 13,6 ppm phosphate, P5 - P30: Nuôi trực tiếp trong PASW, H5 - H30: Nuôi trong PASW kết hợp với dinh dưỡng.

Trong nghiên cứu này, việc xử lý plasma đã được chứng minh không chỉ cải thiện trọng lượng và thúc đẩy phát triển, mà còn nâng cao khả năng tích lũy chất khô cũng như hàm lượng chlorophyll và carotenoid.

Như đề cập trước đó, ngoài là dinh dưỡng thiết yếu cho quá trình sinh trưởng thì nitrogen còn là thành phần cơ bản của diệp lục, tương quan với tốc độ quang hợp, enzyme carboxyl hóa và màng protein. Do đó, nó được xem là thành phần chính của

PASW, thúc đẩy tăng sinh khối và khả năng quang hợp. Nghiên cứu của Kučerová và cộng sự (2021) đã chứng minh rằng cả nitrate và hydro peroxide đều góp phần vào tốc độ quang hợp và tăng trưởng sinh khối [59]. Ngoài ra, Nitrogen tham gia vào việc tổng hợp các enzyme liên quan đến quang hợp, như Rubisco, enzyme quan trọng trong chu trình Calvin. Điều này giúp cây sử dụng ánh sáng và CO₂ hiệu quả hơn [93,94].

Bên cạnh vai trò của các loài phản ứng nitrogen (Reactive Nitrogen Species - RNS), các loài phản ứng oxy (Reactive Oxygen Species - ROS) cũng tác động mạnh mẽ đến việc điều hòa hormone tăng trưởng thông qua các con đường tín hiệu và biểu hiện gen. Chẳng hạn, H₂O₂ kích thích phiên mã protein brassinosteroid (BR) và tương tác với yếu tố đáp ứng auxin ARF6, làm tăng hoạt động của auxin. Điều này góp phần kích hoạt sự hình thành và phát triển rễ bên, từ đó gia tăng khả năng hấp thu nước và dinh dưỡng.

Tuy nhiên khi nồng độ nitrate, H₂O₂ tăng cao có thể làm mất diệp lục và màu sắc ở rong nho do phản ứng với stress oxy hóa, thông qua quá trình dephytyl hóa diệp lục [9]. Đồng thời, sự thiếu hụt nitrogen có thể gây ra sự giảm hàm lượng chlorophyll và carotenoid [85]. Hơn nữa, các chất oxy hóa trong plasma có thể tác động tiêu cực đến chuỗi polyene không bão hòa trong carotenoid, khiến chúng dễ bị phá vỡ. Phản ứng này, thường liên quan đến cơ chế cộng vòng, dẫn đến sự phân hủy carotenoid thành các sản phẩm thứ cấp như carbonyl, epoxit, hydroxyaldehyd và ketone. Những tổn thương này ảnh hưởng nghiêm trọng đến trao đổi chất và các quá trình sinh lý quan trọng trong thực vật [95].

Trong nghiên cứu Guo và cộng sự (2014), khả năng quang hợp của hệ thống quang hợp II (PSII) bị ức chế khi nuôi trồng rong nho ở mức dinh dưỡng cao. Điều này xảy ra khi nồng độ NO₃⁻-N lớn hơn 1,0 mmol/L (62 ppm) và khi nồng độ PO₄⁻-P ở mức 0,4 mmol/L [96]. Trong một nghiên cứu khác, hệ thống PSII của các loài tảo thuộc Chlorophyta cho thấy sự suy giảm khi tiếp xúc với H₂O₂ ở nồng độ 0,5 mM (17 ppm) [97]. Đồng thời, việc bổ sung từ 1 mM H₂O₂ gây ra sự giảm 80% quá trình quang hợp, trong khi không thấy tác dụng ở nồng độ 0,1 mM trên đối tượng *U. rigida* [98]. Trong nghiên cứu này, nồng độ H₂O₂ trong khoảng 0 đến 2,25 mg/L, cùng với nồng độ NO₃⁻ ở mẫu H30 khi xử lý plasma và bổ sung dinh dưỡng đạt 55 ppm, vượt ngưỡng tối ưu theo nghiên cứu của Guo và cộng sự (2015). Điều này cho thấy kết quả H25 và H30 có thể do ngộ độc nitrogen trong quá trình nuôi trồng.

Những tác động tích cực của việc xử lý bằng nước hoạt hóa plasma (PAW) đối với trọng lượng khô, hàm lượng chlorophyll, carotenoid đã được chứng minh ở nhiều đối tượng khác nhau. Trong nghiên cứu của Ling và cộng sự, sự gia tăng trọng

lượng khô của thân và rễ (lần lượt là 21,95 % và 27,51 %) của cây đậu tương so với nhóm đối chứng không xử lý [110]. Tương tự, Kučerová và cộng sự đã ghi nhận hàm lượng diệp lục của lúa mì tăng 17 % sau khi cây được tưới bằng PAW hoạt hóa trong 2 phút mL/1 [73]. Manniruzzaman và cộng sự (2017) cũng ghi nhận hiệu quả tích cực của PAW đối với hàm lượng diệp lục ở cây lúa mì [93]. Trong nghiên cứu về cây *Solanum lycopersicum*, PAW30 làm tăng tổng lượng chlorophyll hơn 20%. Ngược lại, PAW60 gây giảm hàm lượng chlorophyll tổng so với đối chứng, chủ yếu do sự suy giảm chlorophyll a. Hiện tượng này được lý giải bởi sự khởi phát của trạng thái căng thẳng hoặc tác động độc tính từ các loài oxy phản ứng và nitơ (RONS) [25]. Hay vào năm 2019, Seema và cộng sự đã nghiên cứu ảnh hưởng PAW đến vi tảo, kết quả cũng cho thấy các gốc ROS thúc đẩy năng suất sinh khối và chlorophyll. Cụ thể ở mẫu xử lý với PAW (nước plasma hoạt hóa năng suất sinh khối là 311 ± 58 mg/l trong khi đó nước khử khoáng (DM water) gần 10 ± 5 mg/l hay mẫu dung dịch PAW (nước plasma hoạt hóa) nồng độ diệp lục tăng từ 0,9 mg/l vào ngày 1 lên 7 ± 2 mg/l vào ngày thứ 6 [76].

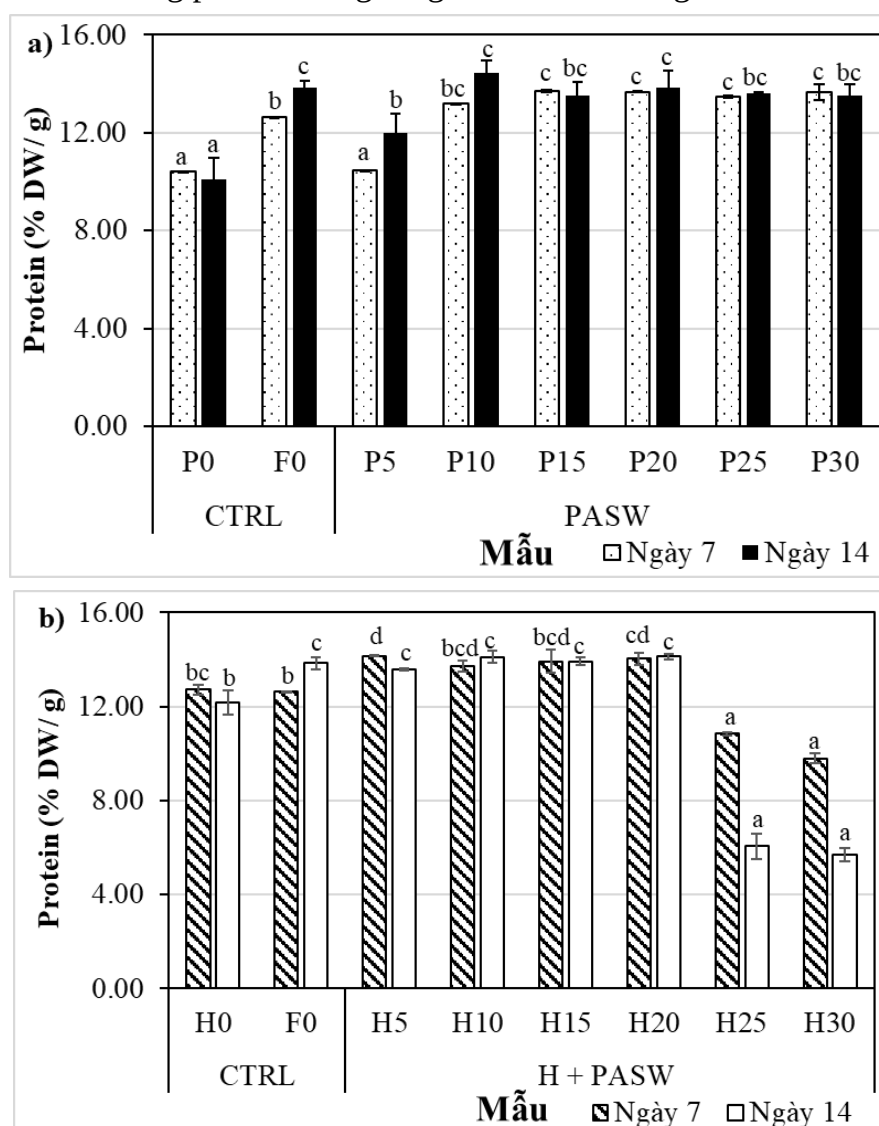
Nghiên cứu này cho thấy xử lý *C. lentillifera* bằng nước biển hoạt hóa plasma (PASW) trong khoảng thời gian 20–30 phút mang lại hiệu quả tích cực trong việc tăng hàm lượng chlorophyll, carotenoid và tỷ lệ tích lũy chất khô. Hơn nữa, khi kết hợp với việc cung cấp một nửa lượng dinh dưỡng thông thường, cây phát triển tốt hơn đồng thời giảm được thời gian hoạt hóa plasma. Ngược lại, kéo dài thời gian xử lý plasma có thể gây suy giảm các chỉ số trên. Những kết quả này cũng cho thấy PASW có tiềm năng được sử dụng như một nguồn nitrogen “xanh” thay thế trong nuôi trồng rong nho.

3.3. TÁC ĐỘNG CỦA PASW ĐẾN SỰ BIẾN ĐỔI HÀM LƯỢNG CÁC HỢP CHẤT SINH HỌC TRONG RONG NHO

3.3.1. Hàm lượng protein

Ảnh hưởng PASW đến một số hợp chất trong rong nho sau 7, 14 ngày nuôi cũng được đánh giá thông qua việc phân tích hàm lượng protein, TPC và TFC. Như thể hiện ở hình 3.9, không chỉ cải thiện sinh khối, hàm lượng protein cũng gia tăng đáng ở các mẫu ở nhóm plasma và nhóm bổ sung dinh dưỡng kết hợp với xử lý plasma. Cụ thể, trong nhóm đối chứng (Ctrl), P0 cho thấy mức độ thay đổi thấp nhất (10,39 % sau 7 ngày và 10,10 % sau 14 ngày). Trong khi đó, khi bổ sung 1/2 dinh dưỡng (H0) làm tăng mức độ thay đổi lên khoảng 1,2 lần (22,24 % sau 7 ngày và 20,38 % sau 14 ngày) và 100 % dinh dưỡng (F0) mang lại kết quả tốt nhất, với mức thay đổi tăng lên gần 1,2 lần (21,48 % sau 7 ngày và 36,88 % sau 14 ngày) so với mẫu P0. Nhóm PASW (P5 - P30) cho thấy mức độ thay đổi tăng dần theo thời gian

xử lý, chứng tỏ tác động tích lũy của PASW, với P30 đạt kết quả tốt nhất, tăng khoảng 1,31 lần (31,39 % sau 7 ngày và 33,53 % sau 14 ngày) so mẫu P0, như thể hiện ở hình 3.9a. Tuy nhiên, nhóm H+PASW (H5-H30) cho thấy hiệu quả vượt trội, với H15 (13,910 % DW/ g sau 7 ngày và 13,917 % DW/ g sau 14 ngày) và H20 (14,023 % DW/ g sau 7 ngày và tăng khoảng 0,63 % sau 14 ngày). Tuy nhiên, thời gian xử lý quá dài (H25 và H30) lại dẫn đến giảm hàm lượng protein (10,83 - 9,79 % DW/ g sau 7 ngày và 6,04 - 5,69 sau 14 ngày), giảm xuống dưới mức ban đầu. Hơn nữa, hàm lượng protein thô *C. lentillifera* trong nghiên cứu dao động từ 5.20 - 15.77 % tương đương với các phạm vi từ 12,5 đến 14,76 % được báo cáo của Syakilla và cộng sự (2022) [94]. Hơn nữa, các giá trị này về cơ bản giống với các giá trị được báo cáo bởi Tang và cộng sự, với 9,22 % protein thô [102]. Vào năm 2025, Zhou và các cộng sự đã xác định hàm lượng protein trong rong nho ở Nha Trang là 12,53% [103].



Hình 3.9. Hàm lượng Protein (% DW/g). a) Nuôi trực tiếp trong PASW b) Nuôi trong PASW kết hợp dinh dưỡng, tại các thời điểm 7, 14 ngày sau nuôi. Các chữ cái khác nhau biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức $p < 0,05$.

Ghi chú: P0: nước biển nhân tạo, H0: nước biển nhân tạo chứa 21.5 ppm nitrate và 6.8 ppm phosphate, F0: nước biển nhân tạo chứa 43 ppm nitrate và 13.6 ppm phosphate, P5 - P30: Nuôi trực tiếp trong PASW, H5 - H30: Nuôi trong PASW kết hợp với dinh dưỡng.

3.3.2. Hàm lượng phenolic tổng và hàm lượng flavonoid

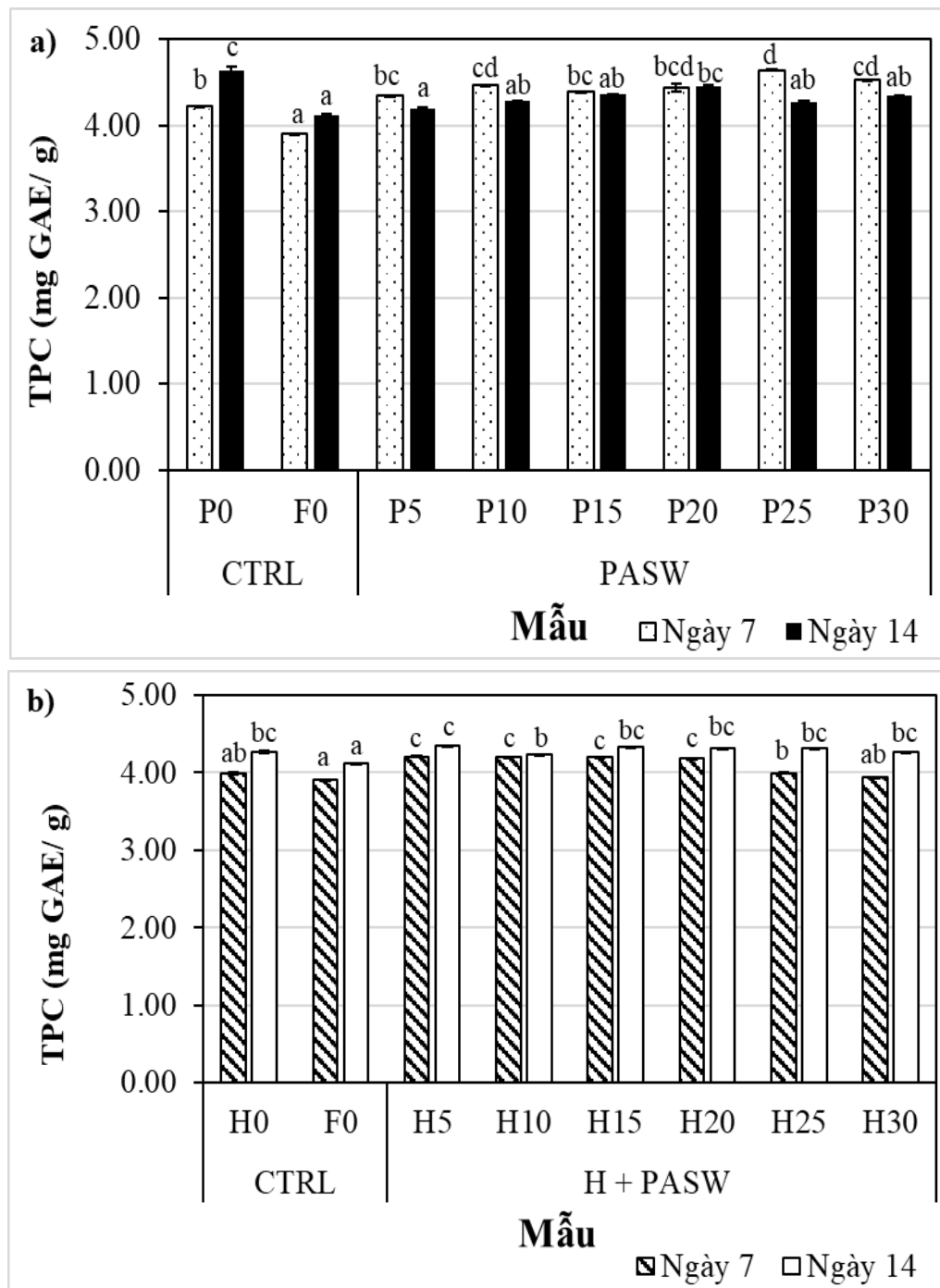
Hợp chất phenolic và flavonoid, được biết đến với hoạt tính sinh học cao và lợi ích sức khỏe đa dạng hiện diện phong phú trong rong biển. Các hợp chất này đóng vai trò quan trọng trong việc bảo vệ rong biển khỏi stress oxy hóa thông qua khả năng chống oxy hóa mạnh mẽ, giúp cân bằng các gốc tự do nội sinh, trong đó phenolic đóng vai trò chủ đạo. Stress oxy hóa có thể xảy ra ở rong nho do môi trường sống nghèo dinh dưỡng hoặc do tiếp xúc với các chất oxy hóa trong PASW, dẫn đến sự gia tăng nồng độ ROS (các gốc oxy hóa tự do). Kết quả tương tự cũng được thấy trong nghiên cứu của Kučerová và cộng sự (2021) khi SOD mẫu đối chứng cao hơn so với mẫu được xử lý với plasma [59].

Theo nghiên cứu của Bhawana và cộng sự, khi lượng ROS nội sinh tăng lên lúc này hệ thống phòng thủ của cây sẽ được kích hoạt (phản ứng stress oxy hóa) và các enzyme quan trọng như SOD, POD và CAT đóng vai trò chính trong hệ thống phòng thủ này. Là tuyến phòng thủ đầu tiên chống lại ROS, SOD đóng vai trò quan trọng trong việc ngăn ngừa tình trạng sản xuất quá mức ROS. Cụ thể, SOD có thể xúc tác O_2 thành H_2O_2 (hydro peroxide). Sau đó, H_2O_2 và NO (nitric oxide) tương tác với nhau để điều chỉnh việc sản xuất phytohormone (hormone thực vật) trong tế bào [104]. Các phytohormone này, bao gồm SA, JA, ethylene và brassinosteroid, kích hoạt hệ thống phòng thủ SAR (tính kháng hệ thống được hoạt hóa). Ví dụ, JA, một phytohormone phòng vệ, được tạo ra thông qua các con đường octadecanoid, sử dụng axit linolenic làm tiền chất. JA thúc đẩy quá trình tổng hợp flavonoid và các hợp chất phenolic khác. Khi JA được kích thích quá trình tổng hợp flavonoid và phenolic trong thực vật sẽ tăng lên [105]. Bên cạnh đó, hàm lượng phenolic và flavonoid trong thực vật có thể giảm do sự mất tính toàn vẹn màng tế bào do stress oxy hóa quá mức [22,106]. Một số loại rong biển đã được xác nhận chứa các phytohormone như SA, JA, ethylene và brassinosteroid [107] – từ đó đưa ra giả thuyết rằng PASW có khả năng tác động đến rong nho thông qua cơ chế tương tự như ở thực vật bậc cao.

Dựa trên hình 3.10 và 3.11, xu hướng biến đổi hàm lượng phenolic và flavonoid được ghi nhận là khá đồng nhất. Sau 7 ngày, hàm lượng TPC và TFC trong các nhóm xử lý plasma và H + plasma có sự gia tăng nhẹ so với mẫu P0. Cụ thể, mẫu P0 có hàm lượng TPC là $4,64 \pm 0,21$ mg GAE/g và TFC là $3,94 \pm 0,13$ mg QE/g, cao hơn so với mẫu F0 (lần lượt đạt $4,12 \pm 0,02$ mg GAE/g và $2,32 \pm 0,14$ mg QE/g).

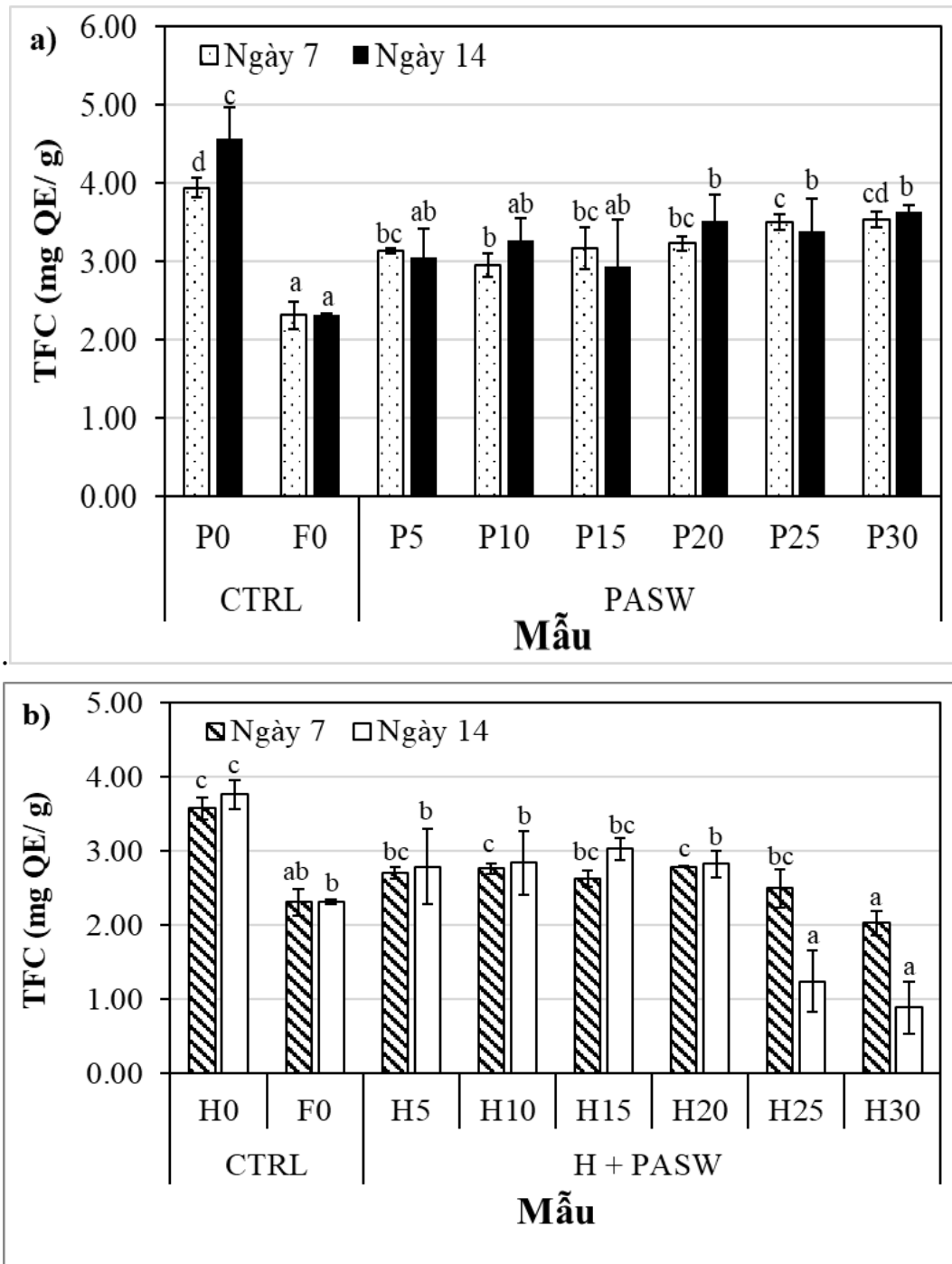
Đối với nhóm PASW, mẫu P30 ghi nhận hàm lượng TPC và TFC lần lượt là $4,35 \pm 0,03$ mg GAE/g và $3,54 \pm 0,10$ mg QE/g, cao hơn $\sim 1,03$ lần và thấp hơn $\sim 0,90$ lần so với mẫu P0 (hình 3.10 và 3.11a). Trong nhóm H+PASW, ở mẫu H5 với TPC đạt $4,21 \pm 0,04$ mg GAE/g và TFC ở mức $2,71 \pm 0,77$ mg QE/g, cũng như mẫu H20, với TPC và TFC lần lượt là $4,18 \pm 0,02$ mg GAE/g và $2,79 \pm 0,01$ mg QE/g. Đồng thời, mẫu H30 lại có hàm lượng TPC và TFC thấp nhất trong các nhóm. Xu hướng biến đổi này được quan sát rõ ràng ở cả hàm lượng TPC và TFC sau 14 ngày (hình 3.10 và 3.11b).

Kết quả của nghiên cứu này có sự tương đồng với Fan và cộng sự (2020) khi TPC và TFC ở mẫu PAW15 tăng đáng kể lần lượt là 3,53 % và 2,22 % ($p < 0,05$), so với nhóm đối chứng. Tuy nhiên, khi thời gian tiếp xúc với plasma kéo dài đến 90 giây (PAW90), hàm lượng tổng phenolic và flavonoid giảm đáng kể xuống còn 3,68 mg GAE/g DW và 1,72 mg RE/g DW, thấp hơn so với mẫu trồng trong nước cất [22]. Theo nghiên cứu của Mildaziene và cộng sự (2018) cho thấy sự gia tăng đáng kể các acid phenolic (cichoric acid, caftaric acid và chlorogenic acid), vitamin C và hoạt động dọn gốc tự do của hạt hoa nón tím sau một thời gian ngắn xử lý với hoạt hóa plasma, điều này có thể có lợi để cải thiện phản ứng phòng vệ chống lại các điều kiện bất lợi [108]. Ngoài ra, Chen và cộng sự (2019) cũng chỉ ra rằng việc điều chỉnh quá trình chuyển hóa phenolic đóng vai trò như một phản ứng đối với tổn thương oxy hóa do căng thẳng kim loại nặng gây ra [109]. Bên cạnh đó, ozone phân tử có thể làm suy giảm các hợp chất phenolic thông qua việc phá vỡ các vòng thơm của chúng [110]. Sự biến tính của enzyme phenylalanine ammonialyase, vốn là yếu tố chính trong quá trình tổng hợp phenolic, cũng được cho là nguyên nhân khiến tác động của plasma lạnh đối với TPC và TFC suy giảm [111].



Hình 3.10. Hàm lượng TPC (mg GAE/ g DW). a) Nuôi trực tiếp trong PASW
b) Nuôi trong PASW kết hợp dinh dưỡng, tại các thời điểm 7, 14 ngày sau nuôi.
Các chữ cái khác nhau biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức $p < 0,05$.

Ghi chú: P0: nước biển nhân tạo, H0: nước biển nhân tạo chứa 21,5 ppm nitrate và 6,8 ppm phosphate, F0: nước biển nhân tạo chứa 43 ppm nitrate và 13,6 ppm phosphate, P5 - P30: Nuôi trực tiếp trong PASW, H5 - H30: Nuôi trong PASW kết hợp với dinh dưỡng.



Hình 3.11. Hàm lượng TFC (mg QE/g DW). a) Nuôi trực tiếp trong PASW b) Nuôi trong PASW kết hợp dinh dưỡng, tại các thời điểm 7, 14 ngày sau nuôi. Các chữ cái khác nhau biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức $p < 0,05$.

Ghi chú: P0: nước biển nhân tạo, H0: nước biển nhân tạo chứa 21,5 ppm nitrate và 6,8 ppm phosphate, F0: nước biển nhân tạo chứa 43 ppm nitrate và 13,6 ppm phosphate, P5 - P30: Nuôi trực tiếp trong PASW, H5 - H30: Nuôi trong PASW kết hợp với dinh dưỡng.

Nhìn chung, việc ứng dụng PASW đã mang lại những tác động tích cực đáng kể đối với sự phát triển của rong nho (*Caulerpa lentillifera*). Đặc biệt, khi kết hợp

PASW với việc bổ sung dinh dưỡng, hiệu quả này càng được nâng cao rõ rệt, chứng tỏ sự hiệp đồng mạnh mẽ giữa hai phương pháp. Cụ thể, các chỉ số quan trọng như hàm lượng protein, TPC, TFC và diệp lục đều ghi nhận sự gia tăng đáng kể ở các mẫu rong nho được xử lý. Điều này cho thấy rằng PASW không chỉ thúc đẩy sự tăng trưởng về mặt sinh khối mà còn cải thiện đáng kể các hợp chất sinh học có giá trị trong rong nho.

Trong đó, nhóm H + PASW (H5-H20) (nhóm kết hợp bổ sung dinh dưỡng và xử lý plasma) cho thấy hiệu quả vượt trội hơn so với các nhóm xử lý riêng lẻ. Điều này khẳng định rằng việc kết hợp hai phương pháp này đã tạo ra một môi trường tối ưu, giúp rong nho phát triển mạnh mẽ và tích lũy các hợp chất sinh học một cách hiệu quả nhất, đồng thời giảm lượng hóa chất vô cơ.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Kết luận

Từ các kết quả phân tích trong nghiên cứu này một số kết luận được đưa ra như sau:

- Đã xây dựng thành công hệ plasma DBD sử dụng không khí cho việc chế tạo nước biển hoạt hóa plasma. Bên cạnh đó, một số đặc tính lý hóa của PASW cũng được phân tích với hàm lượng NO_2^- , NO_3^- , H_2O_2^- , O_3 tăng dần theo thời gian hoạt hóa, trong khi vẫn duy trì độ pH nằm trong khoảng thuận lợi cho sự phát triển của *Caulerpa lentillifera*.
- Việc kết hợp xử lý plasma với bổ sung dinh dưỡng là phương pháp hiệu quả nhằm thúc đẩy sự tăng trưởng và phát triển rong nho, thể hiện qua các chỉ số như tăng trọng lượng, tốc độ tăng trưởng, tích lũy chất khô, đồng thời duy trì hàm lượng chlorophyll và carotenoid, trong đó mẫu H20 cho kết quả vượt trội. Bên cạnh đó, việc nuôi trồng trong PASW kết hợp bổ sung dinh dưỡng giúp giảm lượng nitơ từ phân bón vô cơ trong quá trình nuôi trồng, tiết kiệm thời gian và công suất khi vận hành hệ thống. Đồng thời nhấn mạnh vai trò thiết yếu của nitrogen và các gốc oxy phản ứng (RONS) trong điều tiết các quá trình trao đổi chất và quang hợp.
- Nuôi trồng trong PASW hoặc PASW kết hợp dinh dưỡng đã chứng minh tác động tích cực đến hàm lượng một số hợp chất hữu cơ như protein tổng, phenolic tổng và flavonoid, thông qua cơ chế kích hoạt quá trình stress oxy hóa ở cây. Hiệu quả ổn định được ghi nhận ở các mẫu xử lý plasma kết hợp bổ sung dinh dưỡng trong khoảng thời gian 15–20 phút, với hàm lượng protein tăng lên đến 2,3 lần so với đối chứng, cùng với sự gia tăng hàm lượng flavonoid và phenolic theo thời gian xử lý.
- Tuy nhiên, nghiên cứu cũng chỉ ra rằng nồng độ nitrogen quá cao hoặc thời gian xử lý plasma kéo dài quá mức có thể gây stress oxy hóa, làm suy giảm khả năng quang hợp và ảnh hưởng tiêu cực đến sự tăng trưởng của rong nho, đồng thời dẫn đến hiện tượng màu sắc nhạt hơn và giảm hàm lượng các hợp chất hữu cơ, cụ thể ở mẫu H25 và H30.

Kiến nghị

Để đạt hiệu quả cao, nghiên cứu có một số kiến nghị sau:

- Khảo sát thêm một số chỉ tiêu như enzyme, cacbonhydrat, một số hợp chất khác để hiểu rõ cơ chế tác động và đáp ứng của cây trong điều kiện thí nghiệm này.
- Khảo sát tác động đơn lẻ của nitrate, hydro peroxide và ozon những thành phần hiện diện trong PASW để hiểu vai trò độc lập của các yếu tố này đến quá trình sinh trưởng và phát triển của rong nho.
- Xây dựng quy trình nuôi trồng rong nho dựa trên PASW để phát triển sản phẩm quy mô công nghiệp với chi phí thấp, hiệu quả cao và thân thiện với môi trường.
- Thử nghiệm PASW trên các loài rong biển khác hoặc thực vật thủy sinh nhằm đánh giá tiềm năng ứng dụng rộng rãi hơn của phương pháp này.
- Tăng thời gian nuôi để so sánh các phương pháp nuôi truyền thống (thu hoạch).
- Khảo sát dư lượng nitrate để xác nhận tính an toàn PASW đến sản phẩm cuối cùng.

DANH MỤC TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Stankus A. 2021. State of world aquaculture 2020 and regional reviews: FAO webinar series. *FAO aquaculture newsletter* **63**: 17–18.
2. Chopin T, Tacon AGJ. 2021. Importance of Seaweeds and Extractive Species in Global Aquaculture Production. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture* **29**: 139–148.
3. Cai J, Lovatelli A, Aguilar-Manjarrez J, Cornish L, Dabbadie L, Desrochers A, *et al.* 2021. Seaweeds and microalgae: an overview for unlocking their potential in global aquaculture development. *FAO Fisheries and Aquaculture Circular*.
4. Nguyen VT, Ueng JP, Tsai GJ. 2011. Proximate Composition, Total Phenolic Content, and Antioxidant Activity of Seagrass (*Caulerpa lentillifera*). *J Food Sci* **76**: C950–C958.
5. Paul NA, Neveux N, Magnusson M, de Nys R. 2014. Comparative production and nutritional value of ‘sea grapes’ - the tropical green seaweeds *Caulerpa lentillifera* and *C. racemosa*. *J Appl Phycol* **26**: 1833–1844.
6. Estrada JL, Bautista NS, Dionisio-Sese ML. 2020. Morphological variation of two common sea grapes (*Caulerpa lentillifera* and *Caulerpa racemosa*) from selected regions in the Philippines. *Biodiversitas* **21**: 1823–1832.
7. Dimar Herfano Akbar R, Andriyono S. 2024. Study of Bioaccumulation of Heavy Metals Mercury (Hg) and Tin (Sn) in Traditional Seaweed (*Caulerpa racemosa*) Cultivation in Brondong, Lamongan. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci* **1392**: 012023.
8. Zhang L, Liao W, Huang Y, Wen Y, Chu Y, Zhao C. 2022. Global seaweed farming and processing in the past 20 years. *Food Production, Processing and Nutrition* 2022 **4**: 1–29.
9. Stuthmann LE, Achuthan R, Pribbernow M, Du HT, Springer K, Kunzmann A. 2022. Improving the nutritional value of edible *Caulerpa lentillifera* (Chlorophyta) using high light intensities. A realistic tool for sea grape farmers. *Algal Res* **66**: 102785.
10. Guo H, Yao J, Sun Z, Duan D. 2015. Effects of salinity and nutrients on the growth and chlorophyll fluorescence of *Caulerpa lentillifera*. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology* **33**: 410–418.
11. Hu R, Fan Z, Chen S, - al, Hillary Kesaulya G, Jane Pattiasina B, *et al.* 2024. The Effect of Different Concentration of Liquid Organic Fertilizer on the Growth of Sea Grape (*Caulerpa lentillifera*). *IOP Conf Ser Earth Environ Sci* **1329**: 012011.

12. Sia GMM, Teoh CY, Junus S. 2024. Effect of salinity and fertilization on the growth and sensory attributes of sea grapes, *Caulerpa lentillifera*. *Aquac Rep* **36**: 102165.
13. Windarto S, Susilowati T, Haditomo AHC, Harwanto D. 2024. Effect of exogenous natural plant growth regulators (PGRs) on the morphology, growth, and nutrient of sea grapes (*Caulerpa racemosa*). *Aquaculture International* **32**: 3545–3562.
14. Kang LK, Huang YJ, Lim WT, Hsu PH, Hwang PA. 2020. Growth, pigment content, antioxidant activity, and phytoene desaturase gene expression in *Caulerpa lentillifera* grown under different combinations of blue and red light-emitting diodes. *J Appl Phycol* **32**: 1971–1982.
15. Ashurbekov NA, Isaeva ZM, Rabadanov KM, Shakhshinov GS, Murtazaeva AA, Israpov EK. 2021. Investigation of the role of chemically active radicals in the antibacterial properties of a low-temperature plasma jet at ambient pressure mixed with argon and air. *J Phys Conf Ser* **2064**: 012109.
16. Kim CK, Kim H, Kim HJ, Cho S Bin. 2022. Antibacterial and anticandidal effects of atmospheric-pressure, non-thermal, nitrogen- and argon-plasma pulses. *Dermatol Ther* **35**: e15222.
17. Laroque DA, Seó ST, Valencia GA, Laurindo JB, Carciofi BAM. 2022. Cold plasma in food processing: Design, mechanisms, and application. *J Food Eng* **312**: 110748.
18. Bruggeman P, Walsh JL, Schram DC, Leys C, Kong MG. 2009. Time dependent optical emission spectroscopy of sub-microsecond pulsed plasmas in air with water cathode. *Plasma Sources Sci Technol* **18**: 045023.
19. Yoshida T. 1998. Marine algae of Japan.
20. Stoleru V, Burlica R, Mihalache G, Dirlau D, Padureanu S, Teliban GC, *et al.* 2020. Plant growth promotion effect of plasma activated water on *Lactuca sativa* L. cultivated in two different volumes of substrate. *Scientific Reports* **2020 10:1** **10**: 1–13.
21. Rathore V, Tiwari BS, Nema SK. 2022. Treatment of Pea Seeds with Plasma Activated Water to Enhance Germination, Plant Growth, and Plant Composition. *Plasma Chemistry and Plasma Processing* **42**: 109–129.
22. Fan L, Liu X, Ma Y, Xiang Q. 2020. Effects of plasma-activated water treatment on seed germination and growth of mung bean sprouts. *Journal of Taibah University for Science* **14**: 823–830.

23. Jirešová J, Scholtz V, Julák J, Šerá B. 2022. Comparison of the Effect of Plasma-Activated Water and Artificially Prepared Plasma-Activated Water on Wheat Grain Properties. *Plants* 2022, Vol. 11, Page 1471 **11**: 1471.
24. Rathore V, Nema SK. 2024. Investigating the Role of Plasma-Activated Water on the Growth of Freshwater Algae *Chlorella Pyrenoidosa* and *Chlorella Sorokiniana*. *Plasma Chemistry and Plasma Processing* **44**: 367–391.
25. Adhikari B, Adhikari M, Ghimire B, Park G, Choi EH. 2019. Cold Atmospheric Plasma-Activated Water Irrigation Induces Defense Hormone and Gene expression in Tomato seedlings. *Scientific Reports* 2019 9:1 **9**: 1–15.
26. Gao Y, Francis K, Zhang X. 2022. Review on formation of cold plasma activated water (PAW) and the applications in food and agriculture. *Food Research International* **157**: 111246.
27. Pipliya S, Kumar S, Babar N, Srivastav PP. 2023. Recent trends in non-thermal plasma and plasma activated water: Effect on quality attributes, mechanism of interaction and potential application in food & agriculture. *Food Chemistry Advances* **2**: 100249.
28. Bradu C, Kutasi K, Magureanu M, Puač N, Živković S. 2020. Reactive nitrogen species in plasma-activated water: generation, chemistry and application in agriculture. *J Phys D Appl Phys* **53**: 223001.
29. Coneva V, Chitwood DH. 2015. Plant architecture without multicellularity: Quandaries over patterning and the soma-germline divide in siphonous algae. *Front Plant Sci* **6**: 139418.
30. Guo H, Yao J, Sun Z, Duan D. 2015. Effects of salinity and nutrients on the growth and chlorophyll fluorescence of *Caulerpa lentillifera*. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology* **33**: 410–418.
31. Holdt SL, Kraan S. 2011. Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation. *Journal of Applied Phycology* 2011 23:3 **23**: 543–597.
32. Pereira L. 2011. A review of the nutrient composition of selected edible seaweeds. *Seaweed: Ecology, nutrient composition and medicinal uses* **7**: 15–47.
33. Gill SK, Rossi M, Bajka B, Whelan K. 2020. Dietary fibre in gastrointestinal health and disease. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology* 2020 18:2 **18**: 101–116.
34. Rajapakse N, Kim SK. 2011. Nutritional and Digestive Health Benefits of Seaweed. *Adv Food Nutr Res* **64**: 17–28.

35. Peñalver R, Lorenzo JM, Ros G, Amarowicz R, Pateiro M, Nieto G. 2020. Seaweeds as a Functional Ingredient for a Healthy Diet. *Marine Drugs* 2020, Vol. 18, Page 301 **18**: 301.
36. Ortiz J, Uquiche E, Robert P, Romero N, Quitral V, Llantén C. 2009. Functional and nutritional value of the Chilean seaweeds *Codium fragile*, *Gracilaria chilensis* and *Macrocystis pyrifera*. *European Journal of Lipid Science and Technology* **111**: 320–327.
37. Ortiz J, Romero N, Robert P, Araya J, Lopez-Hernández J, Bozzo C, *et al.* 2006. Dietary fiber, amino acid, fatty acid and tocopherol contents of the edible seaweeds *Ulva lactuca* and *Durvillaea antarctica*. *Food Chem* **99**: 98–104.
38. Žuljević A, Antolić B. 2000. Synchronous release of male gametes of *Caulerpa taxifolia* (Caulerpales, Chlorophyta) in the Mediterranean Sea. *Phycologia* **39**: 157–159.
39. Panayotidis P, Žuljević A. 2001. Sexual reproduction of the invasive green alga *Caulerpa racemosa* var. *occidentalis* in the Mediterranean Sea. *Oceanologica Acta* **24**: 199–203.
40. Bast F. 2014. An illustrated review on cultivation and life history of agronomically important seaplants. *Nova Publishers* 39–70.
41. Chen X, Sun Y, Liu H, Liu S, Qin Y, Li P. 2019. Advances in cultivation, wastewater treatment application, bioactive components of *Caulerpa lentillifera* and their biotechnological applications. *PeerJ* **2019**: e6118.
42. Pariyawathee S, Songsangjinda P, Deraxbudsarakom S, Tuntichodok P, Chiayvareesajja S. 2003. Optimum condition of environmental factors for growth of sea grape (*Caulerpa lentillifera*: J. Agardh). *Thai Fish Gaz* **56**: 443–448.
43. Wang PY. 2011. Effects of salinity and light intensity on the growth of *Caulerpa lentillifera*. *Modern Agricultural Science and Technology* **24**: 131–132.
44. Tao CL, Yuan CG, Ruan CX, Chen Q, Lin WX. 2017. Effects of different phytohormones on the growth of *Caulerpa lentillifera*. *Journal of Fuzhou University* **45**: 291–295.
45. Tullberg RM, Nguyen HP, Wang CM. 2022. Review of the Status and Developments in Seaweed Farming Infrastructure. *Journal of Marine Science and Engineering* 2022, Vol. 10, Page 1447 **10**: 1447.

46. Kim JK, Yarish C, Hwang EK, Park M, Kim Y. 2017. Seaweed aquaculture: cultivation technologies, challenges and its ecosystem services. *ALGAE* **32**: 1–13.
47. Zhang L, Liao W, Huang Y, Wen Y, Chu Y, Zhao C. 2022. Global seaweed farming and processing in the past 20 years. *Food Production, Processing and Nutrition* 2022 4:1 **4**: 1–29.
48. Thị N, Anh N, Thị D, Mai T, Ngọc T, Khoa H, *et al.* 2017. Thử nghiệm nuôi trồng rong nho (*Caulerpa lentillifera* J. Agardh, 1837) trong bể với các mật độ và phương thức nuôi trồng khác nhau. *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ* **52**: 113–121.
49. Thị N, Anh N, Vân H, Thu A, Bé N, Và M, *et al.* 2015. Thử nghiệm trồng rong nho (*Caulerpa lentillifera*) trong bể với các dạng rong giống và nền đáy khác nhau. *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ* 101–110.
50. Conrads H, Schmidt M. 2000. Plasma generation and plasma sources. *Plasma Sources Sci Technol* **9**: 441.
51. Donkó Z, Schulze J, Czarnetzki U, Derzsi A, Hartmann P, Korolov I, *et al.* 2012. Fundamental investigations of capacitive radio frequency plasmas: simulations and experiments. *Plasma Phys Control Fusion* **54**: 124003.
52. Kang WS, Park JM, Kim Y, Hong SH. 2003. Numerical study on influences of barrier arrangements on dielectric barrier discharge characteristics. *IEEE Transactions on Plasma Science* **31**: 504–510.
53. Rath S, Kar S. 2025. Microwave atmospheric pressure plasma jet: A review. *Contributions to Plasma Physics* **65**: e202400036.
54. Uhm HS, Lee WM. 1997. An analytical theory of corona discharge plasmas. *Phys Plasmas* **4**: 3117–3128.
55. Domonkos M, Tichá P, Trejbal J, Demo P. 2021. Applications of Cold Atmospheric Pressure Plasma Technology in Medicine, Agriculture and Food Industry. *Applied Sciences* 2021, Vol. 11, Page 4809 **11**: 4809.
56. Subedi DP, Joshi UM, Wong CS. 2017. Dielectric Barrier Discharge (DBD) Plasmas and Their Applications. *Plasma Science and Technology for Emerging Economies: An AAAPT Experience* 693–737.
57. Ansari M, Sharifian M, Ehrampoush MH, Mahvi AH, Salmani MH, Fallahzadeh H. 2021. Dielectric barrier discharge plasma with photocatalysts as a hybrid emerging technology for degradation of synthetic organic compounds in aqueous environments: A critical review. *Chemosphere* **263**: 128065.

58. Al-Sharify ZT, Al-Sharify TA, Al-Obaidy BW, Al-Azawi AM. 2020. Investigative Study on the Interaction and Applications of Plasma Activated Water(PAW). *IOP Conf Ser Mater Sci Eng* **870**: 012042.
59. Kučerová K, Henselová M, Slováková Ľ, Bačovčinová M, Hensel K. 2021. Effect of Plasma Activated Water, Hydrogen Peroxide, and Nitrates on Lettuce Growth and Its Physiological Parameters. *Applied Sciences* 2021, Vol. 11, Page 1985 **11**: 1985.
60. Gao Y, Francis K, Zhang X. 2022. Review on formation of cold plasma activated water (PAW) and the applications in food and agriculture. *Food Research International* **157**: 111246.
61. Milhan NVM, Chiappim W, Sampaio A da G, da Cruz Vegian MR, Pessoa RS, Koga-ito CY. 2022. Applications of Plasma-Activated Water in Dentistry: A Review. *International Journal of Molecular Sciences* 2022, Vol. 23, Page 4131 **23**: 4131.
62. Wang S, Xu D, Qi M, Li B, Peng S, Li Q, *et al.* 2021. Plasma-Activated Water Promotes Wound Healing by Regulating Inflammatory Responses. *Biophysica* 2021, Vol. 1, Pages 297-310 **1**: 297–310.
63. Qiao D, Li Y, Pan J, Zhang J, Tian Y, Wang K. 2022. Effect of Plasma Activated Water in Caries Prevention: The Caries Related Biofilm Inhibition Effects and Mechanisms. *Plasma Chemistry and Plasma Processing* **42**: 801–814.
64. Moradi H, Kim DS, Yang JK, Chang YY, Park SB, Kamranifard T. 2023. Synergy of cold plasma and sulfate radicals in the treatment of dye-contaminated wastewater; mechanistic study of the degradation mechanism using DFT. *Sep Purif Technol* **323**: 124381.
65. Nguyen PTT, Nguyen HT, Tran UNP, Manh Bui H. 2021. Removal of Antibiotics from Real Hospital Wastewater by Cold Plasma Technique. *J Chem* **2021**: 9981738.
66. Chen Z, Li L, Zhang H, Huang Q. 2020. Stimulation of biomass and astaxanthin accumulation in *Haematococcus pluvialis* using low-temperature plasma (LTP). *Bioresour Technol Rep* **9**: 100385.
67. Aceto D, Rotondo PR, Porfido C, Bottiglione B, Paciolla C, Terzano R, *et al.* 2024. Assessing plasma activated water irrigation effects on tomato seedlings. *Front Phys* **12**: 1399910.
68. Laurita R, Gozzi G, Tappi S, Capelli F, Bisag A, Laghi G, *et al.* 2021. Effect of plasma activated water (PAW) on rocket leaves decontamination and

- nutritional value. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* **73**: 102805.
69. Liao X, Su Y, Liu D, Chen S, Hu Y, Ye X, *et al.* 2018. Application of atmospheric cold plasma-activated water (PAW) ice for preservation of shrimps (*Metapenaeus ensis*). *Food Control* **94**: 307–314.
 70. Adhikari B, Adhikari M, Park G. 2020. The Effects of Plasma on Plant Growth, Development, and Sustainability. *Applied Sciences* 2020, Vol. 10, Page 6045 **10**: 6045.
 71. Jiang J, Li J, Dong Y. 2018. Effect of cold plasma treatment on seedling growth and nutrient absorption of tomato. *Plasma Science and Technology* **20**.
 72. Laurita R, Gozzi G, Tappi S, Capelli F, Bisag A, Laghi G, *et al.* 2021. Effect of plasma activated water (PAW) on rocket leaves decontamination and nutritional value. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* **73**: 102805.
 73. Kučerová K, Henselová M, Slováková L, Hensel K. 2019. Effects of plasma activated water on wheat: Germination, growth parameters, photosynthetic pigments, soluble protein content, and antioxidant enzymes activity. *Plasma Processes and Polymers* **16**: 1800131.
 74. Wang J, Cheng JH, Sun DW. 2023. Enhancement of Wheat Seed Germination, Seedling Growth and Nutritional Properties of Wheat Plantlet Juice by Plasma Activated Water. *J Plant Growth Regul* **42**: 2006–2022.
 75. Guo D, Liu H, Zhang X, Xiong C. 2024. Plasma activated-water stimulates aged pepper seeds and promotes seedling growth. *Plasma Processes and Polymers* **21**: 2300173.
 76. Sukhani S, Punith N, Lakshminarayana R, Chanakya H. 2019. Plasma activated water as a source of nitrogen for algae growth. *Adv Mater Lett* **10**: 797–801.
 77. Than HAQ, Pham TH, Nguyen DKV, Pham TH, Khacef A. 2022. Non-thermal Plasma Activated Water for Increasing Germination and Plant Growth of *Lactuca sativa* L. *Plasma Chemistry and Plasma Processing* **42**: 73–89.
 78. Hozák P, Scholtz V, Khun J, Mertová D, Vaňková E, Julák J. 2018. Further Contribution to the Chemistry of Plasma-Activated Water: Influence on Bacteria in Planktonic and Biofilm Forms. *Plasma Physics Reports* **44**: 799–804.
 79. Segedi R, Kelley W. 1964. A new formula for artificial sea water. *US Bureau of Sport Fisheries and Wildlife Research Report* 63 **63**: 17–19.

80. Ghani PK, Harwanto D, Amalia R, Windarto S, Haditomo AHC, Nurhayati D, *et al.* 2023. The Effect of Combination of Coconut Water (*Cocos nucifera*) and Shallot Crude Extract (*Allium cepa* L.) on the Growth of *Caulerpa racemosa*. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci* **1224**: 012001.
81. Sulaimana AS, Yudhistira B, Chang CK, Gavahian M, Yu CC, Hou CY, *et al.* 2022. Optimized Alternating Current Electric Field and Light Irradiance for *Caulerpa lentillifera* Biomass Sustainability—An Innovative Approach for Potential Postharvest Applications. *Sustainability* 2022, Vol. 14, Page 14361 **14**: 14361.
82. Zhai J, Zhang G, Zhang Y, Xu W, Xie R, Ming B, *et al.* 2022. Effect of the Rate of Nitrogen Application on Dry Matter Accumulation and Yield Formation of Densely Planted Maize. *Sustainability* 2022, Vol. 14, Page 14940 **14**: 14940.
83. Harrysson H, Hayes M, Eimer F, Carlsson NG, Toth GB, Undeland I. 2018. Production of protein extracts from Swedish red, green, and brown seaweeds, *Porphyra umbilicalis* Kützinger, *Ulva lactuca* Linnaeus, and *Saccharina latissima* (Linnaeus) J. V. Lamouroux using three different methods. *J Appl Phycol* **30**: 3565–3580.
84. Lowry OH, Rosebrough NJ, Farr AL, Randall RJ. 1951. Protein measurement with the folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry* **193**: 265–275.
85. Ainsworth EA, Gillespie KM. 2007. Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin–Ciocalteu reagent. *Nature Protocols* 2:4 **2**: 875–877.
86. Sasadara MMV, Wirawan IGP. 2021. Effect of extraction solvent on total phenolic content, total flavonoid content, and antioxidant activity of Bulung Sangu (*Gracilaria* sp.) Seaweed. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci* **712**: 012005.
87. Kostya (ken) Ostrikov, Zhou R, Zhou R, Wang P, Xian Y, Mai-Prochnow A, *et al.* 2020. Plasma-activated water: generation, origin of reactive species and biological applications. *J Phys D Appl Phys* **53**: 303001.
88. Thirumdas R, Kothakota A, Annapure U, Siliveru K, Blundell R, Gatt R, *et al.* 2018. Plasma activated water (PAW): Chemistry, physico-chemical properties, applications in food and agriculture. *Trends Food Sci Technol* **77**: 21–31.
89. Julák J, Hujacová A, Scholtz V, Khun J, Holada K. 2018. Contribution to the Chemistry of Plasma-Activated Water. *Plasma Physics Reports* **44**: 125–136.
90. Guo J, Wang J, Xie H, Jiang J, Li C, Li W, *et al.* 2022. Inactivation effects of plasma-activated water on *Fusarium graminearum*. *Food Control* **134**: 108683.

91. Oehmigen K, Hähnel M, Brandenburg R, Wilke C, Weltmann KD, Von Woedtke T. 2010. The Role of Acidification for Antimicrobial Activity of Atmospheric Pressure Plasma in Liquids. *Plasma Processes and Polymers* **7**: 250–257.
92. Ke Z, Peng X, Jia S, Liu S, Zhou X, Ding Y. 2024. Mechanisms underlying the potent antimicrobial effects of plasma-activated seawater (PASW) on fish spoilage bacterium *Shewanella putrefaciens*. *Food Chem* **455**: 140147.
93. Han QY, He ZY, Zhong CS, Wen X, Ni YY. 2022. The optimization of plasma activated water (PAW) generation and the inactivation mechanism of PAW on *Escherichia coli*. *J Food Process Preserv* **46**: e17120.
94. Sarinont T, Katayama R, Wada Y, Koga K, Shiratani M. 2017. Plant Growth Enhancement of Seeds Immersed in Plasma Activated Water. *MRS Adv* **2**: 995–1000.
95. Stuthmann LE, Du HT, Brix da Costa B, Kunzmann A, Springer K. 2024. Sea grape (*Caulerpa lentillifera*) aquaculture in Van Phong Bay, Viet Nam: Evaluation of the post-harvest quality. *J Appl Phycol* **36**: 567–578.
96. Guo H, Yao J, Sun Z, Duan D. 2015. Effect of temperature, irradiance on the growth of the green alga *Caulerpa lentillifera* (Bryopsidophyceae, Chlorophyta). *J Appl Phycol* **27**: 879–885.
97. Zou D, Gao K, Luo H. 2011. Short- and long-term effects of elevated co2 on photosynthesis and respiration in the marine macroalga *hizikia fusiformis* (sargassaceae, phaeophyta) grown at low and high n supplies1. *J Phycol* **47**: 87–97.
98. Zou D, Phycology KG-J of, 2013 undefined. 2012. Thermal Acclimation of Respiration and Photosynthesis in the Marine Macroalga *Gracilaria lemaneiformis* (Gracilariales, Rhodophyta). *Wiley Online Library* **49**: 61–68.
99. Wu H, Xiang W, Ouyang S, Xiao W, Li S, Chen L, *et al.* 2020. Tree growth rate and soil nutrient status determine the shift in nutrient-use strategy of Chinese fir plantations along a chronosequence. *For Ecol Manage* **460**: 117896.
100. Sukhani S, Punith N, Ekatpure A, Salunke G, Manjari M, Harsha R, *et al.* 2021. Plasma-Activated Water as Nitrogen Source for Algal Growth: A Microcosm Study. *IEEE Transactions on Plasma Science* **49**: 551–556.
101. Harrison P, Hurd C. 2001. Nutrient physiology of seaweeds: application of concepts to aquaculture. *Cah Biol Mar* **42**: 71–82.

102. Kiseleva AA, Tarachovskaya ER, Shishova MF. 2012. Biosynthesis of phytohormones in algae. *Russian Journal of Plant Physiology* **59**: 595–610.
103. Arimoto A, Nishitsuji K, Narisoko H, Shoguchi E, Satoh N. 2019. Differential gene expression in fronds and stolons of the siphonous macroalga, *Caulerpa lentillifera*. *Dev Growth Differ* **61**: 475–484.
104. War AR, Paulraj MG, War MY, Ignacimuthu S. 2011. Role of salicylic acid in induction of plant defense system in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Plant Signal Behav* **6**: 1787–1792.
105. Bari R, Jones JDG. 2009. Role of plant hormones in plant defence responses. *Plant Mol Biol* **69**: 473–488.
106. Amorim DS, Amorim IS, Chisté RC, Filho JT, Fernandes FAN, Godoy HT. 2023. Effects of cold plasma on chlorophylls, carotenoids, anthocyanins, and betalains. *Food Research International* **167**: 112593.
107. Guo H, Yao J, Sun Z, Duan D. 2015. Effects of salinity and nutrients on the growth and chlorophyll fluorescence of *Caulerpa lentillifera*. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology* **33**: 410–418.
108. Dummermuth AL, Karsten U, Fisch KM, König GM, Wiencke C. 2003. Responses of marine macroalgae to hydrogen-peroxide stress. *J Exp Mar Biol Ecol* **289**: 103–121.
109. Collén J, Pedersén M, Collén J. 1996. Production, scavenging and toxicity of hydrogen peroxide in the green seaweed *Ulva rigida*. *Eur J Phycol* **31**: 265–271.
110. Li L, Jiang J, Li J, Shen M, He X, Shao H, *et al.* 2014. Effects of cold plasma treatment on seed germination and seedling growth of soybean. *Scientific Reports* 2014 4:1 **4**: 1–7.
111. Maniruzzaman M, Sinclair AJ, Cahill DM, Wang X, Dai XJ. 2017. Nitrate and Hydrogen Peroxide Generated in Water by Electrical Discharges Stimulate Wheat Seedling Growth. *Plasma Chemistry and Plasma Processing* **37**: 1393–1404.
112. Syakilla N, George R, Chye FY, Pindi W, Mantihal S, Wahab NA, *et al.* 2022. A Review on Nutrients, Phytochemicals, and Health Benefits of Green Seaweed, *Caulerpa lentillifera*. *Foods* 2022, Vol. 11, Page 2832 **11**: 2832.
113. Zhou W, Wang Y, Xu R, Tian J, Li T, Chen S. 2025. Comparative Analysis of the Nutrient Composition of *Caulerpa lentillifera* from Various Cultivation Sites. *Foods* **14**: 474.

114. Zhou W, Wang Y, Xu R, Tian J, Li T, Chen S. 2025. Comparative Analysis of the Nutrient Composition of *Caulerpa lentillifera* from Various Cultivation Sites. *Foods* **14**: 474.
115. Alscher RG, Erturk N, Heath LS. 2002. Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants. *J Exp Bot* **53**: 1331–1341.
116. Wasternack C, Hause B. 2013. Jasmonates: biosynthesis, perception, signal transduction and action in plant stress response, growth and development. An update to the 2007 review in *Annals of Botany*. *Ann Bot* **111**: 1021–1058.
117. Xiong L, Feng L, Nie M, Li D, Zhang Z, Liu C, *et al.* 2024. Effect of Plasma-Activated Water (PAW) on the Postharvest Quality of Shepherd's Purse (*Capsella bursa-pastoris*). *Foods* 2024, Vol. 13, Page 703 **13**: 703.
118. Shanab SM, Shalaby EA. 2021. Production of Plant Hormones from Algae and Its Relation to Plant Growth. *Plant Growth-Promoting Microbes for Sustainable Biotic and Abiotic Stress Management* 395–423.
119. Mildaziene V, Pauzaite G, Naucienė Z, Malakauskiene A, Zukiene R, Januskaitiene I, *et al.* 2018. Pre-sowing seed treatment with cold plasma and electromagnetic field increases secondary metabolite content in purple coneflower (*Echinacea purpurea*) leaves. *Plasma Processes and Polymers* **15**: 1700059.
120. Chen S, Wang Q, Lu H, Li J, Yang D, Liu J, *et al.* 2019. Phenolic metabolism and related heavy metal tolerance mechanism in *Kandelia Obovata* under Cd and Zn stress. *Ecotoxicol Environ Saf* **169**: 134–143.
121. Almeida FDL, Cavalcante RS, Cullen PJ, Frias JM, Bourke P, Fernandes FAN, *et al.* 2015. Effects of atmospheric cold plasma and ozone on prebiotic orange juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* **32**: 127–135.
122. Sarangapani C, O'Toole G, Cullen PJ, Bourke P. 2017. Atmospheric cold plasma dissipation efficiency of agrochemicals on blueberries. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* **44**: 235–241.

PHỤ LỤC

Nhóm xử lý với plasma

Descriptives								
		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum
						Lower Bound	Upper Bound	
Weight 7	P0	3	.7127	.18418	.10633	.2551	1.1702	.50
	F0	3	1.6977	.34539	.19941	.8397	2.5557	1.46
	P5	3	.9470	.02107	.01217	.8947	.9993	.93
	P10	3	1.0560	.27480	.15866	.3734	1.7386	.84
	P15	3	1.4660	.04045	.02335	1.3655	1.5665	1.44
	P20	3	1.5613	.08411	.04856	1.3524	1.7703	1.47
	P25	3	1.7783	.02650	.01530	1.7125	1.8442	1.76
	P30	3	1.8143	.16954	.09788	1.3932	2.2355	1.65
	Total	24	1.3792	.42802	.08737	1.1984	1.5599	.50
Weight 14	P0	3	1.2647	.06313	.03645	1.1078	1.4215	1.20
	F0	3	2.1870	.06051	.03493	2.0367	2.3373	2.12
	P5	3	1.3647	.08295	.04789	1.1586	1.5707	1.27
	P10	3	1.5450	.11175	.06452	1.2674	1.8226	1.42
	P15	3	1.8457	.07694	.04442	1.6545	2.0368	1.76
	P20	3	2.2307	.21461	.12391	1.6975	2.7638	1.99
	P25	3	2.5227	.13147	.07591	2.1961	2.8493	2.41
	P30	3	2.6263	.31612	.18251	1.8410	3.4116	2.28
	Total	24	1.9483	.51562	.10525	1.7306	2.1661	1.20
SGR 7	P0	3	.7487	.12148	.07013	.4469	1.0504	.67
	F0	3	1.7300	.20174	.11648	1.2288	2.2312	1.54
	P5	3	.9693	.27097	.15644	.2962	1.6424	.71
	P10	3	1.1363	.43552	.25145	.0545	2.2182	.64
	P15	3	1.5143	.39558	.22839	.5317	2.4970	1.10
	P20	3	1.7617	.30743	.17749	.9980	2.5254	1.41
	P25	3	1.7113	.50560	.29191	.4554	2.9673	1.20
	P30	3	1.9110	.63173	.36473	.3417	3.4803	1.25
	Total	24	1.4353	.52290	.10674	1.2145	1.6561	.64
SGR 14	P0	3	.6767	.18800	.10854	.2097	1.1437	.53
	F0	3	1.7300	.20174	.11648	1.2288	2.2312	1.54
	P5	3	.9237	.31740	.18325	.1352	1.7121	.65
	P10	3	.9050	.20268	.11702	.4015	1.4085	.68
	P15	3	.9813	.20412	.11785	.4743	1.4884	.86
	P20	3	1.1680	.09663	.05579	.9280	1.4080	1.08
	P25	3	1.1723	.26243	.15151	.5204	1.8242	.97

	P30	3	1.2107	.51351	.29648	-.0650	2.4863	.75
	Total	24	1.0960	.37571	.07669	.9373	1.2546	.53
Dry 7	P0	3	2.7343	.07063	.04078	2.5588	2.9097	2.66
	F0	3	3.2304	.04211	.02431	3.1258	3.3350	3.19
	P5	3	2.8820	.14511	.08378	2.5215	3.2425	2.79
	P10	3	3.0252	.05398	.03117	2.8911	3.1593	2.99
	P15	3	3.1822	.07073	.04084	3.0065	3.3579	3.10
	P20	3	3.3521	.06142	.03546	3.1995	3.5047	3.29
	P25	3	3.4084	.17420	.10058	2.9756	3.8411	3.27
	P30	3	3.4687	.12305	.07104	3.1630	3.7744	3.37
	Total	24	3.1604	.26359	.05381	3.0491	3.2717	2.66
Dry 14	P0	3	3.1279	.17463	.10083	2.6941	3.5618	2.99
	F0	3	3.7295	.09455	.05459	3.4947	3.9644	3.65
	P5	3	3.1500	.17814	.10285	2.7074	3.5925	2.94
	P10	3	3.2165	.20928	.12083	2.6966	3.7363	3.01
	P15	3	3.4260	.10016	.05783	3.1772	3.6748	3.31
	P20	3	3.5661	.07535	.04350	3.3789	3.7532	3.50
	P25	3	3.7481	.14513	.08379	3.3876	4.1086	3.63
	P30	3	3.6208	.21220	.12251	3.0937	4.1479	3.41
	Total	24	3.4481	.27733	.05661	3.3310	3.5652	2.94
Chlorophyll 7	P0	3	1.2782	.01446	.00835	1.2423	1.3141	1.27
	F0	3	1.4601	.03941	.02275	1.3622	1.5580	1.42
	P5	3	1.3173	.02317	.01338	1.2598	1.3749	1.29
	P10	3	1.3754	.10215	.05898	1.1217	1.6292	1.30
	P15	3	1.4080	.03777	.02181	1.3142	1.5019	1.37
	P20	3	1.4907	.08663	.05002	1.2755	1.7059	1.40
	P25	3	1.5501	.01401	.00809	1.5153	1.5849	1.53
	P30	3	1.4284	.04427	.02556	1.3184	1.5383	1.39
	Total	24	1.4135	.09686	.01977	1.3726	1.4544	1.27
Chlorophyll 14	P0	3	1.3588	.09995	.05771	1.1105	1.6071	1.29
	F0	3	1.5327	.08533	.04927	1.3208	1.7447	1.47
	P5	3	1.3448	.02351	.01358	1.2864	1.4032	1.33
	P10	3	1.4608	.10485	.06054	1.2004	1.7213	1.37
	P15	3	1.4593	.10277	.05933	1.2040	1.7146	1.38
	P20	3	1.5504	.12814	.07398	1.2320	1.8687	1.46
	P25	3	1.5694	.11858	.06846	1.2749	1.8640	1.44
	P30	3	1.6007	.02470	.01426	1.5394	1.6621	1.58
	Total	24	1.4846	.12026	.02455	1.4338	1.5354	1.29
TFC 7	P0	3	3.9389	.12509	.07222	3.6281	4.2496	3.82
	F0	3	2.3167	.14814	.08553	1.9487	2.6847	2.15
	P5	3	3.1389	.03469	.02003	3.0527	3.2251	3.10
	P10	3	2.9556	.15031	.08678	2.5822	3.3289	2.80
	P15	3	3.1722	.26943	.15556	2.5029	3.8415	2.88

	P20	3	3.2333	.08819	.05092	3.0143	3.4524	3.13
	P25	3	3.5000	.10408	.06009	3.2414	3.7586	3.42
	P30	3	3.5389	.10585	.06111	3.2759	3.8018	3.42
	Total	24	3.2243	.47102	.09615	3.0254	3.4232	2.15
TFC 14	P0	3	4.5778	.38490	.22222	3.6216	5.5339	4.13
	F0	3	2.3167	.02887	.01667	2.2450	2.3884	2.28
	P5	3	3.0611	.35642	.20578	2.1757	3.9465	2.65
	P10	3	3.2722	.28496	.16452	2.5643	3.9801	3.08
	P15	3	2.9333	.60093	.34694	1.4406	4.4261	2.27
	P20	3	3.5222	.33389	.19277	2.6928	4.3516	3.27
	P25	3	3.3956	.40532	.23401	2.3887	4.4024	3.03
	P30	3	3.6333	.08819	.05092	3.4143	3.8524	3.53
	Total	24	3.3390	.68689	.14021	3.0490	3.6291	2.27
TPC 7	P0	3	4.2204	.04108	.02372	4.1183	4.3224	4.17
	F0	3	3.9029	.04893	.02825	3.7814	4.0245	3.85
	P5	3	4.3397	.03646	.02105	4.2491	4.4303	4.31
	P10	3	4.4662	.03715	.02145	4.3739	4.5585	4.43
	P15	3	4.3890	.03674	.02121	4.2977	4.4803	4.36
	P20	3	4.4399	.21112	.12189	3.9155	4.9644	4.28
	P25	3	4.6404	.06044	.03490	4.4903	4.7906	4.59
	P30	3	4.5227	.04773	.02756	4.4041	4.6412	4.47
	Total	24	4.3652	.22592	.04612	4.2698	4.4606	3.85
TPC 14	P0	3	4.6404	.21430	.12372	4.1081	5.1728	4.44
	F0	3	4.1217	.01658	.00957	4.0805	4.1629	4.11
	P5	3	4.1965	.02085	.01204	4.1447	4.2483	4.18
	P10	3	4.2768	.02990	.01727	4.2026	4.3511	4.25
	P15	3	4.3580	.04609	.02661	4.2435	4.4725	4.31
	P20	3	4.4479	.07556	.04362	4.2602	4.6356	4.38
	P25	3	4.2697	.03467	.02002	4.1836	4.3558	4.23
	P30	3	4.3453	.02984	.01723	4.2711	4.4194	4.32
	Total	24	4.3320	.16832	.03436	4.2610	4.4031	4.11
Protein 7	P0	3	10.398 0	.05540	.03199	10.2604	10.5356	10.35
	F0	3	12.626 9	.03588	.02071	12.5377	12.7160	12.60
	P5	3	10.441 1	.07059	.04076	10.2658	10.6165	10.38
	P10	3	13.174 1	.05970	.03447	13.0258	13.3224	13.11
	P15	3	13.708 1	.07198	.04156	13.5293	13.8869	13.66
	P20	3	13.675 0	.05480	.03164	13.5388	13.8111	13.61

	P25	3	13.479 3	.07198	.04156	13.3005	13.6581	13.43
	P30	3	13.658 4	.52889	.30536	12.3445	14.9722	13.33
	Total	24	12.645 1	1.36594	.27882	12.0683	13.2219	10.35
Protein 14	P0	3	10.102 8	.84772	.48943	7.9970	12.2087	9.12
	F0	3	13.832 5	.27005	.15591	13.1617	14.5033	13.67
	P5	3	11.995 0	.77374	.44672	10.0729	13.9171	11.33
	P10	3	14.426 2	.50020	.28879	13.1836	15.6688	13.87
	P15	3	13.494 2	.56606	.32681	12.0880	14.9004	12.97
	P20	3	13.849 1	.67912	.39209	12.1620	15.5361	13.12
	P25	3	13.600 3	.05745	.03317	13.4576	13.7430	13.57
	P30	3	13.490 9	.46227	.26689	12.3425	14.6392	13.11
	Total	24	13.098 9	1.41629	.28910	12.5008	13.6969	9.12
Carotenoid 7	P0	3	.2747	.00353	.00204	.2659	.2834	.27
	F0	3	.3411	.00517	.00298	.3283	.3540	.34
	P5	3	.3112	.00557	.00322	.2974	.3251	.31
	P10	3	.3037	.01267	.00731	.2722	.3351	.29
	P15	3	.3133	.01677	.00968	.2717	.3550	.29
	P20	3	.3109	.00871	.00503	.2893	.3326	.30
	P25	3	.3203	.01245	.00719	.2893	.3512	.31
	P30	3	.3310	.01049	.00606	.3049	.3570	.32
	Total	24	.3133	.02075	.00424	.3045	.3220	.27
Carotenoid 14	P0	3	.3046	.00605	.00349	.2896	.3197	.30
	F0	3	.3253	.01017	.00587	.3001	.3506	.32
	P5	3	.3271	.00500	.00289	.3146	.3395	.32
	P10	3	.3168	.01089	.00629	.2898	.3438	.31
	P15	3	.3228	.00635	.00367	.3070	.3386	.32
	P20	3	.3232	.00317	.00183	.3153	.3311	.32
	P25	3	.3207	.01634	.00944	.2801	.3613	.30
	P30	3	.3320	.02220	.01282	.2768	.3872	.32
	Total	24	.3216	.01250	.00255	.3163	.3268	.30

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Weight 7	Between Groups	3.679	7	.526	15.727	.000
	Within Groups	.535	16	.033		
	Total	4.214	23			
Weight 14	Between Groups	5.723	7	.818	33.331	.000
	Within Groups	.392	16	.025		
	Total	6.115	23			
SGR 7	Between Groups	3.840	7	.549	3.585	.016
	Within Groups	2.449	16	.153		
	Total	6.289	23			
SGR 14	Between Groups	2.044	7	.292	3.884	.012
	Within Groups	1.203	16	.075		
	Total	3.247	23			
Dry 7	Between Groups	1.428	7	.204	19.202	.000
	Within Groups	.170	16	.011		
	Total	1.598	23			
Dry 14	Between Groups	1.375	7	.196	7.989	.000
	Within Groups	.394	16	.025		
	Total	1.769	23			
Chlorophyll 7	Between Groups	.168	7	.024	8.067	.000
	Within Groups	.048	16	.003		
	Total	.216	23			
Chlorophyll 14	Between Groups	.192	7	.027	3.109	.029
	Within Groups	.141	16	.009		
	Total	.333	23			
TFC 7	Between Groups	4.775	7	.682	33.318	.000
	Within Groups	.328	16	.020		
	Total	5.103	23			
TFC 14	Between Groups	8.848	7	1.264	10.093	.000
	Within Groups	2.004	16	.125		
	Total	10.852	23			
TPC 7	Between Groups	1.057	7	.151	20.590	.000
	Within Groups	.117	16	.007		
	Total	1.174	23			
TPC 14	Between Groups	.537	7	.077	10.676	.000
	Within Groups	.115	16	.007		
	Total	.652	23			
Protein 7	Between Groups	42.301	7	6.043	157.987	.000
	Within Groups	.612	16	.038		
	Total	42.913	23			

Protein 14	Between Groups	40.857	7	5.837	17.693	.000
	Within Groups	5.278	16	.330		
	Total	46.135	23			
Carotenoid 7	Between Groups	.008	7	.001	10.985	.000
	Within Groups	.002	16	.000		
	Total	.010	23			
Carotenoid 14	Between Groups	.001	7	.000	1.468	.247
	Within Groups	.002	16	.000		
	Total	.004	23			

Weight 7				
Tukey HSD ^a				
Mẫu	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
P0	3	.7127		
P5	3	.9470		
P10	3	1.0560	1.0560	
P15	3		1.4660	1.4660
P20	3		1.5613	1.5613
F0	3			1.6977
P25	3			1.7783
P30	3			1.8143
Sig.		.350	.058	.334

Weight 14					
Tukey HSD ^a					
Mẫu	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
P0	3	1.2647			
P5	3	1.3647			
P10	3	1.5450	1.5450		
P15	3		1.8457	1.8457	
F0	3			2.1870	2.1870
P20	3			2.2307	2.2307
P25	3				2.5227
P30	3				2.6263
Sig.		.404	.326	.114	.053

SGR 7			
Tukey HSD ^a			
Mẫu	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
P0	3	.7487	
P5	3	.9693	.9693
P10	3	1.1363	1.1363
P15	3	1.5143	1.5143
P25	3	1.7113	1.7113
F0	3	1.7300	1.7300
P20	3	1.7617	1.7617
P30	3		1.9110
Sig.		.085	.127

SGR 14			
Tukey HSD ^a			
Mẫu	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
P0	3	.6767	
P10	3	.9050	
P5	3	.9237	
P15	3	.9813	.9813
P20	3	1.1680	1.1680
P25	3	1.1723	1.1723
P30	3	1.2107	1.2107
F0	3		1.7300
Sig.		.311	.062

Dry 7				
Tukey HSD ^a				
Mẫu	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
P0	3	2.7343		
P5	3	2.8820		
P10	3	3.0252	3.0252	
P15	3		3.1822	3.1822
F0	3		3.2304	3.2304
P20	3			3.3521
P25	3			3.4084
P30	3			3.4687
Sig.		.051	.287	.056

Dry 14				
Tukey HSD ^a				
Mẫu	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
P0	3	3.1279		
P5	3	3.1500		
P10	3	3.2165	3.2165	
P15	3	3.4260	3.4260	3.4260
P20	3	3.5661	3.5661	3.5661
P30	3		3.6208	3.6208
F0	3			3.7295
P25	3			3.7481
Sig.		.054	.088	.256

Chlorophyll 7					
Tukey HSD ^a					
Mẫu	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
P0	3	1.2782			
P5	3	1.3173	1.3173		
P10	3	1.3754	1.3754	1.3754	
P15	3	1.4080	1.4080	1.4080	1.4080
P30	3	1.4284	1.4284	1.4284	1.4284
F0	3		1.4601	1.4601	1.4601
P20	3			1.4907	1.4907
P25	3				1.5501
Sig.		.059	.080	.230	.083

Chlorophyll 14		
Tukey HSD ^a		
Mẫu	N	Subset for alpha = 0.05
		1
P5	3	1.3448
P0	3	1.3588
P15	3	1.4593
P10	3	1.4608
F0	3	1.5327
P20	3	1.5504
P25	3	1.5694
P30	3	1.6007
Sig.		.063

TFC 7					
Tukey HSD ^a					
Mẫu	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
F0	3	2.3167			
P10	3		2.9556		
P5	3		3.1389	3.1389	
P15	3		3.1722	3.1722	
P20	3		3.2333	3.2333	
P25	3			3.5000	
P30	3			3.5389	3.5389
P0	3				3.9389
Sig.		1.000	.314	.054	.054

TFC 14				
Tukey HSD ^a				
Mẫu	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
F0	3	2.3167		
P15	3	2.9333	2.9333	
P5	3	3.0611	3.0611	
P10	3	3.2722	3.2722	
P25	3		3.3956	
P20	3		3.5222	
P30	3		3.6333	3.6333
P0	3			4.5778
Sig.		.067	.294	.072

TPC 7					
Tukey HSD ^a					
Mẫu	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
F0	3	3.9029			
P0	3		4.2204		
P5	3		4.3397	4.3397	
P15	3		4.3890	4.3890	
P20	3		4.4399	4.4399	4.4399
P10	3			4.4662	4.4662
P30	3			4.5227	4.5227
P25	3				4.6404
Sig.		1.000	.090	.219	.145

TPC 14				
Tukey HSD ^a				
Mẫu	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
F0	3	4.1217		
P5	3	4.1965		
P25	3	4.2697	4.2697	
P10	3	4.2768	4.2768	
P30	3	4.3453	4.3453	
P15	3	4.3580	4.3580	
P20	3		4.4479	4.4479
P0	3			4.6404
Sig.		.055	.234	.168

Protein 7				
Tukey HSD ^a				
Mẫu	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
P0	3	10.3980		
P5	3	10.4411		
F0	3		12.6269	
P10	3		13.1741	13.1741
P25	3			13.4793
P30	3			13.6584
P20	3			13.6750
P15	3			13.7081
Sig.		1.000	.053	.062

Protein 14				
Tukey HSD ^a				
Mẫu	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
P0	3	10.1028		
P5	3		11.9950	
P30	3		13.4909	13.4909
P15	3		13.4942	13.4942
P25	3		13.6003	13.6003
F0	3			13.8325
P20	3			13.8491
P10	3			14.4262
Sig.		1.000	.054	.514

Carotenoid 7				
Tukey HSD ^a				
Mẫu	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
P0	3	.2747		
P10	3	.3037	.3037	
P20	3		.3109	
P5	3		.3112	
P15	3		.3133	.3133
P25	3		.3203	.3203
P30	3		.3310	.3310
F0	3			.3411
Sig.		.052	.075	.068

Carotenoid 14		
Tukey HSD ^a		
Mẫu	N	Subset for alpha = 0.05
		1
P0	3	.3046
P10	3	.3168
P25	3	.3207
P15	3	.3228
P20	3	.3232
F0	3	.3253
P5	3	.3271
P30	3	.3320
Sig.		.145

Nhóm xử lý plasma kết hợp dinh dưỡng

Descriptives								
		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum
						Lower Bound	Upper Bound	
Weight 7	H0	3	1.2597	.17557	.10136	.8235	1.6958	1.11
	F0	3	1.6977	.34539	.19941	.8397	2.5557	1.46
	H5	3	1.6133	.06643	.03835	1.4483	1.7783	1.57
	H10	3	1.8617	.11927	.06886	1.5654	2.1580	1.72
	H15	3	2.0797	.09264	.05348	1.8495	2.3098	1.98
	H20	3	2.3157	.10584	.06111	2.0527	2.5786	2.20
	H25	3	1.6210	.13908	.08030	1.2755	1.9665	1.53
	H30	3	1.5603	.18893	.10908	1.0910	2.0297	1.42

	Total	24	1.7511	.34603	.07063	1.6050	1.8972	1.11
Weight 14	H0	3	1.7053	.10337	.05968	1.4486	1.9621	1.59
	F0	3	2.1870	.06051	.03493	2.0367	2.3373	2.12
	H5	3	2.2457	.15643	.09031	1.8571	2.6343	2.07
	H10	3	2.5203	.22429	.12949	1.9632	3.0775	2.27
	H15	3	2.7780	.24627	.14218	2.1662	3.3898	2.50
	H20	3	3.1783	.23482	.13557	2.5950	3.7617	2.93
	H25	3	1.4747	.18277	.10552	1.0206	1.9287	1.28
	H30	3	1.2787	.13543	.07819	.9422	1.6151	1.16
	Total	24	2.1710	.64405	.13147	1.8990	2.4430	1.16
SGR 7	H0	3	1.3413	.18437	.10645	.8833	1.7993	1.13
	F0	3	1.7300	.20174	.11648	1.2288	2.2312	1.54
	H5	3	1.7053	.37550	.21680	.7725	2.6381	1.33
	H10	3	1.9033	.56084	.32380	.5101	3.2965	1.36
	H15	3	2.0820	.62840	.36281	.5210	3.6430	1.44
	H20	3	2.2823	.65955	.38079	.6439	3.9208	1.67
	H25	3	1.6570	.36851	.21276	.7416	2.5724	1.29
	H30	3	1.6317	.39303	.22691	.6553	2.6080	1.18
	Total	24	1.7916	.47028	.09600	1.5930	1.9902	1.13
SGR 14	H0	3	1.0060	.12885	.07439	.6859	1.3261	.88
	F0	3	1.4237	.08551	.04937	1.2112	1.6361	1.34
	H5	3	1.1473	.38612	.22293	.1882	2.1065	.74
	H10	3	1.4017	.26516	.15309	.7430	2.0604	1.15
	H15	3	1.5583	.51951	.29994	.2678	2.8489	.96
	H20	3	1.5623	.45558	.26303	.4306	2.6941	1.18
	H25	3	.8777	.27217	.15714	.2016	1.5538	.57
	H30	3	.8263	.21210	.12245	.2995	1.3532	.58
	Total	24	1.2254	.39382	.08039	1.0591	1.3917	.57
Dry 7	H0	3	3.0108	.12024	.06942	2.7121	3.3095	2.94
	F0	3	3.2304	.04211	.02431	3.1258	3.3350	3.19
	H5	3	3.3164	.02424	.01400	3.2562	3.3767	3.29
	H10	3	3.4022	.06088	.03515	3.2509	3.5534	3.36
	H15	3	3.4325	.14078	.08128	3.0828	3.7823	3.30
	H20	3	3.5068	.15202	.08777	3.1291	3.8844	3.38
	H25	3	3.3607	.10412	.06011	3.1021	3.6194	3.28
	H30	3	3.3014	.24865	.14356	2.6837	3.9191	3.10
	Total	24	3.3202	.18083	.03691	3.2438	3.3965	2.94
Dry 14	H0	3	3.4156	.15698	.09063	3.0257	3.8056	3.27
	F0	3	3.7295	.09455	.05459	3.4947	3.9644	3.65
	H5	3	3.5141	.20444	.11804	3.0062	4.0220	3.39
	H10	3	3.5828	.10918	.06304	3.3116	3.8541	3.47
	H15	3	3.5010	.12073	.06970	3.2010	3.8009	3.39
	H20	3	3.6929	.21174	.12225	3.1669	4.2189	3.45

	H25	3	2.8739	.07367	.04253	2.6909	3.0569	2.80
	H30	3	2.4267	.28403	.16398	1.7211	3.1322	2.14
	Total	24	3.3421	.45737	.09336	3.1489	3.5352	2.14
Chlorophyll 7	H0	3	1.4536	.06603	.03812	1.2895	1.6176	1.38
	F0	3	1.4601	.03941	.02275	1.3622	1.5580	1.42
	H5	3	1.4288	.04707	.02718	1.3118	1.5457	1.39
	H10	3	1.4382	.10194	.05885	1.1850	1.6914	1.35
	H15	3	1.4416	.01818	.01050	1.3964	1.4868	1.42
	H20	3	1.4227	.07409	.04278	1.2386	1.6067	1.35
	H25	3	1.1915	.01071	.00618	1.1649	1.2181	1.18
	H30	3	1.1587	.03714	.02144	1.0665	1.2510	1.12
	Total	24	1.3744	.12752	.02603	1.3205	1.4282	1.12
Chlorophyll 14	H0	3	1.4717	.07144	.04124	1.2943	1.6492	1.40
	F0	3	1.5327	.08533	.04927	1.3208	1.7447	1.47
	H5	3	1.4907	.03905	.02255	1.3937	1.5877	1.45
	H10	3	1.4568	.06888	.03977	1.2857	1.6280	1.38
	H15	3	1.5503	.03799	.02193	1.4559	1.6446	1.51
	H20	3	1.4879	.02323	.01341	1.4302	1.5456	1.47
	H25	3	1.1204	.00941	.00543	1.0970	1.1438	1.11
	H30	3	1.0468	.02453	.01416	.9859	1.1078	1.03
	Total	24	1.3947	.19160	.03911	1.3138	1.4756	1.03
TFC 7	H0	3	3.5778	.17821	.10289	3.1351	4.0205	3.47
	F0	3	2.3167	.14814	.08553	1.9487	2.6847	2.15
	H5	3	2.7128	.07685	.04437	2.5219	2.9037	2.66
	H10	3	2.7683	.07155	.04131	2.5906	2.9461	2.69
	H15	3	2.6278	.11043	.06376	2.3534	2.9021	2.56
	H20	3	2.7944	.00962	.00556	2.7705	2.8183	2.78
	H25	3	2.5000	.25658	.14814	1.8626	3.1374	2.22
	H30	3	2.0333	.16667	.09623	1.6193	2.4474	1.87
	Total	24	2.6664	.44608	.09106	2.4780	2.8548	1.87
TFC 14	H0	3	3.7667	.19221	.11097	3.2892	4.2441	3.62
	F0	3	2.3167	.02887	.01667	2.2450	2.3884	2.28
	H5	3	2.7944	.50589	.29208	1.5377	4.0511	2.25
	H10	3	2.8444	.42990	.24820	1.7765	3.9124	2.37
	H15	3	3.0333	.14814	.08553	2.6653	3.4013	2.92
	H20	3	2.8278	.18584	.10730	2.3661	3.2894	2.62
	H25	3	1.2444	.41410	.23908	.2158	2.2731	.77
	H30	3	.8944	.35211	.20329	.0198	1.7691	.67
	Total	24	2.4653	.95098	.19412	2.0637	2.8668	.67
TPC 7	H0	3	3.9905	.01367	.00789	3.9566	4.0245	3.98
	F0	3	3.9029	.04893	.02825	3.7814	4.0245	3.85
	H5	3	4.2084	.04191	.02420	4.1043	4.3125	4.16
	H10	3	4.1954	.00417	.00241	4.1850	4.2057	4.19

	H15	3	4.1991	.00383	.00221	4.1896	4.2086	4.20
	H20	3	4.1857	.02328	.01344	4.1279	4.2435	4.17
	H25	3	3.9967	.02795	.01614	3.9272	4.0661	3.97
	H30	3	3.9356	.04778	.02758	3.8169	4.0542	3.89
	Total	24	4.0768	.12899	.02633	4.0223	4.1313	3.85
TPC 14	H0	3	4.2721	.07223	.04170	4.0926	4.4515	4.21
	F0	3	4.1217	.01658	.00957	4.0805	4.1629	4.11
	H5	3	4.3405	.01439	.00831	4.3048	4.3762	4.33
	H10	3	4.2291	.05981	.03453	4.0805	4.3777	4.17
	H15	3	4.3246	.01565	.00904	4.2857	4.3635	4.31
	H20	3	4.3111	.01929	.01114	4.2631	4.3590	4.29
	H25	3	4.3103	.02039	.01177	4.2596	4.3609	4.29
	H30	3	4.2617	.03258	.01881	4.1808	4.3427	4.22
	Total	24	4.2714	.07450	.01521	4.2399	4.3028	4.11
Protein 7	H0	3	12.7065	.40430	.23342	11.7021	13.7108	12.40
	F0	3	12.6269	.03588	.02071	12.5377	12.7160	12.60
	H5	3	14.1493	.03588	.02071	14.0601	14.2384	14.11
	H10	3	13.8176	.50111	.28932	12.5727	15.0624	13.24
	H15	3	13.9104	.99502	.57448	11.4387	16.3822	12.92
	H20	3	14.0232	.53771	.31045	12.6875	15.3590	13.40
	H25	3	10.8358	.15796	.09120	10.4434	11.2282	10.72
	H30	3	9.7944	.45384	.26202	8.6670	10.9218	9.32
	Total	24	12.7330	1.60562	.32775	12.0550	13.4110	9.32
Protein 14	H0	3	12.1642	.51748	.29877	10.8787	13.4497	11.65
	F0	3	13.8325	.27005	.15591	13.1617	14.5033	13.67
	H5	3	13.5788	.03237	.01869	13.4984	13.6592	13.55
	H10	3	14.1095	.27700	.15993	13.4213	14.7976	13.81
	H15	3	13.9171	.17093	.09868	13.4925	14.3417	13.82
	H20	3	14.1128	.10357	.05979	13.8555	14.3700	14.03
	H25	3	6.0431	.52789	.30478	4.7318	7.3545	5.61
	H30	3	5.6949	.26724	.15429	5.0310	6.3587	5.50
	Total	24	11.6816	3.49099	.71259	10.2075	13.1557	5.50
Carotenoid 7	H0	3	.3323	.01587	.00916	.2928	.3717	.31
	F0	3	.3411	.00517	.00298	.3283	.3540	.34
	H5	3	.3142	.00235	.00136	.3084	.3201	.31
	H10	3	.3160	.00847	.00489	.2949	.3370	.31
	H15	3	.3084	.00000	.00000	.3084	.3084	.31
	H20	3	.3195	.00521	.00301	.3065	.3324	.31
	H25	3	.2696	.02396	.01384	.2101	.3291	.25
	H30	3	.2036	.00183	.00106	.1990	.2082	.20
	Total	24	.3006	.04348	.00888	.2822	.3189	.20
Carotenoid 14	H0	3	.3399	.02611	.01507	.2750	.4047	.32
	F0	3	.3253	.01017	.00587	.3001	.3506	.32

	H5	3	.3185	.00464	.00268	.3070	.3301	.31
	H10	3	.3212	.00999	.00577	.2964	.3460	.31
	H15	3	.3164	.00800	.00462	.2965	.3363	.31
	H20	3	.3399	.02529	.01460	.2771	.4027	.31
	H25	3	.2236	.01663	.00960	.1823	.2649	.21
	H30	3	.1813	.00321	.00185	.1734	.1893	.18
	Total	24	.2958	.05815	.01187	.2712	.3203	.18

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Weight 7	Between Groups	2.267	7	.324	10.635	.000
	Within Groups	.487	16	.030		
	Total	2.754	23			
Weight 14	Between Groups	9.027	7	1.290	40.196	.000
	Within Groups	.513	16	.032		
	Total	9.540	23			
SGR 7	Between Groups	1.786	7	.255	1.237	.340
	Within Groups	3.301	16	.206		
	Total	5.087	23			
SGR 14	Between Groups	1.887	7	.270	2.569	.056
	Within Groups	1.680	16	.105		
	Total	3.567	23			
Dry 7	Between Groups	.480	7	.069	4.028	.010
	Within Groups	.272	16	.017		
	Total	.752	23			
Dry 14	Between Groups	4.346	7	.621	21.333	.000
	Within Groups	.466	16	.029		
	Total	4.811	23			
Chlorophyll 7	Between Groups	.322	7	.046	14.260	.000
	Within Groups	.052	16	.003		
	Total	.374	23			
Chlorophyll 14	Between Groups	.802	7	.115	42.959	.000
	Within Groups	.043	16	.003		
	Total	.844	23			
TFC 7	Between Groups	4.235	7	.605	28.369	.000
	Within Groups	.341	16	.021		
	Total	4.577	23			
TFC 14	Between Groups	19.140	7	2.734	26.339	.000
	Within Groups	1.661	16	.104		
	Total	20.801	23			
TPC 7	Between Groups	.367	7	.052	52.555	.000
	Within Groups	.016	16	.001		
	Total	.383	23			

TPC 14	Between Groups	.105	7	.015	10.545	.000
	Within Groups	.023	16	.001		
	Total	.128	23			
Protein 7	Between Groups	55.440	7	7.920	32.875	.000
	Within Groups	3.855	16	.241		
	Total	59.295	23			
Protein 14	Between Groups	278.684	7	39.812	393.924	.000
	Within Groups	1.617	16	.101		
	Total	280.301	23			
Carotenoid 7	Between Groups	.042	7	.006	49.449	.000
	Within Groups	.002	16	.000		
	Total	.043	23			
Carotenoid 14	Between Groups	.074	7	.011	44.571	.000
	Within Groups	.004	16	.000		
	Total	.078	23			

Weight 7					
Tukey HSD ^a					
Sample	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
H0	3	1.2597			
H30	3	1.5603	1.5603		
H5	3	1.6133	1.6133	1.6133	
H25	3	1.6210	1.6210	1.6210	
F0	3	1.6977	1.6977	1.6977	
H10	3		1.8617	1.8617	1.8617
H15	3			2.0797	2.0797
H20	3				2.3157
Sig.		.102	.446	.071	.083

Weight 14						
Tukey HSD ^a						
Sample	N	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	5
H30	3	1.2787				
H25	3	1.4747				
H0	3	1.7053	1.7053			
F0	3		2.1870	2.1870		
H5	3			2.2457		
H10	3			2.5203	2.5203	
H15	3				2.7780	2.7780
H20	3					3.1783
Sig.		.133	.068	.360	.651	.181

SGR 7		
Tukey HSD ^a		
Sample	N	Subset for alpha = 0.05
		1
H0	3	1.3413
H30	3	1.6317
H25	3	1.6570
H5	3	1.7053
F0	3	1.7300
H10	3	1.9033
H15	3	2.0820
H20	3	2.2823
Sig.		.248

SGR 14		
Tukey HSD ^a		
Sample	N	Subset for alpha = 0.05
		1
H30	3	.8263
H25	3	.8777
H0	3	1.0060
H5	3	1.1473
H10	3	1.4017
F0	3	1.4237
H15	3	1.5583
H20	3	1.5623
Sig.		.168

Dry 7			
Tukey HSD ^a			
Sample	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
H0	3	3.0108	
F0	3	3.2304	3.2304
H30	3	3.3014	3.3014
H5	3	3.3164	3.3164
H25	3	3.3607	3.3607
H10	3		3.4022
H15	3		3.4325
H20	3		3.5068

Sig.		.069	.227
------	--	------	------

Dry14			
Tukey HSD ^a			
Sample	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
H30	3	2.4267	
H25	3	2.8739	
H0	3		3.4156
H15	3		3.5010
H5	3		3.5141
H10	3		3.5828
H20	3		3.6929
F0	3		3.7295
Sig.		.079	.373

Chlorophyll 7			
Tukey HSD ^a			
Sample	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
H30	3	1.1587	
H25	3	1.1915	
H20	3		1.4227
H5	3		1.4288
H10	3		1.4382
H15	3		1.4416
H0	3		1.4536
F0	3		1.4601
Sig.		.996	.990

Chlorophyll 14			
Tukey HSD ^a			
Sample	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
H30	3	1.0468	
H25	3	1.1204	
H10	3		1.4568
H0	3		1.4717
H20	3		1.4879
H5	3		1.4907
F0	3		1.5327
H15	3		1.5503
Sig.		.661	.392

TFC 7					
Tukey HSD ^a					
Sample	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
H30	3	2.0333			
F0	3	2.3167	2.3167		
H25	3		2.5000	2.5000	
H15	3		2.6278	2.6278	
H5	3		2.7128	2.7128	
H10	3			2.7683	
H20	3			2.7944	
H0	3				3.5778
Sig.		.315	.065	.275	1.000

TFC 14				
Tukey HSD ^a				
Sample	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
H30	3	.8944		
H25	3	1.2444		
F0	3		2.3167	
H5	3		2.7944	
H20	3		2.8278	
H10	3		2.8444	
H15	3		3.0333	3.0333
H0	3			3.7667
Sig.		.874	.184	.166

TPC 7				
Tukey HSD ^a				
Sample	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
F0	3	3.9029		
H30	3	3.9356	3.9356	
H0	3	3.9905	3.9905	
H25	3		3.9967	
H20	3			4.1857
H10	3			4.1954
H15	3			4.1991
H5	3			4.2084
Sig.		.056	.317	.984

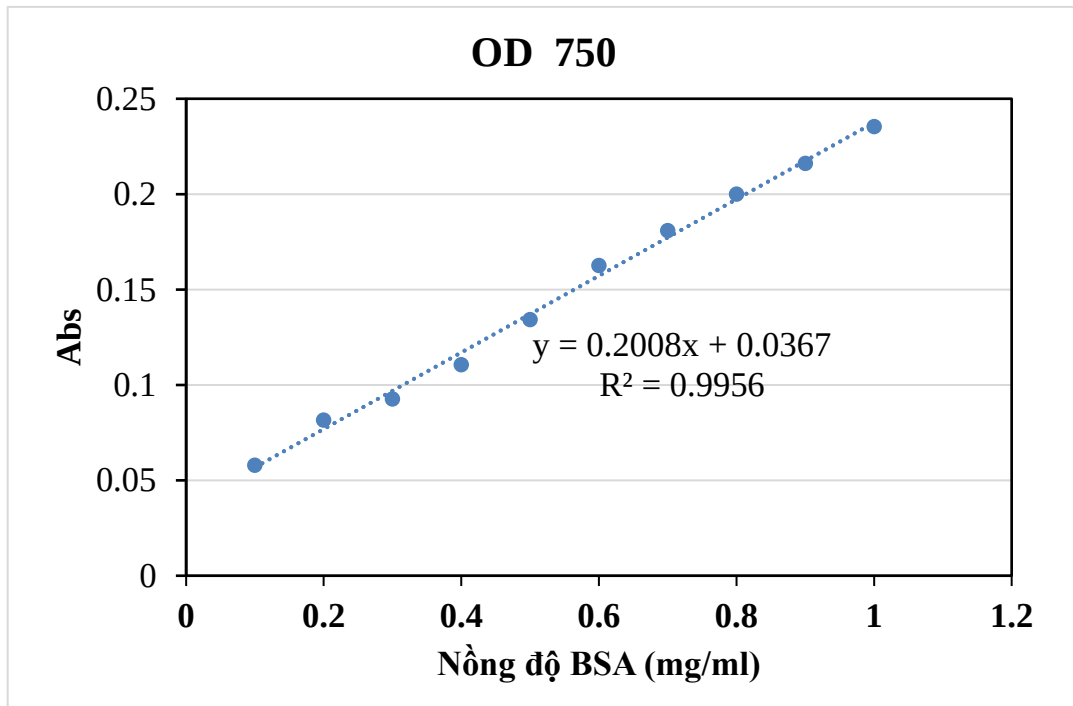
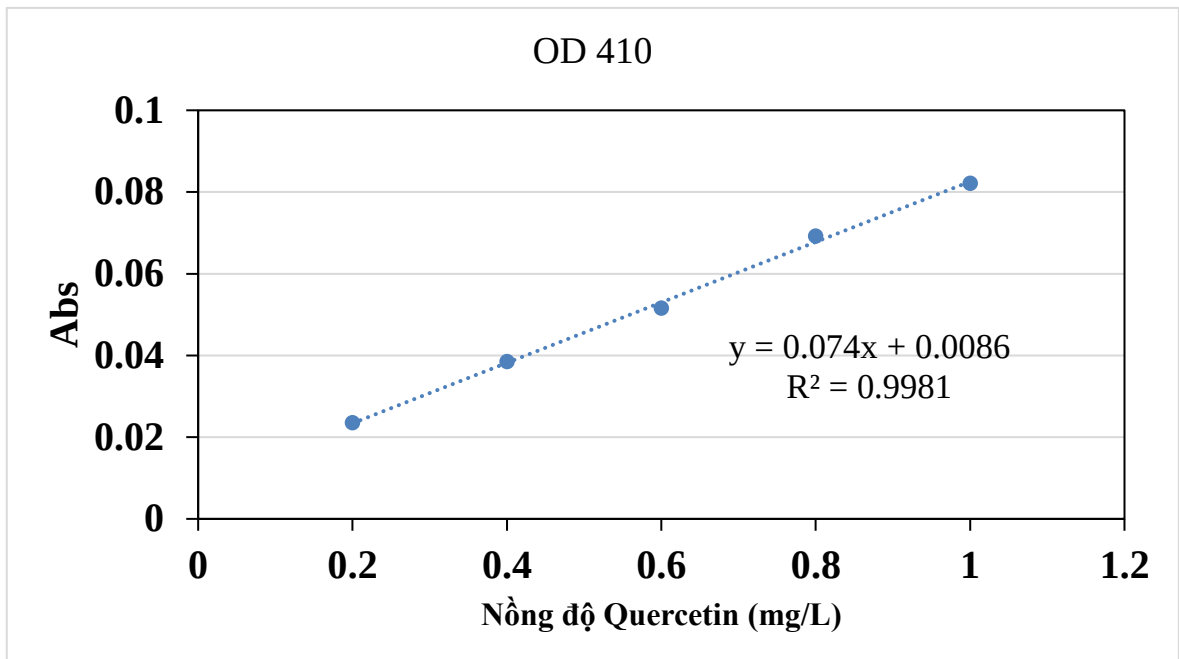
TPC 14				
Tukey HSD ^a				
Sample	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
F0	3	4.1217		
H10	3		4.2291	
H30	3		4.2617	4.2617
H0	3		4.2721	4.2721
H25	3		4.3103	4.3103
H20	3		4.3111	4.3111
H15	3		4.3246	4.3246
H5	3			4.3405
Sig.		1.000	.097	.240

Protein 7					
Tukey HSD ^a					
Sample	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
H30	3	9.7944			
H25	3	10.8358			
F0	3		12.6269		
H0	3		12.7065	12.7065	
H10	3		13.8176	13.8176	13.8176
H15	3		13.9104	13.9104	13.9104
H20	3			14.0232	14.0232
H5	3				14.1493
Sig.		.225	.081	.069	.989

Protein 14				
Tukey HSD ^a				
Sample	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
H30	3	5.6949		
H25	3	6.0431		
H0	3		12.1642	
H5	3			13.5788
F0	3			13.8325
H15	3			13.9171
H10	3			14.1095
H20	3			14.1128
Sig.		.870	1.000	.478

Carotenoid 7					
Tukey HSD ^a					
Sample	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
H30	3	.2036			
H25	3		.2696		
H15	3			.3084	
H5	3			.3142	.3142
H10	3			.3160	.3160
H20	3			.3195	.3195
H0	3			.3323	.3323
F0	3				.3411
Sig.		1.000	1.000	.202	.114

Carotenoid 14			
Tukey HSD ^a			
Sample	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
H30	3	.1813	
H25	3	.2236	
H15	3		.3164
H5	3		.3185
H10	3		.3212
F0	3		.3253
H0	3		.3399
H20	3		.3399
Sig.		.060	.589

Đường chuẩn hàm lượng protein**Đường chuẩn hàm lượng flavonoid**

Đường chuẩn hàm lượng phenolic