

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC
VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM

HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ



HỒ SƠ N LÂM

**ĐẶC ĐIỂM SINH HỌC VÀ THỰC NGHIỆM SINH SẢN
VÔ TÍNH LOÀI SAN HỒ MỀM *Sarcophyton serenei*
TIXIER–DURIVAUT, 1958**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ SINH HỌC

Hà Nội, tháng 07/2026

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC

VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM

HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ



HỒ SƠ N LÂM

**ĐẶC ĐIỂM SINH HỌC VÀ THỰC NGHIỆM SINH SẢN
VÔ TÍNH LOÀI SAN HỒ MỀM *Sarcophyton serenei*
TIXIER–DURIVAUT, 1958**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ SINH HỌC

Ngành: Thủy sinh vật học, Mã số: 9 42 01 08

**Xác nhận của Học viện
Khoa học và Công nghệ**

Người hướng dẫn 1
(Ký, ghi rõ họ tên)

Người hướng dẫn 2
(Ký, ghi rõ họ tên)

Đỗ Hữu Hoàng

Hoàng Xuân Bền

Hà Nội, tháng 07/2026

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan rằng luận án với đề tài: “Đặc điểm sinh học và thực nghiệm sinh sản vô tính loài san hô mềm *Sarcophyton serenei* Tixier–Durivault, 1958” là kết quả của quá trình nghiên cứu do chính tôi thực hiện, dưới sự hướng dẫn khoa học của các thầy hướng dẫn. Trong quá trình thực hiện, luận án có sử dụng các tài liệu và dữ liệu trích dẫn từ nhiều nguồn tham khảo khác nhau; tất cả các nguồn này đều được ghi rõ xuất xứ theo quy định. Các kết quả nghiên cứu được đồng công bố cùng các tác giả khác đều có sự đồng thuận của các đồng tác giả trước khi được sử dụng trong luận án. Toàn bộ số liệu và kết quả trình bày trong luận án là trung thực, chính xác và chưa từng được công bố trong bất kỳ công trình nào khác, ngoại trừ các công bố khoa học của chính tác giả. Luận án được hoàn thành trong thời gian tôi thực hiện chương trình nghiên cứu sinh tại Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

Hà Nội, ngày 20 tháng 07 năm 2026

Tác giả luận án



Hồ Sơn Lâm

LỜI CẢM ƠN

Trong suốt quá trình học tập, nghiên cứu và thực hiện luận án, tôi đã nhận được sự quan tâm, giúp đỡ và động viên quý báu từ các thầy cô, đồng nghiệp, bạn bè và gia đình. Tôi xin được bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc nhất tới tất cả những người đã đồng hành và hỗ trợ tôi trong suốt chặng đường nghiên cứu vừa qua.

Trước hết, tôi xin trân trọng gửi lời cảm ơn sâu sắc tới Tiến sĩ Đỗ Hữu Hoàng và Tiến sĩ Hoàng Xuân Bền (Khoa Sinh học, Học Viện Khoa học Công nghệ; Viện Hải dương học) – những người thầy đã tận tâm hướng dẫn, định hướng khoa học, truyền cảm hứng nghiên cứu và giúp tôi hình thành tư duy khoa học nghiêm túc, sáng tạo. Hai thầy đã dành nhiều thời gian quý báu để chỉ dẫn, góp ý, cung cấp tài liệu và chỉnh sửa nội dung các bài báo, chuyên đề cũng như bản thảo luận án. Tôi vô cùng trân trọng sự hỗ trợ tận tình và những kinh nghiệm quý giá mà hai thầy đã dành cho tôi trong suốt thời gian qua.

Tôi xin chân thành cảm ơn Phó giáo sư, Tiến sĩ Đào Việt Hà (Khoa Sinh học, Học Viện Khoa học Công nghệ; Viện Hải dương học) và Tiến sĩ Nguyễn Hữu Huân (Khoa Sinh học, Học Viện Khoa học Công nghệ; Viện Hải dương học) đã luôn nhiệt tình hỗ trợ và giúp đỡ tôi trong quá trình triển khai và hoàn thiện các nội dung nghiên cứu của luận án.

Xin trân trọng cảm ơn Ban Lãnh đạo Viện Hải dương học đã tạo điều kiện thuận lợi về cơ sở vật chất và môi trường nghiên cứu để tôi hoàn thành tốt các công việc học tập và nghiên cứu thực nghiệm. Tôi cũng xin gửi lời cảm ơn đến Ban lãnh đạo Học Viện, Phòng Ban Học Viện và giảng viên Khoa Sinh Học, Học Viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam đã tận tình giảng dạy, truyền đạt kiến thức nền tảng quý báu, giúp tôi có được cơ sở khoa học vững chắc trong lĩnh vực thủy sinh vật học.

Tôi xin bày tỏ lòng cảm ơn sâu sắc đến các viên chức phòng Kỹ thuật nuôi sinh vật biển, Viện Hải dương học, đặc biệt là Thạc sĩ Đặng Trần Tú Trâm, Thạc sĩ Nguyễn Thị Nguyệt Huệ, Thạc sĩ Đào Thị Hồng Ngọc, Kỹ sư Nguyễn Trương Tấn Tài, Kỹ sư Nguyễn Công Nhật, cùng các cán bộ khác như Kỹ sư Nguyễn Minh Hiếu và các sinh viên Lê Quốc Tuấn (Nuôi trồng thủy sản), Đặng Thị Mỹ Dung (Nuôi trồng thủy sản), Nguyễn Tiến Mai Phương (Công nghệ sinh học), Nguyễn Văn Hiên (Công nghệ sinh học),... đã nhiệt tình hỗ trợ, chia sẻ kinh nghiệm và giúp đỡ tôi trong quá trình thực hiện các thí nghiệm và hoàn thiện luận án.

Xin trân trọng cảm ơn các đồng nghiệp tại Viện Hải dương học đã luôn hỗ trợ, động viên và chia sẻ cùng tôi trong suốt thời gian học tập và nghiên cứu.

Tôi cũng xin gửi lời tri ân đến quý thầy cô trong các Hội đồng chuyên đề, Hội

thảo, đánh giá luận án các cấp, những người đã dành thời gian đọc, phản biện và đưa ra những ý kiến đóng góp thiết thực, giúp tôi hoàn thiện và nâng cao chất lượng của luận án.

Cuối cùng, tôi xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc tới gia đình, người thân và bạn bè—những người đã luôn ở bên cạnh, cảm thông, động viên và chia sẻ với tôi trong suốt quá trình học tập và nghiên cứu. Sự yêu thương, ủng hộ và hy sinh của mọi người là nguồn động lực to lớn giúp tôi vượt qua khó khăn để hoàn thành công trình này.

Xin chân thành cảm ơn!

Khánh Hòa, ngày 20 tháng 07 năm 2026

Tác giả luận án



Hồ Sơn Lâm

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN	i
LỜI CẢM ƠN	ii
DANH MỤC BẢNG	vii
DANH MỤC HÌNH, ĐỒ THỊ	ix
MỞ ĐẦU	1
Chương 1. TỔNG QUAN VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU	4
1.1. Đặc điểm phân loại giống san hô mềm Sarcophyton và loài <i>S. serenei</i>	4
1.1.1. Giống <i>Sarcophyton</i>	4
1.1.2. Hệ thống phân loại san hô mềm <i>S. serenei</i>	5
1.2. Phân bố của giống san hô mềm Sarcophyton và loài <i>S. serenei</i>	7
1.3. Tổng quan tình hình nghiên cứu ngoài nước	7
1.3.1. Một số đặc điểm sinh thái của san hô mềm và giống Sarcophyton	7
1.3.2. Đặc điểm sinh trưởng của giống Sarcophyton	8
1.3.3. Một số đặc điểm sinh học sinh sản của san hô mềm	11
1.3.3.1. <i>Phương thức sinh sản</i>	11
1.3.3.2. <i>Kích thước sinh sản lần đầu và mùa vụ sinh sản</i>	14
1.3.4. Quan hệ giữa zooxanthellae, Chlorophyll-a và san hô mềm	16
1.3.5. Một số kết quả nghiên cứu về sinh sản vô tính san hô mềm	16
1.4. Tổng quan tình hình nghiên cứu trong nước	21
Chương 2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU	23
2.1. Đối tượng, thời gian và địa điểm nghiên cứu	23
2.1.1. Đối tượng nghiên cứu	23
2.1.2. Thời gian nghiên cứu	23
2.1.3. Địa điểm nghiên cứu	23
2.1.4. Thời điểm thu mẫu:	24
2.2. Phương pháp nghiên cứu	26
2.2.1. Nội dung 1: Đặc điểm sinh học của loài san hô mềm <i>S. serenei</i>	26
2.2.2. Nội dung 2: Nghiên cứu sinh sản vô tính loài san hô mềm <i>S. serenei</i> trong điều kiện nhân tạo.	30
2.2.2.1. <i>Nội dung 2.1: Ảnh hưởng nồng độ Lugol và thời gian xử lý mảnh tách</i>	31
2.2.2.2. <i>Nội dung 2.2: Ảnh hưởng của giá thể và kích thước mảnh tách.</i>	32
2.2.2.3. <i>Nội dung 2.3: Ảnh hưởng của thức ăn và chế độ cho ăn.</i>	33
2.2.2.4. <i>Nội dung 2.4: Ảnh hưởng của cường độ ánh sáng.</i>	34
2.2.3. Kỹ thuật thu thập và xử lý dữ liệu	35
Chương 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN	39

3.1. Đặc điểm sinh học của loài san hô mềm <i>S. serenei</i>	39
3.1.1. Đặc điểm hình thái và phân loại loài san hô mềm <i>S. serenei</i>	39
3.1.1.1. Hình thái bên ngoài của loài san hô mềm <i>S. serenei</i>	39
3.1.1.2. Đặc điểm trầm xương của loài san hô mềm <i>S. serenei</i>	40
3.1.2. Đặc điểm môi trường sống của loài san hô mềm <i>S. serenei</i> ở vịnh Nha Trang	49
3.1.2.1. Các yếu tố sinh thái môi trường sống của loài san hô mềm <i>S. serenei</i> :	49
3.1.2.2. Trầm tích đáy nơi sinh sống của san hô:	55
3.1.3. Đặc điểm sinh học sinh sản của loài san hô mềm <i>S. serenei</i>	57
3.1.3.1. Giới tính và tỷ lệ đực cái của loài san hô mềm <i>S. serenei</i>	57
3.1.3.2. Các giai đoạn phát triển của noãn bào và tinh sào của <i>S. serenei</i>	58
3.1.3.3. Sức sinh sản của <i>S. serenei</i>	63
3.1.3.4. Tỷ lệ thành thực và mùa vụ sinh sản của <i>S. serenei</i>	63
3.2. Nghiên cứu sinh sản vô tính loài san hô mềm <i>S. serenei</i> trong điều kiện nhân tạo ..	67
3.2.1. Ảnh hưởng của Lugol và thời gian xử lý mảnh tách	67
3.2.1.1. Tỷ lệ sống	67
3.2.1.2. Thời gian bám chân	69
3.2.1.3. Sinh trưởng.....	70
3.2.1.4. Mật độ tảo zooxanthellae	71
3.2.1.5. Hàm lượng Chlorophyll-a	72
3.2.1.6. Hàm lượng hữu cơ	73
3.2.2. Ảnh hưởng của giá thể và kích thước mảnh tách.....	78
3.2.2.1. Tỷ lệ sống	78
3.2.2.2. Thời gian bám chân	80
3.2.2.3. Sinh trưởng.....	81
3.2.2.4. Mật độ tảo zooxanthellae	83
3.2.2.5. Hàm lượng Chlorophyll-a	84
3.2.2.6. Hàm lượng khối lượng hữu cơ	86
3.2.3. Ảnh hưởng của thức ăn và chế độ cho ăn	91
3.2.3.1. Tỷ lệ sống	91
3.2.3.2. Sinh trưởng.....	92
3.2.3.3. Mật độ zooxanthellae	92
3.2.3.4. Hàm lượng Chlorophyll-a	93
3.2.3.5. Hàm lượng hữu cơ	94
3.2.4. Ảnh hưởng của cường độ ánh sáng.....	99
3.2.4.1. Tỷ lệ sống	99
3.2.4.2. Thời gian bám chân	100

3.2.4.3. <i>Sinh trưởng</i>	101
3.2.4.4. <i>Mật độ zooxanthellae</i>	102
3.2.4.5. <i>Hàm lượng Chlorophyll-a</i>	103
3.2.4.6. <i>Hàm lượng hữu cơ</i>	104
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	111
1. Kết luận	111
2. Kiến nghị	112
DANH MỤC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ	113
TÀI LIỆU THAM KHẢO	114

DANH MỤC BẢNG

Bảng 1.1. Một số kết quả nghiên cứu về kích thước trứng thành thực và phương thức sinh sản của một số loài san hô mềm	13
Bảng 2.1. Thông tin các mốc thời gian thực hiện chính của luận án	23
Bảng 2.2. Thông tin thu mẫu đặc điểm sinh học sinh sản và các yếu tố môi trường	25
Bảng 3.1. Đặc điểm hình thái ngoài của <i>S. serenei</i> trong các nghiên cứu khác nhau ...	44
Bảng 3.2. Hình dạng, kích thước tâm xương của <i>S. serenei</i> qua các nghiên cứu khác nhau	45
Bảng 3.3. Các thông số vật lý, sinh thái ở hai điểm khảo sát	49
Bảng 3.4. Kích thước noãn bào (μm) qua các giai đoạn ($n = 30$).....	60
Bảng 3.5. Kích thước túi tinh (μm) qua các giai đoạn ($n = 30$).....	61
Bảng 3.6. Một số kết quả nghiên cứu sinh sản hữu tính của <i>Sarcophyton</i>	66
Bảng 3.7. Tỷ lệ sống của loài san hô mềm <i>S. serenei</i> ($n = 3$).....	68
Bảng 3.8. Thời gian bám chân của <i>S. serenei</i> ($n = 3$)	69
Bảng 3.9. Tốc độ tăng trưởng về chiều dài ($\text{SGR}_L, \% \text{ ngày}^{-1}$) và khối lượng ($\text{SGR}_W, \% \text{ ngày}^{-1}$) của <i>S. serenei</i> ($n = 3$)	70
Bảng 3.10. Tỷ lệ khối lượng hữu cơ của <i>S. serenei</i> thí nghiệm ($n = 3$).....	73
Bảng 3.11. Tỷ lệ sống của <i>S. serenei</i> ($n = 3$)	79
Bảng 3.12. Thời gian bám chân của <i>S. serenei</i> ($n = 3$)	80
Bảng 3.13. Tốc độ tăng trưởng đặc trưng về chiều dài (SGR_L) và khối lượng (SGR_W) của <i>S. serenei</i> ($n = 3$).....	82
Bảng 3.14. Sự thay đổi mật độ zooxanthellae của <i>S. serenei</i> thí nghiệm ($n = 3$).	83
Bảng 3.15. Sự biến động hàm lượng Chlorophyll- <i>a</i> trong <i>S. serenei</i> ($n = 3$)	85
Bảng 3.16. Tỷ lệ khối lượng hữu cơ của loài san hô mềm <i>S. serenei</i> trong thí nghiệm ($n = 3$).....	87
Bảng 3.17. Tỷ lệ sống của <i>S. serenei</i> ở các nghiệm thức thí nghiệm ($n = 3$)	91
Bảng 3.18. Tốc độ tăng trưởng đặc trưng về khối lượng ($\% \text{ ngày}^{-1}$) của các nghiệm thức thí nghiệm ($n = 3$).....	92
Bảng 3.19. Mật độ zooxanthellae ($\times 10^6$ tế bào g^{-1}) của loài san hô mềm <i>S. serenei</i> ở các nghiệm thức thí nghiệm khác nhau theo thời gian ($n = 3$).....	93
Bảng 3.20. Hàm lượng Chlorophyll- <i>a</i> ($\times 10^2 \mu\text{g g}^{-1}$) của loài san hô mềm <i>S. serenei</i> ở các nghiệm thức khác nhau theo thời gian ($n = 3$).....	94
Bảng 3.21. Tỷ lệ khối lượng hữu cơ san hô mềm <i>S. serenei</i> ở các nghiệm thức thí nghiệm khác nhau ($n = 3$).....	95
Bảng 3.22. Tỷ lệ sống của <i>S. serenei</i> ở các nghiệm thức ($n = 3$).....	100
Bảng 3.23. Thời gian bám chân của các mảnh tách ($n = 3$).....	100

Bảng 3.24. Tốc độ tăng trưởng đặc trưng ($n = 3$)	101
Bảng 3.25. Mật độ zooxanthellae của loài san hô mềm <i>S. serenei</i> ($n = 3$)	102
Bảng 3.26. Hàm lượng Chlorophyll- <i>a</i> của loài san hô mềm <i>S. serenei</i> ($n = 3$)	103
Bảng 3.27. Hàm lượng hữu cơ của loài san hô mềm <i>S. serenei</i> ($n = 3$)	104

DANH MỤC HÌNH, ĐỒ THỊ

Hình 1.1. San hô mềm <i>S. serenei</i> trong nghiên cứu.....	6
Hình 2.1. Địa điểm thu mẫu nghiên cứu	24
Hình 2.2. Sơ đồ khối nội dung nghiên cứu	26
Hình 2.3. Đo kích thước của các trâm xương	27
Hình 2.4. Sơ đồ khối nội dung nghiên cứu ảnh hưởng nồng độ và thời gian xử lý mảnh tách bằng dung dịch Lugol.....	32
Hình 2.5. Sơ đồ khối nội dung nghiên cứu ảnh hưởng giá thể và kích thước mảnh tách đến loài san hô mềm <i>S. serenei</i>	33
Hình 2.6. Sơ đồ khối nội dung nghiên cứu ảnh hưởng thức ăn và chế độ cho ăn đến loài san hô mềm <i>S. serenei</i>	33
Hình 2.7. Sơ đồ khối nội dung nghiên cứu ảnh hưởng cường độ ánh sáng loài san hô mềm <i>S. serenei</i>	34
Hình 2.8. Hệ thống cân nổi sử dụng trong nghiên cứu.	36
Hình 3.1. San hô mềm <i>S. serenei</i>	39
Hình 3.2. Các autozoid, anthocodia và các siphonozoid	39
Hình 3.3. Các loại trâm xương của loài san hô mềm <i>S. serenei</i>	40
Hình 3.4. Trâm xương ở polyp.....	41
Hình 3.5. Các trâm xương dạng chùy trên vỏ mũ.....	41
Hình 3.6. Trâm xương dạng chùy ở vỏ mũ.....	42
Hình 3.7. Trâm xương dạng kim – needle ở trong mũ.....	42
Hình 3.8. Trâm xương ở vỏ thân.....	42
Hình 3.9. Các trâm xương ở coenenchymal trong thân	43
Hình 3.10. Các trâm xương nhọn có mụn cóc ít hơn trong phần thân.....	43
Hình 3.11. Biến động giá trị pH theo thời gian.....	49
Hình 3.12. Biến động nhiệt độ theo thời gian.....	50
Hình 3.13. Biến động độ mặn theo thời gian.....	51
Hình 3.14. Biến động độ đục theo thời gian	51
Hình 3.15. Biến động cường độ ánh sáng theo thời gian.....	52
Hình 3.16. Biến động nồng độ oxy hòa tan theo thời gian	52
Hình 3.17. Biến động chỉ số COD theo thời gian	53
Hình 3.18. Biến động hàm lượng NH_4^+ , theo thời gian	54
Hình 3.19. Biến động hàm lượng NO_3^- theo thời gian	54
Hình 3.20. Trâm tích và nền đáy nơi san hô mềm <i>S. serenei</i> phân bố.....	55
Hình 3.21. Trứng (màu hồng, mũi tên màu đen) của san hô mềm <i>S. serenei</i> ở giai đoạn thành thực.....	57

Hình 3.22. Trứng của <i>S. serenei</i> dưới kính hiển vi soi nổi	58
(mũi tên màu đen)	58
Hình 3.23. Các giai đoạn phát triển noãn bào của <i>S. serenei</i>	59
Hình 3.24. Các giai đoạn phát triển tinh sào của <i>S. serenei</i> (20x)	62
Hình 3.25. Số lượng trứng trong polyp	63
Hình 3.26. Tỷ lệ nhóm kích thước trứng theo thời gian	63
Hình 3.27. Sự gia tăng kích thước trứng theo thời gian.....	64
Hình 3.28. Sự thay đổi mật độ zooxanthellae của loài san hô mềm <i>S. serenei</i> thí nghiệm (n = 3) (Đồ thị biểu hiện TB $\pm$ SD của cá nghiệm thức).....	71
Hình 3.29. Sự biến động hàm lượng Chlorophyll- <i>a</i> trong san hô mềm <i>S. serenei</i> thí nghiệm (n = 3) (Đồ thị biểu hiện TB $\pm$ SD của cá nghiệm thức).....	72

MỞ ĐẦU

San hô mềm là một thành phần quan trọng trong quần xã sinh vật của hệ sinh thái rạn san hô nhiệt đới, góp phần đáng kể vào sự đa dạng sinh học của hệ sinh thái này. Với khả năng thích nghi cao, san hô mềm không chỉ cung cấp môi trường sống cho nhiều loài sinh vật như cá, ốc, và tảo, mà còn đóng vai trò như loài tiên phong xây dựng rạn tại các khu vực nước đục, nơi san hô cứng gặp khó khăn trong việc phát triển [1, 2]. Ngoài vai trò sinh thái, san hô mềm còn là nguồn cung cấp các hợp chất sinh học có giá trị, đặc biệt trong lĩnh vực y-sinh. Bên cạnh các giá trị y-sinh, san hô mềm còn có giá trị kinh tế cao trên thị trường sinh vật cảnh biển do màu sắc thu hút và khả năng thích nghi tốt trong bể nuôi cảnh. Tuy nhiên, nhu cầu thương mại đã dẫn đến tình trạng khai thác quá mức san hô mềm từ tự nhiên. Điều này đã gây suy giảm quần thể san hô mềm, ảnh hưởng tiêu cực đến đa dạng sinh học và hệ sinh thái rạn san hô [3]. Trước tình hình trên, nuôi trồng san hô mềm đang trở thành một lĩnh vực quan trọng, không chỉ để giảm áp lực khai thác tự nhiên mà còn nhằm đáp ứng nhu cầu ngày càng tăng trong các ngành thương mại sinh vật cảnh, chiết xuất các chất có hoạt tính sinh học và phục hồi rạn san hô [4]. Mặc dù đã có một số nghiên cứu về sinh sản của san hô mềm, tuy nhiên các nghiên cứu này chỉ tập trung chủ yếu các khu vực như Biển Đỏ và Rạn san hô Great Barrier [5, 6], các khu vực khác như đảo Tây Thái Bình Dương có rất ít nghiên cứu được công bố. Tại Việt Nam, nghiên cứu về đặc điểm sinh sản san hô mềm vẫn ít được quan tâm nghiên cứu, chỉ có một số nghiên cứu được thực hiện trên một số loài san hô cứng [7, 8]. Bên cạnh đó, vấn đề phát triển các phương pháp sinh sản và nuôi trồng chi phí thấp trong trại giống đã trở thành giải pháp bền vững cho cả mục đích thương mại và bảo tồn san hô [9]. Các phương pháp nhân giống vô tính của san hô mềm trong điều kiện nhân tạo đã được nghiên cứu thông qua việc đánh giá tác động của nhiều yếu tố khác nhau như phương pháp gắn giá thể [10], thức ăn [11, 12], ánh sáng [11, 13], hệ thống nuôi [12, 14]... Các nghiên cứu đã thành công trong việc phát triển các tập đoàn san hô mềm mới, khỏe mạnh. Điều này đã chứng minh rằng một số lượng lớn các tập đoàn san hô con có thể được tạo ra bằng cách sử dụng các kỹ thuật nhân giống đơn giản. Mặc dù đã có một số nghiên cứu về đa dạng, phân bố, sinh học sinh sản và sinh sản vô tính của một số loài thuộc giống *Sarcophyton*, tuy nhiên, đến nay vẫn chưa có công trình nào công bố về đặc điểm sinh học sinh sản cũng như khả năng sinh sản vô tính của loài san hô mềm *S. serenei*. Đây là loài đã được ghi nhận phân bố tại vịnh Nha Trang [15-17], vùng biển Lý Sơn [18], và vịnh Suez, Ai Cập [19]. Sự thiếu hụt thông tin về sinh học sinh sản của loài đã hạn chế cơ sở khoa học cho công tác bảo tồn, lưu giữ, khai thác và phát triển nguồn gen. Do đó, việc thực hiện nghiên cứu **“Đặc điểm sinh học và thực**

nghiệm sinh sản vô tính loài san hô mềm *Sarcophyton serenei* Tixier–Durivault, 1958” là cần thiết, góp phần bổ sung dữ liệu khoa học về sinh học loài, đồng thời cung cấp cơ sở cho các hoạt động bảo tồn và phát triển bền vững nguồn tài nguyên sinh vật biển này.

Theo Guest và cs. (2014), chi phí để tạo ra một tập đoàn san hô bằng phương pháp sinh sản vô tính chỉ bằng khoảng 20% so với phương pháp sinh sản hữu tính [20]. Điều này cho thấy nghiên cứu về sinh sản nhân tạo theo hướng hữu tính đòi hỏi nguồn kinh phí đầu tư tương đối lớn. Do đó, luận án hiện tại tập trung làm rõ các cơ sở sinh học và hoàn thiện phương pháp sinh sản vô tính như một hướng đi khả thi và hiệu quả hơn trong giai đoạn hiện nay.

Mục tiêu nghiên cứu:

- Nắm được một số đặc điểm môi trường sống và sinh học sinh sản của loài san hô mềm *S. serenei* nhằm cung cấp cơ sở khoa học trong quá trình nghiên cứu sinh sản nhân tạo.
- Nhân giống thành công loài san hô mềm *S. serenei* làm cơ sở cho việc lưu giữ, khai thác và phát triển nguồn gen đối tượng này.

Nội dung nghiên cứu:

Nội dung 1: Đặc điểm sinh học của loài san hô mềm *S. serenei*.

Nội dung 1.1. Đặc điểm hình thái và phân loại của loài san hô mềm *S. serenei*.

Nội dung 1.2. Đặc điểm môi trường sống của loài san hô mềm *S. serenei*.

Nội dung 1.3. Đặc điểm sinh học sinh sản của loài san hô mềm *S. serenei*.

Nội dung 2: Nghiên cứu sinh sản vô tính loài san hô mềm *S. serenei* trong điều kiện nhân tạo.

Nội dung 2.1. Ảnh hưởng của Lugol và thời gian xử lý mảnh tách.

Nội dung 2.2. Ảnh hưởng của giá thể và kích thước mảnh tách.

Nội dung 2.3. Ảnh hưởng của thức ăn và chế độ cho ăn.

Nội dung 2.4. Ảnh hưởng của cường độ ánh sáng.

Ý nghĩa khoa học và thực tiễn:

Đối với lĩnh vực KH&CN:

Nghiên cứu này cung cấp thông tin về một số đặc điểm sinh học sinh sản và sinh sản vô tính của loài san hô mềm *S. serenei* tại Việt Nam và trên thế giới. Các kết quả

thu được tạo nền tảng khoa học cho công tác bảo tồn, phục hồi quần thể và khai thác nguồn nguyên liệu phục vụ nghiên cứu hợp chất có hoạt tính sinh học. Nghiên cứu cũng xác định được mùa vụ sinh sản của loài tại vùng biển Nha Trang, là cơ sở khoa học để tiến hành thu mẫu trứng và ấu trùng cho các thí nghiệm sinh sản hữu tính. Bên cạnh đó, việc triển khai thành công sinh sản vô tính góp phần duy trì và phát triển nguồn gen của loài.

Hiệu quả kinh tế:

Thành công trong sinh sản vô tính san hô mềm tạo tiền đề phát triển đối tượng nuôi sinh vật cảnh biển mới, từ đó có mở ra triển vọng phát triển trang trại sản xuất san hô mềm và thúc đẩy các hoạt động thương mại liên quan.

Hiệu quả xã hội:

Nghiên cứu sinh sản vô tính san hô mềm *S. serenei* bước đầu cung cấp cơ sở ban đầu cho nghiên cứu hoàn thiện quy trình sinh sản vô tính loài này, từ đó có thể góp phần giảm áp lực khai thác tự nhiên, tạo ra nguồn cung cho công tác phục hồi nguồn lợi san hô cũng như cung cấp nguồn nguyên liệu cho nghiên cứu chiết xuất các hợp chất sinh học. Đồng thời, việc phát triển nghề nuôi san hô mềm làm cảnh tạo cơ hội việc làm cho người lao động ven biển, cũng như phát triển các ngành nghề liên quan đến hoạt động này.

Những đóng góp mới của luận án

Luận án là công trình đầu tiên nghiên cứu ở Việt Nam về đặc điểm sinh học sinh sản và sinh sản vô tính của loài san hô mềm *S. serenei*.

- Nghiên cứu xác định các đặc điểm sinh học sinh sản của *S. serenei*, bao gồm tỷ lệ giới tính, kích thước trứng và túi tinh, sức sinh sản và mùa vụ sinh sản. Những kết quả này là cơ sở quan trọng cho việc thu giao tử trong sinh sản nhân tạo loài san hô này.
- Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng xác định được các thông số tối ưu cho quy trình sinh sản vô tính của *S. serenei*, gồm: xử lý mảnh cắt bằng dung dịch Lugol 0,5 mL L⁻¹ trong 15 phút hoặc 1,0 mL L⁻¹ trong 10 phút; kích thước mảnh tách $\geq 1,5$ cm; sử dụng giá thể gạch men hoặc xi măng; chế độ cho ăn luân trùng 2 ngày/lần; và cường độ chiếu sáng 90 – 120 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Chương 1. TỔNG QUAN VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

1.1. Đặc điểm phân loại giống san hô mềm *Sarcophyton* và loài *S. serenei*

1.1.1. Giống *Sarcophyton*

San hô mềm là thuật ngữ dùng để chỉ các loài san hô thuộc nhóm san hô tám ngón (Octocorallia), ngoại trừ các loài san hô sừng. Trước đây, nhóm này được xếp trong bộ Malacalcyonacea (tên theo hệ thống phân loại trước kia là Alcyonacea) thuộc lớp phụ san hô tám ngón. Tuy nhiên, theo các phân loại học hiện đại, cả san hô mềm và san hô sừng hiện đều được xếp chung trong lớp san hô tám ngón [21]. Trong phạm vi của luận án này, thuật ngữ “san hô mềm” được dùng để chỉ các loài thuộc nhóm san hô tám ngón, không bao gồm các loài san hô sừng.

Hệ thống phân loại được chấp nhận rộng rãi nhất, phản ánh trong phần lớn các nghiên cứu về sinh học động vật không xương sống từ giữa thế kỷ XX đến nay, là hệ thống phân loại đã được Bayer (1981) [22] hiệu chỉnh. Trong đó, phân lớp san hô tám ngón thành ba bộ: bộ Pennatulacea (Bút biển; 15 họ khoảng 300 loài), bộ Helioporacea (san hô xanh; 2 họ, 5 loài còn tồn tại) và bộ Malacalcyonacea (06 bộ phụ và 41 họ). Bộ Malacalcyonacea là nhóm sinh vật sống ở đáy có sự đa dạng và phong phú thứ hai ở nhiều rạn san hô nhiệt đới và ôn đới [23]. *Simularia* và *Sarcophyton* là hai chi san hô mềm chiếm ưu thế nhất trong họ Sarcophytidae (tên theo hệ thống phân loại trước kia là Alcyoniidae) [24]. Các loài chi này có khả năng chống lại sự săn mồi và sống trong thời gian dài [25]. San hô mềm đóng vai trò quan trọng trong hệ sinh thái rạn san hô, tạo nguồn vật chất hữu cơ, sinh cảnh, tham gia hình thành rạn, đặc biệt ở những vùng nước đục nơi san hô cứng khó phát triển [2]. Ngày nay, dựa trên phân tích sự khác biệt di truyền phân tử về quan hệ tiến hóa của sinh vật, McFadden và cs. (2022) [26] đã chia lớp san hô tám ngón Octocorallia làm hai bộ Malacalcyonacea và Scleralcyonacea.

Sarcophyton là một giống san hô mềm thuộc ngành Anthozoa, lớp san hô tám ngón, bộ Malacalcyonacea, họ Sarcophytidae. Hiện nay, giống san hô mềm *Sarcophyton* bao gồm 50 loài đã được phân loại rõ ràng, 3 loài không chắc chắn và 27 loài được điều chỉnh [27].

Đặc điểm phân loại của các loài thuộc giống Sarcophyton

(1) Hình thái bên ngoài: Các loài thuộc giống *Sarcophyton* thường có hình thái đặc trưng dạng nấm, với phần đỉnh mang các polyp gọi là đĩa hay mũ nấm (capitulum). Hình dạng của đĩa có thể phẳng, không thùy hoặc có các nếp gấp ở mép với mức độ phát triển khác nhau; trong một số trường hợp, mũ nấm có dạng chén

hoặc phễu. Tùy theo trạng thái sinh lý, các loài thuộc giống *Sarcophyton* có thể biểu hiện ở ba dạng chính: (i) trạng thái mở rộng khi các polyp nở rộ; (ii) trạng thái bán co rút khi các polyp và xúc tu co lại một phần hoặc toàn bộ; và (iii) trạng thái co rút hoàn toàn, khi đĩa nằm trở nên nhỏ gọn, các polyp co lại hoàn toàn, phần trung tâm có thể căng phồng trong khi các nếp gấp rìa co lại hoặc cong về phía cuống.

(2) Hệ thống trâm xương (sclerites): Trâm xương trên bề mặt đĩa và thân của san hô giống *Sarcophyton* thường có dạng hình chùy, đôi khi xuất hiện các mụn cóc ở phần giữa. Trâm xương trong đĩa thường mang hình dạng thoi, que hoặc kim mảnh, có thể kèm theo một số đốt hình nón hoặc mụn cóc nhỏ, song các đặc điểm này thường ít có giá trị trong phân loại. Ngược lại, trâm xương trong lớp coenenchyme (mô liên kết giữa các polyp) của thân có ý nghĩa phân loại cao hơn, với hình dạng và kích thước đặc trưng cho từng loài.

(3) Cấu trúc polyp: Các loài thuộc giống *Sarcophyton* có hai dạng polyp với chức năng khác nhau: autozoooid – cơ quan đảm nhiệm chức năng bắt mồi và sinh sản – có khả năng co rút hoàn toàn hoặc một phần, với mức độ co rút thay đổi giữa các loài; và siphonozoooid – cơ quan duy trì hình dạng tập đoàn – luôn ở trạng thái co rút. Khoảng cách giữa các autozoooid cùng số lượng siphonozoooid xen kẽ ở vùng trung tâm và rìa của mũ san hô là những đặc điểm quan trọng trong định danh và phân loại. Các đặc điểm hình thái này đóng vai trò quan trọng trong việc nhận diện loài và góp phần làm sáng tỏ đặc điểm sinh học – sinh thái của các loài thuộc giống *Sarcophyton*.

1.1.2. Hệ thống phân loại san hô mềm *S. serenei*

Hệ thống phân loại của loài san hô mềm *S. serenei* như sau:

Giới: Animalia

Ngành: Cnidaria

Ngành phụ: Anthozoa

Lớp san hô tám ngấn: Octocorallia

Bộ san hô mềm: Malacalcyonacea

Họ: Sarcophytidae

Giống: *Sarcophyton*

Loài: *Sarcophyton serenei* Tixier–Durivault, 1958

Loài san hô mềm *S. serenei* rất khác biệt với các loài khác thuộc giống *Sarcophyton* bởi kích thước của chúng khá lớn và các trâm xương ở phần thân có đầu

nhọn (aiguilles basilaires) [17]. Các nghiên cứu trước đây về hình thái trầm xương của *S. serenei* chủ yếu dựa trên quan sát và minh họa dưới kính hiển vi quang học thông thường [17, 28]. Tuy nhiên, giữa các loài thuộc giống *Sarcophyton* có sự khác biệt về hình dạng, kích thước, đặc điểm bề mặt (như các rãnh, nốt sần, hoặc trơn nhẵn), cũng như cách sắp xếp và phân bố của trầm xương trong mô. Hiện nay, kính hiển vi điện tử quét (SEM) được sử dụng rộng rãi để phân tích chi tiết bề mặt và đặc điểm hình thái ở rõ nét hơn, mang lại thông tin chính xác hơn về các đặc điểm trầm xương của nhiều loài san hô. Kỹ thuật SEM, khi kết hợp với các phương pháp khác như phân tích di truyền, đã góp phần quan trọng trong việc cải tiến phân loại hệ thống của lớp san hô tám ngấn [29, 30]. Trong nghiên cứu của Aratake và cs. (2012) [24] đã sử dụng SEM để phân tích các đặc điểm chi tiết về kích thước và hình dạng trầm xương của loài san hô mềm *S. glaucum* cho thấy hình ảnh chi tiết, sắc nét hơn so với các phương pháp phân loại truyền thống. Tuy nhiên, đến nay, chưa có nghiên cứu nào áp dụng SEM để quan sát và mô tả hình thái của *S. serenei*. Vì vậy, việc ứng dụng SEM để phân tích chi tiết trầm xương của *S. serenei* là cần thiết, nhằm cung cấp dữ liệu chính xác hơn, hỗ trợ các nhà phân loại học trong việc so sánh và phân loại loài san hô này một cách hiệu quả hơn, đây cũng là cơ sở để xác định đúng loài cho các nội dung nghiên cứu tiếp theo của luận án.



Hình 1.1. San hô mềm *S. serenei* trong nghiên cứu

1.2. Phân bố của giống san hô mềm *Sarcophyton* và loài *S. serenei*

San hô mềm có phân bố rộng trên đại dương, từ vùng nước nhiệt đới nông đến vùng nước lạnh sâu [31]. Khoảng 107 loài san hô mềm đã được báo cáo ở vùng biển Brazil [32], 80 loài ở vùng ven bờ Biển Đỏ [33] và 70 loài ở các rạn san hô Đài Loan [34]. Chúng cũng có thể được tìm thấy ở nhiều vùng lạnh hơn như Nam Cực, Nam Phi, bờ biển Tây Bắc Thái Bình Dương của Bắc Mỹ và Bắc Đại Tây Dương [35]. Đảo Sesoko, Nhật Bản, nổi tiếng nhất với độ che phủ san hô mềm lên đến 34,4% [36].

Các loài thuộc giống *Sarcophyton* có phạm vi phân bố rộng, từ vùng triều [37] đến độ sâu lên tới 25 m [38]. Tuy nhiên, sự đa dạng cao nhất của chúng được ghi nhận tại khu vực Ấn Độ Dương–Thái Bình Dương [39], đặc biệt là trong Vùng Tam giác San hô bao gồm Indonesia, Malaysia, Philippines, Papua New Guinea, Timor Leste và quần đảo Solomon [40]. Các loài này thường xuất hiện ở những khu vực có dòng chảy mạnh, nơi điều kiện thuận lợi cho việc thu nhận thức ăn.

Cho đến nay, san hô mềm *S. serenei* đã được ghi nhận phân bố tại vịnh Suez ở Ai Cập [19] và một số vùng biển Việt Nam, bao gồm vịnh Nha Trang [15-17], vùng biển Lý Sơn [18], và khu bảo tồn biển Cù Lao Chàm [41]. Những kết quả này cho thấy có thể thu thập được mẫu *S. serenei* tại vịnh Nha Trang để tiến hành các nghiên cứu cơ bản một số đặc điểm sinh học sinh sản cũng như thu mẫu tiến hành thử nghiệm sinh sản vô tính đối tượng này.

1.3. Tổng quan tình hình nghiên cứu ngoài nước

1.3.1. Một số đặc điểm sinh thái của san hô mềm và giống *Sarcophyton*

San hô mềm tám ngón (octocorals) thường thích nghi ở nơi có dòng chảy liên tục, với cường độ vừa phải và ổn định, để tiếp cận nguồn thức ăn. Dòng chảy không chỉ vận chuyển thức ăn đến mà còn giúp loại bỏ chất thải khỏi quần thể san hô, đồng thời hỗ trợ kích thích quá trình quang hợp. Đối với các loài san hô có zooxanthellae, hình dạng tăng trưởng của chúng thường là kết quả của sự cân bằng giữa việc tối ưu hóa tiếp xúc ánh sáng (phát triển theo chiều ngang) và tương tác với dòng chảy (phát triển theo chiều dọc). Phạm vi phân bố của san hô mềm tám ngón chịu ảnh hưởng bởi các yếu tố như độ sâu, độ trong của nước, độ dốc, và hướng của sườn rạn, vốn quyết định mức độ tiếp xúc với ánh sáng. Các hạt lơ lửng trong nước làm tăng độ đục, giảm khả năng hấp thụ ánh sáng, và phổ biến nhất ở các khu vực thềm lục địa nông gần bờ hoặc gần cửa sông, nơi sóng và dòng thủy triều khuấy động trầm tích từ đáy biển. San hô mềm thường nhạy cảm hơn với sự lắng đọng trầm tích so với san hô cứng [42].

Trầm tích lắng đọng có thể gây ra nhiều ảnh hưởng tiêu cực, bao gồm ngăn cản quá trình ăn và quang hợp, cũng như giảm chất lượng nền đáy phù hợp để san hô định cư [43]. Sự tích tụ trầm tích trên bề mặt san hô mềm có thể dẫn đến hoại tử mô sau vài ngày, gây tẩy trắng hoặc thậm chí làm chết quần thể sau vài tuần [42]. Ảnh hưởng này phụ thuộc vào lượng và loại trầm tích, cũng như sự khác biệt giữa các loài [44]. San hô mềm có khả năng sử dụng chất nhầy làm tấm chắn để tự bảo vệ khỏi trầm tích [42], hoặc loại bỏ trầm tích nhờ trọng lực và chuyển động của dòng nước [42]. Việc lựa chọn nền đáy để định cư đóng vai trò quan trọng trong sự phát triển và tỷ lệ sống của quần thể san hô [45]. Ánh sáng có tác động mạnh mẽ đến các loài san hô có zooxanthellae, thúc đẩy quá trình quang hợp, trong khi lại ức chế các loài san hô không có zooxanthellae (azooxanthellate). Các loài san hô không có zooxanthellae thường chọn định cư ở các khu vực ít ánh sáng hơn. Độ sâu phân bố của san hô có zooxanthellae bị giới hạn trong khoảng 10 m ở vùng nước đục, nhưng các loài azooxanthellate, đặc biệt là thuộc các nhóm Ellisellid, Subergorgiid, và Dendronephthya, thường chiếm ưu thế ở độ sâu lớn hơn 10 m [23]. Bên cạnh đó, cường độ ánh sáng, độ mặn và chế độ dinh dưỡng cũng tác động đến tỷ lệ sống của san hô [12]. Chavanich và cs. (2009) [46] chỉ ra rằng nhiệt độ cao có ảnh hưởng lớn đến quá trình tẩy trắng của *Sarcophyton* spp. ở vịnh Thái Lan, tỉnh Chonburi, đặc biệt trong những tháng có thủy triều cực thấp (vào tháng 6).

Loài san hô mềm thuộc giống *Sarcophyton* thường tạo thành các quần thể đơn loài lớn, dễ nhận thấy ở các môi trường ven bờ, vùng triều và các rạn san hô gần bờ [47]. Các yếu tố phi sinh học như chuyển động của nước, độ sâu và độ dốc đóng vai trò quan trọng trong việc ảnh hưởng đến phân bố, diện tích che phủ và hình thái của chúng [48]. Một số nghiên cứu đã ghi nhận sự phát triển của *S. tumulosum* trên các nền đá ở vùng biển Hồng Kông, nơi có đặc trưng sóng mạnh và nước trong [49]. Loài *S. glaucum* lại thường xuất hiện ở các rạn san hô ngầm, trong đầm phá, và trên các sườn dốc hướng ra biển [50]. Tuy nhiên, thông tin về đặc điểm sinh thái của loài *S. serenei* vẫn chưa được công bố. Các báo cáo hiện chỉ đề cập đến vị trí thu mẫu ở vùng biển, mà không cung cấp dữ liệu về môi trường sống cụ thể của loài này. Vì thế, nghiên cứu một số đặc điểm sinh thái môi trường sống nhằm cung cấp dữ liệu thông số môi trường cho nuôi loài này trong điều kiện nhân tạo hay trong sinh sản vô tính đối tượng này là cần thiết.

1.3.2. Đặc điểm sinh trưởng của giống *Sarcophyton*

Tính đến nay, nghiên cứu về đặc điểm sinh trưởng của san hô, đặc biệt là san hô mềm, vẫn còn hạn chế. Tốc độ tăng trưởng của san hô là một chỉ số quan trọng để đánh giá tác động của các thay đổi môi trường đối với chức năng của rạn, đồng thời

cung cấp dữ liệu hỗ trợ việc dự đoán sự biến đổi địa lý của các rạn san hô khi đối mặt với các yếu tố tác động bất lợi ngày càng gia tăng. Mặc dù vậy, việc nghiên cứu sinh trưởng của san hô mềm thuộc họ Sarcophytidae vẫn chưa được chú trọng nhiều do khó khăn trong việc xác định và đặc tính mềm của cơ thể chúng. Sự thay đổi hình thái học của san hô, chẳng hạn như sự giãn nở do tác động của dòng nước, là yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến hình thái của chúng [51].

Phần lớn các nghiên cứu về tốc độ tăng trưởng san hô đều tập trung vào san hô cứng, mặc dù gần đây đã có một số nghiên cứu mở rộng sang san hô mềm. Tuy nhiên, vẫn còn rất ít nghiên cứu chuyên sâu về sinh trưởng của san hô mềm, dẫn đến thiếu hụt dữ liệu sinh học. Ví dụ, nghiên cứu trên hai giống *Sinularia* và *Sarcophyton* cho thấy tốc độ tăng trưởng của san hô mềm đạt khoảng 0,5 cm/năm [31]. Trong khi đó, tốc độ tăng trưởng của loài *S. glaucum* vào mùa hè đã được ghi nhận là 30,05 g trong 6 tháng, tương đương 3,95 g/tháng [52]. Các yếu tố môi trường như nhiệt độ, độ lắng, độ đục và chuyển động của nước đều có thể ảnh hưởng đến tốc độ sinh trưởng của san hô [53].

Để xác định tốc độ tăng trưởng của san hô, các phương pháp phổ biến nhất là đo sự phát triển theo chiều dọc và chiều ngang của san hô, thông qua sự thay đổi chiều dài nhánh hoặc bán kính của tập đoàn san hô [54]. Các phương pháp truyền thống để đo các tỷ lệ này bao gồm: (1) đo đạc trực tiếp và lặp lại các nhánh đã được gắn thẻ [55], mặc dù phương pháp này chỉ khả thi đối với các loài san hô phân nhánh và có thể gây ảnh hưởng đến sự phát triển do quá trình gắn thẻ [56]; (2) đo chiều cao hoặc đường kính của san hô tại chỗ hoặc từ ảnh chụp [55], còn gọi là phương pháp đo hình thái học, tuy nhiên phương pháp này không phản ánh được mô hình phát triển của các tập đoàn san hô, đặc biệt là các trục tăng trưởng khác nhau hoặc tác động cục bộ [54]; (3) lấy lõi san hô và chụp x-quang [57], phương pháp này chỉ phù hợp với khoảng 7% các loài san hô có kích thước lớn [54]; (4) phương pháp nhuộm Alizarin [58], thích hợp cho nhiều hình dạng tăng trưởng nhưng tốn nhiều thời gian và có thể không hiệu quả với một số loài san hô do khả năng hấp thụ thuốc nhuộm kém [59], đồng thời mẫu san hô sẽ bị chết để thực hiện đo lường.

Đối với các loài san hô mềm, bộ xương của chúng không chứa canxi cacbonat mà phụ thuộc vào áp suất thủy tĩnh để duy trì hình dạng cơ thể [23]. Hình dạng này có thể thay đổi theo thời gian do sự dao động của môi trường [31], tuy nhiên, một số nghiên cứu đã ước tính diện tích bề mặt của san hô mềm thông qua các phương pháp đo hình học cơ thể [60] hoặc đo sinh trưởng theo chiều dọc [61]. Hiện nay, để xác định tốc độ tăng trưởng của san hô mà không gây tổn hại, phương pháp chụp ảnh dưới nước để tái tạo các mô hình kỹ thuật số của tập đoàn san hô đã trở thành lựa

chọn phổ biến. Phương pháp này sử dụng các bức ảnh 2D, chụp bằng camera có vỏ bảo vệ và thước đo gần khu vực san hô [53]. Sau đó, các ảnh chụp được xử lý bằng các phần mềm khác nhau như Metashape–SfM [62] và ImageJ để định lượng sự mất mô của san hô [63] hoặc xác định diện tích bề mặt của san hô [64, 65]. ImageJ, phần mềm này ra đời từ năm 1987 và đã trải qua nhiều cải tiến, cung cấp một phương pháp xử lý đơn giản và dễ sử dụng, đồng thời là phần mềm mã nguồn mở [66]. Hiện nay, ImageJ được ứng dụng rộng rãi trong sinh học thực nghiệm dưới nước và biển. Phương pháp này đã chứng minh hiệu quả trong nghiên cứu rạn san hô, đặc biệt trong việc xác định diện tích bề mặt của san hô và các sinh vật khác tại chỗ mà không bị giới hạn bởi kích thước, đồng thời thay thế các phương pháp khác như bọc giấy bạc hay nhúng sáp [67].

Nghiên cứu của Bennecke và cs. (2016) [68] đã xác định tốc độ tăng trưởng của san hô tám ngón nước sâu bằng cách so sánh chiều dài tổng số của các trục chính theo thời gian và đo khoảng cách giữa các đường viền mặt cắt ngang. Một nghiên cứu khác về loài san hô mềm *Sclerophytum polydactylum* (tên gọi trước đây là *Sinularia polydactyla*) bằng phương pháp 2D cho thấy tốc độ tăng trưởng có sự khác biệt theo mùa và kích thước tập đoàn, với tốc độ tăng trưởng từ 6,67 – 12,68% đối với các tập đoàn nhỏ và 4,37 – 6,72% đối với các tập đoàn lớn [53]. Một nghiên cứu gần đây Dang Tran Tu Tram và cs. (2023) [69] đã ứng dụng phân tích hình ảnh bằng phần mềm ImageJ để xác định tốc độ tăng trưởng của *Sarcophyton* sp. sau 90 ngày nuôi trong hệ thống bể tuần hoàn đặt ngoài trời, và ghi nhận tốc độ tăng trưởng cao nhất là $0,397 \pm 0,003$ cm ngày⁻¹ đối với mảnh cắt 2,5 cm. Phương pháp đo ảnh này không chỉ nhanh chóng, dễ thực hiện và không tốn kém, mà còn không xâm lấn vào san hô, đem lại kết quả chính xác. Tuy nhiên, cho đến nay, vẫn chưa có nghiên cứu công bố về sự sinh trưởng của loài san hô mềm *S. serenei*, đặc biệt là sử dụng phương pháp chụp ảnh dưới nước đối với loài này.

Đến nay, rất ít nghiên cứu về san hô mềm *S. serenei* đã được công bố. Mặc dù đã có một số nghiên cứu trước đây về hình thái học của loài san hô này, các nghiên cứu này chủ yếu tập trung vào mô tả hình dạng bên ngoài và hình vẽ qua quan sát trầm xương dưới kính hiển vi quang học, nhưng vẫn còn hạn chế về độ chi tiết. Hơn nữa, chưa có nghiên cứu nào về sự sinh trưởng cũng như các yếu tố ảnh hưởng đến sinh trưởng và sức khỏe của loài san hô mềm *S. serenei*. Vì vậy, việc nghiên cứu đặc điểm sinh học của *S. serenei* tại vịnh Nha Trang là cần thiết, nhằm tạo cơ sở cho các nghiên cứu tiếp theo về loài này.

1.3.3. Một số đặc điểm sinh học sinh sản của san hô mềm

Đánh giá khả năng sinh sản của san hô có thể thông qua các chỉ tiêu như số lượng noãn bào hoặc planulae tạo ra trên mỗi polyp, hoặc mật độ noãn bào trên mỗi cm^2 . Các loài san hô thụ tinh trên bề mặt thường sản xuất một số lượng nhỏ các planulae có kích thước lớn, trong khi các loài san hô đẻ trứng phát tán lại tạo ra số lượng lớn các giao tử có kích thước nhỏ [70]. Tuy nhiên, để đánh giá khả năng sinh sản hàng năm của san hô, cần thu thập nhiều thông tin khác nhau, bao gồm: (a) số lần sinh sản mỗi năm, (b) thời gian trong năm xảy ra quá trình sinh sản, (c) tỷ lệ quần thể tham gia sinh sản, (d) sự khác biệt trong khả năng sinh sản liên quan đến tuổi tác hoặc kích thước cơ thể, và (e) các yếu tố môi trường tác động đến quá trình sinh sản [70].

1.3.3.1. Phương thức sinh sản

Phương thức sinh sản là yếu tố quan trọng quyết định số lượng và sự phân bố của san hô, và ở phân lớp san hô tám ngón (Octocorallia), cả sinh sản vô tính và hữu tính đều xuất hiện [71]. Sinh sản vô tính khá phổ biến ở san hô mềm và có nhiều cơ chế khác nhau, chẳng hạn như phân mảnh tập đoàn, phân đôi hoặc nảy chồi. Các cơ chế này giúp các loài san hô thuộc phân lớp Octocorallia duy trì và phát triển. Sự phân hạch đơn giản [72], sự phân chia thành các tập đoàn mới khi tách ra khỏi tập đoàn bố mẹ, hoặc khả năng phục hồi và tự gắn lại vào giá thể là những ví dụ điển hình của quá trình sinh sản vô tính. Sinh sản vô tính bằng phương thức nảy chồi và phân nhánh đặc biệt quan trọng đối với các loài san hô thuộc phân lớp này, và đã được nghiên cứu ở một số loài như *Sclerophyllum flexibile* (tên gọi trước đây là *Sinularia flexibilis*), nơi tập đoàn con có thể hình thành từ các chồi nhỏ ở rìa hoặc gốc của các tập đoàn mẹ [23]. Nghiên cứu ở loài *Ovabunda macrospiculata* cho thấy các tập đoàn mới có thể nảy chồi sau 3 – 4 tháng định cư trên nền đáy [45].

Sinh sản hữu tính là yếu tố quan trọng để duy trì quần thể và ảnh hưởng trực tiếp đến các loài san hô trong nhóm này [5]. Quá trình sinh sản hữu tính có thể là đơn tính hoặc lưỡng tính. Các nghiên cứu cho thấy san hô tám ngón chủ yếu là đơn tính, với cấu trúc sinh sản đực hoặc cái trong các tập đoàn riêng biệt, chiếm đến 89% loài san hô mềm [73]. Một số ít loài lại lưỡng tính, mang cả cấu trúc sinh đực đực và cái trong cùng một tập đoàn [5]. Đặc biệt, có sự thay đổi hình thức sinh sản theo vùng địa lý. Ví dụ, loài *Heteroxenia elizabethae* ở Biển Đỏ là lưỡng tính, nhưng tại rạn san hô Great Barrier lại được xác định là loài đơn tính [74]. Tương tự, *S. glaucum* là loài đơn tính ở Biển Đỏ và Great Barrier, nhưng lại được ghi nhận là lưỡng tính ở Nam Phi [75, 76].

Tuyến sinh dục của các loài san hô nhóm Octocoral chủ yếu nằm ở siphonozooids (loài *Bathyalcyon robustum*) hoặc cả siphonozooids và autozooids (loài *Minabea robusta*), nhưng cũng có loài chỉ gặp ở autozooids như *Lobophytum*, *Sarcophyton* và *Heteroxenia* [75, 77]. Tuyến sinh dục phát triển dọc theo mạc treo polyp, bắt nguồn từ dạ dày và kéo dài vào khoang polyp khi kích thước tuyến sinh dục tăng lên [73]. Quá trình sinh tinh thường diễn ra nhanh hơn quá trình tạo trứng Kahng và cs. (2011) [5]. Giao tử phóng thích vào nước thường đồng pha với chu kỳ trăng hoặc nhiệt độ nước [74, 78], với trứng được thụ tinh ngoài cơ thể và phát triển thành ấu trùng sống trôi nổi trong môi trường từ vài ngày đến vài tuần, trước khi bám vào đáy và hình thành polyp mới [23]. Ở vùng nhiệt đới, các loài san hô octocoral thường có sự trưởng thành và sinh sản đồng bộ giữa các tập đoàn, mặc dù một số nghiên cứu cho thấy khả năng thụ tinh trong ở một số loài san hô thuộc họ Sarcophytidae, và ấu trùng sẽ phát triển bên ngoài tập đoàn mẹ [6].

Các loài san hô tám ngón được nghiên cứu đến nay đều có khả năng sinh sản hữu tính, với ba hình thức chính: (1) thụ tinh ngoài (phát tán tinh trùng và trứng vào môi trường nước nơi quá trình thụ tinh diễn ra) (2) thụ tinh bên trong (quá trình thụ tinh diễn ra bên trong của tập đoàn (trứng phát triển bên trong cơ thể cá thể cái), và (3) thụ tinh trên bề mặt của các tập đoàn mẹ [79]. Trong hình thức thụ tinh ngoài, các tập đoàn cùng loài thường giải phóng giao tử đồng loạt vào khoảng từ một đến vài đêm sau ngày trăng tròn, chủ yếu vào cuối mùa xuân [80].

Theo Kahng và cs (2011), khoảng 49% loài san hô mềm có hình thức thụ tinh ngoài, 40% loài thụ tinh bên trong, và khoảng 11% loài thụ tinh bề mặt [5]. Nếu quá trình tạo phôi diễn ra bên trong, mỗi polyp chỉ sản sinh khoảng 18 – 24 trứng do kích thước nhỏ của polyp, trong khi ấp trứng trên bề mặt giúp tối đa hóa khả năng sinh sản nhờ bảo vệ hợp tử trong quá trình tạo phôi [81]. San hô mềm thường có các đợt sinh sản ngắn, theo mùa và đồng bộ, và sự khác biệt về kích thước, số lượng trứng cũng như thời gian sinh sản giữa các tập đoàn có thể được quan sát ở các đợt sinh sản đầu tiên [45, 82].

Các nghiên cứu hiện tại chỉ ra rằng, ở các loài san hô thuộc nhóm các loài san hô tám ngón vùng ôn đới, quá trình hình thành giao tử diễn ra liên tục và thụ tinh xảy ra bên trong [83]. Trong khi đó, ở các loài Octocoral vùng nhiệt đới, quá trình sinh sản đồng bộ thường xảy ra với chu kỳ sinh sản ngắn, và thụ tinh diễn ra bên ngoài [74]. Các loài san hô thuộc nhóm này có thể sinh sản theo hình thức đơn tính, lưỡng tính, hoặc trứng có thể được sản sinh bởi các tập đoàn cái và phát triển thành ấu trùng planula mà không cần thụ tinh [5].

Quá trình phát sinh giao tử ở san hô có thể diễn ra không đồng bộ giữa các tập đoàn đực và cái, ngay cả trong cùng một loài. Một nghiên cứu về loài *Sarcophyton glaucum* chỉ ra rằng các tập đoàn đực chỉ mất khoảng 9 đến 10 tháng để hình thành giao tử, trong khi các tập đoàn cái cần từ 16 đến 18 tháng [84]. Thậm chí trong cùng một tập đoàn, hoặc ngay cả trong cùng một polyp, có thể quan sát thấy các giai đoạn khác nhau của sự phát triển trứng, với sự khác biệt rõ rệt về đường kính giao tử [73].

Tuyến sinh dục ở cả tập đoàn đực và cái phát triển dọc theo mạch treo, thường ở vùng đáy và bám vào mạch treo qua một cuống ngắn [77]. Khi tuyến sinh dục tăng kích thước, chúng sẽ mở rộng vào khoang polyp. Các tế bào sinh giao tử có thể được giải phóng vào khoang ruột trước khi phân hóa hoàn toàn. Quá trình sinh giao tử chủ yếu diễn ra ở autozoid, nhưng ở một số loài, tuyến sinh dục cũng có thể xuất hiện ở siphonozoid, như ở các loài thuộc giống *Alcyonacean* và *Anthomastis* [85], hoặc *Bathyalcon robustum* [86]. Ở loài *Minabea robusta* và các Octocoral thuộc bộ Malacalcyonacea, tuyến sinh dục xuất hiện ở cả autozoid và siphonozoid [87].

Bảng 1.1. Một số kết quả nghiên cứu về kích thước trứng thành thực và phương thức sinh sản của một số loài san hô mềm

Loài	Kích thước trứng (μm)	Phương thức sinh sản	Tài liệu tham khảo
<i>Alcyonium digitatum</i>	600	Phát tán trứng và tinh trùng	[88]
<i>Lobophytum crassum</i>	600	Phát tán trứng và tinh trùng	[89]
<i>Parerythropodium fulvum fulvum</i>	600 – 700	Ấp trứng bề mặt	[81]
<i>Xenia macrospiculata</i>	500	Ấp trứng bên trong	[45]
<i>X. umbellata</i>	500 – 600	Ấp trứng bên trong	[90]
<i>S. glaucum</i>	400 – 450	Ấp trứng bên trong	[52]
<i>S. glaucum</i>	500 – 650	Phát tán trứng và tinh trùng	[75]

San hô thuộc nhóm *Sarcophyton* có khả năng sinh sản hữu tính thông qua các cơ chế khác nhau, bao gồm thụ tinh ngoài, thụ tinh trên bề mặt, hoặc thụ tinh bên

trong [5]. Khi trứng và tinh trùng được phát tán vào môi trường nước, ấu trùng có thể trôi nổi trong thời gian dài trước khi lắng xuống và bám vào đáy, giúp chúng có khả năng phân tán xa hơn [91]. Ngược lại, ở các loài ấp trứng bên trong hoặc trên bề mặt tập đoàn mẹ, ấu trùng thường ổn định nhanh chóng sau khi rời khỏi cơ thể mẹ, dẫn đến phạm vi phân tán hạn chế [81]. Kích thước thành thực và phương thức sinh sản của một số loài san hô mềm được thể hiện ở Bảng 1.1.

Phương thức sinh sản và thời gian sinh sản của san hô *Sarcophyton* thay đổi tùy thuộc vào vị trí địa lý, ngay cả trong cùng một giống [73] hoặc cùng một loài [75, 76]. Trong quá trình sinh sản, san hô mẹ giải phóng số lượng lớn trứng và tinh trùng, được hình thành trong các mạc treo quanh polyp [73]. Sự thụ tinh xảy ra trong cột nước và thường tuân theo chu kỳ trăng [5, 78]. Sau khi thụ tinh, ấu trùng ăn sinh vật phù du trong vài ngày đến vài tuần, sau đó lắng xuống đáy và phát triển thành polyp [23].

1.3.3.2. Kích thước sinh sản lần đầu và mùa vụ sinh sản

Các loài san hô tám ngón khác nhau về độ tuổi và kích thước ở lần sinh sản đầu tiên. Một số nghiên cứu đã chỉ ra kích thước tập đoàn có ảnh hưởng đến sinh sản của các loài san hô mềm. Kết quả cho thấy với các tập đoàn *Lobophytum crassum* có đường kính nhỏ hơn 18 cm sẽ không thể sản xuất giao tử [89], ở san hô *Plexaura* sp. thì tập đoàn nhỏ nhất được phát hiện có khả năng tham gia sinh sản khi có chiều cao 10 cm, các tập đoàn có chiều cao từ 30 cm trở xuống thì tuyển sinh dục ít khi trưởng thành hơn (32%), trong khi các tập đoàn có chiều cao trên 30 cm thì có 80% đã có tuyển sinh dục trưởng thành [82], trong khi đó các tập đoàn *Heteroxenia fucenscens* được cho là không tham gia sinh sản khi thể tích tập đoàn chưa vượt quá 10 cm³ [77]. Ở san hô *Pseudoplexaura porosa*, các quần thể cao dưới 50 cm không chứa tuyển sinh dục [92] trong khi *Pseudopterogorgia elisabethae*, sẽ trưởng thành về mặt sinh sản khi các quần thể đạt chiều cao 18 – 20 cm [93]. Bên cạnh đó, kết quả nghiên cứu trên 334 tập đoàn san hô *S. elegans* cho thấy san hô tham gia sinh sản lần đầu khi đường kính đạt 13 – 14 cm ở cá thể cái và ở cá thể đực là 12 cm. Tuy nhiên, hầu hết các cá thể 14 – 15 cm chưa thành thực, loài được xác định là thành thực sinh dục khi đường kính đạt trên 16 cm [78].

Kích thước trứng trưởng thành của các loài san hô tám ngón rất khác nhau, tùy thuộc vào kích thước polyp [82], sự phát triển của ấu trùng [94], hoặc đặc điểm sinh sản của chúng (phát tán giao tử, đẻ trứng, ấp trứng). Nghiên cứu của Orejas và cs. (2002) [95] cho thấy các loài ấp trứng với quá trình thụ tinh bên trong thường có trứng lớn (> 600 µm), trong khi Levitan (2000) [96] chỉ ra rằng các loài san hô đẻ

trứng theo đợt có kích thước trứng lớn hơn, nhằm tăng khả năng tiếp xúc với tinh trùng và cải thiện khả năng thụ tinh. Ngược lại, các loài ấp trứng trên bề mặt như *Pseudopterogorgia elisabethae* có kích thước trứng nhỏ hơn (300 – 580 μm), giúp tối đa hóa khả năng thụ tinh do tiếp xúc với lượng nước lớn chảy qua [93].

Theo nghiên cứu của Brazeau và Lasker (1989) [82], loài san hô *Plexuara homomalla* là có hình thức sinh sản đồng bộ, với quá trình sinh sản kéo dài từ 4 – 7 ngày và bắt đầu sau 1 – 2 ngày mỗi kỳ trăng tròn. Thời gian giải phóng trứng diễn ra gần như đồng thời giữa các tập đoàn, bắt đầu ngay sau khi mặt trời lặn (khoảng 18:30 – 18:50) và kéo dài khoảng 90 phút mỗi đêm. Các tế bào trứng được ghi nhận xuất hiện trong polyp suốt cả năm, với giai đoạn trứng đầu tiên hình thành tại gốc polyp vào tháng 11, sau đó tăng dần kích thước trong những tháng tiếp theo. Từ tháng 1, số lượng trứng trên mỗi polyp bắt đầu tăng và đạt đỉnh vào đầu tháng 5. Quá trình trưởng thành của trứng kéo dài khoảng 7 – 9 tháng, và giai đoạn sinh sản của loài này được xác định từ tháng 5 đến tháng 7.

Nghiên cứu về *S. glaucum* cho thấy trứng trưởng thành có đường kính 400 – 450 μm , với quá trình phát triển kéo dài 20 – 23 tháng. Loài này có kiểu sinh sản ấp trứng, trong đó tuyến sinh dục cái phát triển vào cuối tháng 10, sớm hơn tuyến sinh dục đực (cuối tháng 2 năm sau). Thụ tinh diễn ra từ tháng 1 đến tháng 2, và hợp tử phát triển bên trong cơ thể mẹ. Ấu trùng dạng tròn, có xúc tu nhỏ (tám xúc tu) bao quanh đĩa miệng, giúp chúng bơi bằng chuyển động xoay tròn và đạt kích thước khoảng 300 μm [52].

Tuy nhiên, Benayahu và Loya (1986) [75] ghi nhận trứng của *S. glaucum* có đường kính 500 – 650 μm vào tháng 7, với quá trình phát triển kéo dài 22 – 23 tháng. Schleyer và cs. (2004) [76] báo cáo rằng quá trình sinh giao tử ở con đực kéo dài 9 – 10 tháng, trong khi ở con cái là 16 – 18 tháng, và hoạt động sinh sản diễn ra hàng năm vào tháng 3. Các nghiên cứu gần đây cũng ghi nhận tinh trùng trưởng thành với kích thước 500 – 600 μm xuất hiện vào tháng 12, hoàn thành quá trình hình thành trong chưa đầy 12 tháng. Tuy nhiên, Benayahu và Loya (1986) [75] lại phát hiện tinh trùng non từ tháng 8 – 9, mất 10 – 12 tháng để trưởng thành và đạt kích thước khoảng 400 μm trước khi sinh sản.

Nghiên cứu trên *S. elegans* cho thấy quá trình sinh trứng kéo dài 20 – 22 tháng, với trứng trưởng thành có đường kính 450 – 620 μm . Tinh trùng mất 10 – 12 tháng để phát triển, và các túi tinh trùng trưởng thành đạt kích thước 300 – 450 μm trước khi tham gia vào quá trình sinh sản [78].

Đặc điểm sinh học sinh sản của các loài khác nhau như kích thước trứng, thời điểm thành thực,... thậm chí trong cùng một loài cũng có thể có sự sai khác nhau, điều này có thể do đặc điểm điều kiện địa lý khác nhau, dẫn đến sự tích lũy chất cho quá trình sinh sản là khác nhau. Cho đến nay, đặc điểm sinh học sinh sản của loài san hô mềm *S. serenei* như thế nào vẫn chưa được biết đến.

1.3.4. Quan hệ giữa zooxanthellae, Chlorophyll-*a* và san hô mềm

Các loài san hô mềm thuộc các giống *Sarcophyton*, *Sinularia*, *Xenia* và *Lobophytum* được ghi nhận có mối quan hệ cộng sinh nội bào với zooxanthellae thuộc chi *Symbiodinium* [97]. Thông qua quá trình quang hợp của zooxanthellae, san hô có thể nhận được từ 65 – 100% nhu cầu năng lượng cần thiết cho các hoạt động trao đổi chất [98]. Ngoài việc cung cấp nguồn dinh dưỡng, các zooxanthellae này còn góp phần tạo nên màu sắc đặc trưng của nhiều loài san hô mềm. Mối quan hệ cộng sinh này mang tính phụ thuộc cao, khi san hô chịu tác động của các yếu tố gây stress môi trường (như biến động nhiệt độ), các polyp có thể trục xuất zooxanthellae ra khỏi mô, dẫn đến hiện tượng “tẩy trắng san hô”. Lục lạp của tảo thuộc họ *Symbiodiniaceae* chứa các sắc tố quang hợp như Chlorophyll-*a*, Chlorophyll-*c*₂ và carotenoid, giúp hấp thu năng lượng ánh sáng, thực hiện quang hợp, đồng thời bảo vệ hệ cộng sinh khỏi tác động của bức xạ tử ngoại [99]. Cường độ ánh sáng là yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến hàm lượng Chlorophyll-*a* trong tế bào zooxanthellae. Ánh sáng quá mạnh có thể làm tăng sản sinh oxy, dẫn đến hiện tượng stress quá trình oxy hóa, khiến một phần tảo bị tách khỏi mô san hô hoặc mất sắc tố, thậm chí gây chết san hô. Ngược lại, trong điều kiện ánh sáng yếu, hàm lượng Chlorophyll-*a* trong zooxanthellae có xu hướng tăng, gây biến đổi màu sắc của san hô. Đến nay, các nghiên cứu về đặc điểm zooxanthellae cũng như hàm lượng Chlorophyll-*a* ở loài *S. serenei* vẫn chưa được công bố.

1.3.5. Một số kết quả nghiên cứu về sinh sản vô tính san hô mềm

Sinh sản vô tính là phương pháp phổ biến để nhân giống san hô, đặc biệt giúp duy trì tập đoàn san hô với tỷ lệ sống cao mà không cần khai thác tự nhiên [100]. Phương pháp này bao gồm việc tách các mảnh nhỏ từ tập đoàn bố mẹ, sau đó cố định vào giá thể để phát triển thành tập đoàn mới [101]. Các phương pháp cố định mảnh san hô như dán keo epoxy, buộc bằng dây thun, hay treo dây cước đã được nghiên cứu trên các loài *Sinularia* sp., *Cladiella* sp. và *Sarcophyton* sp. [10]. Tuy nhiên, chưa có nghiên cứu cụ thể nào về kỹ thuật và thông số tối ưu đối với loài san hô mềm *S. serenei*. Kích thước mảnh cắt, loại giá thể, chế độ cho ăn, ánh sáng và phương pháp xử lý mảnh phân tách như sử dụng dung dịch sát khuẩn (ví dụ Lugol) là các yếu tố

cần được đánh giá thêm để cải thiện tỷ lệ sống và tăng trưởng của san hô mềm trong điều kiện nhân tạo.

1.3.5.1. Ứng dụng dung dịch Lugol trong khử trùng vết thương

Sinh sản vô tính bắt đầu bằng kỹ thuật tách mảnh, việc cắt các mảnh san hô sẽ giải phóng chất nhầy, thúc đẩy sự phát triển của vi khuẩn, nấm và các vi sinh vật khác, có khả năng gây hoại tử và chết san hô. Chúng ta phải nhanh chóng xử lý vết thương do tách rời để ngăn ngừa nhiễm trùng ở cả san hô bố mẹ và san hô được tách mảnh [102]. Lugol, một chất khử trùng thường được sử dụng cho con người và trong ngành công nghiệp nuôi cá cảnh, có chứa iodine, halogen có đặc tính diệt khuẩn được biết là có thể tiêu diệt vi sinh vật [102-104]. Dung dịch Lugol 5% (với thành phần 100 mg/mL KI và 50 mg mL⁻¹ I₂) là một chất có tính oxy hóa mạnh, phổ khử trùng rộng và có khả năng làm lành các mô bị tổn thương. Hiện nay, sản phẩm Lugol trên thị trường cho san hô có nhiều chủng loại dưới các tên thương mại khác nhau và hàm lượng Iốt thường không xác định tuy nhiên sản phẩm Lugol của các công ty uy tín thì nồng độ Iốt là 5% (Lugol's solution, Tropic Marin® Pro-Coral Cure, Tropic Marin Coral clean, ...). Liều lượng sử dụng khuyến nghị khác nhau tùy theo nhà sản xuất và tùy thuộc vào mục đích sử dụng như bổ sung iodine định kỳ, điều trị vết thương hở hay các bệnh đốm trắng, hoại tử,... Trong đó, khuyến cáo cho xử lý vết thương hở trên san hô được các nhà sản xuất đề xuất là 30 – 40 giọt Lugol gallon⁻¹ nước biển với thời gian xử lý khoảng 10 – 15 phút. Một số nghiên cứu ứng dụng về Lugol trong nuôi cảnh biển chủ yếu tập trung vào việc điều trị các bệnh cho san hô [105-107] tuy nhiên nghiên cứu sử dụng Lugol để khử trùng vết thương trong quá trình tách mảnh san hô vẫn còn nhiều hạn chế. Đã có một vài nghiên cứu sử dụng Lugol để sát trùng cho san hô như 1,32 mL L⁻¹ nước biển [103] hay một giọt gallon⁻¹ nước biển [105], hoặc 0,5 mL dung dịch Lugol 5% L⁻¹ nước biển trong 15 phút là một phần trong phác đồ điều trị và phòng bệnh mất mô trên các san hô cứng *Dendrogyra cylindrus* [108]. Klinges và cs. (2023) [109] đã sử dụng nồng độ 1 mL L⁻¹ Lugol để thử nghiệm như một chất khử trùng phòng ngừa bệnh trên hai loại san hô cứng: *Acropora palmate* và *Orricella faveolata*. Tuy nhiên, chưa có khuyến cáo về nồng độ và thời gian sử dụng của Lugol trên san hô mềm nói chung và trên sinh sản vô tính san hô mềm *S. serenei* nói riêng. Việc áp dụng chất khử trùng thường tuân theo hai hướng tiếp cận chính: sử dụng nồng độ cao trong thời gian ngắn hoặc sử dụng nồng độ thấp trong khoảng thời gian dài hơn. Tuy nhiên, đối với dung dịch Lugol, các thông số tối ưu về nồng độ và thời gian xử lý mảnh cắt hiện vẫn chưa được xác định rõ (thông tin sử dụng chỉ mới được ghi nhận ở nồng độ 0,5 và 1 mL L⁻¹, thời gian xử lý 10 – 15 phút). Những nghiên cứu đã công bố chủ yếu chỉ đề cập đến quy trình sử dụng mà chưa đánh giá

cụ thể mối quan hệ giữa nồng độ và thời gian xử lý. Ngoài ra, mỗi loài sinh vật có những đặc điểm sinh học và khả năng chịu đựng khác nhau đối với tác nhân khử trùng. Do đó, việc xác định chế độ xử lý phù hợp cần dựa trên việc khảo sát cả giới hạn tối thiểu và tối đa của các mức nồng độ cũng như thời gian đã được áp dụng trước đây, từ đó lựa chọn ngưỡng tối ưu cho đối tượng nghiên cứu.

1.3.5.2. Kích thước mảnh tách và loại giá thể

Kích thước mảnh tách có ảnh hưởng ý nghĩa đến tỷ lệ sống của các mảnh cắt san hô con đã được nghiên cứu trên nhiều loài san hô cứng [110-113]. Trên san hô mềm, nghiên cứu của Sella và Benayahu (2010) [12] đã chỉ ra rằng các mảnh cắt *S. glaucum* (6×6 mm) lấy từ phần ngoại vi của phần trên (mũ nấm) và mảnh cắt có số polyp lớn hơn 5 sẽ cho tỷ lệ sống tốt hơn. Chaitanawisuti và Kritsanapuntu (2019) [10] đã tiến hành thí nghiệm ảnh hưởng của các phương pháp gắn giá thể, các mảnh san hô mềm *Sarcophyton* sp. có kích thước 25 mm^2 (5×5 mm) được gắn vào giá thể theo phương pháp xuyên tăm tre cho tỷ lệ sống trung bình cao nhất có ý nghĩa ($93,3 \pm 5,7\%$) so với các phương pháp còn lại. Trong báo cáo của Chang và cs. (2020) [14] về ảnh hưởng hệ thống nuôi đến tốc độ tăng trưởng đặc trưng, khối lượng ướt, kích thước của các mảnh cắt san hô mềm *S. glaucum*, tác giả đã sử dụng các mảnh cắt có kích thước đường kính ban đầu khoảng 10 mm gắn trên giá thể là xi măng để tiến hành thí nghiệm. Larkin và cs. (2023) [114] đã tiến hành nghiên cứu trên một loài san hô khác giống với *Sarcophyton* là loài san hô *Dendronephthya australis* với kích thước mảnh tách là $6,3 \pm 1,1$ cm, san hô được gắn trên giá thể là xi măng. Tuy nhiên, chưa có báo cáo rõ ràng về tỷ lệ sống của các mảnh cắt này sau thời gian thí nghiệm.

Aragocrete là giá thể phổ biến được thực hiện bằng cách trộn các phần bằng nhau xi măng Portland và cát aragonit, sau đó đúc lại thành dạng đĩa tròn nhỏ nhám cho các mảnh san hô bám dính [115]. Các đĩa bằng đá sống cũng cho thấy rất phù hợp với san hô thuộc các họ *Acropora*, *Euphyllia*, *Porites* và *Turbinaria* [101], nhưng việc sử dụng đá sống làm tăng nhu cầu khai thác san hô chết [116] nên cũng là vấn đề đang được xem xét, ngoài ra chốt nhựa, ống, neo, ... cũng được xem là phù hợp để làm chân bám cho nhiều loài san hô [117]. Trong các nghiên cứu sinh sản vô tính trên san hô mềm, chất liệu các giá đỡ chủ yếu bằng nhựa [11]; gốm [12, 14].

Hiện nay, ảnh hưởng của kích thước mảnh tách và loại giá thể đến sinh sản vô tính của san hô mềm *S. serenei* vẫn chưa được làm rõ. Việc xác định kích thước mảnh cắt tối ưu, đồng thời đánh giá khả năng thay thế đá san hô chết bằng các vật liệu nhân tạo như nhựa PVC, xi măng và gạch men, là cần thiết cho công tác nhân giống trong điều kiện nuôi trồng. Các thử nghiệm ban đầu trên giống *Sarcophyton* cho thấy loài

này thích nghi tốt với mảnh cắt khoảng 1,5 cm (thông tin chưa công bố), nhưng tác động của các kích thước nhỏ hơn hoặc lớn hơn đối với quá trình tách mảnh ở *S. serenei* vẫn chưa được biết đến. Do đó, luận án tập trung đánh giá ảnh hưởng của bốn loại giá thể (đá san hô chết, nhựa PVC, gạch men và xi măng) cùng năm mức kích thước mảnh tách (0,5; 1,0; 1,5; 2,0 và 2,5 cm) nhằm xác định điều kiện phù hợp cho sinh sản vô tính của loài này.

1.3.5.3. Ảnh hưởng của thức ăn

Dinh dưỡng là yếu tố quan trọng đối với sự phát triển của san hô mềm, đặc biệt với các loài cộng sinh với tảo zooxanthellae. Zooxanthellae cung cấp đến 95% hợp chất hữu cơ quang hợp cho san hô, đồng thời nhận lại carbon dioxide và các chất dinh dưỡng như amoniac và photphat [118]. Nhờ kết hợp dinh dưỡng quang hợp và dị dưỡng, san hô mềm như *Sarcophyton* phát triển tốt trong điều kiện nuôi cấy nhân tạo. Trong điều kiện nuôi nhân tạo, các nghiên cứu về chế độ dị dưỡng ở san hô chủ yếu dựa trên việc mô phỏng các đặc điểm của môi trường tự nhiên. Thông thường, san hô được cho ăn định kỳ bằng sinh vật phù du thu thập từ biển [119]. Mật độ sinh vật phù du sử dụng trong các thí nghiệm thường dựa trên số liệu ghi nhận tại rạn san hô tự nhiên, dao động từ 350 – 2.260 cá thể lít⁻¹, với giá trị trung bình khoảng 1.316 ± 586 cá thể lít⁻¹ [120, 121]. Dựa trên các giá trị này, mật độ cho ăn thức ăn sống đã thiết lập trong thí nghiệm trên san hô cứng *Acropora intermedia* [122], san hô mềm *S. glaucum* [11]. Tuy nhiên, việc thu thập sinh vật phù du từ môi trường tự nhiên để phục vụ nuôi san hô trong điều kiện nuôi nhốt là khó khả thi. Để khắc phục hạn chế này, luân trùng *Brachionus plicatilis* và ấu trùng *Artemia salina* thường được sử dụng làm nguồn thức ăn thay thế nhờ các ưu điểm như dễ nuôi, có thể làm giàu dinh dưỡng (đặc biệt là axit béo không no) và có kích thước phù hợp với đường kính miệng của các polyp san hô. Ấu trùng nauplii của *Artemia* có kích thước trung bình 400 – 500 µm [123], thích hợp cho các loài san hô có polyp lớn như *Galaxea fascicularis*, *Pocillopora acuta* và *Acropora digitifera* [124, 125]. Ngược lại, luân trùng *B. plicatilis* với kích thước nhỏ hơn (120 – 280 µm), khả năng vận động yếu, dễ nuôi ở mật độ cao và có thể điều chỉnh hàm lượng dinh dưỡng thông qua thức ăn [126] là lựa chọn thích hợp cho các loài san hô có polyp nhỏ như *A. intermedia* [122]. Các nghiên cứu cũng cho thấy việc bổ sung thức ăn làm tăng tỷ lệ sống, giảm sự suy giảm hàm lượng Chlorophyll-*a* dưới tác động sốc nhiệt, đồng thời giúp san hô phục hồi nhanh hơn so với các mẫu không được cho ăn [122]. Tuy nhiên, việc bổ sung thức ăn không phải lúc nào cũng cần thiết và có thể gây gia tăng nitơ, photpho hòa tan trong môi trường nước [11]. Đối với *S. serenei*, cần xác định chế độ bổ sung thức ăn tối ưu thông qua đánh giá tần suất cho ăn và hiệu quả của hai loại thức ăn là luân trùng và

Artemia, nhằm nâng cao tốc độ sinh trưởng và giảm chi phí sản xuất. Mật độ cho ăn được thiết lập dựa trên lượng sinh vật phù du ghi nhận trong môi trường tự nhiên, đồng thời quy đổi theo sinh khối tương đương giữa luân trùng và *Artemia* để đảm bảo tính đồng nhất giữa các nghiệm thức.

1.3.5.4. Ảnh hưởng của ánh sáng

Ánh sáng là yếu tố quyết định hiệu suất quang hợp của zooxanthellae và ảnh hưởng trực tiếp đến sinh trưởng của san hô mềm. Cường độ ánh sáng không phù hợp có thể làm suy giảm mật độ zooxanthellae, ảnh hưởng tiêu cực đến sinh trưởng và tỷ lệ sống của san hô [13]. Kết quả nghiên cứu cho thấy *Sclerophytum flexibile* (*Sinularia flexibilis*) đạt mật độ zooxanthellae cao nhất khi được chiếu sáng ở cường độ $80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ [127]. Kết quả của một nghiên cứu khác, cũng cho thấy kết quả tương tự trên *Sarcophyton cf. glaucum*, với mật độ zooxanthellae giảm khi cường độ ánh sáng tăng lên $120 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ so với các mẫu ở mức dưới $80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ [13]. Các nghiên cứu khác trên *S. glaucum* cũng xác định khoảng cường độ ánh sáng tối ưu dao động từ $35 - 130 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ [12] hoặc khoảng $120 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ [11]. Chang và cs. (2020) [14] khi nuôi thử nghiệm loài này ở hai mức 100 và $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ đã nhận thấy san hô phát triển tốt hơn ở cường độ $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Ngoài ra, sự khác biệt về tỷ lệ khối lượng hữu cơ giữa các nghiệm thức khi kết hợp hai loại quang phổ (ánh sáng trắng và xanh) với các mức cường độ ánh sáng 50 và $120 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ cũng đã được ghi nhận [11]. Gần đây, Dong và cs. (2023) [128] xác định mức cường độ ánh sáng tối ưu cho sự phát triển của *S. trocheliophorum* là $80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ trong khoảng khảo sát $30 - 130 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Mặc dù nhiều nghiên cứu đã ghi nhận cường độ ánh sáng dưới 80; 100 hay $120 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ là phù hợp cho một số loài san hô mềm, nhưng ảnh hưởng của yếu tố này đến khả năng tách mảnh và sinh trưởng của *S. serenei* vẫn chưa được xác định. Do mỗi loài có ngưỡng sinh thái riêng, việc đánh giá phản ứng của *S. serenei* dưới các mức ánh sáng thấp hơn 80 và cao hơn $120 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ là cần thiết nhằm xác định điều kiện chiếu sáng tối ưu cho nuôi dưỡng và nhân giống loài này.

Các nghiên cứu hiện tại về sinh sản vô tính ở san hô mềm chủ yếu tập trung vào các loài như *S. glaucum* hay *Sclerophytum flexibile* [10, 12, 13, 127]. Đối với loài *S. serenei*, các thông số như kích thước mảnh phân tách, loại giá thể, ánh sáng và phương pháp cho ăn vẫn chưa được nghiên cứu cụ thể. Bên cạnh đó, kỹ thuật xử lý mảnh cắt bằng dung dịch Lugol, vốn phổ biến với san hô cứng, cần được kiểm chứng và tối ưu hóa đối với san hô mềm. Những nghiên cứu này không chỉ góp phần nhân giống san hô mềm hiệu quả mà còn cung cấp nguồn giống bền vững cho các chương trình phục hồi rạn san hô suy thoái.

1.4. Tổng quan tình hình nghiên cứu trong nước

Các nghiên cứu tại Việt Nam trước đây đang tập trung về số lượng và thành phần loài san hô [18, 129-131], một số đặc điểm sinh học của san hô trong điều kiện tự nhiên và nuôi giữ [132], thành phần hóa học và khảo sát hoạt tính sinh học san hô mềm *Sinularia dissecta* [133], thành phần hóa học và hoạt tính sinh học của hai loài san hô mềm *S. pauciplicatum* và *Sinularia cruciata* [134], các thành phần hóa học từ san hô mềm [135] hoặc các nghiên cứu về các chủng vi khuẩn kháng vi khuẩn gây bệnh cho san hô [136]. Ngoài ra, nghiên cứu về đặc điểm sinh học của san hô bắt đầu được chú ý quan tâm, làm cơ sở bước đầu cho những nghiên cứu về sinh sản nhân tạo đối tượng này. Đặc điểm sinh học sinh sản của một số loài san hô cứng *Acropora florida*, *A. robusta*, và *A. hyacinthus* ở Vịnh Nha Trang đã được nghiên cứu bởi Vo Si Tuan và cs. (2022) [7]. Kết quả nghiên cứu đã xác định mùa sinh sản của các loài *Acropora florida*, *A. robusta* và *A. hyacinthus* dựa trên sự phát triển sinh dục và thay đổi kích thước trứng kết quả cho thấy, thời kỳ thành thục sinh dục và tham gia sinh sản không đồng đều ở các loài này. Cụ thể, *A. florida* và *A. robusta* bắt đầu sinh sản trước trăng tròn và kết thúc sau đó, trong khi *A. hyacinthus* bắt đầu sinh sản sau trăng tròn và kéo dài đến trăng khuyết. Một nghiên cứu khác của Vo Si Tuan và cs. (2022) [8] cũng ghi nhận trứng trưởng thành trong các nhánh polyp của *A. florida* và *A. robusta*, với các đợt sinh sản diễn ra từ 6 – 8 đêm sau trăng tròn vào đầu tháng 4 năm 2018 và từ 2 – 3 đêm sau trăng tròn đối với *A. robusta* vào tháng 3 năm 2019. Các tập đoàn san hô *A. hyacinthus* có thể đã sinh sản trong khoảng thời gian từ 6 – 11 đêm sau trăng tròn vào tháng 3 năm 2019. Ngược lại, loài *Dipsastraea pallida* có thời gian sinh sản muộn hơn, kéo dài từ cuối tháng 4 đến đầu tháng 5, với các đợt sinh sản diễn ra từ 4 – 5 đêm sau trăng tròn vào tháng 4 năm 2019. Các kết quả này cho thấy quá trình sinh sản của san hô ở vịnh Nha Trang không đồng nhất và kéo dài từ tháng 3 đến tháng 5.

Gần nay, Viện Hải dương học đã tiến hành một số nghiên cứu về sinh sản vô tính san hô mềm [69, 137]. Trong nghiên cứu của Đào Thị Ngọc Ngọc và cs. [137], nhóm tác giả đã khảo sát ảnh hưởng của ba loại giá thể (san hô chết, gạch nung, và gạch xi măng) lên san hô mềm *Sinularia* sp. và *Cladiella* sp. trong hệ thống bể tuần hoàn không bổ sung thức ăn suốt 90 ngày. Kết quả cho thấy giá thể san hô chết mang lại thời gian bám chân nhanh nhất, với *Sinularia* sp. đạt $13,5 \pm 2,19$ ngày và *Cladiella* sp. đạt $12,53 \pm 0,72$ ngày, sự khác biệt này có ý nghĩa so với các giá thể khác. Mặc dù không có sự khác biệt về tốc độ tăng trưởng giữa các giá thể, nhưng tỷ lệ sống của *Sinularia* sp. lại có sự sai khác có ý nghĩa thống kê, đạt giá cao nhất trên giá thể san hô chết ($93,33 \pm 6,67$ %) và thấp nhất trên gạch nung ($46,67 \pm 6,67$ %). Trong khi đó,

tỷ lệ sống của *Cladiella* sp. không khác biệt đáng kể giữa các nghiệm thức. Nghiên cứu khác của Dang Tran Tu Tram và cs. (2023) [69] đã tập trung đánh giá ảnh hưởng của kích thước mảnh cắt ($0,5 \times 0,5$ cm; $1,0 \times 1,0$ cm; $1,5 \times 1,5$ cm; $2,0 \times 2,0$ cm; $2,5 \times 2,5$ cm) đến tỷ lệ sống, tốc độ tăng trưởng và thời gian bám giá thể của san hô mềm *Sarcophyton* sp. trong hệ thống tuần hoàn. Kết quả cho thấy kích thước mảnh cắt chưa phát hiện khác biệt có ý nghĩa trong điều kiện thí nghiệm này đến tăng trưởng của đường kính đĩa miệng, đường kính chân đế và thời gian bám giá thể. Tuy nhiên, kích thước của mảnh ảnh hưởng đến tỷ lệ sống sót, tăng trưởng chiều cao và khối lượng của các đàn *Sarcophyton* sp. Nghiên cứu này chỉ ra kích thước mảnh là 1,5 cm phù hợp cho *Sarcophyton* sp. trong sinh sản vô tính bằng cách phân mảnh ở điều kiện thực nghiệm. Đến nay, những thông tin về loài san hô mềm *S. serenei* ở Việt Nam mới dừng lại ở vấn đề ghi nhận phân bố và phân loại.

Chương 2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng, thời gian và địa điểm nghiên cứu

2.1.1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là loài san hô mềm *Sarcophyton serenei* Tixier–Durivault, 1958.

2.1.2. Thời gian nghiên cứu

– Từ tháng 11 năm 2022 đến tháng 10 năm 2025.

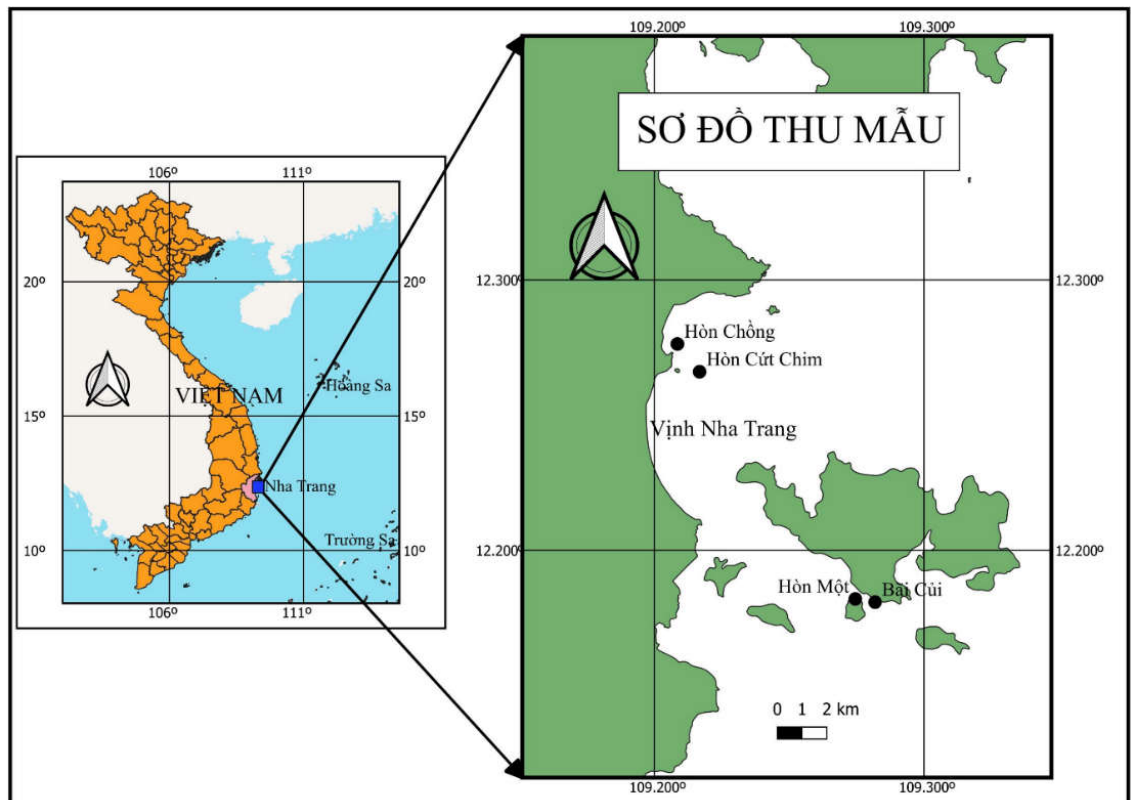
Bảng 2.1. Thông tin các mốc thời gian thực hiện chính của luận án

STT	Nội dung triển khai	Thời gian (tháng, năm)
1	Xây dựng kế hoạch, xin kinh phí nghiên cứu	11/2022 – 4/2023
2	Khảo sát sơ bộ xác định phân bố loài san hô mềm <i>S. serenei</i>	5 – 6/2023
3	Nghiên cứu một số đặc điểm sinh học của loài san hô mềm <i>S. serenei</i>	7/2023 – 8/2024
4	Nghiên cứu ảnh hưởng của Lugol và thời gian xử lý mảnh tách	7 – 10/2023
5	Nghiên cứu ảnh hưởng của giá thể và kích thước mảnh tách	1 – 5/2024
6	Nghiên cứu ảnh hưởng của thức ăn và chế độ cho ăn	7 – 12/2024
7	Nghiên cứu ảnh hưởng của cường độ ánh sáng	3 – 8/2025

2.1.3. Địa điểm nghiên cứu

– Địa điểm thu mẫu: Các địa điểm lấy mẫu được lựa chọn dựa trên các ghi nhận về phân bố loài này trước đây [15, 16] và dựa vào thực trạng phân bố hiện tại (dựa trên cuộc khảo sát sơ bộ từ tháng 5 – tháng 6 năm 2023 (tiền trạm) được tiến hành trên vịnh Nha Trang, trải dài từ phía bắc Hòn Chồng đến phía nam Hòn Tre, sử dụng phương pháp Manta Tow để xác định các khu vực có sự xuất hiện của các tập đoàn san hô mềm thuộc giống *Sarcophyton* có hình thái bên ngoài giống với loài san hô mềm *S. serenei*). Khảo sát được tiến hành bởi hai chuyên gia với sự hỗ trợ của các thiết bị chuyên dụng. Các chuyên gia được thuyền kéo dọc theo khu vực rạn khảo sát

ở tốc độ 3–5 km giờ⁻¹. Mỗi lượt kéo kéo dài 2 phút, sau đó thuyền dừng lại để ghi nhận số liệu quan sát trên phiếu chống thấm nước, tổng có 32 tuyến được kéo. Tọa độ các điểm dừng được xác định bằng máy định vị cầm tay (GPS) và lưu trữ phục vụ công tác phân tích [138]. Dựa trên cơ sở này, các khảo sát tiếp theo được tiến hành nhằm thu mẫu và phân tích các tập đoàn thuộc loài san hô mềm *S. serenei*. Đối với mỗi tập đoàn nghi ngờ thuộc loài *S. serenei*, tối thiểu hai mẫu lập được thu thập để phục vụ phân tích hình thái phân loại và đặc điểm sinh học sinh sản. Trong quá trình khảo sát thực địa, cho thấy có rất ít loài thuộc giống *Sarcophyton* có hình thái bên ngoài giống với loài san hô mềm *S. serenei* ở khu vực Hòn Một và Bãi Củi. Do đó, chúng tôi đã chọn địa điểm có nhiều tập đoàn phù hợp để thu mẫu đó là Hòn Cút Chim (12°15'55.9"N 109°13'29.3"E) và khu vực xung quanh Hòn Cút Chim đến khu vực Hòn Chông (12°17'11.0"N 109°13'15.0"E).



Hình 2.1. Địa điểm thu mẫu nghiên cứu

- Địa điểm nghiên cứu: trại thực nghiệm và phòng thí nghiệm của Viện Hải dương học.

2.1.4. Thời điểm thu mẫu:

Định kỳ vào ngày trăng tròn hàng tháng từ tháng 8 năm 2023 đến tháng 7 năm 2024, tiến hành thu mẫu môi trường kết hợp với thu mẫu sinh học sinh sản của san

hồ thí nghiệm tại các điểm kéo dài từ Hòn Cút Chim đến khu vực Hòn Chồng thuộc vịnh Nha Trang. Trong thời điểm mùa mưa năm 2023 ở khu vực Nha Trang tương đối thấp so với mọi năm, sóng gió trong thời điểm này cũng không có nhiều biến động lớn vì thế công tác thu mẫu trong thời gian này không gặp nhiều khó khăn.

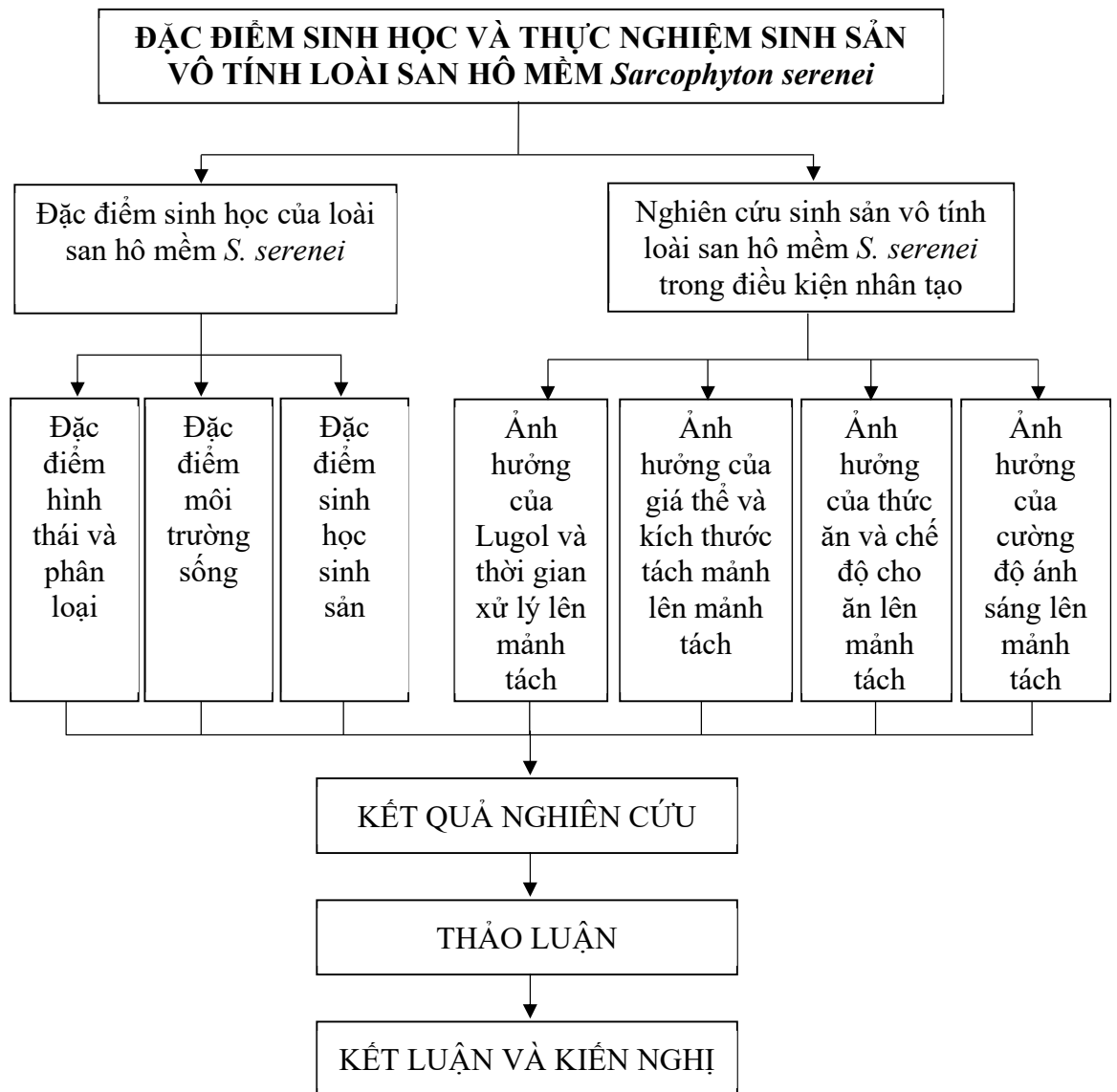
- Các tập đoàn san hô mềm *S. serenei* được thu thập ngẫu nhiên tại các rạn san hô thuộc khu vực từ Hòn Cút Chim đến Hòn Chồng, ở độ sâu khoảng 5 – 8 m. Để giảm thiểu nguy cơ lấy mẫu từ các cá thể có quan hệ dòng vô tính hoặc cùng kiểu gen, các tập đoàn được lựa chọn cách nhau tối thiểu 10 m. Khoảng cách này thường được áp dụng trong các nghiên cứu sinh thái và di truyền quần thể san hô nhằm hạn chế hiện tượng giả lặp sinh học (pseudoreplication), từ đó nâng cao tính độc lập của mẫu và độ tin cậy của các phân tích tiếp theo.

- Các yếu tố môi trường: độ đục, nhiệt độ, độ mặn, ánh sáng, DO... được thu thập ở độ sâu từ 6 đến 7 m nước vào lúc 9 đến 10 giờ sáng (2 điểm thu mẫu).

Bảng 2.2. Thông tin thu mẫu đặc điểm sinh học sinh sản và các yếu tố môi trường

TT	Ngày tháng thu mẫu	Σ mẫu san hô thu	Σ mẫu môi trường	Thủy triều lên (+)/xuống (-)	Thời gian (h)	Độ sâu (m)
1	16/8/2023	20	2	—	09	5 – 7
2	20/9/2023	20	2	+	09	6 – 8
3	26/10/2023	20	2	—	09	5 – 7
4	29/11/2023	20	2	+	10	6 – 8
5	27/12/2023	20	2	+	09	6 – 8
6	24/1/2024	20	2	+	10	6 – 8
7	22/2/2024	20	2	+	9	6 – 8
8	17/3/2024	20	2	+	9	6 – 8
9	20/3/2024	20	2	+	9	6 – 8
10	23/3/2024	20	2	+	9	6 – 8
11	27/3/2024	20	2	+	9	6 – 8
12	30/3/2024	20	2	+	9	6 – 8
13	22/4/2024	20	2	+	10	6 – 8
14	22/5/2024	40	2	—	09	5 – 7
15	17/6/2024	40	2	—	09	5 – 7
16	19/7/2024	40	2	—	09	5 – 7

2.2. Phương pháp nghiên cứu



Hình 2.2. Sơ đồ khối nội dung nghiên cứu

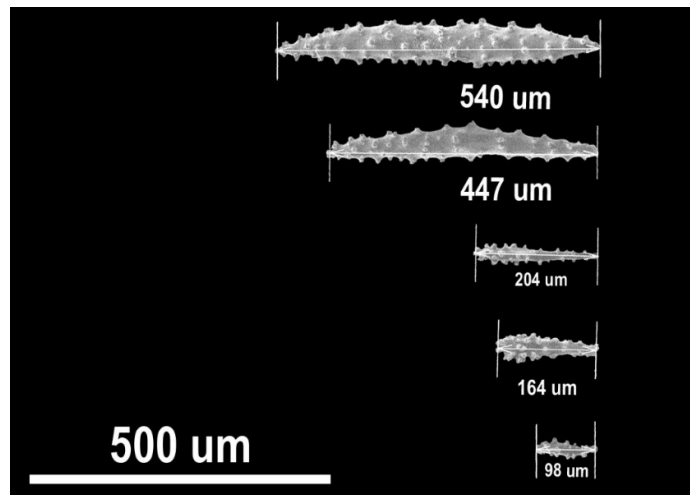
2.2.1. Nội dung 1: Đặc điểm sinh học của loài san hô mềm *S. serenei*.

Nội dung 1.1 Đặc điểm hình thái và phân loại hô mềm *S. serenei*

Đặc điểm hình thái

Hình thái bên ngoài của các mẫu san hô mềm *S. serenei* được ghi nhận tại hiện trường bằng máy ảnh dưới nước Ricoh WG-6. Các mô tả bên ngoài về màu sắc, hình dạng tập đoàn, polyp, thân, mũ phân tích theo các từ khóa phân loại được mô tả bởi Tixier-Durivault (1958 [17], Verseveldt (1982) [28], Dautova và Savinkin (2013) [15].

Tổng 35 mẫu của tập đoàn san hô mềm *S. serenei* được thu thập và được bảo quản trong dung dịch ethanol 70%. Để mô tả hình thái trầm xương, các trầm xương này được thu bằng cách hòa tan các mô trong 10% natri hypochlorite, sau đó rửa sạch trong nước ngọt theo Bayer và cs. (1983) [139]. Các trầm xương được rửa bằng nước cất hai lần và kiểm tra bằng kính hiển vi quang học Olympus CX31. Khoảng 30 trầm xương của mỗi loại của các phần trên tập đoàn san hô (vỏ mũ, polyp, vỏ thân, mô thân, v.v.), được chụp và đo trực tiếp dưới kính hiển vi quang học bằng phần mềm của camera gắn trên kính hiển vi Olympus BX51 nối với máy vi tính. Sau khi kiểm tra trên kính hiển vi quang học, các mẫu trầm xương của san hô có hình dạng, kích thước tương tự san hô mềm *S. serenei* được gửi mẫu đến Viện Vệ sinh Dịch tễ Trung ương và Trung tâm Công nghệ Sinh học Tp. Hồ Chí Minh để kiểm tra phân tích kính hiển vi điện tử quét SEM.



Hình 2.3. Đo kích thước của các trầm xương

Nội dung 1.2. Đặc điểm môi trường sống của loài san hô mềm *S. serenei*.

Các thông số pH, nhiệt độ, độ mặn, độ đục được xác định ngay tại hiện trường bằng thiết bị đo chất lượng nước đa thông số (YSI ProDSS–Digital Sampling System, code: 626911–20) (với sai số lần lượt là 0,2; 0,2°C; 1‰; 2‰; 0,3); ánh sáng được đo ngay trên bề mặt rạn san hô bằng thiết bị HOBO Data Logger (Onset US–002–64) (đo 1 lần tại 1 địa điểm).

Các thông số muối dinh dưỡng NH_4^+ , NO_3^- : mẫu được bảo quản bằng clorofoc ($\geq 99,8\%$) 1 mL L^{-1} trong chai nhựa giữ lạnh ở nhiệt độ 2 – 5 °C. NH_4^+ được xác định theo phương pháp xanh indophenol và NO_3^- được xác định theo phương pháp khử cadimi [140].

COD được cố định bằng H_2SO_4 (1:1 $\approx 49\%$) (sao cho pH dao động từ 1 – 2). COD được xác định bằng phương pháp Kali permanganat (KMnO_4), chất hữu cơ

trong mẫu nước phản ứng với một lượng dư chính xác KMnO_4 trong môi trường axit (H_2SO_4) và đun sôi. Lượng KMnO_4 dư sau phản ứng được chuẩn độ bằng dung dịch chuẩn Natri thiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$). Lượng KMnO_4 tiêu tốn thực tế cho quá trình oxy hóa sẽ tương đương với lượng chất hữu cơ có trong mẫu (tính theo $\text{mg O}_2/\text{L}$). (TCVN 6186:1996).

DO được cố định bằng hoá chất MnCl_2 (3M) và KI (3M) /NaOH (8N) và được phân tích theo phương pháp Winkler [140] (phân tích 1 mẫu tại 1 địa điểm).

Nội dung 1.3. Đặc điểm sinh học sinh sản của loài san hô mềm *S. serenei*.

Phương pháp thu mẫu:

Mẫu san hô mềm *S. serenei* được thu thập với sự hỗ trợ của thợ lặn sử dụng khí tài SCUBA, bằng cách cắt các mảnh san hô từ các tập đoàn và mang về phòng thí nghiệm. Trong đợt thu mẫu đầu tiên (tiền trạm), tổng cộng 20 tập đoàn được thu ngẫu nhiên từ Hòn Cút Chim đến khu vực Hòn Chồng. Tại phòng thí nghiệm, mẫu được lấy từ các vị trí khác nhau trên mỗi tập đoàn, bao gồm tâm đĩa miệng, các điểm cách 1/3 và 2/3 chiều dài từ tâm đến rìa ngoài của tập đoàn. Mục tiêu là đánh giá sự hiện diện và tần suất bắt gặp của tuyến sinh dục, từ đó xác định vị trí thu mẫu trên tập đoàn cho các đợt thu mẫu sau. Để giảm thiểu tổn thương cho tập đoàn san hô, trong các đợt thu mẫu tiếp theo, chúng tôi chỉ cắt các mảnh có kích thước 4 cm, làm cơ sở để xác định các thông số cơ bản về sinh học sinh sản của *S. serenei* trong suốt thí nghiệm.

Các mẫu thu thập được được đánh giá trực quan tại hiện trường mỗi tháng 1 lần (ghi lại màu sắc, đặc điểm có thể nhận thấy của trứng). Khi hơn 50% số trứng trong một polyp có dấu hiệu trưởng thành về mặt sinh dục (màu chuyển từ trắng sang các sắc thái khác như hồng, cam hoặc đỏ), tần suất lấy mẫu được tăng lên ba ngày/lần. Quá trình này tiếp tục cho đến khi không còn trứng trưởng thành (không còn bắt gặp trứng có màu) nào được quan sát thấy trong các polyp.

Cố định và bảo quản: Các mảnh san hô được cắt ra từ các tập đoàn mẹ, sau đó được rửa bằng nước biển để loại bỏ chất bám trên bề mặt. Mẫu san hô sau khi rửa được bảo quản trong dung dịch formalin 10% pha loãng với nước biển ít nhất trong 24 giờ, sau đó chuyển sang ethanol 70% để bảo quản cho đến khi phân tích [141] .

Xác định giới tính và tỷ lệ đực cái: Các tập đoàn san hô mềm *S. serenei* trong khu vực nghiên cứu được thu ngẫu nhiên. Giới tính được xác định dựa trên sự hiện diện của trứng hoặc túi tinh. Tỷ lệ đực cái được tính toán theo phương pháp của Fowler và cs. (2013) [142] như sau:

$$\text{Tỷ lệ cá thể đực} = (a/c) \times 100(\%)$$

$$\text{Tỷ lệ cá thể cái} = (b/c) \times 100(\%)$$

$$\text{Tỷ lệ đực cái} = 1:(b/a)$$

Trong đó: a: số cá thể đực,
 b: số cá thể cái,
 c: tổng số mẫu.

Sự phân bố giới tính được kiểm định tính độc lập với phân bố lý thuyết (1:1) bằng phương pháp Chi-square.

Xác định kích thước, các giai đoạn phát triển của noãn bào và tinh sào:

- Các mẫu san hô mềm *S. serenei* bảo quản trong ethanol 70% được làm sạch bằng nước cất và xử lý để khử canxi.

- Mẫu nghiên cứu được khử canxi theo kỹ thuật sau: Các mẫu san hô được rửa formalin bằng nước cất sau đó ngâm trong dung dịch axit formic 0,5% một khoảng thời gian cho đến khi không còn nhìn thấy bọt khí thoát ra; tiếp tục chuyển sang ngâm trong dung dịch HCl với nồng độ cao hơn, lần lượt tăng dần 1%, 1,5%, 2%, 2,5%... cho đến khi chuyển mẫu sang nồng độ cao hơn mà vẫn không thấy bọt khí xuất hiện thì dừng lại. Rửa mẫu bằng nước cất, sau đó trung hòa lượng acid dư bằng dung dịch ethanol 80%; bảo quản mẫu trong dung dịch ethanol 70% để cắt mô học.

- Sau khi khử canxi, mẫu được đặt lên lam kính và cắt dọc theo chiều của mảnh san hô bằng dao giải phẫu. Tuyến sinh dục ở từng polyp san hô được quan sát dưới kính soi nổi (Kruss MSZ 5000-T-IL-TL, Germany), đồng thời xác định sự xuất hiện của trứng hoặc túi tinh để phân biệt cá thể đực và cái. Các mẫu được chụp ảnh để đo kích thước trứng, sau đó kích thước được xác định bằng phần mềm xử lý ảnh ImageJ. Giá trị kích thước được tính theo căn bậc hai của tích giữa đường kính dài nhất và đường kính ngắn nhất theo phương vuông góc của trứng và túi tinh [143].

- Sau khi xác định kích thước của trứng/túi tinh, hai nhóm mẫu san hô được ghi chú các đặc điểm (chia nhóm đực-cái riêng biệt) và cắt tiêu bản mô học nhằm đối chiếu với nhận định ban đầu.

- Thực hiện việc làm tiêu bản với một số mẫu san hô theo quy trình gồm: Rửa mẫu bằng nước cất; Dùng máy cắt lát mô (rotary microtome) cắt lát mỏng có chiều dày từ 3 – 7 μm và cho phần mô vừa cắt lên lam kính; Rửa mẫu 2 lần bằng dung dịch Xylene, mỗi lần từ 3 – 5 phút; Rửa mẫu bằng ethanol 90% và ethanol 70% sau đó rửa lại bằng nước cất; Nhuộm mẫu bằng dung dịch Hematoxylin từ 3 – 5 phút, sau đó rửa sạch phẩm nhuộm bằng nước cất, ethanol 90%, nước cất, cho mẫu thấm dung dịch

Ammoniac sau đó rửa lại bằng nước cất và ethanol 90%, nhuộm mẫu bằng thuốc nhuộm Eosin trong khoảng từ 1 – 2 phút; Làm mất nước bằng ethanol 75%, ethanol 90% và cồn tuyệt đối, mỗi bước từ 1 – 2 phút; Rửa mẫu 2 lần bằng dung dịch Xylene, mỗi lần từ 2 – 3 phút; Gắn lammel và ghi nhãn, và xếp theo thứ tự. Các tiêu bản được quan sát dưới kính hiển vi Olympus CX 35 (Nhật Bản) và được chụp bằng máy ảnh Canon Powershot A2200.

- Các giai đoạn phát triển của trứng và túi tinh được mô tả dựa trên sự gia tăng kích thước và sự xuất hiện của nhân, sử dụng thang phân loại 4 bậc của Glynn và cs. (1991) [144].

Mùa vụ sinh sản: Mùa vụ sinh sản được xác định dựa trên thời điểm mà đa số tập đoàn ($\geq 50\%$) có tuyến sinh dục ở giai đoạn thành thực.

Sức sinh sản tuyệt đối: Sức sinh sản tuyệt đối được xác định bằng tổng số trứng hiện diện trong mỗi polyp ở giai đoạn thành thực. Trong nghiên cứu này, 30 mẫu san hô cái thành thực được lựa chọn làm đối tượng phân tích. Từ mỗi mẫu, ba polyp được lấy ngẫu nhiên, sau đó tách ra để tiến hành quan sát và đếm số trứng dưới kính soi nổi MSZ 500.

2.2.2. Nội dung 2: Nghiên cứu sinh sản vô tính loài san hô mềm *S. serenei* trong điều kiện nhân tạo.

Chuẩn bị san hô bố mẹ trong nghiên cứu sinh sản vô tính:

Số lượng tập đoàn san hô mềm *S. serenei* thu đối với Nội dung 2.1, 2.2, 2.3 và 2.4 lần lượt là 25, 30, 25, 25 tập đoàn. San hô có màu sắc tự nhiên, khỏe mạnh, không bị rách xước, có kích thước từ 20 – 30 cm. San hô mềm được làm sạch và nuôi thuần dưỡng trong bể 500 lít chảy tràn liên tục đặt ngoài trời khi mới mang về. Sau 7 ngày thuần dưỡng, lựa chọn các tập đoàn san hô bố mẹ khỏe mạnh, cùng một loài và có các polyp bung mở, không bị các đốm trắng hoặc đen trên bề mặt để tiến hành phân mảnh.

Thiết lập hệ thống bể thí nghiệm tuần hoàn trong sinh sản vô tính:

- Đối với Nội dung 2.1, 2.2 và 2.3: Hệ thống thí nghiệm bao gồm 06 bể nuôi lớn 528 lít (dài 2,2 m $\times$ rộng 0,6 m $\times$ cao 0,4 m) được có gắn với 03 hệ thống lọc tuần hoàn (thể tích lọc 500 lít). Đáy bể nuôi gồm 1 lớp cát sỏi san hô (có kích thước 0,3 – 1,5 cm) dày 5 – 8 cm làm chất nền. Các mẫu san hô được sắp xếp ngẫu nhiên trong bể thí nghiệm; sau đó, vị trí các nghiệm thức được xác định thông qua sự kết hợp giữa các hàm SORTBY và RANDARRAY của Excel nhằm bảo đảm tính ngẫu nhiên trong bố trí thí nghiệm.

- Hệ thống bể được đặt ngoài trời, sử dụng ánh sáng tự nhiên có cường độ không vượt quá $200 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, có sử dụng lưới che để điều chỉnh cường độ ánh sáng phù hợp).

- Đối với Nội dung 2.4: Hệ thống thí nghiệm bao gồm 15 bể kính có dung tích 200 lít (chứa 160 lít nước) (dài 0,8 m $\times$ rộng 0,5 m $\times$ cao 0,5 m) có gắn hệ thống lọc tuần hoàn (thể tích lọc 500 lít). Đáy bể nuôi gồm 1 lớp cát sỏi san hô (có kích thước 0,3 – 1,5 cm) dày 5 – 8 cm làm chất nền. Hệ thống bể được đặt trong nhà có mái che để sử dụng hệ thống đèn chiếu sáng.

Theo dõi và duy trì các chỉ số môi trường thí nghiệm:

Nhiệt độ nước được duy trì trong khoảng 26 – 28 °C (sai số $\pm 0,5$ °C) bằng máy làm lạnh nước gồm bộ phận ngoài trời (Casper, Thái Lan) và bộ phận trong nhà làm từ ống titan (Hàn Quốc, công suất 2HP), pH và độ mặn được đo hàng ngày một lần bằng bút đo pH AD12 (sai số $\pm 0,01$ pH) và tỷ trọng kế (sai số ± 1 ‰). Độ mặn duy trì ổn định trong mức 33 – 35 ‰ bằng việc thay nước 50% mỗi tuần. Vệ sinh, dọn tảo bám quanh bể thí nghiệm 2 tuần/lần. Cường độ ánh sáng tại vị trí đặt san hô được đo bằng thiết bị Apogee MQ200 (serial*4735) (sai số $\pm 5\%$). Thí nghiệm được bố trí trong hệ thống nuôi có mái che, các thông số môi trường được duy trì ổn định trong suốt quá trình thí nghiệm, cụ thể: pH 8,0 – 8,3; $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+ < 0,01$.

2.2.2.1. Nội dung 2.1: Ảnh hưởng nồng độ Lugol và thời gian xử lý mảnh tách

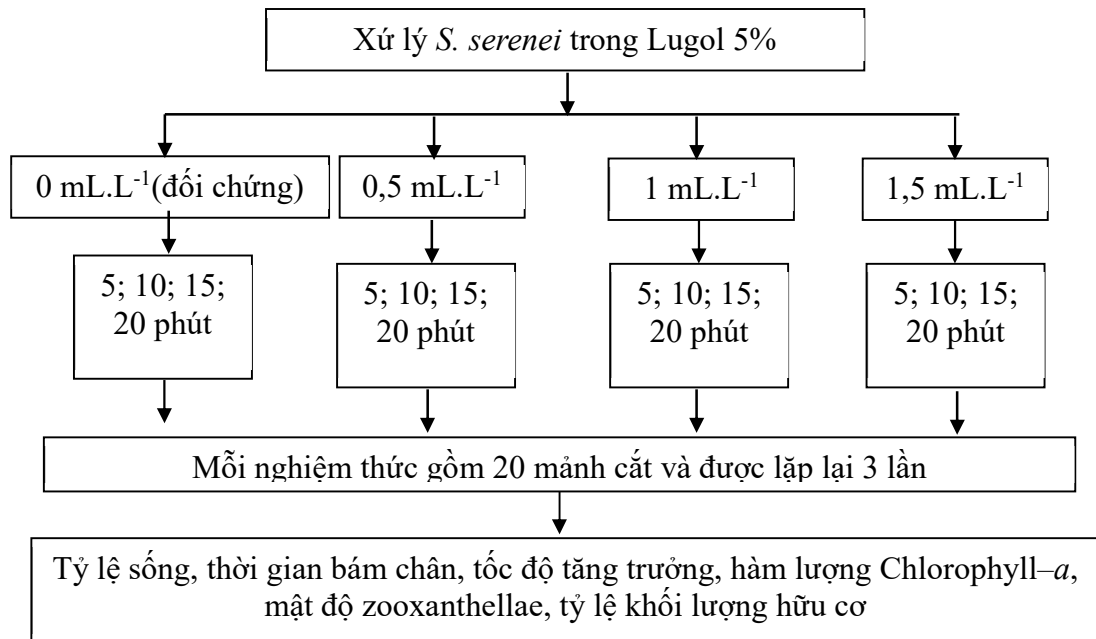
Lựa chọn các mảnh cắt được tách từ tập đoàn bố mẹ *S. serenei* có cùng kích thước 1,5 cm.

Sử dụng dung dịch Lugol 5% (KI 10% và I2 5%) ở các nồng độ và thời gian xử lý khác nhau trước khi đưa vào buộc cố định trên các loại giá thể khác nhau.

Bố trí thí nghiệm: Thí nghiệm xác định ảnh hưởng của 4 nồng độ dung dịch Lugol khác nhau là: 0 (đối chứng – xử lý bằng nước biển); 0,5; 1 và 1,5 mL L⁻¹ nước biển và thời gian xử lý từ 5, 10, 15 và 20 phút lên thời gian lành vết thương và tỷ lệ sống của loài san hô mềm *S. serenei*. Tổng có 16 nghiệm thức thí nghiệm. Mỗi nghiệm thức gồm 20 mảnh cắt và được lặp lại 3 lần. Tổng tất cả mảnh cắt trong thí nghiệm là 960 mảnh (Hình 2.4). Thời gian thí nghiệm là 30 ngày. Trong suốt quá trình thí nghiệm san hô không được cung cấp thức ăn.

Các chỉ tiêu đánh giá ảnh hưởng thí nghiệm mảnh bao gồm: thời gian bám chân, tỷ lệ sống được theo dõi và ghi nhận hàng ngày. Tốc độ tăng trưởng đặc trưng, khối lượng vô cơ và hữu cơ được xác định vào thời điểm kết thúc thí nghiệm. Mật độ của

zooxanthellae và hàm lượng Chlorophyll-*a* được xác định 3 ngày lần, mỗi nghiệm thức thu 3 mẫu cho đến khi kết thúc thí nghiệm.

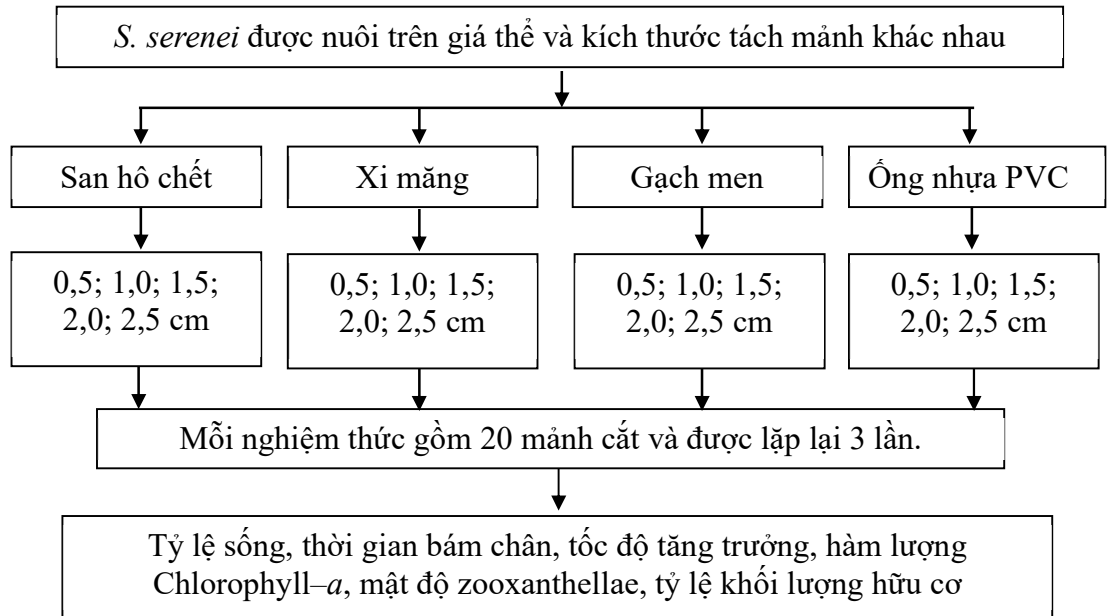


Hình 2.4. Sơ đồ khối nội dung nghiên cứu ảnh hưởng nồng độ và thời gian xử lý mảnh tách bằng dung dịch Lugol

2.2.2.2. Nội dung 2.2: Ảnh hưởng của giá thể và kích thước mảnh tách.

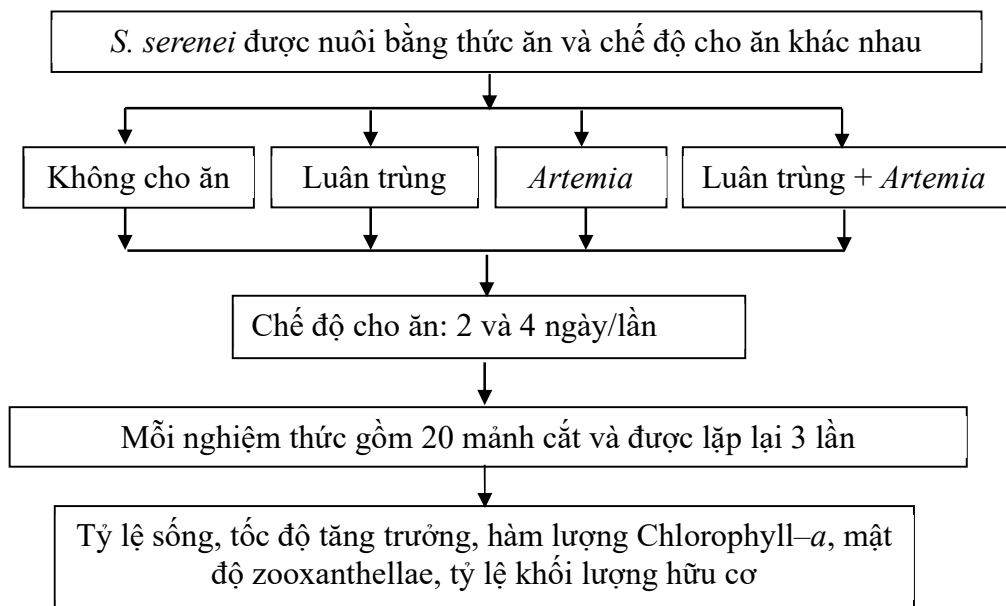
Bố trí thí nghiệm: Thí nghiệm xác định ảnh hưởng của 4 giá thể (đá san hô, xi măng, gạch men và ống nhựa PVC) và 5 nhóm kích thước mảnh tách khác nhau (0,5; 1,0; 1,5; 2,0 và 2,5 cm). Tổng có 20 nghiệm thức thí nghiệm. Mỗi nghiệm thức gồm 20 mảnh cắt, được lặp lại 3 lần và thời gian thí nghiệm là 2 tháng. Tổng số mảnh cắt con là 1.200 mảnh. Mảnh cắt được sử dụng trong thí nghiệm này có kích thước là 1,5 cm (Hình 2.5). Trong suốt quá trình thí nghiệm san hô không được cung cấp thức ăn.

Các chỉ tiêu đánh giá ảnh hưởng thí nghiệm mảnh bao gồm: thời gian bám chân, tỷ lệ sống được theo dõi và ghi nhận hàng ngày. Tốc độ tăng trưởng đặc trưng, khối lượng vô cơ và hữu cơ được xác định vào thời điểm kết thúc thí nghiệm. Mẫu đánh giá phân tích mật độ zooxanthellae, Chlorophyll-*a* được thu vào ngày 0 (bắt đầu), ngày 3, 6, 9 và 60, mỗi nghiệm thức thu 3 mẫu.



Hình 2.5. Sơ đồ khối nội dung nghiên cứu ảnh hưởng giá thể và kích thước mảnh tách đến loài san hô mềm *S. serenei*.

2.2.2.3. Nội dung 2.3: Ảnh hưởng của thức ăn và chế độ cho ăn.



Hình 2.6. Sơ đồ khối nội dung nghiên cứu ảnh hưởng thức ăn và chế độ cho ăn đến loài san hô mềm *S. serenei*.

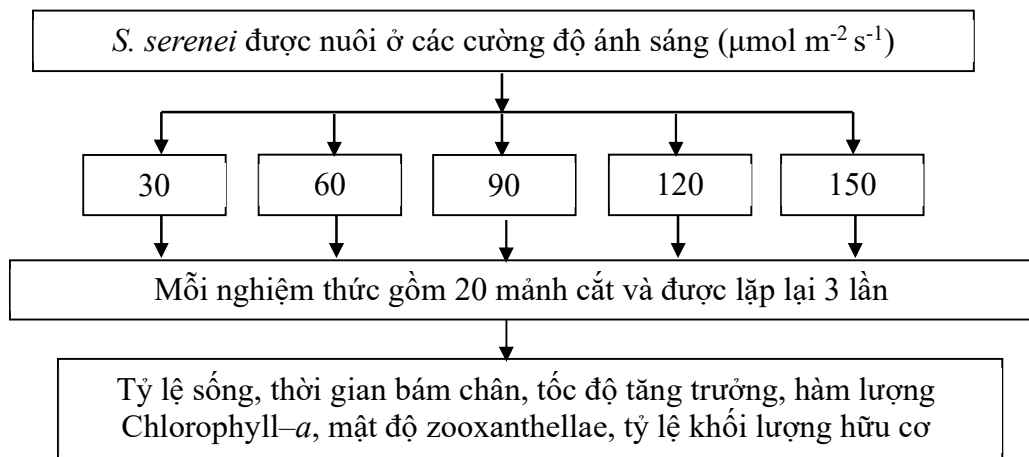
Bố trí thí nghiệm: Thí nghiệm xác định ảnh hưởng của các loại thức ăn (không cho ăn, luân trùng, *Artemia*, luân trùng + *Artemia*) và chế độ cho ăn khác nhau (2 và 4 ngày/lần). Tổng có 6 nghiệm thức thí nghiệm và 1 nghiệm thức đối chứng (không cho ăn). Mỗi nghiệm thức gồm 20 mảnh cắt, được lặp lại 3 lần và thời gian thí nghiệm là 2 tháng. Tổng số mảnh cắt là 420 mảnh. Mảnh cắt được xử lý trong dung dịch

Lugol 1,0 mL L⁻¹ trong 10 phút, giá thể được sử dụng là gạch men và kích thước mảnh cắt của san hô là 1,5 cm (Hình 2.6).

Mật độ luân trùng cho ăn ở nghiệm thức thí nghiệm là 20 cá thể/10 mL (dựa trên mật độ của động vật phù du ngoài tự nhiên 2.260 cá thể lít⁻¹ [122]; ở nghiệm thức sử dụng *Artemia* nauplii là 2 cá thể/10 mL (dựa trên tỷ lệ sinh khối tương đương của luân trùng và *Artemia* (10 luân trùng = 1 *Artemia*) [145] và ở nghiệm thức kết hợp luân trùng + *Artemia* nauplii là 10 cá thể luân trùng và 1 cá thể *Artemia*/10mL. Luân trùng *Brachionus plicatilis* sử dụng cho thí nghiệm được nuôi hoàn toàn bằng tảo *Nannochloropsis oculata* được mua từ trại giống của Trường Đại học Nha Trang. *Artemia* sử dụng của hãng INVE (Thái Lan).

Các chỉ tiêu đánh giá ảnh hưởng thí nghiệm mảnh bao gồm: tỷ lệ sống được theo dõi và ghi nhận hàng ngày. Tốc độ tăng trưởng đặc trưng, khối lượng vô cơ và hữu cơ được xác định vào thời điểm kết thúc thí nghiệm. Mật độ zooxanthellae, Chlorophyll-*a* thu vào ngày 0 (bắt đầu), ngày 3, 6, 9 và 60, mỗi nghiệm thức thu 3 mẫu.

2.2.2.4. Nội dung 2.4: Ảnh hưởng của cường độ ánh sáng.



Hình 2.7. Sơ đồ khối nội dung nghiên cứu ảnh hưởng cường độ ánh sáng loài san hô mềm *S. serenei*.

Bố trí thí nghiệm: Thí nghiệm xác định ảnh hưởng của cường độ ánh sáng khác nhau 30; 60; 90; 120 và 150 μmol m⁻²s⁻¹ lên thời gian lành vết thương, sinh trưởng và tỷ lệ sống của loài san hô mềm *S. serenei*. Thời gian chiếu sáng là 12 giờ sáng: 12 giờ tối. Ánh sáng được hiệu chỉnh bằng số lượng đèn Inled R6, khoảng cách treo đèn và lưới lan và các tấm decal ngăn cách các bể kính thí nghiệm. Tổng có 5 nghiệm thức thí nghiệm. Mỗi nghiệm thức gồm 20 mảnh cắt, được lặp lại 3 lần và thời gian thí nghiệm là 2 tháng. Tổng số mảnh cắt con là 300 mảnh. Mảnh cắt được xử lý trong dung dịch

Lugol 1,0 mL L⁻¹ trong 10 phút, giá thể được sử dụng là gạch men và kích thước mảnh cắt của san hô là 1,5 cm, cho ăn bằng luân trùng (20 cá thể/10 mL) với chế độ cho ăn là 2 ngày/lần (Hình 2.7).

Các chỉ tiêu đánh giá ảnh hưởng thí nghiệm bao gồm: thời gian bám chân, tỷ lệ sống được theo dõi và ghi nhận hàng ngày. Tốc độ tăng trưởng đặc trưng, khối lượng vô cơ và hữu cơ được xác định vào thời điểm kết thúc thí nghiệm. Mật độ zooxanthellae, Chlorophyll-*a* được thu vào ngày bắt đầu, ngày 2, 4, 6, 8, 10, 12 và 60; mỗi nghiệm thức thu 3 mẫu.

2.2.3. Kỹ thuật thu thập và xử lý dữ liệu

Thời gian bám chân (ngày): Thời gian bám chân được xác định là thời gian cần thiết để vết thương lành hoàn toàn. Trong nghiên cứu này, thời gian bám chân được xác định vào ngày vết thương khép hoàn toàn và được phủ bằng mô sắc tố (Bạc 3, Cunha, 2006 [146]).

Tỷ lệ sống (%): Các mảnh tách của san hô có trầm xương bị rửa, mất màu sắc được xác định là san hô chết. Tỷ lệ sống của san hô được ghi nhận tại các thời điểm 3, 6, 9 và 30 hoặc 60 ngày kể từ khi bắt đầu phân mảnh (tùy thí nghiệm). Tỷ lệ sống (TLS) được xác định theo công thức:

$$TLS (\%) = N_t \times N_0^{-1} \times 100.$$

Trong đó: N_t là số mảnh san hô còn sống ở thời điểm t và N_0 là số tập đoàn cắt ban đầu.

Khối lượng san hô (W_{SH}): Khối lượng các mảnh san hô được xác định bằng phương pháp cân ướt, sử dụng cân điện tử Sartorius Ohaus PA413 (Đức; độ chính xác 0,001 g) ở chế độ cân dưới sàn (underfloor weighing). Thiết bị được cố định trên một hộp nhựa trắng để giảm thiểu tác động của gió, đảm bảo độ ổn định và chính xác của phép đo. Một đoạn dây cước được gắn vào lỗ ren ở mặt dưới của cân để treo mẫu, với đầu dưới nối vào móc kim loại. Bên trong hộp nhựa là bể kính nhỏ chứa đầy nước biển, nơi hệ thống được treo lơ lửng (không chạm thành hoặc đáy bể) trong quá trình cân (Hình 2.8). Quy trình cân nổi gồm ba bước: (1) xác định khối lượng nổi của giá thể và dây cột (W_1) bằng cách treo toàn bộ hệ thống giá thể trong nước, đảm bảo không tiếp xúc với thành hoặc đáy bể; (2) xác định khối lượng nổi của mẫu san hô gắn trên giá thể (W_2) bằng cách treo toàn bộ mẫu trong điều kiện tương tự; và (3) tính khối lượng nổi riêng của san hô theo công thức: $W_{SH} = W_2 - W_1$. Trước mỗi lần cân, các mảnh san hô được làm sạch nhằm loại bỏ các yếu tố có thể ảnh hưởng đến kết quả đo.

Tốc độ tăng trưởng đặc trưng về khối lượng được xác định theo công thức:

$$SGR_W (\% \text{ ngày}^{-1}) = 100 \times [\ln(W_t) - \ln(W_0)] \times \Delta t^{-1}$$

Trong đó: W_t và W_0 là khối lượng của san hô đo ở thời điểm bắt đầu và kết thúc thí nghiệm.

ODD_0 và ODD_t là đường kính đĩa miệng của mảnh cắt san hô đo ở thời điểm bắt đầu (0) và kết thúc thí nghiệm (t).

Δt là khoảng thời gian thí nghiệm ($t - 0$) (ngày)



Hình 2.8. Hệ thống cân nổi sử dụng trong nghiên cứu.

Tốc độ tăng trưởng đặc trưng về đường kính miệng được xác định theo công thức:

$$SGR_L (\% \text{ ngày}^{-1}) = 100 \times (\ln(ODD_t) - \ln(ODD_0)) \times \Delta t^{-1}$$

Trong đó: ODD_0 và ODD_t là đường kính đĩa miệng của mảnh cắt san hô con đo ở thời điểm bắt đầu và kết thúc thí nghiệm. (Chiều dài đĩa miệng (ODD mm): Sử dụng phần mềm Image J để đo kích thước chiều dài đĩa miệng các mảnh tách qua ảnh chụp trên mặt nước có thước đo hiệu chuẩn. Kích thước ODD của mảnh tách là trung bình cộng của chiều dài nhất và ngắn nhất đo được trên mảnh tách.)

Δt là khoảng thời gian thí nghiệm ($t - 0$) (ngày).

Xác định mật độ của zooxanthellae:

Phương pháp xác định mật độ zooxanthellae theo Pupier và cs. (2018) [147]. Mỗi nghiệm thức thu 3 mẫu, mỗi mẫu có khối lượng 0,5 g (Cỡ mẫu tối thiểu yêu cầu theo phương pháp của Pupier và cs. (2018)) [147]) được nghiền và đồng nhất trong 10 mL nước khử ion (deionized water–DI). Sau đó, mẫu đồng nhất được pha loãng (100 lần) và đồng nhất trước khi đếm. Mật độ của zooxanthellae được xác định bằng cách sử dụng buồng đếm hồng cầu Neubauer dưới kính hiển vi quang học. Sau khi đếm tế bào tảo hoàn thành, mẫu được ly tâm (trong vòng 10 phút, 5.000 vòng/phút), phần nước ở phía trên được loại bỏ và chất rắn còn lại được đông khô trong vòng 24 giờ để xác định tổng khối lượng khô của san hô. Mật độ của zooxanthellae được tính theo công thức:

$$D = \frac{\text{số tế bào tảo đếm được} \times \text{hệ số pha loãng}}{\text{Số lượng ô đếm} \times \text{thể tích vùng đếm} \times A}$$

Trong đó: D: mật độ zooxanthellae/khối lượng khô của san hô (tb g^{-1})

Số lượng ô vuông lớn đếm: 9

Thể tích vùng đếm = $1 \text{ mm}^2 \times 0,1 \text{ mm} = 0,1 \text{ mm}^3 = 0,0001 \text{ mL}$

A: Khối lượng khô của san hô (g)

Mật độ của zooxanthellae được tính toán dựa trên khối lượng khô của tảo sau khi đã được sấy [13, 148].

Xác định hàm lượng Chlorophyll-a:

Mẫu san hô (bề mặt mũ - 0,5 g) đã được nghiền và đồng nhất với 10 mL acetone (độ tinh khiết 90%), sau đó quá trình chiết xuất đã được thực hiện ở nhiệt độ 4°C trong 24 giờ trong tối. Tiếp theo, mẫu được ly tâm ở 4.500 vòng trong 15 phút, và phần nổi phía trên đã được thu thập. Độ hấp thụ của mẫu được đo bằng máy đo quang phổ UV–VIS SHIMADZU UV–1800 (Nhật Bản) ở các bước sóng 630nm, 647nm, 663nm và 750nm. Chất rắn còn lại đã được đông khô trong 24 giờ và được

xác định lại khối lượng (g) [128]. Chlorophyll-*a* (Chlorophyll-*a*) được tính theo công thức của Jeffrey và Humphrey (1975) [149]:

$$\text{Chlorophyll-}a = (C1 \times (A663 - A750) + C2 \times (A647 - A750) + C3 \times (A630 - A750)) \times W^{-1}$$

Trong đó: $C1 = 11,85$, $C2 = -1,54$, $C3 = -0,08$. Chlorophyll-*a* là hàm lượng diệp lục *a* trong mẫu san hô ($\mu\text{g g}^{-1}$). $A750$, $A663$, $A647$ và $A630$ là các giá trị độ hấp thụ ở các bước sóng khác nhau. W là khối lượng khô của mẫu san hô [127].

Xác định hàm lượng hữu cơ:

Khối lượng hữu cơ được xác định dựa trên phương pháp của Costa và cs. (2016) [11]. Mẫu san hô (0,5 cm) được thu thập tại thời điểm bắt đầu và kết thúc thí nghiệm. Ba mẫu ở mỗi nghiệm thức được chọn ngẫu nhiên và được sấy đông khô trong 48 giờ, sau đó được cân để xác định khối lượng khô. Tiếp đến, các mẫu được nung ở nhiệt độ $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ trong 4 giờ bằng lò nung (Nabertherm GmbH, Đức), quá trình nung được lặp lại cho đến khi đạt khối lượng ổn định và khối lượng còn lại được cân để xác định khối lượng vô cơ. Khối lượng hữu cơ được tính bằng cách lấy khối lượng khô trừ đi khối lượng vô cơ.

Xử lý số liệu:

Dữ liệu đặc điểm sinh học sinh sản được xử lý bằng phần mềm Microsoft Excel 2021. Tỷ lệ đực cái được kiểm định tính độc lập của sự phân phối giới tính giữa kết quả nghiên cứu với phân phối lý thuyết (1:1) bằng phương pháp Chi-square [142].

Số liệu được xử lý bằng phần mềm SPSS 18.0 và trình bày dưới dạng giá trị trung bình $\pm$ độ lệch chuẩn ($TB \pm SD$). Dữ liệu tỷ lệ sống được biến đổi arcsine căn bậc hai (arcsine square-root transformation) trước khi phân tích nhằm đảm bảo các giả định của phương pháp thống kê. Phân phối chuẩn của dữ liệu được kiểm tra bằng kiểm định Shapiro-Wilk và tính đồng nhất phương sai bằng kiểm định Levene. Sau khi đáp ứng các giả định của ANOVA, phân tích phương sai hai yếu tố (Two-way ANOVA) được áp dụng cho các nội dung 2.1, 2.2 và 2.3, trong khi phân tích phương sai một yếu tố (One-way ANOVA) được sử dụng cho nội dung 2.4. Khi xuất hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($P \leq 0,05$), phép kiểm định hậu nghiệm Tukey HSD được sử dụng để so sánh giữa các nghiệm thức ở mức tin cậy 95%. Trong các bảng số liệu, các giá trị mang các chữ cái khác nhau (a, b, c,...) trong cùng một cột biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức tại cùng thời điểm khảo sát ($P \leq 0,05$).

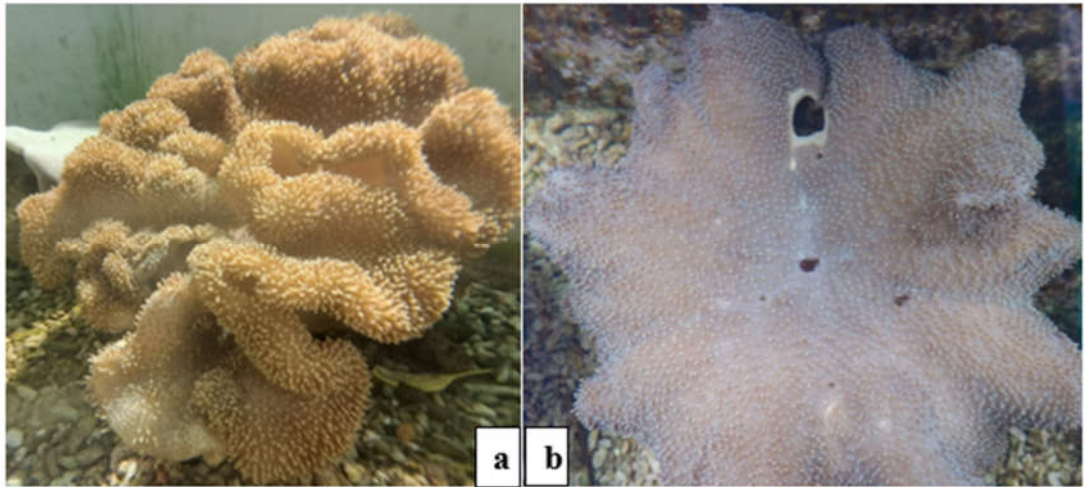
Chương 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đặc điểm sinh học của loài san hô mềm *S. serenei*

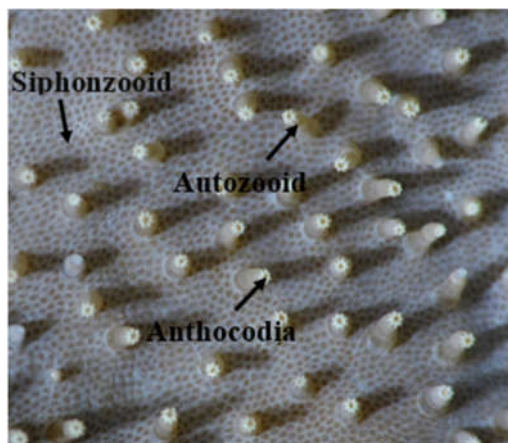
3.1.1. Đặc điểm hình thái và phân loại loài san hô mềm *S. serenei*

3.1.1.1. Hình thái bên ngoài của loài san hô mềm *S. serenei*

San hô mềm *S. serenei* có màu vàng nâu tươi hoặc màu nâu xám, mũ có nhiều nếp gấp ở ngoại biên và nhẵn ở giữa (Hình 3.1). Bề mặt phần mũ chạm vào có phần thô ráp, không tiết nhớt như một số loài *Sarcophyton* khác. Chiều cao tập đoàn khoảng 5 cm, đường kính chân 10 – 12 cm, không có hình dạng nhất định.



Hình 3.1. San hô mềm *S. serenei*
(a) khi bung polyp; (b) khi polyp co lại

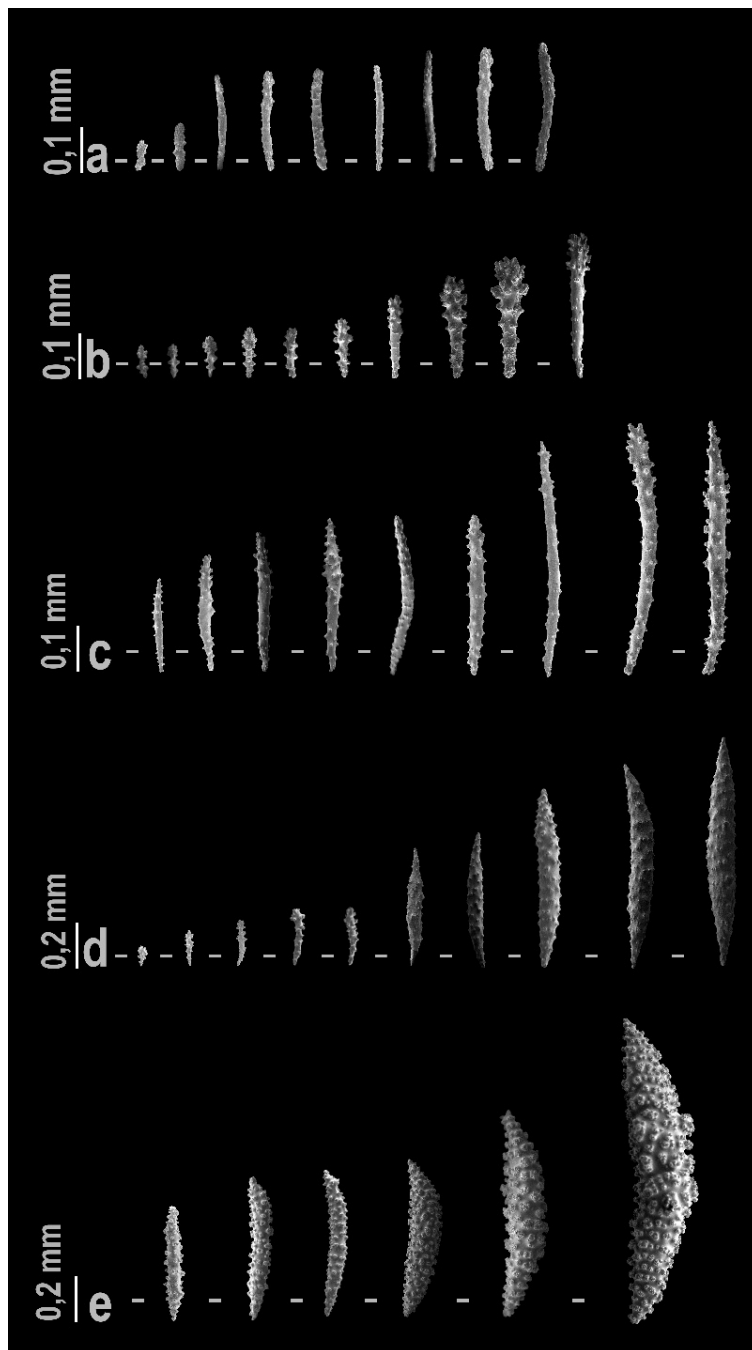


Hình 3.2. Các autozoid, anthocodia và các siphonozoid

Ở trung tâm mũ khoảng cách giữa hai autozoid là 6 – 8 siphonozoid và 8 – 10 siphonozoid tương ứng với autozoid gần nhất và xa nhất (Hình 3.2). Ở viền mép mũ, khoảng cách giữa hai autozoid chỉ là 1 – 2 siphonozoid. Chiều cao các anthocodia

của autozoid khoảng 4 – 6 mm (trung bình là $5,76 \pm 0,195$ mm). Khi chạm vào các autozoid không rút lại hoàn toàn. Đầu các anthocodia có màu trắng nhạt, không bung xòe ra ngoài (Hình 3.2).

3.1.1.2. Đặc điểm trầm xương của loài san hô mềm *S. serenei*

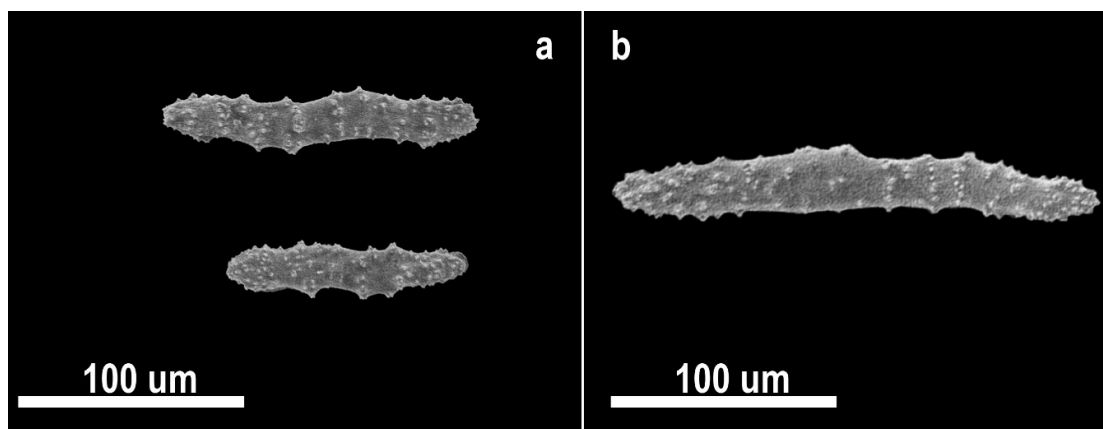


Hình 3.3. Các loại trầm xương của loài san hô mềm *S. serenei*.

(a) xúc tu, anthocodia của polyp; (b) vỏ mũ; (c) trong mũ; (d) vỏ thân; (e) trong thân

Kết quả phân tích các dạng trầm xương của 35 mẫu san hô mềm *S. serenei* được trình bày ở Hình 3.3.

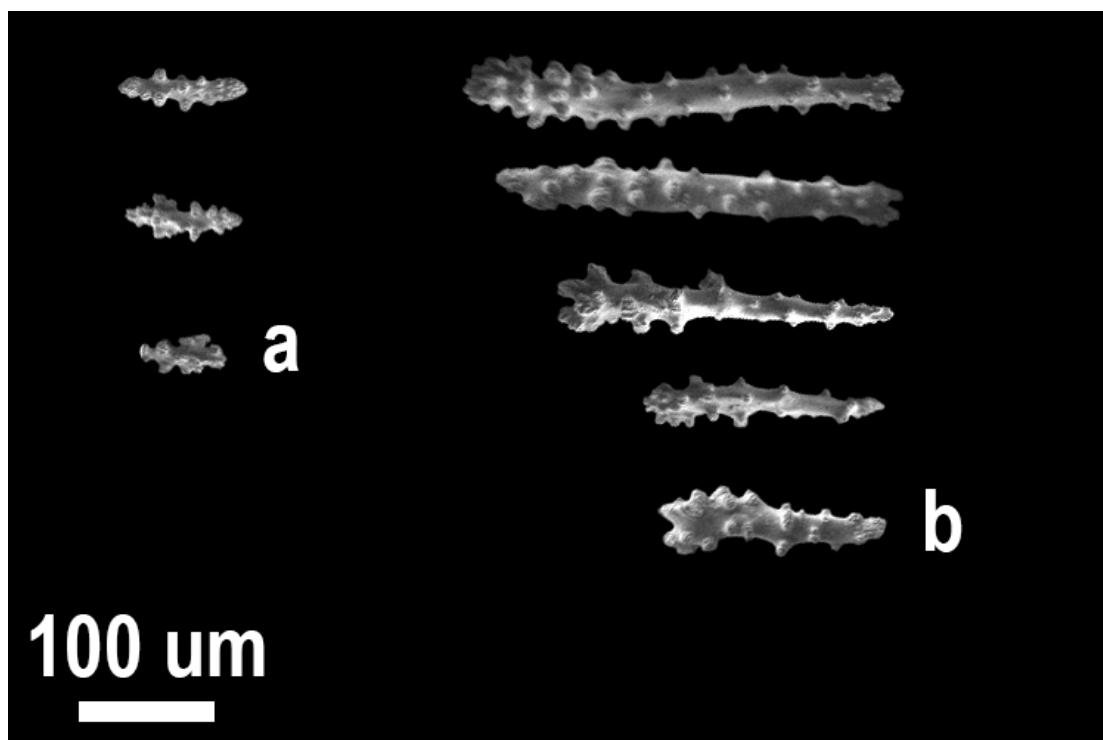
Ở xúc tu, trâm xương có dạng vẩy dẹt, hơi cong, có chiều dài $0,106 \pm 0,029$ mm. Ở anthocodia, trâm xương dạng que có kích thước $0,29 \pm 0,028$ mm (Hình 3.4).



Hình 3.4. Trâm xương ở polyp

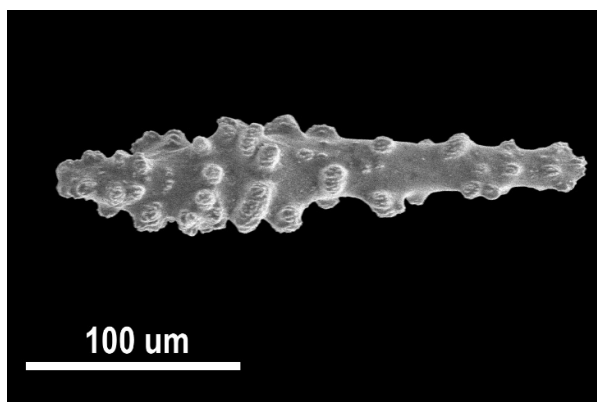
(a) ở xúc tu; (b) ở anthocodia

Bề mặt mũ san hô có chứa hai loại trâm xương có dạng giống cái chùy. Trâm xương dạng chùy không thắt eo có phần đầu cán không trơn nhẵn hoàn toàn (Hình 3.5) và các mụn cóc nhô lên ở đầu trâm xương dạng chùy nhỏ (Hình 3.6). Các trâm xương dạng chùy nhỏ có chiều dài khoảng $0,089 \pm 0,011$ mm, còn các trâm xương chùy lớn hơn có chiều dài $0,24 \pm 0,05$ mm (Hình 3.5).



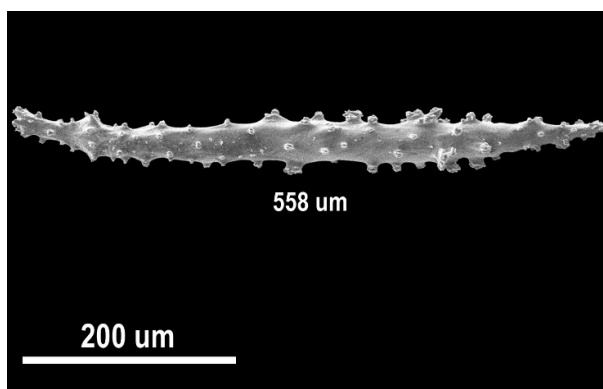
Hình 3.5. Các trâm xương dạng chùy trên vỏ mũ

(a) chùy nhỏ; (b) chùy lớn



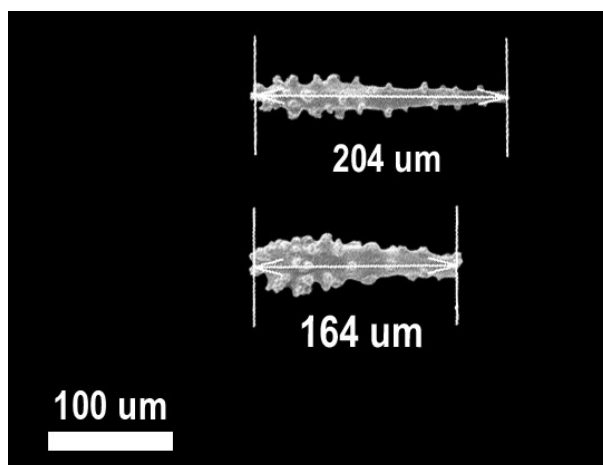
Hình 3.6. Trâm xương dạng chùy ở vỏ mũi

Trong mũi (đĩa nấm – capitulum) của san hô là các trâm xương thẳng hoặc hơi cong dạng que (rod) và dạng kim (needle), trong đó đa số là các trâm xương thẳng dạng kim có chiều dài dao động từ 0,4 – 0,5 mm (Hình 3.7).



Hình 3.7. Trâm xương dạng kim – needle ở trong mũi

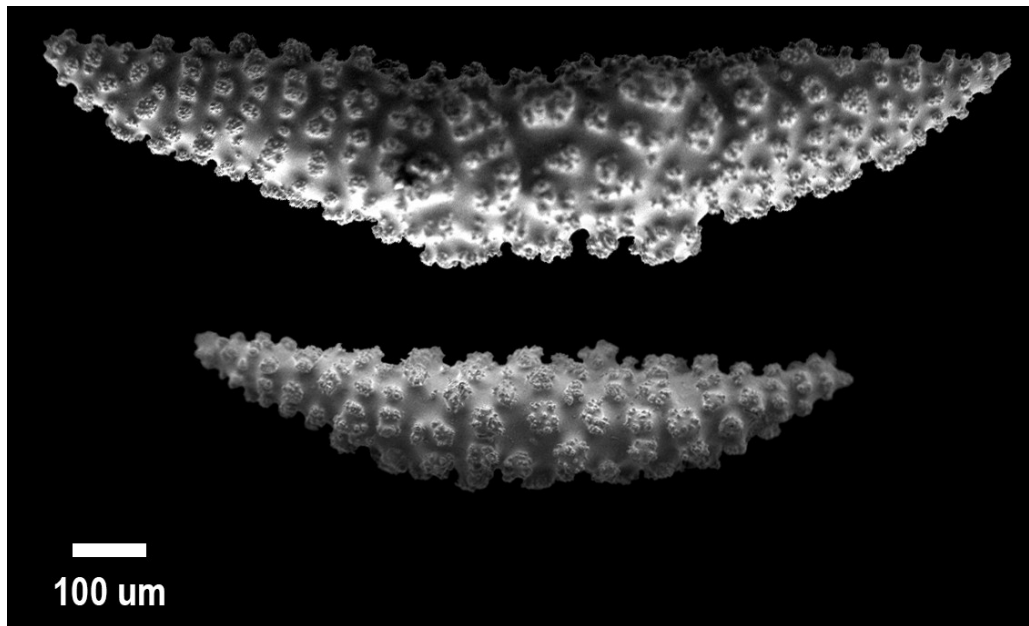
Ở vỏ thân san hô, trâm xương có dạng chùy với eo thắt ở giữa với các mụn cóc trên bề mặt (giống với trâm xương ở vỏ mũi) có chiều dài $0,15 \pm 0,08$ mm (Hình 3.8).



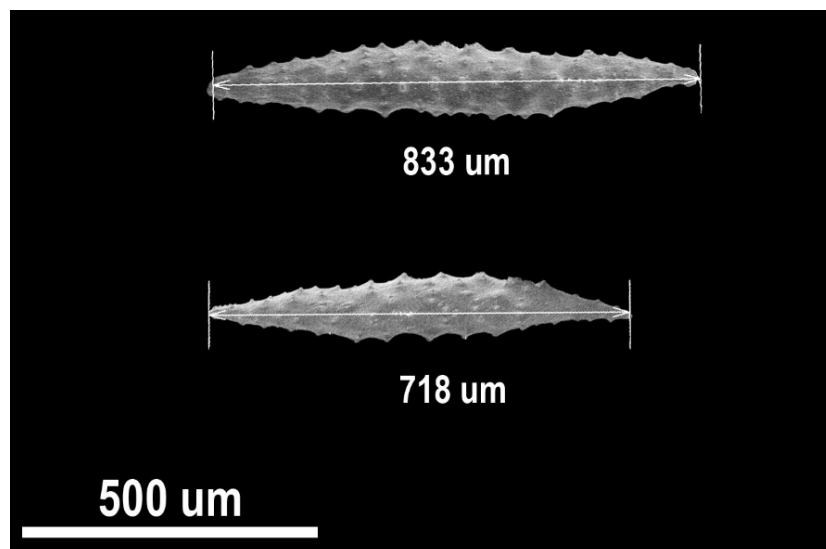
Hình 3.8. Trâm xương ở vỏ thân

Các trâm xương ở mô liên kết (coenenchyme) trong thân khá khác biệt so với trâm xương ở các vị trí khác. Chúng là các trục nhọn, thẳng hoặc hơi cong, dài $99,41 \pm 15,82$ mm; rộng $0,28 \pm 0,31$ mm và được bao phủ bằng các mụn cóc nhỏ không đều (Hình 3.9).

Ở trong thân san hô ngoài các trâm xương lớn đặc biệt, cũng đã tìm thấy các trâm xương thân nhọn, thuôn dài nhưng không có dạng mụn cóc xù xì. Các trâm xương này có chiều dài $0,68 \pm 0,08$ mm và nằm ở phần giao giữa vỏ thân và bên trong thân (Hình 3.10). Các mụn gồ ghề trên trâm xương này nhọn, ít sần sùi hơn so với trâm xương trong thân.



Hình 3.9. Các trâm xương ở coenenchymal trong thân



Hình 3.10. Các trâm xương nhọn có mụn cóc ít hơn trong phần thân

Một số nghiên cứu về đặc điểm về hình thái ngoài và hình dạng, kích thước trầm xương của loài san hô mềm *S. serenei* được thể hiện ở Bảng 3.1 và Bảng 3.2.

Bảng 3.1. Đặc điểm hình thái ngoài của *S. serenei* trong các nghiên cứu khác nhau

Đặc điểm	Tixier-Durivault (1958) [17]	Verseveldt (1982) [28]	Dautova và Savinkin (2013) [150]	Nghiên cứu này
Đường kính miệng mũ (cm)	13 – 24	18		17 – 20
Đường kính chân (cm)	10			10 – 12
Khoảng cách các autozoid (mm) ở trung tâm mũ	4	2 – 4		2 – 4
Số lượng siphonozoid ở trung tâm mũ	8 – 10	6 – 7	6 – 8	6 – 8 (gần) 8 – 10 (xa)
Khoảng cách các autozoid (mm) ở mép mũ	2,0	1,5 – 2,0		1,5 – 2
Số lượng siphonozoid ở mép mũ	1 – 2		1 – 3	1 – 2
Màu sắc	màu nâu vàng		có màu vàng xám, phần phía trên polyp có màu be sáng	vàng nâu tươi hoặc màu nâu xám dải màu
Đặc điểm polyp	Không co lại vào phía trong			Không co lại vào phía trong
Chiều cao polyp (mm)	Khoảng 6			$5,76 \pm 0,195$
Đặc điểm mũ	đầu mũ tròn nhẵn ở giữa và		hình phễu, mép đĩa mỏng và có	mũ không tròn, có nhiều nếp

	xếp nếp ít ở phía ngoài		nhiều nếp gấp	gấp quanh mép mũ
<i>Đặc điểm chân</i>	chân thấp, rộng			chân thấp, rộng

Về hình thái ngoài, mẫu san hô mềm *S. serenei* trong nghiên cứu này nhìn chung tương đồng với các đặc điểm phân loại đã được mô tả bởi Tixier–Durivault (1958) [17], Verseveldt (1982) [28] và Dautova & Savinkin (2013) [15] về hình dạng, màu sắc và đặc điểm của polyp thu tại vịnh Nha Trang. Tuy nhiên, số lượng siphonozoid giữa hai autozoid ở trung tâm mũ của mẫu nghiên cứu có sự thay đổi tùy theo cách xác định. Cụ thể, khi số lượng siphonozoid thấp hơn, kết quả tương tự với mô tả của Verseveldt (1982) [28] và Dautova và Savinkin (2013) [15]; ngược lại, khi số lượng cao hơn, đặc điểm này tương tự mô tả của Tixier–Durivault (1958) [17]. Verseveldt (1982) [28] cho rằng khoảng cách giữa các autozoid và số lượng siphonozoid gần rìa không mang giá trị phân loại, trong khi các đặc điểm tại vùng trung tâm đĩa có thể là chỉ tiêu hữu ích để nhận dạng loài. Ngoài ra, việc đo khoảng cách giữa các autozoid hiện chưa có quy chuẩn thống nhất, do đó số lượng siphonozoid được đếm giữa hai autozoid chỉ mang tính ước lượng tương đối [28]. Theo mô tả phân loại của Tixier–Durivault (1958) [17] và Verseveldt (1982) [28], số lượng siphonozoid ở trung tâm mũ dao động lần lượt trong khoảng 8 – 10 và 6 – 7 siphonozoid.

Bảng 3.2. Hình dạng, kích thước trâm xương của *S. serenei* qua các nghiên cứu khác nhau

Kích thước trâm xương	Tixier– Durivault (1958) [17]	Verseveldt (1982) [28]	Dautova và Savinkin (2013) [15]	Nghiên cứu này
<i>Xúc tu</i>	Các thanh nhẵn.	Các que, dài từ 0,12 – 0,20 mm.	Có dạng que mỏng, hai đầu tròn có chiều dài 0,03 – 0,14 mm; que đầu tù 0,07 – 0,3 mm.	Có dạng que, dạng vẩy dẹt, hơi uốn nhẹ 0,106 ± 0,029 mm (n = 30).
<i>Vỏ mũ</i>	Dạng chùy.	02 loại trâm xương: +Dạng chùy nhỏ, một đầu trâm xương như chiếc	02 loại trâm xương: + Loại chùy nhỏ như dùi cui, chiều dài 0,15 mm.	02 loại trâm xương: + Dạng chùy nhỏ, eo thắt ở phần đầu và cán.

Kích thước trâm xương	Tixier– Durivault (1958) [17]	Verseveldt (1982) [28]	Dautova và Savinkin (2013) [15]	Nghiên cứu này
		lá, bề mặt có các gồ ghề như hình núi lửa, thắt ở giữa đầu và cán, kích thước 0,06 – 0,10 mm. + Chùy lớn gần giống chùy nhỏ, không thắt eo đầu còn lại nhẵn hơn. Đầu và cán có các phần dẹt, hình núi lửa; kích thước 0,38 mm.	+ Loại chùy lớn có chiều dài 0,38 mm và 0,4 mm.	Đầu chùy có dạng hình gai góc đâm ra như núi lửa. Chiều dài 0,089 ± 0,011 mm (n = 30). + Chùy lớn: giống chùy nhỏ. Không thắt eo ở giữa, có phần đầu cán không tron nhẵn hoàn toàn 0,24 ± 0,05 mm (n = 30).
<i>Bên trong mũ</i>	Thanh mảnh, dài 0,42 mm thanh lớn dài 0,28 đến 0,42 mm.	Dạng kim thẳng hoặc dạng hơi cong, có đầu nhọn. Kích thước 0,5 mm.	Dạng kim hơi cong và que đầu tù. Dài 0,9 mm, rộng 0,04 mm được bao phủ các gai và thường có nhánh ở 1 hoặc 2 đầu. Các thanh dài 0,36 mm và có nhiều hạt nhỏ.	Dạng kim thẳng hoặc dạng hơi cong, có đầu nhọn. Kích thước 0,51 ± 0,07 mm (n = 30).
<i>Vỏ thân</i>	Dạng chùy lớn dài 0,47 mm, rộng 0,34 mm với cán dày và phần đầu có	Có hình dạng tương tự như trâm xương ở vỏ mũ. 0,06 – 0,16 mm và 0,23 mm.	Dạng chùy giống ở vỏ mũ nhưng lớn hơn, dài 0,4 – 0,45 mm.	Có hình dạng chùy tương tự như vỏ mũ. Có dạng chùy với eo thắt ở giữa với các mụn cóc trên bề mặt 0,15

Kích thước trâm xương	Tixier– Durivault (1958) [17]	Verseveldt (1982) [28]	Dautova và Savinkin (2013) [15]	Nghiên cứu này
	nhiều nốt sần nhỏ tròn.			$\pm 0,08$ mm (n = 30)
<i>Trong thân</i>	Có 02 dạng: + Trâm xương lớn đầu nhọn, có gai và nốt sần không đều 1,2 mm; rộng 0,26 mm. + Trâm xương thoi nhọn, thuôn dài nhưng không có mụn dạng mụn cóc xù xì	Có 01 dạng: + Trâm xương lớn có kích thước 1,7 mm.	Có 02 dạng: + Trâm xương lớn: dạng thẳng hoặc hơi cong, có các mụn cóc nhỏ, dài 1,5 mm, rộng 0,32 mm. + Dạng thoi mảnh hơn, mụn cóc kém phát triển.	Có 02 dạng: + Trâm xương lớn: dạng trục nhọn, thẳng hoặc hơi cong, hai đầu nhọn. Các mụn cóc nhỏ không đều, dài $1,22 \pm 0,17$ mm (n = 30). + Dạng thoi nhọn, thuôn dài, không có mụn cóc xù xì $0,61 \pm 0,04$ mm (n = 30).
<i>Anthocodia</i>	Que có gai ngắn xếp thành chữ V.	Dạng que. Chiều dài từ 0,20 – 0,40 mm và được sắp xếp theo hình chữ V dốc và chặt chẽ.	Có dạng que ngắn, 0,21 mm, có nhiều hạt nhỏ ở các đầu; thanh nhỏ hơn thì ngắn hơn. Que dài hơn thì ngắn ở phần giữa.	Dạng que dài $0,29 \pm 0,028$ mm (n = 30). Xếp hình chữ V.

Kích thước trâm xương của *S. serenei* trong nghiên cứu này tương đồng với mô tả của Verseveldt (1982) [28] và Dautova và Savinkin (2013) [15]. Theo Verseveldt (1982) [28], bề mặt mũ san hô có hai dạng trâm xương hình chùy (club), trong đó một đầu có dạng phiến lá với bề mặt gồ ghề như miệng núi lửa, trong khi đầu còn lại ngắn hơn. Trâm xương ở lớp vỏ thân có hình dạng chùy với eo thắt ở giữa và bề mặt có

các mụn nhỏ, tương tự với trâm xương ở vùng vỏ mũ. Kích thước các trâm xương này tương đối tương tự với mô tả của Verseveldt (1982) [28] (0,06 – 0,16 mm, dài nhất 0,23 mm), trong khi Dautova và Savinkin (2013) [15] ghi nhận chúng có thể đạt tới 0,45 mm. Các trâm xương trong phần thân có đặc điểm khác biệt so với các vùng khác, là những trục nhọn, thẳng hoặc hơi cong, được bao phủ bởi các mụn nhỏ không đều. So với các mô tả của Verseveldt (1982) [28] và Dautova và Savinkin (2013), trâm xương trong thân ở nghiên cứu này có kích thước ngắn hơn (khoảng 1,2 mm), tương tự với mô tả ban đầu của Tixier-Durivault (1958) [17] (dài khoảng 1,2 mm, rộng 0,26 mm). Ngoài ra, ở phần giao giữa vỏ thân và bên trong thân còn ghi nhận các trâm xương thuôn dài, đầu nhọn, bề mặt ít sần sùi hơn so với trâm xương trong thân (Hình 3.9). Loại trâm xương này không được đề cập trong mô tả của Verseveldt (1982) [28], nhưng đã được Tixier-Durivault (1958) [17] và Dautova và Savinkin (2013) [15] ghi nhận, dù chưa xác định kích thước cụ thể. Mặc dù vậy, nghiên cứu vẫn tồn tại một số hạn chế, trong đó đáng chú ý là chưa thực hiện được các phân tích phân tử để kiểm chứng và hỗ trợ kết quả phân loại, từ đó có thể làm hạn chế mức độ chính xác trong định danh loài.

Nhìn chung, đặc điểm hình thái của san hô được định danh là *S. serenei* trong nghiên cứu này khá tương đồng với mô tả của Tixier-Durivault (1958) [17], Dautova và Savinkin (2013) [15]. Kết quả nghiên cứu cũng chỉ ra rằng, *S. serenei* có thể được phân biệt với các loài cùng giống dựa trên một số đặc điểm hình thái ngoài và trâm xương đặc trưng. Chúng có màu sắc phổ biến là nâu vàng, vàng xám hoặc nâu xám. Bề mặt mũ có cảm giác thô ráp, không tiết chất nhầy, trung tâm tương đối nhẵn nhưng phần rìa phát triển nhiều nếp gấp dạng phễu. *S. serenei* có dạng nấm với phần cuống thấp, rộng; mũ nhẵn ở trung tâm và gấp nếp nhẹ ở rìa. Các autozoooid dài khoảng 2 – 4 mm, chúng không co rút hoàn toàn (bán co rút); khoảng cách giữa các autozoooid ở vùng trung tâm khá lớn (2 – 4 mm), xen giữa bởi 6–10 siphonozoooid. Khoảng cách lớn giữa các autozoooid ở vùng trung tâm đĩa cũng là một dấu hiệu hỗ trợ định loại quan trọng đối với loài này. Đặc điểm chẩn loại quan trọng của loài là sự hiện diện đồng thời của trâm xương dạng chùy nhỏ (0,05 – 0,098 mm) ở bề mặt mũ, có phần đầu sần sùi dạng “nón núi lửa”, các trâm xương dạng kim dài 0,4 – 0,5 mm trong phần mũ, và đặc biệt là các trâm xương hình thoi thẳng nằm trong phần cuống, dài khoảng 1,2 mm và rộng 0,22 – 0,26 mm, cùng với các nốt mụn sần sùi nhỏ, ngắn trên bề mặt. Đây được xem là đặc điểm phân biệt rõ ràng nhất giữa *S. serenei* và các loài *Sarcophyton* khác. Điều này góp phần khẳng định cơ sở cần thiết để tiến hành nghiên cứu các thí nghiệm tiếp theo trên đúng loài này (thu mẫu sinh học sinh sản, mẫu thí nghiệm về nghiên cứu sinh sản vô tính)

3.1.2. Đặc điểm môi trường sống của loài san hô mềm *S. serenei* ở vịnh Nha Trang

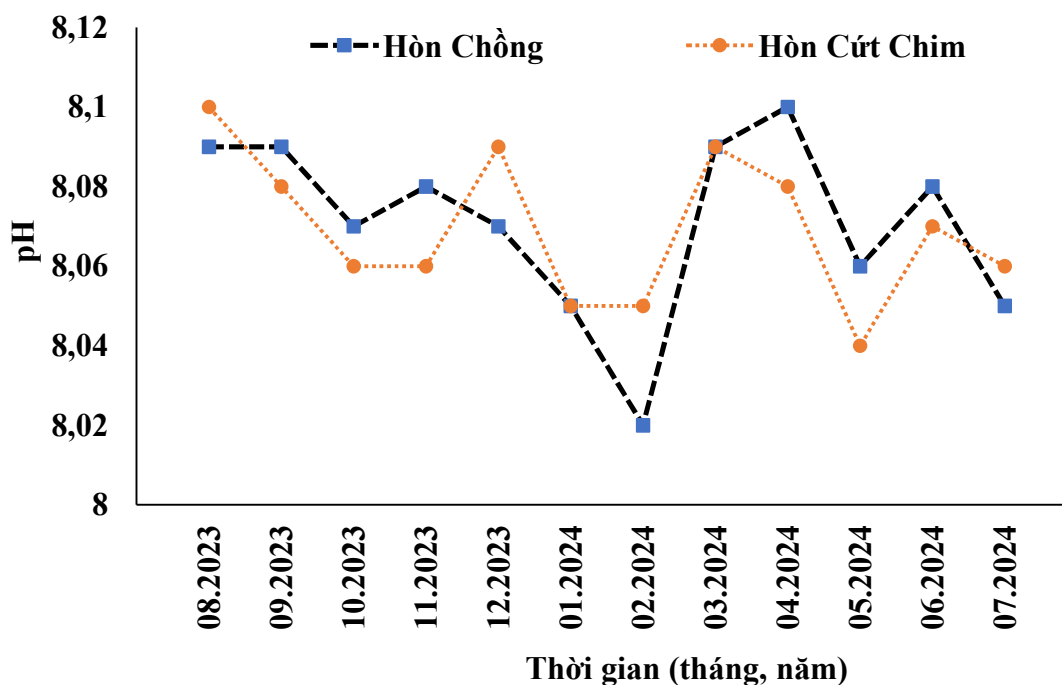
3.1.2.1. Các yếu tố sinh thái môi trường sống của loài san hô mềm *S. serenei*:

Bảng 3.3. Các thông số vật lý, sinh thái ở hai điểm khảo sát

Yếu tố	Hòn Chồng	Hòn Cút Chim
Nhiệt độ (°C)	25,30 – 29,90	25,10 – 29,80
Độ mặn (‰)	30,26 – 33,62	30,86 – 33,64
Ánh sáng ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	14,77 – 66,41	28,94 – 89,64
pH	8,02 – 8,1	8,04 – 8,1
DO (mg L^{-1})	5,93 – 7,28	6,02 – 7,44
COD (mg L^{-1})	0,98 – 1,71	0,88 – 1,79
Độ đục (NTU)	0,80 – 3,50	1,00 – 2,60
NH_4^+ (mg L^{-1})	0,009 – 0,028	0,010 – 0,030
NO_3^- (mg L^{-1})	0,023 – 0,062	0,022 – 0,058

Thông số các yếu tố môi trường như ánh sáng, độ mặn, nhiệt độ, DO, COD, độ đục, các muối dinh dưỡng NH_4^+ và NO_3^- của khu vực Hòn Chồng và Hòn Cút Chim được thể hiện ở Bảng 3.3.

pH:

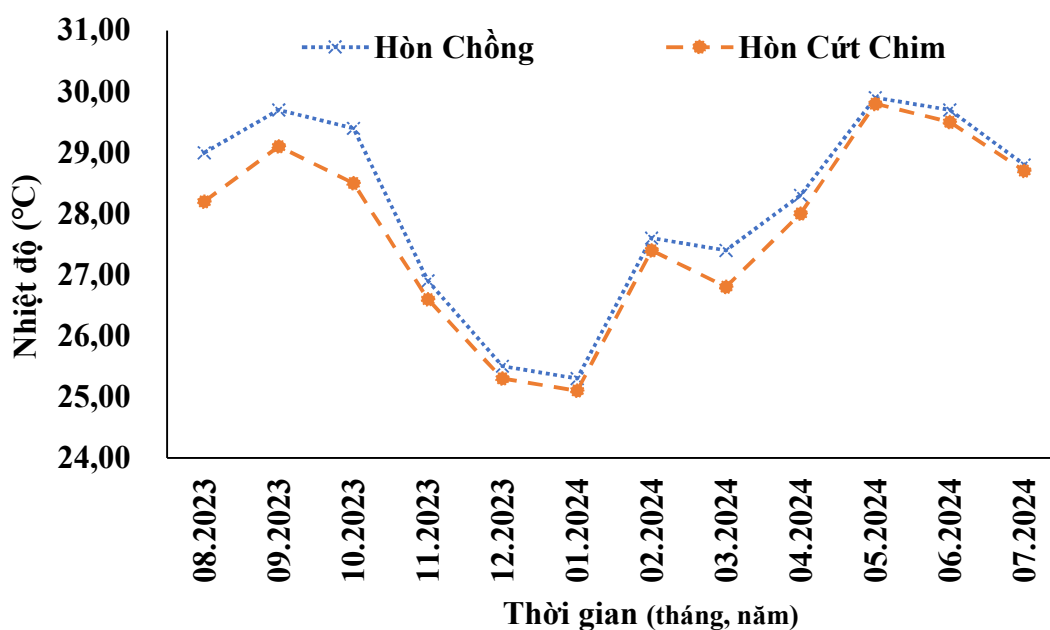


Hình 3.11. Biến động giá trị pH theo thời gian

Biến động giá trị pH theo thời gian được thể hiện Hình 3.11. Giá trị pH tại 02 điểm Hòn Chồng và Hòn Cút Chim tương đối đồng nhất. Theo thời gian, pH tại Hòn Chồng dao động không lớn từ 8,02 – 8,1, Hòn Cút Chim 8,04 – 8,1 (Bảng 3.3 và Hình 3.11).

Nhiệt độ:

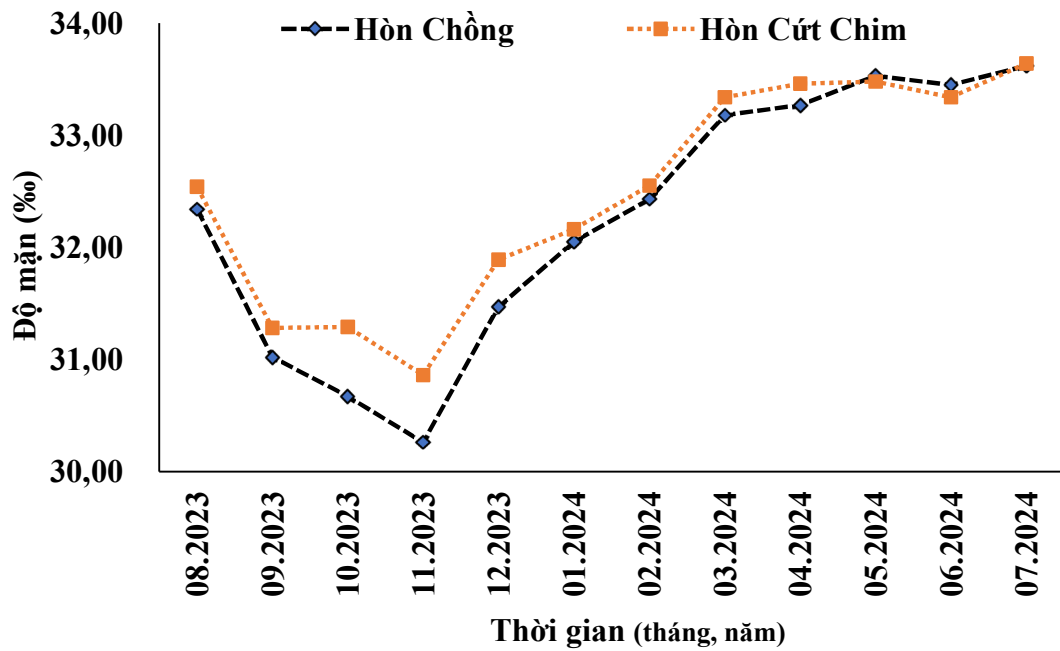
Kết quả nghiên cứu cho thấy, nhiệt độ tại 02 điểm Hòn Chồng và Hòn Cút Chim ít có sự chênh lệch (Bảng 3.3 và Hình 3.12). Tuy nhiên, theo thời gian nhiệt độ của cả 02 điểm đều có thay đổi lớn chủ yếu là thay đổi theo mùa. Nhiệt độ tại điểm Hòn Chồng dao động từ 25,30 – 30,10 °C, Hòn Cút Chim từ 25,10 – 30,0 °C và trung bình của 02 điểm dao động từ 25,2 – 30,05 °C. Nhiệt độ thấp nhất vào thời điểm tháng 1 năm 2024 và cao nhất vào thời điểm tháng 5 năm 2024.



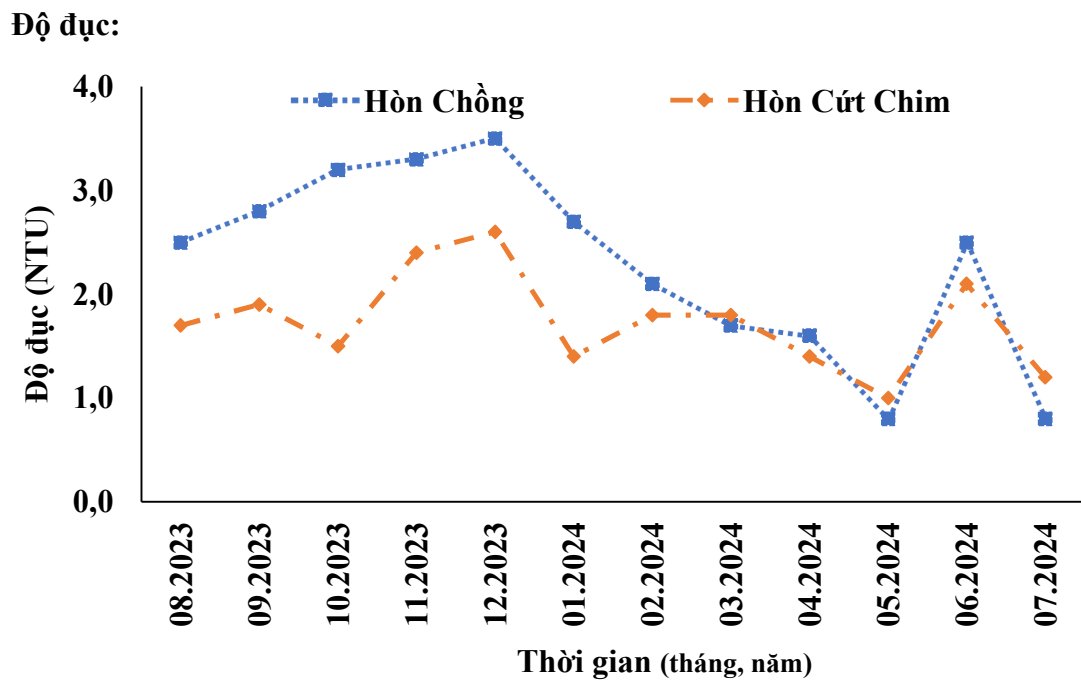
Hình 3.12. Biến động nhiệt độ theo thời gian

Độ mặn:

Độ mặn tại 02 điểm Hòn Chồng và Hòn Cút Chim ít có dao động (Bảng 3.3 và Hình 3.13). Theo thời gian, độ mặn của cả 02 điểm đều không có sự thay đổi quá lớn, chủ yếu là thay đổi theo mùa. Độ mặn tại điểm Hòn Chồng dao động từ 30,26 – 33,65 ‰, Hòn Cút Chim từ 30,86 – 33,64 ‰. Độ mặn trung bình thấp nhất vào thời điểm tháng 11/2023 và cao nhất vào thời điểm tháng 7/2024.



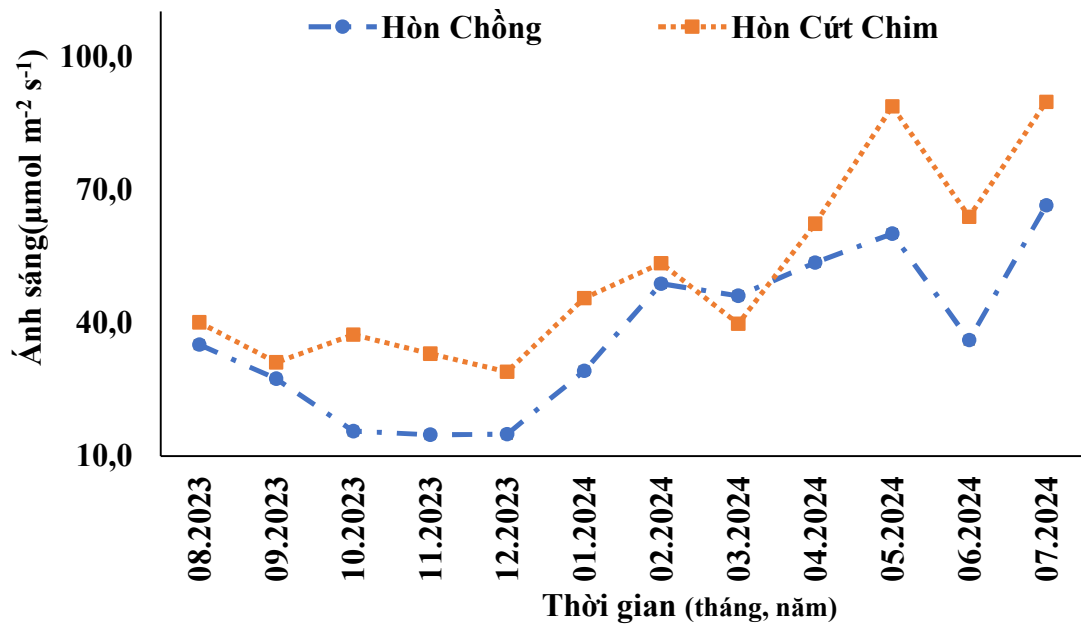
Hình 3.13. Biến động độ mặn theo thời gian



Hình 3.14. Biến động độ đục theo thời gian

Kết quả nghiên cứu cho thấy, độ đục tại 02 điểm Hòn Chồng và Hòn Cút Chim ít có sự chênh lệch (Bảng 3.3 và Hình 3.14). Tuy nhiên, theo thời gian độ đục của cả 02 điểm đều có thay đổi lớn chủ yếu là thay đổi theo mùa. Độ đục tại điểm Hòn Chồng dao động từ 1,00 – 2,60 (NTU), Hòn Cút Chim từ 0,80 – 3,50 (NTU). Độ đục thấp nhất vào thời điểm tháng 12 năm 2023 và cao nhất vào thời điểm tháng 5 năm 2024.

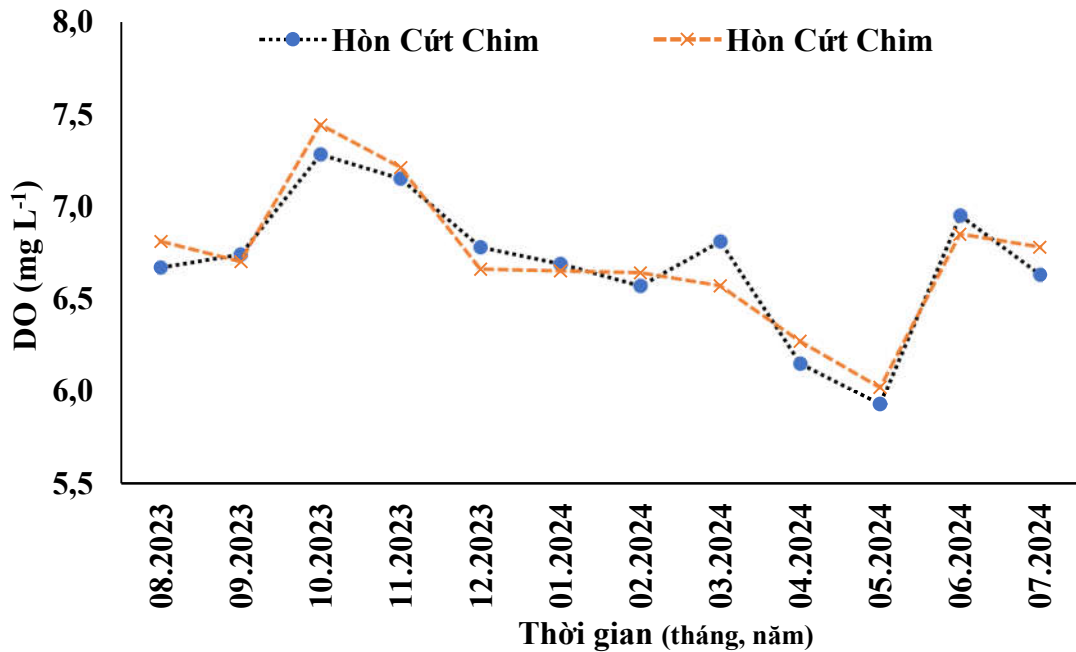
Ánh sáng



Hình 3.15. Biến động cường độ ánh sáng theo thời gian

Tại điểm Hòn Chồng, cường độ ánh sáng dao động từ 14,77 – 66,41 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, Hòn Cút Chim dao động từ 28,94 – 89,64 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Cường độ ánh sáng mạnh vào các tháng 7/2024 (mùa khô) và yếu vào tháng 11 và 12/2023 (mùa mưa) (Hình 3.15).

Hàm lượng oxy hòa tan (DO):

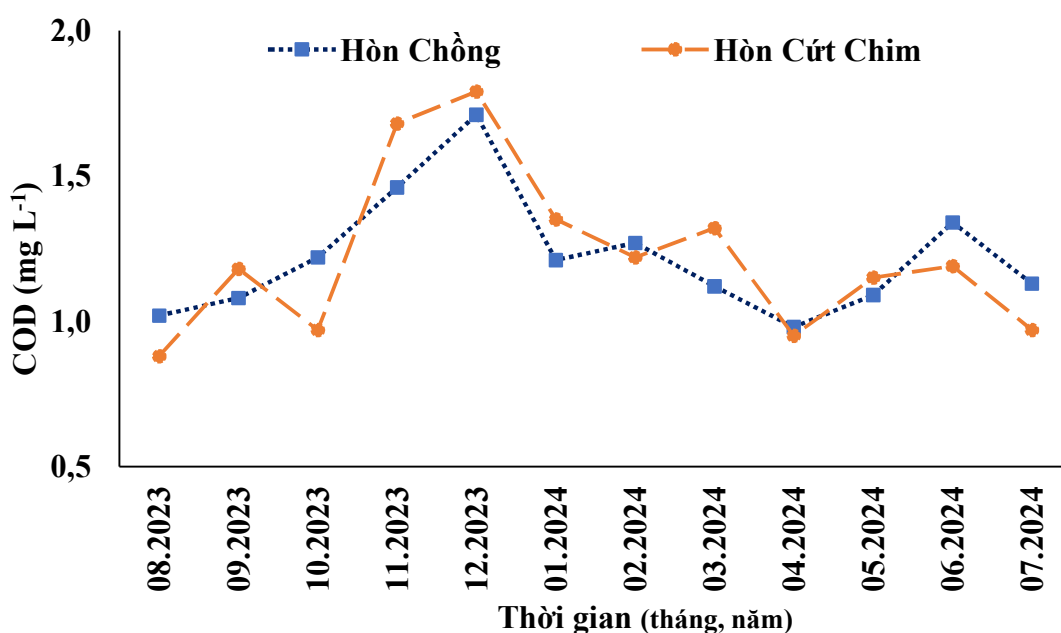


Hình 3.16. Biến động nồng độ oxy hòa tan theo thời gian

Hàm lượng oxy hòa tan tại 2 điểm Hòn Chồng và Hòn Cút Chim khá cao và tương đối đồng nhất, điều này rất thích hợp cho sự sinh trưởng và phát triển của các sinh vật biển. Theo thời gian, hàm lượng DO trung bình của 2 điểm có sự thay đổi nhỏ không đáng kể, dao động từ 5,93 – 7,44 mg L⁻¹ (Hình 3.16).

Chỉ số oxy hóa học (COD):

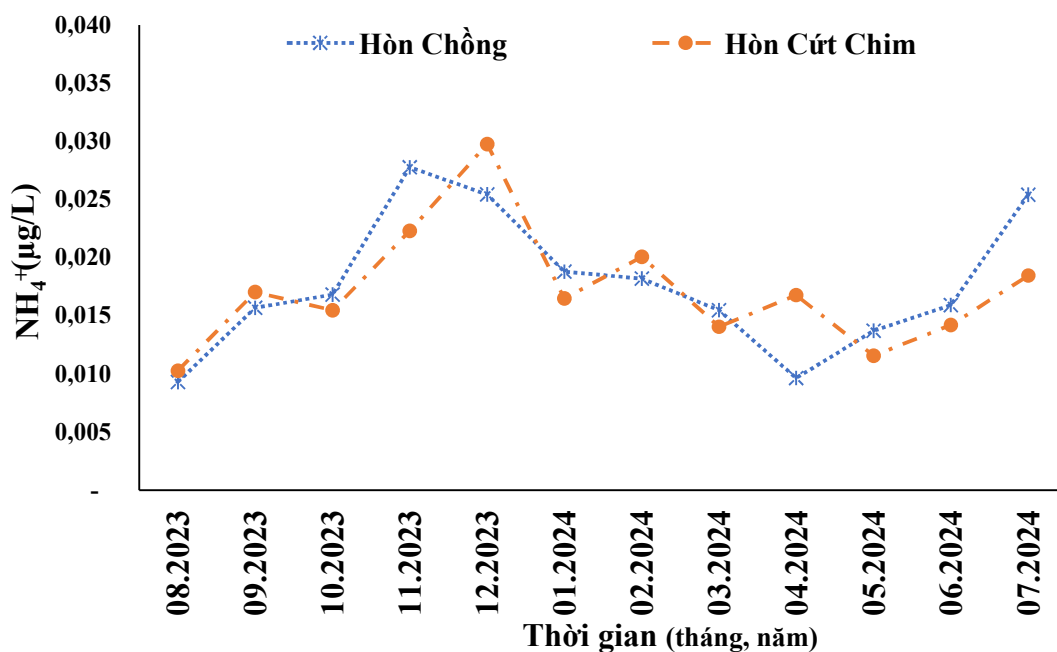
Theo kết quả thống kê (Bảng 3.3 và Hình 3.17) đã cho thấy chỉ số COD tại 02 điểm Hòn Chồng và Hòn Cút Chim ít có sự thay đổi. Theo thời gian, chỉ số Hòn Cút Chim, dao động từ 0,98 – 1,71 mg L⁻¹, điểm Hòn Cút Chim dao động từ 0,88 – 1,79 mg L⁻¹.



Hình 3.17. Biến động chỉ số COD theo thời gian

Hàm lượng Amonia (NH₄⁺):

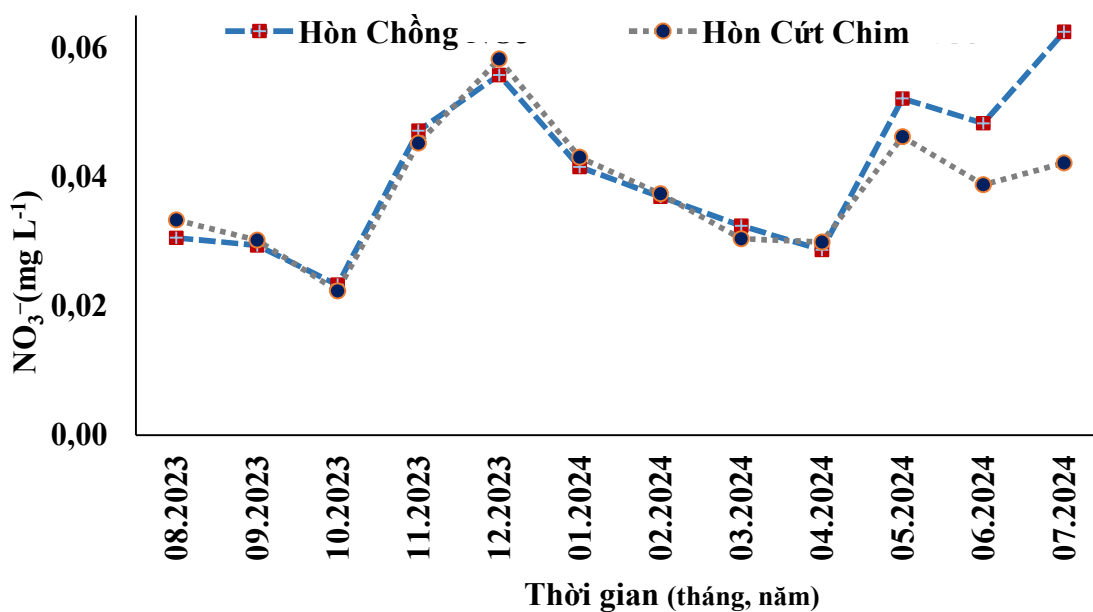
Theo thời gian khảo sát, hàm lượng NH₄⁺ của cả 02 điểm đều có thay đổi khá lớn, tại điểm Hòn Chồng hàm lượng NH₄⁺ dao động từ 0,009 – 0,028 mg L⁻¹, Hòn Cút Chim dao động từ 0,006 – 0,030 mg L⁻¹ và trung bình của 02 điểm dao động từ 0,010 – 0,030 mg L⁻¹ (Hình 3.18).



Hình 3.18. Biến động hàm lượng NH_4^+ , theo thời gian

Hàm lượng Nitrat (NO_3^-):

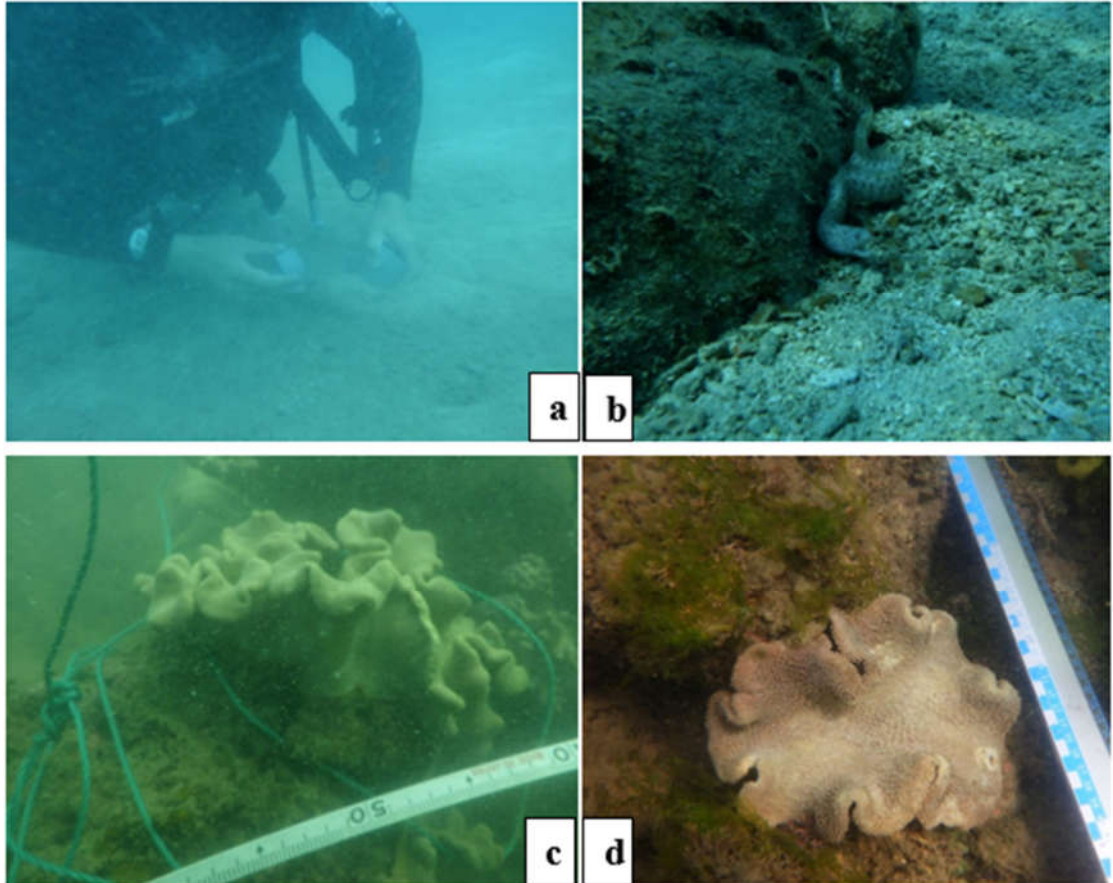
NO_3^- là sản phẩm cuối cùng của quá trình nitrat hóa vì thế hàm lượng NO_3^- trong nước biển thường cao hơn các dạng khác. Kết quả phân tích đã cho thấy hàm lượng NO_3^- tại 02 điểm Hòn Chồng và Hòn Cút Chim tương đối đồng nhất và không cao (Hình 3.19). Theo thời gian, hàm lượng NO_3^- tại điểm Hòn Chồng dao động từ 0,023 – 0,062 mg L^{-1} , Hòn Cút Chim dao động từ 0,022 – 0,056 mg L^{-1} , tương tự NH_4^+ , hàm lượng NO_3^- cũng đạt cao nhất vào các tháng 11 và 12/2023 (mùa mưa).



Hình 3.19. Biến động hàm lượng NO_3^- theo thời gian

3.1.2.2. Trầm tích đáy nơi sinh sống của san hô:

Địa điểm phân bố của san hô mềm *S. serenei* trong nghiên cứu là khu vực kéo dài từ Hòn Cút Chim và xung quanh khu vực Hòn Cút Chim đến Hòn Chồng thuộc vịnh Nha Trang nơi có độ sâu từ 5 – 8 m. Đây là khu vực nằm phía Bắc vịnh Nha Trang, có độ dài khoảng 2,35 km do đó địa hình, địa mạo là giống nhau. Các đợt khảo sát và thu mẫu cho thấy khu vực phân bố san hô có nền trầm tích gồm cát, vụn đá san hô nhỏ và bùn, trong đó cát và san hô vụn chiếm ưu thế. Loài san hô mềm *S. serenei* được ghi nhận phát triển chủ yếu trên các khối san hô chết (Hình 3.20).



Hình 3.20. Trầm tích và nền đáy nơi san hô mềm *S. serenei* phân bố.

(a, b) trầm tích cát–san hô vụn pha bùn;

(c, d) san hô sinh trưởng trên các đá san hô chết.

Giá trị pH tại Hòn Chồng và Hòn Cút Chim dao động nhỏ. Kết quả này tương đồng với các nghiên cứu trước tại vịnh Nha Trang, nơi pH dao động 7,82 – 8,36, trung bình 8,16, cho thấy môi trường nước có tính kiềm yếu [151, 152]. Độ đục trung bình 1,40 NTU nằm trong ngưỡng phù hợp cho sự phát triển của rạn san hô [153]. Cường độ ánh sáng cũng nằm trong ngưỡng dao động thích hợp cho san hô cho một số loài san hô mềm đã được nghiên cứu trước kia như *S. glaucum* là 35 – 130 μmol

$\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ [12] hay $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ [127], *S. trocheliophorum* là $80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ [128]. Nồng độ oxy hòa tan (DO) tại Hòn Chồng ($5,93 - 7,28 \text{ mg L}^{-1}$) và Hòn Cút Chim ($6,02 - 7,44 \text{ mg L}^{-1}$), tương tự giá trị $6,15 - 7,06 \text{ mg L}^{-1}$ ghi nhận tại vịnh Nha Trang giai đoạn 2017 – 2020 [153]. Hàm lượng COD dao động $1,53 - 2,48 \text{ mg L}^{-1}$. Điều này cho thấy, san hô mềm *S. serenei* phân bố ở môi trường nước sạch, ít ô nhiễm hữu cơ. Hàm lượng NH_4^+ tại hai điểm tương đối ổn định, cao nhất vào tháng 11 – 12/2023 ($0,025 - 0,028 \text{ mg L}^{-1}$) do ảnh hưởng dòng chảy từ sông Cái trong mùa mưa. Tuy nhiên, giá trị này thấp hơn giới hạn $0,1 \text{ mg L}^{-1}$, an toàn cho sinh vật biển.

Qua đó cho thấy, môi trường phân bố của *S. serenei* có nhiều đặc điểm tương đồng với các loài khác trong giống *Sarcophyton* đã được nghiên cứu. Giống này thường sinh sống ở vùng biển nhiệt đới, nơi các rạn san hô ven bờ có độ đục vừa phải và nền đáy mềm, hoặc ở khu vực ven bờ có nhiều trầm tích [23]. Chúng phân bố từ vùng triều đến độ sâu khoảng 15 m [154] và thường gặp ở khu vực dưới triều, rạn san hô gần bờ [47]. *Sarcophyton* thích nghi tốt trong môi trường nước có nhiệt độ từ $24,2 - 35,5 \text{ }^\circ\text{C}$ và pH dao động $8,35 - 8,45$ [2], tương ứng với khoảng nhiệt độ ghi nhận tại khu vực nghiên cứu ($25,20 - 30,05 \text{ }^\circ\text{C}$), nằm trong giới hạn thích hợp cho sự phát triển của rạn san hô [155, 156].

Tóm lại, *S. serenei* được ghi nhận phân bố ở các khu vực nền đá san hô chết, giàu canxi, độ đục trung bình và môi trường nước có chất lượng tốt. Các yếu tố thủy lý-hóa tại khu vực Hòn Chồng và Hòn Cút Chim nằm trong giới hạn sinh trưởng tối ưu của san hô [155, 156]. Điều này khẳng định rằng môi trường sống của loài phù hợp cho cả sinh trưởng tự nhiên lẫn khả năng nuôi nhân tạo, mở ra tiềm năng ứng dụng cho công tác bảo tồn và nhân giống trong điều kiện có kiểm soát. Sự thích nghi của *S. serenei* ở vùng nước đục vừa phải còn gợi ý khả năng phục hồi sinh cảnh tại các vùng rạn bị suy thoái, nơi san hô cứng khó tồn tại [23, 154]. Dựa trên các kết quả khảo sát sinh thái, các thí nghiệm tiếp theo được thiết kế với việc điều chỉnh các yếu tố môi trường về ngưỡng thích hợp, bao gồm độ mặn duy trì ở mức $33 - 34\text{‰}$, pH trong khoảng $8,0 - 8,3$ và nền đáy là lớp đá san hô chết. Các điều kiện này giúp mô phỏng môi trường nuôi có đặc điểm gần với tự nhiên. Đồng thời, kết quả đo đạc cho thấy cường độ ánh sáng trong bể từ 8 – 9 giờ sáng dao động $17,44 - 101,48 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, chưa phải mức cao nhất trong ngày. Kết hợp với các nghiên cứu trước về yêu cầu ánh sáng của một số loài thuộc giống *Sarcophyton*, chúng tôi lựa chọn dải cường độ ánh sáng $30 - 150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ để xác định ngưỡng phù hợp cho loài này trong điều kiện nuôi nhân tạo.

3.1.3. Đặc điểm sinh học sinh sản của loài san hô mềm *S. serenei*

3.1.3.1. Giới tính và tỷ lệ đực cái của loài san hô mềm *S. serenei*

Giới tính của *S. serenei*

Kết quả phân tích 380 mẫu san hô mềm *S. serenei* trong 16 đợt, từ tháng 8 năm 2023 đến tháng 7 năm 2024 tại vịnh Nha Trang chỉ ra rằng loài này là đơn tính. Giới tính của *S. serenei* giai đoạn chưa thành thực không thể xác định thông qua màu sắc, hình thái bên ngoài hay kích thước của tập đoàn, mà cần phải được xác định qua giải phẫu và quan sát dưới kính soi nổi hoặc phân tích mô học. Qua giải phẫu, trứng của *S. serenei* có màu trắng khi chưa trưởng thành, chuyển sang màu hồng hoặc đôi khi đỏ sẫm khi trưởng thành (Hình 3.21), các túi tinh chưa trưởng thành có màu xám mờ và chuyển sang màu trắng khi trưởng thành.



Hình 3.21. Trứng (màu hồng, mũi tên màu đen) của san hô mềm

S. serenei ở giai đoạn thành thực

Buồng trứng và túi tinh được hình thành ở phần nửa sau của chiều dài autozoid, trên mạc treo, và không xuất hiện ở phần đĩa miệng hoặc xúc tu. Buồng trứng và túi tinh phát triển từ các tế bào nội bì của mạc treo, gia tăng kích thước và phân chia thành các tế bào độc lập, biệt hóa thành trứng hoặc túi tinh trùng. Tuy nhiên, sự hiện diện của tinh trùng không thể quan sát trực tiếp dưới kính soi nổi như trứng, mà chỉ có thể xác định thông qua phân tích mô học.

Tỷ lệ đực cái của *S. serenei*

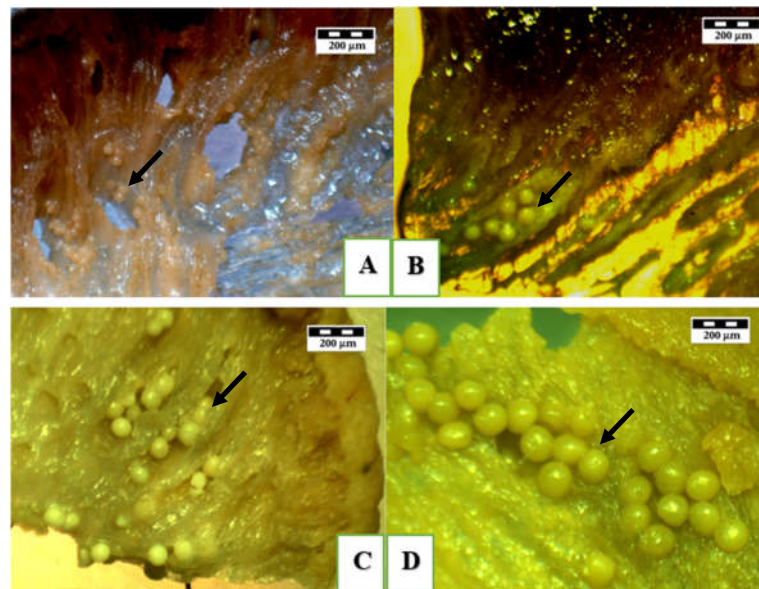
Kết quả nghiên cứu đã ghi nhận được 217 tập đoàn đực và 163 tập đoàn cái, không có tập đoàn nào lưỡng tính hoặc không xác định được giới tính. Tỷ lệ đực cái

của loài san hô mềm *S. serenei* trong tự nhiên tại khu vực nghiên cứu là 1,33:1, trong khi tỷ lệ lý thuyết là 1:1. Kết quả kiểm định tính độc lập giữa tỷ lệ đực cái thực tế và lý thuyết cho thấy chỉ số $\chi^2 = 7,67$, lớn hơn giá trị 6,64 (df = 1, P < 0,01), cho thấy sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa tỷ lệ thực tế và lý thuyết, tức là tỷ lệ đực cái trong tự nhiên của loài này là 1,33:1.

3.1.3.2. Các giai đoạn phát triển của noãn bào và tinh sào của *S. serenei*

Sự phát triển của noãn bào

Kích thước trứng của *S. serenei* có sự thay đổi rõ rệt theo thời gian được thể hiện ở Bảng 3.4. Trong giai đoạn hình thành, trứng có hình cầu, màu kem trong suốt (Giai đoạn I) và trở nên mờ đục khi đạt kích thước lớn hơn (Giai đoạn II). Trứng trưởng thành có màu hồng (Giai đoạn III và IV), được quan sát tại vịnh Nha Trang vào cuối tháng 2 và đầu tháng 3 năm 2024, với kích thước lớn (> 600 μm). Các tuyến sinh dục được quan sát ở gốc polyp, hầu như không có ở phần trên của polyp.

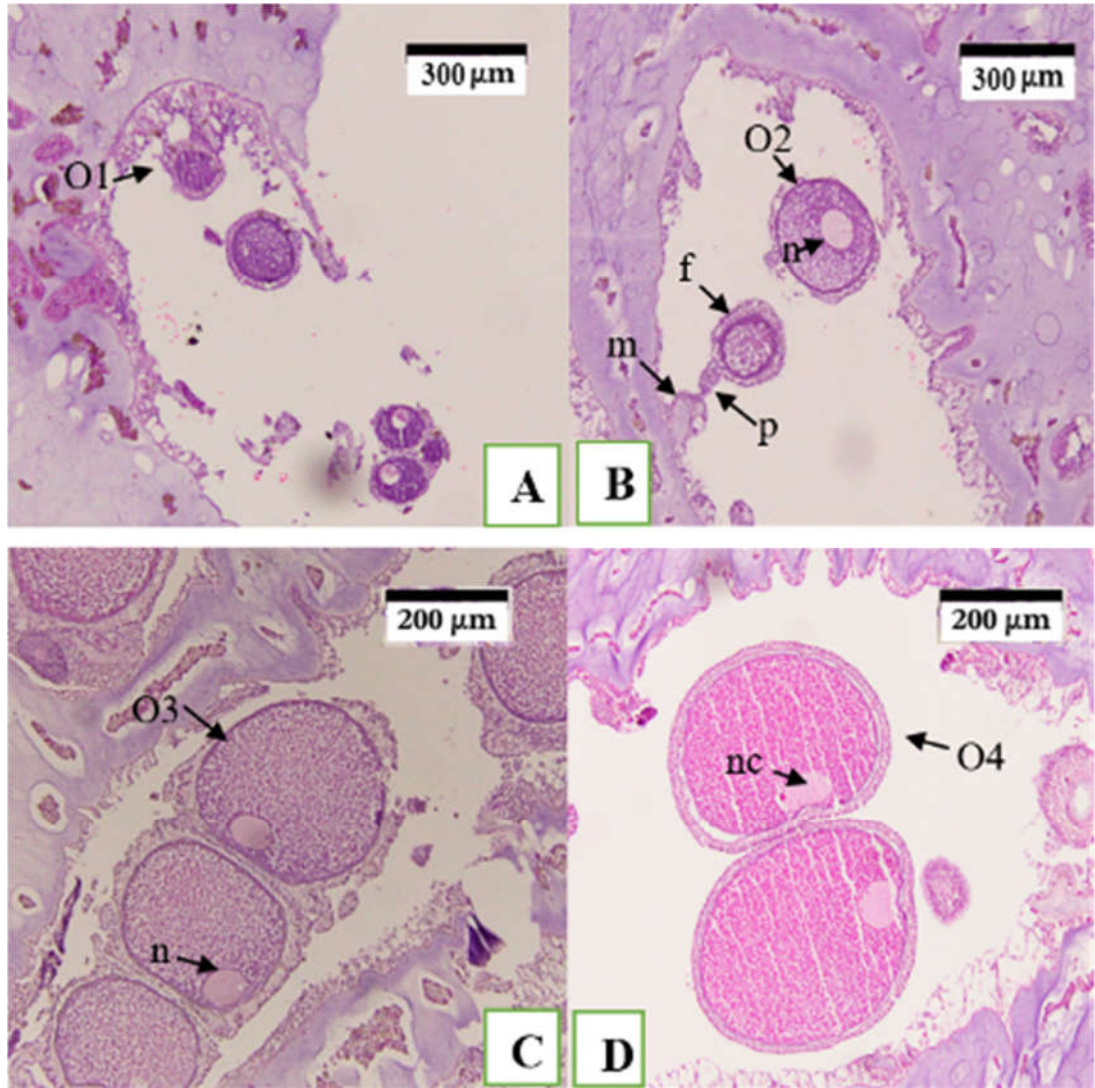


**Hình 3.22. Trứng của *S. serenei* dưới kính hiển vi soi nổi
(mũi tên màu đen)**

- | | |
|------------------------|-----------------------|
| A. Trứng giai đoạn I | B. Trứng giai đoạn II |
| C. Trứng giai đoạn III | D. Trứng giai đoạn IV |

Kích thước trứng ở giai đoạn trưởng thành của *S. serenei* dao động từ 445,26 μm đến 684,99 μm vào cuối tháng 2 và giữa tháng 3. Trong suốt năm, trứng có sự hiện diện với các kích thước khác nhau. Vào thời điểm giữa tháng 8 (16/8/2023) kích thước trung bình của trứng là $250,54 \pm 16,17$ (μm), kích thước này tiếp tục gia tăng

theo thời gian và đạt giá trị $684,99 \pm 28,50 \mu\text{m}$ vào thời điểm gần cuối tháng 3 (27/3/2024). Sau thời điểm này chỉ thu được trứng có kích thước nhỏ. Cụ thể, cuối tháng 3 (30/3) chỉ thu được trứng có đường kính trung bình $158,21 \pm 4,85 \mu\text{m}$, sau đó tăng lên $162,80 \pm 5,34 \mu\text{m}$ vào tháng 4, sau đó lại tiếp tục gia tăng trong các tháng tiếp theo (Bảng 3.5). Quá trình phát triển noãn bào của *S. serenei* được chia thành bốn giai đoạn, như minh họa trong Hình 3.22 và Hình 3.23.



Hình 3.23. Các giai đoạn phát triển noãn bào của *S. serenei*

(A: giai đoạn I–Nhân và tế bào chất chưa phân biệt rõ ràng trong mạc treo, B: giai đoạn II–Nhân tế bào nằm ở trung tâm của noãn bào, C: giai đoạn III–Nhân di chuyển ra ngoài vi và tách khỏi mạc treo, D: giai đoạn IV–Noãn bào tăng nhanh kích thước. O1, Giai đoạn I; O2, Giai đoạn II; O3, Giai đoạn III, O4, Giai đoạn IV; f, lớp vỏ noãn bào; m, mạc treo; n, nhân; nc, nhân con; p, cuống)

Giai đoạn I: từ tháng 4 đến tháng 9, noãn bào mới hình thành có màu nâu hồng, hình tròn hoặc mờ. Tế bào trứng giai đoạn này chủ yếu chứa nhân tế bào và tế bào chất, với tuyến sinh dục chỉ xuất hiện ở các autozoid và được gắn vào mạc treo bằng cuống. Mặc dù không thể phân biệt rõ ràng giữa nhân và tế bào chất, các tế bào trứng có thể thấy dưới dạng một cụm trong mạc treo hoặc xen kẽ với các trứng ở giai đoạn phát triển sau (Hình 3.23A).

Giai đoạn II: từ tháng 10 đến tháng 12, tế bào trứng bắt đầu chuyển sang hình tròn hoặc bầu dục và bám vào mạc treo qua cuống (Hình 3.23B). Tại thời điểm này, nhân tế bào và tế bào chất chiếm phần lớn, nhân vẫn nằm ở trung tâm của noãn bào.

Bảng 3.4. Kích thước noãn bào (μm) qua các giai đoạn ($n = 30$)

Ngày tháng	Trung bình $\pm$ SD	Dao động	Giai đoạn
16/8/23	250,54 $\pm$ 16,17	214,98 – 275,57	I
20/9/23	256,90 $\pm$ 16,73	223,36 – 278,12	I
26/10/23	292,57 $\pm$ 15,56	263,89 – 325,12	II
29/11/23	335,07 $\pm$ 22,93	280,49 – 372,75	II
27/12/23	352,70 $\pm$ 27,21	303,76 – 390,02	II
24/1/24	354,26 $\pm$ 30,07	290,51 – 399,39	III
22/2/24	445,26 $\pm$ 33,23	391,79 – 501,53	III
17/3/24	519,99 $\pm$ 29,90	460,14 – 571,96	IV
20/3/24	581,75 $\pm$ 10,64	566,31 – 613,71	IV
23/3/24	633,20 $\pm$ 35,58	556,99 – 683,61	IV
27/3/24	684,99 $\pm$ 28,50	631,89 – 735,97	IV
30/3/24	158,21 $\pm$ 4,85	150,07 – 168,20	I
22/4/24	162,80 $\pm$ 5,34	147,91 – 172,84	I
22/5/24	171,82 $\pm$ 5,31	163,55 – 184,88	I
17/6/24	193,27 $\pm$ 8,65	178,46 – 214,40	I
19/7/24	205,51 $\pm$ 12,01	181,20 – 230,53	I

Giai đoạn III: từ tháng 1 đến tháng 2, khi noãn bào tăng nhanh về kích thước và tách khỏi mạc treo, di chuyển gần đến khoang polyp (Hình 3.23C). Trứng ở giai đoạn này có màu sắc hồng đến đỏ tươi, nhân bắt đầu di chuyển ra ngoại vi, và tế bào chất trở nên đồng đều về kích thước và màu sắc. Màng nhân bắt đầu có dạng lưới, và các tế bào trứng có đường viền dày, là đặc điểm xác định của giai đoạn này.

Giai đoạn IV: từ tháng 2 đến tháng 3, với sự xuất hiện của nhân và tế bào chất ở ngoại vi của tế bào (Hình 3.23D). Kích thước trứng tăng đáng kể trong giai đoạn này. Kết quả quan sát vào tháng 4 cho thấy, tuyến sinh dục cái xuất hiện và phần lớn trứng có kích thước nhỏ, chứng tỏ *S. serenei* đã tham gia vào quá trình sinh sản vào tháng 3.

Các giai đoạn phát triển của tinh sào

Quan sát cho thấy, túi tinh của loài san hô mềm *S. serenei* khi mới hình thành có dạng cầu, trong suốt và màu trắng kem. Khi tiến tới giai đoạn thành thực, túi tinh chuyển thành hình bầu dục và có kích thước rất nhỏ, do đó không thể đo được dưới kính soi nổi. Kích thước của chúng được xác định qua phân tích mô học, như đã trình bày trong Bảng 3.5. Quá trình phát triển của tinh sào được chia thành 4 giai đoạn, dựa trên mô tả của Schleyer và cs. (2004) [76], và các giai đoạn này được thể hiện trong Hình 3.24.

Bảng 3.5. Kích thước túi tinh (μm) qua các giai đoạn (n = 30)

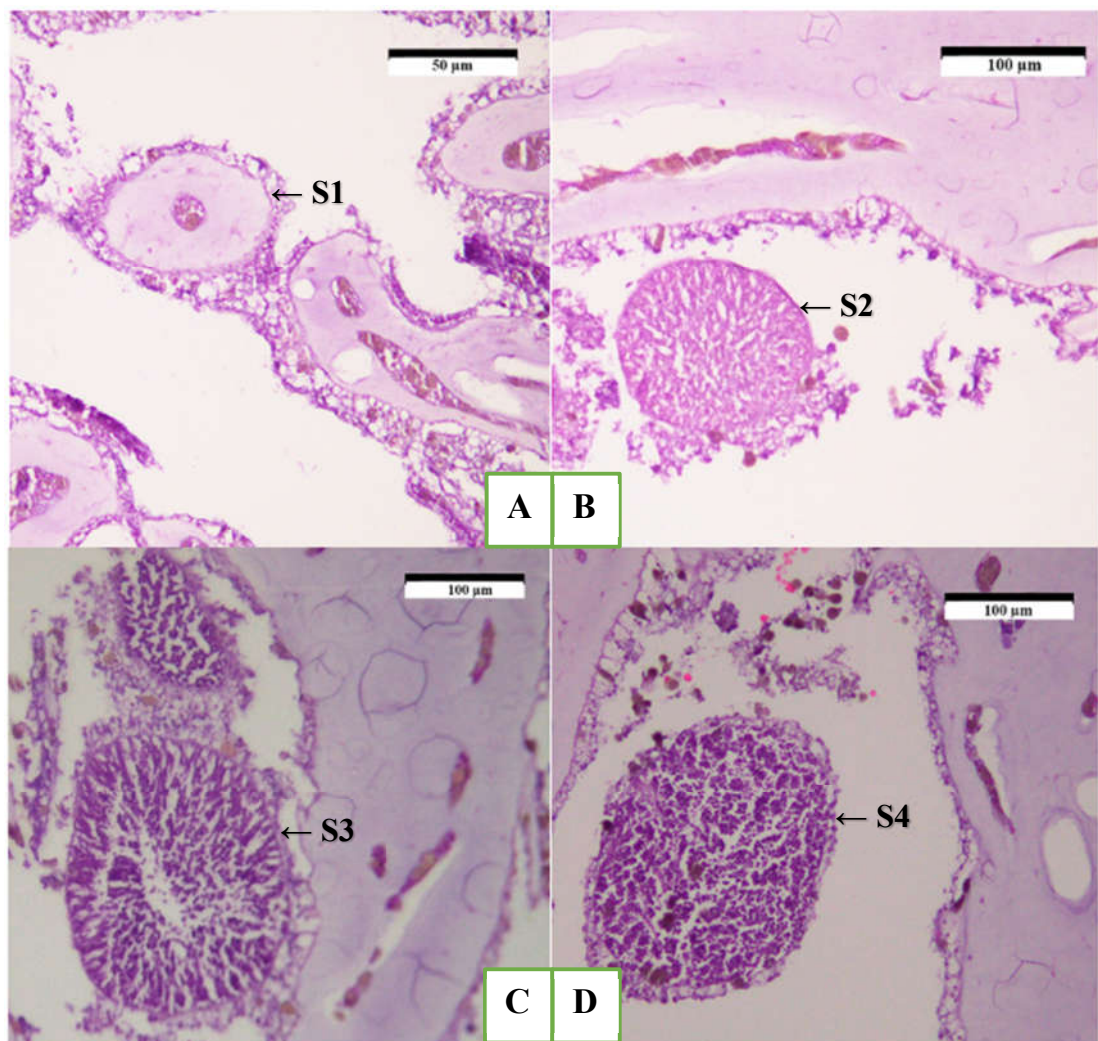
Ngày tháng	TB $\pm$ SD	Dao động	Giai đoạn
24/1	222,41 $\pm$ 29,69	157,68 – 274,01	III
22/2	219,98 $\pm$ 31,81	122,21 – 266,03	III
27/3	229,09 $\pm$ 18,77	186,93 – 263,62	IV
22/4	21,48 $\pm$ 1,11	18,42 – 25,01	I
22/5	17,13 $\pm$ 1,89	14,15 – 21,13	I
17/6	18,84 $\pm$ 3,17	12,77 – 25,24	I
19/7	50,38 $\pm$ 4,44	44,45 – 58,68	I
16/8	69,38 $\pm$ 12,56	50,56 – 87,10	I
20/9	141,56 $\pm$ 15,65	94,91 – 174,67	I
26/10	149,25 $\pm$ 5,24	142,22 – 159,25	II
29/11	184,59 $\pm$ 29,17	120,43 – 221,20	II
27/12	195,49 $\pm$ 11,98	169,29 – 214,22	II

Giai đoạn I: (từ tháng 4 đến tháng 8) phát triển của túi tinh bắt đầu với các cụm tinh nguyên bào đang phát triển. Túi tinh ở giai đoạn này có kích thước rất nhỏ, trung bình là 17,13 $\pm$ 1,89 μm vào tháng 5, tăng chậm qua các tháng tiếp theo, đạt 18,84 $\pm$ 3,17 μm vào tháng 6. Tuy nhiên, kích thước túi tinh bắt đầu tăng nhanh từ tháng 7, đạt trung bình 50,38 $\pm$ 4,44 μm vào tháng 7 và 69,38 $\pm$ 12,56 μm vào tháng 8 (Hình 3.24A).

Giai đoạn II: (tháng 9 đến tháng 12) (Hình 3.24B), các tinh nguyên bào kết nối với mạc treo và kích thước túi tinh tiếp tục tăng từ $141,56 \pm 15,65 \mu\text{m}$ vào tháng 9, $149,25 \pm 5,24 \mu\text{m}$ vào tháng 10, $184,59 \pm 29,17 \mu\text{m}$ vào tháng 11, và đạt $195,49 \pm 11,98 \mu\text{m}$ vào tháng 12.

Giai đoạn III: (tháng 1 đến tháng 2) tinh trùng bắt đầu tập trung ở ngoại vi của túi tinh, tạo nên vẻ ngoài rỗng ở trung tâm. Kích thước của túi tinh trong giai đoạn này đạt $222,41 \pm 29,69 \mu\text{m}$ vào tháng 1 và $219,98 \pm 31,81 \mu\text{m}$ vào tháng 2 (Hình 3.24C).

Giai đoạn IV: kích thước túi tinh đạt từ $182,42$ đến $263,62 \mu\text{m}$, với trung bình $229,09 \pm 18,77 \mu\text{m}$ vào tháng 3 (Hình 3.24D).

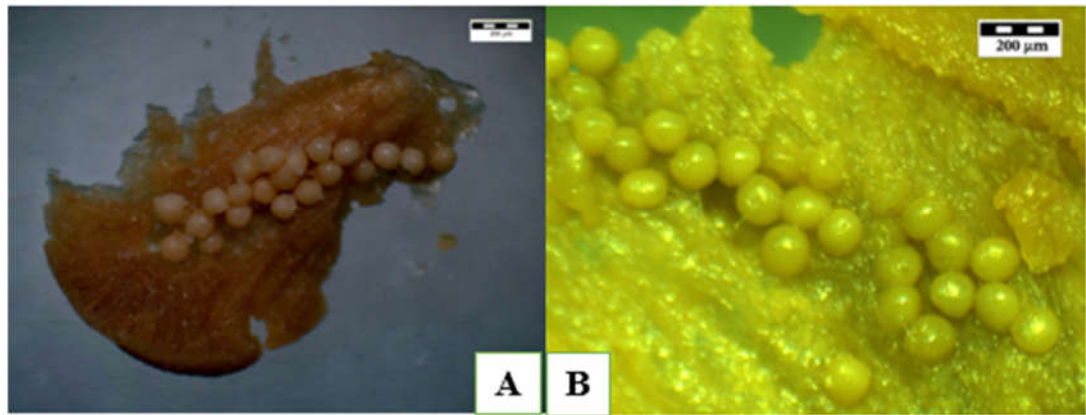


Hình 3.24. Các giai đoạn phát triển tinh sào của *S. serenei* (20x)

(A: giai đoạn I, B: giai đoạn II, C: giai đoạn III, D: giai đoạn IV, S1: Tinh sào giai đoạn I; S2: Tinh sào giai đoạn II, S3: Tinh sào giai đoạn III, S4: Tinh sào giai đoạn IV)

3.1.3.3. Sức sinh sản của *S. serenei*

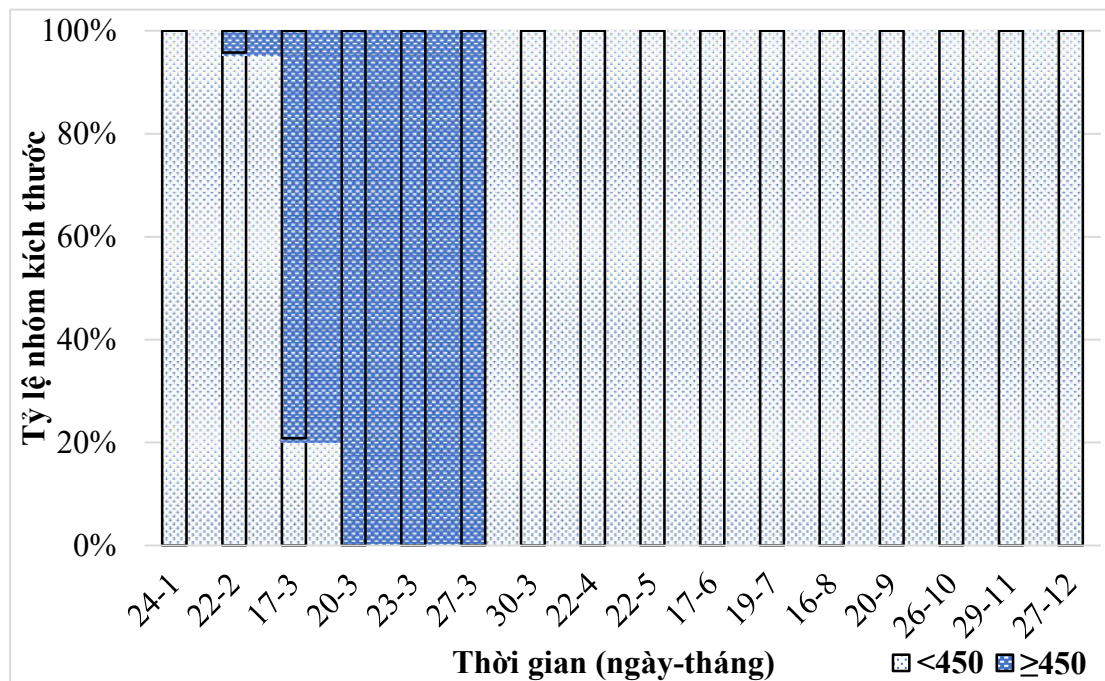
Tại vịnh Nha Trang, khi loài *S. serenei* đạt mức thành thực, số lượng trứng dao động từ 14 đến 26 trứng trên mỗi polyp (Hình 3.25).



Hình 3.25. Số lượng trứng trong polyp

A: Trứng thu ngày 17/3/2024; B: Trứng thu ngày 27/3/2024

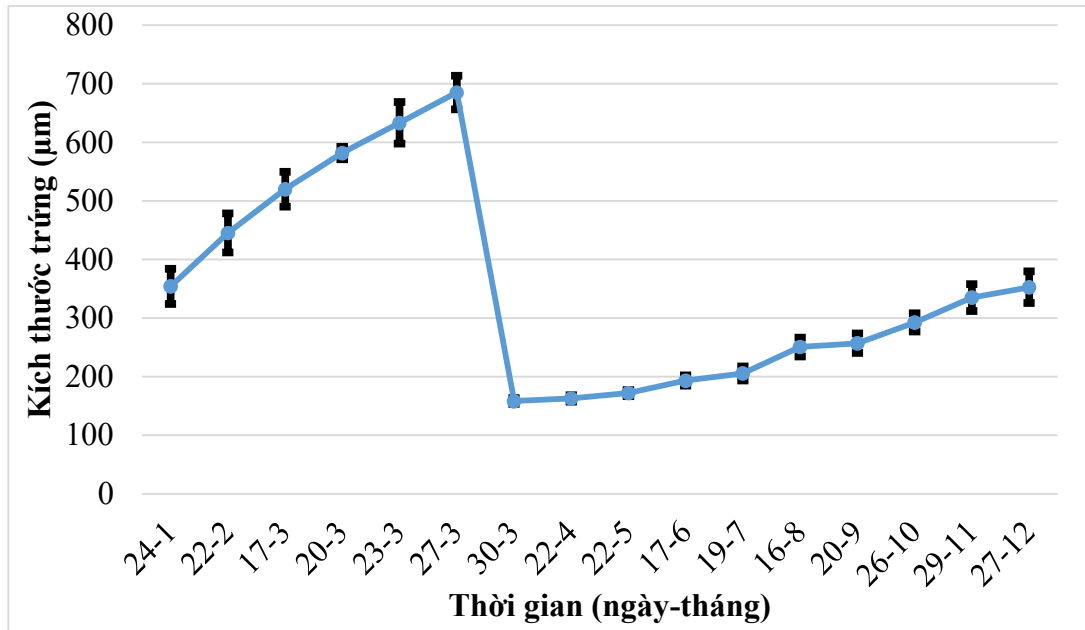
3.1.3.4. Tỷ lệ thành thực và mùa vụ sinh sản của *S. serenei*



Hình 3.26. Tỷ lệ nhóm kích thước trứng theo thời gian

Kết quả quan sát trong thời gian thu mẫu cho thấy sự xuất hiện liên tục của trứng với các kích thước khác nhau. Trong quá trình phân tích sự thay đổi đường kính trứng của loài san hô mềm *S. serenei* từ tháng 8 năm 2023 đến tháng 7 năm 2024, kết quả chỉ ra rằng vào tháng 1, tất cả các trứng đều có kích thước nhỏ hơn 450 μm, nhưng đến ngày 17 tháng 3, tỷ lệ này giảm còn khoảng 21%. Từ tháng 3, kích thước trứng

tăng mạnh, với 79% trứng có đường kính vượt quá 450 μm , và 100% trứng có kích thước lớn hơn 450 μm vào khoảng thời gian từ ngày 20 tháng 3 đến ngày 27 tháng 3 năm 2024. Sau đó, tỷ lệ trứng lớn giảm dần, đánh dấu một chu kỳ mới trong quá trình phát triển trứng. Các kết quả thu được từ tháng 4 trở đi không ghi nhận sự hiện diện của trứng lớn trong noãn bào, điều này khẳng định rằng *S. serenei* là loài có sự sinh sản đồng bộ, với chu kỳ sinh sản một lần vào tháng 3 trong năm (Hình 3.26, Hình 3.27).



Hình 3.27. Sự gia tăng kích thước trứng theo thời gian

Kết quả quan sát cho thấy *S. serenei* là loài đơn tính, điều này cũng phản ánh xu hướng chung của các loài san hô trong giống *Sarcophyton*, như *S. auritum* [157] và *S. glaucum* [52, 75]. Tuy nhiên, theo kết quả nghiên cứu của Schleyer và cs. (2004) [76] tại KwaZulu – Natal, Nam Phi, trong giai đoạn từ tháng 9 năm 1991 đến tháng 11 năm 1994, khi phân tích 276 tập đoàn san hô loài *S. glaucum* ở độ sâu trung bình 15 m, có 134 tập đoàn cái, 96 tập đoàn đực, 25 tập đoàn mang cả trứng và tinh trùng trong polyp, và 21 tập đoàn chưa xác định rõ giới tính. Sự khác biệt này có thể do ảnh hưởng của điều kiện địa lý.

Kết quả nghiên cứu về tỷ lệ đực cái của loài san hô mềm *S. serenei* cũng tương đồng với nghiên cứu trên loài *S. crassocaule* [158], *S. elegans* [78], các kết quả cũng cho thấy hai loài này đều có tỷ lệ đực cái không phân bố theo lý thuyết 1:1 mà đều có phân bố theo 1,3:1. Tuy nhiên, một số nghiên cứu trong giống *Sarcophyton* lại có phân bố tỷ lệ đực cái lại là 1:1. Nghiên cứu của Hellström và cs. (2010) [78] về tỷ lệ giới tính của san hô mềm *S. elegans* xác định tỷ lệ đực cái là 1:1 khi phân tích 334

tập đoàn (121 tập đoàn cái, 162 tập đoàn đực và 51 tập đoàn chưa xác định được giới tính). Đối với *S. glaucum*, kết quả nghiên cứu của Benayahu và Loya (1986) [75] cho thấy tỷ lệ giới tính không có sự sai lệch đáng kể so với tỷ lệ lý thuyết 1:1.

Phân tích hình thái ngoài của noãn sào trong nghiên cứu này chỉ ra rằng trứng thành thực của *S. serenei* chỉ xuất hiện rõ rệt vào tháng 2 – 3, đặc biệt là từ ngày 23 tháng 3 đến ngày 27 tháng 3 (tương ứng với ngày 14 đến 18 tháng 2 âm lịch), đây là giai đoạn thành thực, san hô có khả năng tham gia sinh sản. Điều này cho thấy, *S. serenei* là loài có sự sinh sản đồng bộ, với chu kỳ sinh sản một lần trong năm, điều này tương đồng với các nghiên cứu về sinh sản của một số loài san hô mềm thuộc giống *Sarcophyton*, như *S. crassocaule*; *S. ehrenbergi*; *S. glaucum*; *S. elegans*; *S. auritum* (Bảng 3.7). Nghiên cứu về *S. glaucum* cho thấy, đây là loài được ghi nhận có sinh sản vào giữa trăng tròn và trăng non tháng 3, khi các túi tinh và tế bào trứng trưởng thành được giải phóng [76]. Kết quả nghiên cứu về *S. elegans* cũng cho thấy thời gian sinh sản diễn ra vào thời điểm 16 đến 17 giờ sau khi mặt trời lặn và kéo dài 2 giờ vào ngày thứ 5 và 6 sau trăng tròn, nhưng mùa vụ sinh sản của loài này kéo dài từ tháng 8 đến tháng 2 năm sau [78]. Đối với loài san hô mềm *S. auritum*, mùa sinh sản được xác định diễn ra vào thời điểm trăng tròn tháng 7 [157].

Kết quả này cho thấy kích thước trứng của *S. serenei* ở giai đoạn thành thực tương đương với kích thước trứng trưởng thành của *Sarcophyton* sp. (600 μm) như đã ghi nhận trong các nghiên cứu trước [6, 159]. Tuy nhiên, kích thước này nhỏ hơn so với một số loài trong giống *Sarcophyton* như *S. crassocaule* (915 μm), *S. ehrenbergi* (710 μm) và *S. trocheliophorum* (763 μm) [74, 158]. Một số nghiên cứu cũng ghi nhận trứng trưởng thành của *S. elegans* [78] và *S. glaucum* [52] có kích thước nhỏ hơn trứng của *S. serenei* (Bảng 3.6).

Thời điểm phát sinh trứng của *S. serenei* trong nghiên cứu này có sự khác biệt so với kết quả quan sát trên *S. elegans* tại Lizard Island, Great Barrier Reef. Cụ thể, noãn bào giai đoạn I của *S. elegans* xuất hiện từ tháng 2 đến tháng 7, trong khi noãn bào giai đoạn II xuất hiện từ tháng 4 đến tháng 11 và giai đoạn III có mặt trong tất cả các tháng. Các noãn bào giai đoạn IV được quan sát ở các polyp ngoài rìa khuẩn lạc vào trước trăng tròn trong tháng 8 và 9, sau đó, chúng được tìm thấy trong các polyp gần trung tâm polypary vào những tháng tiếp theo, nhưng không còn xuất hiện vào tháng 2 năm sau [78]. Nghiên cứu trên san hô mềm *S. elegans* cho thấy tinh bào giai đoạn I và II xuất hiện vào tháng 2 và tháng 3. Kích thước tinh trùng tăng dần cho đến tháng 8, đạt giai đoạn III, và tiếp tục phát triển đến giai đoạn IV vào tháng 8 và tháng 9 [78]. Trong khi đó, kết quả nghiên cứu này cho thấy, loài *S. serenei* trứng giai đoạn I được quan sát thấy ở tháng 4 đến tháng 9, giai đoạn II từ tháng 10 đến tháng 12, giai

đoạn III diễn ra từ tháng 1 đến tháng 2 và giai đoạn IV xuất hiện vào thời điểm cuối tháng 2 và tháng 3.

Bảng 3.6. Một số kết quả nghiên cứu sinh sản hữu tính của *Sarcophyton*

Loài	Tỷ lệ đực cái	Đường kính trứng (μm)	Mùa vụ sinh sản (tháng)	Khu vực nghiên cứu	Tài liệu tham khảo
<i>S. crassocaule</i>	1,3:1	915	4 – 6	Đài Loan	[158]
<i>S. ehrenbergi</i>	–	710	10 – 11	Great Barrier (Úc)	[6]
<i>S. glaucum</i>	–	600	10 – 11	Great Barrier (Úc)	[6]
<i>S. glaucum</i>	1:1	500 – 650	7	Phía Bắc Biển Đỏ	[75]
<i>S. glaucum</i>	1:1	800	2 – 3	KwaZulu – Natal, Nam Phi	[76]
<i>S. glaucum</i>	1:1	400 – 450	12 – 1	Biển Đỏ (Ai Cập)	[52]
<i>S. elegans</i>	1,3:1	450 – 620	09 – 10	Great Barrier (Úc)	[78]
<i>S. auritum</i>	–	621 – 689	7	Biển Đỏ	[157]
<i>S. trocheliophorum</i>	–	763	–	Đài Loan	[158]
<i>Sarcophyton</i> sp.	–	600	10 – 11	Great Barrier (Úc)	[159]; [6]
<i>S. serenei</i>	1,3:1	450 – 736	3	Nha Trang	Nghiên cứu này

Sức sinh sản của các loài san hô tám ngón rất khác nhau. Các loài thuộc nhóm Gorgonian thường sản xuất ít trứng hơn các loài san hô mềm khác. Ví dụ, san hô *Thouarella variabilis* chỉ sản xuất một trứng trưởng thành duy nhất mỗi polyp [152], trong khi *Plexaura kuna* có trung bình 1,9 noãn bào mỗi polyp [82]. Ngược lại, *S. glaucum* có thể chứa từ 25 đến 35 noãn bào mỗi polyp [75], và *Ptilosarcus guernei* có trung bình 20 – 25 trứng mỗi polyp [160]. Brazeau và Lasker (1989) [82] cho rằng sản lượng trứng thấp ở các loài san hô tám ngón có thể do hạn chế về không gian bên trong polyp, vốn bị ảnh hưởng bởi cấu trúc cơ thể cứng và ít linh hoạt.

Nghiên cứu về đặc điểm sinh học sinh sản cho thấy *S. serenei* là loài đơn tính, có chu kỳ sinh sản một lần mỗi năm, vào khoảng tháng 3 (trong giai đoạn nghiên cứu 2023 – 2024). Kích thước trứng, tỷ lệ giới tính và mùa vụ sinh sản đều tương đồng với nhiều loài khác trong giống *Sarcophyton* như *S. glaucum*, *S. elegans* và *S. auritum* [75, 78, 157]. Kết quả nghiên cứu góp phần xác định thời điểm tối ưu để thu và xử lý

mẫu bố mẹ trong quy trình sinh sản nhân tạo, đồng thời cho thấy sự đồng bộ trong hoạt động sinh sản – yếu tố then chốt ảnh hưởng đến hiệu quả thụ tinh và phát triển phôi trong điều kiện nuôi. Tuy nhiên, quá trình sinh sản hữu tính của san hô mềm diễn ra trong thời gian ngắn và chịu tác động mạnh của các yếu tố môi trường như nhiệt độ, ánh sáng và chu kỳ trăng, khiến việc thu trứng và tinh trùng trong tự nhiên gặp nhiều khó khăn. Vì vậy, nhân giống vô tính thông qua tách mảnh được xem là hướng tiếp cận khả thi và hiệu quả hơn đối với loài này. Bên cạnh đó, chi phí tạo lập một tập đoàn san hô bằng phương pháp vô tính chỉ chiếm khoảng 20% so với sinh sản hữu tính [20], cho thấy nghiên cứu về sinh sản hữu tính đòi hỏi nguồn đầu tư lớn. Do đó, sinh sản vô tính bằng phương pháp tách mảnh trở thành hướng nhân giống chủ đạo, phù hợp như một giải pháp thiết thực trong giai đoạn hiện nay.

3.2. Nghiên cứu sinh sản vô tính loài san hô mềm *S. serenei* trong điều kiện nhân tạo

3.2.1. Ảnh hưởng của Lugol và thời gian xử lý mảnh tách

3.2.1.1. Tỷ lệ sống

Tỷ lệ sống của loài san hô mềm *S. serenei* ở các nghiệm thức được thể hiện ở Bảng 3.8. Kết quả cho thấy chỉ có nồng độ Lugol ảnh hưởng đáng kể đến tỉ lệ sống; trong khi thời gian ngâm không ghi nhận sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức trong điều kiện thí nghiệm này đến tỷ lệ sống của san hô.

Ngày 3: Tỷ lệ sống cao nhất được quan sát thấy ở 2 nghiệm thức T:0,5–15 ($85,0 \pm 5,0\%$) và T:1,0–10 ($85,0 \pm 5,0\%$), trong khi tỷ lệ thấp nhất là ở các nghiệm thức T:0–20 ($71,7 \pm 5,8\%$) và T:1,5–20 ($71,7 \pm 2,9\%$) ($p \leq 0,019$).

Ngày 6: có sự khác biệt về tỉ lệ sống sau 6 ngày thí nghiệm giữa các nghiệm thức có nồng độ xử lý Lugol khác nhau ($p \leq 0,030$). Tỷ lệ sống đạt giá trị cao nhất được quan sát thấy ở nghiệm thức T:0,5–15 ($76,7 \pm 2,9\%$), trong khi thấp nhất được quan sát thấy ở nghiệm thức T:1,5–20 ($61,7 \pm 2,9\%$) ($p = 0,001$). Tuy nhiên, không có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê về tỷ lệ sống sau 6 ngày giữa các phương pháp xử lý Lugol ở nồng độ 0,5 và 1 mL L⁻¹ ($p \geq 0,184$). Ngoài ra, không có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê về tỷ lệ sống sau sáu ngày thí nghiệm với ở cùng nồng độ xử lý trong khoảng thời gian khác nhau ($p \geq 0,337$).

Ngày 9: kết quả nghiên cứu cho thấy sự khác biệt về tỷ lệ sống sau 9 ngày thí nghiệm giữa các nghiệm thức có nồng độ dung dịch Lugol khác nhau ($p \leq 0,045$). Không có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa nghiệm thức đối chứng và Lugol (1,5 mL L⁻¹) ($p \geq 0,491$) hoặc giữa các nghiệm thức có 0,5 mL L⁻¹ và 1,0 mL L⁻¹ Lugol

($p \geq 0,091$). Tỷ lệ sống đạt giá trị cao nhất được quan sát thấy ở phương pháp xử lý T:0,5–15 ($71,7 \pm 2,9\%$), trong khi sự khác biệt thấp nhất được quan sát thấy ở phương pháp xử lý T:1,5–20 ($53,3 \pm 5,8\%$) ($p \leq 0,001$). Các nồng độ khác nhau cho thấy có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê về tỷ lệ sống sau chín ngày giữa các phương pháp xử lý thử nghiệm ($p \leq 0,006$). Ngoài ra, không có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê về tỷ lệ sống sau chín ngày xử lý với các nồng độ và thời gian ngâm khác nhau ($p \geq 0,161$). (Bảng 3.7).

Bảng 3.7. Tỷ lệ sống của loài san hô mềm *S. serenei* (n = 3)

Thử nghiệm thức	Nồng độ Lugol (mL L ⁻¹)	Thời gian ngâm (phút)	Tỷ lệ sống (%)		
			Ngày 3	Ngày 6	Ngày 9
T:0–5	0	5	76,7 ± 2,9	66,7 ± 7,6	56,7 ± 5,8
T:0–10		10	75,0 ± 5,0	70,0 ± 5,	56,7 ± 5,8
T:0–15		15	75,0 ± 5,0	66,7 ± 5,8	56,7 ± 10,4
T:0–20		20	71,7 ± 5,8	66,7 ± 7,6	55,0 ± 5,0
T:0,5–5	0,5	5	78,3 ± 2,9	66,7 ± 2,9	58,3 ± 7,6
T:0,5–10		10	78,3 ± 2,9	73,3 ± 2,9	65,0 ± 5,0
T:0,5–15		15	85,0 ± 5,0	76,7 ± 2,9	71,7 ± 2,9
T:0,5–20		20	83,3 ± 2,9	71,7 ± 2,9	66,7 ± 2,9
T:1,0–5	1,0	5	81,7 ± 2,9	71,7 ± 2,9	61,7 ± 5,8
T:1,0–10		10	85,0 ± 5,0	75,0 ± 5,0	71,7 ± 7,6
T:1,0–15		15	81,7 ± 2,9	71,7 ± 2,9	65,0 ± 5,0
T:1,0–20		20	76,7 ± 5,8	70,0 ± 5,0	61,7 ± 5,8
T:1,5–5	1,5	5	76,7 ± 5,8	70,0 ± 5,0	58,3 ± 2,9
T:1,5–10		10	78,3 ± 2,9	68,3 ± 2,9	66,7 ± 5,8
T:1,5–15		15	76,7 ± 2,9	66,7 ± 2,9	55,0 ± 5,0
T:1,5–20		20	71,7 ± 2,9	61,7 ± 2,9	53,3 ± 5,8
Phân tích phương sai 2 yếu tố (P-value)					
Nồng độ			0,001	0,006	0,001
Thời gian			NS	NS	NS
Nồng độ × Thời gian			NS	NS	NS

T là viết tắt của thử nghiệm thức. Các giá trị trình bày trong bảng là giá trị TB ± SD.

Kết quả nghiên cứu cho thấy tỷ lệ sống ở các thử nghiệm thức có 0,5 mL L⁻¹ (T:0,5–15) và 1,0 mL L⁻¹ (T:1,0–10) dung dịch Lugol được cải thiện đáng kể so với thử nghiệm

thức đối chứng sau 3, 6 và 9 ngày thí nghiệm ($p \leq 0,045$). Không có trường hợp san hô chết nào được ghi nhận đối với bất kỳ ở nghiệm thức nào từ ngày thứ chín cho đến khi kết thúc thí nghiệm.

3.2.1.2. Thời gian bám chân

Thời gian bám chân bị ảnh hưởng đáng kể bởi cả nồng độ dung dịch Lugol và thời gian ngâm ($p \leq 0,023$). Thời gian bám chân giảm đáng kể ở các phương pháp xử lý T:0,5–15, T:0,5–20, T:1,0–5 và T:1,0–10 (dao động từ $8,73 \pm 0,25$ đến $9,38 \pm 0,16$ ngày) so với các phương pháp không xử lý Lugol T:0–5, T:0–10, T:0–15 và T:0–20 (dao động từ $14,47 \pm 0,24$ đến $14,34 \pm 0,29$ ngày) ($p \leq 0,001$). Tuy nhiên, không có sự khác biệt đáng kể nào được quan sát thấy giữa các phương pháp chưa xử lý Lugol và các phương pháp xử lý có nồng độ cao và thời gian tiếp xúc dài T:1,5–20 ($13,91 \pm 0,27$ ngày) ($p \geq 0,149$), cũng như trong các phương pháp xử lý có nồng độ thấp và thời gian ngâm ngắn T:0,5–5 ($14,15 \pm 0,14$ ngày) ($p \geq 0,403$).

Bảng 3.8. Thời gian bám chân của *S. serenei* (n = 3)

Nghiệm thức	Nồng độ Lugol (mL L ⁻¹)	Thời gian ngâm (phút)	Thời gian bám chân (ngày)
T:0–5	0	5	$14,39 \pm 0,33^{fg}$
T:0–10	0	10	$14,47 \pm 0,41^{fg}$
T:0–15	0	15	$14,46 \pm 0,30^{fg}$
T:0–20	0	20	$14,34 \pm 0,51^{fg}$
T:0,5–5	0,5	5	$14,15 \pm 0,24^{ef}$
T:0,5–10	0,5	10	$11,96 \pm 0,74^{cd}$
T:0,5–15	0,5	15	$8,73 \pm 0,43^a$
T:0,5–20	0,5	20	$9,38 \pm 0,28^a$
T:1,0–5	1	5	$10,94 \pm 0,59^{bc}$
T:1,0–10	1	10	$8,75 \pm 0,35^a$
T:1,0–15	1	15	$10,12 \pm 0,29^{ab}$
T:1,0–20	1	20	$11,47 \pm 0,34^{bc}$
T:1,5–5	1,5	5	$12,00 \pm 0,87^{cd}$
T:1,5–10	1,5	10	$10,55 \pm 0,15^{ab}$
T:1,5–15	1,5	15	$12,88 \pm 0,56^{de}$
T:1,5–20	1,5	20	$13,91 \pm 0,47^{ef}$
Phân tích phương sai 2 yếu tố (P-value)			
Nồng độ			0,001
Thời gian			0,001
Nồng độ × Thời gian			0,001

Các giá trị trình bày trong bảng là giá trị TB $\pm$ SD. Các chữ cái đi sau giá trị trên cùng cột mà khác nhau hoàn toàn thì các giá trị đó khác nhau có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).

Có sự khác nhau về thời gian bám chân ở các phương pháp xử lý khác nhau, được thể hiện ở Bảng 3.8. Phân tích phương sai 2 yếu tố cho thấy thời gian bám chân bị ảnh hưởng đáng kể bởi nồng độ Lugol và thời gian ngâm ($p \leq 0,001$). Thời gian bám chân nhanh nhất được quan sát thấy ở phương pháp xử lý T:0,5–15 ($8,73 \pm 0,43$ ngày), trong khi thời gian bám chân chậm nhất được quan sát thấy ở các phương pháp xử lý T:0–10 ($14,47 \pm 0,41$ ngày), đây là sự khác biệt đáng kể giữa chúng ($p = 0,001$). Không có sự khác biệt đáng kể về thời gian bám giữa T:0,5–15 và T:1,0–10 ($p \geq 0,965$).

3.2.1.3. Sinh trưởng

Bảng 3.9. Tốc độ tăng trưởng về chiều dài (SGR_L, % ngày⁻¹) và khối lượng (SGR_w, % ngày⁻¹) của *S. serenei* (n = 3)

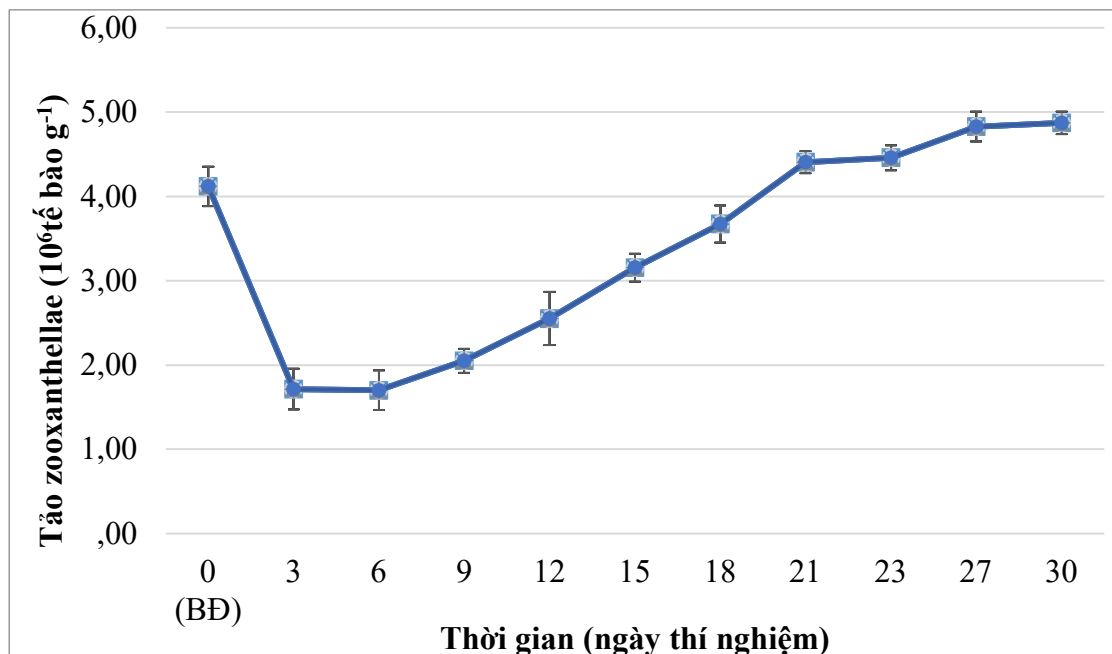
Nghiệm thức	Nồng độ Lugol (mL L ⁻¹)	Thời gian ngâm (phút)	SGR _w (% ngày ⁻¹)	SGR _L (% ngày ⁻¹)
T:0–5	0	5	$0,38 \pm 0,03$	$1,11 \pm 0,19$
T:0–10	0	10	$0,36 \pm 0,04$	$1,12 \pm 0,15$
T:0–15	0	15	$0,36 \pm 0,04$	$1,06 \pm 0,14$
T:0–20	0	20	$0,37 \pm 0,05$	$1,21 \pm 0,26$
T:0,5–5	0,5	5	$0,38 \pm 0,07$	$1,11 \pm 0,09$
T:0,5–10	0,5	10	$0,41 \pm 0,06$	$1,17 \pm 0,22$
T:0,5–15	0,5	15	$0,37 \pm 0,03$	$1,29 \pm 0,09$
T:0,5–20	0,5	20	$0,35 \pm 0,08$	$1,26 \pm 0,14$
T:1,0–5	1	5	$0,37 \pm 0,05$	$1,23 \pm 0,17$
T:1,0–10	1	10	$0,40 \pm 0,09$	$1,24 \pm 0,12$
T:1,0–15	1	15	$0,39 \pm 0,05$	$1,21 \pm 0,11$
T:1,0–20	1	20	$0,44 \pm 0,05$	$1,19 \pm 0,15$
T:1,5–5	1,5	5	$0,45 \pm 0,06$	$1,27 \pm 0,24$
T:1,5–10	1,5	10	$0,38 \pm 0,04$	$1,18 \pm 0,14$
T:1,5–15	1,5	15	$0,38 \pm 0,07$	$1,05 \pm 0,09$
T:1,5–20	1,5	20	$0,36 \pm 0,05$	$1,06 \pm 0,08$
Phân tích phương sai 2 yếu tố (P-value)				
Nồng độ			NS	NS
Thời gian			NS	NS
Nồng độ × Thời gian			NS	NS

Các giá trị trình bày trong bảng là giá trị TB $\pm$ SD.

Kết quả nghiên cứu về sinh trưởng cho thấy, nồng độ Lugol, thời gian ngâm và sự kết hợp của chúng không ghi nhận sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức trong điều kiện thí nghiệm này đến tốc độ tăng trưởng đặc trưng về khối lượng (SGR_W) ($p \geq 0,348$) và chiều dài (SGR_L) ($p \geq 0,390$) (Bảng 3.9). Giá trị SGR_W cao nhất được quan sát thấy ở nghiệm thức T:1,5–5 ($0,45 \pm 0,06\%$ ngày⁻¹), thấp nhất ở nghiệm thức T:0–15 và T:0–15 ($0,35 \pm 0,04\%$ ngày⁻¹) ($p \geq 0,055$). SGR_L cao nhất được quan sát thấy ở phương pháp xử lý T:0,5–15 ($1,29 \pm 0,09\%$ ngày⁻¹) và thấp nhất ở phương pháp xử lý T:1,5–15 ($1,05 \pm 0,09\%$ ngày⁻¹), không có sự khác biệt có ý nghĩa giữa chúng ($p \geq 0,883$).

3.2.1.4. Mật độ tảo zooxanthellae

Kết quả nghiên cứu cho thấy: vào ngày 0 (Ngày bắt đầu thí nghiệm), mật độ zooxanthellae dao động từ 3,78 đến $4,46 \times 10^6$ tế bào g⁻¹. Mật độ zooxanthellae giảm đã được quan sát thấy trong san hô sau khi phân mảnh vào ngày 3 và xu hướng này kéo dài cho đến ngày 6, với mật độ dao động từ 1,37 đến $2,03 \times 10^6$ tế bào g⁻¹. Từ ngày 9, mật độ zooxanthellae gần như phục hồi về mức quan sát được vào ngày 0, với các giá trị dao động từ 3,46 đến $4,16 \times 10^6$ tế bào g⁻¹ vào ngày 18. Xu hướng tăng tiếp tục cho đến khi kết thúc thí nghiệm vào ngày 30, với mật độ dao động từ 4,58 đến $5,13 \times 10^6$ tế bào g⁻¹ (Hình 3.28). Tuy nhiên, kết quả nghiên cứu cho thấy không có tác dụng đáng kể nào của Lugol, thời gian ngâm hoặc sự tương tác của chúng đối với mật độ zooxanthellae trong san hô tại bất kỳ điểm lấy mẫu nào ($p \geq 0,215$).

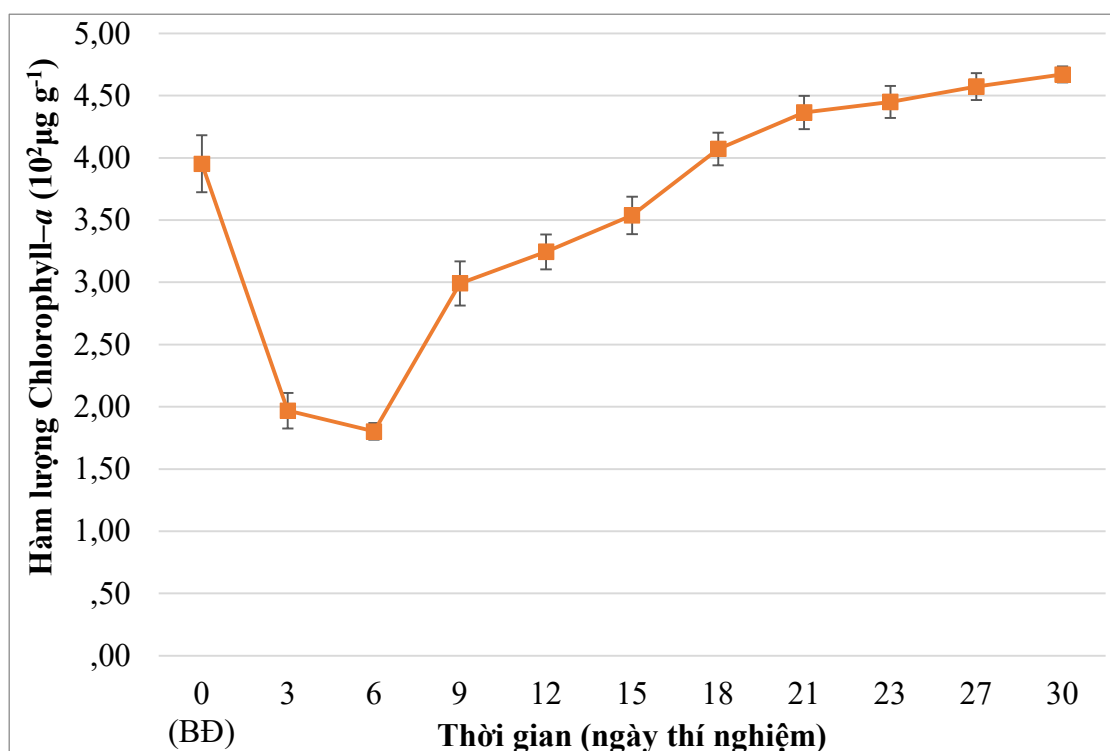


Hình 3.28. Sự thay đổi mật độ zooxanthellae của loài san hô mềm *S. serenei* thí nghiệm (Đồ thị biểu hiện TB $\pm$ SD của cá nghiệm thức)

3.2.1.5. Hàm lượng Chlorophyll-*a*

Tác động của các nồng độ và thời gian ngâm Lugol khác nhau lên hàm lượng Chlorophyll-*a* được thể hiện trong Hình 3.29. Vào ngày 0, hàm lượng Chlorophyll-*a* trong san hô khi bắt đầu thí nghiệm là cao, nhưng không có sự khác biệt đáng kể giữa các phương pháp xử lý ($p \geq 0,096$). Từ ngày 3 đến ngày 9, sự giảm hàm lượng Chlorophyll-*a* được ghi nhận ở tất cả các phương pháp xử lý. Tuy nhiên, không có tác động nào của nồng độ Lugol, thời gian ngâm hoặc tương tác của chúng lên hàm lượng Chlorophyll-*a* của san hô ($p \geq 0,153$).

Ngày 18–30: Sau 18 ngày thử nghiệm, nồng độ Lugol, thời gian ngâm và tương tác của chúng không ghi nhận sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức trong điều kiện thí nghiệm này đến hàm lượng Chlorophyll-*a* của các mảnh san hô ($p \geq 0,168$). Ngoài ra, không có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê nào về Chlorophyll-*a* khi xử lý bằng các nồng độ và thời gian ngâm khác nhau của Lugol; và có sự giảm đáng kể về hàm lượng diệp lục *a* sau khi san hô bị phân mảnh (từ ngày 3 đến ngày 15), với sự phục hồi dần dần theo thời gian (sau 18 ngày). Cụ thể, các phương pháp xử lý bằng 0,5 mL L⁻¹ và 1,0 mL L⁻¹ Lugol cho thấy sự phục hồi nhanh hơn so với phương pháp xử lý đối chứng và phương pháp xử lý 1,5 mL L⁻¹ Lugol trong khoảng thời gian từ ngày 12 đến ngày 15 của thí nghiệm (Hình 3.29).



Hình 3.29. Sự biến động hàm lượng Chlorophyll-*a* trong san hô mềm *S. serenei* thí nghiệm (Đồ thị biểu hiện TB ± SD của cá nghiệm thức)

3.2.1.6. Hàm lượng hữu cơ

Tỷ lệ khối lượng hữu cơ của loài san hô mềm *S. serenei* trong các phương pháp xử lý thí nghiệm được thể hiện ở Bảng 3.10. Phân tích phương sai 2 yếu tố cho thấy khối lượng hữu cơ bị ảnh hưởng đáng kể bởi cả nồng độ Lugol và thời gian ngâm ($p < 0,001$). Khối lượng hữu cơ cao nhất được ghi nhận ở các phương pháp xử lý T:1–10 ($42,96 \pm 1,04\%$ OW) và T:1–15 ($42,18 \pm 0,89\%$ OW). Ngược lại, khối lượng hữu cơ thấp nhất được ghi nhận ở các phương pháp xử lý T:0–5, T:0–10, T:0–15, T:0–20 và T:1,5–20 (dao động từ 34% đến 35% OW) ($p \leq 0,001$) (Bảng 3.10).

Bảng 3.10. Tỷ lệ khối lượng hữu cơ của *S. serenei* thí nghiệm (n = 3)

Nghiem thức	Nồng độ Lugol (mL L ⁻¹)	Thời gian ngâm (phút)	Khối lượng hữu cơ (% OW)
T:0–5	5	0	$35,33 \pm 0,71^{ab}$
T:0–10	10	0	$35,61 \pm 0,56^{bc}$
T:0–15	15	0	$35,07 \pm 0,46^{ab}$
T:0–20	20	0	$34,87 \pm 0,68^{ab}$
T:0,5–5	5	0,5	$36,54 \pm 0,64^{bc}$
T:0,5–10	10	0,5	$38,77 \pm 0,51^{cd}$
T:0,5–15	15	0,5	$40,67 \pm 0,30^{de}$
T:0,5–20	20	0,5	$41,64 \pm 0,58^{de}$
T:1,0–5	5	1	$37,45 \pm 0,42^{bc}$
T:1,0–10	10	1	$42,18 \pm 1,04^{ef}$
T:1,0–15	15	1	$42,96 \pm 0,89^{ef}$
T:1,0–20	20	1	$41,96 \pm 0,30^{de}$
T:1,5–5	5	1,5	$40,12 \pm 0,61^{cd}$
T:1,5–10	10	1,5	$38,72 \pm 0,35^{cd}$
T:1,5–15	15	1,5	$36,98 \pm 0,66^{bc}$
T:1,5–20	20	1,5	$35,45 \pm 0,60^{ab}$
Phân tích phương sai 2 yếu tố (P-value)			
Nồng độ			0,001
Thời gian			0,003
Nồng độ × Thời gian			0,001

Các giá trị trình bày trong bảng là giá trị TB $\pm$ SD. Các chữ cái đi sau giá trị trên cùng cột mà khác nhau hoàn toàn thì các giá trị đó khác nhau có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).

Kết quả phân tích cho thấy, tỷ lệ khối lượng hữu cơ bị ảnh hưởng đáng kể bởi cả nồng độ dung dịch Lugol và thời gian ngâm ($p < 0,05$). Tỷ lệ khối lượng hữu cơ cao nhất được quan sát thấy ở nghiệm thức T:10–15, trong khi tỷ lệ thấp nhất được ghi nhận ở nghiệm thức T:0–20. Tỷ lệ khối lượng hữu cơ tăng đáng kể ở nhóm được xử lý bằng Lugol (T:0,5–15, T:0,5–20, T:1,0–10, T:1,0–15, T:1,0–20) so với nhóm đối chứng không xử lý bằng Lugol (T:0–5, T:0–10, T:0–15, T:0–20) ($p \leq 0,041$). Tuy nhiên, không tìm thấy sự khác biệt có ý nghĩa thống kê về tỷ lệ khối lượng hữu cơ giữa các nghiệm thức T:0,5–15, T:0,5–20, T:1,0–10, T:1,0–15 và T:1,0–20 ($p \geq 0,090$). Tương tự như vậy, không có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê được quan sát thấy giữa các phương pháp xử lý không có Lugol (T:0–5, T:0–10, T:0–15, T:0–20) và phương pháp xử lý có nồng độ Lugol cao trong thời gian dài (T:1,5–20) ($p \geq 0,596$). (Bảng 3.10).

Nghiên cứu này đánh giá tác động của Lugol lên san hô mềm *S. serenei*, tập trung chủ yếu về việc đánh giá kỹ thuật xử lý bằng Lugol lên tỷ lệ sống, thời gian bám chân, tốc độ tăng trưởng, mật độ zooxanthellae, hàm lượng Chlorophyll-*a* và khối lượng hữu cơ của loài này.

Trong nuôi san hô, vết thương thường lây lan nhanh chóng và nhiễm trùng dẫn đến tỷ lệ tử cao, ví dụ san hô *Catalyphyllia jardinei* và *Goniopora stokesi* có tỷ lệ tử vong là 80% [161]. Việc tách mảnh các quần thể san hô có thể tạo ra cơ hội cho nhiều bệnh truyền nhiễm gây chết mô do sưng tấy, hoại tử lan rộng các mô bị tổn thương và sản xuất chất nhầy miễn dịch của san hô. Sự mở rộng và thành công của hoạt động nuôi san hô phụ thuộc đáng kể vào tỷ lệ sống của các mảnh san hô. Tác động cắt và nhiễm trùng vết thương ảnh hưởng đến quá trình phân mảnh của san hô, đòi hỏi phải xử lý các mảnh san hô và quần thể mẹ sau khi cắt để ngăn ngừa nhiễm trùng và chết. Việc xử lý mảnh cắt đúng nồng độ và thời gian giúp cải thiện thời gian lành vết thương, nâng cao tỷ lệ sống, cải thiện các chỉ tiêu sinh lý khác của san hô, tuy nhiên nếu xử lý ở nồng độ cao cũng như thời gian kéo dài không phù hợp sẽ gây stress từ đó ảnh hưởng đến tỷ lệ sống cũng như sức khỏe của đối tượng xử lý.

Người ta đã quan sát san hô mềm bám vào giá thể và phát hiện ra rằng các tế bào desmocyte phát triển trong các quá trình giống như rễ của biểu bì đóng vai trò chính trong quá trình này [162]. Khả năng tự bám giúp tăng cường tỷ lệ sống của các mảnh san hô sau khi phân mảnh [163].

Cho đến nay, chưa có nghiên cứu nào đề cập đến các loại thuốc sát trùng được sử dụng, liều lượng của chúng hoặc thời gian xử lý cho san hô trong quá trình tách mảnh. Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã sử dụng dung dịch Lugol làm chất khử

trùng để tắm san hô sau khi tách mảnh và kết quả cho thấy sự khác biệt đáng kể về thời gian tự bám chân của san hô được xử lý bằng Lugol. Trong các phương pháp xử lý bằng Lugol T:0,5–15 và T:1,0–10, thời gian tự bám nhanh hơn so với đối chứng không được xử lý (8,73 ngày ở nhóm được xử lý so với 14,47 ngày ở nhóm đối chứng). Thời gian lành vết thương của *S. serenei* trong thí nghiệm này cũng tương đương với các kết quả trước đây đối với các loài khác trong giống *Sarcophyton*. Cụ thể, thời gian bám của *S. glaucum* được báo cáo là 5 – 18 ngày [12]; đối với *Lobophytum pauciflorum*, thời gian trung bình khoảng 14 ngày [164] và 6,1 – 10,1 ngày [10], và đối với *Sarcophyton* sp., thời gian trung bình là 9,59 – 9,84 ngày [69]. Tự bám làm tăng tỷ lệ sống của các mảnh san hô [163]. Khả năng tự bám cải thiện đáng kể tỷ lệ sống của các mảnh san hô sau khi tách mảnh [163]. Phát hiện của chúng tôi chỉ ra rằng nồng độ Lugol tối ưu để xử lý các mảnh san hô trong nghiên cứu này là 0,5 mL L⁻¹ trong 15 phút (xử lý 0,5 – 15), hoặc 1,0 mL L⁻¹ trong 10 phút.

Lugol được sử dụng như một chất khử trùng (1 mL Lugol cho 3 L nước biển) để ngăn ngừa sự phát triển của vi khuẩn trong khi nuôi hai loài san hô cứng: *Acropora palmata* và *Orbicella faveolata* [109]. Nghiên cứu của họ đã đánh giá tác động của Lugol đối với sự phát triển của san hô và quần thể vi sinh vật trong cả giai đoạn tức thời và dài hạn. Theo thời gian, kết quả cho thấy không có sự khác biệt đáng kể nào giữa nhóm được xử lý và nhóm không được xử lý; tuy nhiên, cả hai loài san hô đều cho thấy sự phát triển chậm hơn ở nhóm san hô được xử lý bằng Lugol so với nhóm đối chứng [109]. Các đặc điểm sinh lý cụ thể của từng loài khi phản ứng với cùng một điều kiện môi trường có thể giải thích cho sự khác biệt này. Nhiều nghiên cứu liên quan đến sự phát triển của một số loài san hô trong giống *Sarcophyton* và kiểm tra tác động của nhiệt độ, độ mặn, cường độ ánh sáng, tần suất cho ăn, tốc độ dòng chảy [12], cường độ ánh sáng [13, 127], chế độ ăn kết hợp với thời gian tiếp xúc với ánh sáng [11], quang phổ ánh sáng [165], dinh dưỡng [166] và kích thước mảnh tách [69].

Kết quả của nghiên cứu này tương tự với kết quả được báo cáo bởi [13, 127, 167]. Ví dụ, nghiên cứu về loài san hô *S. glaucum* đã báo cáo tốc độ tăng trưởng riêng (SGR_w) dao động từ 0,11 đến 0,39% ngày⁻¹ [127], trong khi tốc độ tăng trưởng của *Sarcophyton* sp. được tìm thấy là 0,210 – 0,380% ngày⁻¹ [167]. Tuy nhiên, những phát hiện của nghiên cứu này khác với những phát hiện của các nghiên cứu đã công bố trước đây. Các nghiên cứu trước đây về *S. glaucum* đã báo cáo các giá trị SGR_w dao động từ đến 0,035 – 0,040% mỗi ngày [13] 0,027 – 0,028% ngày⁻¹ [3], 0,025 – 1,828% ngày⁻¹ [14] và 0,055 – 0,380% ngày⁻¹ [165]. Hiện nay, có rất ít ấn phẩm về tác động của thuốc sát trùng Lugol đối với tốc độ tăng trưởng của san hô. Kết quả về

tốc độ tăng trưởng trong nghiên cứu này khác đáng kể so với những kết quả được báo cáo bởi [109].

Kết quả cho thấy tỷ lệ chết của các mảnh san hô chỉ xảy ra nhiều/cao trong vòng 3 – 9 ngày đầu tiên và sau đó ổn định trong suốt quá trình thí nghiệm. Việc tách mảnh san hô được coi là thành công nếu hơn 50% san hô thí nghiệm sống sót [168]. Nghiên cứu này đã cho thấy tỷ lệ sống của các phương pháp xử lý thử nghiệm dao động từ 53,33% đến 71,67%, nằm trong phạm vi được báo cáo trong các nghiên cứu đã công bố trước đây về san hô mềm *Sarcophyton*. Cụ thể, tỷ lệ sống của *S. glaucum* được nuôi cấy trong hệ thống tuần hoàn kín dao động từ 65% đến 88% [12], và thậm chí có thể đạt tới 100% [11, 166]. Theo Chaitanawisuti và Kritsanapuntu (2019) [10], tỷ lệ sống của *Sarcophyton* sp. sau 70 ngày thử nghiệm dao động từ 26,6% đến 93,3%, tùy thuộc vào cách các mảnh san hô bám vào giá thể. Hơn nữa, tỷ lệ sống sau 90 ngày thử nghiệm dao động từ 78,33% đến 96,67%, tùy thuộc vào kích thước của các mảnh *Sarcophyton* sp. [69]. Những kết quả này có thể thấp hơn hoặc cao hơn so với các nghiên cứu trước đây do sự khác biệt về loài trong giống *Sarcophyton*, điều kiện nghiên cứu và phương pháp luận có thể ảnh hưởng đến sức khỏe của các mảnh san hô và do đó ảnh hưởng đến tỷ lệ sống của chúng. Như đã đề cập trước đó, hầu như không có nghiên cứu nào đề cập đến tác động của dung dịch Lugol đối với tỷ lệ sống của các mảnh san hô, chỉ có một số ít nghiên cứu sử dụng dung dịch Lugol làm phương pháp xử lý bệnh [106, 107]. Dung dịch Lugol đã được sử dụng như một chất khử trùng dự phòng với liều lượng 0,5 mL Lugol L⁻¹ trong 10 – 15 phút [106]. Nghiên cứu của chúng tôi chứng minh rằng nồng độ Lugol thích hợp để điều trị vết thương trên các mảnh san hô tương đương với liều lượng mà Bartlett (2013) [106] sử dụng. Cụ thể, nồng độ 0,5 mL trong 15 phút hoặc 1 mL trong 10 phút dẫn đến tỷ lệ sống là 71,67%.

San hô mềm *Sarcophyton*, sống cộng sinh với loài tảo thuộc họ *Symbiodiniaceae*, khi gặp điều kiện môi trường không thuận lợi sẽ dẫn đến hiện tượng tẩy trắng. Quá trình này bao gồm việc trục xuất các zooxanthellae của chúng, dẫn đến sự đổi màu của mô san hô, có khả năng dẫn đến các phản ứng nghiêm trọng hơn, chẳng hạn như mất mô và tử vong [169]. Những thay đổi về nhiệt độ, độ mặn, ánh sáng, hóa chất và bệnh tật có thể ảnh hưởng đến hiệu quả quang hợp của zooxanthellae hoặc dẫn đến việc chúng bị trục xuất khỏi san hô [170]. Cho đến nay, chưa có nghiên cứu nào tìm hiểu về tác động của iodine đối với zooxanthellae trong san hô, mặc dù một số nghiên cứu đã chỉ ra tác động của nó đối với tốc độ tăng trưởng của các loài thực vật phù du [171, 172]. Trong một số trường hợp, tác động này có thể là tiêu cực, tích cực hoặc trung tính đối với tốc độ tăng trưởng của vi tảo. Những thay đổi trong

các chỉ số sinh lý của san hô có thể đóng vai trò là chỉ số hiệu quả trong các nghiên cứu về hiện tượng san hô bị tẩy trắng [173]. Những thay đổi về mật độ zooxanthellae và hàm lượng diệp lục trong san hô mềm được coi là những chỉ số quan trọng về phản ứng của zooxanthellae với căng thẳng môi trường [174]. Trong thí nghiệm này, tác động vật lý của việc tách san hô non khỏi quần thể mẹ và tác động hóa học của đặc tính sát trùng của dung dịch Lugol có thể là hai yếu tố gây căng thẳng khiến zooxanthellae giải phóng khỏi san hô. Mật độ zooxanthellae trong các mảnh san hô mềm *S. serenei* giảm đáng kể sau khi xử lý bằng Lugol, giảm xuống còn khoảng 25 – 35% mật độ ban đầu vào ngày thứ 3 và tiếp tục giảm thêm 10% trong tất cả các lần xử lý vào ngày thứ 9. Việc sử dụng dung dịch Lugol làm chất khử trùng đã cho thấy sự khác biệt đáng kể về mật độ tảo giữa các lần xử lý đối chứng và các lần xử lý bằng 0,5 và 1,0 mL L⁻¹ Lugol (T:0,5–15; T:0,5–20; T:1,0–5; và T:1,0–1) và các lần xử lý còn lại. Tác dụng ức chế của các gốc iodine đối với vi khuẩn có khả năng làm giảm nhiễm trùng ở vết thương của san hô. Tuy nhiên, xử lý khử trùng quá mức hoặc không đúng cách có thể ảnh hưởng tiêu cực đến san hô bằng cách tạo ra môi trường tương tự như môi trường của vết thương mãn tính [175]. Điều này giải thích tại sao nồng độ Lugol rất cao hoặc rất thấp lại dẫn đến sự suy giảm mật độ tảo nhiều hơn so với phương pháp xử lý 0,5 và 1,0 mL L⁻¹ (T:0,5–15; T:0,5–20; T:1,0–5; và T:1,0–1).

Các nghiên cứu trước đây đã điều tra tác động của cường độ ánh sáng và quang kỳ [128], ciliate [176] và doxycycline hydrochloride (DOX) [177] đối với mật độ zooxanthellae và hàm lượng Chlorophyll-*a*. Tuy nhiên, thông tin về tác động của thuốc khử trùng còn hạn chế. Ví dụ, mật độ zooxanthellae trong san hô phát triển dưới các cường độ ánh sáng khác nhau dao động từ $2,04 \pm 0,09 \times 10^8$ – $2,54 \pm 0,14 \times 10^8$ tế bào g⁻¹ DW [128]. Có báo cáo rằng mật độ zooxanthellae $5,02 - 5,07$ (tế bào $\times 10^7$ m⁻²) và hàm lượng Chlorophyll-*a* ($44,21 - 48,45$ $\mu\text{g cm}^{-2}$) không bị ảnh hưởng bởi việc tiếp xúc ngắn hạn (10 phút) với tinh dầu đinh hương [176]. Tuy nhiên, việc tiếp xúc lâu hơn (24 giờ) đã tác động tiêu cực đến san hô, với mật độ tảo ($4,53 \pm 0,04$ tế bào $\times 10^7$ m⁻²) và hàm lượng Chlorophyll-*a* ($43,02 \pm 0,90$ $\mu\text{g cm}^{-2}$) giảm khi nồng độ tinh dầu đinh hương tăng. Tương tự như vậy, nghiên cứu về *S. trocheliophorum* cho thấy DOX làm giảm đáng kể mật độ tảo từ 53,03 – 79,55% so với đối chứng, mặc dù nó không ghi nhận sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức trong điều kiện thí nghiệm này đến hàm lượng Chlorophyll-*a* [177]. Dung dịch Lugol có thể gây bất lợi cho san hô, dẫn đến tốc độ tăng trưởng của san hô giảm. Tuy nhiên, xử lý Lugol có giá trị vì hiệu quả của nó trong việc ngăn ngừa mất mô [109].

Trong thí nghiệm này, hàm lượng chất hữu cơ của loài san hô mềm *S. serenei* dao động từ 36,12% đến 44,35%. Kết quả nghiên cứu này hoàn toàn tương tự với kết

quả của Sella và Benayahu (2010) [12] về *S. glaucum*, trong đó hàm lượng chất hữu cơ thay đổi tùy thuộc vào kích thước san hô (10 – 27%), nhiệt độ nuôi cấy (44 – 50%) và cường độ ánh sáng (46 – 55%). Tuy nhiên, những kết quả này tương đối cao so với kết quả của các nghiên cứu khác về *Sarcophyton* spp. Theo nghiên cứu về *S. glaucum*, san hô phát triển dưới các quang phổ ánh sáng khác nhau (ánh sáng xanh và ánh sáng trắng) và cường độ ánh sáng (50 và 120 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) có lượng chất hữu cơ khác nhau, dao động từ 19,79% đến 28,93% [11]. Ngoài ra, các hệ thống nuôi trồng khác nhau dẫn đến hàm lượng chất hữu cơ khác nhau, dao động từ 26% đến 33% [14]. Điều này có thể là do sự khác biệt về khả năng tổng hợp chất dinh dưỡng giữa các loài san hô khác nhau khi nuôi trong các điều kiện và thời gian khác nhau (quang kỳ), dẫn đến mức độ tích tụ chất hữu cơ khác nhau.

Kết quả nghiên cứu cho thấy, sử dụng dung dịch Lugol nhằm khử trùng và kích thích khả năng tự bám cho thấy nồng độ 0,5 mL L⁻¹ trong 15 phút hoặc 1,0 mL L⁻¹ trong 10 phút là tối ưu, giúp rút ngắn thời gian bám chân và tăng tỷ lệ sống lên đến 70%, đồng thời hạn chế nhiễm trùng mô sau tách mảnh. Đây là cơ sở quan trọng giúp nâng cao hiệu quả giai đoạn đầu của quá trình nhân giống vô tính, các nghiên cứu tiếp theo sử dụng dung dịch Lugol có nồng độ 1,0 mL L⁻¹ xử lý các mảnh tách trong 10 phút.

3.2.2. Ảnh hưởng của giá thể và kích thước mảnh tách

3.2.2.1. Tỷ lệ sống

Kết quả nghiên cứu về tỷ lệ sống của loài san hô mềm *S. serenei* ở các nghiệm thức được thể hiện ở Bảng 3.11. Kết quả cho thấy kích thước mảnh tách và loại giá thể đều ảnh hưởng đáng kể đến tỉ lệ sống của san hô (Phân tích phương sai 2 yếu tố, $p \leq 0,001$).

Ngày 3: Tỷ lệ sống của san hô có sự sai khác giữa các nghiệm thức có kích thước mảnh tách khác nhau cũng như các loại giá thể khác nhau ($p \leq 0,050$). Tỷ lệ sống cao nhất được quan sát thấy ở nghiệm thức T:2,5–N ($93,33 \pm 2,89\%$), trong khi tỷ lệ thấp nhất là ở các nghiệm thức T:0,5–X ($66,67 \pm 2,89\%$) ($p \leq 0,050$). Tuy nhiên, không có sự sai khác giữa các nghiệm thức có mảnh cắt 2,5 cm gắn trên các giá thể khác nhau và 2 nghiệm thức có mảnh cắt 2 cm trên giá thể nhựa và đá san hô (san hô chết) ($p \geq 0,050$).

Ngày 6: Có sự khác biệt về tỉ lệ sống sau 6 ngày thí nghiệm giữa các nghiệm thức có kích thước mảnh tách khác nhau cũng như các loại giá thể khác nhau ($p \leq 0,021$). Tỷ lệ sống cao nhất được quan sát thấy ở 3 nghiệm thức T:2–S, T:2,5–N và T:2,5–S ($78,33 \pm 2,89\%$) ($p \leq 0,021$), trong khi tỷ lệ thấp nhất là ở các nghiệm thức

T:0,5–X ($50,00 \pm 5,00\%$) ($p \leq 0,001$). Nghiệm thức có kích thước mảnh tách 0,5 cm có tỷ lệ sống thấp so với các nghiệm thức còn lại ($p \leq 0,021$). Tuy nhiên, không có sự sai khác giữa các nghiệm thức có mảnh cắt 1,5; 2 và 2,5 cm gắn trên các giá thể khác nhau ($p \geq 0,061$).

Bảng 3.11. Tỷ lệ sống của *S. serenei* (n = 3)

Nghiệm thức	Kích thước mảnh tách (cm)	Loại giá thể	Ngày 3 (%)	Ngày 6 (%)	Ngày 9 (%)
T:0,5–N	0,5	N	76,66 ± 2,89 ^{bc}	60,00 ± 5,00 ^{bc}	43,33 ± 5,77 ^{bc}
T:0,5–G		G	68,33 ± 2,89 ^{ab}	51,67 ± 5,77 ^{ab}	33,33 ± 2,89 ^{ab}
T:0,5–X		X	66,67 ± 2,89 ^a	50,00 ± 5,00 ^{ab}	38,33 ± 5,77 ^{ab}
T:0,5–S		S	73,33 ± 2,89 ^{ab}	55,00 ± 5,00 ^b	43,33 ± 2,89 ^{ab}
T:1,0–N	1	N	81,67 ± 2,89 ^c	73,33 ± 2,89 ^d	65,00 ± 5,00 ^{ef}
T:1,0–G		G	75,00 ± 5,00 ^{bc}	60,00 ± 5,00 ^{bc}	60,00 ± 5,00 ^{de}
T:1,0–X		X	76,67 ± 2,89 ^{cb}	58,33 ± 5,77 ^{bc}	53,33 ± 7,64 ^{cd}
T:1,0–S		S	81,67 ± 2,89 ^c	70,00 ± 5,00 ^{cd}	63,33 ± 7,64 ^{de}
T:1,5–N	1,5	N	83,33 ± 2,89 ^c	76,67 ± 2,89 ^d	76,67 ± 2,89 ^{ef}
T:1,5–G		G	76,67 ± 2,89 ^c	65,00 ± 5,00 ^{cd}	63,33 ± 2,89 ^{de}
T:1,5–X		X	78,33 ± 2,89 ^c	65,00 ± 5,00 ^{cd}	63,33 ± 5,77 ^{de}
T:1,5–S		S	81,67 ± 2,89 ^c	73,33 ± 5,77 ^{cd}	72,67 ± 2,89 ^{ef}
T:2–N	2	N	88,33 ± 2,89 ^d	76,67 ± 2,89 ^d	76,67 ± 2,89 ^{ef}
T:2–G		G	81,67 ± 2,89 ^c	66,67 ± 2,89 ^{cd}	63,33 ± 5,77 ^{de}
T:2–X		X	83,33 ± 2,89 ^c	68,33 ± 2,89 ^{cd}	65,00 ± 5,00 ^{ef}
T:2–S		S	91,67 ± 2,89 ^d	78,33 ± 2,89 ^d	76,67 ± 2,89 ^{ef}
T:2,5–N	2,5	N	93,33 ± 2,89 ^d	78,33 ± 2,89 ^d	76,67 ± 2,89 ^{ef}
T:2,5–G		G	83,33 ± 2,89 ^d	73,33 ± 2,89 ^{cd}	68,33 ± 2,89 ^{de}
T:2,5–X		X	86,67 ± 2,89 ^{cd}	73,33 ± 2,89 ^{cd}	71,67 ± 2,89 ^{ef}
T:2,5–S		S	91,67 ± 2,89 ^d	78,33 ± 2,89 ^d	78,33 ± 2,89 ^{ef}
Phân tích phương sai 2 yếu tố (P–value)					
Kích thước mảnh tách			0,001	0,001	0,001
Loại giá thể			NS	NS	NS
Kích thước mảnh tách × Loại giá thể					
giá thể			NS	NS	NS

N: ống nhựa PCV, G: gạch men, X: xi măng và S là đá san hô chết. Các giá trị trình bày trong bảng là giá trị TB $\pm$ SD. Các chữ cái đi sau giá trị trên cùng cột mà khác nhau hoàn toàn thì các giá trị đó khác nhau có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).

Ngày 9: kết quả nghiên cứu cho thấy sự khác biệt về tỷ lệ sống sau 9 ngày thí nghiệm giữa các nghiệm thức có kích thước mảnh tách khác nhau ($p \leq 0,031$). Tỷ lệ sống đạt giá trị cao nhất ở nghiệm thức T:2,5–S ($78,33 \pm 2,89\%$), thấp nhất ở nghiệm thức T:0,5–G ($33,33 \pm 2,89\%$) ($p \leq 0,031$). Tuy nhiên, không có sự sai khác giữa các nghiệm thức có mảnh cắt 1,5, 2 và 2,5 cm về tỷ lệ sống ($p \geq 0,081$).

Kết quả phân tích phương sai 2 yếu tố cho thấy có sự sai khác về tỷ lệ sống giữa các nghiệm thức có kích thước mảnh tách khác nhau cũng như loại giá thể khác nhau ($p \leq 0,001$), tuy nhiên không có sự sai khác có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức đối với sự tương tác của cả 2 yếu tố mảnh tách và loại giá thể ($p \geq 0,550$).

Trong suốt khoảng thời gian từ ngày thứ chín cho đến khi kết thúc thí nghiệm, không ghi nhận bất kỳ trường hợp san hô chết nào ở tất cả các phương pháp xử lý. Tỷ lệ sống giữa các nghiệm thức có kích thước mảnh tách từ 1,5 cm trở lên không có sự sai khác có ý nghĩa thống kê khi được gắn trên các loại giá thể khác nhau ($p > 0,550$).

3.2.2.2. Thời gian bám chân

Bảng 3.12. Thời gian bám chân của *S. serenei* (n = 3)

Nghiem thức	Kích thước mảnh tách (cm)	Loại giá thể	Thời gian bám chân (ngày)
T:0,5–N	0,5	N	$15,00 \pm 1,00^d$
T:0,5–G		G	$14,33 \pm 0,58^d$
T:0,5–X		X	$14,33 \pm 1,15^d$
T:0,5–S		S	$13,67 \pm 1,15^d$
T:1,0–N	1	N	$13,00 \pm 1,00^c$
T:1,0–G		G	$12,33 \pm 0,58^c$
T:1,0–X		X	$12,33 \pm 0,58^c$
T:1,0–S		S	$12,00 \pm 1,00^c$
T:1,5–N	1,5	N	$8,33 \pm 0,58^{ab}$
T:1,5–G		G	$9,00 \pm 1,00^b$
T:1,5–X		X	$9,00 \pm 1,00^b$
T:1,5–S		S	$8,33 \pm 0,58^{ab}$
T:2–N	2	N	$7,67 \pm 0,58^{ab}$
T:2–G		G	$8,00 \pm 1,00^{ab}$
T:2–X		X	$8,33 \pm 0,58^{ab}$
T:2–S		S	$7,33 \pm 0,58^a$

Thí nghiệm	Kích thước mảnh		Loại giá thể	Thời gian bám chân (ngày)
	tách	(cm)		
T:2,5-N	2,5		N	7,33 ± 0,58 ^a
T:2,5-G			G	8,00 ± 1,00 ^{ab}
T:2,5-X			X	8,33 ± 0,58 ^{ab}
T:2,5-S			S	7,33 ± 0,58 ^a
Phân tích phương sai 2 yếu tố (P-value)				
Kích thước mảnh tách				0,001
Loại giá thể				NS
Kích thước mảnh tách × Loại giá thể				NS

N: ống nhựa PCV, G: gạch men, X: xi măng và S là đá san hô chết. Các giá trị trình bày trong bảng là giá trị $TB \pm SD$. Các chữ cái đi sau giá trị trên cùng cột mà khác nhau hoàn toàn thì các giá trị đó khác nhau có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).

Thời gian bám chân của loài san hô mềm *S. serenei* qua các phương pháp xử lý khác nhau được thể hiện ở Bảng 3.12. Kết quả phân tích bằng cho thấy thời gian bám chân bị ảnh hưởng đáng kể bởi cả kích thước mảnh tách ($p \leq 0,036$). Thời gian bám chân giảm đáng kể ở các thí nghiệm có kích thước mảnh tách là 0,5 cm T:0,5-N; T:0,5-G; T:0,5-X và T:0,5-S (dao động từ $13,67 \pm 1,15$ đến $15,00 \pm 1,00$ ngày), đến nhóm kích thước mảnh tách 1cm T:1,0-N; T:1,0-G; T:1,0-X và T:1,0-S (dao động từ $12,00 \pm 1,00$ đến $13,00 \pm 1,00$ ngày) so với các thí nghiệm còn lại (dao động từ $7,33 \pm 0,58$ đến $9,00 \pm 1,00$ ngày) ($p \leq 0,036$).

Kết quả phân tích Phương sai 2 yếu tố cho thấy, thời gian bám chân bị ảnh hưởng đáng kể bởi kích thước mảnh tách khác nhau ($p \leq 0,001$), nhưng không có sự sai khác giữa các loại giá thể khác nhau ($\geq 0,62$). Thời gian bám chân nhanh nhất được quan sát thấy 3 thí nghiệm T:2-S; T:2,5-N và T:2,5-S ($7,33 \pm 0,58$ ngày), trong khi thời gian bám chân chậm nhất được quan sát thấy ở các phương pháp xử lý T:0,5-N ($15,00 \pm 1,00$ ngày), đây là sự khác biệt đáng kể giữa chúng ($p \leq 0,001$). Tuy nhiên, không có sự khác biệt đáng kể nào được quan sát thấy giữa các thí nghiệm có mảnh cắt 1,5; 2 và 2,5 cm khi gắn trên các loại giá thể khác nhau ($p \geq 0,460$).

3.2.2.3. Sinh trưởng

Kết quả nghiên cứu về tăng trưởng của san hô được thể hiện ở Bảng 3.13 cho thấy, loại giá thể và sự kết hợp giữa chúng với kích thước mảnh tách không ghi nhận sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các thí nghiệm trong điều kiện thí nghiệm này đến tốc độ tăng trưởng về khối lượng và chiều dài san hô (Phân tích phương sai 2 yếu

tổ, $p \geq 0,180$). Tuy nhiên, kích thước mảnh tách có sự sai khác đáng kể về tốc độ tăng trưởng giữa các nghiệm thức thí nghiệm (Phân tích phương sai 2 yếu tố, $p \leq 0,001$).

Bảng 3.13. Tốc độ tăng trưởng đặc trưng về chiều dài (SGR_L) và khối lượng (SGR_W) của *S. serenei* (n = 3)

Nghiem thức	Kích thước mảnh tách (cm)	Loại giá thể	SGR _W (% ngày ⁻¹)	SGR _L (% ngày ⁻¹)
T:0,5–N	0,5	N	0,31 ± 0,01 ^{ab}	0,92 ± 0,10 ^{bc}
T:0,5–G		G	0,33 ± 0,02 ^{bc}	1,01 ± 0,05 ^{bc}
T:0,5–X		X	0,30 ± 0,02 ^{ab}	0,89 ± 0,06 ^{ab}
T:0,5–S		S	0,30 ± 0,02 ^{ab}	0,91 ± 0,13 ^{bc}
T:1,0–N	1	N	0,31 ± 0,01 ^{ab}	1,01 ± 0,06 ^{bc}
T:1,0–G		G	0,31 ± 0,01 ^{ab}	0,96 ± 0,04 ^{bc}
T:1,0–X		X	0,35 ± 0,01 ^{bc}	1,03 ± 0,09 ^{bc}
T:1,0–S		S	0,32 ± 0,01 ^{ab}	0,97 ± 0,07 ^{bc}
T:1,5–N	1,5	N	0,36 ± 0,01 ^{cd}	1,07 ± 0,05 ^{bc}
T:1,5–G		G	0,36 ± 0,02 ^{cd}	1,09 ± 0,01 ^{cd}
T:1,5–X		X	0,36 ± 0,01 ^{cd}	1,09 ± 0,03 ^{bc}
T:1,5–S		S	0,37 ± 0,02 ^{cd}	1,10 ± 0,01 ^{cd}
T:2–N	2	N	0,42 ± 0,04 ^{de}	1,18 ± 0,06 ^{cd}
T:2–G		G	0,42 ± 0,02 ^{de}	1,18 ± 0,07 ^{cd}
T:2–X		X	0,41 ± 0,03 ^{de}	1,20 ± 0,02 ^{cd}
T:2–S		S	0,40 ± 0,02 ^{cd}	1,19 ± 0,08 ^{cd}
T:2,5–N	2,5	N	0,40 ± 0,02 ^{cd}	1,19 ± 0,06 ^{cd}
T:2,5–G		G	0,42 ± 0,02 ^{de}	1,20 ± 0,07 ^{cd}
T:2,5–X		X	0,41 ± 0,02 ^{de}	1,19 ± 0,05 ^{cd}
T:2,5–S		S	0,42 ± 0,03 ^{de}	1,19 ± 0,06 ^{cd}
Phân tích phương sai 2 yếu tố (P-value)				
Kích thước mảnh tách			0,001	0,001
Loại giá thể			NS	NS
Kích thước mảnh tách × Loại giá thể			NS	NS

N: ống nhựa PCV, G: gạch men, X: xi măng và S là đá san hô chết. Các giá trị trình bày trong bảng là giá trị TB ± SD. Các chữ cái đi sau giá trị trên cùng cột mà khác nhau hoàn toàn thì các giá trị đó khác nhau có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).

Kết quả cho thấy, tốc độ tăng trưởng đặc trưng về khối lượng và chiều dài của san hô đạt giá trị thấp nhất ở các nghiệm thức có kích thước mảnh tách là 0,5 cm tiếp

đến là 1 cm và đạt giá trị cao ở nhóm nghiệm thức có kích thước mảnh tách là 2 và 2,5 cm ($p \leq 0,020$). Tuy nhiên, kết quả cũng cho thấy, không có sự sai khác có ý nghĩa thống kê giữa nhóm nghiệm thức có kích thước mảnh tách là 1,5; 2 và 2,5 cm khi được gắn trên các loại giá thể khác nhau ($p \geq 0,080$).

Giá trị SGR_w đạt giá trị cao nhất được quan sát thấy ở nghiệm thức T:2–N; T:2–G; T:2,5–G và T:2,5–S ($0,41\%$ ngày⁻¹) và thấp nhất ở nghiệm thức T:0,5–X và T:0,5–S ($0,30\%$ ngày⁻¹) ($p < 0,040$).

Kết quả nghiên cứu cho thấy giá trị SGR_L cao nhất ở 3 nghiệm thức T:2–S; T:2,5–G và T:2,5–S ($1,20\%$ ngày⁻¹) và thấp nhất ở nghiệm thức T:0,5–X ($0,89\%$ ngày⁻¹), với sự khác biệt có ý nghĩa giữa chúng ($p < 0,047$).

3.2.2.4. Mật độ tảo zooxanthellae

Kết quả nghiên cứu về mật độ zooxanthellae (zooxanthellae) của san hô được thể hiện ở Bảng 3.14 cho thấy, Kích thước mảnh tách, loại giá thể và sự kết hợp giữa chúng không ghi nhận sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức trong điều kiện thí nghiệm này đến mật độ zooxanthellae san hô (Phân tích phương sai 2 yếu tố, $p \geq 0,070$).

Kết quả phân tích, cũng cho thấy không có sự sai khác về mật độ tảo cộng giữa các nghiệm thức thí nghiệm ở thời điểm bắt đầu và thời điểm kết thúc thí nghiệm ($p \geq 0,690$) (Bảng 3.15).

Thông tin ở Bảng 5 cho thấy: Vào ngày 0 (bắt đầu thí nghiệm), mật độ zooxanthellae dao động từ 4,87 đến $5,09 \times 10^6$ tế bào g⁻¹, mật độ này giảm mạnh vào ngày 3 và dần phục hồi sau ngày 6, đến ngày 9 mật độ đã phục hồi, tăng mạnh vào ngày 60 (kết thúc thí nghiệm) mật độ zooxanthellae dao động từ 4,81 đến $5,05 \times 10^6$ tế bào g⁻¹. Không có sự sai khác nhau về mật độ tảo ở thời điểm bắt đầu và kết thúc thí nghiệm ($p \geq 0,620$).

Bảng 3.14. Sự thay đổi mật độ zooxanthellae của *S. serenei* thí nghiệm (n = 3).

Nghiệm thức	Zooxanthellae ($\times 10^6$ tế bào g ⁻¹)				
	Ngày 0	Ngày 3	Ngày 6	Ngày 9	Ngày 60
T:0,5–N	5,09 $\pm$ 0,06	1,55 $\pm$ 0,10	1,88 $\pm$ 0,18	2,38 $\pm$ 0,07	4,85 $\pm$ 0,14
T:0,5–G	4,91 $\pm$ 0,17	2,08 $\pm$ 0,02	1,71 $\pm$ 0,21	2,25 $\pm$ 0,34	4,83 $\pm$ 0,09
T:0,5–X	4,98 $\pm$ 0,12	1,92 $\pm$ 0,26	1,71 $\pm$ 0,30	2,15 $\pm$ 0,30	4,99 $\pm$ 0,10
T:0,5–S	4,89 $\pm$ 0,11	1,75 $\pm$ 0,08	1,69 $\pm$ 0,10	2,17 $\pm$ 0,28	4,79 $\pm$ 0,06
T:1,0–N	4,93 $\pm$ 0,13	1,71 $\pm$ 0,31	1,93 $\pm$ 0,20	2,19 $\pm$ 0,36	4,94 $\pm$ 0,15

Thí nghiệm thức	Zooxanthellae ($\times 10^6$ tế bào g^{-1})				
	Ngày 0	Ngày 3	Ngày 6	Ngày 9	Ngày 60
T:1,0–G	4,96 $\pm$ 0,11	1,76 $\pm$ 0,07	1,73 $\pm$ 0,07	2,39 $\pm$ 0,13	4,85 $\pm$ 0,09
T:1,0–X	5,03 $\pm$ 0,16	1,78 $\pm$ 0,21	1,72 $\pm$ 0,18	2,10 $\pm$ 0,40	5,01 $\pm$ 0,13
T:1,0–S	4,89 $\pm$ 0,04	1,70 $\pm$ 0,27	1,83 $\pm$ 0,30	2,09 $\pm$ 0,31	4,92 $\pm$ 0,18
T:1,5–N	5,00 $\pm$ 0,16	1,92 $\pm$ 0,11	1,79 $\pm$ 0,35	2,23 $\pm$ 0,34	4,91 $\pm$ 0,09
T:1,5–G	5,08 $\pm$ 0,05	1,89 $\pm$ 0,29	1,60 $\pm$ 0,23	2,06 $\pm$ 0,13	4,87 $\pm$ 0,13
T:1,5–X	4,93 $\pm$ 0,15	1,60 $\pm$ 0,10	1,81 $\pm$ 0,32	2,11 $\pm$ 0,27	5,04 $\pm$ 0,03
T:1,5–S	5,05 $\pm$ 0,04	1,90 $\pm$ 0,10	1,70 $\pm$ 0,04	2,17 $\pm$ 0,26	4,92 $\pm$ 0,11
T:2–N	5,04 $\pm$ 0,09	1,70 $\pm$ 0,18	1,81 $\pm$ 0,31	2,25 $\pm$ 0,38	4,99 $\pm$ 0,11
T:2–G	4,91 $\pm$ 0,08	1,77 $\pm$ 0,33	1,79 $\pm$ 0,32	2,42 $\pm$ 0,24	5,05 $\pm$ 0,10
T:2–X	4,96 $\pm$ 0,13	1,85 $\pm$ 0,21	1,90 $\pm$ 0,18	2,14 $\pm$ 0,22	4,97 $\pm$ 0,16
T:2–S	4,99 $\pm$ 0,21	1,64 $\pm$ 0,15	1,87 $\pm$ 0,23	2,24 $\pm$ 0,34	5,00 $\pm$ 0,13
T:2,5–N	4,92 $\pm$ 0,17	1,84 $\pm$ 0,21	1,87 $\pm$ 0,34	2,22 $\pm$ 0,18	4,87 $\pm$ 0,01
T:2,5–G	4,87 $\pm$ 0,05	1,76 $\pm$ 0,31	1,82 $\pm$ 0,28	2,24 $\pm$ 0,13	4,81 $\pm$ 0,04
T:2,5–X	5,00 $\pm$ 0,11	1,69 $\pm$ 0,15	1,77 $\pm$ 0,38	2,14 $\pm$ 0,29	4,93 $\pm$ 0,10
T:2,5–S	4,89 $\pm$ 0,02	1,85 $\pm$ 0,15	1,87 $\pm$ 0,28	2,15 $\pm$ 0,28	4,88 $\pm$ 0,15
Phân tích phương sai 2 yếu tố (P-value)					
Kích thước mảnh	NS	NS	NS	NS	NS
Loại giá thể	NS	NS	NS	NS	NS
Kích thước mảnh $\times$ Loại giá thể	NS	NS	NS	NS	NS

N: ống nhựa PCV, G: gạch men, X: xi măng và S là đá san hô chết. Các giá trị trình bày trong bảng là giá trị TB $\pm$ SD.

3.2.2.5. Hàm lượng Chlorophyll-a

Kết quả nghiên cứu về hàm lượng Chlorophyll-a của san hô được thể hiện ở Bảng 3.15 cho thấy, Kích thước mảnh tách, loại giá thể và sự kết hợp giữa chúng không ghi nhận sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các thí nghiệm thức trong điều kiện thí nghiệm này đến hàm lượng Chlorophyll-a san hô (Phân tích phương sai 2 yếu tố, $p \geq 0,230$).

Kết quả phân tích, cũng cho thấy không có sự sai khác về hàm lượng Chlorophyll-a giữa các thí nghiệm thức thí nghiệm ở thời điểm bắt đầu và thời điểm kết

thức thí nghiệm ($p \geq 0,053$) (Bảng 3.15). Thông tin ở Bảng 3.15 cho thấy: Vào ngày 0 (bắt đầu thí nghiệm), hàm lượng Chlorophyll-*a* dao động từ 4,61 đến $4,81 \times 10^2 (\mu\text{g g}^{-1})$, hàm lượng này giảm mạnh vào ngày 3 có dấu hiệu phục hồi vào ngày 6, đến ngày 9 hàm lượng bắt đầu tăng mạnh, đến ngày 60 (kết thúc thí nghiệm) hàm lượng Chlorophyll-*a* dao động từ 4,63 đến $4,81 \times 10^2 (\mu\text{g g}^{-1})$. Không có sự sai khác nhau về hàm lượng Chlorophyll-*a* ở thời điểm bắt đầu và kết thúc thí nghiệm ($p \geq 0,450$).

Bảng 3.15. Sự biến động hàm lượng Chlorophyll-*a* trong *S. serenei* (n = 3)

Thí nghiệm	Chlorophyll- <i>a</i> ($(\mu\text{g g}^{-1}) \times 10^2$)				
	Ngày 0	Ngày 3	Ngày 6	Ngày 9	Ngày 60
T:0,5-N	4,59 ± 0,06	1,95 ± 0,12	2,12 ± 0,12	3,03 ± 0,20	4,69 ± 0,12
T:0,5-G	4,64 ± 0,12	1,85 ± 0,09	2,16 ± 0,09	3,05 ± 0,24	4,66 ± 0,10
T:0,5-X	4,61 ± 0,06	1,99 ± 0,15	1,97 ± 0,08	2,98 ± 0,25	4,74 ± 0,13
T:0,5-S	4,77 ± 0,05	1,86 ± 0,06	2,09 ± 0,05	3,20 ± 0,17	4,61 ± 0,09
T:1,0-N	4,75 ± 0,09	1,98 ± 0,10	2,07 ± 0,14	2,98 ± 0,13	4,70 ± 0,04
T:1,0-G	4,76 ± 0,17	1,95 ± 0,11	2,16 ± 0,03	3,19 ± 0,10	4,71 ± 0,15
T:1,0-X	4,81 ± 0,05	1,84 ± 0,06	2,16 ± 0,05	3,09 ± 0,13	4,70 ± 0,08
T:1,0-S	4,67 ± 0,13	1,90 ± 0,10	1,97 ± 0,06	3,02 ± 0,17	4,71 ± 0,14
T:1,5-N	4,62 ± 0,09	1,88 ± 0,11	2,06 ± 0,16	3,09 ± 0,15	4,65 ± 0,12
T:1,5-G	4,65 ± 0,02	1,89 ± 0,13	2,04 ± 0,12	2,99 ± 0,15	4,70 ± 0,11
T:1,5-X	4,75 ± 0,10	1,91 ± 0,17	2,05 ± 0,08	3,10 ± 0,23	4,70 ± 0,07
T:1,5-S	4,67 ± 0,06	1,96 ± 0,12	2,07 ± 0,08	3,01 ± 0,19	4,72 ± 0,05
T:2-N	4,61 ± 0,04	1,99 ± 0,07	2,11 ± 0,09	2,99 ± 0,14	4,70 ± 0,10
T:2-G	4,72 ± 0,04	1,93 ± 0,13	2,03 ± 0,05	2,93 ± 0,17	4,78 ± 0,05
T:2-X	4,67 ± 0,09	1,92 ± 0,09	2,03 ± 0,12	2,99 ± 0,23	4,81 ± 0,03
T:2-S	4,73 ± 0,06	1,97 ± 0,08	2,02 ± 0,07	2,95 ± 0,15	4,74 ± 0,13
T:2,5-N	4,69 ± 0,13	1,99 ± 0,18	2,12 ± 0,16	3,14 ± 0,05	4,79 ± 0,04
T:2,5-G	4,67 ± 0,08	1,86 ± 0,06	2,09 ± 0,07	2,91 ± 0,20	4,74 ± 0,16
T:2,5-X	4,67 ± 0,15	1,84 ± 0,05	2,10 ± 0,11	3,04 ± 0,05	4,63 ± 0,06
T:2,5-S	4,70 ± 0,11	1,96 ± 0,13	2,17 ± 0,05	3,03 ± 0,23	4,75 ± 0,09

Phân tích phương sai 2 yếu tố (P-value)

Kích thước mảnh	NS	NS	NS	NS	NS
--------------------	----	----	----	----	----

Thí nghiệm	Chlorophyll- <i>a</i> ($(\mu\text{g g}^{-1}) \times 10^2$)				
	Ngày 0	Ngày 3	Ngày 6	Ngày 9	Ngày 60
Loại giá thể	NS	NS	NS	NS	NS
Kích thước mảnh $\times$ Loại giá thể	NS	NS	NS	NS	NS

N: ống nhựa PCV, G: gạch men, X: xi măng và S là đá san hô chết. Các giá trị trình bày trong bảng là giá trị TB $\pm$ SD.

3.2.2.6. Hàm lượng khối lượng hữu cơ

Tỷ lệ khối lượng hữu cơ của loài san hô mềm *S. serenei* trong các phương pháp xử lý thí nghiệm được thể hiện trong Bảng 3.16. Phân tích phương sai 2 yếu tố cho thấy khối lượng hữu cơ (OW) bị ảnh hưởng đáng kể bởi cả kích thước mảnh tách và loại giá thể ($p \leq 0,048$) và sự kết hợp giữa chúng ($p \leq 0,001$). Khối lượng hữu cơ cao nhất được ghi nhận ở thí nghiệm T:2,5–S ($43,25 \pm 0,60\%$ OW). Ngược lại, khối lượng hữu cơ thấp nhất được ghi nhận ở các thí nghiệm T:0,5–N; T:0,5–G; T:0,5–X và T:0,5–S (dao động từ 33% đến 34% OW), với sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các phương pháp xử lý này ($p \leq 0,001$) (Bảng 3.16).

Phân tích cho thấy, tỷ lệ khối lượng hữu cơ bị ảnh hưởng đáng kể bởi cả kích thước mảnh tách và loại giá thể ($p \leq 0,049$). Tỷ lệ khối lượng hữu cơ cao nhất được quan sát thấy ở thí nghiệm T:2,5–S, trong khi tỷ lệ thấp nhất được ghi nhận ở thí nghiệm T:0,5–N. Tỷ lệ khối lượng hữu cơ tăng đáng kể các thí nghiệm có kích thước mảnh tách 2 và 2,5 cm (T:2–N; T:2–G; T:2–X; T:2–S; T:2,5–N; T:2,5–G; T:2,5–X và T:2,5–S) so với nhóm nhóm thí nghiệm có kích thước mảnh tách là 0,5 và 1 cm (T:0,5–N; T:0,5–G; T:0,5–X; T:0,5–S; T:1,0–N; T:1,0–G; T:1,0–X và T:1,0–S) ($p \leq 0,001$). Tuy nhiên, không tìm thấy sự khác biệt có ý nghĩa thống kê về tỷ lệ khối lượng hữu cơ giữa các thí nghiệm T:2–N; T:2–G; T:2–X; T:2–S; T:2,5–N; T:2,5–G; T:2,5–X và T:2,5–S ($p \geq 0,250$). Tương tự như vậy, không có sự khác biệt đáng kể nào được quan sát thấy giữa T:0,5–N; T:0,5–G; T:0,5–X; T:0,5–S; T:1,0–N; T:1,0–G; T:1,0–X và T:1,0–S ($p \geq 0,74$) (Bảng 3.16). Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy tỷ lệ khối lượng hữu cơ không có sự sai khác ý nghĩa thống kê giữa các thí nghiệm khác nhau trong cùng nhóm kích thước khi được gắn trên các loại giá thể khác nhau ($p \geq 0,085$).

Bảng 3.16. Tỷ lệ khối lượng hữu cơ của loài san hô mềm *S. serenei* trong thí nghiệm (n = 3)

Nghiem thức	Kích thước mảnh (cm)	Loại giá thể	Khối lượng hữu cơ (% OW)
T:0,5–N	0,5	N	33,03 ± 0,68 ^{ab}
T:0,5–G		G	33,30 ± 0,51 ^b
T:0,5–X		X	33,75 ± 0,76 ^{bc}
T:0,5–S		S	34,18 ± 0,83 ^{bc}
T:1,0–N	1	N	35,89 ± 0,89 ^{cd}
T:1,0–G		G	34,56 ± 0,90 ^{bd}
T:1,0–X		X	35,73 ± 0,71 ^{bd}
T:1,0–S		S	36,05 ± 0,17 ^{cd}
T:1,5–N	1,5	N	39,32 ± 0,39 ^e
T:1,5–G		G	39,06 ± 0,27 ^e
T:1,5–X		X	39,23 ± 0,45 ^e
T:1,5–S		S	39,92 ± 0,56 ^e
T:2–N	2	N	43,91 ± 0,91 ^{fg}
T:2–G		G	42,14 ± 1,21 ^{ef}
T:2–X		X	41,97 ± 1,70 ^{ef}
T:2–S		S	42,80 ± 0,66 ^{fg}
T:2,5–N	2,5	N	44,12 ± 0,64 ^{fg}
T:2,5–G		G	42,78 ± 0,80 ^{fg}
T:2,5–X		X	43,25 ± 0,60 ^{fg}
T:2,5–S		S	44,17 ± 1,00 ^{fg}
Phân tích phương sai 2 yếu tố (P–value)			
Kích thước mảnh			0,001
Loại giá thể			0,004
Kích thước mảnh tách × Loại giá thể			NS

N: ống nhựa PCV, G: gạch men, X: xi măng và S là đá san hô chết. Các giá trị trình bày trong bảng là giá trị TB ± SD. Các chữ cái đi sau giá trị trên cùng cột mà khác nhau hoàn toàn thì các giá trị đó khác nhau có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).

Ảnh hưởng của kích thước mảnh tách và loại giá thể đến hiệu quả sinh sản vô tính của san hô cũng đã được nghiên cứu trên một số loài san hô khác nhau. Kích thước mảnh tách có ảnh hưởng ý nghĩa đến tỷ lệ sống của các mảnh cắt san hô con đã được nghiên cứu trên nhiều loài san hô cứng [112]. Trên một số loài san hô mềm như *S. glaucum* [12], *Sarcophyton* sp. [10], *S. glaucum* [14] cũng cho kết quả tương

tự. Đây là nghiên cứu về tác động của kích thước mảnh tách và loại giá thể cùng tác động qua lại giữa chúng lên san hô mềm *S. serenei*, tập trung chủ yếu về việc đánh giá vai trò của nó lên tỷ lệ sống, thời gian bám chân, tốc độ tăng trưởng, mật độ zooxanthellae, hàm lượng Chlorophyll-*a* và khối lượng hữu cơ của loài này.

Kết quả về tỷ lệ sống của nghiên cứu này hoàn toàn tương tự với kết quả trong nghiên cứu về nồng độ và thời gian xử lý mảnh cắt bằng dung dịch Lugol (Nội dung 2.1), trong đó ghi nhận rằng tỷ lệ chết của các mảnh san hô chủ yếu diễn ra trong giai đoạn 3–9 ngày đầu tiên, sau đó duy trì ổn định trong suốt quá trình thí nghiệm. Theo Harriott và Fisk (1989) [168], việc tách mảnh san hô được coi là thành công khi tỷ lệ sống vượt quá 50%. Kết quả nghiên cứu hiện tại cho thấy tỷ lệ sống của các phương pháp xử lý thử nghiệm dao động từ 33,33% đến 78,33%, nằm trong phạm vi được báo cáo trong các nghiên cứu trước đây về loài san hô mềm *Sarcophyton*. Cụ thể, tỷ lệ sống của *S. glaucum* trong hệ thống nuôi cấy tuần hoàn kín được ghi nhận từ 65% đến 88% [12] và thậm chí có thể đạt 100% [11, 166]. Nghiên cứu của Chaitanawisuti và Kritsanapuntu (2019) [10] cũng báo cáo tỷ lệ sống của *Sarcophyton* sp. sau 70 ngày thử nghiệm dao động từ 26,6% đến 93,3%, phụ thuộc vào phương pháp cố định vào giá thể. Ngoài ra, tỷ lệ sống *Sarcophyton* sp. sau 90 ngày thử nghiệm được ghi nhận từ 78,33% đến 96,67%, chịu tác động bởi kích thước mảnh san hô [69]. Sự khác biệt về tỷ lệ sống giữa các nghiên cứu có thể xuất phát từ nhiều yếu tố như loài *Sarcophyton* được nghiên cứu, điều kiện môi trường thí nghiệm và phương pháp thực hiện, tất cả đều có thể ảnh hưởng đến sức khỏe của các mảnh san hô và từ đó tác động đến khả năng sống sót của chúng. Trong nghiên cứu này, các yếu tố chính ảnh hưởng đến tỷ lệ sống bao gồm kích thước mảnh tách và loại giá thể, trong khi ở Nội dung 2.1, sự khác biệt chủ yếu đến từ nồng độ và thời gian xử lý bằng dung dịch Lugol có tỷ lệ sống giao động từ (53 – 72%). Do đó, tỷ lệ sống quan sát được trong nghiên cứu này (33 – 78%) có sự khác biệt so với kết quả từ Nội dung 2.1 điều này có thể giải thích là do sự sai khác giữa các nghiệm thức thí nghiệm có kích thước mảnh tách khác nhau đã ảnh hưởng đến tỷ lệ sống khác nhau.

Kết quả của nghiên cứu này cho thấy, thời gian tự bám của các nghiệm thức dao động từ 7,33 (mảnh tách 2 và 2,5 cm) đến 15 ngày (mảnh tách 0,5 cm), sở dĩ có sự dao động lớn là do ảnh hưởng của kích thước mảnh tách. Nghiên cứu Nội dung 2.1 cũng cho kết quả tương tự (8,73 ngày ở nhóm được xử lý so với 14,47 ngày ở nhóm đối chứng). Thời gian phục hồi vết thương của *S. serenei* trong nghiên cứu này tương đồng với các kết quả trước đây đối với các loài khác trong giống *Sarcophyton*. Cụ thể, thời gian bám vào giá thể của *S. glaucum* được ghi nhận trong khoảng 5–18 ngày [12]; đối với *Lobophytum pauciflorum*, thời gian bám trung bình dao động từ 6,1 đến

10,1 ngày [10] hoặc khoảng 14 ngày [164]; trong khi đó, thời gian bám trung bình của *Sarcophyton* sp. là 9,59 – 9,84 ngày [69]. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng khả năng tự bám vào giá thể có vai trò quan trọng trong việc gia tăng tỷ lệ sống của các mảnh san hô sau khi tách [163]. Kết quả của nghiên cứu này cũng cho thấy kích thước tối ưu của mảnh san hô để đạt hiệu quả bám cao nhất trong điều kiện thí nghiệm có kích thước mảnh tách từ 1,5 cm trở lên.

Các nghiên cứu khác đã sử dụng các loại giá đỡ như nhựa [11], gốm [12, 14] và xi măng [10], san hô chết, gạch nung và gạch xi măng [137]. Và trong nghiên cứu này cho thấy, mảnh tách san hô từ 1,5 cm trở gắn cố định trên giá thể khác nhau như san hô chết, ống nhựa, gạch men và xi măng không có sự sai khác nhau. Điều này cho thấy có thể sử dụng giá thể gạch men và xi măng là hoàn toàn thích hợp và thay thế được giá thể là đá san hô chết hay nhựa PVC là những loại vật liệu không được khuyến khích sử dụng.

Kết quả nghiên cứu về sinh trưởng cho thấy, có sự tương đồng với các báo cáo trước đây [13, 127, 167], đặc biệt là nghiên cứu được tiến hành trên loài san hô mềm *S. serenei* (0,29 – 0,45% ngày⁻¹) [178]. Ngoài ra, nghiên cứu trên *S. glaucum* cho thấy tốc độ tăng trưởng đặc trưng về khối lượng (SGR_w) dao động từ 0,11 đến 0,39% ngày⁻¹ [127], trong khi tốc độ tăng trưởng của *Sarcophyton* sp. được ghi nhận trong khoảng 0,210 – 0,380% ngày⁻¹ [167]. Tuy nhiên, kết quả của nghiên cứu này có sự khác biệt so với một số nghiên cứu trước đó. Các báo cáo trước đây về *S. glaucum* ghi nhận giá trị SGR_w dao động từ 0,035 – 0,040% ngày⁻¹ [127], 0,027 – 0,028% ngày⁻¹ [3], 0,025 – 1,828% ngày⁻¹ [14] và 0,055 – 0,380% ngày⁻¹ [165]. Kết quả của nghiên cứu này cũng có sự sai khác đáng kể so với các giá trị được báo cáo bởi [109].

San hô mềm *Sarcophyton* là loài sống cộng sinh với tảo thuộc họ Symbiodiniaceae và thường biểu hiện phản ứng căng thẳng dưới dạng hiện tượng tẩy trắng. Quá trình này xảy ra khi san hô trục xuất zooxanthellae ra khỏi mô, làm thay đổi màu sắc của san hô và có thể dẫn đến các hậu quả nghiêm trọng như mất mô hoặc tử vong [169]. Sự biến động của các yếu tố môi trường như nhiệt độ, độ mặn, cường độ ánh sáng, sự hiện diện của hóa chất hoặc tác nhân gây bệnh có thể làm suy giảm hiệu suất quang hợp của zooxanthellae hoặc gây ra hiện tượng tách tảo khỏi mô san hô [170]. Trong thí nghiệm này, tác động của kích thước mảnh tách và loại giá thể khác nhau có thể là hai yếu tố gây căng thẳng khiến zooxanthellae giải phóng khỏi san hô. Mật độ zooxanthellae trong các mảnh san hô mềm *S. serenei* giảm đáng kể sau khi tách mảnh (ngày thứ 3). Tuy nhiên, mật độ này bắt đầu tăng trở lại vào ngày thứ 9. Điều này có thể là do tác động của việc phân mảnh gây tổn thương đến san hô khi mới tách mảnh và quá trình này phục hồi sau khi các tập đoàn lành vết thương và

bám vào giá thể. Đến nay, các nghiên cứu về ảnh hưởng của kích thước mảnh tách và loại giá thể đối với zooxanthellae trong san hô vẫn chưa được thực hiện, mặc dù một số công trình đã ghi nhận tác động của các yếu tố này đến tốc độ sinh trưởng của vi tảo [171, 172]. Các tác động này có thể mang tính tiêu cực, tích cực hoặc trung tính tùy thuộc vào loài và điều kiện môi trường. Bên cạnh đó, các biến động trong chỉ số sinh lý của san hô được xem là những chỉ báo hữu hiệu trong việc đánh giá mức độ tẩy trắng [173]. Đặc biệt, sự thay đổi về mật độ zooxanthellae và hàm lượng diệp lục trong san hô mềm được coi là những chỉ số quan trọng phản ánh phản ứng của san hô trước các yếu tố gây căng thẳng môi trường [174].

Trong thí nghiệm này, hàm lượng chất hữu cơ của loài san hô mềm *S. serenei* dao động từ 33% đến 44%, tương đồng với kết quả của Nội dung 2.1 (36,12% đến 44,35%). Kết quả của nghiên cứu này hoàn toàn tương tự với nghiên cứu của [12] đối với *S. glaucum*, theo đó hàm lượng chất hữu cơ trong san hô có sự biến động phụ thuộc vào kích thước (10 – 27%), nhiệt độ nuôi cấy (44 – 50%) và cường độ ánh sáng (46 – 55%). Tuy nhiên, các giá trị này tương đối cao so với những nghiên cứu khác trên *Sarcophyton* spp. Theo nghiên cứu của Costa và cs. (2016) [11] trên *S. glaucum*, sự khác biệt về quang phổ ánh sáng (ánh sáng xanh và ánh sáng trắng) cũng như cường độ chiếu sáng (50 và 120 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ảnh hưởng đáng kể đến hàm lượng chất hữu cơ, với giá trị dao động từ 19,79% đến 28,93%. Bên cạnh đó, sự khác biệt về hệ thống nuôi cấy cũng có tác động rõ rệt, với hàm lượng chất hữu cơ được ghi nhận trong khoảng 26% – 33% [14]. Những khác biệt này có thể xuất phát từ sự thay đổi trong khả năng tổng hợp và tích lũy chất dinh dưỡng của các loài san hô khác nhau dưới các điều kiện môi trường, hệ thống nuôi cấy và quang chu kỳ khác nhau, dẫn đến sự biến động về hàm lượng chất hữu cơ trong mô san hô.

Tóm lại, việc sử dụng kích thước mảnh tách khác nhau có thể tăng cường sự phát triển, khả năng sống sót và sức khỏe của loài san hô mềm *S. serenei*. Thí nghiệm về kích thước mảnh tách và các loại giá thể đã xác định rằng mảnh san hô có chiều dài $\geq 1,5$ cm bám trên giá thể gạch men hoặc xi măng cho kết quả tỷ lệ sống và tăng trưởng tốt nhất. Kết quả này tương tự với xu hướng được ghi nhận ở các loài *Sarcophyton* khác [10, 12, 69], đồng thời mở ra khả năng thay thế vật liệu tự nhiên (đá san hô chết) bằng vật liệu thân thiện và sẵn có, góp phần giảm tác động đến hệ sinh thái rạn san hô tự nhiên. Bên cạnh đó, các giá thể như gạch men hoặc xi măng có thể tạo ra được các hình dạng riêng phù hợp với cấu trúc nền đáy hoặc gắn giá thể dễ dàng hơn so với san hô đã san hô. Mặc dù vậy, các giá thể này nên có những nghiên cứu chuyên sâu nhằm đánh giá độ bền cũng như mức độ thân thiện với môi trường. Việc xác định kích thước mảnh tách tối ưu không chỉ giúp rút ngắn thời gian hồi phục

mà còn nâng cao hiệu quả nhân giống (tối ưu hóa về mặt số lượng) và chất lượng sinh trưởng của san hô trong giai đoạn nuôi dưỡng. Điều này cung cấp dữ liệu để cấy ghép san hô cho mục đích bảo tồn và phát triển. Tuy nhiên, cần tiến hành thêm nhiều nghiên cứu một số nghiên cứu như về tác động của ánh sáng đối với san hô trong điều kiện nhân tạo góp phần hoàn thiện quy trình sinh sản nhân tạo cho loài san hô này. Sử dụng kích thước mảnh tách là 1,5 cm được gắn trên giá thể là gạch men cho các thí nghiệm tiếp theo.

3.2.3. Ảnh hưởng của thức ăn và chế độ cho ăn

3.2.3.1. Tỷ lệ sống

Bảng 3.17. Tỷ lệ sống của *S. serenei* ở các nghiệm thức thí nghiệm (n = 3)

Nghiệm thức	Tỷ lệ sống (%)			
	Ngày 3	Ngày 6	Ngày 9	Ngày 60
ĐC	83,33 ± 5,77	76,67 ± 2,89	73,33 ± 2,89	73,33 ± 2,89
LT-2	90,00 ± 5,00	76,67 ± 5,77	75,00 ± 5,00	75,00 ± 5,00
LT-4	88,33 ± 2,89	78,33 ± 2,89	78,33 ± 2,89	76,67 ± 2,89
LT-Ar-2	90,00 ± 5,00	76,67 ± 5,77	75,00 ± 5,00	73,33 ± 2,89
LT-Ar-4	86,67 ± 2,89	76,67 ± 2,89	75,00 ± 5,00	73,33 ± 2,89
Ar-2	90,00 ± 5,00	76,67 ± 5,77	75,00 ± 5,00	75,00 ± 5,00
Ar-4	88,33 ± 2,89	78,33 ± 2,89	76,67 ± 2,89	75,00 ± 5,00
Phân tích phương sai 2 yếu tố (P-value)				
LTA	NS	NS	NS	NS
CDCA	NS	NS	NS	NS
LTA × CDCA	NS	NS	NS	NS

LT-2, LT-4: cho ăn luân trùng 2 ngày, cho ăn luân trùng 4 ngày; Ar-2, Ar-4: cho ăn Artemia 2 ngày, cho ăn Artemia 4 ngày; LT-Ar-2; LT-Ar-4: cho ăn luân trùng-Artemia 2 ngày, cho ăn luân trùng-Artemia 4 ngày; LTA: Loại thức ăn; CDCA: Chế độ cho ăn; Các giá trị trình bày trong bảng là giá trị TB ± SD.

Tỷ lệ sống của loài san hô mềm *S. serenei* ở các nghiệm thức cho ăn và tần suất cho ăn khác nhau được thể hiện ở Bảng 3.17. Kết quả thí nghiệm cho thấy thức ăn và tần suất cho ăn không ghi nhận sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức trong điều kiện thí nghiệm này đến tỷ lệ sống của các mảnh san hô mềm *S. serenei* ($p \geq 0,082$). Tỷ lệ sống của san hô ở các nghiệm thức thí nghiệm giảm nhanh

trong 9 ngày đầu và ổn định hơn trong thời gian còn lại cho đến khi kết thúc thí nghiệm (73 – 77%).

3.2.3.2. Sinh trưởng

Kết quả nghiên cứu cho thấy, ở nghiệm thức LT-2, SGR_w đạt giá trị cao nhất ($0,46 \pm 0,02\%$ ngày⁻¹) và có sai khác ý nghĩa thống kê với nghiệm thức đối chứng và các nghiệm thức cho ăn liên quan đến *Artemia* ($p \leq 0,035$) nhưng không sai khác với các nghiệm thức LT-4 ($p \geq 0,124$). Ngược lại, các nghiệm thức cho ăn *Artemia* (Ar-2, Ar-4, LT-Ar-2, LT-Ar-4) giá trị SGR_w không có sự khác biệt đáng kể nào giữa chúng cũng như đối với nghiệm thức đối chứng ($p \geq 0,182$) (Bảng 3.18).

Bảng 3.18. Tốc độ tăng trưởng đặc trưng về khối lượng (% ngày⁻¹) của các nghiệm thức thí nghiệm (n = 3)

Nghiem thức	SGR_w (% ngày ⁻¹)
Đối chứng	$0,41 \pm 0,02^{ab}$
LT-2	$0,46 \pm 0,02^{cd}$
LT-4	$0,43 \pm 0,02^{bc}$
LT-Ar-2	$0,42 \pm 0,02^{ab}$
LT-Ar-4	$0,41 \pm 0,01^{ab}$
Ar-2	$0,40 \pm 0,03^{ab}$
Ar-4	$0,41 \pm 0,02^{ab}$
Phân tích phương sai 2 yếu tố (P-value)	
LTA	NS
CĐCA	NS
LTA × CĐCA	NS

LT-2, LT-4: cho ăn luân trùng 2 ngày, cho ăn luân trùng 4 ngày; Ar-2, Ar-4: cho ăn *Artemia* 2 ngày, cho ăn *Artemia* 4 ngày; LT-Ar-2; LT-Ar-4: cho ăn luân trùng–*Artemia* 2 ngày, cho ăn luân trùng–*Artemia* 4 ngày. LTA: Loại thức ăn; CĐCA: Chế độ cho ăn. Các giá trị trình bày trong bảng là giá trị TB $\pm$ SD. Các chữ cái đi sau giá trị trên cùng cột mà khác nhau hoàn toàn thì các giá trị đó khác nhau có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).

3.2.3.3. Mật độ zooxanthellae

Ảnh hưởng của thức ăn và tần suất cho ăn khác nhau lên mật độ zooxanthellae được trình bày trong Bảng 3.19. Kết quả phân tích cho thấy mật độ zooxanthellae ở các nghiệm thức không có sự sai khác có ý nghĩa thống kê trong suốt thời gian thí

nghiệm ($p \geq 0,059$). Điều này cho thấy loại thức ăn và tần suất cho ăn không ghi nhận sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức trong điều kiện thí nghiệm này đến mật độ zooxanthellae trên các mảnh tách san hô. Ở giai đoạn đầu, mật độ tảo giảm mạnh so với thời điểm ban đầu, phản ánh phản ứng tạm thời của san hô sau quá trình tách mảnh. Tuy nhiên, từ sau ngày thứ 6, mật độ tảo có xu hướng tăng trở lại, thể hiện khả năng phục hồi của san hô. Đến cuối thí nghiệm, mật độ tảo ở tất cả các nghiệm thức đều đạt giá trị tương đương hoặc tiệm cận mức ban đầu, và sự khác biệt giữa các nghiệm thức vẫn không có ý nghĩa thống kê ($p \geq 0,059$).

Bảng 3.19. Mật độ zooxanthellae ($\times 10^6$ tế bào g^{-1}) của loài san hô mềm *S. serenei* ở các nghiệm thức thí nghiệm khác nhau theo thời gian ($n = 3$)

Nghiệm thức	Mật độ zooxanthellae ($\times 10^6$ tế bào g^{-1})				
	Ngày 0 (BD)	Ngày 3	Ngày 6	Ngày 9	Ngày 60
ĐC	$4,20 \pm 0,27$	$1,72 \pm 0,24$	$2,14 \pm 0,10$	$2,54 \pm 0,26$	$4,28 \pm 0,43$
LT-2	$4,41 \pm 0,24$	$1,93 \pm 0,19$	$2,16 \pm 0,22$	$2,40 \pm 0,25$	$4,41 \pm 0,33$
LT-4	$4,28 \pm 0,39$	$1,57 \pm 0,19$	$2,03 \pm 0,23$	$2,29 \pm 0,30$	$4,46 \pm 0,09$
LT-Ar-2	$4,28 \pm 0,24$	$1,91 \pm 0,42$	$2,09 \pm 0,08$	$2,52 \pm 0,33$	$4,39 \pm 0,41$
LT-Ar-4	$4,32 \pm 0,21$	$1,94 \pm 0,21$	$1,98 \pm 0,14$	$2,54 \pm 0,34$	$4,38 \pm 0,18$
Ar-2	$4,28 \pm 0,16$	$1,72 \pm 0,28$	$1,96 \pm 0,09$	$2,31 \pm 0,03$	$4,20 \pm 0,06$
Ar-4	$4,61 \pm 0,06$	$1,88 \pm 0,30$	$2,16 \pm 0,19$	$2,42 \pm 0,13$	$4,41 \pm 0,42$
Phân tích phương sai 2 yếu tố (P-value)					
LTA	NS	NS	NS	NS	NS
CĐCA	NS	NS	NS	NS	NS
LTA $\times$ CĐCA	NS	NS	NS	NS	NS

LT-2, LT-4: cho ăn luân trùng 2 ngày, cho ăn luân trùng 4 ngày; Ar-2, Ar-4: cho ăn Artemia 2 ngày, cho ăn Artemia 4 ngày; LT-Ar-2; LT-Ar-4: cho ăn luân trùng-Artemia 2 ngày, cho ăn luân trùng-Artemia 4 ngày. LTA: Loại thức ăn; CĐCA: Chế độ cho ăn; Các giá trị trình bày trong bảng là giá trị TB $\pm$ SD.

3.2.3.4. Hàm lượng Chlorophyll-*a*

Hàm lượng Chlorophyll-*a* giữa các nghiệm thức không có sai khác có ý nghĩa thống kê theo thời gian thí nghiệm được thể hiện ở Bảng 3.20 ($p \geq 0,111$). Điều này chỉ ra rằng loại thức ăn và tần suất cho ăn khác nhau không ghi nhận sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức trong điều kiện thí nghiệm này lên hàm lượng Chlorophyll-*a* của loài san hô mềm *S. serenei*. Sự thay đổi hàm lượng Chlorophyll-

a ở tất cả các nghiệm thức đều giảm mạnh từ ngày thứ 0 đến ngày thứ 3 thí nghiệm, sau đó tăng lại dần từ ngày 6 đến ngày 60. Kết thúc thí nghiệm, hàm lượng Chlorophyll- a ở các nghiệm thức gần như hồi phục so với mức ban đầu, nghiệm thức Ar-2 đạt mức cao nhất ($4,18 \pm 0,13$) và thấp nhất ghi nhận ở nghiệm thức LT-4 ($3,76 \pm 0,22$) ($p \geq 0,834$).

Bảng 3.20. Hàm lượng Chlorophyll- a ($\times 10^2 \mu\text{g g}^{-1}$) của loài san hô mềm *S. serenei* ở các nghiệm thức khác nhau theo thời gian ($n = 3$)

Nghiệm thức	Hàm lượng Chlorophyll- a ($\times 10^2 \mu\text{g g}^{-1}$)				
	Ngày 0 (BD)	Ngày 3	Ngày 6	Ngày 9	Ngày 60
ĐC	$4,00 \pm 0,40$	$1,94 \pm 0,17$	$2,18 \pm 0,13$	$3,19 \pm 0,23$	$4,16 \pm 0,21$
LT-2	$3,80 \pm 0,17$	$2,09 \pm 0,02$	$2,16 \pm 0,22$	$3,14 \pm 0,31$	$4,10 \pm 0,32$
LT-4	$4,08 \pm 0,31$	$1,97 \pm 0,22$	$2,03 \pm 0,23$	$2,86 \pm 0,03$	$3,76 \pm 0,22$
LT-Ar-2	$3,73 \pm 0,16$	$1,99 \pm 0,19$	$2,09 \pm 0,08$	$3,11 \pm 0,17$	$3,97 \pm 0,27$
LT-Ar-4	$3,99 \pm 0,14$	$2,07 \pm 0,15$	$1,98 \pm 0,14$	$2,96 \pm 0,22$	$3,88 \pm 0,29$
Ar-2	$3,80 \pm 0,32$	$2,06 \pm 0,08$	$1,96 \pm 0,09$	$2,94 \pm 0,34$	$4,18 \pm 0,13$
Ar-4	$3,91 \pm 0,26$	$1,92 \pm 0,08$	$2,16 \pm 0,19$	$2,88 \pm 0,21$	$4,05 \pm 0,45$
Phân tích phương sai 2 yếu tố (P-value)					
LTA	NS	NS	NS	NS	NS
CĐCA	NS	NS	NS	NS	NS
LTA $\times$ CĐCA	NS	NS	NS	NS	NS

LT-2, LT-4: cho ăn luân trùng 2 ngày, cho ăn luân trùng 4 ngày; Ar-2, Ar-4: cho ăn Artemia 2 ngày, cho ăn Artemia 4 ngày; LT-Ar-2; LT-Ar-4: cho ăn luân trùng-Artemia 2 ngày, cho ăn luân trùng-Artemia 4 ngày. LTA: Loại thức ăn; CĐCA: Chế độ cho ăn; Các giá trị trình bày trong bảng là giá trị TB $\pm$ SD.

3.2.3.5. Hàm lượng hữu cơ

Kết quả phân tích ở Bảng 3.21 cho thấy, tỷ lệ khối lượng hữu cơ (OW) của loài san hô mềm *S. serenei* bị ảnh hưởng đáng kể bởi thức ăn và tần suất cho ăn ($p \leq 0,031$). Trong đó, tỷ lệ khối lượng hữu cơ cao nhất được ghi nhận ở nghiệm thức LT-2 ($46,68 \pm 1,53\%$ OW) và thấp nhất được ghi nhận ở nghiệm thức ĐC ($42,11 \pm 1,78\%$ OW) ($p \leq 0,003$). Có sai khác có ý nghĩa thống kê giữa nghiệm thức LT-2 với nghiệm thức đối chứng và Ar-4 ($p \leq 0,003$), tuy nhiên không có sự sai khác có ý nghĩa giữa các nghiệm thức còn lại ($p \geq 0,057$).

Bảng 3.21. Tỷ lệ khối lượng hữu cơ san hô mềm *S. serenei* ở các nghiệm thức thí nghiệm khác nhau (n = 3)

Nghiem thức	OW (%)
ĐC	42,11 ± 1,78 ^{ab}
LT-2	46,68 ± 1,53 ^{cd}
LT-4	44,74 ± 1,45 ^{bc}
LT-Ar-2	44,16 ± 1,43 ^{bc}
LT-Ar-4	43,63 ± 1,37 ^{bc}
Ar-2	42,33 ± 1,62 ^{bc}
Ar-4	42,23 ± 1,63 ^{ab}
Phân tích phương sai 2 yếu tố (P-value)	
LTA	NS
CĐCA	NS
LTA × CĐCA	NS

LT-2, LT-4: cho ăn luân trùng 2 ngày, cho ăn luân trùng 4 ngày; Ar-2, Ar-4: cho ăn *Artemia* 2 ngày, cho ăn *Artemia* 4 ngày; LT-Ar-2; LT-Ar-4: cho ăn luân trùng–*Artemia* 2 ngày, cho ăn luân trùng–*Artemia* 4 ngày. LTA: Loại thức ăn; CĐCA: Chế độ cho ăn. Các giá trị trình bày trong bảng là giá trị TB ± SD. Các chữ cái đi sau giá trị trên cùng cột mà khác nhau hoàn toàn thì các giá trị đó khác nhau có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).

Đây là nghiên cứu tiến hành đánh giá ảnh hưởng của 2 loại thức ăn (luân trùng và nauplii *Artemia*) và 6 chế độ cho ăn (LT-2, LT-4, LT-Ar-2, LT-Ar-4, Ar-2, Ar-4) đến sinh trưởng, tỷ lệ sống, hàm lượng Chlorophyll-*a*, mật độ zooxanthellae và tỷ trọng hữu cơ của các mảnh tách san hô mềm *S. serenei* trong điều kiện nuôi nhân tạo.

Kết quả thí nghiệm trên san hô mềm *S. serenei* cho thấy rằng chế độ cho ăn luân trùng với mật độ 2 con/mL, và tần suất 2 ngày/lần có hiệu quả rõ rệt trong việc cải thiện tốc độ sinh trưởng tương đối về khối lượng (SGR_w 0,46% ngày⁻¹; $p < 0,05$). Đồng thời, không có sự sai khác thống kê giữa việc cho ăn có liên quan đến nauplii *Artemia* và không cho ăn ($p > 0,05$). Điều này có thể giải thích do sự phù hợp của thức ăn luân trùng có liên quan đến khả năng bắt mồi của loài san hô mềm *S. serenei*. Đường kính vòng xúc tu trên polyp (tentacle crown), kiểu hình của xúc tu và loại tế bào gai độc (nematocyst) hiện diện trong polyp được xác định là một yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến kích thước con mồi và hiệu quả bắt mồi của san hô [179, 180].

Chưa có báo cáo về đường kính xúc tu của loài san hô mềm *S. serenei*, nhưng Verseveldt (1982) [28] có nhắc đến chỉ số đường kính autozoid của san hô mềm (apertures) *Sarcophyton* dao động từ 500 – 800 μm tùy loài. Mô tả chi tiết cho thấy các autozoid của loài san hô mềm *S. serenei* bán co rút, các xúc tu quanh miệng polyp có cấu tạo thẳng đơn giản với các lông mao nhỏ, đầu xúc tu không bung ra hoàn toàn [17, 181]. Đặc điểm hình thái này có thể ảnh hưởng đến khả năng bắt giữ con mồi, đặc biệt khi xét đến sự khác biệt về kích thước giữa các loại thức ăn sử dụng trong thí nghiệm. Trong thí nghiệm này, luân trùng dòng L *Brachionus plicatilis* có chiều dài vỏ trung bình khoảng 239 μm , trong khi nauplii *Artemia* (INVE, Thái Lan) có chiều dài trung bình khoảng 430 μm . Theo báo cáo của Subhan và cs. (2022) [166], kích thước lớn của nauplii *Artemia* có thể vượt quá khả năng bắt mồi tối ưu của các mảnh san hô thuộc giống *Sarcophyton*. Do đó, sự chênh lệch kích thước này có thể là nguyên nhân dẫn đến hiệu quả bắt mồi khác nhau của *S. serenei* khi được cho ăn hai loại thức ăn trên. Mỗi loài san hô có năng lực bắt mồi và tiêu hóa khác nhau [121, 182]. Điều này có thể do sự khác biệt về cấu trúc cơ thể, cơ chế bắt mồi, hoặc nhu cầu dinh dưỡng đặc trưng của từng loài. Trong nhiều nghiên cứu trước đây, việc bổ sung thức ăn cho san hô mềm trong điều kiện nuôi nhân tạo không thực sự mang lại kết quả tích cực về tốc độ tăng trưởng. Cunha (2006) [146] thực hiện thí nghiệm trên san hô *Sinularia* sp. với mật độ 5 nauplii *Artemia*/mL, tần suất 2 lần/tuần trong 32 ngày, nhưng không ghi nhận sự khác biệt đáng kể về tốc độ sinh trưởng chiều cao và thể tích giữa nghiệm thức cho ăn và không cho ăn. Tương tự, Subhan và cs. (2022) [166] cũng không phát hiện sự khác biệt về tốc độ sinh trưởng chiều dài, chiều rộng và diện tích của san hô *Sarcophyton* sp. giữa nghiệm thức có bổ sung 5g nauplii *Artemia*/tuần và nghiệm thức không bổ sung thức ăn trong suốt 12 tuần thí nghiệm. Thậm chí, Costa và cs. (2016) [11] ghi nhận tốc độ tăng trưởng SGR của san hô *Sarcophyton cf. glaucum* cao hơn ở các bể không cho ăn luân trùng hàng ngày (mật độ 4 con/mL) so với các bể có cho ăn. Các kết quả trên cho thấy rằng san hô mềm *Sinularia* sp., *Sarcophyton cf. glaucum*, *Sarcophyton* sp. có thể phát triển hiệu quả hơn khi chỉ dựa vào dinh dưỡng tự dưỡng từ zooxanthellae, đặc biệt trong điều kiện ánh sáng phù hợp. Mật độ thức ăn và tần suất cho ăn có thể gây stress nhẹ, mất cân bằng năng lượng, từ đó ảnh hưởng đến tốc độ tăng trưởng chúng.

Thức ăn và tần suất cho ăn khác nhau không ghi nhận sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức trong điều kiện thí nghiệm này đến tỷ lệ sống của các mảnh tách san hô mềm *S. serenei* sau 3, 6, 9 và 60 ngày của nghiên cứu này hoàn toàn tương đương với một số nghiên cứu trước đây. Nghiên cứu của Sella và Benayahu (2010) [12] cho rằng việc cho ăn thường xuyên không những không cải

thiện khả năng sống sót mà còn có thể gây ảnh hưởng tiêu cực đến quá trình phục hồi của san hô. Theo báo cáo này, tỷ lệ sống thấp nhất (25%) được ghi nhận ở các mảnh tách *S. glaucum* khi cho ăn với mật độ 5.000 nauplii/30L ở tần suất 2 ngày/lần, trong khi các tần suất cho ăn thưa hơn (7 ngày và 30 ngày/lần) lại cho tỷ lệ sống cao hơn đáng kể (44%). Báo cáo của Subhan và cs. (2022) [166] cho thấy trong điều kiện ánh sáng đầy đủ, việc không cung cấp thức ăn và cung cấp thức ăn đều ghi nhận tỷ lệ sống 100% trên san hô *Sarcophyton* sp. sau khi tách mảnh. Điều này cho thấy san hô mềm *Sarcophyton* chủ yếu dựa vào cơ chế tự dưỡng để tạo ra các hợp chất hữu cơ cần thiết cho sự phát triển và duy trì hoạt động sống của san hô trong môi trường ánh sáng phù hợp, mà có thể không phụ thuộc vào nguồn thức ăn bên ngoài.

Hoegh-Guldberg và Smith (1989) [183], Anthony và Hoegh-Guldberg (2003) [184] đã ghi nhận rằng san hô có thể thích nghi rõ rệt về mặt hình thái khi điều kiện môi trường thay đổi. Một trong những biểu hiện của sự thích nghi này là sự thay đổi nồng độ sắc tố quang hợp. Trong nghiên cứu này, đầu tiên có thể thấy hàm lượng Chlorophyll-*a* đều giảm nhanh từ ngày 0 (ngày bắt đầu) đến ngày 3, và sau đó có xu hướng tăng lại từ ngày thứ 6 đến ngày thứ 9 trở đi và đạt mức gần như ban đầu ở ngày thứ 60. Điều này có thể được suy đoán là cơ chế giúp san hô mềm chống lại căng thẳng môi trường trong thời gian ngắn (do tác động phân mảnh, xử lý bằng dung dịch Lugol – sát khuẩn) và sự thích nghi dần với điều kiện nuôi mới, giúp cho hàm lượng Chlorophyll-*a* tăng trở lại và ổn định. Kết quả này tương đương với kết quả từ Schoepf và cs. (2015) [185], Xu và cs. (2023) [177], Lam và cs. (2025) [178]. Trong nghiên cứu của Schoepf và cs. (2015) [185], ba loài san hô cứng (*Porites divaricata*, *Porites astreoides* and *Orbicella faveolata*) sẽ được đánh giá sự phục hồi ngắn hạn và dài hạn sau khi cho tiếp xúc nhiệt độ cao. Nồng độ Chlorophyll-*a* của san hô *Porites divaricata*, *Porites astreoides* and *Orbicella faveolata* qua tiếp xúc nhiệt độ cao đều thấp hơn lần lượt 30 – 42%, 75 – 76% và 52 – 58% ngay sau khi tẩy trắng và sau 1,5 tháng, nhưng đã phục hồi hoàn toàn sau 11 tháng trên rạn san hô. Tương tự, các nghiên cứu trên san hô mềm *S. serenei* khi tiếp xúc với Lugol [178] và *Sarcophyton trocheliophorum* khi tiếp xúc với Doxycycline hydrochloride (DOX) [177] hàm lượng Chlorophyll-*a* cũng có xu hướng ban đầu giảm sau tăng. Điều này phản ánh phản ứng căng thẳng ban đầu gây tổn thương các phân tử Chlorophyll-*a* của zooxanthellae ở san hô, và sau đó là sự thích nghi dần với điều kiện mới giúp hồi phục lại hàm lượng sắc tố [177, 178].

Kết quả nghiên cứu này cho thấy, không có sự ảnh hưởng đáng kể của thức ăn và tần suất cho ăn lên sự biến động hàm lượng Chlorophyll-*a*. Hàm lượng Chlorophyll-*a* trong tất cả các nghiệm thức cho ăn và không cho ăn đều có xu hướng

giảm dần và dần hồi phục lại ổn định từ ngày thứ 9 thí nghiệm. Việc cho ăn không làm ảnh hưởng tới hàm lượng Chlorophyll-*a* của zooxanthellae có thể phản ánh rằng quá trình điều chỉnh sắc tố quang hợp của zooxanthellae không phụ thuộc nhiều vào nguồn dinh dưỡng dị dưỡng, mà chủ yếu bị chi phối bởi các điều kiện bất lợi từ môi trường và khả năng thích nghi phục hồi đặc trưng của từng loài san hô. Trong thí nghiệm này, với điều kiện ánh sáng tự nhiên, zooxanthellae đã có thể thực hiện quang hợp hiệu quả để sản xuất năng lượng và duy trì hàm lượng Chlorophyll-*a*. Do đó, việc bổ sung nguồn dinh dưỡng dị dưỡng thông qua cho ăn trên san hô mềm *S. serenei* không tạo ra sự khác biệt rõ rệt về hàm lượng sắc tố quang hợp. Tuy nhiên, nghiên cứu của Connolly và cs. (2012) [122] cho thấy nguồn thức ăn dị dưỡng không chỉ đóng vai trò cung cấp năng lượng thay thế trong các sự kiện tẩy trắng mà còn góp phần thúc đẩy quá trình phục hồi khả năng quang hợp của san hô sau đó. Ở loài san hô cứng *Acropora intermedia*, việc được cung cấp thức ăn (luân trùng) với mật độ tự nhiên hằng ngày giúp hàm lượng Chlorophyll-*a* nhanh chóng phục hồi về mức trước khi bị tẩy trắng chỉ sau vài ngày. Ngược lại, các mẫu san hô không được cho ăn duy trì hàm lượng Chlorophyll-*a* ở mức thấp hơn khoảng một phần ba so với giá trị ban đầu. Sự khác biệt này có thể xuất phát từ cơ chế thích nghi riêng của từng loài, cũng như sự khác nhau trong phản ứng sinh lý của san hô dưới tác động của các điều kiện bất lợi khác nhau.

Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy loại thức ăn và chế độ cho ăn không ghi nhận sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức trong điều kiện thí nghiệm này đến sự phục hồi mật độ zooxanthellae ở san hô mềm *S. serenei*. Ban đầu, mật độ tảo giảm mạnh vào ngày thứ 3, sau đó tăng dần trở lại từ ngày thứ 9 và đạt mức tương đương với ban đầu vào ngày thứ 60. Những thay đổi về mật độ zooxanthellae của san hô mềm là những chỉ số quan trọng về phản ứng của hệ thống cộng sinh san hô với biến động môi trường [184]. Khi bị căng thẳng (do nhiệt độ, độ mặn, hóa chất,...), hệ thống cộng sinh sẽ chủ động đào thải zooxanthellae và gây ra hiện tượng suy giảm mật độ zooxanthellae [186]. Điều này tương tự như nghiên cứu trên san hô mềm *S. serenei* và *Sarcophyton trocheliophorum* khi tiếp xúc với Lugol [178] và Doxycycline hydrochloride (DOX) [177] mật độ zooxanthellae cũng có xu hướng giảm mạnh. Trong điều kiện bình thường, san hô có khả năng điều chỉnh mật độ zooxanthellae thông qua cơ chế đào thải và tái hấp thu, giúp duy trì cân bằng zooxanthellae [187]. Tuy nhiên, chưa có nghiên cứu sâu hơn về vai trò của dị dưỡng trong quá trình tái thiết lập mật độ zooxanthellae trên san hô mềm *S. serenei*. Báo cáo của Lam và cs. (2025) [178] trên san hô mềm *S. serenei* khi tiếp xúc với Lugol cho thấy các mảnh tách đã hồi phục mật độ zooxanthellae về mức ổn định như ban đầu mà không cần

cho ăn trong khoảng 20 ngày. Điều này cho thấy việc cho ăn trong điều kiện môi trường kiểm soát ổn định dường như ít ảnh hưởng tới quá trình tái thiết lập này.

Tỷ lệ khối lượng hữu cơ của loài san hô mềm *S. serenei* bị ảnh hưởng đáng kể bởi thức ăn và tần suất cho ăn. Trong nghiên cứu này, các mảnh san hô mềm *S. serenei* khi cho ăn LT-2 có tỷ trọng hữu cơ cao nhất và sai khác có ý nghĩa với các nghiệm thức thức ăn sử dụng loại thức ăn và tần suất cho ăn khác ($p < 0,05$). Điều này cho thấy chế độ cho ăn luân trùng với tần suất 2 ngày một lần đã cải thiện rõ rệt khả năng chuyển hóa chất dinh dưỡng của loài san hô mềm *S. serenei*. Ngược lại việc cho ăn *Artemia* tần suất 4 ngày một lần không cho thấy hiệu quả tích cực trong việc thay đổi tỷ lệ khối lượng hữu cơ của san hô mềm và không sai khác với nghiệm thức không cho ăn. Từ đó có thể thấy việc lựa chọn loại thức ăn và tần suất cho ăn nếu không phù hợp, san hô có thể sẽ không bắt mồi dẫn đến hiệu quả tích lũy hợp chất hữu cơ trong mô thấp. Nghiên cứu của Sella và Benayahu (2010) [12] cũng chỉ ra tần suất cho ăn không phù hợp cũng gây ảnh hưởng tương tự. San hô *S. glaucum* được cho ăn nauplii *Artemia* thường xuyên lại có tỷ lệ phần trăm khối lượng hữu cơ thấp nhất (55%) còn những mảnh san hô được cho ăn 7 hoặc 30 ngày một lần có tỷ lệ phần trăm cao hơn (66 và 63%).

Kết quả nghiên cứu cho thấy, thí nghiệm về chế độ cho ăn cho thấy *S. serenei* có khả năng phát triển tốt nhất khi được cung cấp luân trùng (*Brachionus plicatilis*) với tần suất 2 ngày/lần. Mặc dù san hô mềm chủ yếu dựa vào dinh dưỡng tự dưỡng từ zooxanthellae, tuy nhiên việc bổ sung nguồn thức ăn dị dưỡng phù hợp giúp cải thiện tốc độ tăng trưởng và khả năng tích lũy vật chất hữu cơ [166]. Ngược lại, thức ăn có kích thước lớn như nauplii *Artemia* không phù hợp với đặc điểm xúc tu và cơ chế bắt mồi của san hô mềm *S. serenei*. Kết quả này cung cấp bằng chứng quan trọng về mối quan hệ giữa hình thái xúc tu và cơ chế hấp thu năng lượng, là bước tiến trong việc xây dựng chế độ dinh dưỡng tối ưu cho nuôi san hô mềm trong điều kiện nhân tạo. Chế độ cho ăn luân trùng 2 ngày/lần được sử dụng cho thí nghiệm tiếp theo trong quá trình đánh giá ảnh hưởng của cường độ ánh sáng lên san hô mềm *S. serenei*.

3.2.4. Ảnh hưởng của cường độ ánh sáng

3.2.4.1. Tỷ lệ sống

Tỷ lệ sống của các mảnh san hô ở các nghiệm thức cường độ ánh sáng được thể hiện ở Bảng 3.22. Tỷ lệ sống giữa các nghiệm thức thí nghiệm có sự sai khác có ý nghĩa thống kê ở thời điểm 6 (giữa nghiệm thức 30 và $90 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, $p \leq 0,310$) và 60 (giữa nghiệm thức 30 và $90 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ và giữa nghiệm thức 30 và $120 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ $p \leq 0,049$) ngày thí nghiệm. Không có sự sai khác có ý nghĩa ở thời điểm 3 (p

$\geq 0,060$) và 9 ($p \geq 0,073$) ngày thí nghiệm. Sau 60 ngày thí nghiệm, tỷ lệ sống đạt giá trị lớn nhất ở nghiệm thức có cường độ chiếu sáng là $90 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ($83 \pm 2\%$), thấp nhất ở nghiệm thức có cường độ chiếu sáng $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ($73 \pm 2\%$) ($p \leq 0,007$). Không có sự sai khác có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức có cường độ ánh sáng 30; 60; $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ cũng như giữa các nghiệm thức 90; 120; $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ($p \geq 0,124$). Điều này cho thấy, tỷ lệ sống của loài san hô mềm *S. serenei* được cải thiện đáng kể khi sử dụng cường độ chiếu sáng từ 90 đến $120 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Bảng 3.22. Tỷ lệ sống của *S. serenei* ở các nghiệm thức (n = 3)

Cường độ ánh sáng ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Tỷ lệ sống (%)			
	Ngày 3	Ngày 6	Ngày 9	Ngày 60
30	$86,67 \pm 2,89$	$80,00 \pm 5,00^{\text{ab}}$	$78,33 \pm 2,89$	$73,33 \pm 2,89^{\text{abc}}$
60	$90,00 \pm 0,00$	$86,67 \pm 2,89^{\text{bc}}$	$78,33 \pm 2,89$	$76,67 \pm 2,89^{\text{bcd}}$
90	$90,00 \pm 0,00$	$88,33 \pm 2,89^{\text{cd}}$	$85,00 \pm 5,00$	$83,33 \pm 2,89^{\text{efg}}$
120	$88,33 \pm 2,89$	$83,33 \pm 2,89^{\text{bc}}$	$83,33 \pm 2,89$	$81,67 \pm 2,89^{\text{def}}$
150	$85,00 \pm 5,00$	$81,67 \pm 5,77^{\text{bc}}$	$81,67 \pm 5,77$	$78,33 \pm 5,77^{\text{cde}}$

Các giá trị trình bày trong bảng là giá trị TB $\pm$ SD. Các chữ cái đi sau giá trị trên cùng cột mà khác nhau hoàn toàn thì các giá trị đó khác nhau có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).

3.2.4.2. Thời gian bám chân

Bảng 3.23. Thời gian bám chân của các mảnh tách (n = 3)

Cường độ ánh sáng ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Thời gian bám chân (ngày)
30	$7,7 \pm 0,31^{\text{c}}$
60	$7,3 \pm 0,13^{\text{b}}$
90	$6,5 \pm 0,06^{\text{a}}$
120	$6,5 \pm 0,16^{\text{a}}$
150	$7,3 \pm 0,15^{\text{b}}$

Các giá trị trình bày trong bảng là giá trị TB $\pm$ SD. Các chữ cái đi sau giá trị trên cùng cột mà khác nhau hoàn toàn thì các giá trị đó khác nhau có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).

Cường độ ánh sáng có tác động đáng kể đến thời gian bám chân của các mảnh san hô mềm *S. serenei* (Bảng 3.23) ($p \leq 0,024$). Nghiệm thức có cường độ ánh sáng $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ có thời gian bám chân chậm nhất ($7,71 \pm 0,18$ ngày) ($p \leq 0,024$), trong khi đó thời gian bám chân ngắn nhất ở nghiệm thức 90 và $120 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ($p \leq 0,001$). Không có sự sai khác có ý nghĩa giữa nghiệm thức có cường độ chiếu sáng là 60 và $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ($p = 0,894$), tuy nhiên 2 nghiệm thức này lại có sự sai khác có ý nghĩa so với các nghiệm thức còn lại ($p \leq 0,024$). Qua đây cho thấy, cường độ ánh sáng 90 và $120 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ giúp rút ngắn thời gian bám chân của loài san hô mềm *S. serenei*.

3.2.4.3. Sinh trưởng

Tốc độ tăng trưởng đặc trưng theo khối lượng và chiều dài của loài san hô mềm *S. serenei* có sự khác biệt giữa các mức cường độ ánh sáng ($p \leq 0,009$). Tốc độ tăng trưởng đặc trưng về khối lượng và chiều dài ở nghiệm thức 90 và $120 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ cao hơn có ý nghĩa thống kê so với các nghiệm thức còn lại (nhóm 30, 60 và $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ($p \leq 0,009$), đồng thời, không có sự sai khác về tốc độ tăng trưởng đặc trưng về khối lượng giữa các nghiệm thức có cường độ ánh sáng là 30; 60 và $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ($p \geq 0,302$). Tuy nhiên, tốc độ tăng trưởng đặc trưng về chiều dài đạt giá trị cao nhất ở nghiệm thức 90 và $120 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, thấp nhất ở nghiệm thức $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ($p \leq 0,001$), không có sự sai khác về tốc độ tăng trưởng đặc trưng bề mặt giữa các nghiệm thức còn lại ($p \geq 0,055$) (Bảng 3.24). Qua đó cho thấy, cường độ ánh sáng ở mức 90 và $120 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ thích hợp cho sinh trưởng của loài san hô mềm *S. serenei*.

Bảng 3.24. Tốc độ tăng trưởng đặc trưng (n = 3)

Cường độ ánh sáng ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	SGR _w (% ngày ⁻¹)	SGR _L (% ngày ⁻¹)
30	$0,407 \pm 0,012^a$	$1,197 \pm 0,015^{ab}$
60	$0,413 \pm 0,006^a$	$1,210 \pm 0,010^{bc}$
90	$0,450 \pm 0,010^b$	$1,227 \pm 0,006^{cd}$
120	$0,447 \pm 0,015^b$	$1,227 \pm 0,015^{cd}$
150	$0,417 \pm 0,012^a$	$1,207 \pm 0,006^{bc}$

Các giá trị trình bày trong bảng là giá trị TB $\pm$ SD. Các chữ cái đi sau giá trị trên cùng cột mà khác nhau hoàn toàn thì các giá trị đó khác nhau có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).

3.2.4.4. Mật độ zooxanthellae

Bảng 3.25. Mật độ zooxanthellae của loài san hô mềm *S. serenei* (n = 3)

Cường độ ánh sáng ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Mật độ zooxanthellae ($\times 10^6$ tế bào g^{-1})						
	Ngày 2	Ngày 4	Ngày 6	Ngày 8	Ngày 10	Ngày 12	Ngày 60
30	1,93 $\pm$ 0,07	2,3 $\pm$ 0,26	3,30 $\pm$ 0,32	3,65 $\pm$ 0,17	4,13 $\pm$ 0,09 ^{ab}	4,48 $\pm$ 0,05 ^{ab}	4,84 $\pm$ 0,09
60	1,96 $\pm$ 0,09	2,27 $\pm$ 0,27	3,19 $\pm$ 0,27	3,75 $\pm$ 0,19	4,17 $\pm$ 0,07 ^{bc}	4,51 $\pm$ 0,09 ^{bc}	5,10 $\pm$ 0,14
90	1,92 $\pm$ 0,09	2,43 $\pm$ 0,17	3,53 $\pm$ 0,33	3,72 $\pm$ 0,08	4,28 $\pm$ 0,07 ^{cd}	4,70 $\pm$ 0,06 ^{cd}	4,97 $\pm$ 1,00
120	1,92 $\pm$ 0,08	2,49 $\pm$ 0,39	3,40 $\pm$ 0,27	3,49 $\pm$ 0,04	4,26 $\pm$ 0,07 ^{cd}	4,68 $\pm$ 0,04 ^{cd}	4,89 $\pm$ 0,07
150	1,97 $\pm$ 0,12	2,23 $\pm$ 0,28	3,06 $\pm$ 0,20	3,50 $\pm$ 0,24	4,21 $\pm$ 0,05 ^{bc}	4,48 $\pm$ 0,07 ^{ab}	4,90 $\pm$ 0,12

Mật độ trung bình của zooxanthellae bắt đầu thí nghiệm là $4,77 \pm 0,09 \times 10^6$ tế bào g^{-1} . Các giá trị trình bày trong bảng là giá trị TB $\pm$ SD. Các chữ cái đi sau giá trị trên cùng cột mà khác nhau hoàn toàn thì các giá trị đó khác nhau có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).

Kết quả phân tích mật độ zooxanthellae trong các mảnh san hô ở các nghiệm thức được trình bày ở Bảng 3.25. Qua đó cho thấy, mật độ zooxanthellae trong mô san hô đã có sự thay đổi đáng kể theo thời gian và cường độ ánh sáng. Sau giai đoạn giảm mạnh vào ngày 2 đã bắt đầu tăng nhẹ vào ngày thứ 4, mật độ tảo tăng dần đến ngày 60 ở tất cả các mức cường độ ánh sáng. Mật độ tảo công sinh ở nghiệm thức 90 – 120 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ có thời gian phục hồi ngắn hơn so với các nghiệm thức còn lại, đến ngày 10 thì mật độ tảo đã đạt tương đương so với ban đầu (Bảng 3.25). Sau 10 ngày thí nghiệm bắt đầu xuất hiện sự sai khác về mật độ zooxanthellae ở các nghiệm thức (giữa 2 cặp nghiệm thức là nghiệm thức 30 và 90 $\mu\text{mol m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ và nghiệm thức 30 và 120 $\mu\text{mol m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, $p \leq 0,001$), mật độ zooxanthellae đạt giá trị cao ở nghiệm thức 90 – 120 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ trong khi cường độ ánh sáng ở nghiệm thức 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ cho giá trị thấp nhất ($p \leq 0,001$), tuy nhiên không có sự sai khác so với các nghiệm thức còn lại ($p \geq 0,054$). Đến ngày thứ 12 thì mật độ tảo có cải thiện đáng kể giữa

nghiệm thức 90 – 120 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ so với nghiệm thức có cường độ ánh sáng thấp (30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) và cao (150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ($p \leq 0,001$), đồng thời không có sự sai khác giữa các nghiệm thức còn lại ($p \geq 0,195$). Tuy nhiên, sau 60 ngày thí nghiệm thì mật độ tảo được phục hồi và phát triển tốt ở tất cả các nghiệm thức, không có sự sai khác có ý nghĩa nào giữa các nghiệm thức thí nghiệm ($p \geq 0,096$).

3.2.4.5. Hàm lượng Chlorophyll-a

Bảng 3.26. Hàm lượng Chlorophyll-a của loài san hô mềm *S. serenei* (n = 3)

Cường độ ánh sáng ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Hàm lượng Chlorophyll-a ($\times 10^2 \mu\text{g g}^{-1}$)						
	Ngày 2	Ngày 4	Ngày 6	Ngày 8	Ngày 10	Ngày 12	Ngày 60
30	1,79 $\pm$ 0,29	2,11 $\pm$ 0,18	2,64 $\pm$ 0,15 ^{ab}	3,14 $\pm$ 0,33 ^{ab}	3,26 $\pm$ 0,17 ^{ab}	3,52 $\pm$ 0,11 ^a	4,49 $\pm$ 0,11
60	1,89 $\pm$ 0,04	2,18 $\pm$ 0,33	2,88 $\pm$ 0,25 ^{bc}	3,49 $\pm$ 0,12 ^{cd}	3,97 $\pm$ 0,14 ^{bc}	3,68 $\pm$ 0,15 ^a	4,62 $\pm$ 0,15
90	1,60 $\pm$ 0,20	2,20 $\pm$ 0,14	3,29 $\pm$ 0,15^{de}	3,84 $\pm$ 0,08^{ef}	4,23 $\pm$ 0,08^{ef}	4,66 $\pm$ 0,07^c	4,72 $\pm$ 0,07
120	1,67 $\pm$ 0,03	2,06 $\pm$ 0,14	3,32 $\pm$ 0,11^{de}	3,87 $\pm$ 0,07^{ef}	4,47 $\pm$ 0,16^{ef}	4,60 $\pm$ 0,18^c	4,73 $\pm$ 0,18
150	1,65 $\pm$ 0,22	2,03 $\pm$ 0,22	3,16 $\pm$ 0,20 ^{cd}	3,70 $\pm$ 0,07 ^{de}	3,86 $\pm$ 0,10 ^{cd}	4,02 $\pm$ 0,18 ^b	4,53 $\pm$ 0,18

Hàm lượng Chlorophyll-a trung bình thời điểm bắt đầu thí nghiệm là 439 ± 15 ($\mu\text{g g}^{-1}$). Các giá trị trình bày trong bảng là giá trị TB $\pm$ SD. Các chữ cái đi sau giá trị trên cùng cột mà khác nhau hoàn toàn thì các giá trị đó khác nhau có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).

Biến động hàm lượng Chlorophyll-a ở san hô mềm *S. serenei* theo thời gian được thể hiện ở Bảng 3.26. Kết quả nghiên cứu cho thấy, hàm lượng Chlorophyll-a bắt đầu có sự sai khác có ý nghĩa từ ngày thứ 6, kéo dài cho đến ngày thứ 12 (giữa 2 nghiệm thức 30 và 60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ so với nghiệm thức 90 và 120 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ở thời điểm 6 và 8 ngày; giữa 3 nghiệm thức 30, 60 và 150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ so với nghiệm thức 90 và 120 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ở thời điểm 10 và 12 ngày; $p \leq 0,029$). Chỉ số Chlorophyll-a đạt giá trị cao nhất ở nghiệm thức có cường độ ánh sáng là 90 và 120 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, thấp nhất ở nghiệm thức có cường độ ánh sáng thấp (30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ($p \leq 0,036$).

Đến ngày 10 hàm lượng Chlorophyll-*a* đã bắt đầu phục hồi ở nghiệm thức có cường độ ánh sáng là 90 – 120 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy, sau 60 ngày thí nghiệm hàm lượng Chlorophyll-*a* đã hoàn toàn phục hồi so với ban đầu ở tất cả các nghiệm thức thí nghiệm, đồng thời, không có sự sai khác có ý nghĩa thống kê giữa chúng ($p \geq 0,096$).

3.2.4.6. Hàm lượng hữu cơ

Bảng 3.27. Hàm lượng hữu cơ của loài san hô mềm *S. serenei* (n = 3)

Cường độ ánh sáng ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Tỷ lệ khối lượng hữu cơ (%)
30	43,45 $\pm$ 1,30 ^{ab}
60	45,67 $\pm$ 1,25 ^{bc}
90	47,23 $\pm$ 1,36 ^{bc}
120	47,31 $\pm$ 0,98 ^{bc}
150	45,39 $\pm$ 1,34 ^{ab}

Các giá trị trình bày trong bảng là giá trị TB $\pm$ SD. Các chữ cái đi sau giá trị trên cùng cột mà khác nhau hoàn toàn thì các giá trị đó khác nhau có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).

Cường độ ánh sáng có ảnh hưởng đáng kể đến hàm lượng hữu cơ của các mảnh san hô mềm *S. serenei* ở các nghiệm thức thí nghiệm ($p \leq 0,036$) (Bảng 3.27). Hàm lượng hữu cơ đạt giá trị cao ở nghiệm thức có cường độ ánh sáng 90 – 120 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, thấp ở nghiệm thức có cường độ ánh sáng thấp 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ($p \leq 0,001$), đồng thời, không có sự sai khác có ý nghĩa giữa các nghiệm thức còn lại ($p \geq 0,136$).

Đây là nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của cường độ ánh sáng đến sinh trưởng, tỷ lệ sống, hàm lượng Chlorophyll-*a*, mật độ zooxanthellae và tỷ trọng hữu cơ của các mảnh tách san hô mềm *S. serenei* trong điều kiện nuôi nhân tạo.

Sự thành công của việc nuôi trồng và phục hồi san hô phụ thuộc chặt chẽ vào khả năng sống sót và bám chân của các mảnh san hô sau khi bị phân mảnh [163]. San hô mềm có khả năng sinh sản vô tính mạnh mẽ thông qua quá trình tách mảnh và để các mảnh này phát triển thành cá thể độc lập, khả năng bám dính vào giá thể đóng vai trò yếu tố sinh học then chốt quyết định thành công [10, 162]. Cơ chế bám của san hô mềm là một quá trình sinh học-mô học phức tạp, được điều khiển bởi các tế bào biểu bì đặc biệt gọi là desmocytes và chất nhầy hữu cơ (mucopolysaccharide gồm glycoprotein và polysaccharide) tạo “lớp keo sinh học” giúp san hô kết dính vào

nền/giá thể [162]. Đây là cơ chế quan trọng giúp san hô mềm sinh sản vô tính và phục hồi sau tổn thương. Quá trình này diễn ra qua ba giai đoạn: bám tạm thời, hình thành desmocyte và bám cố định bền vững, tạo nên các mối nối chắc chắn giữa mô san hô và giá thể. Sự hình thành và củng cố của các liên kết này đóng vai trò quan trọng trong quá trình sinh sản vô tính và phục hồi tự nhiên của san hô mềm. Kết quả nghiên cứu đã cho thấy thời gian bám chân của các mảnh san hô mềm *S. serenei* có sự thay đổi rõ rệt giữa các mức cường độ ánh sáng. Các mảnh san hô ở nghiệm thức có cường độ ánh sáng $90 - 120 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ bám nhanh hơn so với các nghiệm thức có cường độ ánh sáng thấp hoặc cao hơn, điều này cho thấy đây là ngưỡng cường độ ánh sáng phù hợp nhất trong các nghiệm thức thí nghiệm giúp tối ưu hóa quá trình hình thành tế bào desmocyte và lớp keo dính, trong khi ánh sáng quá yếu hoặc quá mạnh đều có thể làm chậm tiến trình này do ảnh hưởng đến quang hợp và năng lượng trao đổi chất. Kết quả này tương tự với ghi nhận của Chaitanawisuti và Kritsanapuntu (2019) [10] khi nghiên cứu trên loài *Sarcophyton* sp., với thời gian bám chân dao động 6,1 – 10,1 ngày. So sánh với các công bố khác, thời gian bám chân trong nghiên cứu này tương đối ngắn hơn, chẳng hạn như ở *S. glaucum* được báo cáo trong khoảng 5 – 18 ngày [12], *S. pauciflorum* trung bình 14 ngày [164] và *Sarcophyton* sp. có thời gian trung bình 9,59 – 9,84 ngày [69]. Ở nghiên cứu trước đây trên loài san hô mềm *S. serenei*, khi áp dụng các nồng độ và thời gian xử Lugol khác nhau để khử trùng vết thương cho các mảnh tách san hô, thời gian bám chân đã ghi nhận được dao động từ 8,73 – 14,47 ngày [178]. Khi đánh giá kích thước mảnh tách và loại giá thể thì thời gian bám chân đối với các mảnh tách san hô mềm *S. serenei* dao động từ 7,33 – 15,00 ngày. Sự khác biệt về thời gian bám chân giữa các san hô có thể xuất phát từ đặc điểm loài, điều kiện thí nghiệm (cường độ ánh sáng, thời gian chiếu sáng, ...), cường độ ánh sáng được xem là yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến hoạt động trao đổi chất và tổng hợp protein cấu trúc trong mô san hô [184, 188, 189]. Cường độ ánh sáng phù hợp được cho là thúc đẩy sự phát triển và khả năng bám dính của san hô. Hiện tượng bám chân bắt đầu được quan sát từ ngày thứ 3 và thường hoàn tất vào khoảng ngày thứ 6 – 7, phản ánh quá trình bám dính ổn định của san hô lên giá thể trong điều kiện thí nghiệm. Kết quả này cũng tương đồng với ghi nhận của Chaitanawisuti và Kritsanapuntu (2019) [10] và Dang Tran Tu Tram và cs. (2023) [69], khi các loài *Sarcophyton* sp. trong các nghiên cứu đó bắt đầu bám vào giá thể từ ngày thứ 3 – 5 của thí nghiệm. San hô mềm *Dendronephthya hemprichi* mất khoảng 4 ngày để lành vết thương và 10 ngày để bám dính hoàn toàn vào giá thể thông qua sự phát triển của rễ bám (RLP) và tế bào desmocyte [162].

Trong nghiên cứu này, tỷ lệ sống của các mảnh san hô mềm *S. serenei* sau 60 ngày thí nghiệm đạt kết quả tương đối tốt của loài trong điều kiện nuôi cấy nhân tạo. Tỷ lệ chết chủ yếu xảy ra trong 9 ngày đầu sau khi tách mảnh, giai đoạn mà san hô chịu ảnh hưởng mạnh bởi stress cơ học và sinh lý. Theo Harriott và Fisk (1988) [190], hoạt động cấy ghép được xem là thành công khi tỷ lệ sống của các mảnh san hô vượt quá 50%. Kết quả này cao hơn rõ rệt so với các nghiên cứu trước đó trên *S. serenei*. Cụ thể, Lam và cs. (2025) [178] ghi nhận tỷ lệ sống dao động từ 53 – 72% trong thí nghiệm đánh giá ảnh hưởng của việc xử lý mảnh cắt; trong khi đó, thí nghiệm về kích thước mảnh tách và loại giá thể cho thấy tỷ lệ sống đạt 33 – 78% (Kết quả Nội dung 2.2), và thí nghiệm về ảnh hưởng của nguồn thức ăn ghi nhận mức 73 – 77% (Kết quả Nội dung 2.3). Điều này cho thấy ánh sáng phù hợp đã góp phần cải thiện đáng kể tỷ lệ sống của san hô thí nghiệm. Nhìn chung, tỷ lệ sống 73 – 83% trong nghiên cứu hiện tại nằm trong phạm vi được ghi nhận đối với các loài *Sarcophyton* khác. Chẳng hạn, *S. glaucum* trong hệ thống nuôi tuần hoàn kín có tỷ lệ sống từ 65 – 88% ($p > 0,05$) [12], thậm chí đạt tới 100% trong một số điều kiện tối ưu đối với *S. glaucum* [11], *Sarcophyton* sp. [166]. Bên cạnh đó, Chaitanawisuti và Kritsanapuntu (2019) [10] cũng báo cáo tỷ lệ sống của *Sarcophyton* sp. sau 70 ngày dao động từ 26,6 – 93,3%, tùy thuộc vào phương thức cố định mảnh san hô trên giá thể.

Nghiên cứu này đánh giá ảnh hưởng của các mức cường độ ánh sáng 30; 60; 90; 120 và 150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ đến sinh trưởng của loài san hô mềm *S. serenei*, cho thấy các mức 90 – 120 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ là tối ưu cho sự phát triển của loài trong điều kiện nuôi cấy nhân tạo. Tốc độ sinh trưởng của *S. serenei* giảm ở cường độ thấp (30 – 60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) và cao (150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), phản ánh sự mất cân bằng giữa khả năng quang hợp và stress ánh sáng. Kết quả này tương tự với các nghiên cứu trước trên các loài cùng chi. Cụ thể, *S. glaucum*, *S. trocheliophorum* và *Sarcophyton* sp. phát triển tốt nhất trong khoảng ánh sáng 35 – 190 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ với chu kỳ chiếu sáng 12 sáng: 12 tối, giúp quá trình quang hợp của zooxanthellae diễn ra hiệu quả và chưa bị ức chế [12-14, 128, 165]. Ở cường độ cao hơn, hiện tượng ức chế quang hợp đã được ghi nhận ở *S. glaucum*, làm giảm tốc độ sinh trưởng dù mật độ tảo và hàm lượng diệp lục tăng [11, 169]. Nhiều nghiên cứu trước đây về giống *Sarcophyton* đã chỉ ra vai trò quan trọng của các yếu tố môi trường khác đối với sinh trưởng. Sella và Benayahu (2010) [12] khảo sát đồng thời ảnh hưởng của nhiệt độ, độ mặn, ánh sáng, tần suất cho ăn và tốc độ dòng chảy; Rocha và cs. (2013) [127] tập trung vào cường độ ánh sáng; Costa và cs. (2016) [11] đánh giá kết hợp giữa chế độ cho ăn và thời gian chiếu sáng; Mendes và cs. (2017) [165] xem xét ảnh hưởng phổ ánh sáng; Chaitanawisuti và Kritsanapuntu (2019) [10] phân tích phương pháp gắn mảnh; Chang và cs. (2020)

[14] nghiên cứu các hệ thống nuôi; Subhan và cs. (2022) [166] đánh giá vai trò dinh dưỡng và Lam và cs. (2025) [178] nghiên cứu ảnh hưởng của kích thước mảnh và xử lý Lugol trên *S. serenei*. Về tốc độ tăng trưởng riêng (SGR_w), các nghiên cứu trước báo cáo giá trị dao động rộng: 0,11 – 0,39% ngày⁻¹ ở *S. glaucum* [127], 0,210 – 0,380% ngày⁻¹ ở *Sarcophyton* spp. 0,210 – 0,380% ngày⁻¹ [167], trong khi các nghiên cứu khác ghi nhận thấp hơn, từ 0,035 – 0,040% ngày⁻¹ [127], 0,027–0,028% ngày⁻¹ [3], 0,025 – 1,828% ngày⁻¹ [14], và 0,055 – 0,380% ngày⁻¹ [165]. Kết quả nghiên cứu hiện tại cho thấy đối với *S. serenei*, các giá trị SGR_w ghi nhận trong khoảng 0,28 – 0,45% ngày⁻¹ [178], 0,30 – 0,42% ngày⁻¹ và 0,41 – 0,46% ngày⁻¹. Ngoài cường độ ánh sáng, chu kỳ chiếu sáng cũng ảnh hưởng đáng kể đến sinh lý của san hô. Trên loài *Galaxea fascicularis*, chu kỳ 18 giờ sáng: 6 giờ tối gây giảm mật độ zooxanthellae, trong khi 24 giờ sáng: 0 giờ tối dẫn đến tử vong do stress quang học [191]. Do đó, duy trì chu kỳ 12 giờ sáng: 12 giờ tối được xem là điều kiện tối ưu. Tổng hợp kết quả cho thấy, *S. serenei* có tốc độ sinh trưởng cao nhất ở 90 – 120 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ và chu kỳ 12 giờ sáng: 12 giờ tối, tương đồng với xu hướng được ghi nhận ở các loài *Sarcophyton* khác [12, 14, 127, 128, 165]. Theo Fan và cs. (2024) [124], ở cường độ ánh sáng cao, zooxanthellae là nguồn cung cấp năng lượng chính, trong khi sự phụ thuộc vào dinh dưỡng dị dưỡng giảm, cho thấy *S. serenei* có thể thích nghi linh hoạt giữa hai cơ chế tự dưỡng – dị dưỡng, góp phần nâng cao khả năng sống và phát triển trong điều kiện nhân tạo.

Màu sắc của san hô hình thành chủ yếu từ ba yếu tố: các sắc tố quang hợp như diệp lục a và phycobiliprotein; protein huỳnh quang có vai trò bảo vệ san hô khỏi bức xạ mặt trời mạnh và chromoprotein không huỳnh quang [192-194]. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng màu sắc của san hô có mối liên hệ chặt chẽ với lượng sắc tố của zooxanthellae dinoflagellate [195]. Khi san hô chịu căng thẳng bởi các yếu tố môi trường như nhiệt độ, ánh sáng hoặc thay đổi dinh dưỡng, màu sắc có thể thay đổi hoặc nhạt đi do mất zooxanthellae [128, 169]. Môi trường ánh sáng có thể quyết định khả năng tăng trưởng và sinh sản của san hô [196] vì san hô lấy được một lượng lớn năng lượng và oxy từ sản xuất chính của *Symbiodinium* [197]. Hệ cộng sinh giữa san hô và tảo *Symbiodinium* thể hiện khả năng điều chỉnh linh hoạt quá trình quang hợp tùy theo điều kiện chiếu sáng. Trong môi trường ánh sáng yếu, zooxanthellae có xu hướng tăng hàm lượng sắc tố quang hợp và cải thiện hiệu suất hấp thu năng lượng, giúp duy trì tốc độ quang hợp tối ưu dù cường độ chiếu sáng thấp. Ngược lại, khi tiếp xúc với ánh sáng mạnh, cả san hô và tảo đều giảm hàm lượng sắc tố để hạn chế hiện tượng bão hòa ánh sáng, đồng thời vẫn đạt được tốc độ quang hợp cực đại cao hơn [184]. Theo Roth (2010) [198], mật độ *Symbiodinium* có thể thích nghi với cường độ chiếu

sáng mới chỉ sau khoảng hai tuần trong điều kiện thí nghiệm. Ngoài tự nhiên, sự biến động theo mùa của mật độ tảo này thường ngược chiều với cường độ ánh sáng, giảm vào mùa hè và tăng vào mùa thu, đồng nhằm tối ưu hóa quá trình quang hợp [199, 200]. Những thay đổi về mật độ Zooxanthellae và hàm lượng chất diệp lục của san hô mềm được xem như là những chỉ số quan trọng của phản ứng của zooxanthellae với căng thẳng môi trường [174]. Trong nghiên cứu này, mật độ zooxanthellae trên san hô mềm *S. serenei* đã có sự thay đổi đáng kể theo thời gian và cường độ ánh sáng. Trong giai đoạn đầu thí nghiệm, mật độ zooxanthellae trong mô san hô giảm nhanh, từ khoảng $4,77 \times 10^6$ tế bào g^{-1} xuống còn $1,92 - 1,97 \times 10^6$ tế bào g^{-1} vào ngày thứ 2, cho thấy phản ứng stress tạm thời do quá trình tách mảnh và thích nghi với điều kiện chiếu sáng mới. Sự phục hồi mật độ tảo bắt đầu xuất hiện từ ngày 10 – 12, và đạt mức cao nhất ở các nghiệm thức có cường độ chiếu sáng $90 - 120 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, cao hơn có ý nghĩa thống kê so với các nghiệm thức ánh sáng yếu hơn ($30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) và mạnh hơn ($150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ($p \leq 0,037$). Đến ngày 60, mật độ tảo giữa các nghiệm thức không còn khác biệt ($p \geq 0,068$) và tiệm cận giá trị ban đầu, phản ánh trạng thái cân bằng sinh lý mới của hệ cộng sinh trong điều kiện ánh sáng tối ưu.

nghiên cứu của các tác giả khác Mật độ zooxanthellae trên *S. serenei* của cho thấy dao động khoảng từ $4,77 - 5,13 \times 10^6$ tế bào g^{-1} [178] khá tương đồng với kết quả nghiên cứu hiện tại $4,84 - 5,10 \times 10^6$ tế bào g^{-1} . Kết quả nghiên cứu này đã cho thấy sự thay đổi mật độ zooxanthellae và hàm lượng chlorophyll của loài san hô mềm *S. serenei* phụ thuộc rõ rệt vào điều kiện chiếu sáng. Mật độ tảo có xu hướng giảm trong giai đoạn đầu và phục hồi ở các mức ánh sáng trung bình, phản ánh khả năng thích nghi quang hợp của mối quan hệ cộng sinh giữa tảo và san hô. Xu hướng này tương đồng với các báo cáo trước đây về ảnh hưởng của cường độ ánh sáng và chu kỳ chiếu sáng đối với các loài *Sarcophyton*, trong đó quá trình quang hợp và năng suất sinh trưởng đạt hiệu quả cao nhất ở điều kiện ánh sáng trung bình [11, 127, 128, 169]. Cụ thể, san hô *S. cf. glaucum* ở cường độ ánh sáng thấp ($50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) các giá trị Fv/Fm, mật độ zooxanthellae và hàm lượng sắc tố cao hơn rõ rệt so với nhóm tiếp xúc với ánh sáng mạnh hơn [127]. Costa và cs. (2016) [11] đã cho biết *S. glaucum* có hiệu suất quang hợp cao nhất (thể hiện qua Fv/Fm và rETR) trong khoảng cường độ chiếu sáng trung bình $80 - 150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Hay cũng trên san hô mềm *S. cf. glaucum* ở ánh sáng thấp ($253 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) đã có mật độ zooxanthellae $1,23 - 1,36 \times 10^6$ tb g^{-1} và Chlorophyll-*a* từ $1,14 - 1,29 \mu\text{g cm}^{-2}$, cao hơn hẳn ở các cường độ ánh sáng khác [169]. Nghiên cứu trên san hô mềm *S. trocheliophorum*, cường độ ánh sáng tối ưu ($80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) và chế độ 12h sáng – 12h tối, kết quả nghiên cứu cho thấy mật độ zooxanthellae của san hô cao hơn hẳn san hô mềm *S. serenei*, đạt cao nhất $2,54 \times 10^8$

tb g⁻¹ và Chlorophyll-*a* là 295,01 µg g⁻¹ [128]. Với mức ánh sáng quá thấp hoặc cao, hiện tượng ức chế quang hợp có thể xảy ra, dẫn đến giảm tốc độ sinh trưởng mặc dù mật độ tảo và hàm lượng sắc tố tăng cục bộ, nguyên nhân được suy đoán là do căng thẳng ánh sáng gây ra và dẫn đến tổn thương oxy hóa [127, 128, 169]. Kết quả này góp phần lý giải việc các nghiệm thức có cường độ ánh sáng thấp (30 – 60 µmol m⁻² s⁻¹) hoặc cao (150 µmol m⁻² s⁻¹) không đạt hiệu quả thời gian bám chân, sinh trưởng và tỷ lệ sống tối ưu như nghiệm thức ánh sáng trung bình (90 – 120 µmol m⁻² s⁻¹) đối với loài *S. serenei* trong nghiên cứu hiện tại.

Tỷ lệ khối lượng hữu cơ (OW (%)) trong san hô phản ánh mức độ phát triển mô sống so với cấu trúc khoáng hóa. Ở san hô mềm như *Sarcophyton*, phần hữu cơ (bao gồm mô, protein và sắc tố) chiếm tỉ lệ cao hơn so với khung vô cơ CaCO₃, giúp san hô duy trì tính dẻo sinh lý và khả năng thích nghi cao với các biến động môi trường. Ngược lại, các loài san hô cứng có hàm lượng vô cơ lớn hơn, phù hợp với chiến lược khoáng hóa và hình thành rạn bền vững [201, 202]. Dưới các điều kiện ánh sáng khác nhau, tỷ lệ khối lượng hữu cơ (OW) của *S. serenei* tương đối cao, dao động từ 43,45 – 47,31% và đạt giá trị cao nhất ở cường độ ánh sáng trung bình 90 – 120 µmol m⁻² s⁻¹ và cao hơn nhiều so với các giá trị đã được công bố cho các loài san hô mềm *Sarcophyton* [11, 12]. Kết quả này cũng cao hơn so với thí nghiệm ảnh hưởng của Lugol trên cùng loài, với OW dao động 36,12 – 44,35% [178].

Nghiên cứu được tiến hành trên loài san hô mềm *S. glaucum* nuôi trong các điều kiện quang phổ khác nhau (ánh sáng trắng và xanh) và cường độ 50 – 120 µmol m⁻² s⁻¹, đã cho tỷ lệ khối lượng hữu cơ thay đổi từ 19,79 – 28,93% [11]. Ngoài ra, khối lượng hữu cơ của *S. glaucum* trong các hệ thống nuôi khác nhau dao động 26 – 33%, trong khi Sella và Benayahu (2010) [12] báo cáo sự thay đổi rộng hơn từ khoảng 10–55%, phản ánh ảnh hưởng của điều kiện nuôi và yếu tố môi trường đến tỷ lệ vô cơ–hữu cơ của san hô mềm. Tỷ lệ OW có thể bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố môi trường như ánh sáng và dinh dưỡng dị dưỡng điều chỉnh sự tích lũy sinh khối hữu cơ thông qua hoạt động quang hợp của zooxanthellae và khả năng hấp thu chất dinh dưỡng của san hô [11, 12, 124]. Ánh sáng quá cao hoặc quá thấp có thể làm giảm phần hữu cơ do stress quang hợp, trong khi dinh dưỡng bổ sung giúp tăng khối lượng hữu cơ và duy trì OW ổn định. Có thể thấy, khối lượng thành phần hữu cơ trong san hô mềm nói chung và san hô mềm *S. serenei* nói riêng khá cao, phản ánh vai trò quan trọng của mô sống trong việc tích lũy năng lượng, duy trì sinh trưởng và khả năng phục hồi sau stress môi trường. Ngoài ra, các nghiên cứu khác về thành phần hóa học của san hô mềm thuộc giống *Sarcophyton* cũng cho thấy sự đa dạng trong thành phần hữu cơ, bao gồm các hợp chất sinh học như diterpenoid và steroid, phản ánh sự thích nghi và

khả năng sinh trưởng của chúng trong môi trường biển [203, 204]. Như vậy, tỷ lệ OW phản ánh trạng thái sinh lý và sức khỏe của san hô mềm. Kết hợp với các chỉ số sinh trưởng và mật độ zooxanthellae, OW cung cấp thông tin về khả năng tích lũy năng lượng, phục hồi sau stress và tiềm năng phát triển, khai thác của san hô.

Tóm lại, san hô mềm *S. serenei* được nuôi trong điều kiện nhân tạo với cường độ ánh sáng $90 - 120 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ giúp cải thiện tỷ lệ sống, sinh trưởng, thời gian bám chân, hàm lượng hữu cơ cũng như tăng khả năng phục hồi hàm lượng Chlorophyll-*a* và mật độ zooxanthellae bị tổn thương do quá trình phân mảnh và xử lý mảnh cắt.

Tổng thể, chuỗi các thí nghiệm nghiên cứu đã cung cấp kiến thức hiểu biết về đặc điểm sinh học – sinh thái đến ứng dụng trong sinh sản nhân tạo, thể hiện sự kế thừa và hoàn thiện theo hướng thực nghiệm – ứng dụng. Cụ thể, việc định danh chính xác loài; nghiên cứu sinh thái và sinh sản tự nhiên xác định thời điểm thích hợp để thu mẫu giao tử và ấu trùng trong sinh sản hữu tính; trong khi các thí nghiệm về ảnh hưởng của nồng độ Lugol, các loại giá thể, kích thước mảnh tách, chế độ cho ăn, cường độ chiếu sáng cung cấp các tham số kỹ thuật cần thiết cho giai đoạn nhân giống và nuôi dưỡng. Những kết quả này không chỉ góp phần xây dựng quy trình cho sinh sản nhân tạo loài *S. serenei* mà còn là mô hình tham khảo cho các loài san hô mềm khác trong công tác bảo tồn và phục hồi rạn san hô ở Việt Nam.

Mặc dù nghiên cứu đã cung cấp những hiểu biết ban đầu về ảnh hưởng của các điều kiện nuôi nhân tạo đến sinh trưởng và sinh lý của *S. serenei*, nhưng vẫn còn một số khía cạnh chưa được nghiên cứu cần được tiếp tục làm rõ. Thứ nhất, trong nghiên cứu chúng tôi vẫn chưa xem xét đến khía cạnh đa dạng di truyền quần thể và mối quan hệ phát sinh loài, vốn có thể ảnh hưởng đến khả năng thích nghi và cộng sinh với loài zooxanthellae [205-208], cũng như chưa phân tích sinh học phân tử của loài này. Thứ hai, tác động của các yếu tố môi trường khác như nhiệt độ, độ mặn và lưu tốc dòng chảy đến sinh trưởng và sinh lý của san hô vẫn chưa được đánh giá đầy đủ. Bên cạnh đó, việc ứng dụng các vật liệu sinh học thay thế giá thể nhân tạo trong quá trình nuôi cấy san hô mềm cũng cần được nghiên thử nghiệm nhằm tìm kiếm các giải pháp thân thiện và bền vững hơn cho việc phục hồi san hô mềm trong tương lai.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Kết luận

Đặc điểm sinh học của loài san hô mềm *S. serenei*.

Dựa trên đặc điểm hình thái và phân loại cho thấy, san hô mềm *S. serenei* có mũ dạng nấm với nếp gấp rõ ở ngoại biên, bề mặt thô ráp, không tiết nhớt và các xúc tu có khả năng co rút một phần. Trâm xương của loài đa dạng về hình dạng và kích thước, trong đó xúc tu và vỏ mũ chứa nhiều dạng trâm xương hình chùy khác nhau, còn trâm xương ở thân có nhiều mụn cóc lớn. Những đặc điểm hình thái và cấu trúc trâm xương này là các chỉ tiêu quan trọng giúp nhận dạng và phân loại loài này.

Loài *S. serenei* phân bố chủ yếu trên nền đá san hô chết và trầm tích cát-sạn pha bùn giàu canxi tại vùng ven bờ vịnh Nha Trang. Tại các khu vực ghi nhận loài, các yếu tố môi trường dao động trong khoảng: nhiệt độ 25 – 30°C, độ mặn 30 – 34‰, cường độ ánh sáng 14,77 – 89,64 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, pH 8,02 – 8,10, DO 5,93 – 7,44 mg L⁻¹, COD 0,88 – 1,79 mg L⁻¹, độ đục 0,80 – 3,50 NTU, NH₄⁺ 0,009 – 0,030 mg L⁻¹ và NO₃⁻ 0,022 – 0,062 mg L⁻¹.

San hô mềm *S. serenei* là loài đơn tính, có tỷ lệ đực: cái là 1,3:1; sức sinh sản dao động từ 14 đến 26 trứng/polyp; noãn bào thành thực có đường kính trung bình 685 μm , túi tinh có kích thước trung bình 235,29 μm ; noãn bào và tinh sào trải qua 4 giai đoạn phát triển. Loài này thể hiện chu kỳ sinh sản đồng bộ, một lần mỗi năm. Trong giai đoạn nghiên cứu, mùa vụ sinh sản diễn ra vào tháng 3.

Nghiên cứu sinh sản vô tính loài san hô mềm *S. serenei* trong điều kiện nhân tạo:

Kết quả nghiên cứu về ảnh hưởng của nồng độ và thời gian xử lý mảnh tách bằng dung dịch Lugol cho thấy, nồng độ 0,5 mL L⁻¹ trong 15 phút hoặc 1,0 mL L⁻¹ trong 10 phút được xác định là thích hợp, giúp tăng tỷ lệ sống và rút ngắn thời gian bám chân, nhưng không làm thay đổi đáng kể tốc độ sinh trưởng và mật độ zooxanthellae.

Nghiên cứu về ảnh hưởng của kích thước mảnh tách và loại giá thể chỉ ra rằng, mảnh san hô có kích thước 1,5; 2,0 và 2,5 cm đạt tỷ lệ sống và tốc độ tăng trưởng cao nhất; gạch men và xi măng là hai loại giá thể phù hợp, có thể thay thế đá san hô chết hoặc nhựa PVC.

Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ cho ăn cho thấy, chế độ cho ăn luân trùng (*Brachionus plicatilis*) với tần suất 2 ngày/lần giúp cải thiện tốc độ sinh trưởng và hàm lượng vật chất hữu cơ so với chế độ cho ăn *Artemia* hoặc không cho ăn.

Nghiên cứu về ảnh hưởng của cường độ ánh sáng chỉ ra rằng, cường độ ánh sáng thích hợp nhất là $90 - 120 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ giúp cải thiện tỷ lệ sống, sinh trưởng, thời gian bám chân, hàm lượng hữu cơ cũng như rút ngắn thời gian phục hồi hàm lượng Chlorophyll-*a* và mật độ zooxanthellae bị tổn thương do quá trình phân mảnh và xử lý mảnh cắt.

2. Kiến nghị

Trong giai đoạn nghiên cứu 2023–2024, cho thấy *S. serenei* có mùa sinh sản vào tháng 3. Tuy nhiên, do mùa vụ sinh sản của san hô có thể thay đổi dưới tác động của các yếu tố môi trường và biến đổi khí hậu, vì thế cần tiếp tục theo dõi dài hạn để xác định chính xác thời điểm sinh sản của loài, qua đó tối ưu hóa kế hoạch thu mẫu giao tử và bố trí thí nghiệm nghiên cứu sinh sản hữu tính.

Dựa trên các kết quả nghiên cứu cần tiếp tục nghiên cứu xây dựng nên quy trình sinh sản vô tính cho loài san hô mềm *S. serenei* và thử nghiệm ở quy mô lớn hơn nhằm đánh giá hiệu quả kinh tế, kỹ thuật.

Triển khai thử nghiệm trồng phục hồi những tập đoàn san hô mềm *S. serenei* được tạo ra từ kết quả sinh sản vô tính tại các khu vực rạn san hô ở vịnh Nha Trang và các vùng ven bờ có điều kiện tương đồng để đánh giá khả năng thích nghi, phục hồi ngoài tự nhiên và đánh giá rủi ro.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ**Các công trình đã xuất bản**

Lam HS, Hue NT, Tram DT, Dang DH, Ben HX, Ha DV, Hoang DH. Interactive effects of Lugol concentrations and soaking durations on physiology of fragment of soft coral, *Sarcophyton serenei* (Tixier-Durivault, 1958). Regional Studies in Marine Science. 2025 Apr 1;83:104078.

Lam HS, Nguyet HN, Hong ND, Tu TD, Nhat NN, Thai AH, Thi HH, Minh QT, Xuan BH, Viet HD, Anh TN. Morphological characteristics of soft coral *Sarcophyton serenei* (Tixier-Durivault, 1958) in Nha Trang Bay. Vietnam Journal of Marine Science and Technology. 2025 Sep 30; 25(3): 297-309.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Wilkens P., Birkholz J., 1992, Marine Invertebrates: Organ-Pipe and Leather Corals, *Gorgonians*, Craft Druck und Verlag GmbH, Ettlingen, Germany.
- [2] Ellis S., Sharron L., 1999, The Culture of Soft Corals (Order: Alcyonacea) for the Marine Aquarium Trade. Publication No. 137, *Center for Tropical and Subtropical Aquaculture*, Waimanalo, Hawaii.
- [3] Rocha R.J., Bontas B., Cartaxana P., Leal M.C., Ferreira J.M., Rosa R., Serôdio J., Calado R., 2015, Development of a standardized modular system for experimental coral culture, *Journal of the World Aquaculture Society* 46(3), pp. 235-251.
- [4] Leal M.C., Sheridan C., Osinga R., Dionísio G., Rocha R.J.M., Silva B., Rosa R., Calado R., 2014, Marine Microorganism-Invertebrate Assemblages: Perspectives to Solve the “Supply Problem” in the Initial Steps of Drug Discovery, *Marine Drugs* 12(7), pp. 3929-3952.
- [5] Kahng S.E., Benayahu Y., Lasker H.R., 2011, Sexual reproduction in octocorals, *Marine Ecology Progress Series* 443, pp. 265-283.
- [6] Alino P.M., Coll J.C., 1989, Observations of the synchronized mass spawning and post settlement activity of octocorals on the Great Barrier Reef, Australia: biological aspects, *Bulletin of Marine Science* 45(3), pp. 697-707.
- [7] Vo Si Tuan, Ho Son Lam, Dang Tran Tu Tram, Phan Kim Hoang, Doan Van Than, Mai Xuan Dat, 2022, A study on the spawning season of 3 *Acropora* species in Nha Trang bay, Southern waters of Vietnam, *Vietnam Journal of Marine Science and Technology* 22(2) 21–28.
- [8] Tuan V.S., Ho S.L., Phan K.H., Dang T.T.T., Harrison P.L., 2022, Varied spawning patterns of reef corals in Nha Trang Bay, Vietnam, western South China Sea, *Regional Studies in Marine Science* 55, pp. 102631.
- [9] Rhyne A., Rotjan R., Bruckner A., Tlustý M., 2009, Crawling to collapse: ecologically unsound ornamental invertebrate fisheries, *PLoS One* 4(12), pp. e8413.
- [10] Chaitanawisuti N., Kritsanapuntu S., 2019, Asexual propagation of the soft corals *Sinularia* sp., *Cladiella* sp. and *Sarcophyton* sp.(Octocorallia: Alcyonacea) using different methods of attachment in a recirculating seawater system, *Aquaculture Research* 50(8), pp. 2047-2053.
- [11] Costa A.P.L., Calado R., Marques B., Lillebø A.I., Serôdio J., Soares A.M.V.M., Serrão E.A., Rocha R.J.M., 2016, The effect of mixotrophy in the ex situ culture of the soft coral *Sarcophyton* cf. *glaucum*, *Aquaculture* 452, pp. 151-159. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.10.032>.
- [12] Sella I., Benayahu Y., 2010, Rearing cuttings of the soft coral *Sarcophyton glaucum* (Octocorallia, Alcyonacea): Towards mass production in a closed seawater system, *Aquaculture Research* 41(12), pp. 1748-1758.
- [13] Rocha R.J.M., Serôdio J., Leal M.C., Cartaxana P., Calado R., 2013, Effect of light intensity on post-fragmentation photobiological performance of the soft coral *Sinularia flexibilis*, *Aquaculture* 388-391, pp. 24-29. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.01.013>.
- [14] Chang T.-C., Mayfield A.B., Fan T.-Y., 2020, Culture systems influence the physiological performance of the soft coral *Sarcophyton glaucum*, *Scientific Reports* 10(1), pp. 20200.

- [15] Dautova T.N., Savinkin O.V., 2013, *Benthic fauna of the bay of Nha Trang: Southern Vietnam - Volume 3: Octocorallia: Alcyoniidae*. Moscow, KMK, 271 pp.
- [16] Dautova T.N., 2011, Biodiversity of soft corals alcyoniidae (cnidaria: octocorallia) and their taxonomy problem, *Coastal Marine Biodiversity and Bioresources of Vietnam and adjacent areas to the South China Sea*, pp. 28.
- [17] Tixier-Durivault A., 1958, *Révision de la famille des Alcyoniidae: les genres Sarcophytum et Lobophytum*, EJ Brill, Netherlands.
- [18] Ben H.X., Dautova T.N., 2010, Soft corals (Octocorallia: Alcyonacea) in Ly Son islands, the central of Vietnam, *Vietnam Journal of Marine Science and Technology* 10(4), pp. 39-49.
- [19] Verseveldt J., Benayahu Y., 1983, On two old and fourteen new species of Alcyonacea (Coelenterata, Octocorallia) from the Red Sea, *Zoologische Verhandelingen* 208(1), pp. 1-33.
- [20] Guest J., Baria M., Gomez E., Heyward A., Edwards A., 2014, Closing the circle: is it feasible to rehabilitate reefs with sexually propagated corals?, *Coral Reefs* 33(1), pp. 45-55.
- [21] Hoàng Xuân Bền, 2025, san hô tám ngón (Octocorallia haeckel, 1866) vùng biển phía nam Việt Nam, *Nhà xuất bản Khoa học Tự nhiên và Công nghệ*, pp. 210 tr.
- [22] Bayer F.M., 1981, Key to the genera of Octocorallia exclusive of Pennatulacea (Coelenterata: Anthozoa), with diagnosis of new taxa, *Proceedings of the biological society of Washington* 93(4), pp. 902-947.
- [23] Fabricius K., Alderslade P., 2001, *Soft corals and sea fans: a comprehensive guide to the tropical shallow water genera of the central-west Pacific, the Indian Ocean and the Red Sea*, Australian Institute of Marine Science: Townsville. ISBN 0-642-32210-4. VIII, 264 pp.
- [24] Aratake S., Tomura T., Saitoh S., Yokokura R., Kawanishi Y., Shinjo R., Reimer J.D., Tanaka J., Maekawa H., 2012, Soft coral *Sarcophyton* (Cnidaria: Anthozoa: Octocorallia) species diversity and chemotypes, *PLoS One* 7(1), pp. e30410.
- [25] McFadden C.S., Alderslade P., Van Ofwegen L.P., Johnsen H., Rusmevichientong A., 2006, Phylogenetic relationships within the tropical soft coral genera *Sarcophyton* and *Lobophytum* (Anthozoa, Octocorallia), *Invertebrate Biology* 125(4), pp. 288-305.
- [26] McFadden C.S., Van Ofwegen L.P., Quattrini A.M., 2022, Revisionary systematics of Octocorallia (Cnidaria: Anthozoa) guided by phylogenomics, *Bulletin of the Society of Systematic Biologists* 1(3).
- [27] McFadden C., Cordeiro R., Samimi-Namin K., Williams G., van Ofwegen L., 2025, World List of Octocorallia. *Sarcophyton* Lesson, 1834, *World Register of Marine Species*
<https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=205483> on the day 2025-02-18.
- [28] Verseveldt J., 1982, A revision of the genus *Sarcophyton* Lesson (Octocorallia, Alcyonacea), *Zoologische Verhandelingen* 192(1), pp. 1-91.

- [29] Grasshoff M., 2000, *The gorgonians of the Sinai coast and the Strait of Gubal, Red Sea (Coelenterata, Octocorallia)*, Senckenbergische Naturforschende Gesellschaft, USA.
- [30] Alderslade P., 2001, Six new genera and six new species of soft coral, and some proposed familial and subfamilial changes within the Alcyonacea (Coelenterata: Octocorallia), *Bulletin of the biological Society of Washington* 10, pp. 15-65.
- [31] Fabricius K.E., 1995, Slow population turnover in the soft coral genera *Sinularia* and *Sarcophyton* on mid-and outer-shelf reefs of the Great Barrier Reef, *Marine Ecology Progress Series* 126, pp. 145-152.
- [32] Almeida M.T.R., Moritz M.I.G., Capel K.C., Pérez C.D., Schenkel E.P., 2014, Chemical and biological aspects of octocorals from the Brazilian coast, *Revista Brasileira de Farmacognosia* 24(4), pp. 446-467.
- [33] Dar M.A., Mohamad T.A., El-Saman M.I., 2012, Geomorphic and geographic distributions of reef-building and soft coral communities in the inshore zone of the Red Sea, *Egyptian Journal of Aquatic Research* 38(2), pp. 105-117.
- [34] Benayahu Y., Jeng M.-S., Perkol-Finkel S., Dai C.-F., 2004, Soft corals (Octocorallia: Alcyonacea) from southern Taiwan: II. species diversity and distributional patterns, *ZOOLOGICAL STUDIES* 43(3), pp. 548-560.
- [35] Haverkort-Yeh R.D., McFadden C.S., Benayahu Y., Berumen M., Halász A., Toonen R.J., 2013, A taxonomic survey of Saudi Arabian Red Sea octocorals (Cnidaria: Alcyonacea), *Marine Biodiversity* 43, pp. 279-291.
- [36] Loya Y., Sakai K., Yamazato K., Nakano Y., Sambali H., Van Woesik R., 2001, Coral bleaching: the winners and the losers, *Ecology letters* 4(2), pp. 122-131.
- [37] Feussner K.-D., Waqa T., 2014, Five new species of *Sarcophyton* (Coelenterata: Octocorallia) from the Fiji Islands, *The South Pacific Journal of Natural and Applied Sciences* 31(1), pp. 1-26.
- [38] Rajendra S., Raghunathan C., 2024, New records of soft corals, genus *Sarcophyton* (Octocorallia: Malacalcyonacea: Sarcophytidae) from the Andaman and Nicobar Islands, India, *Biodiversity* 25(2), pp. 175-188.
- [39] Pérez C.D., de Moura Neves B., Cordeiro R.T., Williams G.C., Cairns S.D., 2016, Diversity and distribution of Octocorallia, *The Cnidaria, past, present and future: the world of Medusa and her sisters*, pp. 109-123.
- [40] McFadden C.S., Sánchez J.A., France S.C., 2010, Molecular phylogenetic insights into the evolution of Octocorallia: a review, *Integrative and Comparative Biology* 50(3), pp. 389-410.
- [41] Hoàng Xuân Bền, Thái Minh Quang, 2019, Nghiên cứu quần xã san hô mềm (Alcyonacea) và san hô sừng (Gorgonacea) ở khu bảo tồn biển Cù Lao Chàm, Quảng Nam [Biodiversity and characteristic of octocoral communities (Octocorallia: Alcyonacea and Gorgonacea) in Cu Lao Cham Marine Protected Area, Quang Nam province], *Journal of Marine Science and Technology* 19(4): 589-599.
- [42] Riegl B., Branch G.M., 1995, Effects of sediment on the energy budgets of four scleractinian (Bourne 1900) and five alcyonacean (Lamouroux 1816) corals, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 186(2), pp. 259-275.
- [43] Birrell C.L., McCook L.J., Willis B.L., 2005, Effects of algal turfs and sediment on coral settlement, *Marine Pollution Bulletin* 51(1-4), pp. 408-414.

- [44] Fabricius K.E., 2005, Effects of terrestrial runoff on the ecology of corals and coral reefs: review and synthesis, *Marine Pollution Bulletin* 50(2), pp. 125-146.
- [45] Benayahu Y., Loya Y., 1984, Substratum preferences and planulae settling of two red sea alcyonaceans: *Xenia macrospiculata* Gohar and *Parerythropodium fulvum fulvum* (Forskl), *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 83(3), pp. 249-260.
- [46] Chavanich S., Viyakarn V., Loyjiw T., Pattaratamrong P., Chankong A., 2009, Mass bleaching of soft coral, *Sarcophyton* spp. in Thailand and the role of temperature and salinity stress, *ICES Journal of Marine Science* 66(7), pp. 1515-1519. DOI:10.1093/icesjms/fsp048.
- [47] Lien L.Q., Linh T.M., Giang V.H., N.C.M., P.M.T., L.Q.T., Ninh Khac Ban, Minh. C.V., Dautova T.N., 2015, Phylogenetic variation of eleven soft corals (Anthozoa, Octocorallia) in Nha Trang bay of Vietnam, *International Journal* 3(8), pp. 1-11.
- [48] Fabricius K.K., De'ath G.A.; 1997, *The effects of flow, depth and slope on cover of soft coral taxa and growth forms on Davies Reef, Great Barrier Reef*, Proceedings of the 8th International Coral Reef Symposium, Panama, 24-29 June 1996-pages: 2: 1071-1076, Smithsonian Tropical Research Institute.
- [49] Benayahu Y., van Ofwegen L., 2009, New species of *Sarcophyton* and *Lobophytum* (Octocorallia: Alcyonacea) from Hong Kong, *Zoologische Mededelingen* 83(30), pp. 863-876.
- [50] Lieske E., Myers, R., 2004, Coral reef guide. Red Sea. p. 248. ISBN 9780007741731.
- [51] Khalesi M.K., Beeftink H., Wijffels R., 2007, Flow-dependent growth in the zooxanthellate soft coral *Sinularia flexibilis*, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 351(1-2), pp. 106-113.
- [52] Mohammed T.A., Ali A.-H.A., El-Komi M.M., El-Arab M.A.E., Shoukr F.A., 2016, Growth Rate Assessment of Alcyonacean *Sarcophyton glaucum* from Northern Hurghada, Red Sea, Egypt, *Natural Resources* 7(6), pp. 384-398.
- [53] Mohammed T., El-Komi M., Shoukr F., EL-ARAB M., 2017, Growth rate evaluation of the alcyonacean soft coral *Sinularia polydactyla* (Ehrenberg, 1834) at hurghada, northern red Sea, Egypt, *Growth* 7(22).
- [54] Pratchett M.S., Anderson K.D., Hoogenboom M.O., Widman E., Baird A.H., Pandolfi J.M., Edmunds P.J., Lough J.M., 2015, Spatial, temporal and taxonomic variation in coral growth - implications for the structure and function of coral reef ecosystems, *Oceanography and Marine Biology: An annual review* 53, pp. 215-295.
- [55] Anderson K.D., Heron S.F., Pratchett M.S., 2015, Species-specific declines in the linear extension of branching corals at a subtropical reef, Lord Howe Island, *Coral Reefs* 34, pp. 479-490.
- [56] Oliver J.K., 1984, Intra-colony variation in the growth of *Acropora formosa*: extension rates and skeletal structure of white (zooxanthellae-free) and brown-tipped branches, *Coral Reefs* 3, pp. 139-147.
- [57] Cooper T.F., O'Leary R.A., Lough J.M., 2012, Growth of Western Australian corals in the Anthropocene, *Science* 335(6068), pp. 593-596.

- [58] Holcomb M., Cohen A.L., McCorkle D.C., 2013, An evaluation of staining techniques for marking daily growth in scleractinian corals, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 440, pp. 126-131.
- [59] Harriott V., 1999, Coral growth in subtropical eastern Australia, *Coral Reefs* 18, pp. 281-291.
- [60] Bednarz V.N., Cardini U., van Hoytema N., Al-Rshaidat M.M., Wild C., 2015, Seasonal variation in dinitrogen fixation and oxygen fluxes associated with two dominant zooxanthellate soft corals from the northern Red Sea, *Marine Ecology Progress Series* 519, pp. 141-152.
- [61] Fabricius K.E., Dommissie M., 2000, Depletion of suspended particulate matter over coastal reef communities dominated by zooxanthellate soft corals, *Marine Ecology Progress Series* 196, pp. 157-167.
- [62] Lange I.D., Perry C.T., 2020, A quick, easy and non-invasive method to quantify coral growth rates using photogrammetry and 3D model comparisons, *Methods in Ecology and Evolution* 11(6), pp. 714-726.
- [63] Wiedenmann J., D'Angelo C., Smith E.G., Hunt A.N., Legiret F.-E., Postle A.D., Achterberg E.P., 2013, Nutrient enrichment can increase the susceptibility of reef corals to bleaching, *Nature Climate Change* 3(2), pp. 160-164.
- [64] Helber S.B., Winters G., Stuhr M., Belshe E., Bröhl S., Schmid M., Reuter H., Teichberg M., 2021, Nutrient history affects the response and resilience of the tropical seagrass *Halophila stipulacea* to further enrichment in its native habitat, *Frontiers in Plant Science* 12, pp. 678341.
- [65] El-Khaled Y.C., Kler Lago A., Mezger S.D., Wild C., 2022, Comparative evaluation of free web tools ImageJ and Photopea for the surface area quantification of planar substrates and organisms, *Diversity* 14(4), pp. 272.
- [66] Abràmoff M.D., Magalhães P.J., Ram S.J., 2004, Image processing with ImageJ, *Biophotonics international* 11(7), pp. 36-42.
- [67] Bythell J., Pan P., Lee J., 2001, Three-dimensional morphometric measurements of reef corals using underwater photogrammetry techniques, *Coral Reefs* 20, pp. 193-199.
- [68] Bennecke S., Kwasnitschka T., Metaxas A., Dullo W.-C., 2016, In situ growth rates of deep-water octocorals determined from 3D photogrammetric reconstructions, *Coral Reefs* 35, pp. 1227-1239.
- [69] Dang Tran Tu Tram, Dao Thi Hong Ngoc, Nguyen Thi Nguyet Hue, Ho Son Lam, Dinh Truong An, Doan Van Than, Nguyen Truong Tan Tai, Do Hai Dang, Phan Kim Hoang, Tran Cong Thinh, 2023, Effect of fragment size on growth and survival rate of soft coral *Sarcophyton* sp., *Vietnam Journal of Marine Science and Technology* 23(4), pp. 411-419.
- [70] Harrison P.L., Wallace C.C., 1990, Reproduction, dispersal and recruitment of scleractinian corals, *Coral reefs*, Elsevier, p. 133-207.
- [71] Lasker H.; 1988, *The incidence and rate of vegetative propagation among coral reef alcyonarians*, Proc 6th Int Coral Reef Symp Townsville, p. 763-768.
- [72] Benayahu Y., Loya Y., 1985, Settlement and recruitment of a soft coral: why is *Xenia macrospiculata* a successful colonizer?, *Bulletin of Marine Science* 36(1), pp. 177-188.

- [73] Hwang S.-J., Song J.-I., 2007, Reproductive biology and larval development of the temperate soft coral *Dendronephthya gigantea* (Alcyonacea: Nephtheidae), *Marine Biology* 152, pp. 273-284.
- [74] Benayahu Y., Weil D., Kleinman M., 1990, Radiation of broadcasting and brooding patterns in coral reef alcyonaceans, *Advances in invertebrate reproduction* 5, pp. 323-328.
- [75] Benayahu Y., Loya Y., 1986, Sexual reproduction of a soft coral: synchronous and brief annual spawning of *Sarcophyton glaucum* (Quoy & Gaimard, 1833), *The Biological Bulletin* 170(1), pp. 32-42.
- [76] Schleyer M.H., Kruger A., Benayahu Y., 2004, Reproduction and the unusual condition of hermaphroditism in *Sarcophyton glaucum* (Octocorallia, Alcyoniidae) in KwaZulu-Natal, South Africa, *Hydrobiologia* 530, pp. 399-409.
- [77] Achituv Y., Benayahu Y., 1990, Polyp dimorphism and functional, sequential hermaphroditism in the soft coral *Heteroxenia fuscescens* (Octocorallia), *Marine Ecology Progress Series*, pp. 263-269.
- [78] Hellström M., Kavanagh K.D., Benzie J.A., 2010, Multiple spawning events and sexual reproduction in the octocoral *Sarcophyton elegans* (Cnidaria: Alcyonacea) on Lizard Island, Great Barrier Reef, *Marine Biology* 157, pp. 383-392.
- [79] Lasker H.R., 2006, High fertilization success in a surface-brooding Caribbean gorgonian, *The Biological Bulletin* 210(1), pp. 10-17.
- [80] Babcock R., Bull G., Harrison P.L., Heyward A., Oliver J., Wallace C., Willis B., 1986, Synchronous spawnings of 105 scleractinian coral species on the Great Barrier Reef, *Marine Biology* 90, pp. 379-394.
- [81] Benayahu Y., Loya Y., 1983, Surface brooding in the Red Sea soft coral *Parerythropodium fulvum fulvum* (Forskal, 1775), *The Biological Bulletin* 165(2), pp. 353-369.
- [82] Brazeau D.A., Lasker H.R., 1989, The reproductive cycle and spawning in a Caribbean gorgonian, *The Biological Bulletin* 176(1), pp. 1-7.
- [83] McFadden C.S., Donahue R., Hadland B.K., Weston R., 2001, A molecular phylogenetic analysis of reproductive trait evolution in the soft coral genus *Alcyonium*, *Evolution* 55(1), pp. 54-67.
- [84] Fautin D.G., Westfall J.A., Cartwright P., Daly M., Wyttenbach C.R., 2007, Coelenterate Biology 2003: trends in research on Cnidaria and Ctenophora, *Hydrobiologia*, pp. 530/531:xi-xiii.
- [85] Cordes E., Nybakken J., VanDykhuisen G., 2001, Reproduction and growth of *Anthomastus ritteri* (octocorallia: Alcyonacea) from Monterey Bay, California, USA, *Marine Biology* 138, pp. 491-501.
- [86] Simpson A., 2009, Reproduction in octocorals (Subclass Octocorallia): a review of published literature, *Deep-Sea Corals Portal*.
- [87] Bayer F.M., 1973, Colonial organization in octocorals, In: Boardman C, Ive O, editors, *Animal colonies*, Dowden, Hutchinson & Koss, Inc., p. 69-93.
- [88] Hartnoll R., 1975, The annual cycle of *Alcyonium digitatum*, *Estuarine and Coastal Marine Science* 3(1), pp. 71-78.

- [89] Yamazato K., Sato M., Yamashiro H.; 1981, *Reproductive biology of an alcyonacean coral, Lobophytum crassum* Marenzeller, Proc 4th int coral Reef Symp, p. 671-678.
- [90] Ashworth J., 1899, The Structure of *Xenia Hicksoni*, nov. sp., with some Observations on *Heteroxenia Elizabethæ*, Kölliker, *Journal of Cell Science* 2(167), pp. 245-304.
- [91] Lasker H., Kim K., 1997, Larval development and settlement behavior of the gorgonian coral *Plexaura kuna*, *Oceanographic Literature Review* 6(44), pp. 610.
- [92] Kapela W., Lasker H., 1999, Size-dependent reproduction in the Caribbean gorgonian *Pseudoplexaura porosa*, *Marine Biology* 135, pp. 107-114.
- [93] Gutiérrez-Rodríguez C., Lasker H.R., 2004, Reproductive biology, development, and planula behavior in the Caribbean gorgonian *Pseudopterogorgia elisabethæ*, *Invertebrate Biology* 123(1), pp. 54-67.
- [94] Richmond R.H., Hunter C.L., 1990, Reproduction and recruitment of corals: comparisons among the Caribbean, the tropical Pacific, and the Red Sea, *Marine ecology progress series* Oldendorf 60(1), pp. 185-203.
- [95] Orejas C., López-González P.J., Gili J.M., Teixidó N., Gutt J., Arntz W., 2002, Distribution and reproductive ecology of the Antarctic octocoral *Ainigmaptilon antarcticum* in the Weddell Sea, *Marine Ecology Progress Series* 231, pp. 101-114.
- [96] Levitan D.R., 2000, Optimal egg size in marine invertebrates: theory and phylogenetic analysis of the critical relationship between egg size and development time in echinoids, *The American Naturalist* 156(2), pp. 175-192.
- [97] Sammarco P.W., Strychar K.B., 2013, Responses to high seawater temperatures in zooxanthellate octocorals, *PloS One* 8(2), pp. e54989.
- [98] Rodrigues L.J., Grottoli A.G., 2007, Energy reserves and metabolism as indicators of coral recovery from bleaching, *Limnology and oceanography* 52(5), pp. 1874-1882.
- [99] Muscatine L., R. McCloskey L., E. Marian R., 1981, Estimating the daily contribution of carbon from zooxanthellae to coral animal respiration 1, *Limnology and Oceanography* 26(4), pp. 601-611.
- [100] Soong K., Chen T.-a., 2003, Coral Transplantation: Regeneration and Growth of *Acropora* Fragments in a Nursery, *Restoration Ecology* 11(1), pp. 62-71. DOI:<https://doi.org/10.1046/j.1526-100X.2003.00100.x>.
- [101] Ellis S., Ellis E.; 2002, *Recent advances in lagoon-based farming practices for eight species of commercially valuable hard and soft corals*, Center for Tropical and Subtropical Aquaculture, Publication No. 147.
- [102] McDonnell G., Russell A.D., 1999, Antiseptics and disinfectants: activity, action, and resistance, *Clin Microbiol Rev* 12(1), pp. 147-79. DOI:10.1128/cmr.12.1.147.
- [103] Prada C., Schizas N.V., Yoshioka P.M., 2008, Phenotypic plasticity or speciation? A case from a clonal marine organism, *BMC Evolutionary Biology* 8, pp. 1-19.
- [104] Gottardi W., 2015, Iodine as Disinfectant, *Iodine Chemistry and Applications*, p. 375-410.

- [105] Calfo A., 2009, Book of Coral Propagation: Reef Gardening for Aquarists. Volume 1. 2nd Edition. Reading Trees Publications. Monroeville, PA. 416p.
- [106] Bartlett T.C.; 2013, *Small scale experimental systems for coral research: considerations, planning, and recommendations*, NOAA technical memorandum NOS NCCOS; 165, National Marine Fisheries Service, National Ocean Service, National Centers for Coastal Ocean Science, National Oceanic Atmospheric Administration Coral Reef Conservation, United States.
- [107] Eaton K.R., Clark A.S., Curtis K., Favero M., Hanna Holloway N., Ewen K., Muller E.M., 2022, A highly effective therapeutic ointment for treating corals with black band disease, *PLoS One* 17(10), pp. e0276902. DOI:10.1371/journal.pone.0276902.
- [108] Miller C.V., May L.A., Moffitt Z.J., Woodley C.M., 2020, Exploratory treatments for stony coral tissue loss disease: pillar coral (*Dendrogyra cylindrus*). NOAA Technical Memorandum NOS NCCOS 245 and CRCP 37. Charleston, SC. 78 pp.
- [109] Klings J.G., Craig Z.W., Villoch Diaz-Mauriño M., Merck D.E., Brooks S.N., Manfroy A.A., Clark A.S., 2023, Common aquarium antiseptics do not cause long-term shifts in coral microbiota but may impact coral growth rates, *Frontiers in Marine Science* 10. DOI:10.3389/fmars.2023.1281691.
- [110] Okubo N., Motokawa T., Omori M., 2007, When fragmented coral spawn? Effect of size and timing on survivorship and fecundity of fragmentation in *Acropora formosa*, *Marine Biology* 151, pp. 353-363.
- [111] Lirman D., Thyberg T., Herlan J., Hill C., Young-Lahiff C., Schopmeyer S., Huntington B., Santos R., Drury C., 2010, Propagation of the threatened staghorn coral *Acropora cervicornis*: methods to minimize the impacts of fragment collection and maximize production, *Coral Reefs* 29, pp. 729-735.
- [112] Osinga R., Schutter M., Griffioen B., Wijffels R.H., Verreth J.A., Shafir S., Henard S., Taruffi M., Gili C., Lavorano S., 2011, The biology and economics of coral growth, *Marine biotechnology* 13, pp. 658-671.
- [113] Okubo N., Taniguchi H., Motokawa T., 2005, Successful methods for transplanting fragments of *Acropora formosa* and *Acropora hyacinthus*, *Coral Reefs* 24, pp. 333-342.
- [114] Larkin M.F., Davis T.R., Harasti D., Benkendorff K., Smith S.D., 2023, Substantial advancement in aquaria rearing methods to assist recovery of an Endangered soft coral, *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 33(1), pp. 1-14.
- [115] Delbeek J., Sprung J., 1994, *The Reef Aquarium*, Ricordea Pub, USA.
- [116] Bruckner A.W., 2000, New threat to coral reefs: trade in coral organisms, *Issues in Science and Technology* 17(1), pp. 63-68.
- [117] Shafir S., Abady S., Rinkevich B., 2009, Improved sustainable maintenance for mid-water coral nursery by the application of an anti-fouling agent, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 368(2), pp. 124-128.
- [118] Ferrier-Pagès C., Allemand D., Gattuso J.P., Jaubert J., Rassoulzadegan F., 1998, Microheterotrophy in the zooxanthellate coral *Stylophora pistillata*: effects of light and ciliate density, *Limnology and Oceanography* 43(7), pp. 1639-1648.

- [119] Huffmyer A.S., Johnson C.J., Epps A.M., Lemus J.D., Gates R.D., 2021, Feeding and thermal conditioning enhance coral temperature tolerance in juvenile *Pocillopora acuta*, *Royal Society Open Science* 8(5), pp. 210644.
- [120] Roman M., Furnas M., Mullin M., 1990, Zooplankton abundance and grazing at Davies reef, great barrier reef, Australia, *Marine Biology* 105(1), pp. 73-82.
- [121] Sebens K., Grace S., Helmuth B., Maney Jr E., Miles J., 1998, Water flow and prey capture by three scleractinian corals, *Madracis mirabilis*, *Montastrea cavernosa* and *Porites porites*, in a field enclosure, *Marine Biology* 131(2), pp. 347-360.
- [122] Connolly S.R., Lopez-Yglesias M., Anthony K.R., 2012, Food availability promotes rapid recovery from thermal stress in a scleractinian coral, *Coral reefs* 31(4), pp. 951-960.
- [123] Kherraz-Chemlal D., Boukhatem T., Khelil F., Sahnouni F., Maatalah A., Boutiba Z., 2017, Determination of biological characteristics of *Artemia salina* (Crustacea: Anostraca) population from saline Bethioua (Oran, Algeria), *Int J Biosci* 10(1), pp. 117-125.
- [124] Fan T.-Y., Huang Y.-L., Mayfield A.; 2024, *Effects of Food Concentration and Light Intensity on the Growth of a Model Coral*, Oceans, MDPI, p. 150-165.
- [125] Zaidi P.N., Mustaffa F.A.A., Hong T., 2023, Influence of different feeding regimes on the survival and growth of *Acropora digitifera* in husbandry, *Journal of Sustainability Science and Management* 18(1), pp. 118-132.
- [126] Lubzens E., 1987, Raising rotifers for use in aquaculture, *Hydrobiologia* 147(1), pp. 245-255.
- [127] Rocha R.J., Calado R., Cartaxana P., Furtado J., Serôdio J., 2013, Photobiology and growth of leather coral *Sarcophyton* cf. *glaucum* fragments stocked under low light in a recirculated system, *Aquaculture* 414, pp. 235-242.
- [128] Dong R., Li W., Wang P., Dong D., Song X., Li X., 2023, Effects of light intensity and photoperiod on the cultivation of the soft coral *Sarcophyton trocheliophorum*, *Marine Environmental Research* 184, pp. 105856.
- [129] Tuan V.S., Yet N.H., Alino P.; 1997, *Coral and Coral reefs in the North of Spratly Archipelago-the Results of RP-VN JOMSRE-SCS 1996*, Proc Sci Conf RP-VN JOMSRE-SCS, p. 87-101.
- [130] Võ Sĩ Tuấn, Nguyễn Huy Yết, Nguyễn Văn Long, 2006, *Hệ sinh thái rạn san hô biển Việt Nam [Coral reefs of Viet Nam]*, Nhà Xuất Bản Khoa Học và Kỹ Thuật, Việt Nam.
- [131] Hoàng Xuân Bền, Hứa Thái Tuyền, Phan Kim Hoàng, Nguyễn Văn Long, Võ Sĩ Tuấn, 2015, Hiện trạng, xu thế và khả năng phục hồi đa dạng sinh học rạn san hô ở vịnh Nha Trang. *Tuyển Tập Nghiên Cứu Biển*, tập 21, số 2: 176-187.
- [132] Thủy Nguyễn Thị Thanh, 2012, Một số đặc điểm sinh học của san hô trong điều kiện tự nhiên và nuôi giữ, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển* 4, pp. 42-51.
- [133] Vũ Anh Tú, 2015, Nghiên cứu thành phần hóa học và khảo sát hoạt tính sinh học san hô mềm *Sinularia dissecta* ở Việt Nam. Đại học Thái Nguyên., pp. 99 trang.

- [134] Phạm Thế Tùng, 2016, *Nghiên cứu thành phần hóa học và hoạt tính sinh học của hai loài san hô mềm Sarcophyton pauciplicatum và Sinularia crucia ở Việt Nam*, Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội.
- [135] Nguyen Thi Huong, Ninh Thi Ngoc, Tran Thi Hong Hanh, Tran Hong Quang, Nguyen Xuan Cuong, Nguyen Hoai Nam, Chau Van Minh, 2019, Chemical constituents from the soft coral *Sinularia digitata*, *Vietnam Journal of Chemistry* 57(5), pp. 636-640.
- [136] Phạm Thị Miên, Nguyễn Ngọc Thắng, Nguyễn Kim Hạnh, 2018, Phát hiện *Bacillus* sp. VK2 phân lập từ *Acropora hyacinthus* ở Ninh Thuận kháng vi khuẩn gây bệnh “white pox” cho san hô *Acropora palmata*., *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển* 18(2), pp. 197-204.
- [137] Đào Thị Hồng Ngọc, Đặng Trần Tú Trâm, Hồ Sơn Lâm, Nguyễn Thị Nguyệt Huệ, Đinh Trường An, Nguyễn Trương Tấn Tài, 2022, Ảnh hưởng của loại giá thể đến sinh sản vô tính bằng phương pháp tách mảnh san hô *Sinularia* sp. và *Cladiella* sp. trong hệ thống tuần hoàn, *Hội Nghị Biển Đông 2022, Nha Trang, 13-14/09/2022*, pp. 351-360.
- [138] English S., Wilkinson C., Baker V., 1994, *Survey manual for tropical marine resources, Australia institute of marine science townsville Australia, Townsville, Australia*.
- [139] Bayer F.M., Grasshoff M., Verseveldt J., 1983, *Illustrated trilingual glossary of morphological and anatomical terms applied to Octocorallia*, Brill Archive.
- [140] Parson T., Maita Y., Lalli C.; 1984, *A Manual of Chemical and Biological Methods for Analysis Seawater*, Pergamon Press.
- [141] Fan T.Y., Chou Y.H., Dai C.F., 2005, Sexual reproduction of the alcyonacean coral *Lobophytum pauciflorum* in southern Taiwan, *Bulletin of Marine Science* 76(1), pp. 143-154.
- [142] Fowler J., Cohen L., Jarvis P., 2013, *Practical statistics for field biology*, John Wiley & Sons, UK.
- [143] Vicentuan K., 2009, *Effects of fragmentation and transplantation on reproduction in Acropora muricata and Hydnothophora rigida*, University of the Philippines, Philippines.
- [144] Glynn P., Gassman N., Eakin C., Cortes J., Smith D., Guzman H., 1991, Reef coral reproduction in the eastern Pacific: Costa Rica, Panama, and Galapagos Islands (Ecuador) I. Pocilloporidae, *Marine Biology* 109, pp. 355-368.
- [145] Gordon A.K., 1999, *The effect of diet and age-at-weaning on growth and survival of clownfish Amphiprion percula (Pisces: Pomacentridae)*, Rhodes University Grahamstown, South Africa.
- [146] Cunha L., 2006, Propagation and nutrition of the soft coral *Sinularia* sp., *Science in Shellfish Biology, Fisheries and Culture*, University of Wales.
- [147] Pupier C.A., Bednarz V.N., Ferrier-Pagès C., 2018, Studies with soft corals—recommendations on sample processing and normalization metrics, *Frontiers in Marine Science* 5, pp. 348.
- [148] Steinberg R.K., Johnston E.L., Bednarek T., Dafforn K.A., Ainsworth T.D., 2021, Its What’s on the Inside That Counts: An Effective, Efficient, and Streamlined Method for Quantification of Octocoral Symbiodiniaceae and Chlorophyll, *Frontiers in Marine Science* 8, pp. 710730.

- [149] Jeffrey S.W., Humphrey G.F., 1975, New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton, *Biochemie und Physiologie der Pflanzen* 167(2), pp. 191-194. DOI:[https://doi.org/10.1016/S0015-3796\(17\)30778-3](https://doi.org/10.1016/S0015-3796(17)30778-3).
- [150] Dautova T.N., Savinkin O.V., 2013, *Octocorallia: Alcyoniidae. Benthic fauna of the Bay of Nha Trang, Southern Vietnam*, KMK Scientific Press, Moscow.
- [151] Lê Thị Vinh, Dương Trọng Kiểm, Nguyễn Hồng Thu, Phạm Hữu Tâm, Phạm Hồng Ngọc, Lê Hùng Phú, Võ Trần Tuấn Linh; 2014, *Chất lượng môi trường tại các rạn san hô trong vịnh Nha Trang [Environmental quality at coral reefs in Nha Trang bay]*, Kỷ yếu Hội nghị Quốc tế “Biển Đông 2012”, Nha Trang, 12-14/9/2012, p. 254-262.
- [152] Brito T., Tyler P., Clarke A., 1997, Reproductive biology of the Antarctic octocoral *Thouarella variabilis* Wright & Studer, 1889. In: Hartog, J.C. den, (ed.) *Proceedings of the 6th International Conference on Coelenterate Biology*, 1995. Leiden, National Museum of Natural History, 63-69.
- [153] Phạm Thị Kha, Cao Thị Thu Trang, Nguyễn Văn Quân, Trần Mạnh Hà, Lê Văn Nam, 2021, Diễn biến chất lượng nước vịnh Nha Trang giai đoạn 2017 – 2020, *Kỷ yếu hội thảo Khoa học Địa lí nhân văn với việc thực hiện chiến lược phát triển bền vững kinh tế biển Nhà Xuất Bản Khoa Học Xã Hội*.
- [154] Feussner K.-D., Waqa T., 2013, Five new species of Sarcophyton (Coelenterata: Octocorallia) from the Fiji Islands, *The South Pacific Journal of Natural and Applied Sciences* 31(1), pp. 1-26.
- [155] Kleypas J.A., McManus J.W., Meñez L.A., 1999, Environmental limits to coral reef development: where do we draw the line?, *American zoologist* 39(1), pp. 146-159.
- [156] Guan Y., Hohn S., Merico A., 2015, Suitable environmental ranges for potential coral reef habitats in the tropical ocean, *PloS one* 10(6), pp. e0128831.
- [157] Mandelberg-Aharon Y., Benayahu Y., 2015, Reproductive features of the Red Sea octocoral *Sarcophyton auritum* Verseveldt & Benayahu, 1978 are uniform within generic boundaries across wide biogeographical regions, *Hydrobiologia* 759, pp. 119-132.
- [158] Chou Y., 2002, *Sexual reproduction of three alcyonacean species in southern Taiwan*, MSc thesis, National Taiwan University, Taiwan.
- [159] Babcock R.C., 1986, *A comparison of the population ecology of reef flat corals of the family Faviidae (Goniastrea, Platygyra)*, James Cook University.
- [160] Chia F., Crawford B., 1973, Some observations on gametogenesis, larval development and substratum selection of the sea pen *Ptilosarcus guernei*, *Marine Biology* 23, pp. 73-82.
- [161] Sweet M., Jones R., Bythell J., 2012, Coral diseases in aquaria and in nature, *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 92(4), pp. 791-801. DOI:10.1017/S0025315411001688.
- [162] Barneah O., Malik Z., Benayahu Y., 2002, Attachment to the substrate by soft coral fragments: desmocyte development, structure, and function, *Invertebrate Biology* 121(2), pp. 81-90.
- [163] Guest J.R., Dizon R.M., Edwards A.J., Franco C., Gomez E.D., 2011, How Quickly do Fragments of Coral “Self-Attach” after Transplantation?,

- Restoration Ecology* 19(2), pp. 234-242. DOI:<https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2009.00562.x>.
- [164] Varghese M., Thomas V., Joshi K.K., Ignatius B., Kavungal V., Naomi T., Manisseri M., George R., 2012, Culture of the soft coral, *Lobophytum pauciflorum* (Family: Alcyoniidae) under captive conditions at Kochi, India.
- [165] Mendes C., Fernandes C., Moreira A., Chambel J., Maranhão P., Leandro S., 2017, Effect of LEDs Light Spectrum on Success of Fragmentation and Growth of Leather Coral *Sarcophyton* spp, *International Journal of Aquaculture*. DOI:10.5376/ija.2017.07.0008.
- [166] Subhan B., Saputra D.A., Arafat D., Madduppa H., Ayu I.P., Ervinia A., Akbar N., Soedharma D., Revany R., Lestari D.F., Hidayat S.A., Wiyanto D.B., 2022, In situ transplantation of soft coral *Sarcophyton* sp. in concrete pool, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 1033(1), pp. 012033. DOI:10.1088/1755-1315/1033/1/012033.
- [167] Cátia F., Catarina M., André M., Chambel J., Rui R., Leandro S., Pedrosa R.; 2014, *LEDs light spectrum effect on the success of fragmentation and growth of the leather coral Sarcophyton spp*, *Frontiers in Marine Science Conference Abstract: International Meeting on Marine Research 2014*. DOI:10.3389/conf.FMARS.2014.02.00137.
- [168] Harriott V., Fisk D., 1989, Coral transplantation as a reef management option, *Proceedings of the Sixth International Coral Reef Symposium, Townsville 2*, pp. 375-379.
- [169] Travesso M., Missionário M., Cruz S., Calado R., Madeira D., 2023, Combined effect of marine heatwaves and light intensity on the cellular stress response and photophysiology of the leather coral *Sarcophyton* cf. *glaucum*, *Science of The Total Environment* 861, pp. 160460. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160460>.
- [170] Ladrière O., Compère P., Decloux N., Vandewalle P., Poulicek M., 2008, Morphological alterations of zooxanthellae in bleached cnidarian hosts, *Cahiers de Biologie Marine* 49(3), pp. 215-227.
- [171] Iwamoto K., Shiraiwa Y., 2012, Characterization of Intracellular Iodine Accumulation by Iodine-Tolerant Microalgae, *Procedia Environmental Sciences* 15, pp. 34-42. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.05.007>.
- [172] Imai I., Hatano M., Naito K., 2004, Development of a chemically defined artificial medium for marine red tide-causing raphidophycean flagellates, *Plankton Biology and Ecology* 51, pp. 95-102.
- [173] Plass-Johnson J., Cardini U., van Hoytema N., Bayraktarov E., Burghardt I., Naumann M., Wild C., 2015, Coral Bleaching, p. 117-146.
- [174] Dunn S.R., Bythell J.C., Le Tissier M.D.A., Burnett W.J., Thomason J.C., 2002, Programmed cell death and cell necrosis activity during hyperthermic stress-induced bleaching of the symbiotic sea anemone *Aiptasia* sp, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 272(1), pp. 29-53. DOI:[https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(02\)00036-9](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(02)00036-9).
- [175] Drosou A., Falabella A., Kirsner R., 2003, Antiseptics on Wounds: An Area of Controversy, *Wounds* 15, pp. 149-166.

- [176] Chu T.-W., Cheng C.-M., Cheng Y.-R., Dong C.-D., Chuang C.-H., Pan C.-H., Sun W.-T., Ding D.-S., 2022, Evaluation of Clove Extract for Drug Therapy of Ciliate Infection in Coral (*Goniopora columna*), *Biology* 11(2), pp. 280.
- [177] Xu W., Ahmed W., Mahmood M., Li W., Mehmood S., 2023, Physiological and biochemical responses of soft coral *Sarcophyton trocheliophorum* to doxycycline hydrochloride exposure, *Scientific Reports* 13(1), pp. 17665. DOI:10.1038/s41598-023-44383-1.
- [178] Lam H.S., Hue N.-T.N., Tram D.-T.T., Dang D.-H., Ben H.-X., Ha D.-V., Hoang D.-H., 2025, Interactive effects of Lugol concentrations and soaking durations on physiology of fragment of soft coral, *Sarcophyton serenei* (Tixier-Durivault, 1958), *Regional Studies in Marine Science* 83, pp. 104078.
- [179] Porter J.W., 1976, Autotrophy, heterotrophy, and resource partitioning in Caribbean reef-building corals, *The American Naturalist* 110(975), pp. 731-742.
- [180] Sebens K., Vandersall K., Savina L., Graham K., 1996, Zooplankton capture by two scleractinian corals, *Madracis mirabilis* and *Montastrea cavernosa*, in a field enclosure, *Marine Biology* 127(2), pp. 303-317.
- [181] Lam H.S., Nguyet H.N.T., Hong N.D.T., Tu T.D.T., Nhat N.N.C., Thai A.H., Thi H.H., Minh Q.T., Xuan B.H., Viet H.D., 2025, Morphological characteristics of soft coral *Sarcophyton serenei* (Tixier-Durivault, 1958) in Nha Trang Bay, *Vietnam Journal of Marine Science and Technology* 25(3), pp. 297-309.
- [182] Lewis J.B., 1982, Feeding behaviour and feeding ecology of the Octocorallia (Coelenterata: Anthozoa), *Journal of Zoology* 196(3), pp. 371-384.
- [183] Hoegh-Guldberg O., Smith G.J., 1989, Influence of the population density of zooxanthellae and supply of ammonium on the biomass and metabolic characteristics of the reef corals *Seriatopora hystrix* and *Stylophora pistillata*, *Marine Ecology Progress Series* 57, pp. 173-186.
- [184] Anthony K., Hoegh-Guldberg O., 2003, Variation in coral photosynthesis, respiration and growth characteristics in contrasting light microhabitats: an analogue to plants in forest gaps and understoreys?, *Functional Ecology*, pp. 246-259.
- [185] Schoepf V., Grottoli A.G., Levas S.J., Aschaffenburg M.D., Baumann J.H., Matsui Y., Warner M.E., 2015, Annual coral bleaching and the long-term recovery capacity of coral, *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 282(1819), pp. 20151887.
- [186] Titlyanov E., Bil' K., Fomina I., Titlyanova T., Leletkin V., Eden N., Malkin A., Dubinsky Z., 2000, Effects of dissolved ammonium addition and host feeding with *Artemia salina* on photoacclimation of the hermatypic coral *Stylophora pistillata*, *Marine Biology* 137(3), pp. 463-472.
- [187] Muscatine L., Grossman D., Doino J., 1991, Release of symbiotic algae by tropical sea anemones and corals after cold shock, *Marine Ecology Progress Series* 77, pp. 233-243.
- [188] Wijgerde T., Henkemans P., Osinga R., 2012, Effects of irradiance and light spectrum on growth of the scleractinian coral *Galaxea fascicularis*—Applicability of LEP and LED lighting to coral aquaculture, *Aquaculture* 344, pp. 188-193.

- [189] Leal M.C., Ferrier-Pagès C., Petersen D., Osinga R., 2016, Coral aquaculture: applying scientific knowledge to ex situ production, *Reviews in Aquaculture* 8(2), pp. 136-153.
- [190] Harriott V., Fisk D.; 1988, *Coral transplantation as a reef management option*, Proceedings of the 6th international coral reef symposium, p. 375-379.
- [191] Schutter M., van der Ven R.M., Janse M., Verreth J.A., Wijffels R.H., Osinga R., 2012, Light intensity, photoperiod duration, daily light flux and coral growth of *Galaxea fascicularis* in an aquarium setting: a matter of photons?, *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 92(4), pp. 703-712.
- [192] Palmer C.V., Modi C.K., Mydlarz L.D., 2009, Coral fluorescent proteins as antioxidants, *PloS one* 4(10), pp. e7298.
- [193] Dos Santos R.W., Schmidt É.C., de L Felix M.R., Polo L.K., Kreusch M., Pereira D.T., Costa G.B., Simioni C., Chow F., Ramlov F., 2014, Bioabsorption of cadmium, copper and lead by the red macroalga *Gelidium floridanum*: physiological responses and ultrastructure features, *Ecotoxicology and Environmental Safety* 105, pp. 80-89.
- [194] Salih A., Larkum A., Cox G., Kühl M., Hoegh-Guldberg O., 2000, Fluorescent pigments in corals are photoprotective, *Nature* 408(6814), pp. 850-853.
- [195] Oswald F., Schmitt F., Leutenegger A., Ivanchenko S., D'Angelo C., Salih A., Maslakova S., Bulina M., Schirmbeck R., Nienhaus G., 2007, Contributions of host and symbiont pigments to the coloration of reef corals, *The FEBS journal* 274(4), pp. 1102-1122.
- [196] Kojis B.L., Quinn N.J., 1984, Seasonal and depth variation in fecundity of *Acropora palifera* at two reefs in Papua New Guinea, *Coral reefs* 3(3), pp. 165-172.
- [197] Colombo-Pallotta M., Rodríguez-Román A., Iglesias-Prieto R., 2010, Calcification in bleached and unbleached *Montastraea faveolata*: evaluating the role of oxygen and glycerol, *Coral Reefs* 29(4), pp. 899-907.
- [198] Roth M.S., 2010, *Coral fluorescence and symbiosis: Photoacclimation, thermal shock, life history changes, and implications for reef monitoring*, University of California, San Diego, USA.
- [199] Ulstrup K., Hill R., Van Oppen M., Larkum A., Ralph P., 2008, Seasonal variation in the photo-physiology of homogeneous and heterogeneous *Symbiodinium* consortia in two scleractinian corals, *Marine Ecology Progress Series* 361, pp. 139-150.
- [200] Fitt W.K., McFarland F., Warner M.E., Chilcoat G.C., 2000, Seasonal patterns of tissue biomass and densities of symbiotic dinoflagellates in reef corals and relation to coral bleaching, *Limnology and Oceanography* 45(3), pp. 677-685.
- [201] Allemand D., Tambutté É., Zoccola D., Tambutté S., 2010, Coral calcification, cells to reefs, *Coral reefs: an ecosystem in transition*, pp. 119-150.
- [202] Tambutté S., Holcomb M., Ferrier-Pagès C., Reynaud S., Tambutté É., Zoccola D., Allemand D., 2011, Coral biomineralization: From the gene to the environment, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 408(1-2), pp. 58-78.
- [203] Ibrahim M.A., Abdelrahman A.H., Atia M.A., Mohamed T.A., Moustafa M.F., Hakami A.R., Khalifa S.A., Alhumaydhi F.A., Alrumaihi F., Abidi S.H., 2021, Blue biotechnology: computational screening of *Sarcophyton cembranoid*

- diterpenes for SARS-CoV-2 main protease inhibition, *Marine Drugs* 19(7), pp. 391.
- [204] Huang T.-Y., Huang C.-Y., Chao C.-H., Lin C.-C., Dai C.-F., Su J.-H., Sung P.-J., Wu S.-H., Sheu J.-H., 2020, New Biscembranoids Sardigitolides A–D and Known Cembranoid-Related Compounds from *Sarcophyton digitatum*: Isolation, Structure Elucidation, and Bioactivities, *Marine Drugs* 18(9), pp. 452.
- [205] Palacio-Castro A.M., Smith T.B., Brandtneris V., Snyder G.A., van Hooidek R., Maté J.L., Manzello D., Glynn P.W., Fong P., Baker A.C., 2023, Increased dominance of heat-tolerant symbionts creates resilient coral reefs in near-term ocean warming, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 120(8), pp. e2202388120.
- [206] Cavailles J., Kuzmics C., Grube M., 2025, Symbiont dynamics and coral regulation under changing temperatures, *Coral Reefs*, pp. 1-20.
- [207] Quigley K.M., Ramsby B., Laffy P., Harris J., Mocellin V.J., Bay L.K., 2022, Symbioses are restructured by repeated mass coral bleaching, *Science Advances* 8(49), pp. eabq8349.
- [208] Olivares-Cordero D., Timmons C., Kenkel C.D., Quigley K.M., 2025, Symbiont Community Changes Confer Fitness Benefits for Larvae in a Vertically Transmitting Coral, *Ecology and Evolution* 15(1), pp. e70839.