

ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΑΛΙΕΙΑΣ - ΥΔΑΤΟΚΑΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ

ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗ ΚΟΡΑΛΛΙΩΝ

του σπουδαστή
Κεφαλία Ηλία

Εποπτεύων Καθηγητής

Γ.Χώτος

Καθηγητής

Δεκέμβριος 2014

Ευχαριστίες

Μέσα από την παρούσα εργασία θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον εισηγητή καθηγητή της εργασίας Δρ Γεώργιο Χώτο για τις πολύτιμες πληροφορίες και συμβουλές του καθ'όλη τη διάρκεια της φοίτησής μου.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω εγκάρδια τον συν-επιβλεπων της εργασίας Δρ Ν. Βλάχο, Ιχθυολόγο T.E, MSc, E.ΤΕ.Π του τμήματος Τεχνολογίας Αλιείας-Υδατοκαλλιεργειών της σχολής Τεχνολογίας Γεωπονίας και Τεχνολογίας Τροφίμων και Διατροφής του T.E.I. Δυτικής Ελλάδας, για την αμέριστη και διαρκή συμπαράστασή του, την πολύτιμη βοήθεια, καθοδήγηση και υπομονή του καθ'όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Ευχαριστώ επίσης τα μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής Δρ Κ Βιδάλη και Δρ Μ Μακρή, για τις χρήσιμες και εύστοχες παρατηρήσεις τους κατά τη συγγραφή της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την υλική και ψυχολογική υποστήριξη που μου παρείχαν καθ'όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία περιγράφεται η αναγέννηση των κοραλλιών και οι παράγοντες που την ρυθμίζουν. Πιο αναλυτική αναφορά γίνεται στην επίδραση της θερμοκρασίας του νερού, της αναπαραγωγικής κατάστασης τους κοραλλιού, στο μέγεθος και το σχήμα των τραυμάτων των κοραλλιών, τις ενέργειες ολόκληρης της αποικίας κατά την αναγέννηση, του φαινομένου της λεύκανσης και της κατανομής των πόρων ανάμεσα στην αναγέννηση και την ανάπτυξη. Επίσης γίνεται αναφορά στην επιτάχυνση της αναγέννησης με την προσθήκη υδατικού ασκορβικού οξέος και στην χρησιμότητα των κοραλλιών στην αναγέννηση οστών στην ιατρική. Τέλος κάνουμε λόγο στους περιβαλλοντικούς παράγοντες που επηρεάζουν την αναγέννηση αλλά και στην σπουδαιότητα των κοραλλιογενών υφάλων.

Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας έδειξαν ότι σε υψηλές θερμοκρασίες τα κοράλλια αναπτύσσονται με ταχύτερους ρυθμούς και συγκεκριμένα στους 26°C. Το φαινόμενο της λεύκανσης των κοραλλιών επηρεάζει αρνητικά την αναγέννηση. Οι λευκασμένες αποικίες αναγεννούν τα τραύματά τους πιο αργά από ότι οι κανονικές αποικίες.

Όταν τα ενεργητικά και τα κυτταρικά αποθέματα είναι ανεπαρκή για να λάβει χώρα ταυτόχρονα η ανάρρωση και η αναπαραγωγή των κοραλλιών, τότε η αναπαραγωγή έχει προτεραιότητα. Το μέγεθος και το σχήμα των τραυμάτων επηρεάζει την διαδικασία της αναγέννησης. Τραύματα που έχουν χαμηλή αναλογία περιμέτρου/επιφάνειας επιδεικνύουν αρνητικούς ρυθμούς επούλωσης. Επίσης εξετάστηκε η επιτάχυνση της διαδικασίας της αναγέννησης με συμπλήρωμα υδατικού ασκορβικού οξέος και τα αποτελέσματα έδειξαν ότι 1mg υδατικού ασκορβικού οξέος σε καθημερινή βάση επιταχύνει τους ρυθμούς της αναγέννησης.

Τέλος αποδείχτηκε ότι τα κοράλλια μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ιατρική και συγκεκριμένα στην αναγέννηση οστών με μηχανική ιστών. Ο συνδυασμός των κοραλλιών με στρωματικά κύτταρα του μυελού είναι το ιδανικό ικρίωμα για την αναγέννηση οστών. Στις πιο ευνοϊκές περιπτώσεις τα τραύματα επουλώθηκαν στους 4 μήνες.

Λέξεις κλειδιά : Αναγέννηση ιστού, Λεύκανση, Πολύποδας

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	2
Περίληψη.....	3
Περιεχόμενα.....	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ.....	6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
1.1 Οικολογία και περιγραφή των κοραλλιών.....	6
1.2 Τάξεις των κοραλλιών	8
1.3 Οικολογία Εξακοραλλιών	10
1.4 Σκοπός της εργασίας	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ.....	12
ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗ ΚΟΡΑΛΛΙΩΝ	12
2.1 Ο ορισμός της αναγέννησης.....	12
2.2 Αναγέννηση κοραλλιογενών υφάλων.....	13
2.3 Περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την αναγέννηση.....	13
2.4 Σπουδαιότητα των κοραλλιογενών υφάλων	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ.....	17
ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗ ΚΟΡΑΛΛΙΩΝ ΣΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ.....	17
3.1 Επίδραση της θερμοκρασίας και της αναπαραγωγικής κατάστασης στην αναγέννηση του <i>Fungia granulosa</i>	17
3.1.1 Αναπαραγωγική προσπάθεια	20
3.2 Η επίδραση του μεγέθους και του σχήματος της πληγής στο κοράλλι <i>Favia fanus</i>	21
3.3 Η ένταξη της αποικίας κατά την αναγέννηση στο σκληρό κοράλλι <i>Favia fanus</i>	25
3.3.1 Αποκατάσταση των τραυμάτων έναντι του μεγέθους των αποικιών.....	25
3.4 Η επίδραση της «λεύκανσης» των κοραλλιών στη δυνατότητα αναγέννησης ιστού και στην επιβίωση της αποικίας	29
3.4.1 Ποσοστό αναγέννησης.....	33
3.4.2 Χρωματισμός ιστού	34
3.4.3 Θνησιμότητα κοραλλιών.....	36
3.5 Ανεξαρτήτου μεγέθους κατανομή των πόρων για την αναγέννηση και ανάπτυξη του <i>Acropora muricata</i>	36
3.5.1 Αναγέννηση τραυμάτων και δημιουργία νέων πολυπόδων (Πείραμα 2)	37
3.6 Αναγέννηση στα ενυδρεία: Αναγέννηση ιστού με συμπλήρωμα ασκορβικού οξέος ..	39

3.7 Κοράλλια στην ιατρική: Αναγέννηση οστών με μηχανική-ιστών	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ.....	48
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	48
Abstract	51
Βιβλιογραφία	52

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Οικολογία και περιγραφή των κοραλλιών

Τα κοράλλια είναι θαλάσσιοι οργανισμοί (Εικ.1) που ανήκουν στο βασίλειο των Ζώων (Animalia), αποτελούν ομοταξία του φύλου Κνιδόζωα (Cnidaria) και ανήκουν στην τάξη Ανθόζωα (Anthozoa) και Υδρόζωα (Hydrozoa), αν και τα περισσότερα κοράλλια ανήκουν στην τάξη των Ανθόζωων. (www.elwikipedia.org)



Εικόνα 1. Πορτοκαλί κοράλλι *Tubastrea faulkneri* (Πηγή: www.diverosa.com)

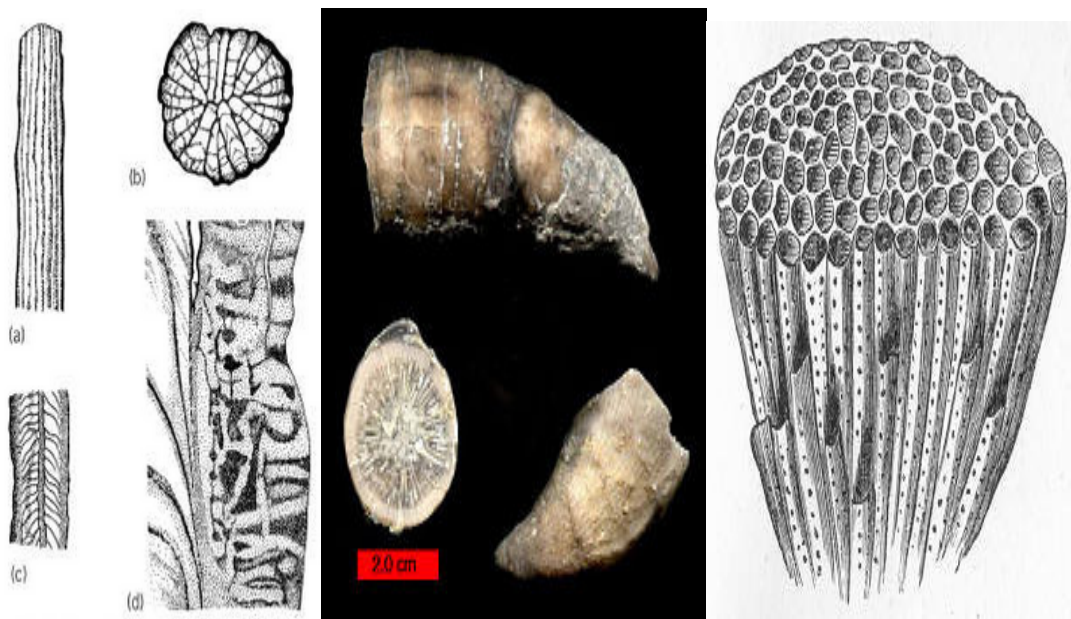
Η ομοταξία των Κνιδόζωων περιλαμβάνει περίπου 6.000 είδη και είναι όλα υδρόβιοι οργανισμοί. Είναι από τους παλαιότερους οργανισμούς του πλανήτη καθώς βρίσκουμε απολιθώματα τους από την παλαιοζωική περίοδο. Είναι ζώα μορφής πολύποδα (κυλινδρικής ή ασκοειδής μορφής προσκολλημένοι στο βυθό) και εκκρίνουν ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3) για να σχηματίσουν ένα σκληρό σκελετό. Συγγενεύουν με τις ανεμώνες και τις μέδουσες και είναι σαρκοφάγα ζώα, παρ' όλο που το 90% της τροφής τους προέρχεται από τα φύκη της τάξης των Χρυσοφυτών, που τα φιλοξενούν στους ιστούς τους. Συνήθως, εμφανίζονται σε αποικίες πολλών

πανομοιότυπων πολυπύδων ή μεμονωμένα (μονήρη) και αναπαράγονται είτε αγενώς είτε εγγενώς. (www.elwikipedia.org)

1.2 Τάξεις των κοραλλιών

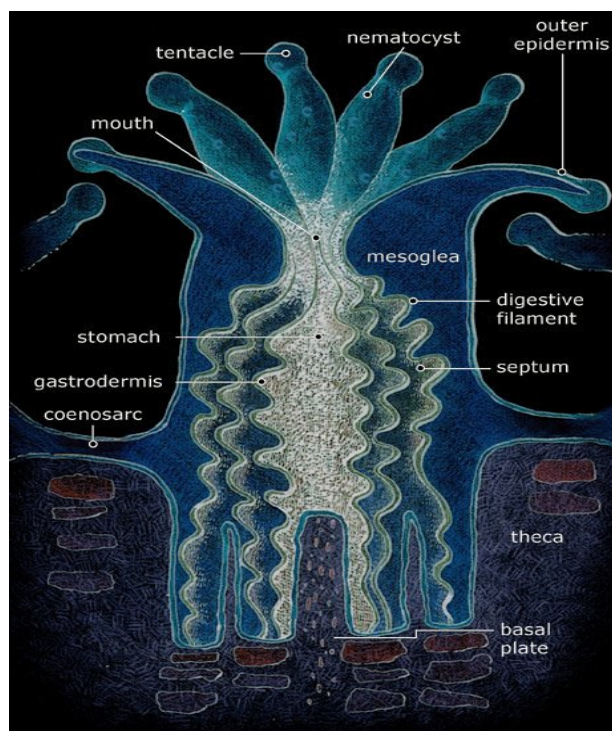
Τα κοράλλια διαχωρίζονται στις εξής τάξεις : *Heterocorallia*, *Rugosa*, *Tabulata* και *Scleractinia* (Σκληρακτίνια ή Εξακοράλλια).

Από αυτές οι τρείς, *Heterocorallia*, *Rugosa* και *Tabulata*, είναι κοράλλια αποκλειστικά του Παλαιοζωικού αιώνα, περιλαμβάνουν είδη μεμονωμένα ή αποικιακά και παρουσιάζουν ποικίλες μορφές σκελετού. Χαρακτηριστική μορφή σκελετού για την τάξη *Heterocorallia* είναι σωληνοειδής πρισματικός ή κυλινδρικός επιμήκης με μήκος ~50 cm και διαμέτρου 5-15 mm. Για τη τάξη *Rugosa* συνήθης μορφή είναι ένας “κερατόμορφος” εξωσκελετός, ο οποίος περιβάλλεται από την επιθήκη ενώ στο εσωτερικό του φέρει οριζόντια και κατακόρυφα διαφράγματα γεμισμένα με ανθρακικό ασβέστιο (CaCO₃). Τέλος η τάξη *Tabulata* είναι κοράλλια πάντα σε αποικίες και τα απολιθώματά τους χρησιμοποιούνται κυρίως σαν δείκτες φάσεων (αμμώδεις, ασβεστολιθικές κ.α.) και δευτερευόντως σαν στρωματογραφικοί δείκτες. (www.geo.auth.gr)



Εικόνα 1 *Heterocorallia*, *Rugosa*, *Tabulata* (πηγή : www.fossilmuseum.com)

Η τάξη *Scleractinia* (τα Σκληρακτίνια ή Εξακοράλλια) περιλαμβάνει όλες τις Μεσοζωικές και Καινοζωικές μορφές κοραλλιών έως σήμερα. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό τους είναι ότι φέρουν διαφράγματα (septa) σε εξακτινωτή συμμετρία και εμφανίζονται είτε μονήρη είτε σε αποικίες. Στο σύνολό τους τα μισά είναι μονήρη και τα άλλα μισά αποικιακά. (www.geo.auth.gr)



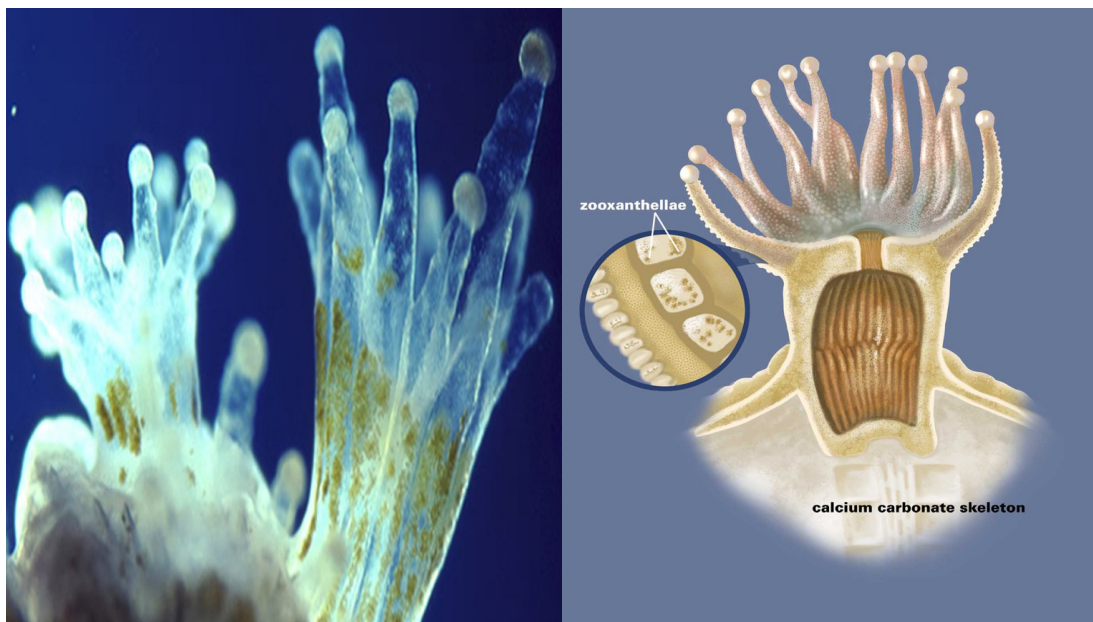
Εικόνα 2. Ανατομία εξακοραλλιού (πηγή : www.fossilmuseum.com)

Όσο αναφορά τα μονήρη Εξακοράλλια το σχήμα τους εξαρτάται από τους ρυθμούς αύξησης κατά την κατακόρυφη και οριζόντια έννοια. Όπου επικρατεί η περιφερειακή αύξηση δημιουργείται δισκοειδής μορφή (*Cyclolites*, *Fungia*) όταν, όμως, επικρατεί η κατακόρυφη δημιουργούνται κερατοειδείς ή σωληνοειδείς μορφές. Από την άλλη, στα αποικιακά Εξακοράλλια οι κοραλλίτες επειδή παράγονται με εκβλαστήσεις συνενώνονται οπότε παρατηρούνται δενδροειδείς, φακελοειδείς, κρηθροειδείς και σπάνια αφροειδείς μορφές. Εμφανίζεται επίσης και η πλοκοειδής μορφή με ανεξάρτητους κοραλλίτες που ενώνονται με αφρώδες Dissepiment (“φουσαλιδωτή” μάζα CaCO_3). Ενώ παρατηρείται και η μαιανδροειδής μορφή στην οποία οι κοραλλίτες διευθετούνται σε ευθείες-μαιανδροειδείς σειρές με τα ενδιάμεσα τοιχώματά τους να λείπουν. Επειδή η μορφή αυτή θυμίζει τις αυλακώσεις εγκεφάλου, τα κοράλλια αυτά είχαν ονομαστεί παλαιότερα μυελοκοράλλια. (www.geo.auth.gr)

1.3 Οικολογία Εξακοραλλίων

Τα Εξακοράλλια χωρίζονται σε Ερματυπικά και μη Ερματυπικά

Τα Ερματυπικά (Hermatypic) ή σκληρά κοράλλια είναι πολύχρωμες, δενδροειδείς ασβεστολιθικές αποικίες που με κατακρήμνιση ανθρακικού ασβεστίου καταφέρνουν να σχηματίζουν τους κοραλλιογενείς υφάλους. Σε αντίθεση με τα μη ερματυπικά που δεν κατασκευάζουν κοραλλιογενείς υφάλους. Βρίσκονται συνήθως σε ρηχά (έως 60 μέτρα), καθαρά νερά, όπου υπάρχει άμεσο ηλιακό φως. Διαθέτουν πάντα ζωοξανθέλες, μια κατηγορία Δινομαστιγωτών που είναι προσκολλημένα στους ιστούς των πολυπόδων και συμβιώνουν μαζί τους καθώς επίσης και συμβιωτικά ασβεστολιθικά φύκη που βρίσκονται στο ενδόδερμά τους. Τα δεύτερα είναι απαραίτητα τόσο για τον μεταβολισμό των κοραλλιών, καθώς τους παρέχουν θρεπτικά συστατικά και οξυγόνο, όσο και για την παροχή τροφής στις ζωοξανθέλες μέσω τις φωτοσύνθεσης. Χωρίς τη συμβίωση αυτή, οι ολιγοτροφικές τροπικές



θάλασσες θα ήταν αδύνατο να συντηρήσουν μια τόσο εντυπωσιακά πλούσια βιομάζα όπως αυτή που απαντάται στους κοραλλιογενείς υφάλους. (www.geo.auth.gr)

Εικόνα 4. Ζωοξανθέλλες (www.ocean.si.edu)

Τα μη Ερματυπικά (Ahermatypic) ή μαλακά κοράλλια δεν έχουν ζωοξανθέλες. Έχουν 8 πλοκάμια και γι'αυτό ονομάζονται και ως οκτωκοράλλια (octocorallia). Αντίθετα με τα σκληρά κοράλλια, είναι ευλύγιστα, κυματίζονται από

το ρεύμα και συχνά είναι διάτρητα με μια δαντελένια εμφάνιση. Οι σκελετοί τους είναι πρωτεϊνικοί παρά ασβεστώδης. Τα μαλακά κοράλλια είναι λιγότερο άφθονα (στην Καραϊβική εμφανίζονται 20 είδη) από τα σκληρά κοράλλια. (www.geo.auth.gr)

1.4 Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να παρουσιάσει τους παράγοντες που οδηγούν στην αναγέννηση των κοραλλιών και πιο συγκεκριμένα να αναλύσει τους παράγοντες που επηρεάζουν την αναγέννηση των κοραλλιών.

Είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε όλες τις λεπτομέρειες που αφορούν την αναγέννηση των κοραλλιών για να μπορέσουμε να έχουμε τον έλεγχο και να ρυθμίζουμε αυτούς τους μαγευτικούς βιοτόπους οι οποίοι βρίσκονται σε κίνδυνο. Ήδη το 27% των υφάλων παγκοσμίως έχουν καταστραφεί (Cesar, Burke και Pet-Soede, 2003) και το 58% των υφάλων που έχουν απομείνει κινδυνεύουν εξαιτίας των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων (Bryant, Laretta και McManus , 1998).

Εξάλλου τα κοράλλια έχουν φοβερή επίδραση στην οικονομία και στην συνοχή της κοινωνίας μας καθώς 450 εκατομμύρια άνθρωποι που ζουν σε απόσταση 60 χιλιομέτρων από ένα κοραλλιογενή ύφαλο, εξαρτώνται άμεσα καθώς ζουν βιοποριστικά από αυτό (Clive, 2006).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗ ΚΟΡΑΛΛΙΩΝ

2.1 Ο ορισμός της αναγέννησης

Αναγέννηση είναι η διαδικασία της ανανέωσης, αποκατάστασης και ανάπτυξης που κάνει τα γονίδια, τα κύτταρα, τα όργανα, τους οργανισμούς και τα οικοσυστήματα ανθεκτικά στις φυσικές διακυμάνσεις ή γεγονότα που προκαλούν διαταράξεις ή βλάβες. Όλα τα είδη είναι ικανά για αναγέννηση ,από τα βακτήρια μέχρι τους ανθρώπους. Η αναγέννηση μπορεί να είναι ολοκληρωμένη όπου ο νέος ιστός είναι ίδιος με τον χαμένο ιστό, ή ελλιπής όπου μετά το νεκρό ιστό επέρχεται η ίνωση. Στο ποιό στοιχειώδες επίπεδο της, η αναγέννηση διαμεσολαβείται από τις μοριακές διαδικασίες της σύνθεσης DNA. Η αναγέννηση στη βιολογία ωστόσο, κυρίως αναφέρεται στη μορφογενετική διαδικασία που χαρακτηρίζει την φαινοτυπική πλαστικότητα των χαρακτηριστικών επιτρέποντας στους πολυκύτταρους οργανισμούς να επισκευάσουν και να διατηρήσουν την ακεραιότητα των φυσιολογικών και μορφολογικών καταστάσεων τους. Πάνω από το γενετικό επίπεδο, η αναγέννηση ρυθμίζεται θεμελιωδώς από αγενής κυτταρικές διεργασίες. (<http://en.wikipedia.org>)

Στα κοράλλια ο ιστός τους βλάπτεται συνεχώς από τις δραστηριότητες των ψαριών, των εχινοειδών (αχινοί), των αστεροειδών (αστερίες), των μαλακίων, των πολύχαιτων και από μικροοργανισμούς .Επιπλέον, ζημιά στους ιστούς των κοραλλιών προκαλούν οι τυφώνες, η ιζηματογένεση, οι ακραίες θερμοκρασίες, ανάδυση από χαμηλή παλίρροια, ο ανταγωνισμός και η ανθρώπινη δραστηριότητα με ακατάλληλες πρακτικές ψαρέματος που προκαλούν καταστροφή στο βιότοπο τους π.χ. τράτες, αγκυροβόληση σκαφών ,παράκτιες κατασκευές (π.χ. δημιουργία τεχνητών νησιών, σήραγγες καναλιών, κυματοθραύστες, υποβρύχια καλώδια) Η ζημιά στην επιφάνεια των κοραλλιών εκδηλώνεται με την μορφή κάκωσης ,το μέγεθος και η μορφολογία της οποίας διαφέρει ανάλογα με τη ζημιά. Ο γυμνός σκελετός τότε διατίθεται για κατοίκηση από οργανισμούς που προσκολλούνται και θέτουν σε κίνδυνο ολόκληρη την αποικία του κοραλλιού. Αν

και τα τραύματα μπορούν να γίνουν μόνιμα χαρακτηριστικά, μερικά θα γιατρευτούν ολοκληρωτικά μέσω της αναγέννησης του ιστού και του σκελετού. Η αναγέννηση ενός τραύματος ξεκινά με την δημιουργία καινούργιας στρώσης ιστού από τους περιβάλλοντες πολύποδες, και τα νέα διαφράγματα αρχίζουν να διαφαίνονται σε αυτό το στρώμα μετά από περίπου 2 εβδομάδες. (Kramarsky-winter & Loya 2000)

2.2 Αναγέννηση κοραλλιογενών υφάλων

Οι πυκνότητες των νεοσύλλεκτων κοραλλιών μπορούν να διαφέρουν ως προς το μέγεθος σε διαφορετικούς υφάλους. Πλαστικά πιάτα ή άλλα φυσικά ή τεχνητά υποστρώματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση των ποσοτήτων των νεοσύλλεκτων. Εφόσον οι λάρβες των κοραλλιών είναι επιλεκτικές, τότε πρέπει να λάβουμε υπόψη το υλικό, τον προσανατολισμό, τον φωτισμό, μέγεθος ...κτλ των πιάτων για να συγκρίνουμε δεδομένα από διαφορετικές τοποθεσίες. Ο συγχρονισμός και η διάρκεια της σύνδεσης στο πιάτο κάνουν τη διάφορα. Για τα κοράλλια που αναπαράγονται με διάχυση, το μέρος που θα εγκατασταθούν μπορεί να είναι πιο εποχιακό, αφού η ωοτοκία είναι περιορισμένη σε μια συγκεκριμένη περίοδο του χρόνου. (<http://www.eolss.net>)

2.3 Περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την αναγέννηση

Στη φύση τα κοράλλια υποφέρουν από φυσικούς τραυματισμούς μέσα από ένα πλήθος πηγών, συμπεριλαμβάνοντας τις καταιγίδες, την καθίζηση, την ανάδυση κατά την άμπωτη, θραύση από ανθρωπογενούς παράγοντες, από ανταγωνιστικές αλληλεπιδράσεις, την θήρευση και αρρώστιες. Η ικανότητα αυτών των κοραλλιών να αναρρώνουν από τα τραύματα βρίσκεται στην ικανότητα τους για αναγέννηση. Αν και αυτή η διαδικασία οδηγείται από γενετικά σχέδια, η ικανότητα για επισκευή καθορίζεται από ένα πλήθος αντιδράσεων σε περιβαλλοντικούς παράγοντες. (Rosenberg et al. 2004)

Περιβάλλοντα με διαφορετικά φορτία καθίζησης, θολερότητα, και κίνηση των κυμάτων χαρακτηρίζονται από διαφορετικά είδη. Φυσικές διαταράξεις μπορούν να προκαλέσουν ζημιά στους ιστούς των κοραλλιών και στους σκελετούς τους. Για

παράδειγμα, η έκθεση σε υψηλή καθίζηση αναφέρεται συχνά σαν μια σημαντική αιτία ζημιάς του ιστού των κοραλλιών εξαιτίας της τριβής (γδαρσίματος), της ασφυξίας με το να εμποδίζει το γεμάτο οξυγόνο νερό, της λεύκανσης λόγω του μειωμένου φωτισμού, της εξάντλησης της ενεργείας του στην προσπάθεια για αυτό-κάθαρση, της νέκρωσης των ιστών εξαιτίας της δράσης μικροβίων. Έτσι η επιβίωση των κοραλλιών υπό αυτές τις συνθήκες εξαρτάται από την ικανότητά τους να την αφαιρέσουν μέσω δαπανηρών διαδικασιών των ενεργειών όπως πρήξιμο(φούσκωμα) του ιστού και την παραγωγή άφθονης ποσότητας βλέννας. Η διάρκεια αυτών των αντιδράσεων εξαρτάται από την έκταση των γεγονότων καθίζησης. Η υψηλή καθίζηση μπορεί να κάνει τα κοράλλια να γίνουν πιο ευαίσθητα στο τραυματισμό και όταν τραυματιστούν μπορεί να τα κάνει λιγότερο ικανά για αναγέννηση. Όταν σύγκριναν τα ποσοστά αναγέννησης σε τεχνητά προκαλούμενα τραύματα στο *Acropora palmata* από τοποθεσίες με διαφορετικές περιεκτικότητες καθίζησης, οι Meesters και άλλοι (1992) βρήκαν ότι η αναγέννηση ήταν πιο αργή στις αποικίες των περιοχών με υψηλές ποσότητες καθίζησης από ότι εκείνες με χαμηλές ποσότητες καθίζησης. Είναι ωστόσο πιθανό ότι το φυσικό γδάρσιμο από τα ιζήματα μόνο να μην είναι η μόνη παράμετρος που εμπλέκεται στην επισκευή. Η μικροβιακή κοινότητα και συγκεκριμένα οι παθογόνοι οργανισμοί που βρίσκονται στα αιωρούμενα ιζήματα, μπορεί να είχαν αντίστοιχα επιβλαβείς επιδράσεις στην ικανότητα του κοραλλιού για επισκευή. Αυτό υποστηρίζεται από μια έρευνα του Hodgson (1990) που δείχνει ότι η θεραπεία θαλασσινού νερού με τετρακυκλίνη μείωσε τον ρυθμό της νέκρωσης των ιστών και τη θνησιμότητα της αποικίας κατά την διάρκεια των πειραμάτων καθίζησης. (Rosenberg et al. 2004)

Είναι γνωστό βεβαίως ότι ο ρυθμός αναγέννησης εξαρτάται επίσης και σε άλλες έμφυτες διαδικασίες που διαφέρουν μεταξύ των ειδών. Οι Meesters και άλλοι (1992) βρήκαν ότι όταν σύγκριναν ρυθμούς επισκευής σε διαφορετικά είδη υπό τις ίδιες συνθήκες επισκευής, το διακλαδωμένο κοράλλι *Acropora palmata* ήταν πιο αργό στην επισκευή από ότι τα πιο ογκώδη κοράλλια όπως το *Porites astreoides* ή το *Siderastrea sidera*. Οι Meesters και άλλοι(1992) κατέληξαν ότι αυτό οφειλόταν στην πιο φτωχή ή αναποτελεσματική απόρριψη ιζημάτων στο παρελθόν. Ωστόσο είναι πιθανό ότι οι μηχανισμοί ανταπόκρισης στα τραύματα να διαφέρουν μεταξύ των ειδών των κοραλλιών και μπορεί να συνδέονται με τις στρατηγικές ανάπτυξης των κοραλλιών. (Rosenberg et al. 2004)

Εποχιακοί παράγοντες όπως οι αλλαγές στην ένταση του φωτός, θερμοκρασία, διαθεσιμότητα τροφής και η ποιότητα του νερού, είναι γνωστά ότι επηρεάζουν την φυσιολογική ανάπτυξη των κοραλλιών καθώς και την αναγέννηση. Οι πολυμεταβλητές αλλαγές στις περιβαλλοντικές συνθήκες έχουν δυσκολέψει την απομόνωση κάθε επίδρασης στην αναγέννηση κοραλλιών. Πολύ λίγα ελεγχόμενα πειράματα έχουν πραγματοποιηθεί για να δείξουν πως οι απομονωμένοι παράγοντες μπορούν να επιδράσουν την αναγέννηση. Για παράδειγμα, η επίδραση της ακτινοβολίας στην απολίθωση έχει μελετηθεί καλά (Barnes και Chalker 1990) αν και πρακτικά τίποτα δεν είναι γνωστό για τις επιδράσεις τις στην επισκευή των ιστών. Ο Hidaka και άλλοι (1981) έδειξαν ότι μετά την αφαίρεση του τμήματος του στόματος ενός πολύποδα, το φως επηρεάζει την εμφάνιση και την θέση του κάλυκα του προσφάτως αναγεννημένου πολύποδα στο *Galaxea fascicularis*. Οι Meesters και άλλοι (1997) έδειξαν ότι το βάθος του νερού έχει μια σημαντική επίδραση στην αναγέννηση. (Rosenberg et al. 2004)

2.4 Σπουδαιότητα των κοραλλιογενών υφάλων

Οι περισσότεροι κοραλλιογενείς ύφαλοι στον κόσμο βρίσκονται σε δύσκολη θέση. Οκτώ χρόνια πριν οι επιστήμονες ανέφεραν ότι περίπου το 10% των κοραλλιογενών υφάλων είχαν ήδη καταστραφεί ή υποβαθμιστεί πέρα από την πιθανότητα ανάρρωσης. Τα αποτελέσματα της παρακολούθησης από όλο τον κόσμο το 1998 και το 1999 έδειξαν ότι λιγότερο από το 30% των κοραλλιογενών υφάλων είχαν απολύτως υγιείς κοινότητες κοραλλιών, ψαριών και άλλων ειδών. Η λεύκανση των κοραλλιών το 1997 και το 1998 είχε σοβαρές συνέπειες. Μεγάλα τμήματα πολλών υφάλων και ορισμένα έθνη έχασαν το 90% της κάλυψης των ζωντανών τους κοραλλιών, συμπεριλαμβανομένων των αποικιών 1000 ετών. Σε άλλες περιοχές κατά την διάρκεια των τελευταίων 30 ετών παρόμοια ζημιά έχει προκληθεί από τους αστερίες που τρέφονται με κοράλλια. (Kenchington 1999)

Οι ύφαλοι μπορούν να ανακτήσουν την κάλυψη των κοραλλιών και ειδών ποικιλόμορφα. Παρόλα αυτά αν δεν ληφθούν επείγουσες ενέργειες γρήγορα, είναι πιθανό ότι το συνδυασμένο αποτέλεσμα των άμεσων ανθρωπίνων επιπτώσεων, η θήρευση του αστερία (crown of thrones), οι νόσοι των κοραλλιών, η προβλεπόμενη αύξηση της συχνότητας της λεύκανσης των κοραλλιών και οι σοβαρές ζημιές από

θύελλες θα συντρίψει την ικανότητα αποκατάστασης πολλών υφάλων. (Kenchington 1999)

Τα κοράλλια είναι ένα σημαντικό δομικό χαρακτηριστικό των υφάλων σε ρηχές τροπικές θάλασσες από τις μέρες των δεινοσαύρων 100 εκατομμύρια χρόνια πριν. Οι κοραλλιογενείς ύφαλοι του τύπου που βλέπουμε σήμερα, υπάρχουν εδώ και περίπου 25 εκατομμύρια χρόνια. Είναι ιδιαίτερα παραγωγικοί και βιολογικά ποικίλοι. Είναι το σπίτι για τα μέλη όλων των φύλων ή μεγάλων ομάδων του ζωικού βασιλείου. Με απλά λόγια, είναι ένα βασικό μέρος της φυσικής κληρονομιάς και του αποθέματος βιολογικής ποικιλότητας του κόσμου. (Kenchington 1999)

Η παραγωγικότητα των υγιών κοραλλιογενών υφάλων διατηρεί ένα πλούσιο αλληλένδετο δίκτυο των ειδών που είναι η κυρία πηγή της τροφής και των πόρων για πολλούς παράκτιους τροπικούς και νησιωτικούς ανθρώπους από την εποχή των πρώτων ανθρώπων. (Kenchington 1999)

Η βιολογική ποικιλομορφία των κοραλλιογενών υφάλων είναι ένας φυσικός θησαυρός που μπορεί να στηρίξει τις μελλοντικές δραστηριότητες που ούτε καν μπορούμε να ονειρευτούμε. Ήδη αποδίδονται σε είδη υφάλων ισχυρές χημικές ουσίες αποτελεσματικές στις θεραπείες νόσων. Στο μέλλον οι ύφαλοι μπορεί να προστεθούν στο εύρος των ειδών που μπορεί να καλλιεργούνται για την παροχή τροφίμων, υλικών και οικονομικής υποστήριξης για τους ανθρώπους των τροπικών αναπτυσσόμενων χωρών. (Kenchington 1999)

Οι κοραλλιογενείς ύφαλοι αποτελούν φυσικούς κυματοθραύστες για την προστασία των παράκτιων εύφορων περιοχών και των ανθρώπινων οικισμών πολλών νησιωτικών και ηπειρωτικών, από τη διάβρωση που προκαλούν τα κύματα θυελλών. Η ομορφιά και η ποικιλομορφία των κοραλλιογενών υφάλων έχουν από καιρό γίνει πηγή θαυμασμού για τους παράκτιους ανθρώπους και τους ναυτικούς επισκέπτες. Για πολλές κοινότητες έχουν μια βαθιά αισθητική, πολιτιστική και πνευματική σημασία. (Kenchington 1999)

Η ανάπτυξη της αυτόνομης κατάδυσης, υποβρύχια φιλμ και βίντεο και οι νέες τεχνολογίες που κάνουν τους υφάλους προσιτούς σε μεγάλο αριθμό επισκεπτών, έχει κάνει τους κοραλλιογενείς υφάλους μια ισχυρή ατραξιόν για τον τουρισμό. Με ορθή διαχείριση, ο τουρισμός παρέχει ένα βιώσιμο μέσο για να προσελκύσουν ξένο νόμισμα και δημιουργία θέσεων απασχόλησης για τους ανθρώπους σε απομακρυσμένες περιοχές των αναπτυσσόμενων χωρών. (Kenchington 1999)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗ ΚΟΡΑΛΛΙΩΝ ΣΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

3.1 Επίδραση της θερμοκρασίας και της αναπαραγωγικής κατάστασης στην αναγέννηση του *Fungia granulosa*

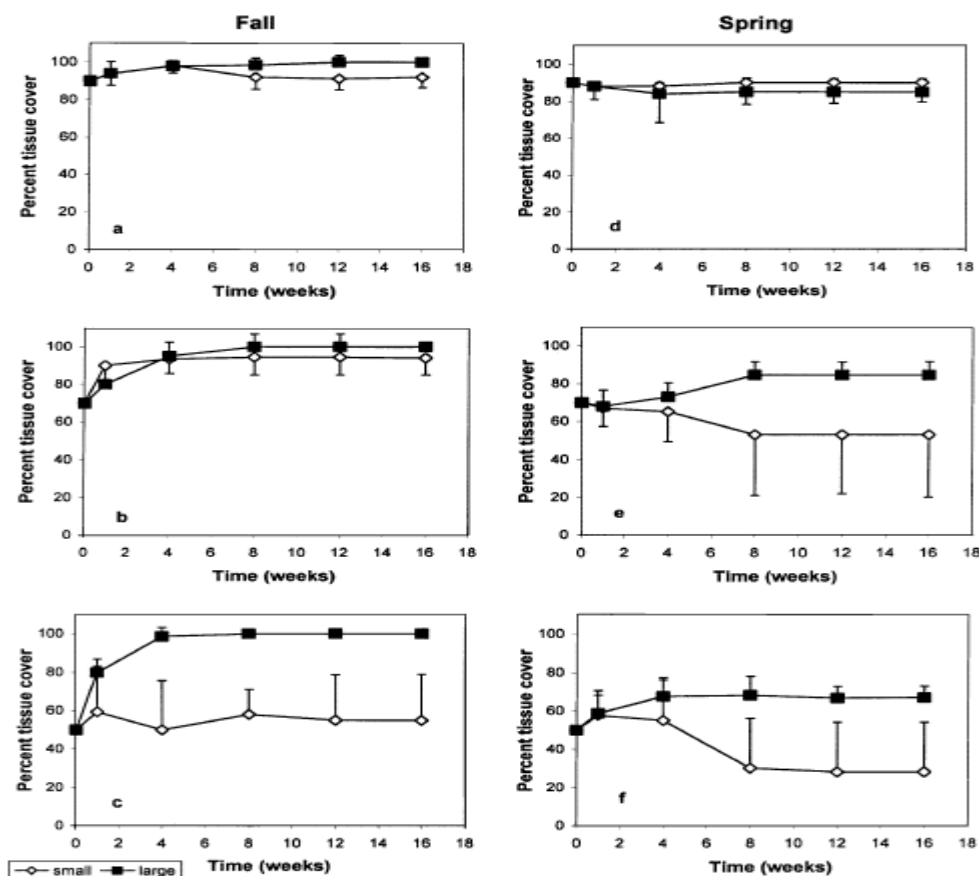
Για να διαπιστωθεί αν η αναγέννηση ιστού στο *Fungia granulosa* επηρεάζεται από περιβαλλοντολογικούς παράγοντες ή από την αναπαραγωγική κατάστασή του, συγκρίναμε το ποσοστό και τον βαθμό ανάρρωσης των πληγών, που προκλήθηκαν σε ενήλικα και ανήλικα κοράλλια κατά την διάρκεια δυο εποχών, αρχές άνοιξης και αρχές φθινοπώρου. Επίσης, σε μια προσπάθεια να απομονώσουμε την επίδραση της θερμοκρασίας του νερού στην αναγέννηση ιστού, εκτελέστηκαν παράλληλα εργαστηριακά πειράματα κατά την διάρκεια των ίδιων μηνών σε διαφορετικές θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Τρεις επιφανειακές πληγές διαφορετικών μεγεθών (10, 30 και 50% επιφανειακού ιστού) προκλήθηκαν *in situ* σε μεγάλα, σεξουαλικά ώριμα κοράλλια (>5,5 cm διάμετρος) και σε μικρά, ανώριμα σεξουαλικά κοράλλια (<5,0 cm διάμετρος). Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε το φθινόπωρο (Σεπτέμβριο μέχρι Νοέμβριο; στην μετά-αναπαραγωγική περίοδο) και επαναλήφθηκε με ένα καινούργιο δείγμα κοραλλιών την άνοιξη (Μάρτιο μέχρι Μάιο; στους γαμετογονιδιακούς μήνες). (Kramarsky-Winter & Loya 1998)



Εικόνα 3. *Fungia granulosa* (www.saltwater.tropicalfishandaquariums.com)

Οι Kramarsky-Winter και Loya μελετησαν το είδος *Fungia granulosa* το φθινόπωρο (Σεπτέμβριο μέχρι Νοέμβριο με μέση θερμοκρασία νερού 26°C) επουλώθηκαν όλα τα είδη των πληγών στα ενήλικα κοράλλια *Fungia granulosa* μέσα

σε 4 εβδομάδες. Επιπλέον το 35 % των μικρών και μεσαίου μεγέθους πληγών επουλωθήκαν πλήρως μέσα σε 1 εβδομάδα. Τα ανήλικα κοράλλια (<5,0 cm διάμετρο), ωστόσο, δεν επουλωθήκαν τελείως και πάντοτε, μέσα σε 4 εβδομάδες (Σχ.1 a έως c), και το 40% των μικρών κοραλλιών με μεγάλες πληγές πέθαναν μέσα σε 8 εβδομάδες απ'την πρόκληση της πληγής (Σχ.1 c). (Kramarsky-W.& Loya 2000)

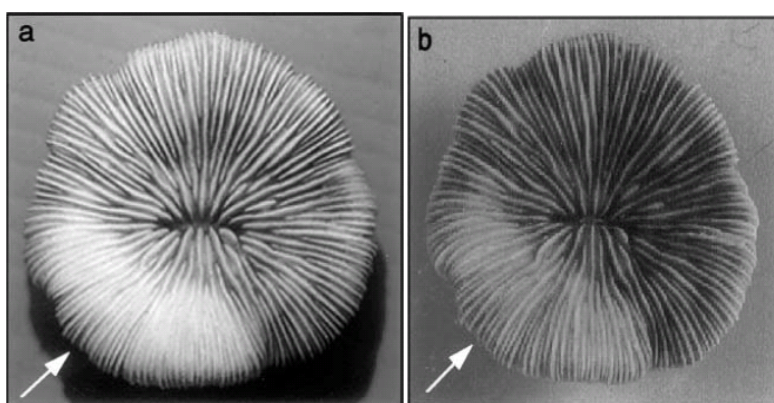


Σχήμα 1. *Fungia granulosa*. Σύγκριση των βαθμών ανάρρωσης τριών πληγών σε μεγάλα και μικρά ατομικά κοράλλια το φθινόπωρο (Σεπτέμβριο μέχρι Νοέμβριο) 1994 και την άνοιξη (Μάρτιο μέχρι Μάιο) 1995. Οι ράβδοι αντιπροσωπεύουν τις τυπικές αποκλίσεις; n=10 για κάθε θεραπεία. Κατά το φθινόπωρο η επιβίωση των μικρών κοραλλιών στα δείγματα με μεγάλη πληγή ήταν 60%. Την άνοιξη, το 70% των μικρών κοραλλιών με μεσαίου μεγέθους πληγή και 50% των μικρών κοραλλιών με μεγάλες πληγές, επέζησαν. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις η επιβίωση ήταν 100%.

Το πείραμα επαναλήφθηκε με ένα νέο σετ κοραλλιών τον Μάρτιο, όταν οι θερμοκρασίες του νερού ήταν στα χαμηλότερα επίπεδά τους (μ.ο. θερμοκρασία νερού 21°C). Κανένα από τα κοράλλια δεν επουλώθηκε πλήρως ανεξάρτητα από το μέγεθος της πληγής (Σχ.1 d έως f). Από τα μικρά κοράλλια, το 30% με μεσαίο

μέγεθος πληγής(30% επιφανειακού ιστού) και το 50% με μεγάλο μέγεθος πληγής (50% επιφανειακού ιστού), πέθαναν μέσα σε 8 εβδομάδες. Κατά την διάρκεια αυτής της περιόδου τα μεγάλα κοράλλια άρχισαν να αναρρώνουν από μεγαλύτερες πληγές (Σχ.1 e και f), επισκευάζοντας τα σκισμένα άκρα και δημιουργώντας νέους ιστούς, αν και η πλήρης ανάρρωση δεν ήταν εμφανής ούτε στις μικρές πληγές (Σχ.1 d). (Kramarsky-Winter & Loya 1998). Η διαδικασία της αναγέννησης διακόπηκε 8 εβδομάδες μετά την πρόκληση των τραυμάτων σε όλα τα κοράλλια. Υπήρξε σημαντική διαφορά σε ποσοστό επιδιόρθωσης, 8 εβδομάδες από την πρόκληση των τραυμάτων, μεταξύ άνοιξης και φθινοπώρου για όλα τα είδη των πληγών στα μεγάλα κοράλλια. Επίσης υπήρξε σημαντική διαφορά στην ποσότητα του ιστού ανάρρωσης στα κοράλλια με πληγές διαφορετικών-μεγεθών 8 εβδομάδες μετά την πρόκληση των τραυμάτων. Στα μικρά κοράλλια η διαφορά στην επιδιόρθωση μετά από 8 εβδομάδες εξαρτιόταν από την εποχή. (Kramarsky-Winter & Loya 1998)

Η διαδικασία της ανάρρωσης του ιστού ξεκίνησε ως συρρίκνωση ιστού εξαιτίας της διαφυγής των απορριμμάτων του νεκρού και σκισμένου ιστού, και εκεί υπήρχε μια ορατή ποσότητα γυμνού σκελετού (Εικ. 6a). Στις 24 με 48 ώρες που ακολούθησαν από την πρόκληση των τραυμάτων οι ιστοί άρχισαν να εκτείνονται πάνω από τον γυμνό σκελετό. Σε αυτό το σημείο ο αναγεννημένος ιστός φαινόταν λεπτός και λιγότερο χρωματιστός από τον 'κανονικό' ιστό (Εικ. 6b). Ο χρωματισμός των επιδιορθωμένων ιστών έλαβε χώρα στο τέλος της διαδικασίας της αναγέννησης. (Kramarsky-Winter & Loya 1998)



Εικόνα 4. *Fungia granulosa*. a 1 μέρα μετά την πρόκληση του τραύματος (το βέλος δείχνει την απογυμνωμένη περιοχή). b 4 εβδομάδες μετά την πρόκληση του τραύματος; παρατηρήστε τον ελαφρύ χρωματισμό του νέου σχηματισμένου ιστού (το βέλος δείχνει την περιοχή που ήταν προηγουμένως απογυμνωμένη). Διάμετρος κοραλλιού = 6,5 cm

Γενικά, τα κοράλλια που διατηρήθηκαν σε υψηλές θερμοκρασίες αναγεννήθηκαν ταχύτερα από εκείνα που διατηρήθηκαν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες (πίνακας 2). Στους μήνες της άνοιξης, οι τιμές της αναγέννησης των ιστών ήταν χαμηλές για τα κοράλλια που διατηρήθηκαν και στις δυο θερμοκρασίες, και τα περισσότερα κοράλλια δεν ανέρρωσαν τελείως ακόμα και 4 εβδομάδες μετά την πρόκληση των τραυμάτων. Μόνο το 16,7% των κοραλλιών που διατηρήθηκαν στους 25°C ανέρρωσαν πλήρως. Τα κοράλλια που δεν είχαν αναρρώσει πλήρως 4 εβδομάδες μετά την πρόκληση των τραυμάτων, καλύφθηκαν αργότερα από νηματοειδή φύκια και παρέμειναν τραυματισμένα για πάνω από 4 μήνες. Το φθινόπωρο, ή μετά-αναπαραγωγικούς μήνες, η ανάρρωση στους 25°C ήταν η ταχύτερη, και το 83,3% των κοραλλιών που διατηρήθηκαν σε αυτήν την θερμοκρασία, ανέρρωσαν πλήρως μέσα σε 4 εβδομάδες. Μόνο το 16,7% των κοραλλιών που διατηρήθηκαν στους 21°C είχαν υποβληθεί σε πλήρη ανάρρωση ιστού 4 εβδομάδες μετά την πρόκληση των τραυμάτων (Πιν.1). (Kramarsky-Winter & Loya 1998)

Πίνακας 1. Ποσοστό των μεγάλων κοραλλιών που ανέρρωσαν πλήρως το φθινόπωρο και την άνοιξη (n=6)

Season	Weeks following damage	Fully recovered corals (%) at:	
		21 °C	25 °C
Fall	1	0	0
	2	0	33.3
	4	16.7	83.3
Spring	1	0	0
	2	0	0
	4	0	16.7

3.1.1 Αναπαραγωγική προσπάθεια

Το στάδιο της γαμετογέννησης στα τραυματισμένα κοράλλια ήταν παρόμοιο με εκείνο στα υγιή υπό έλεγχο κοράλλια. Τα αναπτυξιακά στάδια των ωοκυττάρων (Στάδιο II και III, από Kramarsky-Winter και Loya 1998) των γονάδων που βρέθηκαν κοντά στα τραύματα των πειραματικών κοραλλιών δεν διέφεραν από

εκείνα των ωοκυττάρων των υπό έλεγχο κοραλλιών. Επιπλέον, το μέσο μέγεθος των ωοκυττάρων δεν διέφερε μεταξύ των υπό αναγέννηση κοραλλιών και των υπό έλεγχο υγιή κοραλλιών (Πίν. 2). Ωστόσο, η γονιμότητα (ορίζεται ως ο αριθμός των ωοκυττάρων γόνου⁻¹) στα τραυματισμένα δείγματα ήταν χαμηλότερη απ'ότι στα υγιή δείγματα (Πίν. 2). (Kramarsky-Winter & Loya 1998)

Πίνακας 1. Μέσο μέγεθος ωοκυττάρων και μέση γονιμότητα 1 μήνα μετά το τραυματισμό του *Fungia granulosa*.

	Oocyte size ($\mu\text{m} \pm \text{SD}$)	Oocyte stages	No. of oocytes gonad ⁻¹ ($\pm \text{SD}$)
Regenerating ($n = 5$)	29.91 \pm 14.9	II and III	17 \pm 1.15
Control ($n = 3$)	33.2 \pm 11.39	II and III	33 \pm 9.85

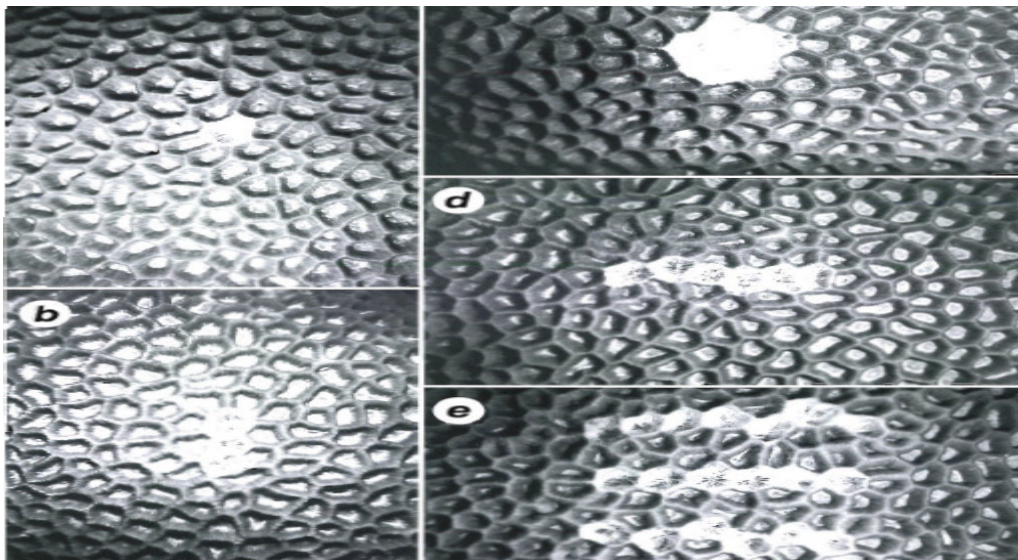
3.2 Η επίδραση του μεγέθους και του σχήματος της πληγής στο κοράλλι *Favia favaus*



Εικόνα 5. *Favia favaus* (www.wti.org.in)

Σε αυτήν την έρευνα επιλέχθηκαν τυχαία 46 αποικίες του κοραλλιού *Favia favaus* της Ερυθράς θάλασσας με 45cm διάμετρο η καθεμιά. Προκλήθηκαν τεχνητά 5 διαφορετικές πληγές στο ανώτερο τμήμα των αποικιών. Οι πληγές είναι : 1)πληγή μονού πολύποδα (Single polyp *SP [n=10] Εικ.7a), 2) επιμήκης πληγή από 3 πολύποδες στη σειρά (Elongated *E-3 [n=9] Εικ.7b), 3) τετράγωνη πληγή από 6 πολύποδες (Square *SQ-6 [n=8] Εικ.7c), 4) επιμήκης πληγή από 6 πολύποδες στη σειρά (Elongated *E-6 [n=11] Εικ.7d) και 5) σχηματισμοί 3 επιμηκών πληγών των 6

πολυπόδων η καθεμιά, παράλληλες η μια με την άλλη με ενδιάμεσο 2 σειρές υγιών πολυπόδων (Elongated Parallel *EP [n=8] Εικ.7e). (Oren et al.1997)



Εικόνα 6.Πληγές *Favia favaus*

Οι 5 διαφορετικού τύπου πληγές φωτογραφήθηκαν κάθε μήνα από τον Ιανουάριο μέχρι τον Απρίλιο του 1995. Κάθε έγχρωμη φωτογραφία αναλύθηκε από αναλυτή εικόνων (image analyzer) επιτρέποντας ακριβής μετρήσεις της αναδυόμενης επιφάνειας ιστού με την πάροδο του χρόνου. Το ποσοστό ανάρρωσης των 5 διαφορετικών πληγών υπολογίστηκε ξεχωριστά για κάθε μήνα. Για να καθοριστεί η επίδραση του μήκους της περιμέτρου της πληγής στη διαδικασία της αναγέννησης του *Favia favaus*, υπολογίστηκε η περιοχή (σε mm²) του καινούργιου σχηματισμένου ιστού (NFT newly formed tissue) από το ποσοστό των δεδομένων της ανάρρωσης που καταγράφηκαν για κάθε μια πληγή. Το ποσοστό ανάρρωσης που επιτεύχθηκε από κάθε πληγή κάθε μήνα και σε όλη την περίοδο μελέτης παρουσιάζεται στον πίνακα 4. (Oren et al.1997)

Πίνακας 2. Ποσοστό μείωσης της επιφάνειας της πληγής ανά διαστήματα.

Lesion type	Reduction of lesion area (%)			
	30 d	31-60 d	61-90 d	0-90 d
SP	43.2 ± 8.1	20.5 ± 5.0	10.3 ± 3.8	59.5 ± 12.4
E-3	24.3 ± 5.1	10.0 ± 3.0	3.6 ± 2.3	34.4 ± 7.9
SQ-6	18.6 ± 3.9	-5.7 ± 2.3	-1.1 ± 1.7	15.9 ± 9.3
E-6	33.6 ± 5.1	16.5 ± 4.7	7.2 ± 3.4	48.6 ± 17.3
EP	48.6 ± 8.2	25.7 ± 5.0	9.0 ± 3.8	65.2 ± 15.5

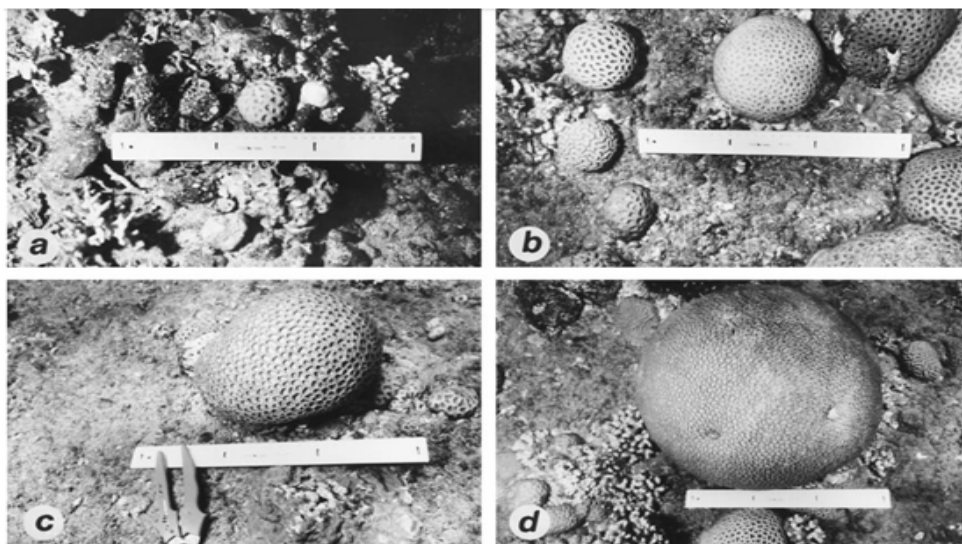
Σε μια εξέταση που διεξήχθη 12 μήνες μετά την πρόκληση των τραυμάτων έδειξε ότι όλες οι πληγές εκτός από τις τετράγωνες πληγές 6 πολυπόδων SQ-6 είχαν επούλωθεί πλήρως. Επιπλέον μερικές από τις τετράγωνες πληγές είχαν διπλασιαστεί σε μέγεθος κατά την διάρκεια αυτής της περιόδου. (Oren et al.1997).

3.3 Η ένταξη της αποικίας κατά την αναγέννηση στο σκληρό κοράλλι *Favia fava*

Ο σκοπός της παρούσας μελέτης είναι να εξετάσει μια εναλλακτική υπόθεση αναγέννησης όπου η ανάρρωση των τραυμάτων των κοραλλιών μπορεί να απαιτεί εκτεταμένη ενσωμάτωση της αποικίας (δηλ. εσωτερική μετατόπιση των πόρων από τις θέσεις απόκτησης σε θέσεις της μέγιστης ζήτησης). Για να δοκιμαστεί η υπόθεση αυτή εξετάστηκε η σχέση μεταξύ του μεγέθους της αποικίας και του ποσοστού ανάρρωσης των τραυμάτων που διαφέρουν σε μέγεθος και σχήμα. (Oren et al.2001)

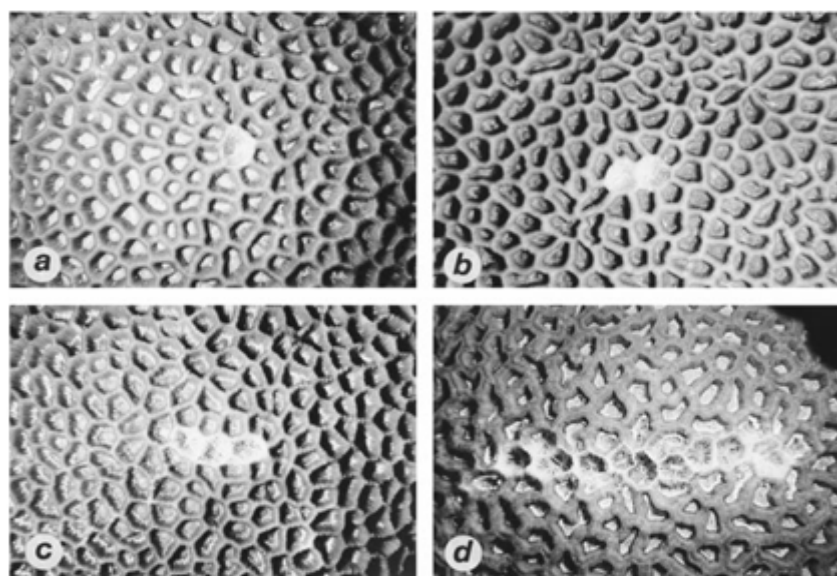
3.3.1 Αποκατάσταση των τραυμάτων έναντι του μεγέθους των αποικιών

Ατραυμάτιστες αποικίες του *F. fava* στο ρηχό ύφαλο (2-3m) του Εργαστηρίου Θαλάσσιας Βιολογίας στο Eilat φωτογραφήθηκαν τον Νοέμβριο του 1994 χρησιμοποιώντας Nikonos-V κάμερα με 20μμ φακό. Αφού μετρήθηκε το εμβαδόν της επιφάνειας της κάθε αποικίας με ηλεκτρονικό σύστημα ανάλυσης εικόνας (Olympus CUE-3), 72 υγιείς και άθικτες αποικίες (με εύρος μεγέθους από 6 έως 24 cm διάμετρος) επιλέχθηκαν και διαιρέθηκαν σε 3 τάξεις διαφορετικών μεγεθών ,που το καθένα περιλαμβάνει 24 παρόμοιες αποικίες: μικρή τάξη (εμβαδόν επιφάνειας = $71 \pm 20 \text{ cm}^2$ Εικ.1α), ενδιάμεση τάξη ($431 \pm 176 \text{ cm}^2$ Εικ.9β) και μεγάλη τάξη ($1204 \pm 313 \text{ cm}^2$, Εικ.9c). (Oren et al.2001)



Εικόνα 7.Αποικίες *Favia fava* διαφορετικού μεγέθους που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα (Πηγή:Oren et al.2001)

Η σχέση μεταξύ του εμβαδού της επιφάνειας της αποικίας και της ικανότητας της να αναγεννιέται εξετάστηκε για τρεις διαφορετικού τύπου πληγές : (1) πληγή μονού πολύποδα (SP Εικ. 10α), (2) επιμήκεις πληγές 2 γειτονικών πολυπόδων (E-2 Εικ.10b) και (3) επιμήκεις πληγές τριών γειτονικών πολυπόδων στη σειρά (E-3 Εικ.10c). Μέσα σε κάθε κατηγορία μεγέθους, τα τραύματα μονού πολύποδα (SP) επιβλήθηκαν σε οκτώ αποικίες, οκτώ και σε 2 επιμήκης πολύποδες (E-2) και επίσης οκτώ σε τρεις επιμήκης πολύποδες (E-3). Η μείωση του ποσοστού της αναγέννησης, με τον καιρό, είναι ένα γνωστό φαινόμενο στην αναγέννηση των κοραλλιών. Εμείς επομένως επικεντρωθήκαμε στην σχέση μεταξύ του μεγέθους της αποικίας και της αποκατάστασης των τραυμάτων κατά τον πρώτο μήνα της αναγέννησης. (Oren et al.2001)



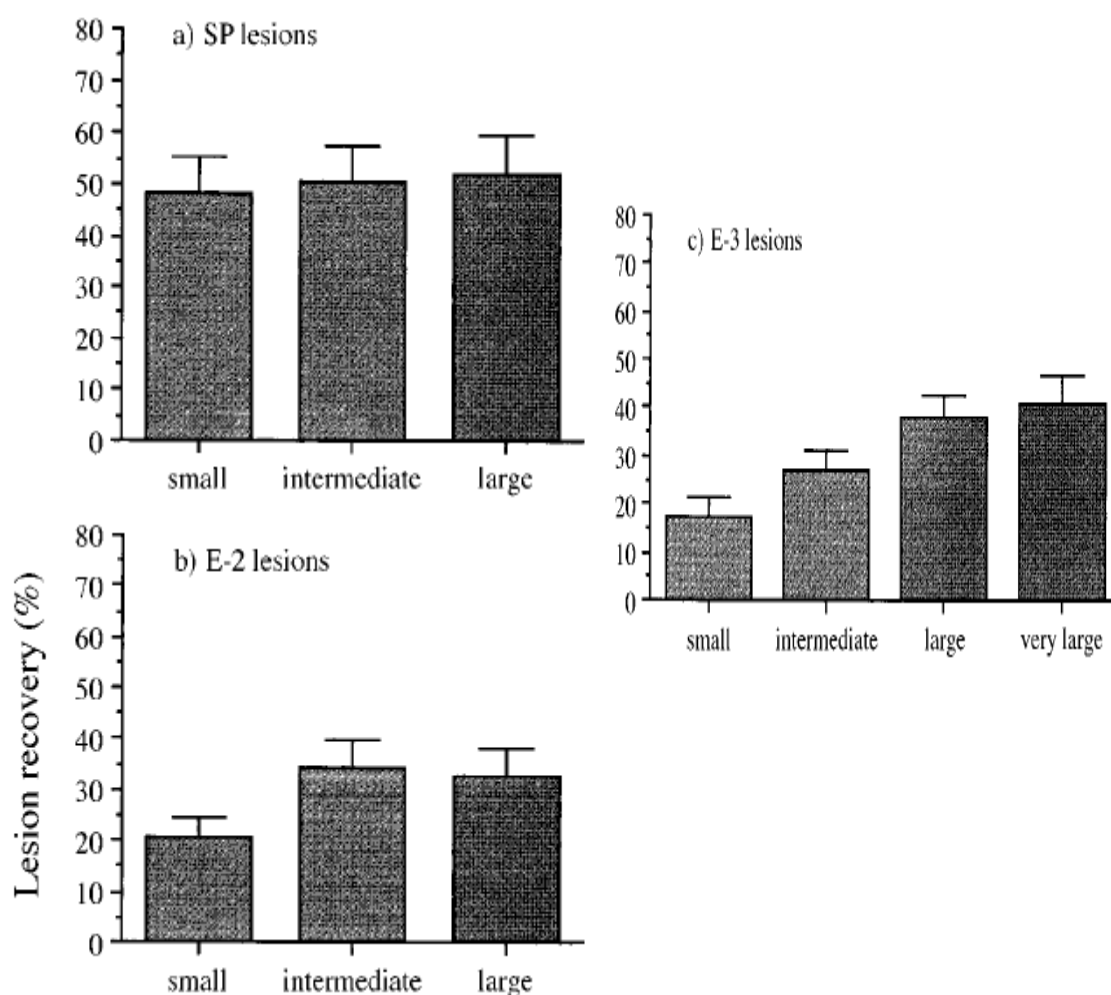
Εικόνα 8.Πληγές *Favia favaus*. a)πλ. μονού πολύποδα(SP), b)πλ. 2 γειτονικών πολ.(E-2), c)πλ. 3 γειτονικών πολ.(E-3), d) πλ. 10 γειτονικών πολ.(E-10)(Πηγή: Oren et al.2001).

Όλα τα τραύματα εξέθεσαν τα υψηλότερα ποσοστά ανάρρωσης κατά την διάρκεια του πρώτου μήνα μετά από τον τραυματισμό. Τον δεύτερο μήνα, τα τραύματα E-2 και E-3 στις μικρές αποικίες είχαν ήδη αρχίσει να επιδεικνύουν χαμηλότερα ποσοστά αποκατάστασης ενώ στις μεγαλύτερες ομάδες, συνέχισαν να θεραπεύουν (Πίν. 5). Τον τρίτο μήνα, η αποκατάσταση από όλους τους τύπους των τραυμάτων, ήταν αμελητέα. (Oren et al.2001)

Τα ποσοστά αποκατάστασης των αποικιών κατά τον πρώτο μήνα μετά τον τραυματισμό παρουσιάζονται στον Σχήμα 6 a-c. Η αποκατάσταση των τραυμάτων επηρεάστηκε σημαντικά από το μέγεθος των αποικιών και τον τύπο των τραυμάτων.

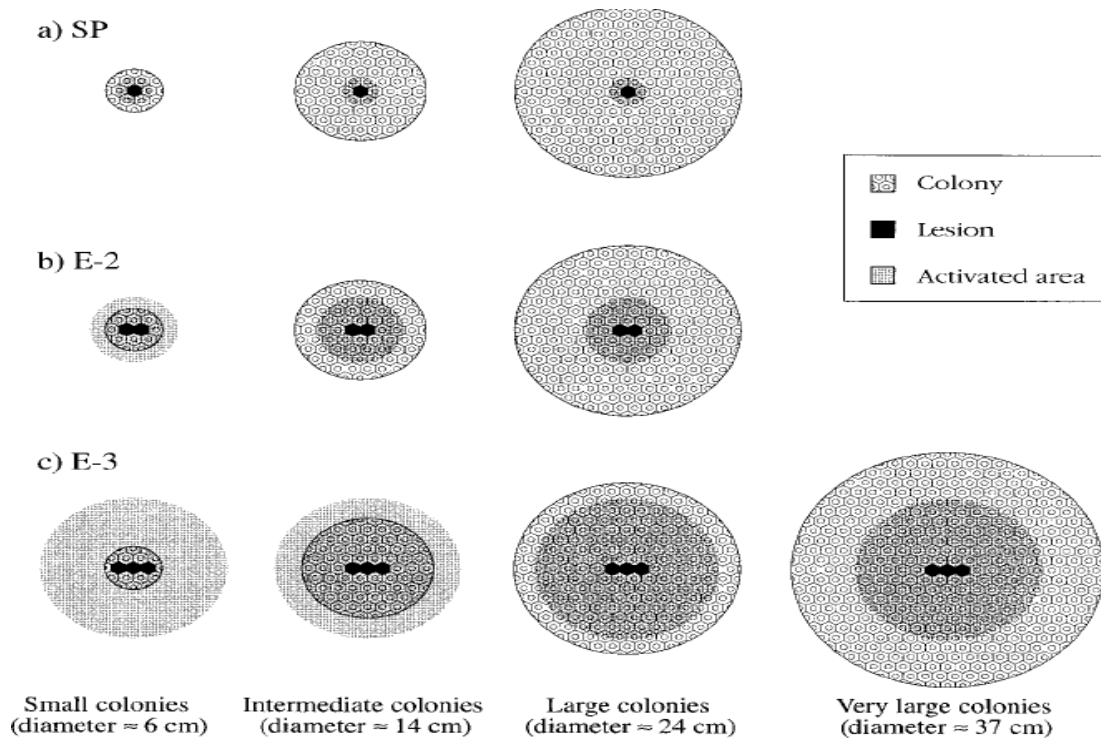
Πίνακας 3. Ποσοστά (%) αποκατάστασης κατά το διάστημα τριών μηνών.

Colony size	Lesion type	0-30 d	31-60 d	61-90 d
Small	SP	48.3 ± 7.3	19.8 ± 5.6	3.7 ± 3.2
	E-2	20.6 ± 4.0	2.70 ± 2.5	0.4 ± 2.3
	E-3	17.3 ± 4.2	-0.1 ± 2.3	-1.1 ± 1.9
Intermediate	SP	50.6 ± 7.0	17.1 ± 3.7	2.9 ± 2.2
	E-2	34.3 ± 5.4	17.6 ± 6.0	4.1 ± 2.8
	E-3	27.2 ± 3.9	9.50 ± 3.8	1.4 ± 2.7
Large	SP	52.0 ± 7.8	24.3 ± 4.1	4.2 ± 3.0
	E-2	32.5 ± 5.6	7.80 ± 3.0	1.2 ± 2.6
	E-3	37.8 ± 5.0	11.3 ± 3.4	1.2 ± 3.0



Σχήμα 4. Μέσος όρος του ποσοστού αποκατάστασης για τις μικρές, μέτριες και μεγάλες αποικίες του *Favia favaus* κατά τον πρώτο μήνα μετά τον τραυματισμό.

Τα παρόμοια ποσοστά αποκατάστασης που αποσπώνται από τα μικρά τραύματα SP Μονού Πολύποδα (μ.ο. μέγεθος τραύματος = $87 \pm \text{mm}^2$) σε κάθε μια από τις κατηγορίες των αποικιών, δείχνουν ότι η ταχύτατη ανάρρωση τους απαιτεί σε χαμηλό βαθμό την επίδραση όλης της αποικίας: ο αριθμός των άθικτων πολυπόδων αναγκαίων για την ανάρρωση τους είναι πολύ μικρός και είναι περιορισμένος μέσα στην πραγματική επιφάνεια των μικρών αποικιών(Εικ. 11α) (Oren et al.2001)



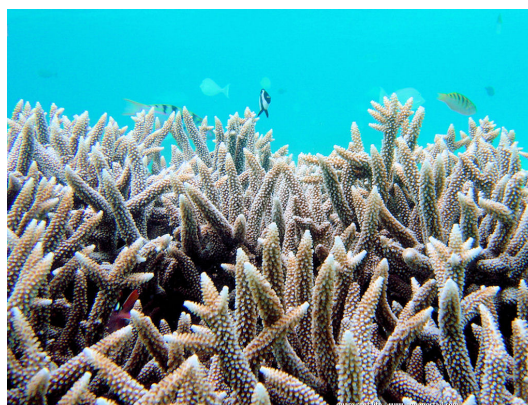
Εικόνα 9. Έκταση της ενσωμάτωσης της αποικίας κατά την ανάρρωση τραυμάτων στο *Favia favis*. Οι τύποι των τραυμάτων είναι με μαύρο χρώμα, με διαφανές γκρίζο χρώμα είναι το κομμάτι της αποικίας που απαιτείται για ταχεία ανάρρωση και η περιοχή που περιλαμβάνει τα εξάγωνα αντιπροσωπεύει την πραγματική επιφάνεια της αποικίας.

Τα E-2 τραύματα εξέθεσαν χαμηλά ποσοστά αποκατάστασης στις μικρές αποικίες και σχετικά υψηλή και παρόμοια ποσοστά αποκατάστασης στις ενδιάμεσες και τις μεγάλες αποικίες (Πιν. 6b). Αυτό δείχνει ότι ο αριθμός των άθικτων πολυπόδων που απαιτούνται για την αποκατάστασή τους είναι μεγαλύτερος από την πραγματική επιφάνεια των μικρών αποικιών, αλλά είναι ακόμα περιορισμένος μέσα στην πραγματική επιφάνεια των ενδιάμεσων και των μεγάλων αποικιών, όπως απεικονίζεται στην Εικ.11b. Τα E-3 τραύματα αποκαταστάθηκαν πιο γρήγορα στις μεγάλες αποικίες σε σύγκριση με τις ενδιάμεσες και τις μικρές (Πιν.6c), υποδηλώνοντας ότι η επιφάνεια της αποικίας που απαιτείται για την γρήγορη

αποκατάστασή τους είναι μεγαλύτερη από την πραγματική επιφάνεια στις μικρές και ενδιάμεσες αποικίες, όπως διαπιστώνεται και από την Εικ.11c. Τα παρόμοια ποσοστά αποκατάστασης που παρουσιάστηκαν από τα E-3 τραύματα στις δυο μεγαλύτερες τάξεις (Πιν.6c) υποδεικνύουν ότι οι επιφάνειες των αποικιών που απαιτούνται για την γρήγορη αποκατάστασή τους είναι μικρότερες από τις πραγματικές επιφάνειες των μεγάλων αυτών αποικιών. (Oren et al.2001)

3.4 Η επίδραση της «λεύκανσης» των κοραλλιών στη δυνατότητα αναγέννησης ιστού και στην επιβίωση της αποικίας

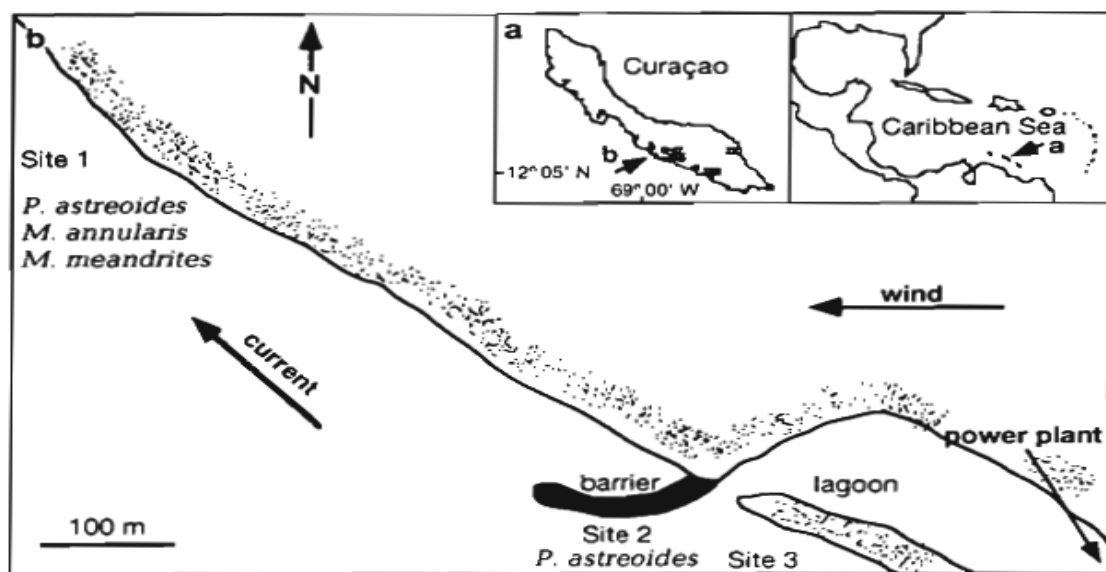
Για να μελετήσουμε τις επιδράσεις της λεύκανσης στις ικανότητες της αναγέννησης και στην επιβίωση των αποικιών, πραγματοποιήσαμε πειράματα στο φυσικό περιβάλλον σε 3 ερματυπικά, ζωοξανθελώδη είδη κοραλλιών σε μια περίοδο που προηγείται των αυξανόμενων θερμοκρασιών του θαλασσινού νερού και ενός γεγονότος μαζικής λεύκανσης. Για να μελετήσουμε την επίδραση των μακροπρόθεσμων αυξημένων θερμοκρασιών στην αναγέννηση, συγκρίναμε χαρακτηριστικά της αναγέννησης των σε λεύκανση κοραλλιών που ήταν τοποθετημένα στα θερμικά απόβλητα ενός εργοστασίου ηλεκτρισμού με αποικίες πάνω από το ρεύμα και κάτω από το ρεύμα του εργοστασίου. Οι περιοχές μελέτης ήταν στην υπήνεμη ακτή του Curacao, Ολλανδικές Αντίλλες (Εικ. 13). Εδώ πλαίσια υφάλων εκτείνονται παράλληλα από την ακτή, σε μια απόσταση 50 με 100 m μακριά (Meesters & Bak 1993).



Εικόνα 12. *Acropora muricata* υπό λεύκανση (Πηγή: www.worms.com)

Τρεις κατηγορίες χρωματισμού παρατηρήθηκαν στο πεδίο δοκιμών: αποικίες με λεύκανση (εντελώς λευκές αποικίες), αποικίες μερικώς σε λεύκανση (αποικίες που δείχνουν μειωμένο χρωματισμό σε σύγκριση με τις γειτονικές φυσιολογικές αποικίες ή αποικίες που δείχνουν λευκασμένες κηλίδες ή κηλίδες με μειωμένο χρωματισμό) και κανονικές αποικίες (αποικίες ενός χρώματος που αντιστοιχεί σε αυτό που παρατηρήθηκε κατά την διάρκεια περιόδων φυσιολογικών θερμοκρασιών θαλασσινού νερού). Στα πειράματά μας όλες οι αποικίες ανήκαν σε μια από τις σαφείς κατηγορίες: λεύκανσης ή κανονικού χρωματισμού. (Meesters & Bak 1993)

Πραγματοποιήθηκαν δυο πειράματα αναγέννησης. Το πρώτο πείραμα αξιολόγησε την επιρροή της λεύκανσης στην ικανότητα αναγέννησης 3 κοινών ειδών. Τεχνητά τραύματα πραγματοποιήθηκαν σε κανονικές και λευκασμένες αποικίες του *Montastrea annularis* (7 Νοεμβρίου 1990; ηκανονικό = 24, ηλεύκανσης = 50; σε βάθος 7 με 10 m), *Porites astreoides* (31 Οκτωβρίου 1990; ηκανονικό = 20, ηλεύκανσης = 27; σε βάθος 3 με 6m), και *Meandrina meandrites* (6 Νοεμβρίου 1990; ηκανονικό = 5, ηλεύκανσης = 9; σε βάθος 17 με 25m) στη Θέση 1 (Site 1), Εικ.13. (Meesters & Bak 1993)



Εικόνα 10. Τοποθεσία του Curacao και των περιοχών ερευνών. Το νερό από το εργοστάσιο ηλεκτρ. αποφορτίζεται σε μια λιμνοθάλασσα (lagoon) και ρέει μέσα από ένα μικρό διάυλο κατά μήκος ενός φράγματος σκυροδέματος μέσα στον ύφαλο.

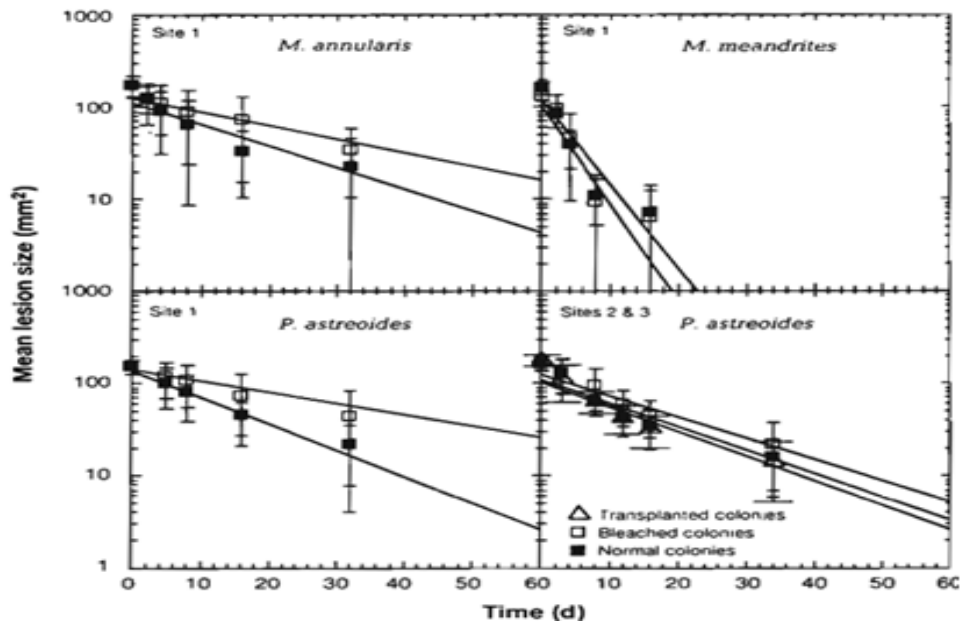
Για να περιγράψουμε την αναγέννηση των κοραλλιών με ακρίβεια, πρέπει να εισάγουμε τους ακόλουθους ορισμούς:

-Ποσοστό αναγέννησης: το μέσο ποσοστό στο οποίο το τραύμα αποκαταστάθηκε. Αυτό εκφράζεται ως περιοχή που καλύπτεται ανά μονάδα στο χρόνο.

-Αποκατάσταση τραύματος: το μέσο ποσοστό της περιοχής της επιφάνειας των τραυμάτων που αποκαταστάθηκαν ανά μονάδα στο χρόνο.

Για να υπολογίσουμε το ποσοστό αναγέννησης και την αποκατάσταση τραύματος, παρατηρήθηκε το μέγεθος των τραυμάτων σε βάθος χρόνου. Σε κάθε σημείο αναφοράς παρατηρήθηκε επίσης το χρώμα της αποικίας, σημάδια θνησιμότητας, μολύνσεις από άλλους οργανισμούς και την εμφάνιση πολυπόδων και διαφραγμάτων. Η συνολική παρατήρηση διήρκησε 131 μέρες. Το δεύτερο πείραμα πραγματοποιήθηκε για να ερευνησουμε εάν η μακροπρόθεσμη έκθεση σε υψηλότερες, από το κανονικό, θερμοκρασίες θαλασσινού νερού επηρεάζει την αναγέννηση. Πραγματοποιήθηκαν τρεις σειρές τραυμάτων: (1) Σε λευκασμένες αποικίες *Porites astreoides* (25 Οκτωβρίου 1990; n = 32; βάθος: 3 με 5m) τοποθετημένες στα θερμικά απόβλητα εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Θέση 2, Εικ. 13). Δεν υπήρξαν κανονικές χρωματισμένες αποικίες στην περιοχή αυτή. (2) Σε λευκασμένες αποικίες (25 Οκτωβρίου 1990; n = 23; βάθος 2 με 5m) που είχαν μεταφερθεί μακριά από τα απόβλητα στη θέση 3 (Site 3), που ήταν τοποθετημένες 100 μέτρα πάνω από το ρεύμα και υποτιθέμενες ότι ήταν απρόσβλητες από τα θερμικά απόβλητα. Οι θερμοκρασίες εδώ ήταν κατά μέσο όρο 1,3°C χαμηλότερες από την θέση 2 (κυμαίνονταν από 0,5°C στην αρχή του πειράματος μέχρι 1,5°C στο τέλος). και (3) Σε κανονικές χρωματισμένες αποικίες (25 Οκτωβρίου 1990; n = 31; βάθος 2 με 5m) στη Θέση 3. (Meesters & Bak 1993)

Δυο ημέρες από την έναρξη των πειραμάτων, το μέγεθος των περισσότερων τραυμάτων είχε αρχίσει να μειώνεται (Πιν. 7). Ένα στρώμα ιστού είχε αρχίσει να αναπτύσσεται προς το εσωτερικό από την άκρη του τραύματος, καλύπτοντας το γυμνό σκελετό. Οι πολύποδες αναπτύχθηκαν στο νέο στρώμα ιστού μετά από περίπου 1 εβδομάδα. Κατά την διάρκεια της πρώτης εβδομάδας νηματοειδή φύκη εγκαταστάθηκαν μέσα στα τραύματα, αλλά αυτό δεν φάνηκε να καθυστερεί την αποκατάσταση των τραυμάτων επειδή είχαν καλυφτεί από τον ιστό των κοραλλιών. Οι άλγεις έγιναν πιο εμφανείς αργότερα στο πείραμα όταν το ποσοστό αναγέννησης μειώθηκε κατά ένα μεγάλο μέρος. (Meesters & Bak 1993)



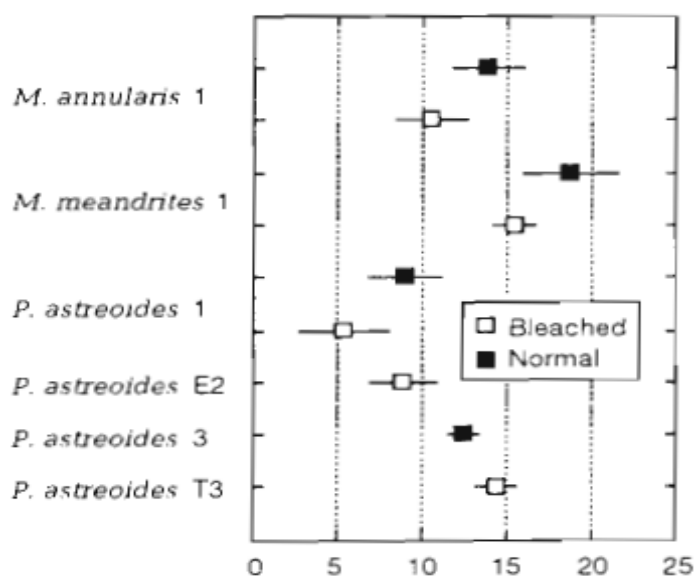
Σχήμα 5. *Montastrea annularis*, *Meandrina meandrites* και *Porites astreoides*

Στα τραύματα του *Porites astreoides* μικρά θραύσματα ιστού εμφανίστηκαν μερικές φορές έξω από το πλαίσιο του αναγεννημένου ιστού, πιθανόν από υπολείμματα ιστού που ήταν τοποθετημένα βαθιά στο διάτρητο σκελετό. Τα τραύματα του *Montastrea annularis* έκλεισαν πάντα από την περιφέρεια. Νέοι πολύποδες αναπτύχθηκαν μεταξύ και επάνω στους εναπομείναντος κάλυκες. Τα τραύματα του *Meandrina meandrites* καλύφθηκαν πολύ γρήγορα από καινούργιο ιστό και νέοι πολύποδες αναπτύχθηκαν στους παλιούς κάλυκες μόνο. Νέα διαφράγματα εμφανίστηκαν αμέσως μετά την επικάλυψη των τραυμάτων με ιστό και έφτασαν το φυσιολογικό μέγεθός τους (10 με 12 mm) την 64^η μέρα. Μερικά τραύματα στις λευκασμένες αποικίες του *Montastrea annularis* και του *Porites astreoides* διεύρυναν κατά πολύ το αρχικό μέγεθός τους, οδηγώντας περιστασιακά στο θάνατο ολόκληρης της αποικίας. Τέτοιες τραύματα περιλαμβάνονται μόνο στην εκτίμηση της θνησιμότητας. (Meesters & Bak 1993)

3.4.1 Ποσοστό αναγέννησης

Η λεύκανση επηρέασε την αναγέννηση των τραυμάτων για όλα τα είδη (Πιν.7 & 8). Το μέσο ποσοστό αναγέννησης του *Montastrea annularis* (Πιν. 8) ήταν 10.5 (n = 41) για λευκασμένες αποικίες και 13.9 mm² d⁻¹ (n = 26) για κανονικές αποικίες κατά την διάρκεια των πρώτων 8 ημερών. Το μέσο ποσοστό αναγέννησης (Πιν. 8) των λευκασμένων αποικιών *Porites astreoides* (n = 23) ήταν 5.4 mm² d⁻¹, ενώ οι κανονικές αποικίες (n = 19) ανέρρωσαν σε ποσοστό 9 mm² d⁻¹. Τα *Meandrina meandrites* εμφάνισαν την πιο γρήγορη ανάρρωση (Πιν.7 & 8). Τα τραύματα έκλεισαν με μέσο ποσοστό 18.7 (κανονικές, n = 5) και 15.4 (λευκασμένες, n = 9) mm² d⁻¹, αν και το αρχικό μέγεθος του τραύματος στο κανονικό γκρουπ ήταν κάπως μεγαλύτερο από αυτό στο λευκασμένο γκρουπ (1.6 έναντι 1.3 cm²). Το ποσοστό αναγέννησης σε όλα τα είδη δεν διέφερε κατά την διάρκεια της πρώτης εβδομάδας, αλλά μειώθηκε απότομα στις επόμενες 2 εβδομάδες. (Meesters & Bak 1993)

Τα ποσοστά αναγέννησης κατά την διάρκεια των πρώτων 8 ημερών ήταν 12.4 για κανονικές αποικίες (n=31, θέση 3), 14.3 για λευκασμένες μετεγκαταστημένες (n=23, θέση 3) και 8,99mm²d⁻¹ για λευκασμένες στο φυσικό περιβάλλον. Οι αποικίες στα θερμικά απόβλητα αναγεννήθηκαν με τον ίδιο ρυθμό (ποσοστό) όπως οι κανονικές αποικίες στη θέση 1.



Σχήμα 6. Μέσο ποσοστό αναγέννησης κατά την διάρκεια των πρώτων 8 ημερών. Οι αριθμοί παραπέμπουν στις διαφορετικές θέσεις, όπου : E = Θερμικά απόβλητα και T= μετεγκαταστημένα

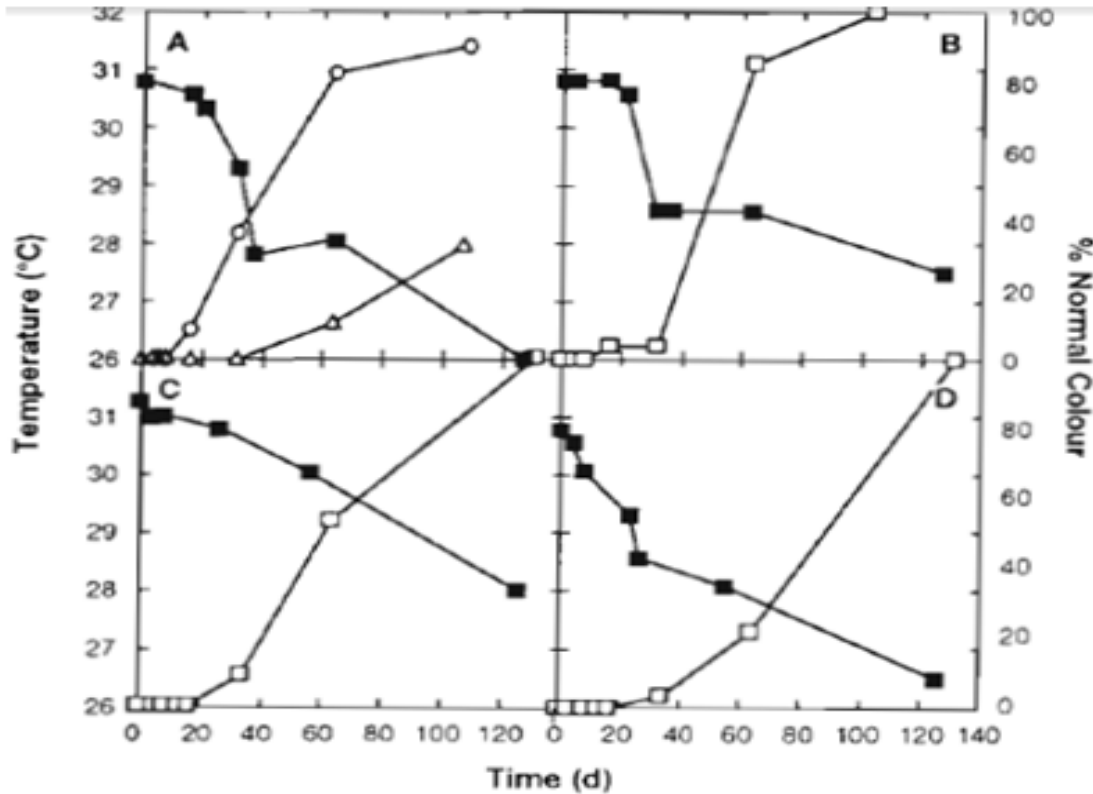
Δεν υπήρξε στατιστική διαφορά μεταξύ των αποικιών που βρίσκονταν στα θερμικά απόβλητα, τις κανονικές με χρώμα αποικίες στη θέση 1 και τις κανονικές με χρώμα αποικίες στη θέση 3. Και επειδή λοιπόν η θερμοκρασία ήταν η κύρια διαφορά μεταξύ των θέσεων, διαπιστώνεται πιθανότατα ότι οι αποικίες που βρίσκονταν στα θερμικά απόβλητα είχαν εγκλιματιστεί στις υψηλότερες θερμοκρασίες του νερού. Τα μέσα ποσοστά αναγέννησης των μετεγκαταστημένων μακριά από τα απόβλητα) λευκασμένων αποικιών στη θέση 3 ήταν συγκρίσιμα με αυτά των κανονικών αποικιών στη θέση 3. (Meesters & Bak 1993)

Όσον αφορά την αποκατάσταση των τραυμάτων για τις λευκασμένες αποικίες μετά από 8 ημέρες ήταν, 56% της αρχικής επιφάνειας του τραύματος για το *Montastrea annularis* και 35% για το *Porites astreoides*. Στην ίδια χρονική περίοδο των 8 ημερών, οι κανονικές αποικίες είχαν αποκατασταθεί κατά 70 και 51% αντίστοιχα. Η αποκατάσταση των τραυμάτων και για τις δυο αποικίες(κανονική, λευκασμένη) του *Meandrina meandrites* ήταν 93% της αρχικής επιφάνειας του τραύματος μετά από 8 ημέρες. Μέσα στην θερμική εκροή, η αποκατάσταση των τραυμάτων μετά από 8 ημέρες ήταν 49% ενώ κανονικές και λευκασμένες αποικίες του *Porites astreoides* μετεγκαταστημένες στη Θέση 3, είχαν αποκατασταθεί 62 και 65% αντίστοιχα. (Meesters & Bak 1993)

3.4.2 Χρωματισμός ιστού

Ο αριθμός των πειραματικών λευκασμένων αποικιών που αποκατέστησαν τον φυσικό τους χρωματισμό άρχισε να αυξάνεται περίπου 1 μήνα μετά την έναρξη της λεύκανσης. Εκείνη την εποχή τα τραύματα είχαν ήδη αποκατασταθεί καλά πάνω από 70% της αρχικής επιφάνειάς τους. Στο *Montastrea annularis* ο χρωματισμός πρώτα επανεμφανίστηκε σε ακανόνιστες κηλίδες στις πλευρές των αποικιών, ενώ οι άνω επιφάνειες ήταν το τελευταίο μέρος που αποκατέστησαν το χρωματισμό τους. Στις αποικίες *Porites astreoides*, ο χρωματισμός επέστρεψε περισσότερο ομοιόμορφα αφού δεν υπήρξε καμία σαφή διάκριση μεταξύ των ανώτερων επιφανειών και των πλευρών. Οι αποικίες του *Meandrina meandrites* (που ήταν το πρώτο είδος που

εμφάνισε σημάδια λεύκανσης) ήταν οι πρώτες που αποκατέστησαν τον χρωματισμό τους ολοκληρωτικά. Η αποκατάσταση του χρωματισμού φαίνεται να συσχετίζεται αρνητικά με την μείωση της θερμοκρασίας του νερού (Σχ.9).(Meesters & Bak 1993)



Σχήμα 9. Μ.ο. θερμοκρασιών των 3 θέσεων και ποσοστό του συνολικού αριθμού των λευκασμένων αποικιών και στα 2 πειράματα, που είχαν επαναφέρει το χρωματισμό τους

Προς το τέλος των πειραμάτων, μόνο το 38 % των αποικιών του *Montastrea annularis* είχαν ανακτήσει το φυσικό τους χρώμα, όταν τα άλλα είδη είχαν ήδη αποκαταστήσει ολοκληρωτικά τον φυσικό τους χρωματισμό. Ο χρωματισμός στο *Meandrina meandrites* επανήλθε γρήγορα αμέσως μόλις οι θερμοκρασίες κατέβηκαν κάτω από 30.8°C.(Πιν.9A). Στα λύματα στη Θέση 2 (Πιν.9C), οι θερμοκρασίες έπεσαν πιο αργά και όχι τόσο όσο στις άλλες θέσεις. Οι αποικίες *Porites astreoides* στα λύματα, είχαν ήδη ανακτήσει τον κανονικό τους χρωματισμό όταν η θερμοκρασία του νερού ήταν ακόμα 30.8°C. Οι αποικίες *Porites astreoides* στη Θέση 1 και 3 ανέκτησαν το κανονικό τους χρώμα μόνο όταν η θερμοκρασία έπεσε κάτω από τους 28.5°C (Πιν.9B και 9D). Οι θερμοκρασίες στο ρηχό τμήμα της Θέσης 1 (Πιν.9.B) ήταν υψηλότερες από το βαθύτερο τμήμα (Πιν.9A). Το ζεστό νερό από το εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας προφανώς ακολουθεί από κοντά την

ακτή και επηρεάζει την θερμοκρασία γύρω από τις αποικίες *Porites astreoides* παρά μάλλον γύρω από το σύμπλεγμα *Meandrina*. (Meesters & Bak 1993)

3.4.3 Θνησιμότητα κοραλλιών

Οι λευκασμένες αποικίες *Montastrea annularis* και *Porites astreoides* εμφάνισαν σημαντικά περισσότερη θνησιμότητα από τις κανονικές αποικίες. Οι λευκασμένες αποικίες *P. astreoides*, στα λύματα(Θέση 2) και στην Θέση 1 υπέφεραν περισσότερο ,με περισσότερο από 90% και 60% των αποικιών αντίστοιχα να δείχνουν σημάδια θνησιμότητας. Δεν υπήρξε σημαντική διαφορά θνησιμότητας στις λευκασμένες μετεγκαταστημένες αποικίες στη Θέση 3, τις κανονικές αποικίες στη Θέση 3 και τις κανονικές αποικίες στη Θέση 1. (Meesters & Bak 1993)

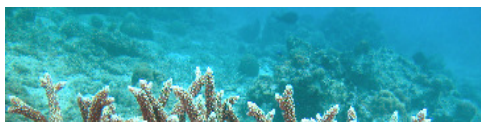
Πίνακας 7. Ποσοστά των κοραλλιών που επηρεάστηκαν από διαφορετικές κατηγορίες θνησιμότητας μετά από 131 ημέρες. Μερική θνησιμότητα = διευρυμένο τραύμα, Ολική θνησιμότητα = απουσία ζωντανού ιστού.

3.5 Ανεξαρτήτου μεγέθους κατανομή των πόρων για την αναγέννηση και ανάπτυξη του *Acropora muricata*

Για να αποκαλύψουμε την βέλτιστη κατανομή των πόρων μεταξύ των : αναγέννηση, ανάπτυξη, σεξουαλική αναπαραγωγή και επιβίωση, ένα αποικιακό κοράλλι

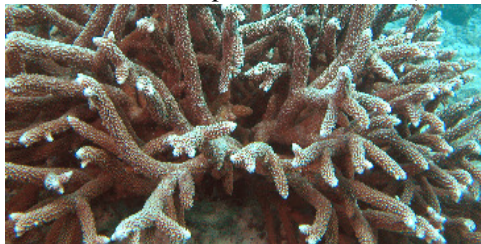
Experiment		Closed	Not closed	Partial mortality	Total mortality	G	n
Site 1							
<i>M. annularis</i>	N	71	29	0	0	17.9	24
	B	32	36	32	0	(<0.001)	50
<i>M. meandrites</i>	N	100	0	0	0		5
	B	100	0	0	0		9
<i>P. astreoides</i>	N	70	20	5	5	18.1	20
	B	15	26	56	4	(<0.001)	27
Site 2							
<i>P. astreoides</i>	BE	6	3	87	3		31
Site 3							
<i>P. astreoides</i>	N	77	13	10	0	5.2	31
	BT	60	5	30	5	(0.07)	20
Total		47.5	19.4	33.2	1.8		217

Acropora muricata χωρίς ωοκύτταρα διαχωρίστηκε σε κομμάτια διαφορετικών μεγεθών (5, 10, και 20cm μήκος) τα οποία στη συνέχεια μεταφύτευτηκαν σε κοραλλιογενείς επιφάνειες (υπόστρωμα). Το *Acropora muricata* τεμαχίστηκε τεχνητά 2 φορές στα πειράματα που διεξήχθησαν, όταν οι αποικίες δεν είχαν ωοκύτταρα.



Εικόνα 11. *Acropora muricata* (www.coralsee.org)

Στο πείραμα κομματιού μετά από 9 μήνες.



1, η κατάσταση κάθε παρακολουθήθηκε Καταγράφηκαν οι

ακόλουθες παρατηρήσεις : (1) η επιβίωση, (2) ο ρυθμός επέκτασης του μήκους (mm) και (3) η αναλογία ωοτοκίας (%). Το ποσοστό επιβίωσης παρακολουθήθηκε εντός 24 ημερών μετά την μεταφύτευση. (Okubo 2008)

Ενώ στο πείραμα 2, η κατάσταση του κάθε τεμαχίου παρακολουθούνταν καθημερινά για 24 ημέρες μετά τη μεταφύτευση. Οι ακόλουθες παρατηρήσεις καταγράφηκαν : (1) η επιβίωση 24 ημέρες μετά την μεταφύτευση, (2) η ημέρα στην οποία ένα τραύμα έκλεισε τελείως, (3) η ημέρα όταν ο πρώτος πολύποδας και ο αξονικός πολύποδας εμφανίστηκαν σε μια τεμαχισμένη επιφάνεια και (4) ο αριθμός των πολυπόδων σε μια τεμαχισμένη επιφάνεια 24 ημέρες μετά την μεταφύτευση. (Okubo 2008)

3.5.1 Αναγέννηση τραυμάτων και δημιουργία νέων πολυπόδων (Πείραμα 2)

Κανένα από τα τεμάχια δεν συντήχτηκαν στο υπόστρωμα και κανένα από τα στρώματα ιστού δεν διαμορφώθηκαν στο κάτω μέρος των κομμένων επιφανειών στις

24 ημέρες που ακλούθησαν τη μεταφύτευση. Στο πάνω μέρος των κομμένων επιφανειών ωστόσο, η αναγέννηση των τραυμάτων που περιλαμβάνει το σχηματισμό νέου στρώματος ιστού άρχισε την ημέρα που ακλούθησε τον τεμαχισμό. Ανεξάρτητα από το μέγεθος των κομματιών, όλα τα τραύματα είχαν κλείσει τελείως μέχρι τις 24 Αυγούστου του 2000, την 11^η ημέρα μετά τον τεμαχισμό. Νέοι πολύποδες ξεπρόβαλλαν στα νέα στρώματα ιστού στις 31 Αυγούστου 2000, την 18^η ημέρα μετά τον τεμαχισμό (Πίν.11). Οι πολύποδες στον άξονα, άρχισαν να ξεπροβάλλουν στις 6 Σεπτεμβρίου του 2000, την 20^η ημέρα μετά τον τεμαχισμό. Ο αριθμός των νέων σχηματισμένων πολυπόδων δεν διέφερε σημαντικά από το μέγεθος των κομματιών (Πίν.11). Ένα κομμάτι των 5cm απεβίωσε κατά την διάρκεια του πειράματος (Πίν.11). (Okubo 2008)

Πίνακας 8. Αριθμός νέων πολυπόδων που σχηματίστηκαν στο καινούργιο στρώμα στην τεμαχισμένη επιφάνεια, 24 μέρες μετά τον τεμαχισμό. Ο τεμαχισμός διεξήχθη 13 Αυγούστου 2000.

	5cm (n = 11)	10cm (n = 10)	20cm (n = 8)
Survival rate (%)	90.1	100	100
Number of polyps	8.5 ± 0.7	9.9 ± 5.9	10.4 ± 4.6

Επιβίωση, επέκταση μήκους και ωτοκία (Πείραμα 1)

Δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στα ποσοστά επέκτασης μήκους μεταξύ των τριών κομματιών (Πίν.12). Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι τα ποσοστά γραμμικής επέκτασης μήκους ήταν επίσης ανεξαρτητοποιημένα από το μέγεθος των κομματιών. Ένα κομμάτι των 5cm απεβίωσε κατά την διάρκεια του πειράματος (Πίν.12). Κατά την διάρκεια του πρώτου χρόνου μετά τον τεμαχισμό, το κομμάτι των 5cm και των 10cm δεν ωτόκησαν. Μόνο τα κομμάτια των 20cm ωτόκησαν στις 6 και 7 Ιουνίου του 2001 (Πίν.12). Τα ποσοστά της επέκτασης του μήκους (mm) κατά την διάρκεια 9 μηνών που προηγούνται της ωτοκίας ήταν : 60.4±31.5(n=13) για τα αναπαραγωγικά κομμάτια (τεμάχια) και 37.0±33(n=14) για τα μη αναπαραγωγικά κομμάτια. (Okubo 2008)

Πίνακας 9. Αριθμός νέων πολυπόδων που σχηματίστηκαν στο καινούργιο στρώμα στην τεμαχισμένη επιφάνεια, 24 μέρες μετά τον τεμαχισμό. Ο τεμαχισμός διεξήχθη 13 Αυγούστου 2000.

	5 cm (n = 30)	10 cm (n = 26)	20 cm (n = 27)
Survival rate (%)	96.7	100	100
Linear extension rate (mm)	61.7 ± 18.3	62.7 ± 22.2	49.4 ± 33.3

3.6 Αναγέννηση στα ενυδρεία: Αναγέννηση ιστού με συμπλήρωμα ασκορβικού οξέος

Ο σκοπός του πειράματος ήταν να καθορίσει τις επιδράσεις του ασκορβικού οξέος στο ποσοστό της αναγέννησης ιστού και τα ποσοστά επιβίωσης στα τεμαχισμένα μαλακά κοράλλια. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε δεξαμενές 45L γεμάτες με τεχνητό θαλασσινό νερό. Οι ακόλουθες παράμετροι εξετάστηκαν και διατηρήθηκαν στα ακόλουθα επίπεδα για να διασφαλιστεί η συνοχή και να μιμηθούν τις ιδιότητες του φυσικού θαλασσινού νερού: το ειδικό βάρος διατηρήθηκε μεταξύ 1.024-1.025, το επίπεδο των νιτρικών αλάτων έπρεπε να παραμείνει κάτω από 5 μέρη ανά εκατομμύριο (ppm), το pH διατηρήθηκε μεταξύ 8.40-8.50, η ανθρακική σκληρότητα διατηρήθηκε σε ένα εύρος μεταξύ 9-11 βαθμούς και η θερμοκρασία διατηρήθηκε μεταξύ 25 έως 27°C. (Kruse 2011)

Το πρώτο υποκείμενο κατακερματισμού ήταν κοραλλίμορφα του γένους *Actinodiscus*. Σε ένα ενυδρείο καλλιέργειας, ψαλίδια χρησιμοποιήθηκαν για να κόψουν τη στήλη του κοραλλίμορφου. Μετά την τομή, το κοράλλι απομακρύνθηκε από το ενυδρείο και τοποθετήθηκε σε ένα 'χαλί ανατομίας' (επίπεδη επιφάνεια) όπου κόπηκε στα δυο. Αυτό επαναλήφθηκε σε σύνολο 6 κοραλλίμορφων μέχρι να μαζευτούν 12 κομμάτια. Τα κομμάτια στη συνέχεια μεταφέρθηκαν σε 3 πιάτα Petri που ήταν επικαλυμμένα με υπόστρωμα κοραλλιογενούς υφάλου. Ένα πιάτο Petri τοποθετήθηκε στη συνέχεια σε κάθε ένα από τα 3 ενυδρεία. Το Ενυδρείο 1 συμπληρώθηκε με 0.28 υδατικό ασκορβικό οξύ με ισορροπημένο pH. Το Ενυδρείο 2 συμπληρώθηκε με 0.56 υδατικό ασκορβικό οξύ ενώ το Ενυδρείο 3 δεν συμπληρώθηκε με οτιδήποτε απλά χρησιμοποιήθηκε ως έλεγχος. Σε όλη την διάρκεια του πειράματος, τα συμπληρώματα αυτά δίνονταν μια φορά την ημέρα στην ίδια

συγκέντρωση. Οι μετρήσεις γίνονταν κάθε δεύτερη μέρα σε όλη την διάρκεια των 22 ημερών του πειράματος. (Kruse 2011)



Εικόνα 12. *Actinodiscus nummiformis* (www.atollzoo.com)

Το επόμενο υποκείμενο κατακερματισμού ήταν το κοράλλι Pulsing (παλλόμενο) *Xenia* (*Xenia sp.*). Το οποίο επίσης κόπηκε στα δυο σε σύνολο 10 κομματιών και τοποθετήθηκε σε πιάτα Petri, σε 3 διαφορετικά ενυδρεία. Το Ενυδρείο 1 συμπληρώθηκε με 1.0 υδατικό ασκορβικό οξύ καθημερινά. Το Ενυδρείο 2 συμπληρώθηκε με 1.5 υδατικό ασκορβικό οξύ και το Ενυδρείο 3 χρησιμοποιούνταν ως έλεγχος. Εφόσον οι πολύποδες του *Xenia* πάλλονταν, ήταν δύσκολο να μετρηθεί η ανάπτυξη για αυτό το λόγο, η αναγέννηση ιστού παρατηρήθηκε μετρώντας την ταχύτητα της προσάρτησης (σύνδεσης με το υπόστρωμα). Αυτό μετρήθηκε κάθε 4 ώρες σε όλη την διάρκεια των 120 ωρών της δοκιμασίας. (Kruse 2011)

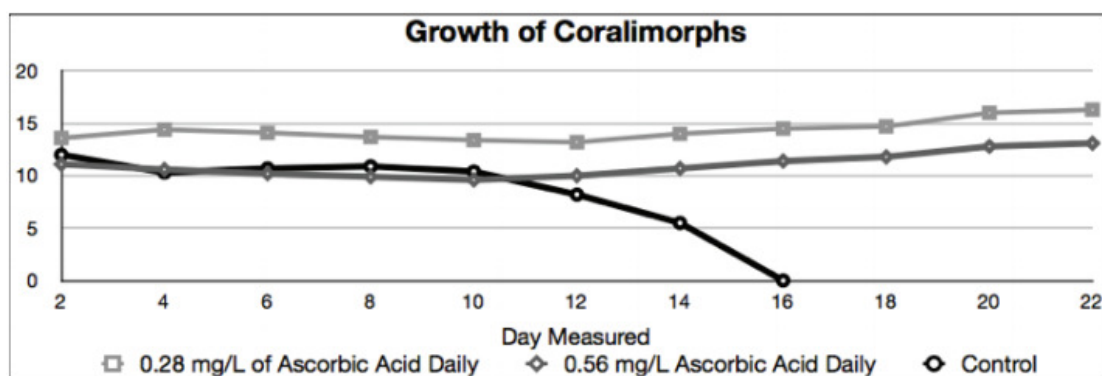


Εικόνα 13. *Xenia elongata* (www.reeftime.com)



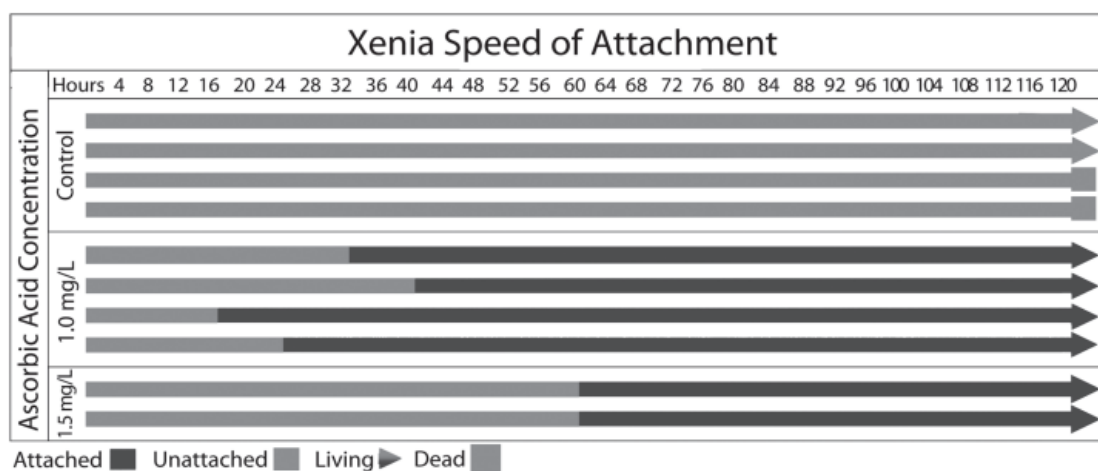
Εικόνα 14. *Sinularia flexibilis* (www.tfhmagazine.com)

Το τελευταίο υποκείμενο κατακερματισμού ήταν το κοράλλι *Sinularia Flexibilis* το οποίο κόπηκε μέχρι να μαζευτούν 6 κομμάτια. Επίσης τοποθετήθηκαν σε πιάτα Petri με υπόστρωμα χαλκιού υφάλου όπου στη συνέχεια τοποθετήθηκαν στο τελευταίο σετ των πειραματικών ενυδρείων. Η δόση του ασκορβικού οξέος ήταν ίδια με αυτήν στο πείραμα του *Xenia* με τα Ενυδρεία 1,2 και 3 να περιέχουν 1.5 ,1 και 0 υδατικό ασκορβικό οξύ αντίστοιχα. Τα κομμάτια μετρήθηκαν με διαβήτη κάθε δεύτερη μέρα σε όλη την διάρκεια των 12 ημερών του πειράματος. (Kruse 2011). Στο ενυδρείο του *Actinodiscus* με τη συγκέντρωση ασκορβικού οξέος στο 0.28, τα τέσσερα κοραλλίμορφα κομμάτια μεγάλωσαν με μέσο όρο διαμέτρου 2.7 mm κατά την διάρκεια των 22 ημερών των μετρήσεων, με όλα τα κομμάτια να επιβιώνουν. Τα κομμάτια στο ενυδρείο με τη συγκέντρωση 0.56 ασκορβικού οξέος, μεγάλωσαν με μέσο όρο 2.0 mm σε διάμετρο και όλα τα κομμάτια επιβίωσαν. Ενώ κομμάτια στο ενυδρείο που δεν συμπληρώθηκαν με ασκορβικό οξύ, μειώθηκαν σε μέγεθος μέχρι την 16^η μέρα όπου όλα τα απεβίωσαν.(Σχ.13) (Kruse 2011)



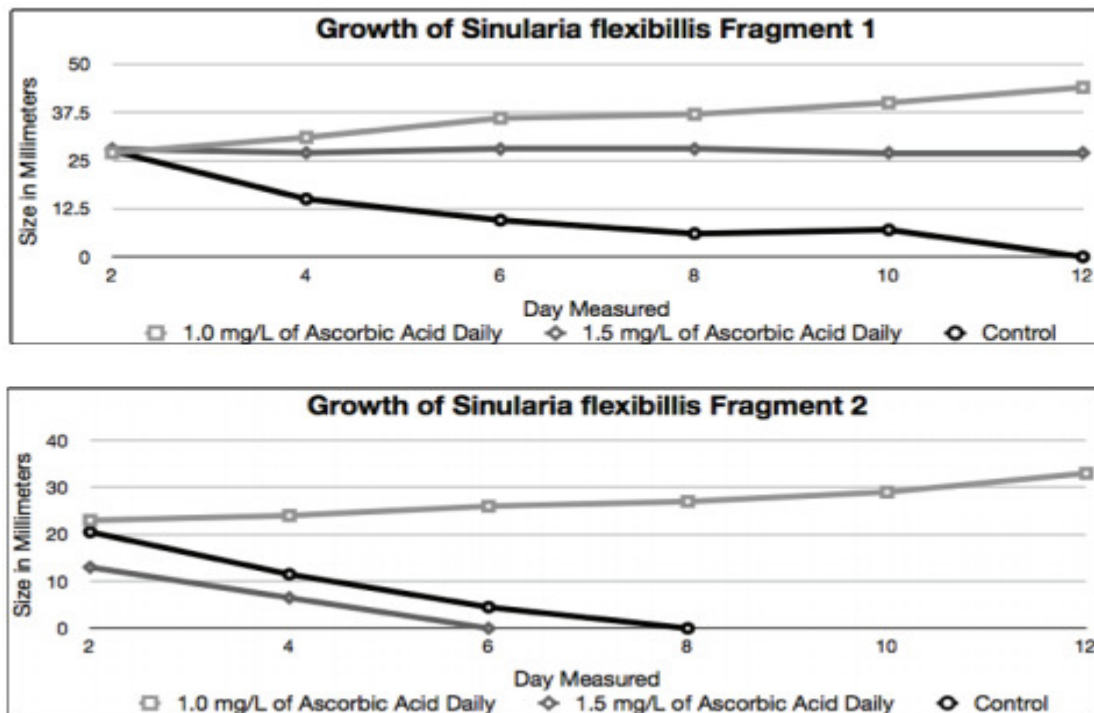
Σχήμα 13. Ανάπτυξη των κοραλλίμορφων *Actinodiscus* με συγκέντρωση ασκορβικού οξέος

Ο μέσος χρόνος προσάρτησης των τεσσάρων κομματιών του *Xenia*, τα οποία συμπληρωνόντουσαν με 1.0 ασκορβικό οξύ καθημερινά, ήταν 28 ώρες. Τα δυο κομμάτια που συμπληρωνόντουσαν καθημερινά με 1.5 ασκορβικό οξύ, συνδέθηκαν και τα δυο σε 60 ώρες. Τέλος, τα τέσσερα κομμάτια του ενυδρείου 3, που ευρισκόντουσαν χωρίς συμπλήρωμα, δεν συνδέθηκαν σε όλη την διάρκεια των 120 ωρών της περιόδου παρατήρησης και μόνο δυο επιβίωσαν. (Σχ.14) (Kruse 2011)



Σχήμα 10. Χρόνος προσάρτησης *Pulsing xenia*

Τα δυο κομμάτια του *Sinularia flexibillis* που συμπληρώθηκαν με 1.0 ασκορβικό οξύ καθημερινά, αυξήθηκαν συνολικά 15 mm κατά την διάρκεια των 12 ημερών της δοκιμασίας. Από την ομάδα του *Sinularia flexibillis* που συμπληρώθηκαν με 1.5 ασκορβικό οξύ, σε ένα κομμάτι δεν παρατηρήθηκε αύξηση (μειώθηκε κατά 1 mm κατά την περίοδο του πειράματος) ενώ ένα άλλο κομμάτι μειώθηκε σε μέγεθος μέχρι την 6^η μέρα όταν και απεβίωσε. Τα δυο κομμάτια που ευρισκόντουσαν στη διαδικασία ελέγχου χωρίς συμπλήρωμα, μειώθηκαν σε μέγεθος σταθερά σε όλη την διάρκεια του πειράματος μέχρι που απεβίωσαν την 8^η μέρα και την 12^η. (Σχ.15) (Kruse 2011)



Σχήμα 11. Καθημερινή ανάπτυξη των κομματιών του *Sinularia flexibillis*.

Από αυτά τα πειράματα, των τριών ξεχωριστών ειδών, των κομματιών των μαλακών κοραλλιών μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το ασκορβικό οξύ αύξησε την ταχύτητα της αναγέννησης ιστού, με αποτέλεσμα την αύξηση του ρυθμού επιβίωσης των κατακερματισμένων μαλακών κοραλλιών. Επίσης παρατηρήθηκε ότι 1.0 mg καθημερινού συμπληρώματος ασκορβικού οξέος ήταν η βέλτιστη ποσότητα για την αύξηση της αναγέννησης ιστού και του ρυθμού επιβίωσης των κομματιών. (Kruse 2011)

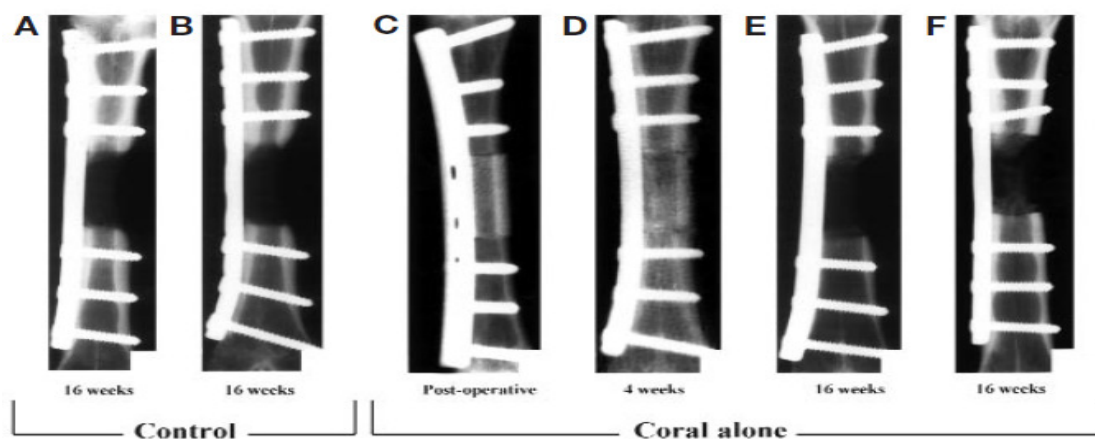
3.7 Κοράλλια στην ιατρική: Αναγέννηση οστών με μηχανική-ιστών

Τα μεγάλα κενά (ελλείψεις) των οστών είναι μια μεγάλη πρόκληση για την επανορθωτική χειρουργική επέμβαση. Η προτεινόμενη θεραπεία είναι το αυτόλογο μόσχευμα οστού. Αλλά η προμήθεια των κατάλληλων οστών είναι περιορισμένη και η συλλογή της είναι επώδυνη, με το ρίσκο της μόλυνσης, αιμορραγίας, ζημιά των νεύρων και απώλεια της λειτουργίας. Οι χειρουργοί μπορούν να ξεπεράσουν αυτά τα προβλήματα χρησιμοποιώντας ικρίωματα συνθετικών ή φυσικών βιο-υλικών που

προωθούν τη μετανάστευση, τον πολλαπλασιασμό και την διαφοροποίηση των κυττάρων των οστών. Ωστόσο, η επιτυχία αυτών των υλικών στην επισκευή μεγάλων κενών των οστών είναι περιορισμένη. Στερούνται των οστεογόνων και των οστεοδιεγερτικών ιδιοτήτων των αυτομοσχευμάτων των οστών. Έχει διατυπωθεί ότι θα μπορούσε να επιτευχθεί μεγαλύτερη αναγέννηση με την συμπλήρωση ενός απορροφήσιμου ικριώματος, με κύτταρα ικανά για αναγέννηση όπως τα στρωματιά κύτταρα του μυελού (Marrow Stromal Cells, MSC), που μπορεί να δημιουργήσει ένα εμβρυακό περιβάλλον στο τραυματισμένο ενήλικο ιστό και έτσι να βελτιώσει την κλινική έκβαση. Η τάση του MSC να προσκολλάται στο πλαστικό ιστοκαλλιέργειας επιτρέπει την απομόνωσή του από άλλα κύτταρα του μυελού. Τα σύνθετα οργανικά κεραμικά, φυσικά παραγόμενα, μπορούν να συνδυάσουν καλές μηχανικές ιδιότητες με ένα ανοικτό πορώδες που τα καθιστά υποψήφια για να χρησιμοποιηθούν σαν οχήματα παράδοσης για το MSC. Ένα τέτοιο υλικό είναι ο φυσικός εξωσκελετός των κοραλλιών όπου μια ανόργανη φάση ανθρακικού ασβεστίου μεγαλώνει σε ένα φορτισμένο οργανωμένο οργανικό πρότυπο. Αυτό το φυσικό κεραμικό έχει τις καλύτερες μηχανικές ιδιότητες των πορωδών κεραμικών με βάση το ασβέστιο, δεδομένου ότι η διασυνδεδεμένου πορώδης αρχιτεκτονική του είναι παρόμοια με εκείνη του σπογγώδους οστού. Τα διαφλοιώδη οστεώδη ελαττώματα που εμφυτεύονται με κοράλλια γίνονται αγγειούμενα και εισβάλλονται από καινούργιο σχηματισμένο οστό ενώ τα κοράλλια απορροφούνται σε ποσοστό ανάλογο με τον σχηματισμό των οστών. Αυτές οι ιδιότητες καθιστούν τον εξωσκελετό του κοραλλιού κατάλληλο υποψήφιο για την παράδοση των κυττάρων του μυελού των οστών. Για αυτό το λόγο ερευνήθηκε η χρήση του ως όχημα παράδοσης για το MSC ή το Fresh Bone Marrow FBM φρέσκο μυελό των οστών. Αυτή η μελέτη έγινε για να καθορίσει εάν ο συνδυασμός των ικριωμάτων κοραλλιών φορτωμένο με MSC ή FBM βελτίωσε τον σχηματισμό οστού σε ένα ελαττωμένο οστό. Προετοιμάστηκαν μεγάλα κενά οστών σε πρόβατα γιατί η ανακατασκευή των οστών σε αυτά τα ζώα είναι συγκρίσιμη με αυτήν στους ανθρώπους. Η επιτυχία της ανοικοδόμησης των μεγάλων κενών των οστών ελήφθη χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό του μυελού των οστών (MSC) και του κοραλλιού. (Petite et al. 2000).

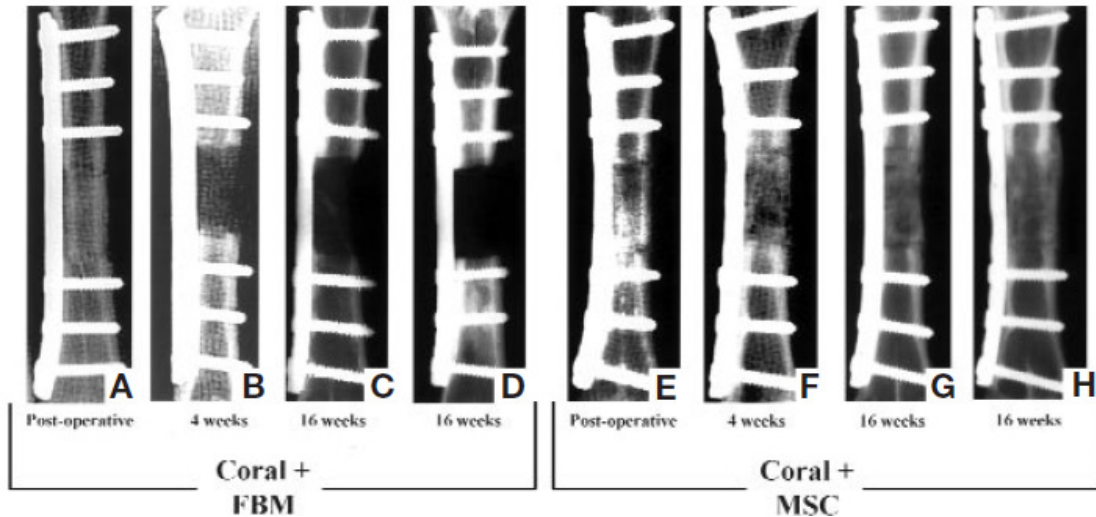
Κενά 6, 12, 15 και 25 mm μάκρους δημιουργήθηκαν στα μετατόρσια προβάτων. Η ικανότητα αναγέννησης των οστών στα εμφυτεύματα αξιολογήθηκε στη συνέχεια χρησιμοποιώντας μόνο κενά των οστών μήκους 25 mm, για να

δημιουργηθεί ένα πολύ εχθρικό περιβάλλον για την αναγέννηση ιστού. Τα ελεγχόμενα κενά ποτέ δεν θεραπεύτηκαν αυθόρμητα (Εικ. 18Α, Β). Η οστεογένεση εξαπλώθηκε αργά μέσα από το μυελώδη αυλό (κανάλι) του κοραλλιού στα κενά που ήταν γεμάτα με κοράλλια μόνο, επιβεβαιώνοντας την οστεοαγωγιμότητά του (Εικ. 18F). Ωστόσο η οστεογένεση δεν οδήγησε σε κλινική ένωση (Εικ. 18E, F). (Petite et al. 2000)



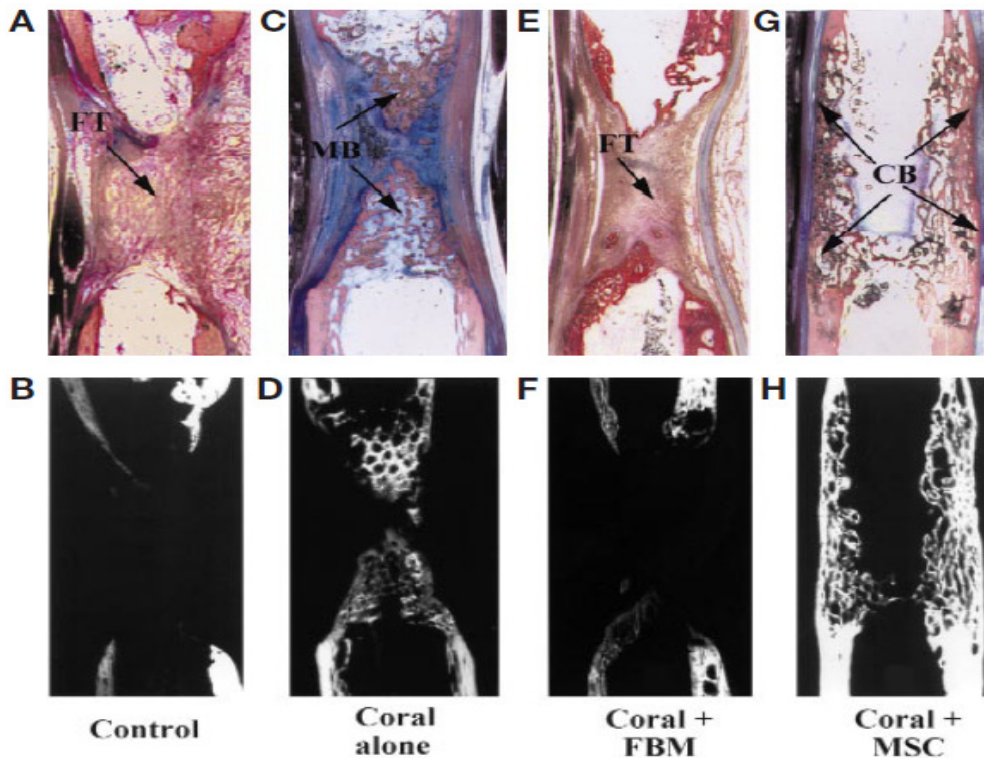
Εικόνα 15. Ακτίνες X των μετατάρσια που τραβήχτηκαν 16 μέρες μετά την 25 mm εκτομή

Τα κενά που γέμισαν με κοράλλια και FBM (φρέσκο μυελό των οστών) ήταν ακτινοδιαυγαστικά σε όλα τα ζώα στις 8 εβδομάδες, υποδεικνύοντας μαζική απορρόφηση των κοραλλιών και κακή εναπόθεση των οστών. Ο σχηματισμός οστού ήταν ελάχιστος σε αυτήν την ομάδα στις 16 εβδομάδες (Εικ. 19C, D). Σε αντίθεση, τα κενά γεμάτα με εμφυτεύματα από κοράλλι φορτωμένο με στρωματιά κύτταρα του μυελού MSC διατήρησαν τη διάμετρό τους στα 5 από τα 7 πρόβατα, υποδηλώνοντας ότι ο σχηματισμός οστού έλαβε χώρα σε περίπου τον ίδιο ρυθμό όπως με την επαναρρόφηση του εμφυτεύματος. Όλα εκτός από ένα από τα πρόβατα είχαν τουλάχιστον ένα επουλωμένο φλοιό στις 16 εβδομάδες (Εικ. 19G, H).



Εικόνα 16. Ακτίνες X τραβηγμένες αμέσως μετά την τομή

Τα εμφυτεύματα συλλέχθηκαν στις 16 εβδομάδες και επεξεργάστηκαν απασβεστοποιημένα για ιστολογία. Τα κενά που γέμισαν μόνο με κοράλλι περιείχαν καινούργιο οστό κυρίως στο εσωτερικό της περιοχής του μυελικού και η συνέχεια του φλοιού ποτέ δεν αποκαταστάθηκε (Εικ. 20C, D). (Petite et al. 2000)



Εικόνα 17. . Μικρο-ακτίνες X και φωτομικρογραφίες στις 16 εβδομάδες FT= ινώδης ιστός, MB=μυελώδης αυλός, CB=φλοιός που μοιάζει με οστό.

Οι κοιλότητες γεμάτες με κοραλλιογενή ικρίωμα φορτωμένο με FBM (φρέσκο μυελό των οστών) είχαν καταλειφθεί από ένα πυκνό, σχεδόν χωρίς αγγεία, ινώδη ιστό μετά από 16 εβδομάδες, υποδεικνύοντας ότι είχε προκύψει ουλή παρά μάλλον αναγέννηση οστού (Εικ. 20E, F). Οι κοιλότητες φορτωμένες με ένα κοραλλιογενή ικρίωμα συν το MSC (στρωματικά κύτταρα του μυελού) οδήγησαν στο σχηματισμό νέου ιστού, με ένα σωληνωτό μοτίβο. Αυτή η εξέλιξη αντανακλά την κανονική μακροδομή των οστών, με καλά διαφοροποιημένη κοιλότητα του μυελού και φλοιούς (Εικ. 20G, H). Το κοράλλι είχε σχεδόν εξαφανιστεί εντελώς μετά από 4 μήνες σε όλες τις ομάδες. Μόνο λίγα διάσπαρτα κενά παρέμειναν βυθισμένα στο οστό ή ινώδες ιστό. (Petite et al. 2000)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παράγοντες όπως, συμβάντα ανάβλυσης, που προκαλούν την άνθηση των αλγών και υψηλή καθίζηση κατά την άνοιξη, μπορεί να οδηγήσουν στην επικάλυψη της επιφάνειας του γυμνού σκελετού των τραυματισμένων κοραλλιών από νηματοειδείς άλγεις και ιζήματα, εμποδίζοντας έτσι την ανάρρωση του ιστού.

Πληθυσμοί κοραλλιών που βρέθηκαν σε νερά με υψηλές ετήσιες θερμοκρασίες, βρέθηκε να αναπτύσσονται με ταχύτερους ρυθμούς από εκείνα που βρέθηκαν σε νερά με χαμηλότερες θερμοκρασίες (Tomascik και Logan 1990; Miller 1995; Lough και Barnes 1997). Οι χαμηλές θερμοκρασίες του νερού μπορούν να προκαλέσουν μείωση στον μεταβολισμό των κοραλλιών, προκαλώντας επιβράδυνση στην ανάπτυξη.

Εάν τα ενεργητικά και κυτταρικά αποθέματα είναι ανεπαρκή για να λάβουν χώρα ταυτόχρονα η ανάρρωση και η αναπαραγωγή, τότε η αναπαραγωγή έχει προτεραιότητα. Έτσι η αναγέννηση κατακρατείται στα τραυματισμένα κοράλλια και η αναπαραγωγή συνεχίζεται. Η διαδικασία της αναγέννησης πιστεύεται ότι απαιτεί αποθέματα ενέργειας και ιστού. Τότε είναι πιθανό ότι τα μεγαλύτερα κοράλλια έχουν μεγαλύτερα αποθέματα ενέργειας και ιστού, και για αυτό μπορούν να αναρρώνουν ταχύτερα από τα μικρά κοράλλια.

Η διαδικασία της αναγέννησης στο επηρεάζεται ισχυρά από το μέγεθος και το σχήμα των τραυμάτων. Σε ορισμένες περιπτώσεις μεγάλα τραύματα επουλώθηκαν ταχύτερα από τα μικρά. Επίσης οι Bak & Steward – Van Es (1980) βρήκαν ότι μικρά στρογγυλά τραύματα ιστών του 1cm² επουλώνονται ταχύτερα από αυτά των 5 cm². Τα τραύματα που έχουν χαμηλή αναλογία περιμέτρου/επιφάνειας επιδεικνύουν αρνητικούς ρυθμούς επούλωσης. Επίσης παρατηρήθηκε ότι τα πλοκάμια των υγιών πολυπόδων, που περιβάλλουν τις επιμήκεις πληγές και τις πληγές των ατομικών πολυπόδων, επικαλύπτουν την τραυματισμένη επιφάνεια αυτών των πληγών κατά την διάρκεια της νύχτας ενώ στις τετράγωνες ή κυκλικές πληγές (πολλών πολυπόδων) επικαλύπτουν μόνο μέρος των πληγών εξαιτίας της μεγαλύτερης απόστασης των περιμετρικών πολυπόδων και του κέντρου της πληγής.

Η ένταξη της αποικίας στην αναγέννηση επιτυγχάνει ταχύτερη αποκατάσταση από τραυματισμούς. Όσο μεγαλύτερη είναι η αποικία από το τραύμα τόσο και

ταχύτερη θα είναι και η αναγέννηση. Η έκταση της ενεργειακής αναδιανομής από μια αποικία υπαγορεύεται από το μέγεθος των τραυμάτων. Η ύπαρξη των κατώτατων ορίων τραυματισμών, τα οποία καθορίζουν την ενεργειακή κατανομή και την ενδο-αποικιακή διακίνηση των ενεργειακών προϊόντων μέσα σε μια αποικία προς τις περιοχές της μέγιστης απαίτησης, είναι μια βασική ικανότητα διατήρησης της ζωής και ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των κλώνων και αποικιακών οργανισμών.

Το φαινόμενο της λεύκανσης των κοραλλιών επηρεάζει αρνητικά την αναγέννηση. Οι λευκασμένες αποικίες αναγεννούν τα τραύματά τους πιο αργά από ότι οι κανονικές αποικίες. Τα τραύματα στις κανονικές αποικίες έκλεισαν πιο αποτελεσματικά ακόμα και αν πάντοτε κατοικούνται από νηματοειδή φύκι (άλγεις). Φαίνεται πως η παρουσία των φυκών δεν είναι τόσο σημαντική εφόσον η αναγέννηση είναι ενεργή. Τα κοράλλια που ζουν στην εκροή των λυμάτων εργοστάσιου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εγκλιματίζονται. Τα ποσοστά αναγέννησης των λευκασμένων αποικιών που βρίσκονται στην θερμική εκροή των λυμάτων εργοστασίου ηλεκ. ενεργ. είναι τόσο υψηλά όσο των κανονικών αποικιών που δεν επηρεάζονται από τα λήμματα του εργοστασίου. Επιπλέον, επανακτούν τον κανονικό τους χρωματισμό σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών. Οι μεταφυτευμένες αποικίες αναγεννιούνται με ρυθμό συγκρίσιμο με κανονικές χρωματισμένες αποικίες που σημαίνει ότι η μεταφορά αποικιών σε άλλη περιοχή δεν επηρεάζει την αναγέννηση.

Ένας άλλος παράγοντας που βοηθάει τα κοράλλια στην αναγέννηση ιστού είναι η χρήση ασκορβικού οξέος. Το ασκορβικό οξύ αυξάνει την ταχύτητα της αναγέννησης και διαπιστώθηκε ότι η βέλτιστη ποσότητα δοσολογίας ασκορβικού οξέος είναι 1 mg/L καθημερινά. Αυτό το στοιχείο είναι πολύ σημαντικό γιατί δίνει τη δυνατότητα να υπάρχει ουσιαστική ανθρώπινη παρέμβαση στην αναγέννηση των κοραλλιών και των κοραλλιογενών υφάλων γενικότερα, που τόσο πολύ έχουμε ανάγκη.

Τέλος, η χρησιμότητα των κοραλλιών στην ιατρική αποδείχτηκε ουσιαστική. Όπως δείξαμε στο πείραμα της αναγέννησης οστού με μηχανική ιστών (κεφ. 3.7), χρησιμοποιήσαμε ένα συνδυασμό με κοράλλι, μια φυσική βάση κεραμικού ανθρακικού ασβεστίου, και MSC (στρωματικά κύτταρα μυελού) και βρήκαμε μια προοδευτική, πλήρη απορρόφηση του ικριώματος αφήνοντας σχετικά ώριμα ανακαινισμένα οστά. Στις πιο ευνοϊκές περιπτώσεις, τα κύτταρα του μυελού

παρήγαγαν πλήρη επικάλυψη με φλοιό και σχημάτισαν ένα μυελικό σωλήνα με ώριμα οστικά πετάλια μέσα σε 4 μήνες.

Βρέθηκε ότι η έκταση της επούλωσης διέφερε σημαντικά, ανάλογα με την πηγή των κυττάρων. Γεμίζοντας ένα ελάττωμα (κενό) με κοραλλιογενή ικρίωμα μόνο επιτρέπεται στην οστεογένεση να πραγματοποιείται στη μυελική περιοχή. Αυτό θα μπορούσε να συμβαίνει εξαιτίας της μετανάστευσης των κυττάρων του μυελού των οστών από την παρακείμενη κοιλότητα υποδοχής του μυελού των οστών επάνω στις οστεοαγωγίμες επιφάνειες των κοραλλιών. Το ικρίωμα κοραλλιού αναρροφήθηκε πολύ γρήγορα σε ζώα που θεραπεύτηκαν με τον συνδυασμό των κοραλλιών και FBM (φρέσκο μυελό των οστών), πιθανώς επειδή υπήρχαν πάρα πολλά μυελοειδή κύτταρα που φορτώθηκαν στο ικρίωμα κοραλλιών.

Abstract

This paper describes the regeneration of the coral and the factors that regulate them. More detailed reference is made to the influence of water temperature, reproductive status of the coral, the size and shape of the wounds of coral, the actions of the whole colony during regeneration, the phenomenon of bleaching and the allocation of resources between regeneration and development. Also reference is made to the acceleration of the regeneration by adding of aqueous ascorbic acid and the usefulness of coral in bone in medicine. Finally we refer to the environmental factors affecting the regeneration and the importance of coral reefs.

The results of this study showed that at high temperatures the corals grow faster and specifically at 26 ° C. The phenomenon of coral bleaching negatively affects regeneration. Bleached colonies regenerate their wounds more slowly than normal colonies. When energetic and cell stocks are insufficient to take place simultaneously to the recovery and reproduction of corals, then the regeneration is a priority. The size and shape of lesions affect the process of regeneration. Wounds that have a low ratio of perimeter / surface exhibit negative growth healing.

We also examined the acceleration of the process of regeneration with aqueous ascorbic acid supplement and the results showed that aqueous ascorbic acid 1mg daily accelerate the rates of regeneration. Finally, we proved that corals can be used in medicine and in particular in bone and tissue engineering. The combination of coral with marrow stromal cells is an ideal scaffold for bone regeneration. In the most favorable cases the wounds healed at 4 months.

Key words : Tissue regeneration, Bleaching, Polyp

Βιβλιογραφία

Διεθνή βιβλιογραφία

- Kenchington R. (1999) Regeneration of coral reef. Coral reefs :1-2.
- Kramarsky-Winter & Loya (1998) Tissue regeneration in the coral *Fungia granulosa*.
Marine Biology 137 : 867-873.
- Kruse Caleb (2011) Addressing coral tissue regeneration and bleaching with ascorbic acid supplementation. Natural Sciences : 10-15
- Meesters H. Erik & Bak P.M Rolf (1993) Effects of coral bleaching on tissue regeneration potential and colony survival. Marine Ecology Progress Series, Vol. 96 : 189-198.
- Okubo Nami (2008) Size-independent investment allocation yo regeneration and growth of the branching coral *Acropora muricata*, Galaxea, Journal of Coral Reef Studies, 83-87.
- Oren U., Benayahu Y., Loya Y. (1997). Effect of lesion size and shape on regeneration of the Red Sea coral *Favia fавus*, Marine Ecology Progress Series, Vol.146 : 101-107.
- Oren U., Benayahu Y., Lubiensky H. and Loya Y. (2001). Colony integration during regeneration in the stony coral *Favia fавus*, Ecology, Vol.82(3) : 802-813.
- Petite Herve, Veronique Viateau, Wassila Bensaïd, Alain Meunier, Cindy de Pollak, Marianne Bourguignon, Karim Oudina, Laurent Sedel, and Genevieve Guillemin (2000). Tissue-engineered bone regeneration, Nature Biotechnology, Vol 18 : 959-963.
- Rosenberg et al. (2004). The effect of the nutrition in the regeneration and helath of corals. Coral Health and Disease, 217-219

Διαδικτυακή βιβλιογραφία

www.elwikipedia.org

www.coralscience.org

www.geo.auth.gr

www.eolss.net