



ΣΚΛΗΡΟΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΗ

Μελέτη και αξιοποίηση πληροφοριών που
λαμβάνονται μέσω της μεθόδου από δίθυρα
μαλάκια

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:
ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΣΥΡΙΔΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:
ΚΟΚΚΙΝΟΥ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ 4568
ΜΑΡΤΙΟΣ, 2014

© Κοκκίνου Αναστασία, Τομέας Παλαιοντολογίας, 2014
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.

ΣΚΛΗΡΟΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΗ
ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΠΟΥ ΛΑΜΒΑΝΟΝΤΑΙ ΜΕΣΩ ΤΗΣ
ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΠΟ ΔΙΘΥΡΑ ΜΑΛΑΚΙΑ

Επιβλέπων Καθηγητής:
Γεώργιος Συρίδης
Αναπληρωτής Καθηγητής Α.Π.Θ.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Η ανάθεση της εργασίας αυτής έγινε από τον κ. Γεώργιο Συρίδη, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Από την θέση αυτή, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για την ανάθεση της εργασίας και την ευκαιρία που μου έδωσε να δουλέψω σε ένα πεδίο με σπάνιο και μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον, την καθοδήγησή του κατά την εκπόνησή της εργασίας και την βοήθειά του στην συλλογή του απαραίτητου βιβλιογραφικού υλικού και υλικού μελέτης.

Δε θα μπορούσα όμως να μην αναφέρω και κάποιους από τους πιο σημαντικούς επιστήμονες των οποίων ο ρόλος υπήρξε καταλυτικός στην προπτυχιακή μου εξέλιξη, τον Κύριο Θεοδουλίδη Νικόλαο καθώς και τον Κύριο Σαββαΐδη Αλέξανδρο, ερευνητές του Ινστιτούτου Τεχνικής Σεισμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών. Έχουν παίξει ξεχωριστό ρόλο σε ότι έχω καταφέρει έως τώρα και με βοήθησαν να αναθεωρήσω τους στόχους μου σε ό,τι αφορά την ακαδημαϊκή μου καριέρα.

Τελευταία αλλά όχι λιγότερο σημαντική ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου που μου έδωσε όλα τα εφόδια που χρειαζόμουν είτε αυτά ήταν υλικά είτε πνευματικά.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
ΟΡΙΣΜΟΣ ΣΚΛΗΡΟΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΗΣ.....	6
ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ	6
ΠΡΩΤΑ ΒΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΓΕΝΕΣΗ ΤΟΥ ΚΛΑΔΟΥ.....	7
ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	8
ΣΥΝΟΜΟΤΑΞΙΑ ΜΑΛΑΚΙΑ (MOLLUSKA)	9
ΔΙΘΥΡΑ (BIVALVIA)	10
Μορφολογία Κλείθρου	10
Δομή Οστράκου	12
Τύποι Κλείθρου.....	13
ΒΑΘΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΠΟΥ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΕΞΕΤΑΣΤΕΙ.....	16
ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΗΜΑΣΙΑ	17
ΠΑΛΑΙΟΝΤΟΛΟΓΙΑ.....	17
ΠΕΔΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	20
ΠΑΛΑΙΟΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ	20
ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ-ΠΑΡΑΓΩΓΗ.....	20
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΛΟΓΙΑ.....	21
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΔΙΘΥΡΩΝ.....	22
ARCTICA ISLANDICA.....	22
AEQUIPECTEN OPERCULARIS	23
ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΤΗΣ ΣΚΛΗΡΟΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΗΣ.....	24
ΚΟΡΑΛΛΙΑ	24
ΔΙΘΥΡΑ.....	28
ΜΕΛΕΤΗ ΛΕΠΤΗΣ ΤΟΜΗΣ ΟΣΤΡΑΚΟΥ	29
Ανάλυση $\delta^{18}O$	33
Ανάλυση $\delta^{14}C$	34
ΜΕΛΕΤΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	36
ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΜΕΛΕΤΗΣ	36
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ ΣΕ ΣΤΕΡΟΣΚΟΠΙΚΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ.....	41
VENUS VERRUCOSA.....	46
Σύγκριση Επιμήκους Ανάπτυξης (L) – Ηλικίας	48
Σύγκριση Εγκάρσιας Ανάπτυξης (H) – Ηλικίας.....	49
Σύγκριση Ρυτιδώσεων – Ηλικίας	51
Σύγκριση Εγκάρσιας Ανάπτυξης (H) – Ρυτιδώσεων.....	52
CALLISTA CHIONE	53
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	59
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	61
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ	62
ΕΙΚΟΝΟΓΡΑΦΙΑ.....	63

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτή την εργασία παρουσιάζεται η Σκληροχρονολόγηση, μια σύγχρονη μέθοδος μελέτης οργανισμών με σκληρό κέλυφος, ή άλλα σκληρά μέρη, που αναπτύσσονται με την οντογένεση, προς όσο δυνατό πιο έγκυρο καθορισμό των χαρακτηριστικών τους. Αναφέρεται η σκοπιμότητα και οι εφαρμογές των αποτελεσμάτων που εξάγονται με τη μέθοδο αυτή. Γίνεται επίσης μια απόπειρα μελέτης και εφαρμογής αυτής της μεθόδου σε μερικά επιλεγμένα δείγματα αρτίγων δίσκων και σε ορισμένα απολιθωμένα τμήματα διθύρων από τον ελληνικό χώρο.

ABSTRACT

This paper is to present Sclerochronology, a modern method of studying animal with outer hard shell or any other hard parts developed during growth time to an as much accurate definition of their characteristics. The feasibility and application of the data received by this method are furthermore presented. There also follows an attempt of applying and studying through this method on certain living bivalves or some parts of fossilized bivalves from the Greek area on a first approach of the method.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ορισμός Σκληροχρονολόγησης

Είναι η μελέτη των φυσικών και χημικών μεταβολών στους προσανζητικούς σκληρούς ιστούς υδρόβιων κυρίως οργανισμών, εξαφανισμένων και υπαρχόντων, και το χρονικό πλαίσιο στις οποίες διαμορφώθηκαν.

Αποτελεί υποκλάδο της επιστήμης της Κογχολογίας που αναφέρεται στη μελέτη των κογχυλιών των μαλακίων και κατεξοχήν του ευρύτερου κλάδου, της Μαλακολογίας, η οποία είναι ο επιστημονικός κλάδος της Ζωολογίας που εξετάζει τη μελέτη των μαλακίων.

Γενικά για τη μέθοδο

Η επιστήμη της Σκληροχρονολόγησης καθιερώνεται τα τελευταία 30 περίπου χρόνια και εφαρμόζεται σε σκληρά μέρη υδρόβιων οργανισμών που εμφανίζουν ζωνώδη ανάπτυξη. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιεί αφορούν σε στατιστική καταγραφή ισοτοπικών και χημικών μεταβολών των ζωνών επαύξησης στα σκληρά μέρη των υδρόβιων οργανισμών. Πριν από την έναρξη μιας μελέτης εποχικότητας που χρησιμοποιεί τα σταθερά ισότοπα, πρέπει να γίνει κατανοητή η διαδικασία ανάπτυξης του κογχυλιού, καθώς επίσης και κατανόηση των οικολογικών συνθηκών και του περιβαλλοντικού παράγοντα που επηρεάζουν τους ρυθμούς αύξησης των κογχυλιών. Οι διαχρονικές και οι ατομικές διαφορές στην ανάπτυξη των κογχυλιών πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψιν, επομένως πρέπει να αναλυθούν διαφορετικά δείγματα από κάθε τοποθεσία. Επιπλέον, η διακύμανση στην αλατότητα των υδάτων αλλάζει το ισότοπο $d^{18}O_{\text{νερού}}$ της θάλασσας, το οποίο κάνει επίσης δύσκολες τις εκτιμήσεις της παλαιοθερμοκρασίας. Μπορεί να βοηθήσει στην εκτίμηση παλαιοπεριβαλλοντικών στοιχείων και στην πρόβλεψη μελλοντικών τάσεων περιβαλλοντικών συνθηκών. Κατά συνέπεια είναι πολύ σημαντικές, για την Σκληροχρονολόγηση, οι μελέτες που εξετάζουν τις επιδράσεις του γλυκού

νερού (νερό από λιώσιμο παγετώνων, υπόγειες ροές, λεκάνες απορροών κ.α.) στη γεωχημεία και στο ρυθμό προσαύξησης των κογχυλίων.

Η εφαρμογή της Σκληροχρονολόγησης, σε απολιθωμένα και μη κογχύλια, δίνει τη δυνατότητα να καθοριστούν εποχικές εκτιμήσεις, για την περιοχή συλλογής τους, και αυτό αυξάνει σε ακρίβεια με το συνδυασμό γεωχημικών και βιολογικών στοιχείων. Με αυτήν την μέθοδο, τα απολιθωμένα κογχύλια μπορούν να αναλυθούν, όχι μόνο για να καθοριστεί η εποχή του θανάτου τους, αλλά και το πότε συλλέχθηκαν, κατά τη διάρκεια των χαμηλών ή υψηλών παλιρροιών, άμπωτη ή παλίρροια, ή ακόμη και αν ήταν κατά τη διάρκεια της ημέρας ή της νύχτας. Είναι επίσης δυνατό να προσδιοριστεί η κατά προσέγγιση ανύψωση στην παλιρροιακή ζώνη από την οποία έγινε η συλλογή των κογχυλίων. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης μπορούν να εφαρμοστούν στις αρχαιολογικές έρευνες για την εποχικότητα και τις στρατηγικές συγκομιδής κογχυλίων, οι οποίες μπορούν έπειτα να χρησιμοποιηθούν για να ερμηνεύσουν το ρόλο των οστρακόδερμων στις προϊστορικές διατροφές, και η φύση της παράκτιας οικονομίας καθώς επίσης να χρησιμοποιηθούν στη σύγχρονη αλιευτική βιομηχανία.

Πρώτα βήματα και γένεση του κλάδου

Στον τρίτο αιώνα π.Χ., ο Αριστοτέλης πρώτος διαπίστωσε την ιδιότητα της προσαύξησης των θυρίδων και τη συνέδεσε με την ηλικία του οργανισμού. Στο «Ιστοριών περί τα ζώα» που ο ίδιος έχει γράψει, «και ο **Μύρικας** (*Murex*) (Σχ. 1) και ο **Κύρικας** (*Triton*) (Σχ. 2) ζουν για πολύ. Ο Μύρικας ζει για περίπου έξι έτη και η ετήσια ανάπτυξη υποδεικνύεται από ένα ευδιάκριτο διάστημα προσαύξησης στη σπειροειδή περιέλιξη του κογχυλίου.» Αυτό είναι μεταξύ των πιο πρόωρων υποθέσεων ότι τα σκληρά μέρη των υδρόβιων οργανισμών καταγράφουν την ιστορία ζωής και τις περιβαλλοντικές πληροφορίες.



Σχ. 1 URL1 Εικόνα γαστερόποδου, γένος *Murex*.



Σχ. 2 URL2 Εικόνα γαστερόποδου, γένος *Triton*.

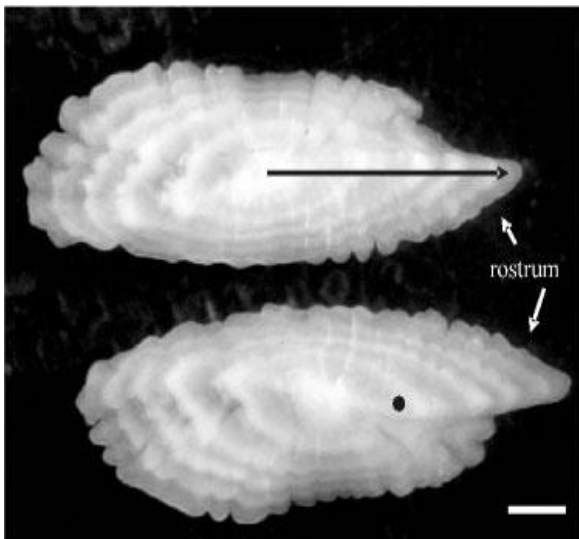
Ωστόσο ο όρος Σκληροχρονολόγηση διατυπώθηκε το 1974 από τους Knutson και Buddemeier μετά από την πρωτοποριακή εργασία τους για πυρηνικές δοκιμές.

Αντικείμενο μελέτης

Η επιστήμη αυτή εφαρμόζεται στα σκληρά μέρη των διαφόρων ομάδων υδρόβιων οργανισμών όπως σκελετούς κοραλλιών (Σχ. 5), κοχύλια μαλακίων (Σχ. 3), ωτολίθους (Σχ. 4), λέπια, πτερύγια ψαριών κ.α.



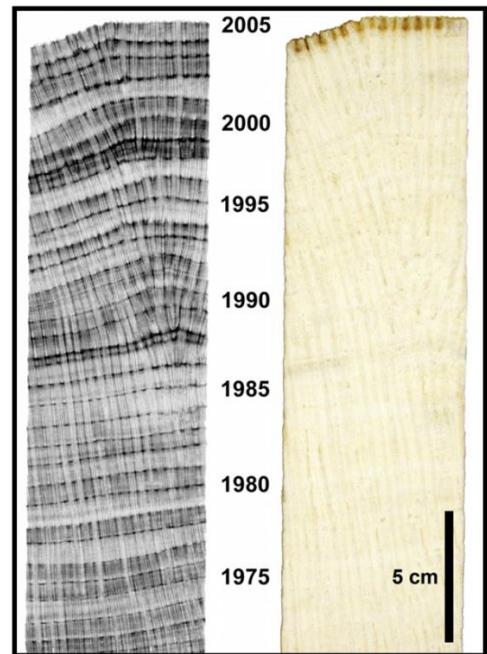
Σχ. 3 URL3 Κοχύλι μαλακίου, διθύρου, τάξη *VENERIDAE*.



Σχ. 4 URL4 Μικροαπεικόνιση τοξοειδούς ωτολίθου του γένους *Scorpaena corpus*, όπου φαίνεται ο ρυθμός ανάπτυξης σε ένα πεντάχρονο θηλυκό. Κλίμακα= 1χιλ. Πρώτο έτος ανάπτυξης στο μαύρο στίγμα. Μετρήσεις κατά μήκος του βέλους.

Τα δείγματα που χρησιμοποιούνται μπορούν να προέρχονται από ποικίλες πηγές που περιλαμβάνουν τα δείγματα λιμένων και παρατηρητηρίων από την εμπορική αλιεία, δείγματα ερευνών από ταξίδια του επιστημονικού κλάδου. Μπορούν επίσης να προέρχονται από φυσικό ή επηρεασμένο από τον άνθρωπο περιβάλλον (Λιμάνια, Ακτές, Ποτάμια, Λίμνες, Υφάλους, Αλιεία, Περιβαλλοντικές Μελέτες).

Το αντικείμενο μελέτης αυτής της εργασίας είναι το κέλυφος των μαλακίων και πιο συγκεκριμένα διθύρων από τον Ελληνικό χώρο.



Σχ. 5 URL5 Αριστερά: Ακτινογραφία-θετική εκτύπωση, με εμφανείς ετήσιες προσαυξήσεις (σκοτεινές ζώνες=υψηλή πυκνότητα, φωτεινές ζώνες=χαμηλή πυκνότητα) Δεξιά: Φωτογραφία λεπτής τομής κοραλλίου.

Συνομοταξία Μαλάκια (MOLLUSKA)

(Γενικά στοιχεία από Γ. Συρίδη, Σημειώσεις Μαθήματος Παλαιοντολογίας Ασπονδύλων)

Ζώα αμφίπλευρης συμμετρίας με ή δίχως κεφαλή. Είναι υδρόβια ζώα και φέρουν βράγχια. Το δέρμα τους πτυχώνεται σχηματίζοντας τον Μανδουακό σάκο μέσα στον οποίο περικλείονται όλα τα μαλακά τους μέρη και τα σπλάχνα τους. Ο Μανδύας εκκρίνει ασβεστιτική ουσία και σχηματίζει κλείθρο μέσα στο οποίο περικλείεται για προστασία το ζώο. Το κλείθρο αποτελείται είτε από ένα τμήμα (Μονοπλακοφόρα, Γαστερόποδα, Κεφαλόποδα, Σκαφόποδα), είτε από δύο (Δίθυρα), είτε από περισσότερα τμήματα (Αμφίνευρα) και εμφανίζεται με διάφορα σχήματα. Στην πλειοψηφία τους τα όστρακα είναι εξωτερικά μερικά όμως μαλάκια φέρουν εσωτερικό κλείθρο, ενώ άλλα στερούνται κλείθρου.

Το κλείθρο των Μαλακίων είναι το μόνο τμήμα τους που απολιθώνεται και η μορφολογία του είναι σημαντική στον προσδιορισμό των απολιθωμάτων.

Τα Μαλάκια είναι από τις πιο διαφοροποιημένες συνομοταξίες ασπονδύλων περιλαμβάνουν ζώα που με πρώτη ματιά φαίνονται τόσο διαφορετικά που θα μπορούσαν να θεωρηθούν άσχετα μεταξύ τους. Εμφανίστηκαν στο Κάμβριο και ζουν μέχρι σήμερα με πληθώρα γενών. Είναι ζώα θαλάσσια, ελάχιστα ζουν σε γλυκά νερά (Δίθυρα, Γαστερόποδα), ενώ μόνο μια ομάδα (Πνευμονοφόρα-Γαστερόποδα) έχει προσαρμοστεί στη χερσαία διαβίωση.

Το μέγεθός τους κυμαίνεται από 0.5 mm έως 5 m ή μεγαλύτερο. Αναφέρεται ότι το γιγαντιαίο καλαμάρι *Architeuthis* που ζει σήμερα έχει μήκος πλοκαμιών > 15 m.

Δίθυρα (Bivalvia)

Συνώνυμα (LAMELLIBRANCHIA ή PELECYPODA)

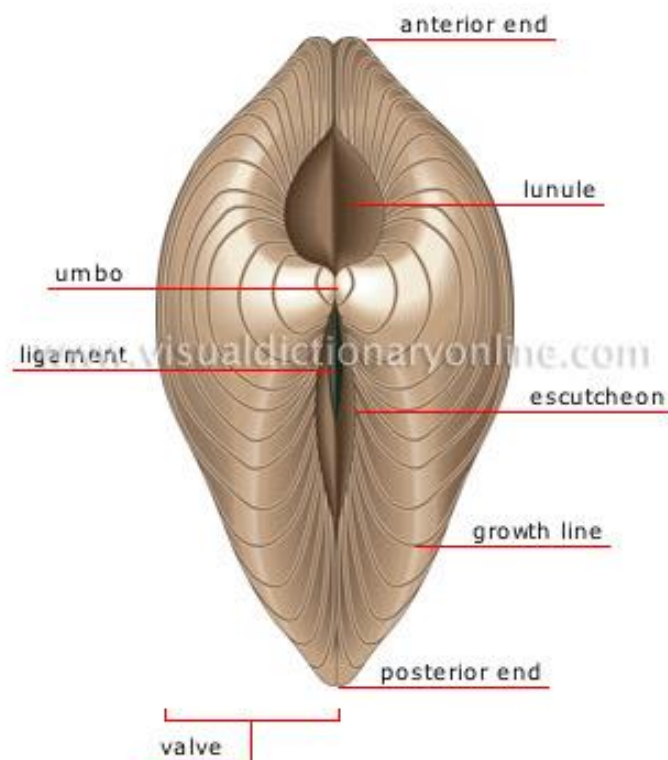
Μαλάκια που δεν έχουν κεφαλή. Φέρουν κλείθρο αποτελούμενο από δύο ασβεστιτικής σύστασης θυρίδες, μέσα στο οποίο περικλείονται όλα τα μαλακά μέρη. Έχουν αμφίπλευρη συμμετρία. Είναι θαλάσσια βενθονικά (επι- και ενδοβενθονικά) ζώα ενώ μερικά έχουν προσαρμοστεί στα γλυκά νερά (*Unio*, *Anodonta*). Τα Δίθυρα τρέφονται φιλτράροντας σωματίδια τροφής από το θαλασσινό νερό (μικροφάγα ζώα).

Μορφολογία Κλείθρου

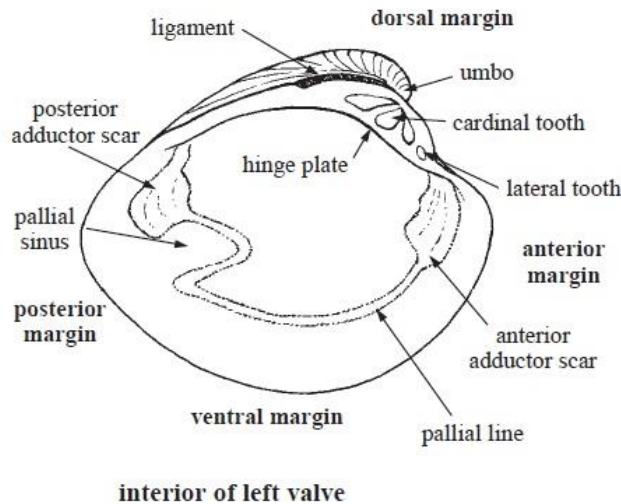
Το κλείθρο αποτελείται από δύο ίσες συνήθως μεταξύ τους θυρίδες. (Δεξιά-Αριστερή) με ωοειδές ή επίμηκες σχήμα. Το επίπεδο συναρμογής τους (commissure) είναι και επίπεδο συμμετρίας. Οι θυρίδες συνενώνονται μεταξύ τους στο άνω μέρος του οστράκου με ένα ελαστικό σύνδεσμο (ligamentum) και συναρθρώνονται με ένα σύστημα οδόντων (teeth) και εσοχών (βοθρία-sockets) που υπάρχουν και στις δύο θυρίδες. Ο χώρος αυτός της συνάρθρωσης ονομάζεται κλείθρο (hinge). Στην περιοχή του κλείθρου η κάθε θυρίδα του κελύφους σχηματίζει μια μικρή προεξοχή τον σπόνδυλο (umbo) από την οποία αρχίζει η αύξηση του οστράκου κατά συγκεντρικές αυξητικές γραμμές (growth lines) ορατές στην εξωτερική επιφάνεια του οστράκου που μπορεί να είναι λεία ή να φέρει στολισμό: ποικίλες ραβδώσεις - πτυχώσεις, ελάσματα, φυμάτια, άκανθες σε ποικίλη

διάταξη ακτινωτή ή κυματοειδή ή συγκεντρική. Η αύξηση του κελύφους γίνεται από το μανδύα (mantle) ο οποίος εκκρίνει ασβεστολιθική ουσία την οποία και ενσωματώνει στο εσωτερικό των θυρίδων και κατά μήκος του χείλους του οστράκου, έτσι ώστε να δημιουργείται κέλυφος το οποίο είναι βαθμιαία μεγέθυνση του αρχικού. Η αύξηση αυτή είναι λογαριθμική. Στην κορυφή του σπονδύλου (umbo) εντοπίζεται και το πρωτοσχηματιζόμενο-εμβρυϊκό κέλυφος του δίθυρου που ονομάζεται πρωτοκόγχη (protoconch).

Το άνοιγμα και κλείσιμο των θυρίδων πετυχαίνει με την ανταγωνιστική δράση του ελαστικού συνδέσμου και των προσαγωγών μυών (adductor muscles). Ο ελαστικός σύνδεσμος δρα σαν ελατήριο και κρατά τις θυρίδες ανοικτές όταν οι μύες ηρεμούν. Ενώ σε περίπτωση κινδύνου όλα τα μαλακά μέρη αποσύρονται στο εσωτερικό του οστράκου το οποίο κλείνει με τη συστολή των μυών. Οι μύες προσκολλώνται στο εσωτερικό των θυρίδων αφήνοντας ευδιάκριτα σημάδια τα μυϊκά αποτυπώματα (muscle scars). Ο αριθμός, η θέση, το μέγεθος και το σχήμα των μυϊκών αποτυπωμάτων είναι σημαντικό ταξινομικό χαρακτηριστικό.



Σχ. 6 URL6 Κάτοψη οστράκου διθύρου (ραχιαία πλευρά): σπόνδυλος (umbo), ελαστικός σύνδεσμος (ligament), μηνίσκος (lunule), θυρεός (escutcheon), οπίσθια πλευρά (posterior end), εμπρόσθια πλευρά (anterior end), θυρίδα (valve), αυξητική γραμμή (growth line).



Σχ. 7 URL7 Εσωτερικό αριστερής θυρίδας: ραχιαία πλευρά (dorsal margin), κοιλιακή πλευρά (ventral margin), ελαστικός σύνδεσμος (ligament), σπόνδυλος (umbo), κεντρικό-πλευρικό δόντι (cardinal-lateral tooth), επιφάνεια άρθρωσης (hinge plate), οπίσθιο-εμπρόσθιο μυϊκό αποτύπωμα (posterior- anterior adductor scar), μανδουακός κόλπος (pallial sinus), μανδουακή γραμμή (pallial line)

μέρος του οστράκου, αντιστοιχεί δε στο χώρο απόσυρσης των σιφώνων. Όσο δε μακρύτεροι οι σίφωνες τόσο βαθύτερος κόλπος (άρα και το ζώο σκάβει βαθύτερα).

Η παρουσία ή όχι μανδουακού κόλπου είναι σημαντικό ταξινομικό χαρακτηριστικό και τα δίθυρα διακρίνονται σε Κολπωτά (sinupalliate) και Άκολπα (integripalliate).

Δομή Οστράκου

Το όστρακο των Διθύρων είναι ασβεστιτικής σύστασης και αποτελείται από κρυστάλλους CaCO_3 που συνδέονται μεταξύ τους με μια οργανική ουσία, πρωτεϊνικής σύστασης, την Κογχυολίνη (conchiolin).

Εξωτερικά το όστρακο καλύπτεται από ένα λεπτό οργανικό στρώμα το Περιοστράκο (Periostracum) το οποίο δεν απολιθώνεται. Στο υπόλοιπο ασβεστιτικό όστρακο διακρίνονται δυο στρώματα ένα εξωτερικό παχύ και ένα εσωτερικό που σχηματίζεται εσωτερικά της μανδουακής γραμμής. Η ορυκτολογική σύσταση και η μικροδομή του ασβεστολιθικού οστράκου απετέλεσαν αντικείμενο λεπτομερών ερευνών. Βρέθηκε ότι τα κελύφη των διθύρων αποτελούνται από πολλές στρώσεις κρυστάλλων CaCO_3 και

Ο μανδύας προσκολλάται στο εσωτερικό των θυρίδων όπου και αφήνει ένα ίχνος προσκόλλησης υπό μορφή γραμμής παράλληλης στο χείλος του οστράκου. Η γραμμή αυτή ονομάζεται μανδουακή γραμμή (pallial line) και μπορεί να είναι συνεχής ή να σχηματίζει εγκόλπωση. Όταν

σχηματίζεται εγκόλπωση, αυτή ονομάζεται μανδουακός κόλπος (pallial sinus) και εντοπίζεται πάντα στο πίσω

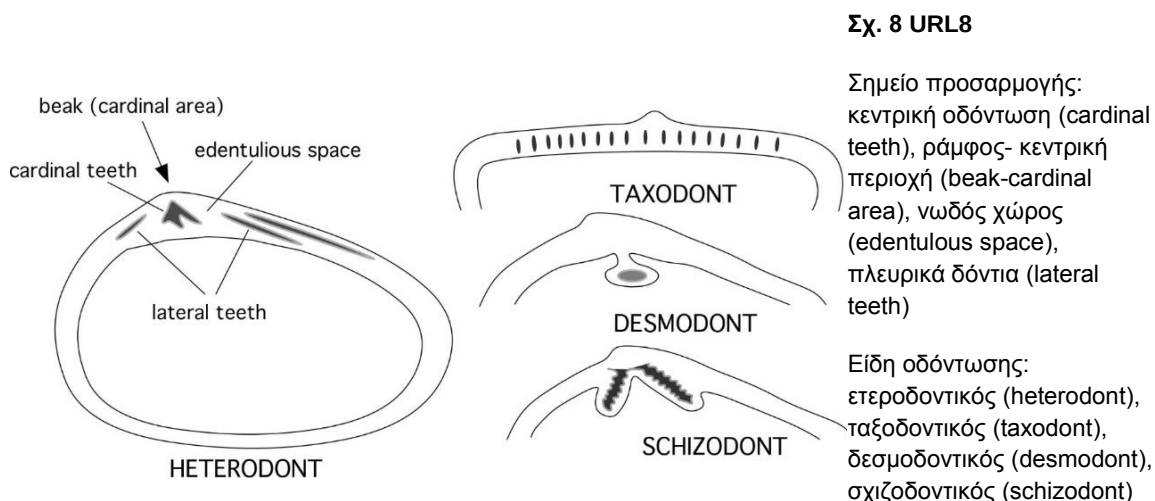
κογχυολίνης. Η κρυστάλλωση του CaCO_3 γίνεται σε μορφή είτε ασβεστίτη είτε αραγωνίτη. Παρατηρήθηκαν κελύφη είτε εξ' ολοκλήρου ασβεστιτικά, είτε εξ' ολοκλήρου αραγωνικά, είτε αποτελούμενα από ασβεστίτη και αραγωνίτη σε διαφορετικές στρώσεις.

Η αραγωνιτική σύσταση έχει συνδεθεί με θερμά περιβάλλοντα, ενώ η ασβεστιτική με λιγότερο θερμά. Πράγματι σε σημερινές τροπικές θάλασσες τα κελύφη των διθύρων είναι εξ' ολοκλήρου αραγωνικά, ενώ σε ψυχρότερα νερά αυξάνει το ποσοστό του Ασβεστίτη. Κατά την απολίθωση ο αραγωνίτης δεν είναι τόσο σταθερός όσο ο ασβεστίτης και ή διαλύεται ή ανακρυσταλλώνεται σε ασβεστίτη. Όσο μεγαλύτερης γεωλογικής ηλικίας είναι τα απολιθώματα τόσο λιγότερες πιθανότητες διατήρησης του αραγωνίτη υπάρχουν. Έτσι ενώ αρκετά απολιθώματα διθύρων του Καινοζωικού διατηρούν την αραγωνιτική τους σύσταση δεν είναι γνωστό κανένα με αραγωνιτική σύσταση παλαιότερο του Λιθανθρακοφόρου.

Τύποι Κλείθρου

Η μορφή, αριθμός και διάταξη οδόντων και βοθρίων στο κλείθρο είναι σημαντικό χαρακτηριστικό.

Διακρίνονται οι εξής τύποι:



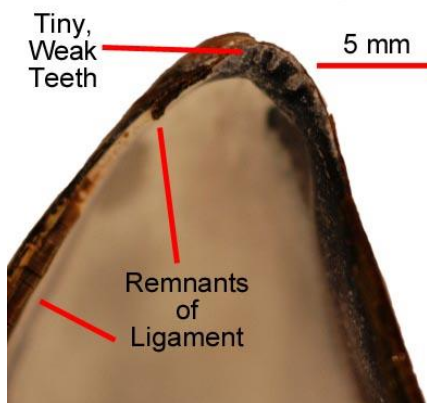


Σχ. 9 URL9 Εικόνα δίθυρου, ταξοδοντικού τύπου κλείθρου, γένους *Anadara ovalis*

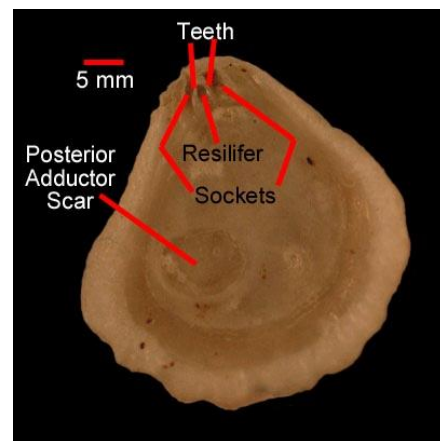
ΤΑΞΟΔΟΝΤΙΚΟΣ (taxodont) (Σχ. 9) πολυάριθμα δόντια, διευθετημένα σχεδόν παράλληλα μεταξύ τους ή ακτινωτά. Τα δόντια σχεδόν παρόμοια μεταξύ τους (*Glycimeris*, *Arca*, *Nucula*) σε μια παλαιότερη ομάδα ΠΑΛΑΙΟΤΑΞΟΔΟΝΤΑ (Ορδοβίσιο) τα δόντια διατάσσονται συνήθως σε 2 ανόμοιες ομάδες.

ΔΥΣΟΔΟΝΤΙΚΟΣ (Dysodont) (Σχ.10) πολύ μικρού μεγέθους (δυσδιάκριτοι) απλοί οδόντες κοντά στο σπόνδυλο. Χαρακτηριστικό γένος *Mytilus*

ΙΣΟΔΟΝΤΙΚΟΣ (Isodont) (Σχ. 11) πολύ μεγάλα δόντια βρίσκονται συμμετρικά στις δύο πλευρές του συνδέσμου, που βρίσκεται στο κέντρο. Χαρακτηριστικό γένος *Spondylus*



Σχ.10 URL10 Εικόνα δίθυρου δυσοδοντικού τύπου κλείθρου, γένους *Mytilus edulis*.



Σχ.11 URL10 Εικόνα δίθυρου ισοδοντικού τύπου κλείθρου, γένους *Plicatula sponduloides*. Το συγκεκριμένο διαθέτει και εσωτερικό σύνδεσμο resilifer sockets (βοθρεία εσωτερικού συνδέσμου).

ΣΧΙΖΟΔΟΝΤΙΚΟΣ (Schizodont) μόνο στα *Trigoniacea* (Palaeoheterodonta) μεγάλα δόντια με μικρές παράλληλες πτυχές-οδοντώσεις Αριστερή θυρίδα: 3 δόντια, Δεξιά θυρίδα: 2 δόντια

ΕΤΕΡΟΔΟΝΤΙΚΟΣ (Heterodont) 2-3 κύρια δόντια όπως επίσης εμπρόσθια και οπίσθια πλευρικά. Τα περισσότερα Τριτογενή και Σύγχρονα δίθυρα

έχουν ετεροδοντικό κλείθρο. Οι προγονικές μορφές του ετεροδοντικού κλείθρου τα Παλαιοετερόδοντα (Palaeoheterodont) εμφανίζονται από το Ορδοβίσιο και φαίνεται ότι μαζί με τα Παλαιοταξόδοντα προέρχονται από ένα κοινό πρόγονο με πολλαπλά δόντια.

ΠΑΧΥΔΟΝΤΙΚΟΣ (Pachydont) πολύ μεγάλα χοντροκομμένα δόντια. Συναντώνται μόνο στους Ρουδιστές που ήταν ανισόθυρα δίθυρα με πολύ επιμήκη δεξιά θυρίδα προσκολλημένη στο βυθό σε ομάδες σχηματίζοντας υφάλους. Φαίνεται ότι αυτή η οδόντωση έχει σχέση με τον τρόπο ζωής.

ΔΕΣΜΟΔΟΝΤΙΚΟΣ (Desmodont) (Σχ. 8) απλή μορφή κλείθρου με λίγα ή καθόλου δόντια αλλά με φυλλοειδείς προεξοχές υπό μορφή δοντιών. Σύνδεσμος εσωτερικός σε ειδικές προεξοχές - βάσεις τη χονδροφόρο (Chondrophore). Τα δίθυρα που έχουν τέτοιο κλείθρο είναι σκαπτικά.

Βάθος χρόνου που μπορεί να εξεταστεί

Τα δίθυρα μαλάκια του Βορρά και της θάλασσας της Βαλτικής χρησιμοποιούνται για την αποκατάσταση του Ολοκαινικού κλίματος και της περιβαλλοντικής ιστορίας του.

Οι πιο μακροχρόνιες δημοσιευμένες χρονολογίες οστράκων έχουν αναπτυχθεί από την επιστημονική ομάδα Σκληροχρονολογίας και Σκληροκλιματολογίας του SOS Μπανγκόρ Πανεπιστημίου της Αγγλίας, χρησιμοποιώντας τα ζωντανά αλλιευμένα και απολιθωμένα κογχύλια *Arctica islandica* (Σχ. 12).



Σχ. 12 URL11 Η σχολή των ωκεάνιων επιστημών στο πανεπιστήμιο του Μπανγκόρ, Ουαλία, στεγάζει συλλογή του μεγάλου μαλακίου, *Arctica islandica*

Για περιοχή της Ιρλανδικής θάλασσας από τη δυτική ακτή του Isle of Man (Butler et al, 2009b, 2010) χρονολογήθηκε δείγμα *Arctica islandica*, ηλικίας 487 ετών, και σε μια περιοχή από το νησί Grimsey στη Βόρειο Ισλανδική κατωφέρεια χρονολογήθηκε δείγμα ηλικίας 1.357 ετών που έχει δημοσιευθεί πρόσφατα (Butler et al, 2012).



Μια από τις πιό συναρπαστικές ανακαλύψεις που βοήθησε να προωθηθεί ο τομέας της Σκληροχρονολόγησης, έγινε από τον παλαιοντολόγο Wells J.W. το 1963. Ανέφερε ότι τα ζωντανά κοράλλια διαμορφώνουν 365 ημερήσιες προσαυξήσεις το χρόνο στους σκελετούς τους ενώ τα απολιθωμένα κοράλλια από τη Δεβόνιο περίοδο διαμόρφωναν 400 κατ' έτος, προτείνοντας ότι μια Δεβόνια ημέρα, περίπου 400 εκατομμύρια

Σχ. 13 URL12 Κοράλλι. Τα κοράλλια δημιουργούν ετήσιες ζώνες προσαυξήσεως, όπως τα δέντρα που αναπτύσσουν έχει τα δαχτυλίους (εικόνα: J. Nyberg)

χρόνια πριν, ήταν πίο σύντομη από τη σημερινή, κατά περίπου δύο ώρες.

Ο μεγαλύτερος αριθμός καθημερινών προσαυξήσεων ανάπτυξης στα απολιθώματα φάνηκε να επιβεβαιώνει αυτό που οι αστρονόμοι έχουν υπολογίσει, δηλαδή το ότι η περιοδική περιστροφική κίνηση της γης επιβραδύνει βαθμιαία κατά τη διάρκεια του γεωλογικού χρόνου.

Σκοπιμότητα και Σημασία

Παλαιοντολογία

Στρέφεται πρώτιστα προς τις αυξητικές δομές που αντικατοπτρίζουν τις ετήσιες, μηνιαίες (σεληνιακοί μήνες), ανά δεκαπενθήμερο, παλιρροιακές, ημερήσιες, ημι-ημερήσιες κ.α. χρονικές περιοδικές προσαυξήσεις. Οι φυσιολογικές χρονικές προσαυξήσεις ανάπτυξης ελέγχονται από τα βιολογικά ρολόγια των



Σχ. 14 URL13 Διατομή του δίθυρου *Aequipecten islandica* στο βράχο, in situ .

οργανισμών και τα οποία με τη σειρά τους επηρεάζονται από τους περιβαλλοντικούς και αστρονομικούς παράγοντες. Οι μεταβολές στους ρυθμούς ανάπτυξης και τα γεωχημικά συστατικά των προσαυξητικών ζωνών απεικονίζουν τις εποχικές και διαχρονικές μεταβολές των φυσικοχημικών συνθηκών κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης (θερμοκρασία, διατροφή, οντογένεση, αναπαραγωγή) και καταγράφουν αρχεία περιβαλλοντικής και κλιματολογικής αλλαγής σε βάθος χρόνων.

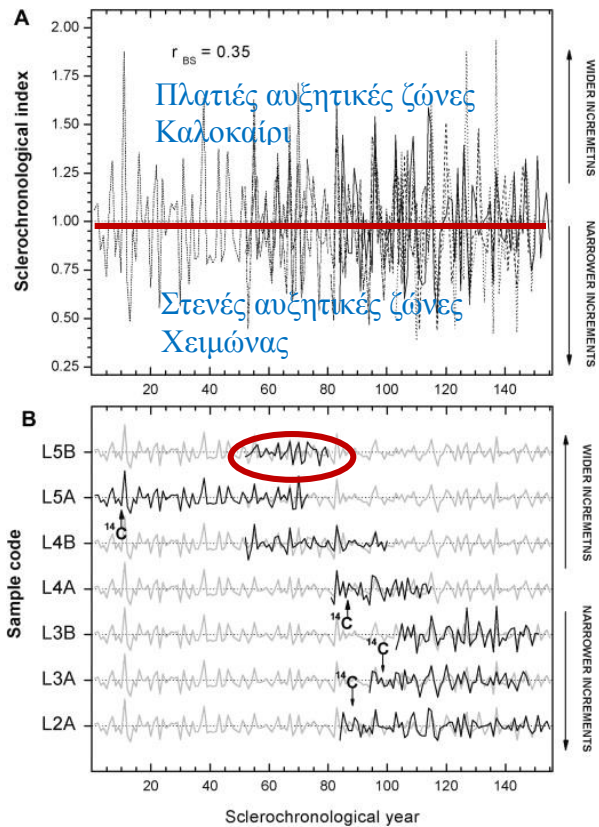
Επιπλέον μπορεί να δημιουργηθεί κλιματολογικό αρχείο σε βάθος χρόνου όχι μόνο από ιστορικής απόψεως, αλλά και για να εξυπηρετηθούν κοινωνικά συμφέροντα. Χαρακτηριστικά, ο Johan Nyberg των Γεωλογικών Ερευνών της Σουηδίας και οι συνάδελφοί του που χρησιμοποίησαν την μέθοδο λήψης ασβεστολιθικών πυρήνων κοραλλιογενών υφάλων, από την Βορειοανατολική Καραϊβική, για να δημιουργήσει ένα αντιπροσωπευτικό αρχείο της ταχύτητας του ανέμου και των θερμοκρασιών της θαλάσσιας επιφάνειας από το 1730. Από αυτό εκτίμησαν την δραστηριότητα των τυφώνων εκείνης της εποχής.

Ριπές ισχυρών ανέμων - διαφορά στην ταχύτητα και κατεύθυνση μεταξύ των χαμηλών ανέμων που φυσούν κοντά στη γήινη επιφάνεια και των ανέμων που βρίσκονται υψηλότερα επάνω στην ατμόσφαιρα – αποτελεί την αιτία μείωσης των βροχοπτώσεων, οι οποίες παράγουν πυκνότερης σύστασης κοράλλια. Αυτό συμβαίνει επειδή λιγότερη βροχή ρέει από τη στεριά προς τη θάλασσα, με αποτέλεσμα να αυξάνει την αλατότητα του νερού και να έχει επιπτώσεις στον τρόπο που τα κοράλλια κατασκευάζουν τον σκελετό τους.

Κάθε χρόνο, τα κοράλλια σχηματίζουν μια ζώνη σκελετού λίγο πολύ με τον ίδιο τρόπο όπως τα δέντρα σχηματίζουν δακτυλίους, έτσι με την εξέταση πυρήνων που λαμβάνονται από κοράλλια του προηγούμενου αιώνα η ομάδα του Nyberg υποστηρίζει ότι είναι σε θέση να αποκαταστήσει την ιστορία της δραστηριότητας των τυφώνων στην περιοχή. Οι ριπές ισχυρών ανέμων συνδέονται επίσης με μείωση της δραστηριότητας του τυφώνα, όπως λέει ο Nyberg, επειδή καταστρέφει τα συστήματα θύελλας καθώς αυτά διαμορφώνονται. Και, επειδή η υψηλή δραστηριότητα τυφώνων συνδέεται με αύξηση των βροχοπτώσεων, αυτό οδηγεί σε λιγότερο πυκνή δομή κοραλλιών.

Η ομάδα διαπίστωσε ότι η συχνότητα των σημαντικών τυφώνων μειώθηκε βαθμιαία από το 1760, φθάνοντας σε πτώση ρεκόρ ανάμεσα στη δεκαετία του '70 και τη δεκαετία του '80. Από τότε, οι αριθμοί μεγάλων τυφώνων έχουν αρχίσει να αυξάνουν και πάλι, οδηγώντας σε εποχές πολύ σημαντικών τυφώνων. Ο πιο ξεχωριστός μεταξύ αυτών ήταν ο τυφώνας Katrina, ο οποίος οδήγησε στην ερήμωση της Νέας Ορλεάνης στις ΗΠΑ το καλοκαίρι του 2005.

Βελτιώσεις στις τεχνικές απεικόνισης έχουν πλέον δημιουργήσει τη δυνατότητα να αναλυθεί και να μελετηθεί η ζώνωση των κοραλλιών σε καθημερινή βάση, αν και τα βιολογικά «ζωτικής σημασίας» αποτελέσματα τόσο υψηλής ανάλυσης μπορούν να διαστρεβλώσουν το αποτέλεσμα. Είναι πρώτιστης σημασίας να προσδιοριστεί το περιβάλλον και η περίοδος ανάπτυξης κάθε είδους. Τα δεδομένα που παραλαμβάνουμε μέσω της συνδυαστικής-συγκριτικής έρευνας (crossdating), αναλύονται για να ερμηνευτεί η εποχιακή μεταβλητότητα εξαιτίας των παγκοσμίων περιβαλλοντικών αλλαγών.



Σχ. 15 URL14 Διάγραμμα cross dating 7 δειγμάτων *Arctica Islandica*

Πεδία Εφαρμογής

Παλαιοκλιματολογία

Τα όστρακα των θαλάσσιων μαλακίων που ουσιαστικά αποτελούνται από βιογενή ανθρακικά άλατα είναι φυσικά αρχεία των παλαιοπεριβαλλοντικών πληροφοριών, και μπορούν να παρέχουν υψηλής ευκρίνειας αρχεία πληροφοριών της ωκεάνιας κλιματικής μεταβλητότητας του παρελθόντος και του παρόντος. Ο ρόλος των ωκεανών στη κλιματική αλλαγή δεν είναι ακόμα επαρκώς κατανοητός. Για να ερευνηθεί η ωκεάνια μεταβλητότητα σε δεκαετή έως εκατονταετή χρονική κλίμακα, είναι ζωτικής σημασίας να καθοριστούν υψηλής ευκρίνειας θαλάσσια αρχεία. Οι γεωχημικές καταγραφές που προέρχονται από κοράλλια παρέχουν εποχικά αρχεία προηγούμενων περιβαλλοντικών αλλαγών. Οι ογκώδεις αποικίες κοραλλιογενών υφάλων μπορούν να ζήσουν για αρκετές εκατοντάδες χρόνια. Έτσι ξεπερνούν κατά πολύ τις ενόργανες μετρήσεις του ανθρώπου (~200 τελευταία χρόνια). Οι τροπικοί ωκεανοί χαρακτηρίζουν μερικά από τα σημαντικότερα κλιματικά φαινόμενα της υδρογείου και διαδραματίζουν βασικό ρόλο στην ωκεάνια και ατμοσφαιρική μεταβλητότητα. Ο τροπικός Βόρειος Ατλαντικός αποτελεί βασική περιοχή μελέτης της μεταβλητότητας του κλίματος του Βορείου ημισφαιρίου.

Οικονομία-Παραγωγή

Μια άλλη εφαρμογή της Σκληροχρονολόγησης γίνεται στους πληθυσμούς των ψαριών, με την μελέτη των ωτολίθων. Ο τελικός στόχος είναι να κατανοηθούν καλύτερα τα δημογραφικά στοιχεία των ψαριών. Οι ρυθμοί ανάπτυξης, αναπαραγωγής και θνησιμότητας που καταγράφονται από τις προσαυξητικές ζώνες ανάπτυξης είναι πολύ σημαντικοί παράγοντες και αν συνδεθούν με στατιστικές μελέτες που οι βιολόγοι χρησιμοποιούν, δίνονται στοιχεία αξιολόγησης των αποθεμάτων των υδρόβιων οργανισμών και του πληθυσμού τους. Στη συνέχεια τα στοιχεία αυτά μπορούν να συνδυαστούν με άλλα και να εκταθούν στο χώρο και στο χρόνο, πράγμα που μπορεί να φανεί ιδιαίτερα χρήσιμο και στον τομέα της εντατικής αλιείας.

Περιβαλλοντολογία

Το παρελθόν κλίμα και οι παλαιοπεριβαλλοντικές συνθήκες παρέχουν τη βάση για τις μελλοντικές οικολογικές τάσεις. Στα μέσα γεωγραφικά πλάτη, τα διάφορα μοντέλα, που έχουν διατυπωθεί, έχουν συχνά στηριχθεί στα στοιχεία των δένδρο-δακτυλίων. Δυστυχώς, οι δακτύλιοι δέντρων μόνο αόριστα καταγράφουν τις εποχικές περιβαλλοντικές μεταβολές και οι ερμηνείες από τέτοια στοιχεία δεν μπορούν να επεκταθούν με ακρίβεια στις θαλάσσιες περιοχές. Επιπλέον οι άμεσες μετρήσεις από τις θαλάσσιες μεταβλητές είναι περιορισμένες χρονικά στα τελευταία 200 χρόνια. Η μελέτη για τα δίθυρα (Σκληροχρονολόγηση) καταγράφει ποσοτικά τις περιβαλλοντικές συνθήκες πέρα από τα όρια των άμεσων μετρήσεων.

Χαρακτηριστικά Παραδείγματα μελέτης Διθύρων

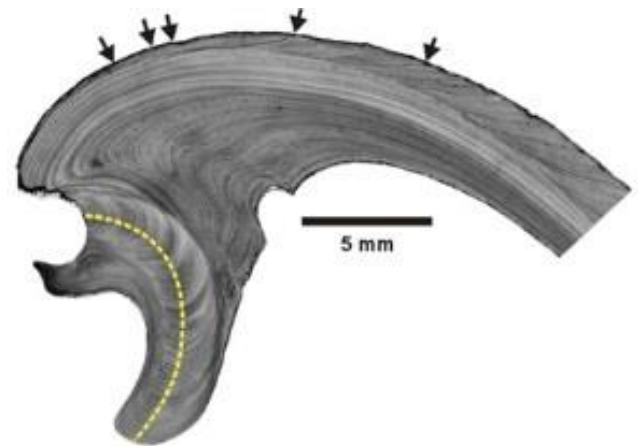
Σήμερα έχει καθιερωθεί η συνδυαστική χρήση πολλών δειγμάτων (crossdating) του ίδιου είδους, τόσο μακρόβιων όσο και βραχύβιων Διθύρων, (όπως *Arctica islandica*, *Spisula solida*, *Astarte* κ.α.), έτσι ώστε να εξασφαλιστεί μια συνεχής και λεπτομερούς χρονοσειρά.

Arctica islandica

Ιδιαίτερα χρησιμοποιείται το μακρόβιο θαλάσσιο δίθυρο *Arctica islandica* (Linnaeus, 1767) στην μελέτη της κυκλοφορίας και της θερμοκρασία των ωκεάνιων και θαλάσσιων υδάτων για την περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού, κατά τη διάρκεια του Ολοκαίνου.



Σχ. 16 URL15 Όνομα: *Arctica islandica* (Linné, 1767) *Venus islandica* (Linné, 1767) Τοποθεσία: Δανία, Skagerrak, παραλία κοντά στην Fjerritslev. Συλλέχθηκε από τον F. Welter-Schultes και η κλίμακα είναι σε εκατοστά.



Σχ. 17 URL16 Τομή κογχυλιού *Arctica islandica*, του καθ. James Scourse, πανεπιστήμιο της Ουαλίας, Μπανγκόρ.

Το *A. islandica* είναι ένα μέγαλο μεγέθους μαλάκιο (μήκος μέχρι 120mm), που βρίσκεται συνήθως σε βάθη 10 - 150m, κατά μήκος των ηπειρωτικών κατωφεριών του εύκρατου και αρκτικού Βόρειου Ατλαντικού. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του είναι η αξιοσημείωτη μακροζωία του. Πράγματι, ένα δείγμα του *A. islandica*, που βρέθηκε στη Βόρεια Ισλανδική κατωφέρεια, ηλικίας 1357 ετών, αποτελεί το μακροβιότερο μη-αποικιακό ζώο του οποίου η ηλικία έχει εξακριβωθεί. Είναι δυνατό να καθοριστούν οι ηλικίες αυτών των δειγμάτων με τον υπολογισμό των ορατών ετήσιων προσ αυξήσεων που καταγράφονται στο όστρακό του, και αυτές οι αυξητικές του δομές είναι το κλειδί στην Παλαιοκλιματολογία.

Συνοψίζοντας, οι ζώνες ανάπτυξης των Διθύρων αποτυπώνουν στο όστρακό τους εκτός από την ηλικία τους και όλες τις εκάστοτε παλαιοπεριβαλλοντικές συνθήκες ανάπτυξής τους, με τυπικό παράδειγμα το

A. islandica που χρησιμοποιείται ως υψηλής ευκρίνειας παλαιοκλιματικό αρχείο πληροφοριών, για την περιοχή του Βορείου Ατλαντικού.

Aequipecten opercularis

Κοινή ονομασία: ‘Βασιλικό Χτένι’

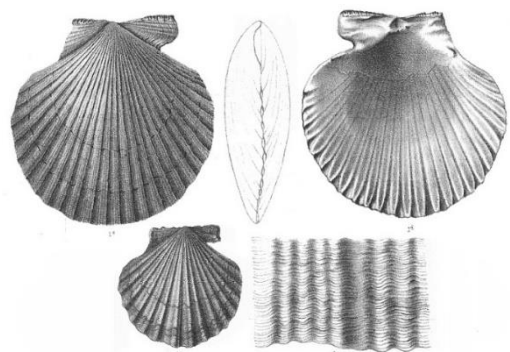
Βάσει ερευνών των ισοτόπων οξυγόνου σε *Aequipecten opercularis* του Πλειοκαίνου καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η ελάχιστη θερμοκρασία του θαλάσσιου πυθμένα κατά τον χειμώνα ήταν χαμηλότερη (~4° C) στην Νότια περιοχή της Βόρειας Θάλασσας και ότι η μέγιστη θερμοκρασία του



Σχ. 18 URL17
Aequipecten/Chlamys opercularis Linnaeus, 1758. Βόρεια Θάλασσα. πλάτος 5.5-7.5 εκατ. Από τους τοπικούς ψαράδες, Άμστερνταμ, Ολλανδία, το Μάρτιο του 1993.

Ένας με *Crepidula fornicata* Linnaeus, 1758. Σημειώστε ότι και το *Crepidula* και οι πεταλίδες υιοθετούν το επιφανειακό σχέδιο του *Chlamys*. Επίσης *Vermetus* προσκολλημένα.

θερινού θαλάσσιου πυθμένα ήταν μερικούς βαθμούς χαμηλότερη από τις παρούσες τιμές (5-6° C). Αυτό ενδεικνύει ότι οι χειμερινές και θερινές θερμοκρασίες κατά το Πλειόκαινο στην Νότια περιοχή της Βόρειας Θάλασσας ήταν χαμηλότερες από τις παρούσες. Αυτή η διακύμανση μπορεί να αποδοθεί στην αλλαγή της ροής του Ρεύματος του Κόλπου (Gulf Stream). Δεδομένου ότι το Πλειόκαινο έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως ως πεδίο έρευνας για τα στατιστικά μοντέλα του Φαινομένου του Θερμοκηπίου, τα αποτελέσματά τους οδηγούν στην πρόβλεψη του μελλοντικού κλίματος στην περιοχή του Βορειοανατολικού Ατλαντικού, υπό την επήρεια των ανθρωπογενών παραγόντων που οδηγούν σε αύξηση της θερμοκρασίας της Γης.



Σχ. 19 URL18 *Aequipecten Opercularis* (δεξιά θυρίδα) - απολιθωμένο διθυρο από τις πλειόκαινες αποθέσεις κοντά στην Αμβέρσα (Βέλγιο).

Μέθοδοι και Τεχνικές της Σκληροχρονολόγησης

Κοράλλια

Λόγω της μακροχρόνιας διάρκειας ζωής τους (μέχρι αρκετούς αιώνες) και της ταχείας ανάπτυξής τους (>1 εκ./χρόνο), τα αποικιακά κοράλλια αποτελούν ένα ιδανικό αρχείο, επί πολλές δεκαετίες, της διακύμανσης των παλαιο-περιβαλλοντικών συνθηκών. Εκτενής παλαιοκλιματική έρευνα σε κοράλλια από τον Ινδο-Ειρηνικό ωκεανό (κοράλλια του γένους *Porites* sp.) παρέχουν κλιματικές καταγραφές αρκετών εκατοντάδων ετών. Ενώ μόνο λίγες μελέτες έχουν δώσει στοιχεία αντίστοιχης ακρίβειας από κοράλλια για τον τροπικό Ατλαντικό, χρησιμοποιώντας κυρίως τα κοράλλια του γένους *Montastraea* sp..

Πρόσφατα καταδείχθηκε ότι τα ογκώδη, ταχέως αναπτυσσόμενα κοράλλια της Καραϊβικής, του γένους *Diploria strigosa*, μπορούν να παρέχουν ακριβή, μηνιαία δεδομένα για την διακύμανση του κλίματος στον τροπικό Βόρειο Ατλαντικό (κοράλλια ρηχών νερών αποτελούν υψηλής ευκρίνειας αρχεία). Με την ανάλυση των γεωχημικών δεδομένων από το μακρόβιο ογκώδες *Diploria strigosa*, είναι τώρα δυνατό να αναπτυχθούν μακροχρόνιες αποκαταστάσεις της επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας, με εποχική ανάλυση που επεκτείνεται, σε αξιοπιστία, αρκετά πέρα από το απλό αρχείο παρατήρησης.



Σχ.20 URL 19 Διαδικασία λήψης πυρήνα κοραλλιού βήμα 1ο. Ο ερευνητής πλησιάζει και εγκαθιστά τον εξοπλισμό στο κοράλλι.

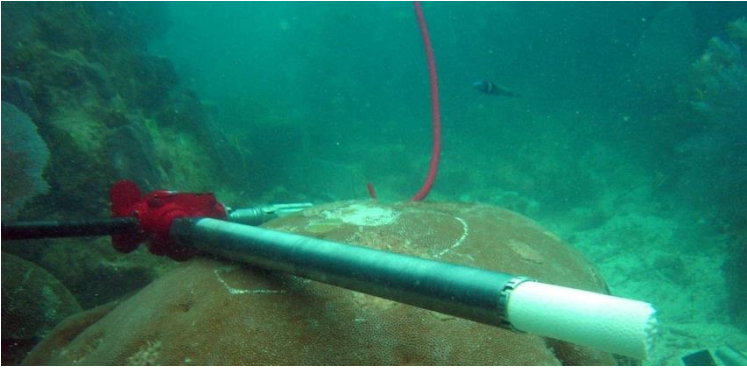


Σχ.21 URL 19 Διαδικασία λήψης πυρήνα κοραλλιού βήμα 2ο. Δειγματοληψία ογκώδους αποικίας *Diploria strigosa*, αρχιπέλαγος Los Roques, Βενεζουέλα.



Σχ.22 URL 19 Διαδικασία λήψης πυρήνα κοραλλιού βήμα 3ο. Υποβρύχια δειγματοληψία που χρησιμοποιεί χειροκίνητο τρυπάνι.

Στην περίπτωση των κοραλλίων η διαδικασία παρουσιάζει μεγαλύτερη δυσκολία στη συλλογή του δείγματος παρά στην επεξεργασία του για την περαιτέρω μελέτη του. Αρχικά εντοπίζεται κοραλλιογενής υφάλος υπό την επιφάνεια του νερού (Σχ. 20). Με χρήση ειδικού γεωτρύπανου γίνεται διάτρηση και λήψη πυρήνα κοραλλιογενούς ασβεστολίθου (Σχ. 21-24).



Σχ.23 URL20 Ένα χειροκίνητο τρυπάνι με δείγμα πυρήνα από ένα ογκώδες κοράλλι στάρλετ (*Siderastrea siderea*) στην μεσοαμερικάνικη υφαλοκρηπίδα από την ακτή της Μπελίζ. (Φωτογραφία του Karl Castillo)

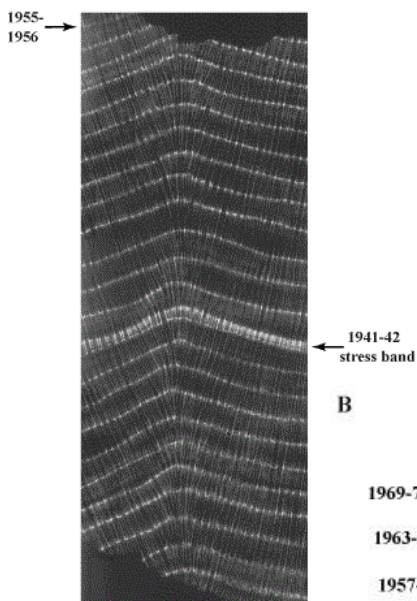


Σχ.24 URL21 Πυρήνες κοραλλίων που συλλέχθηκαν από το δυτικό Flower Garden Bank, Κόλπος Μεξικού. Φωτογραφία από την Emma Hickerson.

Οι επιστήμονες του πανεπιστημίου της Βόρειας Καρολίνας στο Τσάπελ Χιλ, που ασχολούνται με παραθαλάσσια οικοσυστήματα, έχουν συνδέσει την πτώση στην προσ αύξηση των καραϊβικών κοραλλιών όπισθεν του υφάλου με προσωρινή άνοδο της θερμοκρασίας. Καθώς επίσης και για τα κοράλλια που βρίσκονται έξω από την υφαλογραμμή (προς τον ωκεανό), συνέδεσαν την πτώση του ρυθμού αύξησής τους με τις πολυετείς μεταβολές της θερμοκρασίας του νερού της θάλασσας που αναπτύχθηκαν. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε για το Μέσο-Αμερικανικό σύστημα στη νότια Μπελίζ. Το Μέσο-Αμερικανικό σύστημα υφάλων είναι το δεύτερο μεγαλύτερο οικοσύστημα στον κόσμο και το μεγαλύτερο στο δυτικό ημισφαίριο, που εκτείνεται κατά μήκος των ακτών του Μεξικού, της Μπελίζ, της Γουατεμάλα και της Ονδούρας. Το Φεβρουάριο του 2009, οι ερευνητές Karl Castillo και ο Justin Ries (UNC) χρησιμοποίησαν ένα μεγάλο τρυπάνι για να εξαγάγουν 13 δείγματα πυρήνων από ογκώδη κοράλλια 'Starlet' κατά μήκος της υφαλογραμμής και μέτρησαν το πάχος των ετήσιων ζωνών προσ αύξησης τους προκειμένου να υπολογιστούν οι τάσεις στους ρυθμούς ανάπτυξης τους κατά τη διάρκεια των τελευταίων 100 ετών. Βρήκαν πτώση στη σκελετική αύξηση των κοραλλιών πιο κοντά στον ανοικτό ωκεανό, ενώ αύξηση στις άλλες δύο ζώνες της υφαλοκρηπίδας, παράκτια και όπισθεν της υφαλογραμμής (προς τον ωκεανό), οι οποίες παρέμειναν σχετικά αμετάβλητες.

Τα συμπεράσματα αυτής της νέας ερευνητικής μελέτης προσφέρουν ιδέες για το πώς τα κοράλλια είναι πιθανό να αποκριθούν σε μελλοντική θέρμανση. Δίνουν επίσης έμφαση στη σημασία της κατανόησης των τοπικών διαφορών των κοραλλιών και στην αλλαγή συμπεριφοράς εξαιτίας της αύξησης της θερμοκρασίας της θάλασσας στα πλαίσια της ταχείας παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής. Με τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών των κοραλλιών που είναι πιο ευαίσθητα στη θέρμανση, η μελέτη μπορεί να βοηθήσει τους επιστήμονες κοραλλιογενών υφάλων να επιλέξουν τα οικοσυστήματα υφαλοκρηπίδας που θα πρέπει να προστατεύσουν περισσότερο.

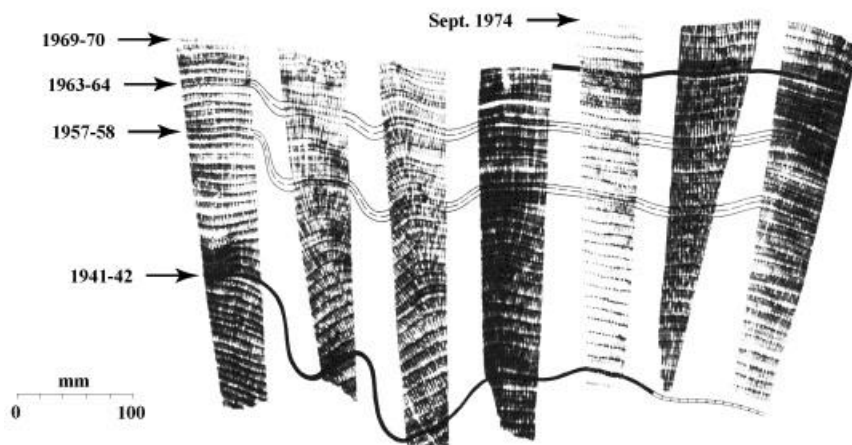
A *Montastrea annularis* at Hen and Chickens



Με ακτινογραφία του ασβεστολιθικού πυρήνα του κοραλλιού έχουμε σαφή εικόνα των ετήσιων προσαυξητικών δομών χωρίς ανάγκη περαιτέρω επεξεργασίας.

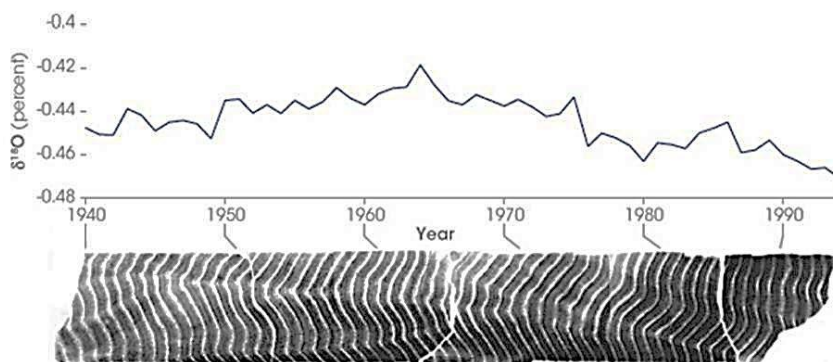
B

Annual Growth Bands in Seven *Montastrea annularis* at Hen and Chickens Reef



Σχ. 25 URL22 Ακτινογραφίες τομών πυρήνων κοραλλιών που παρουσιάζουν τις ετήσιες ζώνες αύξησης των *Montastrea annularis* από την υφαλοκρηπίδα Hen and Chickens, Φλόριντα. (Α) Σημειώνεται αφύσικα φαρδιά οριακή γραμμή που σημειώνεται για άγνωστη αιτία κατά το χειμώνα του 1941-42. (Β) Συσχετισμός των ζωνών προσαύξησης σε επτά διαφορετικά *M. annularis*. Τα τέσσερα στα αριστερά είναι από κεφαλές νεκρές από θερμοκρασίες κρύου νερού κατά το χειμώνα του 1969-70. Τα τρία στα δεξιά είναι από τα κοράλλια που ήταν ζωντανά και υγιή όταν συλλέχθηκαν το Σεπτέμβριο του 1974. Οι κορυφαίες ζώνες που ενώνονται από μαύρη γραμμή συσχετίζονται με τη μεταβατική φαρδιά γραμμή των κοραλλιών στις αριστερές ακτινογραφίες. Η ζώνη πίεσης για το 1941-42 δείχνει ότι οι συνθήκες πρέπει να ήταν τόσο έντονες όπως το 1969-70 αν και τα κοράλλια επέζησαν της προηγούμενης ταλαιπωρίας. Άλλες δευτερεύουσες ζώνες πίεσης είναι πολύ εξασθενημένες ή δεν συσχετίζονται από κοράλλι σε κοράλλι. Οι κανονικές ετήσιες ζώνες είναι πανομοιότυπες από κοράλλι σε κοράλλι (τροποποιήθηκε από τους Hudson και λοιποί, 1976)

Χάρη στις ετήσιες προσαυξητικές δομές των κοραλλίων και τη μελέτη της αναλογίας του $\delta^{18}\text{O}$ σε κάθε ζώνη έχουμε ένα ακριβές χρονολογικό αρχείο. Τα κελύφη των μικροσκοπικών φυτών, των ζώων και των κοραλλίων αποτελούνται χαρακτηριστικά από ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3), το οποίο είναι ίδιο με τον ασβεστόλιθο, την κιμωλία, και από διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2), το οποίο είναι παρόμοιο με την κοινή ένωση στην άμμο χαλαζία. Οι βιολογικές και χημικές διαδικασίες που αναγκάζουν τα κοχύλια να ενσωματώσουν μεγαλύτερα ποσοστά του βαρέος οξυγόνου (O^{18}) γίνονται πιο έντονες με πτώση της θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα τα κοχύλια που διαμορφώνονται σε ψυχρότερα ύδατα να έχουν ακόμα μεγαλύτερο ποσοστό του βαρέος οξυγόνου από τα κογχύλια που αναπτύσσονται σε θερμότερα, όπου η διακύμανσή του είναι λιγότερο ευδιάκριτη. Αυτή, η βασισμένη στη θερμοκρασία παραμόρφωση, δείχνει ότι η σύνθεση των ισοτόπων οξυγόνου των κογχυλιών δεν ταιριάζει ακριβώς με τη σύνθεση του ωκεάνιου νερού στο οποίο αναπτύχθηκαν.



Σχ. 26 URL23 Ακτινογραφία ενός πυρήνα κοραλλίων. Παρουσιάζει την διακύμανση της συγκέντρωσης ^{18}O που αντιστοιχεί στην ανάπτυξη του κοραλλιού. Επειδή οι οργανισμοί διαβίωσης αλληλοεπιδρούν με το περιβάλλον τους με σύνθετους τρόπους, οι μετρήσεις ισοτόπων που γίνονται σε κοράλλι πρέπει να βαθμολογηθούν προσεκτικά. (Γράφημα της NASA από τον Robert Simmon, βασισμένο στα στοιχεία που παρέχονται από τους Cole et. Al 2000, "Tropical Pacific forcing of decadal variability in the western Indian Ocean over the past two centuries")

Οι επιστήμονες μπορούν να διορθώσουν τον παράγοντα της θερμοκρασίας με την εξέταση άλλων χημικών ουσιών στα κοχύλια. Στα κοράλλια, παραδείγματος χάριν, η ισορροπία μεταξύ του στροντίου και του ασβεστίου καθορίζεται από τη θερμοκρασία. Με τη μέτρηση των ποσών αυτών των χημικών ουσιών στα κοράλλια, οι επιστήμονες μπορούν να διαπιστώσουν τη θερμοκρασία του ωκεανού που αναπτύχθηκε και κατόπιν να υπολογίσουν την ποσότητα βαρέος οξυγόνου που ήταν πιθανό να ενσωματώσουν τα κοχύλια σε εκείνη την θερμοκρασία. Οι αποκλίσεις της αναλογίας των ισοτόπων του οξυγόνου μετά από τη διόρθωση της θερμοκρασίας αποκαλύπτουν αλλαγές στην τοπική αλατότητα του ωκεανού, η οποία συσχετίζεται με την εξάτμιση, τις βροχοπτώσεις, την απορροή και στην παγκόσμια αλατότητα (μέτρο του συνολικού ποσού του πάγου στον κόσμο).

Δίθυρα

Αρχικά τα δείγματα συλλέγονται, καθαρίζονται και επιλέγονται (Σχ.27). Τα μαλακά μέρη απομονώνονται καθώς αποτελούν αντικείμενο μελέτης



Σχ.27 URL24 Διαδικασία επεξεργασίας διθύρου Βήμα 1ο. Συλλογή δειγμάτων.



Σχ.28 URL24 Διαδικασία επεξεργασίας διθύρου Βήμα 2ο. Αφαίρεση μαλακών

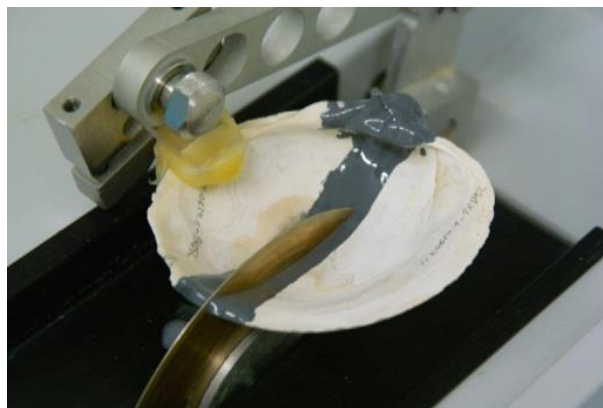


Σχ.29 URL24 Διαδικασία επεξεργασίας διθύρου Βήμα 3ο.

της Βιολογίας (Σχ.28). Το όστρακο επαλείφεται με ειδική ρητίνη για μεγαλύτερη αντοχή και καλύτερη διατήρηση του δείγματος (Σχ.30).



Σχ.30 URL24 Διαδικασία επεξεργασίας διθύρου Βήμα 4ο. Επάλειψη με ειδική ρητίνη.



Σχ.31 URL24 Διαδικασία επεξεργασίας διθύρου Βήμα 5ο. Εγκάρσια στην ανάπτυξη κοπή.

Στη συνέχεια, αφού στεγνώσει η ρητίνη, κόβεται λεπτό κομμάτι του οστράκου εγκάρσια στη διεύθυνση ανάπτυξής του με ειδικό τροχό (Σχ.31). Αποκόπτεται λεπτή φέτα από το όστρακο, οι επιφάνειες κοπής επιπεδοποιούνται και λειαίνονται σε μικρό πάχος (Σχ.32)



Σχ.32 URL24 Διαδικασία επεξεργασίας διθύρου Βήμα 6ο. Λείανση λεπτής τομής.



Σχ.33 URL24 Διαδικασία επεξεργασίας διθύρου Βήμα 7ο. Στίλβωση λεπτής τομής.



Σχ.34 URL24 Διαδικασία επεξεργασίας διθύρου Βήμα 8ο. Προσκόλληση σε αντικειμενοφόρο πλάκα.

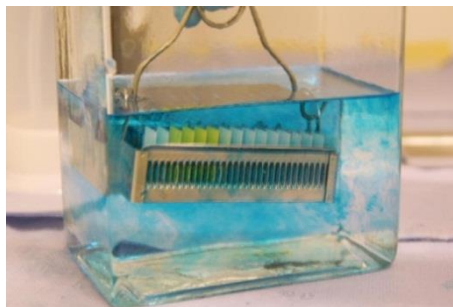


Σχ.35 URL24 Διαδικασία επεξεργασίας διθύρου Βήμα 9ο. Αρχαιοθέτηση και βύθιση σε ειδική χρωστική ουσία.

Το κομμάτι τοποθετείται σε αντικειμενοφόρο πλάκα μικροσκοπίου (Σχ. 34). Οι αντικειμενοφόρες πλάκες μικροσκοπίου αρχειοθετούνται (Σχ. 35) και βυθίζονται σε χρωστική ουσία ώστε να εμποτιστούν και ενισχυθούν οι παρατηρήσεις των ερευνητών (Σχ. 36). Τα δείγματα στεγνώνουν (Σχ. 37) και οι λεπτές τομές θυρίδων είναι πλέον έτοιμες για μελέτη (Σχ. 38).



Σχ.36 URL24 Διαδικασία επεξεργασίας διθύρου Βήμα 10ο. Στέγνωμα χρωστικής.



Σχ.37 URL24 Διαδικασία επεξεργασίας διθύρου Βήμα 11ο. Απόπλυση περιττής χρωστικής.



Σχ.38 URL24 Διαδικασία επεξεργασίας διθύρου Βήμα 12ο. Στέγνωμα και μελέτη.

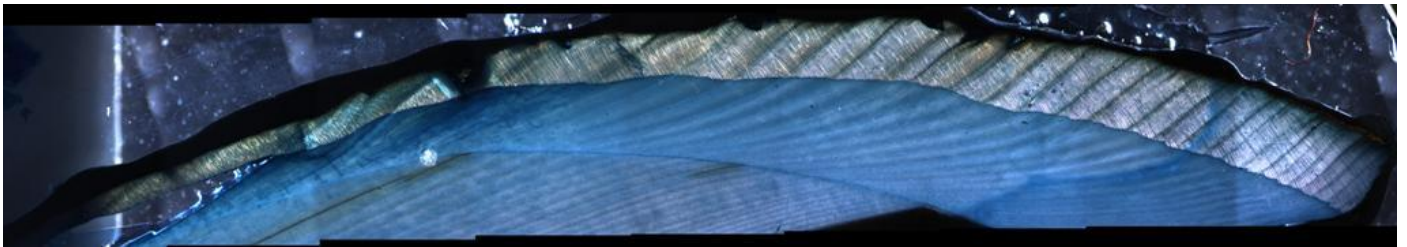
Μελέτη λεπτής τομής οστράκου

Τα σημερινά ζώντα αρτίγονα δείγματα αποτυπώνουν τις πρόσφατες και τις παλαιότερες χρονικές ακολουθίες (έως την ηλικία γέννησης του κάθε δείγματος). Μπορούμε όμως να ενσωματώσουμε στην ίδια χρονική ακολουθία και δεδομένα από παλαιότερα και ήδη νεκρά ή απολιθωμένα δείγματα. Το τελικό αποτέλεσμα θα είναι μια ‘συνδυαστική’ χρονολόγηση (Crossdating) με διάρκεια πολλών γενεών που παρέχει πληροφορίες για υψηλής ή χαμηλής συχνότητας περιβαλλοντικές αλλαγές και τάσεις, διαχρονικές και εποχιακές.

Για τη μελέτη των ζωνών ανάπτυξης γίνεται προσδιορισμός και διαχωρισμός τριών τύπων ζωνών ανάπτυξης:

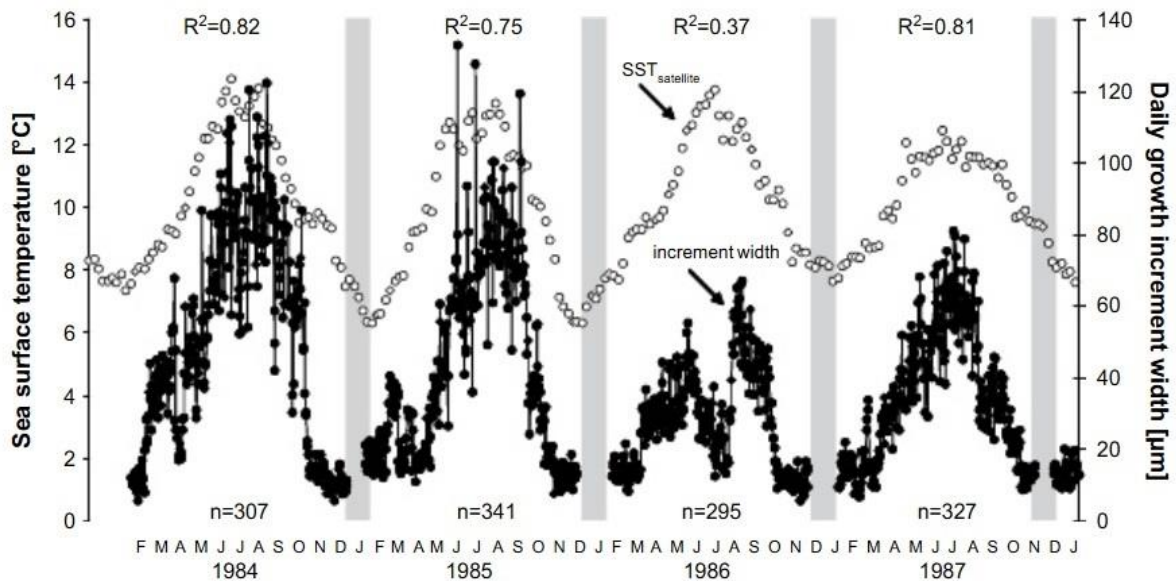
- Η ευρεία-θερινή ζώνη, το διάστημα της γρήγορης αύξησης
- Η στενή-χειμερινή ζώνη αποκαλούμενη στεφάνη
- Και μια τρίτη ζώνη αποκαλούμενη «έλεγχος»

Η καλοκαιρινή και η χειμερινή ζώνη μαζί αποτελούν μια ετήσια ζώνη, αντίστοιχη με την προσαύξηση ενός έτους. Η θερινή ζώνη είναι ανοιχτόχρωμη και η στεφάνη είναι σκουρόχρωμη στις περισσότερες δομές ανάπτυξης.



Σχ. 39 URL25 Λεπτή τομή οστράκου από μαλάκιο γλυκού νερού Νοτίου Αμερικής. Ευδιάκριτες οι θερινές και χειμερινές ζώνες προσαύξησης. Αυτοί οι οργανισμοί μπορούν να ζήσουν μέχρι και πάνω από ογδόντα χρόνια στα νοτιότερα. Χάρη στις ετήσιες γραμμές προσαύξεσης αυτοί οι οργανισμοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μεγάλο βάθος δεκαετιών και δίνουν στοιχεία για τη θερμοκρασία, τη ροή των ρευμάτων και την μακροπρόθεσμη περιβαλλοντική μεταβλητότητα μιας περιοχής.

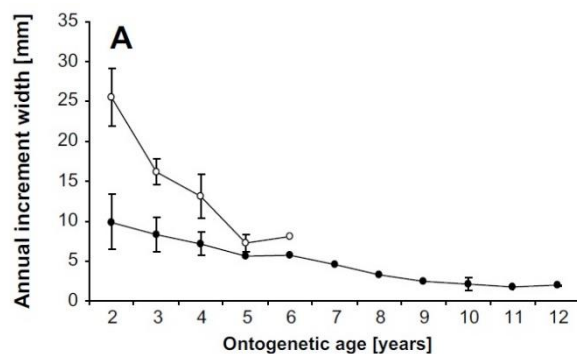
Βέβαια η πραγματική μελέτη των ζωνών ανάπτυξης δεν είναι και τόσο απλή. Ο «έλεγχος» μπορεί να είναι ιδιαίτερα δύσκολο να προσδιοριστεί επειδή μερικές φορές μπορεί να είναι τόσο ή σχεδόν όσο ευδιάκριτη είναι η στεφάνη. Για αυτό το λόγο απαιτείται πολυετής εμπειρία για την εξαγωγή της ακριβούς ηλικίας ενός οστράκου. Οι μελετητές χρονολογούν τον σκληρό ιστό – όπως λέπια ψαριών, ωτολίθους, πτερύγια και τα κελύφη, στην περίπτωση των οστρακόδερμων. Πολλά στοιχεία μπορούν να εξακριβωθούν από μια πρώτη οπτική εξέταση των τεμαχισμένων τμημάτων οστράκου όπου διακρίνονται οι ετήσιες χρονικές ζώνες- στρώματα προσαύξησης. Για την μελέτη αυτή γίνεται και μακροσκοπική και μικροσκοπική παρατήρηση των δειγμάτων.



Σχ. 40 URL26 Διάγραμμα θερμοκρασίας και εποχιακής προσαύξησης του δείγματος *Saxidomus gigantea* από τον νησί Pender από τον Ιανουάριο του 1984 έως του 1988. Οι κενοί κύκλοι παρουσιάζουν την εβδομαδιαία επιφανειακή θαλάσσια θερμοκρασία (SST-Sea Surface Temperature), δεδομένα από το www.cdc.noaa.gov, και οι γεμισμένοι κύκλοι παρουσιάζουν το ημερήσιο πλάτος προσαύξησης. Το R² αντιπροσωπεύει την παραλλαγή-απόκλιση του ημερήσιου πλάτους προσαυξήσεων σε σχέση με τα στοιχεία επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας και το n είναι ο αριθμός προσαυξήσεων το χρόνο. Οι γκριζοί φραγμοί αντιπροσωπεύουν τις γραμμές χειμερινής αύξησης.

Μία εφαρμογή έγινε σε δείγματα *Saxidomus gigantea* (Σχ. 42) από την περιοχή της Αλάσκας και της Βρετανικής Κολούμπια (Σχ. 40). Τα αναλυθέντα δείγματα, *Saxidomus gigantea*, παρουσίασαν ευδιάκριτες σκοτεινές αυξητικές γραμμές στις εξωτερικές επιφάνειες των κογχυλίων και στις λεπτές τομές τους. Στα δείγματα που συλλέγονται μεταξύ Δεκεμβρίου και Μάρτιου, είναι ορατή μια σημαντική ευδιάκριτη γραμμή αύξησης κοντά στο κοιλιακό περιθώριο, δηλ., στην τελευταία διαμορφωμένη επιφάνεια του κογχυλίου.

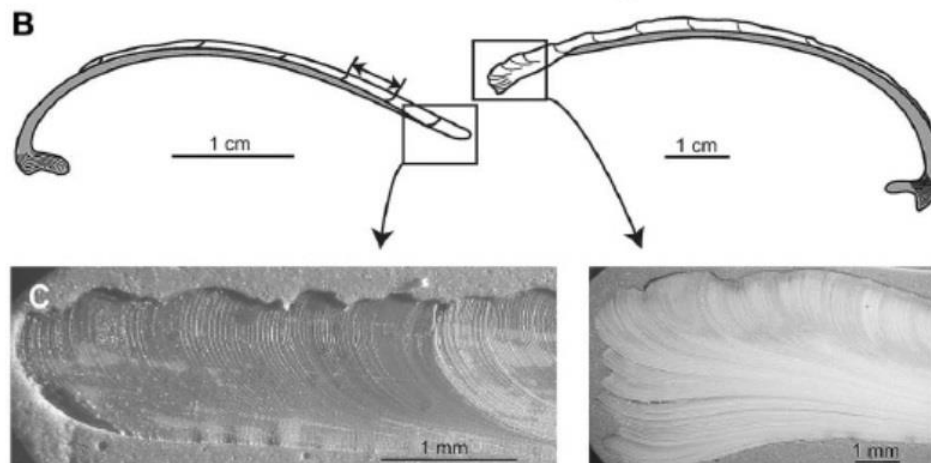
Αναφερόμαστε σε αυτές τις γραμμές ως χειμερινές ζώνες (στεφάνη) και μαζί με την επιφάνεια μεταξύ δύο διαδοχικών χειμερινών ζωνών ορίζουν μια ετήσια προσαύξηση. Κοχύλια που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών



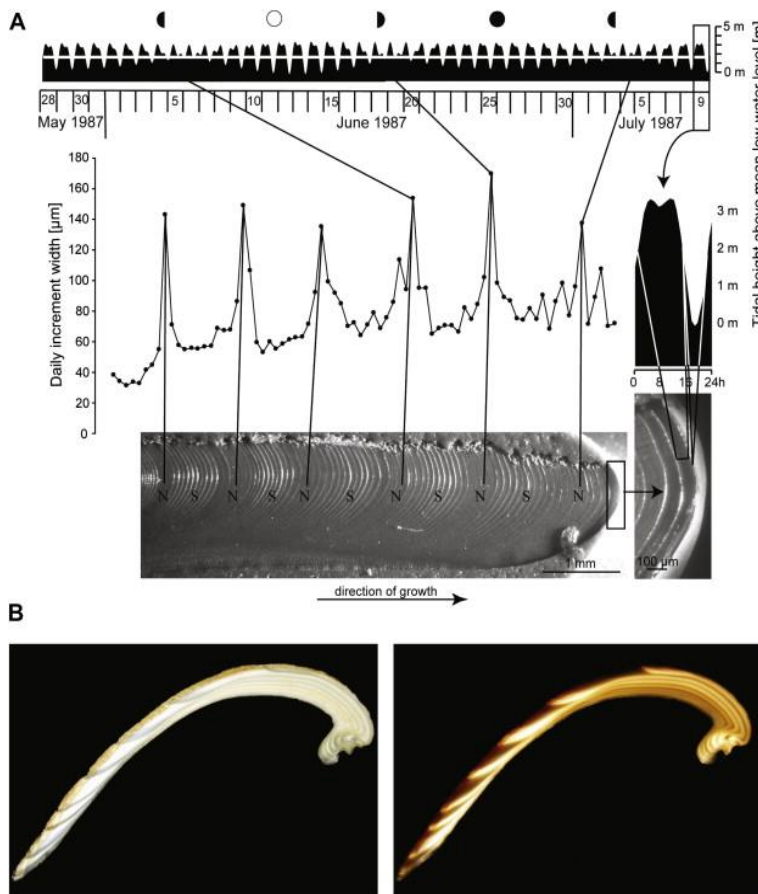
Σχ. 41 URL 27 Διάγραμμα συσχέτισης ετήσιας προσαύξησης κατά την οντογένεση δειγμάτων *Saxidomus gigantea* επτά από το Νησί Pender (λευκοί κύκλοι) και οκτώ από τις νήσους Little Takli και Mink (γεμισμένοι κύκλοι).

παρουσίασαν αύξηση περίπου 60-75% της συνολικής ετήσιας προσαύξησης. Χαρακτηριστικά, το ετήσιο πλάτος αύξησης μειώνεται από τον σπόνδυλο προς την περιφέρεια, επομένως η απόσταση μεταξύ των αυξητικών γραμμών γίνεται στενότερη προς το κοιλιακό περιθώριο. Οι ετήσιες προσαυξήσεις ήταν ευρύτερες κατά τη διάρκεια του πρώτου και του δεύτερου έτους αύξησης και

γίνονται βαθμιαία στενότερες προς το κοιλιακό περιθώριο. Σε διάγραμμα, η σχέση οντογένεσης-συνολικής ετήσιας προσαύξεσης περιγράφεται καλύτερα από μια εκθετική εξίσωση (Σχ. 41). Κατά τη διάρκεια περίπου των πρώτων δέκα έως δώδεκα ετών ζωής του *Saxidomus gigantea*, τα κοχύλια παρουσιάζουν την μέγιστη αύξηση, έκτοτε, κυρίως αναπτύσσουν σε πάχος το κοιλιακό περιθώριο (Σχ. 42).

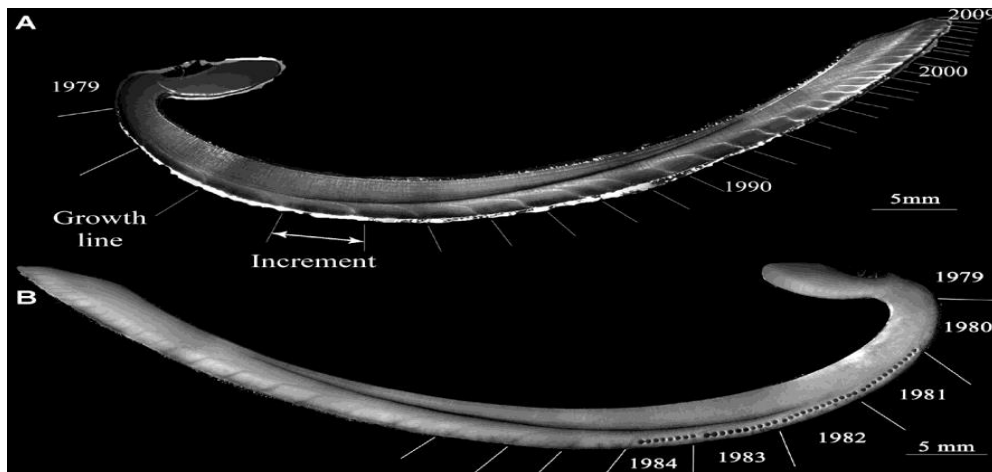


Σχ. 42 URL26 Οι στιλβωμένες λεπτές τομές παρουσιάζουν έναν ενήλικο (Αριστερά, ηλικία 7 ετών) και ενός υπερήλικου κογχυλιού (Δεξιά, ηλικία περίπου 20 ετών). Το διάγραμμα δηλώνει τη μετρημένη απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών ετήσιων γραμμών χειμερινής αύξησης (αυξητικές γραμμές). Εσωτερικό κογχυλιών= γκρι, εξωτερικό= λευκό. (C) Αυξητικές γραμμές στο κοιλιακό περιθώριο του ώριμου και υπερώριμου κογχυλιού (εσωτερική αύξηση=πάχυνση).



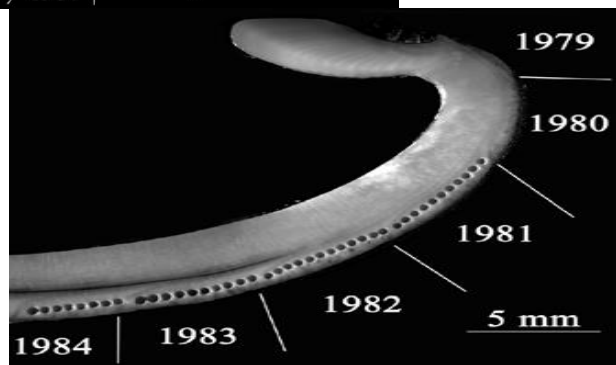
Σχ. 43 URL26 Εαρινοί κύκλοι παλίρροιας-άμπωτης από τις 28 Μαΐου 1987 ως τις 9 Ιουλίου 1987 του νησιού Pender, νότια Βρετανική Κολομβία (στοιχεία που παράγονται σε *Saxidomus gigantea* με WXTide32 ver. 4.7). Το ημερήσιο πλάτος προσαύξεσης και ο παλίρροιακός ρυθμός αύξησης αποκαλύπτουν πληροφορίες για την ημερομηνία, το χρόνο και τη θέση συλλογής στο παλίρροιακό κύκλο (δηλ., μέσο βάθος νερού και απόσταση από ακτή). Οι ευρείες αυξήσεις διαμορφώνονται κατά τη διάρκεια της άμπωτης (N, μισό φεγγάρι) και οι στενές αυξήσεις με τις ευδιάκριτες γραμμές αύξησης κατά τη διάρκεια της παλίρροιας (S, ¼ της πανσελήνου ή ¼ νέος γεμισμένου φεγγαριού). Η τελευταία προσαύξηση διαμορφώθηκε περίπου ανάμεσα στα μεσάνυχτα και αργά το απόγευμα στις 9 Ιουλίου 1987 σε παλίρροιακό ύψος περισσότερο από 2 μ (το κοχύλι καλύφθηκε από νερό). Ο σχηματισμός της τελευταίας γραμμής στο κοιλιακό περιθώριο άρχισε σε παλίρροιακό ύψος λιγότερο από 2 μ κατά τη διάρκεια του απογεύματος προτού να συλλεχθεί αυτό το δείγμα (το κοχύλι εκτέθηκε στον αέρα). Η άσπρη οριζόντια γραμμή στο παλίρροιακό ημερολόγιο δείχνει τη θέση όπου το κοχύλι συλλέχθηκε.

Ανάλυση $\delta^{18}\text{O}$

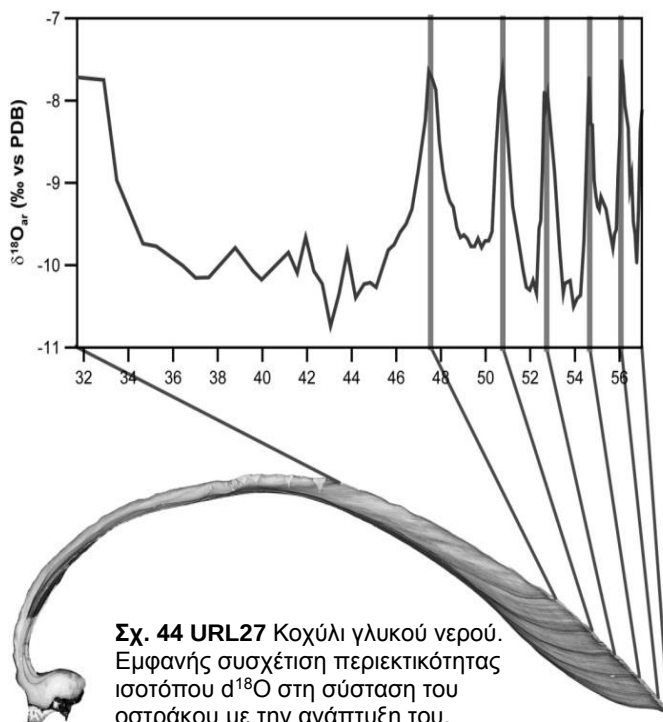


Σχ. 44 URL28

(A) Λεπτή τομή πάχους 240μm *Glycymeris glycymeris* που χρησιμοποιείται για σκληροχρονολογική ανάλυση, υπό ακτίνες-Χ. (B) Λεπτή τομή πάχους 900μm του ίδιου δείγματος, που χρησιμοποιείται για ισοτοπικές αναλύσεις και που παρατηρείται υπό ανακλώμενο φως. Κάθε τρύπα αντιπροσωπεύει ένα ληφθέν δείγμα αραγωνίτη για τη σταθερή ανάλυση ισοτόπων.



Η μελέτη περιλαμβάνει τα ισοτοπικά και χημικά χαρακτηριστικά του οστράκου, και ονομάζεται σκληροχημεία. Αυτή μπορεί να γίνει μέσω



Σχ. 44 URL27 Κοχύλι γλυκού νερού. Εμφανής συσχέτιση περιεκτικότητας ισοτόπου $\delta^{18}\text{O}$ στη σύσταση του οστράκου με την ανάπτυξη του.

μικρών οπών (Σχ. 44β) από όπου λαμβάνουμε το υλικό. Τα δείγματα λαμβάνονται με τη διάτρηση μικρών οπών με κυλινδρικό τρυπάνι (διαμέτρου 300μm). Οι οπές έχουν κατά προσέγγιση διάμετρο 350 μm., και η απόσταση μεταξύ των σημείων δειγματοληψίας ποικίλει μεταξύ 200 και 500 μm. Κάθε δείγμα ζυγίζει μεταξύ 48 και 125 μg. Στην ανάλυση χρησιμοποιείται κάποιο αναλογικό

φασματομέτρο μάζας ισοτόπων. Μετράμε τις αναλογίες $d^{18}\text{O}$ και $d^{13}\text{C}$ στις ζώνες προσαύξεσης. Αυτές οι μετρήσεις μας βοηθούν να ερμηνεύσουμε τη σχέση μεταξύ των περιβαλλοντικών μεταβλητών και των ρυθμών ανάπτυξης. Τα γεωχημικά στοιχεία παρέχουν επίσης ένα ανεξάρτητο μέτρο των περιβαλλοντικών συνθηκών.

Για τη συσχέτιση της περιεκτικότητας του ισοτόπου $\delta^{18}\text{O}$ με την επιφανειακή θερμοκρασία έχει δημιουργηθεί μία παλαιο-θερμομετρική εξίσωση από τους Bohm et al. (2000):

$$T_{\delta^{18}\text{O}}(^{\circ}\text{C}) = (20 \pm 0.2) - (4.42 \pm 0.1) \cdot (\delta^{18}\text{O}_{\text{shell}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{water}})$$

Οι τιμές $d^{18}\text{O}_{\text{κογχυλίου}}$ απεικονίζουν τις αλλαγές στη θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας και την αναλογία ισοτόπων οξυγόνου του νερού της θάλασσας. Αυτό επίσης απεικονίζει τις αλλαγές στην αλατότητα. Εάν η τιμή του $d^{18}\text{O}_{\text{νερού}}$ είναι γνωστή (χαρακτηριστικό σύγχρονου νερού της θάλασσας $d^{18}\text{O}_{\text{νερού}}=0\text{‰}$), η θερμοκρασία του νερού μέσα στο οποίο έζησε το κοχύλι μπορεί να υπολογιστεί. Η αλλαγή στην τιμή του $d^{18}\text{O}_{\text{κογχυλίου}}$ κατά μια μονάδα στα χίλια δηλώνει αλλαγή στη θερμοκρασία του περιβαλλοντικού ύδατος κατά 4.42°C . Χρησιμοποιείται η εξίσωση από τους Bohm et al. (2000), αντί αυτήν του Grossman και Ku (1986), επειδή μειώνει τον βαθμό της απόκλισης του αποτελέσματος της υπολογισμένης θερμοκρασίας. Επιπλέον όμως πρέπει να ληφθεί υπόψη η απόκλιση της ακρίβειας του μαζικού φασματομέτρου το οποίο οδηγεί σε μέση τιμή $T_{d^{18}\text{O}} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Στα περιβάλλοντα ρηχών νερών, η τιμή $d^{18}\text{O}_{\text{νερού}}$ μπορεί να υποστεί σημαντικές διακυμάνσεις, γεγονός που καθιστά δύσκολους τους ακριβείς υπολογισμούς της θερμοκρασίας από τα ισότοπα οξυγόνου των κογχυλίων, εκτός αν η τιμή $d^{18}\text{O}_{\text{νερού}}$ ελέγχεται με προσοχή. Η τιμή $d^{18}\text{O}_{\text{νερού}}$ αυξάνει με την εξάτμιση και φθίνει με την εισροή ή ισχυρή πτώση γλυκού νερού (Craig και Gordon, 1965).

Ανάλυση $\delta^{14}\text{C}$

Αρχικά πρέπει να επιλεγούν τα κοχύλια των μαλακίων που έζησαν κατά τη διάρκεια της μελετούμενης περιόδου και που μπορούν επομένως να χρησιμοποιηθούν στην απόλυτη χρονολόγηση. Επιλέγονται τα μεγαλύτερα και

βαρύτερα συλλεχθέντα κογχύλια για τη χρονολόγηση ραδιοάνθρακα 14 με τη μέθοδο AMS.

Η Διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

Το περιόστρακο αφαιρείται ώστε να ληφθεί ένα στερεό διάλυμα (~10-30 mg) ανθρακικού άλατος του οστράκου για ανάλυση με ραδιοάνθρακα 14. Τα δείγματα των κογχυλιών υπόκεινται σε μια τυποποιημένη διαδικασία ξεπλύματος για να απομακρυνθεί οποιαδήποτε πιθανή επιφανειακή μόλυνση, το 25% του εξωτερικού του κογχυλιού αφαιρείται με βύθιση σε HCL οξύ (διάλυμα PH=1M). Οποιοσδήποτε οργανικός άνθρακας ενσωματώθηκε στο ανθρακικό ασβέστιο των κογχυλιών αφαιρείται με επεξεργασία απόπλυσης με KMnO_4 για 16-20 ώρες σε 80 °C. Το CO_2 απελευθερώνεται με διάλυμα ~100% φωσφορικού οξέος σε κενό φιαλίδιο στους 25°C. Μέρος του CO_2 χρησιμοποιείται για τις μετρήσεις $\delta^{13}\text{C}$ το υπόλοιπο μετατρέπεται σε γραφίτη για ανάλυση Ams¹⁴C.

ΜΕΛΕΤΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Μέθοδοι και υλικά μελέτης

Για τη συγκριτική μελέτη επιφανειακών ρυτιδώσεων, διαστάσεων (μήκος-πλάτος) και αυξητικών γραμμών του οστράκου χρησιμοποιήθηκαν 14 δείγματα *Venus verrucosa*, 5 δείγματα *Callista chione* (3 εξ' αυτών απολιθωμένα τμήματα *Callista chione italica*), 2 δείγματα *Acanthocardium tuberculatum* και 1 δείγμα *Ostrea edulis*. Όλα τα δείγματα (Σχ. 46) προέρχονται από την περιοχή του Βορείου Αιγαίου, Ελλάδα.

Όλα τα δείγματα, με εξαίρεση το δείγμα *Ostrea edulis*, μετρήθηκαν με παχύμετρο κατά μήκος (L), πλάτος- εγκάρσια ανάπτυξη (H) και κατά ύψος (w). Στη συνέχεια κόπηκαν κατά μήκος του άξονα ανάπτυξης με έναν αδαμαντοφόρο τροχό και λειάνθηκαν. Τοποθετήθηκαν σε στερεοσκοπικό μικροσκόπιο όπου μετρήθηκαν οι αυξητικές τους γραμμές οι οποίες συμπίπτουν με κάθε χρόνο ανάπτυξης-αύξησης του οστράκου.

Τα 2 αρτίγωνα δείγματα *Acanthocardium tuberculatum* και το αρτίγωνο δείγμα *Ostrea edulis* χρησιμοποιήθηκαν για υπολογισμό της ηλικίας τους από τις επιφανειακές προσαυξητικές δομές τους. Τα *Acanthocardium tuberculatum* διαθέτουν εμφανείς επιφανειακές διακυμάνσεις και είναι εύκολος ο υπολογισμός της ηλικίας τους. Το *Ostrea edulis* παρουσιάζει το σύνολο των αυξητικών του γραμμών στην περιοχή του συνδέσμου.



Σχ. 45 Αριστερά: *Acanthocardium tuberculatum* (Δείγμα 1β), Κέντρο: *Acanthocardium tuberculatum* (Δείγμα 2β), Δεξιά: *Ostrea edulis* (Δείγμα 6β). Δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διατριβή (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014).

Τα χαρακτηριστικά του κελύφους (L, H, w, ρυτιδώσεις) των 14 αρτίγωνων δειγμάτων *Venus verrucosa* συγκρίθηκαν με την ηλικία τους (Σχ. 81-85) και από τη σύγκριση προέκυψαν σχέσεις-εξισώσεις αύξησης-ανάπτυξης.

Γένος- Είδος	α/α	L(mm)	H(mm)	W(mm)	Age(yrs)
<i>Acanthocardium tuberculatum</i>	1β	39,0	40,0	18,0	4,5
	2β	41,0	45,0	20,0	5,0
<i>Ostrea edulis</i>	6β	63,0	70,0	7,5	9,0
<i>Venus verrucosa</i>	3β, 1	46,0	43,0	15,0	10,0
	4β, 2	43,0	40,0	14,0	10,0
	5β, 3	37,0	34,0	13,0	7,0
	4	40,0	35,0	13,0	7,5
	5	41,0	37,0	14,0	10,0
	6	39,0	35,0	12,0	8,0
	7	38,0	33,0	12,0	7,0
	8	37,5	34,5	11,0	6,5
	9	35,0	32,0	12,0	6,0
	10	39,0	37,0	12,0	8,0
	11	37,0	34,0	11,0	6,0
	12	44,0	42,0	15,0	9,0
	13	43,0	38,0	13,0	9,0
	14	34,0	32,0	11,0	7,0
<i>Callista chione</i>	15	55,0	42,0	12,0	5,0
	16	67,0	54,0	16,0	9,0
<i>Callista chione italica</i> (Τμήματα)	17	-	-	-	11,0
	18	-	-	-	13,0
	19	-	-	-	15,0

Σχ. 46 Πίνακας Δειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη. (Πτυχιακή Εργασία Κοκκίνου Αναστασία 4568, Θεσσαλονίκη 2014) L(mm)= Μήκος(χιλιοστά), H(mm)= Πλάτος(χιλιοστά), w(mm)= Ύψος(χιλιοστά), Age(yrs)= Ηλικία(χρόνια)



Σχ. 47 Φωτογραφία διχοτομημένου δείγματος *Venus verrucosa* (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014). Δείγμα 1ο



Σχ. 48 Φωτογραφία διχοτομημένου δείγματος *Venus verrucosa* (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014). Δείγμα 2ο



Σχ. 49 Φωτογραφία διχοτομημένου δείγματος *Venus verrucosa* (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014). Δείγμα 3ο



Σχ. 50 Φωτογραφία διχοτομημένου δείγματος *Venus verrucosa* (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014). Δείγμα 4ο



Σχ. 51 Φωτογραφία διχοτομημένου δείγματος *Venus verrucosa* (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014). Δείγμα 5ο



Σχ. 52 Φωτογραφία διχοτομημένου δείγματος *Venus verrucosa* (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014). Δείγμα 6ο



Σχ. 53 Φωτογραφία διχοτομημένου δείγματος *Venus verrucosa* (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014). Δείγμα 7ο



Σχ. 54 Φωτογραφία διχοτομημένου δείγματος *Venus verrucosa* (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014). Δείγμα 8ο



Σχ. 55 Φωτογραφία διχοτομημένου δείγματος *Venus verrucosa* (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014). Δείγμα 9ο



Σχ. 56 Φωτογραφία διχοτομημένου δείγματος *Venus verrucosa* (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014). Δείγμα 10ο



Σχ. 57 Φωτογραφία διχοτομημένου δείγματος *Venus verrucosa* (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014). Δείγμα 11ο



Σχ. 58 Φωτογραφία διχοτομημένου δείγματος *Venus verrucosa* (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014). Δείγμα 12ο

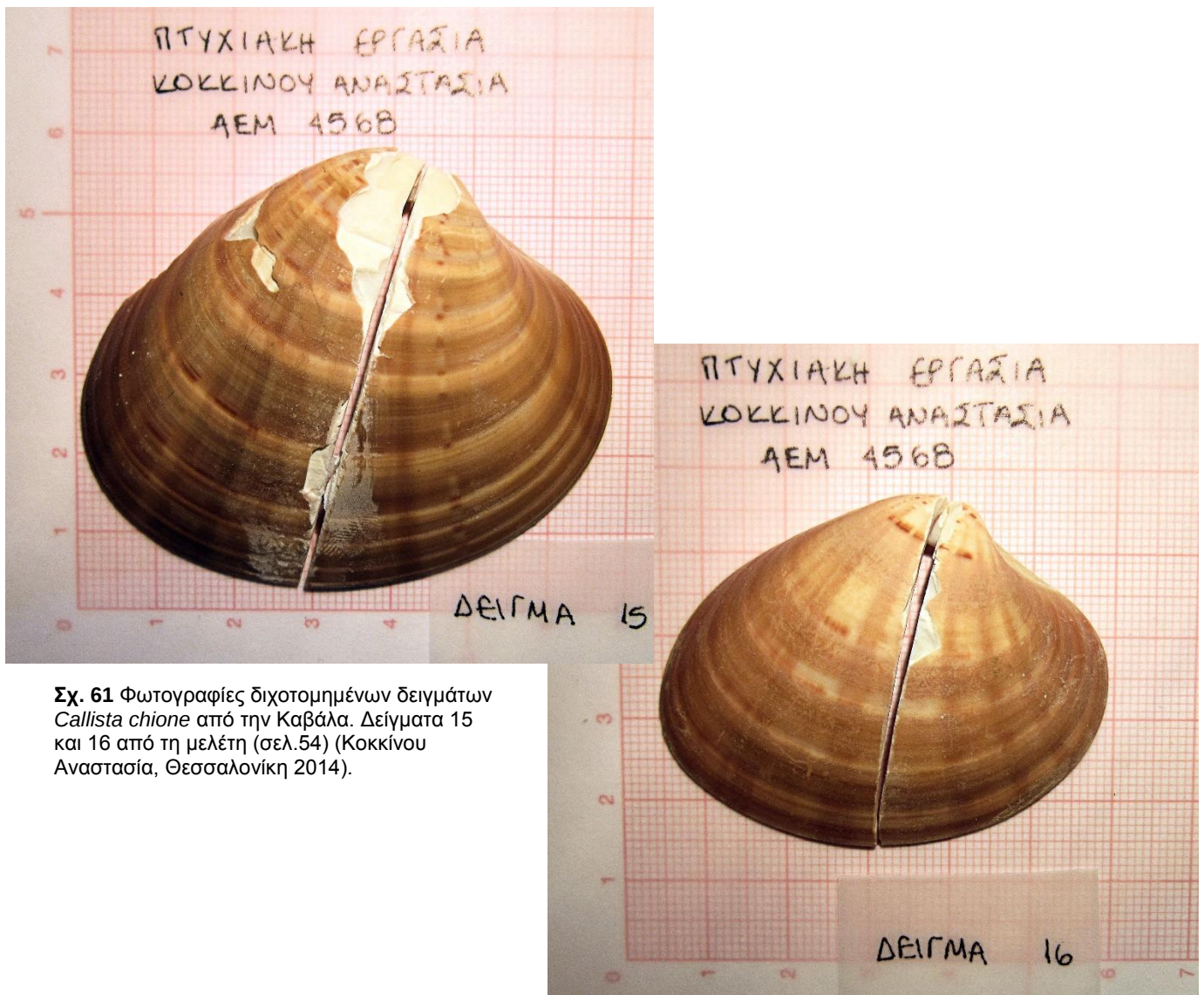


Σχ. 59 Φωτογραφία διχοτομημένου δείγματος *Venus verrucosa* (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014). Δείγμα 13ο



Σχ. 60 Φωτογραφία διχοτομημένου δείγματος *Venus verrucosa* (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014). Δείγμα 14ο

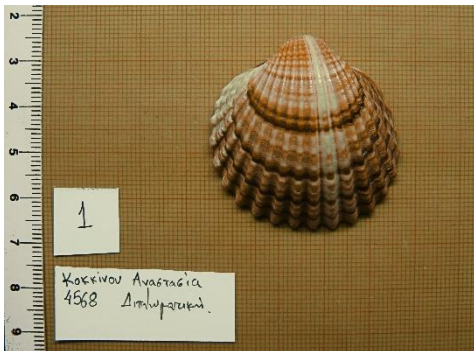
Τα 5 δείγματα *Callista chione* δεν είναι ίδιας ηλικίας. Τα δύο εξ' αυτών είναι μη απολιθωμένα, αρτίγονα, δίθυρα ενώ τα υπόλοιπα τρία είναι τμήματα απολιθωμένων θυρίδων *Callista chione italica*, Πλειοκαινικής ηλικίας. Τα αρτίγονα δείγματα που μελετήθηκαν δε χρίζουν κοπής για την καταγραφή των αυξητικών τους γραμμών καθώς είναι εμφανείς και κάτω από τον σπόνδυλο του οστράκου. Για μεγαλύτερη ακρίβεια μπορούν να μελετηθούν κοιτώντας το μέσα μέρος του οστράκου κρατώντας το μπροστά από δέσμη φωτός. Ωστόσο τα δυο δείγματα (Δείγμα 15-16) κόπηκαν για επιβεβαίωση αυτού. Καθώς όμως έχουν διεξαχθεί πολλές μελέτες για το συγκεκριμένο γένος τα δύο αρτίγονα δείγματα χρησιμοποιήθηκαν για να διαπιστωθεί αν τα δείγματα του Ελληνικού χώρου μπορούν να ενταχθούν σε αυτές. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των διαστάσεων των υπολοίπων τριών απολιθωμάτων *Callista chione italica*, των οποίων διαθέταμε μόνον τμήματα όπου ήταν εμφανείς οι αυξητικές γραμμές-ηλικίες.



Σχ. 61 Φωτογραφίες διχοτομημένων δειγμάτων *Callista chione* από την Καβάλα. Δείγματα 15 και 16 από τη μελέτη (σελ.54) (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014).

Παρατήρηση σε Στεροσκοπικό Μικροσκόπιο

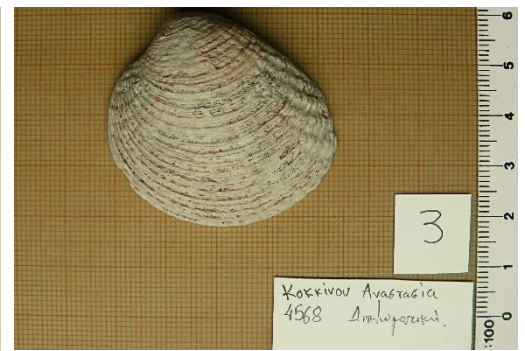
Μελετώντας τις επιφανειακές χρωματικές διακυμάνσεις του οστράκου και συγκρίνοντάς τες με τις αυξητικές γραμμές που διακρίνονται σε τομή του οστράκου οδηγούν στο συμπέρασμα ότι ταυτίζονται πλήρως στον χαρακτηρισμό της ηλικίας του διθύρου. Οι ανοιχτές αποχρώσεις που καλύπτουν και μεγαλύτερη επιφάνεια αντιστοιχούν σε θερμές περιόδους ανάπτυξης, οι σκούρες σε ψυχρές και μαζί δηλώνουν την ολοκλήρωση ενός χρόνου ανάπτυξης.



Σχ. 62 Φωτογραφία δείγματος *Acanthocardium tuberculatum* (Δείγμα 1β) (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014).

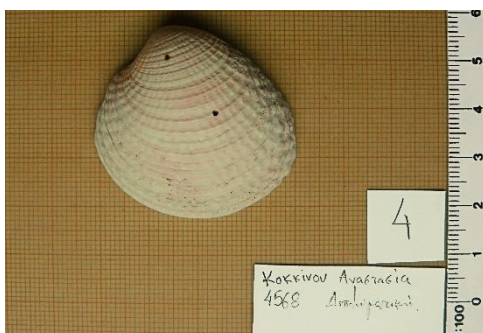


Σχ. 63 Φωτογραφία δείγματος *Acanthocardium tuberculatum* (Δείγμα 2β) (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014).



Σχ. 64 Φωτογραφία δείγματος *Venus verrucosa* (Δείγμα 3β) (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014).

Δε διαθέτουν όμως όλα τα δίθυρα επιφανειακές χρωματικές διακυμάνσεις στο εξωτερικό του οστράκου, αυτό μπορεί να οφείλεται στην αρχική διαμόρφωση του οστράκου αλλά και σε μετέπειτα αλλοιώσεις. Είναι λοιπόν απαραίτητη η μέθοδος της κοπής και μελέτης του οστράκου, εγκάρσια στην ανάπτυξη του. Τα πιο απλά συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν απλώς κόβοντας και μελετώντας



Σχ. 65 Φωτογραφία δείγματος *Venus verrucosa* (Δείγμα 4β) (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014).

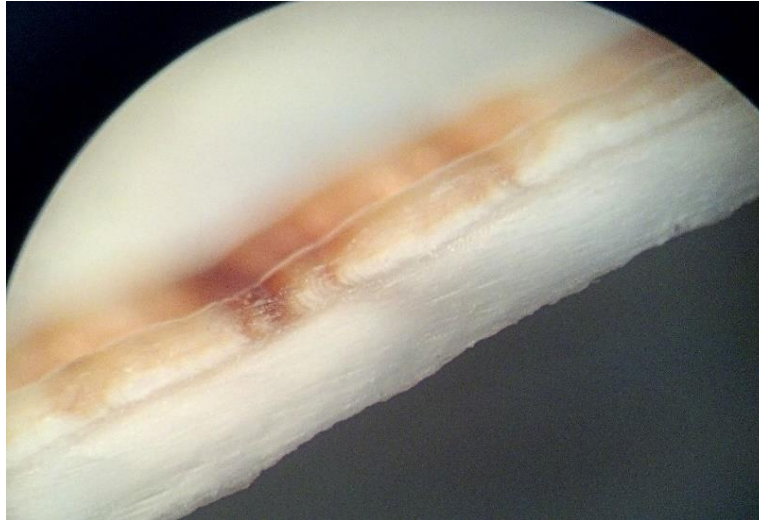


Σχ. 66 Φωτογραφία δείγματος *Venus verrucosa* (Δείγμα 5β) (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014).

την τομή με στερεοσκόπιο αφορούν την ηλικία του διθύρου. Αυτό μπορεί να χρησιμεύσει στην αξιολόγηση των συνθηκών ανάπτυξης του διθύρου.

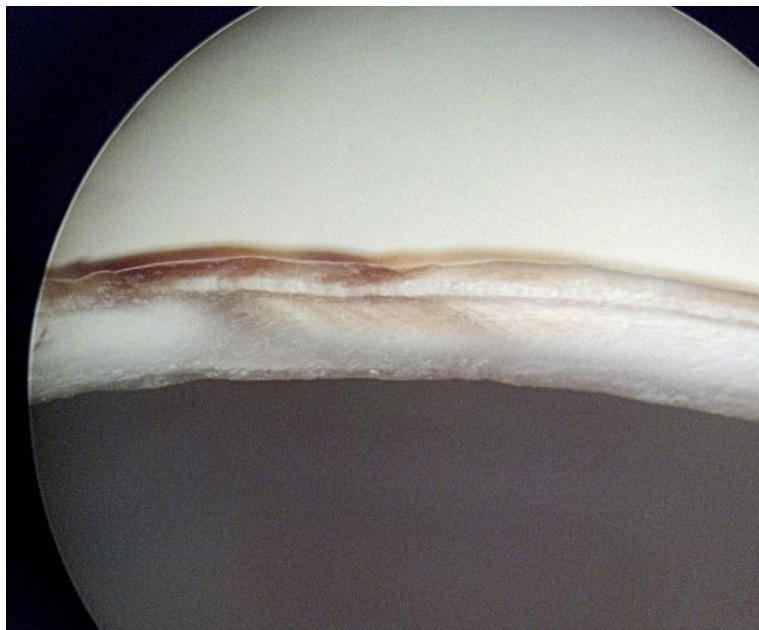
Πυκνότερες αυξητικές γραμμές δείχνουν κακές συνθήκες ανάπτυξης, έλλειψη τροφής ή οξυγόνου ή άλλων παραγόντων.

Στο Σχ. 67 διακρίνεται η στεφάνη της αυξητικής ζώνης ανάπτυξης του Δείγματος 1β (*Acanthocardium tuberculatum*), όπου εδώ φαίνεται να ταυτίζεται με τις επιφανειακές χρωματικές διακυμάνσεις του οστράκου.

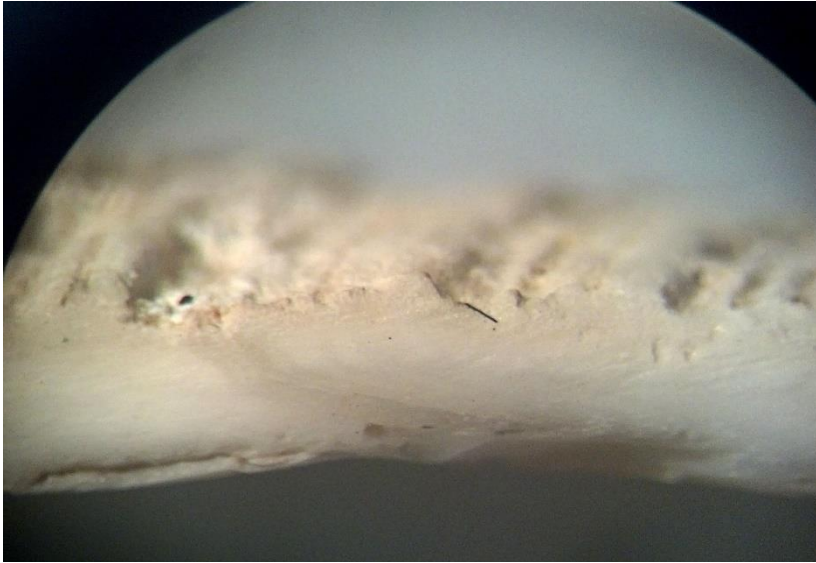


Σχ. 67 Απεικόνιση δείγματος 1β *Acanthocardium tuberculatum* σε Στερεοσκοπικό μικροσκόπιο. Είναι εμφανές το αποτύπωμα της αυξητικής γραμμής ως γκριζα σκίαση. (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014)

Το ίδιο συμβαίνει και με τις αυξητικές γραμμές του Δείγματος 2β (Σχ. 68). Εκτός από την στεφάνη σε αυτό το δείγμα διακρίνεται και μια σκουρότερη περιοχή που πιθανόν να αντιστοιχεί στον «έλεγχο». Η στεφάνη είναι, αναλογικά, πολύ μικρότερη από τη θερινή.



Σχ. 68 Απεικόνιση δείγματος 2β *Cardium tuberculatum* σε Στερεοσκοπικό μικροσκόπιο. Η αυξητική γραμμή συμφωνεί με επιφανειακή πιο σκούρα απόχρωση στο κέλυφος. (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014)



Από τομή του Δείγματος 3β (Σχ. 69) μπορούμε να δούμε ότι οι αυξητικές γραμμές δεν ταυτίζονται καθόλου με τον επιφανειακό διάκοσμο του οστράκου. Αυτό συμβαίνει και με τα απολιθωμένα ή μη δίθυρα.

Σχ. 69 Απεικόνιση δείγματος 3β *Venus verrucosa* σε Στερεοσκοπικό Μικροσκόπιο. Στο κέλυφος αυτού του γένους παρατηρούνται αυλακώσεις αλλά όχι χρωματικές εναλλαγές. (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014)

Αυτό καθιστά απαραίτητες τις μεθόδους της Σκληροχρονολόγησης για ηλικιακό χαρακτηρισμό του δείγματος καθώς και για περισσότερα στοιχεία για το περιβάλλον ανάπτυξης του διθύρου.

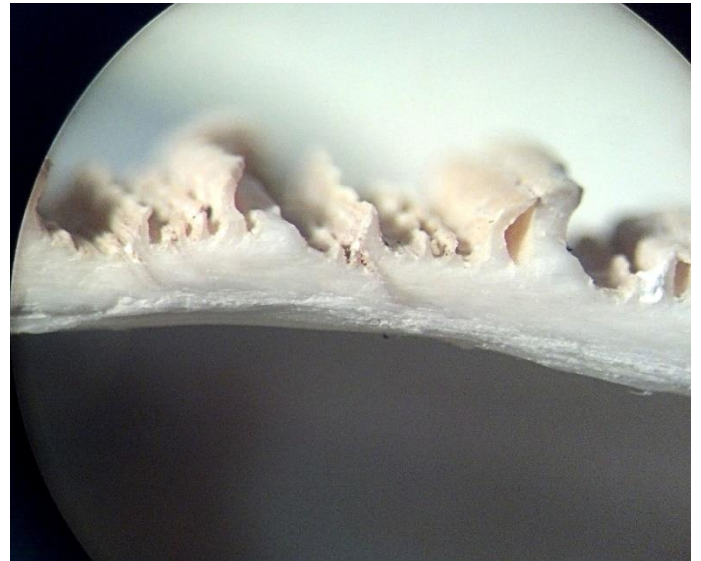


Σχ. 70 Απεικόνιση δείγματος 4β *Venus verrucosa* σε Στερεοσκοπικό Μικροσκόπιο. Στην κοιλιακή περιοχή του κελύφους (πιο πρόσφατη αύξηση) οι αυξητικές γραμμές πλησιάζουν μεταξύ τους. (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014)



Σχ. 71 Απεικόνιση δείγματος 4β *Venus verrucosa* σε Στερεοσκοπικό Μικροσκόπιο. Σε μερικά σημεία οι αυξητικές γραμμές πλησιάζουν ή απομακρύνονται δείχνοντας διαφορετικό ρυθμό ανάπτυξης άρα και περιβαλλοντολογικές συνθήκες. (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014)

Στις εικόνες του Δείγματος 4β (Σχ. 70-71) απεικονίζονται διαφορετικά σημεία του οστράκου. Φαίνεται και εδώ ότι οι αυξητικές γραμμές δεν μπορούν να ταυτιστούν με κάποιο στοιχείο του επιφανειακού διακόσμου. Είναι όμως ευδιάκριτο ότι δεν είναι ο ρυθμός ανάπτυξης του δίθυρου ίδιος σε όλη τη διάρκεια της ζωής του.

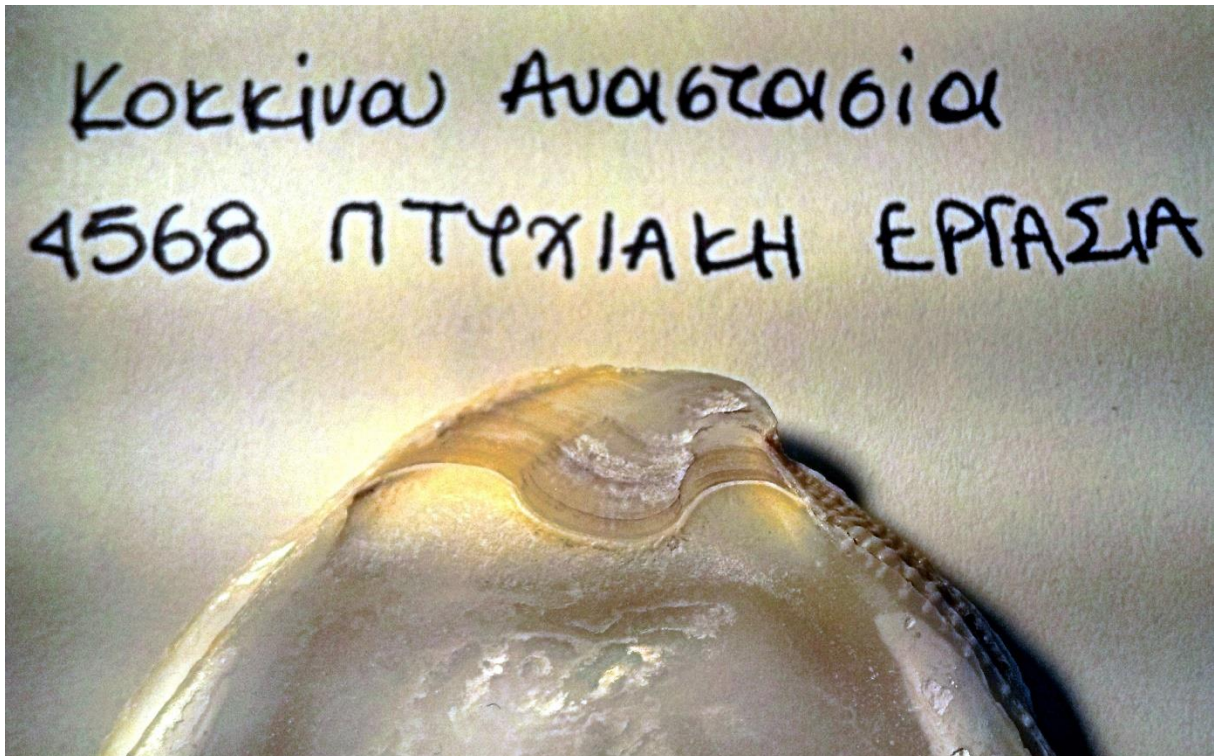


Σχ. 72-73 Απεικόνιση δείγματος 5β *Venus verrucosa* σε Στερεοσκοπικό. Στο κέλυφος αυτού του είδους παρατηρούνται πολύ έντονες αυλακώσεις και προεξοχές ενώ ταυτόχρονα το κέλυφος του είναι πιο λεπτό. Μικροσκόπιο (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014)

Στο τελευταίο δείγμα (Δείγμα 5β) (Σχ. 72-74) διακρίνεται πολύ έντονος διάκοσμος ο οποίος περισσότερο θα μπορούσε να παραπλανήσει εάν γινόταν η απόπειρα να υπολογιστεί η ηλικία του από τις έντονες επιφανειακές ρυτιδώσεις. Επιπλέον, τις περισσότερες φορές, τα απολιθωμένα δείγματα χαρακτηρίζονται από απουσία ρυτιδώσεων ή πτυχών λόγω εξωτερικών παραγόντων όπως τριβή, διάβρωση, διάλυση, ξενιστών.

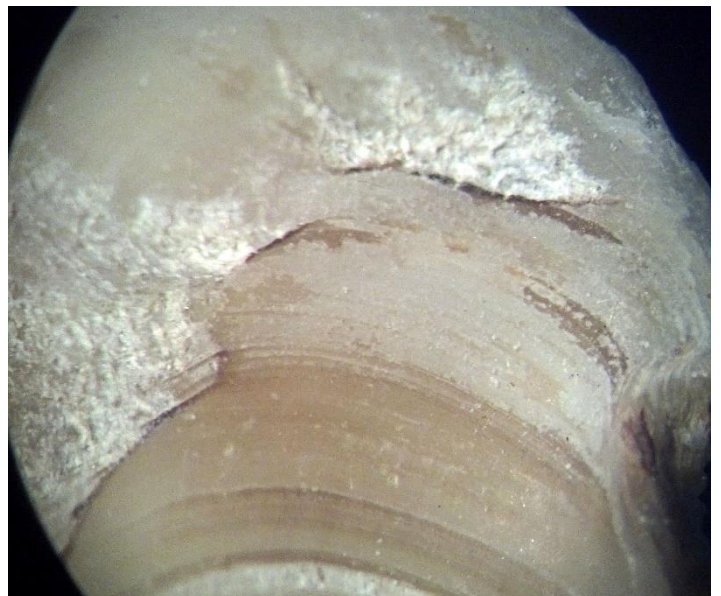
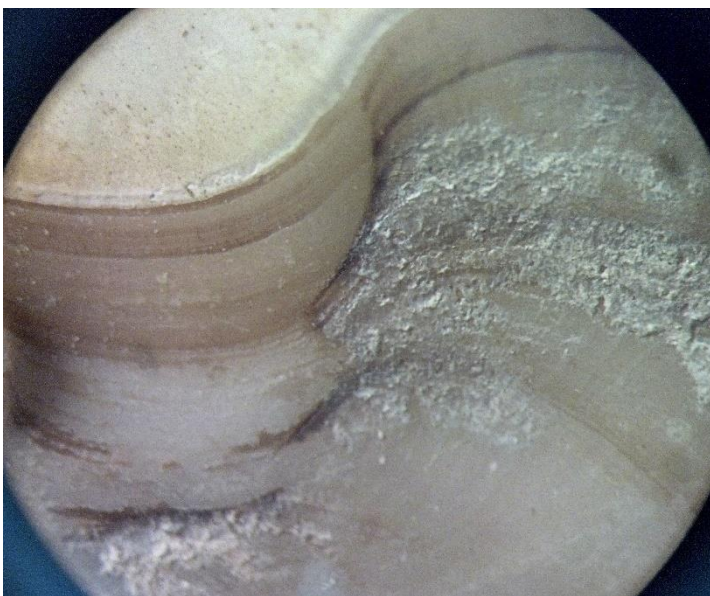


Σχ. 74 Απεικόνιση δείγματος 5β *Venus verrucosa* σε Στερεοσκοπικό Μικροσκόπιο. Δημιουργούνται σκέψεις για πιθανή ρυθμικότητα στη δημιουργία αυλακώσεων και τις ετήσιες αυξητικές γραμμές ίσως και συσχετισμός των δύο. (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014)



Σχ. 75 Φωτογραφία δείγματος *Ostrea edulis* (Δείγμα 6β). Σε αυτό το κέλυφος αποτυπώνονται οι αυξητικές γραμμές στην περιοχή του σπονδύλου του οστράκου και δεν είναι απαραίτητη η κοπή του για να υπολογιστεί η ηλικία του. (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014)

Από μερικά πολύ καλοδιατηρημένα απολιθωμένα δίθυρα, όπως το Δείγμα 6β (Σχ.75-76) (*Ostrea edulis*), η ανάπτυξη είναι ευδιάκριτη στην περιοχή του συνδέσμου. Οι χρωματικές διακυμάνσεις δείχνουν με τον ίδιο τρόπο τις ετήσιες αυξητικές γραμμές.



Σχ. 76 Απεικόνιση δείγματος *Ostrea edulis* (μέρος του σπονδύλου του οστράκου) σε Στερεοσκοπικό μικροσκόπιο. Το συγκεκριμένο δείγμα δείχνει ηλικία >9 χρόνων. (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014)

Venus verrucosa

Κοινή ονομασία: Κυδώνι

Συνομοταξία	Μαλάκια
Ομοταξία	Δίθυρα
Ταξη	Veneroida
Περιβάλλον	Τις περισσότερες φορές βρίσκεται θαμμένο σε υποστρώματα άμμου και αμμοχάλικου. Συνηθέστερα βρίσκεται σε περιοχές με μειωμένη παλιρροιακή δραστηριότητα- ηπειρωτικά περιθώρια στα περίπου 100μ. βάθος.
Χαρακτηριστικά	• Δίθυρο-ισόθυρο μαλάκιο που μπορεί να αναπτυχθεί μέχρι και 7εκ. • Μπεζ-καστανό στο χρώμα, σκοτεινότερο στις άκρες. • 20 ή περισσότερες ακτινωτές ρυτιδώσεις που κόβονται από λεπτές εγκάρσιες αύλακες • Θυρεός, που καλύπτει το σύνδεσμο • Η εσωτερική επιφάνεια είναι λευκή στο χρώμα • Κάθε θυρίδα διαθέτει τρία βασικά δόντια κάτω από τον σπόνδυλο.
Εξάπλωση	Μεσόγειος, Βόρειος Ατλαντικός Ωκεανός Δ έως Ν. Αφρική, Δυτική ακτή της Ν. Αφρικής Βόρεια Θάλασσα-Βελγιο(αμφισβητήσιμη), Ερυθρά Θάλασσα

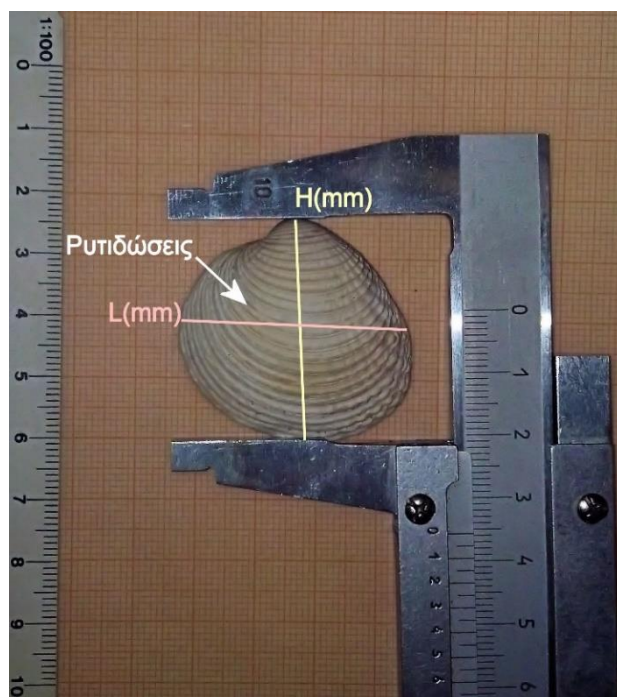


Σχ.77-78 URL28 Αριστερά: *Venus Verrucosa strigatus* (και με πολλές ακόμη ονομασίες). Βρέθηκε στα 4-6μ. βάθος, σε αμμοχάλικο, Κόλπος Αρένα, Κάσση, Προβηγκία, Γαλλία.(μέγεθος 34-40χιλ.) Δεξιά: Αρκετά μικρό κοχύλι *Venus verrucosa* από τη δυτική Σαχάρα: 2μ. βάθος, στην άμμο, Oued Ed-Dahab-Lagouira (Pio de Oro). (μέγεθος 25χιλ.)

Μελετήθηκαν και συγκρίθηκαν 14 Δείγματα διαφορετικής ηλικίας και ανάπτυξης. Παρακάτω παρατίθενται τα συμπεράσματα στα οποία μπορούμε να οδηγηθούμε συγκρίνοντας τις αυξητικές γραμμές (ηλικία) με το μέγεθος και τις ρυτιδώσεις που διακρίνονται στο σκληρό μέρος του διθύρου.

<i>Venus verrucosa</i>					
α/α	L(mm)	H(mm)	w(mm)	Ηλικία(yrs)	Ρυτιδώσεις
1	46,0	43,0	15,0	10,0	30,0
2	43,0	40,0	14,0	10,0	30,0
3	37,0	34,0	13,0	7,0	26,0
4	40,0	35,0	13,0	7,5	28,0
5	41,0	37,0	14,0	10,0	32,0
6	39,0	35,0	12,0	8,0	30,0
7	38,0	33,0	12,0	7,0	25,0
8	37,5	34,5	11,0	6,5	24,0
9	35,0	32,0	12,0	6,0	25,0
10	39,0	37,0	12,0	8,0	24,0
11	37,0	34,0	11,0	6,0	24,0
12	44,0	42,0	15,0	9,0	31,0
13	43,0	38,0	13,0	9,0	30,0
14	34,0	32,0	11,0	7,0	24,0

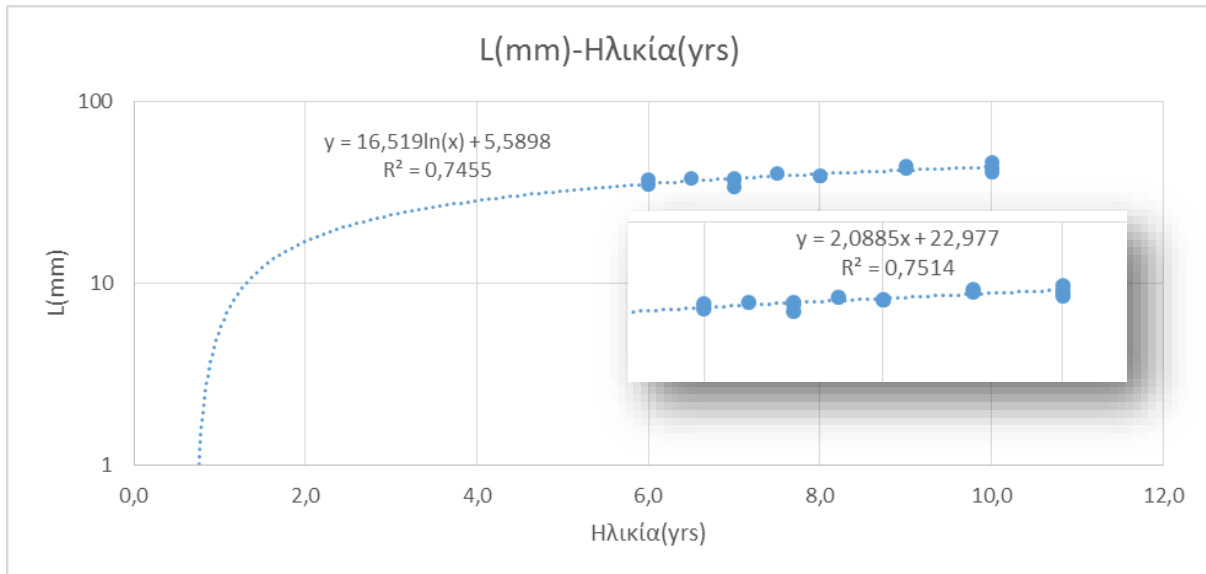
Σχ. 79 Πίνακας 1. Στοιχεία 14 διχοτομημένων δειγμάτων *Venus verrucosa*. α/α: Αριθμός δείγματος, L: Μήκος, H: Πλάτος(άξονας προσαύξησης), w: Ύψος, Ηλικία(χρόνια), Ρυτιδώσεις (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014).



Σχ. 80 Τρόπος μέτρησης διαστάσεων με παχύμετρο σε δείγμα *Venus verrucosa*. Στην εικόνα φαίνεται με ποιο τρόπο μετρήθηκαν τα στοιχεία που καταγράφηκαν στον πίνακα 1 για τα χαρακτηριστικά των 14 δειγμάτων *Venus Verrucosa*. (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014).

Σύγκριση Επιμήκους Ανάπτυξης (L) – Ηλικίας

Από την συσχέτιση της κατά μήκους ανάπτυξης (L) με την ηλικία (αυξητικές γραμμές) των δειγμάτων προκύπτει μια αρκετά καλή λογαριθμική σχέση



Σχ. 81 Διάγραμμα 1. Λογαριθμική συσχέτιση επιμήκους ανάπτυξης L(mm) με την Ηλικία(χρόνια) Στοιχεία 14 διχοτομημένων δειγμάτων *Venus verrucosa*. Η εξίσωση που προκύπτει $y=16,519\ln(x)+5,898$, $R^2=0,7455$ προσεγγίζει σε καλό βαθμό την πραγματικότητα. Μικρογραφία: Γραμμική συσχέτιση ρυθμού επιμήκους ανάπτυξης για δείγματα 6-10 χρόνων με εξίσωση $y=2,0885x+22,977$, $R^2=0,7514$ (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014).

(συντελεστής απόκλισης $R^2=0,7455$) όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 1(Σχ.81). Η αύξηση είναι λογαριθμική καθώς συνεχώς μειώνεται ο ρυθμός της όσο το δίθυρο αναπτύσσεται. Η γραμμή τάσης μπορεί να ορισθεί με την εξίσωση:

$$y=16,519\ln(x)+5,898 \text{ (Σχέση 1)}$$

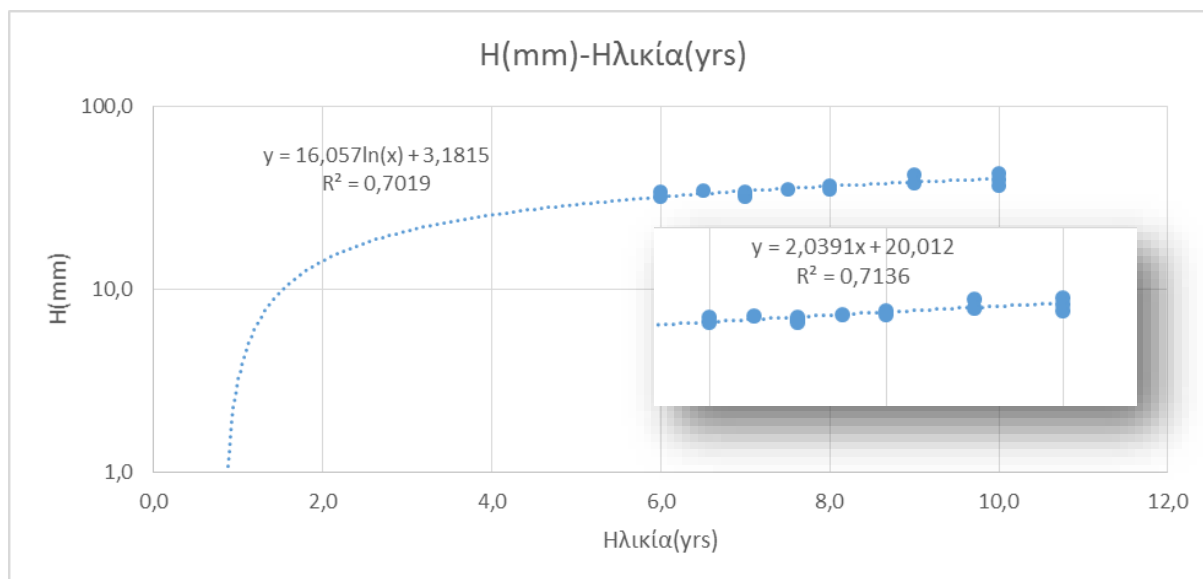
που δίνει σημαντικά στατιστικά στοιχεία όπως για παράδειγμα ότι μέχρι τον πρώτο χρόνο έχει αυξηθεί κατά περίπου 6 χιλ. και στο δεύτερο έτος φτάνει σε μήκος τα 17χιλ. δηλαδή αυξάνει ραγδαία. Για το εύρος όμως των ηλικιών που εξετάζουμε (6-10 χρόνων) μπορούμε επίσης να εφαρμοστεί γραμμική συσχέτιση των δύο μεγεθών καθώς από εκείνο το σημείο και μετά η μεταβολή στο ρυθμό ανάπτυξης είναι πολύ μικρή και μπορεί να θεωρηθεί σταθερή. Τα ανωτέρω περιγράφονται από την εξίσωση:

$$y=2,0885x+22,977, R^2=0,7514 \text{ (Σχέση 2)}$$

όπου δίνεται ότι η ετήσια επιμήκης αύξηση αντιστοιχεί σε περίπου 2,1 χιλ. κατά μέσω όρο. Η διαφορά αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι το όστρακο στα πρώτα έτη ανάπτυξης του αυξάνεται πολύ περισσότερο ενώ στη συνέχεια ο ρυθμός

αυτός ελαττώνεται με τάση που πλησιάζει περισσότερο σε αυτήν που ορίζουν τα δείγματα (ηλικίας 6-10 χρόνων). Επομένως μετά την ηλικία των 6 χρόνων μπορεί θεωρητικά να υπολογιστεί ότι αυξάνει περίπου 2 χιλιοστά τον χρόνο.

Σύγκριση Εγκάρσιας Ανάπτυξης (H) – Ηλικίας



Σχ. 82 Διάγραμμα 2. Λογαριθμική συσχέτιση εγκάρσιας ανάπτυξης H(mm) με την Ηλικία(χρόνια). Στοιχεία 14 διχοτομημένων δειγμάτων *Venus verrucosa*. Η εξίσωση που προκύπτει $y=16,057\ln(x)+3,1815$, $R^2=0,7019$. Μικρογραφία: Γραμμική συσχέτιση ρυθμού επιμήκους ανάπτυξης για δείγματα 6-10 χρόνων με εξίσωση $y=2,0391x+20,012$, $R^2=0,7136$ (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014).

Ομοίως από το Διάγραμμα 2 (Σχ. 82) όπου συγκρίνονται η επιμήκης ανάπτυξη με την ηλικία ορίζεται εξίσωση:

$$y=16,057\ln(x)+3,1815, R^2=0,7019 \text{ (Σχέση 3)}$$

που δίνει σημαντικά στατιστικά στοιχεία όπως για παράδειγμα ότι μέχρι τον πρώτο χρόνο έχει αυξηθεί κατά περίπου 3 χιλ. και στο δεύτερο έτος φτάνει σε μήκος τα 14χιλ.. Όμως ομοίως από τα δείγματα ηλικίας 6-10 χρόνων μπορεί να δημιουργηθεί εξίσωση γραμμικής σχέσης:

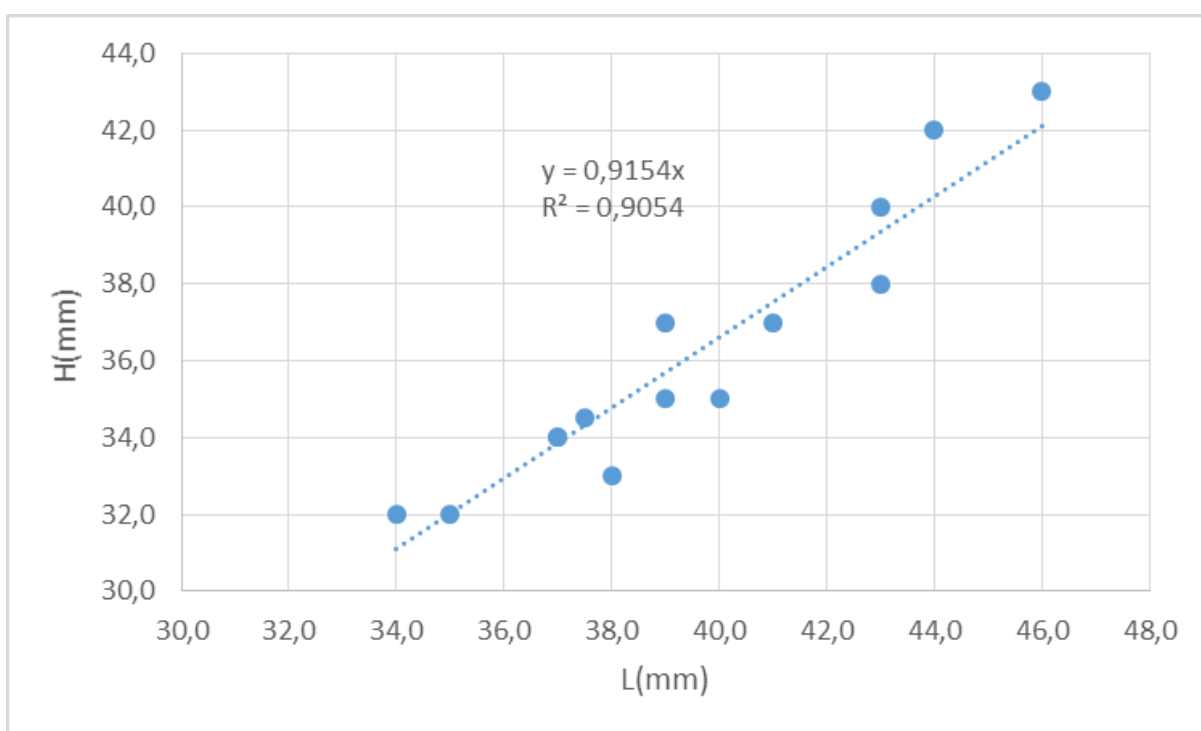
$$y=2,0391x+20,012, R^2=0,7136 \text{ (Σχέση 4)}$$

καθώς ο ρυθμός αύξησης τείνει προς μια σταθερή τιμή μετά από κάποια ηλικία και δίνεται μέση αύξηση 2 χιλιοστών τον χρόνο.

Εφόσον και η μέση ετήσια επιμήκης αύξηση ορίζεται με ρυθμό $16,519 \cdot \ln(x)$ (Σχέση 1) χιλιοστά αλλά και η μέση ετήσια εγκάρσια αύξηση στα $16,057 \cdot \ln(x)$ (Σχέση 3) χιλιοστά, μπορούμε επιπλέον να θεωρήσουμε ότι η κάθε θυρίδα αναπτύσσεται με τον ίδιο περίπου ρυθμό και προς τις δυο διαστάσεις. Αυτό φαίνεται και από την μέση ετήσια ανάπτυξη μετά την ηλικία των 6 χρόνων που ορίζεται στα 2,1 χιλιοστά στο μήκος και 2 χιλιοστά στο πλάτος. Στο Διάγραμμα 3 (Σχ. 83) γίνεται και απευθείας συσχέτιση των δύο μεγεθών,

$$y = 0,9154x, R^2 = 0,9054 \text{ (Σχέση 5)}$$

Ο δείκτης διασποράς των στοιχείων $R^2 = 0,9 \approx 1$ γεγονός που δηλώνει σχεδόν απόλυτο συσχετισμό των δύο μεγεθών.



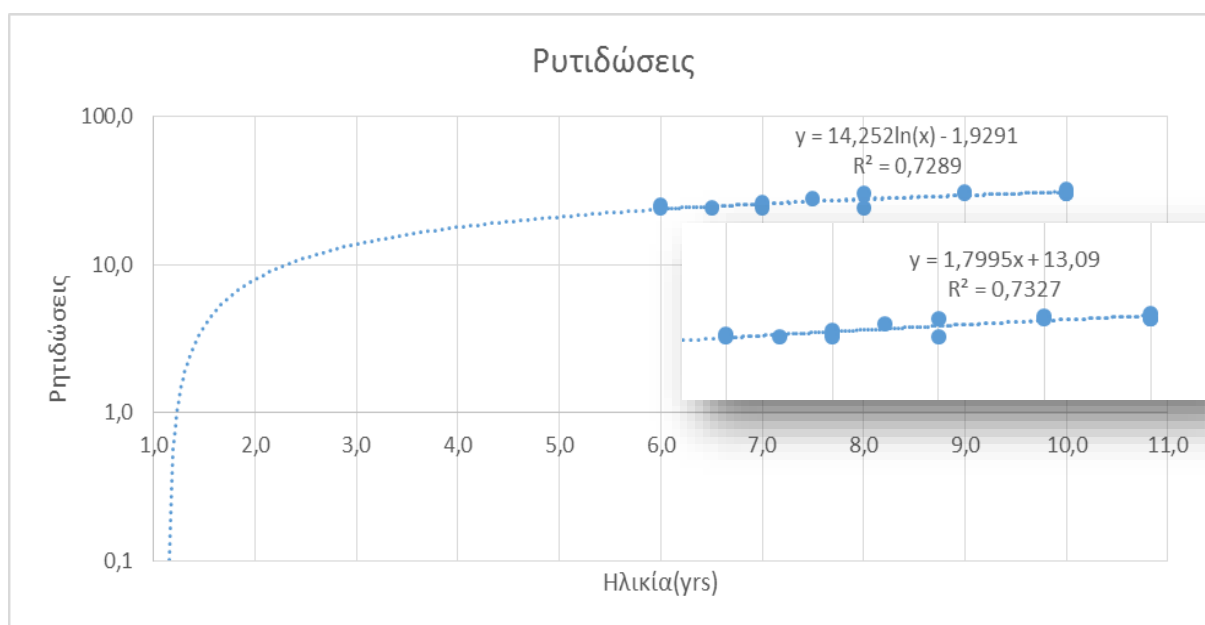
Σχ. 83 Διάγραμμα 3. Γραμμική συσχέτιση ρυθμού επιμήκους ανάπτυξης και εγκάρσιας ανάπτυξης εξίσωση $y = 0,9154x$, $R^2 = 0,9054$. Στοιχεία 14 διχοτομημένων δειγμάτων *Venus verrucosa*. Τα δύο μεγέθη παρουσιάζουν σχεδόν ταυτόσημη ανάπτυξη. (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014).

Σύγκριση Ρυτιδώσεων – Ηλικίας

Από το διάγραμμα σύγκρισης αριθμού ρυτιδώσεων με την ηλικία παίρνοντας τη γραμμή συσχετισμού προκύπτει η σχέση:

$$y=14,252\ln(x)-1,9291, R^2=0,7289 \text{ (Σχέση 6)}$$

η οποία ορίζει ότι μέχρι το δεύτερο έτος ανάπτυξης η θυρίδα αποκτά κατά μέσο όρο 8 ρυτιδώσεις, πράγμα που πειραματικά επιβεβαιώνεται από τα 14 δείγματα



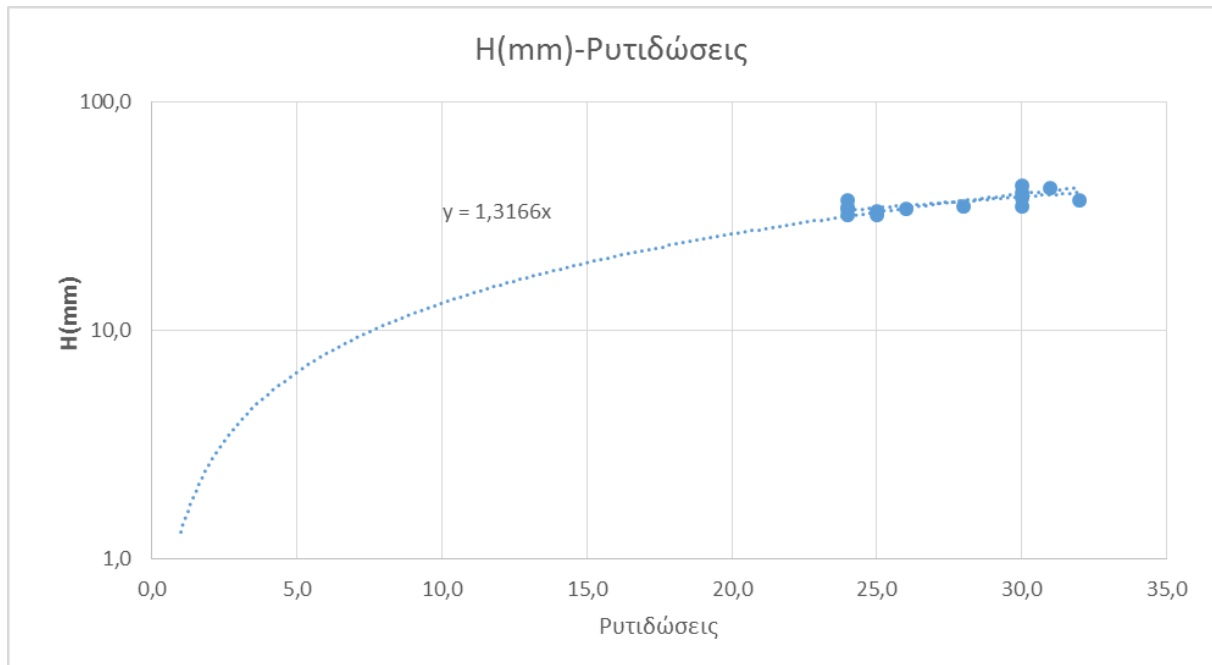
Σχ. 84 Διάγραμμα 4. Λογαριθμική συσχέτιση ρυτιδώσεων με την Ηλικία(χρόνια). Στοιχεία 14 διχοτομημένων δειγμάτων *Venus verrucosa*. Η εξίσωση που προκύπτει $y=14,252\ln(x)-1,9291$, $R^2=0,7289$. Μικρογραφία: Γραμμική συσχέτιση ρυτιδώσεων με την Ηλικία για δείγματα 6-10 χρόνων με εξίσωση $y=1,7995x+13,09$, $R^2=0,7327$ (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014).

που μελετήθηκαν. Επειδή όμως και η παραπάνω σχέση τείνει σε έναν σταθερό ρυθμό μπορεί να οριστεί, για τα δείγματα ηλικίας 6 με 10 ετών, μία γραμμική σχέση όπως φαίνεται στην μικρογραφία του Διαγράμματος 4 (Σχ. 84)

$$y=1,7995x+13,09, R^2=0,7327 \text{ (Σχέση 7)}$$

όπου δείχνει κατά μέσο όρο 2 ρυτιδώσεις ανά έτος. Αυτό κατά γενική ομολογία επιβεβαιώνεται αλλά δεν μπορεί να αποτελέσει τον κανόνα. Ίσως μετά από μελέτη μεγαλύτερου αριθμού δειγμάτων δινόταν μια πιο έγκυρη τιμή, χωρίς όμως να θεωρηθεί ότι αυτή που προκύπτει από τη συγκεκριμένη μελέτη είναι λανθασμένη.

Σύγκριση Εγκάρσιας Ανάπτυξης (H) – Ρυτιδώσεων



Σχ. 85 Διάγραμμα 5. Γραμμική συσχέτιση εγκάρσιας ανάπτυξης και αριθμού ρυτιδώσεων με εξίσωση $y=1,3166x$. Στοιχεία 14 διχοτομημένων δειγμάτων *Venus verrucosa*. Η εξίσωση αυτή είναι γραμμική και χωρίς σταθερό όρο καθώς όλη η επιφάνεια του κογχυλίου καλύπτεται από ρυτιδώσεις. (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014).

Στο Διάγραμμα 5 (Σχ. 85) συσχετίζονται η εγκάρσια ανάπτυξη με την ηλικία. Αυτή η συσχέτιση αποσκοπεί στον καθορισμό της μεταξύ των ρυτιδώσεων απόστασης. Οι ρυτιδώσεις καλύπτουν όλη την έκταση της θυρίδας και τυπικά ισαπέχουν μεταξύ τους. Οπότε προκύπτει γραμμική σχέση που ξεκινάει από την αρχή των αξόνων:

$$y=1,3166x \text{ (Σχέση 8)}$$

και δηλώνει ότι η απόσταση ανάμεσα σε δυο ρυτιδώσεις είναι περίπου 1,3 χιλιοστά.

Από τα παραπάνω μπορούμε θεωρητικά να υπολογίσουμε την ηλικία, το πλάτος και τον αριθμό ρυτιδώσεων ενός *Venus verrucosa* που έχει φτάσει το μέγιστο της ανάπτυξης του, το οποίο, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αντιστοιχεί στα 70χιλιοστά.

Από τη συσχέτιση επιμήκους ανάπτυξης με την ηλικία, $y=2,0885x+22,977$, $R^2=0,7514$ (Σχέση 2), προκύπτει ηλικία 22,5 χρόνων. Από τη συσχέτιση ρυτιδώσεων με την ηλικία, $y=1,7995x+13,09$, προκύπτει αριθμός ≈ 39

ρυτιδώσεων. Και από τη σχέση $y=0,9154x$, $R^2=0,9054$ (Σχέση 5) θεωρείται ότι πρέπει να φτάνει τα 64 χιλιοστά εγκάρσιας ανάπτυξης.

Callista chione

Κοινή ονομασία: Γυαλιστερή

Συνομοταξία	Μαλάκια
Ομοταξία	Δίθυρα
Τάξη	Veneroida
Περιβάλλον	Κατοικεί σε αμμώδη ή με μικρά χαλίκια πυθμένα καθαρών υδάτων και σε βάθη περίπου 200μ.
Χαρακτηριστικά	• Ο σπόνδυλος είναι προεξέχον και προσθόγυρος. • Η επιφάνεια της θυρίδας είναι γυαλιστερή χρυσή ή καστανέρυθρη με ακτίνες βαθύτερου χρώματος και ποικίλου πλάτους. • Ο μηνίσκος είναι εμφανής, με σχήμα επιμήκους καρδιάς, ελαφρώς ανυψωμένος προς το κέντρο και καστανέρυθρος ή λευκός. • Διαθέτει τρία βασικά δόντια σε κάθε θυρίδα, με ένα μεγάλο εμπρόσθιο πλευρικό δόντι στην αριστερή θυρίδα που εφαρμόζει σε ένα βαθύ κοίλωμα στην δεξιά θυρίδα. • Το εσωτερικό του είναι λευκό, με τα αποτυπώματα από τους μυϊκούς προσαγωγείς έξω από την μανδυακή γραμμή ιδιαίτερα γυαλιστερά και το υπόλοιπο θαμπό-άσπρο. • Ο μανδυακός κόλπος ευρύς, με κοίλα όρια.
Εξάπλωση	Μεσόγειος- Ανατολική Λεκάνη, Γαλλία, Βόρειος Ατλαντικός Ωκεανός, Βόρεια Θάλασσα, Τυνησία, Ηνωμένο Βασίλειο



Σχ. 86 URL29 Φωτογραφία από *Callista Cione*, από ακραίο ΝΔ Κόλπο Cardigan, Αγγλία.

Το μαλάκιο *Callista chione* (Linnaeus, 1758) ή με την ελληνική του ονομασία, γυαλιστερή, είναι ένα σκαπτικό δίθυρο. Είναι μεγάλο (μέχρι 100 χιλ.), εδώδιμο δίθυρο που είναι αλιευτικά εμπορεύσιμο σε μερικά μέρη της Μεσογείου.

Χαρακτηρίζεται από μεγάλη δυναμική πληθυσμών στα ανατολικά μεσογειακά νερά και κυρίως στην Ελλάδα. Αποτελεί μακρόβιο δίθυρο που μπορεί να ζήσει για >40 έτη (Forster 1981), αν και ο μέσος πληθυσμός ζει μέχρι μια μέγιστη ηλικία, των 16 ετών.

Η διαφορά αυτού του δίθυρου όμως, στον υπολογισμό της ηλικίας του, είναι ότι δε χρειάζεται να κοπεί καθώς μπορούν να αξιοποιηθούν οι δακτύλιοι που διακρίνονται σαφώς στην επιφάνεια της θυρίδας. Αυτοί μπορούν να διακριθούν ευκολότερα όταν φωτίζεται η από μέσα η επιφάνεια του κογχυλιού από μια φωτεινή πηγή φωτός (Leontarakis and Richardson, 2005). Κατά τη διάρκεια των πρώτων χρόνων της ανάπτυξης του διθύρου, οι δακτύλιοι χωρίζονται από ευρύ διαστήματα και εντοπίζονται εύκολα. Μετά από κάποια ηλικία (~20 έτος), εντούτοις, εναποτίθενται πολύ κοντά μεταξύ τους, και στο περιθώριο του κογχυλιού, με αποτέλεσμα να μην είναι πάντα ευδιάκριτοι. Μια εναλλακτική μέθοδος είναι να μετρηθεί ο αριθμός γραμμών προσαύξησής του, όπου είναι καλά ορατές, είναι αμέσως κάτω από τον σπόνδυλο.

Από μελέτη σε 441 δείγματα της Κροατίας (Ezgeta-Balic et al., 2010) προέκυψε η σχέση μεταξύ του μήκους και του πλάτους των κογχυλιών που περιγράφεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$L = 2,28 + 1,27H \quad , \quad R^2 = 0,92 \text{ (Σχέση 9)}$$

Χρησιμοποιήθηκαν μόνο στοιχεία από τα πρώτα 15 έτη ανάπτυξης των κογχυλιών δεδομένου ότι μεταγενέστερα η ανάπτυξη επιβραδύνεται σημαντικά και η μέτρηση των στενότερων προσαυξήσεων ανάπτυξης είναι λιγότερο ακριβής στις τομές των κογχυλιών. (Leontarakis and Richardson, 2005)

Η εξίσωση αυτή επιβεβαιώθηκε από τα δυο δείγματα της παρούσας μελέτης, από την περιοχή της Καβάλας, τα οποία παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

α/α	L(mm)	H(mm)	W(mm)	Ηλικία(yrs)
15	55	42	12	5
16	67	54	16	9

Σχ. 87 Πίνακας 2. Τα χαρακτηριστικά των 2 δειγμάτων *Callista chione*, Καβάλας (Διχοτομημένα δείγματα 15-16) της μελέτης όπως αυτά μετρήθηκαν με παχύμετρο (Σχ. 80) (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014).

Σύμφωνα με τους Hall et al. (1974), το *C. chione* αυξάνεται δύο φορές γρηγορότερα (9,3 χιλ.) κατά τη διάρκεια του τρίτου έτους της ζωή τους απ' ό,τι κατά τη διάρκεια του εβδόμου ή οποιουδήποτε μεγαλύτερου έτους (4,7 χιλ.).

Ο Metaxatos (2004) απέδειξε ότι άτομα του *C. chione* >10 ετών απουσιάζουν από τον Ευβοϊκό Κόλπο και πρότεινε ότι αυτό μπορεί να οφείλεται σε επιλεκτική αλίευση των γηραιότερων και μεγαλύτερων διθύρων. Οι πληθυσμοί του Ελληνικού χώρου αποτελούνται κυρίως από νεαρά δίθυρα <6 ετών, τα οποία δεν αποτελούν στόχο της αλιείας. Ομοίως, σε έναν άλλο παράκτιο κόλπο της Ελλάδας, σχεδόν όλα τα μαλάκια ήταν νεότερα από τα 10 έτη και οι κατηγορίες ηλικίας μεταξύ 1-3 ετών κυριαρχούσαν στους πληθυσμούς (Leontarakis and Richardson, 2005).

Από την ίδια μελέτη σε δείγματα των ακτών της Κροατίας (Ezgeta-Balic, et al., 2010) προέκυψε μία εξίσωση που συσχετίζει την εγκάρσια ανάπτυξη με την ηλικία:

$$L_t = L_{\infty}(1 - e^{-k(t-t_0)}) \text{ (Σχέση 10) ,}$$

όπου L_t =μήκος την στιγμή t

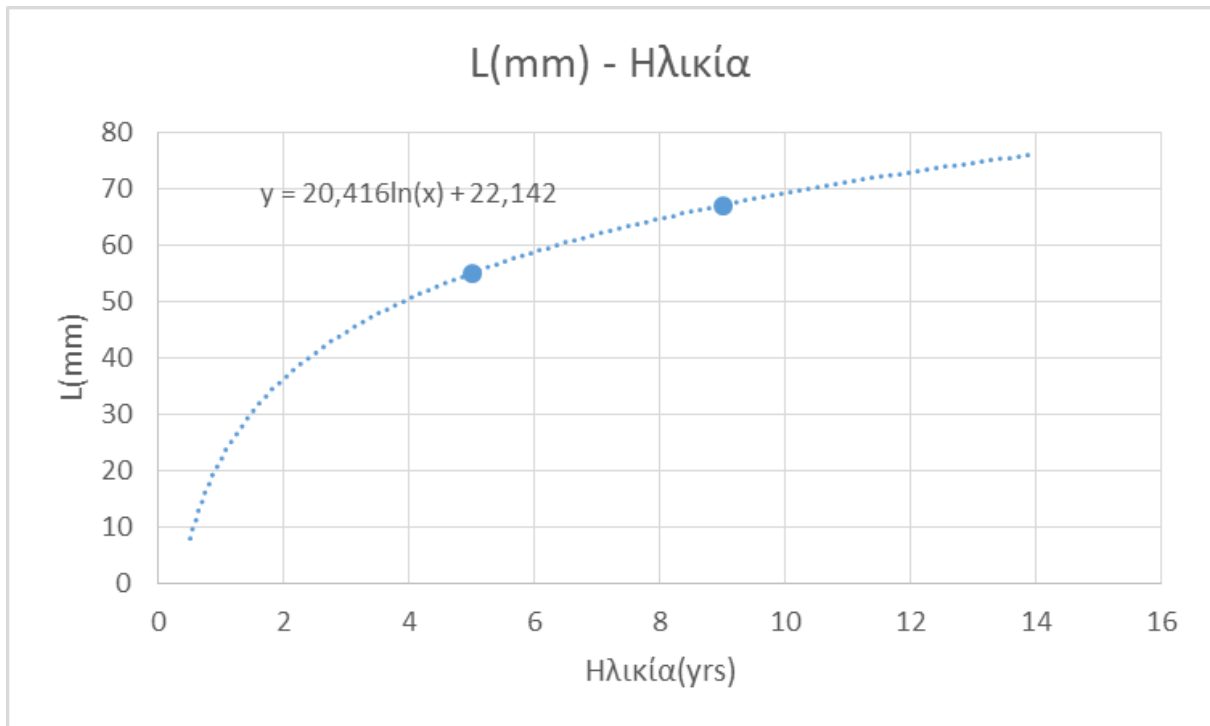
L_{∞} =μέγιστο θεωρητικό μήκος

k =ακολουθία ανάπτυξης

Όπου οι σταθερές L_{∞} , k έχουν οριστεί από τους Leontarakis and Richardson (2005), για την περιοχή της Θάσου, $L_{\infty}=62,7$ και $k=0.24$, και δίνουν για το Δείγμα 15: $L_t=43,8 \approx 42$ και για το Δείγμα 16: $L_t=55,5 \approx 54$.

Οι αριθμοί που προκύπτουν προσεγγίζουν σε μεγάλο βαθμό τα μεγέθη των δύο δειγμάτων του Ελληνικού χώρου οπότε η Σχέση 10 θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για δείγματα του Βορείου Αιγαίου εφόσον διαθέτουμε και τις δύο σταθερές L_{∞} και k για την περιοχή αυτή.

Χρησιμοποιώντας τα στοιχεία των δύο δειγμάτων που διαθέτουμε μπορούμε να σχηματίσουμε ένα υποτυπώδες διάγραμμα σχέσης επιμήκους ανάπτυξης και ηλικίας όπως φαίνεται στον Διάγραμμα 6 (Σχ. 88).



Σχ. 88 Διάγραμμα 6. Λογαριθμική συσχέτιση επιμήκους ανάπτυξης L(mm) με την Ηλικία(χρόνια) για τα δύο δείγματα *Callista chione* της περιοχής της Καβάλας. Η εξίσωση που προκύπτει $y = 20,416\ln(x) + 22,142$ (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014).

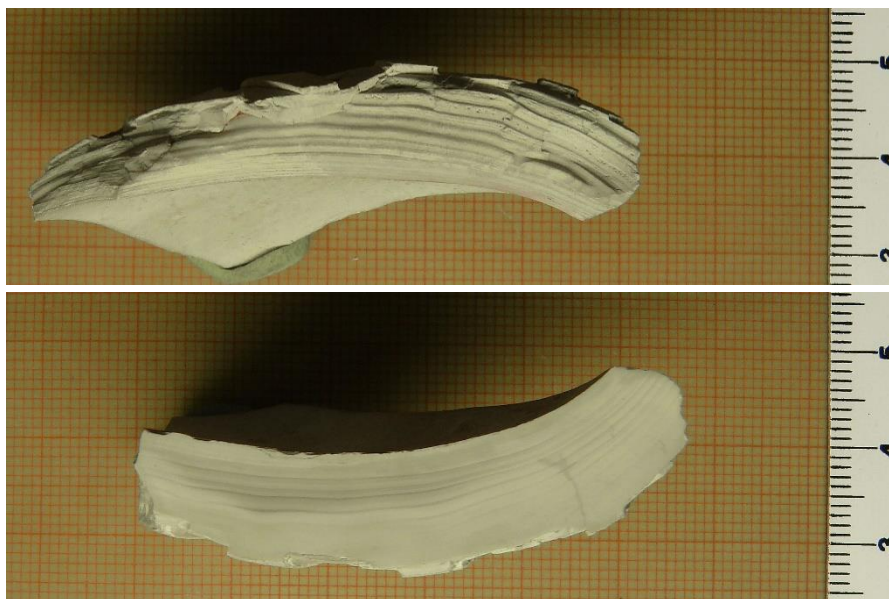
Θεωρώντας ότι ο ρυθμός ανάπτυξης φθίνει λογαριθμικά μπορεί να δημιουργηθεί η εξίσωση:

$$y = 20,416\ln(x) + 22,142 \text{ (Σχέση 11)}$$

που προκύπτει από την συσχέτιση των δύο μεγεθών.

Με τις δύο παραπάνω σχέσεις θα γίνει απόπειρα υπολογισμού επιμήκους ανάπτυξης σε τμήματα απολιθωμένων *Callista chione italica* όπου διακρίνονται οι γραμμές προσ αύξησης και επομένως μπορούμε να υπολογίσουμε την ηλικία τους.

Δείγμα 17 *Callista chione italica*:

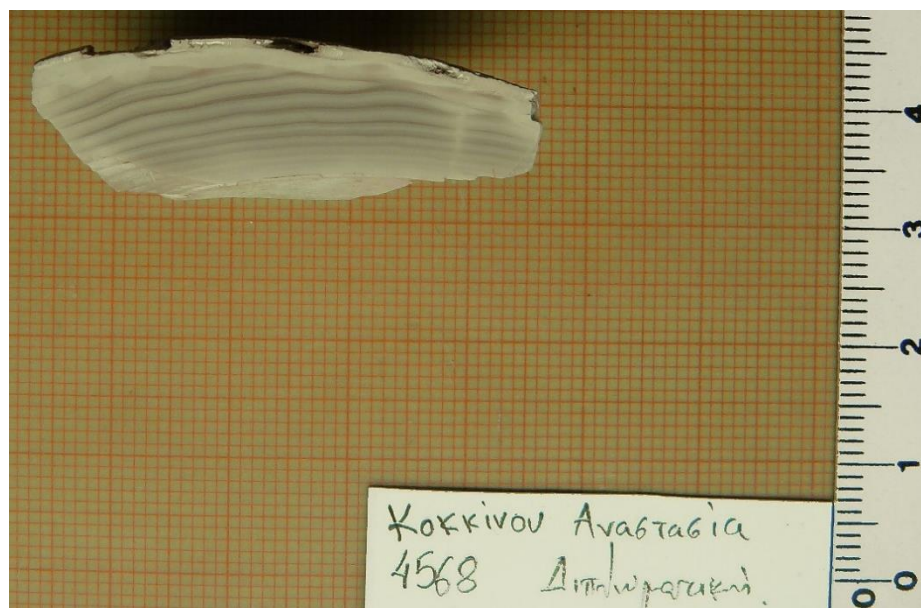


Σχ.89 Φωτογραφία κομματιού *Callista chione italica* (Δείγμα 17) από τον Στρυμονικό Κόλπο (Συλλογή Γ. Συρίδη). Ηλικίας 11 ετών που χρησιμοποιήθηκε για εκτίμηση αρχικών επιφανειακών διαστάσεων (μήκους - πλάτους) του οστράκου.

Το πρώτο δείγμα *Callista chione italica* (Δείγμα 17) φέρει 11 ορατές γραμμές προσ αύξησης οπότε η ηλικία του είναι 11 ετών. Οπότε από την Σχέση 10 το πλάτος (H) του συγκεκριμένου δείγματος, θεωρητικά, υπολογίζεται στα 58,22 χιλιοστά. Επιπλέον από τη Σχέση 9 μπορούμε να υπολογίσουμε το μήκος (L), το οποίο αντιστοιχεί σε 76,2 χιλιοστά.

	L(mm)	H(mm)	Ηλικία(yrs)
Δείγμα 17	76,2	58,2	11

Δείγμα 18 *Callista chione italica*:



Σχ.90 Φωτογραφία κομματιού *Callista chione italica* (Δείγμα 18) από τον Στρυμονικό Κόλπο (Συλλογή Γ. Συρίδη). Ηλικίας 13 ετών που χρησιμοποιήθηκε για εκτίμηση αρχικών επιφανειακών διαστάσεων (μήκους - πλάτους) του οστράκου.

Το δεύτερο δείγμα *Callista chione italica* (Δείγμα 18) είναι 13 ετών. Οπότε από την Σχέση 10 το πλάτος (H) του συγκεκριμένου δείγματος, θεωρητικά, υπολογίζεται στα 59,9 χιλιοστά. Επιπλέον από τη Σχέση 9 μπορούμε να υπολογίσουμε το μήκος (L), το οποίο αντιστοιχεί σε 78,3 χιλιοστά.

	L(mm)	H(mm)	Ηλικία(yrs)
Δείγμα 18	78,3	59,9	13

Δείγμα 19 *Callista chione italica*:



Σχ.91 Φωτογραφία κομματιού *Callista chione italica* (Δείγμα 19) από τον Στρυμονικό Κόλπο (Συλλογή Γ. Συρίδη). Ηλικίας 15 ετών που χρησιμοποιήθηκε για εκτίμηση αρχικών επιφανειακών διαστάσεων (μήκους – πλάτους) του οστράκου. Εσωτερική πλευρά (αριστερά), Εξωτερική πλευρά (δεξιά).

Το τρίτο δείγμα *Callista chione italica* (Δείγμα 19) είναι 15 ετών. Οπότε από την Σχέση 10 το πλάτος (H) του συγκεκριμένου δείγματος, θεωρητικά, υπολογίζεται στα 61 χιλιοστά. Επιπλέον από τη Σχέση 9 μπορούμε να υπολογίσουμε το μήκος (L), το οποίο αντιστοιχεί σε 79,8 χιλιοστά.

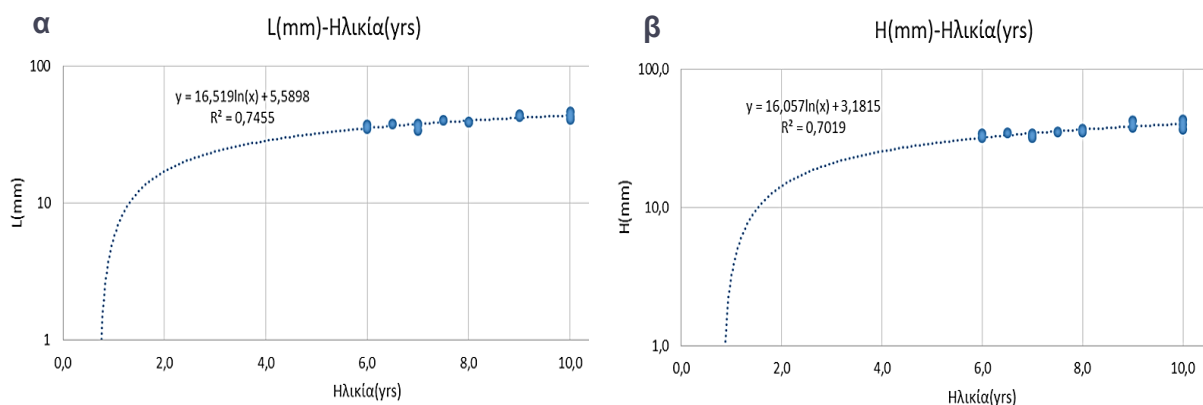
	L(mm)	H(mm)	Ηλικία(yrs)
Δείγμα 19	79,8	61	15

Συμπεράσματα

Μετά την εφαρμογή της μεθόδου της Σκληροχρονολόγησης των οστράκων σε 14 δείγματα *Venus verrucosa* και 5 *Callista chione* αρχικά συμπεραίνεται ότι στα *Venus verrucosa* είναι αδύνατη η διάκριση των αυξητικών δομών τους χωρίς τομή του οστράκου ενώ στα *Callista chione* είναι εμφανής και με γυμνό μάτι. Οπότε, για τα *Venus verrucosa*, είναι απαραίτητη η κοπή για τη συστηματική μελέτη των αυξητικών γραμμών που αναπτύσσονται με την ανάπτυξη τους.

Τα 14 αρτίγονα δίθυρα *Venus verrucosa* κυμάνθηκαν μεταξύ ηλικιών 6-10 χρόνων και αντίστοιχα μήκος (L) 37-46 χιλιοστών και πλάτος (H) 32-43 χιλιοστών. Παρουσιάζουν λογαριθμικό ρυθμό επιμήκους και εγκάρσιας προσάυξης, όπως φαίνεται και στο σχήμα 92, δηλαδή αυξάνονται ραγδαίως τα πρώτα τρία χρόνια ανάπτυξης με ρυθμό περίπου 8 χιλιοστά επιμήκους αύξησης (L) ανά έτος και 6 χιλιοστά εγκάρσιας αύξησης (H) ανά έτος ενώ στη συνέχεια ο αριθμός τείνει σε σταθερή, πολύ μικρότερη, τιμή. Όστε να μπορούμε να πούμε ότι από την ηλικία των 3-4 και μετά διατηρούν έναν σταθερό ρυθμό αύξησης ανά χρόνο ο οποίος για τα συγκεκριμένα δείγματα κυμαίνεται περίπου στα 2,1 χιλιοστά επιμήκους αύξησης (L) ανά έτος και 2 χιλιοστά εγκάρσιας αύξησης (H) ανά έτος. Παρατηρήθηκε ότι οι ρυθμοί επιμήκους (L) και εγκάρσιας (H) αύξησης του οστράκου συσχετίζονται μεταξύ τους γραμμικώς σχεδόν τέλεια, γεγονός που δείχνει ότι το όστρακο αναπτύσσεται σχεδόν ομοιόμορφα προς τις δυο διαστάσεις.

Οι επιφανειακές ρυτιδώσεις του οστράκου κυμάνθηκαν στις 24-32 σε κάθε θυρίδα και ακολουθούν επίσης λογαριθμικό ρυθμό ανάπτυξης. Αυτό είναι



Σχ. 92 Διαγράμματα συσχέτισης για 14 δείγματα *Venus verrucosa* της παρούσας μελέτης: α) L(mm) – Ηλικίας(yrs) και β) H(mm) – Ηλικίας(yrs). (Πτυχιακή Εργασία Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014).

φυσικό καθώς αυτές εμφανίζονται ομοιόμορφα πάνω στην επιφάνεια του οστράκου ενώ αυτό δεν αναπτύσσεται ομοιόμορφα. Μετά από την ηλικία όμως που η ανάπτυξη του διθύρου τείνει σε σταθερό ρυθμό μπορεί να γίνει απόπειρα ορισμού της συχνότητας με την οποία εμφανίζονται ρυτιδώσεις και αυτή αντιστοιχεί σε 2 ρυτιδώσεις ανά έτος ανάπτυξης.

Τελικώς υπολογίστηκε η εγκάρσια απόσταση μεταξύ των ρυτιδώσεων στα 1,3 χιλιοστά απόστασης ανάμεσα σε κάθε ρυτίδωση από την επόμενη. Αυτό το δεδομένο μπορεί βοηθήσει στον υπολογισμό του εγκάρσιου μήκους ενός οστράκου, όταν δε διαθέτουμε παχύμετρο, απλά μετρώντας τις επιφανειακές του ρυτιδώσεις.

Τα αρτίγονα δίθυρα *Calista chione* του Βορείου Αιγαίου συγκρίθηκαν με εξισώσεις ρυθμού ανάπτυξης από άλλη διατριβή (Ezgeta-Balic, et al., 2010) που αφορά στο ίδιο γένος στην περιοχή της Κροατίας. Τα αρτίγονα δείγματα της μελέτης κυμαίνονται σε ηλικίες 3-44 χρόνων με μέση ηλικία τα 12 χρόνια και μέσου μήκους (L) 60-70 χιλιοστών. Τα αρτίγονα δείγματα του Ελληνικού χώρου της παρούσας διατριβής ήταν ηλικίας 5 και 9 χρόνων και αντίστοιχου μήκους (L) 55 και 67 χιλιοστών (Σχ. 92). Τα 2 αρτίγονα δείγματα *Callista chione* του Ελληνικού χώρου εντάσσονται απολύτως στους ρυθμούς αύξησης που είχαν διατυπωθεί από τη μελέτη των *Callista chione* της Κροατίας. Αυτό έγινε ώστε να εφαρμοστεί η αντίστροφη διαδικασία, της εκτίμησης των διαστάσεων (μήκους – πλάτους), των θυρίδων των θραυσμάτων *Callista chione italica* Πλειοκαινικής ηλικίας που βρέθηκαν στο λοφώδες ανάγλυφο της περιοχής του Στρυμονικού Κόλπου. Από τα απολιθωμένα τμήματα υπολογίστηκε η ηλικία των θυρίδων, εφόσον διατηρήθηκαν όλες οι ζώνες αύξησης, οπότε δίνουν ηλικίες 11-15 ετών (ή και παραπάνω καθώς μελετήθηκαν μόνο τμήματα του οστράκου). Και από τις εξισώσεις της μελέτης των δειγμάτων της Κροατίας εκτιμήθηκαν σε μήκος (L) 76,2-79,8 χιλιοστά και σε πλάτος (H) 58,2-61 χιλιοστά (Σχ. 92).

Είδος	α/α	L(mm)	H(mm)	Age(yrs)
<i>Callista chione</i>	15	55,0	42,0	5
	16	67,0	54,2	9
<i>Callista Chione italica</i>	17	56,2	58,2	11
	18	78,3	59,9	13
	19	79,8	61,0	15

Σχ. 93 Πίνακας δειγμάτων *Callista chione* και *Callista chione italica* του Ελληνικού χώρου που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη. α/α= Αριθμός δείγματος στη μελέτη, L(mm)= Μήκος(χιλιοστά), H(mm)= Πλάτος(χιλιοστά), Age(yrs)= Ηλικία(έτη) (Κοκκίνου Αναστασία, Θεσσαλονίκη 2014).

Βιβλιογραφία

- Συρίδης Γ. Ε.. 2009-2010. Σημειώσεις Παλαιοντολογίας Ασπονδύλων. ΤΜΗΜΑ ΕΚΔΟΣΕΩΝ
- Bohm F., Joachimski M.M., Dullo W.-C., Eisenhauer A., Lehnert H., Reitner J. & Worheide G.. 2000. Oxygen isotope fractionation in marine aragonite of coralline sponges. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 64, 1695–1703.
- Buddemeier R. W., Maragos J. E., & Knutson D. W.. 1974. Radiographic studies of reef coral exoskeletons: Rates and patterns of coral growth. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 14, 179-199
- Butler P. G., Wanamaker A. D. Jr., Scourse J. D., Richardson C. A., Reynolds D. J.. Variability of marine climate on the North Icelandic Shelf in a 1,357-year proxy archive based on growth increments in the bivalve *Arctica islandica*. *Palaeogeogr. Palaeoclimat. Palaeoecol.* (2012), doi: 10.1016/j.palaeo.2012.01.016.
- Butler P. G., Richardson C. A., Scourse J. D., Wanamaker Jr. A. D., Shammonec T. M. & Bennella J. D.. June 2010. Marine climate in the Irish Sea: analysis of a 489-year marine master chronology derived from growth increments in the shell of the clam *Arctica islandica*. *Quaternary Science Reviews*-Volume 29, Issues 13–14, Pages 1614–1632
- Castillo K.D., Ries J.B. & Weiss J.M.. 2010. Declining coral skeletal extension for forereef colonies of *Siderastrea siderea* on the Mesoamerican Barrier Reef System. Southern Belize. *PLoS ONE* 6 (2): e14615.doi:10.1371/journal.pone.0014615
- Craig H. & Gordon L.I.. 1965. Deuterium and oxygen 18 variations in the ocean and the marine atmosphere. In: Tongiorgi, E. (Ed.), *Proceedings of a Conference on Stable Isotopes in Oceanographic Studies and Paleotemperatures*, pp. 9–130. Spoleto, Italy
- Ezgeta-Balic D., Peharda M., Richardson C. A., Kuzmanic M., Vrgoc N. & Isajlovic I.. 30 October 2010. Age, growth, and population structure of the smooth clam *Callista chione* in the eastern Adriatic Sea. Springer-Verlag and AWI 201, DOI 10.1007/s10152-010-0235-y
- Forster G.R.. 1981. The age and growth of *Callista chione*. *J Mar Biol Assoc UK* 61:881–883
- Hall C.A. Jr, Dollase W.A. & Corbató C.E.. 1974. Shell growth in *Tivela stultorum* (Mawe, 1823) and *Callista chione* (Linnaeus, 1758) (Bivalvia):

annual periodicity, latitudinal differences, and diminution with age.
Palaeogeogr Palaeocl 15:33–61

Hallmann N., Burchell M., Schone B. R., Irvine G. V. & Maxwell D.. 2009. High-resolution sclerochronological analysis of the bivalve mollusk *Saxidomus gigantea* from Alaska and British Columbia: techniques for revealing environmental archives and archaeological seasonality. *Journal of Archaeological Science* 36 2353–2364

Leal J.H. & Bailey-Matthews. 2002. BIVALVES. Μουσείο Κογχυλίων,
Φλώρινα, Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής

Leontarakis P.K. & Richardson C.A.. 2005. Growth of the smooth clam, *Callista chione* (Linnaeus, 1758) (Bivalvia: Veneridae) from the Thracian Sea. Northeastern Mediterranean. *J Mollus Stud* 71:189–198

Metaxatos A.. 2004. Population dynamics of the venerid bivalve *Callista chione* (L.) in a coastal area of the eastern Mediterranean. *J Sea Res* 52:293–305

Nyberg J. B., Malmgren A., Winter A., Jury M. R., Kilbourne K. H. & Quinn T. M.. 2007. Low Atlantic hurricane activity in the 1970s and 1980s compared to the past 270 years. *Nature* 447, 698–701

Wells J.W.. 1963. Early investigations of the Devonian system in New York. 1656-1836: *Geol. Soc. America Special Paper* 74

Ηλεκτρονικές πηγές

British Geological Survey-Natural Environment research council
<http://www.bgs.ac.uk/research/climatechange/palaeo/pliocene.html>

Dr. Julien Thebault, associate Professor, Research <http://pagesperso.univ-brest.fr/~jthebaul/#research>

Florida Museum of Natural History, Science Stories, Sclerochronology: Playing back the recordings of life <http://www.flmnh.ufl.edu/science-stories/2006/03/01/sclerochronology-playing-back-the-recordings-of-life/>

Government of Canada- Fisheries and Oceans, Sclerochronology Lab
<http://www.dfo-mpo.gc.ca/science/publications/article/2012/04-27-12-eng.html>

Johannes GUTENBERG-MAINZ UNIVERSITAET-Institut for Geosciences
http://www.geowiss.uni-mainz.de/1280_ENG_HTML.php
<http://www.paleontology.uni-mainz.de/ISC2010/Sclerochronology.htm>

NOOA'S Coral Health and Monitoring Program
<http://www.coral.noaa.gov/research/climate-change/sclerochronology.html>
<http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/sclerochronology.html>

Science Direct

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031018209004039>

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0277379111002204>

The Marine Life Information Network

<http://www.marlin.ac.uk/speciesinformation.php?speciesID=4567>

UA NEWS-Clam Shells Reveal Evidence of Ancient, Climate-Induced Downfall, UA Researchers Say <http://uanews.ua.edu/2014/03/clam-shells-reveal-evidence-of-ancient-climate-induced-downfall-ua-researchers-say/>

Union College- Dr. David P. Gillikin, New York 2008

<http://minerva.union.edu/gillikid/sclerochronology.htm>

University of Helsinki- Department of Geology, Malacology-Conchology-Sclerochronology <http://www.helsinki.fi/science/raakku/>

Wikipedia <http://en.wikipedia.org/wiki/Sclerochronology>

Word Register of Marine Species

<http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=141936>

Εικονογραφία

URL 1	http://www.interhomeopathy.org/murex_i_want_to_be_beautiful
URL 2	http://www.furious.com/perfect/graphics/shells4.jpg
URL 3	http://www.flmnh.ufl.edu/science-stories/wp-content/uploads/2012/05/sclerochronology01.jpg
URL 4	http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1679-87592011000500006&script=sci_arttext
URL 5	http://www.miamisci.org/blog/what-is-sclerochronology/
URL 6	http://visual.merriam-webster.com/images/animal-kingdom/mollusks/bivalve-shell/morphology-bivalve-shell.jpg
URL 7	www.shellmuseum.org/BivalvesLeal.pdf
URL 8	http://paleo.cortland.edu/tutorial/Bivalves/bivalvemorph.htm
URL 9	http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e3/AnadaraPliocene.jpg/800px-AnadaraPliocene.jpg
URL 10	http://itc.gsw.edu/faculty/bcarter/paleo/labs/moll/biv2.htm
URL 11	http://www.nhm.ac.uk/resources-rx/images/1017/arctica-islandica-clam-shells_48198_1.jpg
URL 12	http://www.newscientist.com/data/images/ns/cms/dn12003/dn12003-1_250.jpg
URL 13	http://www.bgs.ac.uk/research/images/climatechange/Picture175.jpg
URL 14	http://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0277379111002204-gr4.jpg
URL 15	http://www.animalbase.uni-goettingen.de/animalbaseimage/Arctica-islandica_01.jpg
URL 16	http://www.museum.zoo.cam.ac.uk/site_resources/arcticasection41.jpg

URL 17	http://en.wikipedia.org/wiki/File:Chlamys_opercularis_6_a.jpg
URL 18	http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8f/Aequipecten_opercularis_R-klep.jpg
URL 19	http://www.geomar.de/typo3temp/pics/Diploria_drilling_closeup_w_drill_03_1349bcdd0a.jpg
URL 20	http://college.unc.edu/2012/07/09/castilloriescorals
URL 21	http://soundwaves.usgs.gov/2005/07
URL 22	http://pubs.usgs.gov/pp/2007/1751/professional-paper/tile2/figures/fig45.html
URL 23	http://earthobservatory.nasa.gov/Features/Paleoclimatology/OxygenBalance
URL 24	http://www.paleontology.uni-mainz.de/ISC2010/Sclerochronology.htm
URL 25	http://146.6.184.140/people/staff/black/mussel_image_large.jpg
URL 26	https://www.academia.edu/1329673/High-resolution_sclerochronological_analysis_of_the_bivalve_mollusk_Saxidomus_gigantea_from_Alaska_and_British_Columbia_techniques_for_revealing_environmental_archives_and_archaeological_seasonality
URL 27	http://silentwitnesss.files.wordpress.com/2012/07/shell-graph-tuil-1998bw.jpg
URL 28	http://pagesperso.univ-brest.fr/~jthebaul/
URL 29	http://www.idscaro.net/sci/04_med/class/fam5/species/venus_verr1.htm
URL 30	http://naturalhistory.museumwales.ac.uk/britishbivalves/browserecord.php?-recid=23

Αναστασία Κοκκίνου, 4568

anastasiakokkinou@yahoo.gr