

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΑΒΥΘΙΣΗΣ CaCO₃ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΜΙΚΡΟΑΛΓΗΣ**Π.Δ. Νάτση^{1,2,*}, Π.Γ. Κουτσούκος^{1,2**}**¹Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τ.Κ.26504, Πάτρα, Ελλάδα²Ινστιτούτο Τεχνολογίας και Έρευνας/ΙΕΧΜΗ, FORTH-ICEHT, Τ.Κ 26504, Πάτρα, Ελλάδα(*natsi@chemeng.upatras.gr)(**pgk@chemeng.upatras.gr)**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

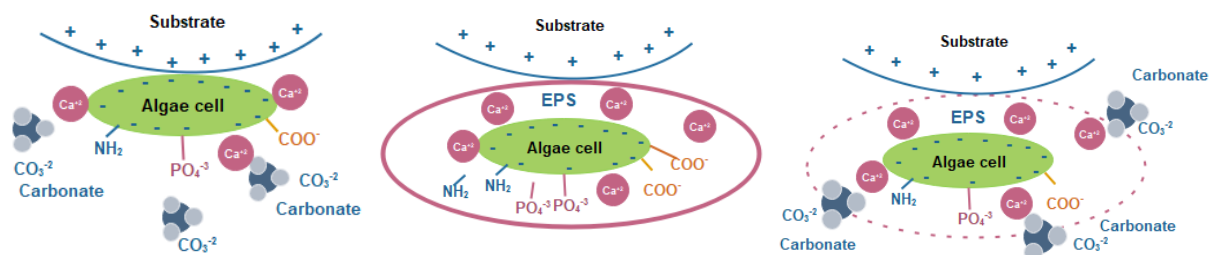
Ο σχηματισμός εναποθέσεων ανόργανων αλάτων στην επιφάνεια των μεμβρανών που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία νερού και λυμάτων, το βιομηχανικό εξοπλισμό και τον εξοπλισμό πλοίων αποτελεί σύννητες και οξύ πρόβλημα. Στην παρούσα εργασία, διερευνήθηκε ο ρόλος της παρουσίας μικροφυκών, και συγκεκριμένα της μικροάλγης *Acutodesmys obliquus* στην πυρηνογένεση και την κρυσταλλική ανάπτυξη του ανθρακικού ασβεστίου, από υδατικά υπέρκορα διαλύματα τόσο σε συνθήκες ελεύθερης μεταβολής των παραμέτρων των υπέρκορων διαλυμάτων (free drift), όσο και σταθερού υπερκορεσμού στους 25°C και ιοντική ισχύ 0.15MNaCl. Ζωντανές, αδρανοποιημένες και αναπτυσσόμενες αποικίες μικροαλγών χρησιμοποιήθηκαν για τον εμβολιασμό υδατικών διαλυμάτων, υπέρκορων ως προς το ανθρακικό ασβέστιο. Η παρουσία της μικροάλγης επιτάχυνε την κρυσταλλική ανάπτυξη του ανθρακικού ασβεστίου, ενώ ταυτόχρονα επηρέασε τη πυρηνογένεση, αποδεικνύοντας τη καταλυτική της δράση στην καταβύθιση του ανθρακικού ασβεστίου. Η υψηλότερη επιτάχυνση βρέθηκε για τους υψηλότερους πληθυσμούς ζωντανών μικροοργανισμών. Επιπλέον τα υποστρώματα των νεκρών μικροφυκών ανέστειλαν τη διαδικασία καθίζησης του CaCO₃. Εν τούτοις, η καλλιέργεια μικροαλγών στο μέσο ασβεστοποίησης παρουσία μικροθρεπτικών συστατικών έδωσε υψηλότερα ποσοστά καταβυθίσεως CaCO₃.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σχηματισμός βιοεναποθέσεων συναντάται στον ιατρικό, θαλάσσιο και βιομηχανικό τομέα, προκαλώντας σημαντικά προβλήματα που σχετίζονται με κινδύνους για την υγεία, περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις ^[1]. Οι βιολογικές ουσίες, όπως τα βακτήρια και οι μικροοργανισμοί, έχουν τη δυνατότητα σχηματισμού λεπτών υμενίων βιολογικής σύστασης και προέλευσης (βιο-υμένια ή βιοφίλμ). Τα βιο-υμένια είναι συσσωματώματα μικροβιακών κυττάρων, τα οποία δεσμεύονται σε μια επιφάνεια και είναι εγκλεισμένα σε υπόστρωμα πολυσακχαριτών. Η φύση και η έκταση του σχηματισμού αποθέσεων ποικίλλει ανάλογα με το τοπικό περιβάλλον ^[2]. Οι βιοεναποθέσεις είναι κατά κανόνα σύνθετες εναποθέσεις, οι οποίες σχηματίζονται από το συνδυασμό βιολογικών εναποθέσεων με ανόργανα άλατα, σε συνθήκες θερμοδυναμικά ευνοϊκές για το σχηματισμό τους και αναλόγως, λόγω δομικής συμβατότητας της ανόργανης φάσης με το οργανικό υπόστρωμα ^[1]. Το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO₃) είναι ανόργανο άλας, το οποίο απαντάται σε σύνθετες βιοεναποθέσεις. Ο σχηματισμός του άλατος καταλύεται ενδεχομένως από τα μικροβιακά κύτταρα, τα οποία ταυτόχρονα καθορίζουν τη σταθεροποίηση των άλλων ασταθών πολυμορφικών φάσεων του ανθρακικού ασβεστίου^[9]. Το ανθρακικό ασβέστιο μπορεί να σχηματιστεί πάνω, στο εσωτερικό ή μεταξύ των κυττάρων μεγάλης ποικιλίας μικροφυκών γλυκού και θαλασσινού νερού ^[4]. Η κατανόηση του μηχανισμού της κρυστάλλωσης περιλαμβάνει τόσο τη γνώση της φυσιολογίας του οργανισμού όσο και τη φυσικοχημεία της καταβύθισης του CaCO₃ ^[5]. Η μικροβιακά προκαλούμενη καταβύθιση ασβεστίου (MICP) αναφέρεται στο σχηματισμό ανθρακικού ασβεστίου σε υπέρκορα διαλύματά του, ο οποίος οφείλεται στην παρουσία μικροβιακών κυττάρων και βιοχημικών δραστηριοτήτων ^[6]. Κατά τη διάρκεια του MICP, οι οργανισμοί είναι σε θέση να εκκρίνουν ένα ή περισσότερα μεταβολικά προϊόντα (CO₃²⁻) που αντιδρούν με ιόντα (Ca²⁺) στο περιβάλλον με αποτέλεσμα την επακόλουθη καταβύθιση ανθρακικών αλάτων. Όπως έχει προκύψει από προηγούμενες μελέτες, η καταβύθιση του

ανθρακικού ασβεστίου προκαλείται με μηχανισμούς, όπως η φωτοσύνθεση [7], η υδρόλυση της ουρίας [8], και ο σχηματισμός βιοφίλμ από τα εξωκυττάρια πολυμερικά συστατικά [9].

Η εξωκυττάρια πολυμερική μεμβράνη (EPS) πιστεύεται ότι παίζει σημαντικό ρόλο στην πυρινογένεση και εν συνεχεία στο ρυθμό κρυσταλλικής ανάπτυξης του CaCO_3 . Αποτελεί διαχωριστικό μέσο, μεταξύ του κυττάρου και των ανόργανων και οργανικών μεταβολικών υποστρωμάτων και φέρει δραστικές ομάδες (R-OH ή/και R-COOH), οι οποίες έχουν την ικανότητα να συγκρατήσουν κατιόντα ασβεστίου και μαγνησίου με ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις ή και με σχηματισμό συμπλόκων [10]. Οι πολυσακχαρίτες των κυτταρικών μεμβρανών, ασκούν θεμελιώδη επίδραση στο σχηματισμό της ανόργανης φάσης επί του οργανικού υποστρώματος. Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται ο μηχανισμός δράσης της εξωκυττάριας μεμβράνης στη διεργασία της καταβύθισης ανθρακικού ασβεστίου.



Σχήμα 1. Μηχανισμός επίδρασης εξωκυττάριας πολυμερικής μεμβράνης (EPS) στην καταβύθιση του ανθρακικού ασβεστίου.

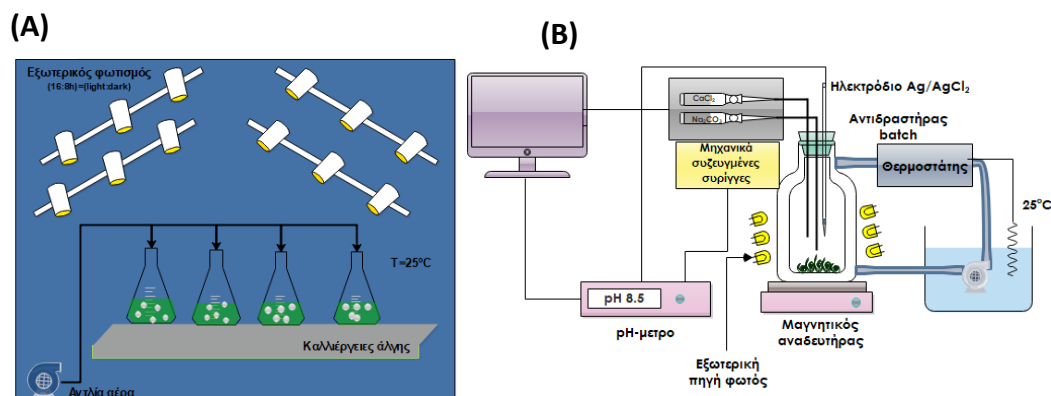
Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της κινητικής της καταβύθισης του ανθρακικού ασβεστίου, παρουσία μικροάλγης, η καλλιέργεια της οποίας έγινε σε εργαστηριακή κλίμακα. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, αφορούσε σε πρώτη φάση την ανάπτυξη της μικροάλγης *Acutodesmus obliquus* σε βέλτιστες συνθήκες, στην πειραματική διάταξη του Σχήματος 2(A). Σε δεύτερη φάση, προσδιορίσθηκε η περιοχή σταθερότητας του συστήματος του ανθρακικού ασβεστίου απουσία και παρουσία υποστρωμάτων μικροάλγης. Στις αντίστοιχες συνθήκες μετρήθηκαν οι παράμετροι της κινητικής της καταβύθισης του ανθρακικού ασβεστίου και διερευνήθηκε ο ρόλος της παρουσίας της συγκεκριμένης καλλιέργειας μικροάλγης στο είδος και στη μορφολογία των σχηματιζόμενων πολυμορφικών φάσεων του ανθρακικού ασβεστίου.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Πειραματική διάταξη για την ανάπτυξη της μικροάλγης

Η άλγη η οποία επιλέχθηκε είναι ευκαρυωτικός μικροοργανισμός που κατατάσσεται στην κατηγορία των χλωρόφυτων. Μέσω της φωτοσύνθεσης με δέσμευση CO_2 , έχει τη δυνατότητα να πολλαπλασιάζεται περεταιίρω. Έτσι κατασκευάστηκε μια συστοιχία από μικρούς βιοαντιδραστήρες (Σχήμα 2(A)), στην οποία με κατάλληλες συνθήκες θερμοκρασίας, pH, αερισμού και φωτισμού αναπτύχθηκε η καλλιέργεια. Το θρεπτικό μέσο το οποίο χρησιμοποιήθηκε ήταν το Basal medium. Με τη χρήση αντλίας διοχετεύονταν στους βιοαντιδραστήρες αέρας, ενώ ο φωτισμός ήταν με ψυχρό φως (3500lx) (16:8h φως : σκοτάδι). Η ανάπτυξη της άλγης έγινε σε θερμοκρασία 25 ± 2 °C και σε pH 6.5. Οι συνθήκες αυτές αποτέλεσαν και τις βέλτιστες για την ανάπτυξη της συγκεκριμένης μικροάλγης.

Ο αρχικός εμβολιασμός στα αποστειρωμένα δοχεία ανάπτυξης έγινε από τις υπάρχουσες αρχικές καλλιέργειες που αποθηκεύτηκαν στους 18°C και το μέγεθος του εμβολιασμού προσδιορίστηκε ως αρχική τιμή οπτικής πυκνότητας (OD) 0.002-0.004 μονάδων απορρόφησης. Από αυτές τις καλλιέργειες πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις οπτικής πυκνότητας (OD), για τον προσδιορισμό της συνολικά παραγόμενης χλωροφύλλης.



Σχήμα 2. (Α) Πειραματική διάταξη ανάπτυξης της άλγης (Β) Πειραματική διάταξη διεξαγωγής πειραμάτων σταθερής σύστασης για την μελέτη κινητικής σχηματισμού CaCO_3 σε υπέρκορα διαλύματά του.

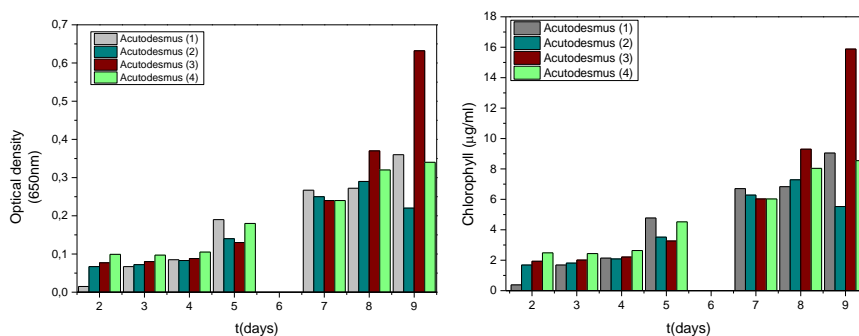
Πειράματα ασβεστοποίησης

Τα πειράματα καταβύθισης ανθρακικού ασβεστίου έλαβαν χώρα σε συνθήκες σταθερού υπερκορεσμού, στην πειραματική διάταξη του Σχήματος 2.(Β). Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε διπλότοιχος γυάλινος (Pyrex[®]) αντιδραστήρας των 500ml, η θερμοκρασία του οποίου διατηρούταν σταθερή στους $25 \pm 0.2^\circ\text{C}$. Τα διαλύματα ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), όξινου ανθρακικού νατρίου (NaHCO_3) και ανθρακικού νατρίου (Na_2CO_3) παρασκευάστηκαν από κρυσταλλικά στερεά με διάλυση και στη συνέχεια διήθησης μέσω μεμβρανών $0.2\mu\text{m}$. Από τα πρότυπα διαλύματα παρασκευάζονταν κάθε φορά το υπέρκορο διάλυμα στον αντιδραστήρα και το pH ρυθμιζόταν στο 8.5 με χρήση 0.1M NaOH . Στην συνέχεια εισάγονταν στον αντιδραστήρα είτε συγκεκριμένες ποσότητες από τις καλλιέργειες, είτε υποστρώματα άλγης που είχαν ξηρανθεί (25 ή 65°C) ή κρυσταλλικά φύτρα CaCO_3 , στα οποία είχε αναπτυχθεί μικροάλγη. Η έναρξη της καταβύθισης παρατηρούταν από τη μείωση του pH σε σχέση από την αρχική τιμή στα υπέρκορα διαλύματα, λόγω της απελευθέρωσης κατιόντων H^+ . Η πτώση του pH ενεργοποιούσε την προσθήκη στον αντιδραστήρα ποσότητες διαλυμάτων $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, NaHCO_3 και Na_2CO_3 , από δύο μηχανικά συζευγμένες προχοϊδες, με σκοπό την διατήρηση σταθερού υπερκορεσμού, αντικαθιστώντας τα ιόντα τα οποία είχαν 'καταναλωθεί' για τον σχηματισμό του στερεού. Ο προστιθέμενος όγκος συναρτήσε του χρόνου καταγράφονταν και από τα αντίστοιχα γραφήματα υπολογίστηκαν οι ρυθμοί καταβύθισης του CaCO_3 . Τα στερεά μετά το πέρας των πειραμάτων, αφού διηθήθηκαν από ηθμούς μεμβράνης $0.2\mu\text{m}$, ταυτοποιήθηκαν με περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ, (XRD).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Υπολογισμός του ρυθμού ανάπτυξης της μικροάλγης *Acutodesmus obliquus*

Από τις μετρήσεις της οπτικής πυκνότητας για το χρονικό διάστημα της καλλιέργειας, υπολογίστηκε η ολική χλωροφύλλη, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.



Σχήμα 3. Μετρούμενη οπτική πυκνότητα και ολική χλωροφύλλη για διαφορετικές καλλιέργειες της μικροάλγης *Acutodesmus obliquus*.

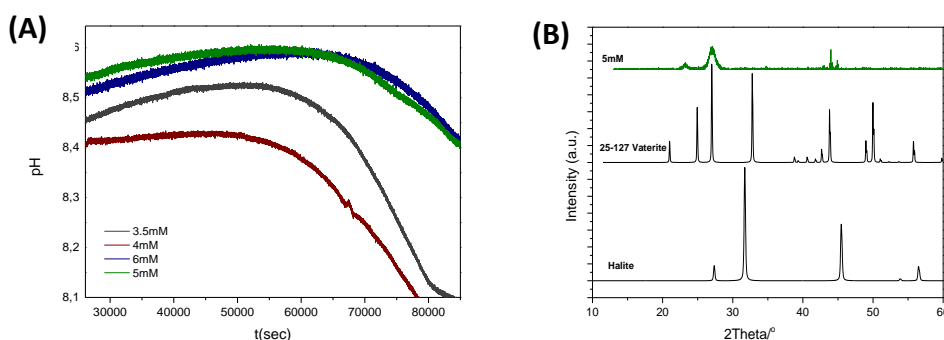
Το συμπέρασμα ήταν ότι οι καλλιέργειες της άλγης, η οποία χρησιμοποιήθηκε, τείνουν να φτάσουν στον μέγιστο ρυθμό ανάπτυξης τους μετά την ένατη μέρα της καλλιέργειας τους.

Ακίνητοποίηση μικροάλγης σε διάφορα υποστρώματα

Στις καλλιέργειες της μικροάλγης έγινε προσθήκη διαφορετικών υποστρωμάτων, με σκοπό την περαιτέρω χρήση τους σε πειράματα καταβύθισης ανθρακικού ασβεστίου. Τα υποστρώματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν πολυαιθυλενικά πλέγματα, γυάλινες επιφάνειες, τμήματα χρησιμοποιημένης μεμβράνης αντίστροφης ώσμωσης επεξεργασίας νερού καθώς και κρυσταλλικά φύτρα ασβεσίτη. Τα υποστρώματα τοποθετήθηκαν σε διάλυμα θρεπτικού μέσου από όπου έγινε εισαγωγή μικροάλγης από αρχική καλλιέργεια. Η ακίνητοποίηση άλγης σε δοκιμαστικά υποστρώματα ήταν απαραίτητη για την ποσοτικοποίηση των μετρήσεων των ρυθμών κρυσταλλικής ανάπτυξης του ανθρακικού ασβεστίου. Από αυτά τα υποστρώματα, η ανάπτυξη επιτεύχθηκε καλύτερα στις πολυμερικές μεμβράνες, στις οποίες ήταν εμφανές το σχηματιζόμενο βιο-υμένιο. Κάτι τέτοιο οφείλεται στην συμβατότητα της εξωκυττάριας πολυμερικής μεμβράνης (EPS) των κυττάρων της μικροάλγης με την πολυμερική μεμβράνη καθώς και με τα κρυσταλλικά φύτρα του ασβεσίτη. Τέλος παρασκευάστηκαν και υποστρώματα άλγης, η οποία είχε ξηρανθεί στους 25°C και στους 65°C, συγκεκριμένη ποσότητα των οποίων χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια για τη διερεύνηση της βιολογικής ασβεστοποίησης.

Πειράματα ασβεστοποίησης παρουσία της μικροάλγης

Διερευνήθηκε στη συνέχεια, η πυρηνογένεση και η κρυσταλλική ανάπτυξη, παρουσία των αποικιών της μικροάλγης. Τα υποστρώματα που ξηράνθηκαν στους 25°C εισήχθησαν σε υπέρκορα διαλύματα ως προς ανθρακικό ασβέστιο σε συγκεντρώσεις ασβεστίου $Ca_{ολικό}=3.5mM$ έως 6mM και μάζα μικροάλγης 100mg. Το pH πέρας ενός μετρήσιμου χρόνου, άρχισε να μειώνεται, όπως φαίνεται και στα γραφήματα του Σχήματος 4(A). Το στερεό που συλλέχθηκε με διήθηση ταυτοποιήθηκε με XRD και διαπιστώθηκε ο σχηματισμός ασβεσίτη αλλά και βατερίτη (Σχήμα 4(B)).



Σχήμα 4. (A) Μεταβολή pH συναρτήσει του χρόνου για καταβύθιση ανθρακικού ασβεστίου σε συνθήκες *free drift* παρουσία ξηρής άλγης (25°C) **(B)** Περιθλασιόγραμμα ακτίνων x (XRD) καταβυθιζόμενου στερεού για 5mM ασβεστίου ; 0.15M NaCl, pH 8.5.

Αντίθετα, κατά την εισαγωγή στα υπέρκορα διαλύματα καλλιεργιών μικροάλγης, οι οποίες είχαν ξηρανθεί στους 65 °C, ή μικροάλγης η οποία είχε αναπτυχθεί σε υπόστρωμα ασβεσίτη και στη συνέχεια ξηράνθηκε, δεν παρατηρήθηκε πτώση του pH ούτε μεταβολή της συγκέντρωσης του ασβεστίου στα υπέρκορα διαλύματα. Η αδρανοποίηση αυτή της εξωκυττάριας πολυμερικής μεμβράνης πιθανώς, οφείλεται στη λύση της κυτταρικής μεμβράνης στη θερμοκρασία ξήρανσης. Η καταστροφή αυτή της δομής της επιφάνειας των οργανισμών δεν ευνοεί πιθανώς τη δομική συμβατότητα για την πυρηνογένεση και συνακόλουθη ανάπτυξη του ανθρακικού ασβεστίου.

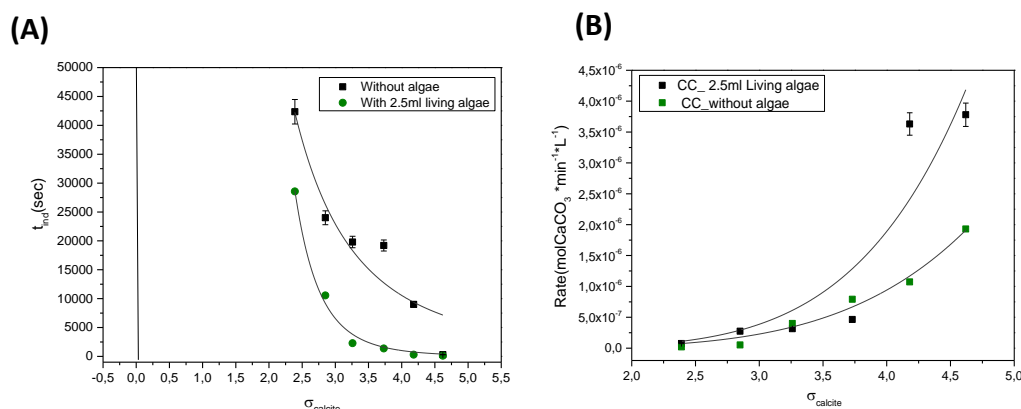
Η περιοχή σταθερότητας υπέρκορων διαλυμάτων ανθρακικού ασβεστίου απουσία και παρουσία της άλγης, προσδιορίστηκε με τη βοήθεια πειραμάτων ελεύθερης μεταβολής όλων των παραμέτρων σε σταθερή θερμοκρασία 25°C. Η αρχική τιμή pH ήταν 8.50 και η ιοντική ισχύς 0.15M NaCl.

Ο βαθμός υπερκορεσμού (SR) καθώς και ο σχετικός υπερκορεσμός (σ) ως προς ασβεσίτη (η θερμοδυναμικά σταθερότερη πολυμορφική φάση), του CaCO_3 υπολογίσθηκαν το λογισμικό PHREEQC^[11]. Ο χρόνος επαγωγής, t_{ind} , ο οποίος είναι το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από την παρασκευή των υπέρκορων διαλυμάτων μέχρι την ανίχνευση της έναρξης της κρυσταλλικής ανάπτυξης, η οποία χαρακτηρίστηκε από πτώση του pH κατά 0.005 μονάδες. Απουσία της μικροάλγης προέκυψαν τα αποτελέσματα του Πίνακα 1 και προσδιορίστηκε η σταθερή περιοχή της καταβύθισης του ανθρακικού ασβεστίου, στις συνθήκες αυτές.

Πίνακας 1. Συγκέντρωση ασβεστίου, λόγος υπερκορεσμού και υπολογισμένοι χρόνοι επαγωγής για τα πρωταρχικά πειράματα; pH 8.5, 25°C, I=0.15M NaCl.

[Ca]/x10 ⁻³ mol·L ⁻¹	SR _{calcite}	σ_{calcite}	$t_{\text{ind}}/\text{min}$
3.5	11.48	2.39	706
4.0	14.79	2.85	400
4.5	18.19	3.26	330
5.0	22.39	3.73	320
5.5	26.91	4.18	311
7.0	31.62	4.62	5

Αντίστοιχες μετρήσεις, έγιναν στις ίδιες συνθήκες υπερκορεσμού, παρουσία αιωρήματος 2.5ml μικροάλγης από την πρωταρχική καλλιέργεια, η οποία βρισκόταν στην εκθετική φάση ανάπτυξης της, απουσία φωτός. Στο Σχήμα 5 (A) παρουσιάζεται το εύρος της σταθερής περιοχής, η οποία προσδιορίστηκε απουσία και παρουσία μικροάλγης.

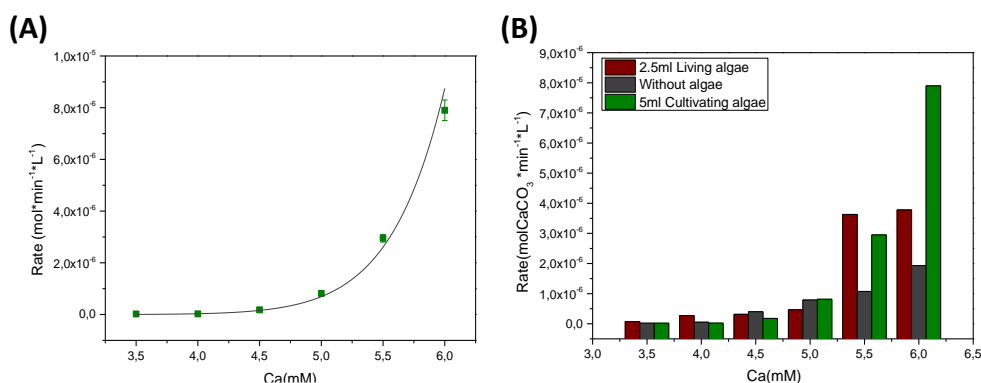


Σχήμα 5. (A) Διάγραμμα σταθερής περιοχής για την καταβύθιση του ανθρακικού ασβεστίου παρουσία και απουσία άλγης (B) Ρυθμοί καταβύθισης ανθρακικού ασβεστίου απουσία και παρουσία μικροάλγης; pH 8.5, 25°C, 0.15M NaCl.

Όπως φαίνεται, η παρουσία της καλλιέργειας, περιόρισε το εύρος της μετασταθούς ζώνης του ανθρακικού ασβεστίου, ενώ οι ταχύτητες καταβύθισης, οι οποίες μετρήθηκαν σε συνθήκες σταθερής σύστασης, έδωσαν τη δυνατότητα υπολογισμού της επιφανειακής ενέργειας, γ_s , η οποία ήταν 43 $\text{mJ}\cdot\text{m}^{-2}$ απουσία της μικροάλγης και 33 $\text{mJ}\cdot\text{m}^{-2}$ παρουσία 2.5ml της καλλιέργειας. Η φαινόμενη τάξη του ρυθμού υπολογίστηκε ίση με 6, και στις δυο περιπτώσεις γεγονός το οποίο υποδηλώνει, ότι ο μηχανισμός αφενός δεν μεταβάλλεται παρουσία της μικροάλγης και αφετέρου ακολουθεί το πολυπυρηνικό πρότυπο κρυσταλλικής ανάπτυξης.

Το στερεό το οποίο καταβυθίστηκε ταυτοποιήθηκε ότι ήταν ασβεσίτης, σε χαμηλές τιμές λόγου υπερκορεσμού, και αραγωνίτης και βατερίτης σε υψηλότερες. Όπως φαίνεται, παρουσία της μικροάλγης σταθεροποιούνται οι ασταθείς πολυμορφικές φάσεις του ανθρακικού ασβεστίου. Θα πρέπει να σημειωθεί, ότι αυξανόμενης της αρχικής συγκέντρωσης την μικροάλγης στα υπέρκορα διαλύματα, οι ρυθμοί καταβύθισης του ανθρακικού ασβεστίου αυξήθηκαν αναλογικά, αποδεικνύοντας ότι η καταβύθιση του ανθρακικού ασβεστίου γίνεται επιλεκτικά επί της άλγης. Κατά την προσθήκη θρεπτικού μέσου για την ανάπτυξη της μικροάλγης σε υπέρκορα ως προς ανθρακικό ασβέστιο διαλύματα (5ml καλλιέργειας άλγης) με ταυτόχρονη χρήση φωτισμού. Ο

ρυθμός καταβύθισης αυξήθηκε σημαντικά, με την αύξηση να γίνεται σημαντικότερη σε υψηλότερες τιμές υπερκορεσμού των διαλυμάτων, όπως φαίνεται στα γραφήματα του Σχήματος 6.



Σχήμα 6. (A) Διάγραμμα ρυθμού καταβύθισης του ανθρακικού ασβεστίου παρουσία 5ml αναπτυσσόμενης άλγης **(B)** Ρυθμός καταβύθισης ανθρακικού ασβεστίου απουσία και παρουσία μικροάλγης ζωντανής και αναπτυσσόμενης. pH 8.5, 25°C, 0.15M NaCl.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρουσία της μικροάλγης *Acutodesmus Obliquus* σε υπέρκορα ως προς ανθρακικό ασβέστιο διαλύματα, είχε ως αποτέλεσμα την επιτάχυνση της καταβύθισης του ανθρακικού ασβεστίου. Οι χρόνοι επαγωγής, οι οποίοι προηγούνται της έναρξης της καταβύθισης μειώθηκαν σε σύγκριση με τους αντίστοιχους απουσία άλγης. Η κατάσταση της μικροάλγης παίζει σημαντικό ρόλο στην κρυσταλλική ανάπτυξη του ανθρακικού ασβεστίου: όταν η καλλιέργεια βρισκόταν εκθετική ή στάσιμη φάση της ανάπτυξης της, οι ρυθμοί καταβύθισης του ανθρακικού ασβεστίου ήταν υψηλότεροι, ενώ μετά το θάνατό της τα νεκρά κύτταρα οδήγησαν σε πλήρη καταστολή της πυρηνογένεσης. Η παρουσία πηγής φωτισμού και η ταυτόχρονη παρουσία θρεπτικών συστατικών στα υπέρκορα διαλύματα, είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του συνολικά καταβυθιζόμενου CaCO_3 . Τέλος, προκαταρκτικά πειράματα, στα οποία, χρησιμοποιήθηκε ως υπόστρωμα σε σταθερά υπέρκορα διαλύματα καλλιέργεια άλγης, η οποία είχε ξηρανθεί στους 65°C δεν ευνόησε την κρυσταλλική ανάπτυξη του CaCO_3 , σε αντίθεση με καλλιέργειες, οι οποίες είχαν ξηρανθεί στους 25°C. Το γεγονός αυτό, αποδεικνύει τη πιθανή επίδραση που έχει η χλωροφύλλη στη συνολική διεργασία καταβύθισης και για αυτό μελετάται περαιτέρω.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Το έργο αυτό υποστηρίχθηκε από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας (ΓΓΕΤ) και το Ελληνικό Ίδρυμα Έρευνας και Καινοτομίας (ΕΛ.Ι.Δ.Ε.Κ.) στο πλαίσιο της δράσης «1^η Προκήρυξη Υποτροφιών Υποψηφίων Διδακτόρων από την ΕΛΙΔΕΚ» (Κωδικός Υποτροφίας: 1576).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] G. D. Bixler., B. Bhushan, Phil. Trans. R. Soc. A 370 (2012) 2381–2417.
- [2] R. M. Donlan, Emerging Infectious Diseases 8 (2002) 883-890.
- [3] C. Barabesi, A. Galizzi., G. Mastromei, M. Rossi., E. Tamburini, B. Perito J. Bacteriol ,189 (2007) 228–235.
- [4] A. Michael, Borowitzka & A. W. D. Larkum, (1987), Critical Reviews in Plant Sciences 6,1-45
- [5] S. Dupraz, B. Menez, P. Gouze, R. Leprovost, P. Benezeth, O.S. Pokrovsky, F. Guyot, Chem Geol 265 (2009) 54–62.
- [6] T. Bosak, In: J. Reitner , V. Thiel (eds) Encyclopedia of earth sciences series. Springer (2011) 223–227.
- [7] J.B. Thompson, F.G. Ferris, Geology 18 (1990) 995–998.
- [8] S. Stocks-Fischer, J.K. Galinat, S.S. Bang ,Soil Biol Biochem 31 (1999) 1563–1571
- [9] T. Kawaguchi., A.W. Decho. J Cryst Growth 240 (2002) 230–235.
- [10] C. Dupraz, R.P. Reid, O. Braissant, A.W. Decho, R.S. Norman, P.T. Visscher, Earth-Science Reviews 96 (2009) 141–162.
- [11] PHREEQC® Interactive Version 2.15.0.2697