

ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΧΛΩΡΙΟΥ

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το διοξείδιο του χλωρίου (ClO_2) παράχθηκε για πρώτη φορά από την αντίδραση του χλωρικού νατρίου (potassium chlorate) με το υδροχλωρικό οξύ (HCl) από τον Sir Humphrey Davy το 1811. Οι μικροβιοκτόνες δυνατότητες του ήταν γνωστές από τις αρχές του 1900, ωστόσο η χρήση του διαδόθηκε από τη στιγμή που η παρασκευή του άρχισε να γίνεται βιομηχανικά (www.atsdr.cdc.gov; www.epa.gov). Χρησιμοποιείται στην επεξεργασία του νερού για την αδρανοποίηση ιών, βακτηριών και πρωτόζωων όπως *Gardia* και *Cryptosporidium*. Ο βασικός μηχανισμός αδρανοποίησης των παθογόνων μικροοργανισμών είναι η διακοπή της σύνθεσης των πρωτεϊνών (www.atsdr.cdc.gov).

Αρχικά χρησιμοποιούταν ως λευκαντικό στην παραγωγή χαρτιού και πολτού, παρόλο τις απολυμαντικές του ιδιότητες άργησε να χρησιμοποιηθεί στην επεξεργασία του νερού και των λυμάτων (www.atsdr.cdc.gov). Για πρώτη φορά χρησιμοποιήθηκε στην επεξεργασία του νερού το 1944 στη Νέα Υόρκη για την αντιμετώπιση οσμών και γεύσεων (www.clo2.com). Ουσιαστικά τα τελευταία είκοσι χρόνια έχει γίνει πιο εντατική η χρήση του στην επεξεργασία του νερού, καθώς το 1988 η Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος (E.P.A.) αναγνώρισε την απολυμαντική του δράση (www.atsdr.cdc.gov; www.epa.gov). Σήμερα το διοξείδιο του χλωρίου χρησιμοποιείται επίσης για τον έλεγχο των μικροβίων σε μεγάλο αριθμό βιομηχανιών όπως στη γαλακτοβιομηχανία, στην κονσερβοποίηση φαγητών, στην παραγωγή αναψυκτικών και στην επεξεργασία κρέατος και πουλερικών. Ακόμη έχει εφαρμογές στη βιομηχανία αερίου και λαδιού για τον εμπλουτισμό των προσθετικών. Τέλος η οικιακή χρήση του έχει πολλές εφαρμογές (www.clo2.com).

2 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΧΛΩΡΙΟΥ

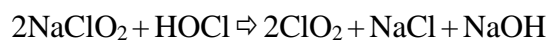
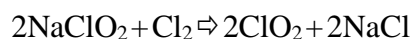
Το διοξείδιο του χλωρίου (ClO_2) είναι ουδέτερο παράγωγο του χλωρίου κατά το τρίτο οξειδωτικό στάδιο (AWWA, 1999). Σε κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας είναι ένα σκούρο κιτρινοπράσινο αέριο και είναι παρόμοιο με το χλώριο στη μορφή και στη γεύση (Junli et al., 1997). Έχει σημείο βρασμού στους 11°C και ως υγρό είναι πυκνότερο από το νερό, ενώ ως αέριο είναι πάλι πυκνότερο από τον ατμοσφαιρικό αέρα (AWWA, 1999). Βασικό χαρακτηριστικό του είναι η μεγάλη διαλυτότητα στο νερό και συγκεκριμένα σε νερό χαμηλής θερμοκρασίας. Ουσιαστικά είναι δέκα φορές πιο διαλυτό από το χλώριο. Σε αντίθεση με το χλώριο δεν υδρολύεται στο νερό, αλλά παραμένει στο νερό ως διαλυμένο αέριο (U.S EPA., 1999a). Παρόλο της δομής του μορίου του σε μη κορεσμένη κατάσταση, στο νερό

παραμένει σε μονομοριακή κατάσταση (Junli et al., 1997).

Χημικά, το διοξείδιο του χλωρίου είναι μία ελεύθερη και σταθερή ρίζα που σε μεγάλες συγκεντρώσεις αντιδρά με πολλά στοιχεία. Είναι εκρηκτικό σε υψηλές συγκεντρώσεις, όταν ξεπερνά το 10% κατά όγκο, για αυτό η σύνθεση του αερίου γίνεται με την παρασκευή ενός αραιού διαλύματος (AWWA, 1999). Η παρατεταμένη έκθεση σε υπεριώδη ακτινοβολία (UV) έχει ως αποτέλεσμα τη διάσπασή του (Bergmann et al., 2005). Επίσης λόγω της εκρηκτικής του δράσης δεν είναι δυνατόν να αποθηκευτεί ή να συμπιεστεί και ποτέ δεν μεταφέρεται (U.S EPA., 1999a).

3 ΤΡΟΠΟΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ

Το διοξείδιο του χλωρίου παρασκευάζεται από διαλύματα υποχλωριώδους νατρίου που αντιδρούν είτε με αέριο χλώριο (Cl_2), υποχλωριώδες οξύ (HOCl) είτε με υδροχλώριο (HCl), όπως φαίνεται στις παρακάτω αντιδράσεις.



Με βάση τις παραπάνω αντιδράσεις γίνεται και η διάκριση μεταξύ των συσκευών παρασκευής διοξειδίου του χλωρίου παρόλο που μπορεί να χρησιμοποιούν την ίδια πρώτη ύλη έχουν διαφορετικό τρόπο σύνθεσης του διοξειδίου του χλωρίου (U.S EPA., 1999a). Σε ορισμένες περιπτώσεις το διοξείδιο του χλωρίου παρασκευάζεται με ηλεκτρόλυση νερού που περιέχει χλωρίοντα (Bergmann et al., 2005).

3.1 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΧΛΩΡΙΟΥ

Οι περισσότερες συσκευές χρησιμοποιούν ως πρώτη ύλη για την παρασκευή του διοξειδίου του χλωρίου υποχλωριώδες νάτριο. Πρόσφατα άρχισε να χρησιμοποιείται επίσης διάλυμα χλωρικού νατρίου (NaClO_3), όπου προστίθεται υπεροξείδιο του υδρογόνου (H_2O_2) και θειικό οξύ (H_2SO_4).

Συνήθως η παρασκευή του διοξειδίου του χλωρίου πραγματοποιείται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο το αέριο χλώριο αντιδρά με το νερό σχηματίζοντας υποχλωριώδες οξύ και υδροχλωρικό οξύ. Στη συνέχεια τα δύο αυτά οξέα αντιδρούν με το υποχλωριώδες νάτριο σχηματίζοντας διοξείδιο του χλωρίου. Η αναλογία μεταξύ των οξέων του υποχλωριώδους νατρίου πρέπει να ελέγχεται συστηματικά (U.S EPA., 1999a).

4 ΤΡΟΠΟΣ ΔΡΑΣΗΣ

Το διοξείδιο του χλωρίου έχει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με το χλώριο και τα υπόλοιπα απολυμαντικά μέσα. Σε αντίθεση με το χλώριο, δε διασπάται το μόριό του

στις διάφορες τιμές του pH. Είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό στην αδρανοποίηση των παθογόνων μικροοργανισμών παρόλο που ο τρόπος δράσης του εξαρτάται από το είδος του μικροοργανισμού (U.S EPA., 1999a).

Ζημιές στην κυτταρική μεμβράνη ή στο κέλυφος των ιών δεν έχουν παρατηρηθεί κατά τη χρήση διοξειδίου του χλωρίου σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Ο μηχανισμός αδρανοποίησης των μικροοργανισμών περιλαμβάνει τις αντιδράσεις μεταξύ του διοξειδίου του χλωρίου και των κυτταρικών μορίων και τις επιπτώσεις του διοξειδίου του χλωρίου στις βιολογικές διεργασίες του κυττάρου (U.S EPA., 1999a).

Στην πρώτη περίπτωση το διοξείδιο του χλωρίου αντιδρά εύκολα με τα αμινοξέα, την τυροσίνη, αλλά όχι με το ριβονουκλεϊκό οξύ (RNA). Ουσιαστικά το διοξείδιο του χλωρίου αδρανοποιεί του ιούς αλλάζοντας τη σύνθεση των πρωτεϊνών. Ωστόσο το διοξείδιο του χλωρίου αντιδρά με το RNA των ρολιονίους και καταστρέφει τη σύνθεση του DNA. Επίσης αντιδρά με λιπαρά οξέα (U.S EPA., 1999a).

Ο δεύτερος μηχανισμός αδρανοποίησης αφορά τις επιπτώσεις του διοξειδίου του χλωρίου στις κυτταρικές λειτουργίες. Ο πρωταρχικός μηχανισμός αδρανοποίησης είναι η αναστολή σύνθεσης των πρωτεϊνών. Επίσης το διοξείδιο του χλωρίου μεταβάλλει τη διαπερατότητα της κυτταρικής μεμβράνης, καθώς έρευνες έχουν δείξει πως οι πρωτεΐνες και τα λιπίδια της κυτταρικής μεμβράνης μεταβάλλονται κατά την προσθήκη διοξειδίου του χλωρίου (U.S EPA., 1999a).

4.1 ΤΡΟΠΟΣ ΕΠΑΦΗΣ

Ο τρόπος επαφής του διοξειδίου του χλωρίου είναι αντίστοιχος με τα υπόλοιπα απολυμαντικά μέσα, αν και έχει διαπιστωθεί ότι λόγω της πτητικότητάς του είναι πιο αποτελεσματικό όταν βρίσκεται σε κλειστούς αντιδραστήρες, όπως σωληνώσεις (U.S EPA., 1999a).

5 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΧΛΩΡΙΟΥ

Οι βασικότεροι περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα του διοξειδίου του χλωρίου είναι το pH, η θερμοκρασία και η συγκέντρωση των διαλυμένων στερεών που περιέχονται στο προς επεξεργασία νερό (U.S EPA., 1999a).

5.1 pH

Σε αντίθεση με το χλώριο, η δραστηριότητα του διοξειδίου του χλωρίου δε μεταβάλλεται σημαντικά σε τιμές pH 6 – 10 (U.S EPA., 1999a). Έχει αποδειχθεί πως

η αποτελεσματικότητα του δε διαφοροποιείται σε τιμές pH 2,0-10,5 (Radziminski et al., 2002). Ιδιαίτερα στην αδρανοποίηση των ρολιόνιους η αύξηση του pH είναι ανασταλτικός παράγοντας (U.S EPA., 1999a). Γενικότερα επιτυγχάνεται αδρανοποίηση των βακτηριών σε ικανοποιητικά ποσοστά σε τιμές pH 3,0-9,0 (Junli et al., 1997).

Ωστόσο σε έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί για την αδρανοποίηση του *E.coli* αύξηση του pH συμβάλλει θετικά στην αδρανοποίηση του, αν και η δραστηριότητα του διοξειδίου του χλωρίου δε μεταβάλλεται στις διάφορες τιμές pH (U.S EPA., 1999a). Επίσης η αδρανοποίηση του *Cryptosporidium* επιτυγχάνεται σε ποσοστά 90-99,9% σε τιμές pH 6-8, ενώ είναι περίπου κατά 20% χαμηλότερη pH 10. Ουσιαστικά η αποτελεσματικότητα του διοξειδίου του χλωρίου δε μεταβάλλεται σημαντικά σε τιμές pH 6-8, βασικά είναι η ίδια (Rufell et al., 2000). Ανάλογα αποτελέσματα προκύπτουν κατά την αδρανοποίηση του *Gardia* (U.S EPA., 1999a).

5.2 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Ανάλογα με το χλώριο, η δραστηριότητα του διοξειδίου του χλωρίου μειώνεται με τη μείωση της θερμοκρασίας. Έχει αποδειχθεί ότι μείωση της θερμοκρασίας από τους 20°C στους 10°C μειώνει την αποτελεσματικότητα του διοξειδίου του χλωρίου κατά 40%, ενώ παράλληλα πρέπει να αυξηθεί ο χρόνος επαφής (U.S EPA., 1999a).

5.3 ΔΙΑΛΥΜΕΝΑ ΣΤΕΡΕΑ

Τα διαλυμένα στερεά και η συσσώρευση των μικροοργανισμών δρουν ανασταλτικά στην απολύμανση του νερού με το διοξείδιο του χλωρίου. Ουσιαστικά με θολότητα μεταξύ 5 -17 NTU η αδρανοποίηση των μικροοργανισμών δεν επιτυγχάνεται, ενώ παράλληλα απαιτείται 2,7 φορές παραπάνω χρόνος επαφής για την αδρανοποίηση των μικροοργανισμών όταν βρίσκονται συσσωρευμένοι (U.S EPA., 1999a).

6 ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΟΥ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΧΛΩΡΙΟΥ

Τα παραπροϊόντα που σχηματίζονται κατά την χρήση διοξειδίου του χλωρίου είναι κυρίως το χλωριώδες και το χλωρικό ιόν και οργανικά παραπροϊόντα. Η χρήση του διοξειδίου του χλωρίου ως απολυμαντικό έχει μειώσει σημαντικά το σχηματισμό των τριαλογονομένων παραγώγων του μεθανίου και των αλογονοοξικών οξέων, καθώς μειώνεται η ποσότητα της οργανικής ύλης που περιέχεται στο νερό και οξειδώνονται οι ενώσεις που τα δημιουργούν (U.S EPA., 1999a). Επίσης ο μη σχηματισμός τριαλογονομένων παραγώγων μεθανίου οφείλεται στο διαφορετικό μηχανισμό οξείδωσης, το διοξείδιο του χλωρίου δρα ως ελεύθερη ρίζα αφαιρώντας ηλεκτρόνια, ενώ το χλώριο αντικαθιστά (Gagnon et al., 2005). Οι κυριότεροι παράγοντες που

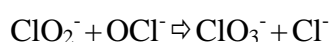
επιηρεάζουν τη δημιουργία των παραπροϊόντων είναι η συγκέντρωση και το είδος των ουσιών που περιέχονται στο νερό (Chang et al., 2001).

Το χλωριώδες και το χλωρικό ιόν παράγονται σε διάφορες αναλογίες ως τελικά προϊόντα της επεξεργασίας του νερού και της σταδιακής διάσπασης του διοξειδίου του χλωρίου, περίπου το 68% της ποσότητας του διοξειδίου του χλωρίου μετατρέπεται σε χλωριώδες ιόν, ενώ 9% σε χλωρικό ιόν χωρίς να συνυπολογίζονται οι επιδράσεις μετάλλων και μη οργανικών στοιχείων που περιέχονται στο νερό (Korn et al., 2002, U.S EPA., 1999a). Σε ορισμένες περιπτώσεις η μετατροπή του διοξειδίου του χλωρίου σε χλωριώδες ιόν κυμαίνεται μεταξύ 30% έως 70% της αρχικής του ποσότητας (Gagnon et al., 2005). Οι βασικότεροι παράγοντες που συμβάλλουν στο σχηματισμό τους είναι :

- ο η απαιτούμενη δόση διοξειδίου του χλωρίου
- ο η αναλογία μεταξύ του υποχλωριώδους νατρίου και του χλωρίου κατά την παρασκευή του διοξειδίου του χλωρίου
- ο η έκθεση του νερού στο ηλιακό φως
- ο οι αντιδράσεις μεταξύ του χλωρίου και το χλωριώδους ιόντος, όταν χρησιμοποιείται χλώριο για τη γενικότερη απολύμανση της μονάδας
- ο τα επίπεδα του χλωρικού ιόντος στο υποχλωριώδες νάτριο (U.S EPA., 1999a).

Μεγάλος αριθμός μη οργανικών και βιολογικών συστατικών που περιέχονται στο νερό αντιδρούν με το διοξείδιο του χλωρίου. Τα χλωριόντα (Cl^-) και χλωριώδη ιόντα (ClO_2^-) είναι αυτά που κυριαρχούν κατά τις διασπάσεις αυτές, αν και σε πολλές περιπτώσεις επίσης σχηματίζεται και χλωρικό ιόν (ClO_3^-). Οι οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται με το οργανικό υλικό παίζουν σημαντικό ρόλο στη διάσπαση του διοξειδίου του χλωρίου σε χλωριώδες ιόν. Ουσιαστικά το χλωριώδες ιόν είναι το βασικό προϊόν της αναγωγής του διοξειδίου χλωρίου. Η αναλογία μεταξύ χλωριώδους και χλωρικού ιόντος εξαρτάται από την τιμή του pH και το ηλιακό φως (U.S EPA., 1999a).

Το χλωριώδες ιόν είναι γενικά σταθερό όταν περιέχεται στο νερό οργανική ύλη, αλλά οξειδώνεται προς χλωρικό ιόν αν προστεθεί χλώριο ως δεύτερο απολυμαντικό μέσο, όπως φαίνεται στην παρακάτω αντίδραση.



Το χλωρικό ιόν ουσιαστικά σχηματίζεται από την αντίδραση μεταξύ του χλωριώδους ιόντος και του χλωρίου κατά την απολύμανση με χλώριο. Επίσης το διοξείδιο του χλωρίου διασπάται σε χλωριώδες και χλωρικό ιόν σε τιμές $\text{pH} > 9$ κατά την παρακάτω αντίδραση (Bergmann et al., 2005).



Το ηλιακό φως αυξάνει τη συγκέντρωση του χλωρικού ιόντος και η έκθεση σε υπεριώδη ακτινοβολία αλλάζει τις αντιδράσεις μεταξύ του διοξειδίου του χλωρίου και των βρωμιόντων (U.S EPA.,1999a).

Γενικότερα το διοξείδιο του χλωρίου σχηματίζει ελάχιστα οργανικά παραπροϊόντα. Δε σχηματίζονται τριαλογονομένα παράγωγα του μεθανίου, παρά μικρές ποσότητες ενώσεων αλογόνων, ενώ δεν πραγματοποιούνται αντιδράσεις με αμμώνιο (Bergmann et al., 2005; U.S EPA., 1999a).

7 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΧΛΩΡΙΟΥ

Η χρήση του διοξειδίου του χλωρίου άρχισε να εξαπλώνεται, καθώς δε δημιουργεί επικίνδυνα οργανικά παραπροϊόντα και είναι πιο αποτελεσματικό στην αδρανοποίηση των παθογόνων μικροοργανισμών σε σχέση με το χλώριο (Veschetti et al., 2005). Ακόμη κι όταν παρατηρείται ο σχηματισμός τριαλογονομένων παραγώγων του μεθανίου είναι σε πολύ χαμηλά επίπεδα σε σχέση με το χλώριο, αποδεκτά από τη νομοθεσία και δεν προκαλούν προβλήματα υγείας στον άνθρωπο (Chang et al, 2000). Το διοξείδιο του χλωρίου μπορεί να χαρακτηριστεί, εκτός από απολυμαντικό μέσο, ως παραπροϊόν της ηλεκτροχημικής απολύμανσης στου νερού (Bergmann et al., 2005).

7.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Το διοξείδιο του χλωρίου είναι επίσης αποτελεσματικό στην απομάκρυνση γεύσεων και οσμών, οι οποίες προέρχονται από άλγη και φαινόλες. Ακόμη οξειδώνει το σίδηρο και το μαγγάνιο αντιδρώντας με τις διαλυτές μορφές τους και δημιουργώντας ιζήματα που απομακρύνονται στη συνέχεια με καθίζηση ή διήθηση (U.S EPA., 1999a).

7.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ

Παρόλο που το διοξείδιο του χλωρίου δε σχηματίζει οργανικά παραπροϊόντα, αποτελεί κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία, καθώς ευνοεί το σχηματισμό μη οργανικών παραπροϊόντων, όπως χλωριώδες (ClO_2^-) και χλωρικό (ClO_3^-) ιόν. Η έκθεση στο χλωριώδες ιόν προκαλεί κυρίως προβλήματα στο αιμοποιητικό σύστημα. Σε μικρές συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσει αναιμία καταστρέφοντας την κυτταρική μεμβράνη των ερυθρών αιμοσφαιρίων, ενώ σε υψηλές συγκεντρώσεις αυξάνει τη μεθεμογλοβίνη. Σε έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί, έχει αποδειχθεί πως το χλωριώδες ιόν προκαλεί προβλήματα στο νευρικό σύστημα των εμβρύων και των μικρών παιδιών. Επίσης καθώς το διοξείδιο του χλωρίου και το χλωρικό ιόν μετατρέπονται ραγδαία σε χλωριώδη ιόντα ως αποτέλεσμα της αναγωγής των νιτρικών αλάτων, αυξάνονται τα επίπεδα τοξικότητας στον ανθρώπινο οργανισμό (Veschetti et al., 2005).

7.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟΥΣ ΠΑΘΟΓΟΝΟΥΣ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥΣ

Το διοξείδιο του χλωρίου είναι πιο δραστικό από το χλώριο στην αδρανοποίηση των παθογόνων μικροοργανισμών, ωστόσο το όζον είναι πιο αποτελεσματικό (U.S EPA., 1999a). Είναι αποτελεσματικό στην αδρανοποίηση παθογόνων πρωτόζωων ανθεκτικών στο χλώριο, όπως *Cryptosporidium parvum* (Gagnon et al., 2005).

7.3.1 ΑΔΡΑΝΟΠΟΙΗΣΗ ΙΩΝ

Σε πειράματα που έχουν πραγματοποιηθεί το διοξείδιο του χλωρίου είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό στην αδρανοποίηση των ιών, όταν δεν είναι συσσωρευμένοι (U.S EPA., 1999a). Δεν έχει καθοριστεί ακόμη ο ακριβής μηχανισμός αδρανοποίησης των ιών. Στις περισσότερες περιπτώσεις ο ιός αδρανοποιείται με 'καταστροφή' του RNA, ενώ σε ελάχιστες περιπτώσεις το διοξείδιο του χλωρίου αντιδρά με τις πρωτεΐνες (Li et al., 2004).

Ο ιός *Hepatitis A* είναι από τους ιούς που μεταδίδονται με το νερό και είναι ιδιαίτερα ανθεκτικός στα απολυμαντικά στοιχεία, καθώς όταν η συγκέντρωση του διοξειδίου του χλωρίου είναι 5mg/l ο ιός δεν αδρανοποιείται ακόμη κι μετά από χρόνο επαφής εξήντα λεπτών. Ωστόσο με αύξηση της συγκέντρωσης κατά 2,5mg/l, ο ιός αδρανοποιείται ολοκληρωτικά μέσα σε δέκα λεπτά χρόνο επαφής (Li et al., 2004). Επίσης κατά την αδρανοποίηση των *Echovirus*, *Coxsackie virus* και *Sendaivirus* είναι καλύτερο από το χλώριο (U.S EPA., 1999a).

7.3.2 ΑΔΡΑΝΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΩΤΟΖΩΩΝ

Η αποτελεσματικότητα του διοξειδίου του χλωρίου στην αδρανοποίηση του *Gardia* είναι παρόμοια με εκείνη του χλωρίου. Για χρόνο επαφής εξήντα λεπτά απαιτείται 1,5–2 mg/l για την αδρανοποίηση του βακτηρίου σε θερμοκρασία 1°C–25°C και pH 6-9. Έχει βρεθεί πως το βακτήριο *Cryptosporidium* είναι περίπου 8 με 16 φορές πιο ανθεκτικό στο διοξείδιο του χλωρίου από το *Gardia* (U.S EPA., 1999a).

Ουσιαστικά το διοξείδιο του χλωρίου είναι πιο αποτελεσματικό απολυμαντικό στην αδρανοποίηση των κυστών από ότι το χλώριο και πιο δραστικό σε υψηλές τιμές pH (U.S EPA., 1999a).

7.3.3 ΑΔΡΑΝΟΠΟΙΗΣΗ ΒΑΚΤΗΡΙΩΝ

Γενικότερα το διοξείδιο του χλωρίου είναι πιο δραστικό από το χλώριο. Σε έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί το διοξείδιο του χλωρίου είναι πιο αποτελεσματικό στην αδρανοποίηση των κολοβακτηριδίων σε χρόνο επαφής πέντε λεπτά, ενώ στα τριάντα λεπτά τόσο το χλώριο όσο και το διοξείδιο του χλωρίου έχουν την ίδια δραστικότητα (U.S EPA., 1999a). Πιο συγκεκριμένα επιτυγχάνεται αδρανοποίηση του *E.coli* κατά

99,9% με απαιτούμενη ποσότητα διοξειδίου του χλωρίου 1,4mg/l, ενώ η απαιτούμενη ποσότητα του χλωρίου για το ίδιο ποσοστό αδρανοποίησης είναι 1,8mg/l (Junli et al., 1997). Επίσης με τη χρήση διοξειδίου του χλωρίου επιτυγχάνεται σε μεγαλύτερα ποσοστά αδρανοποίηση του *Bacillus subtilis*, *Bacillus mesentericus*, *Bacillus megatherium spores*, ενώ έχει παρόμοια αποτελέσματα με το χλώριο στα βακτήρια *Salmonella typhosa* και *Salmonella Paratyphi* (U.S EPA., 1999a). Πιο συγκεκριμένα επιτυγχάνεται αδρανοποίηση του *Bacillus* σε τιμές pH 3-9. Ακόμη σε θερμοκρασία 19°C και χρόνο επαφής είκοσι λεπτά αδρανοποιούνται κατά 95% τα βακτήρια *Staphylococcus aureus* και *Chloropseudomonas* (Junli et al., 1997).

Ακόμη και στην παρουσία διαλυμένων στερεών είναι αποτελεσματικό στην αδρανοποίηση του *E.coli* και του *Bacillus anthracoides* σε δόσεις 1-5 mg/l (U.S EPA., 1999a). Πολλές φορές χρησιμοποιείται για την απολύμανση των σωληνώσεων, μέρη στα οποία αναπτύσσεται το βακτήριο *Legionella* (Bergmann et al., 2005).



ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Αχαρνών 364 & Γλαράκι 10B, Αθήνα, 11145

Τηλ: 211 1820 163-4-5 Φαξ: 211 1820 166

e-mail: enerchem@enerchem.gr

web site: www.enerchem.gr