

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**Η σημασία του διαλυμένου στο νερό οξυγόνου για την
εκτροφή υδρόβιων ζωικών οργανισμών. Διακυμάνσεις στη διάρκεια
της ημέρας.**

ΤΟΥΣΗΣ ΛΟΥΚΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΚΛΑΟΥΔΑΤΟΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ, Καθηγητής

Βόλος 2007



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 6848/1
Ημερ. Εισ.: 22-01-2009
Δωρεά: Συγγραφέας
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΙΥΠ
2007
ΤΟΥ

Μέλη τριμελούς εξεταστικής επιτροπής :

Κλαουδάτος Σπ., Καθηγητής Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου
Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Νεοφύτου Χρ., Καθηγητής Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου
Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Παναγιωτάκη Παν., Επικ. Καθηγήτρια Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και
Υδάτινου Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή διατριβή με θέμα «Η σημασία του διαλυμένου στο νερό οξυγόνου για την εκτροφή υδρόβιων ζωικών οργανισμών. Διακυμάνσεις στη διάρκεια της ημέρας.» εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Υδατοκαλλιεργειών του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Στην εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής διατριβής συνέβαλαν με τις διορθώσεις και τις συμβουλές τους τα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής, Κλαουδάτος Σπυρίδων, Καθηγητής Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Νεοφύτου Χρήστος, Καθηγητής Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος και Παναγιωτάκη Παναγιώτα, Επίκουρος Καθηγήτρια Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, τους οποίους ευχαριστώ θερμά. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους Μπαντίδο Ευστάθιο και Στρατάκο Αλέξανδρο για την συμβολή τους, στο πειραματικό μέρος της παρούσας πτυχιακής διατριβής.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή.....	5
1.1 Η συγκέντρωση του οξυγόνου και οι υδρόβιοι οργανισμοί.....	9
1.1.1 Επίδραση της χορηγούμενης τροφής στην κατανάλωση του οξυγόνου	12
1.1.2 Συσχέτιση του σωματικού βάρους με την κατανάλωση του οξυγόνου	14
1.1.3 Επίδραση του διαλυμένου οξυγόνου στην τοξικότητα της αμμωνίας	15
1.1.4 Επίδραση της θερμοκρασίας στην κατανάλωση του οξυγόνου.....	16
1.1.5 Επίδραση της συγκέντρωσης του οξυγόνου στις βιολογικές διεργασίες διαφόρων ειδών.....	16
1.1.6 Λοιπές έρευνες για την κατανάλωση του οξυγόνου από τους υδρόβιους οργανισμούς.....	17
1.1.7 Η επίδραση της συγκέντρωσης του οξυγόνου στις βιολογικές διαδικασίες της αστακοκαραβίδας (<i>Nephrops norvegicus</i>).	18
1.1.8 Η επίδραση της συγκέντρωσης του οξυγόνου στις βιολογικές διαδικασίες των εκτρεφόμενων ευρύαλων ειδών.	19
1.2 Οικοσυστήματα γλυκού νερού.....	21
1.2.1 Στάσιμα ύδατα.....	21
1.2.2 Ρέοντα ύδατα.....	24
1.3 Θαλάσσια ύδατα.....	26
1.4 Υφάλμυρα ύδατα.....	27
2. Υλικά και μέθοδοι.....	30
2.1 Σύστημα εκτροφής.....	30
2.2 Μέτρηση του διαλυμένου οξυγόνου.....	33
3. Αποτελέσματα.....	35
3.1 Επίδραση της θερμοκρασίας στην συγκέντρωση του οξυγόνου σε κάθε ενυδρείο εκτροφής.....	38
3.2 Κατανομή του διαλυμένου οξυγόνου στις ομάδες ενυδρείων εκτροφής.....	42
4. Συζήτηση.....	46
5. Βιβλιογραφία.....	49

1. Εισαγωγή

Το οξυγόνο είναι το αέριο που περιέχεται στην ατμόσφαιρα σε ποσοστό 21% και είναι πολύ σημαντικό αέριο για την αναπνευστική λειτουργία των ζωντανών οργανισμών. Στα υδάτινα οικοσυστήματα το διαλυμένο οξυγόνο είναι πολύ λιγότερο από το αντίστοιχο της ατμόσφαιρας. Βασική αιτία πρέπει να θεωρηθεί η δυσκολία διάλυσης του στο υδάτινο περιβάλλον. Οι δύο σημαντικές πηγές που τροφοδοτούν το υδάτινο περιβάλλον με οξυγόνο είναι η ατμόσφαιρα και οι φυτικοί οργανισμοί οι οποίοι φωτοσυνθέτουν. Το ποσό του οξυγόνου που μεταφέρεται από τον αέρα στο νερό εξαρτάται από την θερμοκρασία του νερού, την αλατότητα (Πιν.1), το βαθμό κορεσμού του νερού και την ατμοσφαιρική πίεση. Η διασπορά του οξυγόνου στο νερό επιτυγχάνεται με τα ρεύματα και την καλή κυκλοφορία του νερού. Γενικά, η διάχυση του οξυγόνου μέσα στο νερό είναι αρκετά αργή. Το μέγιστο ποσό του οξυγόνου που μπορεί να διαλυθεί στο νερό αποτελεί τον βαθμό κορεσμού της αντίστοιχης μάζας (Reid, 1961).

Σχεδόν όλοι οι υδρόβιοι οργανισμοί με εξαίρεση μερικά αναερόβια βακτήρια, πρέπει να έχουν ικανή ποσότητα οξυγόνου για να επιβιώσουν. Οι περισσότεροι από αυτούς τους οργανισμούς λαμβάνουν το οξυγόνο από το νερό. Η λήψη του οξυγόνου από το νερό και γενικά των αερίων από το νερό, είναι σημαντική λειτουργία για τους υδρόβιους οργανισμούς. Το διαλυμένο οξυγόνο αναφέρεται ως το αέριο που είναι διαλυμένο στο νερό. Οι υδρόβιοι οργανισμοί έχουν την ικανότητα να χρησιμοποιούν το διαλυμένο οξυγόνο του νερού για τις αναπνευστικές τους ανάγκες όπως αντίστοιχα και τα χερσαία ζώα αλλά με τη διαφορά ότι οι υδρόβιοι οργανισμοί χρησιμοποιούν τα βράγχια.

Σε σταθερή θερμοκρασία η ποσότητα κορεσμού του οξυγόνου στο νερό, σχετίζεται γραμμικά με την περιεκτικότητα σε αλατότητα. Όσο η θερμοκρασία αυξάνεται η κλίση της ευθείας στο διάγραμμα οξυγόνου-αλατότητας μειώνεται (Wheaton, 1977). Επιπρόσθετα το νερό χαμηλής θερμοκρασίας, είναι κορεσμένο όταν έρχεται σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα, περιέχοντας πάνω από 15 ppm οξυγόνο. Η συγκέντρωση του οξυγόνου στο νερό επηρεάζει σημαντικά το ποσό του οξυγόνου που μεταφέρεται στην επιφάνεια επαφής αέρα-νερού. Έτσι η συγκέντρωση του οξυγόνου στο νερό σχετίζεται με το επίπεδο κορεσμού.

Πίνακας 1. Διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό (mg/l) για διάφορες αλατότητες και θερμοκρασίες (Stirling, 1977).

Θερμοκρασία °C	Αλατότητα							
	0	5	10	15	20	25	30	35
0	14.6	14.1	13.6	13.2	12.7	12.6	11.9	11.5
2	13.8	13.3	12.9	12.5	12.1	11.6	11.3	10.9
4	13.1	12.7	12.2	11.8	11.5	11.1	10.7	10.3
6	12.5	12.1	11.6	11.25	10.9	10.5	10.2	9.8
8	11.8	11.45	11.1	10.7	10.4	10.1	9.7	9.4
10	11.3	10.9	10.6	10.2	9.9	9.6	9.3	9
12	10.8	10.45	10.1	9.8	9.5	9.2	8.9	8.6
14	10.3	9.95	9.7	9.4	9.1	8.8	8.6	8.2
16	9.9	9.55	9.3	9	8.7	8.5	8.2	7.9
18	9.5	9.15	8.9	8.6	8.4	8.1	7.9	7.6
20	9.1	8.8	8.6	8.3	8.1	7.8	7.6	7.3
22	8.7	8.6	8.3	8.1	7.9	7.7	7.5	7.2
24	8.4	8.3	8.1	7.8	7.6	7.4	7.1	6.9
26	8.1	8	7.7	7.5	7.3	7.1	6.8	6.6
28	7.8	7.7	7.5	7.3	7	6.8	6.6	6.4
30	7.6	7.4	7.2	7	6.8	6.6	6.4	6.1
32	7.3	7.2	7	6.9	6.6	6.3	6.1	5.9
34	7.1	7	6.9	6.7	6.4	6.2	6	5.8
36	6.9	6.8	6.7	6.5	6.2	6.1	5.9	5.7
38	6.7	6.6	6.5	6.4	6.1	5.9	5.7	5.6
40	6.5	6.5	6.3	6.2	6	5.7	5.6	5.5

Η φωτοσύνθεση είναι η δεύτερη κύρια πηγή οξυγόνου στα υδάτινα οικοσυστήματα . Το οξυγόνο είναι προϊόν της φωτοσύνθεσης και προστίθεται στο νερό από τους φωτοσυνθέτοντες οργανισμούς. Η φωτοσύνθεση και κατ' επέκταση η παραγωγή οξυγόνου συμβαίνει αποκλειστικά με την παρουσία φωτός. Οι φυτικοί οργανισμοί που φωτοσυνθέτουν εκλύουν οξυγόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας και καταναλώνουν οξυγόνο κατά τη διάρκεια της νύχτας. Συμπερασματικά, τις ηλιόλουστες μέρες, το οξυγόνο που παράγεται από τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης είναι αρκετό με αποτέλεσμα τον υπερκορεσμό των επιφανειακών νερών με οξυγόνο. Τότε το οξυγόνο είναι δυνατό να διοχετευτεί στην ατμόσφαιρα.

Η περιεκτικότητα του οξυγόνου στα στάσιμα ύδατα φτάνει σε ελάχιστες ποσότητες κατά τις πρωινές ώρες και το μέγιστο το μεσημέρι ως το απόγευμα. Έτσι σε ένα υδροστάσιο στο οποίο υπάρχουν στάσιμοι υδάτινοι όγκοι και στο οποίο εκτρέφονται υδρόβιοι οργανισμοί και υπάρχουν φυτικοί οργανισμοί, είναι απαραίτητος ο έλεγχος για τυχόν μείωση της ποσότητας του διαλυμένου οξυγόνου κατά τις πρωινές ώρες (Wheaton,1977).

Η ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου στα τρεχούμενα νερά συνήθως βρίσκεται κοντά στο σημείο κορεσμού, επηρεαζόμενο από τη θερμοκρασία και την ατμοσφαιρική πίεση. Σε μεγάλα υψόμετρα, η θερμοκρασία του νερού είναι χαμηλή και συνεπώς η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου είναι υψηλή (Πιν. 2).

Πίνακας 2. Σχέση μεταξύ υψόμετρου, θερμοκρασίας του νερού και της ποσότητας (ppm) του διαλυμένου οξυγόνου μέσα σε αυτό (Leitritz,1969).

Θερμοκρασία °C	Υψόμετρο σε μέτρα							
	0	300	600	900	1200	1500	1800	2100
4.4	13.0	12.5	12.1	11.6	11.2	10.8	10.4	10.0
7.2	12.1	11.7	11.2	10.8	10.5	10.1	9.7	9.3
7.8	11.9	11.5	11.1	10.7	10.3	9.9	9.6	9.2
8.3	11.8	11.3	10.9	10.5	10.2	9.8	9.4	9.1
8.9	11.6	11.2	10.8	10.4	10.0	9.7	9.3	9.0
9.4	11.5	11.1	10.6	10.3	9.9	9.5	9.2	8.9
10.0	11.3	10.9	10.5	10.1	9.8	9.4	9.1	8.7
10.6	11.2	10.8	10.4	10.0	9.7	9.3	9.0	8.6
11.1	11.0	10.6	10.2	9.9	9.5	9.2	8.9	8.5
11.7	10.9	10.5	10.1	9.8	9.4	9.1	8.7	8.4
12.2	10.8	10.4	10.0	9.6	9.3	9.0	8.6	8.3
12.8	10.6	10.3	9.9	9.5	9.2	8.9	8.5	8.2
15.6	10.0	9.6	9.3	8.9	8.6	8.3	8.0	7.7
18.3	9.4	9.1	8.8	8.4	8.1	7.8	7.5	7.2
21.1	9.0	8.7	8.4	8.0	7.8	7.4	7.2	7.2
23.9	8.6	8.3	8.0	7.7	7.4	7.1	6.8	6.5

Και στους τρεχούμενους υδάτινους όγκους το ποσό του διαλυμένου οξυγόνου αυξάνεται μετά την ανατολή του ηλίου. Τα διάφορα είδη ψαριών έχουν προσαρμοστεί να ζουν σε διάφορες συγκεντρώσεις οξυγόνου. Για παράδειγμα τα είδη της οικογένειας των Salmonidae, ζουν σε συγκεντρώσεις οξυγόνου 7-9 mg/l, σε αντίθεση με τα κυπρινοειδή που μπορούν να ζήσουν και κάτω από τα 3 mg/l (Νεοφύτου, 1997). Γενικά, στην υδατοκαλλιέργεια το επίπεδο κορεσμού του οξυγόνου θα πρέπει να βρίσκεται πάνω από τα 70%. Στις υδατοκαλλιέργειες, η διαθεσιμότητα του οξυγόνου είναι σημαντικό μέρος στη διαχείριση της μονάδας και ιδιαίτερα όταν το νερό εκτροφής περιέχει υψηλό μικροβιακό φορτίο.

Για την επιτυχία μιας υδατοκαλλιέργειας, θα πρέπει να υπολογιστούν και να σταθμιστούν όλοι οι παράγοντες που διαμορφώνουν τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου, είτε αυτοί περιορίζουν είτε βοηθούν την κατανάλωση του οξυγόνου.

Σε υδατοκαλλιεργητικές εγκαταστάσεις (π.χ υδροστάσια), τον κύριο ρόλο στη διαθεσιμότητα ή μη του οξυγόνου παίζει η φωτοσύνθεση. Το οξυγόνο της φωτοσύνθεσης παράγεται κατά τη διάρκεια της ημέρας και καταναλώνεται κατά τη διάρκεια της νύχτας κατά τη διαδικασία της αναπνοής. Οπότε την ημέρα τα επίπεδα του οξυγόνου είναι υψηλότερα σε σχέση με τη νυχτερινές ώρες (Wheaton,1977). Με την παραπάνω άποψη, συμφωνεί και ο Alzieu (1989), θεωρώντας συγκεκριμένα την επιχλωρίδα και επιπανίδα των υδατοκαλλιεργητικών εγκαταστάσεων, σημαντικό παράγοντα στη διαθεσιμότητα του οξυγόνου, κυρίως κατά τις νυχτερινές ώρες.

Το διαλυμένο οξυγόνο, πέρα από τη κάλυψη των αναπνευστικών αναγκών των υδρόβιων οργανισμών, αποτελεί για την υδατοκαλλιέργεια το πιο χαρακτηριστικό στοιχείο, που θα καθορίσει τις βιολογικές δυνατότητες του διαθέσιμου νερού. Ακόμα η κατανάλωση του οξυγόνου από τους υδρόβιους οργανισμούς αποτελεί σημαντική παράμετρο για το μεταβολισμό των οργανισμών (αερόβιοι οργανισμοί). Η ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου υποδηλώνει το είδος των βιολογικών και χημικών αντιδράσεων που πραγματοποιούνται σε ένα υδάτινο οικοσύστημα, καθώς επίσης και την τροφική του κατάσταση. (Κλαουδάτος, 2005).

Η μείωση οξυγόνου εμφανίζεται όταν η κατανάλωση οξυγόνου υπερβαίνει την παραγωγή οξυγόνου. Σ' αυτό μπορεί να συμβάλουν πολλοί παράγοντες όπως, η εποχή (θερμοκρασία), ο ρυθμός ανανέωσης του νερού, η ύπαρξη οργανικής ουσίας, η μεταβολή της αλατότητας. Ακόμα όταν αναφερόμαστε σε πλωτούς κλωβούς, το βάθος πόντισης και η απόσταση των κλωβών από την ακτή παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανεπάρκεια του οξυγόνου, κατά την διάρκεια της εκτροφής σε πλωτούς κλωβούς (Κλαουδάτος, 2005).

Αν η συγκέντρωση του οξυγόνου είναι χαμηλή, το φαινόμενο ονομάζεται υποξεία. Στην περίπτωση αυτή, τα επίπεδα του οξυγόνου δεν είναι ικανά να συντηρήσουν τους εκτρεφόμενους οργανισμούς. Ακόμα όταν το επίπεδο του κορεσμένου οξυγόνου πλησιάζει το 100%, τότε υπάρχει ικανό οξυγόνο για τις αναπνευστικές ανάγκες των υδρόβιων οργανισμών (νορμοξία). Τέλος όταν το επίπεδο του κορεσμένου οξυγόνου ανέλθει πάνω από το 100%, τα ύδατα χαρακτηρίζονται ως υπερκορεσμένα σε οξυγόνο.

Επίσης παράγοντες που συμβάλλουν στην ανεπάρκεια του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό, είναι η πυκνότητα εκτροφής (ιχθυοφόρτιση) και ο ρυθμός παροχής της τροφής. Όταν σε μια μονάδα υδατοκαλλιέργειας η πυκνότητα εκτροφής είναι υψηλή τότε η κατανάλωση του οξυγόνου είναι περισσότερη από την παροχή, με

αποτέλεσμα την ανεπάρκεια του οξυγόνου. Η έλλειψη του οξυγόνου επιφέρει βλαβερές συνέπειες στους οργανισμούς όπως στρες και μείωση του ρυθμού ανάπτυξης. Σημαντικός παράγοντας που διαμορφώνει την συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό είναι η ροή αποβλήτων και γενικά οργανικής ουσίας, δεδομένου ότι καταναλώνεται οξυγόνο για την μικροβιακή διάσπαση τους. Σημαντικό μέρος του διαλυμένου στο νερό οξυγόνου καταναλώνεται από το ίζημα του πυθμένα. (Hall & Holby, 1986).

1.1 Η συγκέντρωση του οξυγόνου και οι υδρόβιοι οργανισμοί

Το οξυγόνο συχνά είναι περιοριστικός παράγοντας στα υδάτινα οικοσυστήματα. Η πρωτογενής παραγωγή παράγει οξυγόνο με την παρουσία φωτός. Είναι δυνατόν το οξυγόνο να περιορίσει και την πρωτογενή και την δευτερογενή παραγωγή.

Είναι αξιοσημείωτο ότι οι υδρόβιοι οργανισμοί προσαρμόζονται ως ένα σημείο σε μικρές συγκεντρώσεις οξυγόνου. Οι περιοριστικές συγκεντρώσεις οξυγόνου εξαρτώνται από το είδος ψαριού, την θερμοκρασία του νερού, το επίπεδο της δραστηριότητας του ψαριού και την καταπόνηση (Lee et al,2003). Γενικά ισχύει ότι κάτω από 3 ppm διαλυμένου οξυγόνου η επιβίωση για τα ψάρια είναι δύσκολη. Υπάρχουν όμως οργανισμοί όπως τα δίθυρα μαλάκια που αντέχουν σε αυτά τα χαμηλά επίπεδα οξυγόνου για μικρό χρονικό διάστημα. Επίσης ορισμένα είδη ψαριών μπορούν να επιβιώσουν σε συγκεντρώσεις οξυγόνου μεταξύ 3 και 5 ppm για επίσης μικρό χρονικό διάστημα. Πάνω από 5 ppm διαλυμένου οξυγόνου όλοι οι υδρόβιοι οργανισμοί έχουν την ικανότητα επιβίωσης, με την προϋπόθεση ότι οι άλλοι περιβαλλοντικοί παράμετροι βρίσκονται εντός των επιτρεπτών ορίων.

Συνήθως, αλλά όχι πάντα, τα ενήλικα άτομα έχουν μεγαλύτερη αντοχή στις χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου. Είναι δύσκολο όμως να πούμε ότι για όλους τους υδρόβιους οργανισμούς ισχύει ότι τα νεαρά άτομα είναι πιο ευαίσθητα σε χαμηλά επίπεδα οξυγόνου από ότι τα ενήλικα του ίδιου είδους, διότι μεταξύ των ειδών υπάρχουν μεγάλες διαφορές σχετικά με την αντοχή τους στις χαμηλές συγκεντρώσεις του οξυγόνου. (Wheaton,1977).

Πίνακας 3 . Κατανάλωση οξυγόνου σε mg/kg σωματικού βάρους ψαριού/h (Φώτης και Αγγελίδης, 2003)

Θερμοκρασία °C	Κυπρίνος, Χέλι	Πεταλούδα, Γληνί	Σαλμονοειδή, Τούρνα
2	7.2	14.4	100
5	14.4	26	130
10	36	53	160
12.5	8.5	68	175
15	58-72	83.5	173-216
30	200	216	432

Η θερμοκρασία του νερού έχει μεγάλη επίδραση στην κατανάλωση του οξυγόνου από τους υδρόβιους οργανισμούς (Πιν. 3). Εξαιρέση αποτελούν τα θαλάσσια θηλαστικά. Στα ψάρια η μείωση της θερμοκρασίας του νερού συνεπάγεται μείωση της θερμοκρασίας του σώματος τους. Οι μεταβολικές δραστηριότητες είναι σαφώς ενζυμο-καταλυτικές χημικές αντιδράσεις. Αυτές οι αντιδράσεις γίνονται λιγότερο έντονες όσο η θερμοκρασία μειώνεται. Έτσι ο μεταβολισμός και η δραστηριότητα των ψαριών μειώνεται με την πτώση της θερμοκρασίας, μειώνοντας και τις απαιτήσεις σε οξυγόνο.

Επιπρόσθετα, υπάρχει μία ιδανική και μία μέγιστη θερμοκρασία όπου το ψάρι επιβιώνει. Στην ιδανική θερμοκρασία, η κατανάλωση του οξυγόνου είναι υψηλή λόγω της ραγδαίας ανάπτυξης και της έντονης δραστηριότητας. Αν όμως η θερμοκρασία υπερβεί τα ιδανικά όρια, τότε οι οργανισμοί υπόκεινται σε καταπόνηση. Η καταπόνηση επιφέρει στα ψάρια υψηλότερη κατανάλωση οξυγόνου. Έχει παρατηρηθεί ότι αν τα ψάρια φοβηθούν αυξάνεται η καταπόνηση με συνέπεια την αύξηση της κατανάλωσης του οξυγόνου. Αναφέρεται ότι η καταπόνηση είναι μια αιτία που τα ψάρια πεθαίνουν από ασφυξία κατά την αλιευτική δραστηριότητα.

Πίνακας 4 . Σχετική ανάγκη για οξυγόνο σε διάφορα είδη ψαριών (Φώτης και Αγγελίδης, 2003).

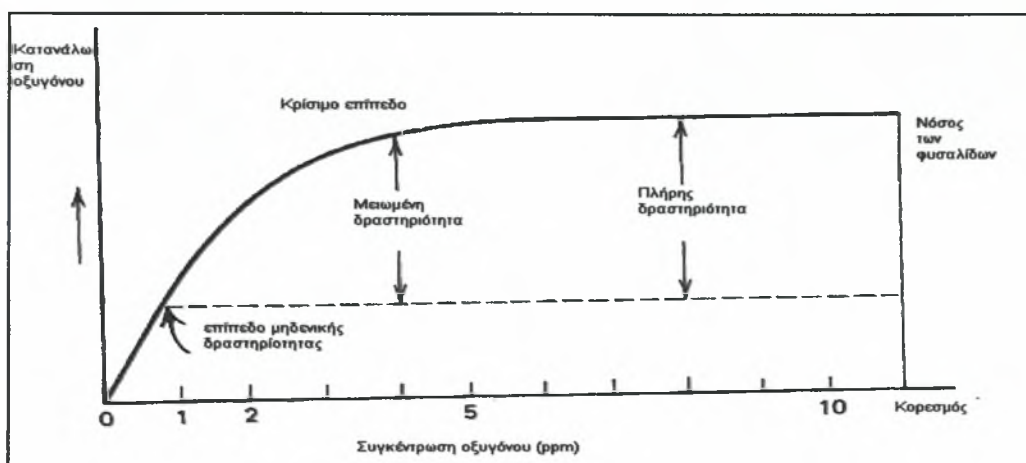
<i>Cyprinus carpio</i>	1
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	2.83
<i>Rutilus rutilus</i>	1.51
<i>Perca fluviatilis</i>	1.46
<i>Abramis brama</i>	1.41
<i>Esox lucius</i>	1.10
<i>Anguilla anguilla</i>	0.83
<i>Tinca tinca</i>	0.83
<i>Carassius carassius</i>	0.81

Οι ανάγκες των εκτρεφόμενων ψαριών σε οξυγόνο διαφέρουν από είδος σε είδος. Στα ψάρια αυτό φαίνεται καθαρά (Πιν. 4), όπου ως τιμή αναφοράς ορίζεται η ποσότητα εκείνη που απαιτεί ο κυπρίνος για τις λειτουργικές του ανάγκες και η οποία συμβολίζεται με τη μονάδα. Το επίπεδο δραστηριότητας επηρεάζει την κατανάλωση του οξυγόνου. Το ποσό του οξυγόνου που καταναλώνεται είναι συνάρτηση της συγκέντρωσης του νερού σε οξυγόνο. Όταν η συγκέντρωση του οξυγόνου είναι χαμηλή, οι οργανισμοί δεν μπορούν να λάβουν τις απαραίτητες ποσότητες οξυγόνου για τις μεταβολικές τους ανάγκες, με αποτέλεσμα πολλές φορές να είναι αδύνατο να επιβιώσουν. Όταν η συγκέντρωση του οξυγόνου βρίσκεται σε κανονικά επίπεδα οι οργανισμοί μπορούν να καλύψουν τις βασικές μεταβολικές τους ανάγκες με επιτυχία. Υπάρχει όμως μία διακύμανση συγκεντρώσεων οξυγόνου, όπου οι υδρόβιοι οργανισμοί μπορούν να επιβιώσουν, αλλά δεν μπορούν να καλύψουν περαιτέρω μεταβολικές ανάγκες. Αυτές οι συγκεντρώσεις του οξυγόνου κάνουν τους υδρόβιους οργανισμούς ευάλωτους σε ανταγωνιστές, ασθένειες και άλλες αρνητικές επιδράσεις (Wheaton, 1977).

Οι υδρόβιοι οργανισμοί θα πρέπει να διαβιούν σε συγκεντρώσεις οξυγόνου όπου δεν περιορίζεται η δραστηριότητά τους. Όταν οι υδρόβιοι οργανισμοί διαβιούν σε υπερκορεσμένο με οξυγόνο νερό, ελλοχεύει ο κίνδυνος να εμφανισθεί η «ασθένεια των φυσαλίδων αέρα» (gas bubble disease). Αυτή η ασθένεια ονομάζεται έτσι διότι, προκαλείται από τον υπερκορεσμό με αέρα στο αίμα των υδρόβιων οργανισμών. Με τον σχηματισμό πολλών φυσαλίδων προκαλείται ο θάνατος, διότι οι φυσαλίδες σχηματίζονται και στους ιστούς εκτός απ' το αίμα.

Τα κρίσιμα και θανατηφόρα επίπεδα εξαρτώνται κυρίως από την βιολογία του είδους. Το επίπεδο κορεσμού του οξυγόνου καθορίζεται αυστηρά από φυσικούς παράγοντες, όπως η θερμοκρασία του νερού και η αλατότητα.

Ο ρυθμός ανάπτυξης των υδρόβιων οργανισμών αυξάνεται όσο η θερμοκρασία του νερού αυξάνεται (Εικ.1). Είναι γνωστό ότι όσο αυξάνεται η θερμοκρασία, αυξάνεται και η κατανάλωση του οξυγόνου από τους υδρόβιους οργανισμούς. Έτσι η κρίσιμη συγκέντρωση οξυγόνου επίσης αυξάνεται και αν την ίδια χρονική στιγμή η θερμοκρασία αυξηθεί θα μειωθεί η συγκέντρωση του οξυγόνου.



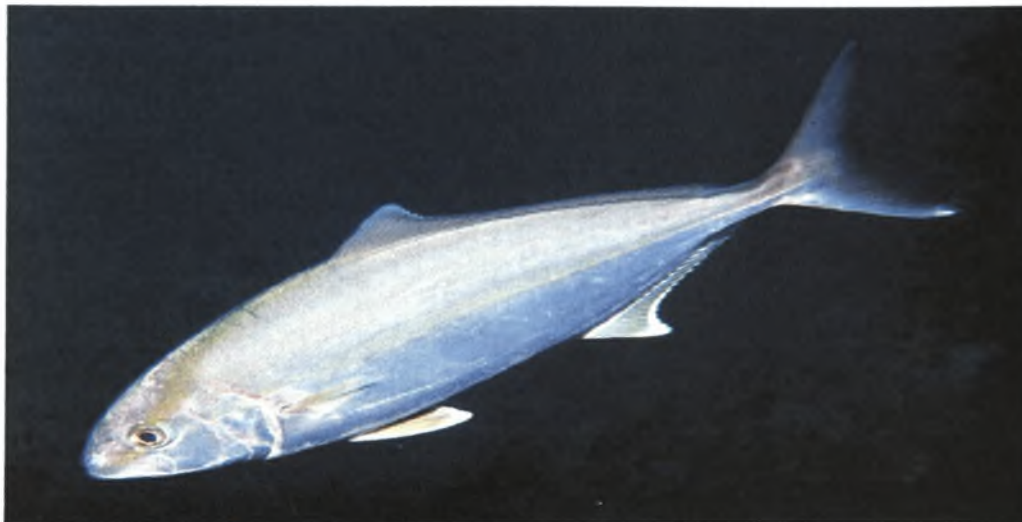
Εικόνα 1. Υποθετικό διάγραμμα που δείχνει την αναπνευστική δραστηριότητα των ψαριών (Wheaton, 1977).

Συμπερασματικά σε ένα σύστημα εκτροφής υδρόβιων οργανισμών οι υψηλότερες θερμοκρασίες θα αυξήσουν την ανάπτυξη των εκτρεφόμενων οργανισμών αλλά θα μειώσουν την συγκέντρωση του οξυγόνου στο νερό. Η διατήρηση της συγκέντρωσης του οξυγόνου στα ιδανικά επίπεδα είναι σημαντική και δύσκολη διαδικασία και απαιτεί έλεγχο από τους υπεύθυνους της εκτροφής.

1.1.1 Επίδραση της χορηγούμενης τροφής στην κατανάλωση του οξυγόνου

Ο ρυθμός παροχής της τροφής είναι πολλές φορές η αιτία που οδηγεί στην ανεπάρκεια του οξυγόνου. Είναι γνωστό ότι μετά την κατανάλωση τροφής, οι υδρόβιοι οργανισμοί καταναλώνουν αντίστοιχα οξυγόνο. Και το μέγιστο της

κατανάλωσης του οξυγόνου εμφανίζεται μετά από 6-16 ώρες από την χορήγηση της τροφής. (Valverde and Garcia,2004). Συγκεκριμένα στο χταπόδι η κατανάλωση του οξυγόνου διπλασιάζεται όταν η σίτιση του είναι μέχρι κορεσμού. Έχει αποδειχτεί ότι



Εικόνα 2. Μαγιάτικο *Seriola dumerili* (www. fishbase.org)

η κατανάλωση του οξυγόνου μετά τη σίτιση αυξάνεται όσο αυξάνεται η ποσότητα της τροφής στα κεφαλόποδα (Wells et al, 1983) αλλά και στα ψάρια (Guinea and Fernandez, 1997). Σύμφωνα με πρόσφατες έρευνες που αφορούν το μαγιάτικο (*Seriola dumerili*) (Εικ. 2), μελετήθηκε η επίδραση της συνεχούς παροχής τροφής στη κατανάλωση του οξυγόνου. Απ' την έρευνα βρέθηκε ότι, υπάρχει υψηλότερη αύξηση στα επίπεδα κατανάλωσης του οξυγόνου όταν η τροφή παρέχεται αυτόματα και συνέχεια, ενώ η αύξηση της κατανάλωσης του οξυγόνου ήταν χαμηλότερη όταν η σίτιση των ψαριών γινόταν με το χέρι, δύο φορές την ημέρα. (Gandara et al, 2004).

Επίσης σε πείραμα που έγινε σε ιχθύδια του ψαριού *Scophthalmus maximus* που εκτρέφονταν σε ρηχά raceways, παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια του χρόνου σίτισης μια αύξηση στην καταναλισκόμενη ποσότητα οξυγόνου ενώ τις πρωινές ώρες υπήρχε το ελάχιστο ποσό κατανάλωσης οξυγόνου.

Αντίθετα, η ασιτία, μειώνει τους μεταβολικούς ρυθμούς των οργανισμών, συγκεκριμένα ο Marsden το 1973, βρήκε σε πείραμα που έκανε ότι η ασιτία μείωσε το μεταβολισμό του δεκάποδου, *Carcinus maenas*.

Το 2000, ο Cook μελέτησε την επιρροή της ασιτίας στη κατανάλωση του οξυγόνου. Η μελέτη του αναφέρεται σε γενετικά και μη γενετικά τροποποιημένους σολομούς (*Salmo salar*) βάρους 8-55 g. Παρατηρήθηκε ότι τα γενετικά

τροποποιημένα ψάρια είχαν υψηλότερο ρυθμό κατανάλωσης του οξυγόνου από τα μη τροποποιημένα, κατά τη φάση της ασιτίας.

1.1.2 Συσχέτιση του σωματικού βάρους με την κατανάλωση του οξυγόνου

Είναι γνωστό ότι ο ρυθμός της κατανάλωσης του οξυγόνου μειώνεται όσο το βάρος του ψαριού αυξάνει. Αντίστοιχα η κατανάλωση του οξυγόνου μειώνεται όσο αυξάνει η ηλικία (Fidhianny and Winckler, 1998). Συγκεκριμένα στο είδος *Cichlasoma nigrofascitum*, η μείωση στο μεταβολικό ρυθμό γίνεται σε ευδιάκριτες φάσεις ανάπτυξης. Η σχέση μεταξύ της κατανάλωσης οξυγόνου και του σωματικού βάρους καθορίζεται από την περίοδο γεννητικής ωριμότητας και την ηλικία. Το είδος *Cichlasoma nigrofascitum* πριν φθάσει στην γεννητική ωριμότητα, που πραγματοποιείται στην ηλικία των 200 ημερών, ο συσχετισμός μεταξύ κατανάλωσης οξυγόνου και σωματικού βάρους είναι αντιστρόφως ανάλογος. Μετά από την ηλικία των 200 ημερών δεν μπορούμε να συσχετίσουμε τις δύο παραμέτρους. Τελικά, η ηλικία και το βάρος του είδους *Cichlasoma nigrofascitum* καθορίζουν το μεταβολικό ρυθμό (Fidhianny and Winckler, 1998).

Επιπρόσθετα, ο Lei (2002) μελετώντας την επίδραση του σωματικού βάρους και της αλατότητας στην κατανάλωση του οξυγόνου, διαπίστωσε ότι τα μικρά μεγέθη υβριδίων τιλάπιας (*Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*) είχαν τη μέγιστη κατανάλωση σε αλατότητα 7. Η μέγιστη τιμή κατανάλωσης οξυγόνου στα μεγαλύτερα βάρη ήταν μικρότερη από ότι στα μικρά μεγέθη του υβριδίου *Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus* και παρουσιάστηκε σε αλατότητα πολύ μεγαλύτερη 35. Τα μικρού σωματικού βάρους ψάρια είχαν την ελάχιστη κατανάλωση οξυγόνου σε αλατότητα 14, ενώ τα μεγαλύτερα σε αλατότητα 21. Με τη βοήθεια της στατιστικής ανάλυσης φαίνεται ότι η κατανάλωση του οξυγόνου επηρεάστηκε από την αλληλεπίδραση της αλατότητα και του σωματικού βάρους.

Ο van Maaren (2000) μελέτησε την επίδραση του σωματικού βάρους και της θερμοκρασίας στη κατανάλωση του οξυγόνου και απέδειξε ότι υπάρχει εξάρτηση τους για το ψάρι *Paralichthys lethostigma*. Επίσης, ο D.W Aldridge (1995), διαπίστωσε ότι η κατανάλωση οξυγόνου αυξήθηκε 3,65 φορές όταν η θερμοκρασία αυξήθηκε από τους 20°C στη θερμοκρασία των 32°C, στο μαλάκιο *Dreissena polymorpha*.

1.1.3 Επίδραση του διαλυμένου οξυγόνου στην τοξικότητα της αμμωνίας

Σημαντική είναι η επίδραση του διαλυμένου οξυγόνου στην τοξικότητα της αμμωνίας. Σύμφωνα με τους Wadsbrot et al (1991), οι οποίοι μελέτησαν την επίδραση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου στην τοξικότητα της αμμωνίας σε ιχθύδια τσιπούρας (*Sparus aurata*), μεγέθους 0,4-3,2 g, η θανατηφόρος συγκέντρωση της συνολικής αμμωνίας παρατηρήθηκε στα 1,27 mg/l (NH₃-N). Το συμπέρασμα της εργασίας είναι ότι η τσιπούρα είναι λιγότερο ευαίσθητη στη τοξική μορφή της αμμωνίας από ότι τα σαλμονοειδή. Ακόμα η τοξικότητα της αμμωνίας παρατηρήθηκε σε χαμηλή συγκέντρωση οξυγόνου. Από το πείραμα διαπιστώθηκε ότι η επίδραση της αμμωνίας στα ιχθύδια της τσιπούρας συμβαίνει όταν το επίπεδο κορεσμού μειωθεί κάτω από το 40%. Έπειτα από αυτήν την μείωση της συγκέντρωσης του οξυγόνου επέρχονται τοξικές συνθήκες για τους οργανισμούς και τελικά ο θάνατος για τα ιχθύδια. Σε υδατοκαλλιεργητικές εγκαταστάσεις τα επίπεδα του διαλυμένου οξυγόνου και της αμμωνίας επηρεάζονται από τη μικροβιακή διάσπαση των σωματιδίων των διαλυτών οργανικών στερεών. Σε ορισμένες περιπτώσεις η οξυγόνωση του νερού με τεχνητά μέσα μπορεί να αποτρέψει την τοξικότητα της αμμωνίας, αυξάνοντας την συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό.

Οι Katsanevakis et al (2005), μελετώντας την κατανάλωση του οξυγόνου και την έκκριση της αμμωνίας σε σχέση με το σωματικό βάρος και τη θερμοκρασία στο κοινό χταπόδι (*Octopus vulgaris*), διαπίστωσε ότι το φύλο δεν παίζει ρόλο στην κατανάλωση του οξυγόνου. Ακόμα βρέθηκε ότι δεν υπάρχει σχέση μεταξύ της αναλογίας O/N και του σωματικού βάρους ή της θερμοκρασίας. Κατά τη διάρκεια της ασιτίας παρατηρήθηκε ότι η αναλογία O/N συνδέεται με την διαθεσιμότητα των ενεργειακών αποθεμάτων και τη χρήση των σωματικών πρωτεϊνών. Η θερμοκρασία επιδρά καθοριστικά στο μεταβολικό ρυθμό του *O. vulgaris*, και γενικά το ίδιο ισχύει για τα άλλα είδη χταποδιού.

1.1.4 Επίδραση της θερμοκρασίας στην κατανάλωση του οξυγόνου

Οι Mugnier και Soyez (2005), μελέτησαν την αντίδραση της γαρίδας *Litopenaeus stylirostris* σε μειωμένες τιμές θερμοκρασίας και σε συνθήκες έλλειψης οξυγόνου (υποξεία) κατά τη διαδικασία της έκδυσης. Παρατηρήθηκε ότι ο συνδυασμός θερμοκρασίας και υποξείας είχε σημαντική επίπτωση στην επίδραση της οσμορυθμιστικής ικανότητας. Ακόμα στην γαρίδα παρατηρήθηκε ότι η χαμηλή θερμοκρασία μείωσε την επίδραση της υποξείας λόγω της επιβράδυνσης του μεταβολικού ρυθμού. Οι Schimtt και Uglow (1998), παρατήρησαν ότι η αστακοκαραβίδα *Nephrops norvegicus*, προσαρμόζεται καλά στην προοδευτική μείωση της παροχής οξυγόνου (προοδευτική υποξεία).

Για το χταπόδι έχει αναφερθεί ότι η ιδανική θερμοκρασία για την ανάπτυξη του και τη λήψη της τροφής είναι 17-20°C. Ενώ το βέλτιστο επίπεδο κορεσμού του οξυγόνου είναι 65-100%, αλλά μπορεί να επιβιώσει σε επίπεδο κορεσμού 35-65%. Κάτω από το 35%, η κατάσταση χαρακτηρίζεται επικίνδυνη. Παρατηρήθηκε ότι κάτω από 11% επίπεδο κορεσμού όλα τα χταπόδια θανατώνονται. Οι Valverde και Garcia (2005) καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι τα κατάλληλα επίπεδα οξυγόνου για το *O. Vulgaris* είναι μεταβλητά και εξαρτώνται από την θερμοκρασία του νερού παρά από το σωματικό βάρος. Πολλές έρευνες έχουν γίνει για τις επιδράσεις του υπερκορεσμού σε οξυγόνο στο μεταβολισμό των ψαριών.

1.1.5 Επίδραση της συγκέντρωσης του οξυγόνου στις βιολογικές διεργασίες διαφόρων ειδών

Οι Person και Le Ruyet et al (2002), μελέτησαν τις επιδράσεις του υπερκορεσμού σε οξυγόνο στο μεταβολισμό και στην ανάπτυξη νεαρών ιχθυδίων του είδους *Scophthalmus maximus*. Από την έρευνα παρατηρήθηκε ότι ο υπερκορεσμός του οξυγόνου σε δύο ακραίες τιμές 147% και 223%, δεν δημιούργησε σημαντικές διαφορές στην λήψη της τροφής, στη μετατρεψιμότητα και στην ανάπτυξη των ιχθυδίων σε σχέση με ψάρια που έζησαν σε συνθήκες κορεσμού 100% (normoxia). Ακόμα η κατανάλωση του οξυγόνου δεν επηρεάστηκε από τις υψηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου. Σημαντικές θεωρούνται οι παρατηρήσεις ότι η υπεροξεία οδήγησε στην

απόθεση λίπους στο σώμα των ψαριών και ακόμα το *Scophthalmus maximus*, άντεξε 10 ημέρες σε υπερκορεσμό οξυγόνου 350%.

Αντίθετα, για το είδος *Anarhichas minor olafsen*, η κατανάλωση του οξυγόνου επηρεάστηκε σημαντικά από το επίπεδο κορεσμού του οξυγόνου. Στα ίδια ψάρια διαπιστώθηκε ότι το πρωί αυξανόταν η κατανάλωση του οξυγόνου, ενώ τις νυχτερινές ώρες, παρατηρήθηκε το ελάχιστο της κατανάλωσης οξυγόνου. Ακόμα μετά τη πρόσληψη της τροφής (2-4 ώρες) αυξήθηκε η κατανάλωση οξυγόνου, φτάνοντας το μέγιστο της σημείο 6 ώρες μετά (Foss et al, 2003).

Επιπλέον η αύξηση του κατώτατου ορίου της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου αυξάνει την επιβίωση σε δύο είδη γαρίδας (*Litopenaeus vannamei*, *Litopenaeus stylirostris*), εκτρεφόμενα σε χωμάτινα υδροστάσια. Ακόμα βρέθηκε ότι η αύξηση του κατώτατου ορίου της συγκέντρωσης οξυγόνου δεν επιδρά στα μέσα βάρη των γαρίδων (McGraw, 2001).

1.1.6 Λοιπές έρευνες για την κατανάλωση του οξυγόνου από τους υδρόβιους οργανισμούς

Οι Holcomb et al (2004), μελέτησαν αν υπάρχει σχέση μεταξύ της εκκολαψιμότητας των αυγών στα σαλμονοειδή και της κατανάλωσης του οξυγόνου. Σύμφωνα με την έρευνα τους δεν βρέθηκε ότι η εκκολαψιμότητα συσχετίζεται με τη κατανάλωση του οξυγόνου.

Έχει βρεθεί ότι χημικές ουσίες και βαρέα μέταλλα παρεμποδίζουν την κατανάλωση του οξυγόνου. Συγκεκριμένα, οι Brodeur et al (2001), αναφέρουν ότι η κατανάλωση οξυγόνου στην ιριδίζουσα πέστροφα (*Oncorhynchus mykiss*) μειώνεται κατά 50-60% από τα κανονικά επίπεδα, όταν εκτίθενται σε συγκεντρώσεις PCP (πενταχλωροφαινόλη) και TCG (τετραχλωρογουακόλη), που αντιπροσωπεύουν το 50 και 25% του 96h-LC50. Η μείωση της κατανάλωσης του οξυγόνου δεν είχε επιδράσεις στην γενική καρδιακή λειτουργία. Επίσης τα βαρέα μέταλλα όπως το κάδμιο και ο ψευδάργυρος βρέθηκε ότι παρεμποδίζουν την κατανάλωση του οξυγόνου κατά 91,3% και 75,9% λιγότερο από ότι στους μάρτυρες. (Wu and Chen, 2004)

Ο Seddiki et al (1996), μελέτησε πως επιδρά η χορήγηση αυξητικής ορμόνης στην κατανάλωση του οξυγόνου, και την προσαρμοστικότητα στο θαλασσινό νερό στα στάδια του parr και του pre-smolt στο σολομό (*Salmo salar*). Σύμφωνα με την

έρευνα του, διαπιστώθηκε ότι η αυξητική ορμόνη προκάλεσε αύξηση στην κατανάλωση του οξυγόνου στο στάδιο του parr (+30%) και του pre-smolt (+16%).

Στα καρκινοειδή έχει αποδειχτεί ότι η κατανάλωση του οξυγόνου επηρεάζεται από περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η αλατότητα, η εποχή, το φως και η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου (Bridges and Brand, 1980), αλλά και από παράγοντες όπως το φύλο, η ασιτία, το σωματικό βάρος, η δραστηριότητα και οι βιολογικοί ρυθμοί. Κατά την έκδυση των καρκινοειδών (*Gammarus oceanicus*, *Panulirus argus*, *Nephrops norvegicus*, *Caridina nilotica*), επειδή είναι εξαιρετικά ενεργή μεταβολή δαπανάται υψηλό ποσοστό οξυγόνου (Cockcroft, 1983), (Alcaraz and Sarda, 1981). Ακόμα η κατανάλωση του οξυγόνου ανά γραμμάριο σωματικού βάρους είναι υψηλότερη για τις μικρού μεγέθους γαρίδες από ότι για τις μεγάλου μεγέθους. Αυτό δείχνει τους υψηλότερους μεταβολικούς ρυθμούς στις μικρές γαρίδες (Wickins, 1976).

1.1.7 Η επίδραση της συγκέντρωσης του οξυγόνου στις βιολογικές διαδικασίες της αστακοκαραβίδας (*Nephrops norvegicus*).

Τα δεκάποδα, όπως η αστακοκαραβίδα (*Nephrops norvegicus*) (Εικ. 3), έχουν



Εικόνα 3 . Η αστακοκαραβίδα *Nephrops norvegicus* (www.marinbi.com/.../nephrops_norvegicus.htm)

υψηλότερη αντοχή στις χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου, σε σχέση με τα ψάρια. Έχει παρατηρηθεί ότι, στο περιβάλλον οι αστακοκαραβίδες επηρεάζονται ιδιαίτερα από την υποξεία κατά τους φθινοπωρινούς μήνες, διότι τότε εμφανίζεται χαμηλή

συγκέντρωση οξυγόνου στις φωλιές όπου καταφεύγουν (Charman, 1980). Αυτό έχει σαν άμεση συνέπεια, οι αστακοκαραβίδες να εξέρχονται από τις φωλιές, χάνοντας την προστασία και την ασφάλεια που τους παρέχεται ενάντια στους θηρευτές. Το επίπεδο κορεσμού του οξυγόνου, όπου συμβαίνει αυτό το φαινόμενο, είναι 25%. Οι αστακοκαραβίδες κατευθύνονται σε νερά πλουσιότερα σε οξυγόνο (Hagerman and Uglow 1985; Baden et al. 1990b).

Αυτή η συμπεριφορά των αστακοκαραβίδων, έχει σημαντικές συνέπειες στην είσοδο νεαρών ατόμων στο αλιευτικό απόθεμα και στην επιβίωση των ατόμων του είδους (Charman 1980). Η φθινοπωρινή εμφάνιση της υποξείας, συμπίπτει με την είσοδο των νεαρών ατόμων στο απόθεμα της αστακοκαραβίδας (Sinclair 1988). Η διαδικασία της αναπαραγωγής (σύζευξη, ωοτοκία) στα δεκάποδα αποτελεί μία ενεργοβόρα λειτουργία (Spicer et al, 1990).

Η σχέση σωματικού βάρους και κατανάλωσης οξυγόνου στην αστακοκαραβίδα (*Nephrops norvegicus*) είναι αντιστρόφως ανάλογη. Αυτό έχει σαν άμεση συνέπεια τα νεαρά άτομα της αστακοκαραβίδας να είναι πιο ευαίσθητα στην υποξεία σε σχέση με τα ενήλικα άτομα (Dejours 1981; Zoutendyk 1989).

1.1.8 Η επίδραση της συγκέντρωσης του οξυγόνου στις βιολογικές διαδικασίες των εκτρεφόμενων ευρύαλων ειδών.

Στην Ελλάδα, τα ευρύαλα είδη, όπως η τσιπούρα (*Sparus aurata*), το λαβράκι



Εικόνα 4 . Μυτάκι *Puntazzo puntazzo* ([www. fishbase.org](http://www.fishbase.org))

(*Dicentrachus labrax*) και το μυτάκι (*Puntazzo puntazzo*) (Εικ. 4) κατέχουν τα «σκήπτρα» στην εκτροφή σε κλουβιά. Τα παραπάνω είδη αποτελούν τα κύρια είδη της εντατικής υδατοκαλλιέργειας στην χώρα μας. Γι' αυτό θεωρείται απαραίτητη μία ανασκόπηση σχετικά με την συγκέντρωση του οξυγόνου κατά τη διάρκεια της εκτροφής τους.

Για τα ιχθύδια του λαβρακιού (*Dicentrachus labrax*) έχει παρατηρηθεί ότι οι απότομες αλλαγές της αλατότητας αυξάνουν τον μεταβολικό ρυθμό σε μεγάλο ποσοστό. Παρόλο που ο μεταβολικός ρυθμός των ιχθυδίων αυξάνεται, η κατανάλωση του οξυγόνου από τα ιχθύδια αυξάνεται ελάχιστα. Αυτό το φαινόμενο απορρέει από την ικανότητα του λαβρακιού να αντέχει σε μεγάλο εύρος αλατότητας. Ακόμα για τα ιχθύδια του λαβρακιού έχει παρατηρηθεί ότι τα κατώτερα όρια στο επίπεδο κορεσμένου οξυγόνου είναι 45% και 54% για θερμοκρασίες 20 και 25°C, αντίστοιχα (Russell et al, 1996). Έχει παρατηρηθεί ότι η θερμοκρασία και η αλατότητα επιδρούν στην ανάπτυξη και στην κατανάλωση τροφής στο λαβράκι. Η θερμοκρασία ασκεί μεγαλύτερη επίδραση απ' ότι η αλατότητα (Pichavant et al, 2001)

Για την τσιπούρα (*Sparus aurata*) (Εικ. 5) είναι γνωστό όπως και για άλλα είδη ότι η μείωση του επιπέδου του κορεσμένου οξυγόνου κατά τη διάρκεια της εκτροφής επιφέρει άνοδο της συγκέντρωσης της τοξικής μορφής της αμμωνίας



Εικόνα 5 . Τσιπούρα *Sparus aurata* (www. fishbase.org)

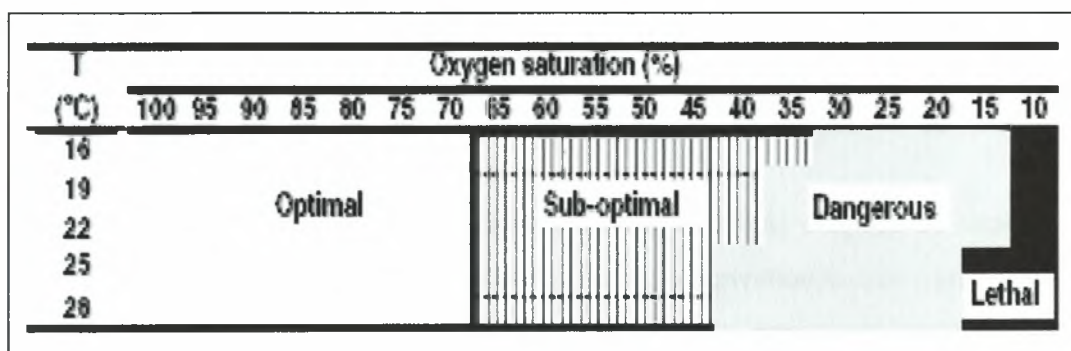
(Wajsbroet et al,1991).

Η τσιπούρα συμπεριφέρεται στα γενικά πλαίσια που ισχύουν για όλα τα είδη σχετικά με την κατανάλωση του οξυγόνου. Η λήψη τροφής από την τσιπούρα οδηγεί στην αύξηση της κατανάλωσης

οξυγόνου για 37-39 ώρες. Το μέγιστο της κατανάλωσης του οξυγόνου εμφανίζεται 1-6 ώρες μετά την πρόσληψη τροφής. Φυσικά, αυτή η αλλαγή στην κατανάλωση του οξυγόνου σχετίζεται και με την θερμοκρασία, το βάρος του ψαριού και τον ρυθμό

παροχής της τροφής. Η λήψη της τροφής επιδρά στην αύξηση του μεταβολικού ρυθμού της τσιπούρας (Guinea and Fernandez,1997).

Το μυτάκι (*Puntazzo puntazzo*) μειώνει την κατανάλωση του οξυγόνου, όσο η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου μειώνεται, μέχρι ενός σημείου, όπου το επίπεδο κορεσμού είναι 34% (2,42 mg l⁻¹). Για το *Puntazzo puntazzo* τα ιδανικά επίπεδα του οξυγόνου είναι από 67-100%, για θερμοκρασίες από 16-28°C, καλές συνθήκες θεωρούνται από 34-67% για θερμοκρασία 16°C, φυσικά όσο η θερμοκρασία αυξάνεται, η κατάσταση γίνεται επικίνδυνη ακόμα και για επίπεδο κορεσμού 45%. Για θερμοκρασία 25°C και 28°C και για επίπεδο κορεσμού κάτω από 20% παρουσιάζονται θάνατοι (Εικ. 6). Πολύ σημαντικός παράγοντας στην κατανάλωση του οξυγόνου από το μυτάκι είναι η ποσότητα του οξυγόνου που παρέχεται από τους μηχανισμούς αερισμού του νερού (Cerezo and Garcia, 2004).



Εικόνα 6. Τα επίπεδα κορεσμού του οξυγόνου για το *Puntazzo puntazzo*. Οι τιμές αναφέρονται για ψάρι 100 g σε διάφορες θερμοκρασίες (Cerezo and Garcia, 2004).

1.2 Οικοσυστήματα γλυκού νερού

1.2.1 Στάσιμα ύδατα

Στο ανώτερο τμήμα της υδάτινης στήλης από την φωτοσυνθετική δραστηριότητα παράγεται μεγαλύτερη ποσότητα οξυγόνου από ό,τι καταναλώνεται κατά τη διάρκεια του 24ώρου. Στα βαθύτερα τμήματα μιας λίμνης ή υδατοσυλλογής η παραγωγή οξυγόνου είναι μικρότερη απ' την κατανάλωση. Σε κάποιο βάθος η παραγωγή οξυγόνου και η κατανάλωση του οξυγόνου εξισορροπούνται. Αυτό το βάθος ονομάζεται και βάθος αντιστάθμισης. Σε βάθη μεγαλύτερα από το βάθος αντιστάθμισης, οι απαιτήσεις για αναπνοή υπερβαίνουν την παραγωγή οξυγόνου και

λόγω της μη διαθεσιμότητας του φωτός περιορίζεται και η φωτοσυνθετική δραστηριότητα. Το οξυγόνο σε αυτά τα βάθη χρησιμοποιείται για την αναπνοή των βακτηρίων και των άλλων οργανισμών.

Η κατακόρυφη κατανομή του οξυγόνου στα στάσιμα νερά (λίμνες, υδατοσυλλογές) εξαρτάται από την κυκλοφορία και την δυναμική του νερού. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, η περιεκτικότητα του οξυγόνου μειώνεται με μικρό ρυθμό με το βάθος. Πολύ κοντά στην επιφάνεια υπάρχει η υψηλότερη συγκέντρωση οξυγόνου, εξαιτίας της φωτοσυνθετικής διαδικασίας. Σε περίπτωση που τον χειμώνα, η επιφάνεια μιας λίμνης καλύπτεται με πάγο, η φωτοσυνθετική δραστηριότητα περιορίζεται διότι το φως πρέπει να διαπεράσει τον πάγο. Ένας λόγος που περιορίζει επίσης την φωτοσύνθεση είναι και η χαμηλή θερμοκρασία του νερού.

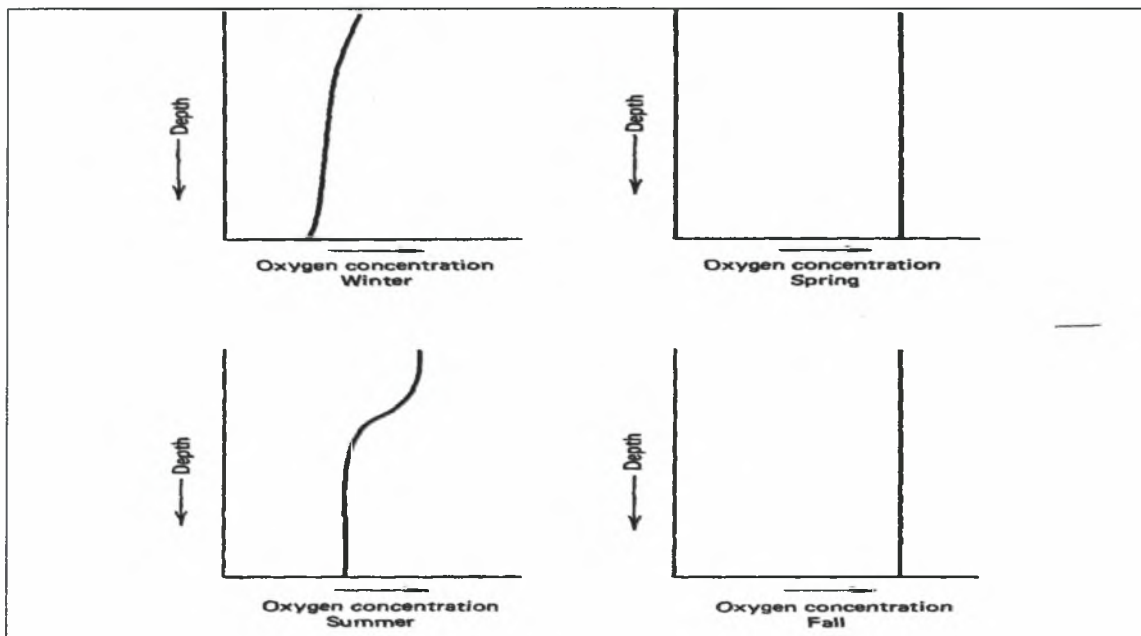
Έπειτα κατά τη διάρκεια της άνοιξης η θερμοκρασία ανέρχεται με αποτέλεσμα η τυχόν κάλυψη με πάγο στην επιφάνεια των λιμνών να εξαφανίζεται. Έτσι η ανταλλαγή του οξυγόνου είναι πιο εύκολη. Συνεπώς με την αφαίρεση του πάγου δημιουργείται μία σχετικά υψηλή περιεκτικότητα οξυγόνου σε όλη την υδάτινη στήλη.

Το καλοκαίρι προκαλείται στρωμάτωση της υδάτινης στήλης. Το νερά που βρίσκονται σε μικρότερα βάθη από το θερμοκλινές αναμιγνύονται και έχουν υψηλή θερμοκρασία με υψηλή παραγωγή οξυγόνου εξαιτίας της ανταλλαγής με την ατμόσφαιρα και της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας. Το επίπεδο κορεσμού του οξυγόνου κατά την διάρκεια της μέρας είναι υψηλό. Το νερό στο στρώμα του θερμοκλινούς και στα μεγαλύτερα βάθη έχει χαμηλότερη θερμοκρασία και δεν έρχεται σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα, εξαιτίας της στρωμάτωσης (Wheaton,1977). Ακόμα η αποσύνθεση και η αναπνοή καταναλώνουν σε μεγάλο βαθμό οξυγόνο, με αποτέλεσμα τους καλοκαιρινούς μήνες τα νερά κάτω από το θερμοκλινές να είναι φτωχά σε διαλυμένο οξυγόνο. Κάτω από αυτές τις αναερόβιες συνθήκες παράγονται αέρια όπως το μεθάνιο, τα οποία είναι επιβλαβή και τοξικά για τους υδρόβιους οργανισμούς. Με την έλευση του φθινοπώρου είναι χαρακτηριστική η μείωση της θερμοκρασίας των επιφανειακών νερών και ο τερματισμός του θερμοκλινούς. Χαρακτηριστικό γεγονός είναι ότι η συγκέντρωση του οξυγόνου γίνεται περίπου η ίδια σε όλη την υδάτινη στήλη.

Η περιοχή όπου το οξυγόνο μειώνεται με γρήγορο ρυθμό, ονομάζεται κλινοβαθμική. Αυτή η περιοχή συνήθως ταυτίζεται με την περιοχή του θερμοκλινούς. Συνήθως στις ευτροφικές λίμνες η κλινοβαθμική περιοχή βρίσκεται στο θερμοκλινές

ή πάνω από αυτό. Αντίθετα, στις oligotroφικές λίμνες, χαμηλής παραγωγικότητας, η κλινοβαθμική περιοχή είναι λιγότερο διακριτή ή είναι τελείως ανύπαρκτη.

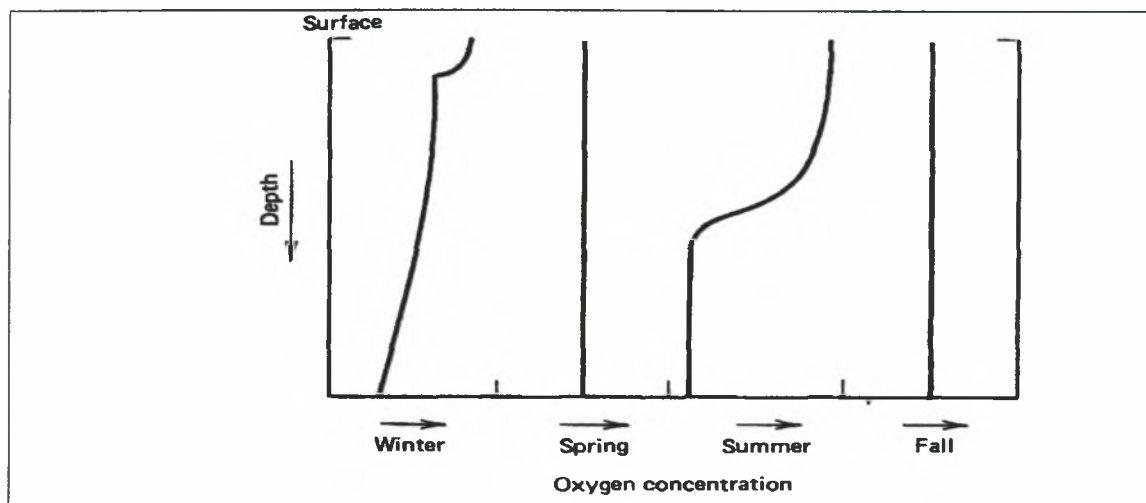
Τα oligotroφικά νερά έχουν χαμηλή παραγωγικότητα και σχετικά έχουν μικρή θολερότητα. Η κατανομή του οξυγόνου (Εικ. 7,8) είναι συνήθως ίδια και για τις ευτροφικές λίμνες με την διαφορά ότι η συγκέντρωση του οξυγόνου είναι συνήθως υψηλότερη το χειμώνα όταν οι απαιτήσεις του οξυγόνου για αναπνοή και αποσύνθεση είναι ελάχιστες. Σε μια ευτροφική λίμνη το φθινόπωρο και η άνοιξη είναι όμοιες εποχές, αναφορικά με την συγκέντρωση του οξυγόνου. Το καλοκαίρι



Εικόνα 7. Εποχιακή κατανομή του οξυγόνου σε oligotroφική λίμνη (Wheaton, 1977).

όμως υπάρχει διαφοροποίηση από τις άλλες εποχές. Χαρακτηριστικό είναι ότι το σημείο αντιστάθμισης βρίσκεται σε μεγαλύτερο βάθος στις oligotroφικές λίμνες. Για την αναπνοή και την αποσύνθεση απαιτείται λιγότερη ποσότητα οξυγόνου, γιατί και η παραγωγικότητα είναι μικρότερη. Τους καλοκαιρινούς μήνες παρατηρείται υψηλή συγκέντρωση οξυγόνου πάνω από την κλινοβαθμική περιοχή και μια σχετική κλινοβαθμίδα όπου η συγκέντρωση του οξυγόνου μειώνεται με αργό ρυθμό. Το καλοκαίρι επίσης οι αναερόβιες συνθήκες είναι σπάνιο φαινόμενο σε oligotroφικές λίμνες και όταν συμβαίνουν είναι σε μεγάλα βάθη τους τελευταίους καλοκαιρινούς μήνες. Οι ευτροφικές και oligotroφικές λίμνες παρουσιάζονται ως ακραία παραδείγματα. Συνήθως στις λίμνες και στις υδατοσυλλογές η κατάσταση είναι ενδιάμεση. Αξιοσημείωτο είναι ότι τα υδροστάσια εκτροφής δεν είναι αρκετά βαθιά

για να σχηματιστεί θερμοκλινές, αλλά ίσως να δημιουργηθεί κλινοβαθμική περιοχή, όπου το οξυγόνο δεν είναι στις ίδιες ποσότητες διαθέσιμο σε όλη την υδάτινη στήλη του υδροστασίου. Ακόμα η υπερβολική παροχή τροφής σε ένα υδροστάσιο όπου



Εικόνα 8. Εποχιακή κατανομή του οξυγόνου σε ευτροφική λίμνη (Wheaton, 1977).

εκτρέφονται υδρόβιοι οργανισμοί είναι δυνατό να συμβάλει στην δημιουργία κλινοβαθμίδας, όπου το οξυγόνο μειώνεται και δεν είναι επαρκές για την επιβίωση των εκτρεφόμενων οργανισμών. Επιπλέον η κατασκευή των υδροστασίων και των δεξαμενών θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να μην δημιουργείται ζώνη χαμηλής συγκέντρωσης οξυγόνου. Κάποιοι τρόποι για να εξαλειφθεί το φαινόμενο της ανεπαρκούς συγκέντρωσης οξυγόνου σε διάφορες ζώνες του υδροστασίου είναι οι μηχανισμοί αερισμού του νερού, όπως η παροχή καθαρού οξυγόνου, ατμοσφαιρικού αέρα και οι αναδευτήρες.

1.2.2 Ρέοντα ύδατα

Στα ρέοντα ύδατα το οξυγόνο παράγεται επίσης από την φωτοσυνθετική δραστηριότητα και την επαφή αέρα-νερού. Όμως η φωτοσύνθεση δεν αποτελεί την κύρια πηγή παραγωγής του οξυγόνου σε αυτά τα συστήματα. Στα ρέοντα ύδατα η γρήγορη και τυρβώδης ροή αποτελεί την κυριότερη πηγή οξυγόνου στο νερό. Τα μακρόφυτα προσθέτουν σημαντική ποσότητα οξυγόνου σε σχετικά μικρής ροής και μεγάλου βάθους ρέοντα συστήματα.

Στην περιεκτικότητα του οξυγόνου στα ρέοντα συστήματα, επιδρούν πολλοί παράγοντες, όπως η ταχύτητα ροής, η τύρβη της ροής, η θερμοκρασία του νερού, το

πλάτος του ποταμού ή των raceways. Όλοι αυτοί οι παράγοντες είναι δυνατόν έμμεσα να καθορίσουν τον ρυθμό φωτοσύνθεσης, αναπνοής και αποσύνθεσης.

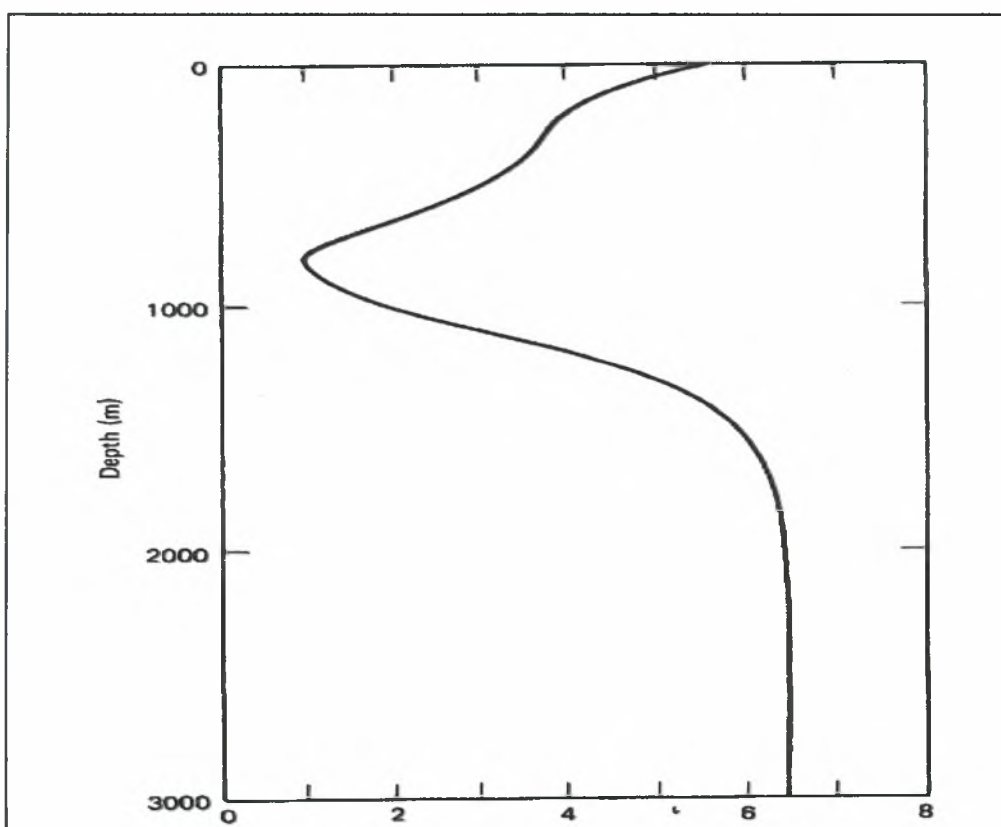
Ο ετήσιος κύκλος της περιεκτικότητας του οξυγόνου στα ρέοντα ύδατα σχετίζεται με την θερμοκρασία. Στα περισσότερα ποτάμια η περιεκτικότητα του οξυγόνου είναι υψηλότερη τον χειμώνα και μικρότερη το καλοκαίρι. Επιπλέον όπως και στα στάσιμα νερά έτσι και στα ποτάμια που έχουν πολύ χαμηλή ροή, η τυχόν κάλυψη με πάγο στην επιφάνεια εμποδίζει την φωτοσυνθετική δραστηριότητα, με αποτέλεσμα να μειωθεί η περιεκτικότητα του οξυγόνου τον χειμώνα στο ελάχιστο. Την άνοιξη μειώνεται η συγκέντρωση του οξυγόνου, λόγω της αύξησης της αύξησης της θερμοκρασίας και της αφαίρεσης των φυτικών οργανισμών από τον πυθμένα λόγω της υψηλής ροής. Το καλοκαίρι η μείωση της συγκέντρωσης του οξυγόνου στα ρέοντα ύδατα μειώνεται διότι αυξάνεται η θερμοκρασία. Μία ακόμα πιθανή αιτία μπορεί να είναι η αποσύνθεση, η οποία το καλοκαίρι βρίσκεται σε μεγαλύτερα επίπεδα.

Ο ημερήσιος κύκλος οξυγόνου στα ρέοντα ύδατα στηρίζεται κατά κύριο λόγο στις θερμοκρασιακές διακυμάνσεις και στην σχέση της φωτοσύνθεσης-αναπνοής. Σε ορμητικά ποτάμια με ελάχιστα μακρόφυτα στον πυθμένα, παρατηρείται ότι η συγκέντρωση του οξυγόνου βρίσκεται κοντά στο σημείο κορεσμού. Η ημερήσια παραγωγή οξυγόνου από την φωτοσύνθεση είναι συχνά υψηλότερη από την είσοδο του οξυγόνου από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Τον χειμώνα η μέγιστη ημερήσια παραγωγή οξυγόνου και η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία συμβαίνουν την ίδια περίπου χρονική στιγμή. Το καλοκαίρι η παραγωγή οξυγόνου επιβραδύνεται από την άνοδο της θερμοκρασίας έμμεσα, λόγω της μείωσης της διαλυτότητας του οξυγόνου στο νερό.

Η κατανομή της συγκέντρωσης του οξυγόνου κατά μήκος ενός ποταμού εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Η συγκέντρωση του οξυγόνου στα ανάντη ενός ποταμού επηρεάζεται κύρια από την θερμοκρασία και την τύρβη. Αντίθετα στα κατάντη ενός ποταμού, όπου η ροή είναι χαμηλή και η βλάστηση πλούσια, η συγκέντρωση του οξυγόνου εξαρτάται κύρια από την φωτοσύνθεση και την αναπνοή. Οι μέγιστες συγκεντρώσεις οξυγόνου παρατηρούνται κατά τις απογευματινές ώρες και οι χαμηλότερες τιμές νωρίς το πρωί. Στα κατάντη αυξάνεται η τύρβη και η οργανική αποσύνθεση μειώνοντας την συγκέντρωση του οξυγόνου. Στις εκβολές ενός ποταμού έτσι παρατηρείται πάντα χαμηλή συγκέντρωση οξυγόνου σε σχέση με τα ανάντη του ποταμού.

1.3 Θαλάσσια ύδατα

Η συγκέντρωση του οξυγόνου στη θάλασσα ποικίλλει και λαμβάνει τιμές από μηδέν στις αναερόβιες περιοχές, όπως για παράδειγμα σε μεγάλα βάθη της Μαύρης Θάλασσας, έως και στο επίπεδο κορεσμού ή ακόμα και υπερκορεσμού κοντά σε κοραλλιογενείς υφάλους. Στην θάλασσα παρατηρούνται χαμηλότερες συγκεντρώσεις από ότι στα εσωτερικά ύδατα (γλυκό νερό) όταν η αλατότητα βρίσκεται περίπου στο 35.



Εικόνα 9. Κατακόρυφη κατανομή του οξυγόνου σε υποτροπικά θαλάσσια νερά (Wheaton, 1977).

Διαφορές στην συγκέντρωση του οξυγόνου παρατηρούνται ανάμεσα στους τροπικούς και στους πόλους, εξαιτίας των θερμοκρασιακών μεταβολών. Η συγκέντρωση κορεσμού του οξυγόνου στα τροπικά νερά κυμαίνεται μεταξύ 6 και 7 ppm, ενώ στους πόλους μπορεί να φτάσει πάνω από 11 ppm. Στα μεγαλύτερα βάθη η

συγκέντρωση του οξυγόνου μπορεί να υπερβεί τα 7 ppm (Raymont,1963). Η συγκέντρωση του οξυγόνου στα επιφανειακά στρώματα είναι υψηλότερη (Εικ. 9). Όπως και στα στάσιμα και ρέοντα ύδατα, έτσι και στις θάλασσες το οξυγόνο παρέχεται από την ατμόσφαιρα και την φωτοσύνθεση. Οι τιμές της συγκέντρωσης του οξυγόνου κοντά στο επίπεδο κορεσμού κυμαίνονται μεταξύ 5 και 7 ppm. Κάτω από τα βάθη από τα οποία λαμβάνει χώρα η φωτοσυνθετική δραστηριότητα, η συγκέντρωση του οξυγόνου μειώνεται ραγδαία, δημιουργώντας μία ζώνη ελαχίστου οξυγόνου. Αυτή η ζώνη βρίσκεται σε βάθη μικρότερα από 150 m σε μερικές θάλασσες, αλλά φτάνει και ως τα 1000 m σε άλλες περιοχές, όπου η συγκέντρωση του οξυγόνου είναι κάτω από 1,4 ppm. Για παράδειγμα στον Ειρηνικό ωκεανό έχουν εμφανισθεί οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις οξυγόνου, περίπου 0,1 ppm. Ακόμα έχει παρατηρηθεί ότι οι συγκεντρώσεις οξυγόνου που εμφανίζονται στην ζώνη ελαχίστου οξυγόνου είναι κατά μέσο όρο υψηλότερες στον Ατλαντικό ωκεανό από ότι στον Ειρηνικό (Raymont,1963).

Η ζώνη ελαχίστου οξυγόνου προκαλείται από διάφορους παράγοντες. Στην περιοχή όπου εμφανίζονται οι ελάχιστες συγκεντρώσεις οξυγόνου, παρατηρούνται θαλάσσια ρεύματα με μικρές ταχύτητες. Οι ελάχιστες ταχύτητες των ρευμάτων από τις μεγάλες ποσότητες οργανικών υλικών που προέρχονται από την αποσύνθεση των πλαγκτονικών οργανισμών.

Συμπερασματικά, στα βάθη που βρίσκεται η ζώνη ελαχίστου οξυγόνου, υπάρχουν μεγάλοι πληθυσμοί ζωοπλαγκτού, όπου καταναλώνουν οξυγόνο για τις μεταβολικές λειτουργίες τους. Έτσι η μικρή ταχύτητα των θαλάσσιων ρευμάτων, οι υψηλές συγκεντρώσεις αποσυντεθειμένων οργανικών υλικών και οι υψηλές συγκεντρώσεις ζωοπλαγκτού προκαλούν την μικρή συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου σε αυτά τα βάθη.

1.4 Υφάλμυρα ύδατα

Η συγκέντρωση του οξυγόνου στα υφάλμυρα συστήματα, όπως οι λιμνοθάλασσες και τα εκβολικά συστήματα, ποικίλλει και επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Το επίπεδο κορεσμού του διαλυμένου οξυγόνου μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και της αλατότητας. Τα εκβολικά συστήματα ενός ποταμού χαρακτηρίζονται συνήθως από μέτριες τιμές αλατότητας (υφάλμυρο νερό). Έτσι τα υψηλότερα ποσά οξυγόνου παρατηρούνται στις περιοχές που βρίσκονται

προς το ποτάμι. Έτσι σε περιόδους που παρουσιάζεται έντονη απορροή γλυκού νερού από το ποτάμι είναι βέβαιο ότι η συγκέντρωση του οξυγόνου στα εκβολικά συστήματα είναι μεγαλύτερη. Αντίθετα το καλοκαίρι η αλατότητα αυξάνεται στα εκβολικά συστήματα, με συνέπεια την μείωση του οξυγόνου.

Η συγκέντρωση του οξυγόνου στα υφάλμυρα νερά, επηρεάζεται από την στρωμάτωση, το βάθος, την βλάστηση, την κυκλοφορία, την εποχή και την ώρα της ημέρας. Και στα υφάλμυρα συστήματα, όπως και στα άλλα, έχει παρατηρηθεί ότι η συγκέντρωση του οξυγόνου στην επιφάνεια διαφέρει από ότι στα κατώτερα στρώματα. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το Chesapeake Bay των Η.Π.Α, όπου τους καλοκαιρινούς μήνες το ποσοστό κορεσμού του οξυγόνου κυμαίνεται από 90-100% στην επιφάνεια, ενώ κοντά στον πυθμένα το επίπεδο κορεσμού αγγίζει το 40-50% (Raymont,1963). Αυτό συνεπάγεται ότι στα ανώτερα στρώματα των εκβολικών συστημάτων κυριαρχεί η φωτοσυνθετική δραστηριότητα, ενώ στα κατώτερα στρώματα το οξυγόνο καταναλώνεται κατά τη διαδικασία της αποσύνθεσης. Μία αιτία πιθανής μειωμένης συγκέντρωσης οξυγόνου στα κατώτερα στρώματα, είναι η παρουσία θαλασσινού νερού, που ως φλέβα υψηλότερης αλατότητας μειώνει τη διαλυτότητα του οξυγόνου.

Οι ημερήσιες και εποχιακές μεταβολές που παρατηρούνται στα εκβολικά συστήματα, εξαρτώνται από την είσοδο γλυκού νερού, την μορφολογία τους και τις επιδράσεις των ρευμάτων. Σε βαθιά εκβολικά συστήματα, η φωτοσυνθετική δραστηριότητα περιορίζεται από την χλωρίδα του πυθμένα. Στα ρηχότερα εκβολικά συστήματα ο ημερήσιος κύκλος είναι πιο έντονος. Στο παραπάνω παράδειγμα του Chesapeake Bay, έχει παρατηρηθεί ότι νωρίς το πρωί το επίπεδο κορεσμού του οξυγόνου είναι 85 %, ενώ αργά το απόγευμα 115 % (Raymont,1963).

Οι εποχιακές μεταβολές της συγκέντρωσης του οξυγόνου επηρεάζεται από την απορροή του ποταμού, τα ρεύματα, την ημερήσια διάρκεια του φωτός και τις βιολογικές επιδράσεις. Τα ρεύματα εισάγουν θαλασσινό νερό στα εκβολικά συστήματα με αποτέλεσμα την μείωση της συγκέντρωσης του οξυγόνου. Η διάρκεια του φωτός είναι σημαντική γιατί επηρεάζει την θερμοκρασία του νερού και τις βιολογικές λειτουργίες των οργανισμών. Στο Chesapeake Bay , έχουν παρατηρηθεί έντονα οι εποχιακές διαφορές. Τον Απρίλη τα επιφανειακά νερά είναι υπερκορεσμένα με επίπεδα κορεσμού 143 %. Αντίθετα τον Αύγουστο το επίπεδο κορεσμού φτάνει το 42 %. Στα νερά που βρίσκονται κοντά στον πυθμένα το επίπεδο

κορεσμού φτάνει το 133 % τον Οκτώβρη και το 24 % τον Ιούνιο (Reid,1961).
Διαπιστώνεται από τα παραπάνω μεγάλη διαφορά μεταξύ των διαφορετικών εποχών.



2. Υλικά και μέθοδοι

Για να διαπιστώσουμε την σχέση μεταξύ της συγκέντρωσης του διαλυμένου στο νερό, της θερμοκρασίας και της παρεχόμενης τροφής πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε έξι (6) ενυδρεία (Εικ. 10) στα οποία εκτρέφονται άτομα του είδους *Nephrops norvegicus* στο εργαστήριο Υδατοκαλλιέργειών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

2.1 Σύστημα εκτροφής

Το είδος *Nephrops norvegicus* ανήκει στην τάξη των δεκαπόδων καρκινοειδών και στην οικογένεια Nephropidae. Το κάθε ενυδρείο εκτροφής περιείχε



Εικόνα 10. Το σύστημα εκτροφής του είδους *Nephrops norvegicus* (προσωπικό αρχείο).

πέντε άτομα, εκτός από το ενυδρείο 4 που περιείχε 6 άτομα. Η χωρητικότητα των ενυδρείων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 100 l. Στα ενυδρεία 1 και 6 χορηγούνταν φυσική τροφή (μύδια), στα 2 και 5 γινόταν η χορήγηση συμπλήκτων (pellets) και στα 3 και 4 στις αστακοκαραβίδες δεν χορηγούνταν τροφή (ασιτία). Οι αστακοκαραβίδες βρίσκονταν σε ατομικά «κλουβιά» για να αποφευχθεί ο κίνδυνος κανιβαλισμού. Το *Nephrops norvegicus* είναι είδος που μπορεί να έχει κανιβαλιστική συμπεριφορά και αυτό μπορεί να αποτελέσει σοβαρό κίνδυνο για την εκτροφή.

Το σύστημα εκτροφής ήταν κλειστό, δηλαδή ένα σύστημα εκτροφής όπου το νερό αφού καθαριστεί μέσω μιας σειράς φίλτρων εισάγεται εκ νέου στα ενυδρεία. Τα φίλτρα που χρησιμοποιήθηκαν στην εκτροφή των αστακοκαραβίδων ήταν

εσωτερικού τύπου. Αυτού του τύπου τα φίλτρα έχουν το πλεονέκτημα να διηθούν μεγαλύτερη ποσότητα νερού στον ίδιο χρόνο από ότι τα φίλτρα αέρα. Τα συγκεκριμένα φίλτρα περιλάμβαναν μηχανικό, βιολογικό και χημικό εξοπλισμό, που είναι απαραίτητος εξοπλισμός στο κλειστό σύστημα (Εικ. 11).

Το μηχανικό φίλτρο που χρησιμοποιήθηκε περιλάμβανε υλικό διήθησης και συγκεκριμένα υαλοβάμβακα, ώστε να συγκρατούνται τα στερεά υπολείμματα της τροφής και τα περιττώματα των εκτρεφόμενων



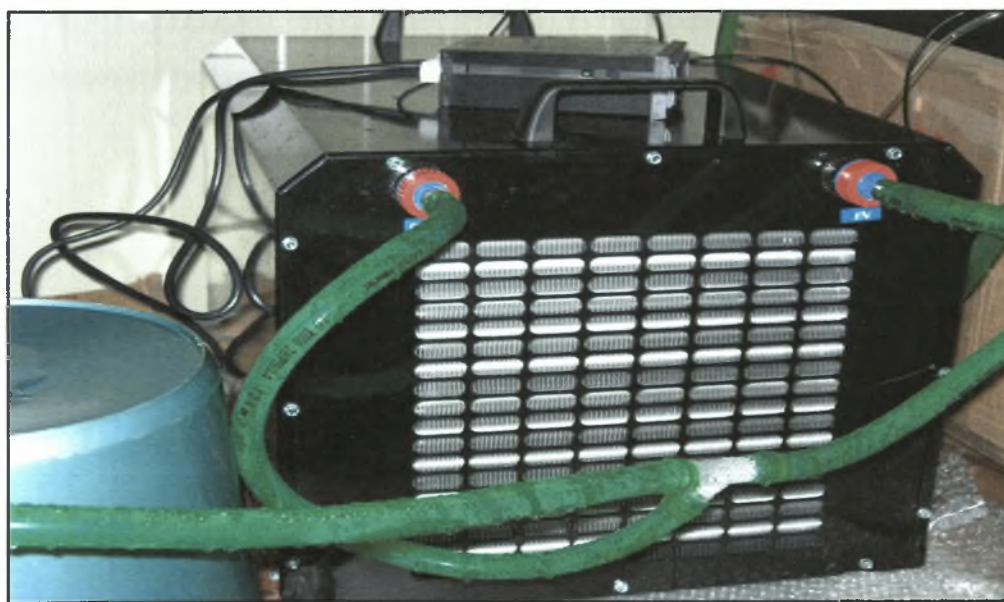
Εικόνα 11 . Αποψη του φίλτρου των ενυδρείων εκτροφής (προσωπικό αρχείο).

οργανισμών . Το χημικό φίλτρο περιείχε ενεργό άνθρακα, ώστε να αφαιρούνται από το νερό εκτροφής διάφορες οσμές και χρωστικές που τυχόν υπήρχαν. Η ποσότητα του ενεργού άνθρακα ανανεωνόταν κάθε δύο μήνες περίπου. Τέλος, το βιολογικό φίλτρο των ενυδρείων εκτροφής αποτελούσε το κυριότερο τμήμα της διήθησης. Το βιολογικό φίλτρο περιλάμβανε, πορώδη υλικά, ώστε σε μικρό όγκο να υπάρχει μεγάλη επιφάνεια. Αυτό θα πρέπει να συμβαίνει ώστε η μεγάλη επιφάνεια του βιολογικού φίλτρου να αποικιστεί από βακτήρια του γένους *Nitrosomonas* και *Nitrobacter* που συμμετέχουν στο κύκλο του αζώτου. Τα *Nitrosomonas* μετατρέπουν την αμμωνία (NH_3), που είναι εξαιρετικά τοξική για τους υδρόβιους οργανισμούς σε λιγότερο επικίνδυνη μορφή που είναι τα νιτρώδη (NO_2). Τα *Nitrobacter* είναι τα βακτήρια όπου μετατρέπουν τα νιτρώδη (NO_2) σε νιτρικά (NO_3), που είναι ακίνδυνα για τους εκτρεφόμενους υδρόβιους οργανισμούς. Για να υπάρξει σωστή λειτουργία του βιολογικού φίλτρου θα πρέπει να προστίθονται εκ νέου βακτήρια κατά τη διάρκεια της εκτροφής.

Όπως έχει αναλυθεί οι διάφοροι υδρόβιοι οργανισμοί έχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις σε οξυγόνο, το οποίο αποτελεί το απαραίτητο αέριο για τις αναπνευστικές ανάγκες τους. Έτσι σε ένα κλειστό σύστημα εκτροφής, όπως αυτό που χρησιμοποιήθηκε για την εκτροφή των αστακοκαβίδων είναι σημαντικό να υπάρχει

μία συσκευή παροχής αέρα και για τον πρόσθετο λόγο ότι μέρος του καταναλώνεται για τις ανάγκες του βιολογικού φίλτρου. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε αντλία αέρα. Η αντλία αέρα αντλεί αέρα από την ατμόσφαιρα και τον μεταφέρει μέσω ενός σωλήνα στα ενυδρεία εκτροφής. Για την διοχέτευση του αέρα στο κάθε ενυδρείο χρησιμοποιείται ένας πλαστικός σωλήνας διαμέτρου 5 mm, στο άκρο του οποίου βρίσκεται συνήθως μία πορώδης πέτρα διασποράς. Είναι γνωστό ότι η αναταραχή που προκαλείται επιτρέπει τη διαφυγή μεγαλύτερης ποσότητας διοξειδίου του άνθρακα από το νερό του ενυδρείου και έτσι εισχωρεί μεγαλύτερη ποσότητα οξυγόνου, αν και πολύ περισσότερο οξυγόνο διαχέεται στο νερό του ενυδρείου εξαιτίας της αναταραχής στην επιφάνεια επαφής ατμόσφαιρας-νερού παρά από την άμεση επαφή του νερού με τις φυσαλίδες (Lee et al, 2003).

Σημαντικό εξοπλισμό σε ένα κλειστό σύστημα κυκλοφορίας νερού επίσης αποτελεί και μία ψυκτική συσκευή (cooler) στην περίπτωση που εκτρέφεται ένα ψυχρόφιλο είδος (Εικ. 12). Μία τέτοια χρησιμοποιήθηκε και στην εκτροφή των



Εικόνα 12 . Άποψη της ψυκτικής συσκευής του συστήματος (προσωπικό αρχείο).

αστακοκαραβίδων επειδή η θερμοκρασία του νερού θα πρέπει να είναι χαμηλή για το συγκεκριμένο είδος. Η θερμοκρασία της ψυκτικής συσκευής ήταν ρυθμισμένη στους 12°C, και η θερμοκρασία του νερού των ενυδρείων εκτροφής κυμάνθηκε γύρω από αυτή την θερμοκρασία.

Το νερό που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια του πειράματος προερχόταν από τον Παγασητικό κόλπο και η μεταφορά του γινόταν με βυτιοφόρο κατά τακτά χρονικά διαστήματα. Το νερό αρχικά τοποθετούνταν σε υδατόπυργο και ανάλογα με τις ανάγκες μέσω πλαστικών σωλήνων μεταφερόταν στα ενυδρεία εκτροφής. Το νερό από τον υδατόπυργο αντικαθιστούσε όσο νερό αφαιρούνταν από την εξάτμιση και από άλλες διαρροές. Μία τέτοια διαρροή αποτελούσε το νερό που εξερχόταν από τα ενυδρεία κατά τον σιφωνισμό. Ο σιφωνισμός γινόταν για να απομακρυνθούν τα υπολείμματα της τροφής που είχαν καθιζήσει στον πυθμένα του ενυδρείου καθώς και τα περιττώματα των εκτρεφόμενων αστακοκαραβίδων. Ο σιφωνισμός των ενυδρείων γινόταν πριν την χορήγηση νέας τροφής, δηλαδή δύο φορές την εβδομάδα στα ενυδρεία όπου γινόταν η χορήγηση τροφής (1,2,5,6).

Καθ' όλη τη διάρκεια της εκτροφής γινόταν έλεγχος στην ποιότητα του νερού για να αξιολογηθεί και ελεγχθεί αν το κλειστό σύστημα λειτουργούσε με την ιδανική ποιότητα νερού. Ένας τέτοιος έλεγχος πραγματοποιούνταν στις φυσικοχημικές παραμέτρους και περιελάμβανε τη συγκέντρωση της αμμωνίας, το PH, το διαλυμένο οξυγόνο κ.α.. Ο έλεγχος της αμμωνίας στο νερό της εκτροφής των αστακοκαραβίδων πραγματοποιήθηκε με την χρήση σετ χημικών κατά τακτά χρονικά διαστήματα.

2.2 Μέτρηση του διαλυμένου οξυγόνου

Η μέτρηση του διαλυμένου οξυγόνου επιτεύχθηκε με την χρήση οξυγονόμετρου. Ο τύπος του οξυγονόμετρου που χρησιμοποιήθηκε ήταν το Hanna HI 9143 (Εικ. 13). Το Hanna HI 9143 είναι ένα αδιάβροχο, βασισμένο σε μικροεπεξεργαστή όργανο μέτρησης του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό. Το οξυγονόμετρο αυτό βαθμονομείται αυτόματα και είναι ικανό να αποδώσει τις μετρήσεις σε ppm και % κορεσμού του οξυγόνου στο νερό. Επίσης υπήρχε η δυνατότητα μέτρησης της θερμοκρασίας, αφού μπορεί να μετρήσει από 0 έως 50 °C. Στο άκρο του οξυγονόμετρου, το οποίο εισάγεται στο νερό για τις μετρήσεις υπάρχει μία μεμβράνη, που καλύπτει τα στοιχεία ενός πολυρογραφικού αισθητήρα και την θερμική αντίσταση για την μέτρηση της θερμοκρασίας. Η λεπτή μεμβράνη από την μία πλευρά προστατεύει τα στοιχεία του αισθητήρα από το νερό, αλλά επιτρέπει την

είσοδο του οξυγόνου. Έτσι όταν εφαρμόζεται μία τάση στον αισθητήρα το οξυγόνο περνά μέσα από την μεμβράνη και καθορίζεται η συγκέντρωση του στο νερό.

Πριν από κάθε μέτρηση με το οξυγονόμετρο γινόταν βαθμονόμηση με τον εξής



Εικόνα 13. Το οξυγονόμετρο HANNA HI 9143 (www.hannainst.com)

τρόπο. Αρχικά τίθεται σε

λειτουργία το

οξυγονόμετρο και

εμφανίζεται στην οθόνη

του η ένδειξη “Cond”.

Όταν αυτή η ένδειξη

εξαφανιστεί από την

οθόνη, τότε το

οξυγονόμετρο είναι

έτοιμο να βαθμονομηθεί.

Έπειτα για να γίνει η

βαθμονόμηση του

οργάνου γίνεται χρήση

του πλήκτρου “Cal” και

ξεκινά η βαθμονόμηση. Έπειτα από ένα λεπτό περίπου στην οθόνη του οργάνου

διακρίνεται η ένδειξη 100% και τότε το όργανο είναι έτοιμο για τις μετρήσεις. Με το

πλήκτρο “Range” του οργάνου είναι δυνατό να μετρηθεί το διαλυμένο οξυγόνο σε

ppm και επί τοις % κορεσμός οξυγόνου. Επίσης κατά τη διάρκεια των μετρήσεων

του οξυγόνου γίνεται και μέτρηση της θερμοκρασίας του νερού.

3. Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων δίνονται στους πίνακες 5, 6, 7, 8, 9, 10 και 11.

Πίνακας 5. Μέσες τιμές συγκέντρωσης οξυγόνου και τυπικές αποκλίσεις στα ενυδρεία εκτροφής (n= 16).

Ενυδρεία	M.O±τυπ. απόκλιση συγκέντρωσης οξυγόνου.
Ενυδρείο 1	8.33±0.87
Ενυδρείο 2	8.06±0.91
Ενυδρείο 3	8.27±0.7
Ενυδρείο 4	8.51±0.5
Ενυδρείο 5	7.07±1.44
Ενυδρείο 6	7.89±0.86

Πίνακας 6. Συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου, θερμοκρασίας και επιπέδου κορεσμού στο ενυδρείο 1.

	Συγκέντρωση οξυγόνου (mg/l)	Θερμοκρασία (°C)	Επίπεδο κορεσμού οξυγόνου (%)
Πλήθος	16	16	16
Μέσος όρος	8.34	12.44	77.66
Διακύμανση	0.74	0.69	50
Τυπική απόκλιση	0.87	0.83	7.07
Μέγιστη τιμή	9.35	13.5	86
Ελάχιστη τιμή	6.6	10	58.3
Εύρος τιμών	2.75	3.5	27.7

Από τον παραπάνω πίνακα (Πιν. 6) διαπιστώνουμε ότι τα εύρη τιμών για την συγκέντρωση του οξυγόνου, την θερμοκρασία και το επίπεδο κορεσμού του οξυγόνου είναι 2.75 mg/l, 3.5 °C, 27.7 %.

Πίνακας 7. Συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου, θερμοκρασίας και επιπέδου κορεσμού στο ενυδρείο 2.

	Συγκέντρωση οξυγόνου (mg/l)	Θερμοκρασία (°C)	Επίπεδο κορεσμού οξυγόνου (%)
Πλήθος	16	16	16
Μέσος όρος	8.06	11.9	75.13
Διακύμανση	0.83	0.57	53.87
Τυπική απόκλιση	0.91	0.76	7.34
Μέγιστη τιμή	9.74	13	86.1
Ελάχιστη τιμή	6.75	10	62.4
Εύρος τιμών	2.99	3	23.7

Από τον παραπάνω πίνακα (Πιν. 7) διαπιστώνουμε ότι τα εύρη τιμών για την συγκέντρωση του οξυγόνου, την θερμοκρασία και το επίπεδο κορεσμού του οξυγόνου είναι 2.99 mg/l, 3 °C, 23.7 %.

Πίνακας 8. Συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου, θερμοκρασίας και επιπέδου κορεσμού στο ενυδρείο 3.

	Συγκέντρωση οξυγόνου (mg/l)	Θερμοκρασία (°C)	Επίπεδο κορεσμού οξυγόνου (%)
Πλήθος	16	16	16
Μέσος όρος	8.27	11.96	77.23
Διακύμανση	0.49	0.19	33.69
Τυπική απόκλιση	0.7	0.43	5.8
Μέγιστη τιμή	9.63	12.7	86.1
Ελάχιστη τιμή	7.22	11.5	67.6
Εύρος τιμών	2.41	1.2	18.5

Από τα στοιχεία του πίνακα (Πιν. 8) για διαπιστώνουμε ότι τα εύρη τιμών για την συγκέντρωση του οξυγόνου, την θερμοκρασία και το επίπεδο κορεσμού του οξυγόνου είναι 2.41 mg/l, 1.2 °C, 18.5 %.

Πίνακας 9. Συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου, θερμοκρασίας και επιπέδου κορεσμού στο ενυδρείο 4.

	Συγκέντρωση οξυγόνου (mg/l)	Θερμοκρασία (°C)	Επίπεδο κορεσμού οξυγόνου (%)
Πλήθος	16	16	16
Μέσος όρος	8.51	13.33	81.3
Διακύμανση	0.24	0.34	29.46
Τυπική απόκλιση	0.5	0.58	5.43
Μέγιστη τιμή	9.22	14.7	94.4
Ελάχιστη τιμή	7.58	12.5	72
Εύρος τιμών	1.64	2.2	22.4

Για το ενυδρείο 4, τα εύρη τιμών για την συγκέντρωση του οξυγόνου, την θερμοκρασία και το επίπεδο κορεσμού του οξυγόνου είναι 1.64 mg/l, 2.2 °C, 22.4 % (Πιν. 9).

Πίνακας 10. Συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου, θερμοκρασίας και επιπέδου κορεσμού στο ενυδρείο 5.

	Συγκέντρωση οξυγόνου (mg/l)	Θερμοκρασία (°C)	Επίπεδο κορεσμού οξυγόνου (%)
Πλήθος	16	16	16
Μέσος όρος	7.07	14.46	69.99
Διακύμανση	2.08	0.84	156.85
Τυπική απόκλιση	1.44	0.92	12.52
Μέγιστη τιμή	9.4	15.8	93.1
Ελάχιστη τιμή	4.45	12.4	44.8
Εύρος τιμών	4.95	3.4	48.3

Τα εύρη τιμών για την συγκέντρωση του οξυγόνου, την θερμοκρασία και το επίπεδο κορεσμού του οξυγόνου είναι 4.95 mg/l, 3.4 °C, 48.3 % στο ενυδρείο 5 (Πιν. 10).

Πίνακας 11. Συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου, θερμοκρασίας και επιπέδου κορεσμού στο ενυδρείο 6.

	Συγκέντρωση οξυγόνου (mg/l)	Θερμοκρασία (°C)	Επίπεδο κορεσμού οξυγόνου (%)
Πλήθος	16	16	16
Μέσος όρος	7.89	12.38	72.7
Διακύμανση	0.73	1.21	63.94
Τυπική απόκλιση	0.86	1.1	8
Μέγιστη τιμή	9.59	15.7	90.3
Ελάχιστη τιμή	6.58	11	58.9
Εύρος τιμών	3.01	4.7	31.4

Τα εύρη τιμών για την συγκέντρωση του οξυγόνου, την θερμοκρασία και το επίπεδο κορεσμού του οξυγόνου είναι 3.01mg/l, 4.7 °C, 31.4 % στο ενυδρείο 6 (Πιν. 11).

Η στατιστική ανάλυση των μετρήσεων που ελήφθησαν για την συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου, του επιπέδου κορεσμού του οξυγόνου και της θερμοκρασίας, πραγματοποιήθηκε με το στατιστικό πρόγραμμα STATGRAPHICS Plus 5.0 . Εκτός της περιγραφικής στατιστικής έγινε ANOVA για την συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου, του επιπέδου κορεσμού του οξυγόνου και της θερμοκρασίας. Η ANOVA έγινε για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Με την ANOVA,

διερευνήθηκε αν τα δεδομένα της συγκέντρωσης του οξυγόνου διαφέρουν μεταξύ των ενυδρείων και μεταξύ των ομάδων των ενυδρείων. Όλα τα διαγράμματα των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκαν με το Excel.

Από την στατιστική ανάλυση (ANOVA) με ($P < 0.05$) διαπιστώθηκε ότι οι συγκεντρώσεις του οξυγόνου διαφέρουν σημαντικά στα έξι ενυδρεία εκτροφής των αστακοκαραβίδων (*Nephrops norvegicus*), ($P = 0.0023$).

Από την στατιστική ανάλυση των τιμών της συγκέντρωσης του διαλυμένου στο νερό οξυγόνου, διαπιστώθηκε ότι η συγκέντρωση του οξυγόνου στα ενυδρεία 1 και 6, στα οποία προσφέρονταν μύδια δεν διαφέρουν στατιστικά μεταξύ τους. Επίσης η συγκέντρωση του οξυγόνου στα ενυδρεία 3 και 4, που δεν χορηγούνταν τροφή, δεν διαφέρουν στατιστικά μεταξύ τους. Αντίθετα η συγκέντρωση του οξυγόνου στα ενυδρεία 2 και 5 στα οποία χορηγούνταν σύμπληκτα διαφέρουν στατιστικά μεταξύ τους.

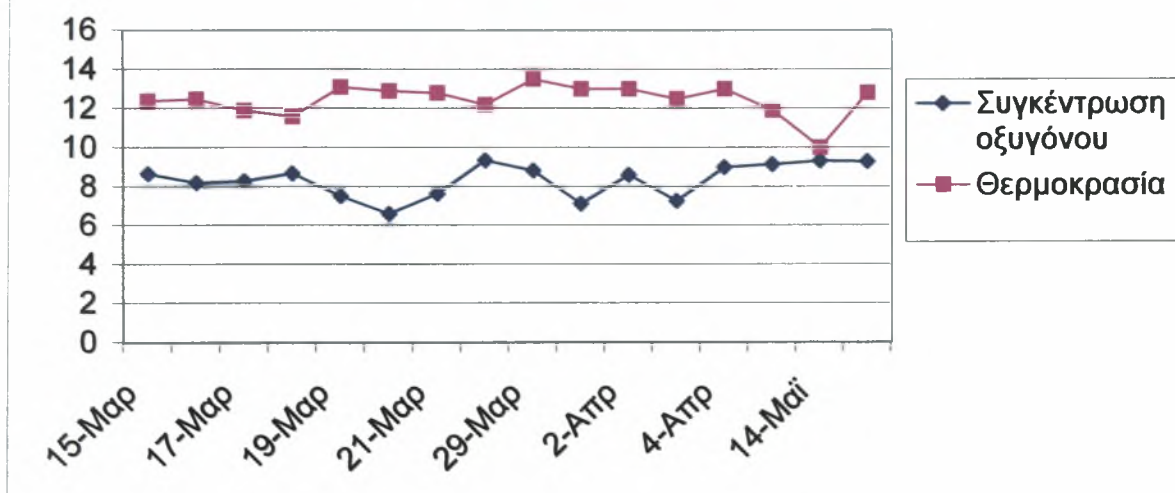
Από τους πίνακες που παραθέτονται τα στατιστικά στοιχεία για κάθε ενυδρείο, διαπιστώνεται ένα μεγάλο εύρος στις τιμές της συγκέντρωσης και του επιπέδου κορεσμού του οξυγόνου στο ενυδρείο 5.

Η τιμές της συγκέντρωσης της αμμωνίας κυμάνθηκε από 0.25 έως 0.5 mg/l και του pH από 7.5 έως 8.

3.1 Επίδραση της θερμοκρασίας στην συγκέντρωση του οξυγόνου σε κάθε ενυδρείο εκτροφής

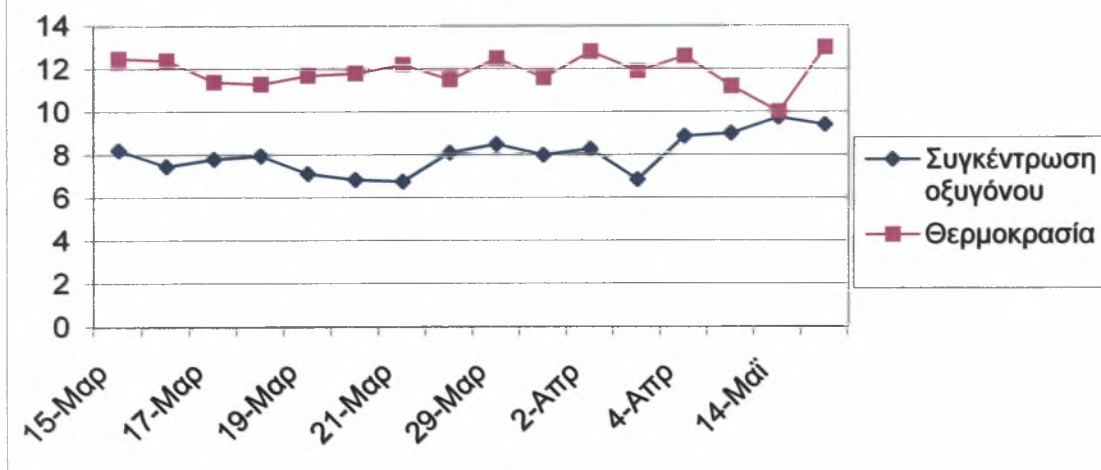
Από τα διαγράμματα «συγκέντρωσεις οξυγόνου – θερμοκρασίας» για κάθε ενυδρείο εκτροφής φαίνεται ότι η συγκέντρωση του οξυγόνου είναι αντιστρόφως ανάλογη με την θερμοκρασία. Όσο η θερμοκρασία είναι σε υψηλά επίπεδα, η συγκέντρωση του οξυγόνου είναι χαμηλή και αντίστροφα (Εικ. 14,15 και 16). Το ίδιο ισχύει και για το επίπεδο κορεσμού του οξυγόνου, το οποίο είναι μικρότερο, όταν η θερμοκρασία είναι υψηλή. Αυτό γίνεται αντιληπτό στις παραπάνω εικόνες όπου παρατηρείται μία σχεδόν «συμμετρική» αποτύπωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου και της θερμοκρασίας κατά την διάρκεια της εκτροφής.

ΕΝΥΔΡΕΙΟ 1

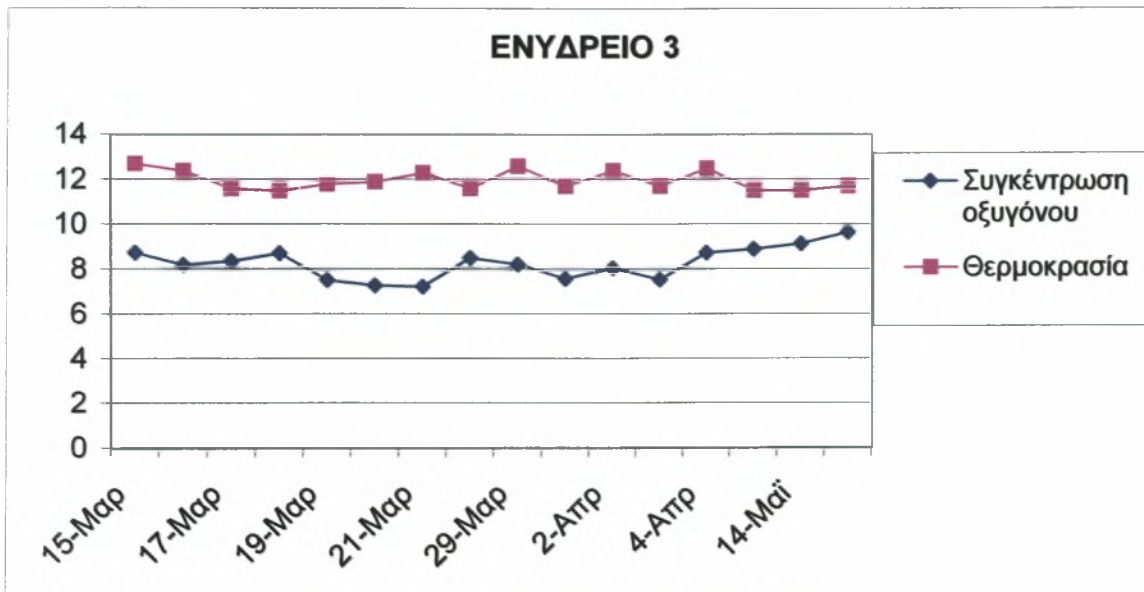


Εικόνα 14 . Συγκεντρώσεις οξυγόνου-θερμοκρασία (ενυδρείο 1)

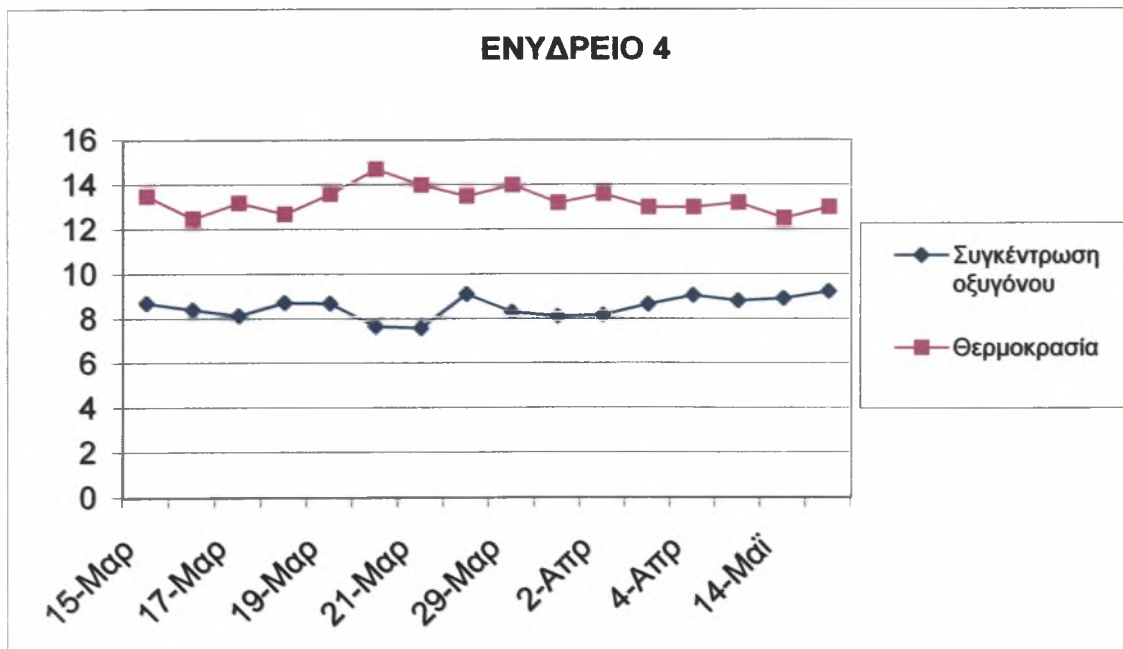
ΕΝΥΔΡΕΙΟ 2



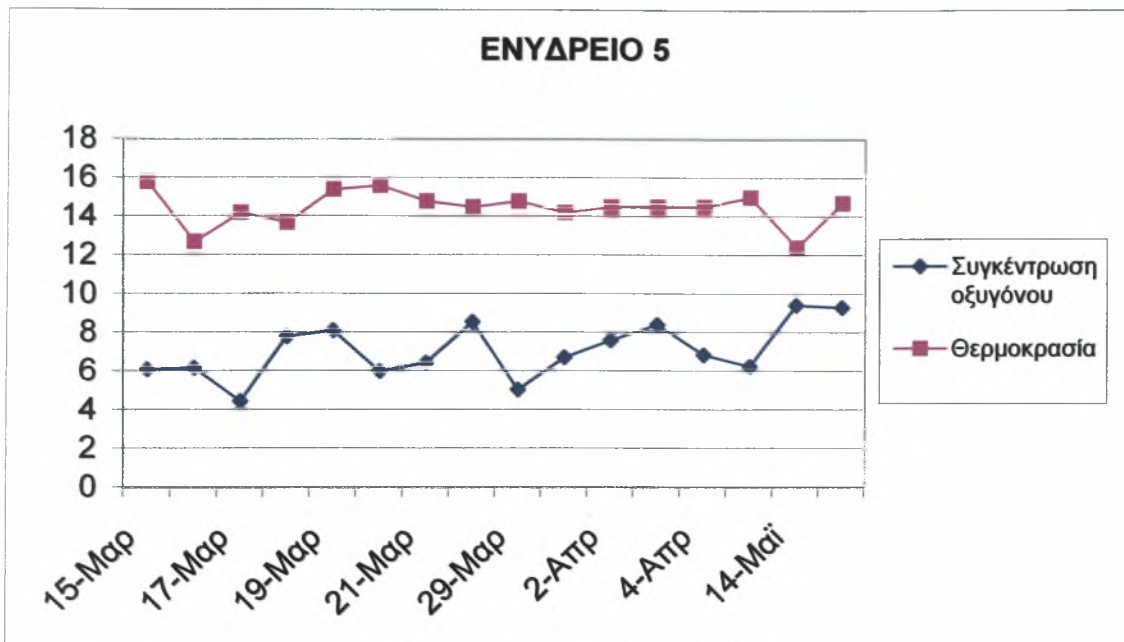
Εικόνα 15 . Συγκεντρώσεις οξυγόνου-θερμοκρασία (ενυδρείο 2)



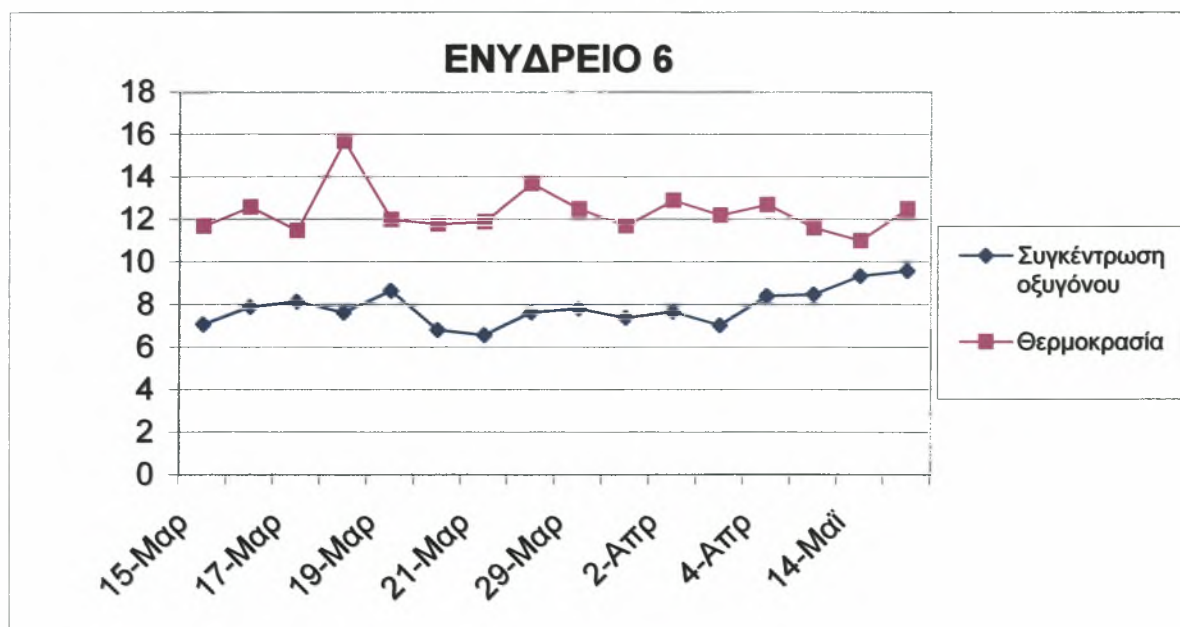
Εικόνα 16 . Συγκεντρώσεις οξυγόνου-θερμοκρασία (ενυδρείο 3)



Εικόνα 17 . Συγκεντρώσεις οξυγόνου-θερμοκρασία (ενυδρείο 4)



Εικόνα 18 . Συγκεντρώσεις οξυγόνου-θερμοκρασία (ενυδρείο 5)



Εικόνα 19 . Συγκεντρώσεις οξυγόνου-θερμοκρασία (ενυδρείο 6)

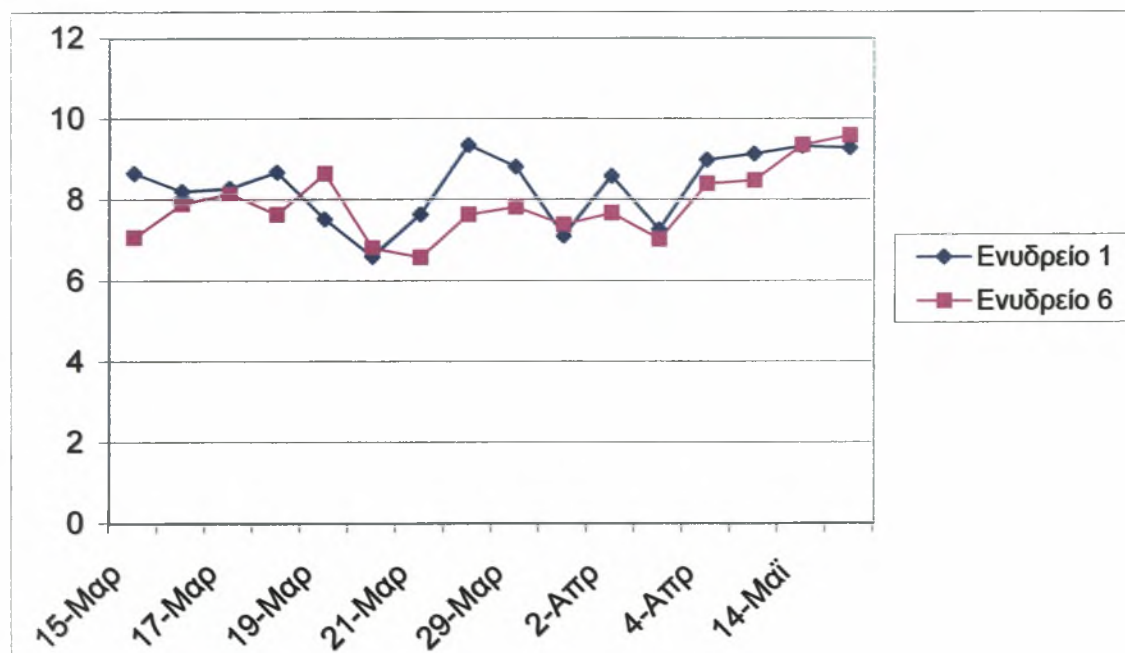
Η σχέση αυτή στα διαγράμματα των ενυδρείων είναι πιο σαφής καθώς περιέχονται μόνο άτομα αστακοκαραβίδων που δεν δέχονται τροφή.

Στα άλλα ενυδρεία αυτή η σχέση δεν είναι τόσο σαφής γιατί το οξυγόνο καταναλίσκεται συν τοις άλλοις για να καλύψει τις αυξημένες μεταβολικές ανάγκες

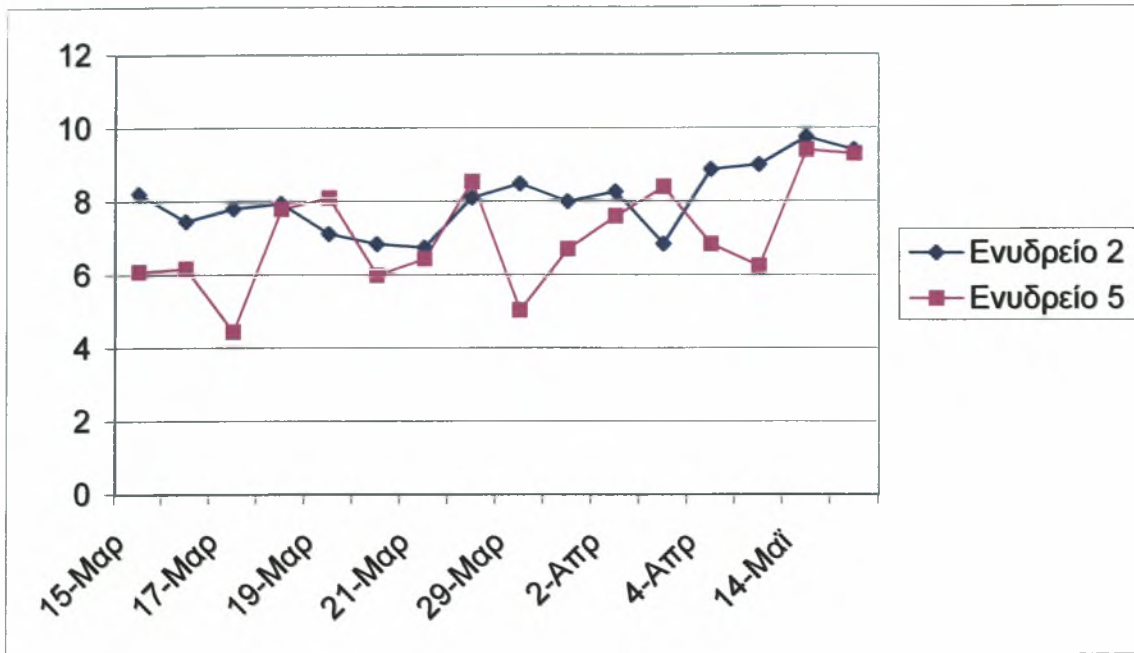
των σιτιζόμενων ατόμων. Τα αποτελέσματα αυτά συνάδουν με την βιβλιογραφία, όπου αναφέρεται ότι κατά την ασιτία οι οργανισμοί μειώνουν το μεταβολικό ρυθμό και την κατανάλωση του οξυγόνου.

3.2 Κατανομή του διαλυμένου οξυγόνου στις ομάδες ενυδρείων εκτροφής

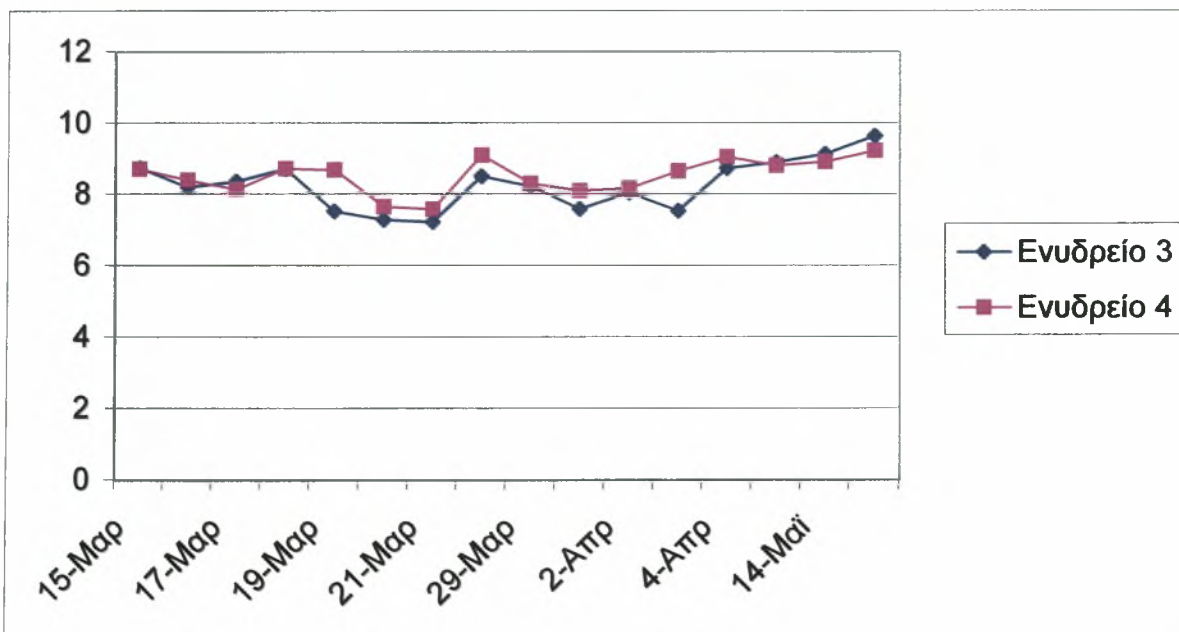
Τα ενυδρεία εκτροφής των αστακοκαραβίδων, όπως έχει αναφερθεί, χωρίστηκαν σε ομάδες. Στα ενυδρεία 1 και 6, στις αστακοκαραβίδες χορηγούνταν ζωντανή τροφή (μύδια). Στα ενυδρεία 2 και 5 γινόταν χορήγηση συμπύκτων (pellets) και στα 3 και 4 δεν χορηγούνταν τροφή (ασιτία). Στα ενυδρεία που προσφερόταν τροφή, το ποσοστό χορήγησης ήταν περίπου στο 1.5 % του σωματικού βάρους των καραβίδων. Από τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης, διαπιστώθηκε ότι η συγκέντρωση του οξυγόνου διαφέρει σημαντικά ($P=0.0034$) για $P<0.05$ μεταξύ των ομάδων ενυδρείων εκτροφής των αστακοκαραβίδων.



Εικόνα 20 . Κατανομή διαλυμένου οξυγόνου στα ενυδρεία 1 και 6 κατά τη διάρκεια της εκτροφής



Εικόνα 21 . Κατανομή διαλυμένου οξυγόνου στα ενυδρεία 2 και 5 κατά τη διάρκεια της εκτροφής



Εικόνα 22 . Κατανομή διαλυμένου οξυγόνου στα ενυδρεία 3 και 4 κατά τη διάρκεια της εκτροφής.

Οι τιμές της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου στα ενυδρεία 1 και 6 (Εικ. 20) δεν παρουσιάζουν αυξομειώσεις και παρατηρείται μία ομαλή κατανομή του διαλυμένου οξυγόνου κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Επίσης πιο ομαλά κυμαίνεται η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στα ενυδρεία 3 και 4 (Εικ. 22), όπου στις αστακοκαραβίδες δεν χορηγούνταν τροφή. Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου σ' αυτά τα ενυδρεία βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα. Στο ίδιο διάγραμμα, φαίνεται ότι η κατανομή του διαλυμένου οξυγόνου είναι περίπου ίδια (μικρό εύρος διακύμανσης, υψηλά επίπεδα συγκέντρωσης).

Αντίθετα στα ενυδρεία 2 και 5 (Εικ. 21) παρατηρούνται μεγάλα εύρη τιμών, με πλέον ακραίες τιμές στο ενυδρείο 5. Από το συγκεντρωτικό διάγραμμα των δύο αυτών κατανομών οξυγόνου στα ενυδρεία 2 και 5 δεν παρατηρείται μεγάλη ομοιότητα στη συγκέντρωση του οξυγόνου των δύο ενυδρείων. Το γεγονός αυτό έχει βρεθεί και στην στατιστική ανάλυση καθώς το ενυδρείο 5 ήταν αυτό που διαφοροποιούσε την συγκέντρωση του οξυγόνου μεταξύ των ενυδρείων εκτροφής. Γενικά οι μεταβολές της συγκέντρωσης του οξυγόνου στα ενυδρεία 2 και 5 παρουσιάζουν μία περιοδικότητα. Στο ενυδρείο 5 η περιοδικότητα αυτή είναι πιο έντονη, ενώ στο ενυδρείο 2 λιγότερο έντονη. Η περιοδικότητα εμφανίζεται επίσης λιγότερο έντονα και στα ενυδρεία 1 και 6. Αντίθετα στην ομαλή κατανομή της συγκέντρωσης του οξυγόνου στα ενυδρεία 3 και 4 δεν είναι δυνατό να διακριθεί η περιοδική αυξομείωση της συγκέντρωσης του οξυγόνου.

Στα ενυδρεία όπου υπάρχουν έντονες ή λιγότερο έντονες αυξομειώσεις γινόταν χορήγηση τροφής, είτε ήταν φυσική τροφή (ενυδρεία 1 και 6) είτε ήταν σύμπηκτα (ενυδρεία 2 και 5). Η φυσική τροφή (μύδια) καταναλώθηκε από τις αστακοκαραβίδες, αν και ένα μέρος της παρέμενε στο ενυδρείο έως ότου απομακρυνθούν τα υπολείμματα και προστεθεί νέα τροφή.

Στα ενυδρεία 2 και 5, όπου γινόταν η χορήγηση συμπηκτων, οι αστακοκαραβίδες έπειτα από τρεις μήνες εκτροφής κατανάλωσαν και τα σύμπηκτα τα οποία προορίζονταν για την διατροφή ευρύαλων ειδών. Χαρακτηριστικό είναι ότι οι αστακοκαραβίδες δεν καταναλώνουν άμεσα την χορηγούμενη τροφή, με αποτέλεσμα μεγάλο μέρος της τροφής να διαλύεται στο νερό.Ειδικά με την διάλυση των συμπηκτων λόγω της μεγάλης διάρκειας παραμονής τους στον πυθμένα του ενυδρείου, το νερό ρυπαινόταν κυρίως από τα ιχθυέλαια που περιείχαν. Επίσης στο

ενυδρείο 5, ήταν χαρακτηριστική η παρουσία στερεών υλικών που προέρχονταν από τα σύμπηκτα.

4. Συζήτηση

Η κατανομή του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό των ενυδρείων σχετίζεται με τη θερμοκρασία του νερού εκτροφής. Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου είναι αντιστρόφως ανάλογη με την θερμοκρασία του νερού και αυτό παρατηρήθηκε και στην εκτροφή της αστακοκαραβίδας (*Nephrops norvegicus*). Συγκεκριμένα όπως έχει αναφερθεί, η θερμοκρασία είναι ένας από τους κύριους παράγοντες που επηρεάζουν τη διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό (Νεοφύτου, 1997). Η σχέση αυτή είναι περισσότερο εμφανής όταν δεν υπάρχουν άλλοι σημαντικοί παράγοντες που την επηρεάζουν. Από τις μετρήσεις στα ενυδρεία της πειραματικής εκτροφής των αστακοκαραβίδων διαπιστώθηκε ότι στα ενυδρεία όπου δεν υπήρχε χορήγηση τροφής είτε αυτή ήταν συνθετική είτε φυσική, η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου ήταν μεγαλύτερη και είχε άμεση σχέση με τη θερμοκρασία του νερού εκτροφής. Αυτό διακρίνεται με μεγαλύτερη σαφήνεια από τα διαγράμματα των ενυδρείων όπου εφαρμόζονταν ασιτία.

Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου αποδείχτηκε ότι διαφέρει μεταξύ των ομάδων ενυδρείων. Στα ενυδρεία όπου εφαρμόστηκε ασιτία, η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου βρέθηκε σε υψηλότερα επίπεδα από τις άλλες ομάδες ενυδρείων, επειδή δεν υπήρξε χορήγηση τροφής και οι αστακοκαραβίδες δεν καταλάωναν οξυγόνο για τις μεταβολικές ανάγκες τους που βρίσκονταν σε χαμηλό επίπεδο. Επιπρόσθετα επειδή σε καμία εκτροφή υδρόβιων οργανισμών δεν καταναλώνεται όλο το ποσό της τροφής που χορηγείται, υπάρχουν υπολείμματα που δαπανούν οξυγόνο κατά τη διάρκεια της αποικοδόμησής τους. Οπότε στα ενυδρεία όπου δεν υπήρχε χορήγηση τροφής είναι λογικό να υπάρχει μεγαλύτερη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου αφού η κατανάλωση του είναι περιορισμένη. Αυτό το συμπέρασμα εξάγεται από την ανάλυση των αποτελεσμάτων επιβεβαιώνεται και από άλλες βιβλιογραφικές πηγές που αναφέρουν μείωση των μεταβολικού ρυθμού, όταν εφαρμόζεται ασιτία στο είδος *Nephrops norvegicus* (Baden et al, 1994).

Στα ενυδρεία όπου γινόταν χορήγηση φυσικής τροφής (μύδια), η συγκέντρωση του οξυγόνου κατά μέσο όρο ήταν μικρότερη από εκείνη των ενυδρείων όπου εφαρμόζονταν ασιτία. Στην περίπτωση αυτή η διάλυση των υπολειμμάτων της φυσικής τροφής γινόταν με αργό ρυθμό και ήταν δυνατή η μέτρηση του ποσού της τροφής που καταλάωναν με ακρίβεια. Το γεγονός αυτό

μπορεί να ερμηνευτεί με το ότι η σχετικά μειωμένη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου οφείλεται στην αύξηση του μεταβολικού ρυθμού που παρατηρείται μετά την κατανάλωση της φυσικής τροφής από τις αστακοκαραβίδες και όχι στην αποικοδόμηση των υπολειμμάτων της φυσικής τροφής. Τα υπολείμματα της φυσικής τροφής εκτός από το ότι διαλύονται με αργό ρυθμό, δεν αποτελούσαν μεγάλο ποσό, γιατί η κατανάλωση της φυσικής τροφής δεν επέτρεπε την παραγωγή υπολειμμάτων.

Αντίθετα στα ενυδρεία που στις αστακοκαραβίδες χορηγούνταν σύμπηκτα παρατηρήθηκε η πιο χαμηλή, κατά μέσο όρο, συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου. Οι αστακοκαραβίδες κατανάλωσαν σύμπηκτα, αλλά σε μικρή ποσότητα, όμως αν και η κατανάλωση των συμπηκτων ήταν μικρή, συνεπώς και χαμηλός και ο μεταβολικός ρυθμός τους, η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό ήταν σε χαμηλά επίπεδα. Αυτό μπορεί να ερμηνευτεί με το γεγονός ότι στα ενυδρεία τα σύμπηκτα διαλύονταν σχετικά γρήγορα και για να επιτευχθεί η αποικοδόμηση τους χρειαζόνταν οξυγόνο, με αποτέλεσμα να μειώνεται η συγκέντρωση του οξυγόνου στο νερό των ενυδρείων. Η μικρή αύξηση της θερμοκρασίας σε αυτά τα ενυδρεία ήταν δυνατό να προκαλέσει τόση μεγάλη μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου σε σχέση με τις άλλες ομάδες ενυδρείων. Εκτός από την αποικοδόμηση των υπολειμμάτων της τροφής, το νερό των ενυδρείων όπου γινόταν χορήγηση συμπηκτων ήταν ρυπασμένο έντονα από ιχθυέλαια που περιέχονται στα σύμπηκτα. Επίσης έντονη ήταν και ύπαρξη αιωρούμενων σωματιδίων που προέρχονται από τα σύμπηκτα με αποτέλεσμα να μειώνεται η συγκέντρωση του διαλυμένου στο νερό οξυγόνου. Συγκεκριμένα, έχει διαπιστωθεί ότι τα 2/3 των απαιτήσεων σε οξυγόνο, οποιασδήποτε υδάτινης μάζας, καταναλώνονται κατά τη μικροβιακή διάσπαση των διαλυτών οργανικών στερεών, καθώς και κατά την οξείδωση της αμμωνίας (Persson & Hakanson, 1991).

Επιπρόσθετα είναι βέβαιο ότι το σωματικό βάρος των αστακοκαραβίδων δεν αποτέλεσε παράγοντα διαφοροποίησης μεταξύ των ενυδρείων σχετικά με την συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου, καθώς η αρχική βιομάζα των αστακοκαραβίδων είχε κατανεμηθεί ισόποσα σε κάθε ενυδρείο. Αναφέρεται ότι όσο πιο μεγάλη είναι η εκτρεφόμενη βιομάζα εξίσου μεγάλη είναι και η κατανάλωση του οξυγόνου (Bridges et al, 1980). Οι αστακοκαραβίδες που εκτράφηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος είχαν το ίδιο περίπου σωματικό βάρος οπότε δεν είναι δυνατό να διαπιστωθεί από τα αποτελέσματα ότι ο ρυθμός της κατανάλωσης του οξυγόνου μειώνεται όσο το βάρος του οργανισμού αυξάνει. Η διαπίστωση ότι η

σχέση σωματικού βάρους και κατανάλωσης οξυγόνου είναι αντιστρόφως ανάλογη έχει διαπιστωθεί στα ψάρια (Martinez-Palacios and Ross, 1986) αλλά και στην αστακοκαραβίδα (Wilkes et al, 1981).

Κατά τη διάρκεια του πειράματος στα ενυδρεία που στις αστακοκαραβίδες χορηγούνταν σύμπληκτα η συγκέντρωση του οξυγόνου στο νερό κυμάνθηκε για περιορισμένο χρονικό διάστημα λίγο κάτω από τα όρια της κανονικής συγκέντρωσης οξυγόνου (5 mg/l) (Κλαουδάτος, 2005). Η μικρή αυτή έλλειψη της φυσιολογικής για εκτροφή συγκέντρωσης οξυγόνου δεν επηρέασε την εκτροφή στο συγκεκριμένο ενυδρείο. Η λήψη των συμπληκτων κατά τη διάρκεια των χαμηλών συγκεντρώσεων οξυγόνου δεν επηρεάστηκε και παρέμεινε στα ίδια επίπεδα με αυτά της χρονικής περιόδου που η συγκέντρωση του διαλυμένου στο νερό οξυγόνο ήταν στα φυσιολογικά επίπεδα. Διαπιστώθηκε δηλαδή ότι η μικρή μείωση της συγκέντρωσης οξυγόνου δεν επέδρασε στην κατανάλωση της τροφής, ταυτόχρονα δεν παρατηρήθηκε κάποια αλλαγή στην συμπεριφορά τους. Άλλωστε η κίνηση τους στα ενυδρεία ήταν περιορισμένη λόγω του εγκλωβισμού τους στις παγίδες. Ακόμα σύμφωνα με βιβλιογραφικές πηγές τα δεκάποδα όπως και η αστακοκαραβίδα παρουσιάζει μεγαλύτερη αντοχή στην έλλειψη του οξυγόνου σε σχέση με τα ψάρια (Chapman, 1980).

Στο φυσικό περιβάλλον η υποξεία είναι δυνατόν να επιδράσει στην είσοδο νεαρών ατόμων στο αλιευτικό απόθεμα. Αυτό το γεγονός συμβαίνει το φθινόπωρο και εμφανίζεται όταν η συγκέντρωση του οξυγόνου είναι πολύ χαμηλή. Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου όπου εμφανίζονται προβλήματα στην συμπεριφορά των αστακοκαραβίδων είναι θανατηφόρα για είδη ψαριών όπως το *Diplodus puntazzo* (Cerezo and Garcia, 2004). Ακόμα είναι δυνατόν οι αστακοκαραβίδες να αντέχουν σε πιο χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου αν η έλλειψη του οξυγόνου γίνει προοδευτικά (Baden et al, 1990b). Αυτό αποδεικνύει την μεγάλη αντοχή της αστακοκαραβίδας στις χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου.

5. Βιβλιογραφία

- Aldridge D., Payne B. and Miller A. (1995). Oxygen consumption, nitrogenous excretion, and filtration rates of *Dreissena polymorpha* at acclimation temperatures between 20 and 32°C. *Aquat. Sci.* 52: 1761-1767.
- Armitage K. and Wall T. (1982). The effects of body size, starvation and temperature acclimation on oxygen consumption of the crayfish (*orconectes nais*). *Biochcm. Phpsiol.* 73 (1) : 63- 68.
- Baden S., Depledge M. and Hagerman L. (1994). Glycogen depletion and altered copper and manganse handling in *Nephrops norvegicus* following starvation and exposure to hypoxia. *Marine Ecology Progress Series* 103 : 65–72.
- Björnsson B. and Ólafsdóttir S. (2006). Effects of water quality and stocking density on growth performance of juvenile cod (*Gadus morhua* L.). *ICES Journal of Marine Science* 63 (2) : 326-334.
- Bratvold D. and Browdy C. (1998). Simple electrometric methods for estimating microbial activity in aquaculture ponds. *Aquacultural Engineering* 19 (1) : 29- 39.
- Bridges R., Brand R. (1980). Oxygen consumption and oxygen independence in marine crustaceans. *Marine Ecology Progress Series* 2 :133-141.
- Brodeur J., Dixon D. and McKinley R. (2001). Inhibition of oxygen consumption by pentachlorophenol and tetrachloroguaiacol in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquatic Toxicology* 54 (1-2) : 143-148.
- Carvalho P. and Phan V. (1997). Oxygen consumption and ammonia excretion of *Xiphopenaeus kroyeri* Heller (Penaeidae) in relation to mass temperature and experimental procedures Shrimp oxygen uptake and ammonia excretion. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 209(1-2) : 143-156.

- Cerezo J. and Garcia Garcia B. (2004). The effects of oxygen levels on oxygen consumption, survival and ventilatory frequency of sharpsnout sea bream (*Diplodus puntazzo* Gmelin, 1789) at different conditions of temperature and fish weight. *J. Appl. Ichthyol.* 20 : 488–492.
- Chapman C. (1980). Ecology of juvenile and adult *Nephrops*. The biology and management of lobsters. *Academic Press* 143-178.
- Conte F. (2004) .Stress and the welfare of cultured fish. *Applied Animal Behaviour Science* 86 (3-4) : 205-223.
- Cook J., Sutterlin A. and McNiven M. (2000). Effect of food deprivation on oxygen consumption and body composition of growth-enhanced transgenic Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 188 (1-2): 47-63.
- Das T., Pal A., Chakraborty S., Manush S., Chatterjee N. and Mukherjee S. (2004). Thermal tolerance and oxygen consumption of Indian Major Carps acclimated to four temperatures. *Journal of Thermal Biology* 29 (3) : 157-163.
- Dejours P. (1981) Principles of comparative respiratory physiology. Elsevier, Amsterdam.
- Emmerson W.(1985). Oxygen consumption in palaemon pacihcus (stimpson) (decapoda : palaemonidae) in relation to temperature, size and season. *Camp. Biuchcm. Phwiol* 81(1) 71-78.
- Eriksson S. and Baden S. (1997). Behaviour and tolerance to hypoxia in juvenile Norway lobster (*Nephrops norvegicus*) of different ages. *Marine Biology* 128 : 49-54.
- Fidhiany L. and Winckler K.(1995). Specific oxygen consumption in two life stages of the cichlid fish *Cichlasoma nigrofasciatum*. *Thermochimica Acta* 251 : 283-291.

- Fidhiany L. and Winckler K. (1998). Influence of Body Mass, Age, and Maturation on Specific Oxygen Consumption in a Freshwater Cichlid Fish, *Cichlasoma nigrofasciatum* (Günther, 1869). *Comparative Biochemistry and Physiology* 119 (2) 613-619.
- Foss A., Vollen T. and Øiestad V. (2003). Growth and oxygen consumption in normal and O₂ supersaturated water, and interactive effects of O₂ saturation and ammonia on growth in spotted wolffish (*Anarhichas minor* Olafsen). *Aquaculture* 224 (1-4) : 105-116.
- Grommen R., Van Hauteghem I., Van Wambeke M. and Verstraete W. (2002). An improved nitrifying enrichment to remove ammonium and nitrite from freshwater aquaria systems. *Aquaculture* 211(1-4) : 115-124.
- Guinea J. and Fernandez F.(1997). Effect of feeding frequency, feeding level and temperature on energy metabolism in *Sparus aurata*. *Aquaculture* 148 (2-3) : 125-142.
- Hagerman L. and Uglow F. (1985). Effects of hypoxia on the respiratory and circulatory regulation of *Nephrops norvegicus*. *Marine Biology* 87 : 273-278.
- Hargreaves J. and Tucker C. (2003). Defining loading limits of static ponds for catfish aquaculture. *Aquacultural Engineering* 28 (1-2) : 47-63.
- Holcomb M., Cloud J., Woolsey J. and Ingermann R. (2004). Oxygen consumption in unfertilized salmonid eggs: an indicator of egg quality?. *Comparative Biochemistry and Physiology* 138 (3) :349-354.
- Katsanevakis S., Stephanopoulou S., Miliou H., Moraitou-Apostolopoulou M. and George Verriopoulos (2004). Oxygen consumption and ammonia excretion of *Octopus vulgaris* (Cephalopoda) in relation to body mass and temperature. *Marine Biology* 146: 725-732.
- Κλαουδάτος Σπ. (2005). Κατασκευές Υδατοκαλλιεργητικών Συστημάτων. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας. 29 - 40.

Κλαουδάτος Σπ. (2005). Υδατοκαλλιέργειες και περιβάλλον. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας. 10 -11.

Labatut R. and Olivares J. Culture of turbot (*Scophthalmus maximus*) juveniles using shallow raceways tanks and recirculation. *Aquacultural Engineering* 32 (1) : 113-127.

Lee G., Farrell P., Lotto A., MacNutt J., Hinch G. and Healey C (2003). The effect of temperature on swimming performance and oxygen consumption in adult sockeye (*Oncorhynchus nerka*) and coho (*O. kisutch*) salmon stocks. *J. Exp Biol.* 206 (18):3239-51.

Lei S. (2002). Effect of salinity and body weight on the oxygen consumption of *Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao* 13(6) : 739-42.

Leitritz E.(1969) Trout and salmon culture (Hatchery methods). St. Cal. Dep. Fish and Game, Fish Bull 107.

Maaren C., Kita J. and Daniels H.(2001). Temperature tolerance and oxygen consumption rates for juvenile southern flounder *paralichthys lethostigma* acclimated to five different temperatures. *UJNR Technical Report* 28 : 135-140.

Manush S., Pal A., Chatterjee N., Das T. and Mukherjee S. (2004). Thermal tolerance and oxygen consumption of *Macrobrachium rosenbergii* acclimated to three temperatures. *Journal of Thermal Biology* 29 (1) : 15-19.

Martinez-Palacios A. and Ross L., (1986).The effects of temperature, body weight and hypoxia on the oxygen consumption of the Mexican majorra, *Cichlasoma urophthalmus* (Gunther). *Aquaculture and Fisheries Management* 17 : 243–524.

- McGraw W., Teichert-Coddington D., Rouse D. and Boyd C. (2001). Higher minimum dissolved oxygen concentrations increase penaeid shrimp yields in earthen ponds. *Aquaculture* 199 (3-4) : 311-321.
- McLean W., Jensen J. and Alderdice D. (1993). Oxygen consumption rates and water flow requirements of Pacific salmon (*Oncorhynchus* spp.) in the fish culture environment. *Aquaculture* 109(3) : 281-313.
- Montero D., Tort L., Robaina L., Vergara J. and Izquierdo M. (2001). Low vitamin E in diet reduces stress resistance of gilthead seabream (*Sparus aurata*) juveniles. *Fish & Shellfish Immunology* 11 (6) : 473-490.
- Mugnier C., Lemonnier H. and Legrand A. (2006). Physiological response of the blue shrimp *Litopenaeus stylirostris* to short-term confinement on a pond bottom. *Aquaculture* 253 (1-4) : 703-711.
- Mugnier C. and Soyez C. (2005). Response of the blue shrimp *Litopenaeus stylirostris* to temperature decrease and hypoxia in relation to molt stage. *Aquaculture* 244 (1-4) : 315-322.
- Νεοφύτου Χ. (1997). Ιχθυολογία. University Studio Press. 29-31.
- Person-Le Ruyet J., Pichavant K., Vacher C., Le Bayon N., Sévère A. and Boeuf G. (2002). Effects of O₂ supersaturation on metabolism and growth in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.) *Aquaculture* 205 (3-4) : 373-383.
- Person-Le Ruyet J., Mahé K., Le Bayon N. and Le Delliou H. (2004). Effects of temperature on growth and metabolism in a Mediterranean population of European sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Aquaculture* 237 (1-4) : 269-280.
- Pichavant K., Person-Le Ruyet J., Le Bayon N., Sévère A., Le Roux A. and Beuf G., (2001). Comparative effects of long-term hypoxia on growth, feeding and oxygen consumption in juvenile turbot and European sea bass. *Journal Fish Biology* 59 : 875–883.

- Raymont G.(1963). Plankton and productivity in the oceans. Macmillan, New York
255-276.
- Reid K. (1961). Ecology of Inland waters and Estuaries. Reinhold, New York.
- Rosas C., Martinez E.,Gaxiola G., Brito R., Diaz-Iglesia E. and Soto L. (1998). Effect of dissolved oxygen on the energy balance and survival of *Penaeus setiferus* juveniles. *Marine ecology progress series* 174 : 67-75.
- Rounsefell G. and Everhart H. (1953). Fishery Science, Method and Applications, Wiley, New York.
- Russell R., Fish D. and Wootton J., (1996). Feeding and growth of juvenile sea bass: the effect of ration and temperature on growth rate and efficiency. *J. Fish Biol.* 49: 206–220.
- Schmitt A. and Uglow R. (1998). Metabolic responses of *Nephrops norvegicus* to progressive hypoxia. *Aquatic Living Resources* 11 (2) : 87-92.
- Seddiki H. Boeuf G., Maxime V. and Peyraud C. (1996). Effects of growth hormone treatment on oxygen consumption and sea water adaptability in Atlantic salmon parr and pre-smolts. *Aquaculture* 148 (1) : 49-62.
- Sinclair M. (1988). Marine populations. University of Washington, Seattle.
- Sparks R., Shepherd B., Ron B., Richman H., Riley L., Iwama G., Hirano T. and Grau G, (2003).Effects of environmental salinity and 17 α -methyltestosterone on growth and oxygen consumption in the tilapia, *Oreochromis mossambicus*. *Comparative Biochemistry and Physiology* 136 (4) : 657-665.
- Spicer J., Hill A., Taylor A. and Strang R. (1990). Effect of aerial exposure on concentrations of selected metabolites in blood of the Norwegian lobster *Nephrops norvegicus* (Crustacea: Nephropidae). *Marine Biology* 105 : 129-135.

- Stirling P.(1977). Growth, food utilization and effect of social interaction in the European bass (*Dicentrarchus labrax*). *Marine Biology* 40 : 173–184.
- Thetmeyer H. (1997). Diel rhythms of swimming activity and oxygen consumption in *Gobiusculus flavescens* (Fabricius) and *Pomatoschistus minutus* (Pallas) (Teleostei: Gobiidae). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 218 (2) :187-198.
- Thuesen E. and Childress J.(1994). Oxygen Consumption Rates and Metabolic Enzyme Activities of Oceanic California Medusae in Relation to Body Size and Habitat Depth. *The Biological Bulletin* 187(1): 84-98.
- Tian X., Dong S., Wang F. and Wu L. (2004). The effects of temperature changes on the oxygen consumption of juvenile Chinese shrimp *Fenneropenaeus chinensis* Osbeck. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 310 (1) : 59-72.
- Valverde J. and García B.(2004). Influence of body weight and temperature on post-prandial oxygen consumption of common octopus (*Octopus vulgaris*). *Aquaculture* 233 (1-4) : 599-613.
- Valverde J. and García B. (2005). Suitable dissolved oxygen levels for common octopus (*Octopus vulgaris* cuvier, 1797) at different weights and temperatures: analysis of respiratory behaviour. *Aquaculture* 244 (1-4) : 303-314.
- Wajsbrodt N., Gasith A., Krom M. and Popper D (1991). Acute toxicity of ammonia to juvenile gilthead seabream *Sparus aurata* under reduced oxygen levels. *Aquaculture* 92 : 277-288.
- Wheaton F. (1977) *Aquaculture Engineering*, University of Maryland, 354-368.
- Wilkes P., Walker R., McDonald D. and Wood C.(1981). Respiratory, ventilatory, acid–base and ionoregulatory physiology of the white sucker *Catostomus*



commersoni: the influence of hyperoxia. *Journal Experiment Biology* 91 : 239–254.

Wu J. and Chen H. (2004). Effects of cadmium and zinc on oxygen consumption, ammonium excretion, and osmoregulation of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Chemosphere* 57 (11) : 1591-1598.

Zoutendyk P. (1989) Oxygen consumption by the Cape rock lobster *Jasus lalandii*. *S. Africa Journal marine Science* 8 : 219-230.

Φώτης Γ. και Αγγελίδης Π.(2003). Εκτροφή και παθολογία ιχθύων Α'. Σύγχρονη Παιδεία. 31-36.



...the influence of ...
234-234

... and ...
... and ...
... 27 (11) : 1291-1298.

... by the ...
... 8 : 219-230.

...
... 71-76.

