

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΝΟΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ: ΙΑΤΡΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΩΝ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ :

ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΠΑΡΑΣΙΤΩΝ ΣΤΟ ΥΔΑΤΙΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ



Όνοματεπώνυμο Φοιτητή (και ΑΜ):

ΒΑΣΙΛΙΚΗ ΔΡΟΣΟΥ 62117014

Όνοματεπώνυμα Επιβλεπουσών:

ΧΡΥΣΑΝΘΗ ΒΟΓΙΑΤΖΑΚΗ DVM, PhD ΜΑΡΙΑ ΤΣΟΥΜΑΝΗ Βιολόγος, MSc, PhD

Επίκουρη Καθηγήτρια

Ακαδημαϊκή Υπότροφος

Αθήνα, 2022

UNIVERSITY OF WEST ATTICA

FACULTY OF HEALTH AND CARE SCIENCES

DEPARTMENT OF BIOMEDICAL SCIENCES

DIVISION:

MEDICAL LABORATORIES

DISSERTATION:

DETECTION OF PARASITES IN AQUATIC ENVIRONMENT



STUDENT NAME (and CN):

VASILIKI DROSOU 62117014

NAMES OF SUPERVISORS:

CHRYSANTHI VOGIATZAKI DVM, PhD MARIA TSOUMANI Biologist, MSc, PhD

Assistant Professor

Academic Fellow

Athens, 2022

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΧΡΥΣΑΝΘΗ ΒΟΓΙΑΤΖΑΚΗ

Επίκουρη Καθηγήτρια, Τμήμα Βιοϊατρικών
Επιστημών, Τομέας Ιατρικών εργαστηρίων,
Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

ΜΑΡΙΑ ΤΣΟΥΜΑΝΗ

Ακαδημαϊκή Υπότροφος, Τμήμα Βιοϊατρικών
Επιστημών, Τομέας Ιατρικών εργαστηρίων,
Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

ΜΑΡΙΑ ΑΔΑΜΟΠΟΥΛΟΥ

Ακαδημαϊκή Υπότροφος, Τμήμα Βιοϊατρικών
Επιστημών, Τομέας Ιατρικών εργαστηρίων,
Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

EXAMINATION COMMITTEE MEMBERSHIP

CHRYSANTHI VOGIATZAKI

Assistant Professor, Department of Biomedical
Sciences, Section of Medical Laboratories,
University of West Attica

MARIA TSOUMANI

Academic Fellow, Department of Biomedical
Sciences, Section of Medical Laboratories,
University of West Attica

MARIA ADAMOPOULOU

Academic Fellow, Department of Biomedical
Sciences, Section of Medical Laboratories,
University of West Attica

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογράφουσα ΔΡΟΣΟΥ ΒΑΣΙΛΙΚΗ του ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ, με αριθμό μητρώου 62117014 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΝΟΙΑΣ του Τμήματος ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η Δηλούσα



(υπογραφή)

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
SUMMARY	2
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΜΟΛΥΝΣΗ ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΑΡΑΣΙΤΟΛΟΓΙΑ	4
1.1. ΜΟΛΥΝΣΗ ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	4
1.2. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΑΡΑΣΙΤΟΛΟΓΙΑ	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΑΡΑΣΙΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΗ ΡΥΠΑΝΣΗ	6
2.1. ΣΧΕΣΗ ΡΥΠΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΣΙΤΩΝ.....	7
2.2. ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΡΥΠΩΝ ΣΤΗΝ ΑΦΘΟΝΙΑ ΤΩΝ ΠΑΡΑΣΙΤΩΝ	9
2.3. ΤΑ ΠΑΡΑΣΙΤΑ ΩΣ ΑΠΟΔΕΚΤΕΣ ΡΥΠΩΝ	10
2.4. ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΣΙΤΩΝ ΣΤΟΥΣ ΒΙΟΔΕΙΚΤΕΣ ΚΑΙ ΤΗ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΞΕΝΙΣΤΗ.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΑΡΑΣΙΤΑ ΩΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ	13
3.1. ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ.....	13
3.2. ΔΕΙΚΤΕΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ	16
3.2.1. ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΒΙΟΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ.....	22
3.2.2. Η ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΠΑΡΑΣΙΤΩΝ ΩΣ ΔΕΙΚΤΕΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ	30
3.2.3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΞΕΝΙΣΤΗ – ΠΑΡΑΣΙΤΟΥ ΓΙΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ	32
3.2.4. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΑΡΑΣΙΤΩΝ ΨΑΡΙΩΝ ΩΣ ΔΕΙΚΤΕΣ	33
3.2.5. ΧΡΕΙΑΖΟΜΑΣΤΕ ΚΑΙΝΟΥΡΙΟΥΣ ΔΕΙΚΤΕΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ;	35
3.3. ΤΑ ΠΑΡΑΣΙΤΑ ΩΣ ΔΕΙΚΤΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΠΑΡΑΣΙΤΩΝ ΣΤΟ ΥΔΑΤΙΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	40
4.1. CRYPTOSPORIDIUM ΚΑΙ GIARDIA.....	40
4.2. TOXOPLASMA GONDII	42
4.3. ACANTHAMOEBA	44
4.4. NAEGLERIA FOWLERI.....	44
4.5. CYCLOSPORA CAYETANENSIS.....	45
4.6. BLASTOCYSTIS	46
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	47

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνήθηκαν τα παράσιτα που υπάρχουν στο υδάτινο περιβάλλον, τόσο στο θαλάσσιο όσο και στο γλυκό νερό. Έμφαση δόθηκε στην μόλυνση που έχει υποστεί το υδάτινο περιβάλλον που την τελευταία δεκαετία φαίνεται να έχει αυξηθεί σημαντικά. Τα αποτελέσματα της μόλυνσης στην ύπαρξη και στην κατανομή των παρασίτων είναι ένα άλλο ενδιαφέρον πεδίο της «Περιβαλλοντικής Παρασιτολογίας» που προσελκύει αυξανόμενο ενδιαφέρον. Στα πρόσφατα χρόνια, υπάρχει ένας αυξανόμενος αριθμός μελετών που δείχνει πως η μόλυνση και ο παρασιτισμός μπορούν να αλληλεπιδράσουν μεταξύ τους στους υδάτινους οργανισμούς με τις επιδράσεις τους να είναι είτε συνεργατικές, πρόσθετες είτε και ανταγωνιστικές με ιδιαίτερο ενδιαφέρον να παρουσιάζει η υγεία των υδάτινων ξενιστών. Ακόμα μελετήθηκε η επίδραση των ρύπων στην αφθονία των παρασίτων, τα παράσιτα ως αποδέκτες των ρύπων καθώς και οι επιδράσεις των παρασίτων στους βιοδείκτες και τη φυσιολογία του ξενιστή. Στην συνέχεια, μελετήθηκαν τα παράσιτα ως διαφορετικοί βιολογικοί δείκτες και πιο συγκεκριμένα το πώς τα παράσιτα εμφανίζονται ως δείκτες επίδρασης και συσσώρευσης αλλά και ως δείκτες για την κλιματική αλλαγή. Όσο αφορά, τους δείκτες συσσώρευσης έγινε πιο ενδελεχή μελέτη, και έτσι εξετάστηκαν ποια η χρησιμότητα τους, ποια συστήματα ξενιστή-παρασίτου θα ήταν κατάλληλα για παρακολούθηση, ποιοι περιορισμοί υπάρχουν στη χρήση παρασίτων ψαριών ως δείκτες και αν χρειαζόμαστε καινούριους δείκτες. Επιπλέον, μελετήθηκε η συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων μεταξύ των παρασίτων και των ξενιστών μέσω του παράγοντα βιοσυγκέντρωσης ($BCF = C_{[Παρασίτου]} / C_{[Ιστού \ ξενιστή]}$) για να βρεθεί η σχέση που υπάρχει στα βαρέα μέταλλα μεταξύ των παρασίτων και των ξενιστών και με βάση τα αποτελέσματά τα παράσιτα θα μπορούσαν να φανούν χρήσιμα ως βιοδείκτες όταν αξιολογούμε την περιβαλλοντική μόλυνση στα υδάτινα οικοσυστήματα για βαρέα μέταλλα. Τέλος, αναφέρονται οι διαφορετικές μέθοδοι ανίχνευσης των παρασίτων (*Cryptosporidium*, *Giardia*, *Toxoplasma gondii*, *Acanthamoeba*, *Naegleria Fowleri*, *Cyclospora Cayetanensis*, *Blastocystis*) σε ότι αφορά το υδάτινο περιβάλλον με τα τελευταία χρόνια να έχουμε σημαντική πρόοδο στην ανάπτυξη μοριακών μεθόδων.

SUMMARY

In the current thesis, the parasites present in the aquatic environment, both in marine and freshwater, were investigated and thoroughly examined. An emphasis was placed on the pollution of the aquatic environment where the pollution has increased the last decade. Effects of pollution on the occurrence and distribution of parasites is another interesting field of “Environmental Parasitology” attracting increasing attention. In recent years there has been an increasing number of papers showing how parasitism and pollution can interact with each other in aquatic organisms with their effects to be either cooperative, additional or competitive with special interest to be shown into the health of the aquatic hosts. Moreover, the effect of pollutants in the abundance of parasites was studied, the parasites as receivers of pollutants as well as the effects of parasites at the biomarkers and the physiology of the host. Afterwards, the parasites were studied as different biological indicators and more specifically how the parasites are presented as effect and accumulation indicators and also as indicators for the climate change. For the accumulation indicators became a more thorough study and thus it was examined their usefulness, which systems host-parasite would be suitable for monitoring, which restrictions there are in the use of fish parasite as indicators and if we need new indicators. Furthermore, the concentration of heavy metals between the parasites and the hosts was studied through the bioconcentration factor ($BCF = C_{[Parasite]} / C_{[Host\ tissue]}$) in order to be found the relation that there is in heavy metals between parasites and hosts and according to the results parasites could be useful as bioindicators when we evaluate the environmental pollution in aquatic ecosystems for heavy metals. In the end, the different detection methods of parasites (*Cryptosporidium*, *Giardia*, *Toxoplasma gondii*, *Acanthamoeba*, *Naegleria Fowleri*, *Cyclospora Cayetanensis*, *Blastocystis*) in aquatic environment are reported where molecular methods have shown progress over the last years.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα υδάτινα οικοσυστήματα υπόκεινται σε όλο ένα και αυξανόμενες ανθρωπογενείς πιέσεις τις πρόσφατες δεκαετίες. Έτσι, οι υδάτινοι οργανισμοί παίρνουν μέρος σε μια έκθεση στρεσογόνων παραγόντων τόσο φυσικών όσο και κατασκευασμένων από τον άνθρωπο, όπως ποικίλες φυσικές και χημικές παραμέτρους, αλλαγές της διαίτας, αλλαγές στη διαθεσιμότητα του βιότοπου και αυξημένη έκθεση σε ρύπους στη προμήθεια των θρεπτικών συστατικών. Έτσι, λοιπόν, ύψιστης σημασίας κρίνονται τα εργαλεία που αυξάνουν την κατανόηση μας σε αυτές τις επιπτώσεις (Lacerda et al., 2018).

Προκειμένου λοιπόν οι επιστήμονες να αξιολογήσουν αλλά και να ποσοτικοποιήσουν το αποτέλεσμα των περιβαλλοντικών στρεσογόνων παραγόντων στην υγεία των υδάτινων συστημάτων χρησιμοποιούν βιοδείκτες οι οποίοι ορίζονται ως οργανισμοί ή κοινότητες των οποίων οι ζωτικής σημασίας λειτουργίες συσχετίζονται τόσο στενά με συγκεκριμένους περιβαλλοντικούς παράγοντες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες στην αξιολόγηση μιας δεδομένης περιοχής (Lacerda et al., 2018).

Τα παράσιτα των υδάτινων οργανισμών είναι πανταχού παρόντα και κρυμμένα συστατικά των οικολογικών κοινοτήτων, τα οποία σχετίζονται στενά με αρκετά χαρακτηριστικά του βιοτικού και αβιοτικού περιβάλλοντος στο οποίο υπάρχουν. Έτσι, τα παράσιτα έχουν προσελκύσει ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον από τους ερευνητές ως πιθανοί δείκτες για την περιβαλλοντική ποιότητα, εξαιτίας της ποικιλίας των μορφών που απαντούν στην μόλυνση ανθρωπογενούς προέλευσης (Lacerda et al., 2018).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΜΟΛΥΝΣΗ ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΑΡΑΣΙΤΟΛΟΓΙΑ

1.1. ΜΟΛΥΝΣΗ ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Η υδάτινη μόλυνση αποτελεί ακόμα ένα σημαντικό ζήτημα σε περιβάλλοντα τόσο θαλάσσια όσο και γλυκών νερών (Sures, 2008). Την τελευταία μάλιστα δεκαετία βλέπουμε να έχει υποβαθμιστεί σοβαρά η ποιότητα του υδάτινου οικοσυστήματος (Biswal & Chatterjee, 2020). Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι το περιβάλλον δέχεται μεγάλες ποσότητες ρύπων ως συνέπεια ανθρώπινων δραστηριοτήτων και ότι αυτές οι ουσίες μπορούν να έχουν επιβλαβείς επιπτώσεις στον άνθρωπο καθώς και στην υγεία όλων των ζωντανών οργανισμών (Brázoná et al., 2012). Οι εκπομπές ρύπων αυξάνονται συνεχώς σε παγκόσμια κλίμακα γεγονός που οδηγεί σε αύξηση των επιπέδων μόλυνσης σε θαλάσσια και όχι μόνο οικοσυστήματα (Nachev & Sures, 2016). Τα βιομηχανικά απόβλητα, τα λύματα από τη χαρτοποιία, τα θερμικά απόβλητα και οι απορροές από τις γεωργικές εγκαταστάσεις δρουν συνεργιστικά με τις παγκόσμιες κλιματικές αλλαγές και μεταβολές των εποχιακών κύκλων επηρεάζοντας τις φυσικοχημικές παραμέτρους των υδάτινων σωμάτων και τη ζωή που διατηρούν (Biswal & Chatterjee, 2020). Ενώ κάποιες ουσίες μπορεί να μην προσλαμβάνονται από οργανισμούς παραμένοντας έτσι αδρανή συστατικά, άλλες μπορούν και συσσωρεύονται από οργανισμούς όντας βιολογικά διαθέσιμα οδηγώντας έτσι σε οξείες και χρόνιες τοξικές επιδράσεις. Συνεπώς, απαραίτητη κρίνεται και από οικολογική άποψη δημόσιας υγείας η παρακολούθηση των επιπέδων μόλυνσης των ρύπων (Nachev & Sures, 2016).

Ένα από τα πιο σοβαρά προβλήματα είναι η ρύπανση από βαρέα μέταλλα. Εμφανίζονται φυσικά στο φλοιό της γης και ως εκ τούτου βρίσκονται σε εδάφη και βράχους με επακόλουθες συγκεντρώσεις σε ιζήματα, νερό και οργανισμούς. Εκτός από τις καιρικές συνθήκες, τα μεταλλεία μεταλλευμάτων η μεταλλουργική βιομηχανία και άλλες εντατικές δραστηριότητες εξόρυξης μπορούν να προκαλέσουν υψηλότερη μόλυνση βαρέων σε σύγκριση με τις κανονικές τιμές υποβάθρου (Brázoná et al., 2012).

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση ως επικίνδυνες χημικές ουσίες ορίζονται οι τοξικές, ανθεκτικές ή και βιοσυσσωρευσιμες ουσίες. Αντίθετα με την πλειονότητα των οργανικών ρύπων, που στο τέλος αποικοδομούνται σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό, τα βαρέα μέταλλα δεν μπορούν να διαλυθούν και έτσι λοιπόν παραμένουν στο περιβάλλον και τείνουν να συσσωρεύονται ιδίως σε λίμνες, εκβολές ή θαλάσσια ιζήματα. Οι υδρόβιοι οργανισμοί έχουν την ικανότητα να συσσωρεύουν βαριά μέταλλα από το περιβάλλον τους

στα βράγχια λόγω αναπνοής καθώς και με την κατάποση μολυσμένων τροφίμων. Η πρόσληψη και η κυκλοφορία βαρέων μετάλλων μέσω της τροφικής αλυσίδας είναι πολύ σημαντική επειδή τα μέταλλα προκαλούν βιοχημικές αντιδράσεις σε οργανισμούς με τυπικές αποκρίσεις, όπως η αναστολή της ανάπτυξης, η καταστολή της κατανάλωσης οξυγόνου και η βλάβη της αναπαραγωγής και επισκευής ιστών (Bράζονά et al., 2012).

1.2. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΑΡΑΣΙΤΟΛΟΓΙΑ

Τα τελευταία χρόνια, σημειώθηκε σημαντική αύξηση στην έρευνα σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ρύπων, γεγονός που οδήγησε στην καθιέρωση της περιβαλλοντικής παρασιτολογίας. Η περιβαλλοντική παρασιτολογία ασχολείται με τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των παρασίτων και των ρύπων στο περιβάλλον. Με την έννοια μιας οικολογικής βασισμένης προσέγγισης η περιβαλλοντική παρασιτολογία εστιάζει στα παράσιτα ως δείκτες περιβαλλοντικής υγείας (Sures et al., 2017). Ένα άλλο εξίσου σημαντικό και ενδιαμέσο πεδίο της περιβαλλοντικής παρασιτολογίας είναι οι επιπτώσεις της μόλυνσης στην εμφάνιση αλλά και την κατανομή παρασίτων (Sures, 2008).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΑΡΑΣΙΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

Η υδάτινη ρύπανση σηματοδοτείται από την παρατήρηση μη επιθυμητών αλλαγών στα φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά των υδάτων (θαλασσών, λιμνών, ποταμών). Η ρύπανση των υδάτων δημιουργείται κατά κύριο λόγο από τον άνθρωπο, ο οποίος απελευθερώνει ουσίες μη διασπώμενες στα ύδατα, που έχουν ως αποτέλεσμα να κατακάθονται στον πυθμένα των υδάτων, αφού η διάσπαση τους φαίνεται αδύνατη. Οι τρόποι ρύπανσης των υδάτων διαφοροποιούνται και δεν σχετίζονται μόνο με ένα μέσο ρύπανσης. Ένα βασικό μέσο ρύπανσης του νερού προέρχεται από την ήδη επιβαρυσμένη κατάσταση της ατμόσφαιρας. Τα ύδατα μολύνονται από την ρύπανση της ατμόσφαιρας, καθώς κατά τη διάρκεια του υδρολογικού κύκλου, τόσο οι ατμοσφαιρικοί ρύποι όσο και οι ρύποι εδάφους, καταλήγουν στο νερό μέσω των βροχών και των καιρικών φαινομένων (Sures, 2008).

Η ρύπανση των υδάτων επιτυγχάνεται με ποικίλους τρόπους. Ένας τρόπος υδάτινης ρύπανσης προκαλείται μέσω των οικιακών αποβλήτων που εκβάλλουν στο νερό, μέσω οργανικών ουσιών αλλά και τοξικών μετάλλων. Δεν είναι όμως απαραίτητο κάποιος ξενιστής να ρυπαίνει το νερό. Οι μικροοργανισμοί έχουν την δυνατότητα να δημιουργήσουν ρύπους στα ύδατα και να προκαλέσουν τοπική, ή ακόμα και μεγαλύτερη υδάτινη ρύπανση (Sures, 2008).

Η ρύπανση των υδάτων από τον άνθρωπο δεν σταματά να αυξάνεται, καθώς με την άνοδο της βιομηχανίας οι ποσότητες των αποβλήτων αυξήθηκαν. Το νερό είναι το πιο απαραίτητο αγαθό για τον άνθρωπο, μαζί με το οξυγόνο (Sures, 2008).

Τα παράσιτα είναι αναγκαία για την αλυσίδα του οικοσυστήματος. Παρόλο που δημιουργούν προβλήματα στις καλλιέργειες, πολλοί γεωργοί χρησιμοποιούν φυτοφάρμακα, παρασιτοκτόνα και εντομοκτόνα για να περιορίσουν τη ζημία της σοδειάς, χωρίς όμως να συνειδητοποιούν τη ζημία που δημιουργούν στο περιβάλλον. Ακόμη, το μειονέκτημα σχετικά με τα παρασιτοκτόνα και εντομοκτόνα, δεν είναι μόνο η μείωση των παράσιτων, αλλά τα ίδια ρυπαίνουν τα ύδατα, ενώ το μολυσμένο νερό δηλητηριάζει και άλλους είδους παράσιτα και μικροοργανισμούς. Η βλάβη λοιπόν συνεχίζεται, δημιουργώντας έναν φαύλο κύκλο, καθώς τα παρασιτοκτόνα καταλήγουν και στον άνθρωπο μέσω της τροφής του. Το κακό της ρύπανσης που προκαλείται είναι συνεχόμενο, και έχει πολλαπλά θύματα, μεταξύ άλλων, παράσιτα, ύδατα, μικροοργανισμούς, ζώα και ανθρώπους (Sures, 2008).

Η υδάτινη μόλυνση προκαλεί πολλές αρνητικές επιπτώσεις στους οργανισμούς οι οποίες μπορεί να είναι μέχρι και θανατηφόρες. Οι επιπτώσεις αυτές μπορούν να εμφανιστούν αμέσως (άμεση τοξικότητα) ή μετά από παρατεταμένη έκθεση στους ρύπους (χρόνια τοξικότητα). Συνήθως οι ρύποι προσλαμβάνονται από το έντερο ή τα βράγχια και συσσωρεύονται στον οργανισμό μέχρι να φτάσουν σε συγκέντρωση σταθερής κατάστασης όπου τότε μέρος των ουσιών θα μπορεί να εκκριθεί από τον οργανισμό. Ανεπιθύμητες ενέργειες όπως π.χ. αλλαγές στα επίπεδα ορμονών ή η καταστροφή του DNA συνδέονται ακριβώς με την πρόσληψη και την συσσώρευση των ρύπων (Sures, 2008).

2.1. ΣΧΕΣΗ ΡΥΠΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΣΙΤΩΝ

Πέρα από τους ρύπους και τα παράσιτα μπορούν και επηρεάζουν την υγεία των οργανισμών. Μάλιστα μέρος των απαντήσεων εναντίον των παρασίτων και των ρύπων είναι παρόμοιες. Η παρασιτική μόλυνση μπορεί να συνδεθεί τόσο με φυσική καταστροφή των μολυσμένων οργάνων όσο και με μια γενική μεταβολική απόκριση. Επιπλέον βλάβη μπορεί να προκληθεί στους ξενιστές από τα παράσιτα λόγω της απελευθέρωσης τοξικών ουσιών και πρόληψης θρεπτικών συστατικών. Ακόμη τα παράσιτα όπως και οι ρύποι επηρεάζουν το ενδοκρινικό σύστημα των οργανισμών (Sures, 2008).

Σχετικά λίγες είναι οι μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί και διερευνούν τις επιδράσεις των ρύπων και των παρασίτων που εμφανίζονται ταυτόχρονα. Αυτό πιθανώς οφείλεται στο ότι η περιβαλλοντική παρασιτολογία είναι ένας διεπιστημονικός τομέας. Ωστόσο, τα μέχρι τώρα δημοσιευμένα αποτελέσματα δείχνουν ότι πρέπει να γίνουν περισσότερες μελέτες (Sures, 2008).

Για παράδειγμα επηρεάζεται σημαντικά από ορισμένες ομάδες παρασίτων η συσσώρευση ρύπων από ξενιστές. Σε εργαστηριακές μελέτες θα μπορούσε να αποδειχθεί ότι τα ψάρια που έχουν μολυνθεί από ακανθοκέφαλα έχουν χαμηλότερα επίπεδα μετάλλου στους ιστούς τους σε σχέση με τα μη μολυσμένα. Τα αποτελέσματα είναι παρόμοια και για άλλα συστήματα ξενιστή – παρασίτου. Μετά την έκθεση του μαλακίου γλυκού νερού *Pisidium amnicum* σε οργανικούς ρύπους (2,4,5-τριχλωροφαινόλη - TCP) και βενζο(a)πυρένιο τα μύδια μολυσμένα με προνύμφες τρηματωδών περιέχουν περίπου 12% λιγότερο TCP και 40% λιγότερο βενζο(a)πυρένιο από τα μη μολυσμένα. Μπορεί να είναι επωφελείς για τους μολυσμένους ξενιστές. Σε περιπτώσεις όπου ένας ξενιστής έρχεται αντιμέτωπος με περιβαλλοντική ρύπανση, ένα παράσιτο θα μπορούσε να είναι επωφελές και αυτό επειδή οι μολυσμένοι ξενιστές σε σχέση με τους μη μολυσμένους εμφανίζουν χαμηλότερα

επίπεδα ρύπων. Παρόλα αυτά η συγκεκριμένη υπόθεση χρήζει περαιτέρω διερεύνησης καθώς δεν είναι ακόμα σαφές αν μπορούν να αντισταθμιστούν οι αρνητικές επιπτώσεις μιας παρασίτωσης από τη θετική επίδραση των μειωμένων επιπέδων ρύπων (Sures, 2008).

Δεν είναι μόνο η συσσώρευση ρύπων που επηρεάζεται από τα παράσιτα αλλά και ορισμένα από τα αποτελέσματα τους. Από πρόσφατες μελέτες πεδίου καθώς και πειραματικές προέκυψε πως η παρουσία διγενών παρασίτων σε κυδώνια που εκτέθηκαν σε Cd (cadmium) οδηγεί σε μείωση των συγκεντρώσεων μεταλλοθειονίνης σε σχέση με τα μη μολυσμένα (Boudrimont et al., 2006, Boudrimont & De Montaudouin, 2007). Παρομοίως, οι αποκρίσεις θερμικού σοκ των μολυσμένων *gammarids* μπορούν να υποστούν χειρισμό με την παρουσία προνυμφών ακανθοκέφαλων. Η μόλυνση του *Gammarus roeseli* με *cystacanths* του *Polymorphus minutus* εμποδίζει τη σύνθεση της πρωτεΐνης hsp70 σε *gammarids* αν εκτίθενται στο μέταλλο παλλάδιο. Και στις δύο περιπτώσεις, οι μολυσμένοι ξενιστές θα υποφέρουν περισσότερο από την περιβαλλοντική ρύπανση σε σχέση με τους μη μολυσμένους επειδή δεν λειτουργούν ικανοποιητικά μέρος των συστημάτων επισκευής και αποτοξίνωσης. Τα αρνητικά αυτά αποτελέσματα αντιτίθενται στην προαναφερθείσα ευεργετική μείωση των ρύπων στους ιστούς των ξενιστών (Sures, 2008).

Όσο αφορά το ενδοκρινικό σύστημα, υπάρχει μόνο ένας περιορισμένος αριθμός μελετών που να επικεντρώνεται στις συνδυασμένες επιδράσεις των παρασίτων και των ρύπων που εμφανίζονται ταυτόχρονα αν και είναι σαφές ότι και οι δύο τροποποιούν τις ορμονικές απαντήσεις. Σε μια εργαστηριακή μελέτη από τους Sures et al (2006) προτείνεται μια ανταγωνιστική σχέση μεταξύ παρασίτων και ρύπανσης. Ενώ η μόλυνση των χελιών με το νηματώδες *Anguillicola crassus* οδήγησε σε αυξημένες συγκεντρώσεις κορτιζόλης, η ρύπανση με μέταλλα και / ή PCB (Polychlorinated biphenyl- Πολυχλωριωμένα διφαινύλια) μείωσε τα επίπεδα κορτιζόλης στο πλάσμα. Ωστόσο, αντιφατικά αποτελέσματα παίρνουμε από συστήματα θηλαστικών ξενιστών – παρασίτων γεγονός που καθιστά αδύνατη την εξαγωγή αξιόπιστου συμπεράσματος σχετικά με τις συνδυασμένες επιπτώσεις των παρασίτων και των ρύπων στην ορμονική ομοιόσταση των αντίστοιχων ξενιστών (Sures, 2008).

Υπάρχουν πολλές διαθέσιμες πληροφορίες σε σχέση με τις επιπτώσεις των ρύπων στο ανοσοποιητικό σύστημα του ξενιστή. Είναι κοινώς αποδεκτό ότι η ανοσολογική απόκριση των οργανισμών μπορεί να μειωθεί λόγω της έκθεσης σε ανοσοκατασταλτικά χημικά όπως

είναι τα βαρέα μέταλλα και τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια. Ωστόσο, οι περισσότερες μελέτες που ασχολούνται με την ανοσοτοξικότητα των ξενοβιοτικών βασίζονται σε προκλήσεις με βακτηριακά και ιογενή παθογόνα ή συνθετικά αντιγόνα αντί να αντιμετωπίζουν τις παρασιτικές λοιμώξεις. Με βάση τη διαθέσιμη βιβλιογραφία μπορεί να εξαχθεί το γενικό συμπέρασμα ότι η ανοσοκαταστολή από περιβαλλοντικούς ρύπους μπορεί να είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την επιτυχία της μόλυνσης των παρασίτων (Sures, 2008).

Με βάση τα παραπάνω παραδείγματα μπορούμε να δούμε πως οι αναλύσεις των επιδράσεων των παρασίτων και των ρύπων που εμφανίζονται ταυτόχρονα μπορεί να είναι συνεργατικές, πρόσθετες ή ανταγωνιστικές ενώ δεν μπορούν να προβλεφθούν εύκολα. Για μελλοντικές μελέτες, θα μπορούσαμε να εξετάσουμε σε μια ολοκληρωμένη προσέγγιση όλες τις αρνητικές και θετικές επιπτώσεις των παρασίτων και των ρύπων προκειμένου να απαντήσουμε στο ερώτημα εάν συμφέρει η μόλυνση με ορισμένες ομάδες παρασίτων όταν οι πληθυσμοί των ξενιστών έρχονται αντιμέτωποι με την περιβαλλοντική ρύπανση (Sures, 2008).

2.2. ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΡΥΠΩΝ ΣΤΗΝ ΑΦΘΟΝΙΑ ΤΩΝ ΠΑΡΑΣΙΤΩΝ

Πολύ σημαντικό ρόλο για τα παράσιτα διαδραματίζουν οι περιβαλλοντικές συνθήκες του ξενιστή αν και οι επιδράσεις τους ίσως είναι διαφορετικές αναλόγως βέβαια και του κύκλου ζωής του παρασίτου. Οι περιβαλλοντικές συνθήκες για τα ετερόξενα μετάζωα θα πρέπει να είναι ευνοϊκές για όλα τα στάδια των ξενιστών τόσο των ενδιάμεσων όσο και των τελικών καθώς και για τα τελικά ελεύθερα διαβιούντα στάδια του παρασίτου. Για τα μονόξενα μετάζωα θα πρέπει να πραγματοποιούνται μονάχα οι οικολογικές απαιτήσεις του παρασίτου και του ξενιστή. Τα παράσιτα με άμεσους κύκλους ζωής είναι κανονικά εξωπαρασίτα. Τα παράσιτα αυτά είναι σε μόνιμη επαφή με το νερό και για το λόγο αυτό είναι πιθανόν να έχουν αναπτύξει αντίσταση στις μεταβολές της ποιότητας του νερού. Συνεπώς οι μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες θα επηρεάζουν λιγότερο τους πληθυσμούς τέτοιων μονόξενων παρασίτων σε σύγκριση με τους πληθυσμούς των ετερόξενων παρασίτων. Μελέτες υποδεικνύουν ότι υπάρχει μια αλληλεπίδραση μεταξύ του παρασιτισμού και των περιβαλλοντικών συνθηκών, ενώ ακόμα ο συσχετισμός αυτός είναι ευάλωτος. Πέρα από το ότι δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες όπως είναι η μόλυνση του νερού ίσως έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στους ενδιάμεσους ξενιστές των ετερόξενων παρασίτων και έτσι να έχουμε μείωση των παρασίτων, οι ουσίες αυτές μπορεί να οδηγήσουν σε υψηλότερα ποσοστά μόλυνσης λόγω ανοσοκατασταλτικών επιπτώσεων.

Οι επιπτώσεις που θα έχει η μόλυνση στα παράσιτα μπορούν να είναι είτε θετικές οδηγώντας στην αύξηση του παρασιτισμού είτε αρνητικές οδηγώντας στη μείωση του παρασιτισμού για συγκεκριμένα είδη παρασίτων. Γενικώς οι μολύνσεις με ενδοπαρασιτικούς έλμινθες τείνουν να μειώνονται, ενώ οι μολύνσεις με εξωπαράσιτα τείνουν να αυξάνονται με αυξανόμενα επίπεδα ρύπανσης (Sures, 2008).

Για να δείξουμε περιβαλλοντική ρύπανση μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις διαφορές στην ευαισθησία των μονόξενων και των ετερόξενων παρασίτων και συγκεκριμένα υπολογίζοντας των αναλογία των αθροισμάτων των ετερόξενων και των μονόξενων παρασίτων ανά ξενιστή (H/M Heteroxenouw/monoxenous) καθώς και την αναλογία του πλούτου των ετερόξενων και μονόξενων παρασιτικών ειδών στα ψάρια ξενιστές (SH/SM). Βρέθηκαν υψηλότεροι δείκτες H/M και SH/SM κατά τη σύγκριση κοινοτήτων παρασίτων του *Siganus rivulatus* που έχουν συλλεχθεί από ένα οικολογικά σταθερό βιότοπο της Ερυθράς Θάλασσας σε σχέση με την κοινότητα ψαριών που έχουν συλλεχθεί από ανθρωπογενώς επηρεασμένα περιβάλλοντα. Τα αποτελέσματα ήταν παρόμοια κατά τη σύγκριση κοινοτήτων μεταζώων του *Boops boops* από δύο τοποθεσίες πριν και μετά την πετρελαιοκηλίδα στις ακτές της Γαλλίας στην Ισπανία όπου είχαμε υψηλότερο δείκτη Sm/Sh στα δείγματα μετά τη διαρροή εξαιτίας των υψηλότερων επιπέδων μόλυνσης με μονόξενα παράσιτα (Sures, 2008).

Τα παραπάνω υποδεικνύουν την χρησιμότητα των παρασίτων για την ένδειξη περιβαλλοντικής ρύπανσης. Η χρήση αριθμητικών μεταβολών των παρασίτων για να δείξουμε τη ρύπανση έχει κυρίως το πλεονέκτημα ότι δεν στηριζόμαστε μονάχα σε ένα είδος αλλά σε συνδυασμό αυτών τόσο ξενιστές όσο και παράσιτα. Εάν έχουμε την παρουσία ενός συγκεκριμένου παρασίτου τότε θα πρέπει να πραγματοποιείται το σύνολο των οικολογικών απαιτήσεων όλων των οργανισμών που συμμετέχουν στο κύκλο ζωής του. Έτσι καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η βιολογική ένδειξη δεν μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας προσεγγίσεις μεμονωμένων ειδών (Sures, 2008).

2.3. ΤΑ ΠΑΡΑΣΙΤΑ ΩΣ ΑΠΟΔΕΚΤΕΣ ΡΥΠΩΝ

Η τεράστια συσσώρευση ρύπων σε ορισμένα παράσιτα μπορεί να επηρεάσει τον μεταβολισμό των ξενιστών τους, όπως είχε αποδειχθεί ήδη κατά τα έτη 1996-1999. Χρησιμοποιώντας πειραματικές μολύνσεις και ένα εργαστηριακό πείραμα έκθεσης σε μόλυβδο, αναφέρθηκε για πρώτη φορά ότι ένα είδος κυπρίνου (*Squalius cephalus*) που μολύνθηκε από τον ακανθοκέφαλο *Pomphorhynchus laevis*, παρουσίασε χαμηλότερες

συγκεντρώσεις μόλυβδου από τους μη μολυσμένους συγγενείς τους. Το εν λόγω αποτέλεσμα επιβεβαιώθηκε στη συνέχεια με τη χρήση του ισότοπου μόλυβδου (^{210}Pb). Παρομοίως, σε πρόσθετες ερευνητικές μελέτες, αναφέρθηκαν χαμηλότερες συγκεντρώσεις μετάλλων σε άγρια ψάρια που είχαν μολυνθεί από κεστώδη σε σύγκριση με μη μολυσμένα ζώα (Sures et al., 2017).

Τα χαμηλότερα επίπεδα μετάλλων στα μολυσμένα με ακανθοκέφαλα ψάρια, αποδόθηκαν στη διαταραχή του εντερηπατικού κύκλου του μόλυβδου εντός του ιχθυοξενιστή από το παράσιτο. Διαδοχικά, δημοσιεύθηκε ένας αριθμός μελετών από διαφορετικά συστήματα ξενιστών-παράσιτων που έδειξαν επίσης μειωμένες συγκεντρώσεις μετάλλων στους ιστούς μολυσμένων ξενιστών από υδάτινα και χερσαία ενδιαιτήματα (Sures et al., 2017).

Ωστόσο, για ορισμένα συστήματα ξενιστών-παράσιτων έχουν περιγραφεί αντίθετα αποτελέσματα, όπου η παρουσία παράσιτων μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση των φορτίων ρύπων στους μολυσμένους ξενιστές. Ακόμη και αν χρειάζονται περαιτέρω μελέτες, είναι προφανές ότι πολλά κεστώδη, και όλα τα ερευνηθέντα ακανθοκέφαλα είναι σε θέση να μειώσουν τα επίπεδα μετάλλων σε διάφορους ιστούς των ξενιστών τους. Γίνεται επίσης φανερό ότι υπάρχει μεγάλη ανάγκη για περισσότερες μελέτες που εξετάζουν τις πιθανές επιδράσεις των νηματωδών και των διγενών, καθώς οι ομάδες αυτές εξακολουθούν να μην έχουν μελετηθεί επαρκώς (Sures et al., 2017).

2.4. ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΣΙΤΩΝ ΣΤΟΥΣ ΒΙΟΔΕΙΚΤΕΣ ΚΑΙ ΤΗ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΞΕΝΙΣΤΗ

Οι φυσιολογικές αντιδράσεις των οργανισμών στους ρύπους είναι συνέπεια της πρόσληψης και συσσώρευσης τοξικών ουσιών. Η ποικιλία των αντιδράσεων κυμαίνεται από ένα αυξημένο επίπεδο στρες και προστατευτικών μορίων, έως την πλήρη κατάρρευση της φυσιολογικής ομοιόστασης και τον θάνατο του εκτεθειμένου οργανισμού. Μια συνήθης προσέγγιση στην οικοτοξικολογία, είναι η χρήση των αντιδράσεων σε βιοχημικό ή μοριακό επίπεδο, ως πρώιμα προειδοποιητικά σημάδια για την ένδειξη της παρουσίας ρυπαντών και τη διαλεύκανση πιθανών δυσμενών επιδράσεων στους οργανισμούς. Αυτές οι αποκρίσεις, που συνήθως ορίζονται ως βιοδείκτες, αναλύονται σε προγράμματα περιβαλλοντικής παρακολούθησης με τη χρήση διαφόρων ελεύθερων ζωντανών ζώων, όπως μαλάκια, καρκινοειδή και ψάρια. Οι πιο ευρέως διαδεδομένοι βιοδείκτες αναφέρονται σε μετρήσεις του οξειδωτικού στρες, της ορμονικής ρύθμισης, του ενεργειακού προϋπολογισμού, καθώς και σε γονίδια και πρωτεΐνες που εμπλέκονται στο μεταβολισμό και την απέκκριση των ρύπων. Κατά συνέπεια, αυτοί οι βιοδείκτες δεν

αποτελούν συνήθως ειδική απόκριση στους ρύπους, αλλά μπορεί να επάγονται από διάφορους άλλους στρεσογόνους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων των παράσιτων (Sures et al., 2017).

Επιπλέον, για την παρακολούθηση, χρησιμοποιούνται ειδικοί δείκτες ρύπων, οι οποίοι υποδεικνύουν την παρουσία και τις επιπτώσεις ορισμένων ρυπογόνων, όπως οι μεταλλοθειονίνες ως δείκτες για τα μέταλλα ή η επαγωγή του κυτοχρώματος P4501A που χρησιμοποιείται ως ειδικός βιοδείκτης για την έκθεση των ψαριών σε αγωνιστές του υποδοχέα αρυλικών υδρογονανθράκων (AhR), όπως οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (ΠΑΥ), τα φυτοφάρμακα και τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCB). Σε περιβαλλοντικές συνθήκες, ωστόσο, οι οργανισμοί δεν εκτίθενται μόνο σε ρύπους, αλλά έρχονται επίσης αντιμέτωποι με ποικίλους ενδογενείς και εξωγενείς παράγοντες. Κατά συνέπεια, ο βαθμός στον οποίο οι βιοδείκτες είναι σε θέση να παρέχουν σαφή και οικολογικά συναφή στοιχεία για τους τοξικούς παράγοντες ή τις επιδράσεις τους, παραμένει εξαιρετικά αμφιλεγόμενος (Sures et al., 2017).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΑΡΑΣΙΤΑ ΩΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ

Οι καλοί βιολογικοί δείκτες για την παρακολούθηση των επιπτώσεων των ρύπων στους θαλάσσιους οργανισμούς πρέπει να είναι είτε εξαιρετικά ευαίσθητοι είτε εξαιρετικά ανθεκτικοί στην περιβαλλοντική αλλαγή έτσι ώστε οι σημαντικές αλλαγές στον αριθμό τους να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως έγκαιρη προειδοποίηση για τη χειροτέρευση των συνθηκών πριν επηρεαστεί σοβαρά η πλειονότητα των οργανισμών. Υπάρχουν καλοί λόγοι για την εστίαση στα παράσιτα στην αναζήτηση τέτοιων δεικτών.

1. Υπάρχουν περισσότερα παράσιτα από ότι ελεύθερα διαβιούντα είδη στη γη και οι παρασιτικοί οργανισμοί παρουσιάζουν τεράστια βιολογική ποικιλότητα, αντανακλώντας προσαρμογές στον παρασιτικό τρόπο ζωής σε διάφορους τύπους ξενιστή και σε διαφορετικούς τόπους και περιβάλλοντα.
2. Στο γεγονός αυτό προστίθεται τα μετέωρα με πολύπλοκους κύκλους ζωής, τα διαφορετικά στάδια ανάπτυξης που έχουν ευρύτατα διαφορετικές βιολογικές απαιτήσεις, έτσι ώστε κάθε στάδιο να αξιολογείται ξεχωριστά, αυξάνοντας έτσι σημαντικά τον αριθμό των πιθανών δεικτών.
3. Πολλά παράσιτα έχουν ευαίσθητα μικρής διάρκειας στάδια μετάδοσης ελεύθερης διαβίωσης τα οποία είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στις περιβαλλοντικές αλλαγές. Μπορούν επομένως να επηρεαστούν δυσμενώς από ακόμη και μικρές αλλαγές στο περιβάλλον (Mackenzie, 1999).

Πολλοί ήταν, λοιπόν, οι ερευνητές οι οποίοι ξεκίνησαν να επικεντρώνονται στα παράσιτα για τη χρήση αυτών ως δεικτών ποιότητας του περιβάλλοντος πέρα από τους ήδη καθιερωμένους βιοδείκτες. Έτσι, από τη μία οι έρευνες ασχολούνται με το ότι μπορεί να έχουμε αλλαγή της σύνθεσης των κοινοτήτων των παρασίτων (ένδειξη επίδρασης) στους τελικούς ξενιστές λόγω της περιβαλλοντικής μόλυνσης, ενώ από την άλλη μελέτες έδειξαν την δυνατότητα συσσώρευσης βαρέων μετάλλων από τους εντερικούς έλμινθες σε επίπεδα πολύ υψηλότερα από ότι του περιβάλλοντος ή των ιστών του ξενιστή τους (ένδειξη συσσώρευσης) (Thielen et al., 2004, Sures, 2001).

3.1. ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ

Σε μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων, κάποιοι οργανισμοί μέσω της απουσίας ή παρουσίας τους μας δίνουν πληροφορίες π.χ. για την φυσική, βιολογική, οικολογική και χημική κατάσταση του περιβάλλοντος. Αυξημένη προσοχή δίνεται λοιπόν στις διάφορες αλλαγές είτε της ποικιλομορφίας είτε της δομής των κοινοτήτων των παρασίτων

διαφορετικών ψαριών ξενιστών εξαιτίας της πιθανής εφαρμογής των παρασίτων ως δεικτών υγείας και ακεραιότητας του οικοσυστήματος. Ένας τρόπος για να προσπαθήσουμε να παρουσιάσουμε ένδειξη επίδρασης με παράσιτα μπορεί να γίνει με τη χρήση πληθυσμών μονογενών τρηματωδών στα βράγχια ψαριών. Τα μονογενή τρηματώδη είναι εξωπαράσιτα και άρα βρίσκονται σε άμεση επαφή και με τον ξενιστή καθώς και με το περιβάλλον. Είναι κοινά σκουλήκια στα βράγχια των ψαριών με μικρούς κύκλους ζωής και για το λόγο αυτό δύναται να αντιδρούν απευθείας σε αλλαγές των περιβαλλοντικών παραγόντων. Υπάρχουν αρκετές μελέτες όπου η σύνθεση των κοινοτήτων των μονογενών στα βράγχια των ψαριών σχετίζονται με διάφορες μορφές μόλυνσης όπως λυμάτων χαρτοποιίας ή άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Τα είδη *Dactylogyrus* βρέθηκαν να έχουν υψηλότερη αφθονία και ποικιλομορφία ειδών στα βράγχια του *Rutilus rutilus*, από μια λίμνη στη κεντρική Φιλανδία που λαμβάνει λύματα χαρτοποιίας και χαρτοπολτό σε σχέση με μία μη μολυσμένη λίμνη αναφοράς. Ωστόσο, είχαμε αντιφατικά στοιχεία σε ότι αφορά τη μείωση μολύνσεων με εξωπαράσιτα που σχετίζουμε με ρύπανση χαρτοποιίας και χαρτοπολτού (Khan & Thulin, 1991). Μια επίδραση της μόλυνσης του νερού αποδείχθηκε από την κατανομή της αφθονίας ειδών στις κοινότητες *Dactylogyrus* και *Paradiplozoön*. Συγκεντρώσεις μονογενών συγκεκριμένων ξενιστών σε μολυσμένο χώρο παρουσίασαν σημαντικά μειωμένο αριθμό ειδών και άνιση κατανομή αφθονίας. Το αντίθετο πρότυπο παρατηρήθηκε στην περίπτωση των γενικευμένων, παρασιτώντας ένα ευρύ φάσμα ξενιστών. Επομένως, τα μονογενή παράσιτα και η ποικιλομορφία αυτών φαίνονται να είναι ένα ευαίσθητο και ουσιαστικό μοντέλο για τις περιβαλλοντικές μελέτες. Με τη χρήση πληθυσμών μονογενών δεν αναλύουμε μονάχα μικρές αλλαγές στη συμπεριφορά ή τη φυσιολογία ενός μεμονωμένου οργανισμού αλλά αντιθέτως καταγράφουμε αλλαγές στην αφθονία ενός συγκεκριμένου είδους παρασίτου. Έτσι, αλλαγές ολόκληρης της πληθυσμιακής δομής αναλόγως της μόλυνσης του περιβάλλοντος θα μπορούσαν να παρακολουθούνται. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τους συμβατικούς ελεύθερους διαβιούντες οργανισμούς, όπως το μύδι zebra *Dreissena polymorpha* ή το *Rainbow crout*, *Salmo gairdneri*, που χρησιμοποιούνται ως δείκτες επίδρασης για την επεξεργασία του νερού σε εγκαταστάσεις αποχέτευσης. Ωστόσο υπό φυσικές συνθήκες περίπλοκες είναι οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ του περιβάλλοντος και των συστημάτων ξενιστή – παρασίτου, ενώ δεν ερμηνεύονται και εύκολα εξαιτίας της εξάρτησης τους από μεγάλη ποικιλία παραγόντων. Λίγοι συνδυασμοί παρασίτου – μόλυνσης δείχνουν προβλέψιμες αλλαγές παρά τη προσπάθεια που έχουμε καταβάλει για να συνδέσουμε τα επίπεδα της παρασιτικής μόλυνσης με τη ρύπανση. Είναι ακόμα δύσκολο να εκτιμήσουμε ποιος μοναδικός

παράγοντας ή και συνδυασμός παραγόντων από ένα σύνολο (ανθρωπογενών παραγόντων) καθορίζει ή επηρεάζει την ποικιλομορφία της κοινότητας του παρασίτου στα ψάρια (Sures, 2001).

Η βιβλιογραφία σε ότι αφορά τους δείκτες επίδρασης με παράσιτα επικεντρώνεται συνήθως είτε στο επίπεδο μεμονωμένων οργανισμών είτε πληθυσμών και κοινοτήτων. Σχετικά με τους μεμονωμένους οργανισμούς η ένδειξη επίδρασης μπορεί να είναι δυνατή με την χρήση της άμεσης τοξικότητας των ουσιών σε παρασιτικά στάδια ελεύθερης ζωής. Παρά τα πολλά παράσιτα που έχουν ελεύθερης διαβίωσης στάδια προνύμφης οι περισσότερες τοξικολογικές μελέτες έχουν γίνει χρησιμοποιώντας miracidia και cercarial τρηματώδη. Στις μελέτες αυτές, ένας γνωστός αριθμός σταδίων προνυμφών επεξεργάστηκε με χημικά, ενώ αναλύθηκε η βιωσιμότητα, η μακροζωία και μολυσματικότητα των σταδίων αυτών. Οι περιβαλλοντικοί ρύποι σε υψηλές συγκεντρώσεις όπως τα μέταλλα συχνά ελαττώνουν την επιβίωση των δοκιμαστικών οργανισμών εξαιτίας της δέσμευσης τοξικών ουσιών που οδηγεί στην απενεργοποίηση ορισμένων ενζύμων. Σε σύγκριση με τις συμβατικές διαδικασίες ένδειξης επίδρασης, τα συστήματα δοκιμής cercarial φαίνεται πως είναι λιγότερο ελπιδοφόρα. Λόγω της σχετικά μικρής μακροζωίας του cercarial ένα σύστημα παρακολούθησης το οποίο χρησιμοποιεί τους οργανισμούς αυτούς θα ήταν πολύ περίπλοκο για να χρησιμοποιείται συνήθως. Παρ' όλα αυτά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση των επιπέδων μόλυνσης στη μετάδοση των παρασίτων και την επακόλουθη σύνθεση των συναθροίσεων των παρασίτων (Sures, 2004).

Επίσης έχουν αναλυθεί αλλαγές στους πληθυσμούς και στις κοινότητες των παρασίτων σε σχέση με την ρύπανση του περιβάλλοντος. Παρά τον αυξανόμενο αριθμό μελετών που έχουν ασχοληθεί με τις αλλαγές στις κοινότητες των παρασίτων σαν μέτρο περιβαλλοντικής αλλαγής έχουμε ακόμα λίγους συνδυασμούς παρασίτων – ρύπανσης οι οποίοι δείχνουν προβλέψιμες αλλαγές. Το συμπέρασμα που προκύπτει από τις παραπάνω μελέτες και αυτές του Πίνακα 1 είναι πως η περιβαλλοντική ρύπανση επηρεάζει τις κοινότητες και τους πληθυσμούς των παρασίτων και άμεσα και έμμεσα μέσω επιπτώσεων στους ενδιάμεσους και τελικούς ξενιστές. Συνεπώς ο βαθμός πολυπλοκότητας αλλά και αβεβαιότητας είναι αρκετά υψηλός σε ότι αφορά την ερμηνεία των παρασιτολογικών δεδομένων στο πλαίσιο της ρύπανσης. Αντιθέτως ίσως είναι επωφελείς οι αναλύσεις του πληθυσμού των παρασίτων και των δομών κοινότητας σε σχέση με τις καθιερωμένες διαδικασίες ένδειξης επίδρασης που χρησιμοποιούν ζώα ελεύθερης διαβίωσης, επειδή

ενσωματώνουν επιδράσεις περιβαλλοντικών σε διαφορετικά τροφικά επίπεδα (Sures, 2004).

Πίνακας 1. Τα αποτελέσματα της ρύπανσης σε επιλεγμένους πληθυσμούς και κοινότητες παρασίτων (Sures, 2004)

Ομάδα παρασίτων	Ξενιστής	Ρύπανση/Μόλυνση	Αποτέλεσμα στα παράσιτα
Component community	<i>Perca fluviatilis</i> (perch)	Οξύνιση	Μειωμένη ποικιλία παρασίτων
Gyrodactylus sp.	<i>Hippoglossoides platessoides</i> (American plaice)	Μολυσμένα ιζήματα	Υψηλότερη αφθονία
Trichodina sp.	<i>Hippoglossoides platessoides</i>	Μολυσμένα ιζήματα	Μείωση
Intestinal digeneans	<i>Hippoglossoides platessoides</i>	Μολυσμένα ιζήματα	Χωρίς επίδραση
Trichodinid ciliates	<i>Platichthys flesus</i>	Ευτροφισμός	Αύξηση στην επικράτηση και στην πυκνότητα
Trichodinid ciliates	<i>Platichthys flesus</i>	Ευτροφισμός, γενικευμένη θαλάσσια μόλυνση	Αύξηση στην επικράτηση και στην πυκνότητα
Component community	<i>Rutilus rutilus</i> (roach) and <i>Perca fluviatilis</i>	Ευτροφισμός	Αύξηση στον πλούτο των παρασίτων
Parasite community of snails	<i>Physella columbiana</i> (rotund physa) and <i>Lymnaea palustris</i> (marsh snail)	Βαριά μέταλλα	Χαμηλότερη ποικιλία και ένταση
Acanthocephalans	<i>Tautoglabrus adspersus</i> (cunner)	Δημοτικά και βιομηχανικά απόβλητα	Αύξηση στην επικράτηση και ένταση
Trichodinid ciliates	<i>Gasterosteus aculeatus</i> (threespined stickleback)	Οργανική μόλυνση	Αύξηση στην πυκνότητα
Component community	<i>Leuciscus cephalus</i> (chub)	Οργανική μόλυνση	Μείωση στον πλούτο των ειδών
Component community	<i>Sigmodon hispidus</i> (cotton rat)	Πετροχημικά	Μείωση του αριθμού των ειδών των ελμίνθων
Dactylogyrids	<i>Rutilus rutilus</i>	Λύματα χαρτιού και χαρτοπολτού	Μειωμένη αφθονία και μέσος αριθμός των ειδών
Rhipidocotyle fennica (Digenea)	<i>Rutilus rutilus</i>	Λύματα χαρτιού και χαρτοπολτού	Υψηλότερη αφθονία και ένταση

3.2. ΔΕΙΚΤΕΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ

Οι οικολόγοι παρασίτων δείχνουν αυξανόμενο ενδιαφέρον στα παράσιτα για τη χρήση τους ως δεικτών ποιότητας του περιβάλλοντος εξαιτίας των ποικίλων τρόπων ανταπόκρισης τους στη ανθρωπογενή ρύπανση. Σε μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων, πήραμε πληροφορίες για τη χημική κατάσταση του περιβάλλοντος από ορισμένους οργανισμούς όχι χάρη στην απουσία ή παρουσία τους αλλά χάρη της ικανότητας τους

συγκέντρωσης περιβαλλοντικών τοξικών στους ιστούς τους. Στον ρόλο αυτό χρησιμοποιούνται κυρίως τα ελεύθερα διαβιούντα ασπόνδυλα για την παρακολούθηση των συγκεντρώσεων των βιοδιαθέσιμων μετάλλων στους υδρόβιους βιότοπους (Sures, 2001). Οι οργανισμοί αυτοί λοιπόν οι οποίοι έχουν την ικανότητα να συσσωρεύουν στους ιστούς τους συγκεκριμένες ουσίες σε επίπεδα τα οποία είναι υψηλότερα από αυτά του περιβάλλοντος ονομάζονται δείκτες συσσώρευσης (Mehana et al., 2020). Ένας μεγάλος αριθμός ελεύθερων διαβιούντων οργανισμών έχει ήδη καθιερωθεί ως δείκτες συσσώρευσης για τον έλεγχο των θαλάσσιων συστημάτων μεταξύ των οποίων πλαγκτονικοί οργανισμοί μαλάκια, δακτυλιοσκώληκες, καρκινοειδή, ψάρια, θηλαστικά.

Επιπλέον, η εντατική έρευνα στον τομέα της περιβαλλοντικής παρασιτολογίας φανέρωσε ότι μπορούν και αρκετά παράσιτα να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες συσσώρευσης (Nachev & Sures, 2016). Συγκεκριμένα ομάδες ενδοπαρασίτων μπορούν και συσσωρεύουν τοξικά μέταλλα και επιλεγμένους οργανικούς ρύπους. Με βάση αυτό το γεγονός θα μπορούσε κανείς να προτείνει την ένταξη των παρασίτων στην λίστα των ήδη υπαρχόντων (ελεύθερης διαβίωσης) δεικτών συσσώρευσης. Προκειμένου βέβαια να μπορέσουμε να δικαιολογήσουμε τα παράσιτα ως πρόσθετους δείκτες συσσώρευσης απαιτούνται καλά επιχειρήματα, καθώς τα παράσιτα όντας κρυμμένα στους ξενιστές τους είναι πιο δύσκολο να εργαστούμε μαζί τους σε σχέση με τα είδη που ζουν ελεύθερα.

Χάρη στη συγκεκριμένη βιολογία και φυσιολογία τους τα υδρόβια παράσιτα δείχνουν υψηλή συγγένεια για τη συσσώρευση μετάλλων, σε αντίθεση με την πρόσληψη λιπόφιλων ουσιών η οποία έχει βρεθεί να είναι αρκετά χαμηλή. Τα χημικά που είναι λιπόφιλα συσσωρεύονται κυρίως στο λίπος ενώ οι υδρόφιλες ουσίες κατανέμονται πιο ομοιόμορφα στους ιστούς. Τα περισσότερα παράσιτα δεν παράγουν δικά τους λιπαρά οξέα και βασίζονται στην παραλαβή τους από το ξενιστή με αποτέλεσμα να μην έχουν υψηλό ποσοστό λίπους και έτσι να μην μπορούν να συσσωρεύσουν λιπόφιλες ουσίες σε συγκεντρώσεις υψηλότερες από τους ιστούς των ξενιστών τους.

Ωστόσο, αρκετά παράσιτα έχουν ικανότητες αξιοσημείωτες σε ότι αφορά την συσσώρευση υδρόφιλων ουσιών, το οποίο γεγονός τα κάνει ακόμη καταλληλότερα ως δείκτες συσσώρευσης μετάλλων σε σχέση με τους ήδη καθιερωμένους δείκτες συσσώρευσης ελεύθερης διαβίωσης (Nachev & Sures, 2016), καθώς τα παράσιτα μπορούν συχνά να συσσωρεύουν χημικά (π.χ. μέταλλα) σε υψηλότερα επίπεδα σε σύγκριση με τους ήδη καθιερωμένους δείκτες συσσώρευσης ελεύθερης διαβίωσης. Έχουν την ικανότητα

λοιπόν να βιοσυγκεντρώνουν ρύπους οι οποίοι υπάρχουν σε συγκεντρώσεις που είναι πολύ χαμηλές στο περιβάλλον και να τους κάνουν ανιχνεύσιμους και ποσοτικοποιήσιμους με τη χρήση συμβατών αναλυτικών τεχνικών. Ακόμα, κάποια παράσιτα βρέθηκε ότι ανέχονται πολύ υψηλά φορτία ρύπων, γεγονός που σημαίνει ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες συσσώρευσης για μολυσμένους βιότοπους. Έπειτα, τα παράσιτα θα μπορούσαν να αντιπροσωπεύουν πιθανά διαγνωστικά εργαλεία για την αξιολόγηση της συμπεριφοράς των χημικών στο περιβάλλον (Sures et al., 2017).

Από τα παράσιτα των ψαριών, μονάχα τα ενδοπαράσιτα μετάζωα έχουν διερευνηθεί σχετικά με την ικανότητα συσσώρευσης μετάλλων και αυτό γιατί τα πρωτόζωα είναι αρκετά μικρά με αποτέλεσμα να μην έχουμε αρκετό υλικό για χημικές αναλύσεις, ενώ τα εξωπαράσιτα από την άλλη επηρεάζονται από τα γύρω ύδατα και πιθανώς να έχουν παρόμοια σχήματα συσσώρευσης με τους σχετικούς οργανισμούς ελεύθερης διαβίωσης. Εξαιτίας των περιορισμών αυτών η πλειοψηφία των μελετών ασχολούνται όσο αφορά τη συσσώρευση των μετάλλων με τους ενδοέλμινθες (Sures, 2004).

Έτσι, περισσότερα από 50 είδη μετάζωων που ανήκουν κυρίως στις τέσσερις κύριες τάξεις ενδολμίνθων και συγκεκριμένα ακανθοκέφαλα, κεστώδη, διγενή και νηματώδη έχουν προταθεί ως δείκτες συσσώρευσης για τη μόλυνση με μέταλλα. Μεταξύ αυτών τα κεστώδη με περίπου 30 διαφορετικά είδη αντιπροσωπεύουν τη μεγαλύτερη ομάδα, ενώ ακολουθούν από τα νηματώδη, τα ακανθοκέφαλα και τα διγενή. Τα ακανθοκέφαλα και τα κεστώδη δείχνουν την μεγαλύτερη ικανότητα συσσώρευσης μέχρι στιγμής όντας ικανά να συσσωρεύουν διαφορετικά στοιχεία, ειδικά τοξικά ή μη απαραίτητα σε πολύ υψηλά επίπεδα. Για παράδειγμα, έχει αποδειχθεί ότι το ακανθοκέφαλο παράσιτο *Pomphorhynchous laevis* μπορεί και συγκεντρώνει έως 2700 φορές περισσότερο κάδμιο και μόλυβδο σε σύγκριση με τους μυϊκούς ιστούς του ξενιστή του. Παρομοίως, υψηλά επίπεδα των στοιχείων αυτών βρέθηκαν και για τα κεστώδη όπου οι συγκεντρώσεις του φθάνουν έως και 1175 φορές υψηλότερα σε σχέση με τους ιστούς του ξενιστή (Sures et al., 2017). Ακόμα, πολλές ήταν εκείνες οι μελέτες που έδειξαν ότι τα ψάρια που ήταν μολυσμένα με ακανθοκέφαλα και κεστώδη είχαν χαμηλότερες συγκεντρώσεις μετάλλων σε σχέση με τα μη μολυσμένα ψάρια (Erasmus et al., 2020).

Τα κεστώδη είναι ικανά να συσσωρεύουν οργανικούς ρύπους όπως πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCB) σε υψηλότερο από τους ξενιστές τους. Στα νηματώδη, επίσης αναφέρθηκαν αυξημένα επίπεδα διαφορετικών στοιχείων, όχι όμως τόσο τοξικών.

Φαίνεται ότι οργανισμοί που λαμβάνουν τα θρεπτικά συστατικά τους μέσω του περιβλήματος όπως τα ακανθοκέφαλα και τα κεστώδη είναι πιο κατάλληλοι ως δείκτες συσσώρευσης για τα τοξικά στοιχεία σε σχέση με άλλες τάξεις παρασίτων με γαστρεντερική οδό (Sures et al., 2017). Επιπρόσθετα, τα παράσιτα αυτά που στερούνται πεπτικού συστήματος δείχνουν ποια μέταλλα είναι βιολογικά διαθέσιμα καθώς αυτά τα παράσιτα συσσωρεύουν τα μέταλλα, με τα αντίστοιχα μέταλλα να πρέπει να διασχίσουν το περίβλημα του παρασίτου και άρα είναι βιολογικά διαθέσιμα (Erasmus et al., 2020).

Όσο αφορά το δυναμικό συσσώρευσης των διγενών υπάρχουν περιορισμένες μελέτες και τα είδη που έχουν διερευνηθεί μέχρι σήμερα είναι λίγα. Βέβαια, κάποια είδη εμφάνισαν μεγάλη ικανότητα συσσώρευσης καθώς και αυξημένη αντίσταση σε τοξικά στοιχεία κάτι που σημαίνει ότι θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες συσσώρευσης για τη μόλυνση από μέταλλα.

Τα ακανθοκέφαλα, τα κεστώδη και ορισμένα νηματώδη ικανοποιούν τα περισσότερα από τα κριτήρια που απαιτούνται για να είναι δείκτες συσσώρευσης. Τα περισσότερα μελετημένα είδη εμφανίζουν δυναμικό συσσώρευσης καθώς και υψηλή αντοχή στη μόλυνση με μέταλλα. Επιπρόσθετα, τα περισσότερα έχουν μεγάλο μέγεθος σώματος, είναι ευρέως διαδεδομένα καθώς και άφθονα στον ξενιστή τους, ενώ μπορούμε εύκολα να πάρουμε δείγματα. Ένα ακόμη πολύ σημαντικό είναι πως τα επίπεδα ρύπων στα παράσιτα αντιστοιχούν σε εκείνα του περιβάλλοντος. Αντιθέτως, παράσιτα που ανήκουν σε άλλες τάξεις όπως μονογενή ή διάφορα πρωτόζωα δεν ικανοποιούν κάποια από τα κύρια κριτήρια για να είναι δείκτες συσσώρευσης. Τα πρωτόζωα καθώς και πολλά διγενή και μονογενή έχουν μικρό μέγεθος σώματος και έτσι δεν παρέχουν αρκετό υλικό για χημικές αναλύσεις. Ωστόσο, στα διγενή υπάρχουν παράσιτα που έχουν μεγαλύτερο σε μέγεθος σώμα καθώς και υψηλή αφθονία, ενώ ακόμα τα μονογενή εξαιτίας της άμεσης επαφής με το περιβάλλον ίσως αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο αν είναι αρκετά μεγάλα (Sures et al., 2017).

Όσο αφορά τα κριτήρια για τους ιδανικούς δείκτες συσσώρευσης περιλαμβάνουν τα εξής:

- i. Υψηλό δυναμικό συσσώρευσης και ίδια συσχέτιση μεταξύ του περιεχομένου ρύπων στον δείκτη συσσώρευσης και μέσης συγκέντρωσης ρύπων στο περιβάλλον σε όλες τις τοποθεσίες και υπό όλες της συνθήκες.
- ii. Να μην σκοτώνεται ή να καθίσταται ανίκανος για μακροχρόνια αναπαραγωγή από τα μέγιστα δυνατά επίπεδα ρύπων στο περιβάλλον.

- iii. Καθιστικό ή με ένα καλά καθορισμένο εύρος σπιτιού, έτσι ώστε τα ευρήματα να σχετίζονται με την περιοχή που μελετάται.
- iv. Μεγάλο σώμα, ώστε να παρέχει αρκετό ιστό για ανάλυση.
- v. Άφθονα είδη από τα οποία μπορούν να ληφθούν μεγάλοι αριθμοί χωρίς να μεταβληθεί η ηλικιακή δομή ή να έχουν κάποια άλλη σημαντική επίδραση στον πληθυσμό.
- vi. Διαδεδομένα για τη διευκόλυνση των συγκρίσεων μεταξύ διαφορετικών περιοχών.
- vii. Εύκολη συλλογή και αναγνώριση.
- viii. Καλά μελετημένη φυσιολογία, συμπεριλαμβανομένων των επιδράσεων της ηλικίας, του μεγέθους, της εποχής και αναπαραγωγικής δραστηριότητας στην αφομοίωση του ρύπου.
- ix. Εύκολος προσδιορισμός ηλικίας και μεγάλη διάρκεια ζωής, επιτρέποντας την ενσωμάτωση του ρύπου σε μεγάλες περιόδους.

Μεταξύ των ομάδων των παρασίτων, τα ακανθοκέφαλα και τα κεστώδη ικανοποιούν τα περισσότερα από αυτά τα κριτήρια (κριτήρια (ii) και (iv)-(vii)), ενώ δεν υπάρχουν αρκετά δεδομένα για να δούμε αν κάποια παράσιτα ικανοποιούν τα κριτήρια (i) και (viii). Τα μοναδικά κριτήρια που δεν ικανοποιούν τα ακανθοκέφαλα και τα κεστώδη είναι πως θα έπρεπε να προσδιορίζεται εύκολα η ηλικία τους και να είχαν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής (ix) και να είναι καθιστικά (iii). Ο προσδιορισμός της ηλικίας των ακανθοκέφαλων δεν φαίνεται να είναι δυνατός, αλλά σε ότι αφορά την εκτιμώμενη διάρκεια ζωής 50-140 ημερών, φαίνεται μη απαραίτητο να προσδιοριστεί η ακριβής ηλικία. Ωστόσο επειδή οι τελικοί ξενιστές έχουν μακρά διάρκεια ζωής, έχουμε έναν συνδυασμό βραχυχρόνιας και μακροχρόνιας έκθεσης όταν αναλύουμε παράλληλα τα μέταλλα στα παράσιτα και στους ιστούς του ξενιστή, γεγονός που είναι καλύτερο σε σχέση με το να λαμβάνονται πληροφορίες από ένα μονάχα οργανισμό. Τα κεστώδη, τώρα, αν και είναι γνωστό ότι έχουν μακράς διάρκειας ζωής, δύσκολος φαίνεται να είναι ο ακριβής προσδιορισμός της ηλικίας τους. Επιπλέον οι προγλωττίδες έχουν διαφορετική ηλικία και τα έγκυα κεστώδη απομακρύνουν συνεχώς τα οπίσθια μέρη του σώματος τους. Κατά συνέπεια, θα πρέπει να τυποποιηθούν οι διαδικασίες δειγματοληψίας για τα κεστώδη που χρησιμοποιούνται για σκοπούς ένδειξης. Αναπόφευκτη θα πρέπει να είναι η χρήση σκουληκιών περίπου ίδιου μεγέθους. Αλλά καθώς τα κεστώδη κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας εύκολα σπάνε σε αρκετά κομμάτια, προτείνεται να ληφθούν μόνο εκείνα τα μέρη της στροβίλης που είναι παρόμοια σε μέγεθος και έχουν έγκυες προγλωττίδες. Αν και τα παράσιτα δεν είναι ικανά

να παρέχουν πληροφορίες για μικρής κλίμακας διαφορές ρύπανσης, μπορούν και παρέχουν πληροφορίες για τη μέση έκθεση ενός κινητού ξενιστή εντός της φυσικής του περιοχής (Sures, 2004).

Η πρόσληψη των μετάλλων από τους υδρόβιους οργανισμούς γίνεται μέσω της τροφοδοσίας ή απευθείας μέσω διαλυμένων στοιχείων στο νερό ή συνδυασμό και των δύο. Η πρόσληψη μετάλλων των ελεύθερων διαβιούντων οργανισμών μέσω της τροφής και στα θαλάσσια οικοσυστήματα και στα οικοσυστήματα γλυκού νερού είναι παρόμοια. Μετά την πρόσληψη τους τα μέταλλα δεσμεύονται σε σύμπλοκα χολής και παρόμοια χημικά μόρια ως μέρος της διαδικασίας της πέψης, ενώ εν συνεχεία απορροφούνται από το εντερικό τοίχωμα ή από εντερικά παράσιτα αν είναι παρόντα. Αφού τα στοιχεία εμφανιστούν στο αίμα γίνονται μέρος της εντεροηπατικής κυκλοφορίας και με αυτό τον τρόπο έχουν την δυνατότητα να συσσωρευτούν σε άλλα εσωτερικά όργανα ή να γίνουν διαθέσιμα για τα παράσιτα εντός του ξενιστή (Nachev & Sures, 2016).

Η κύρια οδός πρόσληψης μετάλλων έχει προταθεί να είναι η άμεση πρόσληψη μέσω του νερού για τους οργανισμούς των γλυκών νερών. Ωστόσο παρατηρούνται προφανείς διαφορές στη σύγκριση θαλάσσιων οργανισμών ή οργανισμών γλυκών νερών. Στα θαλάσσια σπονδυλωτά τα σωματικά υγρά τους είναι λιγότερο αλατούχα από το γύρω θαλασσινό νερό, ενώ χάνουν συνεχώς νερό μέσω των βράγχων μέσω της ώσμωσης. Άρα για να έχουμε ρύθμιση της ώσμωσης και διατήρηση της φυσιολογικής ομοιόστασης θα πρέπει τα θαλάσσια ψάρια να πιούν θαλασσινό νερό. Η επαναρρόφηση του νερού καθώς και των αλάτων γίνεται στο πεπτικό σύστημα για να αντισταθμιστεί η απώλεια νερού. Μέταλλα καθώς και άλλες ουσίες λαμβάνονται με το νερό που προσλαμβάνεται στο έντερο και εν συνεχεία διανέμονται στο σώμα όπως περιγράφεται παραπάνω. Αντίθετα, το γλυκό νερό εισέρχεται ωσμωτικά μέσω των βραγχίων στα ψάρια ενώ πρέπει να αποκρίνεται από τα νερά με τη μορφή αραιωμένων ούρων. Έτσι, μέσω των βραγχίων θεωρείται ότι γίνεται ένα μεγάλο μέρος της πρόσληψης μετάλλων στο κυκλοφορικό σύστημα των ψαριών του γλυκού νερού, από όπου αποτοξινώνεται στο ήπαρ. Εκεί έχουμε την απέκκριση των μετάλλων μέσω της χολής στο έντερο όπου και μπορούν άρα να διατέθουν για παράσιτα στο έντερο (Nachev & Sures, 2016).

Εξαιτίας αυτών των ωσμωτικών διαφορών, θα μπορούσαμε να υποθέσουμε ότι από το πεπτικό σύστημα των θαλάσσιων ψαριών απορροφάται το μεγαλύτερο μέρος των μετάλλων. Λόγω του χαμηλότερου pH στο έντερο ίσως μπορούν τα αιωρούμενα

σωματίδια που καταπίνονται με νερό να απελευθερώσουν παλαιότερα δεσμευμένα μέταλλα. Ακόμα η διαθεσιμότητα των μετάλλων μπορεί να επηρεαστεί από τη φυσιολογία του ξενιστή π.χ. με την αποβολή βιομορίων γεγονός που ίσως οδηγήσει σε αυξημένη πρόσληψη μετάλλων από τα παράσιτα. Επειδή πολλά παράσιτα αδυνατούν να παράγουν τα δικά τους λιπαρά οξέα και χοληστερόλη, στηρίζονται στον ξενιστή για την πρόσληψη των μορίων και τα αφομοιώνουν επιλεκτικά. Συνολικά, λόγω αυτών των καταστάσεων τα θαλάσσια εντερικά παράσιτα θα πρέπει να χαρακτηρίζονται ως εξαιρετικοί δείκτες συσσώρευσης εξαιτίας των σχετικά υψηλών συγκεντρώσεων έκθεσης στον αυλό του εντέρου (Nachev & Sures, 2016).

3.2.1. ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΒΙΟΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

Όπως προαναφέρθηκε παραπάνω ορισμένα παράσιτα έχουν την ικανότητα να συγκεντρώνουν μέταλλα σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από ότι οι διάφοροι ιστοί του ξενιστή τους. Ο τρόπος μέσω του οποίου μπορούμε να δούμε αυτή τη διαφορά στη συγκέντρωση των μετάλλων μεταξύ ξενιστή και παρασίτου είναι ο παράγοντας βιοσυγκέντρωσης (Bioconcentration factor – BCF). Πιο συγκεκριμένα ο παράγοντας βιοσυγκέντρωσης ισούται με το λόγο της συγκέντρωσης του στοιχείου - μετάλλου στο παράσιτο προς τη συγκέντρωση του στοιχείου - μετάλλου στον εκάστοτε ιστό του ξενιστή ($BCF = C_{[Parasite]} / C_{[Host\ tissue]}$). Παρακάτω στον πίνακα 2 παρουσιάζονται, λοιπόν, διάφορα παραδείγματα που δείχνουν την συσσώρευση μετάλλων στα παράσιτα σε σχέση με τους ξενιστές τους. Σε όλες τις μελέτες που εμφανίζονται στον πίνακα η σύγκριση αυτή στη συγκέντρωση των μετάλλων μεταξύ ξενιστή και παρασίτου έγινε με τους εκάστοτε παράγοντες βιοσυγκέντρωσης. Στα παραδείγματα του πίνακα τα παράσιτα ανήκουν στις εξής τάξεις: ακανθοκέφαλα, κεστώδη και νηματώδη.

Στις περιπτώσεις εκείνες που τα παράσιτα εμφανίζουν μεγαλύτερη συσσώρευση/ συγκέντρωση βαρέων μετάλλων σε σχέση με τους διάφορους ιστούς των ξενιστών τους, δηλαδή ο παράγοντας βιοσυγκέντρωσης είναι μεγαλύτερος του ενός και όσο μεγαλύτερος είναι, μπορούμε να πούμε ότι τα παράσιτα καθίστανται χρήσιμα ως βιοδείκτες όταν αξιολογούμε την περιβαλλοντική μόλυνση στα υδάτινα οικοσυστήματα για τα βαρέα μέταλλα. Όμως δεν ισχύει πως πάντα το παράσιτο θα συσσωρεύει/ συγκεντρώνει βαρέα μέταλλα σε μεγαλύτερο βαθμό από ότι ο ξενιστής του. Στις περιπτώσεις αυτές όπου δηλαδή ο παράγοντας βιοσυγκέντρωσης παίρνει τιμές χαμηλότερες του ενός, δεν μπορούμε να πούμε πως τα παράσιτα χρησιμεύουν ως βιοδείκτες για την μόλυνση με βαρέα μέταλλα.

Πίνακας 2. Διάφορες μελέτες που δείχνουν την συσσώρευση μετάλλων στα παράσιτα σε σχέση με τους ξενιστές τους

Βαρέα μέταλλα που μελετήθηκαν	Είδος παρασίτου	Ξενιστής	Αποτελέσματα	Μελέτη
Ακανθοκέφαλα				
Ag, Cd, Cu, Fe, Mn, Zn, Pb	<i>Acanthocephalus anguillae</i>	<i>Perca fluviatilis</i> (Ευρωπαϊκή πέρκα)	Μεγαλύτερη συσσώρευση στο παράσιτο σε σχέση με το γαστρεντερικό ιστό του ξενιστή για τα μη απαραίτητα μέταλλα (Ag, Cd, Pb) αλλά και για τα απαραίτητα Cu και Mn (σε μικρότερο βαθμό από τα μη απαραίτητα). Χαμηλότερη συσσώρευση στο παράσιτο σε σχέση με το γαστρεντερικό ιστό του ξενιστή για Zn και Fe (με εξαίρεση τα επίπεδα του Fe κατά την διάρκεια της περιόδου μετά την ωοτοκία)	Filiponić Marijić et al., 2014
Ag, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn	<i>Acanthocephalus anguillae</i>	<i>Squalius cephalus</i> (Τυλινάρι)	Υψηλότερες συγκεντρώσεις των απαραίτητων (Cu, Mn) και μη απαραίτητων μετάλλων (Ag, Cd, Pb) στο παράσιτο σε σχέση με το γαστρεντερικό ιστό του ξενιστή τους. Συγκρίσιμα ή χαμηλότερα τα επίπεδα των απαραίτητων μετάλλων Fe και Zn μεταξύ του παρασίτου και του γαστρεντερικού ιστού του ξενιστή	Filiponić Marijić et al., 2013
Pb	<i>Acanthocephalus lucii</i>	<i>Perca fluviatilis</i> (Ευρωπαϊκή πέρκα)	Μεγαλύτερη συσσώρευση στο παράσιτο σε σχέση με το ήπαρ, τις	Jankovská et al., 2011

			γονάδες και τους μυς του ξενιστή	
As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn	<i>Acanthocephalus lucii</i>	<i>Perca fluviatilis</i> (Ευρωπαϊκή πέρκα)	Υψηλότερες ικανότητες ανίχνευσης για το παράσιτο σε σχέση με τα όργανα του ψαριού (μυς, ήπαρ, νεφρό, εγκέφαλος, αρσενικά και θηλυκά αναπαραγωγικά όργανα)	Brázová et al., 2012
As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn	<i>Acanthocephalus lucii</i>	<i>Perca fluviatilis</i> (Ευρωπαϊκή πέρκα)	Υψηλότερες συγκεντρώσεις γενικώς των βαρέων μετάλλων στο παράσιτο σε σχέση με ιστούς του ψαριού	Brázová et al., 2015
Hg	<i>Acanthocephalus lucii</i>	<i>Perca fluviatilis</i> (Ευρωπαϊκή πέρκα)	Μη συσσώρευση μετάλλου στο παράσιτο από τον ξενιστή (BCF<1)	Jankovská et al., 2012a
Cd, Cu, Mn, Zn	<i>Acanthocephalus lucii</i>	<i>Perca fluviatilis</i> (Ευρωπαϊκή πέρκα)	Σημαντικά υψηλότερες συγκεντρώσεις στο παράσιτο από αυτές που βρέθηκαν στους μύες, στις γονάδες και στο ήπαρ του ψαριού ξενιστή	Jankovská et al., 2012b
Pb	<i>Acanthogyrus sp.</i>	<i>Oreochromis niloticus</i> (Τιλάπια του Νείλου)	Μεγαλύτερη συσσώρευση στο παράσιτο σε σχέση με το έντερο, το ήπαρ και τους μύες του ξενιστή	Paller et al., 2016
Ag, Cd, Cu, Fe, Mn, Zn, Pb	<i>Pomphorhynchus laevis</i>	<i>Perca fluviatilis</i> (Ευρωπαϊκή πέρκα)	Μεγαλύτερη συσσώρευση στο παράσιτο σε σχέση με το γαστρεντερικό ιστό του ξενιστή για τα μη απαραίτητα μέταλλα (Ag, Cd, Pb) αλλά και για τα απαραίτητα Cu και Mn (σε μικρότερο βαθμό από τα μη απαραίτητα). Χαμηλότερη συσσώρευση στο παράσιτο σε σχέση με το γαστρεντερικό ιστό του ξενιστή για Zn και Fe (με εξαίρεση τα επίπεδα	Filipović Marijić et al., 2014

			του Fe κατά την διάρκεια της περιόδου μετά την ωοτοκία)	
Ag, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn	<i>Pomphorhynchus laevis</i>	<i>Squalius cephalus</i> (Τυλινάρι)	Υψηλότερες συγκεντρώσεις των απαραίτητων (Cu, Mn) και μη απαραίτητων μετάλλων (Ag, Cd, Pb) στο παράσιτο σε σχέση με το γαστρεντερικό ιστό του ξενιστή τους. Συγκρίσιμα ή χαμηλότερα τα επίπεδα των απαραίτητων μετάλλων Fe και Zn μεταξύ του παρασίτου και του γαστρεντερικού ιστού του ξενιστή	Filipović Marijić et al., 2013
As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sn, V, Zn	<i>Pomphorhynchus laevis</i>	<i>Barbus barbatus</i> (Μπριάνα)	Σημαντικά υψηλότερες συγκεντρώσεις στο παράσιτο σε σύγκριση με τους ιστούς του ξενιστή (μυς, έντερο, ήπαρ) για τα As, Cd, Cu, Pb και Zn και ακόμα τα Co, Mn, V είχαν υψηλές συγκεντρώσεις στο <i>P. laevis</i>	Nachev et al., 2010
As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Pb, Se, Sn, V, Zn	<i>Pomphorhynchus laevis</i>	<i>Barbus barbatus</i> (Μπριάνα)	Σημαντικά υψηλότερες συγκεντρώσεις στο παράσιτο σε σχέση με τους μυς, το έντερο, το ήπαρ του ξενιστή τους για τα As, Cd, Cu, Mn, Pb, Zn	Nachev et al., 2013
Κεστώδη				
Cd, Pb	<i>Anthobothrium sp.</i>	<i>Carcharhinus dussumieri</i> (Καρχαρίας whitecheek)	Πολλές φορές υψηλότερες συγκεντρώσεις και των δύο μετάλλων στο παράσιτο σε σύγκριση με τους ιστούς του ξενιστή καρχαρία	Malek et al., 2007
Pb, Ni, Cr	<i>Bathybothrium</i>	<i>Barbus barbatus</i>	Μεγαλύτερη	Baruš et al.,

	<i>rectangulum</i>	(Μπριάνα)	συσσώρευση στο παράσιτο σε σχέση με τους μύες του ξενιστή	2013
As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Sb, Sn, Te, Ti, Tl, U, V, Zn	<i>Bothriocephalus acheilognathi</i>	<i>Labeobarbus kimberleyensis</i> (Largemouth yellowfish)	Μεγαλύτερη συσσώρευση στο παράσιτο σε σχέση με τον ξενιστή για τα μέταλλα Be, Hg, Li, Mn, Pb, Se, Tl, U	Retief et al., 2006
Cu, Cd, Pb, Zn	<i>Caryophyllaeus laticeps</i>	<i>Chondrostoma nasus</i> (Συρτάρι)	Υψηλότερες συγκεντρώσεις Cd, Pb, Zn στο παράσιτο σε σχέση με το ήπαρ του ξενιστή. Χαμηλότερες συγκεντρώσεις Cu στο παράσιτο σε σχέση με το ήπαρ του ξενιστή.	Jirsa et al., 2008
As, Hg, Se	<i>Clestopothrium crassiceps</i>	<i>Merluccius merluccius</i> (Μπακαλιάροσ)	Χαμηλότερες συγκεντρώσεις στο παράσιτο σε σχέση με τους ιστούς του ξενιστή (BCF<1)	Torres et al., 2015
Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Th, Ti, U, V, Zn	<i>Gyrocotyle plana</i>	<i>Callorhynchus capensis</i> (καρχαρίας St Joseph)	Υψηλότερες συγκεντρώσεις για τα As, Mn, Pb, Ti και Zn στο παράσιτο σε σχέση με τους ιστούς του ξενιστή	Morris et al., 2016
Ag, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Pb, Rb, Se, Sr, Ti, Zn	<i>Lacistorhynchus dollfusi</i>	<i>Citharichthys sordidus</i> (Pacific sanddab)	Υψηλότερες συγκεντρώσεις με συνέπεια για τα Zn, Cu, Hg στο παράσιτο σε σχέση με τους ιστούς του ξενιστή (ήπαρ, έντερο, μυς). Υψηλότερες συγκεντρώσεις και για την πλειοψηφία των άλλων μετάλλων με υψηλότερους παράγοντες βιοσυγκέντρωσης ως προς τους μύες και το ήπαρ του ψαριού και πολύ χαμηλότερους ως προς το έντερο του ψαριού	Courtney-Hogue, 2016
Pb, Cd, Cr	<i>Ligula intestinalis</i>	<i>Abramis brama</i> (Αβραμίδα),	Υψηλότερες συγκεντρώσεις μετάλλων στο	Baruš et al., 2013

		<i>Blica bjoerkna</i> (Ασημένια λεστιά), <i>Rutilus rutilus</i> (Τσιρόνι)	παράσιτο σε σχέση με τους διάφορους μυϊκούς ιστούς των ενδιάμεσων ξενιστών του	
Pb, Cd, Cr, Cu	<i>Ligula intestinalis</i>	<i>Rastreneobola argentea</i> (Silver fish)	Υψηλότερες συγκεντρώσεις μετάλλων στο παράσιτο σε σχέση με αυτές του ψαριού	Oyoo-Okoth et al., 2010
Cu, Fe, Mn, Zn	<i>Ligula intestinalis</i>	<i>Tinca tinca</i> (Γλήνι)	Υψηλότερες συγκεντρώσεις μετάλλων στο παράσιτο σε σχέση με τους μύες, το ήπαρ και τα βράγχια του ξενιστή	Tekin-Ozan & Kir, 2005
Al, Ba, Sr	<i>Ligula intestinalis</i>	<i>Tinca tinca</i> (Γλήνι)	Υψηλότερες συγκεντρώσεις μετάλλων στο παράσιτο σε σχέση με το ήπαρ του ξενιστή	Tekin-Ozan & Kir, 2008
Cd, Pb	<i>Paraorigmatobothri- m sp.</i>	<i>Carcharhinus dussumieri</i> (Καρχαρίας whitecheek)	Πολλές φορές υψηλότερες συγκεντρώσεις και των δύο μετάλλων στο παράσιτο σε σύγκριση με τους ιστούς του ξενιστή καρχαρία	Malek et al., 2007
Cd, Pb	<i>Polypocephalus sp.</i>	<i>Himantura cf. gerardi</i> (Whitespotted whipray)	Υψηλότερες συγκεντρώσεις στο παράσιτο σε σχέση με τον ξενιστή	Golestaninas ab et al., 2014
Cr, Ni, Pb, Zn	<i>Proteocephalus macrocephalus</i>	<i>Anguilla Anguilla</i> (Ευρωπαϊκό χέλι)	Μεγαλύτερη συσσώρευση στο παράσιτο σε σχέση με τους ιστούς του ξενιστή	Eira et al., 2009
As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn	<i>Proteocephalus percae</i>	<i>Perca fluviatilis</i> (Ευρωπαϊκή πέρκα)	Υψηλότερες ικανότητες ανίχνευσης για το παράσιτο σε σχέση με τα όργανα του ψαριού (μυς, ήπαρ, νεφρό, εγκέφαλος, αρσενικά και θηλυκά αναπαραγωγικά όργανα)	Brázová et al., 2012
As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn	<i>Proteocephalus percae</i>	<i>Perca fluviatilis</i> (Ευρωπαϊκή πέρκα)	Υψηλότερες συγκεντρώσεις γενικώς των βαρέων μετάλλων στο	Brázová et al., 2015

			παράσιτο σε σχέση με ιστούς του ψαριού	
Cd, Pb	<i>Rinebothrium sp. 1</i>	<i>Himantura cf. gerardi</i> (Whitespotted whipray)	Υψηλότερες συγκεντρώσεις στο παράσιτο σε σχέση με τον ξενιστή	Golestaninas ab et al., 2014
Cd, Pb	<i>Rinebothrium sp. 2</i>	<i>Glaucostegus granulatus</i> (Sharpnose guitarfish)	Υψηλότερες συγκεντρώσεις στο παράσιτο σε σχέση με τον ξενιστή	Golestaninas ab et al., 2014
Cd, Cu, Mn, Pb, Zn	<i>Senga parva</i>	<i>Channa micropeltes</i> (Οφιοκέφαλος της Ινδονησίας)	Μεγαλύτερη συσσώρευση στο παράσιτο σε σχέση με το ήπαρ, το έντερο και το νεφρό του ξενιστή για τα Pb, Zn, Mn και τη δεύτερη υψηλότερη συσσώρευση μετάλλων όσο αφορά τα Cu και Cd	Yen Nhi et al., 2013
Cd, Pb	<i>Tetragonocephalum sp.</i>	<i>Himantura cf. gerardi</i> (Whitespotted whipray)	Υψηλότερες συγκεντρώσεις στο παράσιτο σε σχέση με τον ξενιστή	Golestaninas ab et al., 2014
Νηματώδη				
Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Zn	<i>Anguillicola crassus</i>	<i>Anguilla Anguilla</i> (Ευρωπαϊκό χέλι)	Υψηλότερες συγκεντρώσεις Fe στο παράσιτο σε σχέση με ιστούς του ξενιστή και όχι στατιστικά σημαντικές διαφορές στις συγκεντρώσεις όσο αφορά τα άλλα μέταλλα	Genc et al., 2008
Pb, Zn, Fe, Cd, Cu, Mn, Ni	<i>Asinakis sp.</i>	<i>Dicentrarchus labrax</i> (Λαβράκι)	Μεγαλύτερη συσσώρευση μετάλλων (με εξαίρεση τον Pb και τον Zn) στο παράσιτο σε σχέση με τους ιστούς του ξενιστή (μυς, ήπαρ, βράγχια)	Morsy et al., 2012
Pb, Cd, Hg, As, Zn, Fe	<i>Ascaris sp.</i>	<i>Liza vaigiensis</i> (Squaretail mullet)	Μεγαλύτερη συσσώρευση μετάλλων στο παράσιτο σε σχέση με τους ιστούς του ξενιστή (μυς, έντερο)	Azmat et al., 2008
Al, As, Ba, Cd, Cu, Cr, Fe, Mg, Mn,	<i>Contracaecum sp.</i>	<i>Acestrorhynchus lacustris</i>	Υψηλότερες συγκεντρώσεις (με εξαίρεση το Mg) στο	Leite et al., 2017

Ni, Pb, Ti, Zn			παράσιτο σε σχέση με ιστούς του ξενιστή	
Zn, Cu	<i>Dichelyne minutus</i>	<i>Chasar bathybius</i>	Υψηλότερες συγκεντρώσεις στο παράσιτο σε σχέση με το ήπαρ και το έντερο του ξενιστή	Amini et al., 2013
Pb, Cd, Hg, As, Zn, Fe	<i>Echinocephalus sp.</i>	<i>Liza vaigiensis</i> (Squaretail mullet)	Μεγαλύτερη συσσώρευση μετάλλων στο παράσιτο σε σχέση με τους ιστούς του ξενιστή (μυς, έντερο)	Azmat et al., 2008
As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Pb, Se, Sn, V, Zn	<i>Eustrongylides sp.</i>	<i>Barbus barbuis</i> (Μπριάννα)	Σημαντικά υψηλότερες συγκεντρώσεις στο παράσιτο σε σχέση με τους μυς, το έντερο, το ήπαρ του ξενιστή τους για τα Co, Cu, Fe, Se, Zn	Nachev et al., 2013
Cd, Pb	<i>Hysterothylacium sp.</i>	<i>Trichiurus lepturus</i> (Λεπτουρο-σπαθόψαρο)	Υψηλότερες συγκεντρώσεις στο παράσιτο σε σχέση με το ήπαρ, το έντερο, τους μύες και τις γονάδες του ξενιστή	Khaleghzadeh-Ahangar et al., 2011
Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mg, Pb, Zn	<i>Hysterothylacium aduncum</i>	<i>Pagellus erythrinus</i> (Λυθρίνι)	Υψηλότερες συγκεντρώσεις Cr, Hg, Pb στο παράσιτο σε σχέση με τους ιστούς του ξενιστή. Υψηλότερες συγκεντρώσεις Cd βρέθηκαν στους μύες του ψαριού, Cu και Fe βρέθηκαν στο ήπαρ του ψαριού, ενώ Mn και Zn βρέθηκαν στη νηκτική κύστη του ψαριού	Dural et al., 2010
Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mg, Pb, Zn	<i>Hysterothylacium aduncum</i>	<i>Sparus aurata</i> (Τσιπούρα)	Υψηλότερες συγκεντρώσεις Cd, Cu και Pb στο παράσιτο σε σχέση με τους ιστούς του ξενιστή (ήπαρ, μυς, βράγχια, έντερο και δέρμα)	Dural et al., 2011
Cd, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn	<i>Hysterothylacium aduncum</i>	<i>Solea solea</i> (Γλώσσα)	Υψηλότερες συγκεντρώσεις Fe,	Abdel-Ghaffar et

			Cu, Cd και Ni στο παράσιτο σε σχέση με τους ιστούς του ξενιστή	al., 2015
Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Se, Sr, Zn	<i>Hysterothalycium reliquens</i>	<i>Nemipterus peronii</i>	Μεγαλύτερη συσσώρευση Cr, Cu, Fe, Mn, Se, Ni και Zn στο παράσιτο σε σχέση με τους ιστούς του ξενιστή (μυς, ήπαρ, νεφρό)	Mazhar et al., 2014
Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Se, Sr, Zn	<i>Paraphilometroides nemipteri</i>	<i>Nemipterus peronii</i>	Μεγαλύτερη συσσώρευση As, Hg, Cd, Al, Pb και Sr στο παράσιτο σε σχέση με τους ιστούς του ξενιστή (μυς, ήπαρ, νεφρό)	Mazhar et al., 2014
Cr, Cu, Pb, Cd, Ni, Zn	<i>Philometra ovata</i>	<i>Gobio gobio</i> (Χρύσκος)	Υψηλότερες συγκεντρώσεις μετάλλων στο παράσιτο σε σχέση με τους μύες του ξενιστή	Barus et al., 2007
Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Th, Ti, U, V, Zn	<i>Proleptus obtusus</i>	<i>Rhinobatos annulatus</i> , <i>Rhinobatos blocii</i> (γένος: Ρινόβατος)	Χαμηλότερες συγκεντρώσεις στο παράσιτο σε σχέση με τους ιστούς των ξενιστών του (BCF<1)	Morris et al., 2016

3.2.2. Η ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΠΑΡΑΣΙΤΩΝ ΩΣ ΔΕΙΚΤΕΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ

Εδώ και χρόνια αποτελεί αντικείμενο συζήτησης η ανάγκη νέων βιολογικών δεικτών. Η χρήση των παρασίτων για την παρακολούθηση των μετάλλων δικαιολογήθηκε από τον Sures (2003) λόγω της εξαιρετικής τους ικανότητας για συσσώρευση μετάλλων. Ωστόσο, με την εφαρμογή των παρασίτων ως βιολογικών δεικτών, θα πρέπει να θανατώνουμε τους ξενιστές τους γεγονός που εγείρει ζητήματα βιοηθικής. Έτσι, οι κατάλληλες τάξεις παρασίτων θα πρέπει να είναι άφθονες μεταξύ του πληθυσμού του ξενιστή καθώς και να έχουν μεγάλα σώματα ώστε να μπορούν να διαθέτουν επαρκή ιστό για τους αναλύσεις έτσι ώστε να μειώσουμε τον αριθμό των ξενιστών που θυσιάζουμε. Τα κατάλληλα παράσιτα τα οποία και ικανοποιούν τα παραπάνω κριτήρια είναι τα νηματώδη *anisakid* (*Asinakis spp*, *Pseudoterranova spp.*) καθώς είναι άφθονα και παγκόσμια κατανεμημένα μεταξύ διαφορετικών ψαριών και κεφαλόποδων ξενιστών. Χάρη στη χαμηλή ειδικότητα τους ως προς τους ξενιστές, μπορούμε να τα βρούμε σε μεγάλους αριθμούς σε ενδιάμεσους ασπόνδυλους και σπονδυλωτούς ξενιστές από διαφορετικά τροφικά επίπεδα

και με διαφορετικές οικολογικές προτιμήσεις. Για παράδειγμα, καθώς οι ενήλικες εμφανίζονται σε θαλάσσια θηλαστικά, θεωρητικά μπορούν να δίνουν πληροφορίες σχετικά με τη μεταφορά μετάλλων μεταξύ διαφορετικών τροφικών επιπέδων στα θαλάσσια οικοσυστήματα με τρόπο παρόμοιο σαν να αναλύεται ένας οργανισμός που ανήκει σε διαφορετικά τροφικά επίπεδα. Επιπλέον, η διάρκεια ζωής τους είναι μεγάλη και συνδυαστικά με το υψηλό δυναμικό συσσώρευσης και την ανοχή στους ρύπους θα μπορούσαμε να τους εφαρμόσουμε ως παγκόσμιους βιολογικούς δείκτες για τη μόλυνση με μέταλλα (Nachev & Sures, 2016).

Μέλη άλλων τάξεων παρασίτων, τα οποία κατανέμονται παγκοσμίως και υπάρχουν σε μεγάλο εύρος ξενιστών, μπορούμε επίσης να τα λάβουμε υπόψιν μας για έρευνες παρακολούθησης μετάλλων. Για παράδειγμα, είδη των ακανθοκέφαλων από τα γένη *Echionorhynchus* και *Corynosoma* μπορούν να είναι κατάλληλοι υποψήφιοι χάρη στο υψηλό δυναμικό συσσώρευσης που έχει αποδειχθεί ότι έχουν τα ακανθοκέφαλα γενικά μέχρι τώρα. Αν και οι έρευνες σχετικές με το δυναμικό συσσώρευσης των θαλάσσιων ακανθοκέφαλων δεν είναι πολλές, υπάρχουν σαφείς ενδείξεις πως οι οργανισμοί αυτοί παρουσιάζουν υψηλό δυναμικό συσσώρευσης. Σε μια μελέτη πεδίου που έγινε στην Ανταρκτική για το *Notothenia coriiceps* που ήταν μολυσμένο με *Aspersentis megrhynchus* τα ακανθοκέφαλα είχαν τον αργυρό και το μόλυβδο σε πολύ υψηλά επίπεδα, σε αντίθεση με τους ιστούς των ψαριών που μόλις μπορούσαν να ανιχνευτούν. Με το παράδειγμα αυτό μπορούμε να δούμε ότι με τη χρήση εξαιρετικά ευαίσθητων δεικτών όπως είναι τα ακανθοκέφαλα ότι ακόμα και σε χαμηλά επίπεδα περιβαλλοντικών συγκεντρώσεων μετάλλων μπορούν να ανιχνεύσουν την παρουσία και τη διαθεσιμότητα των μετάλλων. Ωστόσο, δεν έχουμε ακόμα λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με το δυναμικό συσσώρευσης των θαλάσσιων ακανθοκέφαλων από διαφορετικούς τύπους ξενιστών και για το λόγο αυτό θα πρέπει να αξιολογηθούν καθώς και πτυχές σχετικά με τη φυσιολογία και τη βιολογία τους (Nachev & Sures, 2016).

Ωστόσο, σε όλες τις προαναφερθείσες περιπτώσεις, απαιτείται η θυσία του ξενιστή για τη συλλογή παρασίτων με σκοπό την παρακολούθηση των μετάλλων. Μια ιδέα θα μπορούσε να ήταν αν συνδυάζαμε τις εκστρατείες παρακολούθησης του περιβάλλοντος με τη βιομηχανική αλιεία. Διάφοροι θαλάσσιοι οργανισμοί όπως τα κεφαλόποδα, τα ψάρια και καρκινοειδή είναι στόχοι της εμπορικής αλιείας. Είναι σημαντικό από άποψη ανθρώπινης υγείας να παρακολουθούμε τα επίπεδα μόλυνσης αυτών των οργανισμών (Nachev & Sures, 2016).

Ένας περιοριστικός παράγοντας για τη βιοπαρακολούθηση μπορεί να συνιστά η κινητικότητα του ξενιστή, αφού δεν θα μπορεί να υποδειχθεί τοπική μόλυνση. Άρα, απαιτείται να γίνει προσεκτική επιλογή του ξενιστή και των παρασίτων προκειμένου να μπορέσουμε να εκτιμήσουμε την περιοχή όπου τα επίπεδα ρύπων ενσωματώνονται από το σύστημα ξενιστή-παρασίτων. Διάφορα είδη θαλάσσιων ψαριών έχουν σαφώς καθορισμένες περιοχές κατοικίας /εύρους βάθους και σαφείς προτιμήσεις ενδιαιτημάτων. Άρα με βάση τους στόχους παρακολούθησης μπορούμε να κάνουμε επιλεκτική αξιολόγηση των ενδιαιτημάτων στόχων, αν επιλέξουμε κατάλληλους οργανισμούς ως ξενιστές (Nachev & Sures, 2016).

Όπως προαναφέρθηκε, κάποια είδη θαλάσσιων παρασίτων είναι άφθονα σε μεγάλο αριθμό ειδών ξενιστών όπως τα νηματώδη anisakid ή τα ακανθοκέφαλα. Αν παρακολουθήσουμε, τα επίπεδα ρύπων τους από διαφορετικά είδη ξενιστών ή από διαφορετικές περιοχές, θα μπορούσαμε να αποκαλύψουμε διαφορετικά προφίλ μόλυνσης στα θαλάσσια οικοσυστήματα (Nachev & Sures, 2016).

3.2.3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΞΕΝΙΣΤΗ - ΠΑΡΑΣΙΤΟΥ ΓΙΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ

Κατά την επιλογή συστημάτων ξενιστή – παρασίτου για την παρακολούθηση των δεικτών έγκαιρης προειδοποίησης της θαλάσσιας ρύπανσης, ο στόχος είναι να εντοπίσουμε αυτά που είναι ευαίσθητα ισορροπημένα όπου συγκεκριμένες περιβαλλοντικές αλλαγές θα οδηγήσουν σε αποτυχίες μετάδοσης. Ο υποκείμενος ξενιστής θα πρέπει να είναι ένα είδος που είναι κοινό και κατοικεί στην περιοχή της μελέτης, ώστε να μπορούμε να λαμβάνουμε τακτικά δείγματα χωρίς να επηρεαστεί σημαντικά ο πληθυσμός και ακόμη να μπορεί κάποιος να είναι σίγουρος ότι η δειγματοληψία σε κάθε περίπτωση γίνεται από τον ίδιο πληθυσμό. Αν και γίνεται μια εστίαση στα ψάρια ως ξενιστές, τα ασπόνδυλα και ιδιαίτερα τα βενθικά είδη των καρκινοειδών και των μαλακίων, μπορεί να είναι καλύτερες επιλογές σε ορισμένες περιπτώσεις. Τα περισσότερα ενήλικα ψάρια, μεταναστεύουν σε κάποιο βαθμό και για το λόγο αυτό δεν πρέπει να επιλέγονται εκτός αν η περιοχή μελέτης είναι γνωστό ότι καλύπτει το πλήρες μεταναστευτικό τους εύρος (Mackenzie, 1999).

Τα κριτήρια που προτείνονται ως δείκτης ενός είδους παρασίτου είναι τα ακόλουθα:

1. Πρέπει να εμφανίζεται συνήθως στον υποκείμενο ξενιστή.
2. Πρέπει να είναι εύκολα αναγνωρίσιμο καθώς και να μην συγχέεται εύκολα με παρόμοια είδη που μολύνουν τον υποκείμενο ξενιστή. Τα σχετικά ή αδελφικά είδη

που είναι παρόμοια μορφολογικά μπορεί να έχουν εντελώς διαφορετικές περιβαλλοντικές ευαισθησίες.

3. Η οικολογία και ο κύκλος ζωής του πρέπει να είναι ευρέως γνωστές από προηγούμενες μελέτες.
4. Θα πρέπει να έχει ένα στενό παράθυρο μετάδοσης για μόλυνση του υποκείμενου ξενιστή.
5. Εάν οι ύποπτοι ρύποι συσσωρεύονται σε ιζήματα, τα παράσιτα θα πρέπει να έχουν στάδια μετάδοσης όπως αυγά ή προνύμφες ελεύθερης διαβίωσης που έρχονται σε επαφή με το πυθμένα της θάλασσας. Αυτό, φυσικά δεν ισχύει για υδατοδιαλυτές χημικές ουσίες ή αβιοτικούς ρύπους όπως οι θερμικές αλλαγές.
6. Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι τα είδη παρασίτων που ζουν κοντά στα όρια των γεωγραφικών κατανομών τους είναι πιθανόν να είναι ιδιαίτερα ευάλωτα στις περιβαλλοντικές αλλαγές.

Τα στάδια μετάδοσης ελεύθερης διαβίωσης οποιoσδήποτε παρασίτου ικανοποιεί αυτά τα κριτήρια θα πρέπει να εκτίθεται υπό ελεγχόμενες εργαστηριακές συνθήκες στους υπό εξέταση ρύπους και πρέπει να δοκιμάζεται η επακόλουθη βιωσιμότητα και μολυσματικότητα τους για τον υποκείμενο ξενιστή (Mackenzie, 1999).

3.2.4. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΑΡΑΣΙΤΩΝ ΨΑΡΙΩΝ ΩΣ ΔΕΙΚΤΕΣ

Υπάρχουν περιορισμοί στις μελέτες που βασίζονται στο σύστημα ξενιστή – παρασίτων. Κάποιοι από αυτούς τους περιορισμούς περιλαμβάνουν:

1. Σχέσεις ξενιστή – παρασίτου σε ένα μολυσμένο περιβάλλον: Οι σχέσεις αυτές είναι εξαιρετικά πολύπλοκες. Για παράδειγμα από τις μελέτες για τους ρόλους παρασίτου στη συσσώρευση βαρέων μετάλλων ή άλλων ρύπων μπορεί να φαίνεται ευεργετική για τα μολυσμένα ζώα η μειωμένη συγκέντρωση ρύπων στον ξενιστή. Επωφελής λοιπόν μπορεί να είναι η παρουσία παρασίτων για τα μολυσμένα ζώα που εκτίθενται σε περιβαλλοντική ρύπανση χάρη στο γεγονός ότι οι ρύποι τείνουν να συσσωρεύονται πιο πολύ στα παράσιτα παρά στους ξενιστές. Αυτό μπορεί να έχει προστατευτικό αποτέλεσμα στα μολυσμένα ζώα από τις διάφορες τοξικές επιδράσεις των ρύπων σε σχέση με τα μη μολυσμένα ζώα. Ωστόσο, προτού προβούμε σε τέτοιες παραδοχές, θα πρέπει πρώτα να γίνουν περισσότερες μελέτες έτσι ώστε να δούμε αν οι βλαβερές επιπτώσεις των παρασίτων στο ξενιστή μπορούν να παραβλεφθούν από το προστατευτικό αποτέλεσμα που επιφέρουν (Biswal & Chatterjee, 2020).

2. Σχέση μεταξύ περιβαλλοντικών παραγόντων: Υπάρχει ασθενής σχέση μεταξύ των παρασίτων και της περιβαλλοντικής υποβάθμισης και αυτό γιατί έχουν διαφορετικές επιπτώσεις οι περιβαλλοντικοί παράγοντες ενώ και τα παράσιτα έχουν διαφορετική ανταπόκριση περιπλέκοντας ολόκληρο το σενάριο. Τα παράσιτα των ψαριών θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως βιοδείκτες μόνο αν έχουμε προηγουμένως μελετήσει λεπτομερώς τη σχέση μεταξύ της ρύπανσης και του παράσιτου ψαριών έτσι ώστε να είναι συμφέρων να τα χρησιμοποιήσουμε πέρα των ελευθέρων διαβιούντων οργανισμών. Οι κοινότητες παρασίτων σε περίπτωση μέτριων επιπέδων ρύπων δεν χρησιμοποιούνται ως καλοί δείκτες ρύπανσης (Biswal & Chatterjee, 2020).
3. Έλλειψη γνώσεων για τις ιδανικές συνθήκες ώστε ένα παράσιτο να χαρακτηριστεί ως βιοδείκτης: Οι συνθήκες κάτω από τις οποίες ένα παράσιτο θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως δείκτης περιβαλλοντικής αλλαγής ή αντίκτυπου καθίστανται εξαιρετικά δύσκολες σε μεγάλο βαθμό και αυτό γιατί εμπλέκονται πολλοί παράγοντες και η μελέτη τέτοιων παραγόντων έχει μεμονωμένα διάφορες επιπλοκές. Μπορεί να οδηγηθούμε σε ξέσπασμα παρασιτικών μολύνσεων υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής που μπορεί να προκαλέσει δραματική, συγχρονισμένη αφθονία των ξενιστών τους. Τα συστήματα παρασίτων – ξενιστή πέραν της κλιματικής αλλαγής μπορούν να ρυθμίσουν την πληθυσμιακή δομή του οικοσυστήματος (Biswal & Chatterjee, 2020).
4. Μεταβλητότητα στην απόκριση των παρασίτων σε εξωτερικές αλλαγές: Τα παράσιτα ανταποκρίνονται με διάφορους τρόπους στις περιβαλλοντικές αλλαγές κάνοντας έτσι με αυτό τον τρόπο δύσκολες τις γενικευμένες προβλέψεις. Για παράδειγμα, παρατηρήθηκε αύξηση του πληθυσμού των παρασίτων *Gyrodacrylus turnbulli* με την αύξηση του ψευδαργύρου μέχρι τα 120 g/l στο περιβάλλον νερό, ενώ όταν είχαμε αύξηση συγκέντρωσης του ψευδαργύρου πάνω από τα όρια αυτά μπορεί να προκληθεί μείωση του πληθυσμού *Gyrodacrylus turnbulli* αφού επηρεάζει δυσμενώς την αναπαραγωγή και ανάπτυξη των παρασίτων. Μια μελέτη έδειξε την ευαισθησία των oncomiracidia του *Paradiplozoon ichthyoxanthon* στο διαλυμένο αλουμίνιο (Al) υπό εργαστηριακές συνθήκες. Προτάθηκε ότι τα παράσιτα τόσο από θαλάσσια όσο και από τα οικοσυστήματα γλυκού νερού στην Αφρική θα μπορούσαν να χρησιμεύουν ως βιοδείκτες, αλλά πρώτα έπρεπε να μελετηθούν λεπτομερώς οι επιπτώσεις των ρύπων στους οργανισμούς αυτούς. Με τέτοιες αναφορές καθίσταται σαφές ότι μπορεί να είναι λανθασμένη η απλή πρόβλεψη μεταξύ του επιπολασμού του πληθυσμού των παρασίτων και της αύξησης της συγκέντρωσης ενός συγκεκριμένου ρύπου και μία εμπειρισταωμένη μελέτη χρειάζεται (Biswal & Chatterjee, 2020).

5. Δυσκολίες στην παρακολούθηση των παρασίτων με βάση την κοινότητα: Μελέτες που βασίζονται σε μεμονωμένα μέτρα κοινότητων παρασίτων, όπως ο πλούτος των ειδών ως δείκτες συγκεκριμένων περιβαλλοντικών αλλαγών δεν είναι επιστημονικές και συχνά λανθασμένες, επειδή διαφορετικές ταξινομικές ομάδες τείνουν να αποκρίνονται σε αντίθετες κατευθύνσεις. Η παρακολούθηση σε επίπεδο κοινότητας χρησιμεύει ως ένα σημαντικό εργαλείο για την εκτίμηση της περιβαλλοντικής αλλαγής και απαιτεί βαθύτερες γνώσεις σχετικά με τη σχέση μεταξύ του ευρέος φάσματος των παρασίτων και των επιπτώσεων. Αυτό απαιτεί τόσο εργαστηριακές μελέτες όσο και επιτόπιες μελέτες. Ωστόσο, υπάρχει μια έλλειψη μελετών που συνδυάζουν αποδείξεις πεδίου και εργαστηρίου. Η επίδραση των ρύπων στα αναπτυξιακά στάδια των παρασίτων μπορεί να επηρεάσει τις κοινότητες των παρασίτων και πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω. Τα περισσότερα παράσιτα είναι συγκεκριμένα είδη που περιορίζονται σε συγκεκριμένα είδη ξενιστών, αλλά υπάρχουν και άλλα τα οποία μολύνουν ένα ευρύ φάσμα ξενιστών. Αυτή η κατανομή παρασίτων από τους ξενιστές επηρεάζει τη δομή των κοινότητων των παρασίτων σε υδάτινα συστήματα και οποιοσδήποτε παράγοντας επηρεάζει αυτήν την συμπεριφορά μπορεί να επηρεάσει τις κοινότητες των παρασίτων. Τέτοιες αλλοιωμένες αλληλεπιδράσεις μπορούν να επηρεάσουν τις οδούς μεταβολισμού διαφόρων ρύπων καθώς και τις τοξικές τους επιδράσεις. Αυτό απαιτεί περαιτέρω έρευνα σε αυτόν τον τομέα (Biswal & Chatterjee, 2020).

3.2.5. ΧΡΕΙΑΖΟΜΑΣΤΕ ΚΑΙΝΟΥΡΙΟΥΣ ΔΕΙΚΤΕΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ;

Αν και υπάρχουν καλά επιχειρήματα για την καθιέρωση των παρασίτων ως δεικτών συσσώρευσης, οι οικολόγοι για λόγους εξοικείωσης φαίνεται να δείχνουν μια προτίμηση στη χρήση ζώων όπως τα μύδια, τα καρκινοειδή και τα ψάρια. Εν αντιθέσει ίσως κάποιος αναρωτηθεί για ποιον λόγο χρειαζόμαστε νέους και πιο ευαίσθητους δείκτες συσσώρευσης από τους ήδη καθιερωμένους. Με τη χρήση ακανθοκέφαλων σε μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων, μπορούμε να ανιχνεύσουμε εξαιρετικά χαμηλές συγκεντρώσεις μετάλλων στο περιβάλλον χάρη στο υψηλό δυναμικό συσσώρευσης αυτών των σκουληκιών. Για παράδειγμα, αυτό θα μας βοηθήσει να εκτιμήσουμε την παρουσία καθώς και την διαθεσιμότητα της ανθρωπογενούς ρύπανσης σε περιοχές που είναι παρθένες όπως π.χ. η Ανταρκτική. Μάλιστα στην Ανταρκτική αποδείχθηκε με τη χρήση των ακανθοκέφαλων η παρουσία βιολογικά διαθέσιμων συγκεντρώσεων αργυρού και μόλυβδου, αν και τα δύο αυτά μέταλλα δεν ήταν ή ήταν μόνο δύσκολα ανιχνεύσιμα στους ιστούς των ξενιστών

ψαριών. Έτσι, προκειμένου να εκτιμήσουμε την κατανομή των ρύπων ιδιαίτερα σε απομακρυσμένες περιοχές, κρίνεται απαραίτητο να έχουμε τους αποτελεσματικότερους δείκτες (Sures, 2004).

Ακόμα, τα παράσιτα έχουν την ικανότητα να προ-συγκεντρώνουν σε συγκεντρώσεις υψηλότερες από το όριο ανίχνευσης μιας αναλυτικής μεθόδου μέταλλα του περιβάλλοντος τους, υποστηρίζοντας έτσι την χημική ανάλυση. Από τα αυτοκίνητα που είναι εξοπλισμένα με καταλυτικούς μετατροπείς προκύπτει μια νέα ανθρώπινη ρύπανση μετάλλων. Μετά την εισαγωγή καταλυτικών μετατροπέων στα αυτοκίνητα, τα στοιχεία της ομάδας πλατίνας (PGE) παλλάδιο (Pd), πλατίνα (Pt) και ρόδιο (Rh) εκπέμπονται με τις αναθυμιάσεις των καυσίμων. Παρά το γεγονός ότι επιτόπιες μελέτες έδειξαν μια αθροιστική αύξηση των συγκεντρώσεων PGE στη σκόνη και τα εδάφη κατά μήκος των δρόμων, μέχρι στιγμής έχουμε ένα μικρό σύνολο δεδομένων σε σχέση με τη βιολογική διαθεσιμότητα των μετάλλων αυτών. Σε μία πρόσφατη μελέτη φυσικώς μολυσμένων με *eoacanthocephalan Paratenuisentis ambiguus*, τα οποία εκτέθηκαν πειραματικά σε υλικό καταλυτικού μετατροπέα εδάφους, τα παράσιτα προσέλαβαν και συσσωρεύσαν Pt και Rh ενώ δεν βρέθηκε να έχει γίνει πρόσληψη μετάλλου στους ιστούς των ξενιστών. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι η βιοσυσσωρευση PGE στα παράσιτα θα μπορούσε να διευκολύνει τις αναλυτικές διαδικασίες ως ένα στάδιο προ-συγκέντρωσης πριν την ανίχνευση μετάλλων (Sures, 2004).

3.3. ΤΑ ΠΑΡΑΣΙΤΑ ΩΣ ΔΕΙΚΤΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Αλλαγές μπορεί να έχουμε π.χ. στην κυκλοφορία των ωκεανών καθώς και μείωση της αλατότητας ως αποτέλεσμα της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής με την αύξηση των θερμοκρασιών του νερού και τη στάθμη της θάλασσας γεγονός που μπορεί ακόμα να προκαλέσει μετρήσιμα αποτελέσματα στη βιογεωγραφία και στη σύνθεση των παρασίτων των ψαριών. Οι αλληλεπιδράσεις ξενιστή παθογόνου μπορεί να επηρεαστούν από την υπερθέρμανση του κλίματος με: 1) την αύξηση των ρυθμών ανάπτυξης των παθογόνων, την μετάδοση και τον αριθμό των χρόνων παραγωγής κάθε έτους, 2) με την αύξηση του ποσοστού επιβίωσης του παθογόνου τον χειμώνα και 3) με την αύξηση της ευαισθησίας του ξενιστή σε παράγοντες θερμικού στρες, το πιο σημαντικό η εποχικότητα και η βιογεωγραφική περιοχή πολλών ειδών μαζί και των ξενιστών και παρασίτων αλλάζουν από τις αυξημένες θερμοκρασίες (Biswal & Chatterjee, 2020). Συνεπώς με τη δυνατότητα ένδειξης περιβαλλοντικής αλλαγής και μετανάστευσης ξενιστή ή μόλυνσης μπορούν να είναι χρήσιμα ως βιοδείκτες της κλιματικής αλλαγής τα παράσιτα των ψαριών όντας

σημαντικό συστατικό της υδρόβιας βιοποικιλότητας. Σε αυτή την εφαρμογή πρέπει να χρησιμοποιούνται παράσιτα ψαριών που είναι εύκολα στην παρακολούθηση, έχουν ευρεία κατανομή και μπορούν να υποδεικνύουν στο υδάτινο περιβάλλον μακροχρόνιες αλλαγές οι οποίες σχετίζονται είτε με φυσικές είτε με ανθρωπογενείς επηρεασμένες περιβαλλοντικές συνθήκες (Palm, 2011).

Αλλαγές κατεγράφησαν στον επιπολασμό των μετάζωων από τον Mackenzie (1987) και κεστοδών trypanorhynch *Grillotia angele* Dolfus, το (1969) στο σκουμπρί (*Scomber scombrus*) και των *Lacistorhynchus sp* στη ρέγγα (*Clupea harengus*) για τις περιόδους 8 ετών (1978-1985) και 11 ετών (1974-1984), αντίστοιχα. Απότομες μειώσεις του επιπολασμού των παρασίτων φάνηκαν και από τα δύο σύνολα δεδομένων από περιόδους σε σχετικά υψηλά επίπεδα σε άλλες σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα. Και στα δύο συστήματα ξενιστών παρασίτων σημειώθηκαν ταυτόχρονα οι αλλαγές στον επιπολασμό και συνέπεσαν με το τέλος ενός υδρογραφικού φαινομένου γνωστού ως ανωμαλία αλατότητας στα μέσα της δεκαετίας του 70, με μείωση της αλατότητας στα άνω των 1000 μέτρων νερού στα περισσότερα μέρη του ανατολικού Ατλαντικού. Τα αποτελέσματα αποδίδονται σε αλλαγές στην αφθονία των πρώτων ενδιάμεσων και τελικών ξενιστών, στη διατροφή του ξενιστή καθώς και σε αλλαγές στις υδρογραφικές συνθήκες. Συνέπειες πρέπει να έχουν για τη σύνθεση και την αφθονία των παρασίτων η αύξηση της θερμοκρασίας του θαλασσίου νερού και η πιθανή αλλαγή των ρευμάτων και η υδρογραφία που προκύπτει. Ο Roulin (2007) τόνισε τη σημασία του γεωγραφικού πλάτους ως ένα βολικό υποκατάστατο μέτρο για τη θερμοκρασία. Κατά κανόνα, βλέπουμε να αυξάνεται η ποικιλομορφία των παρασίτων των ψαριών από υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη προς τις τροπικές περιοχές. Μεταξύ των θαλάσσιων ψαριών βλέπουμε ότι ο μέσος πλούτος ειδών εξωπαρασίτων ανά πληθυσμό ιχθύων αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του νερού σε χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη, ένα πρότυπο που δεν είναι ανιχνεύσιμο στο ενδοπαρασιτικούς έλμινθες. Μεταξύ των ειδών ψαριών γλυκού νερού, φαίνεται να κορυφώνεται ο πλούτος των ειδών των παρασίτων σε εύκρατα γεωγραφικά πλάτη και όχι στις τροπικές περιοχές. Ωστόσο, όπως αναφέρεται από τους Vidal – Marti'nez et al. (2010), οι ακριβείς συνθήκες κάτω από τις οποίες θα μπορούσαν τα παράσιτα να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων ή αλλαγών παραμένουν δύσκολες. Στις παράκτιες περιοχές με μια ποικιλία διαφορετικών υποκείμενων παραγόντων, όπως η αλμυρότητα, η ρύπανση από το ποτάμι, οι βιομηχανικές επιπτώσεις, τα λύματα και άλλα ανθρωπογενή απόβλητα ή η εντατική αλιεία, οι αλλαγές που σχετίζονται με την αλλαγή του κλίματος στην

παρασιτική πανίδα των ψαριών θα είναι δύσκολο να εκτιμηθούν. Συνεπώς μελέτες σαν και αυτές θα πρέπει να διεξάγονται σε απομακρυσμένα περιβάλλοντα όπως τα ανοιχτά ωκεάνια ύδατα ή τα βαθιά νερά όπου μπορούν τα καταγεγραμμένα αποτελέσματα να συνδεθούν καλύτερα με μια αλλαγή του περιβάλλοντος σε μεγαλύτερη κλίμακα (Palm, 2011).

Το κλίμα είναι καθοριστικό για μια ποικιλία οικολογικών διεργασιών που αφορούν τη βιογεωγραφία και σύνθεση του ατόμου, των πληθυσμών και των ειδών. Οι Cattadori et al. κατέληξαν στα συμπεράσμα ότι συγκεκριμένα κλιματολογικά γεγονότα θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε εκδηλώσεις μολυσματικών ασθενειών που μπορεί να προκαλέσουν δραματικές, συγχρονισμένες αλλαγές στην αφθονία των ξενιστών τους. Το μέγεθος των πληθυσμών των red grouse στην Β. Αγγλία είτε μειώθηκε είτε αυξήθηκε σε συγχρονισμό με τις σχετιζόμενες κλιματολογικές συνθήκες, κατά τη διάρκεια του Μαΐου και του Ιουλίου επηρεάζοντας την εξαρτώμενη από την πυκνότητα μετάδοσης του γαστρεντερικού νηματώδους *Trichostrongylus tenuis*, ενός παρασίτου που μειώνει τη γονιμότητα των grouse, με τη σειρά του αυτό ανάγκασε σε συγχρονισμό τους πληθυσμούς τόσο των grouse όσο και των παρασίτων. Η θερμοκρασία είναι ένας σημαντικός παράγοντας ο οποίος ρυθμίζει τέτοιες διεργασίες, καθορίζοντας την εμφάνιση και την κατανομή ειδών και στους υδρόβιους βιότοπους. Επειδή είναι διαφορετικά τα θαλάσσια περιβάλλοντα και αυτά του γλυκού νερού από την άποψη της σταθερότητας του μεγέθους και των φυσικών συνθηκών τους, πρέπει αυτά τα συστήματα να αντιμετωπίζονται διαφορετικά. Ενώ η παρατήρηση σεναρίων που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή στα μεγάλα θαλάσσια οικοσυστήματα μπορεί να είναι δυνατή και θα πρέπει να εξεταστεί σε μελλοντικές μελέτες, πρέπει να αμφισβητηθεί πως τα μικρής κλίμακας παρασιτολογικά δεδομένα από περιβάλλοντα γλυκών νερών μπορούν να σχετίζονται αναμφίβολα με την κλιματική αλλαγή από αύξηση της θερμοκρασίας. Για παράδειγμα, οι Esch et al. (1976) συσχέτισαν επιζωοτικές επιδημίες του episybiont *Epistylis sp.* σε ψάρια κεντραρχίδες σε ορισμένες δεξαμενές γλυκού νερού σε ένα συνδυασμό ευτροφισμού και αύξησης της θερμοκρασίας. Ωστόσο οι Kennedy et al (2001) απέδειξαν ότι η προνύμφη του κεστώδους *Ligula usus* μαζί με το *Rutilus rutilus* ρύθμισαν το μέγεθος των άλλων πληθυσμών ψαριών που ζουν στη λίμνη αυτή. Έτσι ούτε η θερμοκρασία ούτε άλλη περιβαλλοντικοί παράγοντες αλλά το σύστημα αυτό παρασίτου-ξενιστή που αποτελείται από δύο γενικευμένα ευρέως κατανομημένα είδη ήταν βασικός παράγοντας για τη δομή του πληθυσμού των ψαριών και των παρασίτων σε ολόκληρο το οικοσύστημα. Θα πρέπει να έχουμε υπόψη μας πως

σύμφωνα με τους Bagge et al (2004) το συνολικό μέγεθος του πληθυσμού των ψαριών *Carassius carassius* επηρέασε μόνο άμεσα τον μέσο αριθμό των ειδών παρασίτων ανά ψάρι και τη μέση συνολική αφθονία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΠΑΡΑΣΙΤΩΝ ΣΤΟ ΥΔΑΤΙΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Τα τελευταία χρόνια, έχει γίνει σημαντική πρόοδος στην ανάπτυξη μοριακών μεθόδων για την ανίχνευση των πρωτόζωων. Παρ' όλα αυτά, η πλειοψηφία των διαγνωστικών μεθόδων που χρησιμοποιούνται στην κλινική πράξη έχουν περιορισμένη εφαρμογή σχετικά με την ανίχνευση πρωτόζωων σε δείγματα νερού. Ο πιο σημαντικός περιορισμός είναι το γεγονός ότι τα δείγματα νερού παρουσιάζουν χαμηλότερη συγκέντρωση κύστεων ή ωοκύστεων σε σύγκριση με τα υλικά που συλλέγονται από τους ασθενείς (Skotarczak, 2009). Η συγκέντρωση, η κάθαρση (του νερού) και η ανίχνευση είναι τα τρία βήματα-κλειδιά σε όλες τις μεθόδους που έχουν εγκριθεί για το έλεγχο ρουτίνας των πρωτόζωων που μεταδίδονται με το νερό (Karanis et al., 2013).

4.1. CRYPTOSPORIDIUM ΚΑΙ GIARDIA

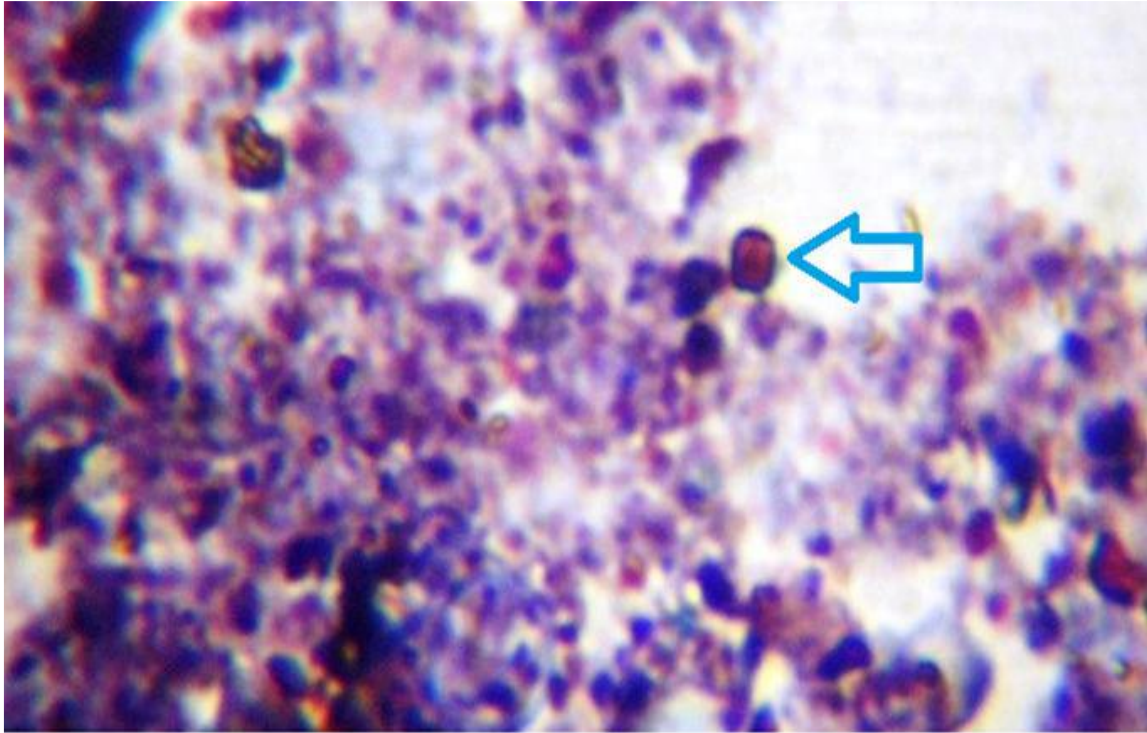
Τα είδη του *Cryptosporidium* είναι παράσιτα που προκαλούν κυρίως εντερικές ασθένειες σε ανθρώπους και άλλα ζώα. Η μετάδοση του γίνεται κυρίως μέσω το νερού αλλά μπορεί να γίνει και μέσω του φαγητού αλλά και από άνθρωπο σε άνθρωπο. Η ωοκύστη, η περιβαλλοντική μορφή του παρασίτου και το μολυσματικό του στάδιο, είναι ανθεκτική στις περισσότερες μεθόδους κάθαρσης του νερού, συμπεριλαμβανομένης της χλωρίωσης. Η μόλυνση με *Cryptosporidium* προκαλεί συνήθως αυτοπεριοριζόμενη διαρροϊκή νόσο αλλά μπορεί να είναι απειλητική για τη ζωή σε ανοσοκατασταλαμένους ασθενείς. Το *Cryptosporidium* θεωρείται ένας από τους δείκτες περιβαλλοντικής μόλυνσης και ποιότητας του νερού. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, είδη του γένους *Giardia* είναι τα πιο συχνά διαγιγνώσκοντα εντερικά παράσιτα και προκαλούν περίπου 200 εκατομμύρια κλινικές μολύνσεις κάθε χρόνο παγκοσμίως (Skotarczak, 2009).

Προκειμένου να βελτιώσουν την παρακολούθηση των ωοκύστεων *Cryptosporidium* στο νερό, η Υπηρεσία της Περιβαλλοντικής Προστασίας των Ηνωμένων Πολιτειών (USEPA – United States Environmental Protection Agency) εισήγαγε τη μέθοδο 1622 και στη συνέχεια την 1623, οι οποίες σχεδιαστήκαν για τη συγκέντρωση και την ανίχνευση σε δείγματα νερού ωοκύστεων *Cryptosporidium* και κύστεων *Giardia* (Skotarczak, 2009).

Οι μέθοδοι 1622 και 1623 χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν την παρουσία και τη συγκέντρωση των ανθεκτικών μορφών στο νερό και αποτελούνται από: διήθηση, συγκέντρωση των ωοκύστεων, ανοσομαγνητικό διαχωρισμό (IMS), φθορίζον αντίσωμα και DAPI (4',6'-διαμιδινό - 2-φιανυλινδόλη), αντίθεση διαφορικής συμβολής (DIC), και μικροσκοπική ανίχνευση και απαρίθμηση. Αυτές οι μέθοδοι δεν επιτρέπουν την

ταυτοποίηση των ειδών *Cryptosporidium* ή *Giardia*, καθώς και την προέλευση των ειδών ή την παθογόνο ικανότητα των ωοκύστεων και των κύστεων. Τέτοιες πληροφορίες μπορούν να συλλεχθούν με την χρήση μιας μοριακής μεθόδου που βασίζεται σε απομονωμένα νουκλεϊκά οξέα από ανθεκτικές μορφές αυτών των παρασίτων (Skotarczak, 2009).

Μια ποικιλία μεθόδων PCR έχει περιγραφεί για το *Cryptosporidium* και τη *Giardia*. Η ανάλυση μετά τη PCR συνήθως βασίζεται στην άμεση αλληλούχιση των προϊόντων που ενισχυθήκαν ή την πέψη με ένζυμα που ακολουθείται από ηλεκτροφόρηση σε gel των θραυσμάτων περιορισμού (RFLP – Restriction Fragment length polymorphism, πολυμορφισμός μήκους θραυσμάτων περιορισμού). Η πρόοδος στις μοριακές μεθόδους επιτρέπει μια πιο ακριβή διαφοροποίηση μεταξύ των ειδών (nested PCR) ή ταυτόχρονη ανίχνευση αρκετών παρασίτων (multiplex PCR). Επιπλέον, με την εισαγωγή της real-time PCR μπορούμε να μελετήσουμε από άποψη ποσοτική την μόλυνση έχοντας υψηλή ευαισθησία. Η μέθοδος αυτή επιτρέπει να καθορίσουμε τον αριθμό των ωοκύστεων που είναι παρούσες στο δείγμα. Η αντίστροφης μεταγραφάσης real-time PCR μας δίνει την δυνατότητα να μελετήσουμε ποσοτικά τη γονιδιακή έκφραση κατά τη διάρκεια διαφορετικών φάσεων της μόλυνσης. Επίσης, η real-time PCR είναι μια ελκυστική μεθοδολογία για την εργαστηριακή διάγνωση των μολυσματικών ασθενειών εξαιτίας των χαρακτηριστικών της που εξαλείφει την ανάλυση μετά τη PCR, οδηγώντας σε πιο σύντομους χρόνους, μείωση του ρίσκου επιμόλυνσης καθώς και σε μειωμένα έξοδα αντιδραστηρίων (Skotarczak, 2009). Μια άλλη μέθοδος για την ανίχνευση των ωοκύστεων του *cryptosporidium* είναι με τη χρήση τροποποιημένης Ziehl – Neelsen χρώσης (Εικόνα 1) αφού προηγουμένως έχει προηγηθεί η διήθηση και η συγκέντρωση του δείγματος (Baquer et al., 2018, Bilung et al., 2017). Ακόμα, θα μπορούσαμε να ανιχνεύσουμε τόσο το *Cryptosporidium* όσο και τη *Giardia* με ανοσοφθορισμό αφού προηγουμένως έχουμε χρησιμοποιήσει τη μέθοδο φορμαλίνης – αιθέρα προκειμένου να συμπυκνώσουμε το δείγμα μας (Lora-Suarez et al., 2016, Triviño-Valencia et al., 2016). Έπειτα η ανίχνευση της *Giardia* μπορεί να γίνει με την μέθοδο LAMP (Loop-mediated isothermal amplification, ισοθερμική ενίσχυση μέσω βρόγχου) αφού προηγουμένως έχουμε απομακρύνει και συγκεντρώσει τις κύστες της *Giardia* από φίλτρα και έχουμε προβεί ακόμα σε εξαγωγή του DNA (Lass et al., 2017b). Αυτή η μέθοδος μπορεί να ενισχύσει λίγα αντίγραφα του DNA σε 10^9 σε λιγότερο από μια ώρα κάτω από ισόθερμες συνθήκες.



Εικόνα 1. Ωοκύστη *Cryptosporidium* με τη χρήση τροποποιημένης Ziehl – Neelsen χρώσης. (Baqer et al., 2018)

4.2. TOXOPLASMA GONDII

Το πρωτόζωο *Toxoplasma gondii* έχει παγκόσμια κατανομή και είναι μία από τις συχνές παρασιτικές λοιμώξεις. Τα αιλουροειδή αποτελούν του τελικούς ξενιστές και είναι αυτά που με τα κόπρανα τους αποβάλλουν τις περιβαλλοντικές ανθεκτικές ωοκύστες, οι οποίες και γίνονται μολυσματικές μετά από σπόρωση στο περιβάλλον και μπορούν να επιβιώσουν για μήνες στο έδαφος και το νερό, αυξάνοντας έτσι την πιθανότητα μετάδοσης σε ενδιαμέσους ξενιστές, όπως είναι και οι άνθρωποι. Η τοξοπλάσμωση που προέρχεται από το νερό έχει αναδειχτεί ως ένα σημαντικό πρόβλημα δημόσιας υγείας μετά τα περιστατικά μεγάλων επιδημιών σε ανθρώπους που σχετίζονται με μόλυνση των υδάτων από ωοκύστες ως πηγή μόλυνσης σε πολλές χώρες. Οι λοιμώξεις που προκαλούνται από ωοκύστη στον άνθρωπο είναι κλινικά πιο σοβαρές από τις μολύνσεις με κύστει ιστών. Οι ωοκύστες μπορούν να παραμείνουν βιώσιμες για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα στο νερό και να αντισταθούν τόσο σε πολύ χαμηλές όσο και στις μέτρια υψηλές θερμοκρασίες του νερού. Επιπλέον, οι ωοκύστες είναι σε θέση να επιβιώνουν από τις επιδράσεις των χημικών και φυσικών επεξεργασιών που εφαρμόζονται σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού, συμπεριλαμβανομένων της χλωρίωσης και της επεξεργασίας με όζον (Harito et al., 2017).

Οι μέθοδοι για την ανίχνευση ωοκύστεων *Toxoplasma gondii* από το περιβάλλον ποικίλουν, περιλαμβανομένων τη διήθηση/flocculation του δείγματος, κάθαρση με επίπλευση, βιολογικές δοκιμές (bioassays) καθώς και μοριακά εργαλεία. Η ανίχνευση λοιπόν του *T. gondii* μπορεί να γίνει μέσω των εξής διαδικασιών όπως η συγκέντρωση του νερού μέσω διήθησης ή φυγοκέντρωσης, επίπλευσης, απομόνωσης και ανίχνευσης μέσω ανοσομαγνητικού διαχωρισμού (IMS Immunomagnetic separation), κυτταροδιαχωρισμός με χρήση φθορισμού (FACS- fluorescence – activated cell sorting), μικροσκοπίας ανοσοφθορισμού, βιοχημικών ή μοριακών αναλύσεων ή ακόμη και συνδυασμό αυτών (Karanis et al., 2013).

Σε αντίθεση, με το *Cryptosporidium* και τη *Giardia*, δεν υπάρχουν τυποποιημένες μέθοδοι για την ανίχνευση και τον ποσοτικό προσδιορισμό του *Toxoplasma gondii* σε δείγματα νερού. Το *Toxoplasma gondii* μπορούμε να το ανιχνεύσουμε αλλά και να το προσδιορίσουμε ποσοτικά χρησιμοποιώντας τη Real-Time PCR αφού είναι μια εξαιρετικά ευαίσθητη, ειδική αλλά και γρήγορη μοριακή μέθοδος. Αρχικά, προτού να γίνει η PCR πρέπει να συγκεντρώσουμε τα δείγματα με διήθηση όπως γίνεται με τη μέθοδο 1623.1 της USEPA καθώς και να γίνει η εξαγωγή του DNA. Εν συνεχεία, γίνεται η qPCR με την ενίσχυση της αλληλουχίας στόχου των 62 βάσεων θραύσματος του γονιδίου B1 ή το επαναλαμβανόμενο στοιχείο 529 βάσεων (Galvani et al., 2019, Yang et al., 2009). Εκτός από Real-Time PCR μπορεί να γίνει nested PCR (Adamska, 2018, Kourenti & Karanis, 2006). Μια άλλη μέθοδος για την ανίχνευση του *T.gondii* είναι η μέθοδος συγκέντρωσης φορμαλίνης / αιθέρα και εν συνεχεία η ταυτοποίηση των ωοκύστεων με βάση τη μορφολογία τους (Lora-Suarez et al., 2016). Δύο άλλες μέθοδοι για την ανίχνευση ωοκύστεων καθώς και μικροσφαιρών *T. gondii* είναι με υπερδιήθηση και διήθηση κάψουλας με πραγματοποίηση στη συνέχεια μοριακών μεθόδων (TaqMan PCR, συμβατική PCR), κυτταρομετρίας ροής και επιφθορίζουσας μικροσκοπίας (Shapiro et al., 2010). Μια άλλη πολλά υποσχόμενη καινούρια μοριακή μέθοδος είναι η ισοθερμική ενίσχυση μέσω βρόγχου (LAMP-Loop-mediated isothermal amplification) (Karanis et al., 2013, Gallas-Lindemann et al., 2013). Επιπλέον, μια διαφορετική μέθοδος για την απομόνωση και τη συμπύκνωση ωοκύστεων *T. gondii* από συμπυκνωμένα δείγματα νερού είναι με μαγνητικό διαχωρισμό λεκτίνης (LMS-Lectin-magnetic separation) με επακόλουθη ανίχνευσή τους είτε με μικροσκόπηση είτε με μοριακές μεθόδους (Harito et al., 2017).

4.3. ACANTHAMOEBA

Η *Acanthamoeba* είναι μια ελεύθερη διαβιούσα αμοιβάδα που βρίσκεται στο νερό και στο έδαφος όπου μεταδίδεται με το μολυσματικό στάδιο (κύστη), που έχει σφαιρική διάμετρο 20 μm, στον άνθρωπο μέσω του νερού. Η κύστη είναι ανθεκτική στις περιβαλλοντικές συνθήκες. Η μόλυνση γίνεται κυρίως με εισπνοή σωματιδίων νερού ή σκόνης που περιέχουν τροφοζώιτη και κύστη μέσω της διείσδυσης τους στο κεντρικό νευρικό σύστημα της αναπνευστικής οδού ή μπορεί να συμβεί διεισδύοντας μέσω δέρματος που έχει έλκη ή και του ματιού. Το γένος *Acanthamoeba* έχει ορισμένα είδη μεταξύ των οποίων: *A.culbertsoni*, *A.castellanii* και *A. polyphaga*. Το πρώτο είδος προκαλεί κοκκιωματώδη αμοιβαδική εγκεφαλίτιδα, που οδηγεί σε αιμορραγική και νεκρωτική εγκεφαλίτιδα που παρατηρείται γενικά μόνο σε εξασθενημένα ή ανοσοανεπαρκή άτομα. Αντίθετα το δεύτερο και το τρίτο είδος σχετίζονται με κερατίτιδα, η οποία αποτελεί μια επικίνδυνη λοίμωξη του κερατοειδούς και μπορεί να εμφανιστεί σε υγιή άτομα (Baqer et al., 2018).

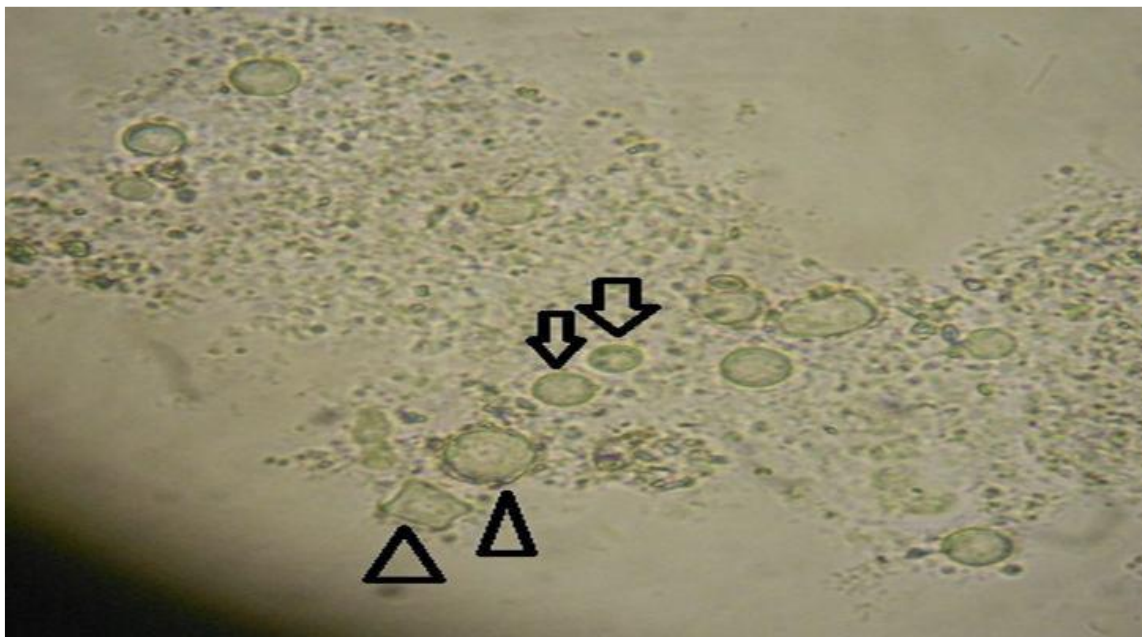
Η ανίχνευση των κύστεων της μπορεί γίνει σε άμεσο νωπό παρασκεύασμα αφού προηγουμένως έχει προηγηθεί διήθηση και συγκέντρωση του δείγματος (Baqer et al., 2018). Ακόμα, μπορούμε να ανιχνεύσουμε τις κύστες *Acanthamoeba* τόσο με PCR όσο και με LAMP αφού προηγουμένως έχουμε προβεί σε απομόνωση της *Acanthamoeba* από το περιβαλλοντικό υλικό (Lass et al., 2017a). Για την ανίχνευση της *Acanthamoeba* μπορούμε πέραν του απλού μικροσκοπίου να χρησιμοποιήσουμε και ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (Milanez et al., 2020). Για την απομόνωση της μπορούμε να την καλλιεργήσουμε σε μη θρεπτικό άγαρ medium (NNA- non nutrient agar) με *Escherichia coli* (Vijayakumar, 2018).

4.4. NAEGLERIA FOWLERI

Η *Naegleria Fowleri* είναι μία ελεύθερη διαβιούσα αμοιβάδα που υπάρχει ευρέως στο περιβάλλον και έχει δύο μορφές: τροφοζωιτή και κύστη. Ο τροφοζωίτης έχει δύο μορφές αμοιβαδοειδή και μαστιγωτή, ενώ οι κύστες περιβάλλονται από διπλό στρώμα λείου τοιχώματος και μικρό πυρήνα, είναι σφαιρικές και διαμέτρου 9μm. Η μόλυνση από *Naegleria* προκαλεί πρωτοπαθή αμοιβαδική μηνιγγοεγκεφαλίτιδα (ΠΑΜ). Εμφανίζεται σε υγιή παιδιά και νεαρούς ενήλικες όταν εισπνέεται σκόνη που περιέχει της μολυσματικές μορφές (κύστη ή μαστιγωτή) κατά τη διάρκεια κολύμβησης σε μολυσμένες λίμνες ή σε πισίνες. Επιπλέον, οι μολυσματικές μορφές εισέρχονται στη μύτη και μέσω του οσφρητικού νευροεπιθηλίου. Οι αμοιβάδες εισβάλουν στον ρινοφαρυγγικό βλεννογόνο και ταξιδεύουν κατά μήκος των οσφρητικών νεύρων όπου τελικά εισβάλουν στον εγκέφαλο με

τα κοινά συμπτώματα να είναι πονοκέφαλος, δυσκαμψία στον αυχένα, επιληπτικές κρίσεις και κόμα (Baqer et al., 2018).

Η ανίχνευση των κύστεων της μπορεί να γίνει σε άμεσο νοπό παρασκεύασμα αφού προηγουμένως έχει προηγηθεί διήθηση και συγκέντρωση του δείγματος (Baqer et al., 2018). Ακόμα, μπορούμε να την ανιχνεύσουμε με χρήση PCR (Gabriel et al., 2019, Kao et al., 2013, Kao et al., 2014).



Εικόνα 2. Κύστες *Acanthamoeba* (Δ) και *Naegleria* (\rightarrow) σε νοπό παρασκεύασμα. (Baqer et al., 2018)

4.5. *CYCLOSPORA CAYETANENSIS*

Το *Cyclospora cayetanensis* μπορεί να προκαλέσει παρατεταμένη διάρροια, ναυτία και κράμπες, ενώ ο άνθρωπος είναι ο μόνος φυσικός ξενιστής του παρασίτου. Το παράσιτο αυτό είναι ανθεκτικό στη χλωρίωση όπως και το *Cryptosporidium*. Η μολυσματική δόση του *Cyclospora* είναι άγνωστη αλλά προτείνεται να είναι τόσο χαμηλή όσο 10 – 100 ωοκύστες (Bilung et al., 2017).

Η ανίχνευση του μπορεί να γίνει με την τροποποιημένη Ziehl – Neelsen χρώση μέσω μικροσκόπησης αφού έχει προηγηθεί η συγκέντρωση του δείγματος (Bilung et al., 2017). Μια άλλη μέθοδος για να ανιχνεύσουμε το *C. cayetanensis* στο νερό είναι συνδυάζοντας dead-end ultra filtration (DEUF) με ευαίσθητη και ειδική μοριακή ανίχνευση (Durigan et al., 2020). Άλλες μέθοδοι περιλαμβάνουν τη μικροσκόπηση είτε με χρώση είτε χωρίς χρώση, μικροσκοπία φθορισμού, PCR καθώς και διάφορες τεχνικές για την ανάκτηση του

Cyclospora από το δείγμα (Totton et al., 2021). Ακόμα, η ανίχνευση μπορεί να γίνει με qPCR- coupled single-strand conformation polymorphism (SSCP) ανάλυση και αλληλούχιση DNA (Giangaspero et al., 2015).

4.6. BLASTOCYSTIS

Η Blastocystis είναι ένα από τα πιο σημαντικά εντερικά πρωτόζωα που βρίσκονται στον άνθρωπο. Η παρουσία Blastocystis είναι υψηλότερη στις αναπτυσσόμενες από ότι στις αναπτυγμένες χώρες (Adamska, 2020).

Για την ανίχνευση της Blastocystis μπορούμε να πραγματοποιήσουμε (SSU- small subunit, μικρής υπομονάδας) rDNA γονιδίου- PCR ενώ στη συνέχεια μπορούμε να προβούμε σε αλληλούχιση DNA και όλα αυτά αφού προηγουμένως έχουμε προβεί στη συγκέντρωση και κάθαρση του δείγματος και έχοντας κάνει εξαγωγή του DNA (Koloren et al., 2018).

BIBΛIOΓPAΦIA

- Abdel-Ghaffar, F., Abdel-Gaber, R., Bashtar, A. R., Morsy, K., Mehlhorn, H., Al Quraishy, S., & Saleh, R. (2015). *Hysterothylacium aduncum* (Nematoda, Anisakidae) with a new host record from the common sole *Solea solea* (Soleidae) and its role as a biological indicator of pollution. *Parasitology research*, *114*(2), 513–522.
- Adamska M. (2018). Molecular detection of *Toxoplasma gondii* in natural surface water bodies in Poland. *Journal of water and health*, *16*(4), 657–660.
- Adamska M. (2020). First report of *Blastocystis* sp. subtypes in natural water bodies in north-western Poland: a one-year monitoring. *International journal of environmental health research*, 1–8.
- Amini, Z., Pazooki, J., Abtahi, B., & Shokri, M. R. (2013). Bioaccumulation of Zn and Cu in *Chasar bathybius* (Gobiidae) tissue and its nematode parasite *Dichelyne minutus*, southeast of the Caspian Sea, Iran. *Iranian J Mar Sci*, *42*, 196–200.
- Azmat, R., Fayyaz, S., Kazi, N., Mahmood, S. J., & Uddin, F. (2008). Natural bioremediation of heavy metals through nematode parasite of fish. *Biotechnology*, *7*, 139-143.
- Bagge, A. M., Poulin, R., & Valtonen, E. T. (2004). Fish population size, and not density, as the determining factor of parasite infection: a case study. *Parasitology*, *128*, 305–313.
- Baqer, N. N., Hammood, A. H., Hassan, K. F., & Hassan, E. (2018). DETECTION OF WATER-BORNE PARASITES IN DRINKING WATER OF BAGHDAD, IRAQ. *African journal of infectious diseases*, *12*(2), 1–6.
- Barus, V., Jarkovský, J., & Prokes, M. (2007). *Philometra ovata* (Nematoda: Philometroidea): a potential sentinel species of heavy metal accumulation. *Parasitology research*, *100*(5), 929–933.
- Baruš, V., Šimková, A., Prokeš, M., Peňáz, M., & Vetešník, L. (2013). Heavy metals in two host-parasite systems: tapeworm vs. fish. *Acta Veterinaria Brno*, *81*(3), 313-317.
- Baudrimont, M., De Montaudouin, X., & Palvadeau, A. (2006). A. Impact of digenean parasite infection on metallothionein synthesis by the cockle (*Cerastoderma edule*): a multivariate field monitoring. *Marine Pollution Bulletin*, *52*, 494-502.
- Baudrimont, M., & De Montaudouin, X. (2007). Evidence of an altered protective effect of metallothioneins after cadmium exposure in the digenean parasite-infected cockle (*Cerastoderma edule*). *Parasitology*, *134*, 237-245.
- Bilung, L. M., Tahar, A. S., Yunos, N. E., Apun, K., Lim, Y. A., Nillian, E., & Hashim, H. F. (2017). Detection of *Cryptosporidium* and *Cyclospora* Oocysts from Environmental Water for Drinking and Recreational Activities in Sarawak, Malaysia. *BioMed research international*, *2017*, 4636420.

- Biswal, D., & Chatterjee, S. (2020) Fish Parasites as Biological Indicators: A Systematic Review. *Biosc. Biotech. Res. Comm.*, 13(4), 1743-175.
- Brázová, T., Hanzelová, V., Miklisová, D., Šalamún, P., & Vidal-Martínez, V. M. (2015). Host-parasite relationships as determinants of heavy metal concentrations in perch (*Perca fluviatilis*) and its intestinal parasite infection. *Ecotoxicology and environmental safety*, 122, 551–556.
- Brázová, T., Torres, J., Eira, C., Hanzelová, V., Miklisová, D., & Salamún, P. (2012). Perch and its parasites as heavy metal biomonitors in a freshwater environment: the case study of the Ružín water reservoir, Slovakia. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 12(3), 3068–3081.
- Cattadori, I.M., Haydon, D. T., & Hudson, P. J. (2005). Parasites and climate synchronize red grouse populations. *Nature*, 433, 737–741.
- Courtney-Hogue C. (2016). Heavy metal accumulation in *Lacistorhynchus dollfusi* (Trypanorhyncha: Lacistorhynchidae) infecting *Citharichthys sordidus* (Pleuronectiformes: Bothidae) from Santa Monica Bay, Southern California. *Parasitology*, 143(6), 794–799.
- Dural, M., Genc, E., Sangun, M. K., & Güner, O. (2011). Accumulation of some heavy metals in *Hysterothylacium aduncum* (Nematoda) and its host sea bream, *Sparus aurata* (Sparidae) from North-Eastern Mediterranean Sea (Iskenderun Bay). *Environmental monitoring and assessment*, 174(1-4), 147–155.
- Dural, M., Genc, E., Yemenicioğlu, S., & Kemal Sangun, M. (2010). Accumulation of some heavy metals seasonally in *Hysterothylacium aduncum* (Nematoda) and its host Red Sea Bream, *Pagellus erythrinus* (Sparidae) from Gulf of Iskenderun (North-eastern Mediterranean). *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 84(1), 125–131.
- Durigan, M., Murphy, H. R., & da Silva, A. J. (2020). Dead-End Ultrafiltration and DNA-Based Methods for Detection of *Cyclospora cayetanensis* in Agricultural Water. *Applied and environmental microbiology*, 86(23), e01595-20.
- Eira, C., Torres, J., Miquel, J., Vaqueiro, J., Soares, A. M., & Vingada, J. (2009). Trace element concentrations in *Proteocephalus macrocephalus* (Cestoda) and *Anguillicola crassus* (Nematoda) in comparison to their fish host, *Anguilla anguilla* in Ria de Aveiro, Portugal. *The Science of the total environment*, 407(2), 991–998.
- Erasmus, J. H., Wepener, V., Nachev, M., Zimmermann, S., Malherbe, W., Sures, B., & Smit, N. J. (2020). The role of fish helminth parasites in monitoring metal pollution in aquatic ecosystems: a case study in the world's most productive platinum mining region. *Parasitology research*, 119(9), 2783–2798.
- Esch, G. W., Hazen, T. C., Dimock, R. V., & Gibbons, W. (1976). Thermal effluent and the epizootiology of the ciliate *Epistylis* and the bacterium *Aeromonas* in association with centrarchid fish. *Trans Am Micro Soc*, 95, 687–693.

- Filipović Marijić, V., Vardić Smrzlić, I., & Raspor, B. (2013). Effect of acanthocephalan infection on metal, total protein and metallothionein concentrations in European chub from a Sava River section with low metal contamination. *The Science of the total environment*, 463-464, 772–780.
- Filipović Marijić, V., Vardić Smrzlić, I., & Raspor, B. (2014). Does fish reproduction and metabolic activity influence metal levels in fish intestinal parasites, acanthocephalans, during fish spawning and post-spawning period?. *Chemosphere*, 112, 449–455.
- Gabriel, S., Khan, N. A., & Siddiqui, R. (2019). Occurrence of free-living amoebae (*Acanthamoeba*, *Balamuthia*, *Naegleria*) in water samples in Peninsular Malaysia. *Journal of water and health*, 17(1), 160–171.
- Gallas-Lindemann, C., Sotiriadou, I., Mahmoodi, M. R., & Karanis, P. (2013). Detection of *Toxoplasma gondii* oocysts in different water resources by Loop Mediated Isothermal Amplification (LAMP). *Acta tropica*, 125(2), 231–236.
- Galvani, A. T., Christ, A., Padula, J. A., Barbosa, M., de Araújo, R. S., Sato, M., & Razzolini, M. (2019). Real-time PCR detection of *Toxoplasma gondii* in surface water samples in São Paulo, Brazil. *Parasitology research*, 118(2), 631–640.
- Genc, E., Sangun, M. K., Dural, M., Can, M. F., & Altunhan, C. (2008). Element concentrations in the swimbladder parasite *Anguillicola crassus* (nematoda) and its host the European eel, *Anguilla anguilla* from Asi River (Hatay-Turkey). *Environmental monitoring and assessment*, 141(1-3), 59–65.
- Giangaspero, A., Marangi, M., Koehler, A. V., Papini, R., Normanno, G., Lacasella, V., Lonigro, A., & Gasser, R. B. (2015). Molecular detection of *Cyclospora* in water, soil, vegetables and humans in southern Italy signals a need for improved monitoring by health authorities. *International journal of food microbiology*, 211, 95–100.
- Golestaninasab, M., Malek, M., Roohi, A., Karbassi, A. R., Amoozadeh, E., Rashidinejad, R., ... & Sures, B. (2014). A survey on bioconcentration capacities of some marine parasitic and free-living organisms in the Gulf of Oman. *Ecological indicators*, 37, 99-104.
- Harito, J. B., Campbell, A. T., Tysnes, K. R., Dubey, J. P., & Robertson, L. J. (2017). Lectin-magnetic separation (LMS) for isolation of *Toxoplasma gondii* oocysts from concentrated water samples prior to detection by microscopy or qPCR. *Water research*, 114, 228–236.
- Jankovská, I., Kolihová, D., Miholová, D., Lukešová, D., Romočuský, S., Válek, P., Vadlejch, J., Kalous, L., Langrová, I., Petrtýl, M., & Cadková, Z. (2012a). Effect of *Acanthocephalus lucii* infection on total mercury concentrations in muscle and gonads of fish host (*Perca fluviatilis*). *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 88(6), 967–970.
- Jankovská, I., Miholová, D., Lukešová, D., Kalous, L., Válek, P., Romočuský, Š., Vadlejch, J., Petrtýl, M., Langrová, I., & Čadková, Z. (2012b). Concentrations of Zn, Mn, Cu and Cd in different tissues of perch (*Perca fluviatilis*) and in perch intestinal parasite (*Acanthocephalus lucii*) from the stream near Prague (Czech Republic). *Environmental research*, 112, 83–85.

- Jankovská, I., Miholová, D., Petrýl, M., Romočuský, S., Kalous, L., Vadlejch, J., Cadková, Z., & Langrová, I. (2011). Intestinal parasite *Acanthocephalus lucii* (Acanthocephala) from European perch (*Perca fluviatilis*) as a bioindicator for lead pollution in the stream "Jevanský potok" near Prague, Czech Republic. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, *86*(3), 342–346.
- Jirsa, F., Leodolter-Dvorak, M., Krachler, R., & Frank, C. (2008). Heavy metals in the nase, *Chondrostoma nasus* (L. 1758), and its intestinal parasite *Caryophyllaeus laticeps* (Pallas 1781) from Austrian rivers: bioindicative aspects. *Archives of environmental contamination and toxicology*, *55*(4), 619–626.
- Kao, P. M., Hsu, B. M., Hsu, T. K., Chiu, Y. C., Chang, C. L., Ji, W. T., Huang, S. W., & Fan, C. W. (2014). Application of TaqMan qPCR for the detection and monitoring of *Naegleria* species in reservoirs used as a source for drinking water. *Parasitology research*, *113*(10), 3765–3771.
- Kao, P. M., Tung, M. C., Hsu, B. M., Chou, M. Y., Yang, H. W., She, C. Y., & Shen, S. M. (2013). Quantitative detection and identification of *Naegleria* spp. in various environmental water samples using real-time quantitative PCR assay. *Parasitology research*, *112*(4), 1467–1474.
- Karanis, P., Aldeyarbi, H. M., Mirhashemi, M. E., & Khalil, K. M. (2013). The impact of the waterborne transmission of *Toxoplasma gondii* and analysis efforts for water detection: an overview and update. *Environmental science and pollution research international*, *20*(1), 86–99.
- Kennedy, C. R., Shears, P. C., & Shears, J. A. (2001). Long-term dynamics of *Ligula intestinalis* and roach *Rutilus rutilus*: a study of three epizootic cycles over thirty-one years. *Parasitology*, *123*, 257–269.
- Khaleghzadeh-Ahangar, H., Malek, M., & McKenzie, K. (2011). The parasitic nematodes *Hysterothylacium* sp. type MB larvae as bioindicators of lead and cadmium: a comparative study of parasite and host tissues. *Parasitology*, *138*(11), 1400–1405.
- Khan, R. A., & Thulin, J. (1991). Influence of pollution on parasites of aquatic animals. *Adv. Parasitol.*, *30*, 201–238.
- Koloren, Z., Gulabi, B. B., & Karanis, P. (2018). Molecular identification of *Blastocystis* sp. subtypes in water samples collected from Black sea, Turkey. *Acta tropica*, *180*, 58–68.
- Kourenti, C., & Karanis, P. (2006). Evaluation and applicability of a purification method coupled with nested PCR for the detection of *Toxoplasma* oocysts in water. *Letters in applied microbiology*, *43*(5), 475–481.
- Lacerda, A., Roubedakis, K., Bereta Junior, J., Nuñez, A., Petrucio, M. M., & Martins, M. L. (2018). Fish parasites as indicators of organic pollution in southern Brazil. *Journal of helminthology*, *92*(3), 322–331.
- Lass, A., Guerrero, M., Li, X., Karanis, G., Ma, L., & Karanis, P. (2017a). Detection of *Acanthamoeba* spp. in water samples collected from natural water reservoirs, sewages, and pharmaceutical factory drains using LAMP and PCR in China. *The Science of the total environment*, *584-585*, 489–494.

- Lass, A., Szostakowska, B., Korzeniewski, K., & Karanis, P. (2017b). Detection of *Giardia intestinalis* in water samples collected from natural water reservoirs and wells in northern and north-eastern Poland using LAMP, real-time PCR and nested PCR. *Journal of water and health*, *15*(5), 775–787.
- Leite, L., Pedro, N., Azevedo, R. K., Kinoshita, A., Gennari, R. F., Watanabe, S., & Abdallah, V. D. (2017). *Contraecaecum* sp. parasitizing *Acestrorhynchus lacustris* as a bioindicator for metal pollution in the Batalha River, southeast Brazil. *The Science of the total environment*, *575*, 836–840.
- Lora-Suarez, F., Rivera, R., Triviño-Valencia, J., & Gomez-Marin, J. E. (2016). Detection of protozoa in water samples by formalin/ether concentration method. *Water research*, *100*, 377–381.
- MacKenzie, K. (1987). Long-term changes in the prevalence of two helminth parasites (Cestoda: Trypanorhyncha) infecting marine fish. *J Fish Biol*, *31*, 83–87.
- Mackenzie, K. (1999). Parasites as pollution indicators in marine ecosystems: a proposed early warning system. *Marine Pollution Bulletin*, *38*(11), 955-959.
- Malek, M., Haseli, M., Mobedi, I., Ganjali, M. R., & Mackenzie, K. (2007). Parasites as heavy metal bioindicators in the shark *Carcharhinus dussumieri* from the Persian Gulf. *Parasitology*, *134*(Pt 7), 1053–1056.
- Mazhar, R., Shazili, N. A., & Harrison, F. S. (2014). Comparative study of the metal accumulation in *Hysterothalcium reliquens* (nematode) and *Paraphilometroides nemipteri* (nematode) as compared with their doubly infected host, *Nemipterus peronii* (Notched threadfin bream). *Parasitology research*, *113*(10), 3737–3743.
- Mehana, E. E., Khafaga, A. F., Elblehi, S. S., Abd El-Hack, M. E., Naiel, M., Bin-Jumah, M., Othman, S. I., & Allam, A. A. (2020). Biomonitoring of Heavy Metal Pollution Using Acanthocephalans Parasite in Ecosystem: An Updated Overview. *Animals : an open access journal from MDPI*, *10*(5), 811.
- Milanez, G., Masangkay, F., Hapan, F., Bencito, T., Lopez, M., Soriano, J., Ascaño, A., Lizarondo, L., Santiago, J., Somsak, V., Kotepui, M., Tsiami, A., Tangpong, J., & Karanis, P. (2020). Detection of *Acanthamoeba* spp. in two major water reservoirs in the Philippines. *Journal of water and health*, *18*(2), 118–126.
- Morris, T., Avenant-Oldewage, A., Lamberth, S., & Reed, C. (2016). Shark parasites as bio-indicators of metals in two South African embayments. *Marine pollution bulletin*, *104*(1-2), 221–228.
- Morsy, K., Bashtar, A. R., Abdel-Ghaffar, F., Mehlhorn, H., Quraishy, S. A., El-Mahdi, M., Al-Ghamdi, A., & Mostafa, N. (2012). First record of anisakid juveniles (Nematoda) in the European seabass *Dicentrarchus labrax* (family: Moronidae), and their role as bio-indicators of heavy metal pollution. *Parasitology research*, *110*(3), 1131–1138.

- Nachev, M., Schertzinger, G., & Sures, B. (2013). Comparison of the metal accumulation capacity between the acanthocephalan *Pomphorhynchus laevis* and larval nematodes of the genus *Eustrongylides* sp. infecting barbel (*Barbus barbus*). *Parasites & vectors*, 6, 21.
- Nachev, M. & Sures, B., (2016). Environmental parasitology: Parasites as accumulation bioindicators in the marine environment. *Journal of Sea Research*, 113, pp.45-50.
- Nachev, M., Zimmermann, S., Rigaud, T., & Sures, B. (2010). Is metal accumulation in *Pomphorhynchus laevis* dependent on parasite sex or infrapopulation size?. *Parasitology*, 137(8), 1239–1248.
- Oyoo-Okoth, E., Wim, A., Osano, O., Kraak, M. H., Ngure, V., Makwali, J., & Orina, P. S. (2010). Use of the fish endoparasite *Ligula intestinalis* (L., 1758) in an intermediate cyprinid host (*Rastreneobola argentea*) for biomonitoring heavy metal contamination in Lake Victoria, Kenya. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, 15(1), 63-73.
- Paller, V. G., Resurreccion, D. J., de la Cruz, C. P., & Bandal, M. Z., Jr (2016). Acanthocephalan Parasites (*Acanthogyryus* sp.) of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) as Biosink of Lead (Pb) Contamination in a Philippine Freshwater Lake. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 96(6), 810–815.
- Palm H.W. (2011) Fish Parasites as Biological Indicators in a Changing World: Can We Monitor Environmental Impact and Climate Change?. In: Mehlhorn H. (eds) Progress in Parasitology. Parasitology Research Monographs, vol 2.
- Poulin, R. (2007). The structure of parasite communities in fish hosts: ecology meets geography and climate. *Parassitologia*, 49, 169–172.
- Retief, N. R., Avenant-Oldewage, A. D., & Du Preez, H. (2006). The use of cestode parasites from the largemouth yellowfish, *Labeobarbus kimberleyensis* (Gilchrist and Thompson, 1913) in the Vaal Dam, South Africa as indicators of heavy metal bioaccumulation. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 31(15-16), 840-847.
- Shapiro, K., Mazet, J. A., Schriever, A., Wuertz, S., Fritz, H., Miller, W. A., Largier, J., & Conrad, P. A. (2010). Detection of *Toxoplasma gondii* oocysts and surrogate microspheres in water using ultrafiltration and capsule filtration. *Water research*, 44(3), 893–903.
- Skotarczak B. (2009). Methods for parasitic protozoans detection in the environmental samples. *Parasite (Paris, France)*, 16(3), 183–190.
- Sures, B. (2001). The use of fish parasites as bioindicators of heavy metals in aquatic ecosystems: a review. *Aquatic Ecology*, 35, 245–255.
- Sures, B. (2003). Accumulation of heavy metals by intestinal helminths in fish: an overview and perspective. *Parasitology*, 126, 53-60.
- Sures B. (2004). Environmental parasitology: relevancy of parasites in monitoring environmental pollution. *Trends in parasitology*, 20(4), 170–177.

- Sures B. (2008). Environmental parasitology. Interactions between parasites and pollutants in the aquatic environment. *Parasite (Paris, France)*, 15(3), 434–438.
- Sures, B., Nachev, M., Selbach, C., & Marcogliese, D. J. (2017). Parasite responses to pollution: what we know and where we go in 'Environmental Parasitology'. *Parasites & vectors*, 10(1), 65.
- Tekin-Ozan, S., & Kir, I. (2005). Comparative study on the accumulation of heavy metals in different organs of tench (*Tinca tinca* L. 1758) and plerocercoids of its endoparasite *Ligula intestinalis*. *Parasitology research*, 97(2), 156–159.
- Tekin-Özan, S., & Kir, I. (2008). Concentrations of Some Heavy Metals in Tench (*Tinca tinca* L., 1758), Its Endoparasite (*Ligula intestinalis* L., 1758), Sediment and Water in Beyşehir Lake, Turkey. *Polish Journal of Environmental Studies*, 17(4).
- Thielen, F., Zimmermann, S., Baska, F., Taraschewski, H., & Sures, B. (2004). The intestinal parasite *Pomphorhynchus laevis* (Acanthocephala) from barbel as a bioindicator for metal pollution in the Danube River near Budapest, Hungary. *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)*, 129(3), 421–429.
- Torres, J., Eira, C., Miquel, J., Ferrer-Maza, D., Delgado, E., & Casadevall, M. (2015). Effect of Intestinal Tapeworm *Cleistobothrium crassiceps* on Concentrations of Toxic Elements and Selenium in European Hake *Merluccius merluccius* from the Gulf of Lion (Northwestern Mediterranean Sea). *Journal of agricultural and food chemistry*, 63(42), 9349–9356.
- Totton, S. C., O'Connor, A. M., Naganathan, T., Martinez, B., Vriezen, E. R., Torrence, M. E., & Sargeant, J. M. (2021). A scoping review of the detection, epidemiology and control of *Cyclospora cayentanensis* with an emphasis on produce, water and soil. *Epidemiology and infection*, 149, e49.
- Triviño-Valencia, J., Lora, F., Zuluaga, J. D., & Gomez-Marin, J. E. (2016). Detection by PCR of pathogenic protozoa in raw and drinkable water samples in Colombia. *Parasitology research*, 115(5), 1789–1797.
- Vidal-Martínez, V. M., Pech, D., Sures, B., Purucker, S. T., & Poulin, R. (2010). Can parasites really reveal environmental impact? *Trends Parasitol*, 26, 44–51.
- Vijayakumar R. (2018). Isolation, identification of pathogenic *Acanthamoeba* from drinking and recreational water sources in Saudi Arabia. *Journal of advanced veterinary and animal research*, 5(4), 439–444.
- Yang, W., Lindquist, H. D., Cama, V., Schaefer, F. W., 3rd, Villegas, E., Fayer, R., Lewis, E. J., Feng, Y., & Xiao, L. (2009). Detection of *Toxoplasma gondii* oocysts in water sample concentrates by real-time PCR. *Applied and environmental microbiology*, 75(11), 3477–3483.
- Yen Nhi, T. T., Mohd Shazili, N. A., & Shaharom-Harrison, F. (2013). Use of cestodes as indicator of heavy-metal pollution. *Experimental parasitology*, 133(1), 75–79.

Εικόνα εξώφυλλου:

<https://www.istockphoto.com/photo/water-conservation-in-the-our-planet-usa-gm488368309-39224856>