

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ
ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΑΛΙΕΙΑΣ – ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Ενυδρειοπονία-η χρήση αποβλήτων υδατοκαλλιέργειας για τη μαζική παραγωγή φυτών»

Σπυρίδων Δέδες
Κωνσταντίνος Χρυσάφτης

Εισηγητής
Δρ Νικόλαος Βλάχος
ΕΔΙΠ

Μεσολόγγι 2017

Στους γονείς μας

Ευχαριστίες

Μέσα από την παρούσα πτυχιακή εργασία θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ειλικρινείς μας ευχαριστίες σε όσους συνέβαλαν στο να φέρουμε εις πέρας την παρούσα πτυχιακή εργασία, η πραγματοποίηση της οποίας δεν θα ήταν εφικτή χωρίς την καθολική τους συμπαράσταση.

Ευχαριστούμε τον Δρ Βλάχο Νικόλαο, ΕΔΙΠ, επιβλέπων της πτυχιακής εργασίας, για την επιστημονική καθοδήγηση, τις συμβουλές και εύστοχες παρατηρήσεις που μου υπέδειξε κατά τη διάρκεια συγγραφής της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Ευχαριστώ τον Δρ Κοσμά Βιδάλη, Καθηγητή, μέλος της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής για τις συμβουλές και χρήσιμες υποδείξεις που μου υπέδειξε κατά τη συγγραφή της πτυχιακής εργασίας.

Ευχαριστώ τον Δρ Κοσμά Ναθαναηλίδη, Καθηγητή, μέλος της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής για τις χρήσιμες υποδείξεις και συμβουλές που μου υπέδειξε κατά τη συγγραφή της πτυχιακής εργασίας.

Τέλος ευχαριστούμε τις οικογένειες μας για την αμέριστη συμπαράσταση, συνεισφορά, κατανόηση και ανοχή καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	3
Περίληψη.....	6
Κεφάλαιο 1:	7
Ενυδραιοπονία και Παγκόσμια παραγωγή τροφίμων.....	7
1.1. Γενικά εισαγωγική στοιχεία.....	7
1.2.Σκοπός.....	8
Κεφάλαιο 2:	9
Περιγραφή Σχεδιασμός και Λειτουργία Ενυδραιοπονικών Συστημάτων.....	9
2.1.Θεωρητικά και τεχνικά χαρακτηριστικά των συστημάτων ενυδραιοπονίας: από τα ψάρια έως τα φυτά- Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	9
2.2.Είδη Ψαριών και φυτών που χρησιμοποιούνται στα συστήματα ενυδραιοπονίας.....	12
2.3.Ενυδραιοπονία με Θαλασσινό νερό.....	12
Κεφάλαιο 3:	15
Περιγραφή Σχεδιασμός Συστήματος Ενυδραιοπονίας.....	15
3.1.Περιγραφή συστήματος ενυδραιοπονίας.....	15
3.2.Τύποι υποστρωμάτων που χρησιμοποιούνται στην ενυδραιοπονία.....	17
3.3. Θρεπτικά διαλύματα που χρησιμοποιούνται στην ενυδραιοπονία.....	20
3.4 Δοσολογία Παρασκευή θρεπτικού διαλύματος.....	21
Κεφάλαιο 4:	24
Βασικά χαρακτηριστικά λειτουργίας Ενυδραιοπονικού συστήματος.....	24
4.1.Έναρξη λειτουργίας βιολογικού φίλτρου.....	24
4.2. Νιτροποιητικά βακτήρια και Φίλτρα.....	27
4.3. Βιολογική επιφάνεια (BSA) στα συστήματα Ενυδραιοπονίας-Υπολογισμός.....	28
4.3.1.Χαρακτηριστικά της ειδικής βιολογικής επιφάνειας (BSA- SSA).....	29
4.4.Υπολογισμός ειδικής επιφάνειας (SSA).....	29
4.5.Υπολογίζοντας την Βιολογική Ειδική Επιφάνεια (B.S.A).....	32
4.5.1.Πύργος Zip grow.....	32
4.6.Ελέγχοντας της ενεργής δράσης των βακτηρίων.....	34

Κεφάλαιο 5:	36
Τεχνικά χαρακτηριστικά βιολογικού Φίλτρου- Υδραυλικό Φορτίο	36
5.1. Βακτήρια και Ενυδρειοπονία.....	36
5.2.Υλικά πλήρωσης φίλτρου	36
5.3. Υδραυλική φόρτιση φίλτρου και ειδική επιφάνεια	40
5.4.Υπολογισμός Υδραυλικού Φορτίου Συστήματος Ενυδρειοπονίας	43
Κεφάλαιο 6:	45
Παράμετροι νερού Ενυδρειοπονικού συστήματος	45
6.1.Υψηλή επιφάνεια	45
6.2.pH νερού	45
6.2.1. Αύξηση pH	46
6.2.2.Μείωση pH	46
6.3.Θερμοκρασία νερού.....	47
6.4.Διαλυμένο οξυγόνο.....	47
6.5.UV λαμπτήρες	47
Κεφάλαιο 7:	48
Συμπεράσματα	48
Abstract.....	50
Κεφάλαιο 8:	51
Βιβλιογραφικές Πηγές.....	51

Περίληψη

Λόγω του αυξανόμενου παγκόσμιου πληθυσμού, μέχρι το 2050 η παραγωγή τροφίμων αυξάνεται από περίπου 70% σε 100%. Η υδατοκαλλιέργεια φαίνεται να είναι η πλέον βιώσιμη μέθοδος για την παραγωγή τροφίμων (πρωτεϊνών) ζωικής προέλευσης. Παρόλα αυτά, μπορεί να επιτευχθεί πρόοδος για την περαιτέρω βελτίωση της βιωσιμότητας της υδατοκαλλιέργειας μέσω ανάπτυξης ενός συστήματος ενυδρείοπονίας. Ένα σύστημα ενυδρείοπονίας βασίζεται στον κύκλο του αζώτου, ο οποίος μετατρέπει τα απόβλητα ψαριών (περιττώματα και υπολείμματα τροφής) σε νιτρώδη και νιτρικά ιόντα, τα οποία απορροφώνται από τα φυτά που αναπτύσσονται στην ενυδρείοπονία. Ως αποτέλεσμα αυτού το νερό επαναχρησιμοποιείται στις δεξαμενές εκτροφής των ψαριών.

Τα πλεονεκτήματα αυτού του συστήματος είναι η υψηλή παραγωγικότητα, η χαμηλή απαίτηση νερού, η μειωμένη παραγωγή αποβλήτων, η μειωμένη συχνότητα εμφάνισης φυτικών ασθενειών και η μειωμένη χρήση φυτοφαρμάκων, ενώ η χρήση του συστήματος είναι ευρεία (αστική γεωργία, αναπτυσσόμενες χώρες, οριακή εκμετάλλευση γης, κ.λπ.). Αντίθετα, τα μειονεκτήματα του συστήματος είναι οι σχετικές αρχικές επενδύσεις, το απαιτούμενο υψηλό επίπεδο εκπαίδευσης των εργαζομένων, η «ευαισθησία» του συστήματος. Μία μελλοντική πρόκληση για τους επιστήμονες είναι η ανάπτυξη του θαλάσσιου συστήματος ενυδρείοπονίας για την παραγωγή πολύτιμων ψαριών και παραγωγή φυτών, ενδιαφέρουσες για την «αγορά» της ΕΕ και των ανεπτυγμένων χωρών.

Η καλή λειτουργία ενός συστήματος ενυδρείοπονίας στηρίζεται στη λειτουργία του βιολογικού φίλτρου καταδεικνύοντας την αυξανόμενη αφαίρεση την συνολικής ποσότητας της αμμωνίας (TAN) και τη συσσώρευση $\text{NO}_2\text{-N}$ στο βιολογικό υλικό πλήρωσης του περλίτη καθώς το pH αυξήθηκε από 5,5 σε 8,5. Οι ρυθμοί απομάκρυνσης του TAN από το φίλτρο του συστήματος ενυδρείοπονίας ήταν 19, 31 και 80 $\text{g}/\text{m}^3/\text{d}$ για pH 6,0, 7,0 και 8,0 αντίστοιχα. Η διεργασία της νιτροποίησης δεν επηρεάζεται από τα θρεπτικά συστατικά των φυτών. Τα θρεπτικά συστατικά μπορούν να προσαρμοστούν για την παραγωγή φυτών χωρίς να έχουν αρνητικές επιπτώσεις στα νιτροποιητικά βακτήρια. Η απομάκρυνση της αμμωνίας αυξάνεται 3,7 φορές σε pH 6,0.

Λέξεις Κλειδιά: Ενυδρείοπονία, ποιότητα νερού, παραγωγή τροφίμων

Κεφάλαιο 1:

Ενυδραιοπονία και Παγκόσμια παραγωγή τροφίμων

1.1. Γενικά εισαγωγική στοιχεία

Αναμένεται ότι μέχρι το 2050 ο παγκόσμιος πληθυσμός θα ανέρχεται στα 9 δισ. άτομα (Bernstein 2011). Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι η παγκόσμια ζήτηση για τροφή θα πρέπει αυξηθεί κατά 70-100% (Godfray et al. 2010, World Bank 2008). Ο γεωργικός τομέας, ο οποίος ήδη διαδραματίζει βασικό ρόλο στην εξασφάλιση της τροφής (Rivera-Ferre et al. 2013), ενώ θα πρέπει να ανταποκριθεί σε ένα από τα μεγαλύτερα διλήμματα του 21ου αιώνα: πώς να παράγει περισσότερα τρόφιμα χρησιμοποιώντας λιγότερους πόρους και ελαχιστοποιώντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Velten et al. 2015). Μεταξύ των συστημάτων που χρησιμοποιεί σήμερα ο γεωργικός τομέας, η υδατοκαλλιέργεια φαίνεται να είναι η πλέον κατάλληλη για την επίλυση αυτού του διλήμματος.

Από το 1990, ο ρυθμός ανάπτυξης του κλάδου της υδατοκαλλιέργειας εκτιμήθηκε στο 7,8% ετησίως, ως ένας πιο ενδιαφέρον κλάδος παραγωγής τροφίμων σε σχέση με τους υπόλοιπους (Troell et al. 2014). Ο κλάδος της υδατοκαλλιέργειας αντιπροσωπεύει τη σημαντικότερη πηγή εισοδήματος περίπου 11 εκατομμύρια άνθρωποι (FAO 2011) ενώ αποτέλεσε την κύρια πηγή ζωικής πρωτεΐνης για 1 δισεκατομμύριο καταναλωτές (Tidwell & Allan 2012). Επιπλέον, λόγω του εξαιρετικού ρυθμού μετατροπής που παρουσιάζουν οι τροφές (FCR), παρουσιάζει τη χαμηλότερη εναπόθεση σε άνθρακα.

Επίσης η υδατοκαλλιέργεια εκμεταλλεύεται τα αποθέματα των άγριων πληθυσμών των ψαριών (Adler et al. 2008) γιατί χρησιμοποιεί μεγάλες ποσότητες ιχθυαλεύρου και ιχθυελαίου στις ιχθυοτροφές (Alessio et al. 2001). Τέλος, η υδατοκαλλιέργεια απαιτεί μεγάλες ποσότητες νερού, οι οποίες μπορεί να κυμαίνονται από 3000-45000 L/kg παραγόμενων ψαριών (Verdegem et al. 2006).

Η σύγχρονη υδατοκαλλιέργεια βασίζεται κυρίως στα κλειστά συστήματα εκτροφής ψαριών (RAS), τα οποία επαναχρησιμοποιούν τον ίδιο όγκο νερού. Στα συστήματα αυτά, ο ρυθμός επαναχρησιμοποίησης του νερού κυμαίνεται μεταξύ 80 και

99% και να μειώνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της υδατοκαλλιέργειας και τις απαιτήσεις σε νερό (Ebeling & Timmons 2012, Kingler & Naylor 2012).

Η υδροπονία είναι μια μέθοδος καλλιέργειας φυτών που δεν απαιτεί τη χρήση εδάφους (Malorgio et al. 2005). Σε αυτά τα συστήματα, το νερό και τα θρεπτικά συστατικά παρέχονται μέσω θρεπτικού διαλύματος στο οποίο τα λιπάσματα διαλύονται σε κατάλληλες συγκεντρώσεις (Putra & Yuliando 2015). Υπάρχουν υδροπονικά συστήματα που δεν απαιτούν τη χρήση οποιουδήποτε υποστρώματος, σε σχέση με άλλα που πιθανόν να απαιτούν τη χρήση ενός τεχνητού και αδρανούς υποστρώματος για τη μηχανική στήριξη των ριζών των φυτών (FAO, 2014, Lakkireddy et al. 2012).

Ένα υδροπονικό σύστημα διατηρεί καλύτερο έλεγχο των φυσικών συνθηκών (Tesi 2008) χωρίς να απαιτεί μεγάλους όγκους νερού, εύφορη γη (FAO 2014, Malorgio et al. 2005) αλλά και αυξημένο κόστος λειτουργίας λόγω μη χρήσης λιπασμάτων (Hochmuth & Hanlon 2010).

Στην πράξη, όταν τα φυτά αναπτύσσονται σε συνδυασμό με ψάρια το σύστημα ονομάζεται σύστημα ενυδρειοπονίας και αποτελεί τον συνδυασμό ενός κλειστού συστήματος (RAS) και ενός υδροπονικού συστήματος (FAO 2014). Τα συστήματα ενυδρειοπονίας στηρίζονται στη βιοχημική διεργασία της νιτροποίησης και της φυτοθεραπείας (Tyson et al. 2011). Ο συνδυασμός κλειστών συστημάτων (RAS) και υδροπονίας, συμβάλλει στη βελτίωση της βιωσιμότητας και εξασφαλίζει επάρκεια σε τροφή. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνονται σημαντικά οικονομικά και κοινωνικά οφέλη (FAO 2014).

1.2.Σκοπός

Σκοπός της παρούσης πτυχιακής εργασίας είναι η αξιοποίηση των διαθέσιμων βιβλιογραφικών δεδομένων που αναφέρονται στη δημιουργία, λειτουργία και διαχείριση των συστημάτων ενυδρειοπονίας και σχετίζονται με την αύξηση της απόδοσής τους καθώς και την αξιοποίηση των αποβλήτων των ψαριών από τα φυτά.

Κεφάλαιο 2:

Περιγραφή Σχεδιασμός και Λειτουργία Ενυδρειοπονικών Συστημάτων

2.1. Θεωρητικά και τεχνικά χαρακτηριστικά των συστημάτων ενυδρειοπονίας: από τα ψάρια έως τα φυτά- Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Στη Βόρεια Ευρώπη, και ιδιαίτερα στην Ολλανδία, η καλλιέργεια φυτών εκτός εδάφους (soilless culture), γνωστή και ως υδροπονία (hydroponics), συγκέντρωσε το ενδιαφέρον των παραγωγών θερμοκηπίων ήδη από τα τέλη της δεκαετίας του 1960. Η χρήση τεχνολογικού εξοπλισμού υψηλού επιπέδου στα θερμοκήπια των χωρών αυτών επέβαλε τη μεταπήδηση σε συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους, ώστε τα εδαφογενή παθογόνα και η γονιμότητα του εδάφους, καθώς και η καλή θρέψη των φυτών, να μην αποτελούν περιοριστικούς παράγοντες στην επίτευξη υψηλών αποδόσεων.

Αντίθετα, η μεσογειακή Ευρώπη είναι συνηθισμένη να παράγει λαχανικά και άνηθ εκτός εποχής σε χαμηλού κόστους κατασκευές κυρίως, εκμεταλλευόμενη τις ευνοϊκές κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στις χώρες αυτές, μολονότι έτσι δεν διασφαλίζονται ούτε υψηλές αποδόσεις ούτε ικανοποιητική ποιότητα προϊόντων. Κατά συνέπεια, στις χώρες της Μεσογείου οι περισσότεροι παραγωγοί δεν είναι ιδιαίτερα πρόθυμοι να επενδύσουν εγκαθιστώντας σύγχρονο εξοπλισμό στα θερμοκήπια τους και συνεπώς διστάζουν να αναλάβουν το κόστος εγκατάστασης του εξοπλισμού που απαιτεί η καλλιέργεια εκτός εδάφους. Γι' αυτό τον λόγο η εξάπλωση της υδροπονίας στις μεσογειακές χώρες της Ευρώπης, συμπεριλαμβανομένων της Ελλάδας και της Κύπρου, άρχισε με χρονική καθυστέρηση και βαίνει μέχρι σήμερα με σημαντικά πιο αργούς ρυθμούς.

Στην υδατοκαλλιέργεια, περίπου το 5% των ζωοτροφών δεν καταναλώνεται από τα εκτρεφόμενα ψάρια, ενώ το υπόλοιπο 95% απορροφάται και αφομοιώνεται σε σάρκα (Khakyzadeh et al. 2014). Το 30-40% διατηρείται και μετατρέπεται σε νέα βιομάζα, ενώ το 60-70% απελευθερώνεται με τη μορφή κοπράνων, ούρων και αμμωνίας (FAO 2014). Μελέτες αναφέρουν ότι 1 kg τροφής (30% πρωτεΐνης) απελευθερώνει συνολικά περίπου 27,6 g N καθώς και 1 kg ιχθύων απελευθερώνει περίπου 577 g BOD, 90,4 g N και 10,5 g P (Tyson et al. 2011).

Στην Ενυδρειοπονία, τα απόβλητα των ψαριών και οι ακατανάλωτες τροφές χρησιμοποιούνται ως λιπάσματα για την παραγωγή φυτών, μετατρέποντας τα απόβλητα σε βασικό πηγή για τα φυτά. Στη διαδικασία αυτή ο ρόλος των βακτηρίων είναι κρίσιμος. Το νερό απορροής από τη δεξαμενή των ψαριών μεταφέρεται σε ένα μηχανικό φίλτρο για τον διαχωρισμό και την απομάκρυνση των στερεών σωματιδίων. Στη συνέχεια, το νερό κατευθύνεται στο βιολογικό φίλτρο, ώστε η ολική αμμωνία ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$) με τη βοήθεια βακτηρίων βιοχημικά να οξειδωθεί σε νιτρικά ιόντα (NO_3^-) που είναι προσιτή μορφή αζώτου για τα φυτά (FAO 2014, Rakocy 2012).

Η μετατροπή πραγματοποιείται μέσω δύο διαδοχικών αντιδράσεων και περιλαμβάνει δύο διαφορετικές ομάδες νιτροποιητικών βακτηρίων τα Nitrosomonas, με το οποίο το ιόν αμμωνίου μετατρέπεται σε νιτρώδη ιόντα (NO_2^-), και αυτά με τη σειρά τους σε νιτρικά ιόντα με τη βοήθεια των βακτηρίων Nitrobacter (Alessio et al. 2001).

Μια άλλη σημαντική ομάδα αερόβιων βακτηριδίων είναι τα ετερότροφα βακτήρια που εμπλέκονται στην ανοργανοποίηση των στερεών αποβλήτων (FAO 2014). Ως εκ τούτου, τα νιτρικά και άλλα θρεπτικά συστατικά που εμπλουτίζουν το νερό εξέρχονται από το βιολογικό φίλτρο και κυκλοφορούν προς το σύστημα ενυδρειοπονίας όπου λαμβάνει χώρα η φυτο αποικοδομηση (FAO 2014) και τα νιτρικά ιόντα στο νερό μπορούν να μειωθούν περισσότερο από 97% (Lennard 2006).

Επίσης στο σύστημα ενυδρειοπονίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σύστημα απολύμανσης UV πριν το νερό επιστρέψει στις δεξαμενές εκτροφής. Μελέτες έχουν δείξει ότι κατά μέσο όρο για κάθε 60-100 gr τροφής απαιτείται ένα τετραγωνικό μέτρο (m^2) συστήματος ενυδρειοπονίας για να καθαρίζει το νερό (Rakocy et al. 2006). Επίσης, ένα τετραγωνικό μέτρο (m^2) ενυδρειοπονικής καλλιέργειας μπορεί να απομακρύνει 0,83 g N και 0,17 g ολικού P (Tyson et al. 2011)

Ένα σύστημα ενυδρειοπονίας αποτελείται από μια δεξαμενή ψαριών, ένα μηχανικό φίλτρο, ένα βιολογικό φίλτρο, μια δεξαμενή για την ανάπτυξη φυτών και σωληνώσεις παροχής και απορροής νερού (FAO 2014). Στις δεξαμενές των ψαριών, η πυκνότητα εκτροφής μπορεί να κυμαίνεται από 20 kg/m^3 (FAO 2014) έως 70-80 kg/m^3 . Μόνο σε ειδικές περιπτώσεις μπορεί η πυκνότητα των ψαριών να φθάσει περίπου τα 140-200 kg/m^3 , αλλά ο χρόνος κατακράτησης του νερού δεν θα μπορούσε να είναι μεγαλύτερος από 1,2 h προκειμένου να αποφευχθεί η συσσώρευση της αμμωνίας μετά τη χορήγηση τροφής (Pantarella 2012a).

Μεταξύ των μηχανικών φίλτρων, ο πλέον χρησιμοποιούμενος τύπος είναι η δεξαμενή καθίζησης (FAO 2014) όπου απομακρύνεται περίπου το 59% των συνολικών

στερεών αποβλήτων, με χρόνο κατακράτησης νερού 20 min (Pantanella 2012a) και όγκο 10-30 % (FAO 2014). Σύμφωνα με τον FAO (2014), ο ελάχιστος όγκος της δεξαμενής καθίζησης θα πρέπει να είναι 1/6 της δεξαμενής των ψαριών ενώ τα συνήθη υποστρώματα που χρησιμοποιούνται είναι τα Bioballs® (500-700 m²/m³) και το ηφαιστειακό χαλίκι (300 m²/m³).

Οι διάφοροι τύποι ενυδρειοπονικών συστημάτων ονομάζονται μετά από την υδροπονική τεχνική που χρησιμοποιείται για την καλλιέργεια φυτών. Το MBT είναι η πιο συνηθισμένη μέθοδος που υιοθετείται σε μικρής κλίμακας υδροηλεκτρική παραγωγή (Rakocy 2012), και το πορώδες υπόστρωμα παρέχει στήριξη στα φυτά και λειτουργεί ως μηχανικό και επίσης βιολογικό φίλτρο (FAO 2014). Αντίστροφα, η μέθοδος NFT και η DWC είναι κατάλληλα για εμπορικά aquaponic συστήματα αλλά, σε αντίθεση με τη μέθοδο με τις αναπτυσσόμενες κλίνες, απαιτούν ένα μηχανικό φίλτρο και ένα βιοφίλτρο. Η έξοδος νερού από τα υδροπονικά δοχεία διαμέσου της βαρύτητας κατευθύνεται στην δεξαμενή συλλογής νερού (Rakocy 2012), όπου βρίσκεται η υποβρύχια αντλία.

Η μέθοδος ενυδρειοπονίας που χρησιμοποιεί υπόστρωμα (MBT- media bed technique) είναι η πιο κοινή μέθοδος που εφαρμόζονται σε ενυδρειοπονικά συστήματα μικρής κλίμακας (Rakocy 2012) ενώ οι πόροι του υλικού πλήρωσης παρέχουν στήριξη στα φυτά αλλά λειτουργούν ως μηχανικό και βιολογικό φίλτρο (FAO 2014). Αντίστροφα, η μέθοδος ενυδρειοπονίας με ρηχό ρεύμα πλούσιο σε θρεπτικά (NFT- nutrient film technique) και η καλλιέργεια σε βαθειά νερά (DWC) μπορούν να χρησιμοποιούνται για εμπορικά συστήματα ενυδρειοπονίας, αλλά και οι δυο τύποι απαιτούν μηχανικό φίλτρο και βιολογικό φίλτρο. Η απορροή του νερού γίνεται με τη βαρύτητα όπου συγκεντρώνονται στο φίλτρο όπου βρίσκεται η υποβρύχια αντλία (Rakocy 2012).

Ο λόγος παροχής της τροφής (FRR) είναι ο λόγος μεταξύ της ποσότητας τροφής που χορηγείται την ημέρα και της επιφάνειας που καλύπτει το σύστημα ενυδρειοπονίας. Ο υπολογισμός του FRR επηρεάζει αυστηρά τον ρυθμό και το μέγεθος συσσώρευσης και απομάκρυνσης των θρεπτικών συστατικών από τις δεξαμενές των ψαριών καθώς και την ενσωμάτωση των μακρο και μικρο θρεπτικών συστατικών που απαιτούνται στα συστήματα ενυδρειοπονίας για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης της παραγωγής των φυτών (Lam et al. 2015).

Σύμφωνα με τον Rakocy (2012), η βέλτιστη αναλογία είναι 57 g τροφής ανά ημέρα ανά μέτρο ειδικής επιφάνειας συστήματος ενυδρειοπονίας. Συνιστάται επίσης να διατηρηθεί μια αναλογία μεταξύ δεξαμενής εκτροφής και ενυδρειοπονικών δοχείων 1:

7.3. Όσον αφορά την ποιότητα του νερού, σύμφωνα με τον FAO (2014) επιτυγχάνεται ένας καλός συμβιβασμός όταν το σύστημα εξασφαλίζει θερμοκρασίες μεταξύ 18-30°C, pH 6-7, αμμωνία και νιτρικά ιόντα μικρότερα από 1 mg/L και DO να υπερβαίνει τα 5 και μέσω της χορήγησης 60-100 g τροφής ανά m² ενυδρειοπονικής ειδικής επιφάνειας (Rakocy et al. 2006).

2.2.Είδη Ψαριών και φυτών που χρησιμοποιούνται στα συστήματα ενυδρειοπονίας

Τα είδη των ψαριών που έχουν αποδειχθεί κατάλληλα για την παραγωγή ενυδρειοπονίας είναι η Τιλαπία του Νείλου, η πέστροφα, το αφρικανικό γατόψαρο και ο τα Koi (Kloas et al. 2015, Palm et al. 2014, Roosta 2014, Endut *et al.* 2011, Nelson 2007, Lennard & Leonard 2006, Rakocy *et al.* 2006, Savidov 2005, Adler *et al.* 2000). Μεταξύ των φυτών που καλλιεργούνται είναι το μαρούλι, οι τομάτες, ο βασιλικός, μελιτζάνες πιπεριές και σπανάκι (Adler *et al.* 2000, Savidov 2005, Rakocy *et al.* 2006, Nelson 2007, Endut *et al.* 2011, Palm *et al.* 2014, Khater *et al.* 2015).

2.3.Ενυδρειοπονία με Θαλασσίνο νερό

Τα συστήματα ενυδρειοπονίας γλυκού νερού είναι η πιο διαδεδομένη και περιγραφείσα μεθοδολογία που χρησιμοποιείται. Η περιορισμένη προέλευση του γλυκού νερού για τη γεωργία και την υδατοκαλλιέργεια, καθώς και η προοδευτική αύξηση της αλατότητας του εδάφους παγκοσμίως (Turcios & Papenbrock 2014) οδηγούν στην συχνή χρήση εναλλακτικών πηγών νερού όπως το υφάλμυρο νερό (Joesting et al. 2016, Turcios & Papenbrock 201, Buhmann & Papenbrock 2013). Σύμφωνα με τους Orellana et al. (2013), σήμερα η πιο καινοτόμος στρατηγική στον τομέα της υδατοκαλλιέργειας φαίνεται να είναι η ανάπτυξη παραδοσιακών συστημάτων με θαλάσσιο νερό.

Τα απόβλητα που παράγονται από εγκαταστάσεις υδατοκαλλιέργειας θαλασσινού νερού μπορούν να χρησιμοποιηθούν με επιτυχία για την άρδευση ανθεκτικών φυτών (McIntosh & Fitzsimmons 2003, Dufault et al. 2001, Dufault & Korkmaz 2000). Τα είδη των ψαριών, που ζουν σε μια ευρεία κλίμακα αλατότητας (Alessio et al. 2001), επιδεικνύουν αξιοσημείωτη συμβατότητα με μια μεγάλη ποικιλία φυτών όπως τα φύκια, τα φυτά και άλλα λαχανικά (Pantanella & Colla 2013). Τα είδη των ψαριών που μπορεί να εκτραφούν σε συστήματα ενυδρειοπονίας θαλασσινού νερού είναι η τσιπούρα (*Sparus aurata*) και το λαυράκι (*Dicentrarchus labrax*).

Στην θαλάσσια Ευδραιοπονία επιλέγονται φυτά που μπορούν να αναπτυχθούν σε υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων σε τουλάχιστον 5g/L και χαρακτηρίζονται αλόφυτα (Ayers & Wescott 1989). Οι ιδανικές συνθήκες αλατότητας για την ανάπτυξή τους κυμαίνεται από 1/3 έως 1/2 της αλατότητα της θάλασσας δηλαδή μεταξύ 10 και 20 g/L, αλλά ορισμένα είδη φυτών όπως το *Distichlis palmeri* είναι ανθεκτικό σε συνθήκες υπεραλατότητας (Pantanella & Bhujel 2015).

Τα φυτά αυτά έχουν μελετηθεί για τις ενδιαφέρουσες ιδιότητές που παρουσιάζουν και είναι αποτέλεσμα ερευνών σε πολλούς τομείς όπως για την παραγωγή τροφίμων, στη βιομηχανία πετρελαίου και στον φαρμακευτικό τομέα (Buhmann & Parnbrock 2013, Koyro et al. 2011). Τα κύρια είδη που καλλιεργούνται για την παραγωγή λαχανικών είναι τα είδη *Chrithmum maritimum* (κρίταμος), *Salsola soda* (αλμύρα) και διάφορα είδη του γένους *Salicornia* (σαλικόρνια), ενώ άλλα καλλιεργούνται για παραγωγή σιτηρών όπως το κινόα (quinoa) (Εικ.1) (FAO 2014).



Εικόνα 1. Είδη φυτών (α) κρίταμος, (β) σαλικόρνια, (γ) αλμύρα (δ) κινόα με εμπορικό ενδιαφέρον που καλλιεργούνται σε συστήματα ευδραιοπονίας θαλασσινού νερού (Πηγή: www.wikipedia.org/wiki/Saltwater_aquaponics).

Εκτός από τα αλόφυτα, η θαλάσσια Ευδραιοπονία μπορεί να αναπτυχθεί σε καλλιέργειες οπωροκηπευτικών χρησιμοποιώντας υφάλμυρο νερό (5-30 g/L αλατότητα) (Pantanella 2012b). Πολλά από τα είδη αυτά ανήκουν στην οικογένεια των *Chenopodiaceae*, όπως το *Beta vulgaris* (παντζάρι) και τα *Beta vulgaris* var *Cycles* (τεύτλα) τα οποία αναπτύσσονται χωρίς δυσκολία σε αλατότητα 3,5-7 g/L.

Άλλα είδη φυτών όπως η κοινή ντομάτα (*Lycopersicon esculentum*), οι ντομάτες κεράσι (*Lycopersicon esculentum* var. *Cerasiformee*) και ο βασιλικός (*Ocimum basilicum*) μπορούν να αναπτυχθούν εξαιρετικά σε αλατότητα έως 1/10 του της αλατότητας του θαλασσινού νερού (4 g/L) (Pantanella & Bhujel 2015). Επίσης η θαλάσσια Ευδραιοπονία ταυτίζεται με την καλλιέργεια φυκιών και είναι μια καλή

εναλλακτική λύση σε περίπτωση που δεν χρησιμοποιείται νερό χαμηλής αλατότητας (Pantanella & Bhujel 2015).

Μεταξύ των διαφόρων ειδών φυκιών που καλλιεργούνται σήμερα αξιοσημείωτο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα είδη *Arthospira platensis* (σπιρουλίνα), η *Chlorella spp.* (χλωρέλλα), η *Porphyra yezoensis* και η *Porphyra tenera* (θαλάσσια φυτά, πορφύρα).

Υπάρχει σημαντικό ενδιαφέρον για τα συστήματα ενυδρειοπονίας με θαλασσινό νερό εξαιτίας των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν όπως η μειωμένη χρήση γλυκού νερού (περιορισμένες πηγές), το ελεγχόμενο περιβάλλον όπου γίνεται η καλλιέργεια, η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των αποβλήτων περιορίζοντας ή μειώνοντας τη θαλάσσια ρύπανση, η εντατικοποίηση της παραγωγής, ασφαλής παραγωγή προϊόντων σε σχέση με τα συμβατικά προϊόντα (Boxman et al. 2015, Pantanella & Colla 2013).

Η θαλάσσια Ενυδρειοπονία μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία εύφορων παράκτιων περιοχών καθώς ή άγονες περιοχές ή αστικούς οικισμούς εξαιτίας των χαμηλών απαιτήσεων σε νερό αλλά και της μεταβλητότητας που παρουσιάζει (Pantanella 2012b).

Ένα άλλο πλεονέκτημα της θαλάσσιας Ενυδρειοπονίας είναι ότι η παραγωγή ψαριών και λαχανικών αντιπροσωπεύεται από είδη με υψηλή εμπορική αξία, όπως η τσιπούρα και το λαβράκι. Σύμφωνα με την Ιταλική στατιστική υπηρεσία (<http://www.ismea.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/4471>), η τιμή πώλησης των ειδών αυτών στην αγορά είναι 9 €/kg και 6 €/kg αντίστοιχα. Από την πλευρά της καλλιέργειας, η τιμή πώλησης του κρίματου (*Salsola soda*), είναι της τάξης 4.0-4.5 €/kg (Pantanella 2012b).

Αντίθετα, η θαλάσσια Ενυδρειοπονία εξακολουθεί να υφίσταται προβλήματα λόγω του ανεπαρκώς οργανωμένου συστήματος πώλησης, το οποίο πιθανά να οφείλεται στην έλλειψη της ζήτησης των αλόφυτων ή λόγω των δυσκολιών αντιμετώπισης των αρνητικών επιπτώσεων της αλατότητας στην ανάπτυξη των φυτών (Boxman et al. 2015).

Επίσης, έγιναν προσπάθειες παραγωγής οι οποίες πραγματοποιήθηκαν με επιτυχία από τους Main et al. (2015), οι οποίοι καλλιέργησαν τα αλόφυτα είδη *Sciaenops ocellatus*, *Trachinotus carolinus*, *Spartina alterniflora*, *Juncus romerianus*, *Rhizophora mangle* (μαγκόβριες ρίζες). Οι Boxman et al. (2015) καλλιέργησαν σε θαλάσσιο σύστημα ενυδρειοπονίας τα αλόφυτα είδη *Batis maritima* και *Sesuvium portulacastrum* και το είδος ψαριού *Sciaenops ocellatus*. Στο τέλος του τελευταίου πειράματος, τα προϊόντα όχι μόνο δεν αποδείχθηκαν ότι είναι κατάλληλα για παραγωγή

σε θαλάσσια συστήματα Ενυδρειοπονίας με θετικό αντίκτυπο στην τοπική αγορά (Boxman et al. 2015).

Κεφάλαιο 3:

Περιγραφή Σχεδιασμός Συστήματος Ενυδρειοπονίας

3.1.Περιγραφή συστήματος ενυδρειοπονίας

Ένα σύστημα ενυδρειοπονίας αποτελείται από ένα ενυδρείο με ψάρια, ένα μέσο καλλιέργειας για τα φυτά, και μια αντλία νερού. Χρησιμοποιούνται συνήθως αντλίες αέρα και επιπρόσθετα βιολογικά και μηχανικά φίλτρα. Τα συστήματα ενυδρειοπονίας πρέπει να έχουν την κατάλληλη ισορροπία ώστε να διατηρούν υγιή τα ψάρια και τα φυτά.

Η Εικόνα 2 περιγράφει ένα απλό σύστημα ενυδρειοπονίας στο οποίο τα φυτά προστατεύονται με ειδικά σκίαστρα από το φως και τη θερμοκρασία της ημέρας. Τα σκέπαστρα χρησιμοποιούνται ευρέως για την σκίαση του ενυδρείου και για την προστασία των ψαριών από τα αρπακτικά ζώα καθώς και για να αποτρέπουν τα ψάρια που αναπηδούν έξω από το ενυδρείο. Υπάρχουν 3 τύποι συστημάτων Ενυδρειοπονίας που χρησιμοποιούνται επαγγελματικά.

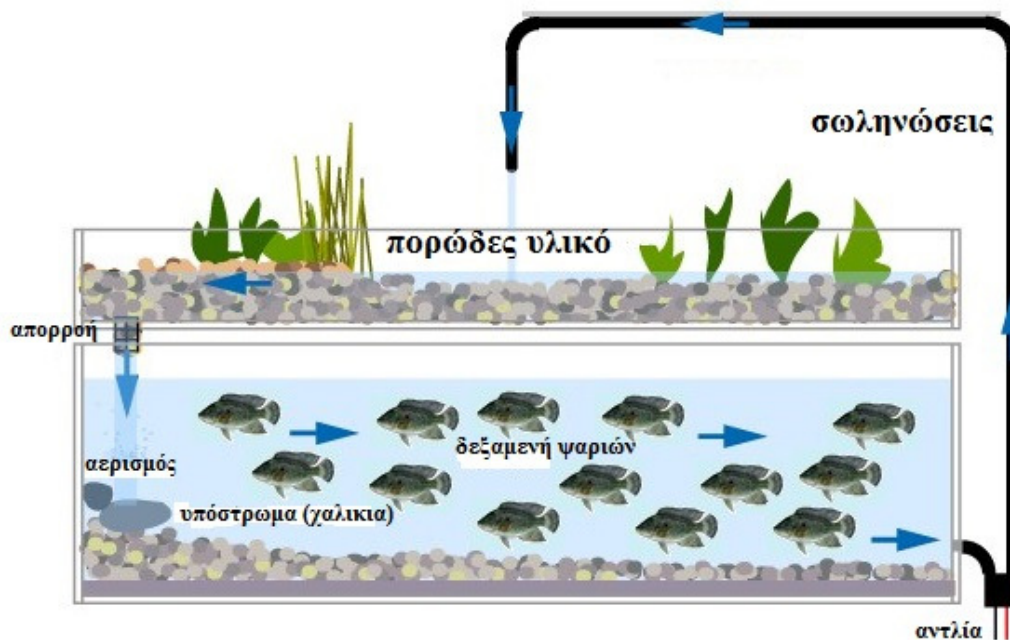
Ο πρώτος τύπος συστήματος αποτελείται από μια υδατοσυλλογή τοποθετημένη σε ένα αγρόκτημα, η οποία είναι γνωστή και ως «πράσινη λίμνη καλλιέργειας», ενώ τα φύκη είναι τα κυρίαρχα φυτά. Τα ψάρια, τα έντομα καθώς και οι μικροοργανισμοί που εισέρχονται στο σύστημα τρέφονται με τα φύκη. Δεν απαιτείται βαρύς εξοπλισμός ώστε να επιτευχθεί ισορροπία στο σύστημα (Pantarella 2012b).

Ο δεύτερος τύπος αποτελείται από ένα ενυδρείο με ψάρια ενώ τα φυτά επιπλέουν σε ειδικά υποστρώματα (φελιζόλ), η παροχή αέρα είναι αναγκαία για τη λειτουργία του συστήματος. Τα είδη που καλλιεργούνται είναι το μαρούλι ή άλλα φυτά αρωματικά και έχουν τις ρίζες βυθισμένες στο νερό.

Ο τρίτος τύπος αποτελείται από ένα σύστημα με μια αντλία νερού που αντλεί νερό από τη δεξαμενή ψαριών και το διοχετεύει σε ένα βιολογικό ή μηχανικό φίλτρο. Το σύστημα αποτελείται από μια δεξαμενή υπερχειλίσης ώστε το νερό να διέρχεται στο βιολογικό φίλτρο και να επαναχρησιμοποιείται. Αν χρησιμοποιείται φίλτρο τύπου

καταιονισμού, τότε ρυθμίζεται ώστε τα επίπεδα του νερού να είναι σε σταθερή στάθμη στην δεξαμενή με τα ψάρια. Αυτή η δραστηριότητα μπορεί να είναι συνεχής ή διακεκομμένη. Η εγκατάσταση του τρίτου τύπου συστήματος με τη χρήση γλυκού νερού χρησιμοποιείται στην πλειονότητά του για σύστημα ενυδρείοπονίας (Pantanella & Bhujel 2015).

Τα συστήματα ενυδρείοπονίας με θαλασσινό νερό υφίστανται με την διαφορά ότι χρησιμοποιούν για φυτά φύκη ή χρησιμοποιεί αλόφυτα φυτά. Το νερό διέρχεται μέσα από το σύστημα χρησιμοποιώντας μία από τις μεθόδους που αναλύθηκαν παραπάνω (Pantanella & Bhujel 2015).



Εικόνα 2. Σύστημα ενυδρείοπονίας (Πηγή: www.backyardaquaponics.com)

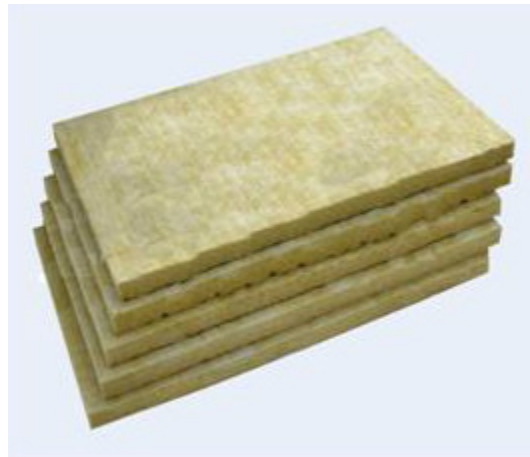
Η συνεχής ροή των θρεπτικών είναι η μέθοδος όπου η αντλία διανέμει συνεχώς το νερό στο σύνολο του συστήματος. Αυτός είναι ο απλούστερος τρόπος για να κατασκευαστεί, αλλά παράγονται φυτά ευαίσθητα στη ρίζα, η οποία σαπίζει λόγω έλλειψης οξυγόνου. Η φυτική παραγωγή συνήθως περιορίζεται στα μαρούλια και άλλα φυτά που μπορούν να αντέξουν την συνεχή ροή του νερού. Πλωτά συστήματα αποτελούνται γενικά από φελιζόλ που επιπλέει ακριβώς πάνω από τη δεξαμενή των ψαριών. Οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται βυθισμένες μέσα στο νερό. Μερικές φορές οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται και αιωρούνται στο εσωτερικό των δοχείων που βυθίζονται στο νερό, είτε στην ίδια δεξαμενή των ψαριών ή κάποιο κανάλι

περιορισμένης ροής νερού. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται για παραγωγές μεγάλης κλίμακας (Pantanella 2012b).

3.2. Τύποι υποστρωμάτων που χρησιμοποιούνται στην ενυδραιοπονία

Τα βασικότερα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται στην Ενυδραιοπονία είναι: **Πετροβάμβακας:** Ο πετροβάμβακας (Εικ.3) είναι ανόργανο ινώδες υλικό, που παρασκευάζεται βιομηχανικά με θερμική επεξεργασία φυσικών πετρωμάτων. Έχει ολικό πορώδες 92- 96% και ειδικό βάρος 60-100 kg/m³. Είναι χημικά αδρανές, αποστειρωμένο υλικό, τυποποιημένο και με σταθερή ποιότητα. Έχει πολύ καλή συμπεριφορά ως υλικό, γι' αυτό και χρησιμοποιείται ευρέως ως υπόστρωμα υδροπονίας. Συνήθως για τα λαχανικά χρησιμοποιούνται πλάκες διαστάσεων 7,5 x 15 x 100 cm.

Ο Πετροβάμβακας επιτρέπει τη διόδο του υγρού αέρα, και αυτό τον κάνει ακατάλληλο για θερμομόνωση εξωτερικών τοίχων στις χαμηλές πυκνότητες (<150kg/m³). Στους εξωτερικούς τοίχους υπάρχει πολύ υγρασία (λόγω του εξωτερικού αέρα) και η χρήση πετροβάμβακα σε χαμηλές πυκνότητες δεν ενδείκνυται. Η υγρασία του αέρα που εισχωρεί στον πετροβάμβακα μειώνει το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας του υλικού με την πάροδο του χρόνου και επιταχύνει τη γήρανση του.



Εικόνα 3. Πετροβάμβακας που χρησιμοποιείται στα ενυδραιοπονικά συστήματα για υπόστρωμα στα φυτά (Πηγή: <http://www.ergatex.gr>)

Παρόλο που οι ίνες του δεν απορροφούν νερό, ο πετροβάμβακας λόγω της δομής σε χαμηλές πυκνότητες (<150kg/m³) κατακρατεί μικρές ποσότητες νερού (<1 kg/m² βραχυπρόθεσμα και < 3 kg/m² μακροπρόθεσμα) το οποίο, αν και δεν επηρεάζει άμεσα τις ιδιότητες του, με την πάροδο του χρόνου υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να μουλιάσει

και να μυρίσει. Πρέπει λοιπόν να αερίζεται συνεχώς σε εφαρμογές που υπάρχει πολύ υγρασία και πιθανή επαφή με υγρές επιφάνειες (π.χ. εξωτερικοί τοίχοι, στέγαστρα, πέργκολες κ.α).

Περλίτης: Ο περλίτης (Εικ.4) είναι ηφαιστειακό, υαλώδες αργιλλοπυριτικό πέτρωμα λευκού χρώματος, το οποίο περιέχει εγκλωβισμένο κρυσταλλικό νερό 3-6%. Παρασκευάζεται με θέρμανση του πρωτογενούς ορυκτού στους 1300 °C, οπότε και διογκώνεται στο 10πλάσιο με 20πλάσιο του αρχικού του όγκου. Το ολικό του πορώδες είναι περίπου 95%, το ειδικό βάρος είναι 60-80 kg /m³ και η ικανότητα συγκράτησης νερού σε 200- 450% του βάρους του.



Εικόνα 4. Περλίτης που χρησιμοποιείται στα ενυδρειοπονικά συστήματα για υπόστρωμα στα φυτά (Πηγή: <http://www.ergatex.gr>)

Κοκοφοίνικας: Ο κοκοφοίνικας (Εικ.5) είναι φυσικό υλικό. Προέρχεται από το παχύ μεσοκάρπιο του καρπού της καρύδας και συνεπώς είναι υλικό απαλλαγμένο από ασθένειες. Σε σύγκριση με τα παραπάνω υποστρώματα, ο κοκοφοίνικας είναι οργανικό υλικό. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι 0,5 mS/cm ή και μικρότερη και το pH κυμαίνεται από 5,5 έως 6 (Pantanella 2012b).



Εικόνα 5. Κοκκοφοίνικας που χρησιμοποιείται στα ενυδρειοπονικά συστήματα για υπόστρωμα στα φυτά (Πηγή: <http://www.ergotex.gr>)

3.3. Θρεπτικά διαλύματα που χρησιμοποιούνται στην ενυδραιοπονία

Στην ενυδραιοπονία χρησιμοποιούνται πλήρη θρεπτικά διαλύματα, δηλαδή υδατικά διαλύματα που περιέχουν όλα τα απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών ανόργανα θρεπτικά στοιχεία, εκτός από τον άνθρακα που προσλαμβάνεται από την ατμόσφαιρα ως CO₂. Το υδρογόνο και το οξυγόνο είναι συστατικά του νερού, ενώ οξυγόνο προσλαμβάνεται και από τον ατμοσφαιρικό αέρα για τις ανάγκες της αναπνοής. Ορισμένα στοιχεία κατά την παρασκευή ενός θρεπτικού διαλύματος προστίθενται σε μεγαλύτερες ποσότητες (N, P, S, K, Ca και Mg) και ονομάζονται μακροστοιχεία, ενώ τα υπόλοιπα προστίθενται σε πολύ μικρότερες ποσότητες (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo και το Cl) και ονομάζονται ιχνοστοιχεία.

Το χλώριο εμπεριέχεται πάντοτε σε επαρκείς ποσότητες στο αρδευτικό νερό, καθώς επίσης και στις προσμειξείς των λιπασμάτων και για τον λόγο αυτό δεν προστίθεται. Επομένως, μόνο τα 12 από τα 16 απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών χημικά στοιχεία πρέπει να προστίθενται στο νερό, κατά την Παρασκευή ενός θρεπτικού διαλύματος. Τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία και η χημική μορφή με την οποία απαντώνται στα θρεπτικά διαλύματα και απορροφούνται από τη ρίζα, φαίνονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Θρεπτικά στοιχεία στα συστήματα ενυδραιοπονίας

Plant Species	System	pH	Ca	Mg	Na	K	TAN	NO ₃ ⁻ N	PO ₄ ⁻ P	SO ₄ ⁻ S	Cl	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo	Source
Lettuce (<i>Lactuca sativa</i>)	Hydroponic	5–6.2	180	24		430	18	266	62	36		2.2	0.3	0.05	0.3	0.3	0.05	Sonneveld and Voogt, 2009 [69]
Lettuce (<i>Lactuca sativa</i>)	Hydroponic		200	50	50–90	210		190	50	66	65–253	5	0.5	0.15	0.15	0.3	0.05	Resh, 2012 [23]
Lettuce (<i>Lactuca sativa</i>)	Aquaponic	8				48		20	10									A1-Hafedh et al., 2008 [70]
Lettuce (<i>Lactuca sativa</i>)	Aquaponic		180	44	17	106		137	9									Pantanelia et al., 2012 [71]
Basil (<i>Ocimum basilicum</i> 'Genovese')	Aquaponic	7.4	12	7		45	2.20	42	8			2.5	0.8	0.05	0.44	0.19	0.01	Rakocy et al., 2004 [24]
Water spinach (<i>Ipomoea aquatica</i>)	Aquaponic	5.6–7.3						20	17									Endut et al., 2010 [31]
Tomato (<i>Solanum lycopersicum</i>)	Hydroponic	5–6.2	110	24		254	18	151	39	48		0.8	0.6	0.05	0.3	0.2	0.05	Sonneveld and Voogt, 2009 [69]
Tomato (<i>Solanum lycopersicum</i>)	Aquaponic	7.7	34			27	0.33	35	8			0.2		0.04	0.37			Roosta and Hamidpour, 2011 [37]
Okra (<i>Abelmoschus esculentus</i>)	Aquaponic	7.1	24	6	14	64	1.58	26	15	6	12	1.3	0.06	0.03	0.34	0.09	0.01	Rakocy et al., 2004 [38]

3.4 Δοσολογία Παρασκευή θρεπτικού διαλύματος

Η αντιστοίχιση του όγκου του νερού, στη δεξαμενή ψαριών, με τον όγκο των υδροπονικών μέσων, είναι γνωστή ως αναλογία συστατικών. Τα πρώτα συστήματα υδροπονίας βασίστηκαν στην αναλογία 1:1, αλλά είναι πλέον κοινή η αναλογία 1:2 και η αναλογία στο υπόστρωμα της δεξαμενής που χρησιμοποιείτε είναι τόσο υψηλή όσο 1:4. Η διακύμανση εξαρτάται από τον τύπο του υδροπονικού συστήματος (μικρό χαλίκι), τα είδη των ψαριών, την πυκνότητα των ψαριών, το ρυθμό τροφοδοσίας, τα είδη των φυτών κ.λπ.

Για παράδειγμα, το σύστημα τύπου Speganeo, σχεδιάστηκε για ένα κυβικό μέτρο νερού και δύο κυβικά μέτρα υποστρώματος (χαλίκι). Όταν στα ρηχά υποστρώματα, χρησιμοποιούνται μόνο τρεις ίντσες σε βάθος, για την παραγωγή ειδικών φυτών, όπως το μαρούλι και ο βασιλικός, το εμβαδόν του χώρου μεγαλώνει περίπου τέσσερις φορές. Ανάλογα με το σχεδιασμό του συστήματος, η αναλογία των συστατικών μπορεί να ευνοήσει σε μεγαλύτερη υδροπονική παραγωγή ή αύξηση της παραγωγής του ψαριού

Για να παρασκευασθεί ένα θρεπτικό διάλυμα θα πρέπει αρχικά να καθορισθεί πλήρως η επιθυμητή του σύνθεση με βάση είτε τις ιδιαίτερες απαιτήσεις του συγκεκριμένου φυτού σε θρεπτικά στοιχεία είτε συγκεκριμένες ερευνητικές ή άλλες σκοπιμότητες. Η σύνθεση ενός θρεπτικού διαλύματος είναι ορισμένη όταν έχουν καθορισθεί επιθυμητές τιμές (τιμές-στόχοι) για τα παρακάτω χαρακτηριστικά του θρεπτικού διαλύματος:

- Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) ως μέτρο της συνολικής συγκέντρωσης αλάτων στο θρεπτικό διάλυμα.
- Τιμή pH στο θρεπτικό διάλυμα.
- Επίπεδα K, Ca και Mg στο θρεπτικό διάλυμα. Για τον καθορισμό τους υπάρχουν δύο εναλλακτικές επιλογές:
 - αναλογία K:Ca:Mg (mmol/mmol) η οποία συμβολίζεται με X:Y:Z, ή
 - συγκεντρώσεις (mmol/L) για το καθένα από τα τρία μακροκατιόντα,
- Καθορισμός επιπέδων αζώτου. Ο καθορισμός του επιθυμητού επιπέδου αζώτου στο θρεπτικό διάλυμα μπορεί να γίνει με τέσσερις εναλλακτικούς τρόπους:
- καθορισμός αναλογίας ολικού αζώτου προς κάλιο, δηλ. N:K (R , mol/mol) και αναλογίας αμμωνιακού προς συνολικό άζωτο (N_r , mol/mol),

- καθορισμός αναλογίας ολικού αζώτου προς κάλιο (R , mol/mol) και συγκεκριμένης συγκέντρωσης (mmol/L) αμμωνιακού αζώτου ($\text{NH}_4\text{-N}$), καθορισμός επιθυμητής συγκέντρωσης (mmol/L) νιτρικού αζώτου ($\text{NO}_3\text{-N}$) και αναλογίας αμμωνιακού προς συνολικό άζωτο (N_r , mol/mol),
- καθορισμός επιθυμητών συγκεντρώσεων (mmol/L) τόσο για το νιτρικό ($\text{NO}_3\text{-N}$) όσο και για το αμμωνιακό άζωτο ($\text{NH}_4\text{-N}$).
- συγκέντρωση φωσφορικών ιόντων (H_2PO_4^- σε mmol/L), και
- συγκεντρώσεις ($\mu\text{mol/L}$) ιχνοστοιχείων ($[\text{G}]_j$, όπου $j = \text{Fe, Mn, Zn, Cu, B}$ και Mo).

Εκτός από τις παραπάνω τιμές που είναι επιλεγόμενες, για να υπολογισθούν οι ποσότητες των λιπασμάτων που είναι αναγκαίες για την παρασκευή του συγκεκριμένου θρεπτικού διαλύματος πρέπει να είναι γνωστά και τα εξής δεδομένα:

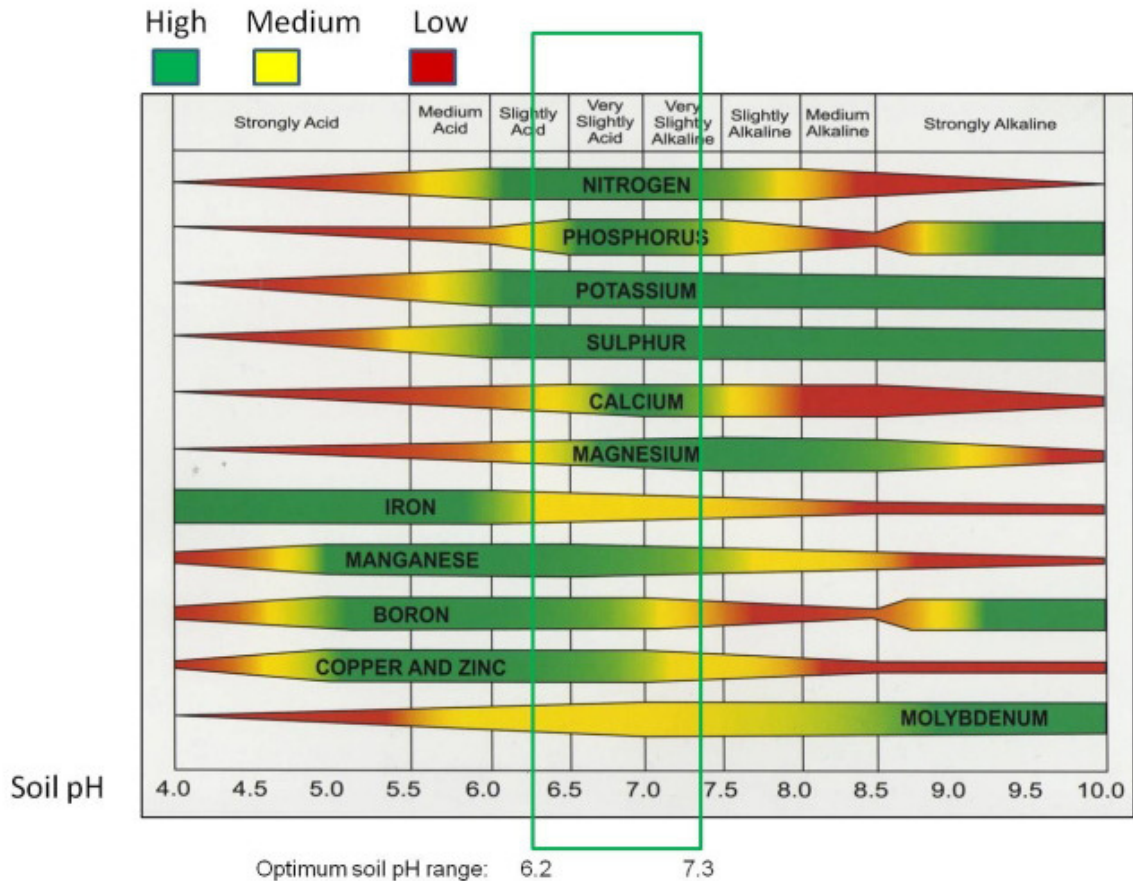
1. η περιεκτικότητα του νερού σε όλα τα ανόργανα διαλυτά συστατικά που σχετίζονται με την θρέψη του φυτού,
2. το pH του νερού,
3. η εκατοστιαία περιεκτικότητα του χηλικού σιδήρου σε ανόργανο Fe (P_{Fe})
4. επιθυμητό λίπασμα για την προσθήκη ορισμένων θρεπτικών στοιχείων.

Κατά τον υπολογισμό των μαζών των λιπασμάτων που απαιτούνται για την παρασκευή ενός θρεπτικού διαλύματος για ένα ενυδρειοπονικό σύστημα, οι παραπάνω επιθυμητές τιμές EC, pH, αναλογιών κύριων θρεπτικών στοιχείων και συγκεντρώσεων ιχνοστοιχείων αναφέρονται στο τελικό θρεπτικό διάλυμα που χορηγείται στα φυτά (διάλυμα τροφοδοσίας) (Εικ.6). Οι τιμές που θα εισαχθούν στο πρόγραμμα για τα παραπάνω μεγέθη θα πρέπει να είναι εφικτές (κατά ένα μέρος αυτό εξαρτάται από την σύσταση του χρησιμοποιούμενου νερού σε κάθε περίπτωση) και συμβατές μεταξύ τους.

Αν αυτή η προϋπόθεση δεν πληρείται, υπολογίζεται αρνητική μάζα για κάποια λιπάσματα, κάτι που είναι φυσικά ανέφικτο σε συνθήκες καλλιεργητικής πράξης. Στην περίπτωση αυτή τα επιθυμητά δεδομένα θα πρέπει να τροποποιούνται κατάλληλα, ώστε να προκύπτουν θετικές τιμές βάρους για όλα τα λιπάσματα. Είναι προφανές για παράδειγμα ότι η συγκέντρωση ασβεστίου ή μαγνησίου στο θρεπτικό διάλυμα δεν μπορεί να είναι χαμηλότερη από τις αντίστοιχες τιμές στο χρησιμοποιούμενο νερό.

Το σύνολο των συγκεντρώσεων των κατιόντων θρεπτικών στοιχείων (σε meq/L) στο νερό άρδευσης θα πρέπει να ισούται με το αντίστοιχο σύνολο των ανιόντων. Αν

αυτό δεν συμβαίνει και η διαφορά είναι μεγαλύτερη από 0,2 meq/L, τότε το πρόγραμμα προβάλλει αντίστοιχο μήνυμα. Αυτό σημαίνει ότι η ανάλυση νερού δεν ήταν ακριβής και θα πρέπει να επαναληφθεί, πιθανόν σε ένα άλλο, πιο αξιόπιστο εργαστήριο. Μικρές αποκλίσεις μέχρι 1 meq/L μπορούν να εξισορροπούνται και κατ' εκτίμηση από τον χρήστη του προγράμματος.



Εικόνα 6. Επίδραση του pH στη διαθεσιμότητα των θρεπτικών σε ένα σύστημα ενυδρείου (Πηγή: <http://www.foodrising.org/super-simple-plant-nutrient-instructions.html>)

Κεφάλαιο 4:

Βασικά χαρακτηριστικά λειτουργίας Ενυδρειοπονικού συστήματος

4.1. Έναρξη λειτουργίας βιολογικού φίλτρου

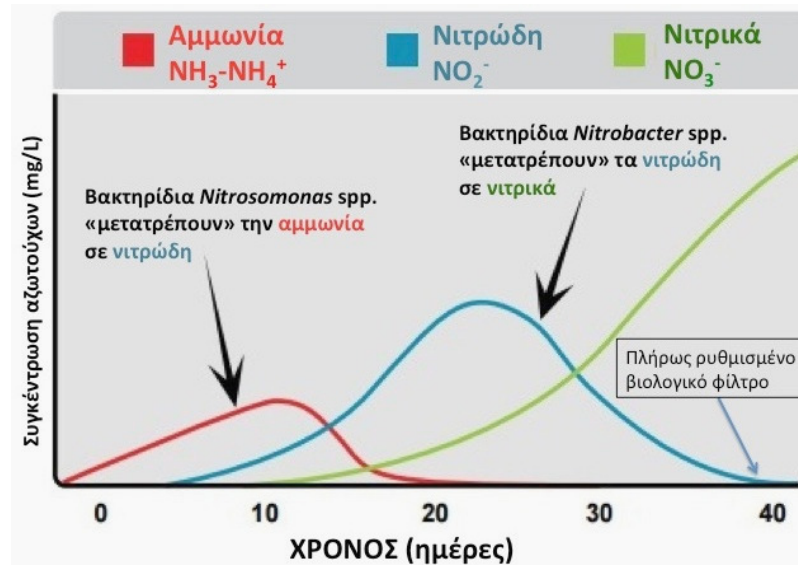
Η ανακύκλωση είναι ένας όρος ο οποίος περιγράφει την αρχική διαδικασία δημιουργίας μιας βακτηριακής αποικίας στα κλειστά κυκλώματα εκτροφής ψαριών, συμπεριλαμβανομένων και των συστημάτων Ενυδρειοπονίας το οποίο σε κανονικές συνθήκες έχει διάρκεια ζωής περίπου 3-5 εβδομάδες. Η ρύθμιση ενός συστήματος είναι μια σύνθετη διαδικασία που απαιτεί υπομονή. Η διαδικασία ρύθμισης συνοπτικά περιγράφει την παραγωγή αμμωνίας στο σύστημα εκτροφής ώστε να αποτελέσει πηγή τροφής για την νέα αποικία βακτηρίων στο φίλτρο. Η πρόοδος προσδιορίζεται διαμέσου μετρήσεων των επιπέδων αζώτου.

Σ' ένα σύστημα ενυδρειοπονίας η διαδικασία λαμβάνει χώρα μια φορά αλλά υπάρχει περίπτωση να χρησιμοποιηθεί το υπάρχων βιολογικό φίλτρο κατά την διαδικασία εκκίνησης ενός νέου συστήματος ενυδρειοπονίας. Είναι σημαντικό να κατανοηθεί ότι κατά τη διάρκεια της ρύθμισης υψηλά επίπεδα αμμωνίας και νιτρωδών θα κάνουν την εμφάνισή τους, τα οποία θα μπορούσε να είναι επιβλαβή για τα ψάρια. Επίσης ένα σύστημα ενυδρειοπονίας θα πρέπει να προστατεύεται από το φως κατά την διαδικασία έναρξης της ρύθμισης (Spotte 1992, Crites et al.2006, Storey 2012).

Όταν στο σύστημα παραχθεί η αμμωνία γίνεται αρχική πηγή τροφής για νιτροποιητικά βακτήρια που οξειδώνουν την αμμωνία σε νιτρώδη ιόντα (AOB). Τα βακτήρια υπάρχουν σε αφθονία στη ξηρά, στο νερό και στον αέρα. Σε διάστημα 5-7 ημερών μετά την αρχική προσθήκη αμμωνίας, τα βακτήρια (AOB) αναπτύσσονται και οξειδώνουν την παραγόμενη συγκέντρωση της αμμωνίας σε νιτρώδη ιόντα. Η αμμωνία προστίθεται συνεχώς στο σύστημα, αλλά προσεκτικά ώστε να εξασφαλίζεται επαρκή τροφή για την αποικία των βακτηρίων χωρίς να γίνεται όμως τοξική. Μετά από διάστημα 5-7 ημερών τα επίπεδα των νιτρωδών ιόντων αυξάνονται, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούν τα βακτήρια (NOB) που οξειδώνουν τα νιτρώδη ιόντα σε νιτρικά ιόντα.

Καθώς η αποικία των βακτηρίων αυξάνει τότε τα επίπεδα των νιτρωδών ιόντων αρχίζουν να μειώνονται καθώς οξειδώνονται σε νιτρικά ιόντα. Η πλήρης βιοχημική διεργασία της νιτροποίησης περιγράφεται στην Εικόνα 7 η οποία δείχνει την τάση της

αμμωνίας, των νιτρώδων και των νιτρικών ιόντων στο νερό τις πρώτες 20-25 ημέρες ρύθμισης του συστήματος (Spotte 1992, Vlahos et al.2004).



Εικόνα 7. Ρύθμιση ενός βιολογικού φίλτρου συστήματος ενυδρείοπονίας (Πηγή Vlahos et al. 2004)

Η διαδικασία ρύθμισης του συστήματος ολοκληρώνεται όταν τα νιτρικά ιόντα σταθεροποιηθούν και είναι σε ανοδική πορεία, τα νιτρώδη ιόντα είναι 0 mg/L και η αμμωνία είναι μικρότερη από 1mg/L. Η διαδικασία ολοκληρώνεται σε διάστημα 25-40 ημερών, αλλά εάν η θερμοκρασία του νερού είναι χαμηλή (κρύο νερό) η διαδικασία ολοκληρώνεται μετά από 60 ημέρες (2 μήνες). Σε αυτό το σημείο, μια ικανοποιητική αποικία βακτηρίων έχει σχηματιστεί η οποία είναι ενεργή και μετατρέπει την αμμωνία σε νιτρικά ιόντα. Ο λόγος για τον οποίο αυτή η διαδικασία είναι μακρά είναι εξαιτίας των νιτροποιητικών βακτηρίων τα οποία αναπτύσσονται σχετικά αργά, απαιτώντας 10-15 h για να διπλασιαστούν σε πληθυσμό. Ωστόσο, ορισμένα ετερότροφα βακτήρια μπορούν να διπλασιαστούν σε 20 min (Huguenin & Colt 2002).

Οι έμποροι λιανικής πώλησης σε καταστήματα ενυδρείων ή ιχθυοκαλλιέργειας εμπορεύονται διάφορα προϊόντα που περιέχουν καλλιέργεια νιτροποιητικών βακτηρίων τα οποία μόλις προστεθούν στο σύστημα αυξάνονται άμεσα. Το μειονέκτημα των σκευασμάτων αυτών είναι το αυξημένο κόστος τους. Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθούν βακτήρια από άλλο σύστημα ενυδρείοπονίας που λειτουργεί ικανοποιητικά με αποτέλεσμα να μειώνει το χρόνο που απαιτείται να ρυθμιστεί το σύστημα. Μπορεί να είναι χρήσιμο να χρησιμοποιηθεί ένα υλικό το οποίο να είναι

συνεχόμενα βυθισμένο σε ένα διάλυμα που περιέχει 2-3 mg/L αμμωνίας για μερικές εβδομάδες εκ των προτέρων. Ένα μικρό φίλτρο καταιονισμού μπορεί να δημιουργηθεί χρησιμοποιώντας πλαστικά υλικά τα οποία είναι βυθισμένα σε διάλυμα αμμωνίας το οποίο θα χρησιμοποιεί ένα μικρό κυκλοφορητή ενυδρείου για την ανακύκλωση (Timmons & Losordo 1994).

Πολλοί προκειμένου να ρυθμιστεί το σύστημα χρησιμοποιούν ψάρι ως αρχική πηγή αμμωνίας σε μια νέα δεξαμενή. Παρόλα αυτά τα ψάρια στρεσάρονται από την επίδραση των υψηλών επιπέδων αμμωνίας και των νιτροδών ιόντων που υπάρχει στο σύστημα. Αρχάριοι ενυδρειολόγοι δεν διαθέτουν την υπομονή μέχρι τη ρύθμιση του συστήματος με αποτέλεσμα να κυριεύονται από το «σύνδρομο του αρχάριου» χρησιμοποιώντας ψάρια σε μικρές πυκνότητες μικρότερες από 1 kg/m³.

Άλλοι τρόποι δημιουργίας αμμωνίας σ' ένα σύστημα, είναι η προσθήκη τροφής, τα απόβλητα ψαριών (πχ ουρία), η καθαρή αμμωνία ή χλωριούχο αμμώνιο και το νιτρικό αμμώνιο τα οποία χρησιμοποιούνται ως τροφή από την αποικία των βακτηρίων. Οι πηγές ανεξάρτητα με τον τρόπο και τη συγκέντρωση που χρησιμοποιούνται παρουσιάζουν πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματα ενώ υπάρχουν τροφές που είναι περισσότερο ασφαλείς σε σχέση με άλλες. Η καλύτερη πηγή αμμωνίας είναι η προσθήκη τροφής ψαριών διότι βιολογικά είναι ασφαλείς και ελέγχονται εύκολα τα επίπεδα της αμμωνίας που παράγονται (Spotte 1992).

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν προϊόντα οικιακής αμμωνίας, αλλά βεβαιωθείτε ότι το προϊόν είναι 100% αμμωνία και δεν περιλαμβάνει άλλα συστατικά όπως απορρυπαντικά, χρωστικές ουσίες ή βαρέα μέταλλα γιατί μπορεί να καταστρέψει ολόκληρο το σύστημα. Η προσθήκη της αμμωνίας συνίσταται να γίνεται αργό ρυθμό και κατ' επέκταση θα πρέπει να παρακολουθούνται τα επίπεδα αζώτου κάθε 2-3 ημέρες. Η αμμωνία θα πρέπει να κυμαίνεται από 1 έως 2 mg/L (Vlahos et al. 2004).

Ο έλεγχος για τη ρύθμιση ενός συστήματος γίνεται με τη βοήθεια μιας γραφικής παράστασης με ημερήσιες μετρήσεις ενώ κατά τη διαδικασία ρύθμισης συνίσταται να μην προστίθενται αμμωνία. Σε περίπτωση που η αμμωνία υπερβεί τα 3 mg/L καλό θα ήταν να γίνονται αλλαγές νερού προκειμένου να διαλύεται η αμμωνία και να αναστέλλεται η ανάπτυξη των βακτηρίων (Spotte 1992, Crites et al. 2006).

Φυτά και ψάρια προστίθενται μόνο όταν ο κύκλος του αζώτου ολοκληρώνεται και το σύστημα όπως αναλύθηκε παραπάνω ρυθμίζεται. Τα φυτά μπορούν να προστεθούν λίγο νωρίτερα, αλλά αναμένεται ελλείψει θρεπτικών συστατικών εξαιτίας

της μη ρύθμισης του συστήματος και του χρονικού διαστήματος που απαιτείται ώστε τα θρεπτικά να φθάσουν σε βέλτιστες συγκεντρώσεις.

Όταν τα επίπεδα της αμμωνίας και των νιτρωδών είναι μικρότερα από 1 mg/L είναι ασφαλές να προστίθενται σταδιακά τα ψάρια. Σε περίπτωση που τα ψάρια έχουν προστεθεί στο σύστημα είναι πολύ πιθανόν να παρατηρηθεί δευτερογενώς αμμωνία και νιτρώδη ιόντα σε μεγαλύτερη συγκέντρωση. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας των νέο-εισερχόμενων ψαριών επειδή ο αριθμός τους είναι πολύ περισσότερος από την παραγόμενη συγκέντρωση αμμωνίας στο σύστημα. Συνεχίζοντας τον έλεγχο των επιπέδων των αζωτούχων παραγώγων και να είμαστε σε θέση να γίνει αλλαγή νερού σε περίπτωση που η αμμωνία και τα νιτρώδη ιόντα είναι περίπου στο 1 mg/L ενώ το σύστημα συνεχίζει να λειτουργεί (Spotte 1992, Timmons & Losordo 1994, Crites et al. 2006).

4.2. Νιτροποιητικά βακτήρια και Φίλτρα

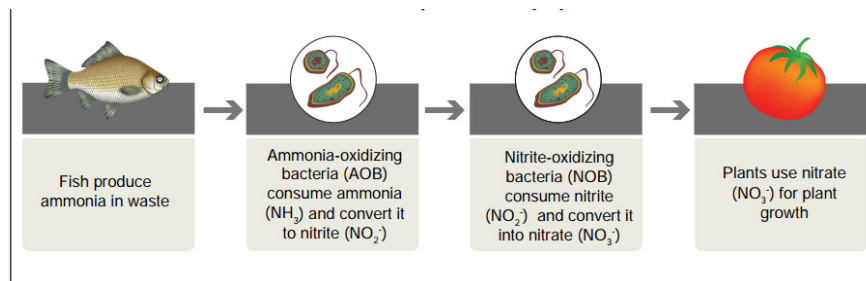
Ο ρόλος των νιτροποιητικών βακτηρίων σε σχέση με τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε ένα σύστημα Ενυδρειοπονίας είναι η μετατροπή της παραγόμενης ποσότητας αμμωνίας από τα απόβλητα των ψαριών, σε νιτρώδη και νιτρικά ιόντα (Εικ.8). Πραγματοποιείται σε δύο στάδια εκ των οποίων το πρώτο αφορά την οξείδωση της αμμωνίας σε νιτρώδη ιόντα με τη βοήθεια των βακτηρίων του γένους *Nitrosomonas* (AOB-ammonia oxidizing bacteria), (Crites et al. 2006, Storey 2012).

Το δεύτερο στάδιο αφορά την οξείδωση των νιτρωδών ιόντων σε νιτρικά ιόντα μέσου των βακτηρίων *Nitrobacter* (NOB-nitrite oxidizing bacteria). Υπάρχουν πολλά είδη βακτηρίων που ανήκουν σε αυτά τα δυο γένη με ελάχιστες διαφορές που παρατηρούνται μεταξύ τους. Η διαδικασία της νιτροποίησης περιγράφεται παρακάτω:

- AOB βακτήρια τα οποία οξειδώνουν την αμμωνία (NH_3) σε νιτρώδη ιόντα (NO_2^-)
- NOB βακτήρια τα οποία μετατρέπουν τα νιτρώδη ιόντα (NO_2^-) σε νιτρικά ιόντα (NO_3^-)

Η νιτροποίηση και κατ' επέκταση μια υγιείς καλλιέργεια βακτηρίων είναι απαραίτητη για ένα λειτουργικό σύστημα Ενυδρειοπονίας. Τα νιτροποιητικά βακτήρια αναπαράγονται με αργό ρυθμό ώστε να δημιουργούν αποικίες, οι οποίες χρονικά απαιτούνται ημέρες ή και εβδομάδες και συνεπώς η υπομονή είναι από τους βασικούς

παράγοντες διαχείρισης ενός συστήματος Ενυδρειοπονίας. Πολλά ενυδρεία και συστήματα Ενυδρειοπονίας έχουν αποτύχει εξαιτίας της αυξημένης πυκνότητας που πιθανόν να προστέθηκαν στο σύστημα πριν την αποικία των βακτηρίων αναπτυχθεί πλήρως. Υπάρχουν διάφοροι άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τα νιτροποιητικά βακτήρια. Γενικά η ανάπτυξη των βακτηρίων προϋποθέτει καλές συνθήκες ποιότητας νερού και η ανάπτυξη της αποικίας να γίνεται σε σκοτεινό θάλαμο με επαρκή τροφή και οξυγόνο. Επίσης πολύ συχνά, τα βακτήρια που σχηματίζουν ένα λεπτό, ανοικτό καφέ ή μπεζ σημείο στο βιοφίλτρο, και έχουν μια χαρακτηριστική οσμή που είναι δύσκολο να περιγραφεί και θα μπορούσε εύκολα να υποδείξει άλλους μικροοργανισμούς (Crites et al. 2006, Storey 2012).



Εικόνα 8. Διαδικασία νιτροποίηση στα ενυδρειοπονικά συστήματα (Πηγή: <http://teca.fao.org/read/8398>).

4.3. Βιολογική επιφάνεια (BSA) στα συστήματα Ενυδρειοπονίας-Υπολογισμός

Η Ενυδρειοπονία είναι μια μέθοδος που στηρίζεται αφενός μεν στην αύξηση της παραγωγικής διαδικασίας, στην αυξημένη απόδοση αλλά και σ' ένα υγιεινό τρόπο παραγωγής φυτών (χωρίς λιπάσματα). Η απόδοση ενός συστήματος ενυδρειοπονίας εξαρτάται από την πολυπλοκότητα που παρουσιάζει το σύστημα ως προς τον κύκλο των θρεπτικών ουσιών αλλά και τη ισορροπία που αναπτύσσεται ανάμεσα στους οργανισμούς και στο περιβάλλον το οποίο διαβιούν και αναπτύσσονται οι οργανισμοί.

Σημαντικό ρόλο στα συστήματα ενυδρειοπονίας παίζει ρόλο το η λειτουργία και η αποδοτικότητα του βιολογικού φίλτρου, η οποία εξαρτάται εκτός των άλλων από τη ειδική (βιολογική) επιφάνεια (SSA ή BSA) του μέσου πλήρωσης του φίλτρου όπου επιτρέπει να αναπτύσσονται ειδικές συνθήκες για την αύξηση των νιτροποιητικών βακτηρίων με αποτέλεσμα να αποφεύγονται λάθη που εστιάζονται κυρίως ως προς τη ρύθμιση του βιολογικού φίλτρου (Crites et al. 2006).

4.3.1.Χαρακτηριστικά της ειδικής βιολογικής επιφάνειας (BSA- SSA)

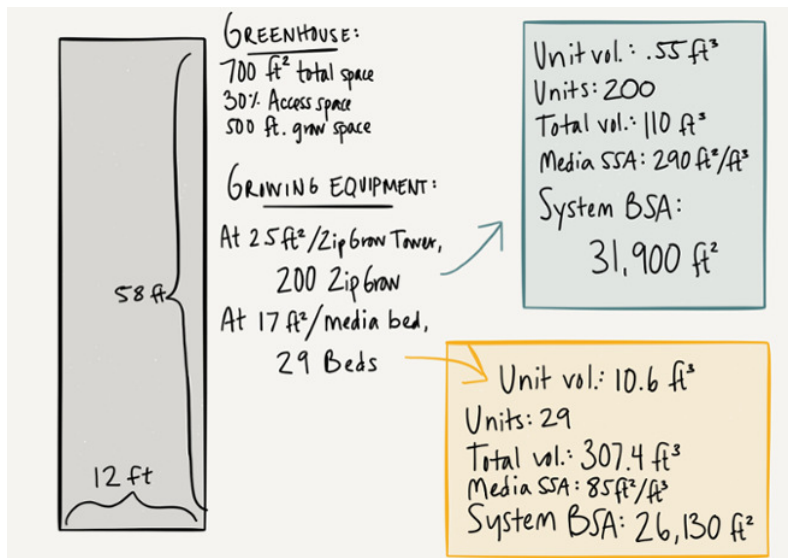
Ο όρος ειδική επιφάνεια περιγράφει τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του βιολογικού φίλτρου. Δηλαδή περιγράφει την επιφάνεια που δημιουργείται από το υλικό πλήρωσης (τύπος και μέγεθος) πάνω στην οποία αναπτύσσονται βακτήρια (νιτροποιητικά) τα οποία οξειδώνουν την παραγόμενη αμμωνία σε νιτρώδη ιόντα και νιτρικά ιόντα και αποτελούν τις μηχανές ενός υγιούς συστήματος ενυδρειοπονίας. Τα βακτήρια όπως αναφέρθηκε συνδράμουν στην διεργασία της νιτροποίησης και ανοργονοποίησης υλικών όπως ο σίδηρος που συμβάλει στην υγιή ανάπτυξη των φυτών και εν γένει του συστήματος εκτροφής.

4.4.Υπολογισμός ειδικής επιφάνειας (SSA)

Για να κατανοηθεί πλήρως η μέτρηση της ειδικής επιφάνειας, θα πρέπει επίσης να κατανοηθεί η επιφάνεια που καταλαμβάνει το σύστημα εκτροφής. Η τιμή SSA μετράται ως ο αριθμός τετραγωνικών μέτρων ανά κυβικό μέτρο (m^2 / m^3) και περιγράφει την επιφάνεια που καταλαμβάνει το υλικό πλήρωσης σε σχέση με τον όγκο του φίλτρου. Όταν υπολογιστεί η συγκεκριμένη επιφάνεια, τότε πολλαπλασιάζουμε την ειδική επιφάνεια (SSA) με τον όγκο των καλύπτει το φίλτρο προκειμένου να υπολογιστεί η περιοχή της βιολογικής επιφάνειας (Crites et al. 2006).

Ένα θερμοκήπιο 700 ft^2 αφήνουμε χώρο 30% για πρόσβαση και συντήρηση, και απομένουν 500 ft^2 αυξανόμενο χώρο. Ας ρίξουμε μια ματιά σε δύο αναπτυσσόμενα συστήματα μέσα σε αυτό το διάστημα (Εικ. 9):

Για παράδειγμα σε δύο διαφορετικούς τύπους φίλτρων χρησιμοποιούν διαφορετικό υλικό πλήρωσης. Το πρώτο φίλτρο (ZipGrow Towers) (Storey 2012) χρησιμοποιεί ως υλικό πλήρωσης Matrix Media το οποίο καταλαμβάνει ειδική επιφάνεια $SSA 290 \text{ ft}^2/\text{ft}^3$ και το δεύτερο φίλτρο χρησιμοποιεί ως υλικό πλήρωσης χαλίκια τα οποία καλύπτουν ειδική επιφάνεια $SSA 85 \text{ ft}^2/\text{ft}^3$. Ένας άλλος παράγοντας ο οποίος θα πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι ο διαθέσιμος χώρος των βακτηρίων για κάθε m^2 βιολογικής ειδικής επιφάνειας (BSA).



Εικόνα 9. Σχηματικός τρόπος υπολογισμού της επιφάνειας ενός φίλτρου συστήματος ενυδρείοπονίας

Ο υπολογισμός του BSA συνεισφέρει στο να κατανοηθεί εάν στο σύστημα υπάρχουν περισσότερα ή λιγότερα ψάρια ώστε να γίνει περισσότερο αποδοτικό. Ο λόγος BSA/SSA μας δείχνει πόσο πιο αποδοτικό και λειτουργικό είναι ένα βιολογικό φίλτρο (Crites et al. 2006). Όπως μπορούμε να διαπιστώσουμε από τον Πίνακα 2 διαφορετικά υλικά πλήρωσης που χρησιμοποιούνται στα συστήματα ενυδρείοπονίας διαθέτουν διαφορετική ειδική επιφάνεια (SSA).

Πίνακας 2. Ειδική επιφάνεια για διαφορετικό υλικό πλήρωσης

μέγεθος		Ειδική Επιφάνεια			Λόγος κενού (πορότητα) (%)	Υδραυλική αγωγιμότητα (m/d)
Τύπος υλικού	in	mm	ft ² ft ⁻³	m ² m ⁻³		
άμμος	0.12	3	270	886	40	1
Pea Gravel	0.57	14.5	85	280	28	104
χαλίκι	1	25	21	69	40	105
Μεγάλο χαλίκι	4	102	12	39	48	106
Πλαστικό υλικό	1	25	85	280	90	107
Πλαστικό υλικό	2	50	48	157	93	108
Πλαστικό υλικό	3.5	89	38	125	95	108
ZipGrow Matrix media	N/A	N/A	290	960	91	107*

* υπολογίζεται ότι είναι περίπου ίση με εκείνη μικρής διαμέτρου των πλαστικών στο φίλτρο.

Αυτές οι μελέτες είναι ιδιαίτερα σημαντικές γιατί συμβάλουν στον επανασχεδιασμό εξέλιξης του βιολογικού φίλτρου, ώστε να επαναπροσδιοριστούν οι ιδιότητες του μέσου πλήρωσης του βιολογικού φίλτρου που σχετίζονται με την αποδοτικότητα του φίλτρου. Στη βιβλιογραφία περιγράφεται η χρησιμότητα της αντίστροφης σχέσης που υπάρχει ανάμεσα στον τύπο και το μέγεθος του υλικού που χρησιμοποιείται καθώς και στην ειδική επιφάνεια (SSA, m^2/m^3) που δημιουργείται. Αυτό οφείλεται στη σχέση που αναπτύσσεται μεταξύ διήθησης και SSA που αποτελεί χαρακτηριστικό των περισσότερων αδρανών υλικών. Καθώς το μέγεθος σωματιδίων του υλικού γίνεται μικρότερο η ειδική επιφάνεια αυξάνεται, δηλαδή ο λόγος της επιφάνειας προς τον όγκο αυξάνεται.

Οι Crites *et al.*(2006) αναφέρουν για παράδειγμα την ειδική επιφάνεια των παρακάτω υλικών που χρησιμοποιούνται κατά κόρον στην Ενυδρειοπονία είναι τα εξής:

- Μεσαίο μέγεθος άμμου διαμέτρου 3 mm, έχει ειδική επιφάνεια SSA= 886 m^2/m^3
- pea χαλίκι διαμέτρου 14,5 mm, έχει ειδική επιφάνεια SSA=280 m^2/m^3
- Μεσαίος τύπος χαλικιού διαμέτρου 25mm, και ειδική επιφάνεια SSA=69 m^2/m^3
- Μεγάλος τύπος χαλικιού (κροκάλα) διαμέτρου 102 mm και ειδική επιφάνεια SSA=39 m^2/m^3

Αυτό οφείλεται κυρίως στις διαφορές που παρατηρούνται μεταξύ των πρότυπων μέτρησης και ταξινόμησης. Οι τιμές αυτές ερμηνεύουν ότι τα μικρότερα σωματίδια είναι καλύτερα να χρησιμοποιούνται στα φίλτρα των κλειστών συστημάτων (RAS) εξαιτίας των υψηλότερων ποσών στην ειδική επιφάνεια SSA που διαθέτουν (Crites *et al.* 2006).

Τα μικρά μεγέθη υλικών πλήρωσης παγιδεύουν τα στερεά πολύ αποτελεσματικότερα και ταχέως απομακρύνονται συσσωρευμένα σωματίδια, και οδηγούν σε αναερόβιες συνθήκες και χαμηλότερες συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου (DO) που αρνούνται τα οφέλη του μικρού μεγέθους σωματιδίων.

Η χαμηλή υδραυλική αγωγιμότητα και το μικρό μέγεθος των πόρων (χαμηλό κενό κενό/κενό κλάσμα) καθιστά τα μέσα μικρών σωματιδίων ακατάλληλα για τα περισσότερα βιολογικά φίλτρα.

Για την αποφυγή αυτού του προβλήματος, χρησιμοποιούνται ευρύτερα μεγέθη σωματιδίων (τεμαχισμένος γρανίτης 17 mm ή τεμαχισμένος γρανίτης 3,7 cm) με

υψηλότερες αναλογίες κενού (και προκύπτουσα υψηλή υδραυλική αγωγιμότητα) έτσι ώστε τα στερεά να έχουν μικρότερη επίδραση στη διήθηση.

Εν τούτοις, αν και αυτά τα θρυμματισμένα συσσωματώματα έχουν σημαντικά υψηλότερο SSA θρυμματισμένα υλικά πλήρωσης, η ειδική επιφάνεια των φίλτρων (SSA) εξακολουθεί να είναι συγκριτικά χαμηλή, με αποτέλεσμα τη μείωση της συνολικής βιολογικής επιφάνειας του συστήματος (BSA ή συνολική επιφάνεια του συστήματος μετρημένη σε m^2).

4.5.Υπολογίζοντας την Βιολογική Ειδική Επιφάνεια (B.S.A)

Απαραίτητη προϋπόθεση για τον υπολογισμό της βιολογικής επιφάνειας που καλύπτουν τα βακτήρια είναι ότι η ειδική βιολογική επιφάνεια που καλύπτουν τα βακτήρια είναι $0,23m^2$ βιολογικής επιφάνειας για κάθε λίτρο νερού (σε χαμηλές ιχθυοφορτίσεις και σε συστήματα που χρησιμοποιούνται χαμηλά επίπεδα διατροφής. Για ένα υγιές σύστημα προτείνεται η βιολογική επιφάνεια που καλύπτει το φίλτρο είναι $0,93 m^2/L$ νερού ή $9,290 m^2/kg$ ψαριού. Για παράδειγμα εάν στο σύστημα η βιομάζα είναι $0,45 kg/ 40 L$ νερού (Crites et al. 2006). Όπου για κάθε κιλό ψαριού χρειαζόμαστε βιολογική επιφάνεια $2,32 m^2$ βιολογικής επιφάνειας (BSA), το οποίο αντιστοιχεί στο ποσό που απαιτείται για την εξουδετέρωση της αμμωνίας.

Γενικά τα συστήματα που λειτουργούν είναι περισσότερο αποδοτικά στην οξείδωση των αποβλήτων η οποία οφείλεται στην αυξημένη βακτηριακή πυκνότητα η οποία έχει αναπτυχθεί και παραμένει σταθερή, σε αντίθεση με τα νεότερα συστήματα που είναι σε λειτουργία όπου απαιτούν περισσότερο βιολογικό υλικό και κατ' επέκταση απαιτούν περισσότερο βιολογική ειδική επιφάνεια (BSA), η οποία βοηθά τη διαδικασία της νιτροποίησης. Ένα υγιές σύστημα ενυδρειοπονίας απαιτεί περισσότερο βιολογική επιφάνεια (BSA), η οποία είναι η ζωή του συστήματος ενυδρειοπονίας (Crites et al.2006).

4.5.1.Πύργος Zip grow

Το σύστημα Zip Grow πύργος σχεδιάστηκε για τις ανάγκες των συστημάτων Ενυδρειοπονίας λόγω της μεγάλης ειδικής επιφάνειας (SSA), βιολογικής επιφάνειας (BSA) και αυξημένη πορότητα (ϵ) που διαθέτει (Εικ.10) με αποτέλεσμα να αυξάνει η πυκνότητα των βακτηρίων και να διατηρούν το σύστημα υγιές. Η υψηλή ειδική

επιφάνεια που διαθέτει το υλικό (SSA) σε συνδυασμό με την υψηλή πορότητα (διάκενο) που παρουσιάζει 91% επιτρέπει το νερό και τα στερεά να ρέουν διαμέσου του πύργου εύκολα με αποτέλεσμα να αυξάνει την παραγωγικότητα του συστήματος (Storey 2012).

Ο πίνακας 3, παρουσιάζει την αυξημένη ειδική επιφάνεια που παρουσιάζουν ο πύργος Zip Grow.

Πίνακας 3. Ειδική επιφάνεια που παρουσιάζει ο πύργος Zip Grow.

Τύπος	Μέγεθος σωματιδίου		Ειδική επιφάνεια			Υδραυλική αγωγιμότητα (m/d)
	in	mm	ft ² /ft ³	m ² /m ³	πορότητα (%)	
ZipGrow Matrix media	N/A	N/A	290	960	91	107*

*N/A:όχι διαθέσιμα



Εικόνα 10. Zip Grow πύργος που χρησιμοποιείται στα συστήματα ενυδρείοπονίας (Πηγή: <https://blog.brightagrotech.com/what-is-a-zipgrow-tower>).

4.6.Ελέγχοντας της ενεργής δράσης των βακτηρίων

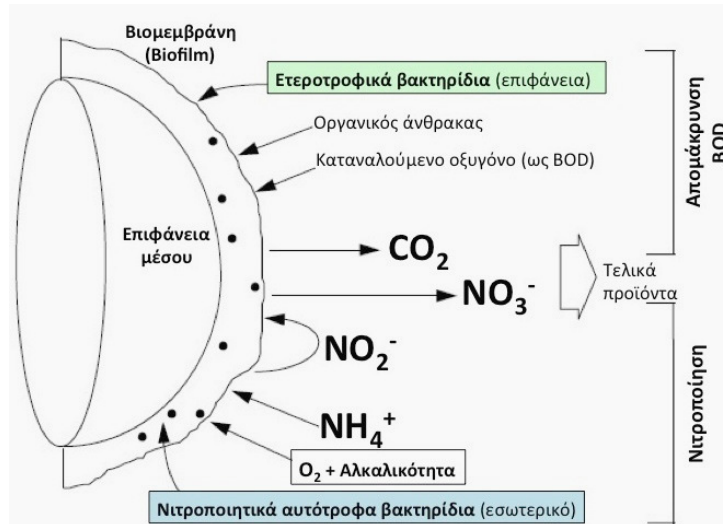
Εάν όλες οι προαναφερθείσες παράμετροι τηρούνται με ασφάλεια τότε τα βακτήρια λειτουργούν σε ικανοποιητικό βαθμό. Τα βακτήρια είναι σημαντικά για τα συστήματα ενυδρειοπονίας και συνεπώς θα πρέπει να γνωρίζουμε την κατάσταση στην οποία βρίσκονται δεδομένου ότι δεν είναι ορατά μακροσκοπικά θα πρέπει να ελέγχονται έμμεσα μέσω χημικού προσδιορισμού της αμμωνίας, των νιτρωδών και νιτρικών ιόντων του νερού (Crites et al. 2006).

Οι πληροφορίες που αντλούμε σχετίζονται με την ανάπτυξη της αποικίας των βακτηρίων. Στα ισορροπημένο συστήματα ενυδρειοπονίας η αμμωνία και τα νιτρώδη ιόντα δεν θα πρέπει να ξεπερνούν τις τιμές 0-1 mg/L. Σε περίπτωση που είναι αναγνέσιμα τότε υποδεικνύει πρόβλημα με τα νιτροποιητικά βακτήρια. Αυτό πιθανόν να οφείλεται σε δυο λόγους εκ των οποίων ο πρώτος να οφείλεται στην μικρή αποδοτικότητα του φίλτρου (μικρό σε μέγεθος φίλτρο) το οποίο δεν μπορεί να δεχθεί την ποσότητα των ψαριών και της ποσότητας τροφής. Το οποίο συνεπάγεται σε μια μη ισορροπημένη κατάσταση που δημιουργείται από το μεγάλο αριθμό ψαριών που υπάρχει στο σύστημα με αποτέλεσμα να μην μπορεί το φίλτρο να τα διατηρεί (Spotte 1992).

Δηλαδή η οξειδωτική ικανότητα του φίλτρου να είναι μικρότερη από το φορτίο ρύπανσης που δημιουργείται από τα ψάρια. Επίσης μια δεύτερη εξήγηση είναι ότι το φίλτρο δεν έχει ρυθμιστεί με αποτέλεσμα να δημιουργούνται τέτοιου είδους προβλήματα. Σε περίπτωση που αυτό παρατηρείται σε ένα ισορροπημένο και ρυθμισμένο σύστημα πιθανόν τα οφείλεται στα ίδια τα βακτήρια τα οποία δεν λειτουργούν σωστά. Και αυτό να αναδεικνύει πρόβλημα με την ποιότητα του νερού και συνεπώς θα πρέπει να ελέγχονται καθημερινά οι φυσικοχημικοί παράγοντες του νερού που αναλύθηκαν στην προηγούμενη ενότητα. Συχνά αυτό παρατηρείται σε περιόδους που η θερμοκρασία μεταβάλλεται απότομα (μείωση) και να επηρεάζεται η ενεργή δράση των βακτηρίων (Spotte 1992, Crites et al.2006, Storey 2012).

Η ανάγκη για οξυγόνωση του βιολογικού φίλτρου δεν προκύπτει μόνο από την κάλυψη των αναπνευστικών αναγκών των αερόβιων βακτηριδίων αλλά και από τον ανταγωνισμό για αποικισμό του φίλτρου και από αναερόβια ετερότροφα βακτηρίδια τα οποία αν βρουν ευνοϊκές συνθήκες (έλλειψη οξυγόνου) θα πολλαπλασιαστούν και θα στερήσουν θέσεις ανάπτυξης στις επιφάνειες από τα αερόβια (Εικ.11). Βέβαια όσο οξυγόνο και αν υπάρχει, αυτό θα συμβαίνει σε κάποιο βαθμό, διότι στο στρώμα (φίλμ) των βακτηριδίων που αναπτύσσονται στην επιφάνεια των μέσων το άνω στρώμα θα

αποτελείται από αερόβια νιτροποιητικά ενώ τα κατώτερα από αναερόβια τα οποία βέβαια θα επιτελούν και κάποιο βαθμό απονιτροποίησης. Μια τέτοια κατάσταση δεν αποτελεί πρόβλημα διότι η ανάπτυξή τους σε ένα καλά οξυγονωμένο φίλτρο δεν τους επιτρέπει να επικρατήσουν.



Εικόνα 11. Πηγές ενέργειας διαφόρων μικροοργανισμών που αναπτύσσονται στην επιφάνεια ενός κόκκου μέσου πλήρωσης ενός βιολογικού φίλτρου (Πηγή: <http://teca.fao.org/read/8398>).

Ο ανταγωνισμός με τα αυτότροφα βακτήρια συνεχίζει να υφίσταται ακόμη και σε πολύ καλές συνθήκες αερισμού μιας και αυτά χρησιμοποιούν το πλούσιο σε οργανικά νερό για να το μεταβολίζουν παράγοντας διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και αμμωνία (NH₃). Αυτό επηρεάζει την ανάπτυξη αποικιών των νιτροποιητικών βακτηρίων με αποτέλεσμα να επιβαρύνουν το σύστημα με παραγωγή νέου CO₂ και NH₃.

Κεφάλαιο 5:

Τεχνικά χαρακτηριστικά βιολογικού Φίλτρου- Υδραυλικό Φορτίο

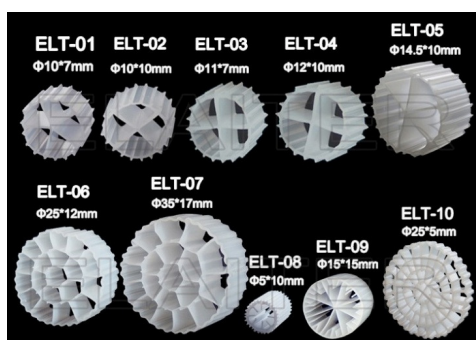
5.1. Βακτήρια και Ενυδρειοπονία

Τα βακτήρια σ' ένα σύστημα ενυδρειοπονίας λειτουργούν ως ο ενδιάμεσος συνδετικός κρίκος μεταξύ των αποβλήτων των ψαριών και των θρεπτικών που λαμβάνουν τα φυτά για την ανάπτυξή τους διαμέσου της οξειδωσης της αμμωνίας σε νιτρώδη και νιτρικά ιόντα αντίστοιχα.

Η ενεργή δραστηριότητα των ετερότροφων βακτηρίων έχει μελετηθεί εκτενώς από πολλούς ερευνητές και συγκεκριμένα η επίδρασή τους στην απομάκρυνση της αμμωνίας από τα απόβλητα των ψαριών. Ειδικότερα ενδιαφέρει ο χρόνος του κύκλου ζωής των βακτηρίων και η επίδρασή τους στην δημιουργία ενός νέου συστήματος ενυδρειοπονίας (Crites et al. 2006).

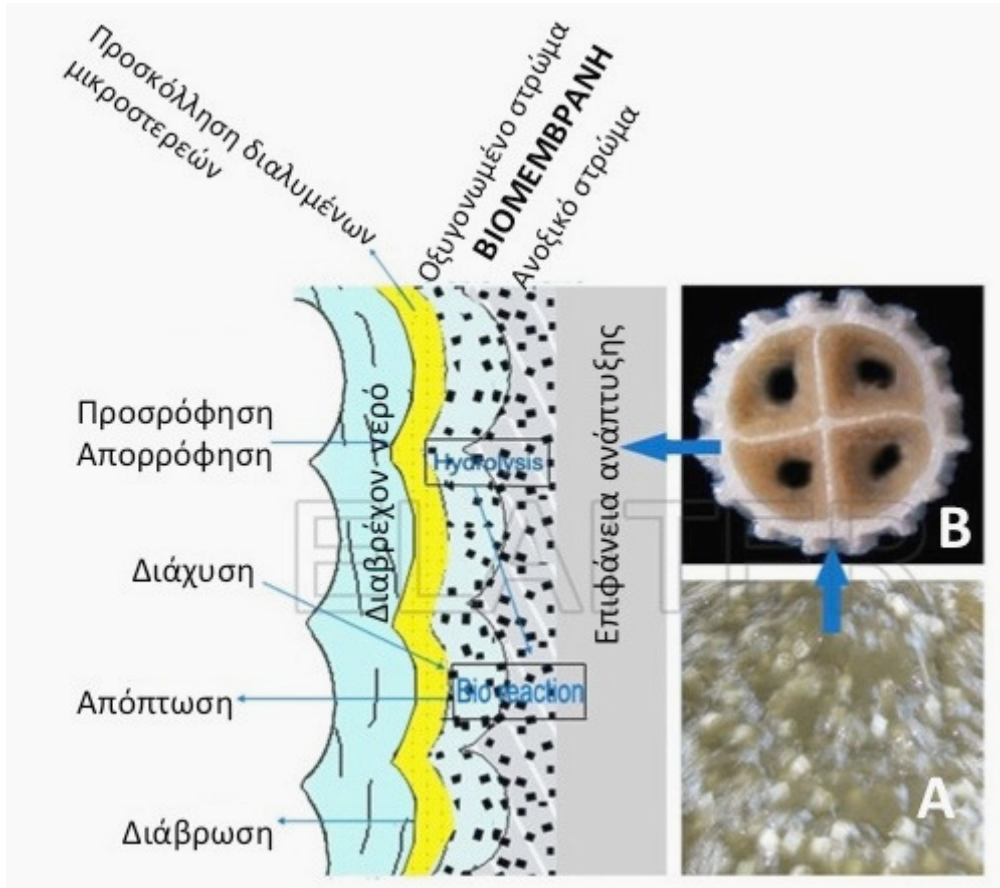
5.2.Υλικά πλήρωσης φίλτρου

Τα υλικά πλήρωσης (Εικ.12) των βιολογικών φίλτρων είναι κατάλληλα για όλα τα είδη των μικροοργανισμών ώστε να αναπτύσσονται ραγδαία προκειμένου να διαλύουν τα οργανικά που υπάρχουν στο νερό (Πιν.4 & Πιν.5). Η μεγάλη επιφάνεια (Εικ.13), η άριστη υφροφιλικότητα, η υψηλή δραστηριότητα, η αύξηση του χρόνου ζωής και η καλή θεραπεία συγκαταλέγονται στα πλεονεκτήματά τους (Crites et al. 2006, Storey 2012).



Εικόνα 12.Υλικά πλήρωσης που χρησιμοποιούνται στα φίλτρα trickling (Πηγή: www.elaiter.en.alibaba.com).

Το trickling φίλτρο χρησιμοποιείται στην πλειοψηφία των συστημάτων εκτροφής. Αποτελείται από μια σταθερή κλίνη πλαστικών υλικών από τα οποία τα απόβλητα ρέουν καθοδικά με αποτέλεσμα κενό να συσσωρεύεται ένα στρώμα μικροβιακού φορτίου (λάσπη) η οποία καλύπτει την κλίνη των μέσων όπου και τη φράζει (Εικ.14), (Crites et al. 2006, Storey 2012).



Εικόνα 13. Διαδικασία συσσώρευσης μικροβιακού φορτίου στο υλικό πλήρωσης (Πηγή: www.elaiter.en.alibaba.com)








Εικόνα 14. Υλικό πλήρωσης φίλτρου (Πηγή: www.elaiter.en.alibaba.com)






Οι αερόβιες συνθήκες διατηρούνται με εκτόξευση, με διάχυση είτε με αέρα υπό πίεση που ρέει διαμέσου της κλίνης ή με φυσική μεταφορά αέρα, εάν το υλικό

πλήρωσης του φίλτρου έχει πορώδες. Τα φίλτρα trickling χρησιμοποιούνται ευρέως στο βιολογικό φίλτρο επεξεργασίας αποβλήτων στις μονάδες υδατοκαλλιέργειας γλυκού και θαλασσινού νερού, στην εκτροφή Κοί και στη βιολογική επεξεργασία αποβλήτων (Crites et al. 2006).

Πίνακας 4. Χαρακτηριστικά υλικών πλήρωσης που χρησιμοποιούνται στα βιολογικά φίλτρα.

Model	ELT-01	ELT-02	ELT-03	ELT-04	ELT-05
Photo					
Size (mm)	Φ10×7	Φ10×10	Φ11×7	Φ12×10	Φ14.5×10
Room numbers (PCS)	4 or 5	4 or 5	4	4	6
Surface area(m ² /m ³)	>1000	>850	>900	>800	>650
Specific gravity(g/cm ³)	>0.96	>0.96	>0.96	>0.96	>0.96
Voidage ratio (%)	>80	>85	>85	>86	>88
Dosing ratio (%)	15-60	15-60	15-60	15-60	15-60
Heaping number (PCS/m ³)	522,000	365,000	474,000	304,000	260,000
Biofilm forming time (Days)	3-15	3-15	3-15	3-15	3-15
Nitrification efficiency (Kg NH ₄ -N/m ³ ·day)	0.4-1.2	0.4-1.2	0.4-1.2	0.4-1.2	0.4-1.2
BOD ₅ oxidation efficiency (Kg BOD ₅ /m ³ ·day)	2-10	2-10	2-10	2-10	2-10
COD oxidation efficiency (Kg COD/m ³ ·day)	2-15	2-15	2-15	2-15	2-15
Applicable temp (°C)	5-40	5-40	5-40	5-40	5-40
Services life (Years)	>10	>10	>10	>10	>10
Weight (Kg/m ³)	150	135	140	125	120

Πίνακας 5. Χαρακτηριστικά υλικών πλήρωσης που χρησιμοποιούνται στα βιολογικά φίλτρα.

Model	ELT-06	ELT-07	ELT-08	ELT-09	ELT-10
Photo					
Size (mm)	Φ25×12	Φ35×17	Φ5×10	Φ15×15	Φ25×5
Room numbers (PCS)	19	19	8	40	64
Surface area(m ² /m ³)	>500	>350	>3500	>900	>1200
Specific gravity(g/cm ³)	>0.96	>0.96	>0.96	>0.96	>0.96
Voidage ratio (%)	>90	>92	>80	>85	>85
Dosing ratio (%)	15-60	15-50	15-60	15-60	15-60
Heaping number (PCS/m ³)	95,000	33,000	2,000,000	230,000	210,000
Biofilm forming time (Days)	3-15	3-15	3-15	3-15	3-15
Nitrification efficiency (Kg NH ₄ -N/m ³ ·day)	0.4-1.2	0.3-0.8	0.5-1.5	0.5-1.5	0.5-1.5
BOD ₅ oxidation efficiency (Kg BOD ₅ /m ³ ·day)	2-10	1-5	2-15	2-15	2-15
COD oxidation efficiency (Kg COD/m ³ ·day)	2-15	1-10	2-20	2-20	2-20
Applicable temp (°C)	5-40	5-40	5-40	5-40	5-40
Services life (Years)	>10	>10	>10	>10	>10
Weight (Kg/m ³)	95	70	340	175	135

Η πλαστική βιόσφαιρα (Πιν.6) είναι κατασκευασμένη από πολυπροπυλένιο PP με τεχνητή δομή πόρου βιολογικής διηθητικής σφαίρας με πορώδες δομή (Crites et al. 2006, Storey 2012). Για την προσρόφηση των νιτροποιητικών βακτηρίων και τη ρύθμιση της δομής των πόρων του υλικού, πολύ ωφέλιμη για την οξείδωση είναι η ανταλλαγή μεταφοράς οξυγόνου η οποία σχετίζεται και για την αναπαραγωγική ανάπτυξη των βακτηρίων νιτροποίησης με μεγάλη επιφάνεια (Εικ.15).

Τοποθετούνται σε μια δεξαμενή ή δεξαμενή φίλτρων, μειώνουν αποτελεσματικά την αμμωνία και τα νιτρώδη ιόντα και βοηθήσουν στη διατήρηση των συνθηκών εκτροφής στις δεξαμενές, στις λίμνες ή στις μονάδες εκτροφής και στη γενική ευημερία των ιχθύων ή των ιχθυοτροφικών ψαριών και φυτών (Storey 2012).



Εικόνα 15. Πλαστικές βιόσφαιρες που χρησιμοποιούνται ως υλικό πλήρωσης του βιολογικού κύκλου (Πηγή: www.elaiter.en.alibaba.com)

Πίνακας 6. Τεχνητά χαρακτηριστικά βιόσφαιρων που χρησιμοποιούνται ως υλικά πλήρωσης των φίλτρων στην ενυδρείοπονία

Item/Type	Dimater (MM)	Material	Packing (Pcs/Bag)	Bulk density (pcs/m3)	Application
Plastic bio ball(Bio cotton)	16MM	PP	10000	244000pcs/m3	Fish tank
	26MM	PP	4000	57000pcs/m3	Fish tank
	36MM	PP	1500	21400pcs/m3	Fish tank and fish pond
	46MM	PP	800	9800pcs/m3	Fish tank and fish pond
	56MM	PP	400	5900pcs/m3	Fish tank and fish pond
	76MM	PP	180	2280pcs/m3	Fish tank and fish pond
Plastic bio ball(None cotton)	32MM	PP	2000	31000pcs/m3	Fish tank and fish pond
	42MM	PP	1000	13500pcs/m3	Fish tank and fish pond
	48MM	PP	750	9100pcs/m3	Fish tank and fish pond

5.3. Υδραυλική φόρτιση φίλτρου και ειδική επιφάνεια

Ο ρυθμός με τον οποίο το νερό διέρχεται διαμέσου του βιολογικού φίλτρου (υδραυλική φόρτιση) και η συνολική επιφάνεια των μέσων πλήρωσης που διαβρέχεται από αυτό, είναι οι δύο παράμετροι που θα καθορίσουν την αποτελεσματικότητα του φίλτρου του συστήματος ενυδρείοπονίας να οξειδώνει την αμμωνία σε επίπεδα ασφαλή για τα ψάρια και τα φυτά (Huguenin & Colt 2002).

Η ειδική επιφάνεια SSA (Specific Surface Area) των υλικών πλήρωσης του φίλτρου, είναι η παράμετρος που αφορά την συνολική προσφερόμενη επιφάνεια των υλικών, προς τον όγκο που καταλαμβάνουν σε ένα χώρο (m^2/m^3 ή ft^2/ft^3).

Όσο μεγαλύτερη η υδραυλική φόρτιση και όσο μεγαλύτερη η επιφάνεια των υλικών πλήρωσης, τόσο ταχύτερη και αποτελεσματικότερη είναι η οξείδωση της αμμωνίας. Η υδραυλική φόρτιση δεν θα πρέπει να υπερβαίνει ορισμένες τιμές, διότι αφενός μπορεί να ξεπεράσει την χωρητικότητα του φίλτρου και αφετέρου η έντονη ροή του νερού μπορεί να δράσει αρνητικά στη δημιουργία της βακτηριακής αποικίας που αναπτύχθηκε στο διαβρεγμένο μέσο. Επιπλέον, μια υπερβολικά μεγάλη ροή μπορεί να είναι μη συμφέρουσα από την άποψη της κατανάλωσης ενέργειας από την αντλία που θα μεταφέρει το νερό.

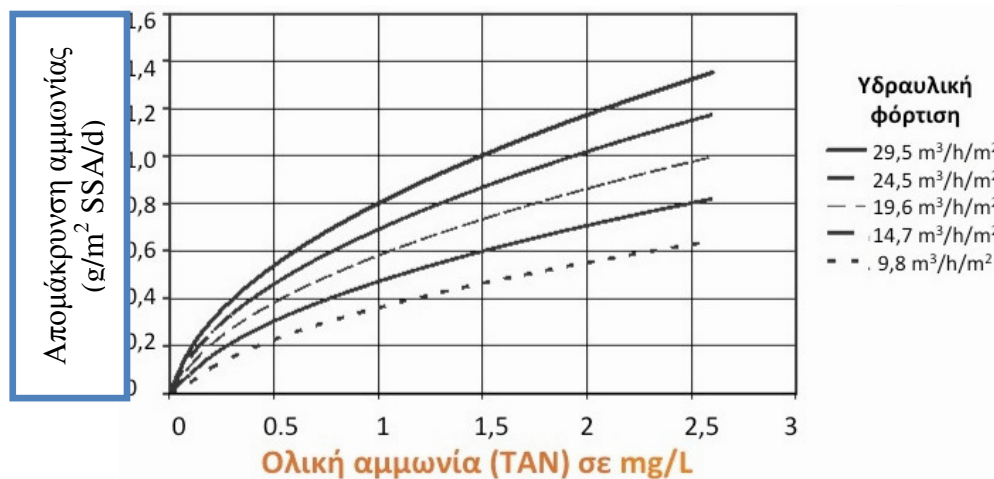
Η ειδική επιφάνεια θέτει επίσης περιορισμούς ως προς την ανώτερη τιμή της υδραυλικής φόρτισης, δεδομένου ότι μεγάλες τιμές SSA σημαίνει μικροσκοπικότερα μέσα πλήρωσης και συνεπώς μικρότερα και λιγότερα κενά για να διέλθει ανεμπόδιστα το νερό ανάμεσά τους όταν βρίσκονται στο φίλτρο. Και ναι μεν η διέλευση του νερού από στενούς διαύλους τα διαβρέχει αποτελεσματικότερα με αποτέλεσμα την εντονότερη οξείδωση της αμμωνίας, όμως με την πρόοδο του χρόνου και την «πάχυνση» των

βακτηριδιακών αποικιών επάνω στους κόκκους, οι διάλυοι θα φράξουν και το νερό δεν θα κυκλοφορεί σε αυτές τις περιοχές. Μια τέτοια κατάσταση σημαίνει κατ' ουσία το σταμάτημα της διαδικασίας (νιτροποίηση) για την οποία κατασκευάστηκε το βιολογικό φίλτρο (Huguenin & Colt 2002).

Οι διάφοροι τύποι των βιολογικών φίλτρων (RBC, κοκκωδών μέσων, καταιονισμού, ρευστοποιημένης κλίνης, κ .λπ.) από κατασκευής τους και ανάλογα με το μέσο πλήρωσης, έχουν ορισμένα όρια σχετικά με την υδραυλική φόρτιση και την ικανότητα οξειδωσης της αμμωνίας που επιφέρουν.

Οι τιμές αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν υπό την προϋπόθεση της από τα πριν γνωστής μέγιστης φόρτισης του συστήματος σε ρυπαντές και βεβαίως της οικονομικότερης κατά το δυνατόν κατασκευής από άποψη ενέργειας.

Η υδραυλική φόρτιση επηρεάζει την ένταση απομάκρυνσης της αμμωνίας από το βιολογικό φίλτρο όπως φαίνεται στην Εικόνα 16. Δηλαδή μεγαλύτερες υδραυλικές φορτίσεις σημαίνουν καλύτερη και μεγαλύτερη απομάκρυνση αμμωνίας. Επιπροσθέτως υπάρχουν και συνιστώμενες ελάχιστες τιμές υδραυλικής φόρτισης ανάλογα με την ειδική επιφάνεια των μέσων που χρησιμοποιείται. Όσο μεγαλύτερη η ειδική επιφάνεια του υλικού πλήρωσης σε ένα δεδομένο όγκο που καταλαμβάνει, τόσο περισσότερο νερό απαιτείται για να διαβρέξει πλήρως όλη την επιφάνεια (Huguenin & Colt 2002).



Εικόνα 16. Απομάκρυνση της αμμωνίας ανάλογα με την υδραυλική φόρτιση και τη συγκέντρωση της ολικής αμμωνίας στο νερό (Πηγή: Huguenin & Colt 2002)

Η απομάκρυνση της αμμωνίας που περιγράφεται στην Εικόνα 16, αφορά ένα φίλτρο καταιονισμού σε γλυκό νερό, σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των 20°C, με καλή

διασπορά νερού και επαρκή συγκέντρωση σε οξυγόνο. Σε θαλασσινό νερό ο ρυθμός απομάκρυνσης θα είναι μικρότερος και εάν το νερό είναι ψυχρότερο ακόμα πιο μικρός.

Επίσης τα βιολογικά φίλτρα που είναι ρυθμισμένα παρουσιάζουν κατά πολύ μικρότερους ρυθμούς απομάκρυνσης, όπως μικρότερους θα παρουσιάζουν και στην περίπτωση που υπάρχουν μεγάλες αυξομειώσεις στη συγκέντρωση της αμμωνίας.

5.4.Υπολογισμός Υδραυλικού Φορτίου Συστήματος Ενυδραιοπονίας

Οι ποσότητες του ανόργανου διαλυμένου αζώτου που ελευθερώνονται εκτιμώνται μέσω της υδροβιολογικής προσέγγισης (Roque d' Orbcastel et al. 2008). Επομένως ο ρυθμός παραγωγής της αμμωνίας (PTAN, mg/g ψαριού βάρους /h) μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$P \text{ TAN} = [(C_e - C_i) \times Q] / W$$

Όπου:

C_e, C_i = Η συγκέντρωση της αμμωνίας στην εισροή (C_e) και εκροή (C_i) του νερού, αντίστοιχα (mg/L)

W = Βάρος ψαριού στη δεξαμενή (g)

Q = παροχή νερού (L/h)

Ο ρυθμός απομάκρυνσης της αμμωνίας σε ένα σύστημα ενυδραιοπονίας μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$\text{TAN διατήρηση (g/ m}^2 \text{ /ημέρα)} = ((Q/V * (C_{in} - C_{out}) - d \text{ C}_{out}/dt) * d$$

Όπου:

Q = Παροχή νερού (m³/ημέρα)

V = Όγκος συστήματος (m³)

C = συγκέντρωση ολικής αμμωνίας (TAN) (g/m³)

d = βάθος φίλτρου (m)

t = χρόνος (ημέρες)

Η απόδοση του βιολογικού φίλτρου (Ογκομετρική τιμή μετατροπής της αμμωνίας, Δ TAN) εκφράζεται ως τα grams της αμμωνίας (TAN) που οξειδώνεται /όγκο μέσου/ημέρα oxidized υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο (Franco-Nava et al. 2004):

$$\Delta \text{TAN (g/ m}^3 \text{ /day)} = [(\text{TAN}_0 - \text{TAN}_1) \times Q] / V$$

όπου,

TAN_0 = Ολική αμμωνία (TAN) στο εισροή του φίλτρου (N-NH₄⁺+N-NH₃, g/m³)

TAN_1 = Ολική αμμωνία (TAN) στην απορροή του φίλτρου (N-NH₄⁺+N-NH₃, g/m³)

Q = παροχή νερού (m³/ ημέρα)

V = όγκος των μέσων στο φίλτρο (m³)

Ο ρυθμός υδραυλικού φορτίου (HLR), υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\text{HLR} = \text{παροχή (Q)}/\text{ολική επιφάνεια του μέσου (m/d)}$$

Ο Υδραυλικός χρόνος παραμονής (HRT), υπολογίζεται, ως εξής:

$$\text{HRT} = \text{επιφάνεια} * \text{βάθος νερού} * \text{πορότητα του μέσου}/\text{παροχή νερού}$$

Ο ρυθμός ανάπτυξης των φυτών και η παραγωγή τους εξαρτάται από το υδραυλικό φορτίο (HLR) (Πιν.7). Όταν αυξάνεται το υδραυλικό φορτίο μειώνεται η παραγωγή φυτών μιας και ευνοεί την ανάπτυξη αερόβιων συνθηκών παρεμποδίζοντας την απονιτροποίηση. Χαμηλές τιμές υδραυλικού φορτίου (HLR) με μειωμένες τιμές οξυγόνου ευνοείται η απονιτροποίηση και συνεπώς η μεγαλύτερη απομάκρυνση των νιτρικών ιόντων (NO₃-N) παρατηρείται σε χαμηλότερα επίπεδα υδραυλικού φορτίου (0,64 m / ημέρα και 1,28 m / ημέρα).

Πίνακας 7. Υδραυλικό φορτίο και παραγωγικότητα

HLR (m/day)	ψάρια			φυτά (σπανάκι)	
	SGR (%)	FCR	Παραγωγή (kg/m ³)	Ρυθμός αύξησης (cm/day)	Παραγωγή (kg/μέσο/συγκομιδή)
0.64	1.801	1.271	45.21	1.751	17.632
1.28	1.831	1.231	45.71	2.503	17.902
1.92	1.731	1.331	44.31	2.061	17.532
2.56	1.731	1.341	44.11	1.902	17.031
3.20	1.681	1.391	43.31	1.902	16.831

Κεφάλαιο 6:

Παράμετροι νερού Ενυδρειοπονικού συστήματος

6.1.Υψηλή επιφάνεια

Τα υλικά πλήρωσης ενός φίλτρου με υψηλά μεγάλη επιφάνεια (SSA) είναι ιδανικά για την δημιουργία αποικιών των βακτηρίων. Η ειδική επιφάνεια (SSA) είναι ο λόγος που καθορίζει την επιφάνεια που καλύπτει το υλικό σε αν δεδομένο όγκο του υλικού πλήρωσης και εκφράζεται σε m^2/m^3 . Γενικά το μικρότερο σε μέγεθος και πιο πορώδες υλικό δημιουργεί την μεγαλύτερη ειδική επιφάνεια για την ανάπτυξη των βακτηρίων. Υπάρχουν πολλά υλικά που χρησιμοποιούνται στα συστήματα ενυδρειοπονίας είτε ως υπόστρωμα ανάπτυξης είτε ως φίλτρο, όπως για παράδειγμα το ηφαιστειογενές χαλίκι, πλαστικά σφαιρίδια (βιόσφαιρες), διογκωμένη άργιλο και ρίζες φυτών (Crites et al. 2006).

Η ηφαιστειογενείς λάβα και οι βιόσφαιρες διαθέτουν μια κατάλληλη επιφάνεια $300 m^2/m^3$ και $600 m^2/m^3$ αντίστοιχα, η οποία είναι κατάλληλη να αναπτυχθούν βακτήρια και να κάνουν αποικίες. Σε περίπτωση που το υλικό πλήρωσης δεν είναι κατάλληλο και έχει μικρή επιφάνεια τότε το φίλτρο θα έπρεπε να είναι μεγαλύτερο. Ένα μεγαλύτερο σύστημα δεν μπορεί να επιδράσει ζημιόγωνα το σύστημα ενυδρειοπονίας (Crites et al. 2006).

6.2.pH νερού

Το pH για την ανάπτυξη των βακτηρίων θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 6-8.5. Γενικά τα νιτροποιητικά βακτήρια λειτουργούν καλύτερα σε υψηλότερο pH με τα *nitrosomonas* να δείχνουν ιδιαίτερη προτίμηση σε pH που κυμαίνεται από 7.2 έως 7.8. Σε αντίθεση με τα βακτήρια *nitrobacter* τα οποία αρέσκονται σε pH 7.2 έως 8.2.

Σ' ένα σύστημα ενυδρειοπονίας επιχειρείται ο συνδυασμός της ισορροπίας μεταξύ των απαιτήσεων του pH ψαριών, φυτών και βακτηρίων, τα οποία έχουν διαφορετικές απαιτήσεις σε pH. Τα ψάρια προτιμούν pH που κυμαίνεται από 6,5 έως 7 και τα φυτά αρέσκονται σε ένα pH που κυμαίνεται μεταξύ 5 έως 7,5 σε αντίθεση με τα βακτήρια τα οποία αναπτύσσονται καλύτερα σε pH που κυμαίνεται από 6 έως 8. Η

ισορροπία μπορεί να επιτευχθεί σε pH περίπου στο 6. Σε περίπτωση που το pH μειωθεί κάτω από το 6 τότε η διεργασία της νιτροποίησης παρεμποδίζεται με αποτέλεσμα να αναστέλλεται η διαδικασία της. Για να παραμείνει το pH σε ένα βέλτιστο εύρος απαιτείται ρύθμιση του συστήματος. Κατά την έναρξη το σύστημα παρουσιάζει υψηλό pH (>7) και αναμένεται μείωση με το χρόνο λειτουργίας του συστήματος. Σε περίπτωση που το pH διαταραχθεί (αυξηθεί ή μειωθεί) τότε θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα παρακάτω μέτρα εξής (Crites et al. 2006):

6.2.1. Αύξηση pH

Ο πιο ασφαλής τρόπος ρύθμισης του pH είναι η προσθήκη στο σύστημα υλικών τα οποία θα επιφέρουν αύξηση στο pH, όπως για παράδειγμα προσθήκη κροκάλων ή κελύφη οστράκων στο σύστημα σε μικρές ποσότητες. Η διαδικασία αυτή συνδράμει στην αποκατάσταση του pH του συστήματός περίπου στο 7 (ουδέτερο). Η διάλυση των ανθρακικών αλάτων από τα κελύφη των οστράκων αρχίζει να λαμβάνει χώρα καθώς το σύστημα γίνεται πιο όξινο. Αυτό συχνά αναφέρεται ως αύξηση της ανθρακικής σκληρότητας του συστήματός.

Σε περίπτωση που η ενέργεια αυτή δεν επιφέρει θετικά αποτελέσματα ή καθυστερήσει την αύξηση του pH τότε συνίσταται η προσθήκη διττανθρακικού καλίου ή ανθρακικού ασβεστίου. Στα συστήματα Ενυδρειοπονίας η προσθήκη άλατος καλίου είναι απόλυτα ασφαλές και ενδείκνυται χωρίς να επιφέρει προβλήματα. Συνίσταται η χρησιμοποίηση διττανθρακικού νατρίου, διότι μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση των αλάτων στο σύστημά και να επηρεάσει αρνητικά την ανάπτυξη των φυτών.

Η προσθήκη όξινου ανθρακικού καλίου στο σύστημα επίσης λειτουργεί συμπληρωματικά και μπορεί να εφοδιάσει με το απαραίτητο κάλιο τα φυτά. Όταν γίνεται προσθήκη των ενώσεων αυτών στο σύστημα απαιτείται συχνός έλεγχος ενώ η προσθήκη των ουσιών αυτών θα πρέπει να γίνεται με ελεγχόμενο τρόπο. Σε περίπτωση που στο σύστημα επέλθει μεταβολή του pH κατά 0,1 μπορεί να επιφέρει αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία των ψαριών.

6.2.2. Μείωση pH

Η τιμή του υψηλού pH στο σύστημα πιθανόν να οφείλεται στην ανάπτυξη φυκιών στο σύστημα ή να οφείλεται στο τύπο του υποστρώματος που χρησιμοποιείται.

Η μείωση του pH καθώς τα απόβλητα ψαριών θα έχουν την τάση να το κάνουν φυσικά με την πάροδο του χρόνου, ωστόσο αν δεν συμβεί κάτι τέτοιο θα πρέπει πρώτα να διερευνήσετε τα πιθανά αίτια. Θα προσθήκη όξινων μέσων θα πρέπει να αποφεύγεται γιατί επηρεάζει τα βακτήρια του φίλτρου.

6.3.Θερμοκρασία νερού

Η βέλτιστη θερμοκρασία κυμαίνεται από 17-34°C. Το εύρος αυτό της θερμοκρασίας αυξάνει την ανάπτυξη και την παραγωγικότητα των βακτηρίων. Σε περίπτωση που το εύρος της θερμοκρασίας μεταβληθεί τότε μειώνεται η παραγωγικότητα των βακτηρίων. Τα βακτήρια *Nitrobacter* είναι λιγότερο ανθεκτικά στις χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με τα βακτήρια *Nitrobacter* και επομένως σε περιόδους με χαμηλές θερμοκρασίες τα νιτρώδη ιόντα θα πρέπει να ελέγχονται προσεκτικά ώστε να αποφεύγονται επιβλαβείς συσσωρεύσεις (Crites et al.2016, Storey 2012).

6.4.Διαλυμένο οξυγόνο

Τα νιτροποιητικά βακτήρια χρειάζονται επαρκή επίπεδα οξυγόνου στο νερό ώστε να αυξάνονται και να παραμένουν σε υψηλή παραγωγικότητα. Η νιτροποίηση είναι μια αντίδραση οξειδωσης/ αναγωγής όπου τα βακτήρια παράγουν την ενέργεια για να ζήσουν όταν το οξυγόνο συνδυάζεται με το άζωτο. Τα βέλτιστα επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου κυμαίνονται από 4-8 mg/L, το οποίο είναι επίσης το εύρος τιμών που απαιτείται για τα φυτά και τα ψάρια. Η νιτροποίηση αναστέλλεται όταν τα επίπεδα του οξυγόνου μειωθούν κάτω από 2 mg/L. Εξασφαλίστε επαρκή φιλτράρισμα εμπλουτίζοντας με αερισμό το φίλτρο, είτε μέσω επαρκή καταβύθιση της συνολικής επιφάνειας του υλικού πλήρωσης ή με πέτρες αέρα είναι απαραίτητες στα εξωτερικά φίλτρα ή δημιουργώντας υπερχειλίση στα φίλτρα τύπου sump (Storey 2012).

6.5.UV λαμπτήρες

Τα νιτροποιητικά βακτήρια είναι φωτοευαίσθητα μέχρις ότου δημιουργήσουν αποικίες συνεπώς το φως μπορεί να επηρεάζει ζημιογόνα το βιολογικό φίλτρο. Το υλικό πλήρωσης προστατεύει τα βακτήρια από το φως, αλλά σε περίπτωση που

χρησιμοποιείται εξωτερικό φίλτρο θα πρέπει να διατηρείται σε σκιερό μέρος (Crites et al. 2006).

Κεφάλαιο 7:

Συμπεράσματα

Τα συστήματα ενυδρειοπονίας αποτελούν ένα κατάλληλο εργαλείο ώστε να ξεπεραστεί η αντίφαση που δημιουργείται ανάμεσα στην βιωσιμότητα των συστημάτων αυτών αλλά και στην εντατική παραγωγή τροφίμων. Είναι προφανές ότι απαιτούνται μελέτες και έρευνες για να προσδιοριστεί καλύτερα η αποδοτικότητα των συστημάτων αυτών που εστιάζεται στα παρακάτω:

- Στα συστήματα ενυδρειοπονίας η αμμωνία θα πρέπει να οξειδώνεται σε νιτρικά ιόντα ώστε να αποτρέπουν την τοξικότητα στα ψάρια
- Η διεργασία της νιτροποίησης πραγματοποιείται σε 2 βήματα, όπου τα βακτήρια *Nitrosomonas* οξειδώνουν την αμμωνία σε νιτρώδη ιόντα και τα νιτρικά ιόντα οξειδώνονται από τα βακτήρια *Nitrobacter*
- Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη νιτροποίηση είναι μεγάλη ειδική επιφάνεια (SSA), pH: 6-7, Θερμοκρασία νερού 17-34° C, Διαλυμένο οξυγόνο 4-8 mg/L
- Η ρύθμιση ενός συστήματος ενυδρειοπονίας επιτυγχάνεται σε διάστημα 3-5 εβδομάδων από τη στιγμή που θα δημιουργηθούν οι καλλιέργειες βακτηρίων και να προστεθεί κάποια μορφή αμμωνίας στο σύστημα (τροφή, αμμωνία κλπ). Η αμμωνία, τα νιτρώδη και τα νιτρικά ιόντα θα πρέπει να ελέγχονται καθημερινά προκειμένου να επιβεβαιωθεί η μείωση της αμμωνίας και των νιτρωδών ιόντων και πριν την συσσώρευση των νιτρικών αλάτων
- Η αμμωνία και τα νιτρώδη ιόντα μετράται χρωματομετρικά με kit τα οποία δεν θα πρέπει να ξεπερνούν το 0 mg/L. Συνήθως η φτωχή νιτροποίηση, οφείλεται στα διαφορετικά επίπεδα του pH και διαλυμένου οξυγόνου
- Μια άλλη κατηγορία μικροοργανισμών που απαντώνται φυσικά στα συστήματα ενυδρειοπονίας είναι τα ετερότροφα βακτήρια τα οποία αποσυνθέτουν τα στερεά απόβλητα των ψαριών, απελευθερώνοντας μερικά θρεπτικά στο νερό κατά τη διαδικασία δημιουργίας αλάτων.

Επιπλέον, αξίζει να επισημανθεί ο σημαντικός κοινωνικός ρόλος που μπορεί να διαδραματίσει ένα σύστημα ενυδρευσιμότητας στις αναπτυσσόμενες χώρες σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο γιατί βελτιώνει την ανθεκτικότητα της υγείας των ανθρώπων (π.χ. στρατόπεδα προσφύγων) και επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εκπαιδευτικό εργαλείο στη διδασκαλία της χημείας, της φυσιολογίας, της ανατομίας και της βοτανικής.

Η εκμετάλλευση των υδάτινων πόρων (γλυκό, θαλασσινό, υφάλμυρο νερό) σε συνδυασμό με τη υψηλή διατροφική αξία των προϊόντων που παράγονται και η αύξηση του κέρδους, αποτελούν από τα βασικά πλεονεκτήματα ανάπτυξης της ενυδρευσιμότητας σε παγκόσμιο επίπεδο.

Abstract

Due to the increasing world population, by 2050 food production should be increased of about 70% to 100%. Thanks to the lowest “carbon footprint”, aquaculture seems to be the most sustainable system for producing food (protein) of animal origin. Despite that, progress can be done for further improving aquaculture sustainability through the “aquaponic” system (IAS).

A IAS is based on the bacteria nitrogen cycle which convert fish waste (faeces and uneaten feed) into nitrite and nitrate, this latter absorbed by plants grown in the hydroponic section of the aquaponic system; as a results, water is “depurated” and recycled into the fish tanks.

Advantages of this system are the high productivity, the reduced water requirement, the neglectable waste production, the reduced plant disease incidence and pesticides utilization, the modularity of the system which allow its uses for a wide range of purposes (urban agriculture, people resilience in developing countries, marginal land exploitation, etc.); for a contrary, disadvantages are the relevant initial investments, the required high education level of the employees, the “sensitivity” of the systems and some minor others. A relevant future challenge for scientists is to develop “marine aquaponic system” for producing more valuable fish and crops, interesting also for the EU and developed countries «market».

The good functioning of the biological filter demonstrate the amount of total ammonium nitrogen (TAN) removal and NO₂-N accumulation in the trickling perlite biofilter increased as pH increased from 5.5 to 8.5. Aquaponic biofilter TAN removal rates were 19, 31, and 80 g/m³/d for pH 6.0, 7.0 and 8.0, respectively. Nitrification was unaffected by plant nutrients in solution at optimum levels for hydroponic production. Nutrients may be tailored for plant production (with consideration for fish waste contributions) with no adverse impact on nitrifiers. Ammonia biofiltration increased 3.7 times at pH 6.0 when bacteria and plants were in the biofilter compared to plants alone.

Key words: aquaponics, water parameter, food production

Κεφάλαιο 8:

Βιβλιογραφικές Πηγές

- Adler, J., Campbell, B., Karpouzi, V., Kaschner, K., Pauly, D. Forage fish: from ecosystem to markets, *Annual Review of Environment and Resources*, 2008, vol. 33, pp. 66-153.
- Adler, P.R., Harper, J.K., Takeda, F., Wade, E.M., Summerfelt, S. Economic Evaluation of Hydroponics and Other Treatment Options for Phosphorus Removal in Aquaculture Effluent, *HortScience*, 2000, vol. 35, no. 6, pp. 993-999.
- Adler, P.R., Harper, J.K., Takeda, F., Wade, E.M., Summerfelt, S. Economic Evaluation of Hydroponics and Other Treatment Options for Phosphorus Removal in Aquaculture Effluent, *HortScience*, 2000, vol. 35, no. 6, pp. 993-999.
- Alessio, G., Allegrucci, G., Angle, G. Acquacoltura responsabile - Verso le produzioni acquatiche del terzo millennio Roma: Unimar-Uniprom, 2001.
- Ayers, R. S. and Wescott, D. W. Water quality for agriculture, *FAO Irrigation and Drainage Paper*, 1989, vol. 29, pp. 737–746.
- Bernstein, S. *Aquaponic gardening: a step-by-step guide to raising vegetables and fish together*. Gabriola Island, Canada: New Society Publishers, 2011.
- Boxman, S., Main, K., Nystrom, M., Ergas, S.J., Trotz, M. Aquaponic System Produces Red Drum, Saltwater Vegetable Species, *Global Aquaculture Advocate*, 2015, pp. 58-60.
- Buhmann, A., Papenbrock, J. An economic point of view of secondary compounds in halophytes, *Functional Plant Biology*, 2013b, vol. 40, pp. 952–967.
- Buhmann, A., Papenbrock, J. An economic point of view of secondary compounds in halophytes, *Functional Plant Biology*, 2013b, vol. 40, pp. 952–967.
- Dufault, R., Korkmaz, A. Potential of biosolids from shrimp aquaculture as a fertilizer in bell pepper production, *Compost Science & Utilization*, 2000, vol. 3, pp. 310-319.
- Dufault, R., Korkmaz, A. Potential of biosolids from shrimp aquaculture as a fertilizer in bell pepper production, *Compost Science & Utilization*, 2000, vol. 3, pp. 310-319.

- Dufault, R.J., Korkmaz, A., Ward, B. Potential of biosolids from shrimp aquaculture as a fertilizer for broccoli production, *Compost Science & Utilization*, 2001, vol. 9, pp. 107-114
- Dufault, R.J., Korkmaz, A., Ward, B. Potential of biosolids from shrimp aquaculture as a fertilizer for broccoli production, *Compost Science & Utilization*, 2001, vol. 9, pp. 107-114
- Ebeling, J.M., Timmons, M.B. Recirculating Aquaculture Systems. In: *Aquaculture Production Systems*, Hoboken, NJ, USA: Tidwell, J.H. Ed, John Willey& Sons, 2012.
- Endut, A., Jusoh, A., Ali, N., Wan Nik, W.B. Nutrient removal from aquaculture wastewater by vegetable production in aquaponics recirculation system, *Desalination and Water Treatment*, 2011, vol. 32, pp. 422-430.
- Endut, A., Jusoh, A., Ali, N., Wan Nik, W.B. Nutrient removal from aquaculture wastewater by vegetable production in aquaponics recirculation system, *Desalination and Water Treatment*, 2011, vol. 32, pp. 422-430.
- FAO. Small-scale aquaponic food production - Integrated fish and plant farming. 2014.
- FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2010. 2011.
- Godfray, H. C. J., Beddington J. R., Crute I. R., Haddad L., Lawrence D., Muir J. F., Pretty J., Robinson S., Thomas S. M., Toulmin C. Food security: The challenge of feeding 9 billion people, *Science*, 2010, vol. 327, pp. 812-818.
- Hochmuth, G.J., Hanlon, E.A. Commercial vegetable fertilization principles, University of Florida, Soil Water Science Department, Florida Cooperative Extension Service, SL319, 14 May 2010, Accessible: <http://edis.ifas.ufl.edu/cv009>.
- Huguenin ,E.J., & Colt, J. 2002. Design and operating guide for aquaculture seawater systems., 2nd Edition Elsevier Science B.V. The Netherlands. Pp.328
- ISMEA 2015, Accessible: <http://www.ismea.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/4471>
- Joesting, H.M., Blaylock, R., Biber, P., Ray, A. The use of marine aquaculture solid waste for nursery of salt marsh plants *Spartina alterniflora* and *Juncus roemerianus*, *Aquaculture reports*, 2016, vol. 3, pp. 108-114.
- Joesting, H.M., Blaylock, R., Biber, P., Ray, A. The use of marine aquaculture solid waste for nursery of salt marsh plants *Spartina alterniflora* and *Juncus roemerianus*, *Aquaculture reports*, 2016, vol. 3, pp. 108-114.

- Khakyzadeh, V., Luque, R., Zolfigol, M.A., Vahidian, H.R., Salehzadeh, H., Moradi, V., Soleymani, A.R., Moosavi-Zare, A.R., Xu, K. Waste to wealth: a sustainable aquaponic system based on residual nitrogen photoconversion, *Royal Society of Chemistry*, 2015, vol. 5, pp. 3917-3921.
- Khater, E.G., Bahnasawy, A.H., Shams, A.E.S., Hassaan, M.S., Hassan, Y.A. Utilization of effluent fish farms in tomato cultivation, *Ecological Engineering*, 2015, vol. 83, pp. 199-207.37. Turcios, A.E., Papenbrock, J. Sustainable Treatment of Aquaculture Effluents-What Can We Learn from the Past for the Future? *Sustainability*, 2014, vol. 6, pp. 836–856.
- Khater, E.G., Bahnasawy, A.H., Shams, A.E.S., Hassaan, M.S., Hassan, Y.A. Utilization of effluent fish farms in tomato cultivation, *Ecological Engineering*, 2015, vol. 83, pp. 199-207.37.
- Kingler, D., Naylor, R. Searching for Solutions in Aquaculture: Charting a Sustainable Course, *Annual Review of Environmental Resources*, 2012, vol. 37, pp. 247-276.
- Kloas, W., Groß, R., Baganz, D., Graupner, J., Monsees, H., Schmidt, U., Staaks, G., Suhl, J., Tschirner, M., Wittstock, B., Wuertzl, S., Zikova, A., Rennert, B. A new concept for aquaponic systems to improve sustainability, increase productivity, and reduce environmental impacts, *Aquaculture Environment Interactions*, 2015, vol. 7, pp. 179–192.
- Kloas, W., Groß, R., Baganz, D., Graupner, J., Monsees, H., Schmidt, U., Staaks, G., Suhl, J., Tschirner, M., Wittstock, B., Wuertzl, S., Zikova, A., Rennert, B. A new concept for aquaponic systems to improve sustainability, increase productivity, and reduce environmental impacts, *Aquaculture Environment Interactions*, 2015, vol. 7, pp. 179–192.
- Koyro, H., Ajmal, Khan M. and Lieth, H. Halophytic crops: A resource for the future to reduce the water crisis?, *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 2011, vol. 23, no. 1, pp. 1-16.
- Lakkireddy, K.K.R., Kasturi, K., Sambasiva Rao, K.R.S. Role of Hydroponics and Aeroponics in Soilless Culture in Commercial Food Production. *Research & Reviews: Journal of Agricultural Science & Technology*, 2012, vol. 1, no. 1, pp. 26-35.
- Lam, S.S., Ma, N.L., Jusoh, A., Ambak, M.A. Biological nutrient removal by recirculating aquaponic system: Optimazation of the dimension ratio between

- the hydroponic & rearing tank components, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2015.
- Lam, S.S., Ma, N.L., Jusoh, A., Ambak, M.A. Biological nutrient removal by recirculating aquaponic system: Optimazation of the dimension ratio between the hydroponic & rearing tank components, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2015.
- Lennard W.A.. Aquaponic integration of Murray Cod (*Maccullochella peelii peelii*) aquaculture and lettuce (*Lactuca sativa*) hydroponics. Ph.D dissertation, School of Applied Sciences, Department of Biotechnology and Environmental Biology, Royal Melbourne Institute of Technology. Melbourne, Victoria Australia, 2006.
- Lennard, W.A. and Leonard, B.V. A Comparison of Three Different Hydroponic Sub-Systems (Gravel Bed, Floating and Nutrient Film Technique) in an Aquaponic Test System, *Aquaculture International*, 2006, vol. 14, pp. 539-550.
- Lennard, W.A. and Leonard, B.V. A Comparison of Three Different Hydroponic Sub-Systems (Gravel Bed, Floating and Nutrient Film Technique) in an Aquaponic Test System, *Aquaculture International*, 2006, vol. 14, pp. 539-550.
- Love, D.C., Fry, J.P., Genello, L., Hill, E.S., Adam, Frederick, J., Li, X., Semmens, K. An International Survery of Aquaponics Practitioners, PLOS ONE, 2014, vol. 9, no.7, e102662.
- Love, D.C., Fry, J.P., Li, X., Hill, E.S., Ganello, L., Semmers, K., Thompson, R.E. Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survery, *Aquaculture*, 2015, vol. 435, pp. 67-74.
- Main K.L.. Sustainable approaches to growing local seafood for local communities, World Aquaculture 2015, Jeju, South Korea.
- Malorgio, F., Incrocci, L., Dimauro, B., Pardossi, A. La tecnica della coltivazione fuori suolo. Ministero delle Politiche Agricole e Forestali, Università di Pisa, Regione Siciliana Assessorato Agricoltura e Foreste, 2005.
- McIntosh, D., Fitzsimmons, K. Characterization of effluent from an inland low-salinity shrimp farm: what contribution could this water make if used for irrigation, *Aquaculture Engineering*, vol. 27, pp. 147-156.
- McIntosh, D., Fitzsimmons, K. Characterization of effluent from an inland low-salinity shrimp farm: what contribution could this water make if used for irrigation, *Aquaculture Engineering*, vol. 27, pp. 147-156.

- Nelson, R.L. Ten aquaponic systems around the world, *Aquaponics Journal*, 2007, vol. 46, pp. 1-8.
- Nelson, R.L. Ten aquaponic systems around the world, *Aquaponics Journal*, 2007, vol. 46, pp. 1-8.
- Orellana, J., Waller, U., Wecker, B. Culture of yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*) in a marine recirculating aquaculture system (RAS) with artificial seawater, *Aquaculture Engineering*, 2013, 10.1016/j.aquaeng.2013.09.004
- Orellana, J., Waller, U., Wecker, B. Culture of yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*) in a marine recirculating aquaculture system (RAS) with artificial seawater, *Aquaculture Engineering*, 2013, 10.1016/j.aquaeng.2013.09.004
- Palm, W.H., Bissa, K., Knaus, U. Significant factors affecting the economic sustainability of closed aquaponic systems. Part II: fish and plant growth, *AACL Bioflux*, 2014, vol. 7, no. 3, pp. 162-175.
- Palm, W.H., Bissa, K., Knaus, U. Significant factors affecting the economic sustainability of closed aquaponic systems. Part II: fish and plant growth, *AACL Bioflux*, 2014, vol. 7, no. 3, pp. 162-175.
- Pantanella E. Nutrition and quality of aquaponic systems. Ph.D. dissertation, tutor G. Colla, Università degli studi della Tuscia. 2012a
- Pantanella E., Colla G. Saline aquaponics opportunities for integrated marine aquaculture. *International aquaponic conference: Aquaponics and global food security, 19-21 June 2013, University of Wisconsin-Stevens Point, 2013.*
- Pantanella E., Colla G. Saline aquaponics opportunities for integrated marine aquaculture. *International aquaponic conference: Aquaponics and global food security, 19-21 June 2013, University of Wisconsin-Stevens Point, 2013.*
- Pantanella, E. Integrated Marine Aquaculture-Agriculture: Sea Farming Out Of The Sea, *Global Aquaculture Advocate*, 2012b, pp. 70-72.
- Pantanella, E., Bhujel, C.R. Saline Aquaponics-Potential Player In Food, Energy Production. *Global Aquaculture Advocate*, 2015, pp. 42-43.
- Primavera, J.H. Overcoming the impacts of aquaculture on the coastal zone, *Ocean & Coastal Management*, 2006, vol. 49, pp. 531-545.
- Putra A.P., Yuliando H. Soilless Culture System to Support Water Use Efficiency and Product Quality: a Review. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2015, vol. 2, pp. 283-288.

- Rakocy J.E. Aquaponics-Integrating Fish and Plant Culture. In: *Aquaculture Production Systems*, Hoboken, NJ, USA: Tidwell J.H. Ed, John Willey& Sons, 2012.
- Rakocy, J.E, Masser, M.P., Losordo, T.M. Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics- integrating fish and plant culture, *Southern Regional Aquaculture Center*, 2006, vol. 454, pp. 1-16.
- Roque d'Orbcastel E, Person-Le-Ruyet J, Le Bayon N, Blancheton JP (2009). Comparative growth and welfare in rainbow trout reared in recirculating and flow through rearing systems. *Aquacult. Eng.* 40: 79-86.
- Rivera-Ferre, M., Ortega-Cerdà, M., Baumgärtner, J. Rethinking Study and Management of Agricultural Systems for Policy Design, *Sustainability*, 2013, vol. 5, pp. 3858–3875.
- Roosta, H.R. Comparison of the vegetative growth, eco-physiological characteristics and mineral nutrient content of basil plants in different irrigation ratios of hydroponic: aquaponic solutions, *Journal of Plant Nutrition*, 2014, vol. 37, pp. 1782-1803.
- Roosta, H.R. Comparison of the vegetative growth, eco-physiological characteristics and mineral nutrient content of basil plants in different irrigation ratios of hydroponic: aquaponic solutions, *Journal of Plant Nutrition*, 2014, vol. 37, pp. 1782-1803.
- Savidov, N. Evaluation of Aquaponics Technology in Alberta, Canada, *Aquaponics Journal*, 2005, vol. 37, pp. 20-25.
- Savidov, N. Evaluation of Aquaponics Technology in Alberta, Canada, *Aquaponics Journal*, 2005, vol. 37, pp. 20-25.
- Spotte, S., 1992. Captive seawater fishes Science and technology. A Wiley Interscience. Published John Wiley and Sons Inc. New York. pp570 .
- Storey, N.R. 2012. Vertical Aquaponic Crop Production Towers and Associated Produce Sales and Distribution Models: Design, Development, and Analysis. Ph.D. Dissertation, University of Wyoming.
- Tidwell, J.H., Allan G. The role of Aquaculture. In: *Aquaculture Production Systems*. Hoboken, NJ, USA: Tidwell, J.H. Ed, John Willey& Sons, 2012.
- Timmons, B.,M & Losordo, M.,T. 1994. Aquaculture water reuse systems: Engineering Design and management. Elsevier Science B.V.pp 333).
- Troell, M., Naylor, R.L., Metian, M., Beveridge, M., Tyedmers, P.H., Folke, C., Arrow, K.J., Barrett, S., Crépin, A., Ehrlich, P.R., Gren, A., Kautsky, N., Levin, S.A.,

- Nyborg, K., Österblom, H., Polasky, S., Scheffer, M., Walker, B.H., Xepapadeas, T., Zeeuw, A. Does aquaculture add resilience to the global food system?, *PNAS*, 2014, vol. 111, no. 37, pp. 13257-13263.
- Turcios, A.E., Papenbrock, J. Sustainable Treatment of Aquaculture Effluents-What Can We Learn from the Past for the Future? *Sustainability*, 2014, vol. 6, pp. 836–856.
- Tyson, R.C., Treadwell, D.D., Simonne, E.H. Opportunities and Challenges to Sustainability in Aquaponic Systems. *HorTechnology*, 2011, vol. 21, pp. 6-13.
- Vlahos N., Hotos.G., Kapetanios N. (2004). The effect of temperature on the conditioning of the filter bed in aquaria. Proceedings of 2nd International Congress on Aquaculture Fisheries Technology and Environmental. Athens 18-19 June 2004. ISBN.
- Velten, S., Leventon, J., Jager, N., Newig, J. What Is Sustainable Agriculture? A Systematic Review, *Sustainability*, 2015, vol. 7, pp. 7833-7865.
- Verdegem, M.C.J., Bosma, R.H. and Verreth, J.A.J. Reducing water use for animal production through aquaculture, *Water Resources Development*, 2006, vol. 22, pp. 101–113.
- World Bank. World Development Report 2008: Agriculture for Development. World Bank, Washington, DC, 2008, Accessible: <http://siteresources.worldbank.org/>

Διαδικτυακή βιβλιογραφία

- www.wikipedia.org/wiki/Saltwater_aquaponics
- www.ismea.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/4471
- www.backyardaquaponics.com
- www.ergatex.gr
- www.foodrising.org/super-simple-plant-nutrient-instructions.html
- www.teca.fao.org/read/8398
- www.blog.brightagrotech.com/what-is-a-zipgrow-tower
- www.elaiter.en.alibaba.com