



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΘΕΟΦΡΑΣΤΕΙΟ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

**«ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ & ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ
ΜΗΧΑΝΙΚΗ»**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ:

**ΕΠΙΔΗΜΙΟΛΟΓΙΚΑ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΙΣΒΟΛΕΩΝ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ. ΙΩΑΝΝΗΣ ΜΑΤΣΙΝΟΣ

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΣ ΦΟΙΤΗΤΗΣ:
ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ ΑΓΓΕΛΗΣ**

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2004

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- **ΠΡΟΛΟΓΟΣ**.....ΣΕΛΙΔΑ 3
- **ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ**.....ΣΕΛΙΔΑ 5
- **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:** ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΙ ΕΙΣΒΟΛΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ ΤΟΥΣ.....ΣΕΛΙΔΑ 7
- **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:** ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΥΠΟΥ ΛΟΤΚΑ – VOLTERA, ΔΙΑΕΙΔΙΚΟΣ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΑ ΧΩΡΙΚΗΣ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ.....ΣΕΛΙΔΑ 21
- **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:** ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΟΣ ΙΜΠΕΡΙΑΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΛΛΟΧΘΟΝΑ ΕΙΔΗ.....ΣΕΛΙΔΑ 34
- **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:** ΕΝΑ ΦΥΣΙΚΟ – ΒΑΣΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΝΕΟΠΛΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΣΤΑΣΗΣ.....ΣΕΛΙΔΑ 58
- **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5:** ΚΑΡΚΙΝΟΣ.....ΣΕΛΙΔΑ 68
- **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6:** ΓΕΝΕΤΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ. ΚΑΡΚΙΝΙΚΟΙ ΙΟΙ: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΒΛΑΒΕΡΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΜΕΣΑ ΣΕ ΖΩΙΚΑ ΚΥΤΤΑΡΑ.....ΣΕΛΙΔΑ 78
- **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7:** ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΤΩΝ ΕΞΩΤΙΚΩΝ ΜΑΛΑΚΙΩΝ ΣΤΑ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΥΔΑΤΑ.....ΣΕΛΙΔΑ 83
- **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8:** ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ.....ΣΕΛΙΔΑ 102
- **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9:** ΓΙΑΤΙ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕ ΤΟ MATHEMATICA ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΥΤΟΜΑΤΟ ΚΥΤΤΑΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΙΣΜΟ [CELLULAR AUTOMATA MODELING].....ΣΕΛΙΔΑ 110
- **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10:** “THE RUNNING PROGRAM” OF NEOPLASTIC GROWTH AND METASTASIS ON THE BIOLOGIC INVADERSΣΕΛΙΔΑ 117

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Εις τοιούτον το εγχειρίδιον αποκρυσταλλογραφείται η πεμπτουσιακή καθοδηγήτρια, ενδοψυχοϊδιοσυγκρασιακή δύναμη της εκάστοτε βιολογικής εξέλιξης εις ταύτον τον κόσμον και ενορχηστρώνεται ατέρμονα στην τυχαία χαοτική συνάρτηση με διαφορικές μαθηματικές εκφάνσεις υλοποίησής της. Ο «ομφάλιος λώρος» της θεωρητικής και πρακτικής συνουσίας της έρευνας, της εκαστοτικής προκείμενης, εναρμονισμένης πραγματοποίησης, υποθάλπεται ως τις οάσεις της καυσωνικής ερήμου, εις το εξελικτικό «γίγνεσθαι» των μη άλογων όντων εν τη γη.

Δεν πρόκειται για κάτι ξένο προς τη συνήθη βιολογική υπόσταση, αλλά για υπαρκτή δύναμη υπό διαρκή εξελικτική κατάσταση. Ως το χρυσό των λατομείων που χωρίς να φανερώνει την παρουσία του, καρτερεί την εύρεσή του από τον υποσκαπτέα που διορατικά συναισθάνεται τη «μοιραία» κατά τα άλλα αποκάλυψή του υπό το φως των ηλιαχτίδων. Δεν είναι τυχαία αυτή η ανακάλυψη, όμως υπόκειται στους νόμους του σύμπαντος που διέπουν κάθε εξέλιξη, αποκάλυψη και υπαρξιακή κατάσταση, που δεν είναι απόρροια μόνο λογικών, αλλά ανώτερων σε ενεργειακό επίπεδο συμπαντικών αρχών.

Το μεγαλύτερο δημιούργημα της θείας πρόνοιας ονόματι άνθρωπος, δοκιμιογραφείται ως εν δυνάμει αρχιτέκτονας του μέλλοντός του. Τούτον το απλοϊκόν ρητόν, χρίζει κολοσσιαίων ανακαλύψεων, βεληνεκούς υψηλοτάτων ορίων, εν τοιούτη τη φύση. Τα κυρίαρχα ηγετικά εργαλεία προικοδοτούμενα εις το κάθε φυσιολογικό ανθρώπινο δημιούργημα, σαν θήκες οργανωμένης εγκεφαλικής εργαλειοθήκης που αναφέρονται εις το αποκαλυπτήριον της χιουμανιστικής δυνάμεως, φέρουν ενδεικτικούς τίτλους: πραγματογνωμοσύνη σκεπσιακών καταστάσεων, επιθυμίαν, ερευνητική πίστην, αυθυποβολήν, γνωσιακήν εξειδίκευσιν, δημιουργικήν φαντασίαν, οργανωμένου σχεδιασμού, ατρόμητης αποφάσεως, ακράδαντης επιμονής, δυνάμεως κυρίαρχου νου, το συμπαντικόν μυστήριον της μεταστοιχείωσης της αρνητικής ενέργειας, καθώς και υποσυνείδητη διάνοια.

Θαύμα ζωής είναι το να επιτύχει ένα άτομο ή ομάδα ατόμων, αυτό που θεωρείται ένας «απίθανος» στόχος, μέσα από τη σκέψη... την ενθάρρυνση και... τη δράση. Η επίτευξη απίθανων στόχων είναι πιθανή, εφόσον οι στόχοι και οι μέθοδοι υλοποίησής τους δεν παραβιάζουν τους παγκόσμιους νόμους – τους νόμους του Θεού και τα δικαιώματα των συνανθρώπων μας.

Καταφαίνεται λοιπόν πως η ευχή – συνάμα και κατάρα του ανθρώπινου γένους, είναι ο λειτουργιακός τρόπος χρήσεως της ήδη εγεγνωσμένης υπαρξιακής δυνάμεως, είτε σε οδούς ανόδου – είτε σε εξανδραποδιστικές καταβαρθρώσεις της ανθρώπινης υπόστασης. Κρατάμε στα χέρια μας την ατομική πυρηνική ενέργεια, που δύναται να μας λύσει το αμφιλεγόμενο ενεργειακό πρόβλημα – ή – να συνυπογράψουμε την ανθρωπιστική συμπαντική συντέλεια. Άλλωστε σύμφωνα με τον Dr. Joseph Murphy of the Research University of India... «ο τόπος σκέψης και τα όσα πιστεύετε καθορίζουν το πεπρωμένο σας»..

Αφιερώνεται η παρούσα Μεταπτυχιακή Διατριβή εις τη μνήμη της μητέρας μου Αγγελικής, που έφυγε από τον κόσμο πριν από 4 μήνες (+ 27 Μαΐου 2004) σε ηλικία 44 ετών και ο ίδιος σε ηλικία 22-23 ετών οφείλω την ύπαρξη, αλλά και τη γαλούχησή μου με τις καλύτερες ηθικές αξίες και αρχές, στον άνθρωπο που με έφερε στη ζωή και με βοηθά πλέον ενδοψυχικά να συνεχίσω το επιστημονικό – ερευνητικό έργο μου επί της γης. Ειδική μνεία στην εναπομένουσα οικογένειά μου, τον πατέρα μου Μιχάλη και τον αδερφό μου Παναγιώτη. Καθώς επίσης και στη γιαγιά μου Ελένη που έχει αναλάβει το δύσκολο έργο της μητέρας, της αδικοχαμένης κόρης της.

Θερμές ευχαριστίες θέλω να εκφράσω στον Επιβλέποντα ταύτης της Μεταπτυχιακής Διατριβής, Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αιγαίου – Δρ. Ιωάννη Ματσίνο, για την άψογη συνεργασία και παρότρυνση για την καταβολή της μέγιστης δυνατής προσπάθειας, για τα καλύτερα επιστημονικά αποτελέσματα, καθώς επίσης και για την πρωτοτυπία του θέματος της Διατριβής στο διεθνές «γίγνεσθαι».

Ευχαριστώ θερμά τον Υπ. Διδάκτωρ Matosian Almpet Ntigran του Τμήματος Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αιγαίου, για την πολυτιμότερη συμβολή του στο υπολογιστικό προγραμματιστικό τμήμα του δέκατου κεφαλαίου, η συνεργασία με τον οποίο υπήρξε άριστη και δημιουργικότητα.

Εκφράζω τις ευχαριστίες μου επίσης τους Καθηγητές του Τμήματος Περιβάλλοντος, καθώς και του Τμήματος Επιστημών της Θάλασσας του Πανεπιστημίου Αιγαίου, για τις διευκρινίσεις τους στην πορεία μου αυτή, καθώς και για τις πολύτιμες κατευθύνσεις που με συμβούλευσαν να ακολουθήσω. Ειδική μνεία στους καθηγητές του Τμήματος Επιστημών της Θάλασσας: Δρ. Δρόσο Κουτσούμπα και Δρ. Γεώργιο Κόκκορη, για την αρθρογραφική συμβολή τους, κατά την επιστημονική διερεύνησή μου.

Εύχομαι η κάθε ερευνητική προσπάθεια να εναποθέτει ένα «λιθαράκι» παραπάνω στην επιστημονική γνώση και διαχρονικά να ανερχόμεθα ως ανθρώπινο γένος, χρησιμοποιώντας το υπάρχων γνωσιακό «γίγνεσθαι» για την παγκόσμια ευημερία και εξέλιξη. Άλλωστε... «όσο μεγαλώνει το νησί της γνώσης, τόσο διευρύνεται η ακτή που αντικρίζει τον ωκεανό της άγνοιας»...

Ευάγγελος Αγγελής

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Σε κάθε φυσική κατάσταση εις τοιούτον τον κόσμο, η συνεχής εξέλιξη και εσωτερική αναδιαμόρφωση του εξεταζόμενου οντολογικού σχηματισμού, αποτελεί κανόνα της φύσης, που εναποτελεί μέρος του όλου, του σύμπαντος. Συνεπώς χρίζει επιστημονικής διερεύνησης ακαδημαϊκού επιπέδου, η μαθηματική μοντελοποίηση της χωροχρονικής εξέλιξης της εκάστοτε εξεταζόμενης καταστάσεως ενός φυσικού συστήματος, χρησιμοποιώντας την παρελθοντική διαχρονική συμμεταβολή του, την παρούσα κατάσταση, το ρυθμό ροής ενέργειας του θρεπτικού υποστρώματος ανάπτυξής του, το γενετικό ενδομοριακό βιολογικό φάσμα της εξεταζόμενης οντότητας. Επίσης η παρατήρηση, η μελέτη, η στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων και των αποτελεσμάτων και η χρήση των μαθηματικών εργαλείων, συνθέτουν μέρος της όλης διαδικασίας της έρευνας.

Η εις βάθος διείσδυση στην επιστήμη της Ιατρικής και της Επιστήμης του Περιβάλλοντος και της Οικολογίας, βοηθά την κατανόηση του όλου φαινομένου που μελετάται. Επίσης εμβαθύνεται και επισημαίνεται σημαντικός ρόλος στη χρήση και τη διασύνδεση της Μοριακής Βιολογίας, της Μαθηματικής Στατιστικής Ανάλυσης, των Μαθηματικών Οικολογικών Μοντέλων και των Μαθηματικών Μοντέλων Ιατρικής Επιδημιολογίας, ως μια σύνθεση διαφορετικών εκ πρώτης οπτικής γωνίας επιστημών, αλλά με τόσες ομοιότητες, καθώς και τη χρησιμοποίηση των ερευνητικών αξιωμάτων που δομούν τις Επιστήμες, δημιουργώντας μια νέα Επιστήμη που τιτλοφορείται με τον τίτλο της παρούσας Μεταπτυχιακής Διατριβής: «Επιδημιολογικά Μαθηματικά Μοντέλα Προσομοίωσης Βιολογικών Εισβολέων».

Στο Κεφάλαιο 1 αναλύεται η έννοια των Βιολογικών Εισβολέων και παρουσιάζεται η Μαθηματική Ερευνητική Μεθοδολογία προσέγγισής τους.

Στο Κεφάλαιο 2 εμβαθύνουμε στα Μοντέλα Τύπου Lotka – Volterra, Διαειδικού Ανταγωνισμού και Μοντέλων Χωρικής Διασποράς ως χρήσιμα εργαλεία επιδημιολογικής χωροχρονικής διακριτοποίησης των εξεταζόμενων φυσικών συστημάτων, που αποτελούν τους βασικούς ενδοβιολογικούς κανόνες που καθορίζουν την προδιάθεση, αλλά και την εμφάνιση αλλαγής, κατά το στάδιο της διαιώνιας εξελίξεως.

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται Πειραματικές Μετρήσεις και Μαθηματικές Στατιστικές Αναλύσεις, βιολογικής εξάπλωσης των ειδών, σε παγκόσμια κλίμακα.

Στο Κεφάλαιο 4 παρατίθεται ένα Φυσικό – Βασικό Μοντέλο για την προσομοίωση της νεοπλασματικής ανάπτυξης και μετάστασης, με ολόκληρο το Μαθηματικό Μοντελισμό Προσομοίωσης της Καρκινικής Επιδημιολογικής Εξάπλωσης και Διασποράς, καθώς και παρουσίαση των Πειραματικών Δεδομένων σε Κλινικές Εφαρμογές.

Στο Κεφάλαιο 5 εκτίθεται η ανάλυση της Μοριακής Κατάστασης της Καρκινογένεσης και ο μηχανισμός λειτουργίας και εξάπλωσής της.

Στο Κεφάλαιο 6 διατίθεται η Γενετική Μηχανική των Καρκινικών Ιών και η Εισαγωγή Βλαβερών Πληροφοριών μέσα στα Ζωικά Κύτταρα, σύμφωνα με το Ινστιτούτο Ιατρικής Έρευνας Walter and Eliza Hall.

Στο Κεφάλαιο 7 διαφαίνεται μια πρωτότυπη ερευνητική εργασία Προέλευσης και Διανυσμάτων της Εισαγωγής των Εξωτικών Μαλάκιων στα Ελληνικά Ύδατα, με τις αντίστοιχες σχηματικές απεικονίσεις βιολογικών εισβολέων.

Στο Κεφάλαιο 8 εκθέτουμε τα Βασικά Μαθηματικά Προγραμματιστικά Εργαλεία τα οποία χρησιμοποιούνται σε επόμενο κεφάλαιο για τον Μαθηματικό Προγραμματισμό μέσω του Προγράμματος Mathematica.

Στο Κεφάλαιο 9 αιτιολογούμε και αποδεικνύουμε τη χρησιμότητα του Mathematica για τον Αυτόματο Κυτταρικό Μοντελισμό [Cellular Automata Modeling] αναλύοντας τα pixels αλληλοδιαδοχής μιας πληροφορίας ζωτικής σημασίας.

Τελειώνοντας στο Κεφάλαιο 10 έχουμε τη Βασικότερη Εφαρμογή ταύτης της Ερευνητικής Διατριβής με 3 προγράμματα που «τρέχουν» σε περιβάλλον Mathematica, εκ των οποίων τα 2 αποτελούν πόνημα προσωπικού μαθηματικού προγραμματισμού. Τιτλοφορείται ως: “The running program” of neoplastic growth and metastasis on the biologic invaders.

Κάθε Ερευνητική προσπάθεια συνεισφέρει στην ανάπτυξη της υπάρχουσας Επιστήμης και όλοι μας έχουμε όφελος να εναποθέσουμε τα εκάστοτε πονήματά μας για την περαιτέρω οικουμενική ανάπτυξη της γνώσης, ως κληρονομιά στους απογόνους μας, σύμφωνα με το Αριστοτελικό πρότυπο της ετυμολογίας του ανθρώπου (άνω-θρώσκω), που μας διακρίνει από κάθε άλλο έλλογο είδος ζωής γνωστό έως σήμερα.

Ευάγγελος Αγγελής

Κεφάλαιο 1: Βιολογικοί Εισβολείς και Μεθοδολογία Προσέγγισής τους

Εισαγωγική Αναφορά περί Εισβολών

Οι βιολογικές εισβολές είναι ένα φαινόμενο το οποίο έχει μεγάλη οικονομική σημασία, σημαντικές επιπτώσεις στη διατήρηση της Βιοποικιλότητας και η μελέτη του υποστηρίζει τη διερεύνηση ερωτημάτων που αφορούν τη Βιοκοινωνική Οικολογία. Η μεθοδολογία της έρευνας σε αυτό το επιστημονικό πεδίο ακολουθεί τις κλασικές προσεγγίσεις των βιολογικών επιστημών: περιγραφή, πείραμα και υπολογιστικές προσομοιώσεις. Σε αυτή την εργασία, χρησιμοποιούμε προσομοιώσεις μέσω υπολογιστών για να εξετάσουμε θεμελιώδη ερωτήματα που σχετίζονται με το φαινόμενο των βιολογικών εισβολών σε βιοκοινότητες ανταγωνισμού, τη βιοκοινωνική συνάθροιση, τις "συγκρούσεις" βιοκοινοτήτων και τα θεμελιώδη είδη.

Τα είδη - πιθανοί εισβολείς - συνυπάρχουν σε ένα περιφερειακό απόθεμα ακολουθώντας μία σχέση τέλει μεταβατικής ανταγωνιστικής ιεραρχίας και εν δυνάμει ανταγωνίζονται μεταξύ τους ακολουθώντας τη συνήθη δυναμική των συστημάτων ανταγωνισμού τύπου Lotka-Volterra. Οι συντελεστές ανταγωνισμού επιλέγονται έτσι ώστε τα είδη να μπορούν να συνυπάρχουν ανά δύο (ασθενής ανταγωνισμός). Τα είδη, επιλεγόμενα τυχαία, αρχίζουν να εποίκίζουν έναν άδειο χώρο, ένα σε κάθε χρονική στιγμή. Το αποτέλεσμα της απόπειρας εισβολής μπορεί να είναι επιτυχημένο ή αποτυχημένο και να προκαλεί πιθανόν εκλείψεις ειδών που προυπάρχουν στη βιοκοινότητα. Με αυτή τη διαδικασία, δημιουργούνται βιοκοινότητες τελικής κατάστασης οι οποίες είναι άτρωτες σε παραπέρα εισβολές. Η προσομοίωση επαναλαμβάνεται για διαφορετικά υποσύνολα του αρχικού αποθέματος ειδών.

Στη φύση, όλοι οι οργανισμοί μετακινούνται, μεταναστεύουν ή διασπείρονται σε κάποιο βαθμό. Μεταξύ των οργανισμών που έχουν τη δυνατότητα της ενεργητικής μετακίνησης, πολλοί έχουν το γνώρισμα να κινούνται με ένα συγκεκριμένο τρόπο, σε ένα συγκεκριμένο πεδίο με συγκεκριμένη συχνότητα. Για παράδειγμα, το ζωοπλαγκτό επαναλαμβάνει ημερήσια κατακόρυφες κινήσεις, κατά τις οποίες ανεβαίνει προς την επιφάνεια του νερού τη νύκτα, ενώ βυθίζεται προς τον πυθμένα την ημέρα, και πιο σπάνια το αντίστροφο (Zaret, 1980). Πολλά πτηνά και θηλαστικά επιστρέφουν στη φωλιά τους κατά τις πρώτες βραδινές ώρες, μετά από μια ημέρα που ξόδεψαν στην επικράτειά τους. Η πιο τυπική μετανάστευση είναι αυτή της οποίας η αποδημία και επιστροφή έχει ετήσια περιοδικότητα. Τα μεταναστευτικά πουλιά, όπως τα χελιδόνια, επιστρέφουν στην ίδια περιοχή αναπαραγωγής κάθε χρόνο. Μερικά ψάρια (π.χ. οι σολωμοί) και κήτη (π.χ. οι φάλαινες) μεταναστεύουν μεταξύ του Ισημερινού και των πολικών περιοχών αναζητώντας τροφή ή περιοχές αναπαραγωγής. Πάντως, η επικράτεια ενός είδους δεν επεκτείνεται πέρα από καθορισμένες περιοχές, παρά τις μεταναστευτικές κινήσεις. Εν τούτοις, ορισμένα άτομα να διασπείρονται σε νέες περιοχές, χωρίς να γυρίζουν στις αρχικές.

Κινήσεις διασποράς παρατηρούνται κυρίως όταν νεαρά άτομα εγκαταλείπουν τις περιοχές γέννησης ή όταν η ποιότητα της βιοκατοικίας ενός οργανισμού χειροτερεύει λόγω επίδρασης διαφόρων παραγόντων (π.χ. υπερπληθυσμός, ανθρωπογενής υποβάθμιση της βιοκατοικίας κ.λπ.). Αν, με τη διασπορά αυτή, βρεθεί μια νέα κατάλληλη βιοκατοικία, τότε το εύρος της φυσικής εξάπλωσης μεγαλώνει.

Εισβολή εμφανίζεται όταν ένα είδος εποικεί και διατηρείται (*persists*) σε μια περιοχή που δεν κατοικούσε προηγούμενα (Vermeij, 1996, Shigesada and Kawasaki, 1997).

Στη γεωλογική κλίμακα του χρόνου, η γεωγραφική κατανομή των ειδών στην επιφάνεια της Γης άλλαζε κάθε φορά που λάμβανε χώρα μια μεγάλη κλιματική ή γεωμορφολογική αλλαγή (Cox and Moore, 1993). Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια των τελευταίων 10000 ετών, οι χώροι εξάπλωσης των ειδών μεταβλήθηκαν σταδιακά μετά τον τερματισμό της εποχής των παγετώνων της Πλειστοκαίνου (Vermeij, 1991).

Τα είδη-εισβολείς μπορεί να έχουν ως οικολογική συνέπεια τη μείωση του μεγέθους των πληθυσμών — μέχρι εκλείψεως — στις βιοκοινότητες-αποδέκτες, γεγονός το οποίο μπορεί να οδηγήσει μερικές φορές σε αλλαγή της δομής του οικοσυστήματος (Williamson, 1996). Σε δύο κλασικά συγγράμματα σχετικά με τις εισβολές, από τον Elton (1958) και τους Baker και Stebbins (1965), περιγράφονται μορφώματα (patterns) εισβολής και προτείνονται ερμηνείες για το φαινόμενο, που δεσπόζουν στη σύγχρονη βιβλιογραφία. Μολονότι, λόγω των οικολογικών συνεπειών των εισβολών, τα περισσότερα κράτη εφαρμόζουν σήμερα συστήματα «καραντίνας» ως προφύλαξη από τις βιολογικές εισβολές, τα αποτελέσματα δεν είναι ικανοποιητικά. Οι άνθρωποι σήμερα ταξιδεύουν, εμπορεύονται και επεμβαίνουν στη φύση σε μεγάλη κλίμακα. Αυτές οι δραστηριότητες δημιουργούν κατάλληλες συνθήκες για εισβολές. **Για τις περισσότερες χώρες, ο αριθμός των τεκμηριωμένων εισβολών και εισαγωγών είναι μεταξύ 100 και 10000 ειδών (Lodge, 1993).** Ακόμα και στην Ολλανδία, μια χώρα της ίδιας ‘τάξης’ μεγέθους με την Ελλάδα, υπάρχουν 300 ξενικά ή εξωτικά είδη. Στον Πίνακα παρουσιάζονται τα ιστορικά γεγονότα που διευκόλυναν τις βιολογικές εισβολές (di Castri, 1989).

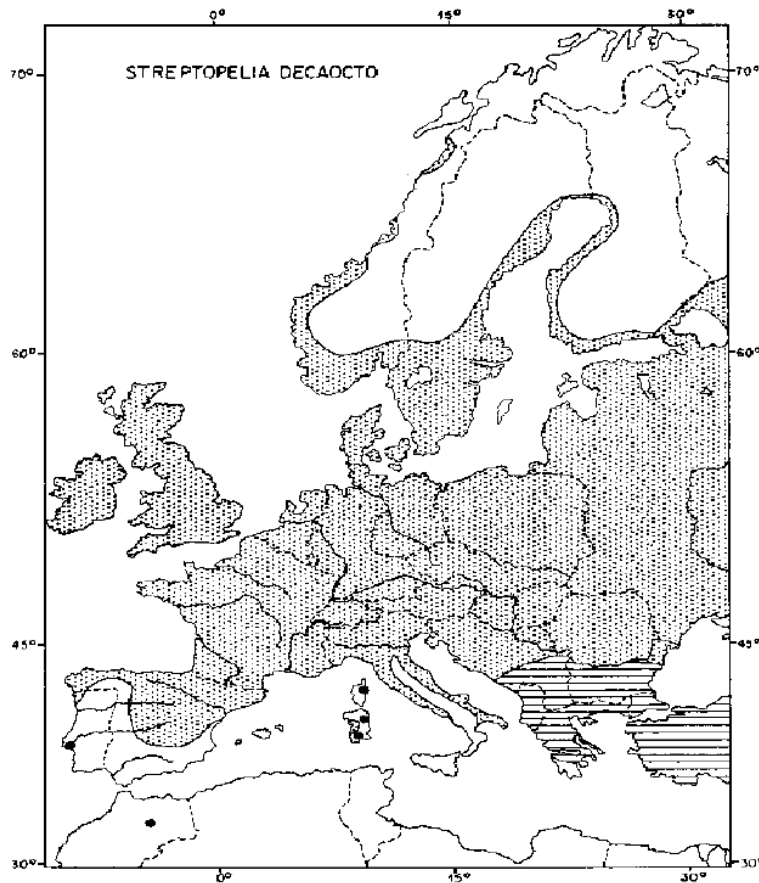
Κατηγορίες Εισβολών

Το συντριπτικό ποσοστό των εισβολών οφείλονται σε ανθρωπογενείς αιτίες, εσκεμμένες ή μη. Και στις δύο περιπτώσεις καλούνται **εισαγωγές**. Φυσικές εισβολές με την έννοια της εξάπλωσης εμφανίζουν είδη κυρίως από την ορνιθοπανίδα, με μεγάλη ικανότητα διασποράς, (Williamson, 1996). Γνωστά, τεκμηριωμένα παραδείγματα αποτελούν η εξάπλωση της δεκαοχτούρας (*Streptopelia decaocto*), από τα Νοτιοανατολικά Βαλκάνια προς την υπόλοιπη Ευρώπη, (Σχήμα 1), ή του ωκεάνιου πτηνού *Fulmarus glacialis* από το Βόρειο Ατλαντικό ωκεανό στη Βόρεια Ευρώπη (Hengeveld, 1989). Η εξάπλωση της ενυδρίδας (*Enhydra lutris*) στις ακτές της Καλιφόρνιας με κατευθύνσεις προς το Βορρά και προς το Νότο (Lubina and Levin, 1988) αποτελεί ένα παράδειγμα φυσικής εισβολής θηλαστικού.

Η ταξινομική ομάδα δεν αποτελεί παράγοντα αποκλεισμού της ικανότητας εισβολής. Επιτυχημένοι εισβολείς υπάρχουν σε όλες σχεδόν τις ταξινομικές ομάδες (Mooney and Drake, 1989):

Οι βιολογικές εισβολές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τη μαζικότητα του φαινομένου. Συνήθως, μελετάται η εισβολή ενός είδους κατά περίπτωση. Εχουν όμως αναφερθεί και περιπτώσεις μαζικών εισβολών ειδών. Η κατασκευή του καναλιού του Σουέζ, που ένωσε τα οικοσυστήματα της Ερυθράς Θάλασσας και της Μεσογείου, οδήγησε σε μαζικές εισβολές ειδών από το ένα στο άλλο (Por, 1978, Golani, 1993). Ένας σημαντικός λόγος που διευκόλυνε αυτή τη μετακίνηση ήταν ο εξής: πριν την κατασκευή του φράγματος του Ασσουάν, η χαμηλή αλατότητα της Μεσογείου λόγω των τεράστιων ποσοτήτων νερού που δεχόταν από τον ποταμό Νείλο, αποτελούσε ένα εμπόδιο στην εξάπλωση των ειδών της Ερυθράς θάλασσας. Μετά την κατασκευή του φράγματος, τεράστιες ποσότητες νερού που διαφορετικά θα έφθαναν στη Μεσόγειο και θα διατηρούσαν την αλατότητά της σταθερή, κατακρατούνται. ως αποτέλεσμα αυτού, αυξάνεται η αλατότητα της Μεσογείου και συγκλίνει με αυτήν της Ερυθράς. Έτσι τα είδη των δύο θαλασσών αναμιγνύονται.

Σχήμα: Περιοχή αρχικής αναπαραγωγής της δεκαοχτούρας (*Streptopelia decaocto*) το 1932 (οριζόντιες γραμμές) και επέκτασή της μέχρι το 1986 (εστιασμένη περιοχή), (από Isenmann, 1990).



Για τις ανάγκες αυτού του πονήματος, υιοθετούμε τους επόμενους ορισμούς: (τροποποιημένους από Williamson, 1996 και Williamson and Fitter, 1996a):

- **Εισβολέας**: Είναι ένα αλλόχθον είδος που εμφανίζεται σε μια περιοχή (ορισμός γεωγραφικός). Οι εισβολείς είναι είτε είδη που έχουν αποικίσει μια περιοχή, έχουν αναπτύξει βιώσιμους πληθυσμούς και αναπαράγονται, δηλαδή έχουν εγκατασταθεί (established), είτε είδη που έχουν εισαχθεί (introduced) σε μια περιοχή, αλλά βρίσκονται σε ένα μεταβατικό στάδιο και δεν έχουν ακόμα αναπτύξει βιώσιμους πληθυσμούς. Ενώ η εισβολή είναι το επιτυχημένο αποτέλεσμα της διαδικασίας επέκτασης της αρχικής περιοχής εξάπλωσης, ο εισβολέας μπορεί να καταφέρει να εγκατασταθεί, αλλά μπορεί και όχι. (Στη βιβλιογραφία χρησιμοποιούνται με ίδια σημασία και οι όροι ξενικό (alien) και εξωτικό (exotic) είδος, χωρίς αυστηρούς ορισμούς).
- **Ζιζάνιο**: Είναι χαρακτηρισμός που δίδεται σε ένα είδος, το οποίο έχει αρνητική οικονομική επίδραση στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Τα ζιζάνια (pests, weeds) μπορεί να είναι εισβολείς ή αυτόχθονα είδη των οποίων ο πληθυσμός αυξήθηκε ως απόκριση σε ουσιαστικά απεριόριστο (για αυτά) πόρο, σε επίπεδα που επηρεάζουν τη λειτουργία του οικοσυστήματος. Ο ορισμός αυτός σχετίζεται σαφώς με την ανθρώπινη αντίληψη για το περιβάλλον.

Πίνακας: Είδη, παραδείγματα εισβολέων και περιοχές αρχικής φυσικής εξάπλωσης/περιοχές εισβολής.

Ταξινομική Ομάδα/Είδος	Περιοχές Φυσικής Εξάπλωσης/Εισβολής
<u>Θηλαστικά</u>	
Μοσχοποντικός (<i>Ondatra zibethica</i>)	Βόρεια Αμερική/Ευρώπη (Elton, 1958)
Ελάφι (<i>Cervus elaphus</i>)	Ευρώπη/Νέα Ζηλανδία (Clarke, 1971)
Κουνέλι (<i>Oryctolagus cuniculus</i>)	Ευρώπη/Αυστραλία (Flux, 1994)
<u>Πτηνά</u>	
Ψαρόνι (<i>Sturnus vulgaris</i>)	Ευρώπη/Βόρεια Αμερική (Okubo, 1988)
Σπουργίτι (<i>Passer domesticus</i>)	Ευρώπη/Βόρεια Αμερική (Okubo, 1988)
<u>Εντομια</u>	
Ιαπωνικό σκαθάρι (<i>Popillia japonica</i>)	Ιαπωνία/Βόρεια Αμερική (Elton, 1958)
<i>Lymantria dispar</i>	Ευρώπη/Βόρεια Αμερική (Liebhold <i>et al.</i> , 1992)
<u>Φυτά</u>	
Ακακίες (<i>Acacia</i> sp.)	Αυστραλία/Ευρώπη (Crawley, 1997)
<i>Lythrum salicaria</i>	Ευρώπη/Βόρεια Αμερική (Crawley, 1997)
<u>Παθογόνα</u>	
Myxoma virus	Νότια Αμερική/Αυστραλία, Ευρώπη (Williamson, 1996)
Human Immunodeficiency Virus	Αφρική; Ολόκληρος ο πλανήτης (Ewald, 1994)

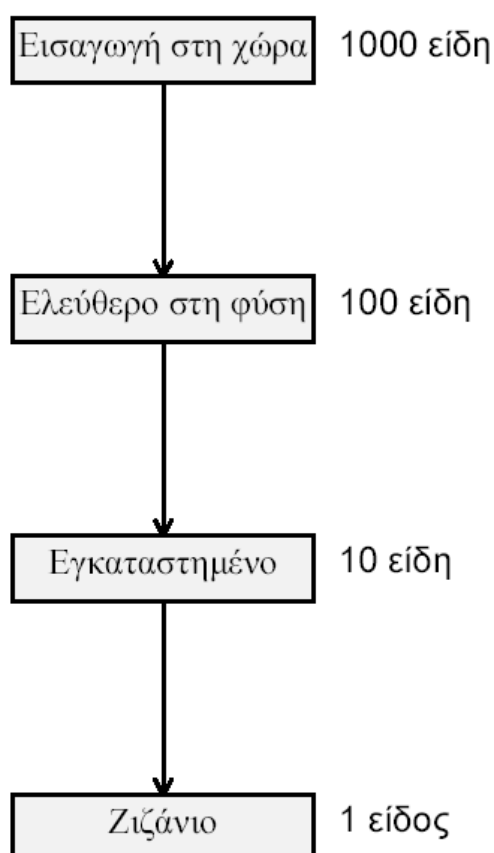
Πίνακας: Ιστορικά γεγονότα που διευκόλυναν τις βιολογικές εισβολές και εισαγωγές

Πριν από το 1500 μ.Χ.	Μετά το 1500 μ.Χ.	Από τον 19ο αιώνα σε επίπεδο πλανήτη
<p>Προϊστορική γεωργία Κτηνοτροφία Αποικισμός και νομαδισμός Παράκτια κυκλοφορία Εγκατάσταση σε νησιά (π.χ. Κορσική) Εντατικοποίηση της γεωργίας με όργανα Εκχέρσωση δασών Κυκλοφορία και εμπόριο ανοικτής θάλασσας Δημιουργία αποικιών (π.χ. Φοινικικές και Ελληνικές) Δημιουργία μεγάλων αυτοκρατοριών (π.χ. Περσική, Ρωμαϊκή, Αραβική) με σημαντική ανάπτυξη συστημάτων επικοινωνιών και μεταφοράς Επεκτατικοί πόλεμοι και στρατιωτική ανάπτυξη Εισβολές Γερμανικών και Ασιατικών λαών, κυρίως από την Ανατολή στη Δύση Ναυτιλιακό εμπόριο σε μεγάλες αποστάσεις Εδραίωση οικονομικών αγορών (π.χ. Βενετία) που κάλυπταν το γνωστό κόσμο μέχρι την Απω Ανατολή</p>	<p>Ανακάλυψη, εξερεύνηση και αποικισμός από τους Ευρωπαίους άλλων περιοχών και ηπείρων Εδραίωση νέων οικονομικών αγορών και περιοχών σταυροδρόμια (π.χ. Αμστερνταμ, Λονδίνο) που ευνοούσαν την παγκοσμιοποίηση των εμπορικών ανταλλαγών Μεγάλες αποικίες κάτω από την εξουσία των Ευρωπαίων που συχνά συνεπαγόταν εισαγωγή ευρωπαϊκού τύπου γεωργίας και αυξημένων <i>inter alia</i> δια-τροπικών ανταλλαγών Επανάσταση στις διατροφικές συνήθειες των Ευρωπαίων (π.χ. αυξημένη χρήση τσαγιού, καφέ, ριζιού, ζάχαρης, μοσχαρίσιου και αρνίσιου κρέατος) Αυξημένη ζήτηση στην Ευρώπη προϊόντων όπως βαμβάκι, καπνός, μαλλί κ.λπ. Δουλεία των μαύρων, Ινδική και Κινεζική μετανάστευση Ανάπτυξη ιεραποστολών Κατοχή από τους Ρώσους της βόρειας και τμήματος της κεντρικής Ασίας μέχρι τη Σιβηρία Εσκεμμένη εισαγωγή στη Γηραιά Ηπειρο εξωτικών ειδών μέσω δραστηριοτήτων ομίλων εγκλιματισμού, βοτανικών και ζωολογικών κήπων, και για τη γεωργία, δασοπονία, αλιεία και διακοσμητικούς σκοπούς Μεγάλης κλίμακας αποικισμός από τη Γηραιά Ηπειρο λόγω διώξεων κατά τη διάρκεια θρησκευτικών συγκρούσεων, εμφυλίων και πολέμων ανεξαρτησίας, και λόγω δημογραφικών πιέσεων, ανεργίας και λιμών</p>	<p>Βελτίωση των συστημάτων μεταφοράς (δρόμοι, σιδηρόδρομοι, εσωτερική ναυσιπλοΐα με κανάλια) Μεγάλες κατασκευές για άρδευση και υδροηλεκτρική ενέργεια Ανοιγμα καναλιών επικοινωνίας ωκεανών (π.χ. Σουέζ, Παναμά, Βόλγα-Ντον) Αεροπορικές μεταφορές Παγκόσμιοι πόλεμοι και μετατοπίσεις ανθρώπινων πληθυσμών Αποαποικιοποίηση, διεθνής βοήθεια σε νέες ανεξάρτητες χώρες με δυτικά πρότυπα Εμφάνιση πολυεθνικών εταιρειών Αποδάσωση τροπικών και προγράμματα επανεγκατάστασης τοπικών πληθυσμών Δενδροφύτευση ξηρών περιοχών με εξωτικά είδη Περιβαλλοντικές επιδράσεις που μειώνουν την ικανότητα επαναφοράς των οικοσυστημάτων Αυξημένη αστικοποίηση και δημιουργία νέων βιοκατοικιών όπου η φυσική βλάστηση έχει εξαλειφθεί Διεθνής αλληλεξάρτηση αγορών Απελευθέρωση στο περιβάλλον γενετικά τροποποιημένων οργανισμών</p>

Τα βασικά γνωρίσματα που καθιστούν ένα είδος δυνητικό εισβολέα είναι ο ενδογενής ρυθμός ανάπτυξης, ο τρόπος αναπαραγωγής και η γενετική δομή, η αφθονία του στη βιοκατοικία από την οποία προέρχεται και κλίμα της περιοχής νέας εξάπλωσης το οποίο να ταιριάζει με το κλίμα της περιοχής στην οποία εισβάλλει ή εισάγεται (π.χ. Crawley, 1986, Williamson, 1996). Αυτά τα γνωρίσματα συνήθως εμφανίζονται στα είδη που χαρακτηρίζονται ως ζιζάνια. Για το λόγο αυτό, υπάρχουν πολλά παραδείγματα στη βιβλιογραφία συγκεκριμένης ή αδιάκριτης χρήσης των όρων αυτών δεν μπορούμε πάντως να χαρακτηρίσουμε όλα τα φυτά που είναι επιτυχημένοι εισβολείς, ως ζιζάνια, όπως επίσης δεν μπορούμε να θεωρήσουμε εισβολή τις περιοδικές πληθυσμιακές εξάρσεις διαφόρων ειδών (π.χ. τρωκτικών ή εντόμων).

Στο Σχήμα βλέπουμε τις διαδοχικές καταστάσεις ειδών ενός «αποθέματος», τα οποία εισβάλλουν ή εισάγονται σε μία «χώρα». Η πιθανότητα μετάβασης από τη μία κατάσταση στην άλλη είναι περίπου 10% - (tens rule, Williamson, 1996). Έτσι, από 1000 είδη που εισάγονται, τα 100 διαφεύγουν στη φύση. Από τα 100 αυτά μόνο δέκα καταφέρνουν να δημιουργήσουν βιώσιμους πληθυσμούς – τα υπόλοιπα εξαφανίζονται. Από τα δέκα είδη επιτυχημένους εισβολείς, ένα μπορεί να αποτελέσει ζιζάνιο.

Σχήμα: Διαφορετικές καταστάσεις από τις οποίες περνούν τα είδη που εισβάλλουν ή εισάγονται σε μία ‘χώρα’.



Θεμελιώδη Είδη

Στις προηγούμενες παραγράφους είδαμε ότι ένα σύνηθες αποτέλεσμα μιας εισβολής είναι η έκλειψη ειδών της βιοκοινότητας-αποδέκτη. .εν έχουν όλα τα είδη όμως την ίδια σπουδαιότητα σε μια βιοκοινότητα. Για παράδειγμα, είναι γνωστό ότι τα είδη που είναι πιο άφθονα παίζουν ένα σημαντικό ρόλο στον έλεγχο των ρυθμών και των κατευθύνσεων πολλών βιοκοινοτικών και οικοσυστημικών λειτουργιών. Αυτά τα κυρίαρχα (με την έννοια της αφθονίας) είδη είναι συχνά κρίσιμα για τη διατήρηση των βιοκοινοτήτων τους, γιατί χαρακτηριστικά παρέχουν την κύρια ροή ενέργειας και την μερικές φορές απαιτούμενη τρισδιάστατη δομή που υποστηρίζει και προστατεύει άλλους οργανισμούς (Ashton, 1992, Power *et al.*, 1996).

Πολλά πειράματα όμως έχουν δείξει ότι ορισμένα λιγότερο άφθονα είδη, που συχνά καλούνται **θεμελιώδη** ή βασικά ή είδη κλειδιά (**keystone species**), έχουν επίσης ισχυρές επιδράσεις σε βιοκοινότητες και οικοσυστήματα (π.χ. Paine, 1969). Τα θεμελιώδη είδη διαφέρουν από τα κυρίαρχα στο ότι οι επιδράσεις τους είναι πολύ μεγαλύτερες από ό,τι θα περίμενε κανείς από την αφθονία τους. Ο πρώτος ορισμός του θεμελιώδους είδους προτάθηκε από τον Paine (1969) και αναφερόταν σε ένα είδος που επιλεκτικά καταναλώνει και κρατούσε υπό έλεγχο κάποιο άλλο είδος, το οποίο διαφορετικά θα κυριαρχούσε στο σύστημα.

Πίνακας: Μια κατηγοριοποίηση θεμελιωδών ειδών και των κυρίαρχων τρόπων δράσης τους (τροποποιημένη από Bond, 1994).

Τύπος	Κυρίαρχος τρόπος δράσης
Θηρευτές	Καταστολή ανταγωνιστών
Φυτοφάγοι	Καταστολή ανταγωνιστών
Παθογόνα, παράσιτα	Καταστολή θηρευτών, φυτοφάγων, ανταγωνιστών
Ανταγωνιστές	Καταστολή ανταγωνιστών
Οργανισμοί για βιολογική καταπολέμηση	Καταστολή πληθυσμών από παρασιτοειδή
Αμοιβαϊωτικοί	Αποτελεσματικοί αναπαραγωγοί
«Οικοσυστημικοί Μηχανικοί»	Φυσική διαταραχή
Επεξεργαστές του συστήματος	Ρυθμοί μεταφοράς θρεπτικών
Αβιοτικοί συντελεστές	Φυσική διαταραχή, ιδιαίτερα όταν προκαλεί θνησιμότητα

Στην περίπτωση των θηρευτών, τα αποτελέσματα προέκυψαν από πειράματα με αφαιρέσεις (π.χ. Paine, 1980) ή εισαγωγές ειδών (π.χ. Spencer *et al.*, 1991) σε θαλάσσια και χερσαία οικοσυστήματα. Παραδείγματα αποτελούν ο αστερίας *Pisaster ochraceus* (από την κλασσική εργασία του Paine (1966)) και το σαλιγκάρι *Nucella*

lapillus (Menge, 1976) τα οποία είναι θηρευτές ίθυρων. Οι ενδείξεις για το χαρακτηρισμό των παραπάνω δύο ειδών ως θεμελιωδών προέκυψε με πειραματική αφαίρεσή τους από την περιοχή της μελέτης (βραχώδεις ακτές στη ζώνη που επηρεάζεται από την παλίρροια).

Ο χαρακτηρισμός φυτοφάγων (ή νομέων) οργανισμών ως θεμελιωδών δεν είναι εύκολος για άλλα είδη εκτός από τα μεγα-φυτοφάγα. Το πλέον γνωστό και αδιαμφισβήτητο παράδειγμα αποτελεί ο αφρικανικός ελέφαντας. Το είδος αυτό είναι υπεύθυνο για θεαματικές αλλαγές στη δομή και τη σύνθεση της βλάστησης, ειδικά όταν η νομή αλληλεπιδρά με τη φωτιά. Υποστηρίζεται ότι η εξαφάνιση μεγάλων φυτοφάγων στο τέλος της Πλειστόκαινης είχε ως αποτέλεσμα τη μετατροπή μωσαϊκών δασωδών και λιβαδικών εκτάσεων χαμηλής βλάστησης σε δάση και λιβάδια με υψηλή βλάστηση, που οδήγησε στον αφανισμό πολλών ειδών θηλαστικών που εξαρτώνταν από τον κατακερματισμό του τοπίου και από πιο θρεπτικά χαμηλά λιβάδια (Owen-Smith, 1989). Επαρκώς τεκμηριωμένο παράδειγμα⁴ αποτελούν επίσης τα τρωκτικά που τρέφονται με σπόρους στις ερήμους της Βόρειας Αμερικής. Αυτά καταναλώνουν μεγάλους σπόρους φυτών, τα οποία διαφορετικά θα ανταγωνίζονταν φυτά με μικρούς σπόρους. Αυτό το γεγονός άμεσα επηρεάζει τη σύνθεση της φυτοκοινότητας και έμμεσα τις πυκνότητες ειδών μυρμηγκιών και πουλιών (Brown and Heske, 1990).

Τα **παθογόνα** ή τα παράσιτα αποτελούν μια ειδική μορφή θήρευσης, και κατ' επέκταση, της έννοιας του θεμελιώδους θηρευτή. Η αφθονία ή η κατανομή ενός θηρευτή (ή νομέα) ή ανταγωνιστή ελέγχεται από ένα παράσιτο και η εξάλειψη του παρασίτου μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλες αλλαγές στη βιοκοινότητα. Κατάλληλο παράδειγμα εδώ αποτελεί η εισαγωγή του ιού *Mycomatosis* για τον έλεγχο των κουνελιών στη Μ. Βρετανία. Αυτή η έλλειψη των καταναλωτών, είχε σαν αποτέλεσμα, πολλά λιβάδια να μετατραπούν σε περιοχές με ξυλώδεις θάμνους (Harper, 1977).

Η μελέτη των θεμελιωδών **ανταγωνιστών** βρίσκεται ακόμα στα σπάργανα. Κανένας δεν φαίνεται να έχει χαρακτηρίσει κάποιο είδος ως τέτοιο. Από την άλλη μεριά, η σπουδαιότητα των θεμελιωδών θηρευτών συχνά εξαρτάται από την επίδρασή τους σε ανταγωνιστικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ εν δυνάμει κυρίαρχων ειδών. Μπορούμε βέβαια να χαρακτηρίσουμε ως θεμελιώδεις ανταγωνιστές τα είδη που συμμετέχουν στην κατάσταση κλίμακας μιας φυτοκοινότητας. Μια τέτοια βιοκοινότητα αποτελείται από λίγα, υψηλά, μακρόζωα είδη δένδρων και λίγα είδη στον υπόροφο να επιβιώνουν στη σκιά. Η βαθμιαία μείωση του αριθμού των ειδών όσο προχωρεί η διαδοχή είναι καλώς τεκμηριωμένη (π.χ. Tilman, 1988). Η θεωρία της διαταραχής ενδιάμεσης έντασης, έμμεσα αναγνωρίζει το θεμελιώδη ρόλο των ειδών της κλίμακας στη συγκράτηση της βιοκοινοτικής ποικιλότητας (Huston, 1979).

Θεμελιώδη είδη σε **αμοιβαϊοτικές** σχέσεις μεταξύ τους αποτελούν σημαντικό επίσης τύπο. Ο Gilbert (1980) ήταν ο πρώτος που περιέγραψε τέτοια είδη, κυρίως φυτικά, τα οποία προσφέρουν κρίσιμη υποστήριξη σε μεγάλα συμπλέγματα «κινητών δεσμών» (mobile links), όπως είναι ζωικοί επικονιαστές και διασπορείς.

Ποσοτικός Ορισμός Θεμελιωδών Ειδών.

Οι Power *et al.* (1996) προτείνουν έναν ορισμό που αντανακλά καλύτερα τη σύγχρονη χρήση του όρου: «Θεμελιώδες είναι ένα είδος, του οποίου η επίδραση στη βιοκοινότητα ή το οικοσύστημα που ανήκει είναι μεγάλη, και δυσανάλογα μεγάλη σε σχέση με την αφθονία του». Για την ανάπτυξη ενός χειριστικού ορισμού για τα θεμελιώδη είδη, πρέπει να οριστεί η ένταση της επίδρασης ενός είδους σε κάποιο βιοκοινοτικό ή οικοσυστημικό χαρακτηριστικό. Αυτό το μέτρο, που η Power *et al.* (1996) καλούν βιοκοινοτική σπουδαιότητα (CI - community importance), είναι η μεταβολή σε ένα βιοκοινοτικό ή οικοσυστημικό χαρακτηριστικό ανά μονάδα μεταβολής στην αφθονία του είδους. Αυτή η προσέγγιση είναι μια γενίκευση της έννοιας της βιοκοινοτικής σπουδαιότητας του Mills *et al.* (1993). Με μαθηματική γραφή θα έχουμε:

$$CI = \frac{d(\text{χαρακτηριστικό})}{dp} \cdot \frac{1}{(\text{χαρακτηριστικό})}$$

όπου p είναι η σχετική αφθονία (στις περισσότερες περιπτώσεις, σχετική αφθονία ως προς την ολική βιομάζα όλων των άλλων ειδών στη βιοκοινότητα) του είδους, του οποίου η αφθονία μεταβάλλεται. Το χαρακτηριστικό αναφέρεται σε ποσοτικό χαρακτηριστικό μιας βιοκοινότητας ή ενός οικοσυστήματος. Εν δυνάμει βιοκοινοτικά ή οικοσυστημικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν την παραγωγικότητα, τον κύκλο των θρεπτικών, τον πλούτο των ειδών ή την αφθονία ενός ή περισσοτέρων λειτουργικών ομάδων ειδών ή του κυρίαρχου είδους. Τα πειράματα, που θα είχαν σκοπό να υπολογίσουν τη βιοκοινοτική σπουδαιότητα ενός είδους αλλάζοντας την αφθονία του, θα πρέπει να προχωρήσουν αρκετά, έτσι ώστε να γίνουν ορατές οι έμμεσες επιδράσεις. Η επιλογή της παραγώγου αντί της μερικής παραγώγου, στον παραπάνω ορισμό έχει ακριβώς να κάνει με τον υπολογισμό των άμεσων και έμμεσων επιδράσεων.

Επειδή στην πράξη είναι δύσκολο να μετρήσουμε επιδράσεις μικρών μεταβολών στην αφθονία των ειδών, αυτό που μπορούμε να κάνουμε είναι να αφαιρέσουμε τελείως το είδος από τη βιοκοινότητα. Ο τύπος στην περίπτωση αυτή θα είναι (Power *et al.* 1996):

$$CI_i = \frac{t_N - t_D}{t_N} \cdot \frac{1}{p_i}$$

όπου t_N είναι μια ποσοτική μέτρηση του χαρακτηριστικού στην άθικτη βιοκοινότητα ή οικοσύστημα, t_D είναι το χαρακτηριστικό, όταν το είδος i έχει αφαιρεθεί, και p_i είναι η σχετική αφθονία του είδους i πριν αφαιρεθεί. Έτσι, αν ένα είδος έχει επίδραση ευθέως ανάλογη με την αφθονία του, η CI_i θα είναι 1 (αν μετά την αφαίρεση του είδους το χαρακτηριστικό μειώνεται) ή -1 (αν το χαρακτηριστικό αυξάνεται). Αν το είδος i είναι θεμελιώδες, η απόλυτη τιμή της CI_i θα είναι πολύ μεγαλύτερη από 1.

Σπουδαιότητα Βιολογικών Εισβολών.

Κάποια άλλα παραδείγματα δείχνουν ότι εισβολές μπορεί να οδηγήσουν σε εκλείψεις ενός ή περισσότερων ιθαγενών ειδών - ένα θέμα που απασχολεί τη Βιολογία της Παρατήρησης. Υποστηρίζεται ότι οι βιολογικές εισβολές ξενικών ειδών είναι ο δεύτερος πιο σημαντικός παράγοντας απώλειας της βιοποικιλότητας (Sala and Chapin, in press), με πρώτο τις αλλαγές στη χρήση γης (απώλεια βιοκατοικιών και κατακερματισμός του τοπίου). Ο Usher (1988) μελέτησε 24 προστατευόμενες περιοχές (nature reserves) σε όλο τον πλανήτη για παρουσία εισβολέων. Όλες αυτές οι περιοχές είχαν τουλάχιστον ένα σπονδυλωτό εισβολέα και αρκετά είδη αγγειόσπερμων φυτών. Στην περίπτωση που οι προστατευόμενες περιοχές βρίσκονται σε νησιά, τα πράγματα είναι χειρότερα: 30% των αγγειόσπερμων φυτών και 18% των σπονδυλωτών είναι εισβολείς. Οι περιοχές αυτές είναι πολύ περισσότερο προστατευμένες (συστήματα καραντίνας κ.λπ.) από όσο μια περιοχή χωρίς διαχειριστικό σχέδιο, και υπόκεινται σε ελαχιστοποιημένες διαταραχές. Παρά το γεγονός αυτό, πολλοί εισβολείς είναι επιτυχημένοι σε αυτά τα συστήματα.

Μεθοδολογία μελέτης των βιολογικών εισβολών

Οι βιολογικές εισβολές και τα φαινόμενα που σχετίζονται με αυτές προσεγγίζονται στη βιβλιογραφία με διαφορετικούς τρόπους. Αυτές οι προσεγγίσεις αντανακλούν τα συγκεκριμένα κάθε φορά ερωτήματα προς απάντηση. Μια κατηγοριοποίηση αυτών των προσεγγίσεων προτείνεται παρακάτω:

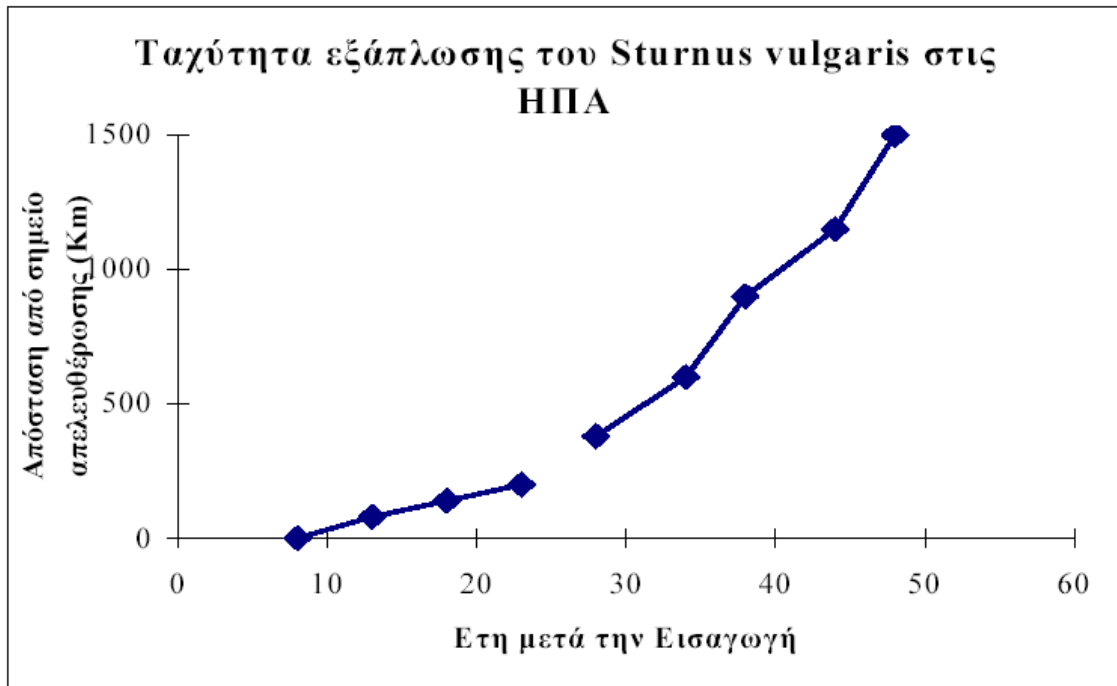
1. Περιγραφή
2. Πειραματική προσέγγιση
 - α. πειράματα πεδίου
 - β. εργαστηριακές προσομοιώσεις
3. Υπολογιστικές προσομοιώσεις

Περιγραφική Προσέγγιση

Η περιγραφή του φαινομένου των εισβολών μέσω παρατήρησης στο πεδίο αποτελεί, όπως για πολλά αντικείμενα των φυσικοϊστορικών επιστημών μια σημαντική μέθοδο. Οι παρατηρήσεις αποτελούν τα πρώτα ερεθίσματα που οδηγούν σε συστηματική προσέγγιση του προβλήματος και ενδεχομένως τη διατύπωση ερμηνειών.

Σχήμα: Απόσταση από το σημείο απελευθέρωσης ως συνάρτηση του χρόνου.

Αρχική ταχύτητα εξάπλωσης 11,2 km/χρόνο η οποία μεταβλήθηκε σε 51, 2 km/χρόνο (ξανασχεδιάστηκε από Shigesada and Kawasaki (1997)).



Πειραματική Προσέγγιση

(α). Πειράματα Πεδίου

Τα πειράματα που πραγματοποιούνται στο πεδίο, σχεδιάζονται για να εξετάσουν υποθέσεις που περιλαμβάνουν την ανθεκτικότητα των βιοκοινοτήτων σε εισβολές και την επίδραση της ιστορίας (με την έννοια της χρονικής σειράς απόπειρας εισβολής από συγκεκριμένα είδη) στη σύνθεση των βιοκοινοτήτων. Οι βιοκοινότητες που τίθενται υπό τη δοκιμασία της εισβολής μπορεί να είναι είτε φυσικές είτε τεχνητά συναθροισμένες.

(β). Εργαστηριακές Προσομοιώσεις

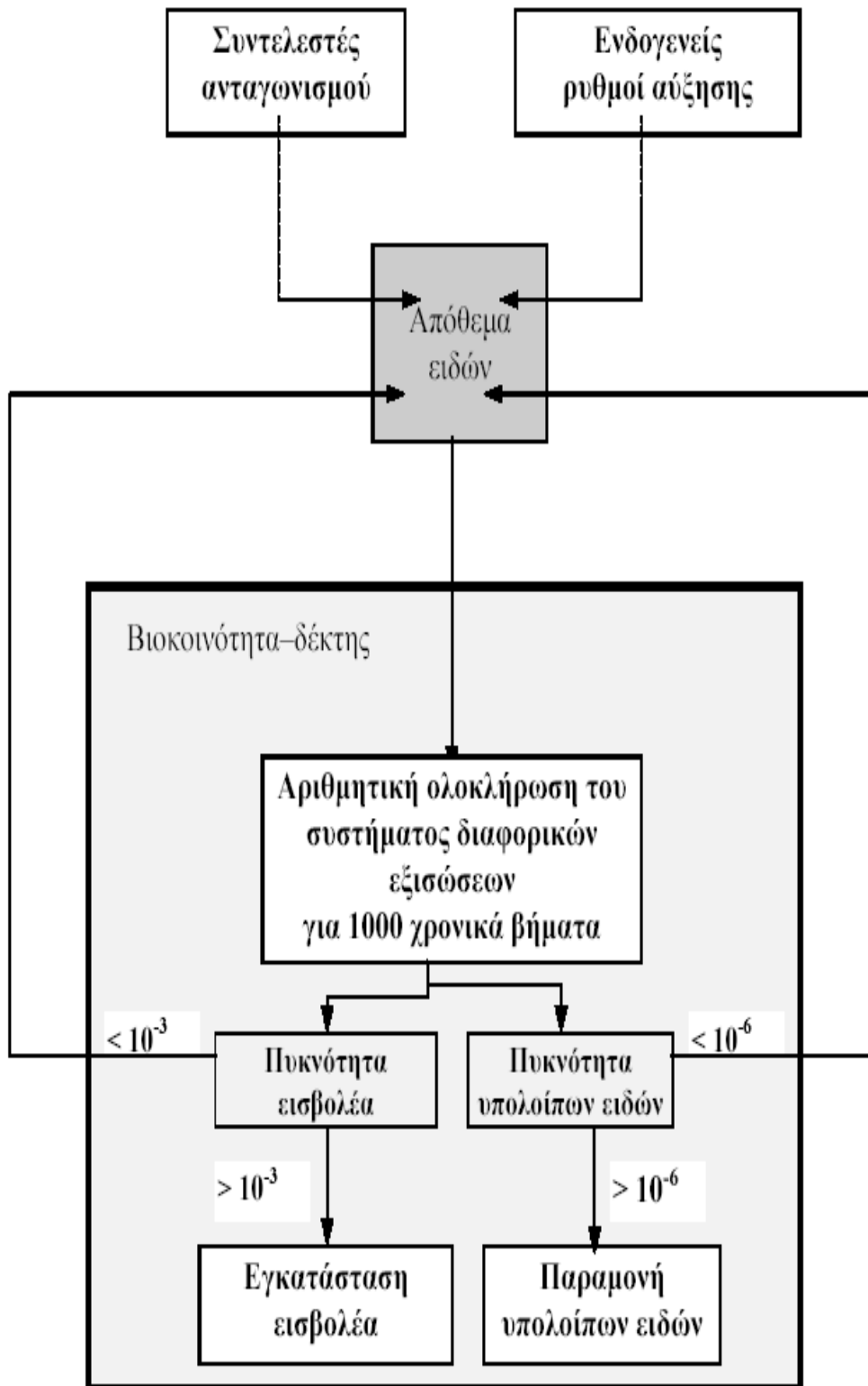
Οι εργαστηριακές προσομοιώσεις χρησιμοποιούνται εναλλακτικά από τα πειράματα πεδίου για να ελέγξουν τις ίδιες με αυτά υποθέσεις σχετικά με τις βιολογικές εισβολές. Οι βιοκοινότητες που δοκιμάζονται από εισβολές είναι τεχνητά συναθροισμένες. Τα εργαστηριακά πειράματα επαναλαμβάνονται εύκολα, προσφέρουν πλήρη έλεγχο των περιβαλλοντικών παραγόντων και έχουν το πλεονέκτημα του μικρότερου κόστους σε σχέση με τα πειράματα πεδίου (Drake *et al.*, 1996).

Προσομοιώσεις μέσω Υπολογιστών

Η επιστημονική γνώση μπορεί να θεωρηθεί ως ένα μοντέλο της πραγματικότητας, το οποίο αναθεωρείται συνεχώς με τη συσσώρευση καινούργιας γνώσης. Ένας σημαντικός λόγος για τη χρήση μοντέλων για την κατανόηση και πρόβλεψη της συμπεριφοράς βιολογικών συστημάτων είναι ότι αποτελούν το μοναδικό μέσο που διαθέτουμε, εκτός της διαίσθησης, για τη διερεύνηση των επιδράσεων πολλών αλληλεπιδρώντων μεταβλητών. Τα μοντέλα είναι απλουστευμένες περιλήψεις των πραγματικών συστημάτων και στα οποία δυστυχώς, δεν μπορούν να μεγιστοποιηθούν ταυτόχρονα ο ρεαλισμός, η γενίκευση και η ακρίβεια, (για να είμαστε πιο σαφείς, συνήθως αυξημένος ρεαλισμός σημαίνει μικρότερη δυνατότητα γενίκευσης). Μπορούν όμως να γίνουν συμβιβασμοί μεταξύ αυτών των ιδιοτήτων. Τα μαθηματικά μοντέλα μας υποχρεώνουν να κάνουμε σαφείς υποθέσεις. Αυτό που ακολουθεί, είναι συμπεράσματα τα οποία μπορεί να καθορίσουν τα είδη των πειραμάτων που θα γίνουν, να διαμορφώσουν τον τρόπο με τον οποίο κάνουμε ερωτήσεις για τη φύση των πραγμάτων και τα δεδομένα που θα συλλεγθουν. Με τα μοντέλα είμαστε ικανοί να μελετούμε σε μικρότερο χρόνο ένα ευρύτερο σύνολο πιθανών αλληλεπιδράσεων μεταβλητών από αυτό που είναι δυνατό με πειράματα στο πεδίο και εργαστηριακές προσομοιώσεις.

Με τη χρήση μαθηματικών μοντέλων και προσομοιώσεων μέσω υπολογιστών μπορούμε πιθανόν να διακρίνουμε ποια μορφώματα εισβολών είναι φυσιολογικά και αναμενόμενα, ποια μορφώματα είναι απίθανα ή ακόμα και αδύνατα, να οδηγηθούμε στο να μελετήσουμε στη φύση φαινόμενα που παρουσιάζονται στις προσεγγίσεις μοντελοποίησης και που δεν έχουν περιγραφεί ακόμα.

Σχήμα: Διάγραμμα ροής που περιγράφει τα βασικά τμήματα του αλγόριθμου του προγράμματος που εκτελεί τις προσομοιώσεις.



Κεφάλαιο 2: Μοντέα τύπου Lotka – Volterra, Διαειδικός Ανταγωνισμός και Μοντέλα Χωρικής Διάσποράς.

Μοντέλα τύπου Lotka-Volterra

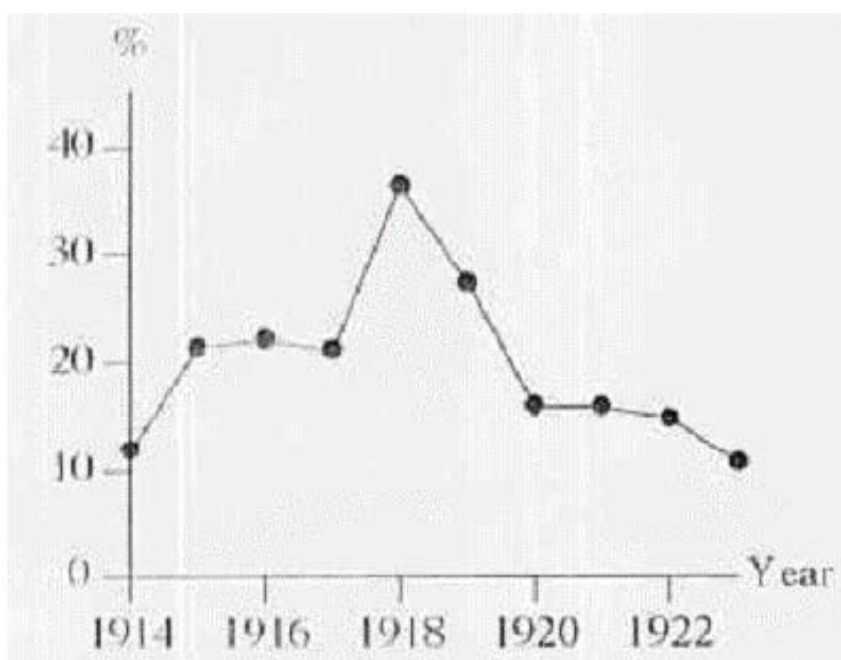
Ένα κλασικό μοντέλο θηρευτή-θηράματος

Ο παππούς όλων των μοντέλων θηρευτή-θηράματος είναι το μοντέλο Lotka-Volterra θηρευτή-θηράματος.

- 1. Είναι ένα κακό μαθηματικό μοντέλο (είναι δομικά ασταθές).
- 2. Το μοντέλο αυτό είναι εξαιρετικής ιστορικής σημασίας.

Στα μέσα του 1920 ο Umberto D'Ancona, ένας Ιταλός θαλάσσιος βιολόγος, έκανε μια στατιστική ανάλυση των ειδών των ψαριών που πουλιόνταν στις αγορές της Τεργέστης, της Βενετίας και του Fiume μεταξύ των ετών 1910 και 1923. Η αλίευση ουσιαστικά σταμάτησε στη Βόρεια Αδριατική κατά τη διάρκεια του Πρώτου Παγκοσμίου πολέμου από το 1914 μέχρι το 1918. Ο D'Ancona έδειξε ότι αυτό συνέπεσε με την αύξηση της σχετικής συχνότητας κάποιων ειδών και τη μείωση της σχετικής συχνότητας κάποιων άλλων. Το Σχήμα δείχνει τη σχετική συχνότητα των οστεϊχθύων (θηρευτές) στην αγορά του Fiume. Είναι εμφανές ότι η συχνότητα των θηρευτών αυξήθηκε κατά τη διάρκεια του πολέμου και μειώθηκε με την αύξηση της αλιείας. Η σχετική αφθονία των θηραμάτων, αντίθετα, ακολούθησε το αντίστροφο μόρφωμα. Τι συνέβη;

Σχήμα: Σχετική συχνότητα των οστεϊχθύων



Την εποχή εκείνη ο D'Ancona ήταν μνηστευμένος με την Luisa Volterra, μια οικολόγο. Ο Umberto έθεσε αυτή την ερώτηση στο Vito Volterra, το μέλλοντα πεθερό του και διάσημο μαθηματικό. Ο Vito έγραψε ένα απλό σύστημα δύο διαφορικών εξισώσεων για να περιγράψει το σύστημα. Εστω $N(t)$ ο αριθμός (ή η πυκνότητα) των θηραμάτων και $P(t)$ ο αριθμός (ή η πυκνότητα) των θηρευτών:

$$\frac{dN}{dt} = rN - cNP \quad (1\alpha)$$

$$\frac{dP}{dt} = bNP - mP \quad (1\beta)$$

Ο πρώτος όρος του .ME (1α) σημαίνει ότι το θήραμα θα αυξηθεί εκθετικά απουσία του θηρευτή: το θήραμα περιορίζεται από το θηρευτή του. Ο δεύτερος όρος περιγράφει την απώλεια του θηράματος λόγω του θηρευτή. Η απώλεια είναι ανάλογη με τον αριθμό των θηραμάτων και με τον αριθμό των θηρευτών, που έχει αποτέλεσμα που συνήθως καλείται *όρος δράσης-μάζας*. Στο .ME (1β), βλέπουμε ότι η απώλεια των θηραμάτων οδηγεί σε παραγωγή νέων θηρευτών και ότι ο πληθυσμός των θηρευτών μειώνεται εκθετικά απουσία θηραμάτων.

Το σύστημα Lotka-Volterra έτσι όπως είναι έχει πολλές παραμέτρους και είναι δύσχρηστο. Θα κάνουμε αλλαγές μεταβλητών:

$$x \equiv \frac{b}{m} N, \quad y \equiv \frac{c}{r} P$$

Οι εξισώσεις (1) μπορούν τώρα να γραφτούν ως:

$$\frac{dx}{dt} = r(1 - y)x, \quad (2\alpha)$$

$$\frac{dy}{dt} = m(x - 1)y. \quad (2\beta)$$

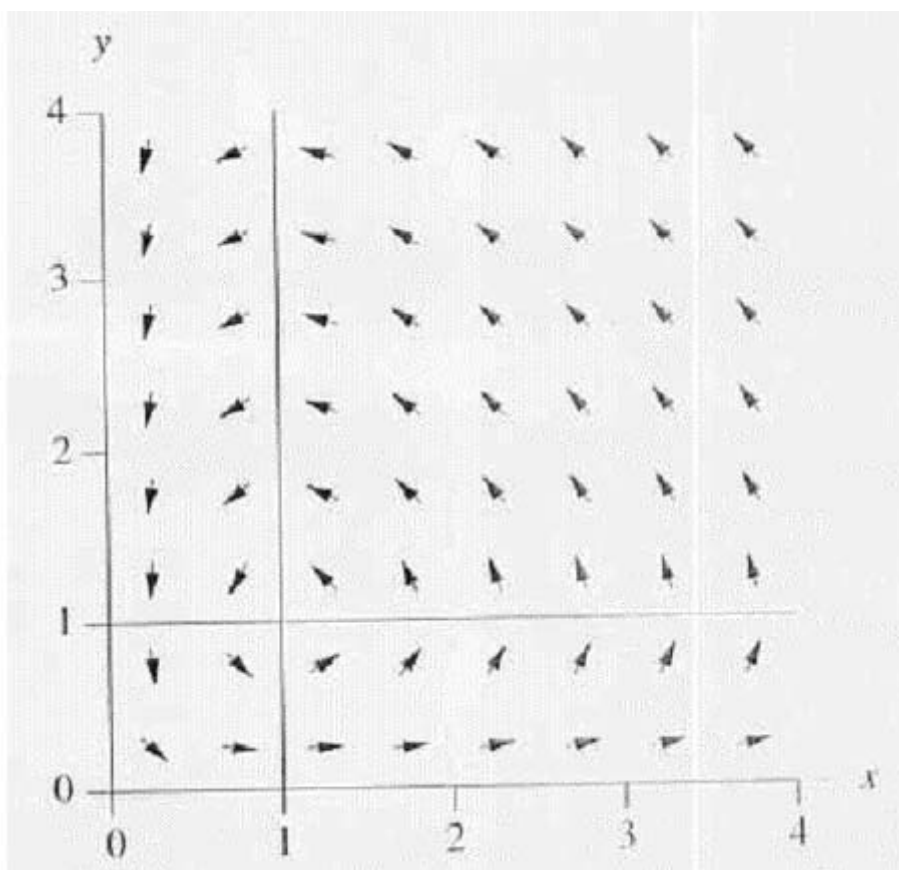
ώστε το θετικό σημείο ισορροπίας να είναι πάντα στο $(x, y) = (1, 1)$. Οι εξισώσεις (2) καθορίζουν αν οι μεταβλητές x και y αυξάνουν ή μειώνονται σε κάθε σημείο του *επιπέδου φάσεων* (x, y) . Ο λόγος των εξισώσεων (2α & 2β),

$$\frac{dy}{dx} = \frac{m(x-1)y}{r(1-y)x} \quad (3)$$

καθορίζει την κλίση του διανυσματικού πεδίου σε κάθε σημείο του πεδίου φάσης. Στο ακόλουθο σχήμα υπάρχουν και τα ισοκλινή μηδενικής αύξησης του θηρευτή και του θηράματος. Το πρώτο από αυτά το παίρνουμε θέτοντας το β της (1β) ίσο με το μηδέν και αντιστοιχεί στο γεωμετρικό τόπο των σημείων όπου ο αριθμός των θηρευτών παραμένει σταθερός.

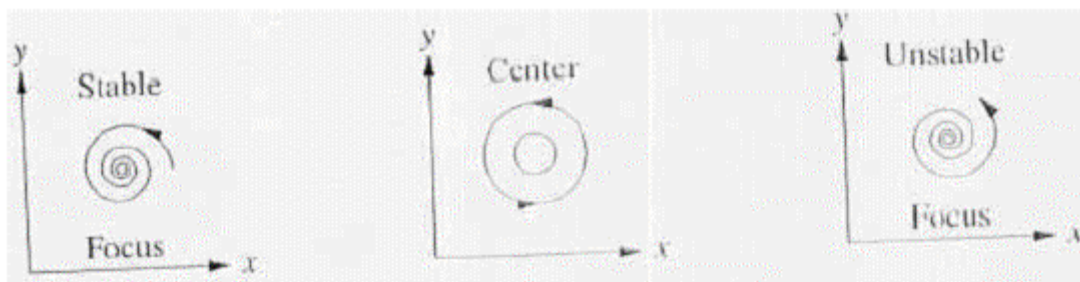
Για αυτό το σύστημα, τα ισοκλινή μηδενικής αύξησης του θηρευτή δίνονται από τις ευθείες $x = 1$ και $y = 0$. Κατά μήκος των ισοκλινών μηδενικής αύξησης του θηράματος, ο αριθμός των θηραμάτων δεν αλλάζει. Υπάρχουν δύο ισοκλινή μηδενικής αύξησης για τα θηράματα, $y = 1$ και $x = 0$.

Σχήμα: Διανυσματικό πεδίο του μοντέλου Lotka-Volterra θηρευτή-θηράματος.

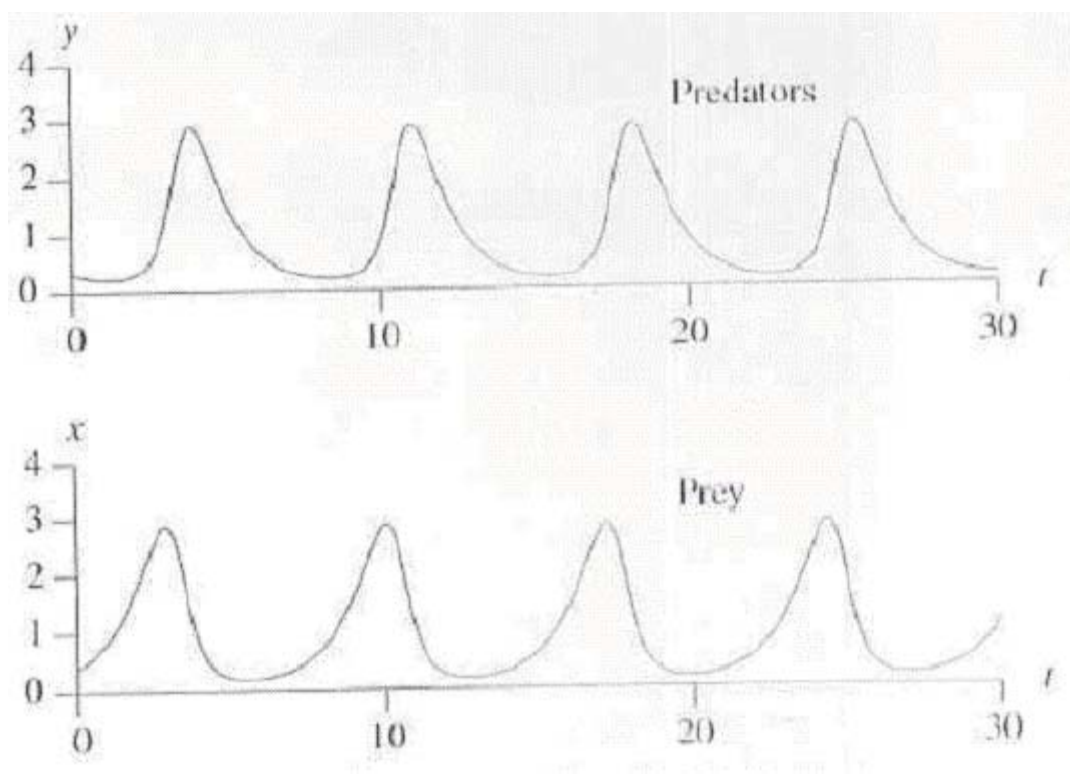


Τα διανύσματα στο Σχήμα 2 περιστρέφονται όσο κινούμαστε στο πεδίο. Αν ο αριθμός των θηρευτών και των θηραμάτων είναι μικρός ($x < 1, y < 1$), ο αριθμός των θηρευτών μειώνεται αλλά των θηραμάτων αυξάνει. Αν ο αριθμός των θηραμάτων είναι μεγάλος αλλά ο αριθμός των θηρευτών είναι μικρός ($x > 1, y < 1$), οι αριθμοί των θηρευτών και των θηραμάτων αυξάνουν.

Σχήμα: Πιθανά σενάρια για το σημείο ισοροπίας (1, 1).



Σχήμα: Τυπικοί κύκλοι θηράματος-θηρευτή



Ας επιστρέψουμε στην αρχική ερώτηση του d'Ancona: **Γιατί αυξήθηκε η σχετική αφθονία των θηρευτών και μειώθηκε η σχετική αφθονία των θηραμάτων με τη μείωση της αλίευσης;**

Το μη-τετριμένο σημείο ισοροπίας του αρχικού μας συστήματος είναι:

$$N_{average} = \frac{m}{b}, \quad P_{average} = \frac{r}{c}$$

και δίνει το μέσο αριθμό θηραμάτων και θηρευτών για ένα κύκλο του συστήματός μας. Η επίδραση της αλίευσης συνιστάται στη μείωση του ενδογενούς ρυθμού αύξησης του θηράματος και στην αύξηση του ρυθμού θνησιμότητας των θηρευτών εξαιτίας του ρυθμού αλίευσης h ,

$$\frac{dN}{dt} = (r - h)N - cNP$$

$$\frac{dP}{dt} = bNP - (m + h)P$$

Για αυτές τις εξισώσεις το μη-τετριμένο σημείο ισορροπίας και ο μέσος αριθμός θηραμάτων και θηρευτών είναι:

$$N_{average} = \frac{m + h}{b}, \quad P_{average} = \frac{r - h}{c}$$

Η επίδραση της αύξησης της αλίευσης h είναι η αύξηση του μέσου επιπέδου του θηράματος και η μείωση του μέσου επιπέδου του θηρευτή.

Η επίδραση του μειούμενου ρυθμού αλίευσης (που ήταν και το αρχικό ενδιαφέρον του d'Ancona) είναι ακριβώς η αντίθετη: η μείωση του μέσου επιπέδου του θηράματος και η αύξηση του μέσου επιπέδου του θηρευτή.

Η διαφορική απόκριση εμφανίζεται μολονότι τα θηράματα και οι θηρευτές αλιεύονται με τον ίδιο κατά κεφαλή ρυθμό.

Τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης δεν περιορίζονται στα ψάρια. Η ανάλυση είναι μια προειδοποίηση για τη χρήση γενικευμένων εντομοκτόνων που σκοτώνουν αδιάκριτα τα ζιζάνια και τους θηρευτές τους. Η επίδραση της μακροχρόνιας χρήσης τέτοιων εντομοκτόνων μπορεί να είναι η αύξηση της σχετικής αφθονίας των ζιζανίων με καταστροφικές συνέπειες.

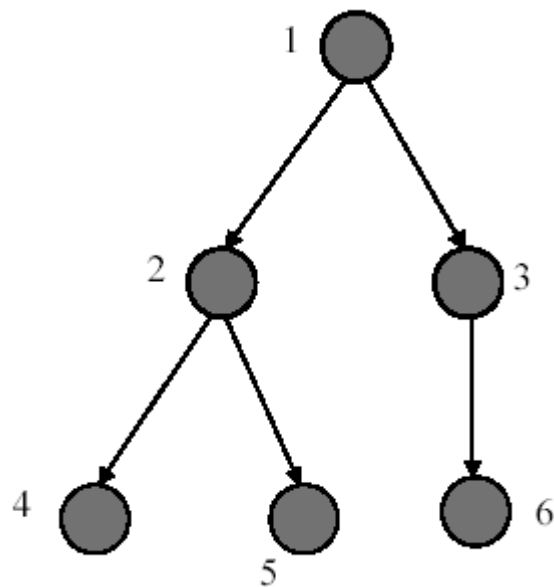
Ο May (1973) με την πρωτοποριακή εργασία του έδειξε ότι πολυμελείς, τυχαία κατασκευασμένες θεωρητικές βιοκοινότητες είναι ασταθείς. Οι βιοκοινότητες δεν δημιουργούνται ακαριαία ως πλήρεις οντότητες αλλά αντιθέτως αναπτύσσονται ή συναθροίζονται σταδιακά από είδη. Αυτό το γεγονός μπορεί να είναι σημαντικό για την αποκάλυψη μορφωμάτων και δομικών ιδιοτήτων που παρατηρούνται σε θεωρητικές μελέτες. Έτσι αναπτύχθηκε μια διαφορετική προσέγγιση, αυτή της προσομοίωσης της συνάθροισης βιοκοινοτήτων από ένα περιφερειακό απόθεμα ειδών (π.χ. Tregonning and Roberts, 1978, Post and Pimm, 1983, Drake, 1990b, Case, 1990, Law and Morton, 1996). Σε όλες τις μελέτες, οι βιοκοινότητες αναπαρίστανται από **Συστήματα Μη-Γραμμικών Συνήθων Διαφορικών Εξισώσεων** τύπου Lotka-Volterra. Αυτές οι εξισώσεις προσομοιώνουν είτε αλληλεπιδράσεις (θήρευση) μεταξύ ειδών σε **τροφικά δίκτυα** (food webs) είτε **ανταγωνισμό** μεταξύ ειδών σε ένα μόνο

τροφικό επίπεδο. Στη γενική τους μορφή αντιπροσωπεύονται από ένα σύστημα του τύπου:

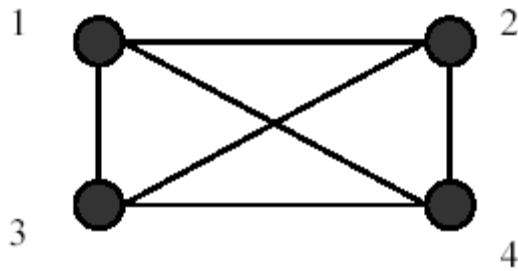
$$\frac{dN_i}{dt} = N_i \left(b_i + \sum_j a_{ij} N_j \right)$$

όπου N_i είναι η πληθυσμιακή πυκνότητα του είδους i , b_i είναι ο ρυθμός γεννήσεων για τους παραγωγούς (> 0) ή ρυθμός θανάτων για τους καταναλωτές (< 0) και a_{ij} είναι ο συντελεστής αλληλεπίδρασης μεταξύ των ειδών i και j . Ο συντελεστής αυτός καθορίζει τη δομή του τροφικού δικτύου. Αν το είδος i τρέφεται με το είδος j , τότε το θήραμα θα έχει θετική επίδραση στο θηρευτή και θα έχουμε $a_{ij} > 0$. Ανάλογα ο θηρευτής θα έχει αρνητική επίδραση στο θήραμα και $a_{ji} < 0$. Στο σχήμα 5 βλέπουμε μια σχηματική αναπαράσταση ενός τροφικού δικτύου.

Σχήμα: Ένα παράδειγμα τροφικού δικτύου. Η κατεύθυνση του βέλους δείχνει ποιο είδος τρέφεται από ποιο. Π.χ. το είδος 1 τρέφεται από τα είδη 2 και 3.



Σχήμα: Σχηματική αναπαράσταση ανταγωνισμού τεσσάρων ειδών. Το κάθε είδος ανταγωνίζεται με όλα τα υπόλοιπα.

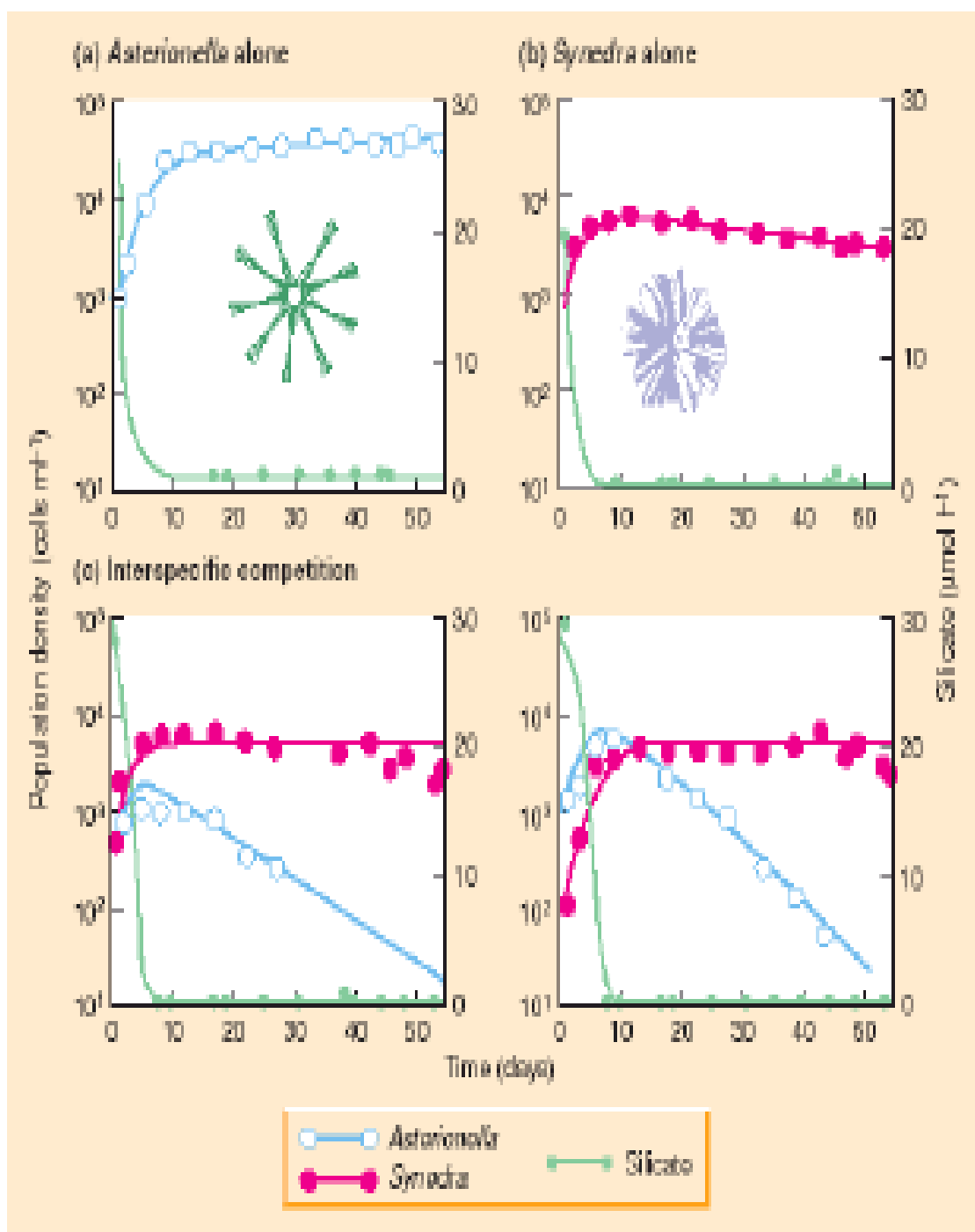


Όλα τα μοντέλα Lotka-Volterra έχουν ένα μοναδικό σημείο ισορροπίας μακριά από τους άξονες. Αν αυτό το σημείο είναι ασυμπτωτικά ευσταθές και πραγματοποιήσιμο (feasible), τότε αναπαριστά μια ασυμπτωτικά (local ή asymptotic) ευσταθή και διαρκούσα (persistent) βιοκοινότητα. Πραγματοποιήσιμο σημαίνει ότι όλα τα είδη έχουν θετικές πυκνότητες, ή πιο τεχνικά το σημείο βρίσκεται στο θετικό orthant.

Διαειδικός Ανταγωνισμός

Ο Διαειδικός Ανταγωνισμός είναι ένα από τα θεμελιώδη φαινόμενα στην οικολογία, και επιδρά όχι μόνο στην κατανομή και επιτυχία των ειδών αλλά και στην εξέλιξή τους. Παρόλα αυτά, η ύπαρξη και οι επιδράσεις του είναι συχνά αξιοσημείωτα δύσκολο να αποδειχθεί και απαιτεί ένα οπλοστάσιο τεχνικών παρατήρησης, πειράματος και μοντέλων.

Π.χ. Ανταγωνισμός μεταξύ των διατόμων *Asterionella formosa* και *Synedra ulna* για Si•



Το Μοντέλο Lotka-Volterra για διαειδικό ανταγωνισμό

Είναι μια επέκταση της λογιστικής εξίσωσης. Τα πλεονεκτήματά του είναι η απλότητα και η ικανότητά του να ρίχνει φως στους παράγοντες που καθορίζουν το αποτέλεσμα μιας ανταγωνιστικής αλληλεπίδρασης.

Π.χ. Ανταγωνισμός δύο ειδών:

Αύξηση του είδους 1,

$$\frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 \frac{(K_1 - [N_1 + \alpha_{12} N_2])}{K_1}$$

Αύξηση του είδους 2,

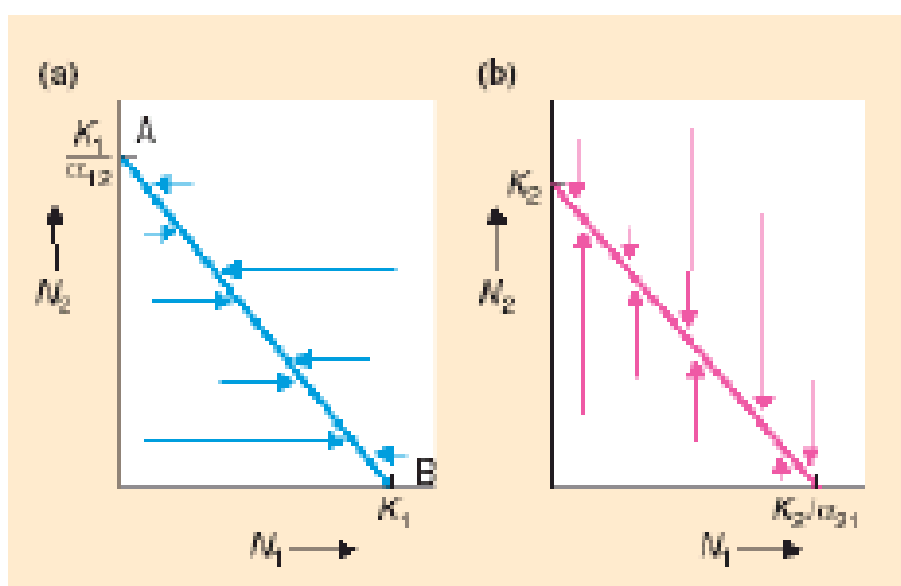
$$\frac{dN_2}{dt} = r_2 N_2 \frac{(K_2 - [N_2 + \alpha_{21} N_1])}{K_2}$$

Βασική ερώτηση: Κάτω από ποιες προϋποθέσεις τα είδη αυξάνουν ή μειώνουν την αφθονία τους;

Για να απαντήσουμε είναι αναγκαίο να κατασκευάσουμε διαγράμματα στα οποία όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί των N_1 και N_2 μπορούν να απεικονισθούν.

Ισοκλινή μηδενικής αύξησης: Θέτουμε

$$\frac{dN_1}{dt} = 0 \quad \& \quad \frac{dN_2}{dt} = 0$$



Ισοκλινή:

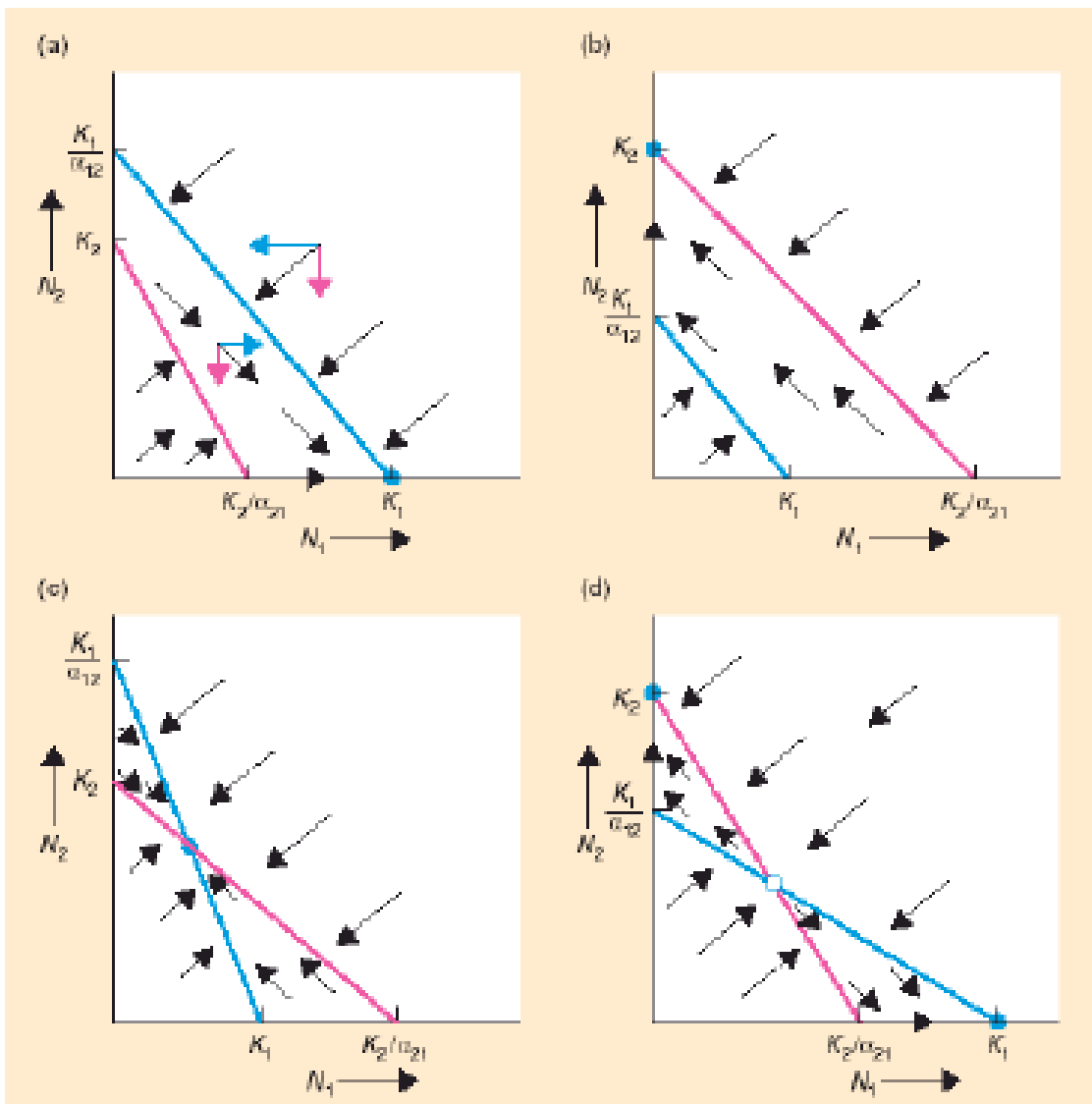
(a) $N_1 = K_1 - \alpha_{21} N_2$

(b) $N_2 = K_2 - \alpha_{12} N_1$

Τα ισοκλινή μηδενικής αύξησης για τις εξισώσεις ανταγωνισμού Lotka-Volterra.(α) για το N_1 : αυξάνει κάτω και αριστερά από το ισοκλινές και μειώνεται πάνω και δεξιά (β) αντίστοιχα για το N_2

Για να καθορίσουμε το αποτέλεσμα του ανταγωνισμού σε αυτό το μοντέλο, είναι αναγκαίο να καθορίσουμε σε κάθε σημείο του διαγράμματος, τη συμπεριφορά του συστήματος των δύο πληθυσμών όπως υποδηλώνουν από το ζεύγος των βελών.

Υπάρχουν τέσσερις διαφορετικοί τρόποι με τους οποίους τα ισοκλινή μπορούν να διαταχθούν μεταξύ τους. Το αποτέλεσμα του ανταγωνισμού θα είναι διαφορετικό σε κάθε περίπτωση.



Τα αποτελέσματα του ανταγωνισμού όπως προκύπτουν από τις εξισώσεις Lotka-Volterra για τις τέσσερις δυνατές θέσεις των ισοκλινών N_1 και N_2 . Τα μαύρα βέλη αναφέρονται και στους δύο πληθυσμούς.

Οι μαύροι κύκλοι δείχνουν ευσταθή σημεία ισορροπίας και ο άσπρος (d) δείχνει ασταθές σημείο ισορροπίας.

Βλέποντας τα σημεία τομής στο διάγραμμα έχουμε:

Για το (a):

$$K_1/a_{12} > K_2 \text{ και } K_1 > K_2/a_{21} \text{ ή}$$

$$K_1 > a_{12} K_2 \text{ και } K_1 a_{21} > K_2$$

Η πρώτη ανισότητα υποδηλώνει ότι οι ενδοειδικές επιδράσεις του είδους 1 στον εαυτό του (δηλώνονται από το K_1) είναι μεγαλύτερες από τις διαειδικές επιδράσεις του είδους 2 στο 1 ($a_{12} K_2$). Αυτό σημαίνει ότι το είδος 2 είναι ένας *ασθενής διαειδικός ανταγωνιστής*. Η δεύτερη ανισότητα δηλώνει ότι το είδος 1 επιδρά περισσότερο στο είδος 2 από ότι το είδος 2 στον εαυτό του. Το είδος 1 είναι ένας *ισχυρός διαειδικός ανταγωνιστής*.

Η κατάσταση είναι αντίστροφη στο (b).

Στο (c) αντίθετα έχουμε:

$$K_1 > K_2 a_{12} \text{ και } K_2 > K_1 a_{21}$$

Σε αυτή την περίπτωση και τα δύο είδη έχουν μικρότερη επίδραση στο άλλο από τον εαυτό τους. Υπό αυτή την έννοια είναι και τα δύο ασθενείς ανταγωνιστές και συνυπάρχουν ευσταθώς.

Στο (d) έχουμε:

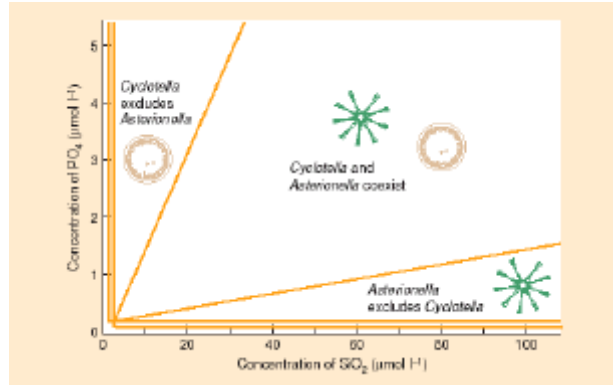
$$K_2 a_{12} > K_1 \text{ και } K_1 a_{21} > K_2$$

Τα άτομα και των δύο ειδών έχουν μεγαλύτερη ανταγωνιστική επίδραση στα άτομα του άλλου είδους από ότι έχουν στο είδος τους.

Σε αυτή την περίπτωση, οποιοδήποτε είδος μπορεί να οδηγήσει το άλλο σε *εκλειψη*. Αυτό δε μπορεί να προβλεφθεί με βεβαιότητα και εξαρτάται από τις αρχικές πληθυσμιακές πυκνότητες των δύο ανταγωνιζόμενων ειδών.

Π.χ. Συνύπαρξη ανταγωνιζομένων διατόμων:

Asterionella formosa (ξανά) και *Cyclotella meneghiniana* με πόρους ικανούς να περιορίσουν την ανάπτυξη και των δύο, πυριτικά και φωσφορικά.



Μοντέλα Χωρικής Διασποράς

Ισως το πιο κλασσικό κομμάτι της μαθηματικής μοντελοποίησης των βιολογικών εισβολών αποτελούν οι θεωρίες για τη χωρική διασπορά των εισβολέων. Οι βάσεις της ανάπτυξής του τέθηκαν με την εργασία του Skellam (1951). Ο Skellam χρησιμοποίησε την εξίσωση της διάχυσης συνδυασμένη με πληθυσμιακή ανάπτυξη (εξίσωση του Fisher), που έχει τη μορφή:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 n}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 n}{\partial y^2} \right) + (\varepsilon - \mu n)n$$

όπου το $n(\mathbf{x}, t)$ δηλώνει την πληθυσμιακή πυκνότητα στο χρόνο t και στη χωρική συντεταγμένη $\mathbf{x} = (x, y)$. D είναι ο συντελεστής διάχυσης. Ο δεύτερος όρος του δεξιού μέρους της εξίσωσης καθορίζει την ανάπτυξη του πληθυσμού, που είναι προφανώς λογιστική. Ο Skellam ανακάλυψε ότι το μέτωπο της περιοχής που καταλαμβάνει ένας εισβολέας, κινείται με σταθερή ταχύτητα.

Τα μοντέλα χωρικής διασποράς των εισβολέων και οι παραγόμενες από αυτά θεωρίες, είναι μια επιστημονική περιοχή, από την οποία προσδοκούμε αξιόλογες προβλέψεις με σοβαρή πρακτική σημασία. Για παράδειγμα, η πρόβλεψη της εξάπλωσης της λύσσας σε πληθυσμούς των αλεπούδων στην Ευρώπη ή των Αφρικανικών μελισσών στην Αμερική είναι πληροφορία κεφαλαιώδους σπουδαιότητας για τη διαχείριση των περιοχών που θα εξαπλωθούν τα είδη-εισβολείς ή οι ασθένειες (Hastings, 1996).

Η γνώση του ρυθμού εξάπλωσης έχει την ίδια σημασία και στη βιολογική καταπολέμηση - έλεγχο (biological control) οργανισμών, συνήθως εντόμων, που δρουν ως ζιζάνια. Είναι γνωστό ότι βιολογική καταπολέμηση μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους: εισαγωγή φυσικών εχθρών (natural enemies) των ζιζανίων ή εισαγωγή στείρων ατόμων στον πληθυσμό του ζιζανίου (Williamson, 1996, Shigesada and Kawasaki, 1997). Η χωρο-χρονική γνώση της δυναμικής αυτών των εισαγωγών και των αλληλεπιδράσεων με τα ζιζάνια είναι πολύ σημαντική για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων.

Κεφάλαιο 3: Οικολογικός Ιμπεριαλισμός και Αλλόχθονα Είδη

«Αποκαλύπτοντας τη σχέση οικοσυστήματος και ανθρώπινης κοινωνίας»

Ο άνθρωπος είναι μέρος του οικοσυστήματος και άρα δεν μπορούμε να εξετάσουμε την ιστορία του ανθρώπου αγνοώντας την ιστορία του περιβάλλοντός του, καθώς και τη μεταξύ τους αλληλεπίδραση. Όπως κάθε οργανισμός, ο άνθρωπος τροποποιεί το περιβάλλον του. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια οι παρεμβάσεις του στο οικοσύστημα είναι ανεπανόρθωτες. Επειδή οι ανθρώπινες κοινωνίες δεν είναι ανεξάρτητες του φυσικού περιβάλλοντος, η καταστροφή του επιδρά σε αυτές. Μέχρι πρόσφατα η μελέτη της ιστορίας του ανθρώπου βασιζόταν μόνο σε κοινωνικο-οικονομικούς παράγοντες, αγνοώντας τον οικολογικό, δηλαδή τις επιδράσεις του οικοσυστήματος στις κοινωνίες και τον πολιτισμό.

Για να κατανοήσουμε το περιεχόμενο του οικολογικού ιμπεριαλισμού, θα πρέπει να αναλύσουμε πρώτα τη σημασία του ιμπεριαλισμού. Ο όρος ιμπεριαλισμός έχει χρησιμοποιηθεί με διάφορες έννοιες στο παρελθόν Αρχικά περιέγραφε το σύστημα διοίκησης μιας αυτοκρατορίας (imperium), π.χ. της Ρωμαϊκής. Μετά το 1870 χρησιμοποιήθηκε για τη Βρετανική αυτοκρατορία, με σκοπό να διαχωρίσει τις παλιότερες αυταρχικές αυτοκρατορίες από τη βρετανική, η οποία υποτίθεται "μετέδιδε πολιτική ελευθερία" στις αποικίες της. Την ίδια περίπου περίοδο (1880 και εξής) η ύπαρξη πολυάριθμων βρετανικών, γαλλικών και γερμανικών αποικιών οδήγησε στη διαμόρφωση της πολύ διαδεδομένης σήμερα χρήσης της λέξης ιμπεριαλισμός, δηλαδή της επεκτατικής και εκμεταλλευτικής πολιτικής που ασκείται στις αποικίες. Το 1916, ο Λένιν καθιέρωσε τη σύγχρονη έννοια της λέξης ιμπεριαλισμός, για να περιγράψει το ανώτατο στάδιο του καπιταλισμού. Κύρια χαρακτηριστικά του σταδίου αυτού είναι η συγκεντροποίηση του κεφαλαίου και ο σχηματισμός μονοπωλίων. Οι δύο τελευταίες έννοιες (επέκταση και ανταγωνισμός μονοπωλίων) αποδίδονται συνήθως σήμερα με τη λέξη ιμπεριαλισμός.

Αν και η έννοια του ιμπεριαλισμού είναι γνωστή εδώ και πολλά χρόνια, μόνο σχετικά πρόσφατα έγινε αντιληπτή η οικολογική παράμετρος του. Η έννοια του Οικολογικού Ιμπεριαλισμού καθιερώθηκε το 1986 από τον Alfred W. Crosby στο βιβλίο του «Οικολογικός Ιμπεριαλισμός: Η βιολογική επέκταση της Ευρώπης, 900 – 1900». Προηγούμενες προσεγγίσεις του φαινομένου περιορίζονταν στη μελέτη του ρόλου των μεταδοτικών ασθενειών στην έκβαση ιστορικών γεγονότων Στο βιβλίο του, ο Crosby εξετάζει τον ευρωπαϊκό ιμπεριαλισμό και τους παράγοντες που τον ευνοούσαν ή τον εμποδίζαν σε κάθε ιστορική περίοδο. Το βιβλίο είναι καθοριστικό για την καλύτερη κατανόηση ιστορικών περιόδων τόσο από τους ιστορικούς, όσο και από τους οικολόγους. Ενδεικτικό της επιρροής που είχε, είναι το ότι σήμερα σε πολλά Πανεπιστήμια του κόσμου ο οικολογικός ιμπεριαλισμός διδάσκεται ως μάθημα.

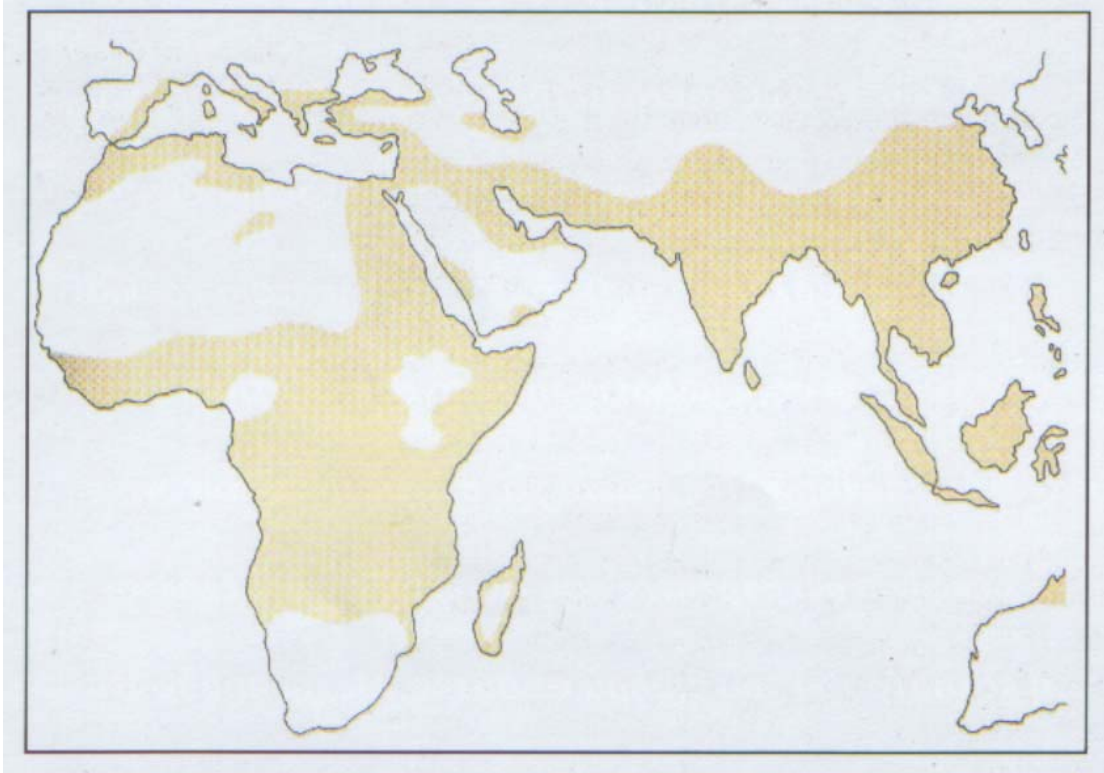
Αν μπορούσαμε να ορίσουμε τον Οικολογικό Ιμπεριαλισμό, θα λέγαμε ότι περιγράφει τις επεκτατικές (ιμπεριαλιστικές) κινήσεις που συνοδεύονται από εκούσια ή ακούσια τροποποίηση του οικοσυστήματος (συνήθως με τη μεταφορά οργανισμών). Η τροποποίηση αυτή επηρεάζει την έκβαση ιμπεριαλιστικών εκστρατειών, ευνοώντας ή εμποδίζοντας την επικράτηση των ιμπεριαλιστών.

Η τροποποίηση του οικοσυστήματος γινόταν με πολλούς τρόπους, όπως καίγοντας ή αποψιλώνοντας δάση και μεταφέροντας ακούσια ή εκούσια οργανισμούς. Η μεταφορά οργανισμών (παθογόνων μικροβίων, εξημερωμένων ζώων, καλλιεργούμενων φυτών κ.ά.) στις αποικίες ήταν η πιο κοινή αιτία. Η μεταφορά οργανισμών δεν ήταν μονόδρομη. Για λόγους εμπορικούς ή επιστημονικούς

εισήχθησαν πλήθος οργανισμοί από τις αποικίες στις μητροπόλεις, συχνά με καταστροφικά αποτελέσματα.

Η ελονοσία προκαλείται από διάφορα είδη του γένους Plasmodium. Μεταδίδεται στον άνθρωπο και σε άλλα ζώα μέσω κουνουπιών (Anopheles). Το είδος Plasmodium falciparum προκαλεί τα πιο σοβαρά συμπτώματα.

Κατανομή κακοήθους τριταίου πυρετού της ελονοσίας που προκαλείται από το παράσιτο Plasmodium falciparum στον Παλαιό Κόσμο.



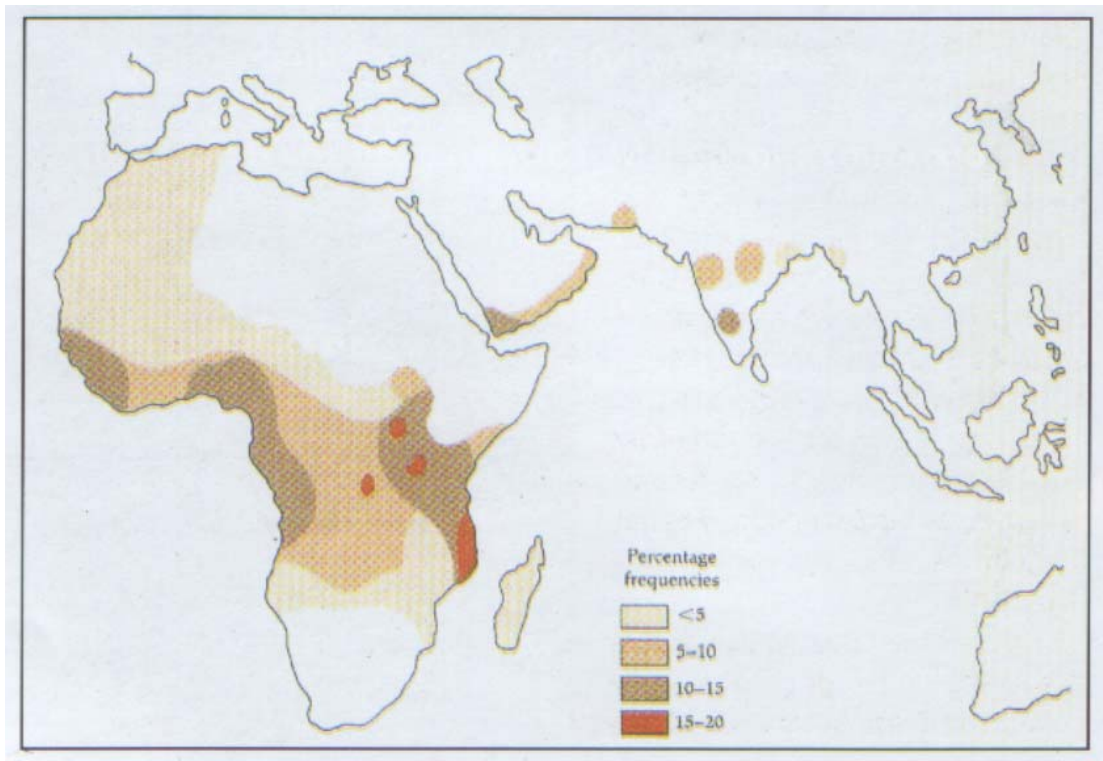
Εισαγωγή Αλλόθρονων Ειδών

Οι σχέσεις μεταξύ των μερών ενός οικοσυστήματος είναι πολύπλοκες και δυναμικές. Έτσι, η τροποποίηση ορισμένων παραγόντων μπορεί να οδηγήσει σε απρόβλεπτες καταστάσεις (χαοτική δυναμική). Η εισαγωγή ενός νέου είδους σε μια σχετικά απομονωμένη περιοχή είναι πολύ πιθανό να έχει καταστροφικές συνέπειες για το οικοσύστημα καθώς όλοι οι οργανισμοί αλληλεπιδρούν τόσο μεταξύ τους, όσο και με το αβιοτικό περιβάλλον. Αν για παράδειγμα φυτέψουμε ένα πεύκο σε μια περιοχή στην οποία δεν υπάρχουν πεύκα, τότε θα επηρεαστεί το pH και η υγρασία του εδάφους, το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στο έδαφος και άλλοι παράγοντες του αβιοτικού περιβάλλοντος. Ταυτόχρονα, επηρεάζονται τα γειτονικά φυτά, με τα οποία ανταγωνίζεται για φως ή θρεπτικά, καθώς και τα ζώα της περιοχής που τρέφονται με φυτά ή φωλιάζουν σε δένδρα. Το πεύκο στο παράδειγμα μας δεν επηρεάζει μόνο το περιβάλλον, αλλά και επηρεάζεται από αυτό. Οι αβιοτικοί παράγοντες, όπως η θερμοκρασία και η βροχόπτωση, σε συνδυασμό με οργανισμούς

του οικοσυστήματος (φυτοφάγα, παράσιτα, επικονιαστές κ.ά.) επηρεάζουν τη βιωσιμότητα και τις δυνατότητες διασποράς του. Είναι λοιπόν φανερό πως κάθε οργανισμός συνδέεται διαλεκτικά με το περιβάλλον του. Σε ένα οικοσύστημα υπάρχουν πολλαπλά τέτοια πλέγματα συνδέσεων και αλληλεπιδράσεων.

Στην πραγματικότητα η εισαγωγή ειδών σε νέα οικοσυστήματα είναι ακόμη πιο περίπλοκη, καθώς είναι πρακτικά αδύνατο να εισαχθεί ένα μόνο άτομο, χωρίς να μεταφερθεί μια μεγάλη ποικιλία από παράσιτα, συμβιώτες και άλλους μικροοργανισμούς. Όλοι οι οργανισμοί (συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπου) δεν είναι "αποστειρωμένοι", αλλά φιλοξενούν πάνω και μέσα τους, πλήθος άλλων οργανισμών.

Κατανομή του αλληλόμορφου Hbs, το οποίο σε ομόζυγη κατάσταση είναι υπεύθυνο για τη δρεπανοκυτταρική αναιμία. Η συχνότητα του αλληλόμορφου είναι υψηλή στις περιοχές, στις οποίες ενδημεί η ελονοσία. Τα ετερόζυγα άτομα (HbAHbs) εμφανίζουν ανθεκτικότητα στην ελονοσία.



Μικροβιακές Ασθένειες των Ανθρώπων

Οι επιδημίες ήταν ίσως η εμφανέστερη επίπτωση της μεταφοράς ειδών και της επίδρασης αυτών στην έκβαση των ιμπεριαλιστικών πολέμων.

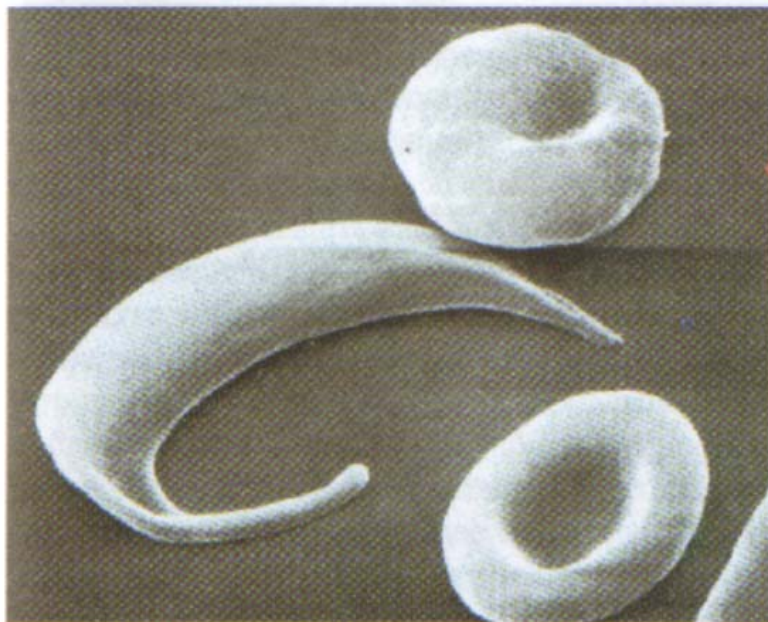
Κάθε ανθρώπινος πληθυσμός έρχεται σε μακροχρόνια επαφή με κάποιους παθογόνους μικροοργανισμούς, που ποικίλλουν από περιοχή σε περιοχή. Η αλληλεπίδραση αυτή οδηγεί συνήθως στη μείωση της μολυσματικότητας των μικροοργανισμών και την αύξηση της ανθεκτικότητας των ανθρώπων – ξενιστών. Επιπλέον, το ανοσοποιητικό σύστημα του ανθρώπου έχει τη δυνατότητα να «θυμάται» προηγούμενες μολύνσεις από τον ίδιο μικροοργανισμό και να τις αντιμετωπίζει εν τη

γενέσει τους (χωρίς να εμφανίζονται συμπτώματα). Έτσι, κάθε απομονωμένος πληθυσμός ανθρώπων είναι πιο ανθεκτικός σε κάποιους μικροοργανισμούς και συχνά έχει αναπτύξει ανοσία. Συνεπώς κατά την επαφή δύο πληθυσμών, οι άνθρωποι έρχονται σε επαφή με πλήθος άγνωστων και άρα πιο επικίνδυνων μικροβίων.

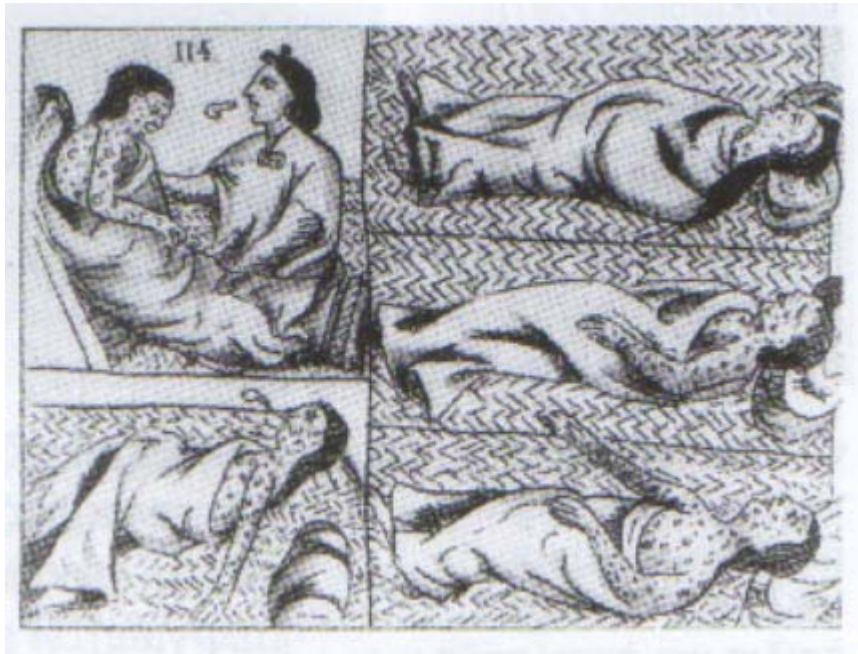
Την περίοδο των Σταυροφοριών, οι Ευρωπαίοι διήνυαν τεράστιες αποστάσεις από τη Βόρεια και Κεντρική Ευρώπη μέχρι την Ανατολή. Κατά τη διάρκεια των εκστρατειών τα ποσοστά θνησιμότητας ήταν υπερβολικά υψηλά. Ένα μεγάλο μέρος των θανάτων οφειλόταν σε μεταδοτικές ασθένειες που ενδημούσαν στην περιοχή. Λίγα είναι γνωστά για τη φύση των ασθενειών της εποχής, αλλά υπάρχουν ενδείξεις για μαζικούς θανάτους σταυροφόρων από πανώλη, ελονοσία, τυφοειδή πυρετό και δυσεντερία. Οι αιτίες της ευαισθησίας των Ευρωπαίων σε αυτές τις ασθένειες είναι πολλές. Εκτός της κακής υγιεινής, της κακής διατροφής και της συσσωρευμένης κόπωσης, αιτία για την ευαισθησία αυτή ήταν το γενετικό και φυσιολογικό τους υπόβαθρο. Οι σταυροφόροι, όχι μόνο δεν είχαν εκτεθεί ποτέ σε τέτοιους μολυσματικούς παράγοντες με αποτέλεσμα να μη έχουν αναπτύξει ανοσία όπως οι ιθαγενείς, αλλά ήταν και πιο ευαίσθητοι για γενετικούς λόγους σε ορισμένες ασθένειες όπως η ελονοσία. (Οι ετερόζυγοι για το γονίδιο της δρεπανοκυτταρικής αναιμίας παρουσιάζουν ανθεκτικότητα στην ελονοσία. Έτσι, σε περιοχές όπου ενδημεί το πλασμώδιο της ελονοσίας παρατηρείται υψηλή συχνότητα δρεπανοκυτταρικής αναιμίας).

Οι ασθένειες δεν διευκόλυναν πάντα τους αμυνόμενους, αντιθέτως, είναι γνωστές πολλές περιπτώσεις, κατά τις οποίες οι ιμπεριαλιστές είχαν ως "συμμάχους" τους μικροοργανισμούς που μετέφεραν. Οι Ινδιάνοι, εκτός από τις μαζικές σφαγές, τα βασανιστήρια, την υπερβολικά σκληρή εργασία και την κακή διατροφή, πέθαιναν και για έναν ακόμη λόγο που οφείλεται στους Ευρωπαίους, τις ασθένειες. Υπάρχουν αρκετές αναφορές για Ινδιάνους που έζησαν μεταξύ των Ευρωπαίων (αρχικά ως αξιοθέατα, ως διερμηνείς, ως δώρα προς άρχοντες, ως υπηρέτες κλπ.), οι οποίοι παρά τη σχετικά καλή ζωή είχαν υψηλά ποσοστά θνησιμότητας οφειλόμενα μάλλον σε ασθένειες.

Ηλεκτρονιογραφία μικροσκοπίου σάρωσης ερυθρών αιμοσφαιρίων ασθενούς με ομόζυγη δρεπανοκυτταρική αναιμία.



Ατζέκοι του δέκατου έκτου αιώνα, θύματα της ευλογίας.



Θεραπεία της σύφιλης με υδράργυρο.



Η ευλογία καθόρισε σε αρκετές περιπτώσεις τη διαδοχή ιστορικών γεγονότων Όταν οι Ισπανοί με επικεφαλής τον Hernando de Soto εισέβαλαν στις περιοχές των Αζτέκων, βρήκαν μπροστά τους τα υπολείμματα μιας μεγάλης καταστροφής, έναν αποδεκατισμένο από επιδημία λαό (πιθανότατα επιδημία ευλογιάς). Η ευλογία είχε ταξιδέψει με μεγαλύτερη ταχύτητα από τους Ισπανούς κατακτητές και συνέχισε με τον ίδιο τρόπο σε όλη την ήπειρο. Υπάρχουν μαρτυρίες για την εξαφάνιση ολόκληρων χωριών από την ευλογία. Τα ίδια περίπου γεγονότα επαναλήφθηκαν αργότερα στην Αυστραλία μετά την πρώτη επαφή των Ευρωπαίων με τους Αβορίγινες.

Εισαγωγή Ζώων.

Τα εξημερωμένα ζώα ήταν από τα πρώτα που συνόδευσαν τους ιμπεριαλιστές στις εκστρατείες τους ως πηγή τροφής. Τα ζώα αυτά, λόγω της απουσίας θηρευτών και της άφθονης τροφής, υπερκάλυπταν τις ανάγκες των αποίκων, με αποτέλεσμα πολλές φορές να ξεφεύγουν από τους ιδιοκτήτες και να δημιουργούν άγριους πληθυσμούς. Το ίδιο συνέβη και σε ζώα που μεταφέρθηκαν στις αποικίες για άλλους λόγους, όπως για στρατιωτικούς σκοπούς, για εργασίες, μεταφορές (άλογα) ή και ως παράσιτα (ποντικοί).

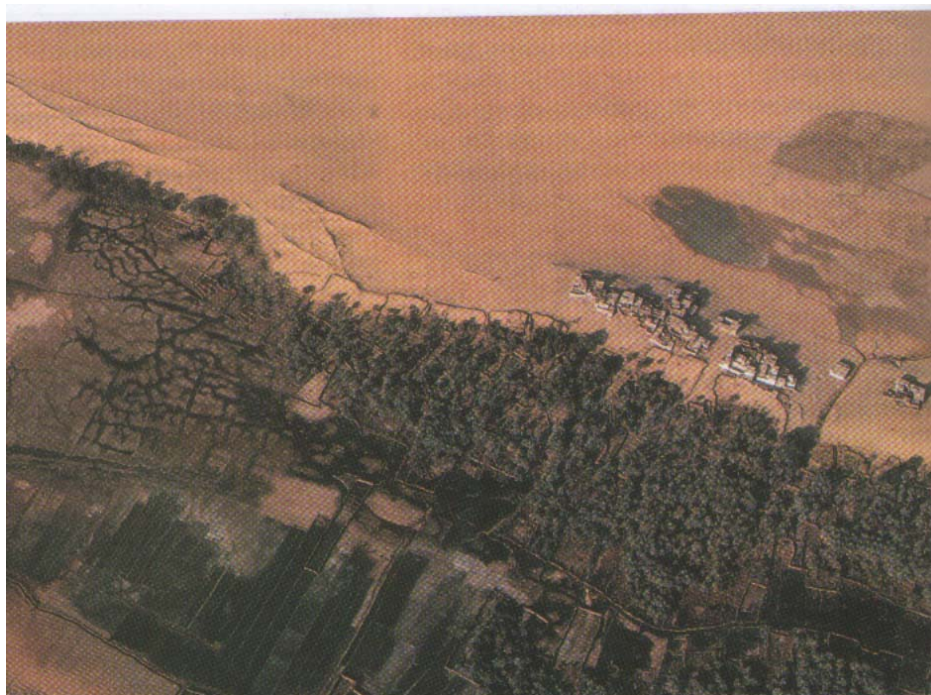
Ο ρόλος των εξημερωμένων ζώων στην επικράτηση των Ευρωπαίων ιμπεριαλιστών του 14ου – 19^{ου} αιώνα ήταν πολλαπλός. Αρχικά συνετέλεσαν στη "μεταμόρφωση" ορισμένων νησιών-σταθμών για τον διάπλου του Ατλαντικού (Αζόρες, Μαδέρα, Κανάριε νησιά). Η δημιουργία άγριων πληθυσμών σε αυτά τα νησιά, που αρχικά πρόσφερε τροφή στους ναυτικούς, κατέληξε στην καταστροφή του οικοσυστήματος, το οποίο δεν μπορούσε να υποστηρίξει τόσο μεγάλο αριθμό καταναλωτών Η υπερβόσκηση, οι φωτιές και η εισαγωγή φυτών άλλαξε θεμελιωδώς τη φυσιογνωμία της γλωρίδας και της πανίδας. Μετά από πολυετείς πολιορκίες, οι Ευρωπαίοι κατέκτησαν τα Κανάρια νησιά, στα οποία εισήγαγαν ζώο και φυτά, τροποποιώντας το οικοσύστημα. Τα νησιά αυτά έγιναν σημαντικοί παραγωγοί μελιού, ζάχαρης και άλλων προϊόντων Στις Αζόρες, αν και μέχρι το 1439 δεν είχαν εγκατασταθεί μόνιμοι κάτοικοι από την Ευρώπη, τα πρόβατα που αφήνονταν κατά καιρούς στο νησί, σχημάτισαν άγρια κοπάδια. Αργότερα, τα ίδια ζώα συνέβαλαν στην τροποποίηση οικοσυστημάτων της Αμερικής και της Ωκεανίας, καθιστώντας τα πιο φιλόξενα για τους ιμπεριαλιστές και πιο αφιλόξενα για τους ιθαγενείς.

Η επικράτηση της αλλόχθονης πανίδας δεν μπορεί να αγνοηθεί κατά την εξέταση των ιστορικών γεγονότων Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η μεταφορά των αλόγων στην Αμερική από τους Ευρωπαίους. Τα πρώτα άλογα έφτασαν στην αμερικανική ήπειρο το 1519 ακολουθώντας τους Ισπανούς κατακτητές, οι οποίοι με επικεφαλής τον Hernando Cortes έφτασαν στο Μεξικό.

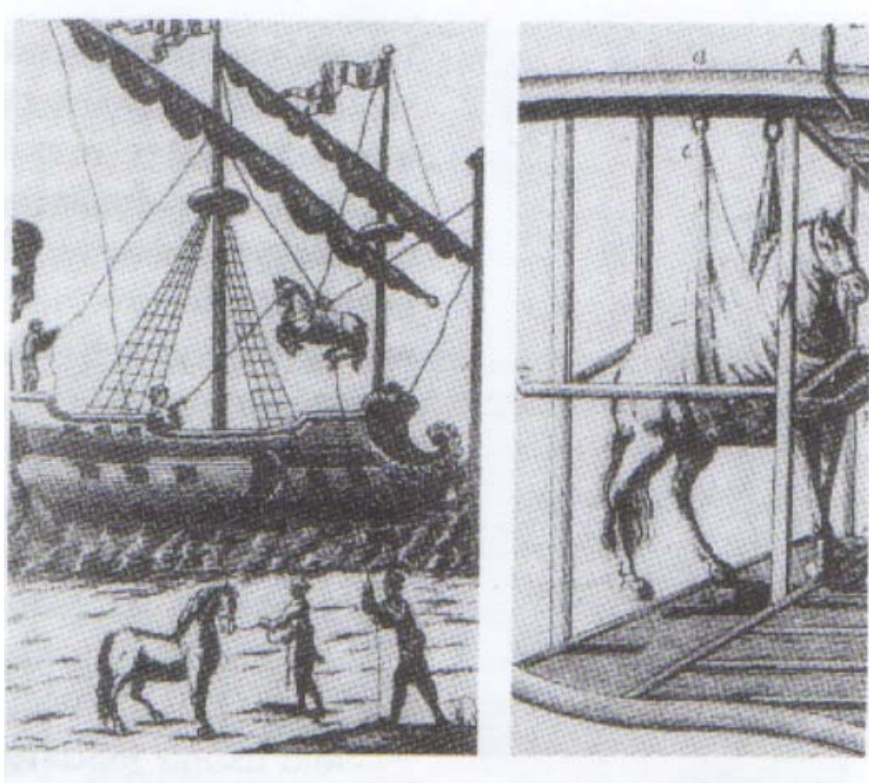
Ινδιάνικο άλογο της Αμερικής. Με την ονομασία αυτή περιγράφονται τα άλογα, που θεωρούνται απόγονοι των άγριων κοπαδιών mustangs. Τα χαρακτηριστικά τους διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή, γιατί συνέβησαν διαφορετικές επιμιξίες σε κάθε τόπο.



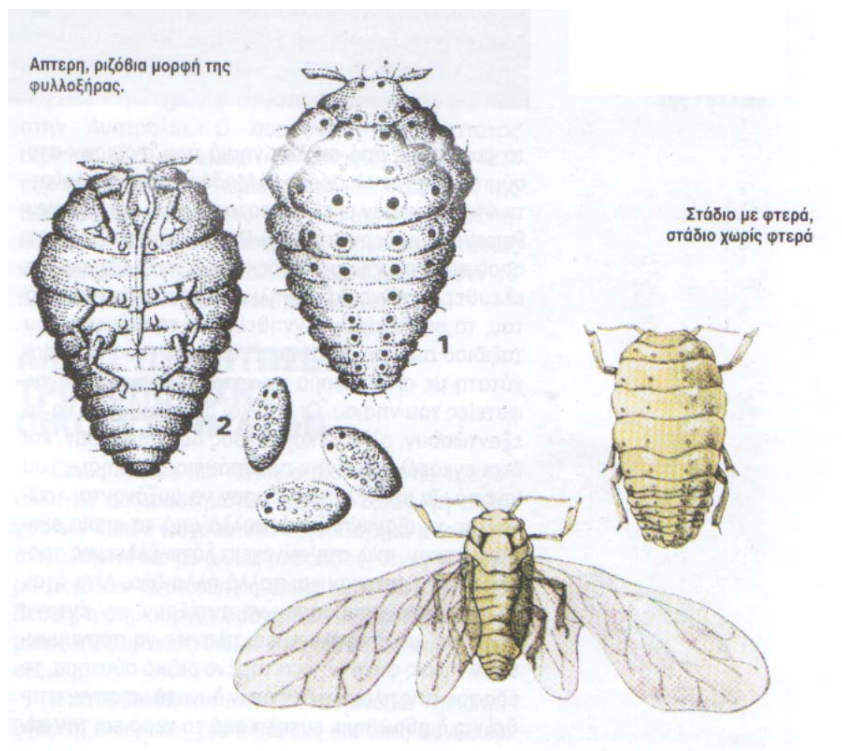
Γεωργικές πρακτικές με στόχο την ανάπτυξη συχνά οδηγούν στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος εντείνοντας την κοινωνική ανισότητα. Η τεχνητή άρδευση εκτάσεων συχνά δημιουργεί αλμυρές ερήμους. Τα νερά εξατμίζονται αφήνοντας άλατα στο έδαφος και καθιστώντας το άγονο.



Η μεταφορά των αλόγων από τη μια ήπειρο στην άλλη, απαιτούσε ειδικό εξοπλισμό και ειδική μεταχείριση.



Ορισμένα στάδια ζωής της φυλλοξήρας της αμπέλου *Phylloxera vitifolii*.



Το 1540, ο Francisco V_squez Coronado εξερευνούσε τις άγνωστες μέχρι τότε δυτικές περιοχές. Από αυτή την αποστολή χάθηκαν κάποια άλογα και πιθανώς αποτέλεσαν τα πρώτα άγρια άλογα στη νέα ήπειρο. Σε αυτά προστέθηκαν αργότερα και άλλα που διέφυγαν από τους ιδιοκτήτες τους. Τα κοπάδια αυτών των άγριων αλόγων ή mustangs, όπως επικράτησε να ονομάζονται, δημιούργησαν μια μοναδική ράτσα. Σήμερα, αν και υπάρχουν αρκετά κοπάδια άγριων αλόγων, η ράτσα αυτή έχει ουσιαστικά εκλείψει καθώς διασταυρώθηκε για πολλές γενιές με άλλες. Η μεταφορά των αλόγων στην Αμερική αρχικά αποτέλεσε πλεονέκτημα για τους ιμπεριαλιστές, το οποίο σύντομα αναιρέθηκε, καθώς οι Ινδιάνοι έμαθαν πώς να τα εξημερώνουν και να τα χρησιμοποιούν στις μάχες. Οι Sioux για παράδειγμα ήταν ένας μικρός αριθμητικά λαός που ζούσε στα δάση γύρω από τις πηγές του Μισισσιπή. Εκδιώχθηκαν από τους πολυπληθέστερους και ισχυρότερους γείτονες τους, με αποτέλεσμα να καταλήξουν στις πεδιάδες. Σε ελάχιστο χρονικό διάστημα, μετά από την πρώτη επαφή τους με τα άλογα, έγιναν επιδέξιοι ιππείς, ισχυροποιήθηκαν και αποτέλεσαν σημαντικό εμπόδιο για τους Ευρωπαίους. Τέλος τα άλογα, πέρα από την άμεση επίδραση που είχαν στους ανθρώπους, ανταγωνίζονταν τους βίσονες στα βοσκοτόπια και επιδρούσαν στη χλωρίδα με την έντονη βόσκηση.

Άλλα εξημερωμένα ζώα που εξαπλώθηκαν σχεδόν σε όλο τον κόσμο ακολουθώντας τους ιμπεριαλιστές ήταν οι χοίροι, τα βοοειδή και τα πρόβατα. Η σημερινή σχεδόν παγκόσμια εξάπλωση των ζώων αυτών οφείλεται κυρίως στον άνθρωπο.

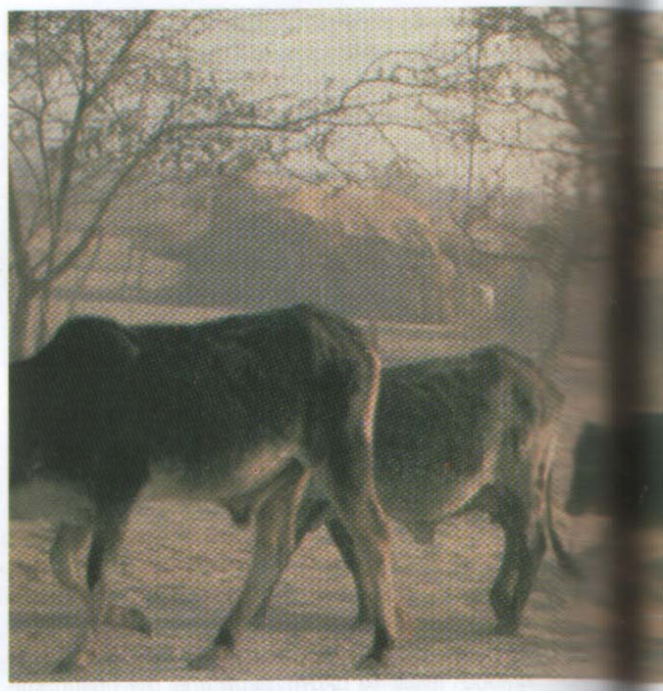
Οι χοίροι ήταν συνηθισμένη πηγή κρέατος που χρησιμοποιούσαν εξερευνητές, πειρατές, φαλαινοθήρες και αλιείς φώκιας στις εκστρατείες τους, καθώς το κρέας τους έχει σημαντική θρεπτική αξία και ως παμφάγα μπορούσαν να τραφούν σχεδόν με οποιοδήποτε είδος τροφής. Συχνά ξέφευγαν από τους ιδιοκτήτες τους και σχημάτιζαν άγρια κοπάδια. Μετά από λίγες γενιές, εξαιτίας της δράσης της φυσικής επιλογής, αποκτούσαν πολύ διαφορετική μορφολογία από αυτή των εξημερωμένων. Τα ζώα αυτά είχαν μακρύτερα πόδια και ρύγχος, λεπτά πλευρά και ώμους, μακρύτερα και κοφτερά δόντια, ενώ ήταν γρήγορα και μπορούσαν να γίνουν επικίνδυνα. Οι χοίροι κατά το 1490 κατέκλυσαν τα νησιά της Καραϊβικής, ενώ είχαν ήδη εξαπλωθεί στην ηπειρωτική Αμερική σε μεγάλους αριθμούς. Στην Αυστραλία, ακολουθώντας τους αποίκους, εξαπλώθηκαν γρήγορα στην ήπειρο. Η εξάπλωση άγριων κοπαδιών υποβοήθησε πολύ την εγκατάσταση των πρώτων γενιών Ευρωπαίων αποίκων στην Αμερική και την Ωκεανία, καθώς αυτοί έβρισκαν άφθονη τροφή. Η εγκατάσταση άγριων κοπαδιών σε μικρά νησιά επέτρεψε στους Ευρωπαίους να αποκτήσουν κατάλληλους "σταθμούς ανεφοδιασμού" στις διάφορες εκστρατείες τους.

Στα μεγάλα βοσκοτόπια προτιμήθηκαν ως κατοικίδια τα βοοειδή, που ήταν περισσότερο προσαρμοσμένα σε τέτοια περιβάλλοντα. Επιπλέον, διέθεταν την ικανότητα να αφομοιώνουν την άπεπτη από τον άνθρωπο κυτταρίνη, προσφέροντας του κρέας, γάλα και την εργασία τους. Τα βοοειδή προσαρμόστηκαν με διαφορετικούς ρυθμούς σε κάθε περιοχή ανάλογα με τις συνθήκες. Στην Κεντρική Αμερική και τα νησιά της εξαπλώθηκαν πολύ γρήγορα, ενώ στη Βραζιλία, την Κολομβία και τη Βενεζουέλα χρειάστηκαν πολλές γενιές. Στο τέλος του 16ου αιώνα, τα κοπάδια βοοειδών στο βόρειο Μεξικό διπλασιάζονταν περίπου κάθε 15 χρόνια. Από τη στιγμή που τα ζώα προσαρμόστηκαν στο νέο οικοσύστημα, εξαπλώθηκαν με εκπληκτικές ταχύτητες. Στις πάμπας της Νότιας Αμερικής οι Ισπανοί κατακτητές έβρισκαν μπροστά τους άγρια κοπάδια καθώς προχωρούσαν προς το εσωτερικό της ηπείρου.

Η μεταφορά οργανισμών δεν ευνοούσε πάντα τους ιμπεριαλιστές, αντιθέτως οδήγησε σε πολλές περιπτώσεις στην αποτυχία τους. Η υποβοηθούμενη από τον άνθρωπο διασπορά των ποντικών σε όλο σχεδόν τον κόσμο είναι πολύ χαρακτηριστικό παράδειγμα της πολυπλοκότητας των οικολογικών και ιστορικών συνεπειών της εισαγωγής αλλόχθονων ειδών. Ο μαύρος (*Rattus rattus*) και ο γκριζός αρουραίος (*R. norvegicus*) συνδέθηκαν με τους ευρωπαϊκούς πληθυσμούς και προσαρμόστηκαν στον τρόπο διαβίωσης τους στις Μεσαιωνικές πόλεις ως "οικοπαράσιτα". Ταξίδεψαν σε πολλά μέρη ως "λαθρεπιβάτες" των πλοίων και παρά τις προσπάθειες των αποίκων να τους εξοντώσουν, εγκαταστάθηκαν και εξαπλώθηκαν σε πολλές νέες περιοχές. Οι επιδράσεις των ποντικών στο οικοσύστημα αλλά κυρίως στην οικονομία των αποικιών ήταν καταστροφικές, καθώς η συμπεριφορά και ίσως η φυσιολογία τους ήταν καλύτερα προσαρμοσμένη στο ενδιαίτημα που διαμόρφωσαν οι ιμπεριαλιστές στις αποικίες. Έτσι, απέκλεισαν τα ανταγωνιστικά είδη (τρωκτικά, μικρά μαρσιποφόρα κ.ά.) από τις αντίστοιχες οικοθέσεις. Επίσης, προκάλεσαν τεράστιες οικονομικές ζημιές καταστρέφοντας χωράφια στο Μπουένος Αϊρες, αποθήκες στο Τζέιμσταουν της Βιρτζίνια (1609), καταστήματα τροφίμων στο Σίδνεϋ (1790) και πολλά άλλα.

Μια ακόμα χαρακτηριστική περίπτωση μεταφοράς οργανισμού που εμπόδισε την επέκταση των ιμπεριαλιστών ήταν τα κουνέλια στο Πόρτο Σάντο, το μικρότερο από τα δύο νησιά που ανήκουν στο σύμπλεγμα της Μαδέρας. Η Μαδέρα ήταν ακατοίκητη όταν έφτασαν εκεί οι Πορτογάλοι. Ο Bartholomeu Perestrello, κυβερνήτης του Πόρτο Σάντο, μετά την αποίκηση του νησιού τη δεκαετία του 1420, άφησε ελεύθερο στο νησί ένα θηλυκό κουνέλι με τα μικρά του, τα οποία είχαν γεννηθεί κατά τη διάρκεια του ταξιδιού από την Ευρώπη. Η αύξηση τους ήταν ταχύτατη με αποτέλεσμα να καταστρέφουν όλες τις φυτείες του νησιού. Οι άποικοι προσπάθησαν να τα εξοντώσουν, αλλά οι κόποι τους δεν απέδωσαν και έτσι εγκατέλειψαν την προσπάθεια αποίκησης του νησιού. Τα κουνέλια συνέχισαν να αυξάνονται τρώγοντας τα ιθαγενή φυτά, πολλά από τα οποία εξαφανίστηκαν, ενώ στη συνέχεια λόγω έλλειψης τροφής εξαφανίστηκαν και πολλά άλλα ζώα. Λίγα ήταν τα φυτά που μπορούσαν να αντέξουν την έντονη βόσκηση, με αποτέλεσμα οι πλαγιές να απογυμνωθούν. Χωρίς φυτά με εκτεταμένο ριζικό σύστημα, το έδαφος στις πλαγιές δεν ήταν δυνατό να συγκρατηθεί και διαβρώθηκε εύκολα από το νερό και τον αέρα. Μετά από αυτή την ολοκληρωτική αλλαγή του οικοσυστήματος, οι μόνοι οργανισμοί που μπορούσαν να επιβιώσουν εκεί ήταν φυτά και ζώα προερχόμενα από την Ευρώπη. Στο μεταξύ οι άποικοι εγκαταστάθηκαν "επιτυχώς" στη Μαδέρα, αφού πρώτα την έκαψαν εξαφανίζοντας το πυκνό δάσος.

Η υπερβόσκηση από τα κατοικίδια ζώα, τα οποία μετέφερε ο άνθρωπος σχεδόν σε όλο τον κόσμο, οδήγησε σε πολλές περιπτώσεις στην ερημοποίηση μεγάλων εκτάσεων.



Εισαγωγή Φυτών.

Όπως συνέβη και με τα ζώα, η ακούσια ή εκούσια μεταφορά φυτών είχε σημαντικές επιπτώσεις στο οικοσύστημα. Πολλά καλλιεργούμενα φυτά μεταφέρθηκαν στις αποικίες για τροφή και ιατρικούς σκοπούς. Μαζί με αυτά μεταφέρθηκαν ζιζάνια και άλλα παράσιτα. Τα ζιζάνια συνήθως χαρακτηρίζονται από ταχεία αύξηση, ενώ πολλά από αυτά διαθέτουν προσαρμογές στην έντονη βόσκηση. Σε διάφορες περιοχές της Ωκεανίας και της Αμερικής, η εξάπλωση της ξενικής χλωρίδας και πανίδας ήταν αλληλοβοηθούμενη. Τα ευρωπαϊκά φυτά ήταν ανθεκτικά στη βόσκηση από επίσης ευρωπαϊκά κτηνοτροφικά ζώα (πρόβατα, βοοειδή κ.ά.), αφού συνυπήρχαν μαζί για μεγάλο χρονικό διάστημα. Έτσι πλεονεκτούσαν έναντι των ιθαγενών φυτών, τα οποία και εκτόπιζαν. Με τον τρόπο αυτό άλλαζε συνολικά η φυσιογνωμία του οικοσυστήματος.

Η εισαγωγή της φυλλοξήρας στην Ευρώπη οδήγησε στην ολοκληρωτική καταστροφή των αμπελοκαλλιιεργειών της Γαλλίας.



Η ταχύτητα εξάπλωσης αλλόχθονων φυτών ήταν πολλές φορές μεγαλύτερη από αυτή των ιμπεριαλιστών. Ο ιεραπόστολος Bartolome de Las Casas (γύρω στο 1500 – 1550 μ.Χ.) βρήκε διαδεδομένα στην Αμερική διάφορα είδη ευρωπαϊκών φυτών (φέτρη, γαϊδουράγκαθο, πεντάνευρο, τσουκνίδα, στρύχνος, βούρλα κ.ά.), τα οποία γνώριζε από την Ισπανία και πίστευε ότι δεν μεταφέρθηκαν εκεί από τους Ισπανούς κατακτητές.

Επίσης, πολλά φυτά μεταφέρθηκαν από τις αποικίες στις μητροπόλεις κυρίως για εμπορικούς σκοπούς. Οι ευκάλυπτοι (*Eucalyptus* sp.), οι οποίοι προέρχονται από την

Αυστραλία, χρησιμοποιήθηκαν για αποξήρανση λιμνών ή ξυλεία και σήμερα είναι αυτοφυείς σε πολλές περιοχές του κόσμου. Τα δένδρα αυτά όμως είναι εύφλεκτα και ευθύνονται σε μεγάλο βαθμό για τις καταστροφικές συνέπειες των πυρκαγιών στις περιοχές όπου εξαπλώθηκαν. Στην πυρκαγιά της Καλιφόρνιας το 1992, που εξαπλώθηκε σε έκταση μεγαλύτερη από 6.900 τετραγωνικών χιλιομέτρων, υπολογίστηκε ότι το 70% της ενέργειας που απελευθερώθηκε από φυτά προερχόταν από τους ευκαλύπτους. Άλλο ένα φυτό που εξαπλώθηκε σε μεγάλη έκταση ήταν η φραγκοσυκιά (*Opuntia* sp.), οι πληθυσμοί της οποίας μειώθηκαν μετά την εισαγωγή από τη Βραζιλία ενός παρασίτου της (*Cactoblastis cactorum*).

Παράσιτα Φυτών.

Η εισαγωγή φυτών για τη διατροφή των Ευρωπαίων αρχικά φαινόταν να υπόσχεται πολλά. Η πατάτα, το καλαμπόκι, ο καπνός και άλλα φυτά σε διαφορετικές χρονικές περιόδους στήριξαν τοπικές οικονομίες της Ευρώπης, καθώς αναπτύσσονταν σε ένα σχεδόν ιδανικό γι' αυτά περιβάλλον χωρίς παράσιτα. Όταν όμως μετά από κάποιο χρονικό διάστημα έγινε τυχαία εισαγωγή κάποιου παρασίτου, οι συνέπειες ήταν καταστροφικές. Για τα παράσιτα, οι καλλιέργειες σε μεγάλη κλίμακα ήταν ένα ευνοϊκό περιβάλλον με άφθονους ξενιστές, στο οποίο πολλαπλασιάστηκαν και εξαπλώθηκαν γρήγορα, με αποτέλεσμα την ολοκληρωτική καταστροφή της συγκομιδής. Η ίδια διαδικασία παρατηρήθηκε και σε πολλές άλλες περιοχές εκτός της Ευρώπης.

Η πιο γνωστή περίπτωση καταστροφής είναι ο λιμός που ακολούθησε την έξαρση του περονόσπορου της πατάτας και οδήγησε εκατομμύρια Ιρλανδούς στη μετανάστευση. Αιτία ήταν η εισαγωγή του ωομύκητα *Phytophthora infestans* που προσβάλλει τις πατάτες. Στην Ιρλανδία μεταξύ 1845 και 1851 προκάλεσε λιμό, με αποτέλεσμα τον θάνατο από την πείνα ενός εκατομμυρίου Ιρλανδών και τη μετανάστευση ενάμισι εκατομμυρίου ανθρώπων.

Πολλά ακόμα ήταν τα παράσιτα που μεταφέρθηκαν από τις αποικίες στα ιμπεριαλιστικά κέντρα προκαλώντας διαταραχές στα οικοσυστήματα και τις καλλιέργειες. Γύρω στο 1870, η φυλλοξήρα της αμπέλου (*Phylloxera vitifolii*), προερχόμενη από την Αμερική, κατέστρεψε σχεδόν ολοκληρωτικά την παραγωγή στη Γαλλία, ενώ εξαπλώθηκε γρήγορα μέχρι την Αλγερία και την Αγγλία. Λίγα χρόνια αργότερα μεταφέρθηκε και στην Αυστραλία. Ο δορυφόρος της πατάτας *Leptinotarsa decemlineata* (κολεόπτερο) μέχρι το 1874 είχε εξαπλωθεί στις περισσότερες καλλιέργειες της Βόρειας Αμερικής και το 1876 πέρασε στην Ευρώπη. Μέχρι το 1935 είχε καταστρέψει τεράστιες εκτάσεις καλλιεργειών. Ακόμα και σήμερα εξακολουθεί να προκαλεί προβλήματα στις καλλιέργειες.

Άλλες Περιπτώσεις Τροποποίησης Οικοσυστημάτων.

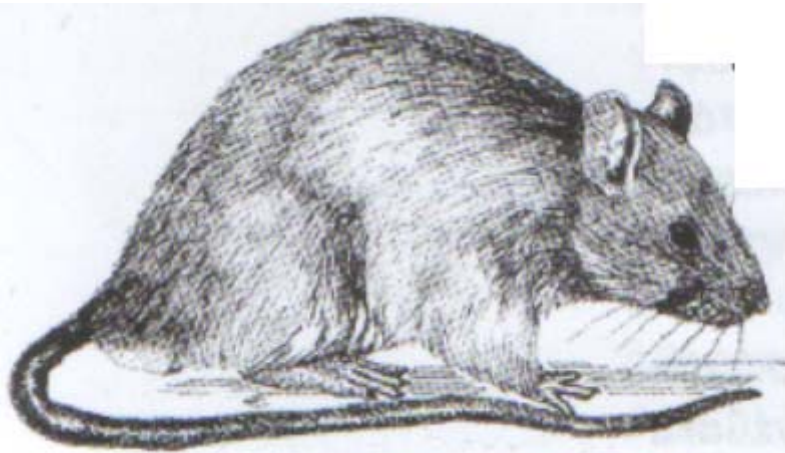
Όπως είδαμε πιο πάνω, ο πιο εμφανής τρόπος αλλαγής οικοσυστημάτων είναι η εισαγωγή αλλόχθονων ειδών. Ωστόσο ένα οικοσύστημα μπορεί να διαταραχθεί και με άλλες μεθόδους, όπως το κάψιμο μεγάλων εκτάσεων, η αποψίλωση δασών, η άρδευση, η δημιουργία φραγμάτων, η αποξήρανση λιμνών, η εξαφάνιση ειδών και πολλές άλλες πρακτικές.

Η αποψίλωση των δασών στα Κανάρια νησιά αύξησε τη διάβρωση του εδάφους και ίσως συνέβαλε στη μείωση των βροχοπτώσεων (είναι πιθανό να μειώθηκε η συγκέντρωση νεφών πάνω από τα νησιά).

Το αλόγιστο κυνήγι ευθύνεται για την εξαφάνιση πολλών ειδών. Για παράδειγμα, το ταχυδρομικό περιστέρι (*Ectopistes migratorius*) υπήρχε σε μεγάλους αριθμούς όταν οι Ευρωπαίοι έφτασαν στην Αμερική. Λόγω του εντατικού κυνηγιού, οι αριθμοί του περιστεριού μειώθηκαν δραματικά. Ο τελευταίος αντιπρόσωπος του είδους πέθανε το 1914 σε αιχμαλωσία.

Ένα άλλο είδος ζώου που έφτασε στα πρόθυρα της εξαφάνισης εξαιτίας του κυνηγιού ήταν ο αμερικανικός βίσονας (*Bison bison*). Με την εισβολή των Ευρωπαίων ο αριθμός τους μειώθηκε δραματικά. Μέχρι το 1889, ο ζωολόγος William T. Hornaday ανέφερε πως είχαν απομείνει μόνο 541 άτομα. Η επιβίωση τους οφείλεται σε μια σειρά συγκυριών που εμπόδισαν την αιχμαλωσία λίγων δεκάδων ζώων, με αποτέλεσμα να εξακολουθήσουν να υπάρχουν άγρια κοπάδια τα οποία αργότερα άρχισαν πάλι να αυξάνονται, μετά τη λήψη μέτρων προστασίας τους. Οι βίσονες αποτελούσαν μια πολύ σημαντική πηγή τροφής και πρώτων υλών για τους Ινδιάνους. Όταν οι πληθυσμοί των ζώων μειώθηκαν, οι περισσότεροι Ινδιάνοι αναγκάστηκαν να συγκεντρωθούν σε ελεγχόμενους καταυλισμούς, διευκολύνοντας έτσι τους ιμπεριαλιστές να αρπάξουν τη γη τους.

Rattus rattus Linnaeus, 1758.



Σύγχρονος Οικολογικός Ιμπεριαλισμός

Οι δραστηριότητες των μονοπωλιακών σχηματισμών στον σύγχρονο ιμπεριαλισμό περιλαμβάνουν την εξαγωγή κεφαλαίων και τον έλεγχο των αγορών με οικονομικά και στρατιωτικά μέσα. Οι παρεμβάσεις αυτές, μεταξύ των άλλων, έχουν και ως συνέπεια την τροποποίηση του οικοσυστήματος των εξαρτώμενων κρατών και συχνά των ιμπεριαλιστικών κέντρων. Η τροποποίηση αυτή σήμερα είναι πολύ συχνότερη απ' ό,τι στο παρελθόν και ευρύτερης κλίμακας.

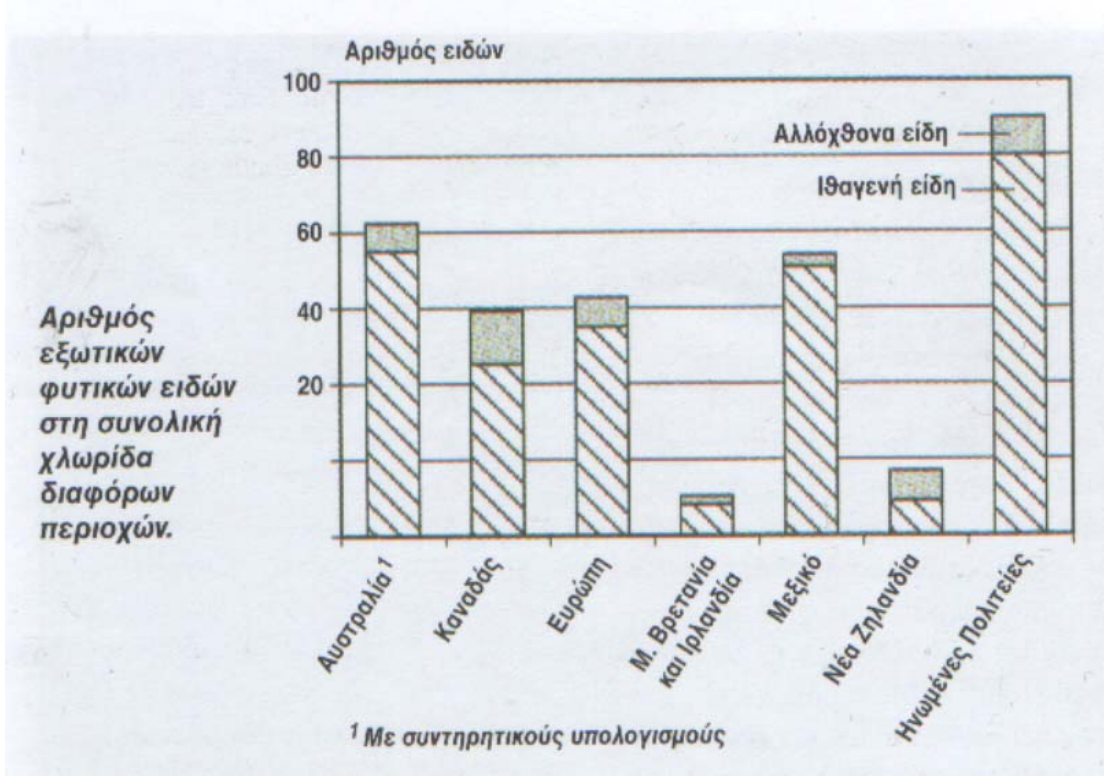
Σήμερα η μεταφορά κεφαλαίου και εμπορεύματος γίνεται με όλο και εντονότερους ρυθμούς. Τα μεγάλα εμπορικά λιμάνια των σύγχρονων ιμπεριαλιστικών κρατών εισάγουν και εξάγουν διαμέσου των θαλασσίων οδών τεράστιες ποσότητες αγαθών από και προς τις εξαρτώμενες πολιτικά και οικονομικά χώρες. Τα σύγχρονα

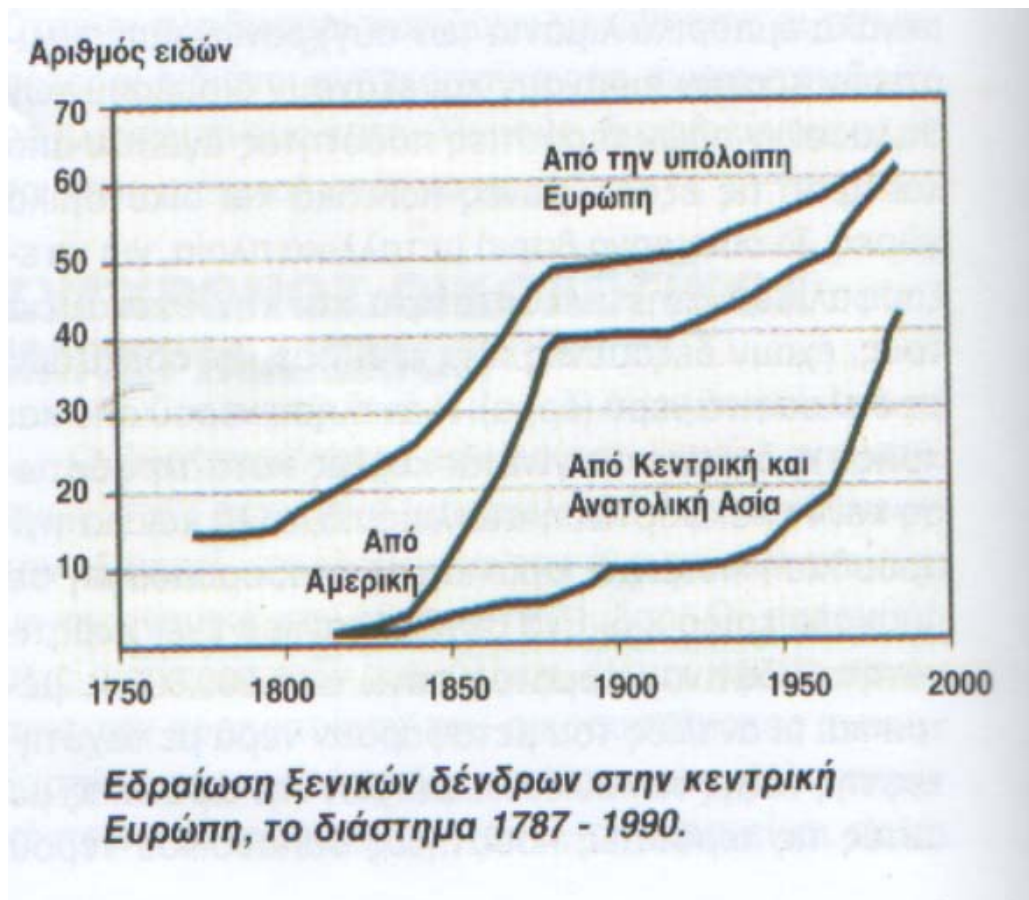
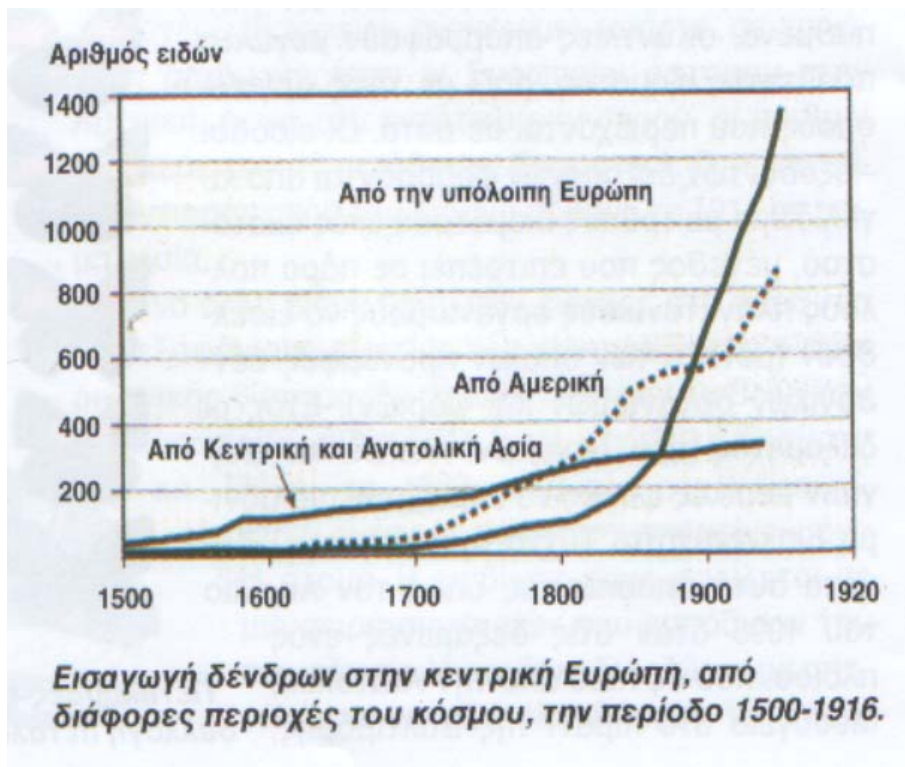
βαριά μεταλλικά πλοία, για να εξασφαλίσουν την πλευστότητα και την ευστάθειά τους, έχουν δεξαμενές που γεμίζουν και αδειάζουν με θαλασσινό νερό (έρμα). Η άντληση νερού από και προς τις δεξαμενές γίνεται κυρίως κατά τη φόρτωση και την εκφόρτωση στα λιμάνια, αλλά και για την πρόσβαση σε ρηγά λιμάνια, τη σταθεροποίηση σε δύσκολο καιρό κ.ά. Ένα μεγάλο τάνκερ έχει χωρητικότητα υδάτινου έρματος πάνω από 200.000 κυβικά μέτρα και οι αντλίες του μεταφέρουν νερό με ταχύτητες της τάξης των 20.000 κυβικών μέτρων την ώρα. Μαζί με αυτές τις τεράστιες ποσότητες θαλασσινού νερού μεταφέρονται και οι οργανισμοί που περιέχονται σε αυτό.

Πεταλούδες του γένους *Agias*, από συλλογή πεταλούδων της Κολομβίας.



Επίσης, επειδή η εισαγωγή και η εξαγωγή νερού από τις δεξαμενές προκαλεί συνήθως μεγάλη αναταραχή στον πυθμένα, οι αντλίες απορροφούν μεγάλες ποσότητες ιζήματος, μαζί με τους οργανισμούς που περιέχονται σε αυτό. Οι είσοδοι – έξοδοι των δεξαμενών φράσσονται από κιγκλίδωμα με τρύπες διαμέτρου ενός εκατοστού, μέγεθος που επιτρέπει σε πάρα πολλούς πλαγκτονικούς οργανισμούς να εισέλθουν (μεταξύ των οποίων προνύμφες βενθονικών οργανισμών και ψαριών). Έτσι, οι δεξαμενές των μεγάλων πλοίων καταλήγουν μερικές φορές να περιέχουν μια μόνιμη βιοκοινότητα. Συχνά όμως τα κιγκλιδώματα αυτά αποσπώνται, όπως τον Απρίλιο του 1995 όταν στις δεξαμενές ενός πλοίου, που έφτασε από την Ανατολική Μεσόγειο στο λιμάνι της Βαλτιμόρης, βρέθηκαν πάνω από 50 υγιή μπαρμπούνια μήκους 30 – 36 απ. Μέσω των δεξαμενών αυτών έχει δημιουργηθεί ένα τεράστιο πλέγμα "θαλασσιών ρευμάτων" που μεταφέρουν όλες τις κατηγορίες υδρόβιων οργανισμών. Στα μεγάλα λιμάνια μπορούμε να συναντήσουμε θαλάσσιους οργανισμούς από τις πιο απομακρυσμένες θάλασσες. Τα οικολογικά προβλήματα που προκύπτουν μπορεί να είναι εξαφανίσεις ειδών, αυξομειώσεις σε πληθυσμούς, τροποποίηση οικοσυστημάτων, ενώ τα οικονομικά προβλήματα που προκύπτουν σε μερικές περιπτώσεις είναι τεράστια.





Ο δορυφόρος της πατάτας *Leptinotarsa decemlineata*.

Θηλυκό άτομο με αυγά.



Προνύμφη.



Ο "μηδενισμός" των αποστάσεων οδήγησε σε περαιτέρω αύξηση του ανταγωνισμού και της συγκεντροποίησης κεφαλαίων. Η αγροβιομηχανία ακολούθησε την ίδια τάση, με αποτέλεσμα ένας μεγάλος αριθμός μικροκαλλιεργητών να εξαρτάται οικονομικά από εταιρίες και κυβερνήσεις. Τα νέα προϊόντα της γεωργικής βιομηχανίας, μετά το 1960, ήταν σπόροι που απαιτούσαν μεγάλες ποσότητες λιπασμάτων και

φυτοφαρμάκων, γεγονός που καθιστούσε ασύμφορες τις μικρές καλλιέργειες. Η προώθηση των προϊόντων αυτών οδήγησε στην εξαφάνιση των περισσότερων τοπικών ποικιλιών. Μέχρι το 1990, περίπου το 75% της καλλιέργειας ρυζιού της Ασίας, το μισό σιτάρι της Αφρικής και το 70% του καλαμποκιού παγκοσμίως αντικαταστάθηκαν με νέες ποικιλίες αυξημένης παραγωγικότητας. Το αποτέλεσμα ήταν η μείωση της φυσικής γενετικής ποικιλότητας των καλλιεργούμενων ειδών, η εμφάνιση πολλών νέων οικολογικών προβλημάτων και η επιδείνωση της φτώχειας στις αναπτυσσόμενες περιοχές του πλανήτη.

Οι επιπτώσεις του σύγχρονου οικολογικού ιμπεριαλισμού είναι άμεσα ορατές σε περιόδους πολέμου. Η πιο γνωστή περίπτωση είναι ο ψεκασμός δασικών εκτάσεων στο Βιετνάμ με αποφυλλωτικά. Η καταστροφή του δάσους από τον στρατό των ΗΠΑ είχε στόχο τον καλύτερο εντοπισμό των Βιετκόνγκ κάτω από την πυκνή βλάστηση. Το αποτέλεσμα ήταν να διασπαρεί σε μεγάλες εκτάσεις το αποφυλλωτικό, καθώς και προσμίξεις διοξινών οι οποίες μέχρι σήμερα προκαλούν τερατογενέσεις.

Μια άλλη ίσως λιγότερο γνωστή περίπτωση οικολογικού ιμπεριαλισμού είναι αυτή του πρώτου πολέμου του Κόλπου. Κατά τη διάρκεια του, αλλά και μετά τη λήξη του, η κυβέρνηση των ΗΠΑ στόχευε στην τροποποίηση ενός οικολογικού παράγοντα (τη διαθεσιμότητα του νερού), ώστε να πλήξει το καθεστώς και τους υποστηρικτές του. Ο πληθυσμός στο Ιράκ βασίζεται στην εισαγωγή εξοπλισμού και χημικών για τον καθαρισμό ή την αφαλάτωση του νερού, καθώς τα φυσικά αποθέματα και η βροχόπτωση δεν επαρκούν. Σε πρόσφατα αποχαρακτηρισμένα έγγραφα της κυβέρνησης των ΗΠΑ προβλεπόταν ότι αν δεν γινόταν χλωρίωση του νερού θα μπορούσαν να προκύψουν επιδημίες όπως η χολέρα, η ηπατίτιδα και ο τυφοειδής πυρετός, ενώ θα επηρεαζόταν και η βιομηχανία. Μετά τον πόλεμο επιβλήθηκε εμπάργκο στο Ιράκ, απαγορεύοντας μεταξύ άλλων την εισαγωγή τεχνικού εξοπλισμού και χλωρίου για τη χλωρίωση του νερού. Οι προβλέψεις επαληθεύτηκαν και υπήρξαν αρκετές περιπτώσεις επιδημιών. Μέχρι το 2000 υπολογίζεται ότι το εμπάργκο ευθύνεται για το θάνατο ενός εκατομμυρίου ανθρώπων, από τους οποίους οι 500.000 ήταν παιδιά. Φυσικά η απαγόρευση εισαγωγής χλωρίου και ο βομβαρδισμός των εγκαταστάσεων δεν είναι η αποκλειστική αιτία των νεκρών, αλλά ο οικολογικός παράγοντας ήταν καθοριστικός για τις επιλογές των ιμπεριαλιστών.

Μετά τη λήξη του ψυχρού πολέμου οι περιπτώσεις οικολογικού ιμπεριαλισμού αυξήθηκαν. Στο Μεξικό, οι Ζαπατίστας έχουν καταγγείλει την κυβέρνηση για ψεκασμούς των καλλιεργειών τους με παρασιτοκτόνα και κάψιμο των εκτάσεων τους. Αγρότες στο Περού κατήγγειλαν χρήση βιολογικών όπλων κατά των καλλιεργειών τους το 1991. Η κυβέρνηση της Κολομβίας σε συνεργασία με τις ΗΠΑ χρησιμοποιεί ζιζανιοκτόνα στις καλλιέργειες και στα δάση όπου ζουν οι αντάρτες, ενώ σχεδίαζαν να χρησιμοποιήσουν και βιολογικά όπλα. Η διεθνής αντίδραση στην τελευταία περίπτωση οδήγησε στην αποκάλυψη αρκετών επιπτώσεων του οικολογικού ιμπεριαλισμού στην Κολομβία και στην αναστολή των επιχειρήσεων. Αντίστοιχες περιπτώσεις σύγχρονου οικολογικού ιμπεριαλισμού συμβαίνουν σε διάφορες περιοχές του κόσμου με καταστροφικές συνέπειες για τα οικοσυστήματα και τους ανθρώπους.

Υπάρχουν πολλές διεθνείς συνθήκες οι οποίες απαγορεύουν ή περιορίζουν μερικώς την τροποποίηση των οικοσυστημάτων. Οι περισσότερες αντιμετωπίζουν αποσπασματικά μερικές μόνο εκφάνσεις του οικολογικού ιμπεριαλισμού. Η πληρέστερη από αυτές υπογράφηκε το 1977 (Σύμβαση για την Απαγόρευση Στρατιωτικής ή Άλλης Χρήσης Τεχνικών Τροποποίησης του Περιβάλλοντος – ENMOD) και απαγορεύει κάθε τροποποίηση του περιβάλλοντος για στρατιωτικούς

σκοπούς, όπως πρόκληση σεισμών, χειρισμός της στιβάδας του όζοντος, τροποποίηση της ιονόσφαιρας, αποψίλωση δασών, πρόκληση πλημμύρας ή ξηρασίας, χρήση ζιζανιοκτόνων, πρόκληση πυρκαγιών, εισαγωγή ξενικών ειδών και άλλα. Η σύμβαση αυτή, όπως και οι υπόλοιπες, έχουν δεχθεί έντονη κριτική γιατί στην ουσία δεν έχουν εφαρμοστεί, ενώ εύκολα παρακάμπτονται. Εκτός των διεθνών συνθηκών, υπάρχουν και επιμέρους διακρατικές συμφωνίες, οι οποίες, παρά την τοπική ισχύ τους, έχουν σε αρκετές περιπτώσεις εμποδίσει φαινόμενα οικολογικού ιμπεριαλισμού. Όμως αυτό που δεν έχει αντιμετωπιστεί είναι η πραγματική αιτία του προβλήματος, που είναι η ιμπεριαλιστική πολιτική.

Η Περίπτωση της Κολομβίας

Ίσως το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα σύγχρονου οικολογικού ιμπεριαλισμού είναι η περίπτωση της Κολομβίας. Τις τελευταίες δεκαετίες, οι ΗΠΑ σε συνεργασία με την κυβέρνηση της Κολομβίας, προσπαθούν να καταπνίξουν τα αντάρτικα κινήματα που δρουν στη χώρα. Οι ΗΠΑ δεν συμμετέχουν μόνο οικονομικά, αλλά παρέχουν και στρατιωτική βοήθεια. Οι αυτόνομες περιοχές των ανταρτών δέχονται συνεχώς επιθέσεις, πολλές από τις οποίες έχουν ως πρόσχημα την αντιμετώπιση των παράνομων καλλιεργειών κόκας (*Erythroxylum coca*) και οπίου (*Papaver somniferum*). Έχουν γίνει πολλοί αεροψεκασμοί με ζιζανιοκτόνα που οδήγησαν στην καταστροφή δασών, άλλων νόμιμων καλλιεργειών και έβλαψαν την υγεία πολλών ανθρώπων. Η πιο πρόσφατη κατέστρεψε το φυσικό περιβάλλον των περιοχών αυτών, με αποτέλεσμα τη στέρηση βασικών μέσων επιβίωσης. Είναι φανερό ότι πρόκειται για μια σύγχρονη μορφή οικολογικού ιμπεριαλισμού: οι ιμπεριαλιστές τροποποιούν το οικοσύστημα των αυτόνομων χωριών της Κολομβίας που στηρίζουν τους αντάρτες, ώστε να εξαλείψουν κάθε μορφή αντίστασης. Φυσικά οι ιμπεριαλιστές δεν περιορίζονται μόνο στην τροποποίηση του οικοσυστήματος, αλλά ακολουθούν και άλλες τακτικές (επιθέσεις του τακτικού στρατού και υποκινούμενων παραστρατιωτικών ομάδων, πολιτικές δολοφονίες κ.ά.). Έχει επίσης σχεδιαστεί και ίσως εφαρμοστεί η χρήση βιολογικών όπλων.

Ως ζιζανιοκτόνο αρχικά χρησιμοποιήθηκε η ουσία glyphosate που κατασκευάζεται από την αγροβιοχημική εταιρία Monsanto και κυκλοφορεί στο εμπόριο με την ονομασία RoundUp. Το ζιζανιοκτόνο αυτό είναι ευρέως φάσματος, δηλαδή καταστρέφει μια μεγάλη ποικιλία φυτών. Οι επιπτώσεις της ουσίας αυτής στην υγεία του ανθρώπου και των ζώων δεν είναι πλήρως γνωστές. Η έκθεση σε αυτήν έχει δείξει ότι προκαλεί αναπνευστικά προβλήματα, απώλεια μυϊκού ελέγχου, καταστροφή των ερυθρών αιμοσφαιρίων και βλάβες στο αναπαραγωγικό σύστημα του ανθρώπου.

Επίσης, το ζιζανιοκτόνο είναι ευδιάλυτο στο νερό και τοξικό για πολλούς οργανισμούς. Έτσι, διαταράσσεται η τροφική αλυσίδα και τελικά όλο το οικοσύστημα. Το πρόβλημα εντείνεται ακόμα περισσότερο λόγω του φαινομένου της βιοσυσσώρευσης (η ουσία δεν αποβάλλεται δύσκολα από τον οργανισμό με αποτέλεσμα να συσσωρεύεται στους ανώτερης τάξης καταναλωτές). Κατά τους αεροψεκασμούς καταστρατηγούνται οι στοιχειώδεις προφυλάξεις για τη χρήση του συγκεκριμένου ζιζανιοκτόνου, ενώ χρησιμοποιούνται και μίγματα του με άλλες τοξικές ουσίες, η συνδυασμένη δράση των οποίων δεν έχει μελετηθεί στην υγεία του ανθρώπου. Από το 1998 και ύστερα άρχισαν δοκιμές με ένα νέο ζιζανιοκτόνο, το tebuthiuron, που κατασκευάζεται από την εταιρία Dow Agrosience και έχει την εμπορική ονομασία Spike 20P. Η χρήση του παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα,

καθώς είναι υπό τη μορφή δισκίων και μπορεί να διασπείρεται από αεροπλάνα που πετούν σε μεγάλο ύψος με οποιοδήποτε καιρό, σε αντίθεση με το glyphosate που απαιτεί ειδικές συνθήκες και χαμηλότερο ύψος (το οποίο ωστόσο οι πιλότοι δεν τηρούσαν για να αποφύγουν τα πυρά των ανταρτών).

Αρχικά στην Κολομβία και αργότερα σε άλλες χώρες έγιναν προσπάθειες από τις ΗΠΑ, το πρόγραμμα ελέγχου ναρκωτικών των Ηνωμένων Εθνών (UNDCP) και ορισμένες εταιρίες, για τη χρήση βιολογικών όπλων έναντι των παράνομων καλλιεργειών.

Για την εκλεκτική καταστροφή των καλλιεργειών κόκας και οπίου σχεδιάζεται η χρήση παρασιτικών μυκήτων. Μετά από έρευνες του Υπουργείου Άμυνας των ΗΠΑ σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο της Montana, του προγράμματος ελέγχου ναρκωτικών των Ηνωμένων Εθνών (UNDCP), του Ινστιτούτου Γενετικής της Τασκένδης και ιδιωτικών εταιριών, απομονώθηκαν στελέχη των μυκήτων *F. oxysporum* f.sp. *erythroxyli* και *Pleospora paraveraceae* ικανή να προσβάλλουν φυτά κόκας και οπίου αντίστοιχα.

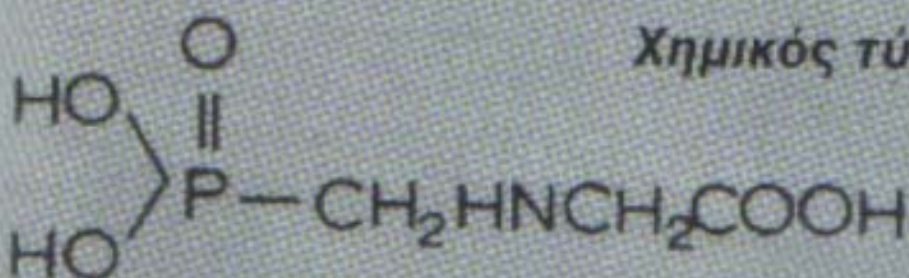
Φυτό κόκας (*Erythroxylum coca* Lam) από το οποίο παράγεται η κοκαΐνη. Διακρίνονται τομές ανθέων και καρπών.



Οι μύκητες αυτοί σχεδιάζεται να χρησιμοποιήσουν για την εκλεκτική καταστροφή παρανομών φυτειών σε διάφορες χώρες του κόσμου, με πρώτη την

Κολομβία. Η χρήση τους μπορεί να προκαλέσει απρόβλεπτες αλλαγές στο οικοσύστημα αλλά και κινδύνους για την υγεία των ανθρώπων. Τουλάχιστον για το *F. oxysporum* έχουν αναφερθεί διάφορες μολύνσεις, αλλεργίες και τοξινώσεις. Το χαμηλό επίπεδο της προσφερόμενης ιατρικής περίθαλψης στις περιοχές αυτές εντείνει το πρόβλημα. Όσον αφορά το οικοσύστημα, η διασπορά ενός παθογόνου μύκητα σε μεγάλη κλίμακα μπορεί να προκαλέσει τεράστιες αλλαγές. Η εκλεκτικότητα των στελεχών αυτών δεν είναι εξασφαλισμένη κάτω από φυσικές συνθήκες, αφού υπάρχει η πιθανότητα μεταλλάξεων και διασταυρώσεων. Ειδικά το στέλεχος *F. oxysporum* f.sp. *erythroxyli* μπορεί να προσβάλλει και άλλα είδη φυτών εκτός της κόκας, ιδιαίτερα ευάλωτα αναμένεται να είναι αλλά είδη του γένους *Erythroxyllum*, τέσσερα από τα οποία είναι σπάνια στην Κολομβία. Η επίδραση στο οικοσύστημα, περιπλέκεται: ακόμα περισσότερο από το γεγονός ότι κάποια σπάνια είδη πεταλούδων του γένους *Agias* εξαρτώνται για τροφή από είδη του γένους *Erythroxyllum*. Η αλυσίδα συνεχίζεται και με άλλες αλληλεξαρτήσεις σπάνιων και ενδημικών οργανισμών, με αποτέλεσμα να απειλείται η ισορροπία ολόκληρου του οικοσυστήματος.

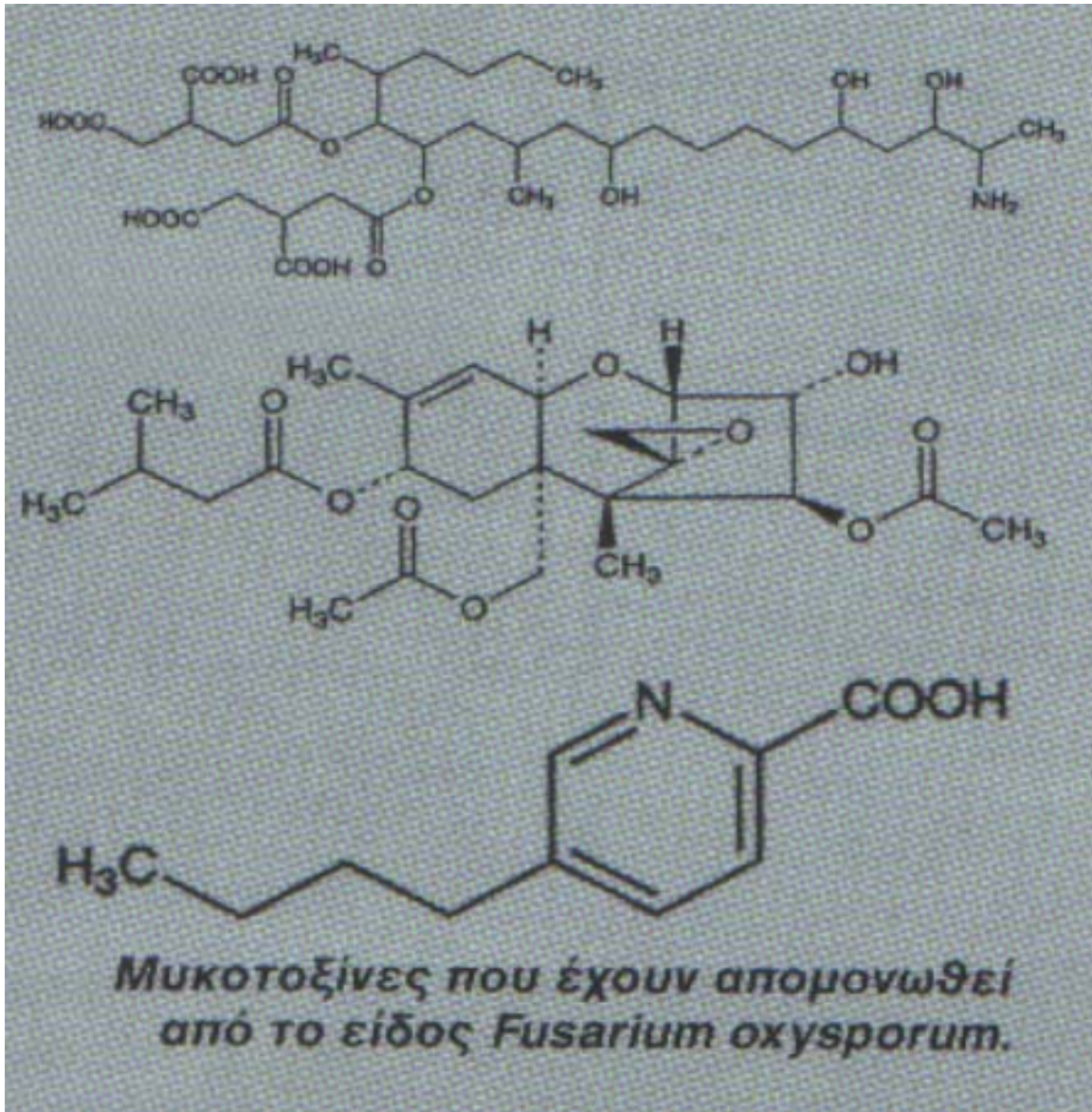
Η χρήση του στελέχους του *F. oxysporum* f.sp. *erythroxyli* απαγορεύτηκε σε πολλές χώρες και στη Florida ως επικίνδυνη για το περιβάλλον και την αγροτική παραγωγή. Μετά από κύμα διεθνών αντιδράσεων για το περιβάλλον και την παραβίαση διεθνών συνθηκών, το σχέδιο πάγωσε και επίσημα δεν εφαρμόστηκε. Ακόμα και πρώην σύμμαχοι των ΗΠΑ αναγκάστηκαν να διαφωνήσουν με τη χρήση βιολογικών όπλων στην Κολομβία. Παραμένουν ωστόσο κάποιες πληροφορίες για αεροψεκασμούς με βιολογικό υλικό, οι οποίες όμως επίσημα δεν επιβεβαιώθηκαν ποτέ. Αντίστοιχες εκστρατείες με στόχο το εμπόριο ναρκωτικών έχουν εξαπολυθεί σε αρκετές άλλες χώρες, ενώ σχεδιάζεται ευρύτερη υιοθέτηση αυτών των μεθόδων.



Το *glyphosate* είναι ένα διασυστημικό, ευρέος φάσματος ζιζανιοκτόνο, που δρα κατά τη μεταφυτρωτική περίοδο. Χημικώς είναι ένα οξύ, ενώ συνήθως χρησιμοποιείται ως άλας (με ισοπροπυλαμίνη). Συνεπώς είναι ευδιάλυτο στο νερό και αδιάλυτο σε οργανικούς διαλύτες.



Γραφική απεικόνιση του μορίου (τα υδρογόνα δεν φαίνονται)



Συμπεράσματα.

Η έννοια του οικολογικού ιμπεριαλισμού μας βοήθησε να κατανοήσουμε καλύτερα ορισμένα ιστορικά γεγονότα, τα οποία μέχρι πρόσφατα εξετάζονταν αποσπασματικά ή μονομερώς. Ως φαινόμενο, δεν ανήκει μόνο στο παρελθόν, αλλά εξακολουθεί να δημιουργεί κοινωνικά και οικολογικά προβλήματα. Η σημασία του είναι ακόμα μεγαλύτερη σήμερα που η τεχνολογία επιτρέπει τον χειρισμό πολλών περιβαλλοντικών παραμέτρων με καθοριστικές συνέπειες για την ανθρώπινη κοινωνία. Για να αντιμετωπίσουμε επιτυχώς την αιτία του οικολογικού ιμπεριαλισμού είναι απαραίτητο να διδαχθούμε από τα λάθη του παρελθόντος και να αλλάξουμε ριζικά την αντίληψη και την πρακτική μας για τις σχέσεις των ανθρώπων με το φυσικό περιβάλλον και μεταξύ τους.

Κεφάλαιο 4: Ένα Φυσικό – Βασικό Μοντέλο για την Προσομοίωση της Νεοπλασματικής Ανάπτυξης και Μετάστασης.

Υπόβαθρο και Αντικειμενικότητα: Είναι δυνατό να σχηματοποιήσουμε ικανά μοντέλα που να αναπαραγάγουν τις σημαντικές λεπτομέρειες, σύνθετων φυσικών διαδικασιών, στην εξέλιξη βιολογικών συστημάτων. Η πολυπλοκότητα του προβλήματος απαιτεί να αρχίσουμε με ένα απλό και γενικό μοντέλο για την περιγραφή της κυτταρικής ανάπτυξης, για να προσαρμοστεί διαδοχικά στις τοπικές καταστάσεις, βρίσκονται υπό κλινική παρακολούθηση των νεοπλαστικών αναπτύξεων.

Μέθοδοι: Ένα μοντέλο βασισμένο στην Προσέγγιση Τοπικής Αλληλεπίδρασης Προσομοίωσης (Local Interaction Simulation Approach – LISA) έχει σχηματοποιηθεί για την προσομοίωση της ανάπτυξης, διάχυσης και μετάστασης του νεοπλάσματος. Το αγγείωμα περιγράφεται από ένα δοχείο αίματος εγκατεστημένο στο χείλος του αντιπροσωπευτικού δείγματος το οποίο είναι σταθερό και υποθέτουμε ομοιογενή ροή. Η θρεπτική πυκνότητα είναι ορισμένη για τη μίμηση της ροής αίματος εσωτερικά του ιστού.

Αποτελέσματα: Η φωτογραμμετρία απαιτεί ένα αξιοπρεπή χρόνο που ενδέχεται να αναγνωρίσουμε τα κύρια χαρακτηριστικά της εξέλιξης του όγκου και να περιγράψουμε την ποσότητα των αποκλίσεων σε μια εγκάρσια τομή. Επίσης, είναι πιθανό να ελέγξουμε σταθερά την ποσότητα του νεοπλάσματος και τον νεκρωτικό ιστό σε συνάρτηση του χρόνου, επιπρόσθετα του τμήματος των κυττάρων που έχουν μεταναστεύσει στα αγγεία του αίματος.

Συμπεράσματα: Παρά την έντονη απλοϊκότητα των υποθέσεων, τα μοντέλα των καλών ποιοτικών νομικών εγγράφων, βρίσκονται σε συμφωνία με κλινικά δεδομένα, τα οποία μπορούν ακόμη να βελτιώνονται από πολλές αναλυτικές πληροφορίες για τις ιδιότητες των καρκινικών κυττάρων ή τοπικά αγγειακά συστήματα αντιγραφής.

Εισαγωγή

Η εξήγηση της δυναμικής της ογκώδης ανάπτυξης είναι μία από τις μεγαλύτερες διεκδικήσεις της μοντέρνας επιστήμης. Επειδή οι ουσιαστικές φυσικές διαφορετικές αρχές του προβλήματος, η αλληλεπίδραση ανάμεσα στη μαθηματική, φυσική, βιολογική και ιατρική επιστήμη, πρέπει να δημιουργήσει την εκπλήρωση της ποσοτικής έρευνας της συμπεριφοράς του νεοπλάσματος. Το ενδιαφέρον αυτού του προβλήματος είναι να διευθύνουμε τη σχηματοποίηση, πολυάριθμων αναπτυξιακών μοντέλων, τα οποία έχουν πλεονεκτήματα από τη χρήση υπερ-υπολογιστών, που επιτρέπουν την εκπλήρωση αξιόπιστων προσομοιώσεων σε πολύ σύνθετα βιολογικά συστήματα.

Ένα μαθηματικό μοντέλο αποτελεί μία ευνοϊκή αλληλεπίδραση ανάμεσα στις φαινομενολογικές εξετάσεις, ειδικά από τα κλινικά δεδομένα και τη φυσική πραγματικότητα. Αν και απλοϊκές υποθέσεις πρέπει να εισαχθούν, για να αποφευχθεί ο υπερβολικά δύσκολος φορμαλισμός, είναι δυνατό να σχηματοποιήσουμε άξια μοντέλα

για την ικανότητα της αναπαραγωγής, με μια καλή διαδικασία προσέγγισης των κύριων λεπτομερειών, σύνθετων φυσικών διαδικασιών, μέσα στην εξέλιξη των βιολογικών συστημάτων. Ειδικά η προσέγγιση επιτρέπει πολυσύνθετες αλήθειες εντός λιγότερο σύνθετων υποσυστημάτων, κυρίως με έναν εύκολο έλεγχο ανομοιομορφων παραμέτρων, επιδρώντας στην νεοπλασματική ανάπτυξη.

Άλλοτε η θεώρηση της προσέγγισης λόγω σύγκρισης με δεδομένα εντός και εκτός του ζωντανού οργανισμού, εκτελείται με αριθμητικές προσομοιώσεις, ενδέχεται να γίνουν αποτελεσματικά και οικονομικά σε εναλλακτικά εργαστηριακά πειράματα, για παράδειγμα σε μηχανικές εφαρμογές. Βεβαίως τα ντετερμινιστικά και στοχαστικά αποτελέσματα, τα οποία έχουν αποκτηθεί από μαθηματικές αναλύσεις, έχουν αναλυθεί από βασικές και συνηθισμένες στατιστικές μεθόδους θετές μέσα σε κλινικές αναλύσεις. Αυτό το είδος της θεωρητικής προσέγγισης ενδέχεται να βοηθήσει αμφοτέρω, στη διαγνωστική και στην αισιοδοξία της θεραπείας.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα της νεοπλασματικής ανάπτυξης, διάφορες εναλλακτικές λύσεις έχουν προτείνει την τελευταία δεκαετία, αρχικά από απλά λειτουργικά μοντέλα, τα οποία σκοπεύουν να περιλαμβάνουν διαφορετικά δείγματα των πληροφοριών, όπως η κυτταρική κινητική, αλληλεπίδραση κυττάρων, τις βιολογικές ιδιότητες του περιβαλλόμενου περιβάλλοντος, κτλ. Όπως ήδη αναφέρθηκε, η ποσότητα της πολυπλοκότητας των προβλημάτων απαιτεί να ξεκινήσουμε με ένα πολύ απλό και γενικό μοντέλο για την περιγραφή της κυτταρικής ανάπτυξης, άξιο, ωστόσο η ικανότητα αναπαραγωγής μερικών από την κλινική παρακολούθηση χαρακτηριστικών. Ουσιαστικά στο πρόβλημα είναι απαραίτητα τοπικά, η φύση των κανόνων περιγραφής της νεοπλασματικής ανάπτυξης (π.χ. κάθε κύτταρο ψηλαφεί τις βιολογικές ιδιότητες του τμήματος του περιβάλλοντος που είναι δικτυωμένο και ο όγκος δεν κάνει να συμπεριφέρεται σαν να είναι μοναδικό, συνθέτοντας τη δομή). Άρα ένα μοντέλο συντηρείται εντός της εκτιμήσεως της θέσης του χώρου, τόσο καλά όσο και η χρονική εξέλιξη, η οποία είναι απαραίτητη. **Γι' αυτό το σκοπό ένα μοντέλο βασίζεται στην «Προσέγγιση Τοπικής Αλληλεπίδρασης Προσομοίωσης» (LISA), έχει φορμαλιστεί για την προσομοίωση της ανάπτυξης, διάγνωσης και μετάστασης του νεοπλάσματος, βασισμένο στον ανταγωνισμό ανάμεσα στα νεοπλασματικά και υγιή κύτταρα για την απόκτηση των περιορισμένων θρεπτικών.** Τα προτερήματα αυτής της προσέγγισης, με συνεπαγόμενο καθορισμό, είναι η πιθανότητα να περιλαμβάνεται εντός της χρήσης τοπικών μηχανισμών, τα οποία είναι η βάση για να καταλάβουμε τη δυναμική της ανάπτυξης του όγκου, σχετικά με την παρατήρηση εκτός κλινικής. Το μοντέλο LISA στην πραγματικότητα επιτρέπει την άμεση υλοποίηση των τοπικών μη ευθύγραμμων, υπαρχόντων συζευγμένων, ανάμεσα σε διαφορετικούς πληθυσμούς κυττάρων και των ελεύθερων και των δεσμευμένων θρεπτικών συγκεντρώσεων. Ως συμπέρασμα, το μοντέλο που προτείνεται, αν και είναι προκαταρκτικό, το θεωρούμε ως το μείζων βιολογικών μηχανισμών, όπου οι κανόνες της ανάπτυξης, της ακλόνητης νεοπλασματικής δομής, σε θέματα με αυθαίρετη ανατομική πολυπλοκότητα: θρεπτική απορρόφηση, αμφοτέρω από τα καρκινικά και τα υγιή κύτταρα, ο ρυθμός μίτωσης (κυτταρική πανομοιότυπη αναπαραγωγή), και νέκρωσης (κυτταρικός θάνατος) για νεοπλασματικά κύτταρα, μετάσταση, αγγείωμα, κλπ.

Από βιολογική άποψη, είναι απαραίτητο να επισημάνουμε κάποιες απλές θεωρήσεις, οι οποίες καθοδηγούν το φορμαλισμό των θετών μαθηματικών μοντέλων. Το πιο εντυπωσιακό χαρακτηριστικό των κακοηθειών είναι η δυνατότητά τους να εξαπλώνονται αόριστα χωρίς διάκριση. Τα νεοπλάσματα αναπτύσσονται ως

μονοκύτταρα συστήματα, των οποίων η ανάπτυξη είναι περιορισμένη μόνο από τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών του περιβάλλοντος, και όχι από ρύθμιση παραγωγής, όπως είναι η κυτταροκίνηση, οι ορμόνες, κλπ. Ωστόσο, σε πραγματικά συστήματα, τα θρεπτικά δεν είναι άμεσα διαθέσιμα στα κύτταρα, είναι κατανεμημένα από το αγγειακό σύστημα. Αν και τα νεοπλασματικά κύτταρα είναι ικανά να επιφέρουν αγγειογένεση, το αγγειακό σύστημα δεν αναπτύσσεται ραγδαία, όπως ο ίδιος ρυθμός του όγκου. Ως συμπέρασμα, η ατέλεια της αιματικής ροής, φαίνεται και η σπανιότητα των θρεπτικών, μπορεί να γίνει ένας σημαντικός περιοριστικός παράγων. Άλλοι περιοριστικοί παράγοντες που πρέπει να συνυπολογίσουμε είναι η παρουσία ανατομικών περιορισμών (όπως είναι τα κόκαλα, οι τένοντες, οι μύες, η επιδερμίδα, κλπ.) και ο ανταγωνισμός εναντίον άλλων κυτταρικών πληθυσμών, όπως είναι τα μεγάλα φαγοκύτταρα και λεμφοκύτταρα, τα οποία επίσης απορροφούν θρεπτικά συστατικά.

Υλικά και Μέθοδοι

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση της καρκινικής ανάπτυξης, βασίζεται πάνω στην προσέγγιση LISA και είναι επίσημα πολύ παρόμοιο με έναν Κυτταρικό Αυτοματισμό. Η πλάκα του ιστού (επιτρέποντας την απλοϊκότητα βιο-διαστατικότητας σε $x - y$ στάθμες) είναι διακριτό σε ένα ορθογώνιο πλέγμα. Κάθε πλέγμα-κύτταρο αποτελείται από το δικό του κεντρικό σημείο (κόμβος), σε διαφορετικούς οργανισμούς είναι ορισμένοι (έτσι και αλλιώς από τον αριθμό των κυττάρων ή από τις συγκεντρώσεις). Σχεδόν πάντα οι «κανόνες του παιχνιδιού» καθορίζουν και οι αρχικές δεδομένες καταστάσεις, το νεοπλασματικό σύστημα ανάπτυξης, επιτρέπει αμφότερη ανάπτυξη στη στάθμη και εκτός στάθμης (πχ. μέσα στη $z -$ κατεύθυνση). Ο ιστός μπορεί να επιλεγεί με αυθαίρετη ανομοιογένεια, αποτελώντας ανατομικούς περιορισμούς. Στην πραγματικότητα, προσδιορίζονται διαφορετικοί παράμετροι (ή διαφορετικοί κανόνες του παιχνιδιού) σε διαφορετικούς κόμβους του διακριτού πλέγματος, μπορεί εύκολα να προσομοιωθεί η παρουσία των κοκάλων, των τενόντων, ή άλλων ανομοιογενών ιστών.

Για να κρατήσουμε το σύστημα πολύ απλό, ένας ελάχιστος αριθμός πληθυσμών είναι σεβαστός: νεοπλασματικά κύτταρα, υγιή κύτταρα, νεκρωμένοι ιστοί, και μεγάλα φαγοκύτταρα. Επίσης, η θρεπτική πυκνότητα είναι ορισμένη σε κάθε κόμβο του πλέγματος, για να μιμηθούμε τη ροή του αίματος μέσα στον ιστό. Στην παρούσα εργασία, ο καρκινικός πληθυσμός, υποτίθεται ότι είναι ομοιογενής. (π.χ. χωρίς γενετική διαφορετικότητα). Ωστόσο, είναι επίσης πιθανό να εισαγάγουμε διαφορετικούς νεοπλασματικούς πληθυσμούς, με μόνο μια αύξηση μέσα στον υπολογισμένο χρόνο, και επομένως ο απαιτούμενος χρόνος για τον υπολογισμό. Ομοίως, θρεπτικές διαφορετικότητες, κυτταρικές υπέρξεις σε σύστημα δημιουργίας αντισωμάτων και η δράση των θεραπευτικών φαρμάκων μπορούν να εισαχθούν σε ένα μοντέλο.

Το αγγείωμα προσομοιώνεται με ένα εγκατεστημένο δοχείο αίματος στο χείλος του αντιπροσωπευτικού δείγματος, στο οποίο υποτίθεται μια σταθερή και ομοιογενής ροή. Μια περισσότερο ρεαλιστική περιγραφή, περιλαμβάνει επίσης το χρόνο που απαιτείται για αλλαγές στη ροή του αίματος (πρέπει, για παράδειγμα, η αγγειοδιαστολή ή η αγγειοσυστολή, να περιλαμβάνεται από χημικά αίτια) ή από τον αριθμό των αγγείων (πρέπει, για παράδειγμα, η αγγειογένεση) είναι συγχρόνως σε πρόοδο για ειδικούς τύπους καρκίνου.

Οι κανόνες του παιχνιδιού, μπορούν επίσης να κρατούν το ελάχιστο, να αποφύγουν την υπερβολική πολυπλοκότητα και τη χρήση πάρα πολλών παραμέτρων, που πρέπει

να συνεισφέρουν ένα μοντέλο με μόνο μία παράμετρο – αρμόζουσα του προβλήματος. Επίσης, μόνο η ακολουθία των κανόνων, είναι σεβαστή.

Διατροφή – Θρέψη: Και τα νεοπλασματικά και τα υγιή κύτταρα απορροφούν θρεπτικά από το περιβάλλον, η υπάρχουσα σχέση είναι πολύ μεγαλύτερη για τα καρκινικά κύτταρα από τους φυσιολογικούς ιστούς.

Κατανάλωση: Τα απορροφούμενα θρεπτικά είναι εν μέρει υπερβολικά από τα κύτταρα για να κρατήσουν την πρόοδο στις μεταβολικές διαδικασίες και τα εν μέρει αποθέματα επιτρέπουν την πανομοιότυπη αναπαραγωγή του DNA.

Μίτωση και κυτταρικός θάνατος: Εάν τα αποθέματα θρεπτικών υπάρχουν σε μεγάλες ποσότητες, αρκετά για την κυτταρική πανομοιότυπη αναπαραγωγή, όπου τα κύτταρα πεθαίνουν λόγω έλλειψης τροφής εάν τα δεσμευμένα θρεπτικά πέσουν κάτω από μια δεδομένη τιμή.

Διάχυση και απόσταση: Σε μία ενδιάμεση βαθμίδα μεταξύ της μίτωσης και του κυτταρικού θανάτου (π.χ. πότε τα διαθέσιμα θρεπτικά συστατικά πέφτουν κάτω από ένα δοσμένο κατώφλι, μεγαλύτερο από αυτό που ονομάζουμε κυτταρικό θάνατο), κάποια νεοπλασματικά κύτταρα χωρίζονται από το κυτταρικό υπόστρωμα και είναι επιτρεπόμενο να διαχέονται μέσα στο αντιπροσωπευτικό δείγμα. Σε τέτοιες συνθήκες, τα κύτταρα έχουν πολύ χαμηλή πιθανότητα για επιβίωση, έτσι ώστε αυτά να πεθάνουν γρήγορα (απόσταση), κυρίως με αυξανόμενο νεκρωτικό όγκο. Εντούτοις κάποια από αυτά θα μπορούσαν να εκταθούν γρήγορα σε μία περιοχή ακλόνητη και συμπερασματικά δίνουν άνοδο σε ένα νέο όγκο – απόγονο σε ένα νέο κύτταρο του πλέγματος, τελειώνει με μερικά ασθενή στο αρχικό πρωτότυπο.

Νεκρωτική Επαναπορρόφηση: Η δράση των μεγάλων φαγοκυττάρων έχει εισαχθεί για να βοηθήσει τη μείωση του νεκρωτικού όγκου, από μέσα επαναπορρόφησης των νεκρωτικών κυττάρων και συμπερασματικά ανακοινώνεται από τα θρεπτικά αποθέματα μέσα σε νεκρωτικό ιστό.

Διάχυση Αίματος: Το αίμα διαχέεται άμεσα στους ιστούς ανάλογα με μια κλασσική διάχυση – αντίδραση – εξίσωση, κυρίως θρεπτικών και μεγάλων φαγοκυττάρων από το δοχείο αίματος σε εσωτερικές περιοχές της πλάκας. Κάποιοι κανόνες ανοίγουν την επίσημη εισαγωγή ενός συστήματος ζευγαρωμένων μη γραμμικών επαναληπτικών εξισώσεων, που μας επιτρέπουν να υπολογίσουμε τις συγκεντρώσεις όλων των πληθυσμών σε προγενέστερο χρόνο, όμοια και/ή μέσα στο κοντινότερο γειτονικό κομβικό σημείο. Για παράδειγμα, αναφέρουμε εδώ τον αλγόριθμο, κατάλληλο να περιγράψει τη μίτωση ή τον κυτταρικό θάνατο:

$$c(i,t+1) = c(i,t) * \{1-r \Theta[Q_D c(i,t) - q(i,t)] + r \Theta[q(i,t) - Q_M c(i,t)]\}$$

όπου $c(i,t)$ και $q(i,t)$ δηλώνουν τον όγκο και τις περιορισμένες θρεπτικές συγκεντρώσεις, μέσα στις διακεκριμένες κυτταρικές οντότητες, από το άνυσμα i σε χρόνο t , r είναι ένας τυχαίος αριθμός και Θ είναι η ιονισμένη λειτουργία. Ο δεύτερος και τρίτος όρος της δεξιάς πλευράς παριστάνει, αντίστοιχα, τις τροποποιήσεις που εισαγάγονται στον πληθυσμό των καρκινικών κυττάρων από το θάνατο (τα οποία λαμβάνουν χώρο κάθε φορά που τα περιορισμένα θρεπτικά ανά κύτταρο $q(i,t) / c(i,t)$ πέφτουν κάτω από το κατώφλι Q_D) και η μίτωση (τα περιορισμένα θρεπτικά ανά κύτταρο είναι ευρύτερα από το κατώφλι Q_M).

Πάντα το σύστημα και όλες οι παράμετροι είναι ορισμένες, ο αρχικός γόνος όγκου είναι εγκατεστημένος στο παράδειγμα (με αυθαίρετη αρχική εγκατάσταση) και

αναπτύσσεται επιτρέποντας την παρακολούθηση της χωρικής – χρονικής εξέλιξης του συστήματος. Η προτεινόμενη διατύπωση του προβλήματος είναι ιδιαίτερος κατάλληλη για παράλληλη επεξεργασία, επιτρέποντας γρήγορες και αξιόπιστες προσομοιώσεις της χωροχρονικής εξέλιξης του συστήματος. Παράλληλες αρχιτεκτονικές και υπολογιστικά συστήματα με ένα μεγάλο αριθμό υπολογιστών που δουλεύουν ταυτοχρόνως, εκτελώντας διαφορετικές διαιρέσεις της ίδιας δουλειάς με συνεπακόλουθο δραστική μείωση των υπολογιστικών χρόνων. Σε ειδικά προβλήματα συζητείται σε αυτή τη συνεισφορά, κάθε επεξεργαστής που μπορεί να λαμβάνει χώρα στην ανάλυση του ιστού, με ορθό περιοριστικό όρο, καθορίζοντας τις επικοινωνίες μεταξύ διαφορετικών υπολογιστών. Παράλληλη διαδικασία είναι θεμελιώδης για την εκτέλεση του ρόλου ευρείας – κλίμακας προσομοιώσεων (εξειδικευμένο για 5000 X 5000 πλέγμα σε δισδιάστατη κλίμακα 2-D) για να εξασφαλίσει επαρκή ανάλυση για σύγκριση με πραγματικά δεδομένα αποκτηθέντα με διαγνωστικές εικόνες (NMR ή TAC).

Αποτελέσματα

Το μοντέλο περιγράφεται στο προηγούμενο τμήμα επιτρέποντας τη μελέτη της συμπεριφοράς του νεοπλάσματος ως μία συνάρτηση τιμών από τις παραμέτρους που έχουν εισαχθεί στο μοντέλο. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε αυτό το τμήμα, αναφερόμενα σε ένα ομογενές ιστό (π.χ. χωρίς ανατομικούς περιορισμούς). Συμπερασματικά, μπορούν να συγκριθούν με εκτός σώματος δεδομένα ή κλινικές οντότητες σχετικές με την ανάπτυξη του όγκου σε μαλακούς ιστούς ή σε εγκεφαλικό παρέγχυμα. Αυτά τα νεοπλασματικά συστήματα χαρακτηρίζονται από μία συνηθισμένη σφαιροειδή διάπλαση με ένα ευρύ νεκρωτικό πυρήνα και διακεκριμένη μετάσταση.

Η προτεινόμενη προσέγγιση επιτρέπει μελέτη της χωροχρονικής εξέλιξης του συστήματος, όπου τα στιγμιότυπα του αμετάβλητου χρόνου μπορεί να εκφράσει την καλύτερη προσέγγιση οπτικοποίησης. Το γεγονός, φωτογραμμετρικά παίρνει σε κατάλληλους χρόνους, αναγνωρίζοντας τα βασικά χαρακτηριστικά της εξέλιξης του όγκου και να περιγράψει το πλήθος των παρεκκλίσεων σε ένα εγκάρσιο τμήμα του πραγματικού ιστού. Ωστόσο, αυτή η προσέγγιση επιτρέπει τον επακριβή έλεγχο, δια μέσου ευθύγραμμου σχεδίου, η ανάπτυξη του νεοπλάσματος και ο νεκρωτικός ιστός ως συνάρτηση του χρόνου, ως τμήμα των κυττάρων, που έχουν μεταναστεύσει μέσα στα δοχεία του αίματος, καθοδηγώντας την πιθανή μετάσταση.

Οι εικόνες αναφέρονται στην αναπαριστάνονται στιγμιότυπα του ιστού σε διαφορετικούς χρόνους (σε τρεις γραμμές) των ενεργητικών νεοπλαστικών κυττάρων (αριστερή στήλη), ο νεκρωτικός ιστός (κεντρική στήλη) και η διανομή θρεπτικών (δεξιά στήλη). Στην εικόνα 3, η δεύτερη στήλη είναι απών, επειδή όχι ο νεκρωτικός ιστός προηγείται. Σε όλα τα σχέδια, οι φωτεινότεροι τόνοι δηλώνουν περιοχή με υψηλότερη συγκέντρωση. Το ευθύγραμμο γράφημα πάνω στη βάση των εικόνων αναπαριστά τη χρονική εξέλιξη της νεοπλασματικής ανάπτυξης (σταθερή γραμμή), η νεκρωτική ποσότητα (εκτινασσόμενες γραμμές) και ο αριθμός των κυττάρων που μεταναστεύουν μέσα στα δοχεία αίματος (στικτές γραμμές). Σε κάθε εικόνα, ένας αρχικός όγκος φαίνεται να είναι εγκατεστημένος στο κέντρο του αντιπροσωπευτικού δείγματος. Το αγγειακό σύστημα είναι μιμούμενο από ένα χωριστό εγκατεστημένο δοχείο αίματος στην αριστερή άκρη του αντιπροσωπευτικού δείγματος που συντηρεί τα κατανεμημένα θρεπτικά μακριά από το αντιπροσωπευτικό δείγμα με δοσμένη αρχική κλίση (π.χ. με πυκνότητα ελλατούμενη όταν προάγεται από το κύτταρο.

Για να εξηγήσουμε τη δυνατότητα του μοντέλου να αναπαράγει πολύ διαφορετικές μορφολογικές εξελίξεις, τρία παραδείγματα δείχνουν ώριμα πώς το αποτέλεσμα της

εξέλιξης του νεοπλάσματος εξαρτάται ισχυρά από μερικές αρχικές παραμέτρους, όπως η διαθεσιμότητα θρεπτικών και ο ρυθμός των αρχέγονων θρεπτικών. Επίσης, όλα τα ώριμα παραδείγματα δείχνουν κάποια συνηθισμένα χαρακτηριστικά, τα οποία είναι είναι σε μεγάλη συμφωνία με τα κλινικά δεδομένα: (1). Ο νεκρωτικός πυρήνας, που παρουσιάζεται, είναι συχνά περικυκλωμένος από μία περιοχή με καρκινικά κύτταρα ισχυρά ενεργητικά. (2). Τα ευθύγραμμα γραφήματα δείχνουν την αρχική φάση, η ανάπτυξη του όγκου είναι σχετικά αργή (και σχεδόν σφαιρική). Έπειτα μία υπό λανθάνων βαθμίδα παρακολουθείται, η οποία απότομα ηγείται σε μία καταστροφική ανάπτυξη του όγκου, (βλέπουμε το σχέδιο της έντασης του όγκου σε σχέση με το χρόνο με τη στερεή γραμμή). Η εμφάνιση του νεκρωτικού πυρήνα είναι περιορισμένη σε αργότερες βαθμίδες. (3). Η περιοχή που έχει καταληφθεί από τον όγκο είναι γρήγορα μειούμενη θρεπτικών.

Στην εικόνα 1, παρουσιάζεται μία σχετικά υψηλή διαθεσιμότητα θρεπτικών, τόσο καλά όσο η απορρόφηση από τα καρκινικά κύτταρα. Επειδή από την κλίση των καταναμημένων θρεπτικών, η ανάπτυξη είναι σχεδόν ισοτροπική. Ένας πολύ μεγάλος νεκρωτικός πυρήνας προηγείται και τα ενεργά κύτταρα διανέμονται μόνο πάνω στην επιφάνεια του όγκου. Η γρήγορη απορρόφηση και κατανάλωση των θρεπτικών, οφείλεται στον υψηλό ρυθμό ανάπτυξης και κυτταρικού θανάτου, επειδή τα κύτταρα δείχνουν σε συμφωνία για τα θρεπτικά και συμπερασματικά η ροή αίματος δεν είναι αρκετή για να τα εξουδετερώσει. Επειδή ειδικά η γρήγορη αναστροφή, η υψηλή κυτταρική θνησιμότητα, ήδη παρακολουθείται, αρχίζοντας από το χρόνο $t = 240$, ενώ το αγγειακό σύστημα ήδη εκτείνεται στο χρόνο για $t = 500$. συμπερασματικά όχι πολλά θρεπτικά είναι διαθέσιμα μέσα στον ιστό και ο υψηλός ρυθμός θανάτου των καρκινικών κυττάρων είναι αναμενόμενος πριν την εμφάνιση της μετάστασης, που δεν είναι και πολύ πιθανό να συμβεί. Αντίθετα η θέση αποκτιέται όταν ο ρυθμός διάθεσης θρεπτικών είναι μειούμενος. (βλέπε εικόνα 2). Η αρχική εξέλιξη του όγκου είναι πολύ αργή και συχνά σφαιρική, επειδή τα κύτταρα βρίσκουν στην αρχική θέση μία υψηλή συγκέντρωση θρεπτικών και δε χρειάζεται να μεταναστεύσουν ψάχνοντας να βρουν «πράσινα βοσκοτόπια»! Η ανάπτυξη της νέκρωσης είναι επίσης πολύ αργή και η ποσότητα των μακροφάγων κρατά τον όγκο περιορισμένο.

Σε μεταγενέστερα χρονικά διηνεκή ($t > 300$), όπως συζητήθηκε προηγουμένως, η αναπτυσσόμενη μάζα του όγκου αποτελεί ένα επίπεδο της ροής θρεπτικών και η διάπλαση του όγκου γίνεται έντονα ασυμμετρική. Τα θρεπτικά δεν απλώνονται μακρύτερα από το κέντρο του αντιπροσωπευτικού δείγματος και ο νεκρωτικός ιστός αρχίζει να αναπτύσσεται. Στο χρόνο $t = 600$, η επιφάνεια του όγκου εκτείνεται σε μία περιοχή με τεράστια συγκέντρωση θρεπτικών και μία εκρηκτική ανάπτυξη λαμβάνει χώρα. Ωστόσο, παρατηρείται μία μικρή διείδυση του νεοπλάσματος και η πιθανότητα της μεταστατικότητας μερικών, ένας όγκος μπορεί να ωριμάσει σχετικά κρίσιμα, κάτι που οφείλεται στη μικρή περιοχή του επιτηδευμένου ιστού από την ασθένεια, όταν τα κύτταρα αρχίζουν να μεταναστεύουν μέσα στα αγγεία του αίματος.

Τελικά στην εικόνα 3, κρατάμε όμοια τη σχέση των θρεπτικών όπως στην εικόνα 1, αλλά μειώνουμε τη διαθεσιμότητα, μία εικόνα του όγκου παρατίθεται. Η καρκινική ένταση αυξάνεται πολύ αργά, αλλά απλώνεται πολύ γρήγορα ($t = 200$), μία σχεδόν ασταθής κατάσταση στη ροή των θρεπτικών, αντισταθμίζει την κατανάλωση. Μικρή αναδιανομή τόσο της πρησμένης με όγκο μάζας, όσο και της συγκέντρωσης των θρεπτικών, προηγείται μέχρι το χρόνο $t = 2000$, αλλά η γενική άποψη του νεοπλάσματος δεν επηρεάζεται από όλα. Μερικές λανθάνουσες καταστάσεις μπορεί να παραμένουν σταθερές για πολύ μεγάλο χρόνο και ύστερα, αιφνίδια-απότομα αυξάνονται έτσι & αλλιώς σε μία εκρηκτική φάση αύξησης ή εξαφανίζεται το νεόπλασμα. Επίσης αυτό δείχνει πώς η εφαρμογή κατάλληλων «μαθηματικών»

φαρμάκων μπορεί να ενδείξει μία γρήγορη αύξηση του όγκου σε ένα στάδιο υπό λανθάνουσα κατάσταση.

Συμπεράσματα

Η επιδίωξη αυτής της εργασίας είναι να αναπτυχθεί ένα μαθηματικό μοντέλο βασισμένο σε βασικούς θεμελιώδεις μηχανισμούς που περιγράφουν την κυτταρική δυναμική. Σε αυτό το προκαταρκτικό στάδιο, το μοντέλο έχει πάρει το ελάχιστο επίπεδο πολυπλοκότητας, για να αποφευχθούν υπερβολικά δύσκολοι υπολογισμοί, που δεν αφήνουν να εκτιμηθεί το αποτέλεσμα από τη χρήση διαφορετικών παραμέτρων. Επομένως η παρούσα διατύπωση περιορίζεται στη μελέτη ενός ελάχιστου αριθμού πληθυσμών (καρκινικών κυττάρων, νεκρωτικών κυττάρων, υγείων κυττάρων και μακροφάγων) συμπληρούμενη από τα απλά θρεπτικά, παρουσιαζόμενο από ένα πολύ σχηματικό αγγειακό σύστημα. Επίσης, πολλοί βιολογικοί μηχανισμοί έχουν συνεισφέρει: απορρόφηση και κατανάλωση θρεπτικών, κυτταρική διάχυση, μίτωση, επαναπορρόφηση νέκρωσης από τους μακροφάγους. Το μοντέλο μας επιτρέπει επίσης να περιγράψουμε την απαντώμενη μετάσταση.

Παρά τις έντονες αξιώσεις που εισαγάγονται, το μοντέλο δείχνει καλή ποιοτική συμφωνία με κλινικά δεδομένα, που μπορεί ακόμη να βελτιωθεί όταν ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα νεοπλασματος μελετάται και το περιγραφόμενο αγγειακό σύστημα μπορεί να βελτιωθεί. Προβλέπεται οι τιμές των παραμέτρων να είναι αυστηρά μέσα σε μία λογική διακύμανση, το μοντέλο γίνεται πολύ ευαίσθητο σε μικρές μεταβολές των εξωτερικών καταστάσεων, κάτι που φαίνεται να συμβαίνει στην πλειονότητα των βιολογικών συστημάτων. Ειδικά, μία μεγάλη ποικιλία μορφολογιών, ρυθμών αύξησης, εξέλιξης ασθενειών (θάνατος ασθενικών, μετάσταση και λανθάνουσες καταστάσεις) μπορούν εύκολα να περιγραφούν από διαφορετικές, μία ή πολλές παραμέτρους. Από την ανάλυση, κρίσιμο για την πρόβλεψη της έκβασης της ανάπτυξης του όγκου, μοιάζει να είναι ανάλογα ανάμεσα στη διαθεσιμότητα θρεπτικών και στην απορρόφηση θρεπτικών.

Επιπλέον, το μοντέλο μπορεί εύκολα να βελτιωθεί με την εισαγωγή ενός μεγαλύτερου αριθμού διαφορετικών πληθυσμών και διαφορετικών μηχανισμών, όπως είναι η αγγειογένεση. Συχνά ωστόσο σε αυτό το άρθρο έχουμε περιορισμένη μεταχείριση της αύξησης του όγκου σε ελαφρώς ομογενείς ιστούς, το μοντέλο υπόσχεται να μας αφήσει επίσης να περιγράψουμε ανατομικούς περιορισμούς για την περιγραφή των εγκατεστημένων όγκων σε ειδικές ανατομικές θέσεις.

Τελικά, μέσα σε μια μακράς διάρκειας στρατηγική, το προτεινόμενο μοντέλο, η αξιοπιστία του είναι αποδεδειγμένη από μία ποσοτική σύγκριση με κλινικά και/ή εκτός σώματος δεδομένα, που μπορούν να γίνουν ένα χρήσιμο εργαλείο τόσο για τη διάγνωση, όσο και για τη θεραπεία. Στην πραγματικότητα, μία μαθηματική προσέγγιση μπορεί να εξασφαλίσει θεραπείες με μία μεγάλη ποσότητα δυναμικών πληροφοριών, οι οποίες είναι συνήθως όχι διαθέσιμες από την απεικόνιση σάρωσης του ειδώλου, αμφότερα με το παρελθόν και τη μέλουσα ιστορία του νεοπλασματος. Έτσι μια προσέγγιση μπορεί να μας επιτρέψει την αναγνώριση των βασικών θεμελιωδών μεθόδων της χρονικής εξέλιξης των νεοπλαστικών συστημάτων. Επίσης, τοπικοί μηχανισμοί μπορούν να εισαχθούν για να μιμηθούν τη δράση των φαρμάκων και/ή ραδιολογικών αποτελεσμάτων, επιτρέποντάς μας να παρουσιάσουμε υπολογιστικά τεστ, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν συμπληρωματικά στα συνηθισμένα εντός οργανισμού τεστ. Ειδικά μία προσέγγιση μπορεί να αποδειχθεί εξαιρετικά χρήσιμη, ειδικά για αισιόδοξους σκοπούς.

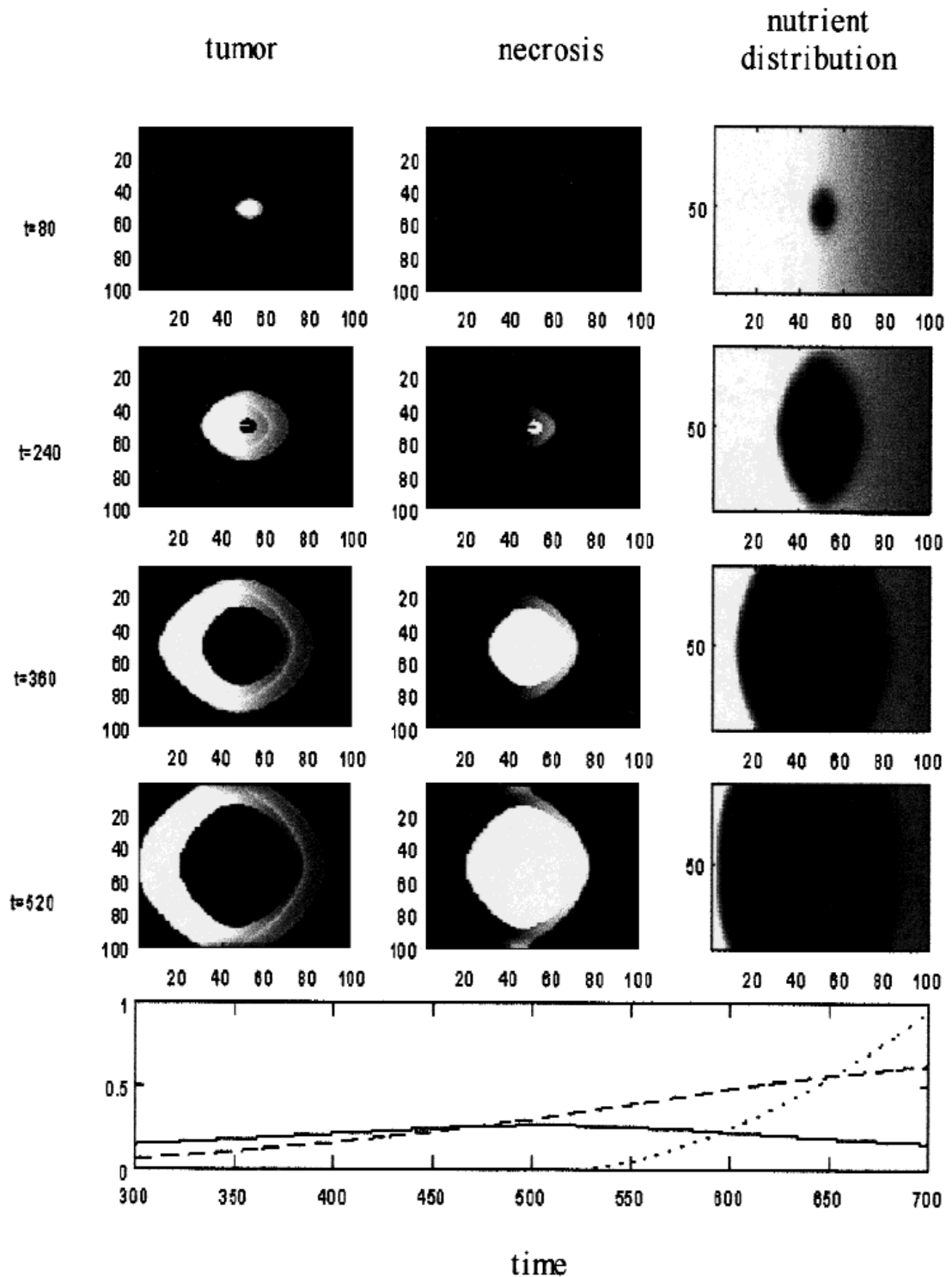


Fig. 1. Snapshots of the tumor evolution in a slab of tissue at different times (in the three rows) in the case of high availability of nutrient and high affinity. Cancerous cell distribution (left column), necrotic cells distribution (central column) and nutrient distribution (right column). Lighter tones denote higher concentrations. The linear plot shows the evolution of the volume of cancer (solid line), necrotic (dotted line) and metastasised (dashed line) cells vs. time.

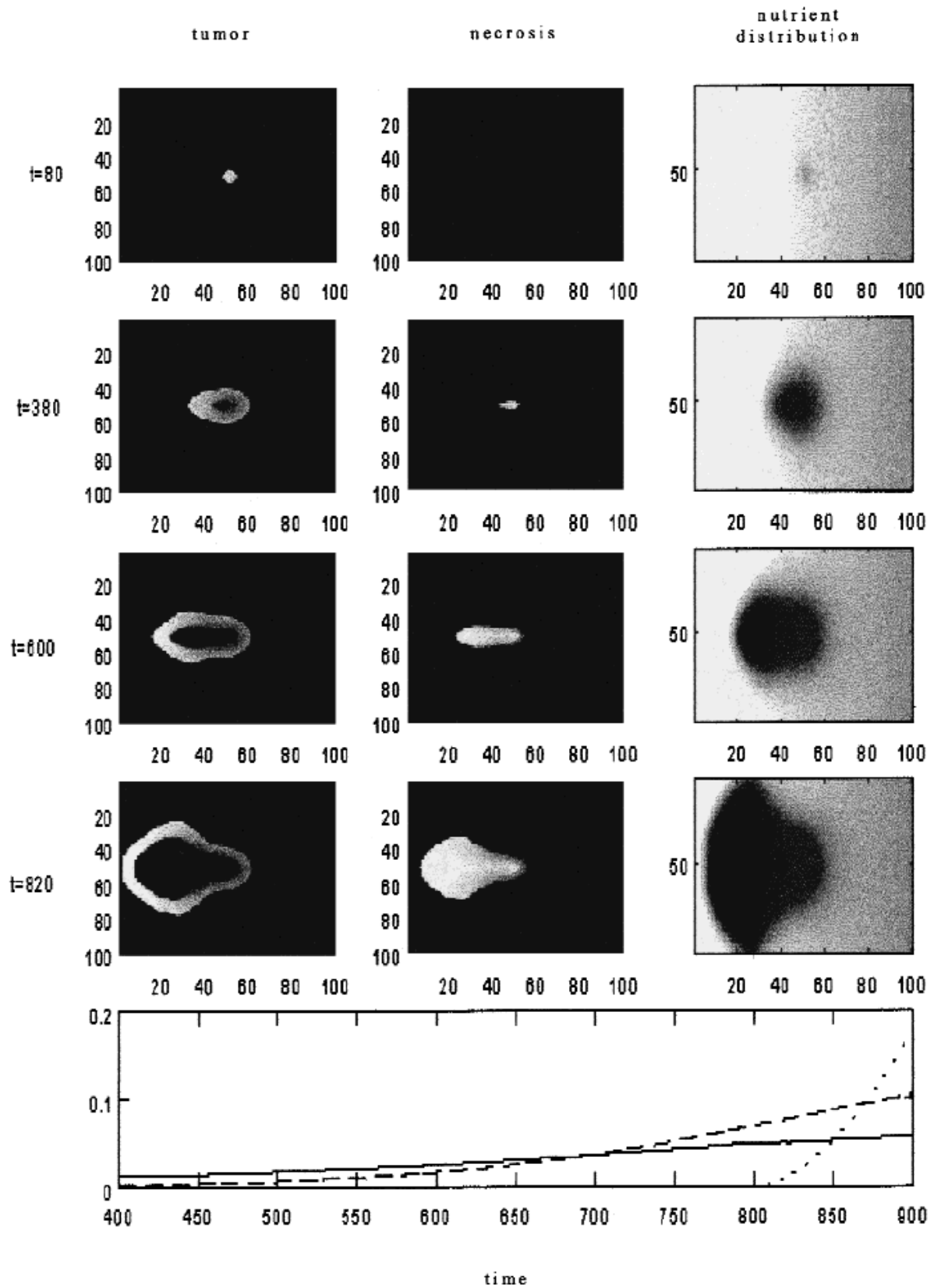


Fig. 2. Same as Fig. 1, but with a smaller affinity for the nutrient.

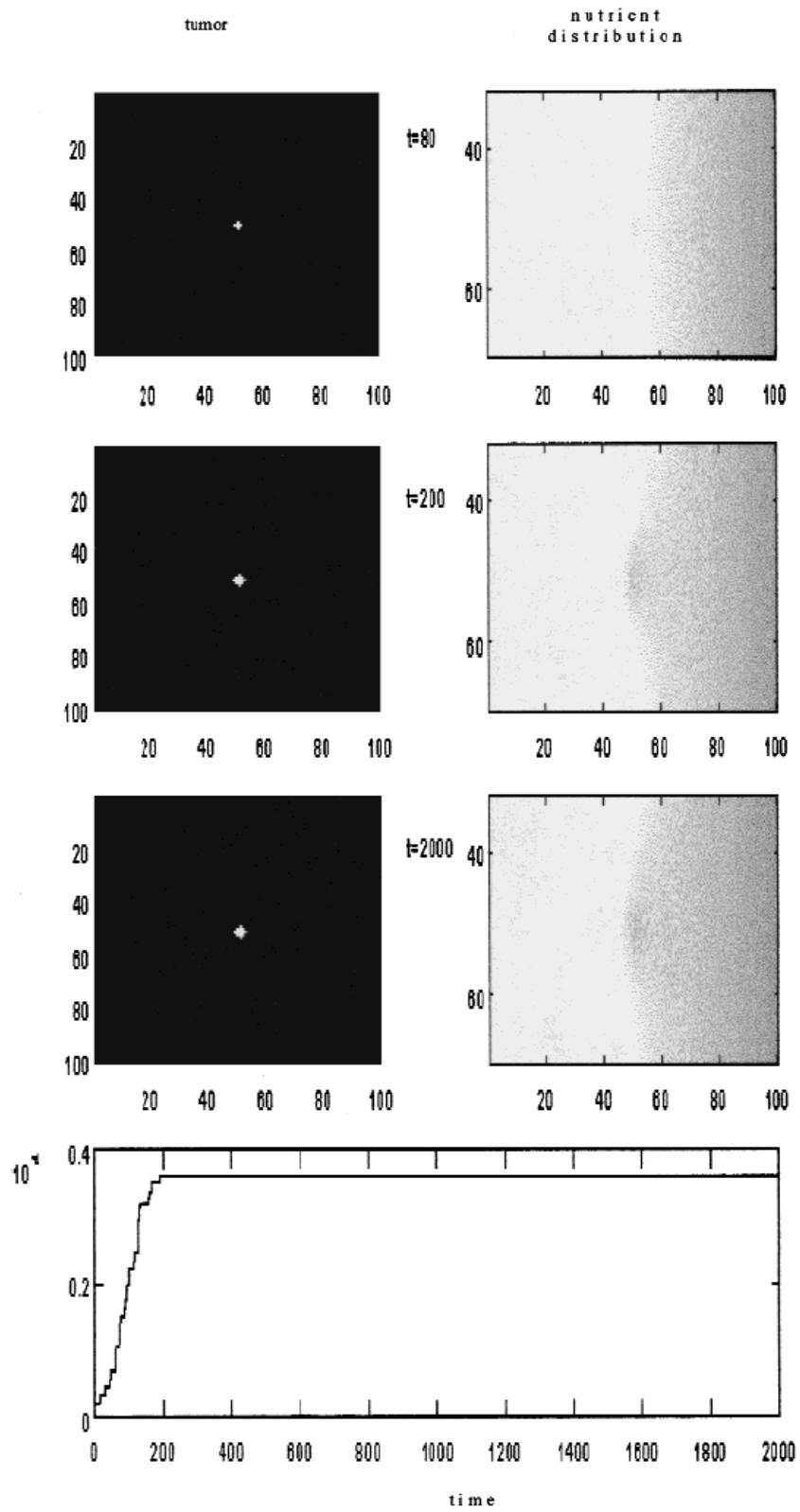


Fig. 3. Same as Fig. 1, but with a smaller availability of nutrient. The column corresponding to the necrotic cells is not reported because no necrotic core is formed.

Κεφάλαιο 5: Καρκίνος

Ο καρκίνος δεν είναι μια καινούρια αρρώστια. Από την προϊστορική περίοδο ήδη έχουν εντοπιστεί περιπτώσεις καρκίνου τόσο σε απολιθωμένα οστά ανθρώπων εκείνης της περιόδου όσο και σε οστά δεινοσαύρων. Ο καρκίνος δίνει την εντύπωση ότι είναι περισσότερο διαδεδομένος σήμερα επειδή απλώς ολοένα και περισσότεροι άνθρωποι φτάνουν σε μια τέτοια ηλικία που υπάρχουν μεγαλύτερες πιθανότητες να εκδηλωθεί.

Τι είναι τα καρκινικά κύτταρα;

Παρόλο που τα καρκινικά κύτταρα προέρχονται από φυσιολογικά κύτταρα, έχουν κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που τα διαφοροποιούν από αυτά. Για το λόγο αυτόν λέμε ότι τα καρκινικά κύτταρα έχουν υποστεί αλλαγές. Οι αλλαγές αυτές διαπιστώθηκε ότι περνούν από ένα καρκινικό κύτταρο στους απογόνους του όταν διαιρείται, γεγονός που υποδεικνύει ότι πρόκειται για αλλαγές στο γενετικό υλικό των κυττάρων.

Χαρακτηριστικά των καρκινικών κυττάρων

1. Τα καρκινικά κύτταρα δεν είναι διαφοροποιημένα. Τα καρκινικά κύτταρα δεν είναι εξειδικευμένα και έτσι δεν μπορούν να συμβάλλουν στη φυσιολογική λειτουργία ενός οργάνου του σώματος. Έτσι μια ιστολογική μελέτη μπορεί να προσδιορίσει ένα καρκινικό κύτταρο επειδή αυτό διαφέρει από οποιοδήποτε φυσιολογικό διαφοροποιημένο κύτταρο του επιθηλιακού, του ερειστικού, του μυϊκού ή του νευρικού ιστού.

2. Τα καρκινικά κύτταρα εμφανίζουν ανεξέλεγκτη αύξηση. Τα καρκινικά κύτταρα μπορούν να κάνουν επαναλαμβανόμενους κυτταρικούς κύκλους, κάτι που οδηγεί σε ανοργάνωτη αύξηση, η οποία δεν ελέγχεται από τους μηχανισμούς που φυσιολογικά την περιορίζουν. Η ιδιότητα αυτή των καρκινικών κυττάρων μπορεί εύκολα να παρατηρηθεί σε καλλιέργειες ιστών. Τα φυσιολογικά κύτταρα αναπτύσσονται μόνο ως προς ένα επίπεδο και σταματούν να αυξάνονται όταν φτάσουν στα τοιχώματα του δοχείου που τα περιέχει. Πιστεύουμε ότι όταν ένα κύτταρο έρχεται σε επαφή είτε με άλλα κύτταρα είτε με τα τοιχώματα του δοχείου, σταματάει πλέον να διαιρείται. Τα καρκινικά κύτταρα όμως δεν σταματούν και συνεχίζουν να διαιρούνται προκαλώντας μια αύξηση σε πολλά επίπεδα.

Μέσα στο σώμα μια τέτοιου είδους αποδιοργανωμένη αύξηση δημιουργεί ένα νεόπλασμα το οποίο προσβάλλει και καταστρέφει τους γειτονικούς ιστούς. Για να εξασφαλίσουν και να εντείνουν την αύξηση τους τα καρκινικά κύτταρα, απελευθερώνουν έναν αυξητικό παράγοντα που προκαλεί τη διακλάδωση των αρτηριών στον καρκινικό ιστό. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται αγγείωση.

Τα καρκινικά κύτταρα και η μετάσταση

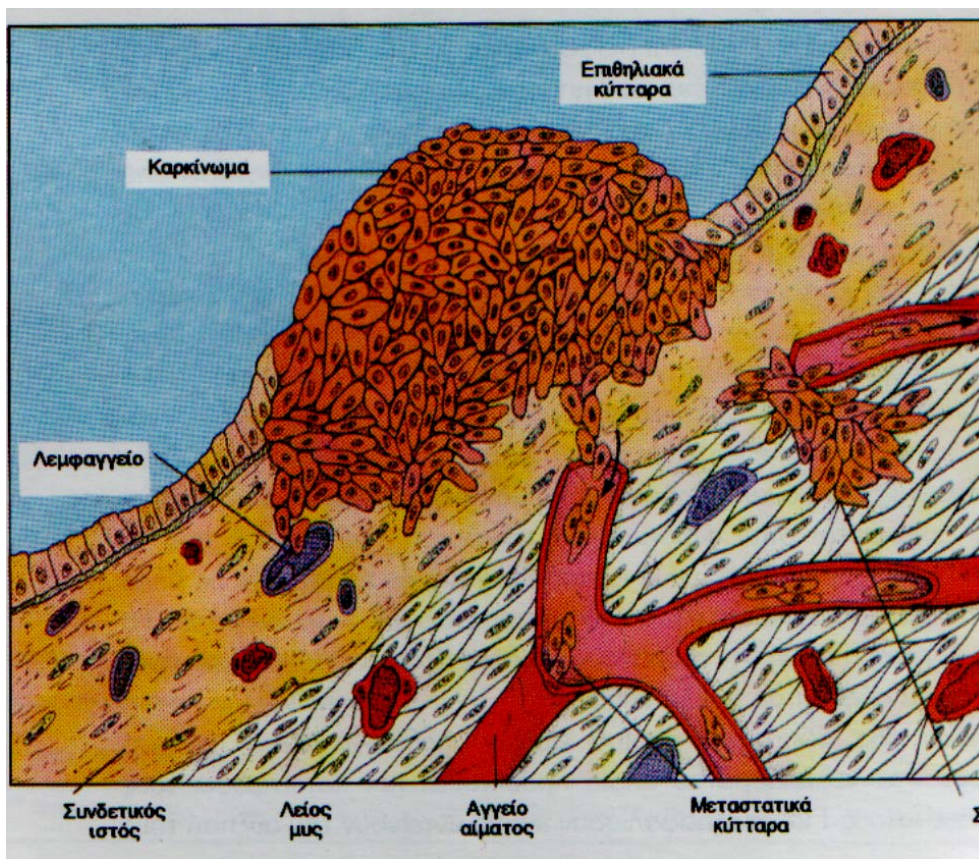
Τα καρκινικά κύτταρα αποσπώνται από το αρχικό νεόπλασμα και διαδίδονται στο σώμα με μια διαδικασία η οποία ονομάζεται μετάσταση. Τα καρκινικά κύτταρα, για να μπορέσουν να διαπεράσουν μεμβράνες και να εισβάλουν σε κάποιο λεμφαγγείο ή γενικότερα στην κυκλοφορία του αίματος, παράγουν πρωτεολυτικά ένζυμα. Όταν τελικά περάσουν στην κυκλοφορία του αίματος, μπορούν να μεταφερθούν σε διάφορες περιοχές του σώματος όπου θα ξεκινήσουν καινούρια νεοπλάσματα.

Καλοήθη νεοπλάσματα χαρακτηρίζονται εκείνα τα οποία περιορίζονται σε μια περιοχή του σώματος, ενώ αντίθετα κακοήθη είναι εκείνα τα οποία δίνουν μεταστάσεις.

Εάν ένα νεόπλασμα εντοπιστεί πριν συμβεί οποιαδήποτε μετάσταση αυξάνονται εντυπωσιακά οι πιθανότητες θεραπείας. Αυτός άλλωστε είναι και ο λόγος για την προσπάθεια έγκαιρης διάγνωσης του καρκίνου.

Τα καρκινικά κύτταρα συχνά εμφανίζουν ορατές αλλαγές στο γενετικό υλικό τους

Μεγάλες χρωμοσωμικές ανωμαλίες όπως ελλείψεις, μετατοπίσεις μεταστροφές, διπλασιασμοί είναι συχνά ορατές στα καρκινικά κύτταρα αν αυτά εξεταστούν κάτω από κατάλληλο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Τέτοιες χρωμοσωμικές μεταλλάξεις κληροδοτούνται σε όλα τα θυγατρικά κύτταρα



Εικόνα: Τα καρκινικά κύτταρα στο σώμα δημιουργούν μια αποδιοργανωμένη μάζα κυττάρων, προϊόν ανεξέλεγκτης ανάπτυξης. Καθώς ο καρκίνος επεκτείνεται, προσβάλλει υποκείμενους ιστούς. Μερικά από τα καρκινικά κύτταρα εγκαταλείπουν την αρχική περιοχή εκδήλωσης του καρκίνου και κινούνται διαμέσου διαφόρων ιστών στην κυκλοφορία του αίματος ή της λέμφου. Ταξιδεύοντας μέσα από αγγεία, τα κύτταρα αυτά μπορεί να ξεκινήσουν νέους καρκίνους σε διάφορα άλλα σημεία του σώματος. Το καρκίνωμα είναι ένας καρκίνος που ξεκινάει σε κάποιο επιθηλιακό ιστό, ενώ το σάρκωμα είναι μια μορφή καρκίνου που ξεκινάει σε συνδετικό ιστό.

Η ανάπτυξη του καρκίνου – καρκινογένεση

Η καρκινογένεση δεν είναι ένα απλό γεγονός, αλλά περιλαμβάνει διάφορα στάδια. Το πρώτο συχνά ονομάζεται έναρξη και ακολουθείται από μια διαδικασία καρκινικής προώθησης.

Έναρξη της καρκινογένεσης

Σήμερα είναι πλέον ξεκάθαρο ότι η έναρξη της καρκινογένεσης προϋποθέτει κάποια μετάλλαξη σε ένα φυσιολογικό γονίδιο το οποίο ρυθμίζει την κυτταρική ανάπτυξη. Η μετάταξη αυτή μετατρέπει το γονίδιο ογκογόνο γονίδιο που προκαλεί καρκίνο. Κάθε γονίδιο που μπορεί με μετάλλαξη να μετατραπεί σε καρκινικό γονίδιο ονομάζεται πρώτο-ογκογονίδιο, και το DNA κάθε κυττάρου περιέχει πολλά τέτοια γονίδια.

Ένα ογκογονίδιο αποδιοργανώνει σε αξιοσημείωτο βαθμό τη φυσιολογική διαδικασία αύξησης και αντιγραφής του DNA. Η μετάλλαξη μπορεί να συμβεί σε ένα γονίδιο που ελέγχει κάποιο από τα διάφορα καθοριστικά στάδια της κυτταρικής ανάπτυξης.

Είναι γνωστό, λόγου χάρη, ότι οι κυτταρικές μεμβράνες περιέχουν μόρια υποδοχείς εξειδικευμένων αυξητικών παραγόντων, προκαλώντας με τον τρόπο αυτό μια σειρά από αλυσιδωτές αντιδράσεις στο κυτταρόπλασμα, τα προϊόντα των οποίων αλληλεπιδρούν με το DNA του πυρήνα ενεργοποιώντας ή αναστέλλοντας συγκεκριμένα γονίδια.

Μια μετάλλαξη σε οποιοδήποτε από τα γονίδια που κωδικοποιούν τη σύνθεση των μορίων υποδοχέων ή των αυξητικών παραγόντων ή ακόμη των πρωτεϊνών του κυτταροπλάσματος, μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα την πλήρη αποδιοργάνωση της σύνθεσης του DNA και της γονιδιακής έκφρασης, με τελικό αποτέλεσμα την απώλεια ελέγχου στην αύξηση και την ανάπτυξη του κυττάρου.

Η κυτταρική αύξηση δεν ελέγχεται μόνον από την ενεργοποίηση γονιδίων στον πυρήνα. Μερικές φορές τα γονίδια αναστέλλονται στα φυσιολογικά κύτταρα από την παρουσία προϊόντων προερχόμενων από γονίδια που έχουν ανασταλτικό ρυθμιστικό χαρακτήρα. Ορισμένοι καρκίνοι όπως το ρετινοβλάστωμα (μια μορφή καρκίνου που εμφανίζεται στο μάτι κατά την παιδική ηλικία) αποδείχτηκε ότι προκαλούνται από μεταλλάξεις τέτοιων γονιδίων νεοπλασματικών αναστολέων. Άτομα που είναι ομόζυγα γι' αυτήν την κατάσταση στερούνται λειτουργικών πρωτεϊνών, οι οποίες φυσιολογικά σταματούν την αύξηση, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται ανεξέλεγκτες κυτταρικές διαιρέσεις.

Ένα γονίδιο – νεοπλασματικός αναστολέας που ονομάζεται p53 αποδείχτηκε πρόσφατα ότι ευθύνεται για το σύνδρομο Li-Fraumeni, το οποίο χαρακτηρίζεται από ένα υψηλό ποσοστό θανατηφόρων καρκίνων μεταξύ των μελών μιας οικογένειας.

Ακόμα κι αν ένα άτομο κληρονομήσει ένα φυσιολογικό αλληλόμορφο, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα ανάπτυξης καρκίνου στην ηλικία των 30 περίπου ετών, η οποία οφείλεται στην υψηλή πιθανότητα μετάλλαξης του φυσιολογικού αυτού αλληλόμορφου.

Η μελέτη της επιδημιολογίας διαφόρων τύπων καρκίνου στην Ελλάδα δείχνει πως οι συνηθέστερες μορφές του διαφέρουν σημαντικά ως προς τη συχνότητα εμφάνισης τους μεταξύ ανδρών και γυναικών (πίνακας). Έτσι είναι γνωστό ότι ο καρκίνος του μαστού εμφανίζεται στις γυναίκες, ο καρκίνος του προστάτη στους άντρες, ενώ το μελάνωμα, ο καρκίνος δηλαδή του δέρματος, όπως και εκείνος του ήπατος και στα δύο φύλα.

Οι παρατηρήσεις αυτές εξηγούνται με την ύπαρξη των ογκογονιδίων: τα μεταλλαγμένα γονίδια μέσω των γαμετών περνούν από τη μια γενιά στην επόμενη, και ενδέχεται κάποια από αυτά να είναι ογκογονίδια. Η κληρονόμηση, βέβαια, του καρκίνου δεν είναι τόσο απλή διαδικασία όσο η κληρονόμηση ενός ογκογονιδίου. Ο καρκίνος δεν θα αναπτυχθεί σε κάποιον απόγονο αν δεν συμβούν πολλές μεταλλάξεις σε ογκογονίδια ή κατασταλτικά γονίδια.

Καρκινογόνοι παράγοντες

Ένας καρκινογόνος παράγοντας είναι ένας παράγοντας του περιβάλλοντος που μπορεί να προκαλέσει ή να δημιουργήσει καρκίνο. Οι καρκινογόνοι παράγοντες είναι ταυτόχρονα και μεταλλαξογόνοι παράγοντες.

1. **Χημικοί καρκινογόνοι παράγοντες** μπορούν να προκαλέσουν μεταλλάξεις οι οποίες με τη σειρά τους μπορεί να οδηγήσουν στην ανάπτυξη ορισμένων μορφών καρκίνου. Ο καπνός του τσιγάρου, ορισμένα χημικά πρόσθετα των τροφίμων, βιομηχανικοί ρυπαντές της ατμόσφαιρας και οι ίνες του αμιάντου, είναι μερικοί από τους κοινότερους χημικούς καρκινογόνους παράγοντες. Τα εντομοκτόνα και τα παρασιτοκτόνα που χρησιμοποιούνται στις καλλιέργειες, είναι επίσης επικίνδυνα στην υγεία μας γιατί περιέχουν οργανικές χημικές ουσίες που προκαλούν καρκίνο.
2. **Η ακτινοβολία** αποτελεί καρκινογόνο παράγοντα. Η ακτινοβολία μπορεί να είναι φυσική όπως η υπεριώδης ακτινοβολία του ήλιου και η ραδιενεργός ακτινοβολία του αερίου Ραδονίου (το οποίο βρίσκεται σε μεγάλες συγκεντρώσεις στα οικοδομικά υλικά πολλών σπιτιών). Μπορεί όμως να έχουμε τεχνητή ακτινοβολία, όπως λόγω χάρη οι εκπομπές ραδιενέργειας από πυρηνικά εργοστάσια ή βόμβες ή, τέλος, από διαγνωστικές ιατρικές μεθόδους (ακτίνες X). Μεγάλη έκθεση σε οποιοδήποτε τύπο ακτινοβολίας, αυξάνει τον κίνδυνο μεταλλάξεων στα πρωτοογκογόνα κύτταρα. Η υπερβολική, λόγω χάρη, ηλιοθεραπεία ή η αντίστοιχα παρατεταμένη έκθεση σε υπεριώδεις λάμπες μαυρίσματος, αυξάνει την πιθανότητα εκδήλωσης καρκίνου του δέρματος.
3. **Οι ιοί μπορεί να είναι φορείς ογκογονιδίων** και να τα μεταφέρουν από κύτταρο σε κύτταρο, ή από οργανισμό σε οργανισμό. Τόσο οι DNA όσο και οι RNA ιοί μπορούν να αποσπάσουν και να ενσωματώσουν γονίδια όταν εισβάλλουν σε κύτταρα ανθρώπου.

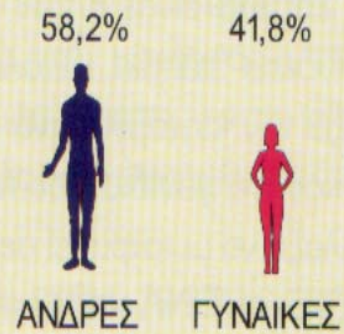
Αν τέτοια γονίδια μεταλλαγούν και δημιουργηθούν ογκογονίδια, τα κύτταρα που προσβλήθηκαν από τον ιό μπορεί να παραγάγουν το πρωτεϊνικό προϊόν του ογκογονιδίου και να μεταπέσουν σε καρκινικά (εικόνα).

ΠΙΝΑΚΑΣ 5-3 Ο ΚΑΡΚΙΝΟΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ (Στοιχεία για την περίοδο 1980-92)

ΑΙΤΙΕΣ ΘΑΝΑΤΟΥ

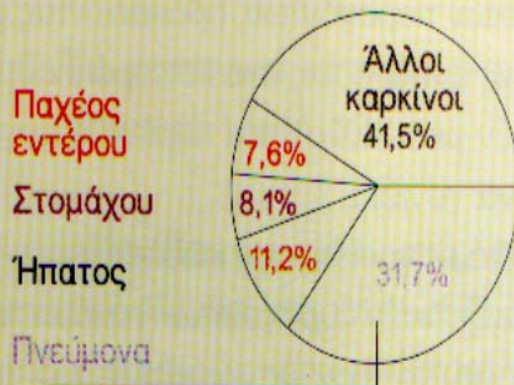


ΣΕ ΑΝΔΡΕΣ ΚΑΙ ΓΥΝΑΙΚΕΣ

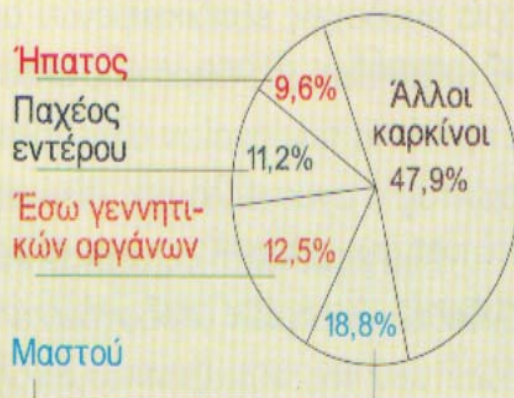


ΟΙ ΣΥΝΗΘΕΣΤΕΡΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΚΑΡΚΙΝΟΥ

Σε άνδρες

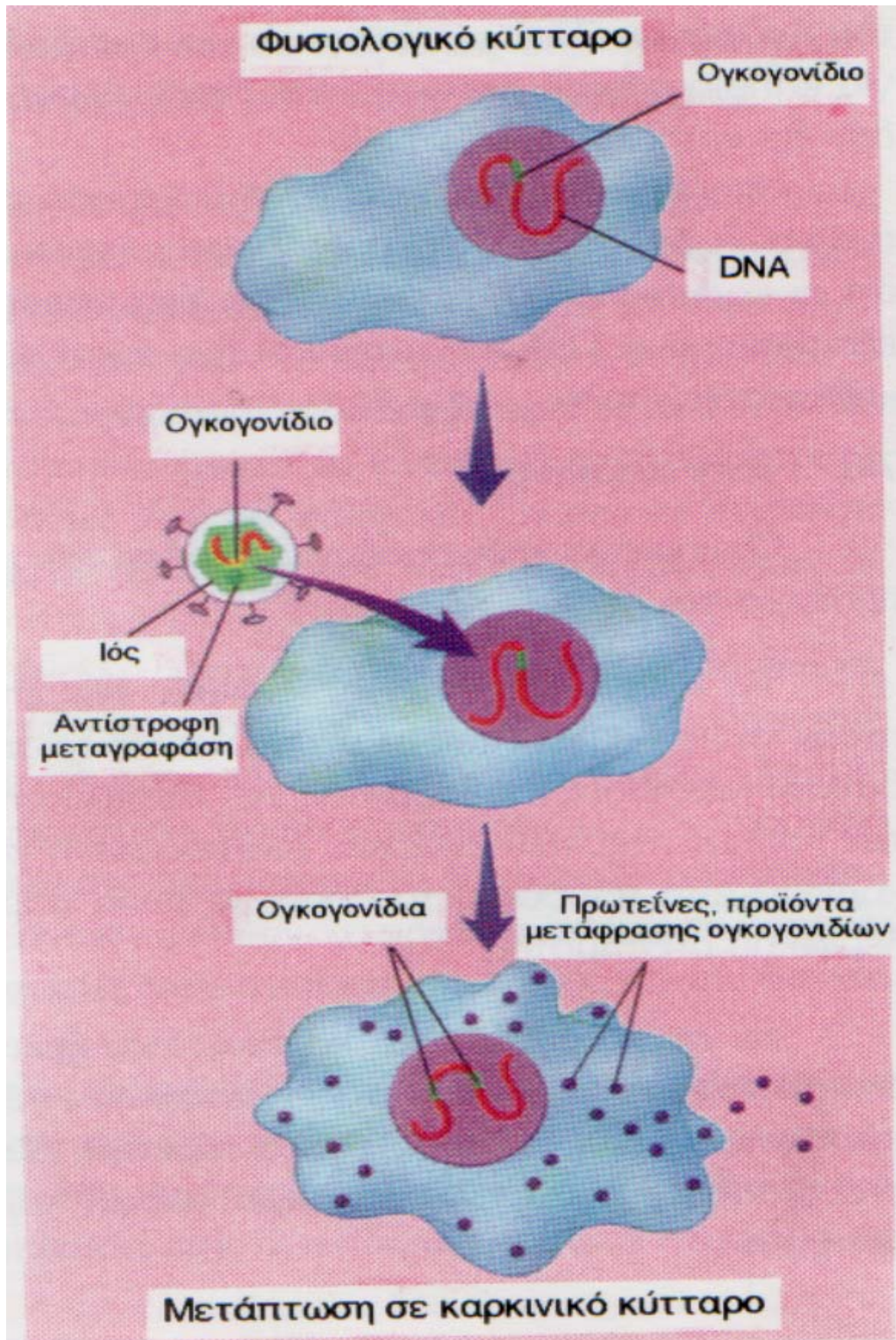


Σε γυναίκες



Μεταξύ των DNA ιών που ενέχονται στην ανάπτυξη καρκίνων στον άνθρωπο περιλαμβάνονται: ο ιός της ηπατίτιδας Β στον καρκίνο του συκωτιού, ο ιός Epstein-Barr στα λεμφώματα και στον καρκίνο του ρινοφάρυγγα

Οι ρετροϊοί ενσωματώνουν το ογκογονίδιο στο DNA του ξενιστή. Ο ρετροϊός HTLV (Human T-cell leukemia virus) αποδείχτηκε πρόσφατα ότι προκαλεί λευχαιμία στους ενήλικες.



Υποκίνηση της καρκινογένεσης

Ένας καρκινικός υποκινητής προκαλεί την έναρξη ανεξέλεγκτης δράσης σε κάποιο κύτταρο. Μπορεί να μεσολαβήσει μεγάλο χρονικό διάστημα μεταξύ της εισαγωγής του καρκινικού υποκινητή στο κύτταρο και της εκδήλωσης αυτής καθεαυτής της υποκίνησης. Αυτό συμβαίνει είτε γιατί η εκδήλωση της υποκίνησης απαιτεί τη δημιουργία επιπρόσθετων, λόγου χάρη, αλλαγών στο DNA του κυττάρου από άλλους καρκινογόνους παράγοντες είτε γιατί πρέπει πρώτα να δημιουργηθεί ένα κατάλληλο περιβάλλον για την εκδήλωση της διαδικασίας υποκίνησης. Είναι σήμερα διαπιστωμένο ότι η συνεχής διατροφή με μεγάλες ποσότητες κορεσμένων λιπών και χοληστερίνης σχετίζεται άμεσα με την εκδήλωση του καρκίνου.

Άμυνα απέναντι στον καρκίνο

Στα καρκινικά κύτταρα γίνονται αλλαγές στα αντιγόνα της επιφάνειας της κυτταρικής μεμβράνης τους, γεγονός που προκαλεί και την εκδήλωση επίθεσης σε αυτά από τα Τ-λεμφοκύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος του ανθρώπου. Έτσι αποφεύγεται και η εκδήλωση του καρκίνου. Αν όμως για κάποιο λόγο η ανοσοποίηση δεν ενεργοποιηθεί, τα καρκινικά κύτταρα δεν θα καταστραφούν.

Δεν έχει ξεκαθαριστεί αν η υστέρηση στην ανοσοποίηση οφείλεται στην αυξημένη ικανότητα αυτοπροστασίας των καρκινικών κυττάρων ή στο ότι οι καρκινοπαθείς έχουν γενικά ένα ανοσοποιητικό σύστημα ιδιαίτερα εξασθενημένο. Πιθανότατα και οι δύο αυτοί παράγοντες πρέπει να παίζουν καθοριστικό ρόλο.

Τύποι καρκίνου

Οι καρκίνοι ταξινομούνται με βάση τον τύπο του ιστού από τον οποίο προέρχονται.

Τα καρκινώματα είναι καρκίνοι των επιθηλιακών ιστών που καλύπτουν την επιφάνεια του σώματος και τις εσωτερικές κοιλότητες. Περιλαμβάνουν καρκίνους του δέρματος, των πνευμόνων, του στήθους, του συκωτιού, του παγκρέατος, των εντέρων, του προστάτη και του θυρεοειδή αδένου. Τα καρκινώματα κάνουν μετάσταση σε άλλα σημεία του σώματος μέσω του λεμφικού συστήματος.

Τα σαρκώματα είναι καρκίνοι που ξεκινούν σε συνδετικούς ιστούς όπως στους μύες και στα οστά. Η μετάσταση των σαρκωμάτων γίνεται μέσω του κυκλοφορικού συστήματος. Το σάρκωμα **Kaposi** που εντοπίζεται συχνά στους ασθενείς με AIDS είναι μια μορφή καρκίνου του ενδοθηλίου των αρτηριών.

Οι λευχαιμίες είναι καρκίνοι του αίματος.

Τα λεμφώματα είναι νεοπλάσματα του λεμφικού ιστού.

Διάγνωση, θεραπεία και πρόληψη

Οι κίνδυνοι ανάπτυξης καρκίνου μπορούν να μειωθούν αν υιοθετήσουμε μια συγκεκριμένη συμπεριφορά, η οποία συνίσταται στην ελαχιστοποίηση της έκθεσής μας σε μεταλλαξογόνους παράγοντες. Όταν δεν καπνίζουμε, ελαττώνεται η πιθανότητα να αναπτυχθεί καρκίνος των πνευμόνων (ο συχνότερα εμφανιζόμενος καρκίνος τόσο στους άντρες, όσο και στις γυναίκες). Αντίστοιχα, η ηλιοθεραπεία με μέτρο και η αποφυγή έκθεσης μας στον ήλιο κυρίως τις μεσημεριανές ώρες ελαχιστοποιεί τις πιθανότητες εκδήλωσης καρκίνου του δέρματος. Για τους ίδιους λόγους είναι χρήσιμο να αποφεύγουμε κάθε γνωστό χημικό παράγοντα ή ακτινοβολία που έχει διαπιστωθεί ότι σχετίζονται με το φαινόμενο της καρκινογένεσης.

Τα τελευταία χρόνια προτάθηκε μια δίαιτα που πιστεύεται ότι ελαττώνει τις πιθανότητες ανάπτυξης καρκίνου, και η οποία απέκτησε αρκετά μεγάλο αριθμό οπαδών. Τα κύρια σημεία της διαίτας αυτής συνιστανται στα εξής:

1. Να αποφεύγουμε την παχυσαρκία.
2. Να ελαττώσουμε τη συνολική ποσότητα λιπών στην καθημερινή μας διατροφή.
3. Να τρώμε περισσότερα φρέσκα φρούτα, λαχανικά, κυρίως σαλάτες, και τροφές γενικά με μεγάλη περιεκτικότητα σε ίνες όπως δημητριακά κ.λπ.
4. Να αποφεύγουμε να πίνουμε μεγάλες ποσότητες οινοπνεύματος.

Η τακτική ιατρική εξέταση μπορεί πολύ συχνά να διαπιστώσει αλλαγές στα κύτταρα πριν ακόμη εκδηλωθεί ο καρκίνος. Μια γυναίκα, λόγου χάρη, μπορεί και πρέπει, να εξετάζει περιοδικά τους μαστούς της με ψηλάφηση, για να διαπιστώσει μήπως υπάρχουν ασυνήθιστα εξογκώματα ή εκκρίματα.

Επίσης, πολύ σημαντική διαγνωστική μέθοδος θεωρείται το **Τεστ Παπανικολάου (PAP TEST)**, το οποίο πρέπει να γίνεται σε ετήσια βάση στις γυναίκες από την ηλικία συνήθως των 30 ετών, και μπορεί να εντοπίσει κύτταρα τα οποία ενδεχομένως θα οδηγούσαν σε καρκίνο του τραχήλου της μήτρας.

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί νέες μέθοδοι διάγνωσης νεοπλασμάτων. Οι κυριότερες από αυτές είναι οι τεχνικές υπερηχογράφησης και οι τεχνικές που βασίζονται στη σάρωση με αξονική τομογραφία. Ορισμένοι καρκίνοι, όπως αυτός του προστάτη, έχουν συνδυαστεί με την παρουσία συγκεκριμένων χημικών ουσιών στο αίμα και για το λόγο αυτόν αναπτύχθηκαν ειδικές εξετάσεις αίματος που επιτρέπουν όχι μόνο τη διάγνωση κάποιου καρκίνου, αλλά δίνουν πληροφορίες ακόμη και για το μέγεθος και την έκταση του νεοπλασματος.

Η θεραπεία του καρκίνου σχετίζεται συνήθως με την αφαίρεση του νεοπλασματος. Υπάρχει βέβαια πάντα ο κίνδυνος στην περίπτωση κακοήθους νεοπλασματος, να έχει ήδη προηγηθεί μετάσταση. Η χειρουργική λοιπόν επέμβαση και αντιμετώπιση συχνά ακολουθείται από θεραπεία με ακτινοβολία. Χρησιμοποιούνται ακτίνες X ή ραδιενεργές ακτίνες πρωτονίων για να καταστρέφουν καρκινικά κύτταρα που πολλαπλασιάζονται με πολύ γοργούς ρυθμούς, ενώ η βλάβη που επιφέρουν στα φυσιολογικά κύτταρα των ιστών είναι μηδαμινή.

Μια άλλη μέθοδος για την καταστροφή καρκινικών κυττάρων είναι η χημειοθεραπεία, με τη βοήθεια φαρμάκων τα οποία είναι ειδικά σχεδιασμένα ώστε να προσβάλλουν μόνο καρκινικά – δηλαδή μη φυσιολογικά – κύτταρα.

Οι πιο πρόσφατες τεχνικές στηρίζονται στην ανάπτυξη της ανοσοθεραπείας. Μονόκλωνα αντισώματα, για παράδειγμα, χρησιμοποιούνται για να μεταφέρουν φάρμακα κατευθείαν σε συγκεκριμένα καρκινικά κύτταρα.

Πιστεύεται ότι στο μέλλον, το ίδιο το ανοσοποιητικό σύστημα του ανθρώπου θα ενισχυθεί με τη βοήθεια ανάλογων τεχνικών ώστε να εμποδίζει την ανάπτυξη καρκινικών κυττάρων.

Κεφάλαιο 6: Γενετική Μηχανική. Καρκινικοί ιοί: εισαγωγή βλαβερών πληροφοριών μέσα σε ζωικά κύτταρα.

Μπορεί κανείς να εισαγάγει καινούρια γενετική πληροφορία μέσα σε κύτταρα των ανώτερων ζώων, συμπεριλαμβανομένων των ανθρώπων; Η απάντηση είναι καταφατική και όσο ασυνήθιστο και αν μας φαίνεται, η ανακάλυψή της προέκυψε από τη μελέτη της τρομερής ασθένειας του καρκίνου. Εδώ λοιπόν, θα περιγράψουμε τους ιούς που προκαλούν καρκίνο και ανήκουν στην ομάδα των ρετροϊών, ένα ακρωνύμιο για το ένζυμο αντίστροφη μεταγραφάση (reverse transcriptase) το οποίο τους επιτρέπει να φέρουν εις πέρας το καταστρεπτικό τους έργο. Η ιστορία αυτή αντιπροσωπεύει μια από τις πιο ενδιαφέρουσες εργασίες μοριακής ανίχνευσης και αναμφίβολα αποτελεί το μεγαλύτερο πνευματικό επίτευγμα των τελευταίων δύο δεκαετιών στην έρευνα για τον καρκίνο. Δεν είναι υπερβολικό να πούμε ότι αυτή η ανακάλυψη εντείνει τις ενέργειες των ερευνητών στα καρκινικά ιστιτούτα όλου του κόσμου, αφού επιτέλους φαίνεται να αρχίζουμε να καταλαβαίνουμε τι συμβαίνει σε αυτή τη φοβερή ομάδα ασθενειών.

Ο καρκίνος είναι ασθένεια του ελέγχου της κυτταρικής αύξησης. Είναι απόλυτα φυσιολογικό για τα κύτταρα του οργανισμού να πολλαπλασιάζονται. Σε έναν υγιή οργανισμό όμως, αυτό γίνεται με απόλυτα ελεγχόμενους ρυθμούς. Κάθε μέρα ο οργανισμός αποβάλλει κύτταρα του δέρματος, τα οποία αντικαθίστανται από καινούρια κύτταρα προερχόμενα από τα πιο εσωτερικά στρώματα του δέρματος. Με αυτό τον τρόπο διατηρείται το στάτους κβο. Αν το δέρμα ερεθιστεί, όπως σε βαριά χειρωνακτική εργασία, επιταχύνεται η κυτταρική αύξηση, το δέρμα γίνεται παχύτερο, στα χέρια εμφανίζονται κάλοι κ.τλ. Όλα αυτά όμως γίνονται μόνον εφόσον βρίσκονται μέσα στο πλαίσιο συγκεκριμένων ρυθμιστικών κανόνων. Αν το δέρμα υποστεί μια λύση της συνεχείας του κατά λάθος, αρχίζει αμέσως μια κυτταρική αύξηση, διαφορετικής μορφής από την προηγούμενη, για να γεφυρωθεί το χάσμα. Η καινούρια κυτταρική αύξηση σταματάει όταν επουλωθεί το τραύμα. Ο καρκίνος αποτελεί την ακραία μορφή αποσύνθεσης των ρυθμιστικών διαδικασιών που περιορίζουν τον κυτταρικό πολλαπλασιασμό, έτσι ώστε ο τελευταίος να προχωρεί με όλο και λιγότερους ελέγχους και ισορροπίες, μέχρις ότου το σώμα καταστραφεί από κακοήγη κύτταρα που πολλαπλασιάζονται τελείως ανεξέλεγκτα.

Ήταν γνωστό για πολλά χρόνια ότι ορισμένοι περίεργοι ιοί μπορούν να προκαλέσουν καρκίνους σε εργαστηριακά πειραματόζωα, έστω σε συνθήκες κυριολεκτικά πλασματικές. Πρόσφατα κατέστη δυνατό να χρησιμοποιηθούν σε δοκιμαστικό σωλήνα. Τα κύτταρα αφήνονται πρώτα να πολλαπλασιαστούν σε κανονικές συνθήκες και με καλό έλεγχο, μέσα σε γυάλινο τρυβλίο. Αυτή είναι η τεχνική της κυτταροκαλλιέργειας: τα κύτταρα τοποθετούνται σε υγρή, ελεγχόμενη και ζεστή ατμόσφαιρα και περιλούνται από θρεπτικό υλικό που περιέχει τα περισσότερα από τα συστατικά του υγρού που φυσιολογικά περιλούει τους ιστούς στον οργανισμό. Τα φυσιολογικά κύτταρα αυξάνονται μέχρι να καλυφθεί πλήρως ο πυθμένας του τρυβλίου και τότε σταματούν, ακριβώς όπως σταματούν να πολλαπλασιάζονται τα κύτταρα αφού επουλωθεί κάποια πληγή.

Το πώς προκαλούν καρκίνο οι ιοί ήταν μυστήριο μέχρις ότου η τεχνολογία του ανασυνδυασμένου DNA μας έδωσε ορισμένες εκπληκτικές βιοχημικές απαντήσεις. Καταρχάς βρέθηκε ότι πολλοί από αυτούς τους ιούς είχαν γονίδια αποτελούμενα όχι από DNA αλλά από RNA. Ο ιός, όμως, υποχρεώνει το κύτταρο που μολύνει να συνθέσει το ένζυμο αντίστροφη μεταγραφάση, το οποίο αντιγράφει πιστά την αλληλουχία RNA βάσεων του ιού σε βάσεις DNA. Στη συνέχεια αποδείχτηκε ότι το αντίγραφο DNA μπορούσε να ενσωματωθεί για καλά στο DNA του ίδιου του

κυττάρου. Ο ιός είχε προσφέρει καινούρια γονίδια στο κύτταρο! Αυτό οδήγησε στην επόμενη σημαντική ένδειξη, δηλαδή ότι ορισμένα από αυτά τα γονίδια ήταν καρκινογόνα, αφού προκαλούσαν την παραγωγή πρωτεϊνών που οδηγούσαν το κύτταρο σε ανεξέλεγκτο πολλαπλασιασμό. Τα γονίδια που προκαλούν καρκίνο ονομάζονται ογκογονίδια. Μέχρι τώρα έχουν ταυτοποιηθεί πενήντα διαφορετικά ογκογονίδια, το καθένα τους μεταφέρεται από διαφορετικό ιό. Σήμερα τα ογκογονίδια μπορούν να παρασκευαστούν σε καθαρή μορφή με την τεχνολογία της γενετικής μηχανικής. Μπορούμε να ενέσουμε τεχνητά αυτά τα καθαρά και μικρά τεμάχια του DNA μέσα σε φυσιολογικά κύτταρα, όπου, χωρίς τη μεσολάβηση κάποιου ιού, θα μετασχηματίσουν τα κύτταρα σε καρκινικά. Άρα στην πραγματικότητα, τα ογκογονίδια προκαλούν καρκίνο.

Πώς μπορεί όμως ένα γονίδιο να μετατρέψει ένα φυσιολογικό κύτταρο σε ατίθασο κύτταρο που υφίσταται ανεξέλεγκτο πολλαπλασιασμό; Τα γονίδια περιέχουν πληροφορίες για τη σύνθεση πρωτεϊνών. Ήταν λοιπόν σημαντικό να βρεθεί τι είδους πρωτεΐνες φτιάχνονταν με την ενεργοποίηση ενός ογκογονιδίου. Ένα σημαντικό ορόσημο ήταν η εργασία του **Δρ. Ray Erickson** στο Πανεπιστήμιο του Κολοράντο, στο Ντένβερ. Απέδειξε ότι ένα από τα καλύτερα μελετημένα ογκογονίδια κωδικοποιεί ένα ένζυμο που ονομάζεται πρωτεϊνική κινάση. Αυτή η πρωτεϊνική κινάση καταλύει την αντίδραση που αφαιρεί μια φωσφορική ομάδα από το ATP και τοποθετεί αυτή τη φωσφορική ομάδα στο αμινοξύ τυροσίνη ορισμένων σημαντικών πρωτεϊνών. Σήμερα θεωρείται πως η «φωσφορυλίωση» των πρωτεϊνών, έχει μεγάλης εμβέλειας αποτελέσματα, αφού τροποποιεί τη μορφή της κυτταρικής αύξησης, καθώς και την ανταπόκριση του κυττάρου σε ποικίλα εξωτερικά ερεθίσματα.

Με άλλα λόγια, ένα κύτταρο που «μολύνεται» από το εν λόγω ογκογονίδιο έχει τροποποιημένες βιοχημικές αντιδράσεις και διαφορετικές ανταποκρίσεις σε ρυθμιστικά ερεθίσματα. Έκτοτε βρέθηκε ότι και πολλά άλλα ογκογονίδια είναι πρωτεϊνικές κινάσες. Έχουν επίσης ανακαλυφθεί παραδείγματα όπου ένας και μόνο ιός μεταφέρει δύο καρκινικά γονίδια μέσα στο κύτταρο. Το πρώτο γονίδιο προκαλεί το κύτταρο ώστε να πολλαπλασιαστεί ακόμη περισσότερο σε κυτταροκαλλιέργεια, χωρίς όμως τα κύτταρα να πολλαπλασιάζονται τόσο ανεξέλεγκτα ώστε να προκαλούν όγκους όταν ενεθούν σε πειραματόζωα. Το δεύτερο γονίδιο δεν έχει κανένα αποτέλεσμα αν ενεθεί μόνο του σε ένα κύτταρο. Σε συνδυασμό όμως με το πρώτο γονίδιο, ολοκληρώνει το μετασχηματισμό των κυττάρων σε κακοήγη (καρκινικά). Αυτό είναι επίσης σημαντικό, επειδή γνωρίζουμε από κλινικές μελέτες ότι ο ανθρώπινος καρκίνος είναι μια διαδικασία με πολλά στάδια, όπου τα κύτταρα απορυθμίζονται σταδιακά όλο και περισσότερο. Οι αρχές αυτής της διαδικασίας απεικονίζονται στο επισυναπτόμενο σχήμα.

Η τελευταία ανακάλυψη είναι και η εκπληκτικότερη. Τα ιικά ογκογονίδια, ή κάτι που τους μοιάζει πάρα πολύ, βρίσκονται και μέσα σε κύτταρα τελείως φυσιολογικά! Επιπλέον, δεν βρίσκονται μόνο μέσα στα κύτταρα των πειραματόζωων που φιλοξενούν καρκινικούς ιούς. Αντίθετα, είναι διάσπαρτα σε όλο το ζωικό βασίλειο, συμπεριλαμβανομένου του ανθρώπου. Τα περισσότερα από τα περίπου πενήντα γνωστά ογκογονίδια έχουν διατηρηθεί πιστά με την ίδια δομή δια μέσου εκατοντάδων εκατομμυρίων ετών εξέλιξης. Η δομή τους διαφέρει σε μικρό μόνο βαθμό από το ένα σπονδυλωτό στο άλλο. Αναμφισβήτητα, αυτά τα γονίδια πρέπει να παίζουν σημαντικό ρόλο στον κανονικό πολλαπλασιασμό και τη διαφοροποίηση του κυττάρου, αλλιώς δεν θα παρέμεναν ανέπαφα διαμέσου της εξέλιξης. Όμως, στο φυσιολογικό κύτταρο το επίπεδο δραστηριότητας του ογκογονιδίου είναι πολύ χαμηλό, οπότε το πρωτεϊνικό του παράγωγο βρίσκεται μέσα στο κύτταρο σε ελάχιστες ποσότητες ή και καθόλου. Στα κύτταρα που μετασχηματίζονται από ιό, το ογκογονίδιο τοποθετείται σε λάθος θέση

και συνεπώς ενεργοποιείται πολύ έντονα. Κατά συνέπεια δημιουργούνται μεγάλες ποσότητες ογκογονιδιακών πρωτεϊνών και το κύτταρο δεν ελέγχει πια τον πολλαπλασιασμό του. Είναι προφανές ότι πριν από μερικούς αιώνες εξέλιξης, ένας ιός ενσωμάτωσε ένα ογκογονίδιο από το DNA ενός φυσιολογικού κυττάρου και άρχισε να προκαλεί μεγάλες αναστατώσεις, μεταφέροντας τον θανατηφόρο συνεπιβάτη του σε λάθος κατεύθυνση.

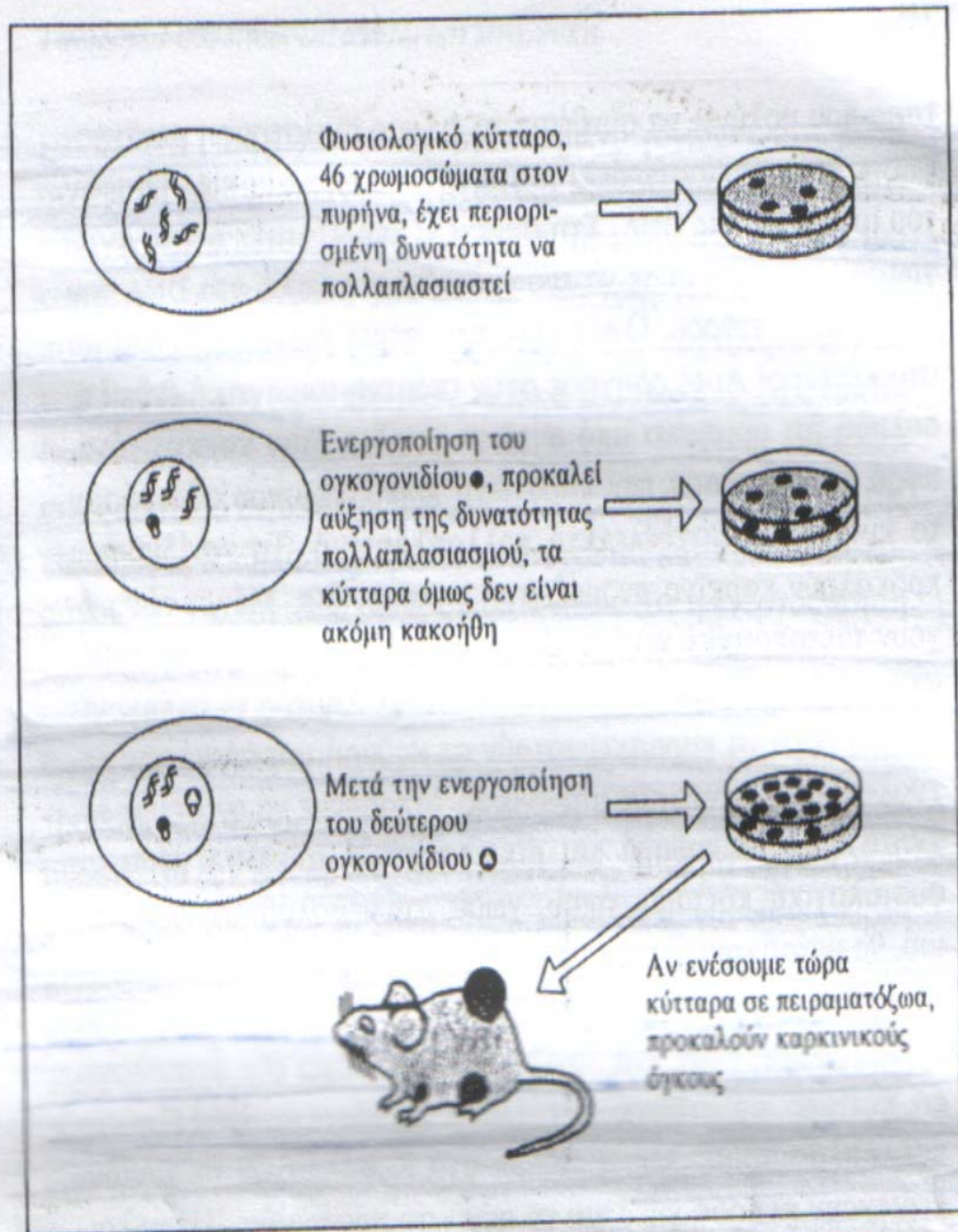
Το εύρημα ότι τα φυσιολογικά κύτταρα περιέχουν στο γονιδίωμά τους ογκογονίδια, τα οποία και ονομάζονται κυτταρικά ογκογονίδια για να ξεχωρίζουν από τα ελαφρώς διαφορετικά ογκογονίδια, εγείρει αυτόματα ορισμένα ερωτήματα. Για παράδειγμα, μπορούν τα κυτταρικά ογκογονίδια να ενεργοποιηθούν σε ασυνήθιστα υψηλά επίπεδα και μήπως είναι αυτή η αιτία του καρκίνου όπως τον γνωρίζουμε στον άνθρωπο; Η γενετική μηχανική έχει χρησιμοποιηθεί ακριβώς για να προσδιοριστεί μέχρι ποιου σημείου είναι ενεργοποιημένα τα κυτταρικά ογκογονίδια σε διάφορους ανθρώπινους καρκίνους.

Πρόσφατα ανακαλύφθηκαν αρκετές περιπτώσεις όπου ένα ογκογονίδιο έχει πράγματι ενεργοποιηθεί σε υψηλά επίπεδα. Στο **Ινστιτούτο Ιατρικής Έρευνας Walter and Eliza Hall** οι **Δρ. Suzanne Cory** και **Δρ. Jerry Adams** ανακάλυψαν ένα συναρπαστικό παράδειγμα αυτού του είδους. Σε κακοήθειες ενός τύπου λευκού αιμοσφαιρίου που ονομάζεται Β λεμφοκύτταρο, ανακάλυψαν ότι η διπλή έλικα του DNA σπάζει σε δύο συγκεκριμένα σημεία. Δύο συγκεκριμένα χρωμοσώματα σπάνε στα δύο και όταν τα σπασίματα κλείνουν, τα κομμάτια επανασυνδέονται με λανθασμένο τρόπο. Μέσα από αυτή τη διαδικασία, ένα συγκεκριμένο κυτταρικό ογκογονίδιο, που ονομάζεται c-myc, δεν βρίσκεται πια στο χρωμόσωμα που όφειλε να είναι, αλλά ακριβώς στη μέση κάποιων άλλων γονιδίων σε διαφορετικό χρωμόσωμα. Ρόλος αυτών των γονιδίων είναι η καθοδήγηση του σχηματισμού αντισωμάτων. Τοποθετημένο σε αυτό το σημείο, το c-myc ενεργοποιείται σε πολύ μεγάλο βαθμό. Συνεχίζοντας τα πειράματά τους βασισμένοι σε αυτές τις παρατηρήσεις, οι **Δρ. Cory** και **Adams** εισήγαγαν ένα ενεργοποιημένο γονίδιο c-myc μέσα σε ποντίκια, δημιουργώντας έτσι μια καινούρια ράτσα τρανσγενετικών ποντικιών που εξέφραζαν το γονιδιακό προϊόν του c-myc σε πολύ μεγάλα επίπεδα σε όλη τους τη ζωή. Αυτά τα ποντίκια παρουσιάζουν ασυνήθιστα μεγάλη συχνότητα καρκίνου των λευκών αιμοσφαιρίων, τελικά δε, όλα τους θα αναπτύξουν καρκίνους. Επειδή όμως διαφορετικά ποντίκια αναπτύσσουν καρκίνο σε διαφορετικές ηλικίες, στην ενεργοποίηση της κακοήθους διαδικασίας πρέπει να ενέχονται και πρόσθετοι παράγοντες. Τα ποντίκια όμως αποδεικνύουν ότι η ενεργοποίηση του c-myc είναι κρίσιμη για την καρκινική εξέλιξη.

Το σπάσιμο των χρωμοσωμάτων και η λανθασμένη επιδιόρθωση του DNA είναι αναμφίβολα ένας μόνο από τους πολλούς τρόπους που τα κυτταρικά ογκογονίδια μπορούν να ενεργοποιηθούν ενώ δεν θα έπρεπε. Δυνητικά όμως, αυτός ο συγκεκριμένος τρόπος φαίνεται να είναι πολύ σημαντικός για τους ανθρώπινους καρκίνους, αφού είναι γνωστό ότι οι περισσότερες χημικές ουσίες που προκαλούν καρκίνο στον άνθρωπο επιταχύνουν ή προάγουν αυτού του είδους τα γενετικά «ατυχήματα». Ένας άλλος λόγος για την παράτυπη ενεργοποίηση κυτταρικών ογκογονιδίων είναι η ύπαρξη πολλών γονιδιακών αντιγράφων μέσα στο κύτταρο, όπου όλα παράγουν το ογκογονιδιακό προϊόν σε μικρές ποσότητες το καθένα, συνολικά όμως σε αξιόλογες συγκεντρώσεις πρωτεΐνης. Αυτό συμβαίνει σε μια υποομάδα ανθρώπινου καρκίνου του στήθους. Το κυτταρικό ανάλογο του ογκογονιδίου neu βρίσκεται μέσα στο κύτταρο σε πολλά αντίγραφα. Όσο περισσότερα αντίγραφα υπάρχουν μέσα στο κύτταρο, τόσο ταχύτερα αυξάνουν τα καρκινικά κύτταρα, δηλαδή τόσο πιο κακοήθης είναι ο όγκος. Μια βιοψία του ιστού και ανάλυση αποτύπωσης

κατά Southern θα μας δώσει ακριβέστατη ένδειξη για την ταχύτητα με την οποία θα εξαπλωθεί ο όγκος.

Τα κυτταρικά ογκογονίδια βρίσκονται σε κάθε φυσιολογικό κύτταρο. Δεν προκαλούν καρκίνο, παρεκτός και τοποθετηθούν σε λανθασμένο σημείο του γονιδιώματος ή ενεργοποιηθούν κατά λανθασμένο τρόπο. Βεβαίως, η φύση δεν θα διατηρούσε ανέπαφα τόσο δυνητικά επικίνδυνα γονίδια αν δεν υπηρετούσαν και κάποια άλλη βασική κυτταρική λειτουργία σε υγιή άτομα. Πρόσφατα ανακαλύφθηκε πως οι πρωτεΐνες που συντίθενται όταν ενεργοποιούνται τα κυτταρικά ογκογονίδια είναι ορμόνες που προάγουν τον κυτταρικό πολλαπλασιασμό, περίπου σαν αυτές που περιγράψαμε αναφέροντας τις εργασίες του Δρ. Metcalf. Αναμφισβήτητα, η μεγάλη παραγωγή ενός τέτοιου παράγοντα θα μπορούσε να υπερερεθίσει τα κύτταρα, οδηγώντας σε καρκίνο, άλλα κυτταρικά ογκογονίδια συνθέτουν μόρια – κεραίες που δέχονται τα ερεθίσματα αυξητικών παραγόντων και ανταποκρίνονται σε αυτούς. Αν ένα κύτταρο έχει πάρα πολλές κεραίες, τότε θα πολλαπλασιαστεί πολύ έντονα, μολονότι το ποσόν της ορμόνης που προάγει τον πολλαπλασιασμό είναι πολύ φυσιολογικό. Η ιστορία των ογκογονιδίων λοιπόν, αποσαφηνίζεται σιγά – σιγά και μαθαίνουμε έτσι αρκετά πράγματα, όχι μόνο για τον καρκίνο, αλλά και για τον φυσιολογικό κυτταρικό πολλαπλασιασμό.



Σχήμα Δύο πιθανοί τρόποι για την ανάπτυξη της κακοήθειας που αφορούν την ενεργοποίηση δύο διαφορετικών ογκογονιδίων

Η ενεργοποίηση του πρώτου ογκογονιδίου αυξάνει τη δυνατότητα πολλαπλασιασμού του κυττάρου, χωρίς όμως να το καθιστά πλήρως καρκινικό. Η ενεργοποίηση του δεύτερου ογκογονιδίου ολοκληρώνει τον κακοήθη μετασχηματισμό.

**Κεφάλαιο 7: Προέλευση και διανύσματα της εισαγωγής των
εξωτικών μαλάκιων στα Ελληνικά ύδατα**

Περίληψη

Τα εξωτικά είδη μακροφυκών, ασπόνδυλων και ψαριών έχουν γίνει όλο και περισσότερο προεξέχοντα στους περισσότερους παράκτιους βιότοπους στη Μεσόγειο, τα ελληνικά ύδατα που περιλαμβάνονται, κατά τη διάρκεια των δεκαετιών καθορίζεται ότι η εισαγωγή των μη-γηγενών ειδών έχει σημαντικό οικολογικό καθώς επίσης και οικονομικό αντίκτυπο σε εκείνη την αναθεώρηση θάλασσας Α των εξωτικών ειδών στα ελληνικά ύδατα έχει αποκαλύψει συνολικά 26 είδη μεταξύ των οποίων 16 που ανήκουν στα γαστερόποδα και 10 σε Bivalvia, 9 είδη είναι ινδο-ειρηνικά και είδη προέλευσης Eiythrean που ήδη καλά καθιερώνονται σε όλη τη Μεσόγειο που το περιστατικό αυτών των ειδών στις ελληνικές θάλασσες αποδίδεται στην προοδευτική διεξόδου μέσω του καναλιού Σουέζ, η αποκαλούμενη μετανάστευση Lessepsian. Τέσσερα είδη, δηλαδή: το *sangmnnlenta Nerita* γαστερόποδων, το *cyamimarginaia Haminoea* και το *flmhnata Meiibe* και το δίλοβο *Pseudochama*, είναι κόκκινος ενδημικός και ηνδο-ειρηνικός βιόκοσμος θάλασσας που αρχικά έχει διακριθεί στα ελληνικά ύδατα και ενημερωμένος έχει μια περιορισμένη διανομή τη σε ολόκληρη Μεσόγειο.

Άλλα 4 είδη με το τυχαίο περιστατικό στους λιμένες/τις λιμνοθάλασσες, δηλαδή: το *fornicaia Crepidula* γαστερόποδων και το *emerloni Polycerella* και τα *pholudiformis Petncola* δίθυρων και *arenaria Mya* προέρχονται από τον Ατλαντικό αλλά ο τρόπος εισαγωγής τους, ενδεχομένως να οφείλεται ή/και σε υδατοκαλλιέργεια, παραμένει άγνωστος. Τέλος, 4 είδη (το *venosci Sirombus perxicws* και *Rapanu* γαστερόποδων και τα *gigas Anadara demm* και *Crassostrtia* δίθυρων) είναι προέλευσης του Ειρηνικού, Ινδικού Ωκεανού ή Περσικών Κόλπων και διανύσματος της εισαγωγής τους, αν και είναι τεκμηριωμένος, θεωρείται ότι οφείλεται επίσης σε υδατοκαλλιέργεια. Το ποσοστό molluscan εισαγωγών στα ελληνικά ύδατα αυξάνεται εκθετικά με το χρόνο. Αν και τα εξωτικά είδη μαλακίων δεν έχουν ερευνηθεί λεπτομερώς, δεκατέσσερα από τα είκοσι έξι, έχουν καταγραφεί από το 1990, τα οποία υπονοούν ότι οι περαιτέρω μελέτες αναμένονται για να αποκαλύψουν πολύ περισσότερα εισαχθέντα είδη, παραμελημένος ενημερωμένος,

Εισαγωγή

Η Μεσόγειος είναι μια σημαντική περιοχή για τη μελέτη της ζωογεωγραφίας, λόγω της σύνδεσής της με τον Ατλαντικό Ωκεανό, την πρόσφατη ένωσή της με την κόκκινη θάλασσα, η σχετική απομόνωσή του, λόγω των σύνθετων γεωλογικών, κλιματολογικών και οικολογικών αλλαγών που έχουν εμφανιστεί κατά τη διάρκεια της ιστορίας της και πιο πρόσφατα λόγω των βιολογικών εισβολών.

Τα διανύσματα της εισαγωγής των εξωτικών ειδών στη Μεσόγειο είναι διαφοροποιημένα: μετανάστευση μέσω του προκαλούμενου από τον άνθρωπο καναλιού Σουέζ που έχει αναλυθεί λεπτομερώς κοντά για (1978 ..1990 ποιος επίσης έπλασε τον όρο "lessepsian μετανάστευση" για αυτήν την μετανάστευση: μετανάστευση μέσω των στενών του Γιβραλτάρ (Cattaneo-Vietti & Thompson, 1989) μεταφορά των ειδών στις φλούδες σκαφών, τις πλατφόρμες διατρήσεων και άλλες προκαλούμενες από τον άνθρωπο δομές μεταφορά με το ύδωρ έρματος σκόπιμες

εισαγωγές των ειδών λαμβάνοντας υπόψη τις εμπορικές μετακινήσεις οστρακόδερμων χρήσης δηλ. ουσιαστικά τυχαίες εισαγωγές των ειδών που συνοδεύουν τα σκόπιμα εισαχθέντα είδη απορρίπτοντας από την αγορά και πίσω στη θάλασσα, για οτιδήποτε λόγους, των σκόπιμα εισαγόμενων ζωντανών δειγμάτων (π.χ. είδη χρησιμοποιούμενα ως δόλωμα), διαφυγή από τα ενυδρεία, ειδικά μέσω ενός ανοικτού κυκλώματος χωρίς επεξεργασία (Zibrowius, 1992). Από τα προαναφερθέντα μέσα της πρόσβασης, το κανάλι Σουέζ είναι η μεγαλύτερη διάβαση για την είσοδο των βιολογικών εισβολέων στη Μεσόγειο και περισσότερο από 300 Erythrean species - κυρίως μαλάκια, ψάρια, καρκινοειδή δεκάποδων, polychaetes και άλγη - έχουν γίνει καθιερωμένα στην ανατολική Μεσόγειο, πρώτιστα κατά μήκος της λεκάνης Levantine. Το ποσοστό αυτών των βιολογικών εισβολών έχει αυξηθεί στις πρόσφατες δεκαετίες, και ασκούν συλλογικά σημαντικές οικολογικές και οικονομικές επιδράσεις στη Μεσόγειο (Galil & Zenetos, 2002).

Το άνοιγμα των μεσοωκεάνιων διαδρομών του θαλάσσιου εμπορίου στον 16ο αιώνα προκάλεσε την εισαγωγή των συγκεκριμένων εισβολέων μυριάδας στη Μεσόγειο με τα σκάφη επιστροφής. Η ανατολική Μεσόγειος είναι εξαιρετικά ευαίσθητη στις βιολογικές εισβολές λόγω της μακροχρόνιας ιστορίας ανθρώπινου επαγγέλματός της, ως διασταύρωση παρόδων, σημαντικοί λιμένες (Αλεξάνδρεια, λιμένας εν λόγω, Χάιφα, Βηρυττός, Iskenderijm, Ιζμίρ, Θεσσαλονίκη, Peiraias) και αναρίθμητες μαρίνες, λιμνοθάλασσες που συσσωρεύονται με τα αγροκτήματα ψαριών και οστρακόδερμων, και ακτές που είναι σημαντικοί τόποι προορισμού τουριστών (GALIL & ZENETOS, 2002).

Λαμβάνοντας υπόψη το ποσοστό και την έκταση του φαινομένου, η επιστημονική κοινότητα έχει εντείνει την έρευνα για τα αλλοδαπά είδη στη Μεσόγειο και σε πολλές χώρες τα εθνικά προγράμματα ελέγχου εκτελούνται που εστιάζουν στα εισαχθέντα είδη. Η διεθνής Επιτροπή για την επιστημονική εξερεύνηση της Μεσογείου (CIESM) έχει αναγνωρίσει την ανάγκη να συντάξει όλες τις διαθέσιμες πληροφορίες για τη Μεσόγειο και έχει διορίσει μια ομάδα ειδικών για να προετοιμάσει τη δημοσίευση ενός ενημερωμένου ψηφιακού άτλαντα για τα εξωτικά είδη που ανήκουν στις ομάδες ψαριών και οστρακόδερμων (καρκινοειδή και μαλάκια). Σύμφωνα με τις ενημερωμένες πληροφορίες, ο αριθμός εξωτικών molluscan ειδών έχει αυξηθεί από 44 (HΠΑ, 1978) σε 141.

Τα ελληνικά ύδατα, τα οποία αποτελούνται από τις διαφορετικές θάλασσες (ιόνια θάλασσα, η θάλασσα Kythira, η αιγαία θάλασσα και η λιβυκή θάλασσα) με τις διαφορετικές φυσικοχημικές και δυναμικές ιδιότητες (Θεοχάρης et al., 1993). παρόμοιος με άλλους τομείς της Μεσογείου έχει εισβληθεί από τα εξωτικά είδη. Σύμφωνα με μια αναθεώρηση του ελληνικού θαλάσσιου εξωτικού βιόκοσμου, 78 εξωτικά είδη έχουν καταγραφεί ενημερωμένος μεταξύ ποιων μαλακίων υπερισχύστε (PANCUCCI et al., 2002). Το πρώτο εξωτικό είδος μαλακίων που αναφέρεται από αυτές τις θάλασσες είναι το δίλοβο corbieri Pseudochama ειδών Erythrean (Jonas, 1946) που βρέθηκε στις ακτές του κόλπου Saronikos στο νότο αιγαίο (Ralli-Tzelepi, 1946). Από τότε διάφορες δημοσιεύσεις σχετικά με το molluscan exotics στις ελληνικές θάλασσες, που έχει αναθεωρηθεί από την ομάδα CIESM εμπειρογνομόνων, έχουν αυξήσει τον αριθμό εξωτικών ειδών μαλακίων σε 26.

Η πλειοψηφία των εξωτικών ειδών μαλακίων γαστερόποδων που καταγράφονται από τις ελληνικές θάλασσες έχει εισβάλει σε αυτές τις θάλασσες μέσω της μετανάστευσης Lessepsian (koltsoybas, 1992). Εντούτοις, άλλοι τρόποι της εισβολής αυτής στη Μεσόγειο: εισβολή μέσω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων ή/και είσοδος μέσω των στενών του Γιβραλτάρ (βλ. την αναθεώρηση από: KOUTSOUBAS & CINELLI, 1997). Εκτός από την έλλειψη ενός ενημερωμένου καταλόγου στα εξωτικά

δίλοβα είδη, η προέλευση των εξωτικών ειδών μαλακίων (τα γαστερόποδα συμπεριλαμβανόμενα) αναφερόμενων μέχρι τώρα από τις ελληνικές θάλασσες οι οποίες δεν έχουν μελετηθεί λεπτομερώς, ενώ τα διανύσματα της εισαγωγής δεν έχουν αναγνωριστεί για όλα τα είδη. Κάποιος πρέπει επίσης να αναγνωρίσει το γεγονός ότι παρά τις εντατικές ερευνητικές προσπάθειες σχετικά με τη θαλάσσια βιοποικιλότητα στις ελληνικές θάλασσες, ειδικά κατά τη διάρκεια των τελευταίων δύο δεκαετιών, οι αξιόπιστοι κατάλογοι αυτών των δύο molluscan ομάδων σε αυτόν τον τομέα της Μεσογείου έχουν έρθει στο φως μάλλον πρόσφατα (delamotte & vardala-theodorou; 1994, 2001; zenetos, 1996; koutsoubas et al., 1997, 2000a, b) μην επιτρέποντας στην ποικιλομορφία ζωογραφικών σχεδίων για να φανεί σαφώς. Εξετάζοντας το ποσοστό εισαγωγής, ένας ενημερωμένος κατάλογος των εξωτικών μαλακίων, συμπεριλαμβανομένων των πρόσφατων συμπερασμάτων, που θα επέκτειναν τη ζωογεωγραφική διανομή που παρέχει έτσι την περαιτέρω διορατικότητα στον τρόπο εισαγωγής, λείπει κατά ένα μεγάλο μέρος. Τέλος, οι οικολογικές και οικονομικές επιδράσεις των molluscan εισβολέων στις ελληνικές θάλασσες δεν έχουν αναγνωριστεί μέχρι τώρα.

Η παρούσα μελέτη στοχεύει: 1) για να παρουσιάσει για πρώτη φορά έναν ενημερωμένο πίνακα ελέγχου των εξωτικών ειδών μαλακίων στα ελληνικά ύδατα, 2) για να συζητήσει λεπτομερώς την προέλευση, τα διανύσματα και το ποσοστό εισαγωγής αυτών των εισβολέων στις ελληνικές θάλασσες και 3) για να εξετάσει τα ζωογεωγραφικά σχέδια αυτών των ειδών όχι μόνο μεταξύ των ελληνικών θαλασσών αλλά και μεταξύ άλλων τομέων της ανατολικής Μεσογείου.

Υλικό και μέθοδοι

Η εργασία είναι μια κοινή προσπάθεια να συνταχθεί όλο το παρελθόν και προσφάτως, μέχρι τον Απρίλιο του 2002 αρχεία των εξωτικών μαλακίων στις ελληνικές θάλασσες. Για αυτόν τον λόγο, μέρος των πληροφοριών προέρχεται από το τρέχον πρόγραμμα CIESM ATLAS [βλέπε ([\nvliv.ciesm.jrjg/atlas](http://nvliv.ciesm.jrjg/atlas))] συμπληρωμένος με τα αδημοσίευτα στοιχεία των συντακτών. Οι ερευνητικές προσπάθειες στα μαλάκια στις ελληνικές θάλασσες κατά τη διάρκεια των τελευταίων 20 ετών μαζί με τα στοιχεία προήλθαν από την γκρίζα βιβλιογραφία (π.χ. τεχνικές εκθέσεις) στις ναυτιλιακές επιστήμες σε εκείνο τον τομέα της Μεσογείου.

Από τους πολλούς όρους (αλλοδαποί, που εισάγονται, εισβολείς, εξωτικά, μη-γηγενή είδη) που χρησιμοποιούνται αυτήν την περίοδο για να καθορίσουν τα εισαχθέντα είδη από μια περιφερειακή θάλασσα σε μια άλλη θάλασσα, μέσω οποιουδήποτε διανύσματος της εισαγωγής, έχουμε επιλέξει να υιοθετήσουμε τον όρο εξωτικό υπό την έννοια που χρησιμοποιείται από CEESM.

Η κατάσταση της γνώσης, πριν από το CIESM πρόγραμμα, κυρίως ταξονομικές δυσκολίες, δεν επέτρεψε μέχρι τώρα στην ποικιλομορφία ζωογραφικών σχεδίων για να φανεί σαφώς. Με αυτό το εμπόδιο που λύνεται τώρα, τα αποτελέσματα αναλύονται σχετικά με την προέλευση των ειδών, των διανυσμάτων και του ποσοστού εισαγωγής και ζωογραφικών σχεδίων. Η ταξονομία που χρησιμοποιείται μελέτη είναι αυτή που χρησιμοποιείται σε αυτήν την διατριβή για κόκκινο είδος μαλάκιων θάλασσας (Oliver, 1992 Dekker & Orlin, 2000).

Προκειμένου να καθοριστεί το ποσοστό εισαγωγής των εξωτικών μαλάκιων μια ειδική προσπάθεια επρόκειτο να πραγματοποιηθεί μέσω των συλλογών μουσείων φυσικής ιστορίας Goulandris, και το ίχνος ερευνητικών συλλογών τε συντακτών, στο

βαθμό πιθανό, οι αληθινές ημερομηνίες που τα είδη έκαναν την εμφάνισή τους στα ελληνικά ύδατα. Κατά συνέπεια, οι ημερομηνίες συλλογής που αναφέρθηκαν στις ετικέτες καθώς επίσης και οι πληροφορίες που προσφέρθηκαν από τους ερασιτεχνικούς συλλέκτες χρησιμοποιήθηκαν.

Στην παρουσίαση της ζωογεωγραφικής διανομής των ειδών μέσα στις ελληνικές θάλασσες, ο διαχωρισμός αυτών των θαλασσών που ακολούθησε ήταν: η Ιόνια θάλασσα, η θάλασσα των Κυθήρων, το Αιγαίο Πέλαγος και η Λιβυκή θάλασσα. Εντούτοις, λαμβάνοντας υπόψη τη σημασία των λιμένων, ένα πιο λεπτομερές τμήμα περιελάμβανε τους Κόλπους Θερμαϊκός και Σαρωνικός όπου οι κύριοι ελληνικοί λιμένες είναι τοποθετημένοι.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Αρχεία και σύνθεση των εξωτικών ειδών μαλακίων στις ελληνικές θάλασσες

Το εξετασμένο υλικό στις συλλογές των συντακτών μαζί με μια αναθεώρηση της σχετικής λογοτεχνίας αποκάλυψε ότι ενημερωμένα 26 εξωτικά είδη μαλακίων έχουν καταγραφεί στις ελληνικές θάλασσες. Αυτά τα είδη παρουσιάζονται σε φυλογενετική σειρά στον πίνακα 1. Τα εξωτικά είδη μαλακίων ανήκουν στις δύο σημαντικές κατηγορίες μαλάκιων π.χ. τα γαστερόποδα (16 είδη) και Bivalvia κελύφη με δύο μισά (10 είδη). Από τα 16 είδη γαστερόποδων, 9 είναι γαστρόποδα προσωβράγχια και 7 οπισθοβράγχια ενώ από τα 10 δίλοβα είδη 5 ανήκουν στην υποκατηγορία πετρομόρφα και 5 στην υποκατηγορία Heterodonta. Με βάση και Fifer & Uire και τις προσωπικές παρατηρήσεις είναι εμφανές ότι πολύ λίγα είδη συγκεκριμένα το *persicus* *Strombus* είδος γαστερόποδων, *leachi* *Bursatella*, *fimbriata* *Melibe* και τα δίλοβα είδη *Brachidontes pharaonis*. Το *radiata* *Pinctada* συναντάται συχνά σε πολλές ελληνικές θάλασσες. Ορισμένα άλλα είδη όπως, το *fornicata* *Crepidula* γαστερόποδων *Prosobranch*, *Rapana venosa*, το *ampulla* *Bulla* γαστερόποδων οπισθοβράγχιων και το *demiri* και το *Fulviafragilis Anadara* δίθυρων πετρομόρφων συναντιέται στους μεγάλους πληθυσμούς αλλά καθιερώνεται τοπικά. Τα υπόλοιπα είδη έχουν αναφερθεί σε μια περιοχή και ο μικρός αριθμός ατόμων που βρίσκεται - ένα στις περισσότερες περιπτώσεις - δείχνει ότι η παρουσία τους στις ελληνικές θάλασσες θα μπορούσε μάλλον να θεωρηθεί ως τυχαία.

Προέλευση και διανύσματα της εισαγωγής των εξωτικών ειδών μαλακίων στις ελληνικές θάλασσες.

Τα εξωτικά είδη μαλακίων και ο υποτιθέμενος τρόπος εισαγωγής τους στις ελληνικές θάλασσες μαζί με το πρώτο αρχείο τους στη Μεσόγειο συνοψίζονται στον πίνακα 2.

Η πλειοψηφία των ειδών (πίνακας 2) είναι βιόκοσμος Erythraean τα οποία είναι από τον Ινδικό, Ειρηνικό, Ινδο-Ειρηνικό ή Κόκκινου Ωκεανού ή κατανέμεται ευρέως σε αυτούς τους ωκεανούς (12% Ινδικός Ωκεανός και Κόκκινη θάλασσα, Ινδο-Ειρηνικός Ωκεανός 18% και Κόκκινη θάλασσα). Το 15% των ειδών αυτών προέρχονται από τον Ατλαντικό Ωκεανό.

Πολλά από αυτά τα είδη, είτε που προέρχονται από την ανατολική Μεσόγειο (*girardi* *Cylichna*, *leachi* *Bursatella*, *Brachidontes pharaoni*, επανακτήσεις *Malfuvundus*. Το *cymbium* *Gastrochaena*), ή τυχαία (*Cellana rota*, *erythraeus* *Trochus*, *Murex forskoeihli*, *Pseudochama corbierfi*) εμφανίζεται στο κανάλι Σουέζ και

επομένως η εύρεσή τους στις ελληνικές ακτές πρέπει να αποδοθεί στην προοδευτική διεξόδουση μέσω του καναλιού Σουέζ (μετανάστευση Lessepsian) (σχέδιο 1).

Η ίδια διάβαση (Lessepsian) είναι υποψήφια για το τρόπο εισαγωγής άλλων επτά ειδών μαλακίων (σχέδιο 1), τα οποία είναι είτε ενδημικά Κόκκινης θάλασσας - *Nerita sanguinolenta*, *Acteocina mucronata*, *cyanomarginata* *Haminoea* ή είναι είδη Ινδο - Ειρηνικής προέλευσης (*souverbiana* *Smaragdia*, *rapiformis* *Rapana*, *ampulla* *Bulla*, *fimbriata* *Melibe*). Αυτά τα είδη, ωστόσο, είναι απόντα από το κανάλι Σουέζ και είναι περιορισμένη η εμφάνισή τους στην ανατολική Μεσόγειο.

Το *emertoni* *Polycerella* είδος μαλακίων οπισθοβρόγχιων που προέρχεται από τον Ατλαντικό Ωκεανό έχει βρεθεί στη Μεσόγειο είτε στους λιμένες είτε στις λιμνοθάλασσες κοντά στους λιμένες, και η ναυτιλία είναι η πιο πιθανή αιτία εισαγωγής (σχέδιο 1). Το Ινδο-Ειρηνικό *crassostrea gigas* είδος στρειδιών είναι το ευρύτερα διανεμημένο στρείδι που εισάγεται παγκοσμίως στις θάλασσες με εύκρατο κλίμα έως τροπικές θάλασσες και η παρουσία του στις ελληνικές θάλασσες πρέπει να αποδοθεί στην υδατοκαλλιέργεια.

Τελικά, υπάρχουν ορισμένες περιπτώσεις όπου η εισαγωγή των εξωτικών ειδών μαλακίων μπορεί να είχε ακολουθήσει περισσότερους από έναν δρόμους. Σε άλλες περιπτώσεις, ακόμα κι αν η ναυτιλία υποτίθεται ότι ήταν ο πιο πιθανός παράγοντας της μεταφοράς τους δεδομένου ότι η παρουσία τους είναι ετερόκλητη και σχετίζεται με τους λιμένες ή/και οι οργανισμοί είναι επιστρωμένοι στις φλούδες σκαφών ή τις δεξαμενές έρματος, οι διαβάσεις της εισαγωγής παραμένουν άγνωστες (σχέδιο 1). Παρακάτω αυτά τα άγνωστα εξωτικά είδη μαλακίων, για τα οποία μια διττής φύσεως εισαγωγή ή η ναυτιλία υποτίθεται ότι είναι ο παράγοντας της εισαγωγής τους, παρουσιάζονται λεπτομερώς:

Μετανάστευση Lessepsian - Ναυτιλία

Το Ινδο-Ειρηνικό δίλοβο *Fuivia fragilis* φαίνεται να ακολουθεί τη χαρακτηριστική διανομή ενός μετανάστη Lessepsian. Έχει καταγραφεί πρώτα στο κανάλι Σουέζ και βρέθηκε έπειτα στις ακτές του Ισραήλ, της Τυνησίας και της Νότιας Τουρκίας (www.ciesm.org/atlas). Εντούτοις, η πρόσφατη εύρεσή του στον Σαρωνικό Κόλπο και ειδικότερα στο λιμένα του Πειραιά δεν μπορεί να αποκλείσει τη μεταφορά του μέσω της ναυτιλίας, αφού και όλες οι υπόλοιπες περιοχές στις οποίες έχει παρατηρηθεί είναι λιμένες.

Μετανάστευση Lessepsian – Υδατοκαλλιέργεια

Το *Pinctada radiata* στρείδι μαργαριταριού εισήχθη σκόπιμα στην Ελλάδα για λόγους καλλιέργειας θαλάσσιων οργανισμών, αλλά έχει καθιερώσει από τότε αναπτυγμένους πληθυσμούς στις άγριες περιοχές (Σερβέτης, 1963). Η παρουσία του στις περιοχές στις ελληνικές θάλασσες όπου αρχικά εισήχθη για την υδατοκαλλιέργεια (νήσος Λέσβος, Χαλκίδα – Ευβοϊκός Κόλπος, νήσος Σαλαμίνα - Σαρωνικός Κόλπος) υποστηρίζει τον τρόπο αυτό εισαγωγής. Εντούτοις, η πρόσφατη εύρεσή του στο νησί της Ρόδου και τον Λακωνικό Κόλπο όπου οι δραστηριότητες υδατοκαλλιέργειας είναι απύσες υποστηρίζει το τρόπο εισαγωγής Lessepsian.

Άγνωστος - Ναυτιλία

Το πλέον καθιερωμένο στη Μεσόγειο *Strombus persicus* γαστερόποδο, προερχόμενο από τον Περσικό Κόλπο και την Αραβική θάλασσα, έχει διαδοθεί από το τερματικό πετρελαίου στο νότιο Τουρκικό Κόλπο του Ισκεντέρουμ (Iskenderun). Το είδος είναι από την Κόκκινη θάλασσα, και τα Μεσογειακά αρχεία του είναι συνήθως από τους λιμένες (δηλ. το Ισκεντέρουμ είναι ένας λιμένας κλήσης για τα βυτιοφόρα), επομένως η εισαγωγή του μπόρεσε να αποδοθεί στα πλοία που προέρχονται από τον Περσικό Κόλπο (Ολιβέριο, 1995). Ωστόσο, το είδος έχει πλαγκτοντροφικές προνύμφες εξασφαλίζοντας έτσι μεγάλης απόστασης διασπορά. Ο Γκαλίλ και ο Ζένετος (2002) υποστηρίζουν ότι η γρήγορη γεωγραφική επέκταση και η επιτυχής καθιέρωση αυτού του είδους στη λεκάνη Levantine είναι χαρακτηριστικές ενός εισβολέα Lessepsian. Το *foenicata Crepidula* βεντουζών, της εισβολής γαστερόποδων μαλάκιων στο χωρικό pixel Ευρωπαϊκό Ατλαντικό υποτίθεται ότι είχε εισαχθεί στη Μεσόγειο με τη ναυτιλία σχετική με το στρείδι και το μύδι μεταφερόμενα για την καλλιέργεια. Η παρουσία του είναι μάλλον τοπική στη Μεσόγειο (π.χ. γαλλικές ακτές κοντά στο Τουλόν, τη Σικελία - ZIBROWIUS, 1992). Πιθανώς υπήρξαν χωριστές εισαγωγές των καλλιεργημένων δίθυρων από τη γαλλική ατλαντική ακτή στις γαλλικές μεσογειακές λιμνοθάλασσες και από άγνωστη προέλευση στις Ιταλικές και στις Μάλτας τις περιοχές. Το είδος έχει μια ευρεία δυνατότητα προσαρμογής, εκτεταμένη περίοδος αναπαραγωγής με άμεσο γονιμοποίηση (μέσω της συσσώρευσης), μαζί με την απουσία συγκεκριμένων αρπακτικών ζώων (BLANCHARD & ERHOLD, 1999). Το αρχείο για τον Σαρωνικό Κόλπο και ειδικότερα η περιοχή κοντά στο λιμάνι του Πειραιά συσχετίζονται μάλλον με τη ναυτιλία δεδομένου ότι δεν υπάρχει κανένα στρείδι/μύδι καλλιεργούμενο στην ευρύτερη περιοχή. Το *Venosa Rapana* είναι ένα Ινδο-Ειρηνικό γαστερόποδο προέλευσης που εισήχθη στη Μαύρη Θάλασσα τυχαία στη δεκαετία του '50 και ενδεχομένως ανεξάρτητα από την Αδριατική στη δεκαετία του '70. Έχει σκεφτεί ότι οι πλαγκτονικές προνύμφες των ειδών έχουν φθάσει μέσω του υδάτινου έρματος στα εμπορικά σκάφη, αλλά ένα πιθανότερο σενάριο είναι ότι οι μάζες αυγών μπορεί να είχαν μεταφερθεί με τα προϊόντα του ναυτικού που εκτρέφει, δηλαδή τα στρείδια ή τα μύδια. Η εύρεσή της στη θάλασσα του Βόρειου Αιγαίου κοντά στα φυσικά στρείδια και τις τράπεζες μυδιών στον κόλπο Θεσσαλονίκης (σημαντικός λιμένας στο Βορειο Αιγαίο) στη δεκαετία του '90 (Koutsoubas & Voultziadou - Koukoura, 1991) συσχετίζεται ενδεχομένως με τη ναυτιλία αλλά η μεταφορά μέσω του στενού του Dardanelle δεν πρέπει να αποκλειστεί. Το δίλοβο *Detniri Anadara*, που προέρχεται από τις θάλασσες της Κίνας, αναφέρθηκε για να εξουσιάσει τα υποβιβασμένα οικοσυστήματα στον κόλπο του Ιζμίρ (DEMIR, 1977) και τον Περσικό Κόλπο, της Θεσσαλονίκης (ZENETOS, 1994). Το είδος φαίνεται να καθιερώνεται καλά σε αυτές τις περιοχές αλλά τη διανομή του στα διαστατικά μεσογειακά υπολείμματα. Αν και η ναυτιλία φαίνεται να είναι το πιο πιθανό διάνυσμα της εισαγωγής από τα είδη, τουλάχιστον στο Αιγαίο, ήταν στους λιμένες, η πρόσφατη εύρεσή της στην Κεντρική Αδριατική δεν προσαρμόζεται σε αυτήν και άλλοι τρόποι εισαγωγής εάν δεν είναι αποκλεισμένες. Τα είδη *Pholadiformis Petricola* και *Arenaria Mya* είναι χαρακτηριστικά δίλοβα είδη που εισάγονται για την καλλιέργεια θαλάσσιων ειδών σε πολλές περιοχές του κόσμου, με τις μεσογειακές λιμνοθάλασσες συμπεριλαμβανόμενες. Εντούτοις, η παρουσία τους στα Ελληνικά ύδατα πρέπει να αποδοθεί μάλλον στη ναυτιλία, δεδομένου ότι τα αρχεία των ειδών είναι από τις περιοχές κοντά στους λιμένες και μακριά από τις περιοχές όπου τα θαλάσσια αγροκτήματα βρίσκονται.

Ποσοστό εισαγωγής των εξωτικών ειδών μαλάκιων στις Ελληνικές θάλασσες

Τα 12 από τα 26 εξωτικά είδη μαλακίων έχουν καταγραφεί στις Ελληνικές θάλασσες την τελευταία δεκαετία (46% του συνολικού αριθμού εξωτικών μαλακίων που καταγράφεται μακριά από αυτές τις θάλασσες) επιτρέποντας έτσι να εξελιχθούν με ένα εκθετικό ποσοστό εισαγωγής αυτών των ειδών στα ελληνικά ύδατα (σχέδιο 2). Αξίζει να αναφερθεί ότι μόνο κατά τη διάρκεια του περασμένου χρόνου 2 είδη, συγκεκριμένα το *Cyanomarginata Haminoea* γαστερόποδων και το δίλοβο *Regulus Malfunundus* έχουν καταγραφεί από τις ελληνικές θάλασσες (Gosliner & φορμών αδημοσίευτων στοιχείων και Giannuzzi-Savelli et Al, 2001 αντίστοιχα).

Ένα σημαντικό σημείο είναι το επιτευχθέν αποτέλεσμα κατά τη σύγκριση της εμφάνισης των εξωτικών ειδών μαλάκιων στις ελληνικές θάλασσες της Μεσογείου. Έξι είδη είναι κόκκινα ενδημικά και ο Ινδο-Ειρηνικός βιόκοσμος της θάλασσας που αρχικά έχουν διακριθεί στα ελληνικά ύδατα και έπειτα στο υπόλοιπο της Μεσογείου. Αυτά είναι το δίλοβο *Corbieri Pseudochama* (πρώτη δημοσίευση το 1946 - Ralu -Tzelepi, 1946), και το *Sanguinolenta Nerita* γαστερόποδων (πρώτη δημοσίευση το 1968 - Nordsieck, 1973), *Mpiformis Rapana* (πρώτη δημοσίευση το 1970 - Barash & Danin, 1988/89), *Fimbriata Mehbe* (πρώτη δημοσίευση το 1982 - Souverbiana Thompson & Crampton, 1984), *Smaragdia* (πρώτη δημοσίευση το 1994 - Buzzurro & Greppi, το 1994). *Cyanomarginata Haminoea* (πρώτη δημοσίευση το 2001 - Goslin & ER & αδημοσίευτα στοιχεία Molo). Με εξαίρεση το *Fimbriata Melibe Opisthobranch*, αυτά τα είδη έχουν μια περιορισμένη διανομή σε ολόκληρη τη Μεσόγειο. Αντίθετα μερικά από τα πρώτα - πρώτα εξωτικά είδη μαλακίων στη Μεσόγειο που εισήγαγε εκείνη την περίοδο στη θάλασσα μέσω του καναλιού Σουέζ, αποίκισε το ανατολικό μέρος της και έγινε τοπικά άφθονη στους μετανάστες *Lessepsian Levantine* δηλαδή, όπως τα δίλοβα *Pharaonis Brachidontes* ειδών, το *Radiata Pinctada*, το *Regula Malvufundus* και το γαστερόποδο *Murexforskoehli Prosobranch*, έχουν εμφανιστεί στα ελληνικά ύδατα με μια χρονική κλίμακα 60 έως 98 ετών (σχέδιο 3). Το υπόλοιπο τόξο ψηλαφείται βαθμιαία με ένα επιταχυνόμενο ρυθμό αύξησης (σχέδιο 3).

Ζωογραφικά σχέδια των εξωτικών ειδών μαλάκιων

Η πλειοψηφία των εξωτικών ειδών μαλακίων (21) έχει καταγραφεί στο Αιγαίο Πέλαγος, ενώ ο αριθμός ειδών που καταγράφεται από το υπόλοιπο των ελληνικών θαλασσών είναι μάλλον μικρός δηλ. 4 ..2 και 1 είδη έχουν αναφερθεί στο Ιόνιο Πέλαγος, στη θάλασσα των Κυθήρων και στη Λυβική θάλασσα αντίστοιχα (σχέδιο 4).

Μέσα στο Νότιο Αιγαίο Πέλαγος δύο σημαντικά συστατικά θα μπορούσαν να διακριθούν. Ένα στην περιοχή του Περσικού, Σαρωνικού και Αργολικού Κόλπου, που είναι στη διαδρομή πολλών σκαφών προς τον Πειραιά – ο μεγαλύτερος Ελληνικός λιμένας και δεύτερο από τα νησιά των Δωδεκανήσων που βρίσκονται κοντά στη λεκάνη *Levantine* τον κύριο τομέα της διανομής των εξωτικών ειδών μέσα στη Μεσόγειο (σχέδιο 5), όσο αφορά το Βόρειο Αιγαίο πάλι, δύο σημαντικά τμήματα μπόρεσαν να είναι ένα στον Περσικό Κόλπο, ένα στον Θερμαϊκό Κόλπο και ένα στον Ευβοϊκό Κόλπο, που είναι περιοχές όπου σημαντικοί λιμένες βρίσκονται (Θεσσαλονίκη και Χαλκίδα αντίστοιχα).

Συζήτηση

Σύμφωνα με τις ανωτέρω πληροφορίες 26 εξωτικά μαλάκια είδη έχουν συλλεχθεί στις Ελληνικές θάλασσες κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών. Αυτά τα είδη ανήκουν στην υποκατηγορία των γαστερόποδων (16 από τα 650 γνωστά είδη στις Ελληνικές θάλασσες - koutsoubas, 1992 AI CT KOUTSOUBAS, 1999 ..2000) και στην υποκατηγορία Bivalvia (10 εκτός από 300 γνωστά είδη σε αυτά τα ύδατα - Zenetos, 1997). Τα γενικά, εξωτικά είδη μαλακίων περιλαμβάνουν λιγότερο από 2,4% του συνολικού αριθμού ειδών μαλακίων που καταγράφεται μέχρι τώρα στα Ελληνικά ύδατα (1095 είδη – Delamotte & Vardala – Theodorou, 2001).

Ένα σημαντικό πρόβλημα κατά το εξέταση των εξωτικών ειδών μαλακίων είναι να απομακρυνθούν τα Μεσογειακά είδη, που εμφανίζονται επίσης στην Ινδο-Ειρηνική περιοχή, ως "tethyan relicts" (Cattaneo-Vietti & Thompson, το 1989). Μια αναθεώρηση των παλαιοντιλογικών αρχείων δείχνει ότι κανένα από τα εξωτικά είδη μαλακίων που αναφέρθηκαν τόσο μακριά από τα Ελληνικά ύδατα δεν ήταν παρόν στην περιοχή κατά τη διάρκεια του πλειστόκαινου. Ήταν τα προαναφερθέντα είδη παρόντα στη Μεσόγειο στις προηγούμενες γεωλογικές περιόδους, πρέπει να βρεθούν ως απολιθώματα είτε κάτω από την πρόσφατη μέση στάθμη θάλασσας, εάν έζησαν κατά τη διάρκεια του τελευταίου, είτε επάνω από τη μέση στάθμη θάλασσας, εάν έζησαν κατά τη διάρκεια των θερμών περιόδων. Στην αναθεώρηση της λογοτεχνίας που αναφέρεται στα ανώτερα πλειστόκαινα θαλάσσια απολιθωμένα μαλάκια, από τις θερμές περιόδους Eutyrrhenian και Neotyrrhenian στις Ελληνικές θάλασσες, τα προαναφερθέντα είδη δεν εμφανίστηκαν ως απολιθώματα (VARDALA -Theodorou, 1999). Αυτό υπονοεί ότι αυτά τα εξωτικά είδη μαλακίων που βρίσκονται μέχρι τώρα στις Ελληνικές θάλασσες δεν είναι του παρελθόντος αν και η περιοχή καναλιών Σουέζ δεν υπερβαίνει το ύψος των 23 μέτρων επάνω από τη μέση στάθμη της θάλασσας και δεν υπάρχει καμία τεκμηρίωση μέχρι τώρα για μια σύνδεση της Κόκκινης θάλασσας και της Μεσογείου κατά τη διάρκεια μιας από τις προαναφερθείσες θερμές περιόδους όταν η στάθμη θάλασσας ήταν πολύ υψηλότερη.

Η πλειοψηφία του εξωτικού παρόντος ειδών μαλακίων (61%) στα Ελληνικά ύδατα, προέρχεται από την Ινδο-Ειρηνική περιοχή ή διανέμεται σε αυτούς τους ωκεανούς και την κόκκινη θάλασσα. Το επόμενο σημαντικό συστατικό είναι ενδημικό κόκκινης θάλασσας (19%). Μία παρόμοια ανάλυση αντιπροσωπεύει όχι μόνο τα εξωτικά μαλάκια αλλά και τα εξωτικά θαλάσσια είδη διαφορετικών ταξών και στη γλωρίδα και την πανίδα που καταγράφονται τόσο μακριά από τη Μεσόγειο συνολικά ή τις διαφορετικές λεκάνες εκείνης της θάλασσας (ΗΠΑ, 1978). Μόνο τέσσερα από τα 26 εξωτικά μαλάκια στις Ελληνικές θάλασσες συγκεκριμένα το *Fornicata Crepidula* γαστερόποδων *Prosobranch*, το *Emerioni Polyceretla* *Opisthobranch* και τα *Pholadiformis Petricola* δίθυρων και *Arenaria Mya* είναι είδη που προέρχονται από τον Ατλαντικό που πρέπει να επεκτείνουν τη διανομή τους μέσω των διαφορετικών διαβάσεων στη Μεσόγειο. Αυτό το σημείο ενισχύει τις προηγούμενες δηλώσεις συντακτών ότι αν και η σημαντικότερη ομάδα των εξωτικών ειδών που εισβάλλουν στη Μεσόγειο είναι ο βιόκοσμος Erythrean, η ανακάλυψη κάθε νέου είδους στον κατάλογο των εξωτικών ειδών γλωρίδας και πανίδας πρέπει να ερμηνευθεί με την προσοχή και η προέλευσή της εξετάζεται προσεκτικά (ZIBROWIUS – 1992, GALIL 2000).

Η κατασκευή ενός καναλιού μεταξύ του Ανατολικού, του Μεσογειακού και του κόλπου του Σουέζ, σύνδεσε δύο βιογεωγραφικές περιοχές, η Ατλαντικού-Μεσογείου και Ινδο-Ειρηνικού και μολυβδόυχος εισβολή του βιόκοσμου Erythrean στη Μεσόγειο. Αυτή η διαδικασία για την οποία POR (1978) έπλασε τον όρο "Μετανάστευση

Lessepsian" έχει το προβάδισμα, και οδηγεί ακόμα, στις αλλαγές της πανίδας στη Μεσόγειο (Zibrowius, 1992). Ο Oliverio (1995) έχει συζητήσει τη χρήση του όρου "μετανάστευση Lessepsian" και έχει καταλήξει στο συμπέρασμα ότι αυτό δεν πρέπει να χρησιμοποιηθεί αδιακρίτως για οποιαδήποτε είδη Ινδο-Ειρηνικής προέλευσης που βρίσκεται στη Μεσόγειο. Μια λογική χρήση του όρου είναι για τα είδη που έχουν διέλθει μέσω του καναλιού του Σουέζ και έχουν διαδοθεί έπειτα σταδιακά στη Μεσόγειο. Είναι από αυτή την άποψη σχεδόν το 35% των Ελληνικών εξωτικών ειδών μαλάκιων (*Nenta sanguinolenta*, *Acteocina mucronata*, *Haminoea cyanomarginata*, *Smaragdia souverbiana*, *Rapana rapiformis*, *Bullet ampulla*, *Melibe fimbriatd*), τα οποία είναι επίσης επιτυχή το ίδιο στο κανάλι που θεωρείται ως «Μετανάστευση Lessepsian».

Τα μαλάκια είναι μια από τις κύριες ομάδες της μετανάστευσης Lessepsian, μαζί με τα καρκινοειδή και τα ψάρια (PoR & Dimentman, 1989). Άλλα επτά ενδημικά είδη της Κόκκινης Θάλασσας ή με Ινδο-Ειρηνικά είδη μαλάκιων προέλευσης (*sanguinolenta* *Nenta*, *mucronata* *Acteocina*, *cyanomarginata* *Haminoea*, *souverbiana* *Smaragdia*, *rapiformis* *Rapana*, *ampulla* σφαιρών, *Melibe fimbriatd*) υποψιάζονται για να έχουν διαπεράσει μέσω της ίδιας διάβασης, αλλά λόγω κανενός αρχείου ενημερωμένου στο κανάλι Σουέζ και μια περιορισμένη διανομή τη σε ολόκληρη Μεσόγειο ένας τρόπος Lessepsian εισαγωγής δεν μπορεί να τεκμηριωθεί. Αυτά τα είδη είναι ταξινομημένα ως πιθανό Lessepsians.

Είναι ευρέως γνωστό ότι εκτός από την εισαγωγή μέσω του καναλιού Σουέζ, τα επόμενα σημαντικά διανύσματα των εισαγωγών του εξωτικού θαλάσσιου βίκοσμου στην Ανατολική Μεσόγειο (Gaul & Zenetos, 2002). Αυτό το σχέδιο ισχύει επίσης για τα εξωτικά είδη μαλάκιων που καταγράφονται μέχρι τώρα στα Ελληνικά ύδατα, αν και να είσαι σε πρόγραμμα περαιτέρω έρευνας που απαιτείται. Η ναυτιλία έχει θεωρηθεί διανυσματική στην εισαγωγή για το είδος *Emerloni Polycerella* μαλάκιων οπισθοβρόγχιων και υδατοκαλλιέργεια για τα δίλοβα *crassostrea* των γιγαντιαίων ειδών. Εντούτοις, η μεταφορά μέσω των εμπορικών οδών και των θαλασσών θεωρούνται ενδεχομένως ως τα διανύσματα της εισαγωγής των εξωτικών ειδών μαλάκιων στα Ελληνικά ύδατα για ορισμένες περιπτώσεις για τις οποίες ένα σχέδιο εισαγωγής δύο-τρόπων έχει υποτεθεί, όπου το αληθινό διάνυσμα είναι ακόμα άγνωστο. Ακόμα κι αν αυτά τα δύο διανύσματα δεν είναι τα αληθινά διανύσματα της εισαγωγής των εξωτικών ειδών μαλάκιων στα διαφορετικά μέρη των Ελληνικών θαλασσών, μπορεί να υποστηριχθεί ότι αυτά μπορεί να είχαν ενεργήσει σε συνδυασμό με άλλες διαβάσεις των εισαγωγών. Οι αμφίβολες περιπτώσεις πέρα από τις οποίες οι επιστήμονες υποστηρίζουν είναι το *Persicus Strombus* γαστερόποδων *Prosobranch* και η δίλοβη *Fulvia Fragilis*, έχει διενεργηθεί η μετανάστευση Lessepsian έχει προταθεί από ορισμένους αρθρογράφους (Passamonti, 1996, Gailil & Zenetos, 2002) ενώ έχει προταθεί και για τη ναυτιλία (OLIVERIO, 1995). Το *Fornicata Crepidula* ειδών, το *Venosa Rapana*, το *Detniri Anadara*, τα *Pholadiformis Petricola* και *Arenaria Mya*, ακόμα κι αν σε αυτήν την μελέτη το διάνυσμα εισαγωγής τους έχει χαρακτηριστεί όπως άγνωστο, η εύρεσή τους στις περιοχές των Ελληνικών θαλασσών κοντά σε σημαντικούς λιμένες (Πειραιάς, Θεσσαλονίκη) ενισχύουν το σημείο ότι η ναυτιλία πρέπει να θεωρηθεί ως αληθινό διάνυσμα της εισαγωγής αυτών των ειδών στα Ελληνικά ύδατα. Το είδος *Radiala Pinctada* στρειδιών, έχει εισαχθεί στα ελληνικά ύδατα για την υδατοκαλλιέργεια (Siirbetls, 1963 Kalopissts, 1982) και οι βιώσιμοι πληθυσμοί στις άγριες περιοχές έχουν καθιερωθεί επιτυχώς, αλλά η προοδευτική διείσδυση μέσω του καναλιού Σουέζ δεν πρέπει να αποκλειστεί δεδομένου ότι το είδος έχει καταγραφεί σε άλλες περιοχές του Ανατολικού του Μεσογειακού χώρου και αυτό βρέθηκε πρόσφατα στο νησί της Ρόδου στις περιοχές όπου η υδατοκαλλιέργεια είναι

απούσα για να προαγάγει στο βαθμό που η συζήτηση σχετικά με τα υπαγόμενα νέα συμπεράσματα οδηγεί στο να θεωρηθεί με το σκεπτικισμό ακόμα και είδη ενασχόλησης που αναμφισβήτητα θεωρούνται ως αληθινοί μετανάστες Lessepsian. Όσον αφορά σε ένα παράδειγμα τα μικρά Pharaonis Brachidontes μυδιών, ένα είδος που προέρχεται από τον Ινδικό Ωκεανό και διαδίδεται ευρέως σε όλη την Κόκκινη θάλασσα (Oliver, 1992) ήταν μεταξύ των πρώτων μεταναστών που παρατηρήθηκαν στην Ανατολική Μεσόγειο. Με βάση την προέλευση των ειδών και της παρούσας προοδευτικής διεισδυτικής διανομής του μέσω του καναλιού του Σουέζ, ήταν προφανές ως εκ τούτου ο χαρακτηρισμός του δεδομένου ότι ένας μετανάστης Lessepsian δεν ήταν αμφισβητήσιμος. Για εκείνο τον λόγο ακόμη και σε αυτήν την μελέτη το είδος έχει περιληφθεί στην κατηγορία ειδών για την οποία το διάνυσμα της εισαγωγής είναι μέσω του καναλιού Σουέζ. Εντούτοις, τα προκαταρκτικά αποτελέσματα των μοριακών μελετών έχουν δείξει ότι ακόμη και οι κόκκινοι γενότυποι θάλασσας είναι παρόντες στη Μεσόγειο, οι μη-κόκκινοι γενότυποι θάλασσας είναι αρκετά κοινοί, δεδομένου ότι η θάλασσα είναι και η συχνότητα των πιο πρόσφατων αυξήσεων δεδομένου ότι παίρνουμε το όριο από το κανάλι Σουέζ (Abelson, pers. commun.). Αυτό προτείνει ότι η μεταφορά σκαφών από όπου μπορεί να είχε εμφανιστεί για αυτό το είδος που μάλλον είναι φυσική η μετανάστευση μέσω του καναλιού Σουέζ. Η σημασία αυτών των δύο διανυσμάτων και ειδικότερα της ναυτιλίας στην εισαγωγή των ειδών μαλάκιων σε μια περιοχή των Ελληνικών θαλασσών επεκτείνεται πέρα από τα εξωτικά είδη, δεδομένου ότι αυτά τα διανύσματα μπορεί να είχαν συμβάλει επίσης στην εισαγωγή ειδών αρχικά εγγενής σε ένα περιορισμένο μέρος της Μεσογείου. Μια τέτοια περίπτωση είναι αυτή με το πνευμονοφόρο γαστερόποδο Siphonaplectinata (Linnaeus, 1758), που περιορίζεται αρχικά στη θάλασσα Alboran και οι δυτικές ακτές της Αλγερίας και τώρα αναπτύσσεται στον κόλπο του Σαρωνικού στο Νότιο Αιγαίο (Gofas & Zenetos, αδημοσίευτα στοιχεία).

Το φαινόμενο της εισβολής των εξωτικών ειδών μαλάκιων στα Ελληνικά ύδατα έχει αυξηθεί στις πρόσφατες δεκαετίες με σχεδόν 46% των ειδών, αναφερόμενος μετά από τη δεκαετία του '90, αυτό είναι σε συμφωνία με αυτό που έχει δηλωθεί για το **ποσοστό βιολογικών εισβολών** σε ολόκληρη τη Μεσόγειο (Gaul, 2000). Το αυξανόμενο ποσοστό εισβολής του εξωτικού μαλάκιου στις Ελληνικές θάλασσες θα μπορούσε να είναι το αποτέλεσμα μιας σύμπραξης των διαφορετικών λόγων. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 20 ετών και ειδικά μετά από τη δεκαετία του '90 υπάρχει εντατική έρευνα για το θαλάσσιο βιόκοσμο των Ελληνικών θαλασσών με τα μαλάκια συμπεριλαμβανόμενα. Οι αυξανόμενες ανθρωπογενείς δραστηριότητες στις Ελληνικές θάλασσες κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας όπως η υδατοκαλλιέργεια και ο τουρισμός (συμβάλλοντας παράγοντες στην αύξηση της θαλάσσιας κυκλοφορίας) πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη.

Μεταξύ των Ελληνικών θαλασσών, το Αιγαίο είναι αυτό όπου η πλειοψηφία των εξωτικών ειδών μαλάκιων διανέμεται (21 από τα 26 είδη). Αυτό πρέπει να αποδοθεί στο γεγονός ότι αυτή η θάλασσα είναι σύνθετη όσον αφορά τη γεωγραφία και την κατώτατη τοπογραφία (Theocharis et al., 1993), ενώ οι περιβαλλοντικές συνθήκες (μηνιαία σήμανση της σειράς της αλατότητας επιφάνειας του 31.0-39.0 ppt και των θερμοκρασιών 8°C στο Βορρά κατά τη διάρκεια του χειμώνα σε 26°C στο Νότο κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού - Poulos et al., 1997) είναι ευνοϊκές για τη διανομή και την τακτοποίηση αυτών των ειδών. Επιπλέον, το Αιγαίο είναι σε στενή εγγύτητα με τη λεκάνη Levantine, η οποία είναι κατά πολύ η περιοχή με τον υψηλότερο αριθμό εξωτικών ειδών μέσα στη Μεσόγειο, η εισροή του ενδιάμεσου ύδατος Levantine στο Αιγαίο μέσω των στενών Kassos και έπειτα στις άλλες Ελληνικές θάλασσες (kontoyiannis et al., 1999) βεβαίως εμπλουτίζει αυτά τα ύδατα με τα στοιχεία της

Ινδο-Ειρηνικής ή/και Κόκκινης προέλευσης θάλασσας, τα οποία έχουν καθιερωθεί ήδη στη λεκάνη Levantine. Τέλος, αν και υπάρχουν εντατικές ερευνητικές προσπάθειες στις Ελληνικές θάλασσες εκτός από το Αιγαίο, ειδικά κατά τη διάρκεια των τελευταίων 15 ετών (π.χ. Thompson et al., 1985 Zenetos, 1993, Zenetos et al., 1996, Koutsoubas et al., 2000a), ακόμα, το Αιγαίο είναι η μελετημένη περιοχή (Koutsoubas et al., 1997 Zenetos, 1997). Μέσα στο Αιγαίο, το Νότιο μέρος του είναι η περιοχή όπου τα περισσότερα από τα εξωτικά είδη μαλακίων διανέμονται (19 είδη στο Νότιο Αιγαίο εν αντιθέσει με 7 στο Βόρειο Αιγαίο). Η παρουσία πιο εξωτικών ειδών στο Νότιο μέρος του Αιγαίου μπορεί κυρίως να θεωρηθεί: (i) στους διαφορετικούς φυσικοχημικούς όρους (π.χ. υψηλότερες θερμοκρασίες και αλατότητες που επικρατούν στο Νότιο μέρος), (ii) στην εγγύτητα του Νότιου Αιγαίου με τη λεκάνη Levantine σχετικά με το υδρολογικό καθεστώς μέσα στην Ανατολική Μεσόγειο, δηλαδή θαλάσσια ρεύματα που τρέχουν από τις ακτές του Νότου της Αιγύπτου, αντικυκλωνικά Βόρεια με τις ακτές της Τουρκίας μέχρι το νησί της Ρόδου και έπειτα στο Νότιο Αιγαίο και (iii) η εντατικότερη έρευνα που διεξάγεται στο Νότιο Αιγαίο. Παρά το γεγονός ότι ο αριθμός εξωτικών ειδών μαλάκιων μέσα στο Βόρειο Αιγαίο έχει αυξηθεί την τελευταία δεκαετία, φαίνεται ότι η **Lessepsian μετανάστευση – το σημαντικότερο διάνυσμα της εισαγωγής των εξωτικών ειδών μαλακίων στις ελληνικές θάλασσες** - δεν έχει προχωρήσει ακόμα ένα μέρος του Αιγαίου Πελάγους. Μόνο δύο από τα επτά είδη που καταγράφονται στο Βόρειο Αιγαίο, δηλαδή το *Leachi Bursatella* οπισθοβράγχιων γαστερόποδων και το δίλοβο *Pharaoni Brachidontes* μπόρεσαν να θεωρηθούν ως αληθινοί μετανάστες Lessepsian, ενώ η παρουσία του υπολοίπου των ειδών στην περιοχή του κασσίτερου είναι στις περισσότερες από τις περιπτώσεις που συνδέονται με τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως παραδείγματος χάριν είναι οι υδατοκαλλιέργειες. Η έλλειψη των μεταναστών Lessepsian στη θάλασσα του Βόρειου Αιγαίου, έχει παρατηρηθεί επίσης και για άλλες βενθικές ομάδες όπως το Anthozoans (Vafidis et al, 1994) και τα καρκινοειδή (Koutsoubas et al., 1992).

Ο αριθμός εξωτικών ειδών μαλάκιων που καταγράφεται στις Ελληνικές θάλασσες είναι μέτριος σε σύγκριση με αυτόν που καταγράφεται από άλλους τομείς της Ανατολικής Μεσογείου. Οι περιοχές με το μεγαλύτερο αριθμό εξωτικών ειδών είναι οι Ισραηλινές ακτές (95 είδη), οι ακτές της Νοτιοανατολικής Τουρκίας (68 είδη), Κύπρος (32 είδη), οι ακτές της Αιγύπτου (31 είδη) και οι ακτές του Λιβάνου και της Συρίας (29 είδη). Όλες αυτές οι περιοχές βρίσκονται στη λεκάνη Levantine, η οποία αποτελεί ένα χωριστό υποσύστημα στην Ανατολική Μεσόγειο (Por & Dimentman, 1989), χαρακτηρισμένος από μια βαθιά εξασθένηση πανίδας σε σχέση με το υπόλοιπο της Μεσογείου, αυτή η εξασθένηση έχει αποδοθεί στο συγκριτικά πρόσφατο γεγονός της μετά από την κρίση Messinian, στις πλειστόκαινες κλιματολογικές διακυμάνσεις και ακραίο στις ολιγοτροφικές της λεκάνες (FREDJ, 1974). Επιπλέον υποτίθεται ότι υπάρχουν οι επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες σε εκείνη την λεκάνη, δηλαδή η υψηλή θερμοκρασία και η αλατότητα καθιστούν αυτήν την περιοχή ακατάλληλη για πολλά Δυτικά Μεσογειακά είδη (Sara, 1985). Συνεπώς αυτός ο τομέας της Μεσογείου είναι μια ευνοϊκή θέση για τα τροπικά είδη που φθάνουν εδώ, δεδομένου ότι υπάρχουν λίγα οικολογικά εμπόδια για να αποτρέψουν την καθιέρωσή τους (Galil, 2000). Πράγματι ο βióκοσμος Erythrean που έρχεται κυρίως μέσω του καναλιού του Σουέζ σε εκείνη την θάλασσα τονίζει τον υποτροπικό χαρακτήρα του (Tortonese, 1985), γιατί το 1978 ήταν το πρώτο για να μιμηθεί την υπόθεση ότι οι μετανάστες Lessepsian αντιπροσωπεύουν τουλάχιστον το 10% του καταλόγου των ειδών - της λεκάνης Levantine, ενώ μια παρόμοια αναλογία (9.4%) έχει προταθεί από τον Barash & Danin (1986) για τα μαλάκια που τώρα έχουν αυξηθεί πάνω από 13% (Zenetos et al, 2000). Η εισαγωγή των εξωτικών ειδών έχει αυξηθεί κατά 10% περίπου, τη βιοποικιλότητα

των μαλάκιων κατά μήκος των Λιβανέζικων ακτών όπου από τα 298 καταγραμμένα είδη 29 είναι εξωτικά (Bitar & Kouli-Bitar, 1999, 2001). Σε μια περιορισμένη περιοχή στις ακτές της Νοτιοανατολικής Τουρκίας (περιοχή Tasuku) από το 371 μαλάκια τα 40 είδη ανήκουν στα εξωτικά (Buzzurro & Greppi, 1996). Στην Κύπρο εντούτοις, τα εξωτικά μαλάκια συμβάλλουν κατά 5% μόνο στην ποικιλομορφία των μαλακών ιστών. Από τα 627 γνωστά είδη ενημερωμένα (cecalupo & quadri, 1996; buzzurro & greppi, 1997) μόνο τα 32 είναι εξωτικά (www.ciesrn.org/atlas).

Ένας άλλος λόγος που έχει προταθεί για το χαμηλό αριθμό εξωτικών ειδών μαλάκιων μέσα στους τομείς των λεκανών Levantine της ανατολικής Μεσογείου (KOUTSOUBAS, 1992), είναι η περιορισμένη περίοδος ζωής για τις προνύμφες των πλαγκτονικών μαλάκιων – κατά αναφορά στις φυσικές διαδίδοντας τις ικανότητές τους – που είναι ένας περιορισμός για τη διανομή τέτοιων ειδών στις μεγάλες αποστάσεις. Οι περιοχές που απομονώνονται (λόγω των βαθιών τάφρων) από τις ηπειρωτικές δαπάνες, όπως τα νησιά, είναι δύσκολο να προσεγγιστούν από τα μη γηγενή είδη.

Είναι καλά τεκμηριωμένο ότι η παρουσία εξωτικών ειδών στη Μεσόγειο έχει σημαντικές οικολογικές και οικονομικές επιδράσεις σε εκείνη την θάλασσα (Por & Dimentman 1989, Zibrowius 1992, Gaul 2000). Ο αντίκτυπος ορισμένων εξωτικών ειδών μαλάκιων, που έχουν μπει στη Μεσόγειο μέσω της μετανάστευσης Lessepsian, στις βενθικές κοινότητες των Ισραηλινών ακτών έχει δείχτει από τον Tom & Gaul (1991). Εξετάζοντας αυτά τα ζητήματα για τα εξωτικά είδη μαλάκιων που διανέμονται στις ελληνικές θάλασσες, πρέπει να αναφερθούν το Venosa Rapana των γαστερόποδων Prosobranch που μετά από την καθιέρωσή της στον Θερμαϊκό Κόλπο (Koutsoubas & Voultsiadou-Koukoura, 1991) έχει διαδοθεί έξω και σύμφωνα με τα τοπικά αλιεύματα έχει γίνει μια ιδιαίτερη ενόχληση στα μέρη ύπαρξης στρειδιών και μυδιών στην περιοχή, παρόμοια με αυτό που έχει αναφερθεί για τη Μαύρη Θάλασσα όπου το είδος παρατηρήθηκε αρχικά και καθιερώθηκε σταδιακά (Zibrowius, 1992). Το δίλοβο Demiri Anadara έχει αναφερθεί για να εξουσιάσει τα υποβιβασμένα βενθικά οικοσυστήματα στο Θερμαϊκό Κόλπο της Θεσσαλονίκης (ZENETOS, 1994), ένα γεγονός που ενισχύει την άποψη σχετικά με τον Gaul (2000) ότι **τα μολυσμένα ή φυσικά υποβιβασμένα περιβάλλοντα είναι επιρρεπή σε εισβολές περισσότερο από τις παλαιότερες περιοχές**. Εντούτοις, προκειμένου να ακολουθηθούν ακριβώς και να γίνουν κατανοητές καλύτερα οι αλλαγές στον Ελληνικό θαλάσσιο βίοκοσμο και ειδικότερα τα μαλάκια και τα αυτοχθονα και αλλόχθονα συστατικά του, κάτι που ενδέχεται περαιτέρω έρευνα.

ΣΧΗΜΑΤΑ

ΕΙΚΟΝΕΣ:

Εικόνα 1: Διανύσματα της εισαγωγής των εξωτικών ειδών μαλάκιων που καταγράφεται στις ελληνικές θάλασσες. LES = Μετανάστευση Lessepsian, AQ = Υδατοκαλλιέργεια, SH = Ναυτιλία, UN = άγνωστος.

Εικόνα 2: Ρυθμός της εισαγωγής των εξωτικών ειδών μαλάκιων στις Ελληνικές θάλασσες.

Εικόνα 3: 1^η εμφάνιση των εξωτικών ειδών μαλάκιων στα Ελληνικά ύδατα σε σχέση με την 1^η εμφάνισή τους στη Μεσόγειο θάλασσα.

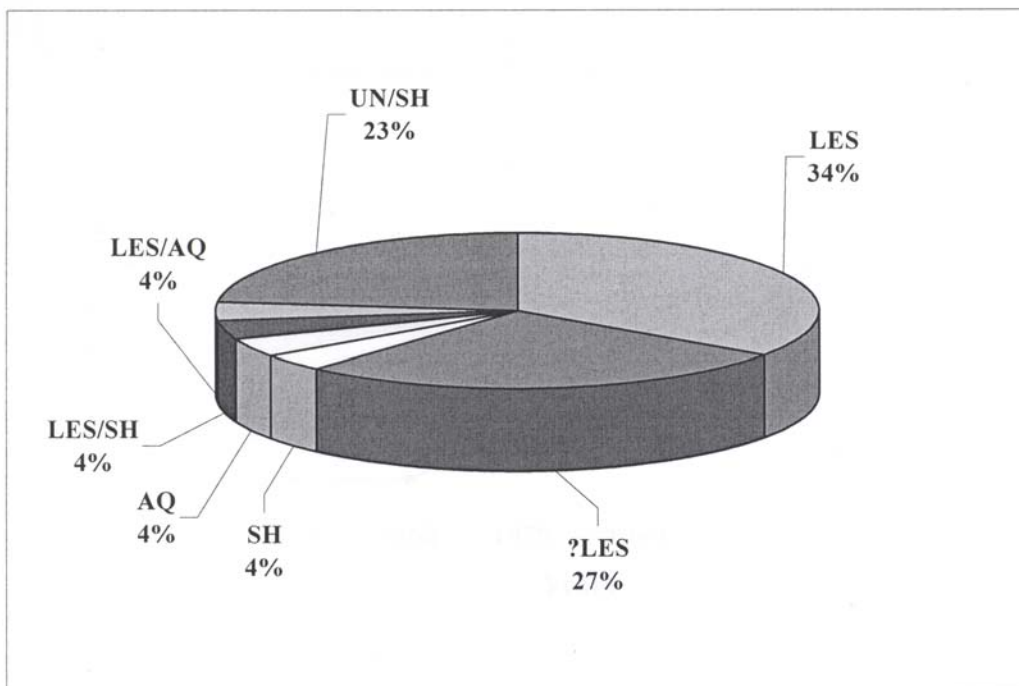
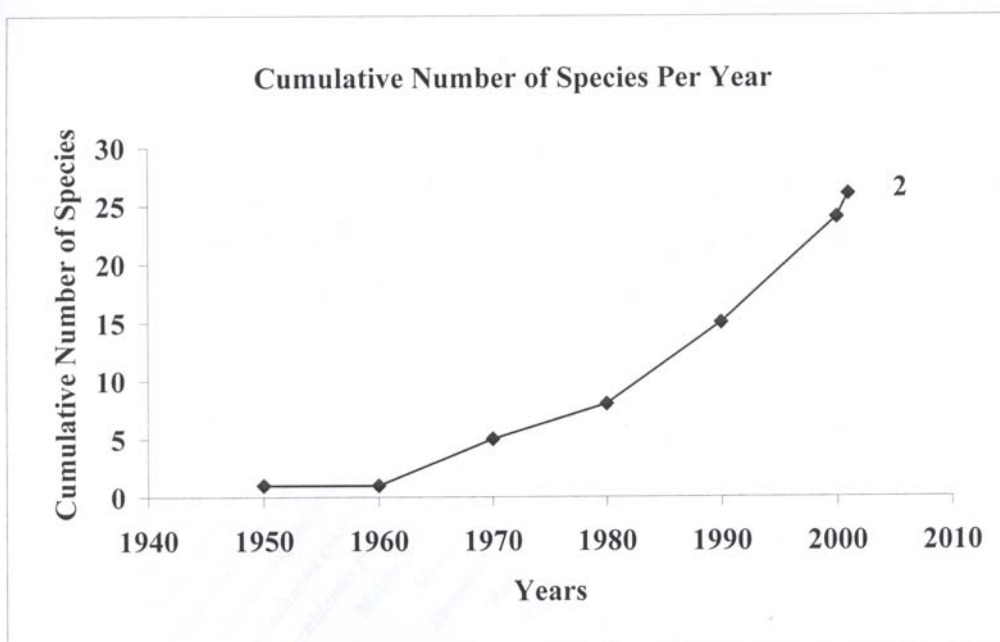
Εικόνα 4: Αριθμός των εξωτικών ειδών μαλάκιων που καταγράφονται από τις διαφορετικές ελληνικές θάλασσες.

Εικόνα 5: Αριθμός των εξωτικών ειδών μαλάκιων που καταγράφονται από τις διαφορετικές περιοχές μέσα στο Νότιο και το Βόρειο Αιγαίο, αντίστοιχα.

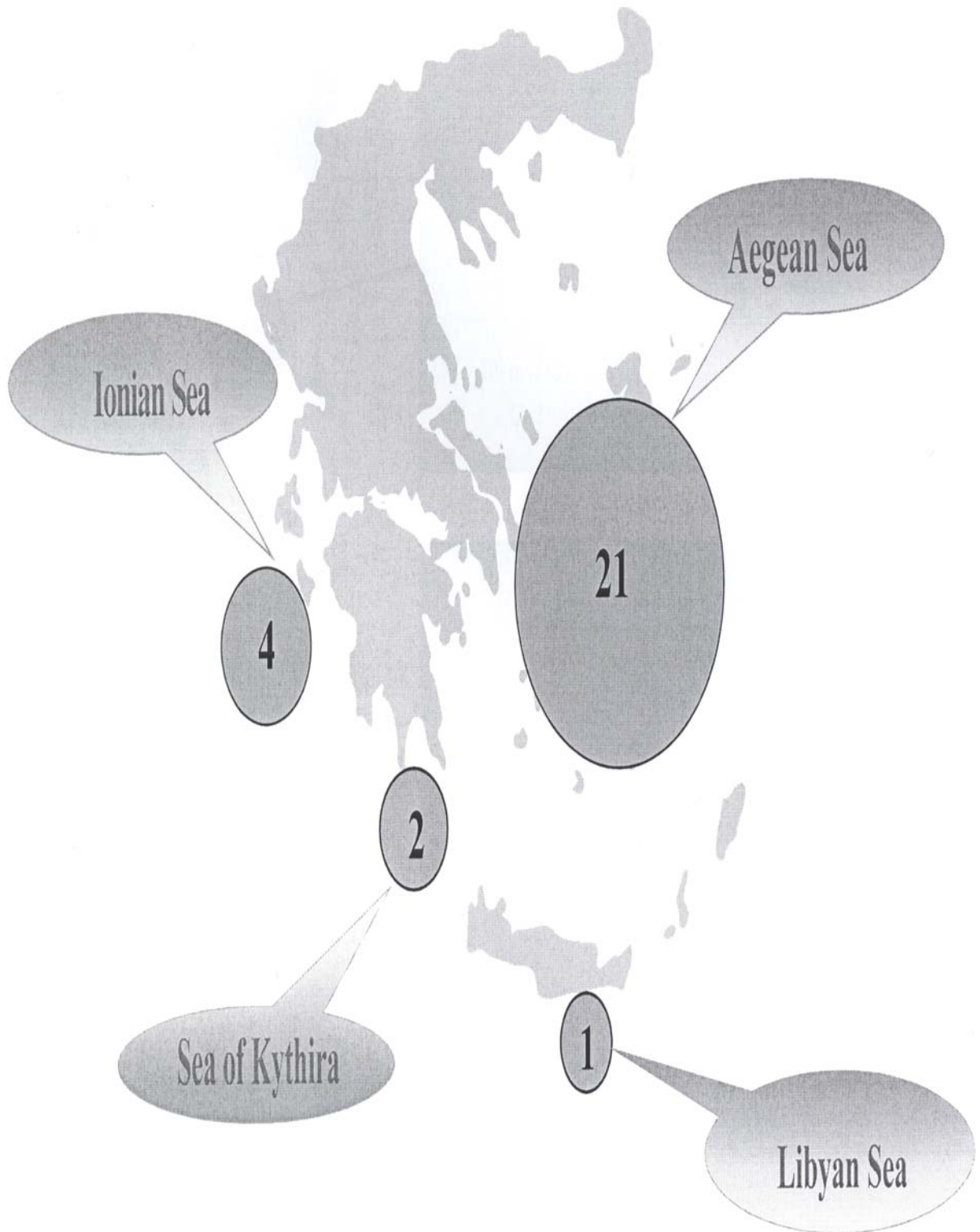
ΠΙΝΑΚΕΣ:

Πίνακας 1: Συμπεράσματα, Αρχεία και Σύνθεση των εξωτικών ειδών μαλάκιων στα Ελληνικές θάλασσες. °: Συλλογές των συντακτών *: Πρόσθετο αρχείο στις Ελληνικές θάλασσες – αυτής της μελέτης, is. = νησί, G = Κόλπος.

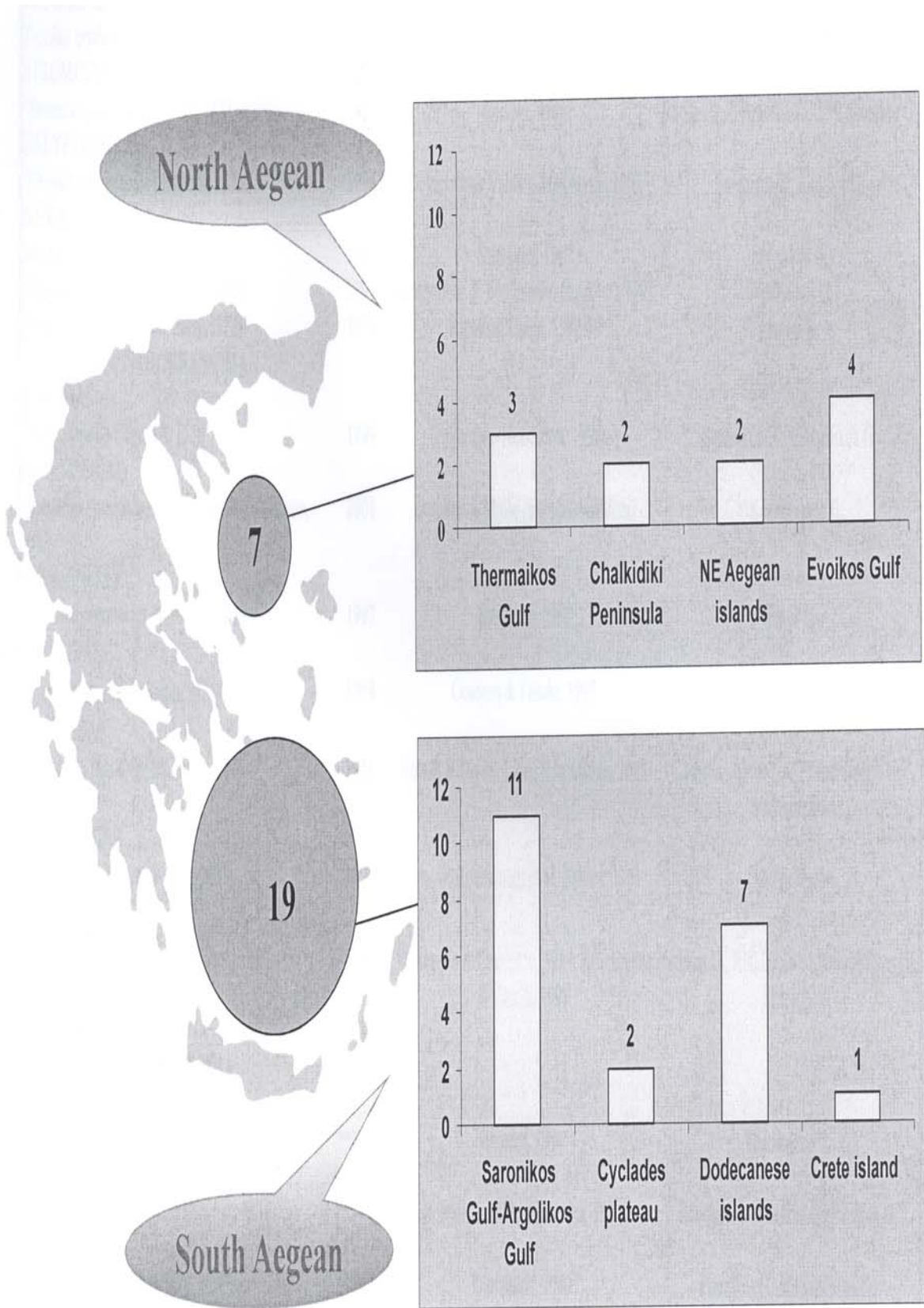
Πίνακας 2: Προέλευση και τρόπος εισαγωγής των εξωτικών ειδών μαλάκιων στις Ελληνικές θάλασσες. IO = Ινδικός Ωκεανός, RS = Κόκκινη θάλασσα, P = Ινδο-Ειρηνικός, AS = Αραβική θάλασσα PG = Περσικός Κόλπος, PO = Ειρηνικός Ωκεανός, EA = Ανατολικός Ατλαντικός, WA = Δυτικός Ατλαντικός.

Εικόνα 1:**Εικόνα 2:**

Εικόνα 4:



Εικόνα 5:



Πίνακας 1:

Exotic Mollusk Species	1 st Finding	Citations in the Greek Seas	Sites of Greek Seas Reported
GASTROPODA PROSOBRANCHIA			
NACELLIDAE			
<i>Cellana rota</i> (Gmelin, 1791)	1989	Fountoulakis & Sabelli, 1999	Saronikos G.
NERITIDAE			
<i>Smaragdia souverbiana</i> (Montrouzier, 1863)	1994	Buzzurro & Greppi, 1994	Rhodes is.
<i>Nerita sanguinolenta</i> Menke, 1829	1968	Nordsieck, 1973	Karpathos is.
TROCHIDAE			
<i>Trochus erythraeus</i> Brocchi, 1821	1994	Cosenza & Fasulo, 1997	Crete is.
STROMBIDAE			
<i>Strombus persicus</i> Swainson, 1821	1986	Nicolay, 1986	Rhodes is., **Argolikos G., **Lakonikos G.
CALYPTRAEIDAE			
<i>Crepidula fornicata</i> (Linnaeus, 1758)	1994	Delamotte & Vardala-Theodorou, 1994	Saronikos G., Evoikos G.
MURICIDAE			
<i>Murex forskoeihli</i> Roeding, 1798	1966	Settepassi, 1967	Saronikos G.
<i>Rapana venosa</i> (Valenciennes, 1846)	1991	Koutsoubas & Voultsiadou-Koukoura 1991	Thermaikos G.
<i>Rapana rapiformis</i> (Von Born, 1778)	1970	Barash & Danin, 1988/89	Rhodes is.
OPISTHOBRANCHIA			
BULLIDAE			
<i>Bulla ampulla</i> Linnaeus, 1758	1999	Vardala-Theodorou, 1999	Saronikos G., **Argolikos G.
HAMINOEIDAE			
<i>Haminoea cyanomarginata</i> Heller & Thompson, 1983	2001	Gosliner & Mollo (<i>unpublished data</i>)	**Korinthiakos G.
CYLICHNIDAE			
<i>Acteocina mucronata</i> (Philippi, 1849)	1997	Storsberg, 1997	Naxos is.
RETUSIDAE			
<i>Cylichna girardi</i> (Audouin, 1826)	1994	Cosenza & Fasulo, 1997	Crete island
APLYSIIDAE			
<i>Bursatella leachi</i> De Blainville, 1817	1986	Barash & Danin, 1986; Koutsoubas, 1992	Chios is., Lesvos is., **Thermaikos G., **Chalkidiki
POLYCERIDAE			
<i>Polycerella emertoni</i> Verrill, 1881	1995	Koutsoubas et al, 2000	Gialova lagoon
TETHYIDAE			
<i>Melibe fimbriata</i> Alder & Hancock, 1864	1982	Thompson & Crampton, 1984; Koutsoubas & Cinelli, 1997	Astakos G., Kefallonia is., Korinthiakos G., Milos is.
BIVALVIA PTEROMORPHIA			
ARCIDAE			
<i>Anadara demiri</i> (Piani, 1981)	**1993	Zenetos, 1994	Thermaikos G.
MYTILIDAE			
<i>Brachidontes pharaonis</i> (Fischer P., 1870)	**1975	Koroneos, 1979; Tenekides, 1989	Rhodes is., Saronikos G., Evoikos G.
OSTREIDAE			
<i>Crassostrea gigas</i> (Thunberg, 1793)	1989	Dimitrakis, 1989	Patraikos G., Korinthiakos G.
PTERIIDAE			
<i>Pinctada radiata</i> (Leach, 1814)	1963	Serbetis, 1963; Nordsieck, 1969; Kalloppissis, 1981; Kinzelbach, 1985; Barash & Danin, 1988/89; Zenetos, 1996	Rhodes is., Karpathos is., Saronikos G., Evoikos G., Lesvos is., **Lakonikos G.
MALLEIDAE			
<i>Malvufundus regulus</i> (Forskål, 1775)	2001	Giannuzzi-Savelli et al., 2001	Simi is.
HETERODONTA			
CHAMIIDAE			
<i>Pseudochama corbieri</i> (Jonas, 1846)	1946	Ralli-Tzelepi, 1946	Saronikos G.
CARDIIDAE			
<i>Fulvia fragilis</i> (Forsskål in Niebuhr, 1775)	1999	Vardala-Theodorou, 1999	Saronikos G.
PETRICOLIDAE			
<i>Petricola pholadiformis</i> Lamarck, 1818	1994	Delamotte & Vardala-Theodorou, 1994	Evoikos G.
MYIIDAE			
<i>Mya arenaria</i> Linnaeus, 1758	**1984	Zenetos et al. 2000	Saronikos G.
GASTROCHAENIDAE			
<i>Gastrochaena cymbium</i> (Spengler, 1783)	**1974	Tenekides, 1989	Saronikos G.

Πίνακας 2:


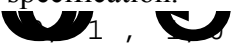
Mollusk Species	Origin	1 st Mediterranean record	Mode of Introduction in Greek Waters
<i>Cellana rota</i> (Gmelin, 1791)	IO, RS	<i>Christiaens, 1967</i> : Akko, Israel	Lessepsian
<i>Smaragdia souverbiana</i> (Montrouzier, 1863)	IP, RS	<i>Buzzurro & Greppi 1994</i> : Rhodes, Aegean	Lessepsian?
<i>Nerita sanguinolenta</i> Menke, 1929	RS	<i>Nordsieck, 1973</i> : Karpathos, Aegean	Lessepsian?
<i>Trochus erythraeus</i> Brocchi, 1821	RS	<i>Barash & Danin, 1973</i> : Shigmona, Israel	Lessepsian
<i>Strombus persicus</i> Swainson, 1821	PG, AS	<i>Nicolay & Romagna-Man, 1983</i> : SE Turkey	unknown/shipping
<i>Crepidula fornicata</i> (Linnaeus, 1758)	WA	<i>Di Natale, 1982</i> : Sicily, Italy	unknown/shipping?
<i>Murex forskoehli</i> Roeding, 1798	RS, AS	<i>Tillier & Bavay, 1905</i> : Port Said, Egypt	Lessepsian
<i>Rapana rapiformis</i> (Von Born, 1778)	IP	<i>Barash & Danin, 1977</i> : Bardawil, Egypt	Lessepsian?
<i>Rapana venosa</i> (Valenciennes, 1846)	PO	<i>Ghisotti, 1974</i> : Black Sea	unknown/shipping
<i>Acteocina mucronata</i> (Philippi, 1849)	RS	<i>Van Aartsen et al 1990</i> : SE Turkey	Lessepsian?
<i>Cylichna girardi</i> (Audouin, 1826)	IP	<i>Mienis, 1976</i> : Bardawil, Egypt	Lessepsian
<i>Bulla ampulla</i> Linnaeus, 1758	IP	<i>Barash & Danin, 1982</i> : Tel Aviv, Israel	Lessepsian?
<i>Haminoea cyanomarginata</i> Hel. & Thompson, 1983	RS	<i>Gosliner & Mollo, (in prep.)</i> : Greek waters	Lessepsian?
<i>Bursatella leachi</i> De Blainville, 1817	IP	<i>O'Donoghue & White, 1940</i> : Israel	Lessepsian
<i>Polycerella emertoni</i> Verrill, 1881	EA	<i>Schmekel, 1965</i> : Fussaro Lagoon, Italy	Shipping
<i>Melibe fimbriata</i> Alder & Hancock, 1864	IP	<i>Thompson & Crampton, 1984</i> : Ionian Sea	Lessepsian?
<i>Anadara demiri</i> (Piani, 1981)	IO	<i>Demir, 1977</i> : Gulf of Izmir, Turkey	unknown/shipping?
<i>Brachidontes pharaonis</i> (Fischer P., 1870)	IO, RS	<i>Fuchs, 1877</i> : Port Said, Egypt	Lessepsian
<i>Crassostrea gigas</i> (Thunberg, 1793)	PO	<i>Raimbault, 1964</i> : French Mediterranean	aquaculture
<i>Pinctada radiata</i> (Leach, 1814)	IP, RS	<i>Monterosato, 1878</i> : Alexandria, Egypt	aquaculture/Lessepsian?
<i>Malvufundus regulus</i> (Forsskål, 1775)	IP, RS	<i>Gruvel & Moazzo, 1931</i> : Lebanon & Syria	Lessepsian
<i>Pseudochama corbieri</i> (Jonas, 1846) *	RS	<i>Ralli-Tzelepi, 1946</i> : Saronikos, Aegean	Lessepsian
<i>Fulvia fragilis</i> (Forsskål in Niebuhr, 1775)	IO, RS	<i>Haas, 1948</i> : Haifa, Israel	Lessepsian/shipping?
<i>Petricola pholadiformis</i> Lamarck, 1818 *	WA	<i>Delamotte & Theodorou, 1994</i> : Aegean	unknown/shipping?
<i>Mya arenaria</i> Linnaeus, 1758	EA	<i>Stora, 1976</i> : Marseilles	unknown/shipping?
<i>Gastrochaena cymbium</i> (Spengler, 1783)	IP, RS	<i>Barash & Danin, 1973</i> : Israel	Lessepsian

Κεφάλαιο 8: Μαθηματικά Προγραμματιστικά Εργαλεία

Module

-
- `Module[x, y, ... , expr]` specifies that occurrences of the symbols x, y, \dots in $expr$ should be treated as local.
-
- `Module[x = x0, ... , expr]` defines initial values for x, \dots .
 - `Module` allows you to set up local variables with names that are local to the module.
 - `Module` creates new symbols to represent each of its local variables every time it is called.
 - `Module` creates a symbol with name $xxx\$nnn$ to represent a local variable with name xxx . The number nnn is the current value of `$ModuleNumber`.
 - The value of `$ModuleNumber` is incremented every time any module is used.
 - Before evaluating $expr$, `Module` substitutes new symbols for each of the local variables that appear anywhere in $expr$ except as local variables in scoping constructs.
 - Symbols created by `Module` carry the attribute `Temporary`.
 - Symbols created by `Module` can be returned from modules.
 - You can use `Module[vars , body / ; cond]` as the right-hand side of a transformation rule with a condition attached.
 - `Module` has attribute `HoldAll`.
 - `Module` is a scoping construct.
 - `Module` constructs can be nested in any way.
 - `Module` implements lexical scoping.

Table

-
- `Table[expr , imax]` generates a list of $imax$ copies of $expr$.
 - `Table[expr , i , imax]` generates a list of the values of $expr$ when i runs from 1 to $imax$.
 - `Table[expr , i , imin , imax]` starts with $i = imin$.
 - `Table[expr , i , imin , imax , di]` uses steps di .
-
- `Table[expr , i , imin , imax , j , jmin , jmax , ...]` gives a nested list. The list associated with i is outermost.
 - `Table` evaluates its arguments in a non-standard way.
 - Example: `Table[f[i], i, 4]` 
 - `Table` uses the standard *Mathematica* iteration specification.
 - Example: `Table[i-j, i, 2, j, 2]` 
 - You can use `Table` to build up vectors, matrices and tensors.

Random

-
- `Random[]` gives a uniformly distributed pseudorandom `Real` in the range 0 to 1.
 - `Random[type , range]` gives a pseudorandom number of the specified type, lying in the specified range. Possible types are: `Integer`, `Real` and `Complex`. The default range is 0 to 1. You can give the range `min , max` explicitly; a range specification of `max` is equivalent to `0 , max`.
 - `Random[Integer]` gives 0 or 1 with probability $\frac{1}{2}$.
 - `Random[Complex]` gives a pseudorandom complex number in the rectangle with corners 0 and $1 + i$.
 - `Random[Complex , zmin , zmax]` uses the rectangle defined by `zmin` and `zmax`.
 - `Random[Real , range , n]` generates an n -digit pseudorandom real number. Both leading and trailing digits may be chosen as 0.
 - `Random` gives a different sequence of pseudorandom numbers whenever you run *Mathematica*. You can start `Random` with a particular seed using `SeedRandom`.

Integer

- `Integer` is the head used for integers.
- `_Integer` can be used to stand for an integer in a pattern.
- Integers can be of any length.
- You can enter an integer in base b using $b^{\wedge}digits$. The base must be less than 36. The letters are used in sequence to stand for digits 10 through 35.

Join

- `Join[list1 , list2 , ...]` concatenates lists together. `Join` can be used on any set of expressions that have the same head.

Map

-
- `Map[f , expr]` or `f /@ expr` applies f to each element on the first level in `expr`.
 - `Map[f , expr , levelspec]` applies f to parts of `expr` specified by `levspec`.
 - Examples: `Map[f , { a , b , c }]` `{ f[a] , f[b] , f[c] }`; `Map[f , a + b + c]` `f[a + b + c]`
 - Level specifications are described in Section.
 - The default value for `levspec` in `Map` is `{1}`.
 - Examples: `Map[f , { { a , b , c , d } }]` `{ f[{ a , b , c , d }] }`; `Map[f , { { a , b , c , d } , 2 }` `{ f[{ a , b , c , d }] , f[{ a , b , c , d }] }`; `Map[f , { { a , b , c , d } , -1 }` `{ f[a] , f[b] , f[c] , f[d] }`.

Slot

-
- `#` represents the first argument supplied to a pure function.
 - `#n` represents the n^{th} argument.

- # is used to represent arguments or formal parameters in pure functions of the form *body*& or `Function[body]`.
- # is equivalent to `Slot[]` or `Slot[1]`.
- #*n* is equivalent to `Slot[n]`. *n* must be a non-negative integer.
- #0 gives the head of the function, i.e., the pure function itself.

Permutations

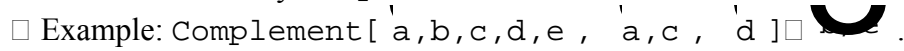
- `Permutations[list]` generates a list of all possible permutations of the elements in *list*.

- Example:

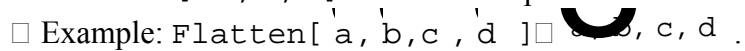
`Permutations['a,b,c']`


- There are $n!$ permutations of a list of n distinct elements.
- Repeated elements are treated as identical.
- The object *list* need not have head `List`.

Complement

- `Complement[eall, e1, e2, ...]` gives the elements in *eall* which are not in any of the e_i .
- The list returned by `Complement` is sorted into standard order.
- Example: `Complement['a,b,c,d,e', 'a,c', 'd']`

- `Complement[eall, e1, ..., SameTest->test]` applies *test* to each pair of elements in *eall* and the e_i to determine whether they should be considered the same.

Flatten

-
- `Flatten[list]` flattens out nested lists.
 - `Flatten[list, n]` flattens to level *n*.
-
- `Flatten[list, n, h]` flattens subexpressions with head *h*.
 - Example: `Flatten['a, 'b, c, 'd]`

 - `Flatten` “unravels” lists, effectively just deleting inner braces.
 - `Flatten[list, n]` effectively flattens the top level in *list* *n* times.
 - `Flatten[f[e, ...]]` flattens out subexpressions with head *f*.

FixedPoint

- `FixedPoint[f, expr]` starts with *expr*, then applies *f* repeatedly until the result no longer changes.
- `FixedPoint[f, expr, n]` stops after at most *n* steps.
- `FixedPoint` always returns the last result it gets.
- You can use `Throw` to exit from `FixedPoint` before it is finished.
- `FixedPoint[f, expr]` applies `SameQ` to successive pairs of results to determine whether a fixed point has been reached.

- `NestWhile[f, expr, comp, 2]` uses a general comparison function.

FunctionInterpolation

□ `FunctionInterpolation[expr, x, xmin, xmax]` evaluates `expr` with `x` running from `xmin` to `xmax` and constructs an `InterpolatingFunction` object which represents an approximate function corresponding to the result.

□ `FunctionInterpolation[expr, x, xmin, xmax, y, ymin, ymax, ...]` constructs an `InterpolatingFunction` object with several arguments.

□ You can use `FunctionInterpolation` to generate a single `InterpolatingFunction` object from an expression containing several such objects.

□ The option `InterpolationPrecision` specifies the precision of values to be returned by the `InterpolatingFunction` generated.

LatticeReduce

□ `LatticeReduce[v1, v2, ...]` gives a reduced basis for the set of vectors v_i .

□ The elements of the v_i can be integers, Gaussian integers, or Gaussian rational numbers.

RotateRight

□ `RotateRight[expr, n]` cycles the elements in `expr` n positions to the right.

□ `RotateRight[expr]` cycles one position to the right.

□ `RotateRight[expr, n1, n2, ...]` cycles elements at successive levels n_i positions to the right.

□ Example: `RotateRight[a, b, c, 1]`.

□ `RotateRight[expr, -n]` rotates n positions to the left.

Thread

`Thread[f[args]]` “threads” `f` over any lists that appear in `args`.

□ `Thread[f[args], h]` threads `f` over any objects with head `h` that appear in `args`.

□ `Thread[f[args], h, n]` threads `f` over objects with head `h` that appear in the first n `args`.

□ `Thread[f[args], h, -n]` threads over the last n `args`.

□ `Thread[f[args], h, m, n]` threads over arguments m through n .

□ Example: `Thread[f[a, b, c, d, e]]`.

□ Functions with attribute `Listable` are automatically threaded over lists.

□ All the elements in the specified `args` whose heads are `h` must be of the same length.

□ Arguments that do not have head `h` are copied as many times as there are elements in the arguments that do have head `h`.

Generalised functions and derivatives

We are going to use generalised functions to solve inhomogeneous differential equations. In manipulations we will often need the derivative, $G'(x)$, of a generalised function, $G(x)$. This derivative is defined by

$$\int_{-\infty}^{\infty} G'(x)\phi(x) dx = - \int_{-\infty}^{\infty} G(x)\phi'(x) dx$$

for all test functions $\phi(x)$. This is essentially integration by parts (since test functions vanish at $\pm\infty$). The right-hand-side of this equation is always known since $G(x)$ is defined in terms of its action on test functions through integrals and if ϕ is a test function so too is ϕ' .

In this sense we have

$$H'(x) = \delta(x)$$

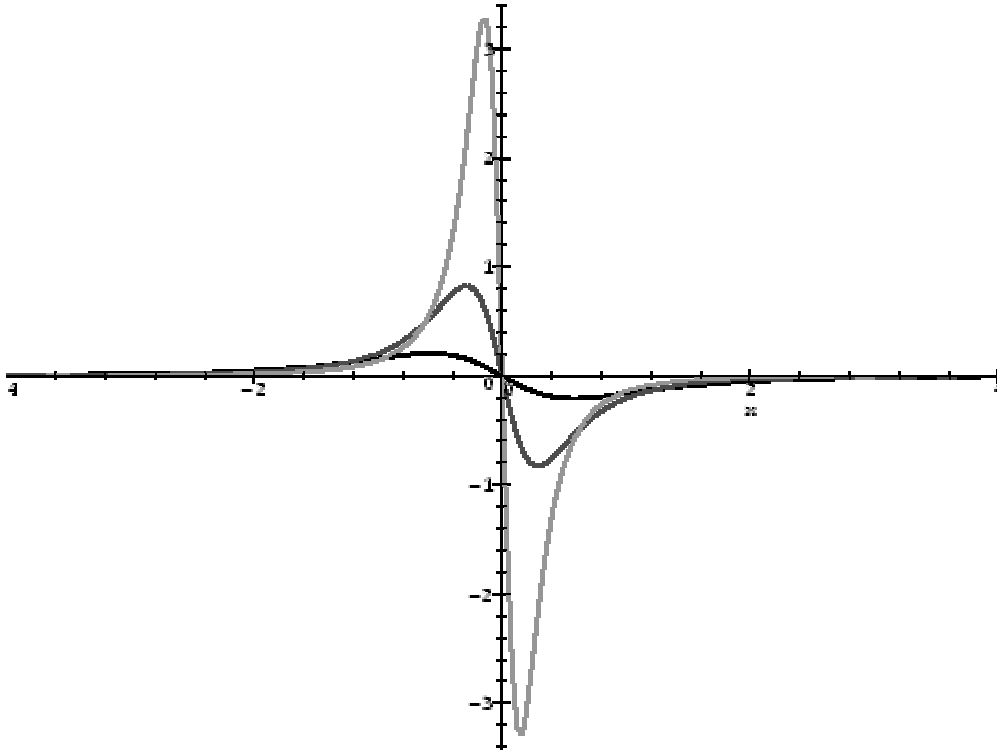
because

$$\int_{-\infty}^{\infty} H'(x)\phi(x) dx = - \int_{-\infty}^{\infty} H(x)\phi'(x) dx = - \int_0^{\infty} \phi'(x) dx = -\phi(x)|_0^{\infty} = \phi(0).$$

Similarly, it is easy to show that the generalised sine and cosine functions $S(x)$ and $C(x)$ satisfy the usual rules

$$S'(x) = C(x), \quad C'(x) = -S(x).$$

Figure: Sequence of functions converging to the derivative of the delta function.



The derivative of the delta function, $\delta'(x)$, is defined by

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta'(x) \phi(x) dx = - \int_{-\infty}^{\infty} \delta(x) \phi'(x) dx = -\phi'(0)$$

for all test functions $\phi(x)$.

We can also think of the derivative of the delta function as being the limit of a sequence of functions such as

$$\delta'(x) = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{d}{dx} \frac{1}{\pi} \frac{\epsilon}{\epsilon^2 + x^2} = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} -\frac{2}{\pi} \frac{\epsilon x}{(\epsilon^2 + x^2)^2}$$

as shown in figure, which shows that $\delta'(x)$ represents a dipole of unit strength.

Properties of the δ -function

All of the following properties are a consequence of the definition of the delta function and the normal properties of integrals:

1.

$$\int_{-\infty}^{\infty} \phi(x) \delta(x) dx = \phi(0)$$

2.

$$\int_{-\infty}^{\infty} \phi(x) \delta(x - a) dx = \phi(a)$$

3.

$$\delta(-x) = \delta(x)$$

4.

$$\delta(ax) = \delta(x)/|a|$$

5.

$$\delta(a^2 - x^2) = (\delta(x - a) + \delta(x + a))/2|a|$$

6.

$$x\delta(x) = 0$$

7.

$$g(x)\delta(x) = g(0)\delta(x)$$
 provided $g(x)$ is continuous and $g(0)$ exists.

8.

$$H'(x) = \delta(x), \quad H(x) = \int_{-\infty}^x \delta(x) dx$$

9.

$$\delta'(x)$$
 is defined by $\int_{-\infty}^{\infty} \delta'(x)\phi(x) dx = -\phi'(0)$

10.

$$(g(x)\delta(x))' = g(0)\delta'(x)$$

Example: Let us take a closer look at (v). Consider $\delta(a^2 + x^2)$ as a generalised function and let it operate on a test function $\phi(x)$, i.e. evaluate

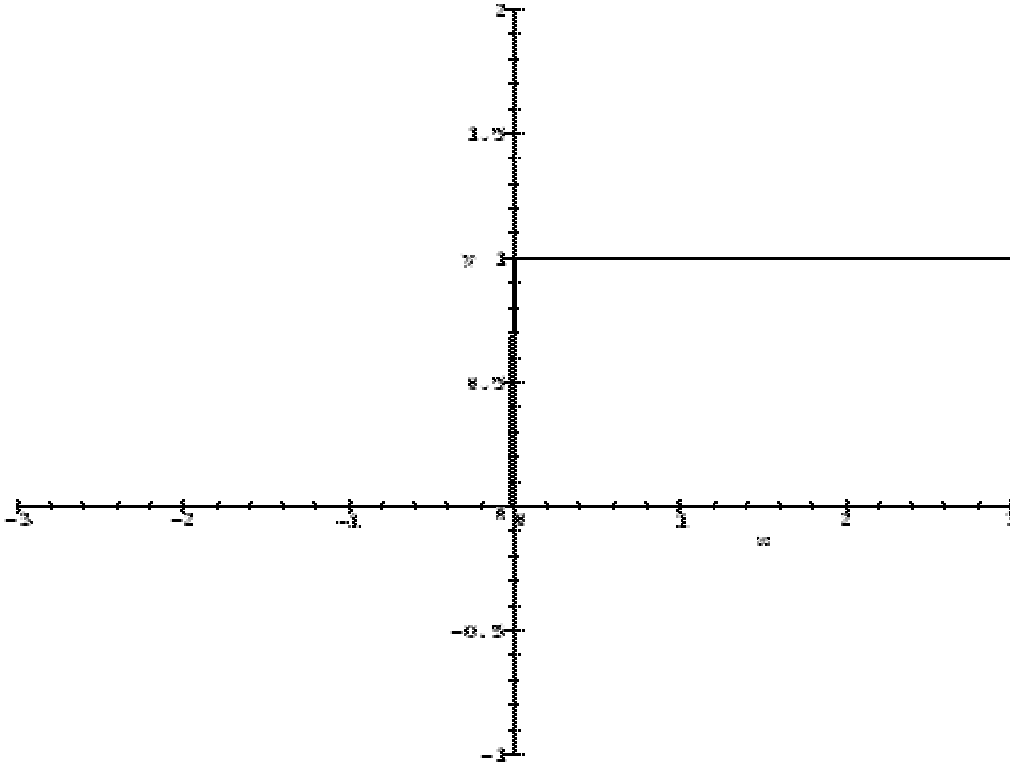
$$I = \int_{-\infty}^{\infty} \phi(x)\delta(a^2 + x^2) dx$$

Change variables to $y = a^2 - x^2$ and use

$$x = \sqrt{a^2 - y} \quad \text{for } x > 0$$

$$x = -\sqrt{a^2 - y} \quad \text{for } x < 0$$

The Heaviside function

Figure 1.2: The Heaviside function.

The (unit) Heaviside function $H(x)$ can be defined by either of

$$H(x) = \begin{cases} 1 & x > 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases} \quad \text{or} \quad \int_{-\infty}^{\infty} H(x)\phi(x) dx = \int_0^{\infty} \phi(x) dx$$

for all test functions $\phi(x)$.

We have

$$H(x) = \int_{-\infty}^x \delta(y) dy,$$

see figure [1.2](#).

In applications the Heaviside function is often used as a "switch".

For example, it can be used to mathematically model an electrical circuit where the power is switched on at a specific moment in time.

Κεφάλαιο 9: Γιατί χρησιμοποιούμε το Mathematica για τον Αυτόματο Κυτταρικό Μοντελισμό [Cellular Automata Modeling]?

Υπάρχει ένας αριθμός χαρακτηριστικών της γλώσσας προγραμματισμού της Mathematica που την κάνει ειδικά κατάλληλη για την αποστολή της εγγραφής των Cellular Automata προγραμμάτων:

- Το Mathematica είναι βασικά ένας Όρος Επανεγγραφής του Συστήματος (TRS, Term Rewriting System) βασισμένο σε ταιριαστά σχέδια.

Η χρήση των κανόνων “pattern-matched rewrite” μας επιτρέπει να καθορίσουμε τις συναρτήσεις, γνωστών ως CA (Cellular Automata) κανόνων, για να αποφανθούμε για το βασικό τμήμα ενός CA προγράμματος, επακριβώς και εύκολα.

- Το Mathematica μπορεί να διαχειριστεί επιδέξια δομές στοιχείων με πληρότητα, σχετικά καλύτερα σε μία σταδιακή μεταμόρφωση.

Η APL-like δυνατότητα να εργαζόμαστε με όλες τις διευκολύνσεις ενός πίνακα, (π.χ. θεώρηση των θέσεων του πίνακα ή εκτέλεση αριθμητικής εφαρμογής πάνω στα αντίστοιχα πλεονεκτήματα διαφορετικών εξισώσεων) επιτρέποντάς μας να γράψουμε CA προγράμματα τα οποία είναι εντελώς περιεκτικά και περισσότερο αναγνώσιμα.

- Το Mathematica έχει πολλά λειτουργικά κατασκευαστικά προγράμματα.

Τα προγράμματα μπορούν να εγγραφούν σε λειτουργικά μοντέλα προγραμματισμού, τα οποία είναι πιο κοντά στον τρόπο με τον οποίο ένα άτομο μπορεί να σκέφτεται για να λύσει ένα πρόβλημα στον H/Y, παρά στον τρόπο που ένας υπολογιστής θα πραγματοποιούσε έναν υπολογισμό. Αυτό το υψηλού επιπέδου μοντέλο προγραμματισμού μας δίνει τη δυνατότητα να επικεντρωθούμε στις λεπτομέρειες του μοντέλου CA το οποίο δημιουργούμε, παρά στις λεπτομέρειες του προγράμματος που εφαρμόζει το μοντέλο.

- Το Mathematica είναι μία μεταφρασμένη γλώσσα.

Η δυνατότητα να δημιουργεί και να απομακρύνει τυχόν ιούς, σε μία σταδιακή μεταμόρφωση, τους κωδικούς που δημιουργούν ένα πρόγραμμα CA, μειώνει σημαντικά το χρόνο που χρειάζεται ένας προγραμματιστής να λειτουργήσει ένα λειτουργικό πρόγραμμα το οποίο είναι ένα ακόμα πιο πολύτιμο πλεονέκτημα, παρά ο χρόνος που χρειάζεται το κομπιούτερ να τρέξει το πρόγραμμα.

- Το Mathematica έχει εκτεταμένες εύκολες στη χρήση δυνατότητες γραφικών.

Τα προγράμματα CA συχνά παράγουν πρότυπα, συμπεριφοράς και δομής, τα οποία μπορούν εύκολα να ανιχνευθούν με οπτικοποίηση. Η παραγωγή και η εργασία με γραφικά στο Mathematica είναι πολύ απλή και επιτρέπει πολλούς διαφορετικούς τύπους γραφικής παρουσίασης να χρησιμοποιηθούν για να βρεθεί η πιο πληροφοριακή γραφική φόρμα για χρήση σε ένα συγκεκριμένο μοντέλο CA.

- Το Mathematica έχει εκτεταμένες αριθμητικές ικανότητες.

Είναι πολύ χρήσιμο για σκοπούς διάταξης, για να είναι ικανό να μετατρέψει ποικίλα ποσοτικά μέτρα (π.χ. αριθμητικές τιμές) σε αποτελέσματα CA και αυτό είναι εύκολο να γίνει χρησιμοποιώντας τις λειτουργίες και τα πακέτα για στατιστική ανάλυση τα οποία προσφέρονται από το Mathematica.

- Το Mathematica χρησιμοποιεί ένα ολοκληρωμένο υπολογιστικό περιβάλλον.

Τα προγράμματα CA μπορούν να αναπτυχθούν, χρησιμοποιηθούν, οπτικοποιηθούν, αναλυθούν ακόμα και να ενημερωθούν γραπτώς με ένα μόνο αρχείο, γνωστό ως σημειωματάριο, το οποίο είναι πολύ βολικό.

Βασισμένοι σε όλους αυτούς τους παράγοντες έχουμε βρει ένα μηχάνημα με ένα λογικά γρήγορο CPU και μία επαρκή μνήμη RAM και/ή οπτική μνήμη, το Mathematica είναι ένα σχεδόν ιδανικό υπολογιστικό περιβάλλον για τη διεκπεραίωση ερευνών πάνω στα CA μοντέλα.

Μια σειρά εργαλείων για Προγραμματισμό Cellular Automata

Εισαγωγή

Η δομή του CA είναι εξαιρετικά απλή εάν εγγραφεί στη γλώσσα προγραμματισμού Mathematica: ένας πίνακας δημιουργείται, μία λειτουργία (CA κανόνες) ορίζεται και η λειτουργία επανειλημμένα εφαρμόζεται σε μαθηματικούς πίνακες. Σε αυτό το κεφάλαιο θα θέσουμε τα θεμέλια για τον Προγραμματισμό Cellular Automata. Στην αρχή δίνουμε έναν φυσικό και υπολογιστικό καθορισμό κυτταρικού αυτοματισμού. Στη συνέχεια εξετάζουμε την εφαρμογή ενός κώδικα τεμαχισμένου, το οποίο επανειλημμένα εμφανίζεται σε Cellular Automata προγράμματα. Διαβάζοντας τα προγράμματα αυτά, ερμηνεύοντας πώς η μελέτη στα τμήματα του κώδικα μας αφήνει να εστιάσουμε στις αρχές του προγραμματισμού για την εγγραφή ενός προγράμματος Cellular Automata στην Mathematica – καθορίζοντας τους Cellular Automata κανόνες.

Επιστημονικός Καθορισμός του Κυτταρικού Αυτοματισμού

Οι επιστήμονες γενικά καθορίζουν τον Κυτταρικό Αυτοματισμό (*Cellular Automata*) για να γίνει ένα Ξεχωριστό Δυναμικό Σύστημα, όπου ο χώρος, ο χρόνος και η κατάσταση του συστήματος είναι όλα ξεχωριστά και έχουν τις ακόλουθες ιδιότητες:

Ο χώρος είναι απεικονισμένος με μία μεθοδική μορφή σε μία, δύο ή τρεις διαστάσεις.

Κάθε θέση, ή κύτταρο, μέσα (ή πάνω) στο πλέγμα του Cellular Automata μπορεί να παρασταθεί με ένα πεπερασμένο αριθμό καταστάσεων. Οι καταστάσεις αναπαρίστανται από ακέραιο αριθμό τιμών.

Σημείωση: Μία μεταβλητή του Cellular Automata είναι γνωστή ως ένα ζεύγος χάρτη-πλέγματος (CML) ή σχηματική κυτταρική-δυναμική (CDS), χρησιμοποιώντας

ένα συνεχόμενο πλέγμα θέσεων μεταβλητών. Το πλέγμα θέσεων μεταβλητών μπορεί να παίρνει ακέραιες τιμές, αληθινές, ή σύμβολα, τόσο καλά όπως οι λίστες με πλεονεκτήματα από κάθε τύπο, που η επιλογή του τύπου των τιμών είναι καθορισμένες από τη «φυσική» του συστήματος για να μπορέσει να μοντελοποιηθεί (π.χ. όταν τα αντικείμενα του συστήματος έχουν περισσότερες από μία αλλαγές της συμπεριφοράς των ιδιοτήτων, οι τιμές αυτών των ποσοτήτων είναι φορμαλισμένες σε ένα n-πλέγμα).

- Το σύστημα Cellular Automata εσωκλείει μία σειρά βαθμίδων χρόνου. Οι τιμές όλων των θέσεων του πλέγματος είναι ενημερωμένες συγχρόνως για κάθε βαθμίδα χρόνου.

Σημείωση: Εάν οι τιμές από όλες τις θέσεις είναι ενημερωμένες σε κάθε βαθμίδα χρόνου, οι τιμές μιας θέσης χρειάζεται να μην αλλάζουν για τις δοθείσες χρονικές βαθμίδες.

Οι τιμές των θέσεων είναι ενημερωμένες να χρησιμοποιούν μία ομάδα κανόνων (γνωστών ως lookup table) που παίρνουν τιμές από τις γειτονικές θέσεις με αυτόματο υπολογισμό.

Υπολογιστικός Προσδιορισμός του Cellular Automaton

Επειδή ένα CA μοντέλο είναι συχνά συμπιεσμένο σε ένα αλγόριθμο και είναι σταθερό εργαλείο σε ένα υπολογιστικό πρόγραμμα και τρέχει σε ένα κομπιούτερ, είναι χρήσιμο να δώσουμε έναν υπολογιστικό προσδιορισμό του Cellular Automata. Το Cellular Automata είναι πρόγραμμα στον υπολογιστή όπου οι ακολουθούμενοι υπολογισμοί είναι εκτελεσμένοι κατάλληλα:

- Ένας πίνακας δημιουργείται με ειδικές στοιχειακές τιμές (ακέραιες, πραγματικές, σύμβολα ή λίστες).
- Μία λειτουργία, ή μία ομάδα λειτουργιών, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αλλάξουμε τις τιμές των στοιχείων του πίνακα, βασισμένες στις τιμές των στοιχείων και τα κοντινά στοιχεία ορίζονται.
- Η λειτουργία εφαρμόζεται (επανειλημμένως) σε ένα πίνακα, κάθε χρονικό διάστημα αλλάζουν οι τιμές όλων των στοιχείων του πίνακα ταυτόχρονα.

Το Cellular Automata Πλέγμα

- Εμείς θα εργαστούμε με δύο-διαστατικά κυτταρικά αυτόματα, ασχολούμενοι με ένα τετραγωνικό πλέγμα. Ένα απλό τετραγωνικό πλέγμα δείχνεται παρακάτω.

Table  MatrixForm

```
+ + + + +
+ + + + +
+ + + + +
+ + + + +
+ + + + +
```

Σημείωση: Η χρησιμοποίηση ενός τετραγωνικού πλέγματος στους υπολογισμούς μας δε βάζει όρια για να βασιστούμε σε ένα Cellular Automata τέτοιου τύπου πλέγματος. Το Cellular Automata βασίζεται σε διαφορετικά δύο-διαστατικά πλεγματικά συστήματα (όπως είναι τα τριγωνικά και τα εξαγωνικά πλέγματα) μπορούν επίσης να καθοδηγηθούν χρησιμοποιώντας τετραγωνικό πλέγμα.

- Κάθε θέση στο πλέγμα έχει μία τιμή. Για παράδειγμα, δείχνεται παρακάτω ένα απλό τυχαίο τετράγωνο με τιμές σε κάθε θέση 0 ή 1 [random Boolean].

 Boolean = Table  MatrixForm

```
1 0 0 0 0
1 1 1 0 0
0 1 1 0 1
0 0 1 0 1
0 0 0 0 1
```

Σημείωση: Ενώ κάποια CA χρησιμοποιούν 0 και 1, κάποια CA χρησιμοποιούν άλλους ακέρατους αριθμούς, πραγματικούς αριθμούς, σύμβολα, λίστες ή ένα μίγμα τύπων τιμών.

Μία γραφική αναπαράσταση ενός CA είναι ειδικά χρήσιμο για την παρατήρηση προτύπων δομής και/ ή συμπεριφοράς που προκύπτουν κατά τη διάρκεια της εξέλιξης του CA. Ένας τρόπος για να οπτικοποιήσουμε ένα CA δικτυωτής διαμόρφωσης είναι να χρησιμοποιήσουμε RasterArray γραφικά όπου κάθε δικτυωτή τοποθεσία μετατρέπεται σε ένα έγχρωμο τετράγωνο.

Παρακάτω, η RasterArray αναπαράσταση της παραπάνω randomBoolean CA δικτύωσης παρουσιάζεται.

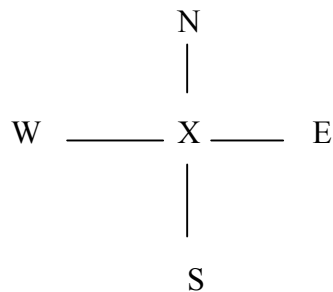
Show  RasterArray  Boolean
 AspectRatio 
 GridLines 

Σημείωση: Η αναστροφή του randomBoolean δικτύου, και GridLines και τα δύο χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία του παραπάνω σχεδίου έτσι ώστε να γίνει πιο εύκολη η παρατήρηση της ανταπόκρισης ανάμεσα στα δίκτυα στον randomBoolean ιστό και στα RasterArray κελιά στην εικόνα.

Τα γειτονικά pixels

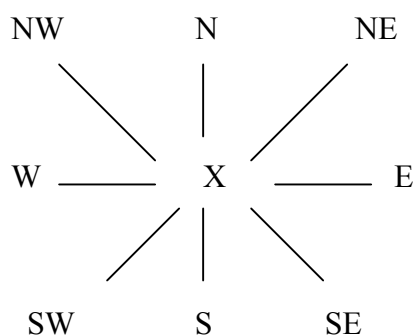
Στην αναβάθμιση οι τιμές ενός δικτύου σε ένα δικτυωτό CA , είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψη η τιμή του δικτύου και οι τιμές των δικτύων της γειτνιάζουσας περιοχής. Η διαμόρφωση των δικτύων που απασχολούνται σε ένα CA πρόγραμμα εξαρτάται από τη συγκεκριμένη «φυσική» του συστήματος που αναπαράγεται. Εδώ δείχνουμε κάποιες από τις γειτονιές CA που είναι συχνά απασχολούμενα σε αυτό το βιβλίο.

Οι δυο πιο συχνές χρησιμοποιούμενες CA γειτονιές παρουσιάζονται παρακάτω:



Η γειτονιά von Neumann

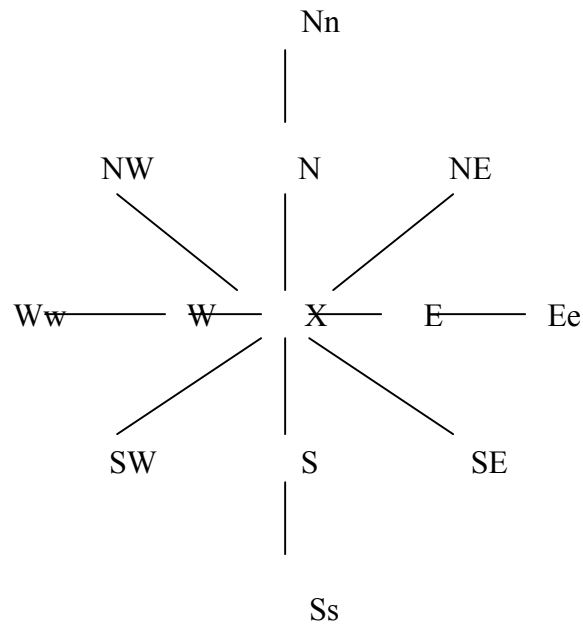
Η διαμόρφωση πέντε δικτύων αποτελούμενα από το X δίκτυο και τα τέσσερα πλησιέστερα γειτονικά δίκτυα που υπάρχουν βόρεια (επάνω), ανατολικά (δεξιά), νότια (κάτω) και δυτικά (αριστερά) του είναι γνωστά ως η γειτονιά von Neumann του X.



Η γειτονιά Moore

Η διαμόρφωση των εννέα δικτύων αποτελούμενα από το X δίκτυο, τα τέσσερα πιο κοντινά γειτονικά δίκτυα στη γειτονιά von Neumann, και τα τέσσερα πιο κοντινά γειτονικά δίκτυα που βρίσκονται βορειοανατολικά, νοτιοανατολικά, νοτιοδυτικά και βορειοδυτικά του X είναι γνωστά ως η Moore γειτονιά του X.

Μια άλλη γειτονιά την οποία χρησιμοποιούμε συχνά σε αυτό το κεφάλαιο (κυρίως για την αναπαραγωγή διάχυτων διαδικασιών) παρουσιάζεται παρακάτω:



Τα MvonN γειτονικά pixels

Τα γειτονικά pixels των εννέα θέσεων της Moore neighborhood του X, και οι τέσσερις επόμενες κοντύτερες γειτονικές εξαπλώσεις στο βορρά, ανατολή, νότο και δύση, αντίστοιχες διευθύνσεις. Λόγω ελλείψεως ενός καλύτερου ονόματος, του προσφέρουμε τον τίτλο του MvonN neighborhood of X.

Καθορίζουμε τις γειτονικές θέσεις ενός Cellular Automata πίνακα επακριβώς.

Οι γειτονικές Moore θέσεις σε ένα μικρό τετραγωνικό πίνακα είναι διευκρινισμένα κάτωθεν.

lat Partition Range Matrix Form

1	2	3	4	5
6	7	8	9	10
11	12	13	14	15
16	17	18	19	20
21	22	23	24	25



25	21	22	21	22	23	22	23	24	23	24	25	24	25	21
K	1	2	K	2	3	K	3	4	K	4	5	K	5	1
10	6	7	6	7	8	7	8	9	8	9	10	9	10	6
5	1	2	1	2	3	2	3	4	3	4	5	4	5	1
20	6	7	6	7	8	7	8	9	8	9	10	9	10	6
15	11	12	11	12	13	12	13	14	13	14	15	14	15	11
10	6	7	6	7	8	7	8	9	8	9	10	9	10	6
5	11	12	11	12	13	12	13	14	13	14	15	14	15	11
20	16	17	16	17	18	17	18	19	18	19	20	19	20	16
15	11	12	11	12	13	12	13	14	13	14	15	14	15	11
20	16	17	16	17	18	17	18	19	18	19	20	19	20	16
25	21	22	21	22	23	22	23	24	23	24	25	24	25	21
20	16	17	16	17	18	17	18	19	18	19	20	19	20	16
5	21	22	21	22	23	22	23	24	23	24	25	24	25	21
5	1	2	1	2	3	2	3	4	3	4	5	4	5	1

Κοιτώντας τα εξώτατα γειτονικά στο LatNeighborhoods, τα κοντύτερα γειτονικά των θέσεων βρίσκονται σε διαφορετικές τοποθεσίες μακριά των ορίων του Lat μπορούν να αναγνωρισθούν ως ακολούθως:

Το κοντινότερο γειτονικό δυτικό μιας θέσης πάνω στο αριστερό όριο είναι μια θέση με την ίδια σειρά στο δεξιό όριο.

Κεφάλαιο 10: “The running program” of Neoplastic Growth and Metastasis

Καταργήν χρησιμοποιούνται οι εξής κανόνες:

1. One inactive cell surrounded by three active cells become active ("it's born").
2. One active cell surrounded by 2 or 3 active cells remain active.
3. In any other case, the cell "dies" or remains inactive.

Πειραματική έρευνα για τροποποίηση του κανόνα 1: από three σε two active cells, για μέγιστη εξάπλωση και αποφυγή της στασιμότητας.

Γενική Παραδοχή: Οι μη προσβεβληθέντες ιστοί έχουν ικανή ποσότητα Q_M για την μεταστατική καρκινική εξάπλωση, με maximum ποσοστό Q_M στους «μαλακότερους» ιστούς του σώματος. Οι προσβαλόμενες με το καρκινικό γονιδίωμα κυτταρικές οντότητες μετά από αρκετό χρόνο, εξαντλείται το θρεπτικό τους υπόστρωμα $q(i,t)$, όμως οι περιοχές αυτές δεν μπορούν να θεωρηθούν υγιείς, μιας και έχουν γονιδιωματικά καταστραφεί από τον ιό. Στον μαθηματικό υπολογισμό μέσω Mathematica οι περιοχές που έχουν προσβληθεί και έχουν καταναλώσει το υπόστρωμά τους θα θεωρούνται «όχι» ικανές να μεταφέρουν καρκινικά κύτταρα.

Οι βασικές παράμετροι για την εισαγωγή στο Mathematica είναι:

$$1: \text{LiveConfigs} = r \Theta[q(i,t) - Q_M c(i,t)]$$

$$2: \text{DieConfigs} = r \Theta[Q_D c(i,t) - q(i,t)]$$

Η συνολική εξίσωση είναι:

$$\boxed{c(i,t+1) = c(i,t) * \{1 - r \Theta[Q_D c(i,t) - q(i,t)] + r \Theta[q(i,t) - Q_M c(i,t)]\}}$$

Αξιοματική Πρόταση: Παρότι οι μαλακότεροι ιστοί περιέχουν μεγαλύτερο ποσοστό κατωφλίου θρεπτικών συστατικών Q_M , ο ρυθμός κατανάλωσης αυτών είναι μεγαλύτερος από το ρυθμό θρεπτικής απώλειας των σκληρότερων ιστών. Συνεπώς η καρκινική μαθηματική μορφωματική προσομοίωση είναι ραγδαία εξελισσόμενη σε επικοινωνούντες περιοχές ή σε λιπώδη ελαστομερή τμήματα και ιστούς μεγαλύτερης διαμοριακής αποστάσεως.

Ένας βιολογικός εισβολέας σε ένα οικοσύστημα, λειτουργεί όπως και μία εισαχθείσα επιδημία στον ανθρώπινο οργανισμό. Εάν το ανοσοποιητικό σύστημα είναι ισχυρό (αντίστοιχα στα περιβάλλοντα συστήματα – ισχυρός διαειδικός ανταγωνιστής), τότε το ξενικό σύστημα (εισβολέας) νεκρώνεται και εξαλείφεται από το νέο πεδίο. Όταν όμως πρόκειται για ένα εξαρχής εξασθενημένο σύστημα, με τις υπάρχουσες καταστάσεις, τότε ο βιολογικός εισβολέας εάν βρει πρόσφορο έδαφος, διατηρείται εν

ζωή στο νέο περιβάλλον του και ανάλογα με τους διαθέσιμους πόρους, ξεκινά μια ραγδαία ανάπτυξη και εξάπλωσή του, με αποκλεισμό ή και εξουδετέρωση υπάρχοντων ενδημικών συστημάτων.

Modeling Nature: Cellular Automata Simulations with Mathematica

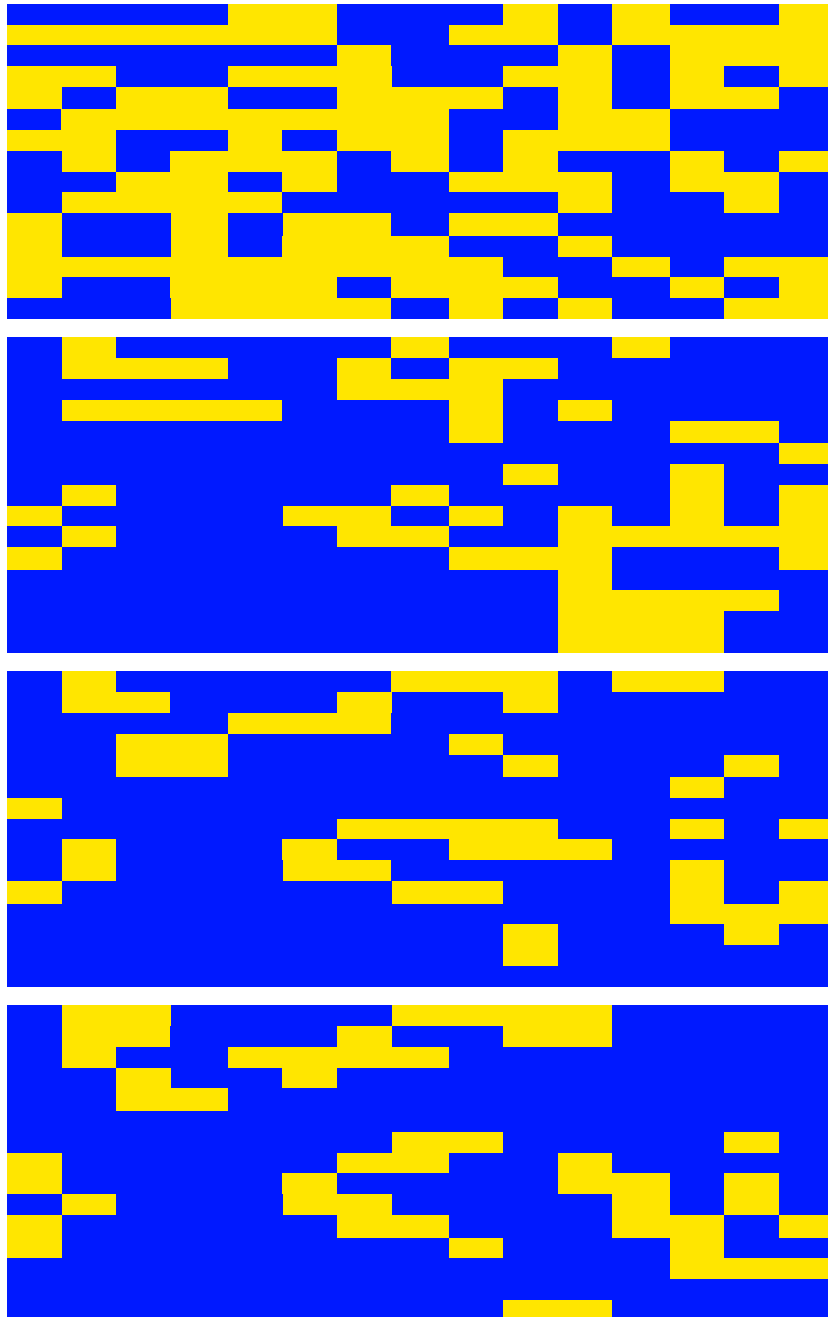
```

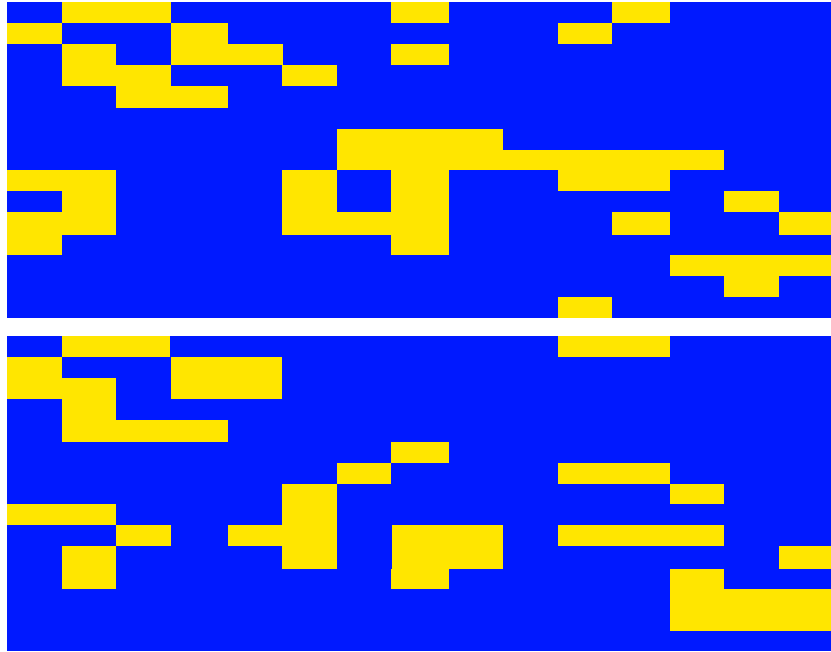
0  0  0  0  1  1  0  0  0  1  0  1  0  0  1
1  1  1  1  1  1  0  0  1  1  0  1  1  1  1
0  0  0  0  0  0  1  0  0  0  1  0  1  1  1
1  1  0  0  1  1  1  0  0  1  1  0  1  0  1
1  0  1  1  0  0  1  1  1  0  1  0  1  1  0
0  1  1  1  1  1  1  1  0  0  1  1  0  0  0
1  1  0  0  1  0  1  1  0  1  1  1  0  0  0
0  1  0  1  1  1  0  1  0  1  0  0  1  0  1
0  0  1  1  0  1  0  0  1  1  1  0  1  1  0
0  1  1  1  1  0  0  0  0  0  1  0  0  1  0
1  0  0  1  0  1  1  0  1  1  0  0  0  0  0
1  0  0  1  0  1  1  1  0  0  1  0  0  0  0
1  1  1  1  1  1  1  1  1  0  0  1  0  1  1
1  0  0  1  1  1  0  1  1  1  0  0  1  0  1
0  0  0  1  1  1  1  0  1  0  1  0  0  1  1

```

Ο κλασικός κανόνας του Moore

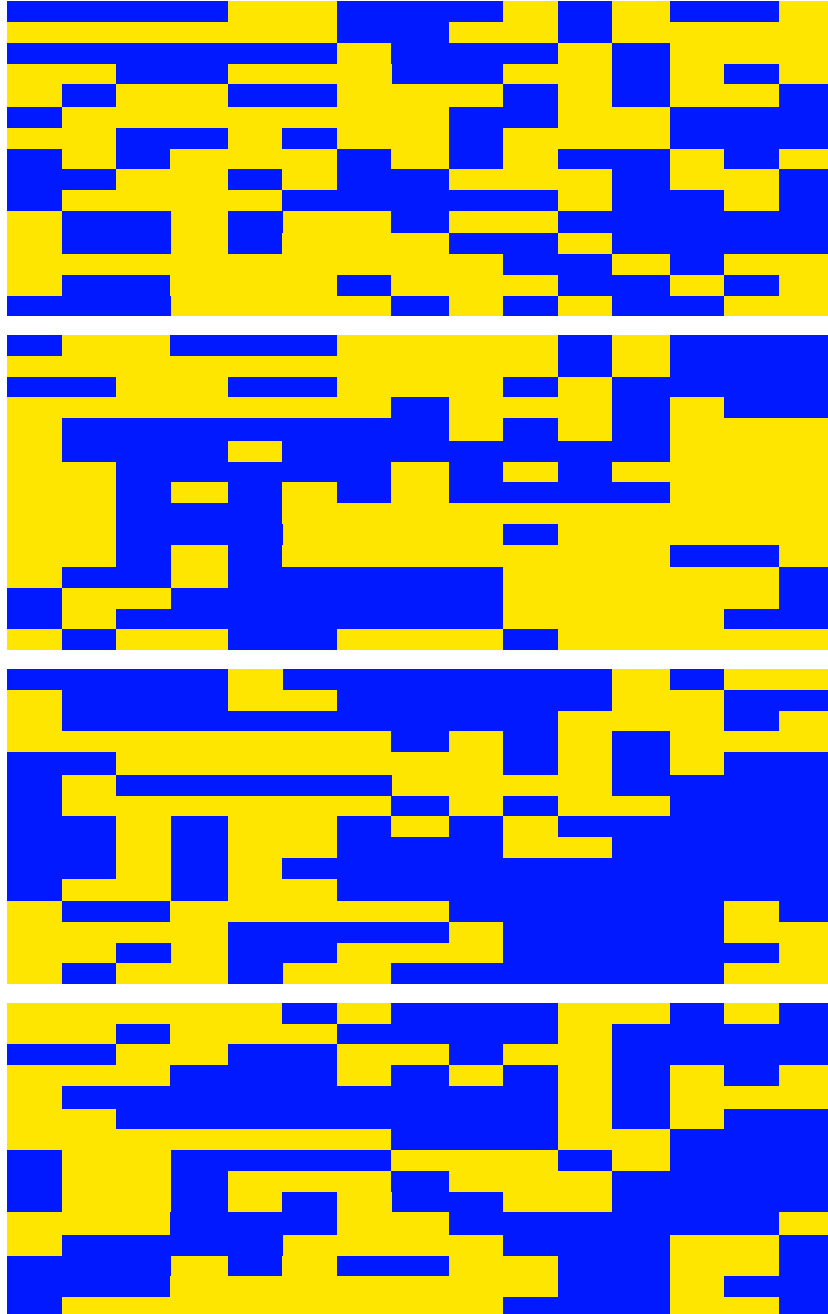
Οι εξαχθέντες προγραμματιστικές σχηματικές απεικονίσεις της διαχρονικής εξέλιξης μιας βιολογικής εισβολής με το χρόνο, συνοπολογίζοντας και τους κανόνες τυχειότητας (random numbers) που επισυμβαίνουν στη φύση, είναι οι παρακάτω. Συνεπώς οι εξαχθέντες μαθηματικοί πίνακες που εμφανίζονται στον προγραμματισμό Mathematica είναι ανάλογοι των αρχικών συνθηκών και των κανόνων διασποράς.

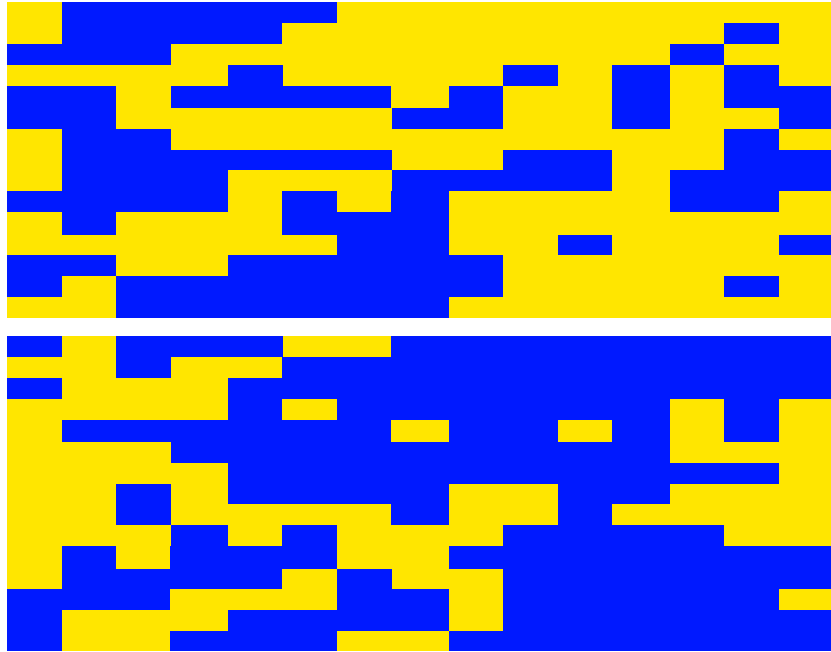




Ο Πρώτος Κανόνας του Ευάγγελου Αγγελή (Moore neighbourhood)

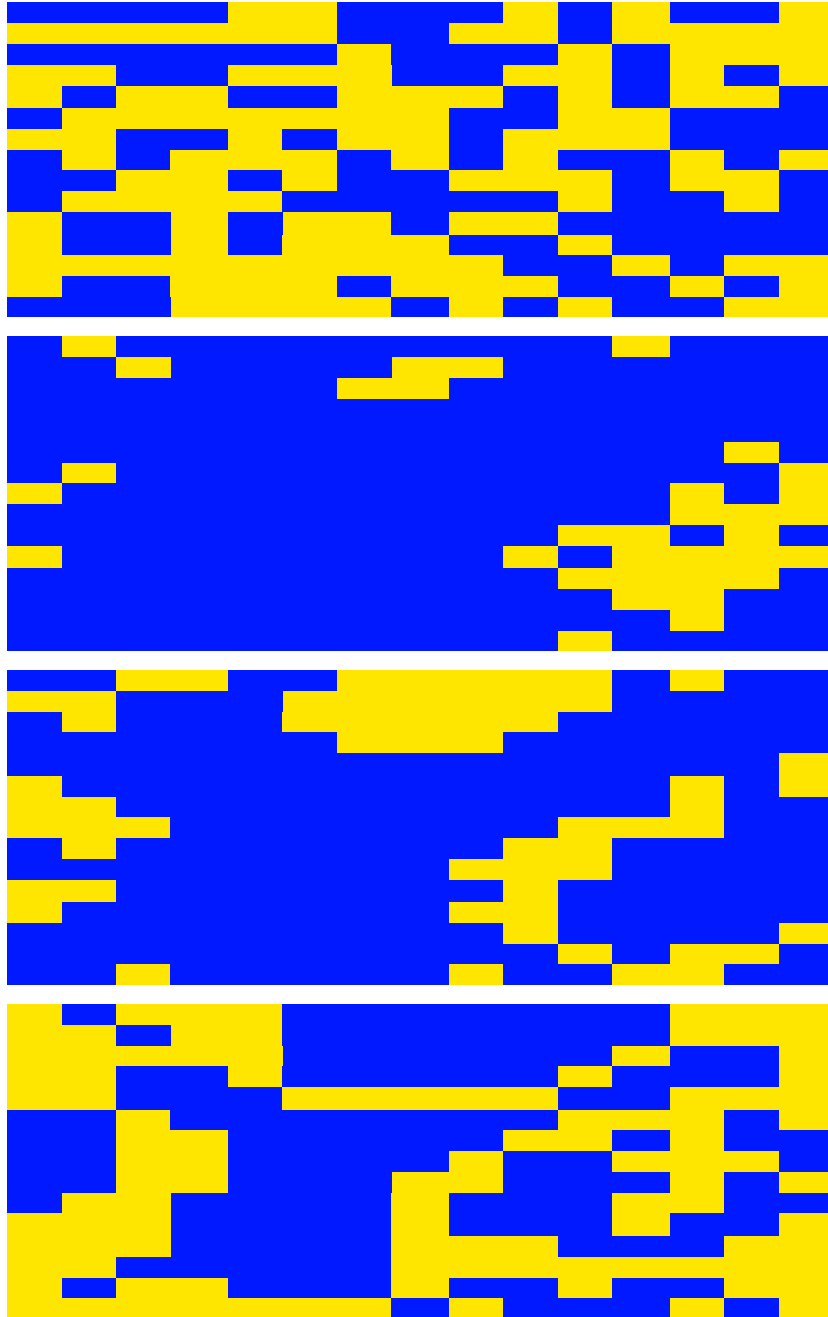
Σύμφωνα με την αλληλοδιαδοχή μιας εισβολής κατά Moore neighbourhood, σε υπόστρωματική περιοχή που θεωρείται ως ο αποδέκτης της εισβολής και εφαρμόζοντας τους κανόνες που αναγράφονται παραπάνω, λαμβάνουμε τα παρακάτω αποτελέσματα. Πρόκειται για αλληλοεπιρροή ενός κεντρικού pixel με οχτώ (8) γειτονικά, τέσσερα κάθετα και δύο διαγώνια pixels (9 συνολικά κελιά).

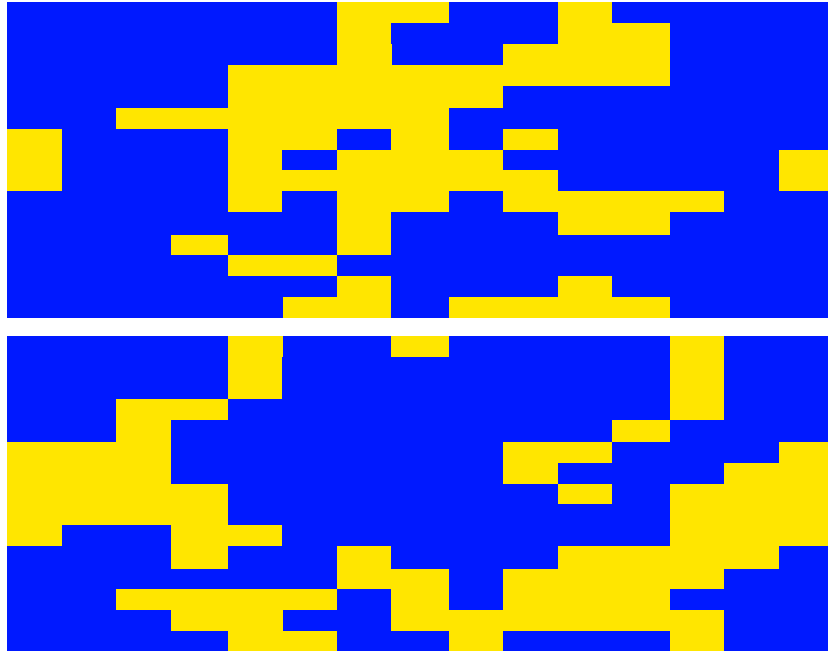




Ο Δεύτερος Κανόνας του Ευάγγελου Αγγελή (Von Newman-Moore neighbourhood)

«Τρέχοντας» σε προγραμματιστικό περιβάλλον την αλληλουχία κελιών για μία βιολογική εισβολή, προκύπτουν οι παρακάτω χρονικές φάσεις μετασχηματισμού και μορφοποίησης με γνώμονα αλληλουχίας δεκατριών συνολικών κελιών, σύμφωνα με το μαθηματικό επεξεργαστικό μοντέλο Von Newman-Moore neighbourhood.





BIBLIOGRAFIA

1. Adam JA, Bellomo N: A survey of models for tumor – immune system dynamics. Boston: Birkhauser, 1997.
2. Folkman J: Tumor angiogenesis. *Adv Cancer Res* 1974;19:331-358.
3. Krause M, Wolf B: Implications of acidic tumor microenvironment for neoplastic growth and cancer treatment: A computer analysis. *Tumor Biol* 1996;17:133-154.
4. Pescarmona GP, Scalerandi M, Condat CA, Delsanto PP: A model for diffusion and competition in cancer growth and metastasis. Proceedings of the 1997 Fall Meeting of the MRS, Boston, December 1997.
5. Pescarmona GP, Scalerandi M, Delsanto PP, Condat CA: Nonlinear model for cancer growth and metastasis: Nutrients availability as a major determinant of tumor shape and diffusion. *Medical Hypotheses* (in press).
6. Scalerandi M, Romano A, Pescarmona GP, Delsanto PP, Condat CA: Nutrient competition as a determinant for cancer growth. *Phys Rev* 1999;E59:2206-2217.
7. Tannock IF: The relation between cell proliferation and the vascular system in a transplanted mouse mammary tumor. *Br J Cancer* 1968;22:258-273.
8. Goldacre RJ, Sylven B: On the access of blood-borne dyes to various tumor regions. *Br J Cancer* 1962;16:306-322.
9. Magnano M, Lenda W, Canale G, et al.: Neoplasie maligne del piano glottico: Simulazione dell'invasione della commessura anteriore mediante modello matematico. Proceedings of the LXXXVI Congress of the ENT Italian Society, Venezia, 1999.
10. McElwain DLS, Morris LE: Apoptosis as a volume loss mechanism in mathematical models of solid tumor growth. *Math Biosci* 1978;39:147-157.
11. Sutherland RM, Durand RE: Radiation response of multicellular spheroids: An in-vitro tumor model. *Curr Top Rad Res* 1976;11:87-139.
12. Delsanto PP, Romano A, Scalerandi M: Analysis of a phase transition between tumor growth and latency. *Phys Rev Lett* (submitted).
13. Scott Norris: Neutral Theory: A New, Unified Model for Ecology. *BioScience*, February 2003/Vol.53 No 2.
14. M.F. Carlevaro, A. Albini, D. Ribatti, C. Gentili, R. Benelli, S. Cermelli, R. Cancedda, and F.D. Cancedda, *J. Cell Biol.* 136, 1375 (1997).
15. L. Bianchi, L. Tacchini, and G. Cairo, *Nucleic Acids Res.* 27, 4223 (1999).
16. J.A. Adam and N. Bellomo, *A survey of Models for Tumor – Immune Dynamic Systems* (Birkhauser, Boston, 1997).
17. I. Prigogine, R. Lefever, *Comp. Biochem. Physiol. B.* 67, 389 (1980).
18. M. Scalerandi, A. Romano, G.P. Pescarmona, P.P. Delsanto, and C.A. Condat, *Phys. Rev. E* 59, 2206 (1999).
19. G. P. Pescarmona, M. Scalerandi, C.A. Condat, and P.P. Delsanto, in *Materials Science of the Cell*, edited by B. Mulder, C.F. Schmidt, and V. Vogel, MRS Symposia Proceedings (Materials Research Society, Pittsburgh, 1997), p. 217.
20. P.P. Delsanto, R.B. Mignogna, M. Scalerandi, and R.S. Schechter, in *New Perspectives on Problems in Classical and Quantum Physics*, edited by P.P. Delsanto and A.W. Saenz (Gordon and Breach, New Delhi, 1998), Vol. 2, pp. 51-74.

21. R.S. Schechter, H.H. Chaskelis, R. B. Mignogna, and P.P. Delsanto, *Science* 265, 1188 (1994).
22. T. Boehm, J. Folkman, T. Browder, M.S. O'Reilly, *Nature (London)* 390, 404 (1997).
23. R. Halvorsrud and G. Wagner, *Phys. Rev. E* 57, 941 (1998).
24. Th. Hofer, J.A. Sherratt, P.K. Maini, *Physica D* 85, 425 (1995).
25. J.C.M. Mombach and J.A. Glazier, *Phys. Rev. Lett.* 76, 3032 (1996).
26. F. Schweitzer, W. Ebeling, and B. Tilch, *Phys. Rev. Lett.* 80, 5044 (1998).
27. J. Murray, *Mathematical Biology, Bioinformatics Text* (Springer – Verlag, Berlin, 1993).
28. J. W. Uhr, R.H. Sheuermann, N.E. Street, and E.S. Vitetta, *Nat. Med. (N.Y.)* 3, 505 (1997).
29. G.P. Pescarmona, P.P. Delsanto, M. Scalerandi, and C.A. Condat, *Med. Hypotheses* 53, 497 (1999).
30. H.J. Mauceri et al., *Nature (London)* 394, 287 (1998) ; P. Blenziger et al., *Nature Biotech.* 17, 343 (1999).
31. B. Capogrosso, P.P. Delsanto, M. Scalerandi, and M. Magnano, (unpublished).
32. G. Helmlinger, F. Yuan, M. Dellian, and R.K. Jain, *Nat. Med. (N.Y.)* 2, 271 (1997).
33. J. Kovar, P.W. Naumann, B. C. Stewart, and J. D. Kemp, *Pathobiology* 63, 65 (1995).
34. G. Golding et al., *Physica A* 260, 510 (1998). D.C. Malins, N.L. Polissar, S. Schaefer, Y. Su, and M. Vinson, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 95, 7637 (1998).
35. A. J. Einstein, H.S. Wu, and J. Gil, *Phys. Rev. Lett.* 80, 397 (1998).
36. R.T. Dorr and D.D. Von Hoff, *Cancer Chemotherapy Handbook*, Appleton & Lange, Connecticut, (1994).
37. T.E. Wheldon, *Mathematical Models in Cancer Research*, Adam Hilger, Bristol, (1988).
38. A.Y. Yakovlev and S.H. Moolgavkar, Guest Editors, *Modeling and Data Analysis in Cancer Studies Special Issue of Mathl. Comput. Modeling* 33 (12/13), (2001).
39. J.M. Murray, Optimal drug regimens in cancer chemotherapy for single drugs that block progression through the cell cycle, *Math. Biosci.* 123, 183-193, (1994).
40. M.I.S. Costa, J.L. Boldrini and R.C. Bassanezi, Chemotherapeutic treatments involving drug resistance and level of normal cells as a criterion of toxicity, *Math. Biosci.* 125, 211-228, (1995).
41. A.S. Matveev and A.V. Savkin, Optimal chemotherapy regimens: Influence of tumors on normal cells and several toxicity constraints, *IMA J. Math. Appl. Med. Biol.* 18, 25-40, (2001).
42. M. Eisen, *Mathematical Models in Cell Biology and Cancer Chemotherapy*, Lect. Notes Biomath., Volume 30, Springer-Verlag, Berlin, (1979).
43. Bright, Chris: *LIFE OUT OF BOUNDS, BIOINVASION IN A BORDERLESS WORLD*, W.W. Norton & Company, 1998.
44. Crosby, Alfred. W.: *ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΟΣ ΙΜΠΕΡΙΑΛΙΣΜΟΣ. Η ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΗΣ, 900 – 1900*, Κωσταράκη, 1986.
45. Elton, Charles, S.: *THE ECOLOGY OF INVASIONS BY ANIMALS AND PLANTS*, The University of Chicago Press, 2000.

46. Larsen, Clark Spencer: BIOARCHAEOLOGY, INTERPRETING BEHAVIOR FROM THE HUMAN SKELETON, Cambridge University Press, 1997.
47. Pimiento, Susana & Edward Hammond, ADDRESSING ENVIRONMENTAL MODIFICATION IN POST – COLD WAR CONFLICT, The Edmonds Institute, 2003.
48. ΔΙΑΜΑΝΤΗΣ ΣΕΛΛΗΣ: ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΟΣ ΙΜΠΕΡΙΑΛΙΣΜΟΣ, Περισκόπιο της Επιστήμης, Φεβρουάριος 2004.
49. www.mamacoca.org
50. www.sunshine-project.org
51. www.mycosherbicide.net
52. F.K. Nani and M.N. Oguztoreli, Modeling and simulation of chemotherapy of haematological and gynaecological cancers, IMA J. Math. Appl. Med. Biol. 16, 39-91, (1999).
53. F.K. Nani, and H.I. Freedman, A mathematical model of cancer treatment by chemotherapy, (preprint).
54. F.K. Nani, and H.I. Freedman, A mathematical model of cancer treatment by immunotherapy, Math. Biosci. 163, 159-199, (2000).
55. C.W. Evans, The Metastatic Cell, Behaviour and Biochemistry, Chapman and Hall, London, (1991).
56. G.V. Sherbet, The Biology of Tumor Malignancy, Academic Press, London, (1982).
57. M.W. Flye, Metastatic disease to the lung in the human, In Cancer Growth and Progression, Metastasis/Dissemination, (Edited by H.E. Kaiser (Series Editor) and E. Gorelik (Volume Editor)), p.p. 43-53, Dordrecht, (1989).
58. H.E. Kaiser, Pattern of metastasis, In Cancer Growth and Progression, Metastasis/Dissemination, (Edited by H.E. Kaiser (Series Editor) and E. Gorelik (Volume Editor)), pp. 21-31, Kluwer Academic, Dordrecht, (1989).
59. J. Lundy, Liver metastases: Experimental and clinical considerations, In Cancer Growth and Progression, Metastasis/Dissemination, (Edited by H.E. Kaiser (Series Editor) and E. Gorelik (Volume Editor)), pp. 68-71, Kluwer Academic, Dordrecht, (1989).
60. Y. Kuang, Delay Differential Equations with Applications in Population Dynamics, Academic Press, Boston, MA, (1993).
61. H.I. Freedman, Deterministic Mathematical Models in Population Ecology, Marcel Dekker, New York, (1980).
62. H.I. Freedman and B. Rai, Persistence in a predator-prey-competitor-mutualist model, In Proceedings of the Eleventh International Conference on Non-linear Oscillations, (Edited by M. Farkas, V. Kertesz and G. Stepan), pp. 73-79, Janos Bolyai Math. Soc., Budapest, (1987).
63. W.A. Coppel, Stability and Asymptotic Behavior of Differential Equations, D.C. Heath and Company, Boston, MA, (1965).
64. R.T. Silver, R.D. Lauper and C.I. Jarowski, A Synopsis of Cancer Chemotherapy, Yorke Medical Books, New York, (1987).
65. T. Yoshizawa, Stability Theory and the Existence of Periodic Solutions and Almost Periodic Solutions, Applied Mathematical Sciences, Volume 14, Springer-Verlag, New York, (1975).
66. J. La Salle and S. Lefschetz, Stability by Liapunov's Direct Method, Academic Press, London, (1961).

67. Περί Εισβολέων, Κανόνων Συνάθροισης και Δυναμικής Βιοκοινοτήτων Ανταγωνισμού: Θεωρητική Μελέτη Προσομοιώσεων. Διδακτορική Διατριβή Γεώργιος Δ. Κόκκορης, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος, Τομέας Διαχείρισης Οικοσυστημάτων, Εργαστήριο Διαχείρισης Βιοποικιλότητας, Μυτιλήνη 1999.
68. Day, N. P. J., Moore, C. E., Enright, M.C., Berendt, A. R., Smith, J. M., Murphy, M. F., Peacock, S. J., Spratt, B. G. & Feil, E. J. (2001) *Science* 292, 114-116.
69. WHO Report on Global Surveillance of Epidemic-prone Infectious Diseases (2000) World Health Organization.
70. Apicella, M. A. (2000) in *Principles and Practices of Infectious Diseases*, eds. Mandell, G. L., Bennett, J. E. & Dolin, R. (Churchill Livingstone, Inc., New York).
71. Vries, F. P. d., Ende, A. v. d., Putten, J. P. M. v. & Dankert, J. (1996) *Infect. Immun.* 64, 2998-3006.
72. Hammerschmidt, S., Muller, A., Sillmann, H., Muhlenhoff, M., Borrow, R., Fox, A., Putten, J. v., Zollinger, W.D., Gerandy-Schahn, R. & Frosch, M. (1996) *Mol. Microbiol.* 20, 1211-1220.
73. Saunders, N. J., Jeffries, A. C., Peden, J. F., Hood, D. W., Tettelin, H., Rappuoli, r. & Moxon, R. E. (2000) *Mol. Microbiol.* 37, 207-215.
74. Richardson, A. R. & Stojiljkovic, I. (1999) *J. Bacteriol.* 181, 2067-2074.
75. Murphy, G. L., Connell, T. D., Barritt, D. S., Koomey, M. & Cannon, J. G. (1989) *Cell* 56, 539-547.
76. Jonnson, A. B., Nyberg, G. & Normark, S. (1991) *EMBO* 10, 477-488.
77. Garza, J. C., Siatkin, M. & Freimer, N. B. (1995) *Mol. Biol. Evol.* 12, 594-603.
78. Harr, B. & Schlotterer, C. (2000) *Genetics* 155, 1213-1220.
79. Kruglyak, S., Durrett, R., Schug, M. D. & Aquadro, C. F. (2000) *Mol. Biol. Evol.* 17, 1210-1219.
80. Schug, M. D., Hutter, C. M., Wetterstrand, K. A., Gaudette, M. S., Mackay, T. F. & Aquadro, C. F. (1998) *Mol. Biol. Evol.* 15, 1751-1760.
81. Bucci, C., Lavitola, A., Salvatore, P., Giudice, L. D., Massardo, D. R., Bruni, C. B. & Alifano, P. (1999) *Mol. Cell.* 3, 435-445.
82. Richardson, A. R. & Stojiljkovic, I. (2001) *Mol. Microbiol.* 40, 645-655.
83. Leigh, E. G. (1970) *Am. Nat* 104,301-305.
84. Leigh, E. G. (1973) *Genetics* 73, 1-18.
85. Ishii, κ., Matsuda, H., Iwasa, Y. & Sasaki, A. (1989) *Genetics* 121, 163-174.
86. Ancel, L., Levin, B. R., Richardson, A.R. & Stojiljkovic, I.(2001) <http://www.santafe.edu/~ancel/MENING.html>
87. Anderson, R. M. & May, R. M. (1991) *Infectious diseases of humans: Dynamics and control/* (Oxford University Press, Oxford).
88. Levin, S. & Pimental, E. (1981) *Am. Nat* 117,308-315.
89. Ewald, P. W. (1983) *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 14,465-485.
90. Antia, R., Levin, B. R. & May, R. M. (1994) *Am. Nat* 144,457-472.
91. Richardson, A. R., Yu, Z., Popovic, T. & Stojiljkovic, I.(2001) *in preparation.*
92. Crowe, B. A., Wall, R. A., Kusecek, B., Neumann, B., Olyhoek, T., Abdillahi, H., Hassan-King, M., Greenwood, B. M., Poolman, J. T. & Achtman, M. (1989) *J. Infect. Dis.* 159,686-700.
93. World Population Prospects: The 1996 Revision (1997) *United Nations.*
94. de Voe, I W. (1982) *Microbio!. Rev.* 46, 162-190.

95. Meningococcal disease (2001) 1-8.
96. Moxon, E. R., Rainey, P. B., Nowak, M. A. & Lenski, R. E. (1994) *Curr. Biol.* 4,24-33. Levin, B. R. & Bull, J. J. (1994) *Trends Microbio!*. 2,76-81.
97. Sniegowski, P. D., Genish, P. J. & Lenski, R. E. (1997) *Nature* 387,703-705.
98. Taddei, P., Radman, M., Maynard-Smith, J., Toupance, B., Gouyon, P. H. & Godelle, B. (1997) *Nature* 387, 700-702.
99. Tenaillon, O., Toupance, B., Nagarda, H. L., Taddei, F. & Godelle, B. (1999) *Genetics* 152,485-493.
100. Tanaka, M. M., Bergstrom, C. & Levin, B. R. (2001) *in preparation*.
101. Moxon, E. R. & Murphy, P. A. (1978) *P. Natl. Acad. Sci. USA* 75,1534-1536. Pluschke, G., Mercer, A., Kusecek, B., Pohl, A. & Achtman, M. (1983) *Infect Immun* 39, 599-608.
102. Lipsitch, M., Dykes, J. κ., Johnson, S. E., Ades, E. W., King, J., Briles, D. E. & Carlone, G. M. (2000) *Vaccine* 18, 2895-901.
103. Achtman, M., van der Ende, A., Zhu, P., Koroleva, I S., Kusecek, B., Morelli, G., Schuurman, I G., Břeske, N., Zurth, K, Kostyukova, N. N. & Platonov, A. E. (2001) *Emerg Infect Dis* 7, 420-7.
104. Zhu, P., van der Ende, A., Falush, D., Břeske, N., Morelli, G., Linz, B., Popovic, T., Schuurman, I G., Adegbola, R. A., Zurth, K, Gagneux, S., Platonov, A. E., Riou, J. Y., Caugant, D. A., Nicolas, P. & Achtman, M. (2001) *Proc Natl Acad Sci U S A* 98,5234-9.
105. Vogel, u., Morelli, G., Zurth, K, Claus, H., Křener, E., Achtman, M. & Frosch, M. (1998) *J Clin Microbiol*36, 2465-70.
106. Jennings, M. P., Sřkhanta, Y. N., Moxon, E. R., Kramer, M., Poolman, J. T., Kuipers, B. & Ley, P. v. d. (1999) *Microbiology* 145, 3013-3021.
107. Alberts, B., f). Bray, J. l,c\vis, M. Rilft: K.Roberts and J. D. \oWatson (1994). *Molecular. Biology of the cell*, New York.
108. Anderson, A. R. A. and M. A. .I. Chaplain (1998). Continuous and discrete mathematical models of tumour-included angiogenesis. *Bull. Math. Biol.* 60, 857-899.
109. Anderson, A. R. A., B. D. S. Sleeman, 1. M. Young and B. S. Griffiths (1997). Nematode movement along a chellical grildient in a structurally heterogeneous environment: 2.
110. A. Zenetos, D. Koutsoubas and E. Vardala-Theodorou (January 2004). Origin and Vectors of Introduction of Exotic Molluscs in Greek Waters. *Belg. J. Zool.*, 134 (Supplement 1) : 161-168
111. BUZZURRO, G. & E. GREPPI (1994). Presenza di Smaragdia (Smaragdella) souverbiana (Montrouzier, 1863) nel Mediterraneo orientale. *Boll. Malacol.*, 29 : 319-321.
112. BUZZURRO, G. & E. GREPPI (1996). The Lessepsian Molluscs of Tasuçu (SouthEast Turkey). *La Conchiglia*, (Supplement to 279) : 3-22.
113. BUZZURRO, G. & E. GREPPI (1997). Notes on the Molluscs of Cyprus, with special attention to the allocthone species. *La Conchiglia*, 283 : 21-31, 61-62.
114. CATTANEO-VIETTI, R. & T.E. THOMPSON (1989). Mediterranean Opisthobranch Molluscs : A zoogeographic approach. *Boll. Malacol.*, 25 : 183-204.
115. CECALUPO, A. & P. QUADRI (1996). Contributo alla conoscenza Malacologica per il nord dell' isola di Cipro. *Boll. Malacol.*, 31 : 95-118.

116. COSENZA, G. & G. FASULO (1997). The littoral shelled Mollusks of the Island of Crete. *La Conchiglia*, 284 : 51-58.
117. DEKKER, H. & Z. ORLIN (2000). Check list of Red Sea Mollusca. *Spirula*, 47 (suppl.) : 1-46.
118. DELAMOTTE, M. & E. VARDALA-THEODOROU (1994). Shells from the Greek Seas. The Goulandris Natural History Museum, Athens, (in Greek), 320 pp.
119. KOUTSOUBAS, D. (1992). Contribution to the study of the gastropod molluscs of the continental shelf of the North Aegean Sea. Ph.D. Thesis, Biology Department, Aristotle University of Thessaloniki, 585 pp. (in Greek with English summary).
120. KOUTSOUBAS, D. & F. CINELLI (1997). Indo-Pacific origin gastropod species in the Aegean Sea. *Melibe fimbriata* Alder and Hancock, 1864 a new invader. *Boll. Malacol.*, 32 : 1-6.
121. KOUTSOUBAS, D., KOUKOURAS, A. & E. VOULTSIADOU-KOUKOURA (1997). Prosobranch Mollusc Fauna of the Aegean Sea : New information, checklist, distribution. *Isr. J. Zool.*, 43 : 19-54.
122. KOUTSOUBAS D., ARVANITIDIS, C., DOUNAS, C. & L. DRUMMOND (2000a). Community and dynamics of the molluscan fauna in a Mediterranean lagoon (Gialova lagoon, SW Greece). *Belg. J. Zool.*, 130 (Supplement) : 135-142.
123. KOUTSOUBAS D., TSELEPIDES, A. & A. ELEFThERIOU (2000b). Deep Sea Molluscan Fauna of the Cretan Sea (Eastern Mediterranean) : Faunal, Ecological and Zoogeographical Remarks. *Senckenbergiana marit.*, 30 : 85-98.
124. KOUTSOUBAS, D. & E. VOULTSIADOU-KOUKOURA (1991). The occurrence of *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) (Gastropoda, Thaididae) in the Aegean Sea. *Boll. Malacol.*, 26 : 201-204.