

Red Queen's race

Ένα πειραματικό παιχνίδι με χαρτιά για τη διδασκαλία της Συνεξέλιξης

Ελεύθερο κείμενο, βασισμένο στο άρθρο: Gibson, A.K., Drown, D.M., and Lively, C.M. (2015), The Red Queen's race: An experimental card game to teach coevolution, *Evo. Edu. Outreach* 8:10. <https://doi.org/10.1186/s12052-015-0039-2>

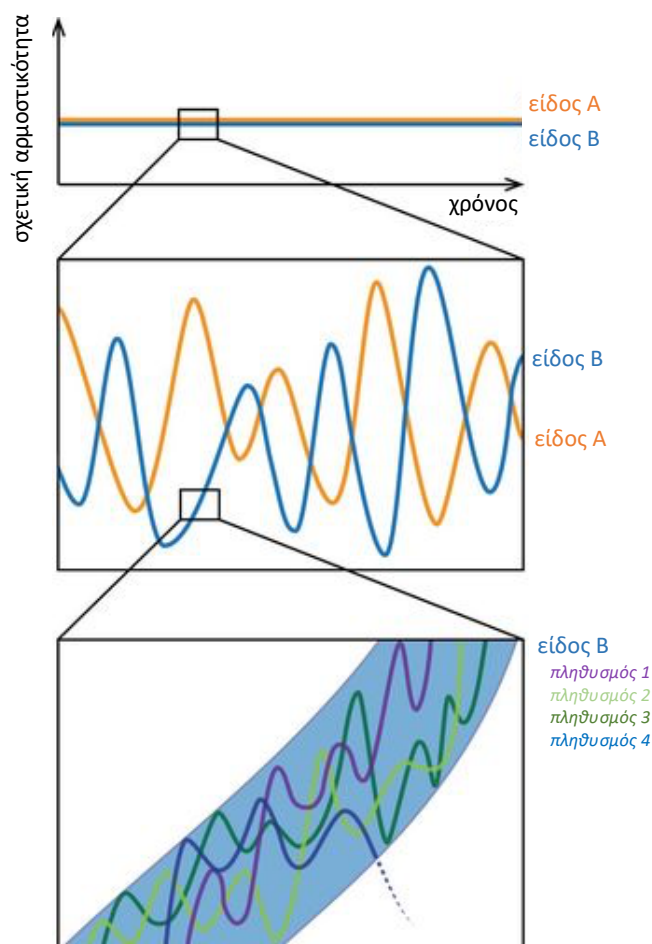
Εισαγωγή: Παρανοήσεις της εξελικτικής θεωρίας που μπορούν να αναδειχθούν με τη διδασκαλία της συνεξέλιξης

Η κατανόηση των εννοιών της εξέλιξης είναι βασική σε όλα τα πεδία της Βιολογίας αλλά και σημαντικό μέρος της βασικής επιστημονικής προπαρασκευαστικής εκπαίδευσης γενικότερα. Μας μαθαίνει, κυρίως, να σκεφτόμαστε κάθε διεργασία στη φύση όχι μόνο στο πλαίσιο του μηχανισμού με τον οποίο γίνεται σήμερα αλλά και ως μέρος μιας ευρύτερης εξελικτικής ιστορίας. Ωστόσο, η μετάδοση των εννοιών της εξέλιξης με τη διδασκαλία δεν είναι εύκολη υπόθεση καθώς έρχεται αντιμέτωπη με εδραιωμένες λάθος αντιλήψεις ή κοινές παρανοήσεις σχετικά με την εξέλιξη. Κάποιες από τις παρανοήσεις αυτές θα μπορούσαν να αναδειχθούν και να αρθούν μέσα από τη διδασκαλία του θέματος της συνεξέλιξης (coevolution). Η **συνεξέλιξη**, δηλαδή η αμοιβαία εξέλιξη ειδών που συνδέονται μεταξύ τους με σχέσεις αλληλεξάρτησης, είναι πολύ διαδεδομένη στη φύση. Η συνεξέλιξη είναι εμφανής σε όλα τα οικοσυστήματα, έχει πολλές και διάφορες μορφές και τα αποτελέσματά της μπορούν να φανούν γρήγορα, σε λίγες μόνο γενιές. Το σημαντικότερο, όμως, είναι ότι μας εξοικειώνει με την ιδέα ότι κάθε οργανισμός περιορίζεται ως προς την προσαρμογή του από τις προσαρμογές και άλλων οργανισμών που ζουν στο περιβάλλον του και, επομένως, η εξέλιξη εξαρτάται από μια διαρκή ανάγκη για «συμβιβασμούς» και δεν υπάρχουν «τέλειες» προσαρμογές σε οποιοδήποτε περιβάλλον.

Η εισαγωγή της έννοιας της συνεξέλιξης μπορεί να γίνει παρουσιάζοντας μερικά από τα παραδείγματα συνεξέλιξης που αφθονούν στη φύση. Μέσα από τα παραδείγματα αυτά, που μπορεί να αναφέρονται σε σχέσεις θηράματος-θηρευτή, ανταγωνισμού για τροφή στο ίδιο περιβάλλον, φυτών και ζώων σε ένα χερσαίο οικοσύστημα, ανθρώπου ή άλλων ζώων και των συμβιωτικών μικροοργανισμών του εντέρου τους, παρασίτων και ξενιστών τους, είναι δυνατόν να ξεκαθαριστούν κάποιες κοινές **παρανοήσεις** σχετικά με την εξέλιξη. Δύο κοινά χαρακτηριστικά των σχέσεων συνεξέλιξης είναι ότι: (α) οδηγούν σε **γρήγορες αλλαγές** στους πληθυσμούς των οργανισμών ως απόκριση σε συνεχείς αλλαγές στο βιοτικό (έμβιο) περιβάλλον τους, και (β) οδηγούν σε **αμοιβαίο περιορισμό** των ειδών που συνεξελίσσονται ώστε να επιβιώσουν και να αναπαραχθούν περισσότερα από ένα είδη στο ίδιο περιβάλλον (δηλαδή, τα είδη «συμβιβάζονται» με μέρος μόνο των εξελικτικών τους δυνατοτήτων λόγω της εξάρτησής τους από τα άλλα είδη). Η εμπέδωση των παραπάνω δύο σημείων βοηθά να αντιμετωπιστούν δύο κοινές παρανοήσεις σχετικά με την εξέλιξη: (α) ότι η εξέλιξη είναι μια αργή διεργασία που μπορεί να φανεί μόνο σε πολύ μεγάλες χρονικές περιόδους βαθμιαίων γεωλογικών αλλαγών, και (β) ότι η εξέλιξη προχωρεί διαρκώς προς μια κατεύθυνση προόδου ή κάποιο στόχο εξελικτικής «τελειότητας» (Thanukos, 2010).

Η κλασική θεωρία για τη συνεξέλιξη, η *Υπόθεση της Κόκκινης Βασίλισσας* (Red Queen) όπως λέγεται (Van Valen, 1973), περιγράφει έναν διαρκή **ανταγωνιστικό αγώνα** μεταξύ δύο ειδών, που συνδέονται μεταξύ τους με σχέσεις αλληλεξάρτησης, για τη διατήρηση της εξελικτικής

τους θέσης σε ένα οικοσύστημα. Ένα κοινό παράδειγμα, που έχει και άμεσο ενδιαφέρον για την κατανόηση της εξέλιξης των μολυσματικών ασθενειών του ανθρώπου, είναι οι σχέσεις μεταξύ ξενιστών και παρασίτων. Άλλο κοινό παράδειγμα, το οποίο συνδέεται έντονα με τα θέματα της διατήρησης της βιοποικιλότητας και της οικολογικής ισορροπίας στη φύση, είναι οι σχέσεις μεταξύ θηραμάτων και των θηρευτών τους. Η υπόθεση Red Queen ξεκινά από την προσπάθεια να ερμηνεύσει γιατί είναι διαδεδομένες στη φύση οι εξαφανίσεις πληθυσμών και ειδών και καταλήγει στη γενίκευση ότι οι σχέσεις της συνεξέλιξης είναι βασικές για τη συγκράτηση της γενετικής ποικιλότητας σε ένα οικοσύστημα. Συγκεκριμένα, η πιθανότητα εξαφάνισης εξαρτάται ιδιαίτερα από τις **ζώνες προσαρμογής** στις οποίες κύριο ρόλο παίζει ο ανταγωνισμός μεταξύ των ειδών για βέλτιστη οικολογική προσαρμογή: μια αύξηση της ικανότητας προσαρμογής (fitness) του ενός είδους μειώνει την ικανότητα προσαρμογής των άλλων ειδών που ζουν στον ίδιο οικολογικό θώκο αλλά, επειδή όλα τα είδη εξελίσσονται, κανένα δεν αποκτά μακροπρόθεσμα πλεονέκτημα προσαρμογής: ως σύνολο, η ικανότητα προσαρμογής του συστήματος παραμένει σχεδόν σταθερή ενώ τα είδη είτε εξελίσσονται διαρκώς (ρυθμίζουν αντισταθμιστικά την ικανότητα προσαρμογής τους ως απόκριση στην εξέλιξη των άλλων ειδών) είτε αποτυγχάνουν στον «αγώνα» αυτόν και εξαφανίζονται. Το ίδιο εφαρμόζεται και σε επιμέρους πληθυσμούς των ειδών που συνεξελίσσονται (**Εικόνα 1**).



Εικόνα 1. Σχέσεις συνεξέλιξης μεταξύ δύο ειδών και πληθυσμών των ειδών αυτών κατά το πρότυπο της υπόθεσης Red Queen (εικόνα προσαρμοσμένη από το άρθρο: Strotz *et al.*, 2018)

Ένα πειραματικό παιχνίδι με χαρτιά για τη συνεξέλιξη ξενιστή-παρασίτου

Μια βασική πρόβλεψη της Υπόθεσης Red Queen είναι ότι η συνεξέλιξη μεταξύ των ειδών που αλληλεξαρτώνται, για παράδειγμα μεταξύ ξενιστών και παρασίτων, λειτουργεί προς την κατεύθυνση της **διατήρησης της γενετικής ποικιλότητας**. Το μοντέλο συνεξέλιξης ξενιστών-παρασίτων υποθέτει ότι οι παρασιτικοί οργανισμοί που μπορούν να μολύνουν τους πιο κοινούς γονοτύπους ξενιστών (αυτούς που υπάρχουν σε μεγαλύτερη συχνότητα) σε έναν πληθυσμό έχουν πλεονέκτημα προσαρμογής. Ωστόσο, καθώς οι ξενιστές με τους πιο κοινούς γονοτύπους εκτίθενται περισσότερο στα παράσιτα μειώνονται βαθμιαία σε συχνότητα ενώ ξενιστές με σπανιότερους γονοτύπους που αποφεύγουν τη συχνή μόλυνση από παράσιτα αρχίζουν να αυξάνονται. Ασκείται, δηλαδή αρνητική επίδραση επιλογής στους συχνότερους γονοτύπους και θετική επίδραση επιλογής στους σπανιότερους. Το ίδιο, αντίστοιχα, ισχύει και για τους γονοτύπους των παρασίτων. Ως συνέπεια, το σύστημα ξενιστών-παρασίτων εμφανίζει συνεχείς ταλαντώσεις στις συχνότητες των διαφόρων γονοτύπων ευνοώντας τη διατήρηση αρκετών γονοτύπων και, επομένως, γενετικής ποικιλότητας τόσο στους ξενιστές όσο και στα παράσιτα (Hamilton *et al.*, 1990; Howard and Lively, 1994).

Στο πειραματικό παιχνίδι που έχει προταθεί από τους Gibson *et al.* (2015), οι σπουδαστές αναλαμβάνουν εναλλάξ τους ρόλους των παρασίτων και των ξενιστών τους παίζοντας με αντίστοιχες τράπουλες και, στην εξέλιξη του παιχνιδιού, βιώνουν τις αλλαγές στις συχνότητες των επιμέρους «γονοτύπων» (καρτών ίδιου χρώματος) και τις αμοιβαίες αυξομειώσεις των αντίστοιχων πληθυσμών ξενιστών και παρασίτων. Τα αποτελέσματα του παιχνιδιού, όπως καταγράφονται από τις αλλαγές στις συχνότητες των καρτών κάθε χρώματος στη διάρκεια αρκετών γύρων παιχνιδιού, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ελέγξουν την πρόβλεψη της Υπόθεσης Red Queen περί διατήρησης της γενετικής ποικιλότητας (**Εικόνα 2**).

Συνοπτικά, μέσω του παιχνιδιού αυτού γίνεται μια προσπάθεια προσομοίωσης των σχέσεων συνεξέλιξης ξενιστών-παρασίτων που θα μπορούσε να αναδείξει με εποπτικό τρόπο μερικές βασικές έννοιες για τη συνεξέλιξη: (α) Ότι η συνεξέλιξη οδηγεί σε γρήγορες αλλαγές. (β) Ότι η επιτυχία προσαρμογής ενός γονοτύπου μπορεί να αλλάζει δραματικά (από το μέγιστο στο ελάχιστο) σε λίγες μόνο γενιές. (γ) Ότι οι γονοτύποι που εμφανίζονται σε δεδομένη στιγμή με χαμηλή συχνότητα έχουν πλεονέκτημα έναντι των άλλων. (δ) Ότι αυτό το πλεονέκτημα προσαρμογής των σπάνιων γονοτύπων οδηγεί σε βάθος χρόνου στη διατήρηση της γενετικής ποικιλότητας.

Πώς παίζεται το παιχνίδι

Το παιχνίδι παίζεται ανά δύο. Οι δύο παίκτες παίζουν με ξεχωριστή τράπουλα ο καθένας. Η μία τράπουλα αντιπροσωπεύει την ομάδα «γονοτύπων» του ξενιστή (τράπουλα με μπλε σύμβολα, **Εικόνα 3**) και η άλλη του παρασίτου (τράπουλα με κόκκινα σύμβολα, **Εικόνα 3**).

Για να υπάρχει επαρκές στατιστικό δείγμα, το παιχνίδι παίζεται σε 15-16 γύρους και από 7-8 ζεύγη παικτών (ζεύγη ξενιστή-παρασίτου) τουλάχιστον. Οι παίκτες κάθε ζεύγους αλλάζουν ρόλους στη μέση του παιχνιδιού (δηλαδή, κάθε παίκτης παίζει με την τράπουλα του ξενιστή τους μισούς γύρους και με την τράπουλα του παρασίτου τους άλλους μισούς).

Κάθε γύρος παιχνιδιού έχει 4 βήματα.

Βήμα 1. Επαφή ξενιστή-παρασίτου. Κάθε παίκτης «κατεβάζει» από την τράπουλά του 12 κάρτες, πρώτα ο «ξενιστής» και μετά το «παρασίτο». Οι κάρτες του παρασίτου «πέφτουν» με τη σειρά απέναντι σε κάθε μία από τις κάρτες του ξενιστή και σχηματίζονται έτσι 12 ζεύγη.

Βήμα 2. Μόλυνση και επιλογή. Από τα 12 τυχαία ζεύγη καρτών ξενιστή-παρασίτου που έχουν σχηματιστεί, παραμένει στο παιχνίδι μόνο μία από τις δύο κάρτες. Αν η κάρτα παρασίτου είναι ίδιου χρώματος με την αντίστοιχη κάρτα ξενιστή, η κάρτα του ξενιστή «ακυρώνεται» (επιστρέφει στο απόθεμα με τις υπόλοιπες κάρτες της τράπουλας ξενιστή). Αν η κάρτα παρασίτου είναι διαφορετικού χρώματος από την κάρτα ξενιστή, τότε «ακυρώνεται» η κάρτα του παρασίτου (επιστρέφει στο απόθεμα με τις υπόλοιπες κάρτες της τράπουλας παρασίτου) **(Εικόνα 3)**. Η πρώτη περίπτωση αναπαριστά μια επιτυχία μόλυνσης που οδηγεί σε αδυναμία αναπαραγωγής του ξενιστή, ενώ η δεύτερη μια αποτυχία μόλυνσης που οδηγεί σε αδυναμία επιβίωσης του παρασίτου.

Βήμα 3. Αναπαραγωγή. Οι κάρτες που έχουν «επιβιώσει» από κάθε ζεύγος αυξάνονται σε αριθμό, με προσθήκη καρτών του ίδιου χρώματος από την αντίστοιχη τράπουλα. Σε κάθε κάρτα ξενιστή προστίθεται μία ακόμη ίδιου χρώματος από την τράπουλα του ξενιστή. Σε κάθε κάρτα παρασίτου προστίθενται δύο ακόμη ίδιου χρώματος από την τράπουλα παρασίτου. Οι προσθήκες αυτές αναπαριστούν το αποτέλεσμα της «αναπαραγωγής» του ξενιστή και του παρασίτου, αντίστοιχα, υποθέτοντας έναν ταχύτερο ρυθμό αναπαραγωγής του παρασίτου σε σχέση με αυτόν του ξενιστή (3:2). Σε περίπτωση που το απόθεμα καρτών μιας τράπουλας δεν έχει άλλες κάρτες ενός χρώματος («γονοτύπου») που χρειάζεται για τις προσθήκες στο βήμα αυτό, η συμπλήρωση των επιπλέον καρτών γίνεται με τυχαία επιλογή από το απόθεμα των υπόλοιπων καρτών της τράπουλας. Σε μια τέτοια περίπτωση, θα προστεθούν κάρτες που δεν ταιριάζουν με το χρώμα κάποιας από τις κάρτες του βήματος 2, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί στο αποτέλεσμα κάποιας μετάλλαξης.

Βήμα 4. Ρύθμιση του μεγέθους των πληθυσμών. Μετά το βήμα 3, ο παίκτης-ξενιστής και ο παίκτης-παρασίτο μπορεί έχουν περισσότερες ή λιγότερες από 12 κάρτες. Για να διατηρηθεί ο πληθυσμός στις 12 κάρτες (ένα μέγεθος πληθυσμού που δεχόμαστε κατά σύμβαση ότι αντιστοιχεί στο μέγιστο που μπορεί να στηρίξει το σύστημα), γίνεται απόρριψη καρτών ή συμπλήρωση με κάρτες, με τυχαίο τρόπο, από το απόθεμα της αντίστοιχης τράπουλας. Το βήμα αυτό μπορεί να αναπαριστά μεταναστεύσεις που ανανεώνουν το γονιδιακό απόθεμα ενός πληθυσμού (συμπλήρωση καρτών) ή περιορισμό των απογόνων λόγω υπέρβασης ενός μεγίστου ορίου ατόμων που μπορεί να επιβιώσει στο οικοσύστημα (απόρριψη καρτών). Ο παίκτης με λιγότερες από 12 κάρτες (συχνότερο για παίκτης στο ρόλο του παρασίτου) «τραβά» από το απόθεμα κλειστών καρτών τον αριθμό καρτών που του λείπουν αφού ανακατέψει την τράπουλα. Ο παίκτης με περισσότερες από 12 κάρτες (συχνότερο για παίκτης στο ρόλο του ξενιστή) απορρίπτει στο απόθεμα κλειστών καρτών τον πλεονάζοντα αριθμό αφού ανακατέψει τις κάρτες που έχει στο χέρι του μετά το βήμα 3.

Βήμα 1 του επόμενου γύρου.

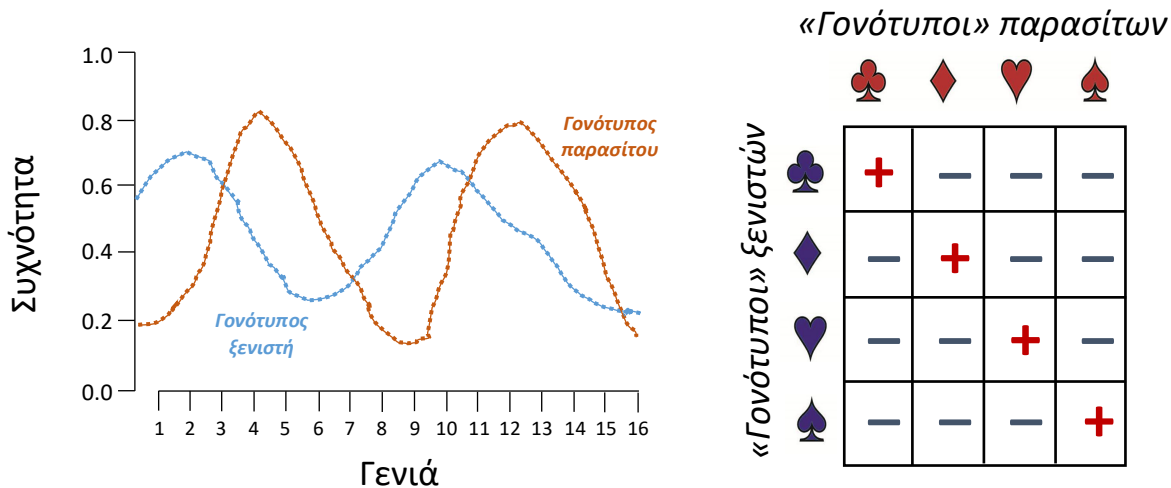
Ξεκινώντας με τις 12 κάρτες που έχει μετά το βήμα 4 του προηγούμενου γύρου, κάθε παίκτης ανακατεύει και «κατεβάζει» τις κάρτες με τυχαία σειρά, όπως στο προηγούμενο βήμα 1. **Το παιχνίδι συνεχίζεται με επανάληψη των βημάτων 1-4 μέχρι να ολοκληρωθεί ο κάθε γύρος.**

Καταγραφή των συχνοτήτων και αποτελέσματα

Σε κάθε γύρο παιχνιδιού (μία γενιά «συνεξέλιξης» παρασίτων-ξενιστών) καταγράφονται τα ποσοστά των καρτών κάθε χρώματος και από τις δύο τράπουλες. Στο τέλος του βήματος 4 κάθε γύρου, κάθε ζεύγος παικτών καταγράφει τους αριθμούς των καρτών κάθε χρώματος

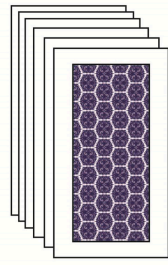
που απομένουν, τόσο για τον πληθυσμό ξενιστή όσο και για τον πληθυσμό παρασίτου. Οι αριθμοί αυτοί διαιρούμενοι δια του συνολικού μεγέθους πληθυσμού (12 άτομα) δίνουν τις σχετικές συχνότητες κάθε χρώματος-γονοτύπου για τους ξενιστές και για τα παράσιτα.

Κάθε ζεύγος παικτών (ζεύγος ξενιστή-παρασίτου) καταγράφει τους αριθμούς και τις σχετικές συχνότητες των καρτών κάθε χρώματος για 15-16 γύρους παιχνιδιού. Αν το παιχνίδι παιχτεί παράλληλα από 7-8 ζεύγη παικτών, οι καταγραφές συχνοτήτων από όλα τα ζεύγη παικτών χρησιμοποιούνται για μια στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων που μπορεί να αναδείξει καλύτερα τη δυναμική του συστήματος και τη διατήρηση της ποικιλότητας (**Εικόνα 4**).

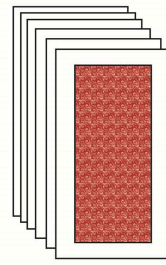


Εικόνα 2. Βασική ιδέα του παιχνιδιού. Για να προσομοιωθεί η περιοδική επάλληλη κύμανση των γονοτύπων των ξενιστών και των παρασίτων τους (αριστερά) το παιχνίδι έχει σχεδιαστεί ώστε οι κάρτες των παρασίτων (από την τράπουλα με τα κόκκινα σύμβολα) να «ακυρώνουν» τις κάρτες ίδιας σειράς των ξενιστών (από την τράπουλα με μπλε σύμβολα) με τις οποίες ζευγαρώνουν (+) αλλά να «ακυρώνονται» οι ίδιες όταν ζευγαρώνουν με κάρτες ξενιστών διαφορετικής σειράς τις οποίες δεν μπορούν να επηρεάσουν (-) (δεξιά). Οι κάρτες που «επιβιώνουν» από τα ζευγαρώματα αυτά «αναπαράγονται» (με προσθήκη καρτών ίδιου χρώματος από την αντίστοιχη τράπουλα) ενώ οι άλλες «απορρίπτονται». Σε κάθε γύρο παιχνιδιού (μία γενιά «συνεξέλιξης» παρασίτων-ξενιστών) καταγράφονται οι σχετικές συχνότητες των 4 τύπων καρτών (των 4 «γονοτύπων» παρασίτων και ξενιστών τους). Οι κυμάνσεις που μπορούν να παρατηρηθούν σε 15-16 γύρους του παιχνιδιού αναδεικνύουν την πρόβλεψη του μοντέλου Red Queen περί δυναμικής ισορροπίας μεταξύ των διαφορετικών γονοτύπων που διατηρεί τη γενετική ποικιλότητα: ξενιστές που αφθονούν στον πληθυσμό γιατί έχουν παροδικό πλεονέκτημα προσαρμογής είναι ευάλωτοι στα παράσιτα που μπορούν να τους μολύνουν (έχοντας «συμβατούς» γονοτύπους, δηλ. κάρτες ίδιου χρώματος με αυτές των ξενιστών τους) και σταδιακά μειώνονται λόγω της μεγαλύτερης έκθεσης στα παράσιτα αυτά ενώ αυξάνεται ο πληθυσμός των «συμβατών» παρασίτων τους τα οποία έχουν επιτυχία αναπαραγωγής γιατί μπορούν να μολύνουν μια μεγαλύτερη δεξαμενή ξενιστών. Με τον τρόπο αυτόν, ένας τύπος ξενιστή που παροδικά υπερέχει σε πληθυσμό υπόκειται σε **αρνητική δράση επιλογής** και αρχίζει να μειώνεται ενώ ο πληθυσμός των παρασίτων του αυξάνεται, οδηγώντας αντισταθμιστικά σε μείωση των παρασίτων όταν μειωθεί κατά πολύ ο αντίστοιχος πληθυσμός ξενιστή και, τελικά, σε έναν κύκλο αυξομειώσεων των πληθυσμών που ευνοεί κάθε φορά τους γονοτύπους που υπάρχουν σε σχετικά χαμηλή συχνότητα. Με τη διατήρηση όλων των επιμέρους γονοτύπων παρασίτων και ξενιστών σε χαμηλά ποσοστά, διατηρείται συνολικά η γενετική ποικιλότητα.

Κάρτες ξενιστών

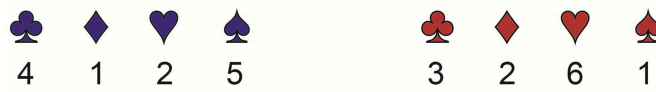


Κάρτες παρασίτων

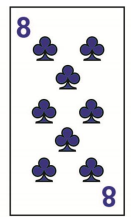


κάθε γύρος: 12 κάρτες
(παρακολούθηση της
εξέλιξης των 4 «αλληλίων»)

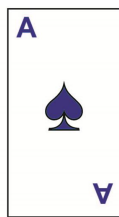
π.χ.



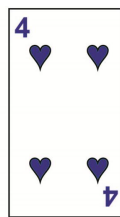
Ξενιστής



αποφεύγει



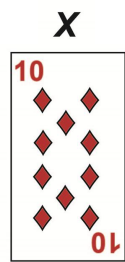
X



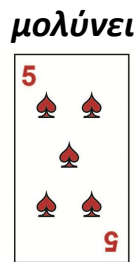
αποφεύγει

→ 12 ζεύγη

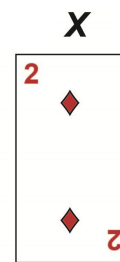
Παράσιτο



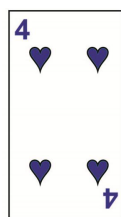
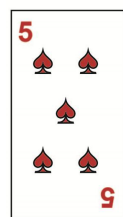
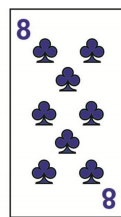
X



μολύνει

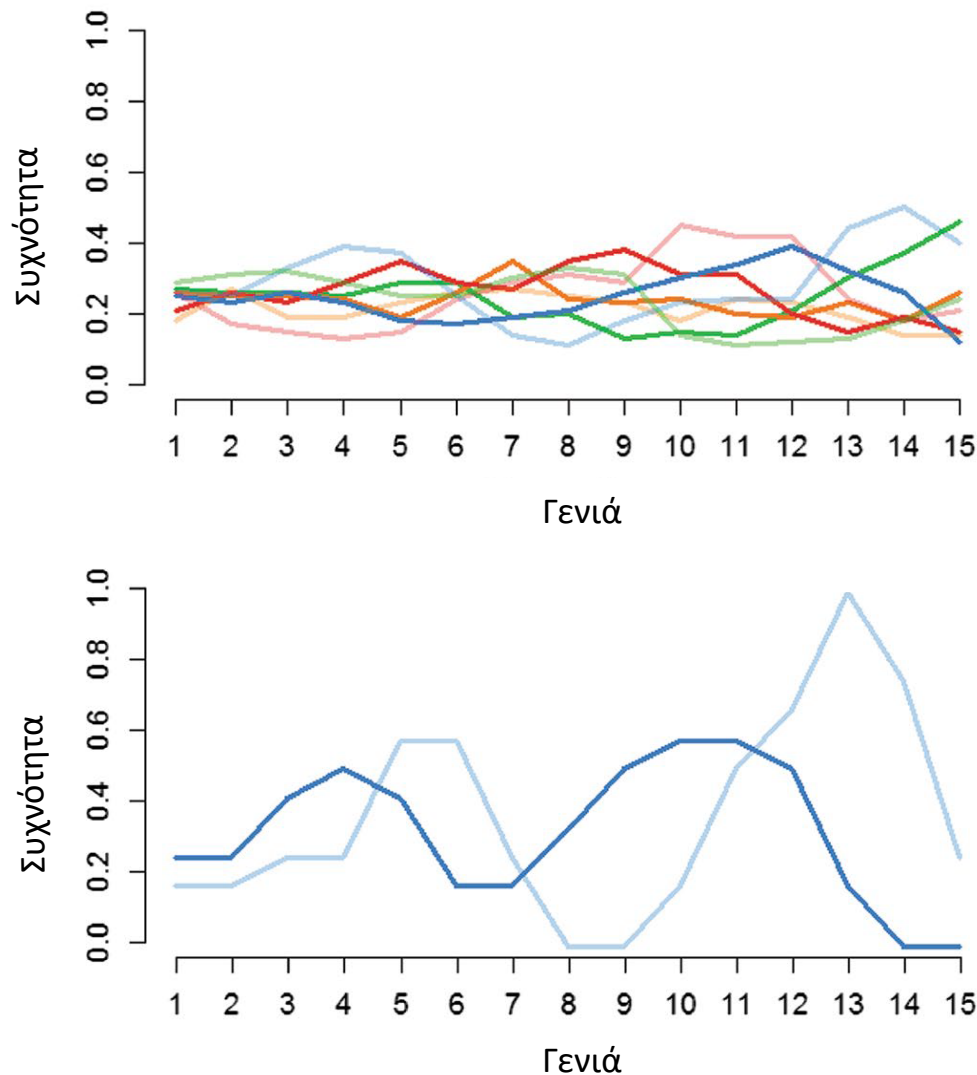


X



→ Κ.Ο.Κ.

Εικόνα 3. Κατάστρωση και αρχικά βήματα του παιχνιδιού.



Εικόνα 4. Ενδεικτικά αποτελέσματα του παιχνιδιού μετά από 15 γύρους που παίχθηκαν από 7 ζευγάρια σπουδαστών με ρόλους ξενιστή-παρασίτου [Gibson *et al.*, 2015]. Στο πάνω διάγραμμα φαίνεται η **κύμανση της μέσης συχνότητας** των πληθυσμών καθενός από τους 4 γονοτύπους ξενιστή (έντονες γραμμές) ή παρασίτου (λεπτές γραμμές). Στο κάτω διάγραμμα φαίνεται το αποτέλεσμα ενός από τα παιχνίδια ξενιστή-παρασίτου (ενός από τα 7 ζευγάρια παικτών) για ένα μόνο γονότυπο (ένα από τα 4 χρώματα του πάνω διαγράμματος).

Επικουρικό υλικό – πιθανές ερωτήσεις εμπέδωσης

Δίνεται ένα πρότυπο excel file για συμπλήρωση των πινάκων με τους αριθμούς και τις σχετικές συχνότητες των τεσσάρων τύπων καρτών ξενιστών και παρασίτων, που βασίζεται στο συμπληρωματικό υλικό του άρθρου Gibson *et al.* (2015).

Μετά το παιχνίδι, μπορούν να δοθούν μερικές απλές ερωτήσεις προς σκέψη και εμπέδωση βασικών εννοιών της συνεξέλιξης, όπως:

- Ποιος κέρδισε το παιχνίδι, ο ξενιστής ή το παράσιτο;
- Διατηρήθηκε η γενετική ποικιλότητα στον πληθυσμό του ξενιστή;

- Διατηρήθηκε η γενετική ποικιλότητα στον πληθυσμό του παρασίτου;
- Τί πιστεύετε ότι θα συνέβαινε με τις συχνότητες των τεσσάρων γονοτύπων στον πληθυσμό του ξενιστή αν δεν υπήρχαν παράσιτα;
- Γιατί οι κυμάνσεις των γονοτύπων του ξενιστή δεν είναι συγχρονισμένες με τις κυμάνσεις των γονοτύπων του παρασίτου αλλά υπάρχει χρονική υστέρηση μεταξύ τους;
- Πόσες περίπου γενιές διαρκεί αυτή η χρονική υστέρηση;
- Γιατί οι κυμάνσεις των πληθυσμών από κάθε παρτίδα παιχνιδιού που παίχτηκε παράλληλα διαφέρουν τόσο πολύ μεταξύ τους;
- Γιατί οι κυμάνσεις από τους μέσους όρους όλων των παρτίδων παιχνιδιού που παίχτηκαν είναι πολύ μικρότερες από τις κυμάνσεις σε κάθε ξεχωριστή παρτίδα;
- Σχετίζεται η ικανότητα προσαρμογής με την συχνότητα εμφάνισης ενός γονοτύπου στο σύστημα παρασίτου-ξενιστή και με ποιο τρόπο;
- Πιστεύετε ότι το ανταγωνιστικό μοντέλο που είδαμε στο παιχνίδι αυτό (Red Queen) μπορεί να περιγράψει όλες τις σχέσεις συνεξέλιξης στη φύση ή υπάρχουν και άλλες διαφορετικές σχέσεις συνεξέλιξης που περιγράφονται με άλλα μοντέλα;

Αναφορές

Van Valen, L. (1973). A new evolutionary law. *Evol. Theory* **10**, 71-74.

<https://www.mn.uio.no/cees/english/services/van-valen/>

Strotz, L. C., Simoes, M., Girard, M. G., Breitkreuz, L., Kimmig, J., and Lieberman, B. S. (2018). Getting somewhere with the Red Queen: chasing a biologically modern definition of the hypothesis. *Biol. Lett.* **14**, 20170734. <http://dx.doi.org/10.1098/rsbl.2017.0734>

Thanukos, A. (2010). Coevolution in the classroom. *Evo. Edu. Outreach* **3**, 71-77.

<https://doi.org/10.1007/s12052-009-0203-7>

Gibson, A.K., Drown, D.M., and Lively, C.M. (2015). The Red Queen's race: An experimental card game to teach coevolution. *Evo. Edu. Outreach* **8**:10. <https://doi.org/10.1186/s12052-015-0039-2>

Hamilton, W. D., Axelrod, R., and Tanese, R. (1990). Sexual reproduction as an adaptation to resist parasites. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **87**, 3566-3573.

<https://doi.org/10.1073/pnas.87.9.3566>

Howard, R. S., and Lively, C. M. (1994). Parasitism, mutation accumulation and the maintenance of sex. *Nature* **367**, 554-557. <https://doi.org/10.1038/367554a0>