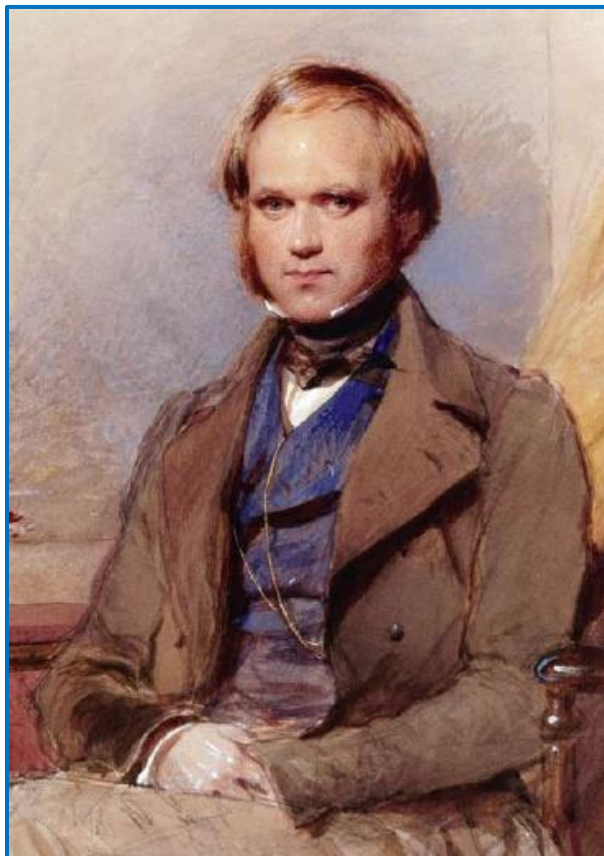


ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ, ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΝΕΟΛΑΙΑΣ

ΒΙΟΛΟΓΙΑ

Γ' ΛΥΚΕΙΟΥ
ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ
ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ

ΕΝΟΤΗΤΑ 6: ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ



ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Πορτρέτο του Κάρολου Δαρβίνου με μελάνι και ακουαρέλα από τον George Richmond το 1840.

© Βιβλιοθήκη English Heritage Photo Library

ΒΙΟΛΟΓΙΑ

Γ΄ ΛΥΚΕΙΟΥ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ - ΕΝΟΤΗΤΑ 6: ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ

Δοκιμαστική Έκδοση 2020

Συγγραφική ομάδα:

Δρ Ανδρεανή Μπάιτελμαν, Διευθύντρια,
Λειτουργός Αναλυτικών Προγραμμάτων Βιολογίας

Ιωάννης Σωρός,
Εκπαιδευτικός Βιολογίας Μέσης Γενικής Εκπαίδευσης

Δωρίτα Δημητρίου,
Εκπαιδευτικός Βιολογίας Μέσης Γενικής Εκπαίδευσης

Νικόλας Παπανικόλας,
Εκπαιδευτικός Βιολογίας Μέσης Γενικής Εκπαίδευσης

Δρ Κωνσταντίνος Κορφιάτης, Αναπληρωτής Καθηγητής,
Τμήμα Επιστημών της Αγωγής, Πανεπιστήμιο Κύπρου

Δρ Σπύρος Σφενδουράκης, Καθηγητής,
Τμήμα Βιολογικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Κύπρου

Δρ π. Δημήτριος Μαππούρας, Επιθεωρητής Μέσης Εκπαίδευσης
Φυσιογνωστικών/Βιολογίας, ΥΠΠΑΝ

Επιτροπή κρίσης - Αξιολόγησης:

Ομάδα Αναλυτικών Προγραμμάτων Βιολογίας

Σύνδεσμος Επιθεωρητής:

Δρ π. Δημήτριος Μαππούρας, Επιθεωρητής Μέσης Εκπαίδευσης
Φυσιογνωστικών/Βιολογίας, ΥΠΠΑΝ

Επιστημονικοί συνεργάτες:

Για το επιστημονικό περιεχόμενο: Δρ Σπύρος Σφενδουράκης, Καθηγητής,
Τμήμα Βιολογικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Κύπρου

Για τη διδακτική προσέγγιση: Δρ Κωνσταντίνος Κορφιάτης, Αναπληρωτής
Καθηγητής, Τμήμα Επιστημών της Αγωγής, Πανεπιστήμιο Κύπρου

Λειτουργοί Αναλυτικών Προγραμμάτων Βιολογίας:

Δρ Ανδρεανή Μπάιτελμαν,
Διευθύντρια Μέσης Γενικής Εκπαίδευσης

Δρ Ανδρέας Χατζηχαμπής,
Βοηθός Διευθυντής Μέσης Γενικής Εκπαίδευσης

Δρ Δήμητρα Παρασκευά-Χατζηχαμπή,
Εκπαιδευτικός Βιολογίας Μέσης Γενικής Εκπαίδευσης

Εποπτεία:

Δρ π. Δημήτριος Μαππούρας, Επιθεωρητής Μέσης Εκπαίδευσης
Φυσιογνωστικών/Βιολογίας, ΥΠΠΑΝ

Συντονισμός έκδοσης:

Χρίστος Παρπούνας, Συντονιστής Υπηρεσίας Ανάπτυξης Προγραμμάτων

Εκτύπωση: Printco Cassoulides Ltd

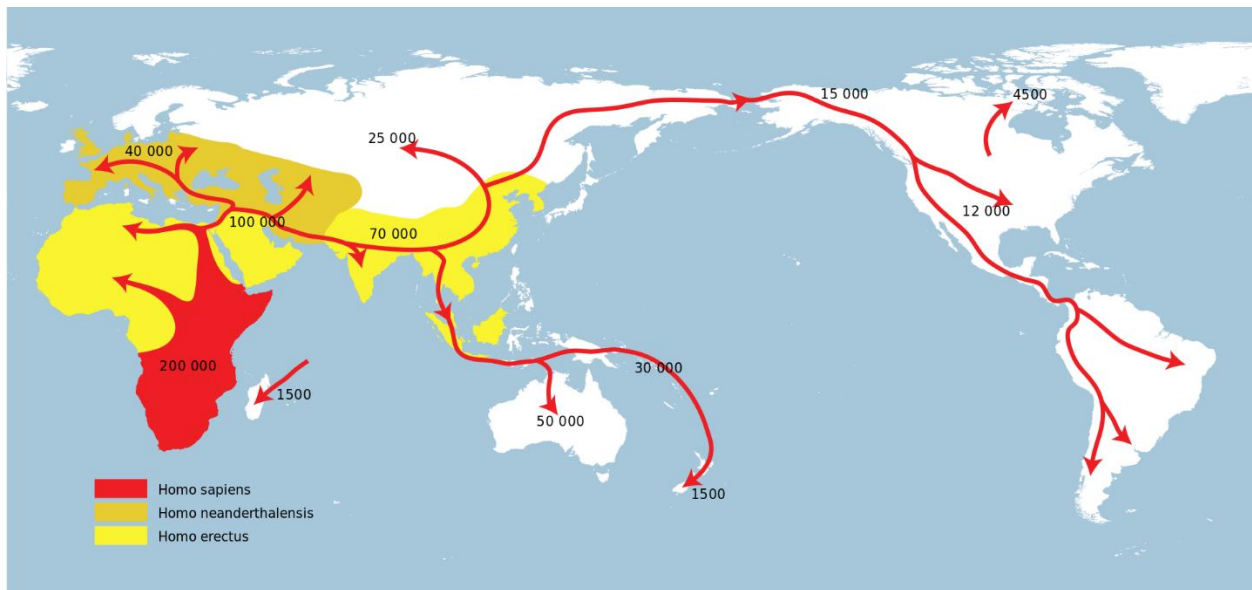
ISBN: 978-9963-54-231-4

© ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ, ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΝΕΟΛΑΙΑΣ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Εισαγωγή

Σύμφωνα με το, μέχρι στιγμής, επικρατέστερο εξελικτικό σενάριο, πριν από περίπου 150.000 χρόνια οι πρόγονοί μας που ζούσαν στην αφρικανική ήπειρο άρχισαν να μετακινούνται από την Αφρική προς άλλους προορισμούς. Από τις πεδιάδες του Τίγρη και του Ευφράτη, πέρασαν στην Ινδία και αργότερα στα νησιά της Ινδονησίας και στην Αυστραλία, και πολύ αργότερα, μέσω του Βερίγγειου Πορθμού, στην Αμερική. Άλλες ομάδες τους έφτασαν στην Ευρώπη μέσω των νησιών της Μεσογείου και άλλες από τις πεδιάδες βόρεια της Μαύρης Θάλασσας. Σε αυτό το ταξίδι τους είχαν να αντιμετωπίσουν πολλές προκλήσεις, κατακτώντας διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη, ζώντας σε διαφορετικές κλιματικές συνθήκες και σε ποικίλες συνθήκες διαβίωσης. Από γενιά σε γενιά, η φυσιολογία και η εμφάνισή τους άλλαξαν. Το δέρμα όσων ζούσαν πιο μακριά από τους τροπικούς έγινε ανοιχτόχρωμο και άρχισαν να παράγουν περισσότερη βιταμίνη D. Όταν πριν από 10.000 χρόνια, περίπου, εξημέρωσαν τα παραγωγικά ζώα, οι πληθυσμοί που έπιναν γάλα από αυτά διατήρησαν την ικανότητα να διασπούν τη λακτόζη και ως ενήλικες. Αντίθετα, σε πληθυσμούς που δεν καταναλώνουν γάλα, το χαρακτηριστικό αυτό χάνεται αμέσως μετά τη νηπιακή ηλικία. Επίσης, οι πληθυσμοί που έτρωγαν τροφές πλούσιες σε άμυλο, παρήγαγαν περισσότερη αμυλάση στο σάλιο τους, διασπώντας το άμυλο των τροφών.

Λόγω όλων αυτών και πολλών άλλων μεταβολών και εξελικτικών αλλαγών των ανθρώπινων χαρακτηριστικών μέσα στον χρόνο, σε συνδυασμό και με τη φυλετική (αμφιγονική) αναπαραγωγή, σήμερα εμείς έχουμε κληρονομήσει μια τεράστια και θαυμαστή ποικιλομορφία. Ανάλογες αλλαγές και ποικιλομορφία μπορούμε να διαπιστώσουμε και για όλους τους άλλους οργανισμούς του πλανήτη μας.



Εικόνα 1: Μεταναστεύσεις των πρώτων ανθρώπινων πληθυσμών από την Αφρική

Δεδομένου ότι είμαστε το μοναδικό είδος που διαθέτει τόσο σύνθετη αφαιρετική σκέψη, έχουμε τη δυνατότητα να μελετάμε την εξελικτική διαδικασία, να δίνουμε νόημα στη ζωή μας και να έχουμε ευθύνη για τις πράξεις μας.

Ποια είναι όμως τα δεδομένα που έχουμε για την εξέλιξη των οργανισμών; Ποιοι είναι οι μηχανισμοί που εμπλέκονται στην εμφάνιση εξελικτικών αλλαγών για τη δημιουργία μιας τόσο αξιοθαύμαστης ποικιλομορφίας στον πλανήτη μας; Πώς επηρεάζουν σήμερα τη ζωή μας οι διάφοροι μηχανισμοί που είναι υπεύθυνοι για την εξέλιξη των οργανισμών; Ποιες είναι οι δικές μας ευθύνες για τη διατήρηση αυτής της τεράστιας ποικιλομορφίας της ζωής;

Στην ενότητα αυτή θα μελετήσουμε όλους τους σχετικούς μηχανισμούς που αφορούν την εξέλιξη των οργανισμών και θα προσπαθήσουμε να δώσουμε τεκμηριωμένες απαντήσεις στα πιο πάνω ερωτήματα, καθώς και σε πολλά άλλα παρόμοια που σχετίζονται με την εξέλιξη των οργανισμών.

Υποενότητα 6.1: Στα ίχνη του Κάρολου Δαρβίνου

Κατά τη διάρκεια του 19ου αιώνα σημειώθηκε μια πολύ σημαντική αλλαγή στον τρόπο σκέψης των ανθρώπων, της οποίας η απήχηση διαρκεί μέχρι σήμερα. Συγκεκριμένα, άλλαξε ο τρόπος που εξηγούμε τις λειτουργίες της φύσης και την ποικιλία της ζωής, και το νέο πλαίσιο ερμηνείας αποτελεί πλέον τη βάση της σύγχρονης βιολογίας.

Ο σημαντικότερος πρωταγωνιστής σε αυτή την αλλαγή ήταν ο Κάρολος Δαρβίνος, Άγγλος φυσιοδίφης, ο οποίος έμεινε στην ιστορία ως ο θεμελιωτής της θεωρίας της εξέλιξης. Ο Κάρολος Δαρβίνος, το 1859, σε ηλικία 50 χρόνων, δημοσίευσε το πιο διάσημο ίσως επιστημονικό έργο που γράφτηκε ποτέ και φέρει τον τίτλο «Η Καταγωγή των Ειδών». Ο Δαρβίνος στο βιβλίο του προσέφερε μια θεωρία για να εξηγήσει πώς ένα είδος μπορεί να αλλάξει και να δημιουργήσει άλλα, προσφέροντας και τον βασικό μηχανισμό, τη φυσική επιλογή. Η αποδοχή της θεωρίας του σήμανε την ανατροπή παλαιότερων απόψεων που θεωρούσαν ότι τα «είδη» παραμένουν για πάντα αμετάβλητα.

Στο έργο του αυτό, ο Δαρβίνος παρουσίασε άφθονες ενδείξεις για την εξέλιξη μέσω φυσικής επιλογής. Σήμερα, διαθέτουμε και πολλά πρόσθετα δεδομένα που στηρίζουν τη θεωρία της εξέλιξης των οργανισμών μέσω φυσικής επιλογής, τα οποία δεν ήταν γνωστά την εποχή του Δαρβίνου. Τα περισσότερα από αυτά προέρχονται από τη μελέτη του DNA και της κληρονομικότητας, αλλά και από το μεγάλο πλήθος νεότερων απολιθωμάτων και γνώσεων για τη βιολογία των οργανισμών.

Ο Δαρβίνος έγραψε στην *Καταγωγή των Ειδών* (Κεφάλαιο 15):

«...όταν θα θεωρήσουμε κάθε δημιουργία της φύσης σαν κάτι που έχει πίσω του μια μακρά ιστορία, όταν θα θεωρήσουμε κάθε σύνθετη δομή και ένστικτο ως το άθροισμα πολλών συνδυασμών που το καθένα είναι χρήσιμο στον κάτοχό του, κατά τον ίδιο τρόπο που κάθε μεγάλη μηχανική εφεύρεση είναι το άθροισμα της εργασίας, της πείρας, του λογικού και ακόμα και των σοβαρών λαθών πολυάριθμων εργατών, όταν θα δούμε από μια τέτοια σκοπιά κάθε έμβιο ον, πόσο περισσότερο ενδιαφέρουσα - μιλώ από πείρα - θα γίνει η μελέτη της φυσικής ιστορίας!»

(Μετάφραση: Δ.Ε.Π. Τμήματος Βιολογίας Πανεπιστημίου Πατρών, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 1998).

Υποενότητα 6.2: Ενδείξεις για την εξέλιξη

Σήμερα υπάρχει πληθώρα ενδείξεων που τεκμηριώνουν την εξέλιξη των οργανισμών. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στις κυριότερες κατηγορίες τέτοιων ενδείξεων.

6.2.1. Απολιθώματα: Οι φανεροί και οι χαμένοι κρίκοι της μεγάλης ιστορίας

Τα απολιθώματα αντιπροσωπεύουν διατηρημένα ή αντικατεστημένα υπολείμματα, ή ίχνη προϊστορικών μορφών ζωής που συσσωρεύτηκαν κατά τη διάρκεια εκατομμυρίων χρόνων σε ιζηματογενή κυρίως πετρώματα. Έχουν βρεθεί μέχρι σήμερα μερικές εκατοντάδες χιλιάδες μόνο ειδών σε απολιθώματα από τα εκατοντάδες εκατομμύρια που έχουν ζήσει στη Γη. Ο λόγος είναι ότι η διαδικασία της απολίθωσης είναι σπάνια και πολλοί οργανισμοί δεν είναι δυνατό να απολιθωθούν.

Η επιστήμη η οποία μελετά την ιστορία της εμφάνισης και της ανάπτυξης της ζωής στη Γη, και βασίζεται στη μελέτη των απολιθωμάτων, ονομάζεται Παλαιοντολογία.

Το συσσωρευμένο αρχείο απολιθωμάτων μας υποδεικνύει ότι:

- οι οργανισμοί που ζουν σήμερα, κατά κανόνα, διαφέρουν από τους οργανισμούς που έζησαν στο παρελθόν
- έχουν συμβεί πολλές αλλαγές στους οργανισμούς στο πέρασμα του χρόνου
- πάρα πολλά είδη μετά την εμφάνισή τους στο αρχείο των απολιθωμάτων, και κάποια περίοδο παρουσίας τους, εξαφανίστηκαν άλλα απότομα και άλλα σταδιακά.

Το πιο γνωστό απολιθώμα πρώιμου πτηνού ανήκει στο γένος *Archaeopteryx*, που αν και δεν είναι το παλαιότερο, ήταν το πρώτο που ανακαλύφθηκε. Βρέθηκε σε ηλικίας 150 εκ. ετών Ιουρασικό ασβεστόλιθο στο Solnhofen της Γερμανίας το 1861. Η αρχαιοπτερυγα είναι ένα από τα παλαιότερα γνωστά πουλιά, το οποίο είχε σκελετό «ερπετού» αλλά και πτέρωμα.

Εκτός από τα πιο γνωστά απολιθώματα που προέρχονται κυρίως από οστά ή δόντια, βρίσκουμε και απολιθωμένα ίχνη, όπως πατημασιές, λαγούμια ή σημάδια από δάγκωμα, αλλά και ολόκληρους οργανισμούς ή μέρη τους μέσα σε κεχριμπάρι.



Εικόνα 2: Απολιθώμα εντόμου μέσα σε κεχριμπάρι

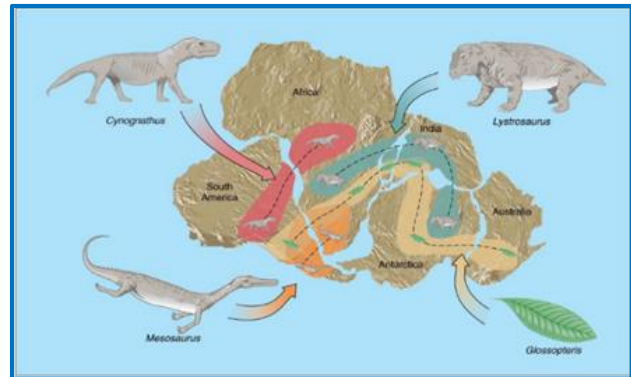
Μια από τις κύριες κριτικές που δέχεται το αρχείο των απολιθωμάτων είναι ότι αυτό είναι ατελές. Δεν υπάρχει ικανοποιητικό αρχείο απολιθωμάτων για την πλειονότητα των πρώιμων οργανισμών αλλά και των περισσότερων από αυτούς που ακολούθησαν. Δεν υπάρχει πλήρης ακολουθία απολιθωμάτων που να δείχνει πώς μια ομάδα συναφών ειδών έχει εξελιχθεί από έναν κοινό πρόγονο (μπορείτε να σκεφτείτε γιατί το αρχείο των απολιθωμάτων εμφανίζεται ατελές;). Παρόλα αυτά, σήμερα, είμαστε σε θέση να ανασυστήσουμε ικανοποιητικά την εξελικτική ιστορία των περισσότερων ομάδων οργανισμών, χρησιμοποιώντας στοιχεία και από άλλες πηγές (π.χ. μοριακά δεδομένα).

6.2.2. Βιογεωγραφία

Η βιογεωγραφία ασχολείται με τη γεωγραφική κατανομή των ειδών. Δεν περιορίζεται μόνο στο να καταγράψει όλα τα είδη οργανισμών που ζουν σήμερα σε ένα γεωγραφικό τόπο, αλλά και στην αναζήτηση και ερμηνεία των παραγόντων αυτής της κατανομής.

Πολύ σημαντικός παράγοντας που ευθύνεται για την κατανομή των οργανισμών στη Γη είναι η μετατόπιση των ηπείρων, δηλαδή η αργή αλλαγή της θέσης των ηπείρων πάνω στον πλανήτη με την πάροδο του χρόνου. Η συνεχής κίνηση των ηπείρων αλλάζει διαρκώς τη διαμόρφωση του πλανήτη μας και διευκολύνει ή δυσκολεύει τη μετακίνηση των οργανισμών.

Η βιογεωγραφία εξηγεί πώς και γιατί βρέθηκαν τα είδη που συναντούμε σε κάθε περιοχή του πλανήτη εκεί που τα βρίσκουμε σήμερα. Για παράδειγμα, η Κύπρος χαρακτηρίζεται από πολλά ενδημικά είδη (είδη που ζουν μόνο στο νησί), κάτι που οφείλεται στο ότι αναδύθηκε από τον βυθό της θάλασσας και άρχισε να σχηματίζεται ως νησί πριν από 20 εκατομμύρια χρόνια περίπου, και ουδέποτε σχηματίστηκε κάποια γέφυρα στεριάς με τις γειτονικές ηπειρωτικές περιοχές. Άρα, τα είδη που έφθασαν εδώ έμειναν απομονωμένα και εξελίχθηκαν στον χρόνο σε μοναδικές μορφές.



Εικόνα 3: Η εξάπλωση των οργανισμών όταν όλες οι ήπειροι ήταν ενωμένες (Παγγαία)

Δραστηριότητα 6.2.2.1: Βρίσκουμε απολιθώματα, αλλά είναι στη «σωστή» θέση;

Στην Εικόνα 4 παρουσιάζεται το φαράγγι της Κακκαρίστρας και, σε πιο μεγάλη λεπτομέρεια, σχηματισμοί με εκατομμύρια κοχύλια που βρίσκονται κατά μήκος του φαραγγιού αυτού.



Εικόνα 4: A. Το φαράγγι της Κακκαρίστρας στην Αθαλάσσα (μακρινό πλάνο)
B. Απολιθώματα κοχυλιών στα τοιχώματα του φαραγγιού (κοντινό πλάνο)

Να εξηγήσετε την εύρεση άφθονων απολιθωμάτων οστράκων σε μια περιοχή όπως η Αθαλάσσα στη Λευκωσία, δεδομένου ότι βρίσκεται πολύ μακριά από τις ακτές του νησιού. Πώς νομίζετε ότι η μελέτη απολιθωμάτων που βρέθηκαν σε «λάθος» θέσεις μπορεί να μας δώσει πληροφορίες για την εξέλιξη της βιοποικιλότητας στον πλανήτη μας;

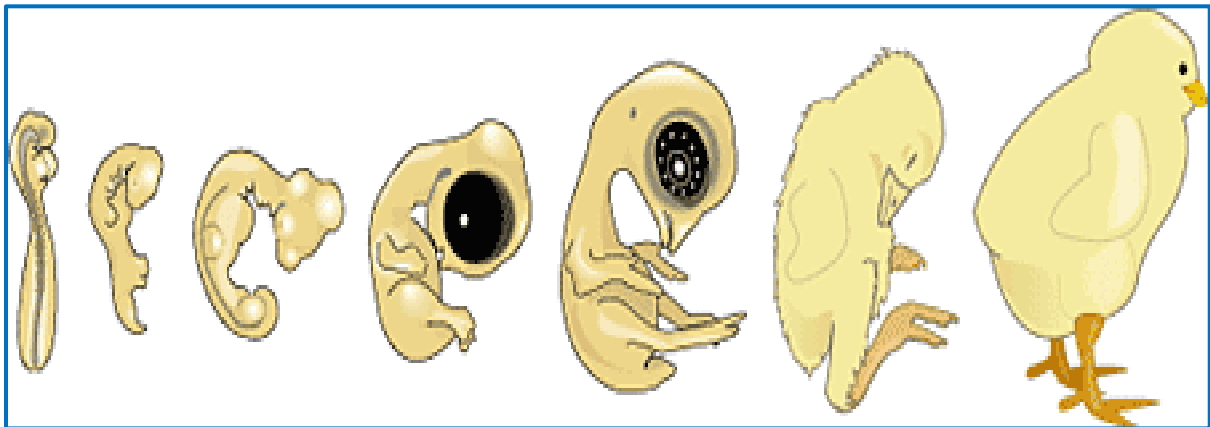
6.2.3: Συγκριτική ανατομία και εμβρυολογία

Συγκριτική ανατομία είναι ο κλάδος της βιολογίας που ασχολείται με τη συγκριτική μελέτη των δομών του σώματος διαφόρων οργανισμών προκειμένου να κατανοηθούν οι προσαρμοστικές αλλαγές που έχουν υποστεί κατά τη διάρκεια της εξέλιξης. Η μελέτη της δημιουργίας ενός εμβρύου και της ανάπτυξής του αποτελεί αντικείμενο της **Εμβρυολογίας**. Και οι δύο, πιο πάνω, κλάδοι της βιολογίας μπορούν να προσφέρουν σημαντικά δεδομένα για τη δόμηση υποθέσεων σχετικά με την καταγωγή και την εξέλιξη των οργανισμών.

Συγκεκριμένα, η συγκριτική ανατομία μπορεί να μας δώσει πληροφορίες σχετικά με την πιθανή εξέλιξη ενός χαρακτηριστικού στην πορεία του χρόνου. Τα χαρακτηριστικά ενός είδους μπορεί να αλλάζουν στον χρόνο και να εξελιχθούν προς διαφορετικές κατευθύνσεις σε διαφορετικές γενεαλογικές γραμμές των απογόνων. Όμως, η κοινή καταγωγή των χαρακτηριστικών μπορεί να ανιχνευθεί, σήμερα και μέσα από μοριακά δεδομένα. Τα χαρακτηριστικά που θεωρούμε ότι έχουν κοινή καταγωγή ονομάζονται **ομόλογα**.

Μερικές φορές, όμως, εμφανίζονται παρόμοια χαρακτηριστικά ακόμη και μεταξύ οργανισμών τα οποία δεν έχουν πρόσφατη κοινή φυλογενετική προέλευση. Στην περίπτωση αυτή, υπεύθυνη για τις ομοιότητες είναι η **συγκλίνουσα εξέλιξη (convergent evolution)**, δηλαδή η ανεξάρτητη εμφάνιση παραπλήσιων γνωρισμάτων σε διαφορετικές φυλογενετικές γραμμές εξαιτίας της εξέλιξης παρόμοιων προσαρμογών σε παρόμοιες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Για παράδειγμα, οι χαυλιόδοντες στους ελέφαντες είναι διαφοροποιημένοι κοπτήρες ενώ στους αγριόχοιρους είναι διαφοροποιημένοι κυνόδοντες. Τα χαρακτηριστικά που έχουν παρόμοια μορφή ή/και λειτουργία αλλά δεν προέρχονται από κοινό πρόγονο, ονομάζονται **ανάλογα**. (Μπορείτε να δώσετε τρία (3) παραδείγματα ανάλογων οργάνων για τη λειτουργία όρασης και πτήσης, που εμφανίστηκαν σε οργανισμούς του ζωικού βασιλείου;)

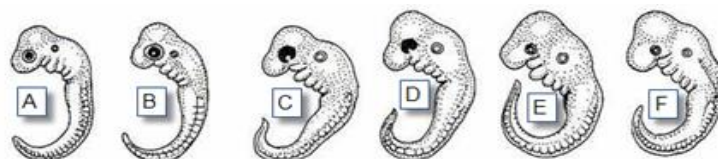


Εικόνα 5: Στάδια εμβρυϊκής ανάπτυξης ενός πτηνού.

Επίσης, τα στάδια της εμβρυϊκής ανάπτυξης διαφορετικών ειδών μας βοηθούν να κατανοήσουμε την κοινή τους προέλευση. Για παράδειγμα, αν παρατηρήσουμε το έμβρυο του πτηνού και το συγκρίνουμε με το ανθρώπινο έμβρυο, θα εντοπίσουμε ομοιότητες σε κάποια στάδια ανάπτυξης και των δύο. Σε ενδιάμεσα στάδια ανάπτυξης, και τα δύο σπονδυλωτά έχουν ουρά που βρίσκεται πάνω από τον πρωκτό (αναφέρεται ως μεταεδρική ουρά), καθώς και φαρυγγικά τόξα. Οι ομοιότητες αυτές θα μπορούσαν να εξηγηθούν με βάση την καταγωγή από κοινό πρόγονο (θα μπορούσατε να σκεφτείτε άλλη δυνατή εξήγηση;)

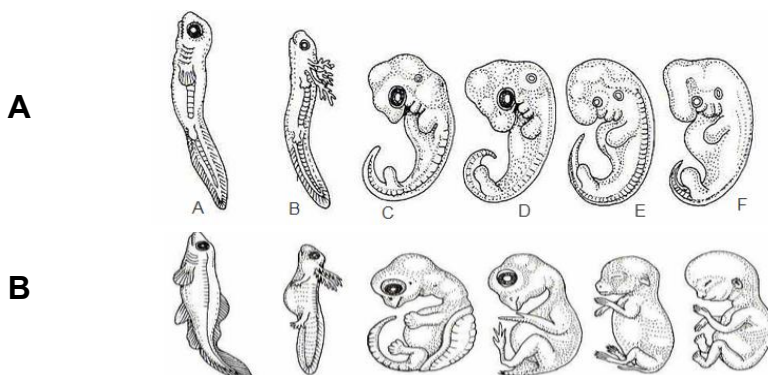
Δραστηριότητα 6.2.3.1: Εμβρυολογία και ενδείξεις για την εξέλιξη

1. Να μελετήσετε στην Εικόνα 6 τα παρακάτω έξι (6) έμβρυα, Α - F, διαφορετικών οργανισμών (ψάρι, σαλαμάνδρα, χελώνα, κοτόπουλο, γουρούνι, άνθρωπος) σε ενδιάμεσα στάδια ανάπτυξής τους και να καταγράψετε τέσσερις (4) ομοιότητες που παρατηρείτε:



Εικόνα 6: Έμβρυα οργανισμών σε ενδιάμεσα στάδια ανάπτυξης.

2. Στην Εικόνα 7 φαίνονται τα έμβρυα των πιο πάνω ειδών σε πιο προχωρημένο στάδιο ανάπτυξης. Τα αναπτυξιακά στάδια των εμβρύων μπορούν να αποτελούν ένδειξη ότι υπάρχει κοινή καταγωγή μεταξύ των έξι (6) αυτών οργανισμών; Να δικαιολογήσετε την άποψή σας.



Εικόνα 7: Α. Έμβρυα οργανισμών σε προχωρημένα στάδια ανάπτυξης.
 Β. Έμβρυα οργανισμών σε τελικά στάδια ανάπτυξης.

6.2.4: Βιοχημεία, γενετική, μοριακή βιολογία

Όταν ο Κάρολος Δαρβίνος έγραψε την *Καταγωγή των Ειδών*, το 1859, δεν ήξερε πώς κληρονομούνται τα χαρακτηριστικά από γενιά σε γενιά. Οι μελέτες του Μέντελ και η Γενετική του 20^{ου} αιώνα μάς βοήθησαν να καταλάβουμε τον μηχανισμό της κληρονομικότητας, αλλά και τους μηχανισμούς της εξέλιξης σε μεγαλύτερη λεπτομέρεια.

Σε μοριακό και κυτταρικό επίπεδο, όλοι οι οργανισμοί έχουν πάρα πολλά κοινά στοιχεία. Στο κυτταρικό επίπεδο, όλοι οι οργανισμοί αποτελούνται από παρόμοιες μεμβράνες, βιομόρια, άλατα και άλλες ουσίες. Πολλές ομοιότητες στην κατασκευή εντοπίζουμε ακόμα και μεταξύ φυτικού και ζωικού κυττάρου. Αυτές οι θεμελιώδεις ομοιότητες μπορούν να εξηγηθούν μέσα από το πρίσμα της σύγχρονης εξελικτικής θεωρίας.

Στο μοριακό επίπεδο όλες οι μορφές ζωής χρησιμοποιούν την ίδια γενετική γλώσσα του DNA και του RNA, και ο γενετικός κώδικας είναι σχεδόν καθολικός. Αυτό δείχνει πως όλα τα είδη προέκυψαν από κοινούς προγόνους που χρησιμοποιούσαν τον συγκεκριμένο κώδικα. Συγκρίνοντας τις αλληλουχίες των νουκλεοτιδίων ή των πρωτεϊνών μπορούμε να βγάλουμε συμπεράσματα για πιθανές εξελικτικές σχέσεις ανάμεσα στα είδη. Έτσι, αναμένουμε οι οργανισμοί που είναι λιγότερο συγγενικοί μεταξύ τους να έχουν περισσότερες διαφορές ανάμεσα στις αλληλουχίες του DNA τους ή ανάμεσα στις αλληλουχίες των αμινοξέων στις πρωτεΐνες τους.

Δραστηριότητα 6.2.4.1: Μια συνταγή για τη δημιουργία πολλών οργανισμών!!!!

Σας δίνονται τα ακόλουθα υλικά με τα οποία πρέπει να δημιουργήσετε ένα νόστιμο πιάτο ακολουθώντας μια δική σας συνταγή: γάλα, αυγά, αλεύρι, ζάχαρη, βούτυρο, αλάτι. Μπορείτε να αναλογιστείτε πόσες διαφορετικές εκδοχές μπορούν να προκύψουν από την ανάμιξη αυτών των υλικών σε διαφορετικές ποσότητες, θερμοκρασίες κ.λπ.; Σκεφτείτε τώρα τα είδη των νουκλεοτιδίων μέσα σε έναν πυρήνα. Ο συνδυασμός τους στον γενετικό κώδικα μπορεί να δώσει πάρα πολλές παραλλαγές. Το ίδιο συμβαίνει και με τα είδη των αμινοξέων. Έχοντας ως βάση μια απλή «συνταγή», τα αμινοξέα μπορούν να συνδυαστούν με διαφορετικό τρόπο και να δώσουν διαφορετικά είδη πρωτεΐνης. Να κάνετε μία έρευνα για τον βαθμό δυσκολίας που παρουσιάζει η παραγωγή μιας συγκεκριμένης λειτουργικής πολυπεπτιδικής αλυσίδας-πρωτεΐνης με τυχαίο συνδυασμό των αμινοξέων.

Ας πάρουμε για παράδειγμα το κυτταρόχρωμα c, μια πρωτεΐνη που βρίσκεται στα μιτοχόνδρια. Χρησιμοποιείται στη μελέτη εξελικτικών σχέσεων επειδή οι περισσότεροι οργανισμοί την έχουν στα κύτταρά τους. Το κυτταρόχρωμα c αποτελείται από 104 αμινοξέα. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνεται μέρος της αλληλουχίας των αμινοξέων (42-104) σε 9 οργανισμούς.

Πίνακας 1: Σύγκριση των αμινοξέων στο κυτταρόχρωμα c σε διάφορους οργανισμούς.

	42	43	44	46	47	49	50	53	54	55	56	57	58	60	61	62	63	64	65	66	100	101	102	103	104
Άνθρωπος	Q	A	P	Y	S	T	A	K	N	K	G	I	I	G	E	D	T	L	M	E	K	A	T	N	E
Κοτόπουλο	Q	A	E	F	S	T	D	K	N	K	G	I	T	G	E	D	T	L	M	E	D	A	T	S	K
Άλογο	Q	A	P	F	S	T	D	K	N	K	G	I	T	K	E	E	T	L	M	E	K	A	T	N	E
Τόνος	Q	A	E	F	S	T	D	K	S	K	G	I	V	N	N	E	T	L	R	E	K	A	T	S	-
Βάτραχος	Q	A	A	F	S	T	D	K	N	K	G	I	T	G	E	E	T	L	M	E	K	A	C	S	K
Καρχαρίας	Q	A	Q	F	S	T	D	K	S	K	G	I	T	Q	Q	E	T	L	R	I	K	T	A	A	S
Χελώνα	Q	A	E	F	S	T	E	K	N	K	G	I	T	G	E	E	T	L	M	E	D	A	T	S	K
Πίθηκος	Q	A	P	Y	S	T	A	K	N	K	G	I	T	G	E	D	T	L	M	E	K	A	T	N	E
Κουνέλι	Q	A	V	F	S	T	D	K	N	K	G	I	T	G	E	D	T	L	M	E	K	A	T	N	E

Όλες οι θέσεις στις διάφορες αλληλουχίες του κυτταροχρώματος c που έχουν το ίδιο αμινοξύ έχουν αφαιρεθεί (εκτός από τις 42-43) και στην κορυφή του Πίνακα 1 (44-104) φαίνονται μόνο οι αριθμοί των αμινοξέων που παρουσιάζουν κάποιες διαφορές ανάμεσα στους διάφορους οργανισμούς.

- (α) Για κάθε οργανισμό (εκτός του ανθρώπου), να χρωματίσετε τα αμινοξέα τα οποία διαφέρουν σε σχέση με τον άνθρωπο. Όταν τελειώσετε να καταγράψετε τις διαφορές που βρήκατε, ανά είδος με τον άνθρωπο, σε έναν πίνακα και να αποτυπώσετε τα αποτελέσματά σας σε ένα ραβδόγραμμα.
- (β) Σύμφωνα με τα δεδομένα για την αλληλουχία των αμινοξέων στο κυτταρόχρωμα c, ποιος οργανισμός έχει τα πιο πολλά κοινά αμινοξέα με τον άνθρωπο;
- (γ) Ποιος οργανισμός έχει τις πιο πολλές διαφορές με τον άνθρωπο;
- (δ) Στην περίπτωση που εντοπίσουμε τον ίδιο αριθμό διαφορών στην αλληλουχία των αμινοξέων σε σχέση με το ανθρώπινο κυτταρόχρωμα c, πώς θα αποφασίζατε ποιος οργανισμός είναι πιο συγγενικός με τον άνθρωπο;
- (ε) Σε ποιο συμπέρασμα καταλήγετε αν γνωρίζετε ότι παρόμοια ανάλυση για το κυτταρόχρωμα b, σε αντίθεση με το κυτταρόχρωμα c, χρησιμοποιείται κυρίως για τη μελέτη εξελικτικών σχέσεων ανάμεσα σε γένη και οικογένειες οργανισμών, και όχι ανώτερων ταξινομικών ομάδων.

Υποενότητα 6.3: Γενετική ποικιλομορφία

Όπως έχετε ήδη διαπιστώσει, οι διάφορες μορφές ζωής στον πλανήτη μας έχουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά αλλά εμφανίζουν και μεγάλη ποικιλομορφία. Τα πολυάριθμα είδη που υπάρχουν σήμερα στη Γη είναι απόγονοι προϋπαρχόντων ειδών, τα οποία όμως στο παρελθόν ήταν διαφορετικά, και προέκυψαν μέσω εξελικτικών διεργασιών από ένα αρχικό προγονικό είδος. **Ποιοι είναι όμως αυτοί οι μηχανισμοί (εξελικτικές διεργασίες) που οδηγούν σε αύξηση της γενετικής ποικιλομορφίας και τελικά σε ειδογένεση;**

Κάθε άτομο είναι διαφορετικό και μοναδικό. Έχει έναν μοναδικό γονότυπο, ο οποίος μπορεί να αντικατοπτρίζεται στον φαινότυπό του μέσω συγκεκριμένων χαρακτηριστικών, όπως είναι εκείνα του προσώπου, το ανάστημα κ.λπ. Τα άτομα διαφέρουν, επίσης, σε άλλα χαρακτηριστικά, όπως για παράδειγμα στην ανοχή τους στο κρύο, στην ευαισθησία τους σε ασθένειες κ.λπ. Τέτοιες ατομικές διαφορές μεταξύ ατόμων του ίδιου είδους υπάρχουν σε όλα τα ζωικά και φυτικά είδη. Η γενετική ποικιλομορφία που υπάρχει μεταξύ των διαφόρων ατόμων ενός είδους παρατηρείται τόσο στο εσωτερικό ενός πληθυσμού όσο και μεταξύ πληθυσμών.



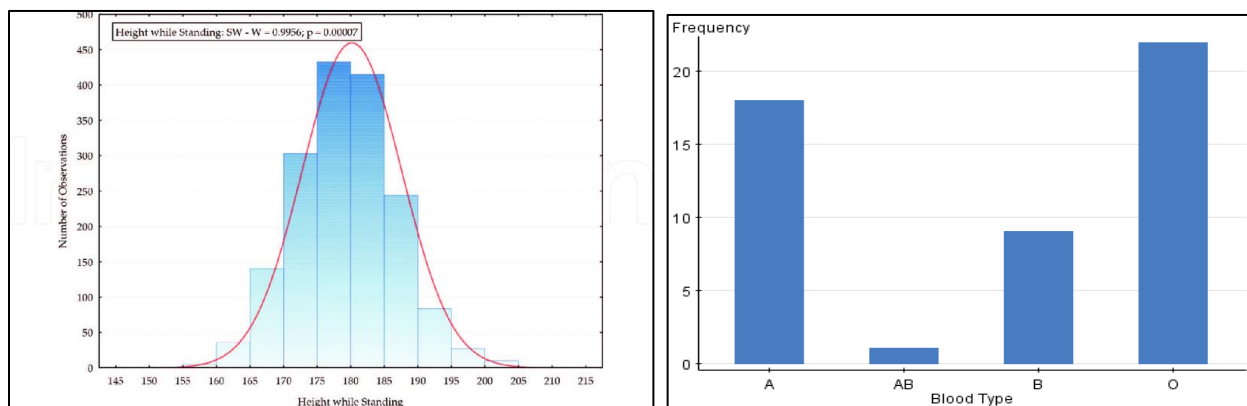
Εικόνα 8: Γενετική ποικιλομορφία στους πληθυσμούς.

6.3.1. Γενετική και φαινοτυπική ποικιλομορφία στο εσωτερικό ενός πληθυσμού

Η γενετική ποικιλομορφία σε ένα πληθυσμό οφείλεται στις διαφορές που παρατηρούνται μεταξύ των αλληλομόρφων γονιδίων των ατόμων του πληθυσμού.

Η γενετική ποικιλομορφία θα έχει ως αποτέλεσμα φαινοτυπική ποικιλομορφία εάν η διαφορά μεταξύ των αλληλομόρφων (δηλ. η διαφορά στην αλληλουχία των νουκλεοτιδίων) οδηγεί σε διαφορά στη σειρά αμινοξέων σε πρωτεΐνες/ένζυμα που κωδικοποιούνται από αυτή την αλληλουχία DNA και εάν οι προκύπτουσες διαφορές στην αλληλουχία αμινοξέων επηρεάζουν τη δομή και λειτουργία των πρωτεϊνών/ενζύμων.

Η φαινοτυπική ποικιλομορφία σε **συνεχή** χαρακτηριστικά, δηλ. χαρακτηριστικά με συνεχόμενη μεταβολή (π.χ. ύψος και χρώμα δέρματος στον άνθρωπο) οφείλεται στη γενετική ποικιλομορφία ανάμεσα σε πολλά γονίδια (Εικόνα 9), ενώ η φαινοτυπική ποικιλομορφία σε **ασυνεχή** χαρακτηριστικά, (π.χ. ομάδες αίματος στον άνθρωπο, χρώμα του άνθους στο μωσχόμπιζελο) οφείλεται στη γενετική ποικιλομορφία ανάμεσα σε ένα ή λίγα γονίδια (Εικόνα 10).



Εικόνα 9: Ιστόγραμμα κατανομής του ύψους **Εικόνα 10:** Ραβδόγραμμα κατανομής των ομάδων αίματος

6.3.2. Γενετική ποικιλομορφία μεταξύ πληθυσμών (Γεωγραφική ποικιλομορφία)

Η γενετική και φαινοτυπική ποικιλομορφία μεταξύ διαφορετικών πληθυσμών του ίδιου είδους εξαρτάται κυρίως από τη γεωγραφική τους εξάπλωση και ονομάζεται γεωγραφική ποικιλομορφία. Εκφράζει τις διαφορές στη γενετική σύσταση μεταξύ διαφορετικών πληθυσμών που προήλθαν κυρίως από τη δράση της φυσικής επιλογής και του φαινομένου της γενετικής παρέκκλισης.

Δραστηριότητα 6.3.2.1: Μοντελοποιώντας την προσαρμογή των οργανισμών στο περιβάλλον τους

Εργαστηριακή άσκηση

Οργάνωση τάξης

Ομάδες εργασίας τεσσάρων μαθητών που υποδύονται πουλιά του ίδιου είδους με διαφορετικό είδος προσαρμογής (εργαλείο συλλογής φαγητού) το καθένα.

Υλικά για κάθε ομάδα 4 ατόμων:

Φασόλια γίγαντες, Φασόλια κανονικά, Φακές, Ρύζι (60 σπέρματα από το καθένα για κάθε ομάδα)

Εργαλεία συλλογής φαγητού: ένα (1) μανταλάκι, ένα (1) πλαστικό κουτάλι, ένα (1) πλαστικό πιρούνι, ένα (1) καλαμάκι

Αποθήκευση φαγητού: Τέσσερα (4) πλαστικά ποτήρια.

Εκτέλεση άσκησης

Ο κάθε μαθητής μιας ομάδας παίρνει ένα (1) διαφορετικό εργαλείο συλλογής φασολιών, καθώς και από ένα (1) πλαστικό ποτήρι για αποθήκευση. Στη συνέχεια, ο/η εκπαιδευτικός απλώνει στο κέντρο του χώρου εργασίας της κάθε ομάδας τα διάφορα είδη σπερμάτων και δίνει το σύνθημα για να αρχίσει ο κάθε μαθητής να μαζεύει σπέρματα μόνο με το εργαλείο που έχει στη διάθεσή του. Το κάθε μάζεμα σπερμάτων έχει διάρκεια 30΄΄. Μετά 30΄΄, ο/η εκπαιδευτικός σταματά το χρονόμετρο και οι μαθητές μετρούν τα σπέρματα που μάζεψαν. Οι μαθητές που μάζεψαν πάνω από 14 σπέρματα θα συνεχίσουν να «ζουν», ενώ οι υπόλοιποι θα «πεθάνουν» και αποχωρούν από το παιχνίδι. Οι μαθητές που κατάφεραν να επιβιώσουν θα γεννήσουν απογόνους και θα συνεχίσουν να μαζεύουν σπέρματα. Έτσι, οι μαθητές που αποχωρούν αποτελούν τους απογόνους αυτών που επιβίωσαν και παίρνουν το ίδιο εργαλείο με τους μαθητές που μάζεψαν αριθμό μεγαλύτερο από 14 σπέρματα και επαναλαμβάνουν τη διαδικασία συλλογής φασολιών για άλλα 30΄΄. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται ακόμα μία φορά.

1. Να αντιστοιχήσετε στον πιο κάτω πίνακα κάθε εργαλείο ή διαδικασία του πιο πάνω μοντέλου με ένα όργανο ή λειτουργία πουλιών του ίδιου είδους που υποστηρίζει την προσαρμογή τους στο περιβάλλον διαβίωσής τους.

Πίνακας 2: Μοντελοποίηση της προσαρμογής των οργανισμών στο περιβάλλον τους

A/A	Στήλη A: Μέρος του Μοντέλου		Στήλη B: Μέρος της προσαρμογής των οργανισμών στο περιβάλλον τους
A.	Μαθητές	1.	Ράμφη πουλιών
B.	Πλαστικό ποτήρι	2.	Τροφή
Γ.	Φασόλια, Φασόλια γίγαντες, Φακές, Ρύζι	3.	Ευνοϊκό χαρακτηριστικό
Δ.	Εργαλεία συλλογής φασολιών	4.	Αναπαραγωγή
E.	Μαθητές που συνεχίζουν να ζουν	5.	Μη ευνοϊκό χαρακτηριστικό
Z.	Οι μαθητές που επιβίωσαν αποκτούν απογόνους	6.	Συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες
H.	Χώρος διεξαγωγής της διαδικασίας	7.	Συγκεκριμένο χρονικό διάστημα
Θ.	Χρόνος διεξαγωγής της διαδικασίας	8.	Επιβίωση
I.	Μανταλάκι	9.	Στομάχι
K.	Πλαστικό κουτάλι	10.	Πουλιά
Λ.	Πλαστικό πιρούνι		
M.	Καλαμάκι		

2. Αξιοποιώντας όρους της στήλης B του Πίνακα 2 της ερώτησης 1, να δώσετε έναν ορισμό για τον όρο **προσαρμογή** των οργανισμών ενός πληθυσμού στο περιβάλλον τους.

Δραστηριότητα 6.3.2.2

Πιο κάτω σας δίνονται διάφορες πληροφορίες που αφορούν την ποικιλομορφία που παρατηρείται στο χρώμα του τριχώματος ποντικών σε μια συγκεκριμένη περιοχή, καθώς και στους ρυθμούς επιβίωσης και αναπαραγωγής τους. Να μελετήσετε τις πιο κάτω πληροφορίες και να απαντήσετε στα ερωτήματα που ακολουθούν.

Πληροφορίες - Μέρος Α

Υποθέστε ότι σε μια περιοχή Α έχουμε έναν πληθυσμό σκουρόχρωμων και ανοιχτόχρωμων ποντικών που πέφτουν θύματα κυνηγιού από κουκουβάγιες. Τα σκουρόχρωμα ποντίκια πέφτουν λιγότερο εύκολα θύματα των κουκουβάγιων γιατί γίνονται πιο δύσκολα αντιληπτά από αυτές. Αυτό συμβαίνει διότι το χρώμα των σκουρόχρωμων ποντικών ταιριάζει με το χρώμα του ενδιαιτήματός τους. Τα σκουρόχρωμα ποντίκια έχουν υψηλότερους ρυθμούς επιβίωσης και αναπαραγωγής από τα ανοιχτόχρωμα, με αποτέλεσμα οι απόγονοί τους (δηλαδή, τα ποντίκια με σκούρο χρώμα) να τείνουν να επικρατήσουν στο σύνολο του συγκεκριμένου πληθυσμού.

Ερωτήματα

- (α) Τι διαθέτουν τα σκουρόχρωμα ποντίκια που τους επιτρέπει να έχουν υψηλότερους ρυθμούς επιβίωσης και να αφήνουν μεγαλύτερο αριθμό απογόνων σε σχέση με τα ανοιχτόχρωμα;
- (β) Σε μια περιοχή Β, το χρώμα των σκουρόχρωμων ποντικών δεν ταιριάζει με το χρώμα του ενδιαιτήματός τους. Αντίθετα, ταιριάζει καλύτερα το χρώμα των ανοιχτόχρωμων ποντικών. Ποια ποντίκια θεωρείτε ότι θα επικρατήσουν στην περιοχή Β; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.
- (γ) Τι θεωρείτε ότι διαθέτουν οι οργανισμοί, οι οποίοι καταφέρνουν να προσαρμόζονται στο περιβάλλον τους, να επιβιώνουν περισσότερο και να αφήνουν μεγαλύτερο αριθμό απογόνων, σε σχέση με κάποιους άλλους οργανισμούς που δεν καταφέρνουν να προσαρμοστούν στο περιβάλλον τους;

Ως **προσαρμογή** εννοούμε την ικανότητα ενός οργανισμού, λόγω συγκεκριμένων ευνοϊκών χαρακτηριστικών που διαθέτει (σε επίπεδο ανατομίας-δομής, συμπεριφοράς και φυσιολογίας-βιοχημείας), να επιβιώνει καλύτερα και να αναπαράγεται περισσότερο από τα άτομα που υπολείπονται αυτών των χαρακτηριστικών σε συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες και σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Πληροφορίες - Μέρος Β

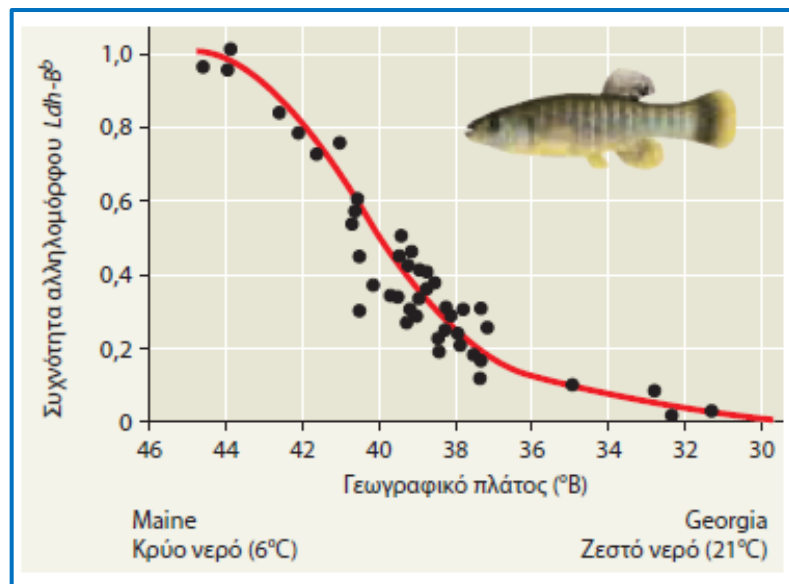
Οι επιστήμονες έχουν διαπιστώσει ότι η παραλλαγή στο χρώμα του τριχώματος των ποντικών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από διαφορετικά αλληλόμορφα του γονιδίου MC1R. Η πρωτεΐνη που κωδικοποιείται από αυτό το γονίδιο δρα ως βιοχημικός διακόπτης που οδηγεί στην παραγωγή είτε της ευμελανίνης, μιας σκουρόχρωμης χρωστικής του δέρματος, είτε της φαιομελανίνης, μιας ανοιχτόχρωμης χρωστικής. Τα διαφορετικά αλληλόμορφα του γονιδίου MC1R ενεργοποιούν σε διαφορετικό βαθμό το βιοχημικό μονοπάτι παραγωγής της χρωστικής, ευνοώντας με αυτό τον τρόπο την παραγωγή της μίας ή της άλλης μορφής της.

Ερωτήματα

- (α) Να εξηγήσετε την αιτιώδη σχέση που υπάρχει μεταξύ των αλληλομόρφων ενός γονιδίου και της προσαρμοστικής δυνατότητας ενός ατόμου σε συγκεκριμένο περιβάλλον, όπως προκύπτει από το πιο πάνω παράδειγμα.
- (β) Με βάση τις μέχρι τώρα γνώσεις σας, ποιοι μηχανισμοί θεωρείτε ότι είναι υπεύθυνοι για τις διαφοροποιήσεις που υπάρχουν στο γενετικό υλικό μεταξύ των ατόμων του ίδιου είδους;

Δραστηριότητα 6.3.2.3

Στην Εικόνα 11 παρουσιάζεται η συσχέτιση μεταξύ δύο μεταβλητών που αφορούν το ψάρι *Fundulus heteroclitus* (μαμισσόγκ ή φούντουλος). Να μελετήσετε τη γραφική παράσταση στην πιο κάτω Εικόνα 11 και να απαντήσετε στις ερωτήσεις που ακολουθούν.



Εικόνα 11: Συχνότητα αλληλομόρφου Ldh-B^b στο *Fundulus heteroclitus*.

Ερωτήματα

- (α) Με βάση την πιο πάνω γραφική παράσταση, να εξηγήσετε τη συσχέτιση που υπάρχει μεταξύ των δύο συγκεκριμένων μεταβλητών.
- (β) Ποιοι παράγοντες θεωρείτε ότι δημιουργούν ποικιλία στη συχνότητα των αλληλομόρφων που υπάρχουν για έναν γενετικό τόπο, με βάση την πιο πάνω γραφική παράσταση;

Δραστηριότητα 6.3.2.4: Ποικιλομορφία στο χρώμα της επιδερμίδας στον άνθρωπο

Οι άνθρωποι παρουσιάζουν τεράστια ποικιλομορφία σε πολλά χαρακτηριστικά τους. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελούν οι μορφολογικές διαφορές στο χρώμα της επιδερμίδας. Να διαβάσετε τις πιο κάτω πληροφορίες που σας δίνονται και να απαντήσετε στα ερωτήματα που αφορούν τη σχέση μεταξύ του χρώματος του δέρματος και της προσαρμοστικής δυνατότητας ενός ατόμου στο περιβάλλον του.



Γνωρίζετε ότι...

- 85% της συνολικής γενετικής ποικιλομορφίας του ανθρώπου συναντάται ανάμεσα σε άτομα του ίδιου πληθυσμού.
- 15% της συνολικής γενετικής ποικιλομορφίας βρίσκεται ανάμεσα σε διαφορετικούς πληθυσμούς.
- 5-7,5% της συνολικής γενετικής ποικιλομορφίας αφορά πληθυσμούς της ίδιας ηπείρου.
- 7,5-10% της συνολικής γενετικής ποικιλομορφίας αφορά πληθυσμούς

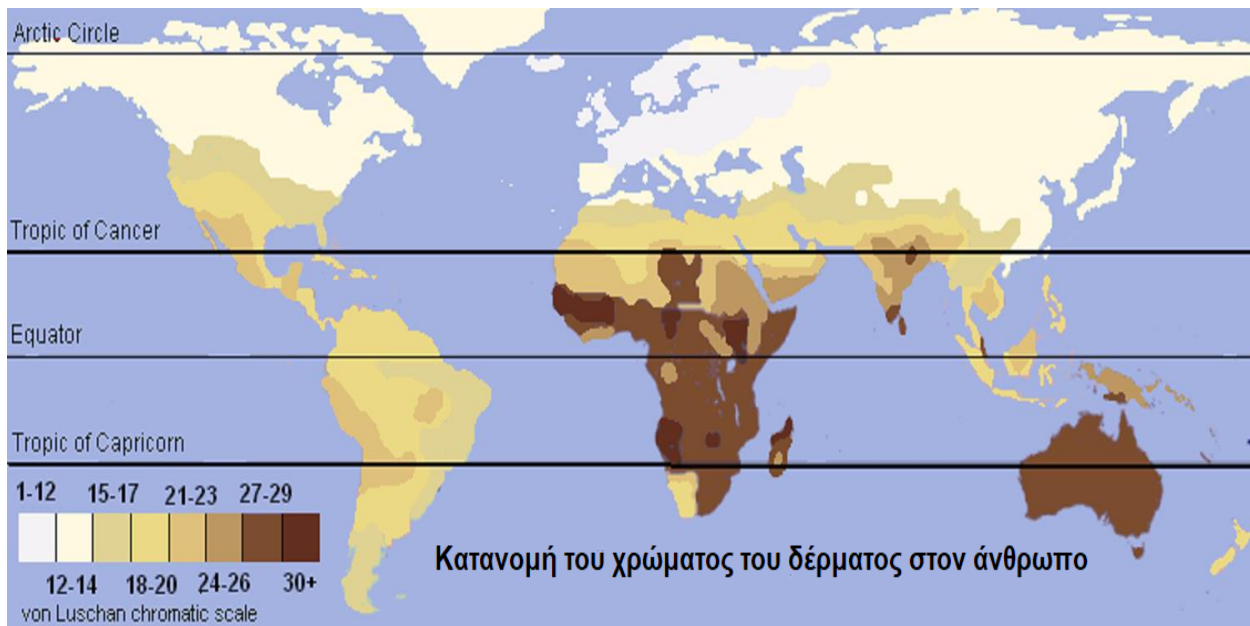
Εικόνα 12: Ποικιλομορφία στο χρώμα της επιδερμίδας στον άνθρωπο.

Πληροφορίες

Το χρώμα της επιδερμίδας μας, καθώς και οι διάφορες διακυμάνσεις της, καθορίζονται γενετικά από συγκεκριμένα γονίδια, κυρίως μέσω της χρωστικής ουσίας μελανίνης. Μελανίνη έχουν τόσο τα ανοιχτόχρωμα όσο και τα σκουρόχρωμα άτομα. Η διαφορά που υπάρχει μεταξύ των ατόμων βρίσκεται στον αριθμό, το μέγεθος και το είδος των σωματιδίων μελανίνης που διαθέτουν. Η μελανίνη δρα ως βιολογικό προστατευτικό φίλτρο κατά της υπεριώδους ακτινοβολίας (UV) και μας προστατεύει από τις βλαβερές συνέπειές της. Συγκεκριμένα, απορροφά τις ακτίνες UV και εξουδετερώνει τις ιδιαίτερα βλαβερές ελεύθερες ρίζες που σχηματίζονται στο δέρμα μας από την UV ακτινοβολία. Στις τροπικές περιοχές της Γης, όπου η υπεριώδης ακτινοβολία φτάνει στη μεγαλύτερη έντασή της, οι άνθρωποι έχουν πιο υψηλές συγκεντρώσεις μελανίνης, ενώ οι συγκεντρώσεις μειώνονται καθώς οι άνθρωποι απομακρύνονται από τις περιοχές αυτές.

Ερωτήματα

- (α) Πώς οι διαφορές στο χρώμα του δέρματος μεταξύ των ανθρώπων σχετίζονται με την προσαρμογή και την επιβίωσή τους;
- (β) Να εξηγήσετε πώς η γενετική ποικιλομορφία επιτρέπει στα άτομα ενός πληθυσμού και κατ' επέκταση ενός είδους που αποτελείται από αρκετούς τέτοιους πληθυσμούς, να προσαρμόζονται σε αλλαγές των περιβαλλοντικών συνθηκών.
- (γ) Να εξηγήσετε γιατί η γενετική ομοιομορφία μειώνει τις προσαρμοστικές δυνατότητες καθώς και τις δυνατότητες επιβίωσης στα άτομα ενός πληθυσμού.



Εικόνα 13: Χρώμα επιδερμίδας σε αυτόχθονες πληθυσμούς.

Υποενότητα 6.4: Ποιοι μηχανισμοί ή φαινόμενα είναι υπεύθυνοι/α για την εμφάνιση γενετικής ποικιλομορφίας σε έναν πληθυσμό;

Σε ένα πληθυσμό, ενός είδους, γενετική ποικιλομορφία μπορεί να προκληθεί από:

- α. τυχαίες μεταλλάξεις (οι οποίες μπορούν να δημιουργήσουν εντελώς νέα αλληλόμορφα σε έναν πληθυσμό),
- β. τυχαία ζευγαρώματα (κατά την αμφιγονική/φυλετική αναπαραγωγή),
- γ. τυχαία γονιμοποίηση (κατά το τυχαίο ζευγάρωμα στην αμφιγονική αναπαραγωγή),
- δ. τυχαία κατανομή των ομόλογων χρωμοσωμάτων κατά τη μετάφαση της 1^{ης} μειωτικής διαίρεσης (που ανακατανέμει αλληλόμορφα) κατά τη δημιουργία των γαμετών από τους οποίους θα προέλθουν, με γονιμοποίηση, οι νέοι οργανισμοί), και
- ε. τυχαίο ανασυνδυασμό των γονιδίων, λόγω ανταλλαγής τμημάτων μεταξύ των μη αδελφών χρωματίδων των ομόλογων χρωματοσωμάτων με χιασματυπία/επιχiasμό, κατά την πρόφαση της 1^{ης} μειωτικής διαίρεσης (που ανασυνδυάζει αλληλόμορφα) κατά τη δημιουργία των γαμετών από τους οποίους θα προέλθουν, με γονιμοποίηση, οι νέοι οργανισμοί)

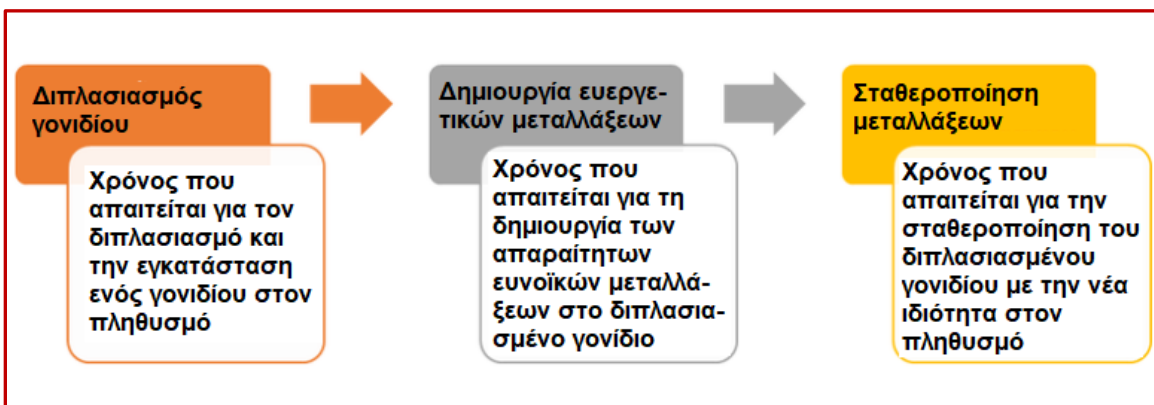
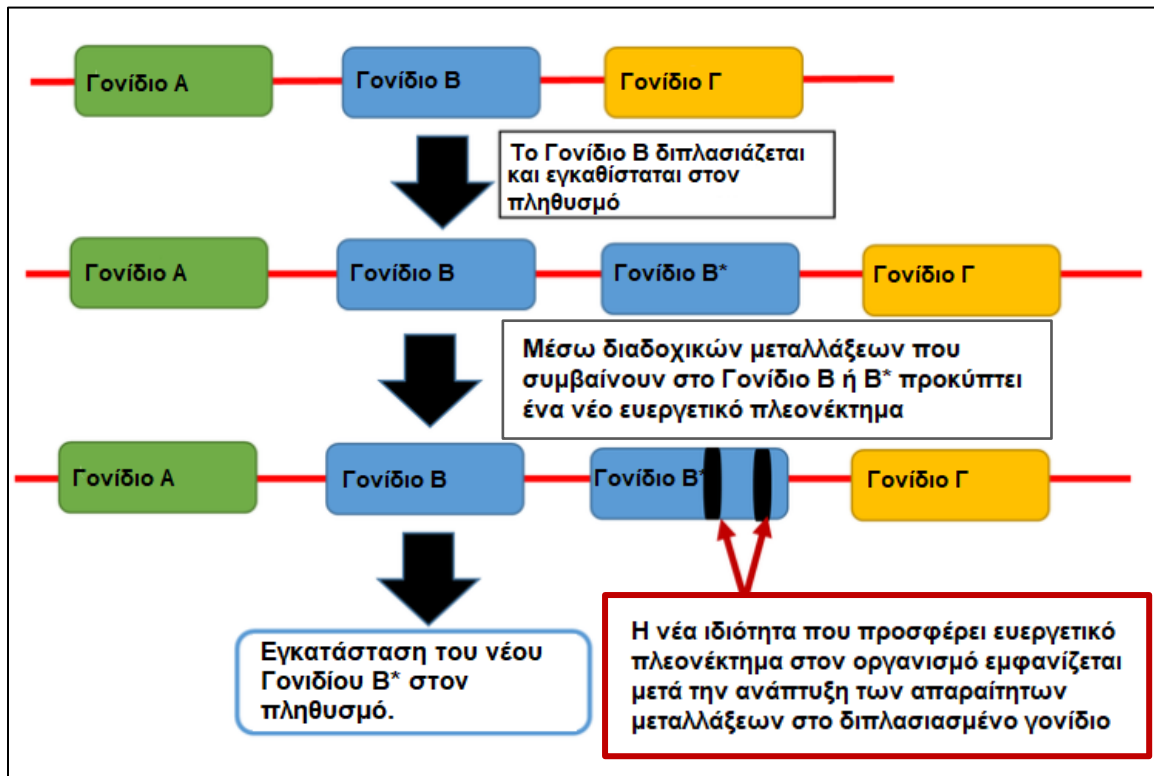
6.4.1. Μεταλλάξεις

Η κύρια πηγή δημιουργίας νέων αλληλομόρφων είναι οι τυχαίες μεταλλάξεις στο DNA ενός οργανισμού. Οι μεταλλάξεις μπορεί να επισυμβούν σε γονιδιακό επίπεδο ή σε επίπεδο χρωματοσωμάτων. Ενώ οι περισσότερες μεταλλάξεις είναι επιβλαβείς, ορισμένες δεν έχουν σοβαρή επίδραση στον φαινότυπο. Ακόμη, σε λίγες περιπτώσεις, οι μεταλλάξεις μπορεί να είναι ωφέλιμες για τους οργανισμούς ανάλογα με το περιβάλλον στο οποίο ζουν.

6.4.1.1. Γονιδιακές μεταλλάξεις

Οι γονιδιακές μεταλλάξεις αφορούν κάθε αλλαγή στην αλληλουχία των βάσεων του DNA που συμβαίνει σε ένα τμήμα ενός χρωματοσώματος. Αυτές μπορεί να αφορούν αλλαγή μιας βάσης σε άλλη, διαγραφή ή προσθήκη μιας ή περισσότερων βάσεων, ή ακόμα και διπλασιασμό μέρους ή ολόκληρου γονιδίου. Ο διπλασιασμός υπαρχόντων γονιδίων είναι σχεδόν σίγουρο ότι αποτελεί την πιο σημαντική διαδικασία για τη δημιουργία νέων γονιδίων κατά την εξέλιξη του γονιδιώματος. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους θα μπορούσε αυτό να συμβεί:

- α. Μέσω διπλασιασμού ολόκληρου του γονιδιώματος.
- β. Μέσω διπλασιασμού ενός μόνο χρωμοσώματος ή μέρους του χρωμοσώματος.
- γ. Μέσω διπλασιασμού ενός μόνο γονιδίου (ή ομάδας γονιδίων).



Εικόνα 14: Μηχανισμός δημιουργίας και εγκατάστασης νέων γονιδίων σε ένα πληθυσμό μέσω διπλασιασμού γονιδίων και γονιδιακών μεταλλάξεων

Στην πιο πάνω Εικόνα 14 περιγράφεται ο μηχανισμός μέσω του οποίου μπορούν να δημιουργηθούν μέσω διπλασιασμού γονιδίων, και με τη βοήθεια γονιδιακών μεταλλάξεων, νέα γονίδια που κωδικοποιούν για νέες ιδιότητες σε ένα πληθυσμό. Στις σπάνιες περιπτώσεις που τέτοιες αλλαγές προσφέρουν πλεονέκτημα σε συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες, αυτές οι μεταλλάξεις επιλέγονται και διατηρούνται στον πληθυσμό, οδηγώντας σε εξελικτική αλλαγή του.

Δραστηριότητα 6.4.1.1.1: Δρεπανοκυτταρική αναιμία και ελονοσία

Να διαβάσετε τις πιο κάτω πληροφορίες που αφορούν τη δρεπανοκυτταρική αναιμία και να εξηγήσετε πώς το παθολογικό γονίδιο που προκαλεί τη δρεπανοκυτταρική αναιμία και προήλθε από γονιδιακή μετάλλαξη (αντικατάσταση) είναι «ωφέλιμο» και αποτελεί προσαρμοστικό πλεονέκτημα σε περιοχές με ελονοσία.

Πληροφορίες

Δεδομένα που αφορούν τη θνησιμότητα σε διάφορες περιοχές του κόσμου, υποστηρίζουν ότι άτομα που έχουν ένα αλληλόμορφο δρεπανοκυτταρικής αναιμίας και ένα «κανονικό» είναι πιθανότερο να επιβιώσουν σε σχέση με τα άτομα που διαθέτουν δύο «κανονικά» αλληλόμορφα, όταν αυτά έρχονται σε επαφή με το παράσιτο (*Plasmodium falciparum*) της ελονοσίας. Αυτό συμβαίνει καθώς το παράσιτο *Plasmodium falciparum* χρειάζεται υγιή κύτταρα του αίματος για να μπορέσει να μολύνει τον ανθρώπινο οργανισμό και να πολλαπλασιαστεί.

Ερωτήματα

- (α) Πώς το παθολογικό γονίδιο που προκαλεί τη δρεπανοκυτταρική αναιμία και προήλθε από γονιδιακή μετάλλαξη (αντικατάσταση) αποτελεί προσαρμοστικό πλεονέκτημα σε περιοχές με ελονοσία;
- (β) Να αναφέρετε, με βάση τον μηχανισμό που περιγράφει το σχήμα της Εικόνας 14, τις απαραίτητες διεργασίες που θα πρέπει να πραγματοποιηθούν για τη δημιουργία και σταθεροποίηση σε έναν πληθυσμό ενός νέου γονιδίου που είναι υπεύθυνο για μια επωφελή νέα ιδιότητα.
- (γ) Να κάνετε μία έρευνα σχετικά με την προέλευση και τη σημασία γονιδίων που συναντούμε σε διαφορετικούς οργανισμούς και χαρακτηρίζονται ως ομόλογα γονίδια (homologues genes).

6.4.1.2. Χρωματοσωματικές μεταλλάξεις

Οι χρωματοσωματικές μεταλλάξεις που εξαλείφουν, διακόπτουν ή αναδιατάσσουν πολλούς γενετικούς τόπους ταυτόχρονα είναι, σχεδόν πάντα, επιβλαβείς. Αν όμως αυτές οι μεταλλάξεις αφήσουν ανέπαφα τα γονίδια, τότε μπορεί να έχουν ουδέτερη επίδραση στον οργανισμό. Σε σπάνιες περιπτώσεις, μάλιστα, οι χρωματοσωματικές ανακατατάξεις μπορεί να αποδειχθούν ακόμη και ωφέλιμες. Για παράδειγμα, η μετατόπιση τμήματος ενός χρωματοσώματος σε κάποιο άλλο χρωματόσωμα θα μπορούσε να οδηγήσει στη σύνδεση τμημάτων DNA κατά τρόπο επωφελή για τον οργανισμό.

Δραστηριότητα 6.4.1.2.1: Όσφρηση στα θηλαστικά

Να μελετήσετε τις παρακάτω πληροφορίες που αφορούν το γονίδιο που είναι υπεύθυνο για τον εντοπισμό των οσμών, και να απαντήσετε στα ερωτήματα που ακολουθούν.

Πληροφορίες

Οι μακρινοί πρόγονοι των θηλαστικών θεωρούμε ότι έφεραν ένα μόνο γονίδιο για τον εντοπισμό των οσμών. Με την πάροδο του χρόνου, το γονίδιο αυτό έχει πλέον διπλασιαστεί πολλές φορές, με αποτέλεσμα σήμερα ο άνθρωπος να διαθέτει περίπου 1.000 γονίδια οσφρητικών υποδοχέων και ο ποντικός 1.300. Η δραστική αύξηση του αριθμού των γονιδίων που συνδέονται με την όσφρηση ήταν πιθανότατα επωφελής στα πρώτα θηλαστικά, διότι τους επέτρεπε να εντοπίζουν, και να διακρίνουν πολλές και ποικίλες ανεπαίσθητες οσμές. Πιο πρόσφατα, περίπου το 60% των ανθρώπινων οσφρητικών γονιδίων έχει απενεργοποιηθεί μέσω μεταλλάξεων, ενώ η αντίστοιχη απώλεια στον ποντικό ήταν μόνο 20%.

Ερωτήματα

- (α) Τι συμπεράσματα μπορούμε να εξαγάγουμε από το γεγονός ότι στον άνθρωπο έχει απενεργοποιηθεί το 60% των ανθρώπινων οσφρητικών γονιδίων ενώ στον ποντικό το 20%;
- (β) Με βάση τις πιο πάνω πληροφορίες να εξηγήσετε τον μηχανισμό αύξησης ή μείωσης του αριθμού των γονιδίων για έναν χαρακτήρα σ' έναν οργανισμό.

6.4.2. Αμφιγονική ή Φυλετική αναπαραγωγή

Ο μηχανισμός της αμφιγονικής (φυλετικής) αναπαραγωγής ανακατανέμει τα υπάρχοντα αλληλόμορφα, μοιράζοντάς τα με τυχαίο τρόπο σε κάθε επόμενη γενεά και καθορίζοντας τον γονότυπο κάθε συγκεκριμένου ατόμου.

Οι μηχανισμοί/φαινόμενα που συμβάλλουν σε αυτή την ανακατανομή των αλληλομόρφων, κατά την αμφιγονική αναπαραγωγή, όπως προαναφέρθηκε, είναι:

- α. τα τυχαία ζευγαρώματα
- γ. η τυχαία συνένωση γαμετών κατά τη γονιμοποίηση
- δ. η τυχαία κατανομή των ομόλογων χρωμοσωμάτων (ανεξάρτητος διαχωρισμός) κατά τη μετάφαση της 1^{ης} μειωτικής διαίρεσης, και
- ε. ο τυχαίος ανασυνδιασμός των γονιδίων λόγω χιασματυπίας (επιχιασμού).



Εικόνα 15: *Drosophila melanogaster*.

Δραστηριότητα 6.4.2.1: Μονογονική αναπαραγωγή

Έστω ότι σε έναν πληθυσμό X η φυλετική αναπαραγωγή έχει μειωθεί δραστικά ενώ τα άτομα του πληθυσμού αυτού εξακολουθούν να αναπαράγονται μονογονικά (αφυλετικά). Να κάνετε προβλέψεις όσον αφορά ενδεχόμενη αύξηση ή μείωση της γενετικής ποικιλομορφίας του πληθυσμού, τεκμηριώνοντας την απάντησή σας.

Υποενότητα 6.5: Εξελικτικές Διεργασίες και Μηχανισμοί

Οι μηχανισμοί που μπορούν να διαφοροποιήσουν άμεσα τη συχνότητα των αλληλομόρφων σε έναν πληθυσμό, να μεταβάλουν τη γενετική ποικιλομορφία και να οδηγήσουν σε εξελικτικές μεταβολές είναι η φυσική επιλογή, η γενετική παρέκκλιση και η γονιδιακή ροή.

6.5.1. Φυσική Επιλογή

Η φυσική επιλογή αποτελεί, μαζί με τις τυχαίες μεταλλάξεις, βασικό μηχανισμό για την εξέλιξη των οργανισμών. Ο μηχανισμός αυτός βασίζεται στη διαφορετική επιτυχία των ατόμων όσον αφορά την επιβίωση και την αναπαραγωγή τους σε συγκεκριμένο περιβάλλον, σε συγκεκριμένο χρόνο. Ευνοεί με συστηματικό τρόπο συγκεκριμένα χαρακτηριστικά έναντι άλλων και μπορεί να προκαλέσει εξελικτική αλλαγή (αλλαγή στη γενετική ποικιλομορφία), βελτιώνοντας την προσαρμογή κάποιων οργανισμών ενός πληθυσμού σε δεδομένο περιβάλλον. Επομένως, μέσω της φυσικής επιλογής, οι οργανισμοί ενός πληθυσμού που διαθέτουν συγκεκριμένα κληρονομικά χαρακτηριστικά έχουν περισσότερες πιθανότητες να επιβιώσουν και να αναπαραχθούν από οργανισμούς με άλλα χαρακτηριστικά (πάντοτε σε δεδομένες περιβαλλοντικές συνθήκες και δεδομένη στιγμή). *Πώς όμως η φυσική επιλογή διαφοροποιεί τη συχνότητα των αλληλομόρφων γονιδίων σε έναν πληθυσμό και οδηγεί στην εξελικτική μεταβολή των οργανισμών;*

Δραστηριότητα 6.5.1.1: Φυσική επιλογή και εξέλιξη των οργανισμών

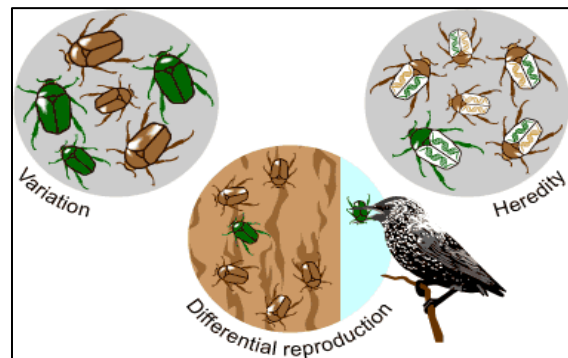
Για την καλύτερη κατανόηση του μηχανισμού με τον οποίο δρά η φυσική επιλογή στην εξέλιξη των οργανισμών, να μελετήσετε το πιο κάτω παράδειγμα και να απαντήσετε στο ερώτημα που ακολουθεί.

Στο νησί Α ευδοκίμει το φυτό Χ, του οποίου οι σπόροι είναι μεγάλοι και σκληροί. Στο νησί αυτό ένας σπίνος έχει μεγαλύτερη πιθανότητα να εξοικονομήσει τροφή αν το ράμφος του είναι μεγάλο και κυρτό. Κατά συνέπεια, οι σπίνοι με τέτοιο ράμφος θα αφήσουν περισσότερους απογόνους στην επόμενη γενιά. Οι απόγονοι αυτοί θα κληρονομήσουν από τους γονείς τους δύο ιδιότητες: μεγάλο και κυρτό ράμφος και μεγαλύτερη πιθανότητα επιβίωσης και αναπαραγωγής. Βαθμιαία, όλοι οι σπίνοι στο νησί Α θα έχουν μεγάλο και κυρτό ράμφος.

Αντίθετα, στο νησί Β ευδοκίμει το φυτό Ψ με μικρούς και μαλακούς σπόρους. Στο νησί αυτό, ένας σπίνος έχει μεγαλύτερη πιθανότητα να εξοικονομήσει τροφή αν το ράμφος του είναι μικρό και αιχμηρό. Βαθμιαία, όλοι οι σπίνοι στο νησί Β θα έχουν μικρό και αιχμηρό ράμφος. Κάποια στιγμή, οι σπίνοι των δύο νησιών μπορεί να είναι τόσο διαφορετικοί που να θεωρηθούν διαφορετικά είδη.

Εικόνα 16: Η Φυσική επιλογή είναι ένας μηχανισμός που η δράση του στηρίζεται σε τρεις (3) απαραίτητες προϋποθέσεις:

- Ο αρχικός πληθυσμός πρέπει να χαρακτηρίζεται από ποικιλομορφία (variation) σε ένα τουλάχιστον χαρακτηριστικό (π.χ. χρώμα σώματος)
- Το χαρακτηριστικό πρέπει να είναι γενετικά κληρονομήσιμο (heredity)
- Το περιβάλλον πρέπει να προκαλεί, μέσα από τον αγώνα για επιβίωση, διαφορική αναπαραγωγή (differential reproduction) ανάμεσα στα άτομα του πληθυσμού.



Με τη δράση της φυσικής επιλογής τα άτομα του πληθυσμού που έχουν το ευνοϊκό χαρακτηριστικό, που τους προσφέρει πλεονέκτημα στο δεδομένο περιβάλλον (προσαρμογή), επιβιώνουν ευκολότερα και αφήνουν περισσότερους απογόνους, σε σχέση με τα υπόλοιπα άτομα του πληθυσμού που δεν έχουν το ευνοϊκό χαρακτηριστικό και σταδιακά το ποσοστό τους στον πληθυσμό μειώνεται.

Ερώτημα

Με βάση το παραπάνω παράδειγμα στα νησιά Α και Β, και την Εικόνα 16, να εξηγήσετε τον μηχανισμό δράσης της φυσικής επιλογής που οδηγεί στη διαφοροποίηση της συχνότητας των αλληλομόρφων από γενεά σε γενεά και έτσι προκαλεί αλλαγή στη γενετική ποικιλομορφία των οργανισμών (εξελικτική μεταβολή).

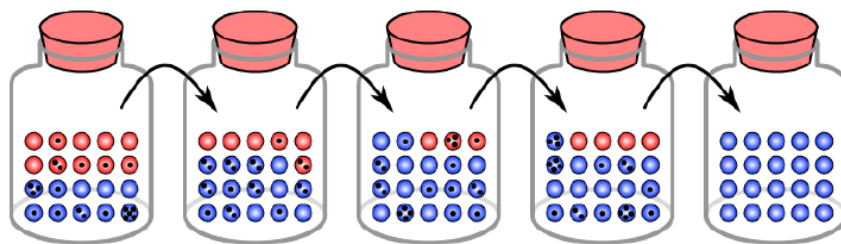
6.5.2. Γενετική παρέκκλιση

Ο μηχανισμός της γενετικής παρέκκλισης αφορά την περίπτωση κατά την οποία, σε μικρούς κυρίως πληθυσμούς, ένα τυχαίο συμβάν ή η μη τυχαία διασταύρωση των ατόμων μεταξύ τους διαφοροποιεί δραστικά τη συχνότητα των γονιδίων που υπάρχουν σε έναν πληθυσμό. Ειδικότερα, ο μηχανισμός της γενετικής παρέκκλισης βασίζεται στο ότι σε πληθυσμούς διαφόρων ειδών που έχουν περιορισμένο μέγεθος, διάφορα τυχαία συμβάντα μπορούν να προκαλέσουν απρόβλεπτη αυξομείωση των συχνοτήτων των αλληλομόρφων από τη μια γενιά στην άλλη.

Σε αντίθεση με τη φυσική επιλογή, η οποία σε δεδομένο περιβάλλον ευνοεί συστηματικά ορισμένα αλληλόμορφα έναντι άλλων, η γενετική παρέκκλιση προκαλεί, με την πάροδο του χρόνου, τυχαία μεταβολή των συχνοτήτων των αλληλομόρφων και μείωση της γενετικής ποικιλομορφίας.

Κάτι τέτοιο μπορεί να συμβεί, για παράδειγμα, αν μια καταιγίδα μεταφέρει λίγα μέλη ενός πληθυσμού, τα οποία δεν διαθέτουν το σύνολο της γενετικής ποικιλομορφίας του πληθυσμού, σε κάποιο άλλο νησί. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε γενετική παρέκκλιση. Δηλαδή, τυχαία γεγονότα μεταβάλλουν τις συχνότητες των αλληλομόρφων, επειδή η καταιγίδα μεταφέρει αδιακρίτως στο νησί έναν συγκεκριμένο συνδυασμό ατόμων του αρχικού πληθυσμού (με τα αλληλόμορφά τους) και όχι κάποιον άλλο συνδυασμό ατόμων.

Υπό ορισμένες συνθήκες, η γενετική παρέκκλιση μπορεί να έχει σημαντικό αντίκτυπο σε έναν πληθυσμό. Δύο σχετικά παραδείγματα είναι το **φαινόμενο της στενωπού** και το **φαινόμενο του ιδρυτή**.



Εικόνα 17: Μοντέλο μελέτης της γενετικής παρέκκλισης επί της συχνότητας των αλληλομόρφων και της γενετικής ποικιλομορφίας

Η δραστική μείωση του μεγέθους ενός πληθυσμού από κάποια αιφνίδια αλλαγή στο περιβάλλον, π.χ. μια επιδημία, μια πυρκαγιά ή μια πλημμύρα, μπορεί να προκαλέσει το λεγόμενο **φαινόμενο της στενωπού**, δηλαδή σημαντική μείωση του μεγέθους ενός πληθυσμού, ο οποίος έχει τα γενετικά χαρακτηριστικά που τυχαία φέρουν τα άτομα που επιβίωσαν.

Αν μια μικρή ομάδα ατόμων αποσχιστεί από έναν μεγαλύτερο πληθυσμό, μπορεί να δημιουργηθεί ένας νέος πληθυσμός με διαφορετική δεξαμενή γονιδίων. Το φαινόμενο αυτό, που είναι μια ειδική

περίπτωση του φαινομένου της στενωπού, ονομάζεται **φαινόμενο του ιδρυτή**, και μάλλον ευθύνεται για τη σχετικά υψηλή συχνότητα ορισμένων κληρονομικών νόσων σε απομονωμένους ανθρώπινους πληθυσμούς.

Η πειραματική έρευνα δεν κατάφερε να στηρίξει την υπόθεση ότι το φαινόμενο της γενετικής παρέκκλισης (μείωση γενετικής ποικιλομορφίας και μικρό μέγεθος πληθυσμού) έχει σημαντική συνεισφορά στην εμφάνιση ενός νέου είδους.

(Ποια νομίζετε ότι μπορεί να είναι η επίδραση του φαινομένου της στενωπού επί των προσαρμογών των οργανισμών και της βιοποικιλότητας;)

Στις δραστηριότητες που ακολουθούν μπορείτε να μελετήσετε τα δύο (2) αυτά φαινόμενα με βάση δεδομένα από την κυπριακή πραγματικότητα.

Δραστηριότητα 6.5.2.1: Φαινόμενο της Στενωπού

Να μελετήσετε τις πιο κάτω πληροφορίες που σχετίζονται με το φαινόμενο της στενωπού και να απαντήσετε στο ερώτημα που ακολουθεί.

Πληροφορίες

Ο οικογενής μεσογειακός πυρετός είναι μια αυτο-φλεγμονώδης ασθένεια που κληρονομείται με αυτοσωματικό υπολειπόμενο χαρακτήρα. Στο παρελθόν, η ασθένεια αυτή ήταν γνωστή και ως «Νόσος των Αρμενίων», διότι είναι εξαιρετικά συχνή ανάμεσα στους Αρμένιους, με συχνότητα φορέων 1:3 μέχρι 1:5. Η ασθένεια έχει επίσης πολύ υψηλή συχνότητα και ανάμεσα στους Σεφαραδίτες Εβραίους, τους Τούρκους και τους Άραβες.

Η μοριακή διερεύνηση των Κυπρίων ασθενών και του γενικού πληθυσμού κατέδειξε ότι το φάσμα μεταλλάξεων που εντοπίζεται στην Κύπρο είναι παρόμοιο με των άλλων γειτονικών λαών και η συχνότητα των φορέων είναι 1:8. Επιπλέον διαπιστώθηκε ότι στην Κύπρο υπάρχει η μετάλλαξη F479L, σε ποσοστό 20%, η οποία εντοπίζεται κυρίως ανάμεσα στους Αρμένιους. Τα γενετικά αυτά δεδομένα σχετίζονται και με διάφορα ιστορικά δεδομένα που μας επιτρέπουν να υποθέσουμε ότι η προέλευση της ασθένειας αυτής είναι από τους Αρμένιους.

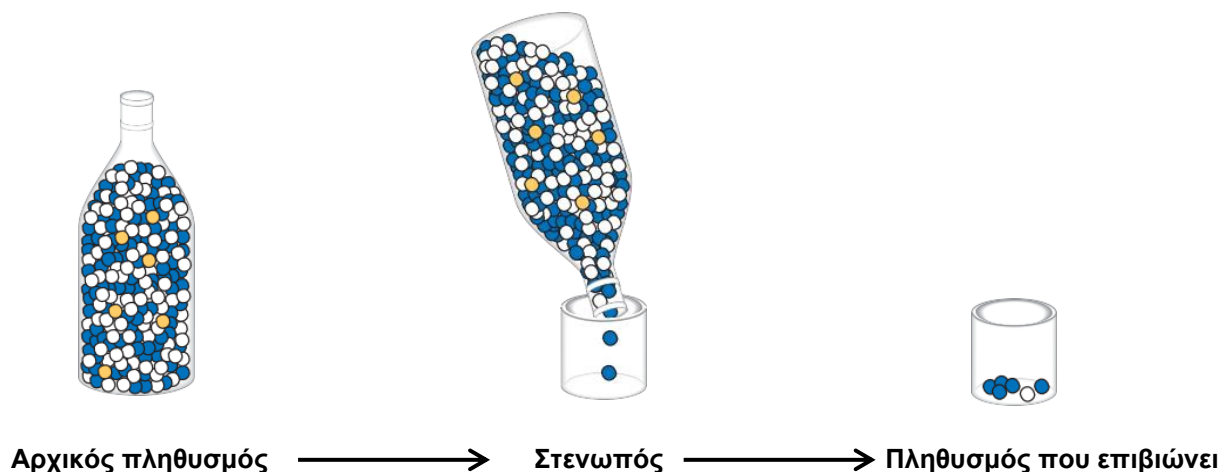
Σύμφωνα με ιστορικές πηγές, κατά τον 14^ο αιώνα, ένας αριθμός Αρμενίων διέφυγαν από τη Αρμενία στα νοτιοανατολικά της Μικράς Ασίας προς την Κύπρο για να διασωθούν από τους Μαμελούκους της Αιγύπτου. Επίσης, προηγουμένως πολλοί Αρμένιοι είχαν καταφύγει στην Κύπρο καταδιωγμένοι από τους Οθωμανούς (Δέλτας, 2014).

Ερώτημα

Να εξηγήσετε πώς στα παραπάνω γενετικά και ιστορικά δεδομένα που αφορούν τον οικογενή μεσογειακό πυρετό είναι εμφανές το φαινόμενο της στενωπού.

Το φαινόμενο της στενωπού αναφέρεται στην περίπτωση όπου ένας πληθυσμός μειώνεται σημαντικά σε μέγεθος, π.χ., εξαιτίας κάποιας μεγάλης καταστροφής που εξαλείφει μεγάλο ποσοστό του, με αποτέλεσμα στις επόμενες γενιές να επικρατούν τα γενετικά χαρακτηριστικά που τυχαία φέρουν οι λίγοι επιβιώσαντες.

Το πιο κάτω μοντέλο αναπαριστά το φαινόμενο της στενωπού, όπου οι διάφορες μπαλίτσες αφορούν αλληλόμορφα. Με βάση το πιο κάτω μοντέλο να εξηγήσετε το φαινόμενο της στενωπού.



Εικόνα 18: Μοντέλο για το φαινόμενο της στενωπού.

Δραστηριότητα 6.5.2.2: Φαινόμενο του Ιδρυτή

Να μελετήσετε τις πιο κάτω πληροφορίες που σχετίζονται με το φαινόμενο του ιδρυτή και να απαντήσετε στο ερώτημα που ακολουθεί.

Πληροφορίες

Η κυστική ίνωση είναι η πιο συχνή θανατηφόρα αυτοσωματική υπολειπόμενη κληρονομική ασθένεια στον παγκόσμιο λευκό πληθυσμό, με συχνότητα φορέων 1:30, κατά μέσον όρο. Στους Καυκάσιους πληθυσμούς, η μέση συχνότητα φορέων είναι 1:25.

Το υπεύθυνο γονίδιο για την ασθένεια αυτή είναι το CFTR (Fibrosis Transmembrane Conductance Regulation), με σημαντικότερη μετάλλαξη την έλλειψη τριών νουκλεοτιδίων, CTT, που οδηγούν στην απάλειψη μιας φαινυλαλανίνης στη θέση 508 της πρωτεΐνης ΔF508.

Στην Κύπρο, σύμφωνα με τα αποτελέσματα συστηματικής διερεύνησης και αξιολόγησης των ευρημάτων για την κυστική ίνωση στον κυπριακό πληθυσμό, διαπιστώθηκε ότι η συχνότητα φορέων της ΔF508 είναι 1:44, με εξαίρεση το χωριό Αθένου, όπου η συχνότητα είναι 1:14. Το χωριό Αθένου έχει περίπου 4.500 κατοίκους.

Σύμφωνα με ιστορικές μαρτυρίες και πηγές, στο μέρος που βρίσκεται σήμερα το χωριό Αθένου, προηγουμένως υπήρχε ένα φέουδο, το οποίο ιδρύθηκε τον 16^ο αιώνα από κάποιον μακρινό Λατίνο ευγενή, πρόγονο των Βενετών της περιόδου της Ενετοκρατίας στην Κύπρο. Η συγκεκριμένη κοινότητα χαρακτηριζόταν από ενδογαμία και περιορισμένες μετακινήσεις (Δέλτας, 2014).

Ερώτημα

Να εξηγήσετε τις πιθανές διαδικασίες που έλαβαν χώρα ούτως ώστε σε ένα σχετικά μικρό χωριό της Κύπρου, την Αθένου, με πληθυσμό περίπου 4.500 κατοίκων, να υπάρχει τόσο υψηλή συχνότητα φορέων της κυστικής ίνωσης, η οποία είναι 1:14, σε αντίθεση με τον υπόλοιπο πληθυσμό της Κύπρου.

Φαινόμενο του Ιδρυτή, αναφέρεται στην περίπτωση που κάποιος μακρινός ή πιο πρόσφατος πρόγονος ευθύνεται για κάποιο γενετικό χαρακτηριστικό που υπάρχει σε άτομα της σημερινής εποχής.

6.5.3. Γονιδιακή ροή

Η φυσική επιλογή και η γενετική παρέκκλιση δεν είναι οι μόνοι μηχανισμοί που επηρεάζουν τις συχνότητες των αλληλομόρφων και τη γενετική ποικιλομορφία. Οι συχνότητες αυτές μπορούν επίσης να μεταβληθούν από τη γονιδιακή ροή, δηλαδή την εισαγωγή αλληλομόρφων σε έναν πληθυσμό, ή την απομάκρυνση από αυτόν, λόγω μετακίνησης γόνιμων ατόμων ή των γαμετών τους, ανεξάρτητα από τον τόπο διαβίωσής τους. Δηλαδή, η γονιδιακή ροή είναι μια διεργασία που μπορεί να μεταφέρει αλληλόμορφα από ένα πληθυσμό σε ένα άλλο πληθυσμό και έτσι να αυξήσει (ή πιο σπάνια να μειώσει) τη γενετική ποικιλομορφία.

Οι υψηλοί ρυθμοί γονιδιακής ροής μπορούν να μειώσουν τη γενετική διαφοροποίηση μεταξύ των διαφορετικών πληθυσμών, αυξάνοντας την ομοιογένεια. Για τον λόγο αυτό, θεωρήθηκε ότι η γονιδιακή ροή εμποδίζει την ανάπτυξη διαφορών στη γενετική ποικιλομορφία περιορίζοντας έτσι την ειδογένεση.

Σε μερικές περιπτώσεις η μετανάστευση μπορεί πάντως να οδηγήσει στην προσθήκη νέων γενετικών παραλλαγών στη γονιδιακή ομάδα ενός είδους ή πληθυσμού.

Ο ρυθμός της γονιδιακής ροής είναι υψηλότερος από τον ρυθμό μετάλλαξης, με αποτέλεσμα η επίδρασή της στις συχνότητες των αλληλομόρφων να είναι πιο άμεση από την επίδραση των μεταλλάξεων, χωρίς να ξεχνάμε φυσικά ότι μόνο οι μεταλλάξεις μπορούν να προσφέρουν εντελώς νέα γονίδια στον πληθυσμό.

Δραστηριότητα 6.5.3.1: Συχνότητες αλληλομόρφων σε έναν πληθυσμό και γονιδιακή ροή

Κοντά σε έναν πληθυσμό Α με κόκκινα αγριολούλουδα υπάρχει ένας άλλος πληθυσμός αγριολούλουδων, Β, ο οποίος αποτελείται κυρίως από άτομα λευκού χρώματος. Τα κόκκινα αγριολούλουδα του πληθυσμού Α επικονιάζονται από έντομα που φέρουν γύρη από τα αγριολούλουδα του πληθυσμού Β. Να εξηγήσετε γιατί μπορεί να μεταβληθούν με αυτό τον τρόπο οι συχνότητες των αλληλομόρφων του πληθυσμού Α.

Δραστηριότητα 6.5.3.2: Γονιδιακή ροή και ανθρώπινη μετανάστευση

Σήμερα, λόγω της αυξημένης μετανάστευσης των ανθρώπων που παρατηρείται παγκοσμίως, η γονιδιακή ροή αποκτά ολοένα και μεγαλύτερη σημασία ως παράγοντας αλλαγής των συχνοτήτων των αλληλομόρφων γονιδίων στους ανθρώπινους πληθυσμούς. Να εξηγήσετε πώς η μετανάστευση θα μπορούσε να δράσει θετικά ή αρνητικά σε ένα ανθρώπινο πληθυσμό;



Εικόνα 19: Μετανάστευση κατά τον 21^ο αιώνα.

6.5.4. Φυσική επιλογή και αρμοστικότητα

Η διαδικασία της φυσικής επιλογής, μέσω της οποίας ευνοϊκά χαρακτηριστικά που αυξάνουν την προσαρμογή του οργανισμού καθίστανται επικρατή σε έναν πληθυσμό, επηρεάζει την ποικιλομορφία που βλέπουμε ανάμεσα στους ζωντανούς οργανισμούς. Αν και συνήθως δρα μειώνοντας την ποικιλομορφία (εξαλείφοντας προβληματικές μεταλλάξεις ή γονοτύπους) σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να δρα με τρόπο που ευνοεί τη διατήρηση της ποικιλομορφίας, όπως στην περίπτωση του πλεονεκτήματος του ετεροζυγώτη.

Το προσαρμοστικό πλεονέκτημα που έχουν οι γονοτύποι ή ορισμένα αλληλόμορφα αυτών των ατόμων και οδηγεί σε αύξηση της συχνότητάς τους στις μεταγενέστερες γενιές, μετριέται με την **αρμοστικότητα**. Η συνεισφορά ενός ατόμου στη δεξαμενή γονιδίων της επόμενης γενεάς σε σχέση με τη συνεισφορά άλλων ατόμων ονομάζεται σχετική αρμοστικότητα.

Ένα παράδειγμα εξέλιξης μέσω της δράσης της φυσικής επιλογής είναι και οι εξελικτικές διεργασίες των μικροβίων.

Δραστηριότητα 6.5.4.1: Εξελικτικές διεργασίες μικροβίων

Ένα παράδειγμα της εξελικτικής διεργασίας σε μικροβιακούς παθογόνους οργανισμούς που έχουν μελετηθεί αρκετά αφορά τον ιό Ebola που είναι ένα από τα πιο θανατηφόρα μικρόβια για τον άνθρωπο. Η επιδημία του Ebola το 2013-2015 ήταν η μακρύτερη και μεγαλύτερη που παρατηρήθηκε στα πρόσφατα χρόνια, με 28.646 περιπτώσεις ασθενών και 11.323 καταγεγραμμένους θανάτους μέχρι τον Ιούνιο του 2016. Η μεγάλη διάρκεια της επιδημίας, σε συνδυασμό με τη ραγδαία ανάπτυξη των τεχνολογιών αλληλούχησης του γονιδιώματος, οι οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν στο συγκεκριμένο πεδίο, επέτρεψε στους ερευνητές να εντοπίσουν την εξέλιξη αυτού του ιού κατά τη διάρκεια μόλυνσης νέων ασθενών.

Να μελετήσετε τις παρακάτω πληροφορίες που προέρχονται από ένα επιστημονικό άρθρο με τίτλο «Επιδημιολογία του ιού Ebola, μετάδοση και εξέλιξη κατά τη διάρκεια επτά μηνών στη Σιέρα Λεόνε» και αφορούν την ιστορία ενός στελέχους του ιού Ebola, και να εξηγήσετε τον ρόλο της φυσικής επιλογής στην εξέλιξη του συγκεκριμένου ιού (Park et al. 2015. Ebola virus epidemiology, transmission, and evolution during seven months in Sierra Leone. Cell, 161, 1516-1526. doi: 10.1016/j.cell.2015.06.007).

Πληροφορίες

«Οι επιστήμονες που μελετούν τον Ebola κατασκεύασαν ένα «οικογενειακό δέντρο» του ιού καθώς εξαπλωνόταν στη Δυτική Αφρική για δύο χρόνια (Park, 2015). Κάθε κλαδί του δέντρου αντιπροσωπεύει έναν καινούργιο τύπο μεταλλάξεων που επέτρεψαν στον ιό να αναπτυχθεί και να πολλαπλασιαστεί καλύτερα από άλλα στελέχη. Οι επιστήμονες συγκρίνοντας ιικά γονιδιώματα από ασθενείς σε διαφορετικές χώρες και διαφορετικές χρονικές στιγμές, διαπίστωσαν ότι η κύρια παραλλαγή του ιού προήλθε από τη Γουινέα και ήταν ικανή να εξαπλωθεί περαιτέρω μόνο αφότου είχε αποκτήσει πέντε νέες μεταλλάξεις. Καθώς μετακινούνταν από τη Γουινέα στη Σιέρα Λεόνε τον Μάιο του 2014, μια άλλη μετάλλαξη εμφανίστηκε και έγινε πιο συνήθης σε αυτή την περιοχή. Η νέα μετάλλαξη παρατηρήθηκε πρώτη φορά σε έναν μόνο ασθενή, αλλά ήταν τόσο επιτυχής που 97% των 200 και πλέον γονιδιωμάτων Ebola που αναλύθηκαν σε ολόκληρη τη μελέτη ήταν απόγονοι αυτού του μεταλλαγμένου».

6.5.5. Φυλετική επιλογή

Η φυλετική επιλογή είναι μια μορφή φυσικής επιλογής κατά την οποία άτομα με συγκεκριμένα κληρονομικά χαρακτηριστικά είναι πιθανότερο να ζευγαρώσουν απ' ό,τι άλλα. Η φυλετική επιλογή χωρίζεται σε **διαφυλετική** και **ενδοφυλετική**. Στη διαφυλετική επιλογή, τα άτομα του ενός φύλου (συνήθως τα θηλυκά) είναι ιδιαιτέρως επιλεκτικά όταν διαλέγουν συντρόφους του αντίθετου φύλου. Στην ενδοφυλετική επιλογή, τα άτομα του ενός φύλου ανταγωνίζονται άμεσα μεταξύ τους, διεκδικώντας συντρόφους του αντίθετου φύλου. Σε πολλά είδη, η ενδοφυλετική επιλογή εκδηλώνεται μεταξύ των αρσενικών ατόμων αλλά υπάρχουν και περιπτώσεις ανταγωνισμού μεταξύ θηλυκών.

Δραστηριότητα 6.5.5.1: Διαφυλετική και ενδοφυλετική επιλογή

Να παρατηρήσετε την πιο κάτω εικόνα και να εξηγήσετε τη διαφυλετική και την ενδοφυλετική επιλογή στα παγώνια.



Εικόνα 20: Αρσενικό (εντυπωσιακή μορφή) και θηλυκό παγώνι.

6.5.6. Τι είναι τελικά η εξέλιξη;

Μέχρι τώρα έχετε μελετήσει τους μηχανισμούς που είναι υπεύθυνοι για τις εξελικτικές μεταβολές των οργανισμών. Ως εξέλιξη χαρακτηρίζεται η αλλαγή που προκύπτει στα κληρονομούμενα χαρακτηριστικά των πληθυσμών, μέσα στον χρόνο, με το πέρασμα διαδοχικών γενεών. Η Εξέλιξη αποτελεί αντικείμενο μελέτης της εξελικτικής βιολογίας. Η εξέλιξη, δηλαδή, είναι μια βασική ιδιότητα της ζωής και συμβαίνει αναπόφευκτα από τη στιγμή που δημιουργείται ποικιλομορφία σε χαρακτηριστικά που κληρονομούνται και περιβάλλον που μεταβάλλεται στον χώρο και τον χρόνο. Η **σύγχρονη θεωρία της εξέλιξης** βασίζεται στη θεωρία του Δαρβίνου στην οποία έχει προσθέσει τις μεταλλάξεις, ως πηγή της ποικιλομορφίας επί της οποίας θα δράσει η φυσική επιλογή, τον μηχανισμό της κληρονομικότητας, ως εξήγηση της κληροδότησης χαρακτήρων στους απογόνους, και κάποιες διεργασίες όπως είναι η γενετική παρέκκλιση και η γονιδιακή ροή, που εξηγούν γιατί κάποια χαρακτηριστικά γίνονται πιο κοινά ή πιο σπάνια σε ένα πληθυσμό. Έτσι, η εξέλιξη στους πραγματικούς πληθυσμούς περιλαμβάνει έναν συνδυασμό φυσικής επιλογής σε χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την ικανότητα επιβίωσης και αναπαραγωγής, φυλετικής επιλογής σε χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την ικανότητα ζευγαρώματος και γενετικής παρέκκλισης εξαιτίας του περιορισμένου μεγέθους των πληθυσμών. Η εξέλιξη συχνά διακρίνεται σε **μικρο-εξέλιξη**, όταν εστιάζεται σε όσα συμβαίνουν εντός πληθυσμών ενός είδους και σε **μακρο-εξέλιξη**, όταν εστιάζεται σε διαδικασίες που χρειάζονται περισσότερο χρόνο, όπως η εμφάνιση νέων ειδών και ανώτερων ταξινομικών ομάδων. Η διάκριση αυτή, όμως, είναι απλώς πρακτική, δεν αφορά τους μηχανισμούς της εξελικτικής αλλαγής (μεταλλάξεις, φυσική επιλογή, γενετική παρέκκλιση και γονιδιακή ροή) που παραμένουν οι ίδιοι. Σύμφωνα με τη σύγχρονη θεωρία της εξέλιξης η συσσώρευση μικρο-εξελικτικών αλλαγών οδηγεί σταδιακά σε ειδογένεση και, σε μεγάλο βάθος χρόνου, σε εμφάνιση μακρο-εξελικτικών αλλαγών (όπως η ανάπτυξη νέων μορφών ζωής, π.χ. εμφάνιση σπονδυλωτών από ασπόνδυλα, εμφάνιση πτηνών από ερπετά κ.ο.κ.). Παρόλο που κάποιοι βιολόγοι πιστεύουν ότι η μακρο-εξέλιξη μπορεί να προέλθει με συσσώρευση μικροαλλαγών μέσω της μικρο-εξέλιξης, άλλοι πιστεύουν ότι η μακρο-εξέλιξη είναι μια αρκετά διαφορετική κατάσταση από την μικρο-εξέλιξη.

Η εξέλιξη συμβαίνει, συνήθως, σταδιακά και με αργό ρυθμό αλλά σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να είναι πιο γρήγορη, ακόμα και απότομη, όπως στην περίπτωση που γίνεται μέσω πολυπλοειδίας (ιδιαίτερα στα φυτά). Μερικές φορές, επίσης, πολύ μικρές αλλαγές (μεμονωμένες ή λίγες μεταλλάξεις) μπορεί να επιφέρουν μεγάλης έκτασης αλλαγές στον φαινότυπο, ιδίως όταν συμβούν σε ρυθμιστικά γονίδια. Τα ιδιαίτερα αυτά γεγονότα, βέβαια, δεν αλλάζουν τη γενική διαπίστωση ότι η εξέλιξη είναι βαθμιαία.

Η Εξέλιξη, ως αλλαγή στη γενετική σύνθεση ενός πληθυσμού στο πέρασμα του χρόνου, προκύπτει από την αλλαγή στη συχνότητα αλληλομόρφων των οργανισμών που διασταυρώνονται και αποτελεί διαδικασία εμφάνισης νέων χαρακτηριστικών, ειδών και μορφών.

Δραστηριότητα 6.5.6.1: Δαρβίνος και Εξέλιξη

Το μέρος που εντυπωσίασε περισσότερο τον Δαρβίνο στο ταξίδι του με τη φρεγάτα Beagle ήταν τα νησιά Γκαλάπαγκος. Εκεί παρατήρησε διαφορετικά είδη σπίνων που δεν υπήρχαν σε άλλα μέρη του κόσμου. Υποθέστε ότι ο Δαρβίνος βρήκε στο νησί Santa Maria σπίνους με μικρό μέγεθος ράμφους που τρέφονταν κυρίως με έντομα που ζούσαν στα δέντρα, στο νησί Pinta σπίνους με

μεγάλο μέγεθος ράμφους που τρέφονταν κυρίως με σκληρούς σπόρους, στο νησί San Cristóbal σπίνους με μεσαίο μέγεθος ράμφους που τρέφονταν κυρίως με καρπούς, ενώ στο νησί Isabella βρήκε σπίνους όλων των ειδών. Με δεδομένο ότι όλα τα είδη σπίνων έχουν προέλθει εξελικτικά από έναν κοινό πρόγονο με μεγάλο ράμφος που μετανάστευσε από την Κεντρική Αμερική, να προσπαθήσετε να ερμηνεύσετε εξελικτικά την προέλευση των τριών ειδών των σπίνων.

Ερωτήματα

- (α) Να κάνετε υποθέσεις για ποιο λόγο στο νησί Isabella ζουν σπίνοι και από τα τρία είδη, ενώ στα υπόλοιπα νησιά κυρίως σπίνοι από ένα είδος.
- (β) Να κάνετε υποθέσεις για τους πιθανούς εξελικτικούς μηχανισμούς που οδήγησαν στη δημιουργία των νέων αυτών ειδών.
- (γ) Να υποθέσετε ότι στο αρχικό είδος που έφθασε στα νησιά από την Κεντρική Αμερική, το οποίο είχε μεγάλο ράμφος, υπήρχε το αλληλόμορφο M, στο οποίο οφείλεται το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό, και ότι όλα τα άτομα του αρχικού πληθυσμού είχαν γονότυπο MM. Κάποια στιγμή, αφού ο αρχικός πληθυσμός εγκαταστάθηκε στο νησί Isabella, συνέβη τυχαία μετάλλαξη σε ένα άτομο του πληθυσμού που είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία του αλληλομόρφου K αντί του αλληλομόρφου M. Το αλληλόμορφο K είναι υπεύθυνο για μικρό ράμφος. Να γράψετε τους πιθανούς γονότυπους και φαινότυπους των σπίνων στα διάφορα νησιά.
- (δ) Να δημιουργήσετε ένα μοντέλο που να σας επιτρέπει να αναπαραστήσετε την εξελικτική αυτή διαδικασία της δημιουργίας των νέων ειδών.
- (ε) Να προβλέψετε τι θα συμβεί στα διάφορα είδη σπίνων στο νησί Isabella αν γίνει μια ηφαιστειακή έκρηξη και η μόνη διαθέσιμη τροφή για τους σπίνους είναι οι σκληροί σπόροι. Ποιοι από τους υπάρχοντες σπίνους μπορούν να αντεπεξέλθουν στις καινούργιες συνθήκες στο συγκεκριμένο νησί;



Εικόνα 21: Ο χάρτης του ταξιδιού του Κάρολου Δαρβίνου με το πλοίο Beagle (1831-1836).

Υποενότητα 6.6: Είδη και Μηχανισμοί Ειδογένεσης

6.6.1. Πώς ξεχωρίζουμε τα είδη μεταξύ τους;

Στην Κύπρο οι πτηνοπαρατηρητές εντοπίζουν συχνά κάποια πτηνά που τοπικά ονομάζονται «τριβιτούρες». Στην πραγματικότητα τα πτηνά αυτά μπορεί να ανήκουν είτε στο είδος *Hippolais olivetorum* είτε στο *Iduna pallida*. Ο λόγος για τον οποίο δεν ξεχωρίζουν εύκολα τα άτομα των δύο αυτών ειδών είναι η πανομοιότυπη σχεδόν εξωτερική τους εμφάνιση.

Οι επιστήμονες, όμως, μπορούν με ακρίβεια να προσδιορίσουν σε ποιο είδος ανήκει το κάθε άτομο, αν αναλύσουν το γενετικό τους υλικό ή το τραγούδι που εκτελούν τα αρσενικά όταν θέλουν να επιλέξουν σύντροφο ή να προστατεύσουν τη χωροκράτειά τους. Οι διαφορές αυτές εμποδίζουν τη σύγχυση του τραγουδιού του ενός είδους από άτομα του άλλου και έτσι αποκλείεται να ζευγαρώσουν μεταξύ τους.



Εικόνα 22: Στις πιο πάνω εικόνες παρουσιάζονται δύο διαφορετικά είδη πουλιών της οικογένειας Acrocephalidae, τα οποία συναντούμε και στην Κύπρο. Δεν είναι δυνατόν να τα διακρίνουμε από τη μορφή ή το πτέρωμα, παρότι κατατάσσονται σε διαφορετικά είδη.

6.6.2. Τί εννοούμε με τον όρο είδος;

Στην επιστημονική βιβλιογραφία έχουν προταθεί πολλοί ορισμοί για το είδος. Οι δύο κυρίαρχες έννοιες είναι η βιολογική, η οποία στηρίζεται στη δυνατότητα αναπαραγωγής μεταξύ των ατόμων του είδους, και η φυλογενετική, η οποία δίνει μεγαλύτερη έμφαση στην εξελικτική ιστορία του. Το είδος αποτελεί πάντως τη θεμελιώδη μονάδα ταξινόμησης.

Βιολογικός ορισμός του είδους: Ένα είδος ορίζεται ως το σύνολο των διαφορετικών πληθυσμών από το οποίο δύο άτομα, συνήθως με φυλετική αναπαραγωγή, μπορούν να παράγουν γόνιμους απογόνους.

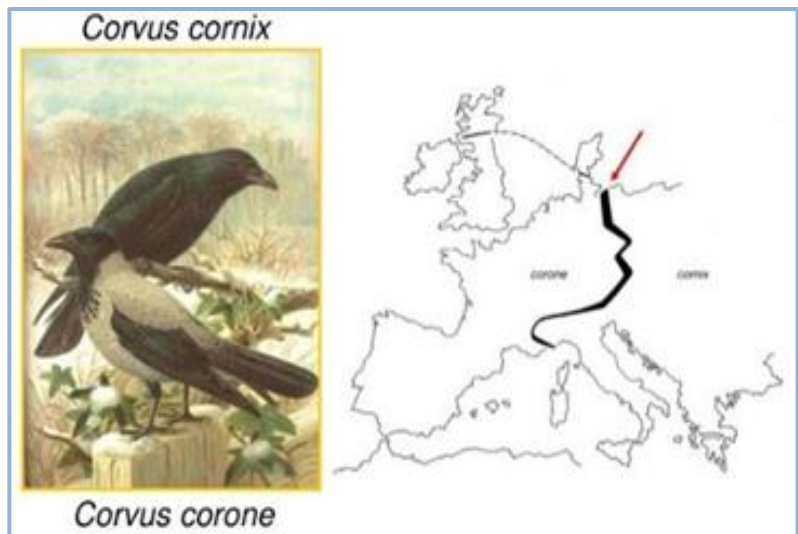
Φυλογενετικός ορισμός του είδους: Ένα είδος ορίζεται ως η μικρότερη γενεαλογική ομάδα οργανισμών που διατηρεί μέσα στον χρόνο και τον χώρο την κληρονομική της ακεραιότητα και διακρίνεται από μοναδικό σύνολο είτε γενετικών είτε μορφολογικών χαρακτηριστικών.

Σε πολλούς οργανισμούς, όπως για παράδειγμα τα βακτήρια, ο κυρίαρχος τρόπος αναπαραγωγής είναι η μονογονία. Σε αυτούς τους οργανισμούς ο βιολογικός ορισμός του είδους είναι προβληματικός και χρησιμοποιείται κυρίως ο φυλογενετικός ορισμός ή άλλες ομαδοποιήσεις με βάση τη βιοχημεία τους.

6.6.3. Μηχανισμοί ειδογένεσης

Όταν ένας πληθυσμός διαχωριστεί σε δύο γεωγραφικά απομονωμένους πληθυσμούς, (**αλλοπάτριοι** πληθυσμοί) λόγω ανάπτυξης ανάμεσά τους κάποιου φυσικού εμποδίου, όπως η παρουσία μιας οροσειράς, θάλασσας ή αφιλόξενης περιοχής, όπως μία έρημος, και δεν μπορούν να ανταλλάξουν μεταξύ τους άτομα, οι δύο απομονωμένοι πληθυσμοί δέχονται διαφορετικές πιέσεις (μεταλλάξεων, φυσικής επιλογής και γενετικής παρέκκλισης), με αποτέλεσμα να υποστούν γονοτυπική ή/και φαινοτυπική διαφοροποίηση. Στην περίπτωση που οι δύο πληθυσμοί έρθουν ξανά σε επαφή, έπειτα από σημαντικό χρονικό διάστημα απομόνωσης, αλλά λόγω σημαντικού βαθμού διαφοροποίησης που έχει προκύψει δεν είναι δυνατή η αναπαραγωγή μεταξύ τους (αναπαραγωγική απομόνωση), οι δύο πληθυσμοί έχουν υποστεί **αλλοπάτρια ειδογένεση**.

Εάν οι δύο πληθυσμοί έχουν τη δυνατότητα να ανταλλάσσουν γενετικό υλικό σε περιορισμένο τμήμα της εξάπλωσής τους, τότε ονομάζονται **παραπάτριοι**. Στην περίπτωση που ένας ή περισσότεροι πληθυσμοί από ένα αρχικό προγονικό είδος, διαφοροποιούνται γενετικά ή/και μορφολογικά, κυρίως για οικολογικούς λόγους, ενόσω και καταλαμβάνουν την ίδια γεωγραφική περιοχή, (**συμπάτριοι** πληθυσμοί), έχουν υποστεί **συμπάτρια ειδογένεση**.



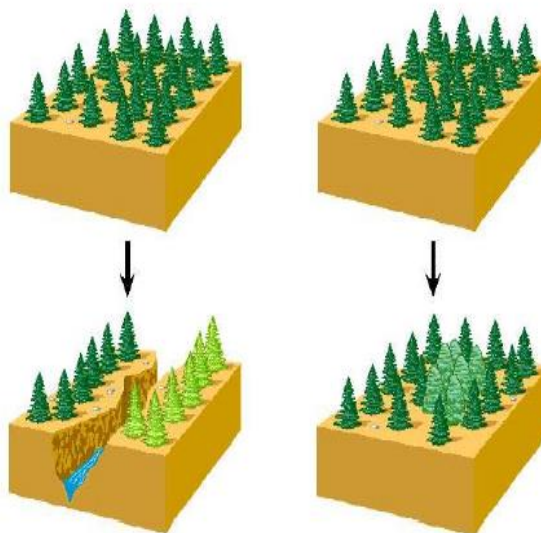
Εικόνα 23: Περιοχές εξάπλωσης δύο συγγενικών ειδών Κοράζινου στην Ευρώπη. Το είδος *Corvus corone* εξαπλώνεται στο δυτικό άκρο της Ευρώπης ενώ το είδος *C. cornix* ανατολικότερα. Στην περιοχή επαφής των δύο πληθυσμών παρατηρούνται υβρίδια με διάφορα πρότυπα ενδιάμεσων χρωματισμών. Οι δύο πληθυσμοί θεωρούνταν παλαιότερα ως υποείδη του ίδιου είδους, επειδή όμως ανταλλάσσουν γενετικό υλικό μόνο σε μια πολύ περιορισμένη περιοχή, πλέον καταγράφονται ως δύο διαφορετικά είδη.

Κατά την **αλλοπάτρια ειδογένεση**, η γονιδιακή ροή διακόπτεται όταν ένας αρχικός πληθυσμός χωριστεί σε γεωγραφικά απομονωμένους υποπληθυσμούς. Λόγου χάρη, η πτώση της στάθμης του νερού μιας λίμνης μπορεί να οδηγήσει στον σχηματισμό δύο μικρότερων λιμνών που τώρα φιλοξενούν δύο χωριστούς πληθυσμούς. Στη συνέχεια, οι γεωγραφικά απομονωμένοι μεταξύ τους οργανισμοί εξελίσσονται ανεξάρτητα και διαφοροποιούνται μορφολογικά και γενετικά. Αυτό συμβαίνει διότι εμφανίζονται διαφορετικές μεταλλάξεις στα άτομα, η φυσική επιλογή δρα στους γεωγραφικά απομονωμένους οργανισμούς και η γενετική παρέκκλιση μεταβάλλει τις συχνότητες των αλληλομόρφων.

Σε μια ειδική περίπτωση αλλοπάτριας ειδογένεσης όπου αποκόπτεται μικρό μέρος του αρχικού πληθυσμού, κυρίως λόγω γενετικής παρέκκλισης, μπορούν να δημιουργηθούν **περιπάτριοι πληθυσμοί**.

Η **συμπάτρια ειδογένεση** είναι το είδος της ειδογένεσης που παρατηρείται σε πληθυσμούς, οι οποίοι ζουν στην ίδια γεωγραφική περιοχή. Ωστόσο, πώς μπορούν να προκύψουν αναπαραγωγικοί φραγμοί ανάμεσα σε συμπάτριους πληθυσμούς, των οποίων τα μέλη εξακολουθούν να βρίσκονται σε επαφή; Αυτή μπορεί να εκδηλωθεί σε περίπτωση μείωσης της γονιδιακής ροής από παράγοντες όπως η πολυπλοειδία, η διαφοροποίηση των ενδαιτημάτων και η φυλετική επιλογή.

Παραπάτρια ειδογένεση μπορεί να συμβεί όταν τα δύο αρχικά είδη διαχωρίζονται μερικώς γεωγραφικά αλλά υπάρχει ζώνη επαφής, στην οποία συναντώνται και διασταυρώνονται. Αν τα υβρίδιά τους έχουν μικρότερη ικανότητα επιβίωσης και αναπαραγωγής από τα πατρικά είδη, τότε αυτά μπορεί να διαχωριστούν και να δημιουργηθούν νέα είδη.



Εικόνα 24: Αλλοπάτρια (αριστερά) και συμπάτρια (δεξιά) ειδογένεση.

Δραστηριότητα 6.6.3.1: Μοντέλα ειδογένεσης

Να μελετήσετε την **Εικόνα 25** και να γράψετε σε ποιο είδος ειδογένεσης αντιστοιχεί το κάθε ένα από τα μοντέλα 1, 2, 3 και 4, αιτιολογώντας την απάντησή σας.

Αρχικός πληθυσμός

Αρχικό βήμα στην ειδογένεση

Ανάπτυξη αναπαραγωγικής απομόνωσης

Δημιουργία νέων διακριτών ειδών

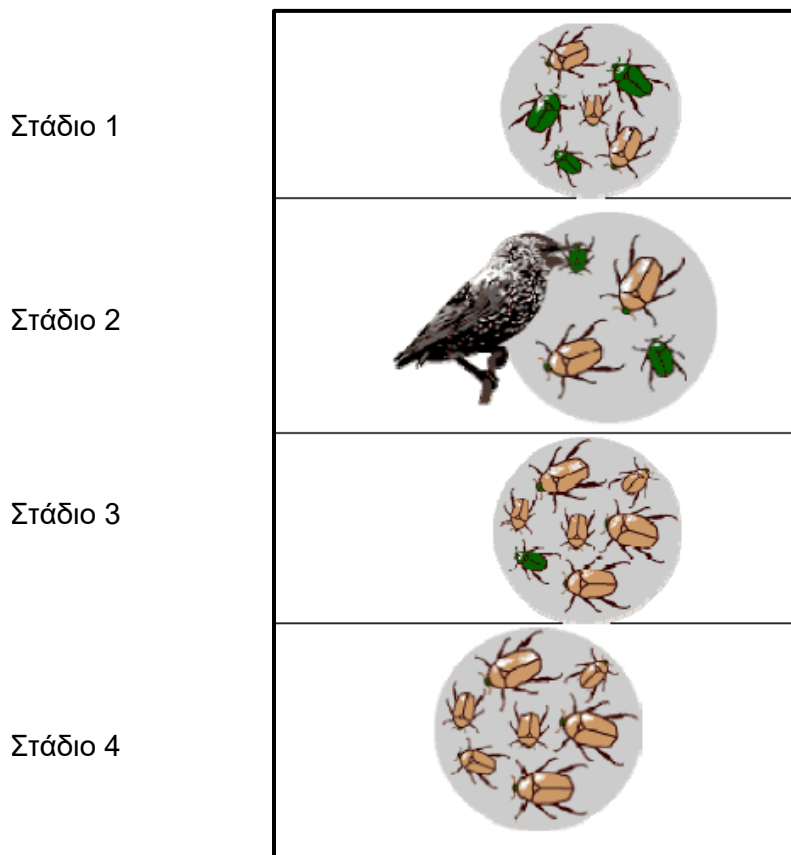


1 2 3 4

Εικόνα 25: Μοντέλα ειδογένεσης

Ερωτήσεις - Προβλήματα Κατανόησης και Μελέτης

1. Να ονομάσετε τους παράγοντες που συμβάλλουν στη δημιουργία γενετικής ποικιλομορφίας, η οποία στη συνέχεια επιτρέπει την εξέλιξη των οργανισμών.
2. Να ονομάσετε τους τρεις (3) βασικούς μηχανισμούς που είναι απαραίτητοι για την εξέλιξη και τη δημιουργία ενός νέου είδους οργανισμών, σύμφωνα με τη σύγχρονη θεωρία της εξέλιξης.
3. Να εξηγήσετε πώς συνεργούν οι τρεις (3) μηχανισμοί της εξέλιξης για τη δημιουργία ενός νέου είδους οργανισμών, σύμφωνα με τη σύγχρονη θεωρία της εξέλιξης.
4. Να εξηγήσετε για ποιον λόγο οι μεταλλάξεις δεν μπορούν να κατευθύνουν από μόνες τους την εξελικτική πορεία δημιουργίας ενός νέου είδους.
5. Να εξηγήσετε πώς θα επηρεαζόταν η γενετική ποικιλομορφία ενός πληθυσμού με την πάροδο του χρόνου, αν ο πληθυσμός αυτός σταματούσε να αναπαράγεται με αμφιγονία (αλλά εξακολουθούσε να αναπαράγεται με μονογονία).
6. Με βάση το πιο κάτω απλοποιημένο μοντέλο, όπου φαίνονται πράσινα και καφέ σκαθάρια, να εξηγήσετε τον τρόπο δράσης της φυσικής επιλογής ως τον βασικό μηχανισμό εξέλιξης των οργανισμών.



Εικόνα 26: Μοντέλο δράσης της φυσικής επιλογής.

7. Όταν πρωτοχρησιμοποιήθηκε η πενικιλίνη ως αντιβιοτικό το 1940, ήταν απολύτως αποτελεσματική ενάντια στο βακτήριο *Staphylococcus aureus*. Σήμερα, το βακτήριο αυτό έχει αναπτύξει ανθεκτικότητα λόγω φυσικής επιλογής. Το 30% των ασθενών είναι ασυμπτωματικοί. Σε κλινικούς ασθενείς, όμως, δύναται να προκαλέσει πνευμονία, δηλητηρίαση του αίματος, ακόμα και θάνατο. Το βακτήριο έχει αναπτύξει ανθεκτικότητα και στο αντιβιοτικό βανκομυκίνη, το οποίο οι γιατροί χρησιμοποιούσαν μέχρι πρόσφατα για τη θεραπεία του.
Να εξηγήσετε τον μηχανισμό με τον οποίο το βακτήριο *Staphylococcus aureus* έχει αναπτύξει ανθεκτικότητα στα αντιβιοτικά.
8. Το Σύνδρομο Επίκτητης Ανοσοποιητικής Ανεπάρκειας (AIDS) προκαλείται από τον ρετροϊό HIV ο οποίος πιθανώς παρείσφρησε στον ανθρώπινο πληθυσμό από αφρικανικούς πιθήκους στα μέσα του 20^{ου} αιώνα. Εξαιτίας της εξαιρετικής μεταλλακτικής ικανότητάς του, ο ιός εξελίσσει διαρκώς αντίσταση στις φαρμακευτικές θεραπείες, με συνέπεια να απαιτείται πια «κοκτέιλ» τριών φαρμάκων προκειμένου να ανασταλεί η ανάπτυξη του. Να εξηγήσετε γιατί η χρήση «κοκτέιλ» τριών φαρμάκων μπορεί να αναστείλει την ανάπτυξη του ρετροϊού HIV.
9. Να περιγράψετε τρία (3) στάδια μιας απλουστευμένης διαδικασίας (α) αλλοπάτριας και (β) συμπάτριας ειδογένεσης.
10. Από πολύ παλιά οι άνθρωποι γνώριζαν ότι μπορεί να προκύψουν από ένα άλογο (*Equus ferus*) και ένα γαϊδούρι (*Equus africanus*) απόγονοι με ενδιάμεσα χαρακτηριστικά, τα γνωστά μουλάρια ή ημίονοι. Τα μουλάρια, όμως, είναι στείρα. Τα δεδομένα αυτά επιβεβαιώνουν ότι άλογο και γαϊδούρι είναι διαφορετικά βιολογικά είδη; Να εξηγήσετε την απάντησή σας.
11. Να διαβάσετε τις πιο κάτω προτάσεις και να χαρακτηρίσετε την κάθε μία ως ορθή ή λανθασμένη, με βάση τη σύγχρονη θεωρία της εξέλιξης:
- (α) Η ζωή εμφανίστηκε και εξελίχθηκε τυχαία και όχι προσχεδιασμένα.
 - (β) Η εξέλιξη είναι πάντοτε μια αργή και σταδιακή/βαθμιαία διαδικασία.
 - (γ) Επειδή η εξέλιξη είναι γενικά μια αργή διαδικασία οι άνθρωποι δεν μπορούν να την επηρεάσουν.
 - (δ) Οι οργανισμοί, με τη δράση της φυσικής επιλογής, συνέχεια εξελίσσονται και γίνονται καλύτεροι.
 - (ε) Οι οργανισμοί που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη αρμοστικότητα (fitness) είναι πάντοτε εκείνοι που είναι οι πιο υγιείς και γρήγοροι και διαθέτουν το μεγαλύτερο μέγεθος.
12. Να εξηγήσετε πού οφείλονται οι διαφορές που υπάρχουν μεταξύ των ανθρώπων όσον αφορά: α) το χρώμα του δέρματος και την παραγωγή βιταμίνης D, β) την ικανότητα διάσπασης της λακτόζης και, γ) την ικανότητα διάσπασης του αμύλου.

13. Να δώσετε παραδείγματα μέσα από τα οποία φαίνεται η χρησιμότητα της σύγχρονης θεωρίας της εξέλιξης;
14. Να εξηγήσετε γιατί η γνωστή φράση «ο ισχυρότερος επικρατεί» δεν μπορεί πάντοτε να ισχύει, με βάση τη θεωρία της φυσικής επιλογής.
15. Αφού διαβάσετε το πιο κάτω κείμενο να γράψετε ακόμη τρεις (3) κληρονομικές ασθένειες μέσα από τις οποίες μπορούν να αναδύονται τα σημάδια των εισβολών στην Κύπρο.

Η Κύπρος, στη διάρκεια των αιώνων, έχει αποτελέσει μήλο της έριδος για πολλούς «εραστές», και έχει κατακτηθεί και τύχει εκμετάλλευσης από τους κατά καιρούς δυνατούς της Γης. Ήταν αναπόφευκτο, λοιπόν, να επηρεασθεί σημαντικά τόσο στην πολιτισμική της ανάπτυξη όσο και στη γενετική σύσταση του πληθυσμού της. Τα σημάδια των εισβολών αναδύονται μέσα από την περιγραφή των διαφόρων κληρονομικών ασθενειών, οπότε και βλέπουμε ότι έχουμε πολλά κοινά γενετικά χαρακτηριστικά. Συνήθως, τα χαρακτηριστικά αυτά γίνονται πιο εύκολα αντιληπτά όταν συνοδεύονται από κάποια παθολογία. Είναι, όμως, εξίσου εμφανές το ότι κάποιοι κατακτητές άφησαν πίσω τους γονίδια που διαφοροποίησαν την εμφάνιση μερίδας Κυπρίων, οι οποίοι δεν έχουν την τυπική εμφάνιση του μελαχρινού και καστανομάτη, με μέτριο ανάστημα μεσογειακού ανθρώπου. Υπάρχουν αρκετά παραδείγματα κληρονομικών ασθενειών που σχεδόν σηματοδοτούν τις προηγούμενες επισκέψεις και επιδράσεις κοντινών ή και μακρινών γειτόνων.

Επίσης, υπάρχουν παραδείγματα περιοχών με περιορισμένη γονιδιακή δεξαμενή εξαιτίας γεωγραφικής απομόνωσης και γάμων μεταξύ κατοίκων του ίδιου χωριού, φαινόμενο που είναι γνωστό ως ενδογαμία. Η ρήση «*Παπούτσι που τον τόπο σου τζιάς εν κομμαδκιασμένο*» φαίνεται ότι δεν ήταν απλό ρητορικό σχήμα αλλά λεκτική έκφραση της πρακτικής που ακολουθείτο με θρησκευτική ευλάβεια για πολλούς αιώνες, προτιμώντας γαμπρούς και νύφες από το ίδιο ή κάποιο γειτονικό χωριό.

Απόσπασμα (σελ. 1-2) από το βιβλίο του Καθηγητή Γενετικής του Πανεπιστημίου Κύπρου Δρ Κωνσταντίνου Δέλτα (2014) «*Η Γενετική Κληρονομιά των Κυπρίων μέσα από Ειδικά Θέματα Γενετικής*».

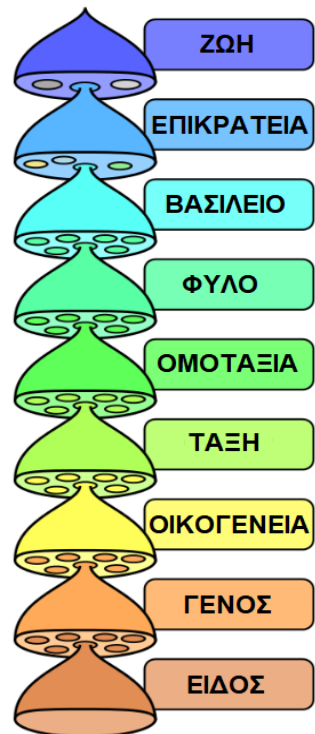
Υποενότητα 6.7: Φυλογένεση και Φυλογενετικά Δέντρα

6.7.1. Εισαγωγή

Οι μέχρι σήμερα γνωστοί οργανισμοί στην επιστήμη απαριθμούν περί τα 2 εκατομμύρια διαφορετικά είδη αλλά εκτιμάται ότι υπάρχουν και πολλά εκατομμύρια είδη που δεν έχουν ακόμα περιγραφεί. Η τεράστια αυτή ποικιλία μπορεί να μελετηθεί και να κατανοηθεί καλύτερα εάν πρώτα μελετήσουμε την εξελικτική ιστορία των ειδών.

Στην προσπάθεια αποτύπωσης των εξελικτικών σχέσεων των οργανισμών είναι σημαντικό πρώτα να τους κατατάσσουμε σε ομάδες. Στη βιολογία, η **ταξινομική** είναι η επιστήμη της ονοματοδοσίας, της οριοθέτησης και της ομαδοποίησης των οργανισμών με βάση κοινά χαρακτηριστικά. Οι οργανισμοί ομαδοποιούνται μεταξύ τους σε ιεραρχικά όλο και μεγαλύτερες

ομάδες (τάξα). Οι ομάδες (π.χ. είδη) που ανήκουν σε μια ιεραρχικά ανώτερη ομάδα (τάξον) μπορούν να συγκεντρωθούν για να σχηματίσουν μια υπερ-ομάδα (π.χ. γένος), κ.ο.κ., δημιουργώντας έτσι μια ταξινομική ιεραρχία. Οι κύριες βαθμίδες ταξινόμησης είναι κατά αύξουσα ιεραρχία, το Είδος (Species), το Γένος (Genus), η Οικογένεια (Family), η Τάξη (Class), η Ομοταξία (ή Κλάση - Order), το Φύλο (ή Συνομοταξία - Phylum), το Βασίλειο (Kingdom) και η Επικράτεια (Domain). Για την καλύτερη περιγραφή της ποικιλίας των οργανισμών έχουν προστεθεί και ενδιάμεσες βαθμίδες, όπως υπόταξη, υπέρταξη, υποείδος, υπογένος κ.λπ.. Μια βαθμίδα ταξινόμησης ανήκει σε μία μόνο ανώτερη (ευρύτερη) ταξινομικά βαθμίδα (Εικόνα 27).



Εικόνα 27. Οι κύριες βαθμίδες της σύγχρονης ταξινόμησης. Κάθε αντιπρόσωπος μιας ταξινομικής βαθμίδας ονομάζεται **τάξον** (taxon) (δηλαδή, ένα συγκεκριμένο είδος, μια συγκεκριμένη οικογένεια κ.λπ.).

Ο κλάδος της βιολογίας που μελετά τις εξελικτικές σχέσεις και την εξελικτική ιστορία ενός είδους ή άλλης ταξινομικής ομάδας ονομάζεται **φυλογενετική**. Οι εξελικτικές σχέσεις συμπεραίνονται έπειτα από μελέτη κληρονομούμενων χαρακτηριστικών, όπως η αλληλουχία του DNA των οργανισμών, των βιομορίων τους, των απολιθωμάτων, των μορφολογικών χαρακτηριστικών τους κ.λπ., με βάση ένα εξελικτικό μοντέλο. Το αποτέλεσμα της μελέτης των εξελικτικών σχέσεων ονομάζεται **φυλογένεση** και αποτυπώνεται διαγραμματικά ως ένα **φυλογενετικό δένδρο** (βλ. 6.7.3.).

Με την ανάπτυξη της φυλογενετικής, η ταξινομική έχει προχωρήσει σε ένα σύστημα σύγχρονης βιολογικής ταξινόμησης που βασίζεται στις εξελικτικές σχέσεις μεταξύ οργανισμών, τόσο ζωντανών όσο και εξαφανισμένων. Ο κλάδος της βιολογίας που ασχολείται με την ταξινόμηση των οργανισμών και ταυτόχρονα με τον προσδιορισμό των εξελικτικών σχέσεων ονομάζεται **συστηματική**.

6.7.2. Διωνυμική ονοματολογία

Για την ακριβή και σύντομη αναφορά σε συγκεκριμένα είδη οργανισμών οι επιστήμονες δεν χρησιμοποιούν ονόματα και ορολογίες της καθημερινής γλώσσας. Κάτι τέτοιο θα προκαλούσε προβλήματα στην προσπάθεια επικοινωνίας μεταξύ τους, καθώς οι κοινές ονομασίες των οργανισμών είναι πολλές φορές γενικές και αναφέρονται σε ομάδες οργανισμών και όχι σε συγκεκριμένο είδος, όπως για παράδειγμα όταν λέμε φάλαινα, αετός, μανιτάρι κ.λπ., αλλά και διαφέρουν πολύ μεταξύ διαφορετικών πολιτισμών και γλωσσών. Έτσι, οι επιστήμονες χρησιμοποιούν επιστημονικές ονομασίες ακολουθώντας συγκεκριμένους κανόνες.

Το «όνομα» κάθε οργανισμού αποτελείται από δύο λέξεις. Η πρώτη αποτελεί και το όνομα του γένους στο οποίο ανήκει ο οργανισμός ενώ η δεύτερη που ονομάζεται και ειδικό επίθετο προσδιορίζει σε πιο είδος του γένους αναφερόμαστε. Και οι δύο λέξεις γράφονται στα λατινικά ή σε εκλατινισμένη εκδοχή και με διαφορετική γραφή από το υπόλοιπο κείμενο (συνήθως *πλάγια γράμματα*), κάτι που εφαρμόζεται για είδη και γένη αλλά όχι για ανώτερες ομάδες ταξινόμησης.

Στο όνομα του γένους, όπως και κάθε άλλης ανώτερης ομάδας ταξινόμησης, το πρώτο γράμμα είναι κεφαλαίο. Το πρότυπο αυτό της ονοματολογίας προτάθηκε και εφαρμόστηκε πρώτα από τον Κάρολο Λινναίο τον 18^ο αιώνα, και συνεχίζει να εφαρμόζεται μέχρι τις μέρες μας. Η διώνυμη ονομασία *Ursus arctos* αφορά την καφέ αρκούδα. Στο ίδιο γένος ανήκει επίσης η πολική αρκούδα, *Ursus maritimus*, η αμερικανική μαύρη αρκούδα, *Ursus americanus*, η ασιατική μαύρη αρκούδα, *Ursus thibetanus*, και άλλα είδη.

Τα κριτήρια για την ομαδοποίηση σε ανώτερες του είδους ταξινομικές βαθμίδες ποικίλλουν ανά περίπτωση και έτσι δεν μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους. Για παράδειγμα, μία τάξη σπονδυλωτών μπορεί να μην εμφανίζει την ίδια ποικιλομορφία με μία τάξη ασπονδύλων.



Εικόνα 28: Ανάμεσα στην οικογένεια Orchidaceae (ορχιδέες) είναι δυνατόν να προκύψουν υβρίδια από άτομα που ανήκουν σε διαφορετικά γένη (πχ *Laelia* και *Cattleya*). Κάτι τέτοιο δεν παρατηρείται όμως στην οικογένεια Felidae (Αιλουροειδή) όπως φαίνεται στην εικόνα.

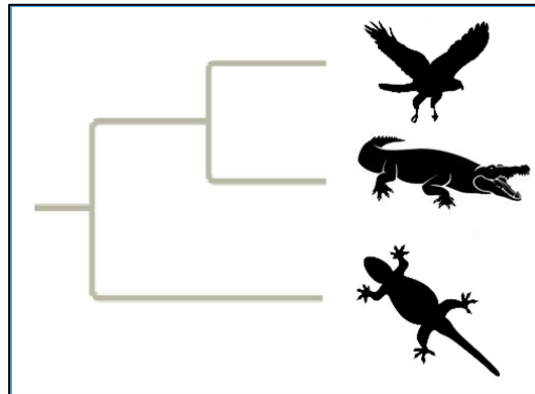
Γνωρίζετε ότι...

Η ιδέα ότι οι οργανισμοί είναι αμετάβλητες μορφές στην πάροδο του χρόνου επικρατούσε για πολλούς αιώνες. Ο Αριστοτέλης (384-322 π.Χ.) έκφρασε την άποψη περί σταθερότητας των «ειδών» στον χρόνο. Επίσης, αναγνώρισε ανάμεσα σε αυτά κάποιες σχέσεις αλλά και το ότι οι οργανισμοί διαφέρουν μεταξύ τους στο επίπεδο της πολυπλοκότητας, και έτσι πρότεινε μία κατάταξη σε κλίμακα αυξανόμενης πολυπλοκότητας που ονομάζεται *scala naturae* (κλίμακα της φύσης) μέσα στην οποία ταξινομούνταν όλοι οι οργανισμοί. Οι ιδέες του Αριστοτέλη δεν συγκρούονταν με τις μετέπειτα περιγραφές της Παλαιάς Διαθήκης, κατά τις οποίες οι οργανισμοί ήταν τέλεια αμετάβλητα δημιουργήματα του Θεού. Ο Κάρολος Λινναίος (1707-1778), Σουηδός γιατρός και βοτανικός, ο οποίος ασπασζόταν την ιδέα της δημιουργίας των τέλειων και αμετάβλητων «ειδών» από τον Θεό, εφάρμοσε ένα σύστημα διωνυμικής ονοματολογίας για την ταξινόμηση βασιζόμενο στο όνομα του είδους και του γένους στο οποίο ανήκει. Στο σύστημα του Λινναίου οι οργανισμοί ομαδοποιούνται με βάση ομοιότητες που παρουσιάζουν σε αντίθεση με τη γραμμική κλίμακα κατάταξης της κλίμακας της φύσης. Το σύστημα αυτό ονοματολογίας των οργανισμών είναι αυτό που χρησιμοποιείται και στις μέρες μας αν και σήμερα δεν βασίζεται στις μόνο στις ομοιότητες των οργανισμών αλλά και στις εξελικτικές τους συγγένειες.

6.7.3. Φυλογενετικό δέντρο ή Κλαδόγραμμα

Εάν αναπαραστήσουμε σε μορφή διαγράμματος τις φυλογενετικές σχέσεις που προκύπτουν μεταξύ ενός πτηνού, μίας σαύρας και ενός κροκόδειλου, τότε αντιλαμβανόμαστε μια πιο στενή σχέση μεταξύ πτηνού και κροκόδειλου παρά μεταξύ σαύρας και κροκόδειλου αν και η εξωτερική εμφάνιση της σαύρας και του κροκόδειλου μας κάνουν να πιστεύουμε το αντίθετο. Οι φυλογενετικές σχέσεις των οργανισμών μπορούν να αποτυπωθούν μέσα από ένα διάγραμμα, το

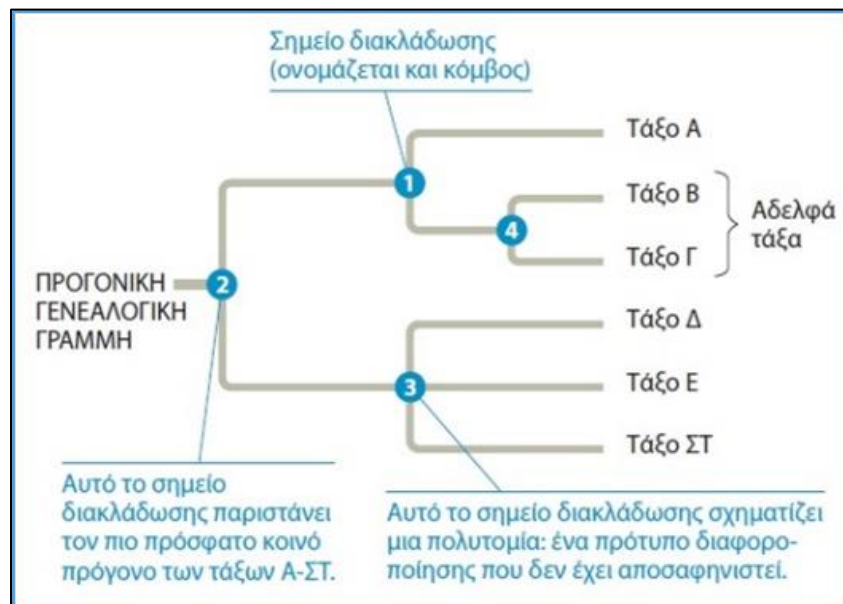
οποίο καθώς προχωρά διακλαδίζεται παίρνοντας τη μορφή δέντρου και ονομάζεται φυλογενετικό δέντρο ή κλαδόγραμμα.



Εικόνα 29: Φυλογενετικό δέντρο, ή κλαδόγραμμα, που παρουσιάζει τις εξελικτικές σχέσεις μεταξύ πτηνών, σαυρών και κροκοδειλών. Παρόλο που στους κροκοδείλους και τις σαύρες παρατηρούμε περισσότερα κοινά μορφολογικά χαρακτηριστικά, όπως τέσσερα βαδιστικά άκρα και ουρά, εντούτοις δεν είναι οι πιο συγγενικές ομάδες μεταξύ τους.

6.7.4. Πώς μελετούμε ένα φυλογενετικό δέντρο;

Κάθε φυλογενετικό δέντρο αποτελεί μία πιθανή πρόταση για τις εξελικτικές σχέσεις μεταξύ των ειδών που παρουσιάζονται. Ένας συνηθισμένος τρόπος παρουσίασης είναι μέσω ενός φυλογενετικού δέντρου με ρίζα. Κάθε διακλάδωση στο δέντρο αντιπροσωπεύει τη διαφοροποίηση δύο γενεαλογικών γραμμών από έναν κοινό πρόγονο. Οι γραμμές που ενώνουν δύο σημεία διακλάδωσης (κόμβους) ονομάζονται κλάδοι ή γενεαλογικές γραμμές. Στην περίπτωση που οι εξελικτικές σχέσεις τριών ή περισσότερων ομάδων δεν έχουν διαλευκανθεί, από τον κόμβο ξεκινούν περισσότερες από δύο γραμμές (βλ. Εικόνα 30).

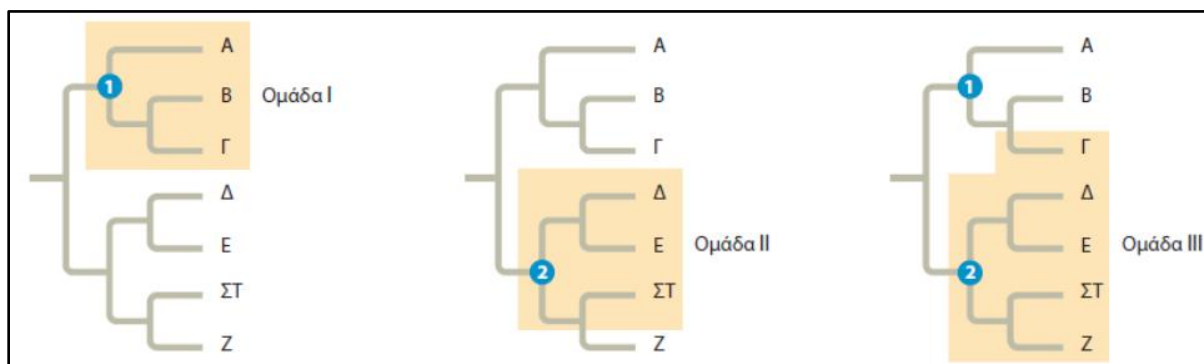


Εικόνα 30: Στα φυλογενετικά δέντρα είναι δυνατόν να γίνει σύνδεση της ταξινόμησης και της φυλογένεσης. Για παράδειγμα, το σημείο 1 αντιπροσωπεύει τον πιο κοινό πρόγονο των Α, Β και Γ ενώ το σημείο 2 τον πιο πρόσφατο κοινό πρόγονο όλων των τάξεων, από το Α έως και το ΣΤ. Τα τάξα Β και Γ μοιράζονται έναν πάρα πολύ πρόσφατο πρόγονο και ονομάζονται αδελφά τάξα.

Μια ομάδα από τάξα μαζί με τον πιο πρόσφατο κοινό τους πρόγονο συνιστούν μία **μονοφυλετική ομάδα** ή κλάδο. Εάν μία ομάδα αποτελείται από τάξα που δεν μοιράζονται τον ίδιο πιο πρόσφατο κοινό πρόγονο, τότε ονομάζεται **πολυφυλετική**. Τέλος, εάν περιλαμβάνει μεν τον πιο πρόσφατο κοινό πρόγονο αλλά όχι όλους τους απογόνους του, ονομάζεται **παραφυλετική**. Ένα παράδειγμα παραφυλετικής ομάδας είναι τα «ερπετά», αφού δεν περιλαμβάνει τα πτηνά που μοιράζονται πιο πρόσφατο κοινό πρόγονο με διάφορες ομάδες ερπετών απ' ό,τι αυτές με άλλα ερπετά. Στη σύγχρονη συστηματική, γίνεται προσπάθεια όλα τα τάξα να αφορούν μονοφυλετικές ομάδες.

Δραστηριότητα 6.7.4.1: Φυλογενετικά δέντρα

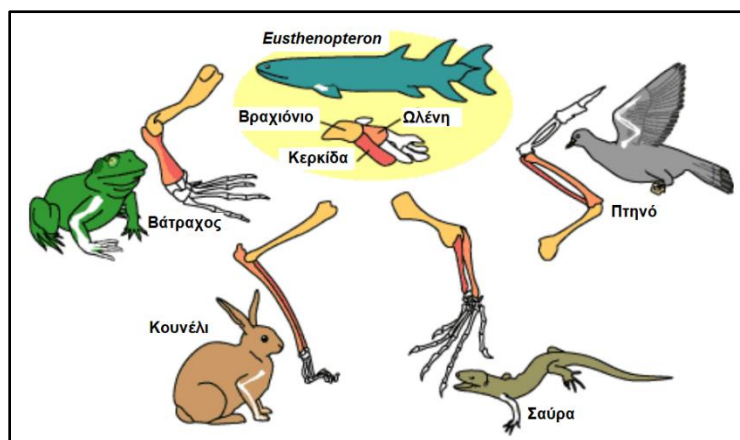
Με βάση το πιο κάτω σχεδιάγραμμα, που παρουσιάζει η Εικόνα 31, να χαρακτηρίσετε τις ομάδες I, II και III χρησιμοποιώντας τους όρους μονοφυλετική, πολυφυλετική και παραφυλετική, δίνοντας μία σύντομη εξήγηση.



Εικόνα 31: Μονοφυλετικές, παραφυλετικές και πολυφυλετικές ομάδες οργανισμών

6.7.5. Ποια δεδομένα χρησιμοποιούμε για να κτίσουμε ένα φυλογενετικό δέντρο;

Νοούμενου ότι σε ένα φυλογενετικό δέντρο παρουσιάζονται οι εξελικτικές σχέσεις των οργανισμών θα πρέπει αναγκαστικά να λάβουμε υπόψη μόνο εκείνα τα χαρακτηριστικά τα οποία σχετίζονται με την κοινή τους καταγωγή. Με αυτό το σκεπτικό, σημαντικές είναι μόνο οι ομοιότητες που έχουν κληρονομηθεί από τον κοινό πρόγονο και ονομάζονται ομολογίες.



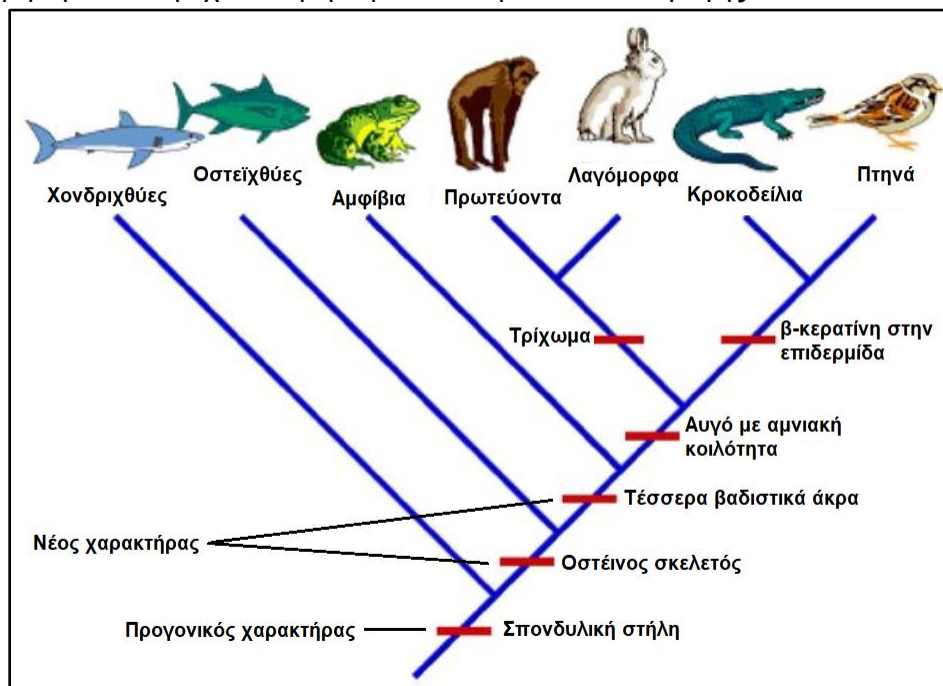
Εικόνα 32: Οι βατράχοι, τα πουλιά, τα κουνέλια και οι σαύρες έχουν με διαφορετικό τρόπο διαμορφωμένα τα εμπρόσθια άκρα, φαινόμενο που αντανακλά τον διαφορετικό τρόπο ζωής τους. Όμως, τα διαφορετικά αυτά εμπρόσθια άκρα, μοιράζονται το ίδιο σύνολο ομόλογων οστών - το βραχιόνιο, την κερκίδα και την ωλένη. Αυτά τα ίδια οστά μπορούν να παρατηρηθούν και στα απολιθώματα του εξαφανισμένου ψαριού *Eusthenopteron*. Τέτοιες ομολογίες συνηγορούν για την κοινή καταγωγή όλων αυτών των ζώων.



Εικόνα 33: Σαύρα του γένους *Lerista*. Διακρίνονται τα άκρα τα οποία έχουν πολύ μικρό μέγεθος και δεν είναι λειτουργικά για τη βάδιση. Ανάμεσα στα είδη του γένους *Lerista* συναντάμε από πλήρως ανεπτυγμένα και λειτουργικά άκρα μέχρι και την πλήρη απουσία άκρων. Το εξελικτικό φαινόμενο της υποβάθμισης των άκρων έχει εμφανιστεί πολλές φορές ανεξάρτητα στην ομάδα των σαυρών αλλά και στον πρόγονο των φιδιών. Πρόκειται για περίπτωση συγκλίνουσας εξέλιξης.

Η εμφάνιση νέου χαρακτήρα στους κλάδους κατά τη φυλογένεση, όπως π.χ. η εμφάνιση νέων χαρακτήρων ανάμεσα στα σπονδυλωτά, μπορεί να σημειωθεί σε ένα φυλογενετικό δέντρο (ή κλαδόγραμμα) όπως φαίνεται στην Εικόνα 34.

Σε ένα φυλογενετικό δέντρο μπορούμε μέσα από αντιστοίχιση του μήκους των κλάδων με τον χρόνο να αποτυπώσουμε τον χρόνο απόκλισης από τον κοινό πρόγονο. Σε αντίθετη περίπτωση, η πληροφόρηση που παρέχεται αφορά μόνο το πρότυπο καταγωγής των ειδών.



Εικόνα 34: Εμφάνιση νέων χαρακτήρων στα σπονδυλωτά κατά τη φυλογένεση

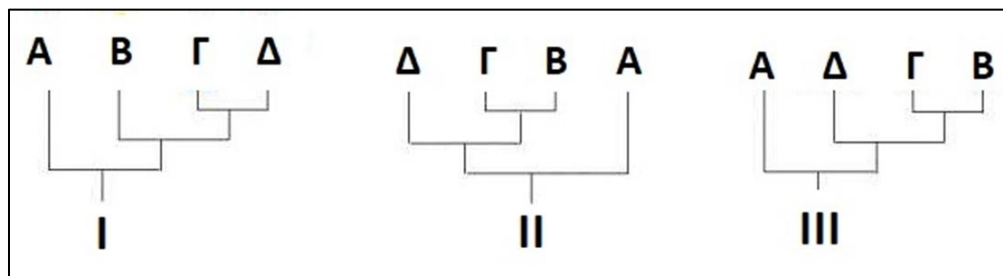
Δραστηριότητα 6.7.5.1: Περιπτώσεις ομολογίας και αναλογίας στους οργανισμούς

Να εξηγήσετε γιατί κάθε μια από τις παρακάτω δηλώσεις, σύμφωνα με τη σύγχρονη θεωρία της εξέλιξης, είναι ορθή ή λανθασμένη:

- Το χέρι του ανθρώπου και το εμπρόσθιο πτερύγιο του δελφινιού αποτελούν περίπτωση ομολογίας.
- Οι πτέρυγες της πεταλούδας και οι πτέρυγες του αετού αποτελούν περίπτωση αναλογίας.
- Τα αγκάθια ενός σκαντζόχοιρου και τα αγκάθια μιας τριανταφυλλιάς αποτελούν περίπτωση ομολογίας.

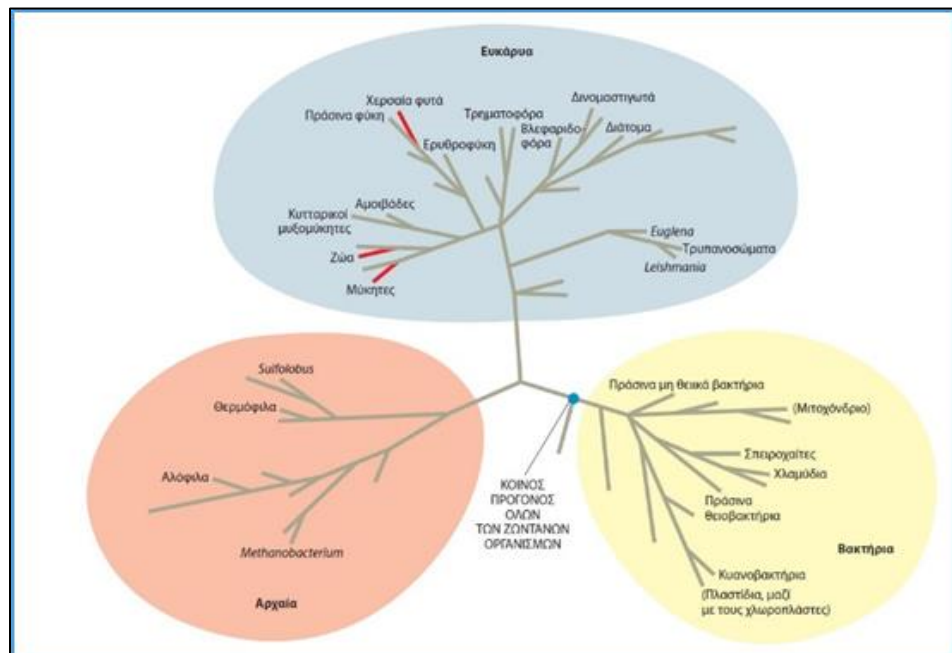
Δραστηριότητα 6.7.5.2: Φυλογενετικά δέντρα

Ποιο από τα τρία πιο κάτω φυλογενετικά δέντρα παρουσιάζει διαφορετικά τις φυλογενετικές σχέσεις;



6.7.6. Το φυλογενετικό δέντρο όλων των ζωντανών οργανισμών

Στις τελευταίες δεκαετίες, οι ειδικοί επιστήμονες έχουν στη διάθεσή τους μεγάλο όγκο από νέα στοιχεία λόγω της ανάπτυξης της μοριακής συστηματικής. Η μορφή πολλών φυλογενετικών δέντρων έχει αλλάξει αρκετά σε σχέση με εκείνα που γνωρίζαμε τις προηγούμενες δεκαετίες.

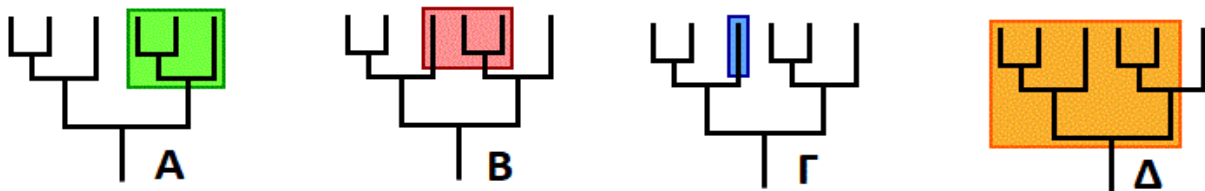


Εικόνα 35: Φυλογενετικό δέντρο όπου παρουσιάζονται οι τρεις «επικράτειες». Η κατασκευή του δέντρου στηρίχθηκε κυρίως σε δεδομένα από ανάλυση αλληλουχιών γονιδίων rRNA. Το μήκος των κλάδων αντιστοιχεί με τη γενετική διαφοροποίηση στον κάθε κλάδο. Οι κλάδοι με κόκκινο χρώμα αντιπροσωπεύουν τους κλάδους όπου έχει εμφανιστεί πολυκυτταρικότητα (φυτά, μύκητες και ζώα).

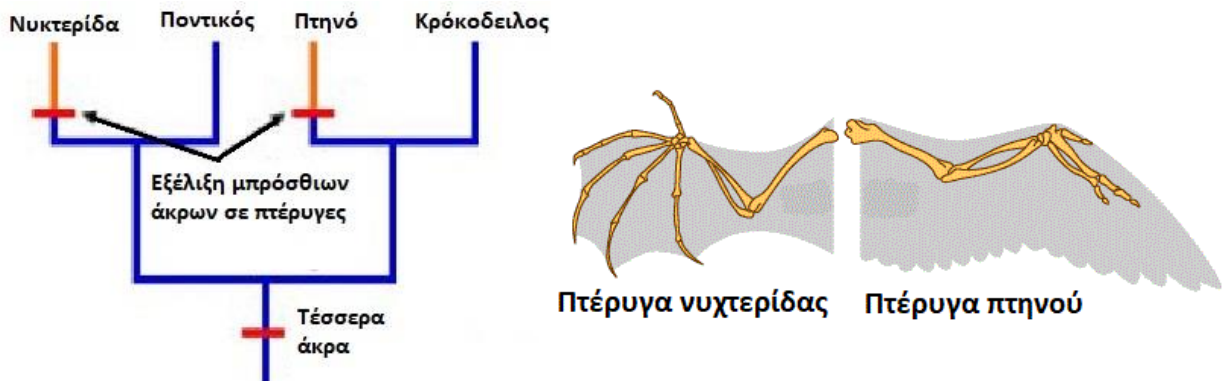
Με τη συσσώρευση πληθώρας νέων μοριακών δεδομένων έχουν αποκαλυφθεί πολύ σημαντικές διαφορές ανάμεσα στους προκαρυωτικούς οργανισμούς, συγκρίσιμες με ή και μεγαλύτερες από εκείνες μεταξύ ευκαρυωτικών και προκαρυωτικών, γεγονός που οδήγησε στην εφαρμογή ενός νέου συστήματος με τρεις «επικράτειες»: Δύο (2) επικράτειες προκαρυωτικών οργανισμών, τα Αρχαία και τα Βακτήρια, και μία (1) ευκαρυωτικών οργανισμών, τα Ευκάρια. Τα Ευκάρια χωρίζονται συνήθως σε Πρώιστα, Φυτά, Μύκητες και Ζώα, αν και πρόσφατα έχουν προταθεί και διαφορετικές κατηγοριοποιήσεις.

Ερωτήσεις - Προβλήματα Κατανόησης και Μελέτης

1. Στην περίπτωση που θα θέλαμε να διακρίνουμε τον κλάδο των νυχτερίδων από τον ευρύτερο κλάδο των θηλαστικών, ποιο ταξινομικό κριτήριο θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε;
2. Σε ποια από τα παρακάτω φυλογενετικά δέντρα τα τετράγωνα περικλείουν έναν μονοφυλετικό κλάδο; Να δώσετε τις κατάλληλες εξηγήσεις.



3. Τα πτηνά και οι νυχτερίδες διαθέτουν πτέρυγες και την ικανότητα για ενεργητική πτήση. Εάν μελετήσουμε όμως τις φυλογενετικές τους σχέσεις τότε κατανοούμε πως ανάμεσα στα σπονδυλωτά δεν είναι οι πιο συγγενικοί οργανισμοί μεταξύ τους. Στο πιο κάτω φυλογενετικό δέντρο παρουσιάζονται τα σημεία στα οποία εξελίχθηκαν τα τέσσερα άκρα και η ικανότητα πτήσης με τροποποίηση των εμπρόσθιων άκρων.



- (α) Να εξηγήσετε γιατί τα εμπρόσθια άκρα, πτέρυγες ικανές για πτήση, στα πτηνά, στα θηλαστικά (νυκτερίδες) και στα ερπετά (πτερόσαυροι) χαρακτηρίζονται ως ανάλογα όργανα.
- (β) Να αναφέρετε τους μηχανισμούς εξέλιξης μέσα από τους οποίους προέκυψαν τα μάτια τύπου κάμερας στα ασπόνδυλα (π.χ. χταπόδι) και στα σπονδυλωτά (π.χ. άνθρωπος).

Υποενότητα 6.8: Η Εξέλιξη του ανθρώπου

Εάν έχετε επισκεφθεί, απόγευμα καλοκαιριού, το αρχαίο θέατρο του Κουρίου στην περιοχή του Ακρωτηρίου για να δείτε τον ήλιο να χάνεται στο βάθος του ορίζοντα κατά τη δύση του, ίσως σας έρχονταν αυθόρμητα στο μυαλό σκέψεις που έχετε από μικρά παιδιά. *Από πού ήλθαν οι πρώτοι άνθρωποι στο νησί και ποιοι ήταν; Έμοιαζαν με εμάς; Ποιοι ήταν οι πρώτοι άνθρωποι στη Γη και πώς εμφανίστηκαν;* Σήμερα, οι απορίες αυτές έχουν απαντήσεις και μάλιστα πολύ ξεκάθαρες. Απαντήσεις που δίνονται από την επιστήμη της Εξέλιξης. Η εξέλιξη του ανθρώπου, ειδικότερα, μας ταξιδεύει πίσω στον χρόνο, τουλάχιστον δύο εκατομμύρια χρόνια πριν, όταν για πρώτη φορά άφηναν τα χνάρια τους στον πλανήτη οι πρώτοι «άνθρωποι». Η αναζήτηση αυτών των απαντήσεων είναι το αντικείμενο της υποενότητας που ακολουθεί.

6.8.1.Εισαγωγή: Στα Ίχνη του Ανθρώπου

Την περίοδο κατά την οποία οι δεινόσαυροι ήταν υπό εξαφάνιση, γύρω στα 65 εκατομμύρια χρόνια πριν, υπολογίζεται ότι από κάποια πρωτόγονα **Πρωτεύοντα** ξεκίνησε η εξελικτική γραμμή που οδήγησε σταδιακά στην εμφάνιση των **Ανθρωποειδών Πιθήκων** (20 εκ. χρόνια πριν). Στη συνέχεια, σύμφωνα με την επικρατούσα σήμερα κλαδιστική φυλογενετική ανάλυση, εμφανίστηκαν οι **Ανθρωπίδες** (ή **Μεγάλοι Πίθηκοι**) από την ομάδα των οποίων προέκυψε τελικά σαν τελευταίο παρακλάδι, 3-2 εκ. χρόνια πριν, το γένος *Homo* και τελικά ο σύγχρονος άνθρωπος (*Homo sapiens*).

Στα Πρωτεύοντα συγκαταλέγονται οι Προσίμιοι (Λεμούριοι και Τάρσιοι), οι «μαϊμούδες» (Νέου και Παλαιού Κόσμου – πίθηκοι με ουρά) και οι Ανθρωποειδείς Πίθηκοι (πίθηκοι χωρίς ουρά) που περιλαμβάνουν τους **Υλοβατίδες** και τους **Ανθρωπίδες** (Μεγάλοι Πίθηκοι). Στους Ανθρωπίδες (Hominiidae) ανήκουν οι άνθρωποι (*Homo*), οι μεγάλοι αφρικανικοί πίθηκοι (*Gorilla* – Γορίλας και *Pan* – Χιμπατζής και μπονόμπο), ο ασιατικός ουρακοτάγκος (*Pongo*) καθώς και οι εξαφανισμένοι πρόγονοι όλων αυτών (Εικόνες 36 – 38).

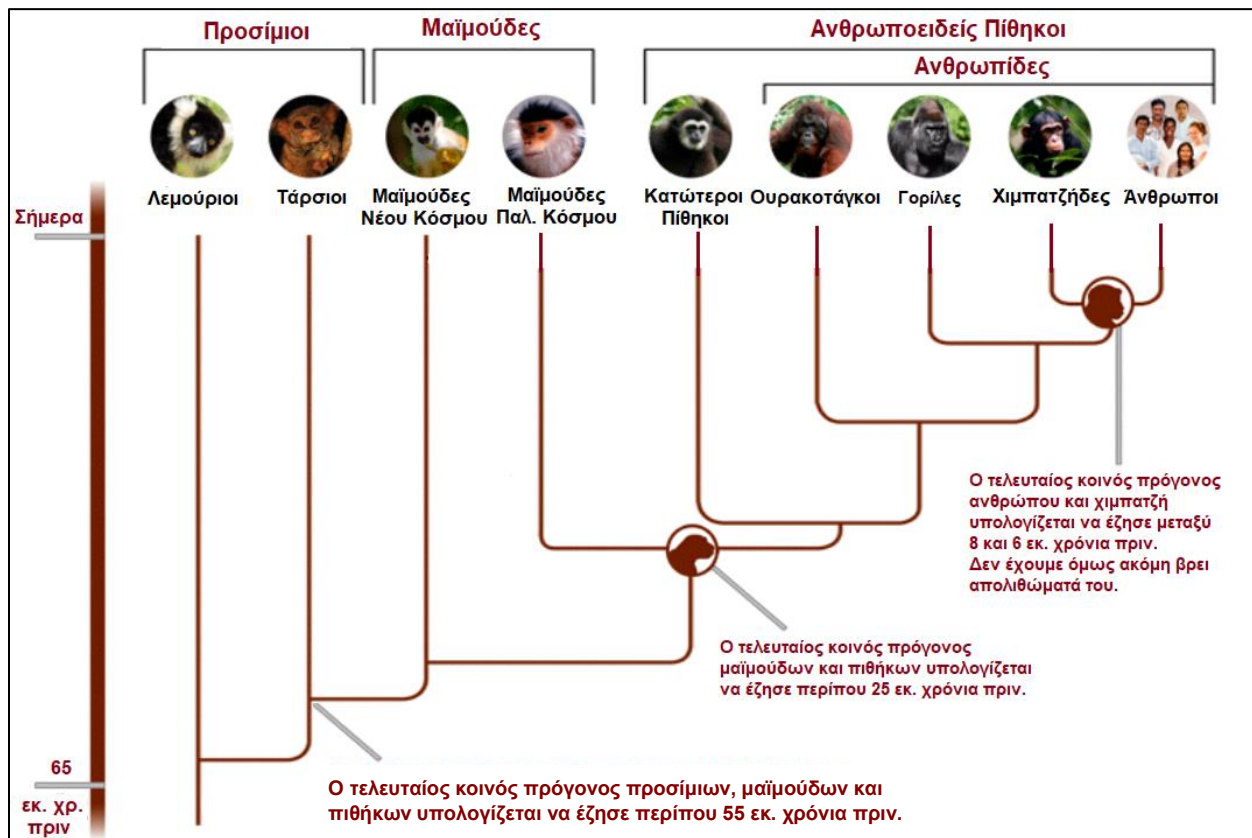
Οι ενότητες που ακολουθούν θα μας βοηθήσουν να γνωρίσουμε και να κατανοήσουμε τις πιθανές βιολογικές ρίζες της ανθρωπότητας και την πολιτισμική εξέλιξή της.

6.8.2: Τα Πρωτεύοντα

Τα **Πρωτεύοντα** (Εικόνα 36) είναι μία ποικιλόμορφη τάξη δεινόζωων, κυρίως, και κοινωνικών ζώων, διαφόρων μεγεθών, με ιδιαίτερες προσαρμογές. Διατηρούν τέσσερα άκρα με πέντε δάκτυλα στο κάθε άκρο, τα πρόσθια και τα οπίσθια άκρα τους έχουν διαφορετική λειτουργία και μετακινούνται κυρίως με τετράποδη βάδιση. Τα περισσότερα φέρουν ανεπτυγμένη ουρά. Στις προσαρμογές τους (Πίνακας 3) συγκαταλέγονται ο μεγάλος εγκέφαλος σε σχέση με το μέγεθός τους, η έγχρωμη και στερεοσκοπική όραση, τα διαφοροποιημένα δόντια, τα πολύ λειτουργικά άνω άκρα, η όρθια στάση ή/και η δίποδη βάδιση, η χρήση εργαλείων, η μακρά γονική φροντίδα, η φωνητική επικοινωνία και η κοινωνική οργάνωση. Με εξαίρεση τους ανθρώπους, οι οποίοι κατοικούν σε όλες τις ηπείρους της Γης, τα περισσότερα σύγχρονα πρωτεύοντα ζουν σε τροπικές ή υποτροπικές περιοχές της Αφρικής, της Ασίας και της Αμερικής.

Πίνακας 3: Κοινά Γνωρίσματα Σύγχρονων Πρωτευόντων

A/A	Κοινά Γνωρίσματα Σύγχρονων Πρωτευόντων
1	Συλληπτήρια άνω άκρα, με αντιπακτούς αντίχειρες
2	Κλείδα και ωμοπλάτη κατάλληλες για μεγαλύτερη κινητικότητα των πρόσθιων άκρων
3	Παρουσία πλατιών νυχιών (και όχι γαμψώνυχων) σε κάποια, τουλάχιστον, δάκτυλα
4	Συλληπτήριο κάτω άκρο με αποκλίνον το μεγάλο δάχτυλο (όχι στον άνθρωπο)
5	Όρθια στάση
6	Οφθαλμοί τοποθετημένοι μπροστά και κοντά ο ένας στον άλλον για στερεοσκοπική όραση
7	Αυξημένο μέγεθος εγκεφάλου (σε σχέση με το σώμα)
8	Παρατεταμένη κύηση και μακροζωία



Εικόνα 36: Φυλογένεση Πρωτευόντων. Ο άνθρωπος ανήκει στην υπεροικογένεια των Ανθρωποειδών (Hominoidea), που περιλαμβάνει δύο οικογένειες, τους Υλοβατίδες και τους Ανθρωπίδες (Hominidae).

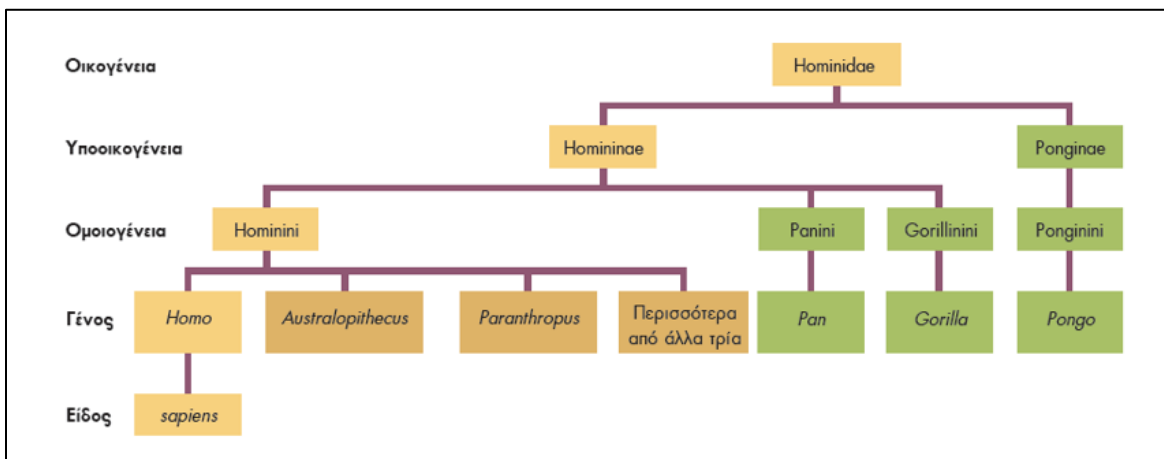
6.8.3: Ο κοινός πρόγονος χιμπατζή-ανθρώπου

Ο αρχαιότερος πρόγονος των πιθήκων υπολογίζεται ότι έζησε στην ανατολική Κίνα 55 εκ. χρ. πριν. Οι πρώτοι πίθηκοι υπολογίζεται ότι είχαν ήδη εξελιχθεί στην Αφρική 33 εκατομμύρια χρόνια πριν, από πρωτεύοντα που είχαν μεταναστεύσει από την Ασία στο μακρινό παρελθόν. Από τη διαφοροποίηση εκείνων των πιθήκων εμφανίστηκαν 20 εκ. χρ. πριν οι Ανθρωποειδείς Πίθηκοι (πίθηκοι χωρίς ουρά), οι οποίοι, με τη σειρά τους, εξαπλώθηκαν ακτινωτά και προς την Ευρασία.

Προς τα τέλη του Μειοκαίνου, γύρω στα 5,3 εκ. χρ. πριν, το παγκόσμιο κλίμα έγινε ψυχρότερο και ξηρότερο και τα αχανή, πυκνά δάση της κεντρικής και ανατολικής Αφρικής αντικαταστάθηκαν βαθμιαία από μία μορφή μωσαϊκής βλάστησης, με θαμνώνες και αραιά δάση να εναλλάσσονται με εκτάσεις ξηρής σαβάνας. Μέσα σε αυτό το μεταβαλλόμενο περιβάλλον υπολογίζεται ότι επιβίωσε τελικά, στην Αφρική, μία ομάδα Ανθρωποειδών Πιθήκων από την οποία προήλθαν οι Ανθρωπίδες, μέσα από συνεχή γεγονότα ειδογένεσης και εξαφάνισης. Μέσα σε αυτή την πορεία ειδογένεσης θεωρείται, βάσει βιοχημικών και γενετικών ενδείξεων, ότι έκανε την εμφάνισή του ένα είδος πιθήκου, ο Τελευταίος Κοινός Πρόγονος Χιμπατζή και Ανθρώπου (ΤΚΠΧΑ), ο οποίος στη συνέχεια έδωσε γένεση στις γενεαλογικές γραμμές που οδήγησαν στα γένη *Homo* (άνθρωποι) και *Pan* (χιμπατζήδες). Ο χρόνος διαχωρισμού του ανθρώπινου κλάδου από εκείνων των χιμπατζήδων υπολογίζεται κάπου μεταξύ 8 και 6 εκ. χρόνια πριν.



Εικόνα 37: Οι σύγχρονοι Ανθρωπίδες (ή Μεγάλοι Πίθηκοι), κατά σειρά, Άνθρωπος (*Homo sapiens*), τα δύο είδη Γορίλα (*Gorilla* - ανατολικός και δυτικός), Ουρακοτάγκος (*Pongo*), τα δύο είδη Χιμπατζή (*Pan*) (Μπονόμπο ή πυγμαίος χιμπατζής και κοινός χιμπατζής). Εκτός του ουρακοτάγκου που ζει μόνο στη νοτιοανατολική Ασία, οι υπόλοιποι Ανθρωπίδες (Γορίλες και Χιμπατζήδες) εντοπίζονται στην τροπική και υποτροπική Αφρική. Ο άνθρωπος ζει σε όλα τα περιβάλλοντα του πλανήτη.



Εικόνα 38: Η φυλογένεση των Ανθρωπιδών (Hominidae) και η θέση του *Homo sapiens*. Στην ομοιογένεια Hominini που περιλαμβάνει είδη με περιστασιακή ή σταθερή δίποδη βάδιση, ταξινομούνται σήμερα περισσότερα από 12 είδη, όλα εξαφανισμένα εκτός του *Homo sapiens*.

Στις επόμενες ενότητες θα αναζητήσουμε τις πιο αντιπροσωπευτικές μορφές στην εξέλιξη του ανθρώπου τα τελευταία 7 εκατομμύρια χρόνια. Τα γένη και τα είδη που θα αναφερθούν ταξινομούνται στην ομάδα Ανθρωπίνοι (Hominini) (Εικόνα 38), η οποία περιλαμβάνει αποκλειστικά τον άνθρωπο (*Homo*) και εξαφανισμένα είδη με περιστασιακή ή σταθερή δίποδη βάδιση. Οι Ανθρωπίνοι είναι κλάδος της οικογένειας των Ανθρωπιδών (Hominidae).

6.8.4: Αρδιπίθηκοι και Αυστραλοπίθηκοι (5 - 2 εκ. χρόνια πριν)

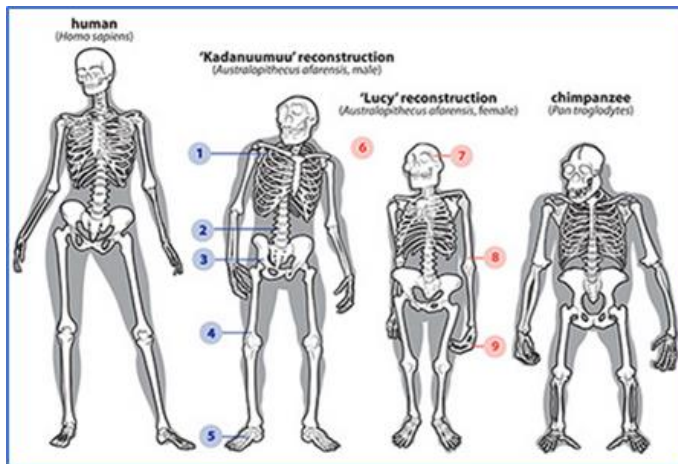
Το πρώτο τρίτο της εξελικτικής ιστορίας μας που ξεκινά κάπου μεταξύ 10 – 5 εκ. χρόνια πριν είναι ελάχιστα γνωστό. Οι παλαιοντολόγοι έχουν βρει μια χούφτα απολιθωμάτων, στην κεντρική και ανατολική Αφρική, που θα μπορούσαν να αντιπροσωπεύουν τα πρώτα μέλη του κλάδου των Ανθρωπίνων σηματοδοτώντας τις απαρχές της εξελικτικής γραμμής του ανθρώπου. Με ονόματα όπως *Sahelanthropus* (7,2 - 5,2 εκ. χρ. πριν) και *Ardipithecus* (4,7 - 4,3 εκ. χρ. πριν), αυτά τα απολιθώματα δείχνουν κάποια σημάδια μιας πιο όρθιας στάσης απ' ό, τι άλλοι πίθηκοι. Έχουν επίσης μικρότερους κυνόδοντες από άλλους πιθήκους.

Ένας μερικός σκελετός του είδους *Ardipithecus ramidus* (Εικόνα 34) ακακοινώθηκε το 2009. Τα άτομα του είδους είχαν μέγεθος χιμπατζή και ζούσαν σε δασώδες περιβάλλον στην Ανατολική Αφρική. Η λεκάνη, ανακατασκευασμένη από ένα θρυμματισμένο απολιθωμένο δείγμα, δείχνει προσαρμογές που συνδυάζουν αναρρίχηση σε δένδρα και πιθανή δίποδη δραστηριότητα.



Εικόνα 39: Σχηματική αναπαράσταση του σκελετού της Ardi (*Ardipithecus ramidus*), με ανάστημα 120 cm και προσαρμογές για ζωή στα δέντρα και στο έδαφος.

Σχεδόν παράλληλα με τους τελευταίους Αρδιπιθήκους εμφανίστηκαν και οι Αυστραλοπίθηκοι, που έζησαν 3,9 - 3 εκ. χρ. πριν και είχαν, όπως και οι Αρδιπίθηκοι, τόσο ικανότητα αναρρίχησης σε δένδρα όσο και ικανότητα όρθιας στάσης και δίποδης βάδισης. Οι πιο γνωστοί είναι ο *Australopithecus afarensis* και ο *Australopithecus sediba* από την ανατολική και τη νότια Αφρική, αντίστοιχα, με ηλικίες μεταξύ 3 και 2 εκ. χρόνια πριν.

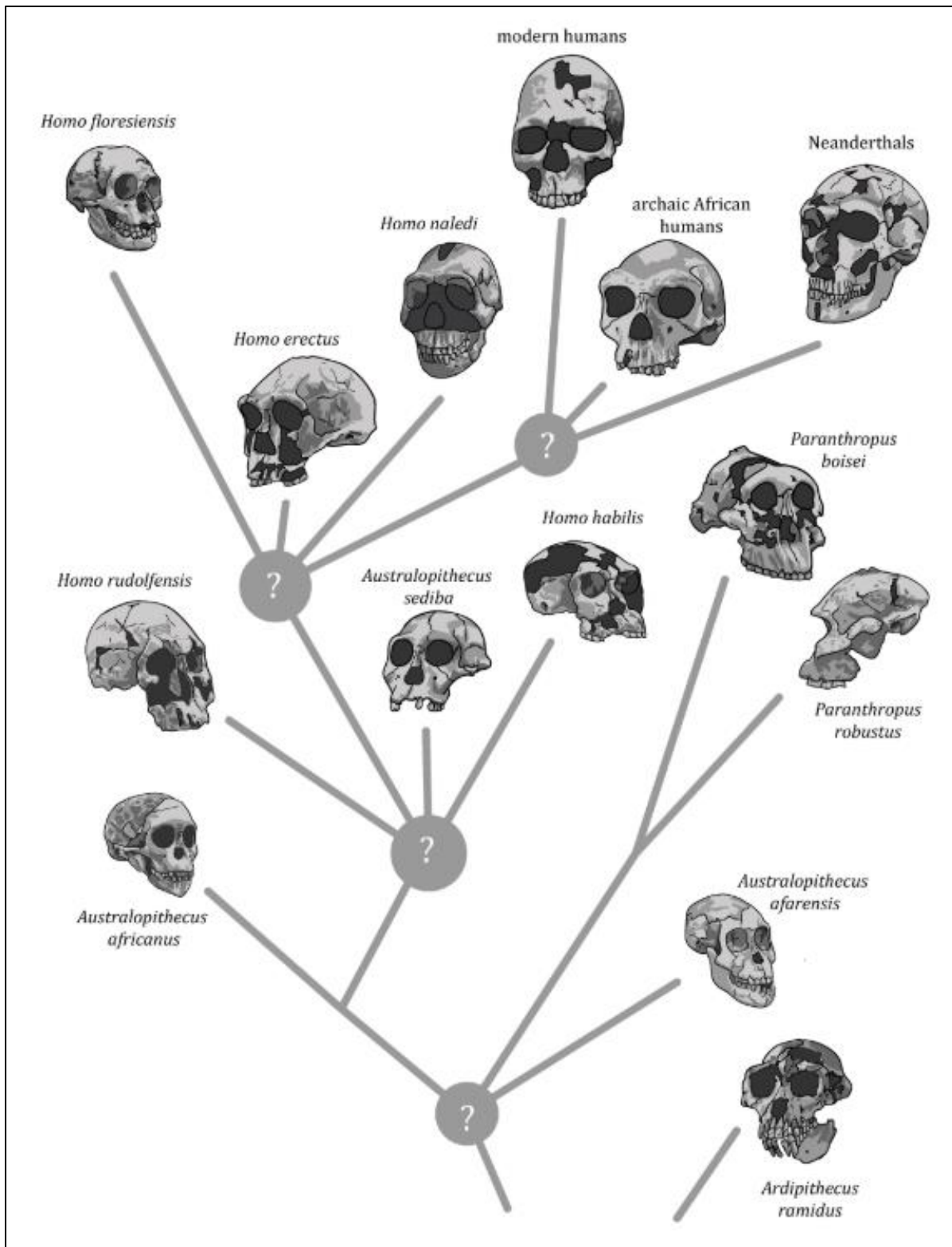


Εικόνα 40: Συγκριτική ανατομία (όχι υπό κλίμακα) ανθρώπου, αυστραλοπίθηκου (αρσενικού και θηλυκού) και χιμπατζή.

συνυπήρξε και μία ομάδα πιο εύρωστων Ανθρωπίνων, του γένους *Paranthropus*, χωρίς όμως εξελικτική συνέχεια.

Δραστηριότητα 6.8.4.1:

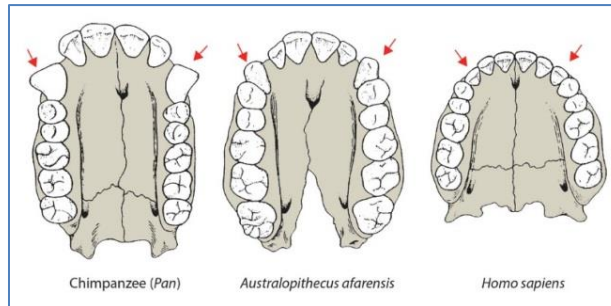
Στην Εικόνα 40 φαίνονται πέντε πρόσφατες προσαρμογές (1-5) και τέσσερα προγονικά χαρακτηριστικά (6-9) των αυστραλοπιθήκων σε σχέση με τον ΤΚΠΧΑ με τον χιμπατζή: 1. Θώρακας, 2. Βάση σπονδυλικής στήλης, 3. Λεκάνη, 4. Οστά κάτω άκρων, 5. Κύρτωση πέλματος, 6. Φυλετικός διμορφισμός, 7. Κρανίο, 8. Άνω άκρα, 9. Δάχτυλα χεριού και ποδιού. Σε συνεργασία με τον καθηγητή σας και αφού μελετήσετε το μοντέλο του ανθρώπινου σκελετού του εργαστηρίου σας, να εντοπίσετε και να περιγράψετε τις αντίστοιχες προσαρμογές στον άνθρωπο. Μαζί με τους αυστραλοπιθήκους,



Εικόνα 41: Είναι φανερό ότι η εξέλιξη προς τον άνθρωπο δεν ήταν μία απλή, γραμμική αλληλουχία ειδών, όπως εσφαλμένα απεικονίζεται συνήθως, αλλά ένα διακλαδισμένο δέντρο, όπου κάθε κλάδος αποτελεί ξεχωριστή εξελικτική γραμμή.

Δραστηριότητα 6.8.4.2:

Πολλές φορές στη Φυσική Ανθρωπολογία η αναγνώριση ενός είδους γίνεται μόνο από μία γνάθο ή/και τα δόντια. Στην Εικόνα 42 φαίνεται η μορφολογία της άνω γνάθου, με δόντια, σε τρία διαφορετικά είδη Ανθρωπιδών. Τα βέλη δείχνουν τους κυνόδοντες. Να εντοπίσετε και να καταγράψετε τέσσερις διαφορές μεταξύ των ειδών. Ποια συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν από τη μορφολογία των δοντιών για την διατροφή και τον τρόπο ζωής;



Εικόνα 42: Άνω γνάθοι χιμπατζή, αυστραλοπίθηκου και ανθρώπου.

6.8.5: Αρχαίοι Άνθρωποι (2 - 0,4 εκ. πρην)

Συμβατικά, στο γένος *Homo* ανήκει κάθε όρθιος Ανθρωπίδης που κατασκευάζει λίθινα εργαλεία, γεγονός που φανερώνει και τις απαρχές του ανθρώπινου πολιτισμού. Όλα τα είδη *Homo* μετά τον *Homo erectus* και πριν από τον *Homo sapiens* αναφέρονται συχνά ως Αρχαίοι Άνθρωποι (γνωστοί κοινώς και ως «άνθρωποι των σπηλαίων»), με τα δείγματα που ξεκάθαρα ανήκουν στο *Homo sapiens* να αναφέρονται ως Ανατομικά Σύγχρονοι Άνθρωποι (Modern Humans).

Η ανάδυση του γένους *Homo* στην Αφρική συμπίπτει με την έναρξη των Παγετώνων του Πλειστόκαινου, γύρω στα 2,6 εκ. χρόνια πριν, και σηματοδοτεί την έναρξη της Παλαιολιθικής Εποχής. Παραδοσιακά, πρώτο μέλος του γένους θεωρείται το είδος *Homo habilis* (Άνθρωπος ο επιδέξιος). Εμφανίστηκε 2,4 – 1,4 εκ. χρόνια πριν, με κύρια γνωρίσματα ένα ύψος 100-135 cm και κρανίο μέσης χωρικότητας 550 κυβικών εκατοστών, δυσανάλογα μακριά χέρια και μέτρια προγναθικό πρόσωπο. Όπως και το γένος *Paranthropus* έτσι και ο *Homo habilis*, θεωρείται σήμερα τυφλός κλάδος, χωρίς εξελικτική συνέχεια, που συνυπήρχε κάποτε στη βόρεια Κένυα, μεταξύ 2,0 και 1,5 εκατομμύρια χρόνια πριν, μαζί με τα γένη *Australopithecus* και *Paranthropus* καθώς και με το είδος *Homo rudolfensis*. Ακόμη ο *Homo habilis* πιθανόν να συνυπήρχε στην Αφρική ακόμη και με τον *Homo erectus* για μια περίοδο 500.000 χρόνων.

Τα πλέον πρώιμα αφρικανικά απολιθώματα που διέθεταν σύγχρονες ανθρώπινες αναλογίες σώματος με σχετικά επιμήκη πόδια και βραχύτερους βραχίονες, σε σύγκριση με το μέγεθος του κορμού, ανήκουν στο είδος *Homo erectus* (2.1 εκ. – 143.000 χρόνια πριν). Ο *H. erectus* (Άνθρωπος ο όρθιος) υπήρξε το μακροβιότερο είδος *Homo*, καθώς έζησε περισσότερο από 1,5 εκατομμύρια χρόνια, με μικρές αλλαγές στην ανατομία και τον υλικό πολιτισμό του. Είχε ύψος, βάρος, μέγεθος δοντιών και κρανιακή χωρικότητα παρόμοια με αυτά των σύγχρονων ανθρώπων (Πίνακας 4). Οι αναλογίες των άκρων του ήταν, επίσης, ανθρώπινες, αλλά το μέγεθος του εγκεφάλου του, περίπου 850 – 1250 κυβικά εκατοστά, ήταν σχετικά μικρότερο.

Ο *H. erectus* ανέπτυξε λιθοτεχνία χειροπελέκεων και έλεγξε τη φωτιά 800 χιλιάδες χρόνια πριν. Παράλληλα, ήταν το πρώτο είδος *Homo* που ταξίδεψε έξω από την Αφρική προς την Ασία (και πιθανά και προς την Ευρώπη).

Στην αρχή της χρονικής κλίμακας εμφάνισής του, γύρω στο 1,9 εκ. χρόνια πριν, ο *H. erectus* συνυπήρχε στην Ανατολική Αφρική με αρκετά άλλα πρώιμα είδη όπως ο *Homo rudolfensis*, ο *Homo habilis* και ο *Paranthropus boisei*. Μερικές φορές βρίσκονταν ακόμη και στα ίδια απολιθωματοφόρα στρώματα. Στο τέλος της χρονικής του κλίμακας, περίπου 143.000 χρόνια πριν, συνυπήρχε με τον *Homo sapiens*, τον *Homo heidelbergensis* και ενδεχομένως και τον *Homo floresiensis* στην Ινδονησία.

Ορισμένοι επιστήμονες διακρίνουν τα απολιθώματα της αφρικανικής (*Homo ergaster*) και της ασιατικής (*Homo erectus*) αυτής της ταξινομικής κατηγορίας, ενώ άλλοι τους τοποθετούν μαζί ως *Homo erectus* συνολικά. Και στις δύο περιπτώσεις, υπάρχει γενική συμφωνία ότι προέρχεται από παλαιότερο είδος *Homo* και αντιπροσωπεύει μία από τις ευρύτερες διασπορές των πρώιμων ανθρώπων στην εξελικτική μας ιστορία.

Μεταγενέστεροι *Homo* από την Αφρική και την Ευρώπη είναι λιγότερο εύρωστοι, αλλά με μεγαλύτερους εγκεφάλους από του *H. erectus*, μεγέθους περίπου 1.250 κυβικών εκατοστών, και ονομάζονται *Homo heidelbergensis* (Ανθρωπος της Χαϊδελβέργης). Πρόκειται για ένα ποικιλόμορφο είδος με ευρεία γεωγραφική διασπορά και με καταγωγή, που αποτελεί αντικείμενο συζήτησης, τουλάχιστον 800.000 χρ. πριν. Στο είδος αυτό ανήκει και το κρανίο του Ανθρώπου των Πετραλώνων στην Ελλάδα, ηλικίας 250 χιλιάδων χρόνων (Εικόνα 43). Ο *H. heidelbergensis* ίσως ήταν το πρώτο είδος *Homo* που διέθετε κάποια μορφή ομιλίας και έθαβε τους νεκρούς του.



Εικόνα 43: Το κρανίο του Ανθρώπου των Πετραλώνων (*Homo heidelbergensis*)

Γενετικές αναλύσεις πυρηνικού DNA το 2016 από *Homo heidelbergensis* που βρέθηκαν στην Ισπανία, ηλικίας 430.000 περίπου χρόνων, έδειξαν ότι ο *Homo heidelbergensis* θα πρέπει να θεωρηθεί ως «πρώιμος Νεάντερταλ» γεγονός που σπρώχνει τον διαχωρισμό Νεάντερταλ και σύγχρονου ανθρώπου γύρω στα 600 με 800 χιλιάδες χρόνια πριν. Η οριοθέτηση μεταξύ των πρώιμων *H. heidelbergensis* και *H. erectus* παραμένει επίσης ασαφής.

Πίνακας 4: Κρανιακές χωριτικότητες σύγχρονων και εξαφανισθέντων Ανθρωπίνων.

A/A	Τάξον	Κρανιακή Χωριτικότητα
1.	Γορίλας (<i>Gorilla gorilla</i>)	340 – 752 cm ³
2.	Χιμπατζής (<i>Pan troglodytes</i>)	275 – 500 cm ³
3.	Αυστραλοπίθηκος (<i>Australopithecus</i>)	370 – 515 cm ³ (M.O. 457 cm ³)
4.	Άνθρωπος ο επιδέξιος (<i>Homo habilis</i>)	M.O. 552 cm ³
5.	Άνθρωπος ο όρθιος (<i>Homo erectus</i>)	850 – 1250 cm ³ (M.O. 1016 cm ³)
6.	Νεάντερταλ (<i>Homo neanderthalensis</i>)	1100 – 1700 cm ³ (M.O. 1450 cm ³)
7.	Σύγχρονος άνθρωπος (<i>Homo sapiens</i>)	800 – 2200 cm ³ (M.O. 1345 cm ³)

Δραστηριότητα 6.8.5.1

Να βρείτε πληροφορίες από το διαδίκτυο και να γράψετε μία σύντομη εργασία για τον Αρχάνθρωπο των Πετραλώνων. Ποια είναι η θέση του στο εξελικτικό δέντρο του ανθρώπου και ποια είναι η σημασία του για την Παλαιοντολογία στην Ελλάδα;

6.8.6: Νεάντερταλ και Ντενισόβαν (400 - 40 χιλ. χρ. πριν)

Αν και σήμερα ο σύγχρονος άνθρωπος είναι το μοναδικό είδος *Homo* που υπάρχει στον πλανήτη, δεν συνέβαινε το ίδιο 150-50 χιλ. χρ. πριν, όταν μοιραζόμασταν την Ευρασία με τον *Homo erectus*, τον *Homo floresiensis* και δύο πολύ συγγενικά μας είδη, τον *Homo neanderehalensis* και τους *Denisovan*.

Ο *Homo neanderthalensis* (Άνθρωπος του Νεάντερταλ) αποτελούσε μία μορφολογικά ξεχωριστή ομάδα, που έζησε 350-40 χιλ. χρ. πριν στην Ευρώπη και τη δυτική Ασία (από την Ισπανία μέχρι το Ιράκ). Πρόκειται για εύρωστους ανθρώπους, με κοντόχοντρη σωματική διάπλαση, μεγάλα κρανία και με έντονα υπερόφρρα τόξα. Ήταν ικανότατοι κυνηγοί, όντας προσαρμοσμένοι στο ψύχος της *Εποχής των Παγετώνων* (Εικόνα 38). Για την εξαφάνιση των *Νεάντερταλ* υπάρχουν διάφορες υποθέσεις, με επικρατέστερη εκείνη της εξαφάνισης λόγω αλληλεπίδρασης με τους *Homo sapiens*. Πρόσφατες αναλύσεις αρχαίου DNA δείχνουν γενετική συμβολή 2%, κατά μέσο όρο, των *Νεάντερταλ* προς όλους τους σύγχρονους μη Αφρικανούς *Homo sapiens*.



Εικόνα 44: Αναπαράσταση της ζωής των *Νεάντερταλ* μέσα σε σπήλαιο. Χρησιμοποιούσαν τη φωτιά, για να μαγειρεύουν την τροφή τους, καλύπτονταν με δέρματα ζώων, έθαβαν τους νεκρούς τους και γενικά είχαν το δικό τους πολιτισμό με τέχνη, γλώσσα και κοινωνική ζωή.

Η σύγχρονη αναζήτηση απολιθωμάτων και η δυνατότητα απομόνωσης αρχαίου DNA από αυτά έχουν οδηγήσει στην ανακάλυψη και άλλων ειδών *Homo* που έζησαν τα τελευταία 500 χιλιάδες χρόνια σε διάφορες περιοχές του πλανήτη, όπως οι μικρόσωμοι *Homo floresiensis* που ανακαλύφθηκαν στο νησί Flores της Ινδονησίας, οι *Denisovan* που ονομάστηκαν έτσι από το σπήλαιο Denisova της Σιβηρίας όπου βρέθηκαν ελάχιστα σκελετικά κατάλοιπα μαζί με το DNA τους και οι *Homo naledi* που ανακαλύφθηκαν πολύ πρόσφατα στη νότια Αφρική.

6.8.7: Άνθρωπος ο Σοφός (300 χιλ. πριν – σήμερα)

Ο *Homo sapiens* (Άνθρωπος ο σοφός) πολύ πιθανόν να προέκυψε από πληθυσμούς του *Homo heidelbergensis* στην Αφρική, περίπου 300 χιλιάδες χρόνια πριν από σήμερα (Εικόνα 45), με αξιοσημείωτη εκλέπτυνση του σκελετού και ακόμα μεγαλύτερη αύξηση του εγκεφάλου. Τα αίτια της εξέλιξης αυτής θα πρέπει να σχετίζονται με τις μεγάλες αλλαγές του κλίματος κατά το Πλειστόκαινο (εναλλαγή παγετωδών-μεσοπαγετωδών περιόδων). Από τη στιγμή της εμφάνισής τους, οι σύγχρονοι άνθρωποι κατασκεύασαν πιο εκλεπτυσμένα λίθινα εργαλεία, εξαπλώθηκαν γρήγορα σε όλη την Αφρική και 100 χιλιάδες χρόνια πριν είχαν ήδη αντικαταστήσει όλους τους αρχαίους πληθυσμούς της ηπείρου.



Εικόνα 45: Πιστό αντίγραφο του αρχαιότερου κρανίου *Homo sapiens*, ηλικίας 315 χιλιάδων χρόνων και όγκου 1.400 κυβικών εκατοστών, που ανακαλύφθηκε το 2017 στη θέση Jebel Irhoud του Μαρόκου.

Έξω από την Αφρική όλες, σχεδόν, οι παλαιότερες βεβαιωμένες χρονολογήσεις απολιθωμάτων *Homo sapiens* είναι μικρότερες των 100 χιλιάδων χρόνων, γεγονός που δείχνει ότι, η σύγχρονη ανθρώπινη μορφολογία πολύ πιθανόν να εμφανίστηκε πρώτα στη μαύρη ήπειρο. Μέχρι σήμερα πιστευόταν ότι στην Ευρώπη οι πρώτοι σύγχρονοι άνθρωποι (σύγχρονοι τόσο στη μορφολογία, όσο και στη συμπεριφορά) ήλθαν από τη νοτιοδυτική Ασία στις αρχές της Ανώτερης Παλαιολιθικής (45-40 χιλ. χρ. πριν) και εξαπλώθηκαν σε όλες τις γωνιές της μέχρι το τέλος (23-14 χιλ. χρ. πριν) της Εποχής των Παγετώνων.

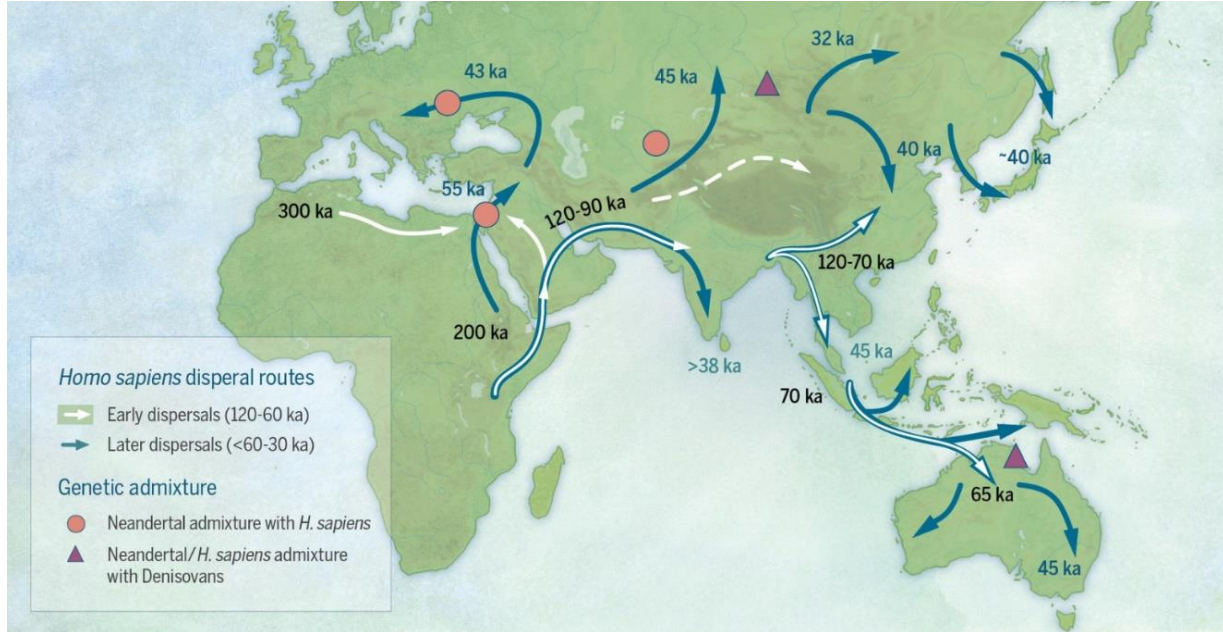
Μόλις όμως πρόσφατα, τον Ιούλιο του 2019, έλληνες και ξένοι ανθρωπολόγοι ανακοίνωσαν την χρονολόγηση ενός κρανίου *H. sapiens* και ενός κρανίου *H. neanderthalensis* που βρέθηκαν στο σπήλαιο Απήδημα της Πελοποννήσου το 1970. Σύμφωνα με την χρονολόγηση το κρανίο *H. sapiens* χρονολογείται πριν από τουλάχιστον 210.000 έτη και αντιπροσωπεύει το αρχαιότερο δείγμα από ανατομικής απόψεως σύγχρονου ανθρώπου στην Ευρασία. Αυτό σημαίνει ότι, εάν οι επιστήμονες έχουν δίκιο, το κρανίο είναι κατά τουλάχιστον 150.000 χρόνια παλαιότερο από το αρχαιότερο απολιθωμα *Homo sapiens* που έχει βρεθεί έως τώρα στην Ευρώπη. Και επίσης αποδεικνύει ότι η πρώτη διασπορά του *Homo sapiens* από την Αφρική όχι μόνο συνέβη νωρίτερα, πριν από 200.000 χρόνια, αλλά επεκτάθηκε και γεωγραφικά, σε όλη την Ευρώπη.

Γνωρίζετε ότι...

Ένα μοναδικό γνώρισμα του ανθρώπου είναι η γενική απουσία τριχοφυΐας στο σώμα. Δύο πιθανές εξηγήσεις είναι: (α) η αποφυγή της υπερθέρμανσης του σώματος και η διευκόλυνση της εφίδρωσης στα ζεστά κλίματα (ένα σώμα με τρίχες και ιδρώτα ψύχεται πολύ πιο αργά) και (β) η φυσική επιλογή ευνόησε τα άτομα χωρίς τρίχωμα, για προστασία από τα παράσιτα που διαβιούν μεταξύ των τριχών και ακολούθησε η σεξουαλική επιλογή για αισθητικούς λόγους (τα υγιή, χωρίς παράσιτα, άτομα επεδείκνυαν εμφανώς την υγεία τους). Η απουσία τριχώματος θα πρέπει να εξελίχθηκε όταν οι αρχαίοι άνθρωποι ήταν σε θέση να αντιμετωπίσουν τις συνέπειές της, δηλαδή όταν πια χρησιμοποιούσαν φωτιά, ένδυση και καταφύγια για προστασία από το ψύχος.

Δραστηριότητα 6.8.7.1

Αφού μελετήσετε το χάρτη της Εικόνας 46 και αναζητήσετε σχετικά στοιχεία από το διαδίκτυο (α) να εξηγήσετε γιατί οι σύγχρονοι άνθρωποι έφτασαν στην Ευρώπη πολύ αργότερα από την εξάπλωσή τους στην νοτιοανατολική Ασία και την Αυστραλία και (β) να εντοπίσετε ποιες περιοχές είναι πιο πιθανές για τις επιμειξές μεταξύ σύγχρονων και αρχαίων ανθρώπων και γιατί.



Εικόνα 46: Χάρτης των πιθανών οδών διασποράς του *Homo sapiens* έξω από την Αφρική τα τελευταία 130 χιλιάδες χρόνια και των πιθανών περιοχών επιμειξίας του με άλλα αρχαικά είδη. Οι αριθμοί αναφέρονται σε χιλιάδες χρόνια πριν. Η Αφρική θεωρείται το λίκνο όλων των σύγχρονων ανθρώπων.

ΕΝΘΕΤΟ Η Παλαιoανθρωπολογία της Κύπρου

Στην Κύπρο η παλαιότερη θέση *Homo sapiens*, με ασφαλή δεδομένα για την άφιξη του, είναι η παράκτια βραχοσκεπή Ακρωτήρι-Αετόκρεμνος στη Λεμεσό (Εικόνα 42), η οποία χρονολογείται στα 12 χιλιάδες χρόνια πριν από σήμερα. Βρίσκεται σε απότομη πλαγιά δίπλα στη θάλασσα και λειτουργούσε ως θηρευτική βάση. Η ανασκαφή αποκάλυψε λίθινα εργαλεία και ενδημική πανίδα πυγμαίων ιπποπόταμων, αλλά όχι ανθρώπινα απολιθώματα. Οι ομάδες των σύγχρονων *Homo sapiens* του Ακρωτηρίου ήταν κυνηγοί-τροφοσυλλέκτες και προέρχονταν από την ακτή της Συροπαλαιστίνης ή τη νότια Ανατολία, σύμφωνα με τη μελέτη των λιθοτεχνιών τους. Άλλες πρώιμες θέσεις, χρονολογικά κοντά με τον Αετόκρεμνο (με βάση τις ομοιότητες στα λίθινα εργαλεία), που φανερώνουν ανθρώπινη εξερεύνηση παράκτιων περιοχών είναι η θέση Νησί-Παραλία στην Αγία Νάπα και ο Ακάμας-Άσπρος στο δυτικό τμήμα του νησιού.



Εικόνα 47: Χάρτης πιθανών θέσεων της Κύπρου στο τέλος της Παλαιολιθικής (13-11,5 χιλ. χρ. πριν) και της επιβεβαιωμένης θέσης Ακρωτήρι-Αετόκρεμνος (αριστερά). Θέση Αετόκρεμνος (δεξιά).

Νέα αρχαιολογικά ευρήματα, κυρίως λίθινα εργαλεία και καμένα κόκκαλα ζώων, δείχνουν, επίσης, πρώιμη ανθρώπινη παρουσία και στην ορεινή ενδοχώρα του νησιού, στην περιοχή Αγίου Ιωάννη-Ρουδιά στο νοτιοδυτικό Τρόδος προς την πλευρά της Πάφου. Πρόκειται για κατάλοιπα προ-νεολιθικών ομάδων κυνηγών-τροφοσυλλεκτών των αρχών του Ολόκαινου που ανάγονται στα 12-11 χιλιάδες χρόνια πριν από σήμερα. Στην Κύπρο δεν έχουν εντοπισθεί απολιθώματα Ανθρωπιδών παλαιότερης χρονολόγησης από τις παραπάνω θέσεις. Στον ελλαδικό χώρο, οι πρώτοι *Homo sapiens* είχαν ήδη φτάσει περίπου 40 χιλιάδες χρόνια πριν, στις αρχές της Ανώτερης Παλαιολιθικής και πιθανόν πολύ παλαιότερα (βλ. σελ. 52).

6.8.8: Η Εξέλιξη Σήμερα – Ασθένειες και Τοπικές Προσαρμογές Πληθυσμών

Το μεγαλύτερο μέρος της εξέλιξης του γένους *Homo* συμπορεύτηκε με την εξέλιξη του κυνηγιού και της τροφοσυλλογής. Οι προσαρμογές που επιλέχτηκαν σε αυτό τον τρόπο ζωής ώθησαν, περισσότερο από οτιδήποτε άλλο και ανεξάρτητα από τον εγκέφαλο, το σώμα μας στη σημερινή μορφή του. Η εξέλιξή μας δεν έχει σταματήσει σήμερα αλλά συνεχίζεται με πιο περίπλοκο τρόπο, είτε ζούμε σε φυσικό είτε σε ανθρωπογενές περιβάλλον. Γενετικές μελέτες δείχνουν ότι το 8% των γονιδίων μας έχει επηρεαστεί από τη διαδικασία της εξέλιξης τα τελευταία πέντε χιλιάδες χρόνια και ότι η φυσική επιλογή δεν έχει σταματήσει να εξαλείφει γενετικές μεταλλάξεις που δεν είναι ευνοϊκές.

Ο σύγχρονος πολιτισμός φαίνεται ότι, αντί να μετριάξει τις πιέσεις της εξέλιξης, δημιουργεί νέες, αν και σε πιο τοπική κλίμακα. Για παράδειγμα, τα γονίδια που σχετίζονται με την πέψη της λακτόζης καθώς μεγαλώνουμε, είναι πιο διαδεδομένα σε πληθυσμούς με παράδοση στην κατανάλωση γαλακτοκομικών, ενώ σε περιοχές της Αφρικής με υψηλή συχνότητα κρουσμάτων της νόσου του AIDS έχουν ήδη εμφανιστεί γονίδια που προσδίδουν ανθεκτικότητα σε παιδιά που συμβιώνουν με τον ιό *HIV*.

Δεν είναι λίγες οι φορές που η ανθρώπινη εξέλιξη συμβαδίζει με λοιμώδεις ή παρασιτικές ασθένειες, όπως στην κλασική περίπτωση της ελονοσίας. Στις περιοχές όπου εκδηλώνεται αυτή η μολυσματική νόσος, διατηρείται ταυτόχρονα το παθολογικό γονίδιο της μεσογειακής αναιμίας, επειδή οι φορείς του αποκτούν ανθεκτικότητα στο πλασμώδιο της ελονοσίας. Πολλά από το πιο πολυμορφικά γονίδια σε ένα πληθυσμό, όπως τα γονίδια των ομάδων αίματος και των αντιγόνων ιστοσυμβατότητας, στην πραγματικότητα σχετίζονται με την ανθεκτικότητα απέναντι σε λοιμώδη νοσήματα.

Η φυσική επιλογή δεν περιορίζεται στις ασθένειες. Οι πιέσεις της καθιέρωσαν, μέσω των μεταναστεύσεων των τελευταίων 70 χιλιάδων χρόνων, και το γεωγραφικό πρότυπο κατανομής της ποικιλομορφίας του παγκόσμιου πληθυσμού (Εικόνα 48). Οι μέσες γενετικές διαφορές μεταξύ των σύγχρονων φυλών είναι στην πραγματικότητα ελάχιστες και περιορίζονται κυρίως σε λιγοστά γονίδια που επηρεάζουν το χρώμα του δέρματος, τη φυσιογνωμία του προσώπου, τη σωματική διάπλαση και, σε μερικές περιπτώσεις, την ανθεκτικότητα σε λοιμώδη νοσήματα. Περισσότερο από το 85% των διαφορών μεταξύ δύο τυχαίων ατόμων αποδίδεται σε τυχαία γενετική ποικιλομορφία, ασχέτως της φυλετικής καταγωγής τους.



Εικόνα 48: Παραδείγματα προσαρμογών σε πιέσεις φυσικής ή σεξουαλικής επιλογής των τελευταίων 10 χιλιάδων χρόνων. Ανοχή στη λακτόζη (αριστερά), ίσια και παχιά τρίχα (μέσον), γαλανό χρώμα ματιού (δεξιά).

Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το χρώμα του δέρματος. Όσο εντονότερη είναι η ηλιακή ακτινοβολία σε μία περιοχή κοντά στον Ισημερινό, τόσο πιο σκούρο είναι, συνήθως, το χρώμα του δέρματος των κατοίκων της (για προστασία από τα εγκαύματα, τον καρκίνο του δέρματος και για αποφυγή της διάσπασης του φολικού οξέος). Ωστόσο, υπάρχουν σήμερα αρκετές εξαιρέσεις, καθώς ορισμένα γονίδια, που σχετίζονται με πιο ανοιχτόχρωμο δέρμα, κατανέμονται στον πλανήτη με βάση τις αρχαίες μεταναστεύσεις του *Homo sapiens* και όχι με βάση το γεωγραφικό πλάτος (η φυσική επιλογή εκεί δεν είχε τον απαιτούμενο εξελικτικό χρόνο για την εμφάνιση, εκ νέου, του σκούρου χρώματος).

Οι εξελικτικοί βιολόγοι πιστεύουν σήμερα ότι, παρά τα πολλά παραδείγματα συνεχιζόμενης εξέλιξης, ο *Homo sapiens* δεν έχει προσαρμοστεί στα σύγχρονα ανθρωπογενή περιβάλλοντα. Τα εκατομμύρια χρόνια προσαρμογών στον παλαιολιθικό τρόπο ζωής του κυνηγού-τροφοσυλλέκτη, ο οποίος βασιζόταν κυρίως στην αντοχή και το περπάτημα, δεν έχουν προετοιμάσει κατάλληλα το ανθρώπινο σώμα για τη χειρωνακτική ή/και την καθιστική ζωή του σήμερα, με αποτέλεσμα το σύγχρονο σώμα να χρειάζεται συστηματικά κατάλληλες και επαρκείς πιέσεις (ισορροπημένη διατροφή και φυσική άσκηση) για να ρυθμίζει τις ικανότητές του. Η εμφάνιση και η διάδοση ασθενειών, που δεν υπήρχαν ή ήταν σπάνιες μεταξύ των παλαιολιθικών ανθρώπων, όπως η οστεοπόρωση, ο διαβήτης τύπου 2, οι καρδιοπάθειες, οι καρκίνοι του εντέρου και των αναπαραγωγικών οργάνων, η νόσος Alzheimer, το άγχος, η κατάθλιψη και τα λοιμώδη νοσήματα, καταδεικνύουν πόσο συνδεδεμένες είναι η φυσιολογία και η ανατομία των σύγχρονων ανθρώπινων οργανισμών με το παλαιολιθικό παρελθόν τους και πόση ασυμβατότητα υπάρχει με τον σύγχρονο τρόπο ζωής.

Δραστηριότητα 6.8.8.1

Να εξηγήσετε για ποιους πιθανούς λόγους η φυσική επιλογή ευνόησε τις παρακάτω τοπικές προσαρμογές: (α) φαρδιό θώρακες των Ινδιάνων των Άνδεων, (β) ψιλόλιγνο σώμα των Σουδανών, και (γ) σχιστά μάτια των λαών της βόρειας Ασίας.

Δραστηριότητα 6.8.8.2

Σε αντίθεση με το ανοιχτόχρωμο δέρμα, η σχετικά πρόσφατη εμφάνιση άλλων ανοιχτόχρωμων χαρακτηριστικών, όπως τα ξανθά μαλλιά και τα γαλανά μάτια, δεν προσφέρουν κάποιο προφανές εξελικτικό πλεονέκτημα. Πού οφείλεται η διάδοσή τους;

6.8.9: Επίλογος

Φτάνοντας στο τέλος του κεφαλαίου και βλέποντας πέρα από τα απολιθώματα, μπορούμε επιγραμματικά να σκιαγραφήσουμε τις απαρχές της εμφάνισης του είδους μας. Ενώ ως γένος *Homo* εμφανιστήκαμε εδώ και τουλάχιστον 2 εκ. χρόνια, οι ανατομικά σύγχρονοι άνθρωποι εμφανιστήκαμε τουλάχιστον 300 χιλ. χρ. πριν στην Αφρική. Εξαπλωθήκαμε γρήγορα σε όλο τον πλανήτη, διασταυρωθήκαμε στην Ευρασία με άλλα αρχαϊκά είδη και, αφού ξεπεράσαμε την Εποχή των Παγετώνων, φτάσαμε στα τελευταία 10 χιλιάδες χρόνια, κατά τα οποία η πολιτισμική εξέλιξη μας έχει αρχίσει να ξεπερνάει τη βιολογική. Η πλήρως μοντέρνα πολιτισμική συμπεριφορά μας αναδύθηκε απότομα τα τελευταία 45 – 40 χιλιάδες χρόνια, μέσω της συμβολικής σκέψης και των δικτύων συναλλαγών μεγάλων αποστάσεων και με εργαλεία την ευφυΐα, τη γλώσσα, την τεχνολογία και την τέχνη. Αυτή είναι η πρόσφατη ιστορία μας. Δεν αποκλείεται, όμως, αρκετές από τις ανακαλύψεις του 21^{ου} αιώνα να αναθεωρήσουν καθιερωμένες γνώσεις και πεποιθήσεις, τόσο του επιστημονικού όσο και του απλού κόσμου. Καθημερινά έρχονται στο φως νέα ευρήματα, αρχαιολογικά, ανθρωπολογικά και γενετικά, που ενδέχεται να αποκαλύψουν νέα δεδομένα τα οποία να εδραιώνουν ή να τροποποιούν τις σημερινές απόψεις μας σχετικά με το φυλογενετικό μας δένδρο.

Είμαστε εδώ και 2 τουλάχιστον εκ. χρόνια, ως γένος *Homo*, μια ταξινομική ομάδα με πανίσχυρα ένστικτα και μέτριες αλλά και ιδιαίτερες φυσικές ικανότητες ως αποτέλεσμα της εμφάνισης, μέσω μεταλλάξεων και φυσικής επιλογής, ενώ πλήθους συνδυασμού προσαρμογών. Και μόνο η χαρακτηριστική ικανότητά του γένους *Homo* για συνεχές τρέξιμο για μεγάλη απόσταση, περιλαμβάνει την εμφάνιση 26 νέων ανατομικών και φυσιολογικών προσαρμογών.

Οι σύγχρονοι άνθρωποι προικισμένοι με ξεχωριστή ευφυΐα, φύσει περίεργοι και κοινωνικοί, με ξεχωριστές πολιτισμικές και συμπεριφορικές ιδιαιτερότητες, σκεφτόμαστε το παρελθόν και σχεδιάζουμε το μέλλον παίρνοντας μελετημένες αποφάσεις. Μπορούμε να καθυστερούμε την ικανοποίηση για μεγάλες περιόδους και να θυσιάζομαστε για ιδέες, ιδανικά και αξίες. Έχουμε την ενσυναίσθηση για τους άλλους, φροντίζουμε για άρρωστους και ηλικιωμένους, θάβουμε τους νεκρούς μας και παρουσιάζουμε αλtruισμό και θρησκευτικότητα άγνωστη στον ζωικό κόσμο. Έχουμε γλώσσα και επικοινωνούμε συμβολικά, γράφουμε μυθιστορήματα και ποίηση. Συνθέτουμε και παίζουμε μουσική. Αναπτύξαμε τα μαθηματικά και τις τέχνες. Ασχολούμαστε με τη γεωργία εκτρέφουμε ζώα και φορούμε ρούχα. Ελέγχουμε τη φωτιά, αναπτύξαμε τεχνολογία, μετράμε το χρόνο και δημιουργήσαμε εμπόριο μεγάλης εμβέλειας.

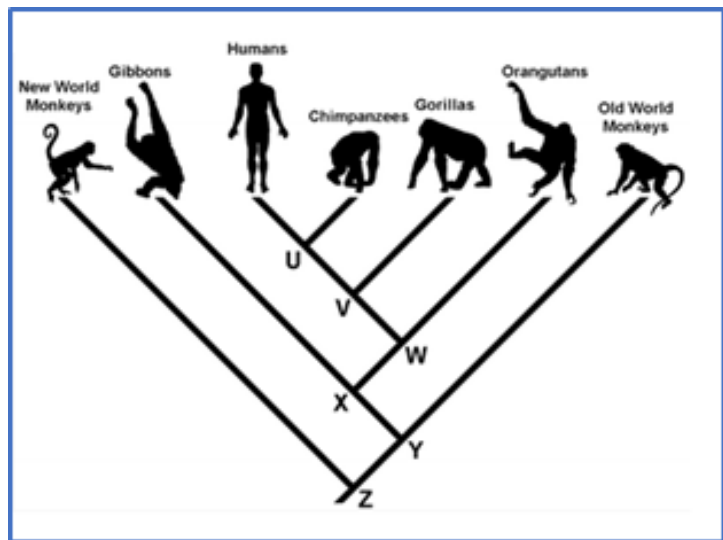
Στον απέραντο ωκεανό των γαλαξιών και των άστρων, η Γη, παρόλο που μπορεί να αποτελεί μία απειροελάχιστη, απόμερη κουκίδα, ίσως είναι η μόνη, μέχρι στιγμής, που διαθέτει όλα εκείνα τα κοσμολογικά και γεωλογικά δεδομένα που έχουν καταστήσει δυνατή την εμφάνιση και εξέλιξη της ζωής, μέχρι και το σημείο ανάπτυξης του *Homo sapiens*.

Πάντως, περισσότερο σήμερα, παρά ποτέ, συνειδητοποιούμε τις αρνητικές επιδράσεις των αλόγιστων ανθρώπινων δραστηριοτήτων, στο κλίμα, στα παγκόσμια οικοσυστήματα, τη βιοποικιλότητα και την υγεία. Το μόνο σίγουρο είναι ότι ο *Homo sapiens* καλείται σήμερα να υπερασπιστεί τον τίτλο του και να αποδείξει τη σοφία του βρίσκοντας λύσεις στα σημερινά προβλήματα, που ο ίδιος δημιούργησε.

Ερωτήσεις - Προβλήματα Κατανόησης και Μελέτης

1. Σε ποιο σημείο της εξελικτικής διαδρομής μπορούμε να τραβήξουμε μία διαχωριστική γραμμή ανάμεσα σε άνθρωπο και «μη-άνθρωπο»;
2. Δύο είναι τα πιο κομβικά εξελικτικά γεγονότα που καθοδήγησαν τη μετάβαση από τους ανθρωποειδείς πιθήκους προς τον άνθρωπο και τα οποία απεικονίζονται ξεκάθαρα στα απολιθώματα, η σκελετική τροποποίηση για τη δίποδη βάδιση και η απότομη αύξηση του μεγέθους του εγκεφάλου, μετά την εμφάνιση του γένους *Homo*. Αφού αναζητήσετε σχετικές πληροφορίες στο διαδίκτυο, να βρείτε: (α) τη σημασία και τη χρησιμότητα της δίποδης βάδισης στην εξέλιξη του ανθρώπου, (β) τους περιορισμούς που συνδέονται μεταξύ εξέλιξης του κρανιακού μεγέθους και δίποδης βάδισης με το μέγεθος της ανθρώπινης λεκάνης, και (γ) τη διασύνδεση μεταλλάξεων και φυσικής επιλογής, με την εμφάνιση ανατομικών και φυσιολογικών προσαρμογών απαραίτητων π.χ. για την δίποδη βάδιση και το τρέξιμο.
3. Πότε έφτασαν στο νησί της Κύπρου οι πρώτοι σύγχρονοι άνθρωποι και από πού κατάγονταν; Να αναφέρετε τις δύο σημαντικότερες θέσεις παρουσίας τους στο νησί σύμφωνα με την αρχαιολογική έρευνα.
4. Γιατί εξαφανίστηκαν οι *Νεάντερταλ* μετά την άφιξη των *Homo sapiens* στην Ευρώπη 40 χιλ. χρ. πριν; Να κάνετε μία σχετική έρευνα στο διαδίκτυο και να γράψετε μία σύντομη εργασία για τα πιθανά αίτια της εξαφάνισής τους.
5. Η ανθρώπινη γενετική ποικιλομορφία είναι γενικά υψηλότερη στην Αφρική, στην κοιτίδα των σύγχρονων ανθρώπων, και μειώνεται με την απόσταση έξω από αυτή. Τι ερμηνείες θα μπορούσατε να δώσετε αν βρίσκατε της ακόλουθες εξαιρέσεις: (α) έναν αφρικανικό πληθυσμό με μικρή ποικιλομορφία, (β) έναν αμερικανικό πληθυσμό με μεγάλη ποικιλομορφία;

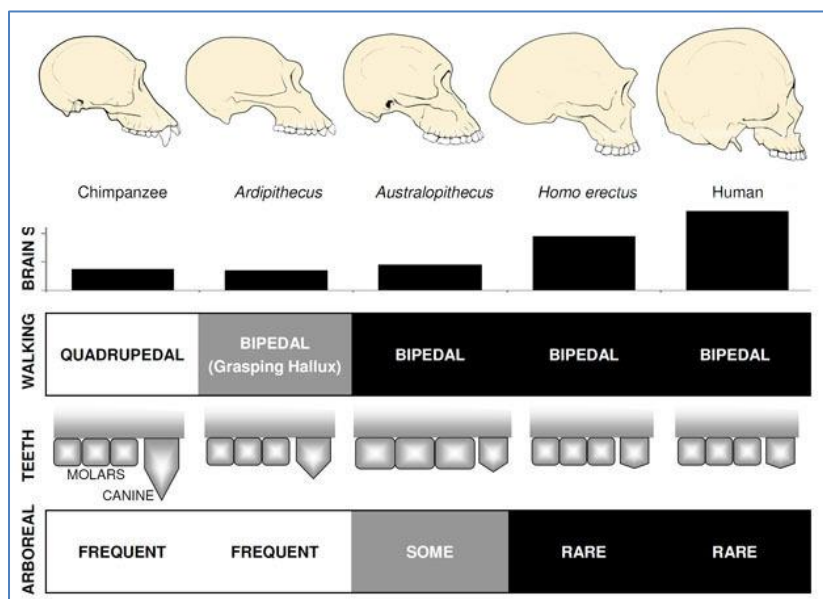
6. Το κλαδόγραμμα στην Εικόνα 49 παρουσιάζει τη φυλογένεση των Κατάρρινων (μαϊμούδων και πιθήκων). Να απαντήσετε στις παρακάτω ερωτήσεις:
(α) Τι συμβολίζουν τα γράμματα U, W, X και Y;
(β) Ποιος είναι ο πιο συγγενικός κλάδος μαϊμούδων όσον αφορά τον άνθρωπο; και
(γ) Ποιοι κλάδοι περιλαμβάνονται στην οικογένεια των Ανθρωπιδών;



Εικόνα 49: Φυλογένεση, πιθήκων και ανθρώπου

7. Οι μεγάλοι ανθρωποειδείς πίθηκοι (χιμπατζής, γορίλας και ουραγκοτάγκος) είναι ικανότεροι από όλα τα άλλα πρωτεύοντα στη χρήση εργαλείων, στην επικοινωνία και τον σχεδιασμό δράσεων και ενεργειών. Διαθέτουν λογική, ενσυναίσθηση, κοινωνική οργάνωση, ηθική και ποικιλία συμπεριφορών. Επικοινωνούν μεταξύ της με μορφασμούς και εκφράσεις του προσώπου, με το στόμα, παράγοντας ήχους και κραυγές, με χειρονομίες και, γενικά, με τη γλώσσα του σώματος. Θα μπορούσαν να θεωρηθούν τα παραπάνω χαρακτηριστικά ενδείξεις της κοινής καταγωγής πιθήκων και ανθρώπων;

8. Η Εικόνα 50 δείχνει συγκεκριμένα γνωρίσματα που χαρακτηρίζουν πέντε είδη Ανθρωπιδών. Σε ποια συμπεράσματα καταλήγετε για την ανατομία, τη μορφολογία και τη συμπεριφορά των ειδών αυτών; Ποιες πληροφορίες μπορεί να δώσει η μελέτη του κρανίου, της γνάθου, της λεκάνης και της σπονδυλικής στήλης ενός Ανθρωπίδη;



Εικόνα 50: Μορφολογικά και συμπεριφορικά χαρακτηριστικά πέντε διακριτών Ανθρωπιδών.

9. Ένας πληθυσμός, άγνωστος προηγουμένως στους επιστήμονες, ανακαλύφθηκε στον Αμαζόνιο. Θα ήταν ηθικό να διεξαγάμε γενετικές μελέτες σε αυτόν; Αν όχι, γιατί όχι; Αν ναι, τι είδους και με ποιους τρόπους;

10. Τι σημαίνει, πρακτικά, ότι σε μία φάση της ανθρώπινης εξέλιξης συνυπήρχαν για δεκάδες χιλιάδες χρόνια περισσότερα από ένα είδη ανθρώπων στην περιοχή της Ευρασίας; Ποιες θα ήταν οι επιμέρους συνέπειες στα διαφορετικά είδη; Να συζητήσετε το θέμα στην τάξη, κάνοντας αναφορά σε ανάλογο υποθετικό σενάριο στη σύγχρονη εποχή, όπου θα συνυπήρχαμε και θα συναντιόμασταν με άλλα είδη ανθρώπων, διαφορετικών από εμάς. Πώς νομίζετε ότι θα αντιμετωπίζατε κοινωνικά ή/και ηθικά την εμπειρία της επαφής;

11. Πιστεύετε ότι η γενετική μηχανική, μέσω της εξωσωματικής γονιμοποίησης, της κλωνοποίησης και της τροποποίησης του DNA, θα επηρεάσει την ανθρώπινη εξέλιξη στο μέλλον; Μπορεί η τεχνητή επιλογή, στον άνθρωπο, να ξεπεράσει τη φυσική επιλογή και να γίνει η κινητήρια δύναμη της εξέλιξής του;

Βιβλιογραφία

1. Blount ZD et al. (2012) Genomic analysis of a key innovation in an experimental *Escherichia coli* population. *Nature* 489, 513-518. doi: 10.1038/nature11514.
2. Bryk J (2017) Evolution in action: the 67 000-generation experiment. *Science in School* 41, 24-29.
3. Buck, L. T. & Stringer, C. B. (2014) *Homo heidelbergensis*. *Current Biology*, 24, 6, R214-R215. doi.org/10.1016/j.cub.2013.12.048.
4. Campbell, N., Reece, J.B., Urry, L.A., Cain, M.L., Wassermann, S. A., Minorsky, P.V., Jackson., R.B. (2008). *Biology*, Eight edition by Pearson Education, Inc. Για την ελληνική γλώσσα, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
5. Coyne, J.A. (2010) *Why Evolution is true*. Oxford Landmark Science.
6. Diehl W E et al. (2016) Ebola virus glycoprotein with increased infectivity dominated the 2013–2016 epidemic. *Cell* 167 1088–1097. doi: 10.1016/j.cell.2016.10.014.
7. Dunbar, R. (2014). *Human Evolution*. Penguin Books, London.
8. Efstratiou, N., McCartney, C., Karkanias, P., Kyriakou, D. The early camp site of Agios Ioannis-Roudias in upland Troodos: the second season of fieldwork (2010). Report of the Department of Antiquities Cyprus 2011-12 (Τμήμα Αρχαιοτήτων Κύπρου, Λευκωσία, 2017).
9. Futuyma Douglas J. (2013) *Evolution*/Stony Brook University. Third edition.
10. Gazzaniga, M. S. (2008) *Άνθρωπος. Η επιστήμη πίσω από όσα μας κάνουν μοναδικούς*. Εκδόσεις Κάτοπτρο, Αθήνα.
11. Harvati, K., Panagopoulou, E., Runnels, C. (2009) The Paleanthropology of Greece. *Evolutionary Anthropology*, 18, 131-143.
12. Hublin, J. J. et al. (2017) New fossils from Jebel Irhoud, Morocco and the pan-African origin of *Homo sapiens*. *Nature* Vol. 546, 289–292 doi.org/10.1038/nature22336.
13. Kent, M., (2000) *Advanced biology*. Oxford University Press.
14. Jobling, M. et al. (2014) *Human Evolutionary Genetics* (2nd ed.). Garland Science, New York.
15. Johanson, D. C. & Edgar, B. (1996) *From Lucy to Language*. Simon & Schuster Editions, New York.
16. Lamason R. L. et al. (2005) SLC24A5, a putative cation exchanger, affects pigmentation in zebrafish and humans. *Science* 310: 1782-1786. doi: 10.1126/science.1116238.
17. Leaky, R. (1994) *The origin of Humankind*. Basic Books, New York.
18. Lewin, R. *Human Evolution* (2005): An illustrated introduction (5th ed.). Blackwell Publishing, Oxford.
19. Lieberman, D. E. (2013) *Η ιστορία του ανθρωπίνου σώματος. Υγεία, ασθένεια και φυσική επιλογή: το νέο πεδίο της εξελικτικής ιατρικής*. Εκδόσεις Κάτοπτρο, Αθήνα.
20. *New Scientist Instant Expert*.(2018) *Human Origins, 7 million years and counting*. (New Scientist, London).

21. Park, D et al. (2015) Ebola virus epidemiology, transmission, and evolution during seven months in Sierra Leone. *Cell* 161 1516-1526. doi: 10.1016/j.cell.2015.06.007.
22. Perry, G.H. et al. (2007) Diet and the evolution of human amylase gene copy number variation. *Nature Genetics* 39: 1256-1260. doi: 10.1038/ng2123.
23. Reece, J.B., Urry, L.A., Cain, M.L., Wasserman, S.A., Minorsky, P.V. and Jackson, R.B., (2014) *Campbell biology* (No. s 1309). Boston: Pearson.
24. Reich, D. (2018) *Who we are and how we got here*. Oxford University Press, London.
25. *Scientific American Special* (2016) *The story of us* (special edition). *Sci Am.*, 25, 4.
26. Simmons, A. H. (2013) Akrotiri-Aetokremnos (Cyprus) 20 years later: an assessment of its significance. *Eurasian Prehistory* 10/2013 (1-2), 139-156.
27. Stringer, C. & Andrews, P. (2006) *Homo*. Η καταγωγή και η εξέλιξη του ανθρώπου. Εκδόσεις Polaris, Αθήνα.
28. Tishkoff, S.A. et al. (2006) Convergent adaptation of human lactase persistence in Africa and Europe. *Nature Genetics* 39, 31-40. doi: 10.1038/ng1946.
29. Wilson, E.O. (2013) *Το νόημα της ανθρώπινης ύπαρξης*. Εκδόσεις Κάτοπτρο, Αθήνα.
30. Wiser, M.J, Ribeck N, Lenski RE (2013) Long-term dynamics of adaptation in asexual populations. *Science* 342, 1364-1367. doi: 10.1126/science.124335.
31. Δέλτας, Κ. (2014) *Η γενετική κληρονομιά των κυπρίων μέσα από ειδικά θέματα γενετικής*. Αθήνα: Βήτα Ιατρικές Εκδόσεις. ISBN 978-960-452-180-7.
32. Ζούρος, Λ. (2009). *Ας συμφιλιωθούμε με τον Δαρβίνο*. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
33. Καμπουράκης, Κ. (2017) *Κατανοώντας την Εξέλιξη*. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
34. Kent M., (2013). *Advanced Biology*, OXFORD University Press, 2nd Edition (p. 439-444)
35. Hickman C. et al., (2008) *Integrated Principles of Zoology*, 14th ed. (p.32)
36. Molnar S., *Human Variation* (1998). *Races, Types, and Ethnic Groups*, 4th ed. (Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1998), 203;
37. Conroy G. et al. (1998). *Science* “Endocranial Capacity in an Early Hominid Cranium from Sterkfontein, South Africa,” 280: 1730– 1731;
38. Wood B. and Collard M. (1999). *Science* “The Human Genus” 284: 65-71 DOI: 10.1126/science.284.5411.65
39. Ward P. and Brownlee D. (2000) *Rare Earth: Why Complex Life Is Uncommon in the Universe* (New York: Copernicus).
40. Behrens S. and Vingron M., (2010) “Studying the Evolution of Promoter Sequences: A Waiting Time Problem,” *Journal of Computational Biology* 17: 1591– 1606.
41. Bramble D. and Lieberman D. (2004). *Nature* “Endurance Running and the Evolution of Homo,” 432: 345– 352. 49.
42. Hauser M. et al. (2014) *Frontiers in Psychology* “The Mystery of Language Evolution,” 5: 401.

43. Durrett R. and Schmidt D. (2007) *The Annals of Applied Probability*, “Waiting for Regulatory Sequences to Appear,” 17: 1– 32, doi: 10.1214/ 105051606000000619. 59.
44. Durrett R. and Schmidt D. (2008) *Genetics*, “Waiting for Two Mutations: With Applications to Regulatory Sequence Evolution and the Limits of Darwinian Evolution,” 180: 1501– 1509, doi: 10.1534/ genetics. 107.082610.

ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ

45. <https://kosmodromio.wordpress.com/>
46. <https://www.birdguides.com/species-guide/ioc/iduna-pallida>
47. <https://www.slideserve.com/fauna/however-there-are-still-problems-what-do-we-do-with-hybrid-taxa>
48. <https://evolution.berkeley.edu/evo101/IID1Switchtophylo.shtml>
49. <http://clipartmag.com/red-bird-clipart>
50. <http://www.silhouettevectorstock.com/blog/free-lizard-silhouette-vector/>
51. <http://clipartmag.com/red-bird-clipart#red-bird-clipart-13.jpg>
52. [https://wetlandinfo.ehp.qld.gov.au/wetlands/ecology/components/species/?lerista-punctatovittata#prettyPhoto\[11\]/0/](https://wetlandinfo.ehp.qld.gov.au/wetlands/ecology/components/species/?lerista-punctatovittata#prettyPhoto[11]/0/)
53. <https://ksuweb.kennesaw.edu/~jdirnber/Bio2108/Lecture/LecPhylogeny/LecPhylogeny.html>
54. https://en.wikipedia.org/wiki/Gene_duplication
55. <http://humanorigins.si.edu/file/primate-family-tree-780x5200gif>
56. https://en.wikipedia.org/wiki/Chimpanzee%E2%80%93human_last_common_ancestor
57. <https://www.scoop.intopic/amazing-science/p/2737525079/2012/09/19/future-humans-will-all-look-like-brazilians-researcher-says>
58. <https://en.wikipedia.org/wiki/Hominini>
59. <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/overview-of-hominin-evolution-89010983/>
60. <http://humanorigins.si.edu/evidence/human-fossils/species/>
61. <https://medium.com/@johnhawks/three-big-insights-into-our-african-origins-3fa01eb5f03>
62. <https://www.nature.com/articles/nature17405>
63. https://en.wikipedia.org/wiki/Homo_heidelbergensis
64. https://en.wikipedia.org/wiki/Homo_sapiens
65. <https://phys.org/news/2019-07-oldest-africa-reset-human-migration.html>
66. <https://www.tovima.gr/2019/07/11/science/apidima-manis-kranio-210-000-eton-apotelei-to-arxaiotero-deigma-sygchronou-anthropou-stin-eyrasia/>

67. <https://www.nature.com/articles/s41586-019-1376-z>

68. <https://www.nature.com/articles/s41586-018-0299-4>

69. <https://www.nature.com/articles/nature03052>

70. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK21128/>

