



Κεφάλαιο 3

ΕΞΕΛΙΞΗ

«Τίποτε δεν έχει νόημα στη
Βιολογία παρά μόνο υπό το
φως της εξέλιξης».

Θεοδόσιος Ντομπζάνσκι

3. ΕΞΕΛΙΞΗ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Πολλές από τις ιδέες που έχουν κατά καιρούς διατυπωθεί από τους επιστήμονες γίνονται δύσκολα αποδεκτές από τον «κοινό νο», διότι φαίνεται ότι αντιβαίνουν στην εμπειρία. Για παράδειγμα, πολλοί αδυνατούν να αποδεχθούν ότι ένα σώμα μπορεί να κινείται χωρίς να ασκείται καμία δύναμη επάνω του (λόγω αδράνειας), γιατί έχουν τη (λανθασμένη) εντύπωση ότι πίσω από κάθε κίνηση πρέπει να υπάρχει απαραίτητα μια δύναμη που τη δημιουργεί. Παρομοίως ένας από τους λόγους για τους οποίους άργησε να γίνει αποδεκτή η θεωρία της εξέλιξης των ειδών, που διατυπώθηκε από τον Κάρολο Δαρβίνο, ήταν ότι στο σύντομο χρονικό διάστημα της ζωής του ανθρώπου δεν μπορούν να γίνουν αντιληπτές οι μεταβολές που υφίστανται τα είδη.

Η ιδέα της εξέλιξης είχε υποστηριχθεί και από άλλους στοχαστές που προηγήθηκαν του Δαρβίνου. Ο Δαρβίνος όμως τη διατύπωσε με επιστημονικούς όρους και επίσης υπέδειξε το μηχανισμό με τον οποίο αυτή συμβαίνει (φυσική επιλογή).

Σήμερα η θεωρία της εξέλιξης είναι αποδεκτή από το σύνολο της επιστημονικής κοινότητας και αποτελεί τη θεωρία που έχει επηρεάσει ίσως περισσότερο από κάθε άλλη σύγχρονη επιστημονική θεωρία το δυτικό πολιτισμό. Αυτός και μόνο ο λόγος θα ήταν αρκετός για να τη μελετάμε, πάντα στο βαθμό βέβαια που επιτρέπει ένα σχολικό εγχειρίδιο. Υπάρχει όμως ακόμη ένας σημαντικότερος λόγος που αφορά τη Βιολογία ως επιστήμη και το αντικείμενό της. Η Βιο-



λογία, όπως και κάθε άλλη επιστήμη, βασίζεται πάνω σε μερικές θεμελιώδεις γενικεύσεις, πάνω δηλαδή σε μερικές αρχές που ισχύουν σε όλη την έκταση των αντικειμένων που μελετά. Τη μία από αυτές τις γενικεύσεις την έχουμε ήδη γνωρίσει στο χειρικό της Βιολογίας της Β΄ Λυκείου. Είναι η κυτταρική θεωρία, η οποία υποστηρίζει ότι όλα τα έμβια όντα αποτελούνται από κύτταρα και από προϊόντα κυττάρων. Η άλλη γενίκευση είναι η θεωρία της εξέλιξης, η θεωρία δηλαδή που υποστηρίζει ότι όλα τα έμβια όντα είναι προϊόν εξέλιξης που υπέστησαν προγενέστεροι οργανισμοί. Χωρίς αυτή τη θεωρία η Βιολογία θα έμοιαζε περισσότερο με μια στείρα περιγραφή φυτικών και ζωικών οργανισμών από την οποία θα έλειπε ο μίτος που τους συνδέει μεταξύ τους. Χωρίς αυτή τη θεωρία, για να χρησιμοποιήσουμε και τα λόγια του Θεοδόσιου

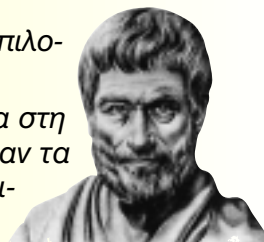
Ντομπζάνσκου, ενός μεγάλου εξελικτικού του 20ού αιώνα, δε θα μπορούσαμε να κατανοήσουμε πώς ένα άθροισμα από χημικά συστατικά και κύτταρα, όπως ο άνθρωπος, έγινε ικανό: «να είναι ζωντανό, να αισθάνεται χαρά και πόνο, να ξεχωρίζει την ομορφιά από την ασχήμια και να διακρίνει το καλό από το κακό...».



Εικόνα 3.1: Απολιθωμένα αποτυπώματα δεινοσαύρων

Από τους πρώτους που παραμέρισαν τους μύθους και προσπάθησαν να δώσουν μια επιστημονική εξήγηση για τον κόσμο και τα φαινόμενά του ήταν οι αρχαίοι Έλληνες φιλόσοφοι, πολλοί από τους οποίους προσέγγισαν την ιδέα της εξέλιξης ήδη από τον 6ο π.Χ. αιώνα. Ο Αριστοτέλης όμως, όπως και ο μαθητής του ο Πλάτωνας, πίστευε στη σταθερότητα των ειδών, γεγονός που συνέβαλε στο να ατονήσει η αρχαία εξελικτική σκέψη. Αυτή η αντίληψη της σταθερότητας των ειδών επικράτησε επί 2.000 χρόνια, μέχρι τα τέλη του 18ου αιώνα.

- **Ηράκλειτος** (6ος π.Χ. αιώνας). Υπήρξε από τους πρώτους φιλοσόφους που διακήρυξαν την αιώνια κίνηση και μεταβολή των όντων και την αέναη ανανέωση και εξέλιξή τους.
- **Θαλής ο Μιλήσιος** (6ος π.Χ. αιώνας). Προσπάθησε να βρει μια επιστημονική εξήγηση των φυσικών φαινομένων. Πίστευε ότι η ζωή προέρχεται από το νερό.
- **Αναξίμανδρος** (6ος π.Χ. αιώνας). Προσπάθησε να εξηγήσει την προέλευση του σύμπαντος και της ζωής, παρακάμπτοντας τους μύθους. Θεωρείται ο πρόδρομος της θεωρίας της αυτόματης γένεσης. Πίστευε, λανθασμένα, ότι όλες οι μορφές ζωής εμφανίζονται εκ νέου αβιογενετικά (από την άβια ύλη).
- **Ξενοφάνης** (5ος π.Χ. αιώνας). Πίστευε ότι τα απολιθώματα είναι λείψανα οργανισμών που έζησαν κάποτε στη Γη. Τα θαλάσσια απολιθώματα που βρέθηκαν στην ξηρά δείχνουν ότι η θάλασσα κάλυπτε παλαιότερα αυτή την ξηρά.
- **Εμπεδοκλής** (5ος π.Χ. αιώνας). Συνέλαβε την ιδέα της φυσικής επιλογής.
- **Αριστοτέλης** (4ος π.Χ. αιώνας). Κατέταξε ιεραρχικά τα έμβια όντα στη φυσική κλίμακα. Πρώτη κατέταξε την άψυχη ύλη και ακολουθούσαν τα φυτά, τα πρωτόγονα ζώα, τα πτηνά και τα θηλαστικά. Στη μέση βρισκόταν ο άνθρωπος, μισός σώμα και μισός πνεύμα, και πάνω από αυτόν ο Θεός.



3.1.1 Ταξινόμηση των οργανισμών και εξέλιξη

Αν και δεν υπάρχουν ούτε δύο εντελώς όμοια όντα στον πλανήτη –εξαιρουμένων φυσικά των μονοζυγωτικών διδύμων ή των μικροοργανισμών που ανήκουν στον ίδιο κλώνο– οι επιστήμονες επιμένουν να κατατάσσουν τους οργανισμούς σε ομάδες, ανάλογα με το πόσο μοιάζουν μεταξύ τους. Η επιμονή αυτή εξηγείται από το γεγονός ότι η μελέτη των οργανισμών θα ήταν αδύνατη χωρίς τη συλλογή, την κατάταξη και τη σύγκρισή τους. Ωστόσο, όπως μπορείτε να διαπιστώσετε στη συνέχεια, η ταξινόμηση των οργανισμών, εκτός του ότι διευκολύνει τη μελέτη τους, αντανακλά και τον τρόπο με τον οποίο αυτοί έχουν εξελιχθεί.

Πώς όμως κατατάσσονται οι οργανισμοί; Η πρώτη έννοια με την οποία χρειάζεται να ασχοληθούμε είναι η έννοια του **πληθυσμού**. Για παράδειγμα, όλες οι γάτες μιας συνοικίας, δηλαδή ένα σύνολο ατόμων που μπορούν να αναπαραχθούν επειδή βρίσκονται στην ίδια γεωγραφική περιοχή, αποτελούν έναν πληθυσμό. Φυσικά δεν μπορούν να αναπαραχθούν με τους σκύλους ή τα σπουργίτια της συνοικίας, καθώς αυτά αποτελούν διαφορετικούς πληθυσμούς διαφορετικών κατηγοριών οργανισμών.

Μήπως λοιπόν θα μπορούσαμε να κατατάξουμε τους οργανισμούς με βάση τον πληθυσμό στον οποίο ανήκουν; Η απάντηση είναι όχι, διότι η έννοια αυτή, παρά την

πολλαπλή χρησιμότητά της (το έχετε ήδη διαπιστώσει στην Οικολογία), δεν έχει πολύ αυστηρά όρια. Στο παράδειγμά μας, μια γάτα από άλλη συνοικία, που ανήκει σε έναν άλλο πληθυσμό, δεν αναπαράγεται με τις γάτες της συνοικίας μας, όσο δεν έρχεται σε επαφή μαζί τους. Αν όμως μεταφερθεί στη συνοικία μας, γίνεται μέλος του πληθυσμού της, καθώς μπορεί να αναπαραχθεί με τις υπόλοιπες. Χρειάζεται συνεπώς να διευρυνθεί το κριτήριο με βάση το οποίο συγκατατάσσουμε τους οργανισμούς, ώστε να περιλάβει όλους τους διαφορετικούς πληθυσμούς ατόμων οι οποίοι, όταν έρχονται σε επαφή μεταξύ τους, μπορούν να αναπαραχθούν. Για το σκοπό αυτό επινοήθηκε η έννοια του είδους.

Το **είδος** περιλαμβάνει το σύνολο των διαφορετικών πληθυσμών ή, με άλλα λόγια, το σύνολο όλων των οργανισμών που μπορούν να αναπαραχθούν μεταξύ τους και να αποκτήσουν γόνιμους απογόνους. Η έννοια του είδους αντιπροσωπεύει ένα φυσικό όριο, καθώς περιλαμβάνει μόνο τους οργανισμούς που αναπαράγονται μεταξύ τους (π.χ. όλες τις γάτες του πλανήτη), αποκλείοντας άλλους οργανισμούς που είναι γόνιμοι μόνο με μέλη του είδους στο οποίο ανήκουν. Για το λόγο αυτό το είδος αποτελεί τη θεμελιώδη μονάδα ταξινόμησης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1: ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΓΑΤΑΣ

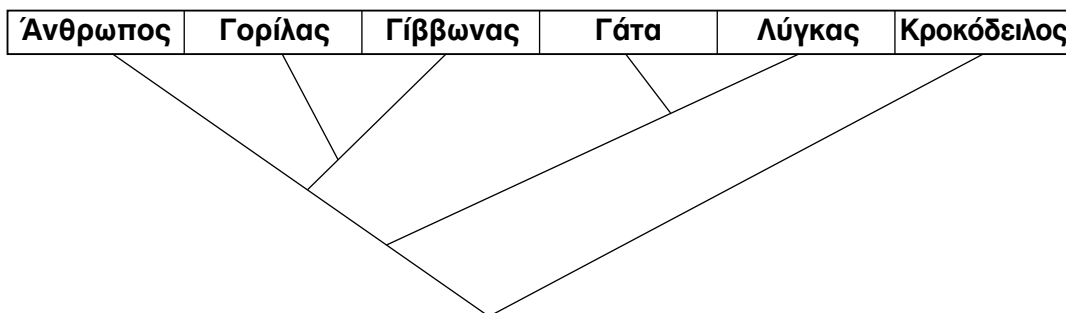
	Γάτα	Άνθρωπος
Φύλο	<i>Χορδωτά</i>	<i>Χορδωτά</i>
Κλάση	<i>Θηλαστικά</i>	<i>Θηλαστικά</i>
Τάξη	<i>Σαρκοφάγα</i>	<i>Πρωτεύοντα</i>
Οικογένεια	<i>Felidae</i>	<i>Ανθρωποειδή</i>
Γένος	<i>Felis</i>	<i>Homo</i>
Είδος	<i>Felis domesticus</i>	<i>Homo sapiens</i> (άνθρωπος ο σοφός)

Αξίζει ωστόσο να αναφερθεί ότι ο ορισμός του είδους που δόθηκε έχει περιορισμούς. Ο βασικότερος από όλους είναι το γεγονός ότι όλοι οι οργανισμοί δεν αναπαράγονται με την επαφή με άτομο διαφορετικού φύλου. Ας πάρουμε για παράδειγμα την αμοιβάδα, το μονοκύτταρο οργανισμό που αναπαράγεται με κυτταρική διαίρεση (μονογονία). Πώς λοιπόν θα ορίσουμε το είδος, αφού το κριτήριο της δυνατότητας αναπαραγωγής με άλλο άτομο – που ονομάζεται μειξιολογικό κριτήριο – δεν ισχύει; Στην περίπτωση αυτή αντί του μειξιολογικού κριτηρίου εφαρμόζεται το τυπολογικό κριτήριο, δηλαδή το κριτήριο της ομοιότητας μεταξύ των οργανισμών. Όταν δύο οργανισμοί έχουν κοινά μορφολογικά και βιοχημικά χαρακτηριστικά, ομαδοποιούνται στο ίδιο είδος.

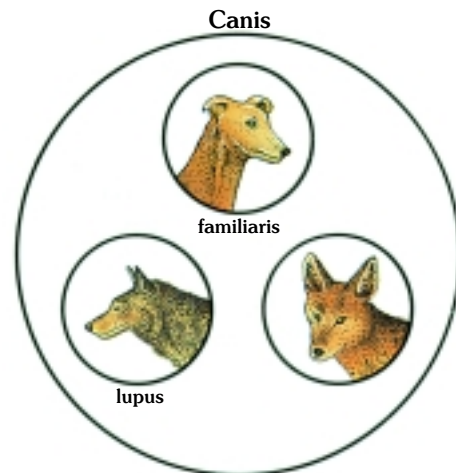
Με βάση αυτό το τυπολογικό κριτήριο, που αποτελεί επινόηση του Σουηδού φυσιολόγου Λινναίου, έχει ταξινομηθεί το σύνολο των διαφορετικών οργανισμών του πλανήτη και έχει γίνει δυνατή η συγκρότηση ευρύτερων ταξινομικών βαθμίδων πέρα από το είδος. Έτσι τα είδη που μοιάζουν μεταξύ τους περισσότερο από ό,τι άλλα συνιστούν ένα γένος, τα γένη που μοιάζουν περισσότερο μεταξύ τους από ό,τι άλλα συνιστούν μια οικογένεια, οι οικογένειες μια τάξη, οι τάξεις μια κλάση, οι κλάσεις ένα φύλο.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2: ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΟΡΙΣΜΕΝΩΝ ΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ

	Άνθρωπος	Γορίλας	Γίββωνας	Γάτα	Λύγκας	Κροκόδειλος
Γένος	<i>Homo</i>	<i>Gorilla</i>	<i>Hylobates</i>	<i>Felis</i>	<i>Felis</i>	<i>Crocodylus</i>
Είδος	<i>H. sapiens</i>	<i>G. gorilla</i>	<i>H. lar</i>	<i>F. domesticus</i>	<i>F. sylvestris</i>	<i>C. niloticus</i>
Οικογένεια	Ανθρωπίδες		Ανθρωποπίθηκοι		Αιλουροειδή	
Τάξη	Πρωτεύοντα			Σαρκοφάγα		Κροκοδείλια
Κλάση	Θηλαστικά					Ερπετά
Φύλο	Χορδωτά					



Εικόνα 3.2: Το φυλογενετικό δέντρο ορισμένων οργανισμών διαφορετικού είδους. Αρκεί μια ματιά, για να διαπιστωθεί ότι οι οργανισμοί που μοιάζουν κοινό πρόγονο είναι αρκετά συγγενικοί, ώστε να τοποθετούνται στην ίδια συστηματική βαθμίδα.



Εικόνα 3.3: Τα σκυλιά ανήκουν όλα στο ίδιο είδος (*Canis familiaris*). Ο σκύλος και ο λύκος είναι συγγενικά είδη και ανήκουν στο ίδιο γένος, όμως ο λύκος αποτελεί διαφορετικό είδος (*Canis lupus*).

Η γάτα και ο λύγκας έχουν κοινό πρόγονο, που έζησε πρόσφατα (φαίνεται από το σημείο τομής των κλάδων τους), συνεπώς είναι περισσότεροι συγγενικοί και πρέπει να τοποθετηθούν στο ίδιο γένος. Παρομοίως ο γορίλας και ο γίββωνας μοιράζονται κοινό πρόγονο, οπότε τοποθετούνται στην ίδια οικογένεια. Πηγαίνοντας όμως πίσω στο χρόνο η εξελικτική έρευνα μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο άνθρωπος, ο γορίλας και ο γίββωνας έχουν έναν απώτερο κοινό πρόγονο, οπότε πρέπει να συγκαταταχθούν στην ίδια τάξη. Τέλος, ο κροκόδειλος δε μοιάζει με τα άλλα ζώα και γι' αυτό κατατάσσεται σε ξεχωριστή κλάση, αυτήν των ερπετών. Βρέθηκε όμως ότι έχει ένα μακρινό κοινό πρόγονο με τα θηλαστικά, ο οποίος έζησε πριν από 240 εκατομμύρια χρόνια.



Εικόνα 3.4: Ζαν-Μπατίστ Λαμάρκ

3.1.2 Η θεωρία του Λαμάρκ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η σύλληψη της ιδέας της εξέλιξης δεν ανήκει αποκλειστικά στον Κάρολο Δαρβίνο. Σπέρματά της βρίσκονται στις θεωρίες που ανέπτυξαν οι αρχαίοι Έλληνες φιλόσοφοι ήδη από τον 6ο π.Χ αιώνα. Το γεγονός όμως ότι στην επιστημονική σκέψη της Δύσης δέσποζαν οι απόψεις του Πλάτωνα και του Αριστοτέλη, που πίστευαν στη σταθερότητα των ειδών, έκανε την ιδέα της εξέλιξης να ξεχαστεί για αιώνες.

Κατά τη διάρκεια του 18ου αιώνα η εξέλιξη έρχεται πάλι στο προσκήνιο. Ο Γάλλος ζωολόγος **Ζαν-Μπατίστ Λαμάρκ** (1744-1829), ο οποίος επινόησε τον όρο Βιολογία, ήταν ο πρώτος που υποστήριξε με επιχειρήματα ότι τα είδη μεταβάλλονται και ότι η ζωή στον πλανήτη μας έχει προέλθει από απλούστερες μορφές που σταδιακά έγιναν πιο περίπλοκες. Ήταν επίσης ο πρώτος που παρουσίασε στο βιβλίο του *Η φιλοσοφία της Ζωολογίας*, το οποίο εκδόθηκε το 1809, μια ολοκληρωμένη θεωρία, για να εξηγήσει πώς τα φυτά και τα ζώα εξελίσσονται.

Η άποψη του Λαμάρκ ήταν ότι η άβια ύλη παράγει ατελείς μορφές ζωής, οι οποίες εξελίσσονται σε συνθετότερες εξαιτίας μιας έμφυτης τάσης των όντων για συνεχή

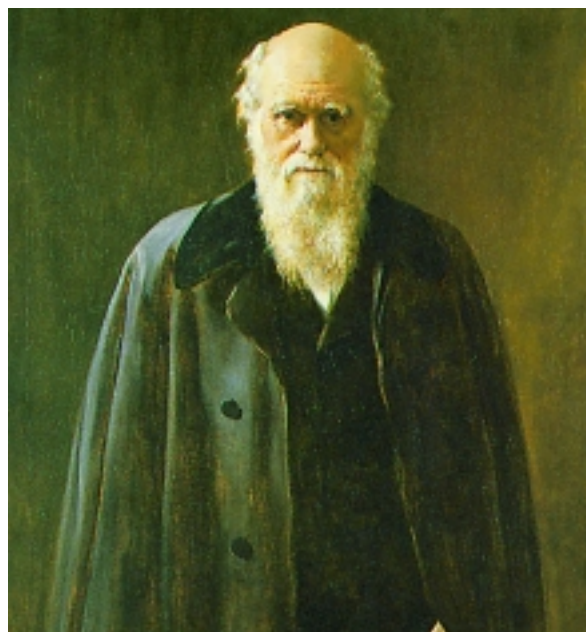
πρόοδο. Κατά τη διάρκεια μεγάλων χρονικών περιόδων οι πρωτόγονοι οργανισμοί μετατρέπονται σταδιακά, κατά μήκος μιας «**νοητής φυσικής κλίμακας**», σε πιο εξελιγμένους, με τη βοήθεια μιας **εσωτερικής δύναμης**, η οποία στοχεύει στη βελτίωσή τους.

Ο Λαμάρκ πίστευε επίσης ότι οι αλλαγές στο περιβάλλον δημιουργούν νέες συνήθειες στα ζώα, με αποτέλεσμα αυτά να χρησιμοποιούν περισσότερο κάποια όργανά τους ή, αντίθετα, να μην τα χρησιμοποιούν καθόλου. Σύμφωνα με την *αρχή της χρήσης και της αχρησίας*, τα όργανα ενός ζώου που βοηθούν στην προσαρμογή του στο περιβάλλον χρησιμοποιούνται από αυτό περισσότερο, αναπτύσσονται και μεγαλώνουν, ενώ τα όργανα εκείνα που δε συμβάλλουν στην προσαρμογή του περιπίπτουν σε αχρησία, ατροφούν και εξαφανίζονται. Μ' αυτό τον τρόπο τα ζώα αποκτούν νέα χαρακτηριστικά κατά τη διάρκεια της ζωής τους. Ο Λαμάρκ πίστευε ότι τα επίκτητα αυτά χαρακτηριστικά κληροδοτούνται στη συνέχεια στους απογόνους. Έτσι, με την πάροδο του χρόνου, συσσωρεύονται πολλές αλλαγές οι οποίες οδηγούν στη δημιουργία ενός είδους που είναι διαφορετικό από το αρχικό.

Πολυάριθμα πειράματα έχουν αποτύχει να αποδείξουν μέχρι σήμερα την κληρονομήση των επίκτητων χαρακτηριστικών. Η εξήγηση επομένως της εξέλιξης των ειδών με την κληρονομήση των επίκτητων χαρακτηριστικών δεν είναι αποδεκτή. Πενήντα χρόνια αργότερα παρουσιάστηκαν περισσότερες ενδείξεις για την εξέλιξη και μια άλλη εξήγηση, αυτή τη φορά από τον Κάρολο Δαρβίνο, για τον τρόπο που πραγματοποιείται.

3.1.3 Η θεωρία της φυσικής επιλογής

Το 1809, έτος δημοσίευσης της εργασίας του Λαμάρκ, γεννήθηκε στην Αγγλία ο



Εικόνα 3.5: Ο Κάρολος Δαρβίνος σε ηλικία 76 ετών

Κάρολος Δαρβίνος. Αν και ως μαθητής ενδιαφερόταν ιδιαίτερα για τη μελέτη του φυσικού κόσμου, ολοκληρώνοντας τις εγκύκλιες σπουδές του στράφηκε αρχικά στην Ιατρική και μετά στη Θεολογία. Οι επιδόσεις του όμως και στους δύο αυτούς τομείς ήταν απογοητευτικές. Έτσι, όταν του προτάθηκε να μετάσχει ως άμισθος φυσιοδίφης σε μια υπερπόντια αποστολή για λογαριασμό του Βρετανικού Ναυτικού, είδε το ταξίδι αυτό ως μια ευκαιρία να ασχοληθεί με τη μελέτη του αγαπημένου του αντικείμενου.

Το ταξίδι με τη φρεγάτα «Beagle» (Ιχνηλάτης) ξεκίνησε το 1831 και διήρκεσε 5 χρόνια. Στο διάστημα αυτό ο Δαρβίνος είχε τη δυνατότητα να συλλέξει ένα πλήθος από διαφορετικά ζώα, φυτά αλλά και απολιθώματα, και να πραγματοποιήσει γεωλογικές, κλιματολογικές και ανθρωπολογικές παρατηρήσεις στις περιοχές που επισκέφθηκε (από τη ζούγκλα του Αμαζονίου και τις πεδιάδες της Αργεντινής ως τα υψίπεδα των Άνδεων και τα νησιά Γκαλαπάγκος). Ο Δαρβίνος, πριν από το ταξίδι, πίστευε, όπως οι περισσότεροι άνθρωποι της εποχής του, ό-



Εικόνα 3.6: Η διαδρομή που ακολούθησε η φρεγάτα «Beagle».

τι τα είδη είναι σταθερά και δε μεταβάλλονται. Το υλικό όμως που είχε συλλέξει και οι παρατηρήσεις που είχε πραγματοποιήσει δεν άργησαν να τον οδηγήσουν στην ιδέα ότι τα είδη μεταβάλλονται.

Αξίζει να αναφερθεί ότι ο Δαρβίνος, παρ' όλο που είχε αποσαφηνίσει τις βασικές αρχές της θεωρίας του ήδη από το 1839, τη δημοσίευσε αρκετά αργότερα, το 1858. Προβλέποντας τις φοβερές αντιδράσεις που θα προκαλούσε, ήθελε να συλλέξει πρόσθετο αποδεικτικό υλικό. Το βιβλίο του *Προέλευση των ειδών διά της φυσικής επιλογής* εξαντλήθηκε την πρώτη ημέρα της κυκλοφορίας του και παραμένει ακόμη και σήμερα ένα από τα βιβλία που έχουν πραγ-

ματοποιήσει τις περισσότερες εκδόσεις παγκοσμίως.

Η ανάπτυξη της θεωρίας της εξέλιξης με βάση τη φυσική επιλογή ήταν ένα αξιομνημόνευτο επίτευγμα του 19ου αιώνα, που εμπλούτισε την επιστήμη της Βιολογίας και άλλαξε ριζικά την άποψή μας για μας τους ίδιους και για το φυσικό κόσμο.

Τι υποστηρίζει όμως η θεωρία της φυσικής επιλογής;

Η θεωρία της φυσικής επιλογής μπορεί να συνοψιστεί σε 5 βασικές παρατηρήσεις και σε 3 συμπεράσματα που απορρέουν από αυτές.

- **Παρατήρηση 1.** Οι πληθυσμοί των διάφορων ειδών τείνουν να αυξάνονται από γενιά σε γενιά με ρυθμό γεωμετρικής προόδου.
- **Παρατήρηση 2.** Αν εξαιρεθούν οι εποχικές διακυμάνσεις, τα μεγέθη των πληθυσμών παραμένουν σχετικά σταθερά.
- **Συμπέρασμα 1.** Για να παραμείνει σταθερό το μέγεθος ενός πληθυσμού, παρά την τάση για αύξηση, μερικά άτομα δεν επιβιώνουν ή δεν αναπαράγονται. Συνεπώς μεταξύ των οργανισμών ενός πληθυσμού διεξάγεται ένας **αγώνας επιβίωσης**.

- **Παρατήρηση 3.** Τα άτομα ενός είδους δεν είναι όμοια. Στους πληθυσμούς υπάρχει μια τεράστια ποικιλομορφία όσον αφορά τα φυσικά χαρακτηριστικά των μελών τους.
- **Παρατήρηση 4.** Τα περισσότερα από τα χαρακτηριστικά των γονέων κληροδοτούνται στους απογόνους τους.
- **Συμπέρασμα 2.** Η επιτυχία στον αγώνα για την επιβίωση δεν είναι τυχαία. Αντιθέτως, εξαρτάται από το είδος των χαρακτηριστικών που έχει κληρονομήσει ένας οργανισμός από τους προγόνους του. Οι οργανισμοί οι οποίοι έχουν κληρονομήσει χαρακτηριστικά που τους βοηθούν να προσαρμόζονται καλύτερα στο περιβάλλον τους επιβιώνουν περισσότερο ή/και αφήνουν μεγαλύτερο αριθμό απογόνων από τους οργανισμούς οι οποίοι έχουν κληρονομήσει λιγότερο ευνοϊκά για την επιβίωσή τους χαρακτηριστικά.
- **Συμπέρασμα 3.** Τα ευνοϊκά για την επιβίωση χαρακτηριστικά μεταβιβάζονται στην επόμενη γενιά με μεγαλύτερη συχνότητα από τα λιγότερο ευνοϊκά, καθώς οι φορείς τους επιβιώνουν και αφήνουν μεγαλύτερο αριθμό απογόνων από τους φορείς των λιγότερο ευνοϊκών χαρακτηριστικών. Έτσι, με την πάροδο του χρόνου, η συσσώρευση όλο και περισσότερων ευνοϊκών χαρακτηριστικών σε έναν πληθυσμό μπορεί να οδηγήσει στην εμφάνιση ενός νέου είδους.

Η διαδικασία με την οποία οι οργανισμοί που είναι περισσότερο προσαρμοσμένοι στο περιβάλλον τους επιβιώνουν και αναπαράγονται περισσότερο από τους λιγότερο προσαρμοσμένους ονομάστηκε από τον Κάρολο Δαρβίνο **φυσική επιλογή**. Ο όρος χρησιμοποιήθηκε σε αντιδιαστολή με την τεχνητή επιλογή την οποία κάνει ο άνθρωπος κάθε φορά που επιλέγει τα καταλληλότερα ζώα (ή φυτά) ή αυτά που έχουν οικονομικό ενδιαφέρον, προκειμένου να παράγεται απογόνους με επιθυμητά χαρακτηριστικά.

Η θεωρία του Δαρβίνου προσέφερε μια απλή αλλά πειστική εξήγηση για την ποικιλία των ειδών στη Γη. Επειδή οι διάφορες περιοχές έχουν διαφορετικές συνθήκες και διαφορετικές ευκαιρίες επιβίωσης, διαφορετικοί οργανισμοί επιλέγονται από τη φυσική επιλογή ως οι πιο προσαρμοσμένοι στο συγκεκριμένο περιβάλλον.

Ο Δαρβίνος στα νησιά Γκαλαπάγκος

Το μέρος που εντυπωσίασε περισσότερο το Δαρβίνο στο ταξίδι του ήταν τα νησιά Γκαλαπάγκος, ένα σύμπλεγμα νησιών 600 μίλια από τις ακτές του Εκουαδόρ. Εκεί παρατήρησε διαφορετικά είδη χελωνών και σπίνων, τα οποία δεν υπήρχαν πουθενά αλλού στον κόσμο, ενώ διέφεραν και από νησί σε νησί. Τα ζώα αυτά έμοιαζαν μεταξύ τους αλλά και με είδη που υπήρχαν στην κοντινότερη ήπειρο (Νότια Αμερική). Κατά πάσα πιθανότητα είχαν κοινούς προγόνους, οι οποίοι είχαν φθάσει στα νησιά από την ηπειρωτική περιοχή, και στη συνέχεια κάθε είδος είχε προσαρμοστεί στις ιδιαίτερες συνθήκες κάθε νησιού.

Ο Δαρβίνος έγραψε: «Η φυσική ιστορία αυτών των νησιών είναι εξαιρετικά παράξενη και αξίζει να την προσέξει κανείς. Οι περισσότεροι ζωντανοί οργανισμοί είναι αυτόχθονες και δε βρίσκονται πουθενά αλλού. Υπάρχει διαφορά ακόμη και ανάμεσα στα έμβια όντα των διάφορων νησιών. Παρ' όλα αυτά, όλα δείχνουν μια σαφή συγγένεια με τους ζωντανούς οργανισμούς της Αμερικής, αν και τους χωρίζει από την ήπειρο αυτή μια θαλάσσια έκταση 500-600 μιλίων. Το αρχιπέλαγος είναι ένας μικρός κόσμος από μόνος του ή μάλλον ένας δορυφόρος προσδεδμεμένος στην Αμερική από όπου άντλησε λίγους αδέσποτους αποίκους. Λαμβάνοντας υπόψη το μικρό μέγεθος των νησιών, νιώθουμε την πιο μεγάλη έκπληξη μπροστά στον αριθμό των αυτόχθονων οργανισμών. Έτσι μέσα στο χώρο και το χρόνο φαίνεται να πλησιάζουμε όλο και πιο κοντά στο μεγάλο γεγονός – το μυστήριο των μυστηρίων – την εμφάνιση δηλαδή νέων ειδών πάνω στη Γη».



Στα νησιά Γκαλαπάγκος ο Δαρβίνος παρατήρησε 13 είδη σπίνων

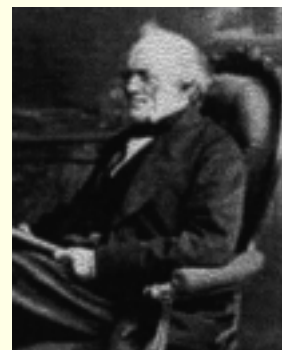


Γιγαντιαίες χελώνες στα νησιά Γκαλαπάγκος

Ch. Darwin

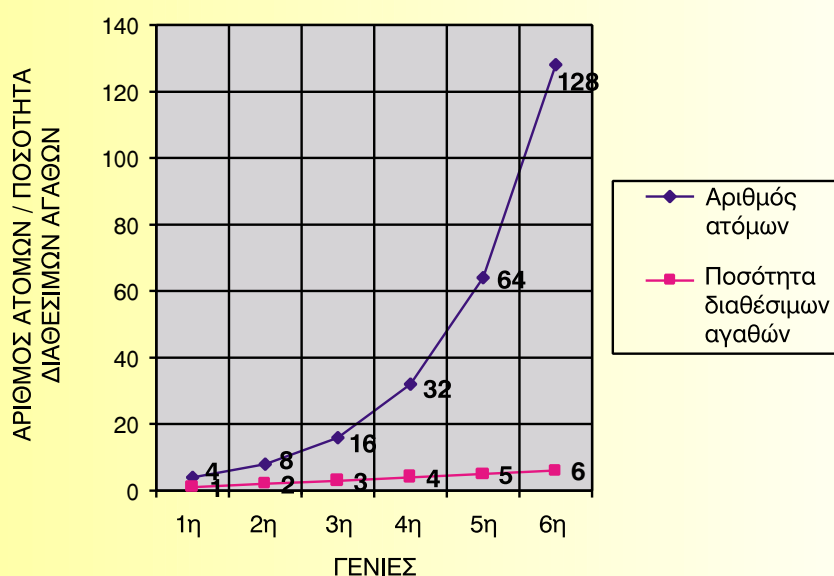
Η θεωρία του Μάλθους για το ρυθμό αύξησης του ανθρώπινου πληθυσμού

Η θεωρία του Δαρβίνου βασίστηκε στις προσωπικές του παρατηρήσεις αλλά και σε εργασίες άλλων επιστημόνων. Κατά τη διάρκεια του ταξιδιού του ο Δαρβίνος διάβασε το βιβλίο *Οι αρχές της Γεωλογίας*, γραμμένο από το διάσημο γεωλόγο της εποχής, τον Τσαρλς Λάουελ (Charles Lyell). Στο βιβλίο αυτό παρουσιαζόταν η άποψη ότι η επιφάνεια της Γης διαμορφώθηκε βαθμιαία από τη δράση της βροχής, των ανέμων, των σεισμών, των ηφαιστειακών εκρήξεων και άλλων φυσικών δυνάμεων που δρουν ακόμη και σήμερα. Αφού λοιπόν η Γη εξελίχθηκε στη διάρκεια του χρόνου, γιατί να μην έχει συμβεί το ίδιο και με τους οργανισμούς της;



Τσαρλς Λάουελ

Όμως, εκτός από τις *Αρχές της Γεωλογίας*, ο Δαρβίνος επηρεάστηκε και από ένα άλλο σύγγραμμα, το *Δοκίμιο επί των αρχών του πληθυσμού*, του οικονομολόγου Τόμας Μάλθους (Thomas Malthus). Στο σύγγραμμα αυτό ο Μάλθους υποστήριζε ότι ο ανθρώπινος πληθυσμός αυξάνεται με ρυθμό γεωμετρικής προόδου, εν αντιθέσει με τα διαθέσιμα αγαθά, τα οποία αυξάνονται με ρυθμό αριθμητικής προόδου.



Σύγκριση του ρυθμού αύξησης των πληθυσμών με το ρυθμό αύξησης των διαθέσιμων τροφίμων σύμφωνα με το Μάλθους

Κατά την άποψη του Μάλθους, ο έλεγχος του μεγέθους του ανθρώπινου πληθυσμού ήταν απαραίτητος, προκειμένου να διατηρείται το ισοζύγιο ανάμεσα σ' αυτόν και τις διαθέσιμες ποσότητες φυσικών αγαθών. Ο Δαρβίνος απέδωσε τη σταθερότητα του μεγέθους των πληθυσμών στη δράση της φυσικής επιλογής.

Πάντως ο Μάλθους, αν και επιβεβαιώθηκε ως προς το ρυθμό αύξησης του ανθρώπινου πληθυσμού, διαψεύστηκε ως προς το ρυθμό αύξησης των φυσικών αγαθών. Οι σύγχρονες μέθοδοι γεωργίας και κτηνοτροφίας έχουν αυξήσει με πολύ μεγαλύτερους ρυθμούς την παραγωγή της τροφής, μια δίκαιη κατανομή της οποίας θα μπορούσε να ικανοποιήσει τις ανάγκες όλης της ανθρωπότητας.

3.1.4 Μερικές χρήσιμες αποσαφηνίσεις στη θεωρία της φυσικής επιλογής

Ένα από τα σημεία που χρειάζονται αποσαφήνιση στη θεωρία που διατύπωσε ο Δαρβίνος είναι το πού τελικά δρα η φυσική επιλογή. Για την εξελικτική λοιπόν θεωρία η φυσική επιλογή δρα στον πληθυσμό και συνεπώς ο πληθυσμός αντιπροσωπεύει τη μικρότερη δυνατή μονάδα που μπορεί να εξελιχθεί.

Αυτό φαίνεται παράδοξο, καθώς η φυσική επιλογή περιλαμβάνει αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα μεμονωμένα άτομα και το περιβάλλον τους, οπότε θα ήταν λογικότερο τα μεμονωμένα άτομα να αποτελούν τη μονάδα της εξέλιξης και όχι οι πληθυσμοί. Όμως ένα μεμονωμένο άτομο μπορεί να παρουσιάσει ένα, το πολύ, νέο χαρακτηριστικό είτε λόγω μεταβολής του γενετικού υλικού του (μετάλλαξη) είτε λόγω της επίδρασης του περιβάλλοντός του (επίκτητο γνώρισμα). Αντιθέτως η εξέλιξη απαιτεί συσσώρευση πολλών νέων κληρονομήσιμων χαρακτηριστικών που έχουν εδραιωθεί στους πληθυσμούς διαδοχικών γενεών με τη δράση της φυσικής επιλογής.

Πρέπει επίσης να τονιστεί ότι η δράση της φυσικής επιλογής είναι τοπικά και χρονικά προσδιορισμένη. Οι συνθήκες του περιβάλλοντος διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή και από χρονική στιγμή σε χρονική στιγμή. Έτσι είναι δυνατόν ένα χαρακτηριστικό που αποδεικνύεται προσαρμοστικό σε μια περιοχή μια καθορισμένη χρονική στιγμή να είναι άχρηστο ή και δυσμενές σε μια άλλη περιοχή ή σε μια άλλη χρονική στιγμή.

3.1.5 Η φυσική επιλογή εν δράσει

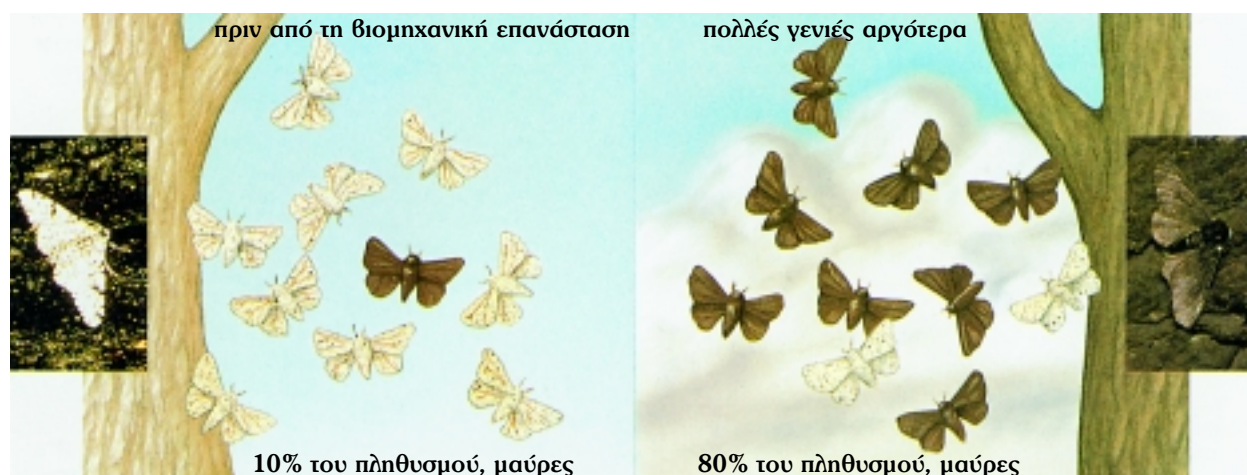
Ένα πολύ γνωστό παράδειγμα δράσης της φυσικής επιλογής είναι αυτό της πεταλούδας *Biston betularia*, ενός εντόμου που είναι πολύ διαδεδομένο στην Αγγλία και στη Σκωτία.

Η πεταλούδα αυτή συναντιέται σε δύο παραλλαγές που διαφέρουν ως προς το χρωματισμό τους. Η μία είναι ανοιχτόχρωμη και φέρει σκούρες κηλίδες στις πτέρυγές της, ενώ η άλλη είναι εξ ολοκλήρου μαύρη.

Πριν από τη Βιομηχανική Επανάσταση πολυπληθέστερες ήταν οι ανοιχτόχρωμες πεταλούδες, ενώ οι μαύρες ήταν ελάχι-



Εικόνα 3.7: Οι δύο παραλλαγές της πεταλούδας *Biston betularia*, που διαφέρουν ως προς το χρωματισμό τους.



Εικόνα 3.8: Βιομηχανικός μελανισμός: το ποσοστό των μαύρων πεταλούδων αυξήθηκε, επειδή η μαύρη πεταλούδα έχει περισσότερες πιθανότητες από την ανοιχτόχρωμη να επιβιώσει στους μαυρισμένους από τη ρύπανση κορμούς.

στες. Μετά όμως τη Βιομηχανική Επανάσταση τα πράγματα άλλαξαν ριζικά: βαθμιαία άρχισαν να επικρατούν οι μαύρες πεταλούδες, έτσι ώστε στις αρχές του 20ού αιώνα να αποτελούν αυτές τη μοναδική σχεδόν παραλλαγή πεταλούδας σε πολλές βιομηχανικές περιοχές (όπως το Μάντσεστερ).

Το φαινόμενο αυτό, το οποίο συσχετίστηκε με τη βιομηχανική ρύπανση, ονομάστηκε **βιομηχανικός μελανισμός** και έκτοτε έχει παρατηρηθεί σε δεκάδες είδη εντόμων που ζουν σε βιομηχανικές περιοχές.

Η εξήγηση του φαινομένου βρίσκεται στη δράση της φυσικής επιλογής. Πριν από τη Βιομηχανική Επανάσταση οι κορμοί των δέντρων είχαν το φυσικό ανοιχτό χρώμα τους. Οι ανοιχτόχρωμες πεταλούδες που αναπαύονταν επάνω τους (γιατί η πεταλούδα αυτή τρέφεται τη νύχτα και αναπαύεται την ημέρα) διακρίνονταν δυσκολότερα από τους θηρευτές τους, τα εντομοφάγα πτηνά, σε σχέση με τις μαύρες. Για το λόγο αυτό επικράτησαν στους τοπικούς πληθυσμούς της πεταλούδας, αφού είχαν μεγαλύτερες πιθανότητες επιβίωσης – και μεταβίβασης του χαρακτηριστικού τους (ανοιχτό χρώμα πτερύγων) στις επόμενες γενιές – από τις μαύρες.

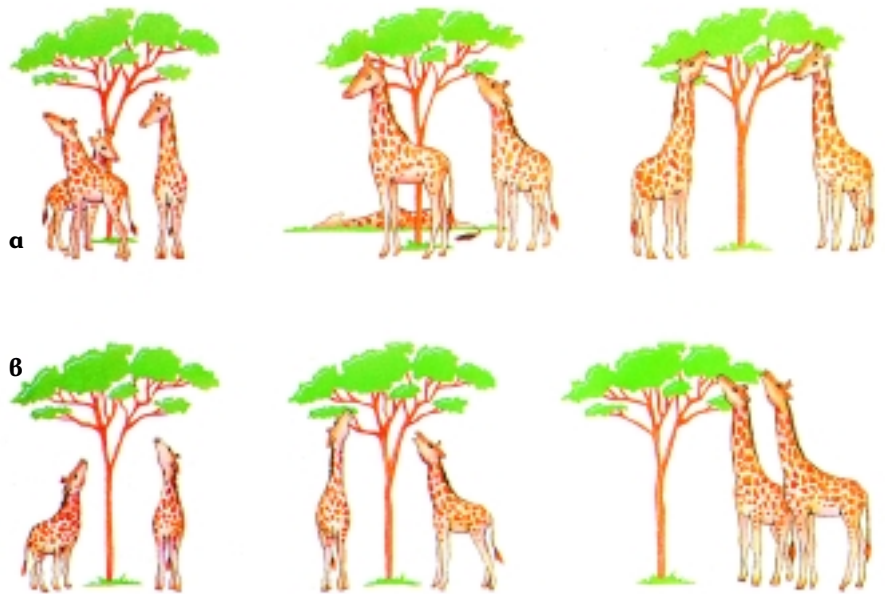
Όταν μαύρισαν οι κορμοί των δέντρων ε-

ξαιτίας της βιομηχανικής ρύπανσης, η δράση της φυσικής επιλογής αντιστράφηκε. Το προσαρμοστικό πλεονέκτημα το είχαν πλέον οι μαύρες πεταλούδες, που ήταν περισσότερο δυσδιάκριτες στους κορμούς από τις ανοιχτόχρωμες. Έτσι βαθμιαία άρχισαν να επικρατούν αριθμητικά, καθώς επιβίωναν περισσότερο και μεταβίβαζαν με μεγαλύτερη συχνότητα το χρωματισμό τους στις επόμενες γενιές από τις ανοιχτόχρωμες.

Πρέπει όμως στο σημείο αυτό να γίνει μια επισήμανση προκειμένου να αποφευχθούν πιθανές παρανοήσεις για το μηχανισμό με τον οποίο προχωρεί η εξέλιξη. Οι πεταλούδες δεν ανταποκρίθηκαν στη μεταβολή του περιβάλλοντος (μαύρισμα των κορμών των δέντρων) αναπτύσσοντας ένα γνώρισμα που δεν υπήρχε προηγουμένως (όπως θα μπορούσε να ισχυριστεί ένας οπαδός της θεωρίας του Λαμάρκ), καθώς η μαύρη παραλλαγή τους προϋπήρχε της Βιομηχανικής Επανάστασης. Απλώς η φυσική επιλογή έδρασε ευνοώντας από τα υπάρχοντα κληρονομήσιμα χαρακτηριστικά εκείνο που προσέδιδε μεγαλύτερες πιθανότητες επιβίωσης στο φορέα του (ανοιχτός χρωματισμός όταν οι κορμοί ήταν ανοιχτόχρωμοι, μαύρος χρωματισμός όταν οι κορμοί έγιναν σκούροι).

3.1.6 Σύγκριση της θεωρίας του Λαμάρκ με τη θεωρία του Δαρβίνου

Για μια ακόμη καλύτερη σύγκριση των θεωριών του Λαμάρκ και του Δαρβίνου – πέρα από την παρατήρηση που έγινε στην προηγούμενη ενότητα – μπορούμε να καταφύγουμε σε ένα υποθετικό παράδειγμα. Ο Λαμάρκ εξήγησε την εμφάνιση ψηλού λαιμού στις καμηλοπαρδάλεις με βάση την αρχή της χρήσης και της αχρησίας και την αρχή της κληρονομικής μεταβίβασης των επίκτητων χαρακτηριστικών. Ο Δαρβίνος πώς θα εξηγούσε άραγε την επικράτηση του ίδιου γνωρίσματος με βάση τη θεωρία της φυσικής επιλογής;



Εικόνα 3.9: α) Θεωρία Δαρβίνου, β) θεωρία Λαμάρκ

Θεωρία του Λαμάρκ	Θεωρία του Δαρβίνου
Οι καμηλοπαρδάλεις δημιουργήθηκαν από οργανισμούς κατώτερων βαθμίδων διαμέσου της φυσικής κλίμακας .	Στο φυλογενετικό δέντρο των καμηλοπαρδάλων, σε κάποιο προγονικό είδος, υπήρχαν ζώα με λαιμούς ποικίλου μήκους.
Τα χαμηλότερα κλαδιά απογυμνώθηκαν από τα φύλλα τους, οπότε προέκυψε η ανάγκη για πρόσβαση των καμηλοπαρδάλων, που ως τότε είχαν κοντούς λαιμούς, στα ψηλότερα κλαδιά.	Ο αριθμός των ζώων που γεννιούνται ήταν πολύ μεγαλύτερος από τον αριθμό των ζώων που μπορούσε να θρέψει το περιβάλλον. Προέκυψε λοιπόν η ανάγκη ελέγχου του μεγέθους του πληθυσμού τους.
Σύμφωνα με την αρχή της χρήσης και της αχρησίας , ορισμένα ζώα τέντωναν το λαιμό τους, για να φτάνουν τα ψηλά κλαδιά. Με το συνεχές τέντωμα και με τη βοήθεια μιας εσωτερικής δύναμης ο λαιμός τους μάκρυνε (τα ζώα δεν εξαφανίστηκαν).	Η φυσική επιλογή ευνόησε τα άτομα με τον ψηλότερο λαιμό, γιατί μπορούσαν να προσεγγίσουν τροφή καλύτερης ποιότητας ή μεγαλύτερης ποσότητας. Τα άτομα με κοντό λαιμό σταδιακά λιγόστευαν και τελικά εξαφανίστηκαν .
Σύμφωνα με την αρχή της κληρονομικής μεταβίβασης των επίκτητων χαρακτηριστικών , ο μακρύς λαιμός κληροδοτήθηκε στους απογόνους και αποτέλεσε χαρακτηριστικό του είδους τους.	Ο μακρύς λαιμός κληροδοτήθηκε στους απογόνους και αποτέλεσε χαρακτηριστικό του είδους τους.

3.2 Η ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΣΥΝΘΕΣΗ

Μετά τη δημοσίευση της εργασίας του Κάρολου Δαρβίνου οι περισσότεροι από τους βιολόγους της εποχής συμφωνούσαν ότι η ιδέα της εξέλιξης είναι μια πραγματικότητα. Η άποψη όμως του Δαρβίνου ότι ο μηχανισμός με τον οποίο προχωρεί η εξέλιξη είναι η φυσική επιλογή δεν είχε γίνει ακόμη εντελώς αποδεκτή. Ο σημαντικότερος λόγος γι' αυτό ήταν ότι εκείνη την εποχή έλειπε μια πειστική θεωρία για την κληρονομικότητα, μια θεωρία δηλαδή που να μπορεί να εξηγήσει πώς μεταβιβάζονται τα χαρακτηριστικά από τους γονείς στους απογόνους αλλά και πώς δημιουργούνται νέα.

Ο Δαρβίνος είχε καταλάβει ότι το κλειδί για την εξήγηση της θεωρίας του ήταν η κληρονομικότητα. Η έλλειψη όμως μιας σχετικής θεωρίας τον ανάγκασε να αποδεχτεί τη θεωρία της κληρονομικής μεταβίβασης των επίκτητων χαρακτηριστικών του Λαμάρκ, η οποία βεβαίως ερχόταν σε διάσταση με το δικό του μοντέλο για την εξέλιξη.

Από ένα παράδοξο παιχνίδι της τύχης, την εποχή που ο Δαρβίνος καταπιανόταν με τη στήριξη της θεωρίας του, ο Γρηγόριος Μέντελ (1822-1884) δημοσίευσε την εργασία του για την κληρονομικότητα, μια εργασία η οποία θα είχε δώσει στο Δαρβίνο, αν ήταν ενήμερος γι' αυτήν, την απαραίτητη γενετική βάση προκειμένου να εδραιώσει τη θεωρία της φυσικής επιλογής.

Το τοπίο όμως στις αρχές της δεκαετίας του 1940 είχε αλλάξει ριζικά. Η εργασία του Μέντελ, δηλαδή η κλασική Γενετική, ήταν από καιρό αποδεκτή και έτσι είχε επιλυθεί το πρόβλημα του τρόπου μεταβίβασης των κληρονομικών χαρακτηριστικών. Επιπλέον είχε γίνει κατανοητή η σημασία των μεταλλάξεων, δηλαδή των δραστικών μεταβολών του γενετικού υλικού στην εμφάνιση νέων χαρακτηριστικών, ενώ είχε κα-

θιερωθεί ένας νέος κλάδος στη Γενετική, η Γενετική Πληθυσμών, χάρη στην οποία η εξέλιξη συνδέθηκε με τις μεταβολές των συχνοτήτων των γονιδίων στους πληθυσμούς.

Αποτέλεσμα αυτών των δεδομένων ήταν η επαναδιατύπωση της θεωρίας του Δαρβίνου σε μια σύγχρονη θεωρία για την εξέλιξη, τη συνθετική θεωρία. Η συνθετική θεωρία δεν αναιρεί τον πυρήνα της συλλογιστικής του Δαρβίνου, αντίθετα τον εμπλουτίζει με τα νέα δεδομένα από τις ανακαλύψεις της Μοριακής Βιολογίας και της Γενετικής Πληθυσμών.

3.2.1 Οι παράγοντες που διαμορφώνουν την εξελικτική πορεία

Σύμφωνα με τη νέα αντίληψη για την εξέλιξη, οι παράγοντες που διαμορφώνουν την εξελικτική πορεία είναι η ποικιλομορφία των κληρονομικών χαρακτηριστικών, η φυσική επιλογή και η γενετική απομόνωση.

- **Ποικιλομορφία:** Όπως έχει ήδη αναφερθεί, αν εξαιρέσουμε τους μονοζυγωτικούς διδύμους και τα άτομα που ανήκουν στον ίδιο κλώνο μικροοργανισμών, δεν υπάρχει κανένας οργανισμός επάνω στη Γη που να είναι απολύτως όμοιος με κάποιον άλλο. Ανάμεσα στους βασικούς μηχανισμούς με τους οποίους δημιουργείται ο απέρα-



Εικόνα 3.10: Ποικιλομορφία

ντος πλούτος των μορφών ζωής, δηλαδή η ποικιλομορφία, περιλαμβάνονται οι γονιδιακές μεταλλάξεις. Οι μεταλλάξεις οφείλονται είτε σε τυχαία λάθη κατά την αντιγραφή του DNA είτε σε φυσικούς ή χημικούς παράγοντες που αλλοιώνουν τη δομή του DNA. Χάρη σ' αυτές δημιουργούνται νέα γονίδια που καθορίζουν την εμφάνιση νέων χαρακτηριστικών. Τα χαρακτηριστικά αυτά, στις περισσότερες περιπτώσεις, δεν είναι επωφελή για το φορέα τους. Ωστόσο, σε μερικές περιπτώσεις, είναι πιθανόν μια μετάλλαξη να προσφέρει αυξημένες δυνατότητες επιβίωσης στο άτομο που την υπέστη, επειδή τυχαίνει το χαρακτηριστικό που δημιουργεί να είναι συμβατό με τις νέες συνθήκες που επικρατούν στο περιβάλλον.

Οι μεταλλάξεις από μόνες τους δεν είναι ικανές να προσανατολίσουν την εξελικτική πορεία προς ορισμένη κατεύθυνση, προσφέρουν όμως το υλικό επάνω στο οποίο δρα η φυσική επιλογή.

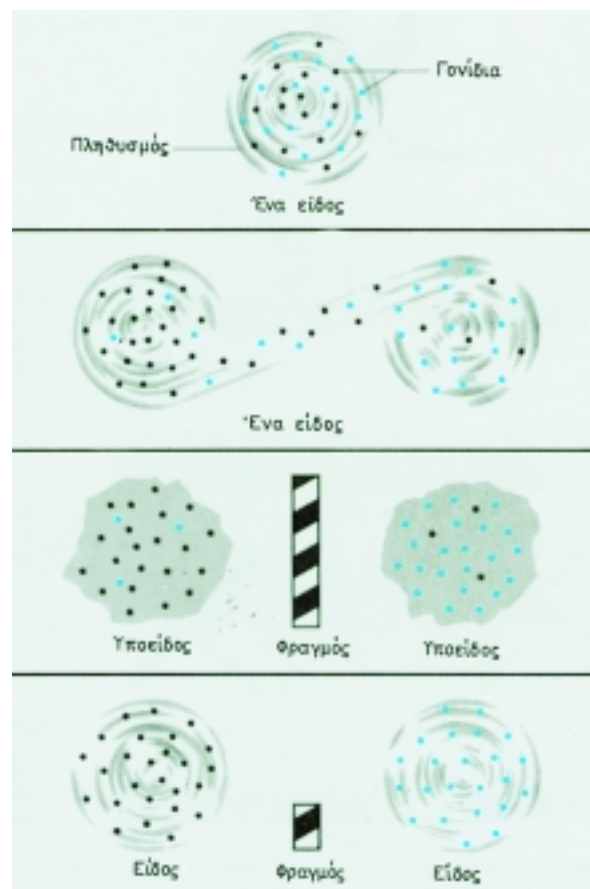
- **Φυσική επιλογή:** Η φυσική επιλογή είναι η διαδικασία η οποία καθορίζει την τύχη των γονιδίων στις επόμενες γενιές. Με αυτή τη διαδικασία μεταβάλλεται η συχνότητά τους, δηλαδή το ποσοστό με το οποίο απαντά ένα γονίδιο σε έναν πληθυσμό. Κάποιοι συνδυασμοί γονιδίων προσδίδουν στους φορείς τους είτε μεγαλύτερη βιωσιμότητα είτε μεγαλύτερη αναπαραγωγική ικανότητα.

Με τη φυσική επιλογή επιλέγονται τα άτομα που πλεονεκτούν έναντι των άλλων, γιατί παρουσιάζουν μεγαλύτερες δυνατότητες επιβίωσης στο συγκεκριμένο περιβάλλον, είναι δηλαδή τα καλύτερα προσαρμοσμένα άτομα. Τα γονίδια των επιλεγμένων ατόμων αυξάνουν τη συχνότητα εμφάνισής τους στον πληθυσμό και στο τέλος επικρατούν. Σταδιακά πληθαίνουν τα χαρα-

κτηριστικά των ατόμων που επιλέγονται, ενώ τα χαρακτηριστικά των ατόμων που εξαφανίζονται γίνονται όλο και πιο σπάνια.

Με τη φυσική επιλογή αυξάνεται η συχνότητα εμφάνισης των γονιδίων που είναι ευνοϊκά για την επιβίωση και την αναπαραγωγή των ατόμων.

- **Γενετική απομόνωση:** Προϋπόθεση για την ολοκλήρωση της εξελικτικής διαδικασίας είναι να απομονωθούν γενετικά οι πληθυσμοί του ίδιου είδους, ώστε να ακολουθήσουν διαφορετική εξελικτική πορεία που θα οδηγήσει στη δημιουργία ενός νέου είδους. Από τους σημαντικότερους μηχανισμούς απομόνωσης είναι η γεωγραφική απομόνωση. Σ' αυτήν ένας πληθυσμός χω-



Εικόνα 3.11: Απλό μοντέλο ειδογένεσης

ρίζεται σε ομάδες λόγω κάποιου γεωγραφικού φραγμού (π.χ. δημιουργία νησιών, σχηματισμός λιμνών, εμφάνιση βουνών, αλλαγές στις κλιματικές συνθήκες). Οι ομάδες αναπτύσσονται ξεχωριστά και δεν είναι δυνατή η διασταύρωση των μελών τους και επομένως η ανταλλαγή γονιδίων. Τα άτομα συνεχίζουν να εμφανίζουν αλλαγές

στο γενετικό υλικό τους και να υφίστανται διαφορετικά τη δράση της φυσικής επιλογής. Αυτό σταδιακά οδηγεί σε διαφοροποιήσεις, οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία νέων ειδών.

Πώς δημιουργούνται τα νέα είδη

Στη διαδικασία προσαρμογής των πληθυσμών στις μεταβολές του περιβάλλοντος προκαλούνται αλλαγές στη γενετική τους δομή, με αποτέλεσμα οι πληθυσμοί να εκδηλώνουν διαφορές στη μορφολογία και τη φυσιολογία τους. Όταν οι αλλαγές αυτές προχωρήσουν στο σημείο που δεν είναι δυνατή η γέννηση βιώσιμων και γόνιμων απογόνων (αναπαραγωγική απομόνωση), τότε έχουμε τη δημιουργία ενός καινούριου είδους. Η διαδικασία δημιουργίας ενός νέου είδους ονομάζεται ειδογένεση.

Προϋπόθεση για να αλλάξει η γενετική δομή των πληθυσμών είναι οι πληθυσμοί να ζουν απομονωμένοι μεταξύ τους. Η απομόνωση μπορεί να είναι γεωγραφική ή αναπαραγωγική. Φυσικά αίτια όπως βουνά, φαράγγια κτλ. πιθανόν να λειτουργήσουν ως γεωγραφικά εμπόδια, τα οποία παρεμποδίζουν την ανταλλαγή γονιδίων ανάμεσα σε δύο πληθυσμούς. Πληθυσμοί που ζουν χωριστά για μακρά χρονικά διαστήματα πιθανόν να αναπτύξουν αναπαραγωγική απομόνωση.

Η αναπαραγωγική απομόνωση μπορεί να οφείλεται σε μηχανισμούς που δεν επιτρέπουν τη συνένωση των δύο πληθυσμών, όπως είναι για παράδειγμα η διαφορετική ανατομία των γεννητικών τους οργάνων, η διαφορετική αναπαραγωγική εποχή και ο διαφορετικός χώρος κατοικίας, ή σε μηχανισμούς που δεν επιτρέπουν τη βιωσιμότητα των απογόνων, όπως είναι για παράδειγμα η ύπαρξη διαφορετικού αριθμού χρωμοσωμάτων στους γαμέτες.

Όσον αφορά την απλούστερη περίπτωση ειδογένεσης, μπορεί κανείς να υποθέσει ότι η σειρά εξέλιξης των γεγονότων έχει ως εξής:

1. Δύο πληθυσμοί ενός είδους απομονώνονται, ώστε η αναπαραγωγή μεταξύ τους να είναι αδύνατη. Συνήθως η απομόνωση των πληθυσμών οφείλεται σε μεγάλες αποστάσεις ή σε κάποιο γεωγραφικό εμπόδιο. Η αναπαραγωγική όμως απομόνωση είναι δυνατό να προκύψει και από αιτίες εποχικές, λειτουργικές ή συμπεριφορές.
2. Τα αποθέματα των γονιδίων των δύο πληθυσμών δεν επικοινωνούν. Με την πάροδο του χρόνου μεταλλάξεις και επιλογή κάνουν τους δύο πληθυσμούς γενετικά διαφορετικούς, ώστε να μην μπορούν πλέον να αποκτήσουν βιώσιμους και γόνιμους απογόνους.
3. Όταν παρατηρηθεί αυτό, η διαδικασία της ειδογένεσης έχει ολοκληρωθεί. Δύο είδη υπάρχουν εκεί που πριν υπήρχε ένα.

3.3 ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η ΦΥΛΟΓΕΝΕΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟ ΠΟΥ ΑΝΤΛΟΥΜΕ ΣΧΕΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η δημιουργία νέων ειδών από ένα προγενέστερο είδος μπορεί να παρομοιαστεί με την απόσχιση δύο κλαδιών από την ίδια κορυφή ενός δέντρου. Αν μάλιστα στην παρομοίωση αυτή συμπεριληφθούν και οι προγενέστερες μορφές ειδών, τότε μπορεί να κατασκευαστεί ένα φυλογενετικό δέντρο του οποίου ο κορμός παριστάνει το αρχικό είδος και τα κλαδιά τα νέα είδη που προέκυψαν από αυτό. Κατ' αυτό τον τρόπο ένα φυλογενετικό δέντρο απεικονίζει τα στάδια από τα οποία έχουν περάσει οι ενήλικες μορφές των ειδών που παρουσιάζει. Οι πληροφορίες για την κατασκευή του φυλογενετικού δέντρου ενός είδους αντλούνται από πηγές που ήταν ήδη διαθέσιμες από την εποχή του Δαρβίνου, όπως είναι τα απολιθώματα, οι συγκριτικές ανατομικές και εμβρυολογικές μελέτες, αλλά και από νεότερες πηγές, όπως είναι η Βιοχημεία και η Μοριακή Βιολογία. Οι πληροφορίες αυτές συνδυάζονται μεταξύ τους από τους επιστήμονες όπως τα κομμάτια ενός παζλ και

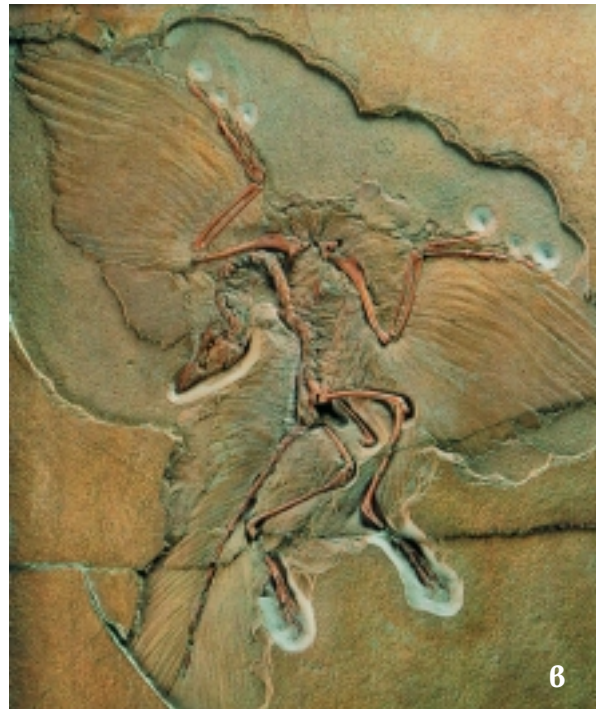
κατασκευάζονται τα φυλογενετικά δέντρα που δείχνουν τις εξελικτικές σχέσεις ανάμεσα στα είδη που μελετώνται.



Εικόνα 3.12: Παραδείγματα απολιθωμάτων: α) έντομο παγιδευμένο σε κεχριμπάρι, β) απολιθώμα του Αρχαιοπτέρυγος, του πρώτου γνωστού πτηνού (ηλικίας 150 εκατ. ετών), γ) απολιθωμένος σκελετός Δεινόσαυρου

1. Δεδομένα από την Παλαιοντολογία

Η Παλαιοντολογία μελετά τα απολιθώματα, τα οποία είναι υπολείμματα οργανισμών που έζησαν στο μακρινό παρελθόν. Τα α-



πολιθώματα είναι συνήθως τα σκληρά τμήματα ενός οργανισμού όπως τα δόντια, ο εξωσκελετός, τα οστά. Στα υπολείμματα αυ-

τά, με την πάροδο του χρόνου, οι οργανικές ουσίες αντικαταστάθηκαν από ανόργανες, οι οποίες τα μετέτρεψαν σε «λίθους». Με τον όρο όμως «απολιθώμα» αναφερόμαστε σε κάθε ίχνος ζωής του παρελθόντος, όπως είναι τα αποτυπώματα φυτών ή ζώων σε βράχους. Ένας άλλος τύπος απολιθωμάτων προκύπτει όταν κάποιο ζώο, συνήθως έντομο, παγιδευτεί σε ρητίνη. Τα απολιθώματα αυτά είναι πολύ καλά διατηρημένα, γεγονός που επιτρέπει στους ερευνητές να μελετήσουν τη φυσιολογία, τη συμπεριφορά και την οικολογία των εντόμων. Τα απολιθώματα μαρτυρούν την ιστορία της ζωής στον πλανήτη μας και υποστηρί-

ζουν την ιδέα ότι η ζωή έχει εξελιχθεί κατά τη διάρκεια μεγάλων χρονικών περιόδων από απλές σε πιο περίπλοκες μορφές.

Την εποχή του Δαρβίνου οι γεωλόγοι εκτιμούσαν την ηλικία των απολιθωμάτων από τη θέση των πετρωμάτων στα οποία αυτά βρέθηκαν. Τα κατώτερα στρώματα των πετρωμάτων είναι συνήθως τα αρχαιότερα, ενώ τα πιο πρόσφατα απολιθώματα βρίσκονται στα ανώτερα στρώματα. Σήμερα τα πετρώματα και τα απολιθώματα χρονολογούνται με τη μέθοδο της ραδιοχρονολόγησης, υπολογίζοντας το βαθμό διάσπασης συγκεκριμένων ραδιενεργών στοιχείων που υπάρχουν σ' αυτά.

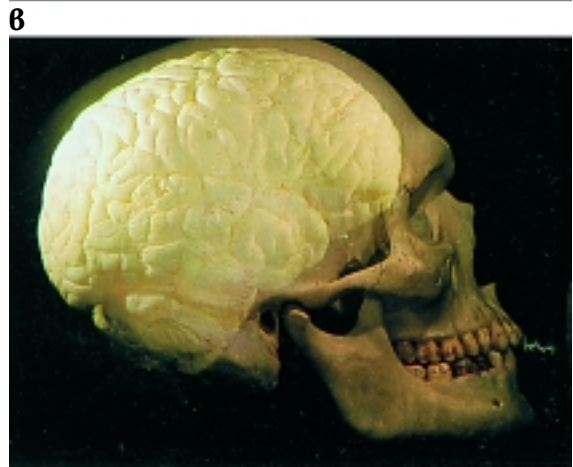


Εικόνα 3.13: Απολιθώματα από την Ελλάδα: α) σπόνδυλοι θηλαστικού από τη Σάμο, β) αμμωνίτης από το Μπαλί Ρεθύμνου, γ) τμήμα απολιθωμένου κορμού κωνοφόρου δέντρου (ηλικίας 20 εκατ. ετών) και δ) αποτύπωμα φύλλου από το απολιθωμένο δάσος στο Σίγρι Μυτιλήνης

Συγκρίνοντας τα χαρακτηριστικά ενός απολιθώματος με άλλα, αλλά και με σύγχρονους οργανισμούς, μπορούμε να εκτιμήσουμε την εξελικτική πορεία ενός είδους.

Για παράδειγμα, από τη μελέτη των απολιθωμάτων προγονικών μορφών του είδους μας μπορούμε να πάρουμε πλήθος πληροφοριών:

- Από το σχήμα των οστών της λεκάνης, από το μήκος των άνω άκρων σε σχέση με το μήκος των κάτω άκρων ή από τα αποτυπώματα του πέλματος σε ηφαιστειακές στάχτες συμπεραίνουμε αν ο οργανισμός βάδιζε σε δύο ή σε τέσσερα άκρα.
- Η αυξημένη κρανιακή χωρητικότητα και η ύπαρξη εργαλείων κοντά στα παλαιοντολογικά ευρήματά μας δίνουν πληροφορίες για τη νοημοσύνη του οργανισμού.
- Η μελέτη της οδοντοστοιχίας του οργανισμού ή μόνο κάποιων δοντιών του, τα ίχνη φωτιάς, η ύπαρξη οστών από



Εικόνα 3.14: α) Σύγκριση της σπονδυλικής στήλης του ανθρώπου και του χιμπατζή, β) σύγκριση του κρανίου και του εγκεφάλου (επάνω: χιμπατζής, κάτω: άνθρωπος), γ) αντιτακτό δάχτυλο στα πόδια του χιμπατζή

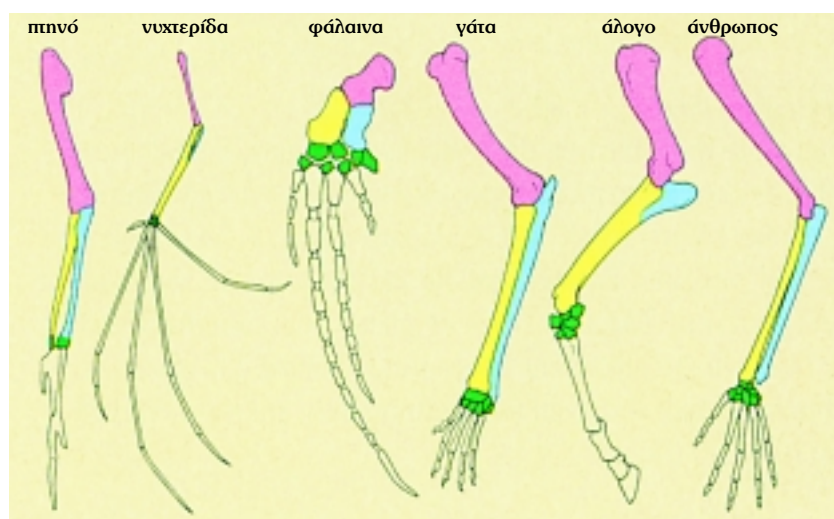
άλλα ζώα είναι ικανά να «προδώσουν» τις διατροφικές συνήθειές του.

- Η χρονολόγηση των απολιθωμάτων, το βάθος στο οποίο αυτά ανακαλύφθηκαν, αλλά και η εξέταση των κόκκων γύρης που ενδεχομένως βρέθηκαν μαζί με τα οστά δίνουν ενδείξεις για το κλίμα που επικρατούσε την εποχή εκείνη.

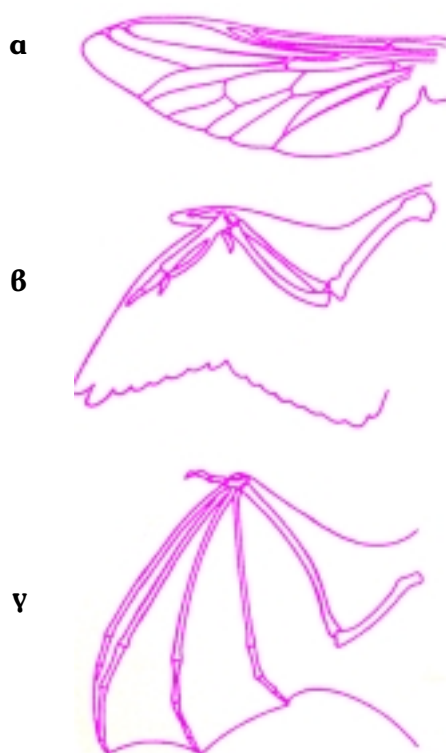
Δυστυχώς το αρχείο των απολιθωμάτων δεν είναι πλήρες. Αυτό οφείλεται στο ότι η δημιουργία των απολιθωμάτων, καθώς και η ανακάλυψή τους, είναι κατά κύριο λόγο μια τυχαία διαδικασία. Επιπλέον δεν απολιθώθηκαν όλοι οι οργανισμοί, γιατί δεν αποτελούνται όλοι από σκληρά μέρη. Πολλά εξάλλου απολιθώματα μπορεί να καταστράφηκαν από σεισμούς, ηφαιστειακές εκρήξεις κ.ά. Όλα αυτά έχουν ως αποτέλεσμα να μην υπάρχει ένα πλήρες αρχείο απολιθωμάτων για όλους τους οργανισμούς που έζησαν κάποτε στη Γη. Έτσι το φυλογενετικό δέντρο που κατασκευάζεται είναι ένα παζλ από το οποίο όμως λείπουν κομμάτια.

2. Δεδομένα από την Ανατομία

Συγκριτικές μελέτες διάφορων ζώων παρέχουν ισχυρές ενδείξεις για την εξέλιξη των ειδών. Για παράδειγμα, σε διάφορα είδη σπονδυλωτών τα άνω άκρα αποτελούνται από την ίδια βασική σειρά οστών, τροποποιημένων άλλοτε σε φτερό (π.χ. στη νυχτερίδα), άλλοτε σε πτερύγιο (π.χ. στη φώκια), άλλοτε σε πόδι (π.χ. στο βάτραχο ή στο άλογο). Αυτά τα όργανα ονομάζονται **ομόλογα** και έχουν την ίδια φυλογενετική προέλευση, όμοια κατασκευή, αλλά διαφέρουν στη λειτουργία. Τα όργανα όμως που έχουν παρόμοια λειτουργία αλλά διαφορετική εμβρυϊκή προέλευση, όπως είναι για παράδειγμα η επιφάνεια των πτερυγίων των πουλιών (από φτερά), των νυχτερίδων (από δέρμα) και της πεταλούδας (από υμένα



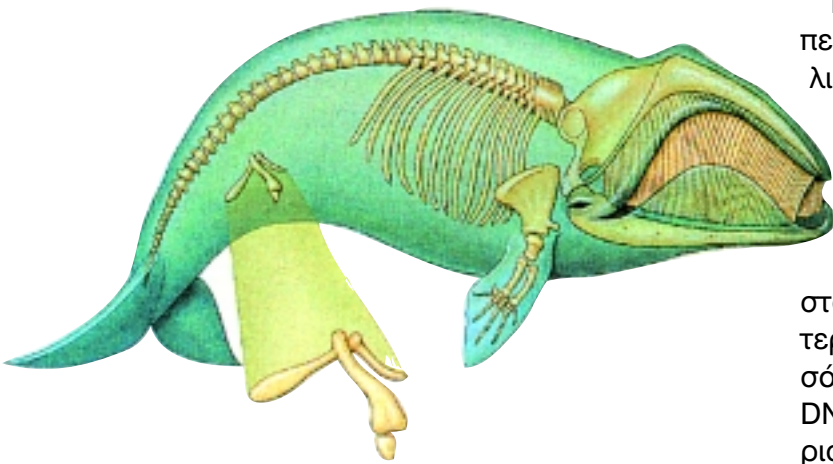
Εικόνα 3.15: Τα άκρα των σπονδυλωτών είναι ομόλογα.



Εικόνα 3.16: Οι πτέρυγες της μύγας (α) τα φτερά των πουλιών (β) και το δέρμα που καλύπτει τα άνω άκρα της νυχτερίδας (γ) χαρακτηρίζονται ως ανάλογα όργανα, επειδή, παρ' όλο που έχουν διαφορετική κατασκευή και φυλογενετική προέλευση, εκτελούν την ίδια λειτουργία.

που είναι συνέχεια του εξωσκελετού της), είναι **ανάλογα** όργανα.

Πολλοί οργανισμοί έχουν όργανα ή δομές χωρίς κάποια εμφανή λειτουργία. Για παράδειγμα, η φάλαινα, που δε διαθέτει κάτω άκρα, έχει στην κοιλιά της υπολείμματα των οστών της λεκάνης και των κάτω άκρων. Αυτό υποδηλώνει ότι η φάλαινα προήλθε από τετράποδα θηλαστικά. Τα όργανα αυτά ονομάζονται υπολειμματικά και αποτελούν ενδείξεις για την κοινή καταγωγή των οργανισμών που τα φέρουν.



Εικόνα 3.17: Υπολειμματικά όργανα: οστά της λεκάνης στη φάλαινα

3. Δεδομένα από την Εμβρυολογία

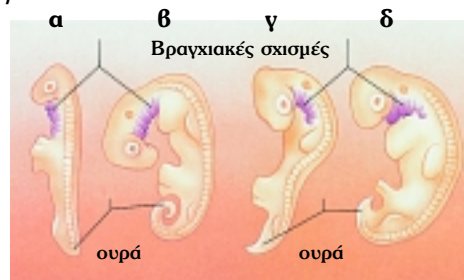
Επιπρόσθετα στοιχεία για την εξέλιξη των ειδών προκύπτουν από τις συγκριτικές μελέτες εμβρύων. Αν εξετάσει κανείς τα διάφορα στάδια της εμβρυϊκής ανάπτυξης διάφορων ειδών, όπως τα σπονδυλωτά, θα βρει εκπληκτικές ομοιότητες στα αρχικά στάδια των εμβρύων. Για παράδειγμα, όλα τα έμβρυα έχουν βραγχιακές σχισμές, οι οποίες υποδηλώνουν ότι τα σπονδυλωτά προήλθαν εξελικτικά από έναν κοινό υδρόβιο οργανισμό.

4. Δεδομένα από τη Μοριακή Βιολογία

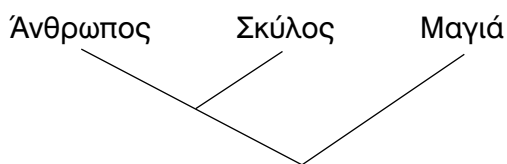
Όλοι οι ζωντανοί οργανισμοί, όσο διαφορετικοί κι αν φαίνονται εξωτερικά, παρουσιάζουν εκπληκτική ομοιότητα σε μοριακό

επίπεδο. Σε όλους τους οργανισμούς υπάρχουν νουκλεϊκά οξέα και πρωτεΐνες. Όλα τα έμβια όντα «μιλούν την ίδια γλώσσα» στο επίπεδο των γονιδίων. Ο γενετικός κώδικας, ο τρόπος με τον οποίο η «γλώσσα» του DNA μεταφράζεται στη «γλώσσα» των πρωτεϊνών, είναι παγκόσμιος. Επειδή όμως είναι απίθανο τόσο πολύπλοκες διαδικασίες να έχουν εξελιχθεί ανεξάρτητα σε κάθε είδος, τα δεδομένα αυτά αποδεικνύουν αναμφισβήτητα πως όλοι οι οργανισμοί έχουν κοινή προέλευση.

Η εξέλιξη ενός πληθυσμού είναι συνέχεια αλλαγών που γίνονται στο γενετικό υλικό του. Επομένως είναι αναμενόμενο να βρίσκεται σ' αυτό καταγεγραμμένη η εξελικτική ιστορία των οργανισμών. Συγκρίνοντας αλληλουχίες νουκλεοτιδίων μπορούμε να βγάλουμε συμπεράσματα για τις εξελικτικές σχέσεις ανάμεσα στα είδη. Έτσι οι οργανισμοί που είναι λιγότερο συγγενικοί μεταξύ τους έχουν περισσότερες διαφορές στην αλληλουχία του DNA τους, ενώ οι οργανισμοί που είναι περισσότερο συγγενικοί μεταξύ τους έχουν λιγότερες. Και η σύγκριση όμως των πρωτεϊνών που έχουν παρόμοια λειτουργία σε διαφορετικά είδη οργανισμών παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για τις εξελικτικές σχέσεις τους. Για παράδειγμα, τα κυτοχρώματα του ανθρώπου και του χιμπαντζή διαφέρουν κατά ένα μόνο αμινοξύ, του ανθρώπου και του σκύλου κατά 11 αμινοξέα και του ανθρώπου και της μαγιάς κατά 45 αμινοξέα, πράγμα που υποδηλώνει τις φυλογενετικές σχέσεις που υπάρχουν μεταξύ τους.



Εικόνα 3.18: Έμβρυα: α) ψαριού, β) ερπετού, γ) πτηνού, δ) ανθρώπου



Εικόνα 3.19: Η σύγκριση των πρωτεϊνών που εκτελούν παρόμοια λειτουργία, όπως για παράδειγμα το κυτόχρωμα, βοηθά τους επιστήμονες να κατασκευάζουν φυλογενετικά δέντρα.

Οι επιστήμονες κατασκευάζουν φυλογενετικά δέντρα και με τη σύγκριση των πρωτεϊνών.

Τα συμπεράσματα στα οποία καταλήγουμε για τις φυλογενετικές σχέσεις μεταξύ των οργανισμών προέρχονται συνήθως από τη σύνθεση των πληροφοριών που μας παρέχει η σύγκριση όχι ενός αλλά πολλών διαφορετικών πρωτεϊνών τους.

Γεωλογικοί αιώνες

Οι επιστήμονες, χρησιμοποιώντας γεωλογικές και βιολογικές πληροφορίες, έχουν χωρίσει την ιστορία της Γης σε αιώνες και περιόδους. Αψευδείς μάρτυρες των γεωλογικών και των βιολογικών φαινομένων που έγιναν κατά τη διάρκειά τους είναι τα πετρώματα και τα απολιθώματα.

Αιώνας	Περίοδος	Από-έως (οι αριθμοί σε εκατομμύρια χρόνια)
Καινοζωικός Ο αιώνας των Θηλαστικών	Τεταρτογενής Τριτογενής	1.8-σήμερα 65-1.8
Μεσοζωικός Ο αιώνας των Ερπετών	Κρητιδική Ιουρασική Τριαδική	145-65 213-145 248-213
Παλαιοζωικός Ο αιώνας των Τριλοβιτών	Πέρμια Λιθανθρακοφόρα Δεβόνια Σιλούρια Κάμβριο	286-248 360-286 410-360 440-410 544-505
Προτεροζωικός Αιώνας		2500-544
Αρχαϊκός Αιώνας, εμφάνιση της ζωής		3800-2500

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ιδέα της εξέλιξης δεν είναι αποκλειστικά προϊόν της εργασίας του Δαρβίνου. Πολλοί στοχαστές που είχαν προηγηθεί του Δαρβίνου, ανάμεσα στους οποίους περιλαμβάνονται και οι αρχαίοι Έλληνες φιλόσοφοι, υποστήριξαν ότι οι υπάρχοντες οργανισμοί έχουν προέλθει από τροποποίηση προγενέστερων μορφών. Η πρώτη απόπειρα θεωρητικής θεμελίωσης ενός πιθανού μηχανισμού με τον οποίο προχωρά η εξέλιξη έγινε από το Γάλλο ζωολόγο Λαμάρκ. Στη θεωρία του Λαμάρκ οι μεταβολές του περιβάλλοντος «καθοδηγούν» τους οργανισμούς να αναπτύξουν κατάλληλες συνήθειες ή δομές, ώστε να προσαρμόζονται σ' αυτό. Η θεωρία του Λαμάρκ, παρά τη συνεισφορά της στην υποστήριξη της εξέλιξης, βασιζόταν σε λανθασμένα δεδομένα, όπως είναι η κληρονομική μεταβίβαση των επίκτητων χαρακτηριστικών.

ΛΕΞΕΙΣ - ΚΛΕΙΔΙΑ

Αγώνας για επιβίωση	Μετάλλαξη
Ανάλογα όργανα	Ομόλογα όργανα
Βιομηχανικός μελανισμός	Πληθυσμός
Γενετική απομόνωση	Ποικιλομορφία
Γενετική ποικιλομορφία	Προσαρμογή
Γονιδιακή μετάλλαξη	Υπολειμματικά όργανα
Ειδογένεση	Φυλογένεση
Επίκτητα χαρακτηριστικά	Φυλογενετικό δέντρο
Θεωρία κληρονομικής μεταβίβασης επίκτητων χαρακτηριστικών	Φυσική επιλογή

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΑΣΚΗΣΕΙΣ - ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Πολλοί από τους μελετητές της ιστορίας της Βιολογίας ισχυρίζονται ότι χωρίς τη θεωρία της φυσικής επιλογής η Βιολογία θα ήταν μια στείρα περιγραφή φυτικών και ζωικών οργανισμών. Συμφωνείτε με την άποψη αυτή; Αν ναι, να αναφέρετε διεξοδικά τα επιχειρήματά σας.
2. Ένας συμμαθητής σας παρομοίωσε την εξέλιξη των οργανισμών με ένα ποδήλατο το οποίο, για να ισορροπεί, πρέπει να βρίσκεται σε συνεχή κίνηση (μεταβολή). Είναι βάσιμη αυτή η αναλογία; Να αναπτύξετε τις απόψεις σας.
3. Να αναφέρετε παραδείγματα από την καθημερινή κουβέντα στα οποία φαίνεται να επιβιώνει η θεωρία του Λαμάρκ.
4. Ποια είναι η μονάδα επί της οποίας δρα η εξέλιξη; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.
5. Μερικοί υποστηρίζουν ότι η θεωρία της φυσικής επιλογής δεν είναι ορθή, καθώς δεν μπορεί να εξηγήσει πώς στον ανθρώπινο πληθυσμό παραμένουν γονίδια που δεν έχουν επωφελή δράση ή είναι άχρηστα. Πιστεύετε ότι το επιχείρημα αυτό είναι βάσιμο; Να αναπτύξετε τις απόψεις σας.
6. Είναι πιθανόν ένας οργανισμός να προσαρμοστεί τόσο πολύ στο περιβάλλον του, ώστε να μην εξελίσσεται πλέον;
7. Να συγκρίνετε τη θεωρία του Λαμάρκ με αυτήν του Δαρβίνου. Πώς θα εξηγούσατε το παράδειγμα του βιομηχανικού μελανισμού με τη μία και πώς με την άλλη θεωρία;
8. Ποια ήταν τα αδύνατα σημεία της θεωρίας του Δαρβίνου, όπως αυτή διατυπώθηκε στην πρώτη εκδοχή της; Πώς ενισχύθηκαν στη συνθετική θεωρία;
9. Πώς είναι προτιμότερο κατά την άποψή σας να προχωρεί η εξέλιξη, με πολλές μικρές μεταβολές στους υπάρχοντες οργανισμούς ή με λίγες μεγάλες; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.
10. Για ποιο λόγο οι μεταλλάξεις δεν μπορούν να κατευθύνουν από μόνες τους την εξελικτική πορεία;
11. Έχει διαπιστωθεί ότι πολλά έντομα έχουν αναπτύξει ανθεκτικότητα στα εντομοκτόνα όπως το DDT. Να εξηγήσετε το μηχανισμό απόκτησης αυτής της ανθεκτικότητας σύμφωνα με τη θεωρία του Λαμάρκ και τη θεωρία του Δαρβίνου.

3.4 Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ

Ένα από τα ερωτήματα που απασχολούν τη Βιολογία, αλλά ενδιαφέρουν και τον απλό άνθρωπο, είναι η προέλευση του είδους μας. Στο ερώτημα αυτό προσπάθησε να απαντήσει ο Κάρολος Δαρβίνος, όταν 12 χρόνια μετά τη δημοσίευση της περίφημης *Καταγωγής των ειδών* εξέδωσε ένα άλλο βιβλίο με τίτλο *Η καταγωγή του ανθρώπου*. Στο βιβλίο αυτό υποστήριζε ότι ο άνθρωπος και ο πίθηκος έχουν κοινό πρόγονο και όχι, όπως πιστεύεται λανθασμένα, ότι ο άνθρωπος προέρχεται από τον πίθηκο. Τα απολιθώματα που υπήρχαν διαθέσιμα εκείνη την εποχή, ώστε να τεκμηριωθεί μια τέτοια υπόθεση, ήταν ελάχιστα και το ίδιο ίσχυε για περισσότερο από 100 χρόνια μετά. Τις τελευταίες όμως δεκαετίες τα απολιθώματα που έχουν βρεθεί, καθώς και η έρευνα σε άλλες περιοχές της Βιολογίας, ιδιαίτερα μάλιστα στη Μοριακή Βιολογία, δε γεννούν καμιά αμφιβολία ότι ο άνθρωπος, όπως και κάθε άλλος οργανισμός του πλανήτη, είναι προϊόν εξέλιξης.

Η μελέτη των απολιθωμάτων επιτρέπει την ανασύσταση της μορφής των προγόνων μας, οδηγεί όμως, ως ένα βαθμό, και στην ανασύσταση της εικόνας που έχουμε για τις συνήθειες και τον τρόπο ζωής τους.

3.4.1 Το γενεαλογικό μας δέντρο

Αν θέλαμε να τοποθετήσουμε το είδος μας στο σύστημα κατάταξης όλων των ζωι-

κών οργανισμών, θα λέγαμε ότι είμαστε μέλη του υποφύλου των Σπονδυλωτών. Καθώς μάλιστα διατηρούμε σταθερή θερμοκρασία και διαθέτουμε τροποποιημένους δερματικούς αδένες που παράγουν γάλα, υπαγόμαστε σε ένα υποσύνολο των Σπονδυλωτών που συνιστά την κλάση των Θηλαστικών. Ακόμη πιο πέρα, θα μπορούσαμε να τοποθετήσουμε το είδος μας στα Πρωτεύοντα, την τάξη των Θηλαστικών η οποία, εκτός από εμάς, περιλαμβάνει όλους τους πιθανούς προγόνους μας και τους σύγχρονους πιθήκους.

Όμως, από όλα τα είδη με τα οποία μπορούμε να συγκαταταχθούμε στη μία ή στην άλλη ταξινομική βαθμίδα, είμαστε το μόνο είδος που είναι ικανό να κατασκευάζει και να χρησιμοποιεί εργαλεία, να μιλά, να γράφει και να δημιουργεί πολιτισμό. Για να καταλάβουμε πώς αναπτύχθηκαν εξελικτικά οι δυνατότητες αυτές, είναι απαραίτητο να γνωρίσουμε την εξελικτική ιστορία των Θηλαστικών και των Πρωτευόντων.

3.4.2 Η εμφάνιση των Θηλαστικών και των Πρωτευόντων

Τα Θηλαστικά εξελίχθηκαν πριν από 240 εκατομμύρια χρόνια από τα Ερπετά. Αυτό συνέβη κατά το Μεσοζωικό Αιώνα, που αποκλήθηκε «Αιώνας των Ερπετών», γιατί κατά τη διάρκειά του τα Ερπετά (στα οποία περιλαμβάνονται και οι Δεινόσαυροι) είχαν καταλάβει κάθε περιοχή του πλανήτη που ήταν κατάλληλη για την επιβίωσή τους.

ΟΙ ΚΥΡΙΕΣ ΟΜΑΔΕΣ ΤΩΝ ΘΗΛΑΣΤΙΚΩΝ

- Τα **Μονοτρήματα** γεννούν αυγά. Μετά την εκκόλαψη τα μικρά θηλάζουν γάλα (π.χ. πλατύπους ή ορνιθόρρυγχος).
- Τα **Μαρσιποφόρα** διαθέτουν το μάρσιπο, μια δερματική πτυχή όπου αναπτύσσεται το νεογέννητο θηλάζοντας (π.χ. καγκουρό).
- Τα **Πλακουντοφόρα** διαθέτουν τον πλακούντα, ένα όργανο ανταλλαγής ουσιών μεταξύ του εμβρύου και της μητέρας του.

Τρεις ήταν οι κύριες κατηγορίες των Θηλαστικών που υπήρξαν κατά το Μεσοζωικό Αιώνα: τα **Μονοτρήματα**, μια ιδιαίτερη ομάδα Θηλαστικών που γεννά αυγά, όπως είναι ο σύγχρονος πλατύπους, τα **Μαρσιποφόρα**, οι πρόγονοι των σύγχρονων καγκουρό, και τα **Πλακουντοφόρα**, μικρά Θηλαστικά που διαθέτουν τον **πλακούντα**, ένα όργανο ανταλλαγής ουσιών μεταξύ του εμβρύου και της μητέρας του.

Αυτά τα πρώτα Θηλαστικά αποτελούσαν για περισσότερο από 150 εκατομμύρια χρόνια ένα μικρό ποσοστό ανάμεσα στις υπόλοιπες μορφές ζωής που υπήρχαν στον πλανήτη.

Πριν από 65 εκατομμύρια χρόνια οι Δεινόσαυροι εξαφανίστηκαν. Η μεταβολή αυτή επέτρεψε στα πρώτα Θηλαστικά να επεκταθούν σε περιοχές που μέχρι τότε καταλάμβαναν οι Δεινόσαυροι. Η εμφάνιση μάλιστα νέων φυτικών ειδών δημιούργησε επιπλέον βιότοπους, οι οποίοι προσέφεραν στα Θηλαστικά περισσότερες δυνατότητες στην εξεύρεση τροφής και μεγαλύτερη προστασία από τους θηρευτές τους. Έτσι κατά τον Καινοζωικό Αιώνα τα Θηλαστικά εξαπλώθηκαν και εξελίχθηκαν στα **Πρωτεύοντα**, την τάξη δηλαδή των Θηλαστικών στην οποία ανήκει ο σύγχρονος άνθρωπος, τα προγονικά είδη του και οι χιμπαντζήδες, οι ουραγκοτάγκοι, οι γορίλες, οι λεμούριοι, οι τάρσιοι κ.ά.

Τα πρώτα μάλιστα Πρωτεύοντα που εμφανίστηκαν εξελίχθηκαν από τα μικρά Πλακουντοφόρα Θηλαστικά τα οποία ζούσαν σε δέντρα και τρέφονταν με έντομα. Πολλά εξάλλου από τα χαρακτηριστικά του σύγχρονου ανθρώπου και των άλλων Πρωτεύοντων σχετίζονται με το δενδρόβιο παρελθόν των προγόνων τους.



Εικόνα 3.20: Αντιπροσωπευτικά είδη Πρωτεύοντων:
α) ουραγκοτάγκος, β) χιμπαντζής, γ) γορίλας

3.4.3 Τα χαρακτηριστικά των Πρωτεύοντων

Τα Πρωτεύοντα εξελίχθηκαν αναπτύσσοντας προσαρμογές που τα καθιστούσαν ικανά να ζουν επάνω στα δέντρα (δενδρόβια είδη). Από τη συσσώρευση αυτών των προσαρμογών σχηματίστηκε το σύνολο των χαρακτηριστικών που αποτέλεσαν το υπόβαθρο για τη μελλοντική εμφάνιση του ανθρώπου, ο οποίος όμως άρχισε να ζει στο έδαφος (εδαφόβιο είδος).

Στα κοινά χαρακτηριστικά των Πρωτεύοντων περιλαμβάνονται:

- **Δάχτυλα κατάλληλα για λαβές.** Το μεγάλο δάχτυλο των άνω άκρων των Πρωτεύοντων μπορεί να τοποθετηθεί απέναντι από την παλάμη τους, είναι δηλαδή αντιτακτό. Έτσι τα Πρωτεύοντα μπορούν να εφαρμόζουν λαβές και να πιάνουν αντικείμενα όπως τα κλαδιά των δέντρων.
- **Μακριά και ευκίνητα άκρα.** Τα άκρα αυτά μπορούν να περιστρέφονται ελεύθερα στους ώμους και στη λεκάνη, ώστε να βοηθούν τα Πρωτεύοντα να συλλαμβάνουν την τροφή τους και να σκαρφαλώνουν στα δέντρα.
- **Στερεοσκοπική όραση.** Η διαβίωση επάνω στα δέντρα, αν δε συνοδεύεται από την ικανότητα εκτίμησης του βάθους του πεδίου και των αποστάσεων, μπορεί να αποβεί επικίνδυνη. Η θέση των ματιών των Πρωτεύοντων στο πρόσθιο τμήμα του κεφαλιού τους προκαλεί επικάλυψη των δύο οπτικών πεδίων τους. Έτσι τα Πρωτεύοντα έχουν τρισδιάστατη όραση, η οποία τους επιτρέπει να αντιλαμβάνονται ρεαλιστικά το περιβάλλον τους, να υπολογίζουν τις αποστάσεις και να πιάνονται από τα κλαδιά, καθώς πηδούν από δέντρο σε δέντρο.
- **Έγχρωμη όραση.** Τα πρώτα Πρωτεύοντα ήταν νυχτόβια, όταν όμως αργότερα μετατράπηκαν σε ημερόβια, η όρασή τους έγινε έγχρωμη και συνεπώς απέκτησαν αντικειμενικότερη αντίληψη του περιβάλλοντος.
- **Αναπτυγμένος εγκέφαλος.** Τα Πρωτεύοντα, από όλα τα Θηλαστικά, διαθέτουν το μεγαλύτερο, σε σχέση με τις σωματικές διαστάσεις τους, εγκέφαλο. Αρκετοί ερευνητές διατείνονται ότι η αύξηση του μεγέθους του εγκεφάλου των Πρωτεύοντων σχετίζεται με την αυξημένη εισροή αισθητικών πληροφοριών, η οποία ήταν αποτέλεσμα της ανάπτυξης της όρασης και της ακοής, και με την αποδέσμευση των άνω άκρων από την ανάγκη χρησιμοποίησής τους για βάδιση. Πάντως ο μεγαλύτερος και περισσότερο περίπλοκος εγκέφαλός τους, με το μεγάλο αριθμό νευρικών κυττάρων και συνδέσεων μεταξύ τους, τα καθιστά ικανά για πιο σύνθετες νοητικές λειτουργίες.
- **Η προστασία των μικρών.** Τα Πρωτεύοντα, εκτός από τη διαβίωση επάνω στα δέντρα, ανέπτυξαν και νέες αναπαραγωγικές στρατηγικές. Ενώ τα υπόλοιπα Θηλαστικά γεννούν ένα σχετικά μεγάλο αριθμό νεογνών, τα Πρωτεύοντα γεννούν κατά κανόνα ένα μόνο μικρό σε κάθε γέννα. Για το λόγο αυτό το μικρό πρέπει να διατρέφεται και να προστατεύεται από τη μητέρα του για μεγάλο χρονικό διάστημα μετά τη γέννα.
- **Η όρθια στάση.** Ο άνθρωπος αποτελεί το μοναδικό Πρωτεύον που βαδίζει εντελώς όρθιο. Βέβαια και ο γορίλας και ο χιμπαντζής περνούν το μεγαλύτερο μέρος της ζωής τους σε ελαφρά κατακόρυφη (παρά οριζόντια) στάση, περπατούν όμως αγγίζοντας το έδαφος με τα χέρια τους. Η όρθια στάση, που οδήγησε στην εξελικτική γραμμή του ανθρώπου, αποδέσμευσε τα άνω άκρα για άλλες δραστηριότητες πέρα από το βάδιση, συνέβαλε στην ανάπτυξη της νοημοσύνης και έδωσε τη

δυνατότητα της θέασης από πιο ψηλά και επομένως της εποπτείας μιας μεγαλύτερης περιοχής.

3.4.4 Η εξέλιξη των Πρωτευόντων

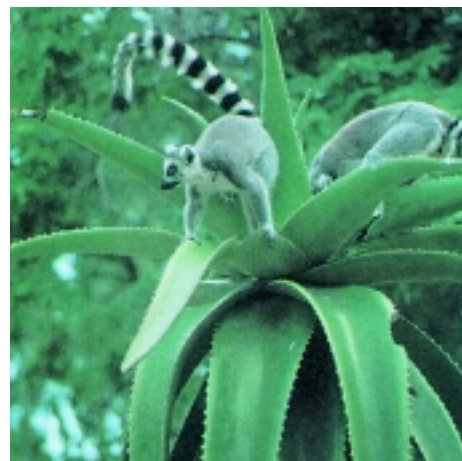
Πώς όμως εξελίχθηκαν τα σύγχρονα Πρωτεύοντα από τα μικρά εντομοφάγα Πλακουντοφόρα Θηλαστικά; Η σύγκριση των πληροφοριών από τη Μοριακή Βιολογία και τη Γενετική, σε συνδυασμό με τη μελέτη των απολιθωμάτων, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι τα πρώτα Πρωτεύοντα, από τα οποία έχουν προέλθει όλες οι σύγχρονες μορφές, ήταν οι Προπίθηκοι. Οι Προπίθηκοι εμφανίστηκαν στη Γη πριν από 50 εκατομμύρια χρόνια. Αποκτώντας τα βασικά χαρακτηριστικά της τάξης τους (δάχτυλα κατάλληλα για λαβές, μάτια στο πρόσθιο τμήμα του κεφαλιού κτλ.) οι Προπίθηκοι εξαπλώθηκαν σε ένα μεγάλο μέρος του πλανήτη, καθώς τα απολιθώματα που έχουν βρεθεί μαρτυρούν την ύπαρξή τους στην Ευρώπη, στη Βόρεια Αμερική (σημειωτέον ότι οι δύο ήπειροι τότε ήταν ακόμη ενωμένες) και στην Ασία. Οι Προπίθηκοι μάλιστα που επιβιώνουν ως τις μέρες μας (λεμούριοι, τάρσιοι) έχουν αλλάξει ελάχιστα σε σχέση με τα προγονικά τους είδη. Δυστυχώς όμως οι λεμούριοι που ζουν στα δάση της Μαδαγασκάρης απειλούνται με εξαφάνιση, αφού η ανθρώπινη παρέμβαση έχει προκαλέσει σημαντικές καταστροφές στους βιότοπούς τους.

Πριν από 38 εκατομμύρια χρόνια μια ομάδα Προπιθήκων εξελίχθηκε στα **Ανθρωποειδή**, στην ομάδα των Πρωτευόντων που περιλαμβάνει το γίβωνα, τον ουραγκοτάγκο, το χιμπαντζή, το γορίλα και τον άνθρωπο. Τα Ανθρωποειδή, με βάση τα απολιθώματα, φαίνεται ότι πρωτοεμφανίστηκαν στην Αφρική και στην Ασία. Το μέγεθός τους ήταν γενικά μεγαλύτερο από αυτό των Προπιθήκων και τα περισσότερα ήταν ημερόβια, σε αντίθεση με τους Προπιθήκους που ήταν νυχτόβιοι. Πριν από 35 εκατομμύρια χρόνια στη γεωγραφική περιοχή

που αντιστοιχεί στη σημερινή Αίγυπτο έζησε το παλαιότερο γνωστό Ανθρωποειδές, ο **Αιγυπτιοπίθηκος**. Αυτό το Ανθρωποειδές, που είχε περίπου το μέγεθος της γάτας και ήταν δενδρόβιο, μέσα από διαδοχικές μορφές εξελίχθηκε στο **Δρυοπίθηκο**.

Η σημασία του Δρυοπιθήκου στην εξέλιξη των Πρωτευόντων είναι μεγάλη, γιατί είναι ίσως το προγονικό είδος από το οποίο προήλθαν, αποκλίνοντας μεταξύ τους, ο γορίλας, ο χιμπαντζής και ο άνθρωπος. Το Ανθρωποειδές αυτό ήταν κατά βάση δενδρόβιο, ίσως όμως να περνούσε και ένα μέρος της ζωής του στο έδαφος.

Οι αποδείξεις για τη φυλογενετική σχέση που υπάρχει μεταξύ του γορίλα, του χιμπαντζή και του ανθρώπου στο μοριακό επίπεδο είναι άφθονες. Αξίζει να αναφερθεί ότι οι αλληλουχίες των νουκλεοτιδίων του DNA στον άνθρωπο και στο χιμπαντζή διαφέρουν μόνο κατά 1,27% και ότι η αλυσίδα α της αιμοσφαιρίνης τους είναι τελείως όμοια, ενώ η αλυσίδα β διαφέρει κατά ένα μόνο αμινοξύ. Οι μελέτες των μοριακών ευρημάτων και των απολιθωμάτων οδηγούν στο συμπέρασμα ότι ο γορίλας απέκλινε από την εξελικτική γραμμή του ανθρώπου και του χιμπαντζή πριν από 8 με 10 εκατομμύρια χρόνια, ενώ οι εξελικτικές γραμμές του χιμπαντζή και του ανθρώπου διαχωρίστηκαν πριν από 6 μόλις εκατομμύρια χρόνια.



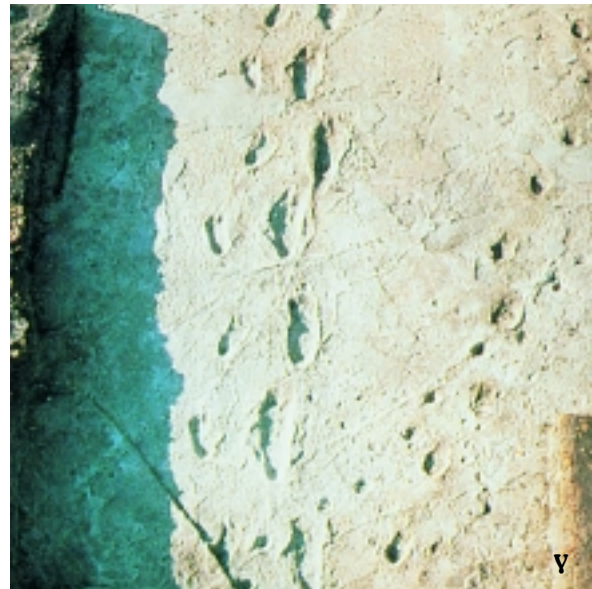
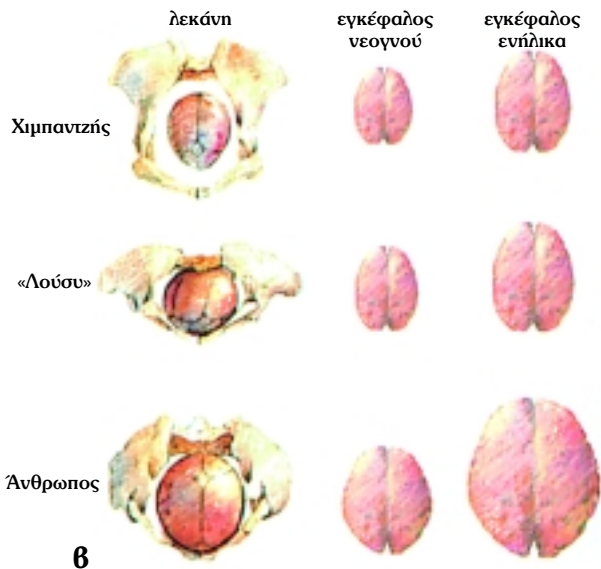
Εικόνα 3.21: Λεμούριοι

3.4.5 Η εμφάνιση των Ανθρωπίδων

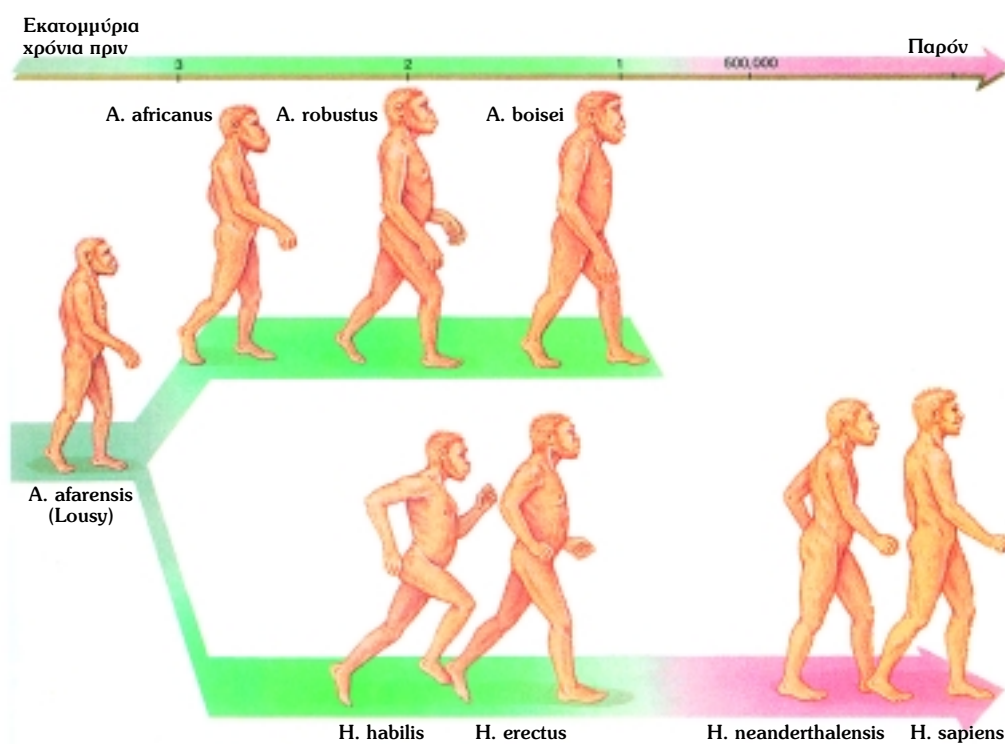
Το 1924 ο Βρετανός ανθρωπολόγος Ρέιμοντ Νταρτ (Raymond Dart) ανακάλυψε σε λατομείο της Ανατολικής Αφρικής ένα κρανίο ηλικίας 2,8 με 3,8 εκατομμυρίων χρόνων. Ονόμασε το εύρημά του **Αυστραλοπίθηκο**, γιατί βρέθηκε στις νότιες περιοχές (Austral) της Ανατολικής Αφρικής. Από τη μελέτη όμως και άλλων απολιθωμάτων που βρέθηκαν σε διάφορες περιοχές της Αφρικής (όπως του *Australopithecus bosei*) προέκυψε ότι ο Αυστραλοπίθηκος αποτελεί έναν από τους άμεσους προγόνους του ανθρώπου, καθώς με βάση τα χαρακτηριστι-

κά του τοποθετείται στους **Ανθρωπίδες**, την οικογένεια δηλαδή των Ανθρωποειδών στην οποία ανήκει ο άνθρωπος.

Το καλύτερα διατηρημένο και πληρέστερο απολίθωμα (αποτελείται από τα 2/3 του σκελετού και έχει άθικτες μερικές ανατομικές συνδέσεις) είναι η «Λούσυ», που βρέθηκε στην Αιθιοπία το 1974, στην περιοχή Αφάρ. Η «Λούσυ», που πήρε το όνομά της από το δημοφιλές τραγούδι των Μπιτλς (Lucy in the sky with diamonds) το οποίο άκουγαν οι ερευνητές κατά τη διάρκεια των εργασιών τους, είναι ένας νεαρός θηλυκός Αυστραλοπίθηκος που έζησε πριν από 3 εκατομμύρια χρόνια.



Εικόνα 3.22: α) «Λούσυ», ένας θηλυκός Αυστραλοπίθηκος που έζησε πριν από 3 εκατομμύρια χρόνια, β) σύγκριση λεκάνης και μεγέθους εγκεφάλου ανάμεσα στη «Λούσυ», το χιμπατζή και τον άνθρωπο, γ) αποτυπώματα Αυστραλοπιθήκων



Εικόνα 3.23: Εξελικτικό δέντρο Ανθρωπιδών

Λίγο αργότερα, όταν βρέθηκαν τα αποτυπώματα ενός ζευγαριού Αυστραλοπιθήκων που βημάτισε στις στάχτες του ηφαιστείου Σαντιμάν, πριν από 3 εκατομμύρια χρόνια, αποδείχτηκε ότι η όρθια στάση και η δίποδη βάδιση ήταν δύο χαρακτηριστικά που εμφανίστηκαν αρκετά νωρίς στην εξελικτική ιστορία του ανθρώπου. Στα αποτυπώματα αυτά αναγνωρίζεται το ανθρώπινο πέλμα με τα ευθυγραμμισμένα δάχτυλα και την κατασκευή που ευνοεί τη στήριξη του βάρους του σώματος.

Ο εγκέφαλος των Αυστραλοπιθήκων, αν και ήταν μικρότερος από τον εγκέφαλο του ανθρώπου (περίπου το 1/3), ήταν μεγαλύτερος από αυτόν των πιθήκων. Από την οδοντοφυΐα τους αλλά και από τα οστά των ζώων που βρέθηκαν κοντά στα απολιθώματά τους φαίνεται πως ήταν παμφάγοι.

3.4.6 Οι πρώτοι άνθρωποι

Οι πρώτοι άνθρωποι εξελίχθηκαν από

τους Αυστραλοπιθήκους πριν από 2 εκατομμύρια χρόνια περίπου και αντιπροσωπεύονται από το είδος **Homo habilis**.

Ο *Homo habilis* (άνθρωπος ο επιδέξιος) περπατούσε όρθιος, είχε δόντια που έμοιαζαν περισσότερο με αυτά του ανθρώπου



Εικόνα 3.24: Κρανίο του *Homo habilis*

παρά με τα δόντια των Αυστραλοπιθήκων και μεγαλύτερο εγκέφαλο από αυτούς. Έφτιαχνε και χρησιμοποιούσε πολλά πέτρινα εργαλεία και είχε μεγάλη επιδεξιότητα. Χάρη σ' αυτά τα χαρακτηριστικά του θεωρείται ένα μεγάλο βήμα από τη ζωώδη προς την ανθρώπινη κατάσταση. Ο *Homo habilis* έζησε στην Αφρική για 500.000 χρόνια και μετά εξαφανίστηκε. Τον διαδέχτηκε ένα νέο είδος ανθρώπου με ακόμα μεγαλύτερο εγκέφαλο, ο **Homo erectus** (άνθρωπος ο όρθιος).

Στο *Homo erectus* αποδίδονται πολλές απολιθωμένες μορφές που είναι σήμερα γνωστές ως ο *Άνθρωπος της Ιάβας* και ο *Άνθρωπος του Πεκίνου* (*Homo erectus pekinensis*). Το είδος αυτό εμφανίστηκε στην Αφρική πριν από 1,6 εκατομμύρια χρόνια και είναι το πρώτο ανθρώπινο είδος που μετανάστευσε στην Ασία και στην Ευ-



Εικόνα 3.25: *Homo erectus*

ρώπη. Ζούσε σε ομάδες, κατοικούσε σε σπηλιές ή και σε ξύλινα καταλύματα που κατασκεύαζε ο ίδιος, χρησιμοποιούσε τη φωτιά και παρουσίασε μια μεγάλη στροφή στη δίαιτά του, καθώς έψηνε το κρέας που έτρωγε. Πιθανότατα είχε την ικανότητα ομιλίας. Ο *Homo erectus*, αν και παρέμεινε στον πλανήτη περισσότερα χρόνια από κάθε άλλο προγονικό μας είδος, εξαφανίστηκε από την Αφρική και την Ευρώπη πριν από 500.000 χρόνια, με την εμφάνιση του **Homo sapiens** (άνθρωπος ο σοφός). Έζησε όμως στην Ασία μέχρι πριν από 250.000 χρόνια.

Η μετάβαση από το *Homo erectus* στις πρωτόγονες μορφές του *Homo sapiens* (*Homo archaico*, *Homo presapiens*), οι οποίες χρονολογούνται πριν από 400.000-130.000 χρόνια, φαίνεται να έγινε σταδιακά και με συνεχή αύξηση του όγκου του εγκέφαλου.

Το 1856 στην κοιλάδα Neander της Γερμανίας βρέθηκε ένα κρανίο που αποδόθηκε στον *Άνθρωπο του Νεάντερταλ*. Ο *Άνθρωπος του Νεάντερταλ* θεωρείται σήμερα ως ένα υποείδος του *Homo sapiens* και γι' αυτό ονομάζεται **Homo sapiens neanderthalensis**. Ο *Homo sapiens neanderthalensis* εμφανίστηκε πριν από 130.000 περίπου χρόνια και έζησε μέχρι πριν από 35.000 χρόνια. Ήταν πιο δυνατός σωματικά από το σύγχρονο άνθρωπο, με προτεταμένο μέτωπο, τονισμένα υπερόφρυα τόξα και δόντια μεγαλύτερα του σύγχρονου ανθρώπου. Ζούσε ομαδικά σε σπηλιές ή καλύβες και κατασκεύαζε και χρησιμοποιούσε εργαλεία. Έκανε χρήση της φωτιάς, ντυνόταν με προβιές, έθαβε τους νεκρούς του και έδωσε δείγματα της πρωτόγονης τέχνης του. Το γεγονός ότι μαζί με τους νεκρούς έθαβε και φαγητό, όπλα και άνη υποδηλώνει ότι πίστευε στη μεταθανάτια ζωή. Σ' αυτόν παρουσιάζονται τα πρώτα στοιχεία συμβολικής σκέψης που χαρακτηρίζουν το σημερινό άνθρωπο.

Πριν από 34.000 χρόνια περίπου τον Άν-



Εικόνα 3.26: Κρανίο του Ανθρώπου του Νεάντερταλ



Εικόνα 3.27
Αναπαράσταση του
Ανθρώπου του
Νεάντερταλ

Ο Ανθρωπο του Νεάντερταλ διαδέχτηκε ο πιο εξελιγμένος άνθρωπος, ο **Homo sapiens sapiens** (Άνθρωπος του Κρο-Μανιόν, που ονομάστηκε έτσι από την κοιλάδα της Γαλλίας όπου βρέθηκε). Ο Άνθρωπος του Κρο-Μανιόν δε διαφέρει από το σύγχρονο άνθρωπο ως προς τα σκελετικά χαρακτηριστικά του. Ξεκίνησε από την Αφρική, πέρασε από τη Μέση Ανατολή και εξαπλώθηκε στην Ευρώπη. Πιθανόν να ζούσε για ένα διάστημα παράλληλα με πληθυσμούς του Νεάντερταλ και να διασταυρωνόταν μαζί του για πολλές χιλιάδες χρόνια. Μερικά απολιθώματα που βρέθηκαν θεωρούνται ότι είναι υβρίδια Νεάντερταλ και Κρο-Μανιόν. Ο Νεάντερταλ έπαψε να υπάρχει εντελώς ξαφνικά και πιθανολογείται ότι εξοντώθηκε από τον Άνθρωπο του Κρο-Μανιόν. Η ύπαρξη υβριδίων α-



Εικόνα 3.28: Κρανίο Homo sapiens

πό Νεάντερταλ και Κρο-Μανιόν μπορεί να σημαίνει ότι οι Νεάντερταλ αφομοιώθηκαν γενετικά από το σύγχρονο άνθρωπο.

Οι Άνθρωποι του Κρο-Μανιόν είχαν καλή κοινωνική οργάνωση και πλήρη ικανότητα ομιλίας, τρέφονταν με το κρέας των ζώων που κυνηγούσαν και ζωγράφιζαν τους τοίχους των σπηλαίων με πιο εκλεπτυσμένο τρόπο από ό,τι οι Νεάντερταλ. Πριν από 10.000 χρόνια άρχισαν να εγκαθίστανται μόνιμα σε περιοχές και πριν από 3.000 χρόνια να φτιάχνουν τις πρώτες πόλεις. Οι Άνθρωποι του Κρο-Μανιόν δημιούργησαν το νεολιθικό πολιτισμό, που οδήγησε στους ιστορικούς χρόνους.



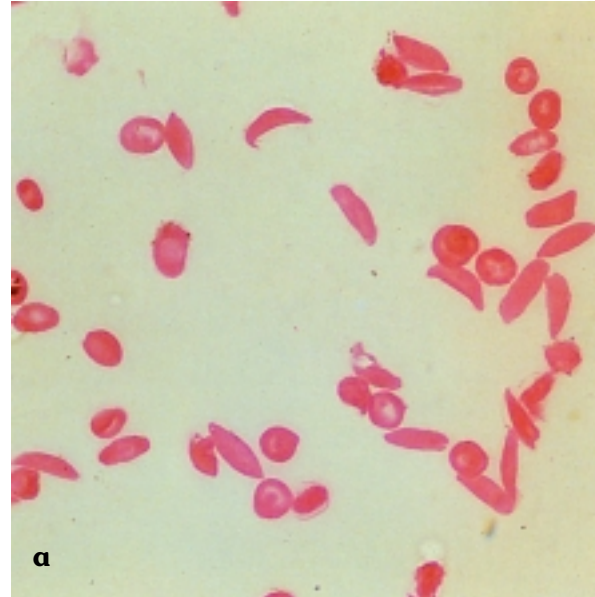
Εικόνα 3.29: Οι Άνθρωποι του Κρο-Μανιόν ζωγράφιζαν τους τοίχους των σπηλαίων.

3.4.7 Η ποικιλομορφία στους ανθρώπινους πληθυσμούς

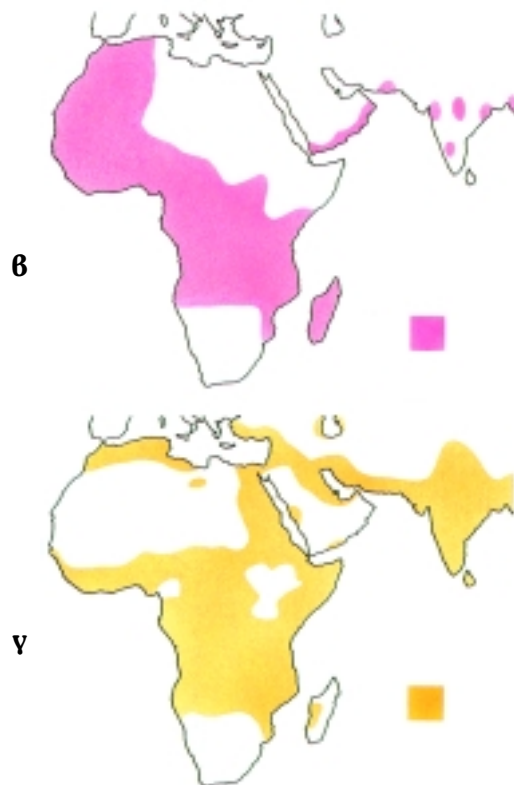
Στους πληθυσμούς του σύγχρονου ανθρώπου συνέχισαν να δρουν οι διάφοροι παράγοντες της εξέλιξης με αποτέλεσμα τη μεγάλη ποικιλομορφία του είδους μας.

Στην περίπτωση της **δρεπανοκυτταρικής αναιμίας** φαίνεται καθαρά ο ρόλος της φυσικής επιλογής. Η δρεπανοκυτταρική αναιμία οφείλεται στην ομόζυγη κατάσταση ενός παθολογικού αλληλόμορφου β^s το οποίο συνθέτει τροποποιημένη τη β αλυσίδα της αιμοσφαιρίνης A. Στην αλυσίδα αυτή το γλουταμινικό οξύ έχει αντικατασταθεί από βαλίνη. Τα ερυθρά αιμοσφαίρια των ασθενών με δρεπανοκυτταρική αναιμία περιέχουν σχεδόν μόνο την παθολογική αιμοσφαιρίνη S αντί της φυσιολογικής A. Αποτέλεσμα αυτού είναι τα ερυθρά αιμοσφαίρια να αλλάζουν σχήμα, που από στρογγυλό γίνεται δρεπανοειδές. Οι ετεροζυγώτες για το αλληλόμορφο αυτό παράγουν ένα μικρό αριθμό δρεπανοκυττάρων και συνήθως δεν παρουσιάζουν συμπτώματα ασθένειας. Οι ομοζυγώτες όμως πεθαίνουν σε μικρή ηλικία και άρα δε δίνουν απογόνους. Είναι αναμενόμενη λοιπόν, λόγω φυσικής επιλογής, η μείωση της συχνότητας του αλληλόμορφου αυτού στους πληθυσμούς, όπως έχει συμβεί για πολλά άλλα αλληλόμορφα που προκαλούν το θάνατο ή τη στειρότητα πριν από την ηλικία της αναπαραγωγής. Σε ορισμένες περιοχές της Αφρικής όμως το αλληλόμορφο β^s παρουσιάζεται με μεγάλη συχνότητα (10-20% μεγαλύτερη από ό,τι αλλού). Η αυξημένη αυτή συχνότητα σχετίζεται με την ασθένεια της ελονοσίας που ενδημεί εκεί. Οι ετεροζυγώτες είναι πιο ανθεκτικοί στην ελονοσία από τους φυσιολογικούς ομοζυγώτες και άρα έχουν μεγαλύτερη προσαρμοστικότητα σε περιοχές με έντονο το πρόβλημα της ελονοσίας. Μια βαθμιαία μείωση της συχνότητας του αλληλόμορφου παρατηρείται στους Αφρικανούς που για 15 γενιές έχουν ζήσει στην Α-

μερική, όπου το πλασμίδιο της ελονοσίας δεν υπάρχει.



α



β

γ

Εικόνα 3.30: α) Δρεπανοειδή ερυθρά αιμοσφαίρια, β) κατανομή αλληλόμορφου δρεπανοκυτταρικής αναιμίας (β^s), γ) κατανομή ελονοσίας

Όπως σε κάθε βιολογικό είδος με μεγάλη εξάπλωση, έτσι και στον άνθρωπο υπάρχουν μορφολογικές διαφορές μεταξύ των πληθυσμών ως προς το χρώμα της επιδερμίδας, το χρώμα και το σχήμα των μαλλιών, το σχήμα των κοπτήρων, το ανάστημα κτλ. Οι διαφορές αυτές βασίζονται στη διαφορετική κατανομή των αλληλόμορφων, καθώς τόσο στο παρελθόν όσο και στο παρόν οι ανθρωπίνι πληθυσμοί υποβάλλονται στη δράση όλων εκείνων των παραγόντων που προκαλούν πληθυσμιακή γενετική διαφοροποίηση.

Έτσι από τις διαφορές αυτές μεταξύ των πληθυσμών κάποιες είναι αποτέλεσμα των δυνάμεων της **φυσικής επιλογής**, ενώ κάποιες είναι αποτέλεσμα άλλων μηχανισμών της εξέλιξης, όπως για παράδειγμα η τυχαία απόκλιση στις συχνότητες των αλληλόμορφων, σε συνδυασμό με τις γεωγραφικές απομονώσεις.

Ίσως κάποια χαρακτηριστικά που εμφανίστηκαν ως μεταλλάξεις να απέκτησαν προσαρμοστική σπουδαιότητα και ως αποτέλεσμα της φυσικής επιλογής να παγιώθηκαν και να εξαπλώθηκαν σε πληθυσμούς που ζούσαν σε διάφορα περιβάλλοντα. Ως παραδείγματα τέτοιας δράσης της φυσικής επιλογής με προσαρμοστική σημασία αναφέρονται τα ακόλουθα:

- **Ο λόγος του μήκους των άκρων προς το μέγεθος του σώματος** φαίνεται ότι μεταβάλλεται ανάλογα με τη θερμοκρασία. Έτσι είναι μικρότερος στις βόρειες περιοχές και μεγαλύτερος στις τροπικές. Η διαφορά αυτή εξηγείται ως προσαρμογή κατά της απώλειας θερμότητας από το δέρμα.
- **Οι διαφορές στο χρώμα του δέρματος** φαίνεται να σχετίζονται μάλλον (δεν υπάρχει ομόφωνη γνώμη) με το βαθμό έκθεσής του στις υπεριώδεις ακτίνες του ήλιου. Είναι γνωστό ότι οι υπεριώδεις ακτίνες ενεργοποιούν το μηχανισμό του δέρματος για την παραγωγή μελανίνης, η οποία απορροφά το

μεγαλύτερο μέρος της υπεριώδους ακτινοβολίας. Αυτός ο μηχανισμός μπορεί να θεωρηθεί προστατευτικός, γιατί είναι γνωστό ότι η παρατεταμένη έκθεση στην υπεριώδη ακτινοβολία σχετίζεται με διάφορους τύπους καρκίνου του δέρματος. Οι σκουρόχρωμες λοιπόν επιδερμίδες προέκυψαν ως προσαρμογή κατά της υπεριώδους ακτινοβολίας. Βέβαια η υπεριώδης ακτινοβολία είναι απαραίτητη στον άνθρωπο για το σχηματισμό της βιταμίνης D, η οποία χρειάζεται για την ανάπτυξη των οστών, και άρα σε περιοχές με περιορισμένη ηλιοφάνεια το σκούρο χρώμα της επιδερμίδας δε θα ήταν ευνοϊκό για την προσαρμογή των πληθυσμών.

Βέβαια θα ήταν λάθος να γενικεύσουμε και να συμπεράνουμε ότι όλες οι διαφορές μεταξύ των πληθυσμών είναι αποτέλεσμα προσαρμοστικών διαδικασιών. Πολλά χαρακτηριστικά πρέπει να αποδοθούν σε τυχαίες αποκλίσεις στη συχνότητα εμφάνισης των αλληλόμορφων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα πρώτα Πρωτεύοντα που εμφανίστηκαν στον πλανήτη ήταν πιθανώς μικρά δενδρόβια εντομοφάγα Θηλαστικά. Ο δενδρόβιος τρόπος ζωής των Θηλαστικών υποβοηθήθηκε από μια σειρά χαρακτηριστικών που περιλαμβάνουν μακριά και ευκίνητα άκρα, αντιτακτά δάχτυλα, στερεοσκοπική όραση.

Από τα Πρωτεύοντα αυτά εξελίχθηκαν δύο μεγάλες ομάδες, οι Προπίθηκοι και τα Ανθρωποειδή. Ο κοινός πρόγονος των σύγχρονων Ανθρωποειδών είναι ο Δρυοπίθηκος. Ο πρώτος Ανθρωπίδης ήταν ο Αυστραλοπίθηκος, ο οποίος έδωσε τη θέση του στο *Homo habilis*, τον πρώτο πρόγονό μας που ανήκει στο γένος *Homo*. Το *Homo habilis* διαδέχθηκε ο *Homo erectus* και αυτόν ο *Homo sapiens*.

ΛΕΞΕΙΣ - ΚΛΕΙΔΙΑ

Αιγυπτιοπίθηκος	Άνθρωπος του Νεάντερταλ
Δρυοπίθηκος	Άνθρωπος του Κρο-Μανιόν
Ανθρωπίδες	Αντιτακτό δάχτυλο
Ανθρωποειδείς	Αυστραλοπίθηκος
Ανθρωποπίθηκοι	Προπίθηκοι
<i>Homo habilis</i>	Πρωτεύοντα
<i>Homo erectus</i>	Δρεπανοκυτταρική αναιμία
<i>Homo sapiens</i>	

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΑΣΚΗΣΕΙΣ - ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Πολλοί, για να δυσφημήσουν την εξελικτική θεωρία, ισχυρίζονται ότι υποστηρίζει πως ο άνθρωπος προέρχεται από τον πίθηκο. Είναι βάσιμος ο ισχυρισμός τους, είναι πιθανό να προέρχεται ο άνθρωπος από τον πίθηκο;
2. Να συγκρίνετε τα χαρακτηριστικά (μορφολογικά αλλά και πολιτισμικά) των Αυστραλοπιθήκων με αυτά του *Homo habilis*, του *Homo erectus*, του Ανθρώπου του Νεάντερταλ, του Ανθρώπου του Κρο-Μανιόν. Για ποιους λόγους κάθε βαθμίδα είναι εξελικτικά ανώτερη από την προηγούμενη;
3. Ποιες πληροφορίες μπορεί να δώσει στην παλαιοανθρωπολογική έρευνα η μελέτη της γνώθου, της λεκάνης, της σπονδυλικής στήλης και του κρανίου ενός προγονικού είδους του ανθρώπου;

4. Ποιες προσαρμογές έχει επιβάλει στο σκελετό του σύγχρονου ανθρώπου η όρθια στάση και ο εδαφόβιος τρόπος ζωής;
5. Ποια απολιθωμένα και ποια σύγχρονα είδη περιλαμβάνει η οικογένεια των Ανθρωπιδών; Ποια είναι τα χαρακτηριστικά τους;
6. Ποιες πληροφορίες έχει προσφέρει η Μοριακή Βιολογία στις πιθανές φυλογενετικές σχέσεις του ανθρώπου με σύγχρονα Ανθρωποειδή;

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

1. Στις ταινίες επιστημονικής φαντασίας «Jurassic Park» και «Lost World» οι επιστήμονες επανέφεραν στη ζωή με τη μέθοδο της κλωνοποίησης τους δεινοσαύρους, ζώα που εξαφανίστηκαν πριν από 65 εκατομμύρια χρόνια. Χρησιμοποίησαν DNA που βρέθηκε σε κουνούπια διατηρημένα μέσα σε κεχριμπάρι, τα οποία, πριν εγκλωβιστούν, είχαν τσιμπήσει δεινοσαύρους. Είναι δυνατή η απομόνωση DNA από τόσο παλαιά δείγματα ή πρόκειται για επιστημονική φαντασία; Προσπαθήστε να απαντήσετε αυτή την ερώτηση ανατρέχοντας σε διάφορες βιβλιογραφικές ή άλλες πηγές.
2. Η θεωρία της εξέλιξης του Δαρβίνου προκάλεσε θύελλα αντιδράσεων στην εποχή του, ενώ ακόμη και σήμερα υπάρχουν άνθρωποι που δεν την αποδέχονται. Πολλές ωστόσο επιστημονικές θεωρίες που διατυπώθηκαν τα νεότερα χρόνια δεν προκάλεσαν τόσες αντιδράσεις στο ευρύ κοινό. Εργαστείτε ομαδικά, συλλέγοντας στοιχεία από διάφορες πηγές, προκειμένου να ερμηνεύσετε γιατί συνέβη αυτό με τη θεωρία του Δαρβίνου. Προσπαθήστε να προσεγγίσετε την ατμόσφαιρα και τις αξίες της Βικτωριανής Αγγλίας. Ζητήστε τη βοήθεια των καθηγητών σας της Ιστορίας, της Φυσικής, των Θρησκευτικών, της Κοινωνιολογίας, της Φιλοσοφίας. Ένα χρήσιμο βιβλίο για την έρευνά σας είναι *Ο τυφλός ωρολογοποιός* του Ρίτσαρντ Ντόκινς (Richard Dawkins).
3. Έχουν βρεθεί απολιθώματα στην περιοχή ή στο νομό που βρίσκεται το σχολείο σας; Τι είδους απολιθώματα έχουν βρεθεί; Σε ποια περίοδο της γεωλογικής ιστορίας ανήκουν; Έχουν μελετηθεί από τους επιστήμονες; Πού φυλάσσονται;
4. Πώς η χρήση από τον άνθρωπο των αντιβιοτικών επηρεάζει την εξέλιξη των παθογόνων βακτηρίων; Για την απάντησή σας να λάβετε υπόψη τη θεωρία της φυσικής επιλογής.
5. Να βρείτε στοιχεία για τον Άνθρωπο των Πετραλώνων.