# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**

**Πρωτεΐνες: Διαδεδομένες, πολύπλοκες και εύθραυστες**

Αν μεταξύ των μακρομορίων αναζητούσαμε το πιο διαδεδομένο και  
πολυδιάστατο στη μορφή και στη λειτουργία του μόριο, αργά ή γρήγορα θα  
καταλήγαμε στις πρωτεΐνες. Είναι γεγονός ότι ακόμη και σε ένα απλό κύτταρο,  
όπως αυτό των βακτηρίων, υπάρχουν εκατοντάδες διαφορετικές πρωτεΐνες,  
καθεμιά από τις οποίες έχει έναν ιδιαίτερο ρόλο στη ζωή του κυττάρου. Αποτελεί  
είτε δομικό συστατικό του, είτε εξυπηρετεί κάποια συγκεκριμένη λειτουργία του.  
Παρά τις διαφορές τους όλες οι πρωτεΐνες, ανεξάρτητα από το πού  
ανήκουν (σε ιούς, βακτήρια ή σε ανώτερες μορφές ζωής), οικοδομούνται με  
βάση την ίδια πρώτη ύλη: ένα σύνολο από 20 διαφορετικά αμινοξέα. Από τα 20  
αυτά είδη αμινοξέων, ένας διαφορετικός αριθμός κάθε φορά, συνδεόμενα με  
διαφορετική αλληλουχία, δίνουν μια τεράστια ποικιλία πρωτεϊνικών μορίων. Ο  
αριθμός των αμινοξέων που είναι διαφορετικός για κάθε πρωτεΐνη μπορεί να  
ξεπερνά τα 1.000.Για να αντιληφθούμε πώς είναι δυνατό να δημιουργούνται  
διαφορετικά είδη πρωτεϊνών, όταν η πρώτη ύλη, δηλαδή τα αμινοξέα, είναι  
κοινή για όλους τους οργανισμούς, φτάνει να σκεφτούμε τη γλώσσα μας. Τα 24  
γράμματα του ελληνικού αλφάβητου, τοποθετούμενα σε διαφορετικούς  
συνδυασμούς, αρκούν για να σχηματίσουν χιλιάδες διαφορετικές λέξεις, που  
χρησιμοποιούμε για την επικοινωνία μας. Με παρόμοιο τρόπο τα 20  
διαφορετικά αμινοξέα, τοποθετούμενα σε διαφορετικούς συνδυασμούς,  
μπορούν να σχηματίσουν έναν τεράστιο αριθμό διαφορετικών πρωτεϊνικών  
μορίων.

**Αμινοξέα**  
Έχουν ανιχνευτεί πάνω από 170 διαφορετικά αμινοξέα από τα οποία 20  
μόνο αποτελούν συστατικά πρωτεϊνών. Το μόριο των αμινοξέων αποτελείται  
από δύο τμήματα, ένα σταθερό και ένα μεταβλητό. Το σταθερό αποτελείται από  
ένα άτομο υδρογόνου, μια αμινομάδα και μια καρβοξυλομάδα, ενωμένα σε ένα  
κοινό άτομο άνθρακα, ενώ το μεταβλητό αποτελείται από την πλευρικήομάδα. Η ομάδα αυτή έχει διαφορετική χημική δομή για κάθε αμινοξύ.  
Συνεπώς, αν υπάρχουν 20 διαφορετικά αμινοξέα, είναι γιατί υπάρχουν 20  
διαφορετικές πλευρικές ομάδες. Η ένωση δύο αμινοξέων γίνεται με μια αντίδραση συμπύκνωσης (αφαίρεση ενός μορίου νερού) μεταξύ της καρβοξυλομάδας του ενός και της  
αμινομάδας του άλλου. Αποτέλεσμα αυτής της ένωσης είναι ένα διπεπτίδιο.  
Αν στο 2ο αμινοξύ του διπεπτιδίου συνδεθεί με τον ίδιο τρόπο ένα 3ο αμινοξύ,  
δημιουργείται ένα τριπεπτίδιο κ.ο.κ. Τα πεπτίδια στα οποία ο αριθμός των  
αμινοξέων υπερβαίνει τα 50 ονομάζονται πολυπεπτίδια. Κάθε φορά μπορεί να  
προστίθεται στην πεπτιδική αλυσίδα οποιοδήποτε από τα 20 διαφορετικά  
αμινοξέα που απαντώνται στις πρωτεΐνες

**Οργάνωση των πρωτεϊνικών μορίων.**

Ένα πολυπεπτίδιο, αμέσως μετά τη σύνθεσή του, δεν είναι συνήθως  
ικανό να εκδηλώσει το βιολογικό του ρόλο. Η ικανότητα αυτή αποκτάται, όταν  
η πολυπεπτιδική αλυσίδα πάρει την τελική διαμόρφωσή της στο χώρο. Όπως  
φαίνεται και στην εικόνα, στα πρωτεϊνικά μόρια διακρίνουμε τέσσερα επίπεδα  
οργάνωσης. To πρώτο επίπεδο είναι η πρωτοταγής δομή, δηλαδή η αλληλουχία των αμινοξέων στην πολυπεπτιδική αλυσίδα. Στο δεύτερο επίπεδο, που αποτελεί τη δευτεροταγή δομή της πρωτεΐνης, η πολυπεπτιδική αλυσίδα αναδιπλώνεται και αποκτά είτε ελικοειδή είτε πτυχωτή μορφή. Στο τρίτο επίπεδο η πολυπεπτιδική αλυσίδα, πτυχωτή ή ελικοειδής, αναδιπλώνεται στο χώρο, ώστε να αποκτήσει μια καθορισμένη μορφή  
την τριτοταγή δομή. Αν η πρωτεΐνη αποτελείται από μία μόνο πολυπεπτιδική αλυσίδα, το τελικό στάδιο της διαμόρφωσής της είναι η τριτοταγής δομή. Αν όμως αποτελείται από περισσότερες πολυπεπτιδικές αλυσίδες, το τελικό στάδιο είναι η τεταρτοταγής δομή, δηλαδή ο συνδυασμός των επιμέρους πολυπεπτιδικών αλυσίδων σε ένα ενιαίο πρωτεϊνικό μόριο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η αιμοσφαιρίνη, η οποία συντίθεται από τέσσερις πολυπεπτιδικές αλυσίδες ανά δύο ίδιες. Η διαμόρφωση του πρωτεϊνικού μορίου στον χώρο, καθορίζεται από την  
αλληλουχία των αμινοξέων στην πεπτιδική αλυσίδα και σταθεροποιείται από  
τους δεσμούς που σχηματίζονται ανάμεσα στις ομάδες R των αμινοξέων.

**Η δομή των πρωτεϊνικών μορίων καθορίζει τη λειτουργία τους.**

Σύμφωνα με τους μετριοπαθέστερους υπολογισμούς, στο ανθρώπινο  
σώμα υπάρχουν περισσότερες από 30.000 διαφορετικές πρωτεΐνες. Καθεμιά  
από αυτές εμφανίζει έναν ιδιαίτερο βιολογικό ρόλο. Η αιμοσφαιρίνη, για  
παράδειγμα, είναι επιφορτισμένη με τη μεταφορά του οξυγόνου και του  
διοξειδίου του άνθρακα. Το κολλαγόνο είναι δομική πρωτεΐνη ιστών (π.χ. του  
συνδετικού ιστού), ενώ τα ένζυμα επιταχύνουν τις αντιδράσεις που γίνονται  
μέσα στο κύτταρο. Από την ποικιλία των διαφορετικών λειτουργιών που κάνουν οι πρωτεΐνες μπορούμε να αντιληφθούμε τη μεγάλη σημασία τους για τα βιολογικά φαινόμενα. O μεταβολισμός, ο πολλαπλασιασμός και όλες οι άλλες λειτουργίες των κυττάρων, και κατ' επέκταση των οργανισμών, στηρίζονται στη δράση των εκπληκτικών αυτών «μοριακών εργαλείων». Είναι δικαιολογημένο να αναρωτιόμαστε πώς είναι δυνατό μόρια τα οποία είναι φτιαγμένα από τα ίδια είδη αμινοξέων να παρουσιάζουν τόσο διαφορετικές λειτουργίες. Την απάντηση θα τη βρούμε, αν προσπαθήσουμε να εντοπίσουμε εκείνο το στοιχείο που διαφοροποιεί τις πρωτεΐνες μεταξύ τους. Αυτό είναι η διαφορετική αλληλουχία των αμινοξέων, δηλαδή η διαφορετική πρωτοταγής δομή σε συνδυασμό με τις διαφορετικές ομάδες R. Όταν η σειρά των αμινοξέων είναι διαφορετική, η δυνατότητα να σχηματιστούν δεσμοί ανάμεσα στις πλευρικές ομάδες αμινοξέων βρίσκεται σε διαφορετικά σημεία της πεπτιδικής αλυσίδας. Αυτό οδηγεί σε διαφορετική αναδίπλωση του μορίου, που συνεπάγεται διαφορετική δευτεροταγή και τριτοταγή δομή, επομένως σε διαφορετική διαμόρφωση στο χώρο. Η τρισδιάστατη δομή μιας πρωτεΐνης καθορίζει τη λειτουργία που αυτή  
εκτελεί. Αυτό φαίνεται από τις συνέπειες της έκθεσης της σε ακραίες τιμές  
θερμοκρασίας ή ρΗ. Τότε η πρωτεΐνη υφίσταται αυτό που  
ονομάζουμε μετουσίωση. Σπάζουν δηλαδή δεσμοί που έχουν αναπτυχθεί  
μεταξύ των πλευρικών ομάδων, καταστρέφεται η τρισδιάστατη δομή της και η  
πρωτεΐνη χάνει τη λειτουργικότητά της. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η  
αλλαγή της υφής του ασπραδιού του αβγού κατά τη θέρμανση. Από διαυγές  
διάλυμα πρωτεϊνικών μορίων, γίνεται λευκό, αδιαφανές και συμπαγές. Αυτό  
οφείλεται στο ότι η πρωτεΐνη που περιέχει (αλβουμίνη) μετουσιώνεται. Σ' αυτή  
την κατάσταση είναι εμφανές ότι δεν μπορεί να επιτελέσει πλέον τη λειτουργία  
για την οποία υπάρχει ως συστατικό του αβγού.  
Οι πρωτεΐνες, με κριτήριο τη λειτουργία τους, διακρίνονται σε δύο  
ευρύτερες κατηγορίες. Τις δομικές, που αποτελούν δομικά συστατικά των  
κυττάρων και κατ' επέκταση των οργανισμών, και τις λειτουργικές, που  
συμβάλλουν στις διάφορες λειτουργίες.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

**Εισαγωγή**  
Μια από τις επιδιώξεις των Φυσικών Επιστημών είναι να περιγράψουν  
και να εξηγήσουν τη δομή και τις ιδιότητες της ύλης, ξεκινώντας από τα  
μικρότερα δομικά συστατικά της. Η ατομική θεωρία αποτελεί την  
πραγματοποίηση αυτής της επιδίωξης για την ύλη γενικά. Κάτι ανάλογο είναι  
η κυτταρική θεωρία, που βοηθά όμως στην περιγραφή της δομής και των  
ιδιοτήτων της έμβιας ύλης. Το ότι όλοι οι οργανισμοί αποτελούνται από κύτταρα είναι γνωστό και συνήθως δεν αισθανόμαστε την ανάγκη να το σχολιάσουμε εκτενέστερα. Αυτό όμως που σήμερα μας φαίνεται απλό και αυτονόητο είναι το αποτέλεσμα μιας σειράς μελετών, παρατηρήσεων και συμπερασμάτων, τα οποία διήρκεσαν περισσότερο από 170 χρόνια. Την αρχή έκανε το 1665 ο Ρ. Χουκ, όταν ανέφερε για πρώτη φορά τη λέξη «κύτταρο», παρατηρώντας, με το δικής του κατασκευής μικροσκόπιο, λεπτές τομές φελλού και όχι ζωντανά κύτταρα. Η κυτταρική θεωρία διατυπώθηκε αργότερα, το 1838-39, από τους Μ. Σλάιντεν και Τ. Σβαν που υποστήριξαν ότι «η θεμελιώδης δομική και λειτουργική μονάδα όλων των οργανισμών είναι το κύτταρο». Αυτό σημαίνει ότι το κύτταρο είναι η μικρότερη δομή στη φύση όπου εμφανίζεται το φαινόμενο της ζωής. Η θεωρία αυτή ολοκληρώθηκε πολύ αργότερα, το 1885, από το Ρ. Βίρχοφ με την περίφημη θέση του «κάθε κύτταρο προέρχεται από ένα κύτταρο». Η κυτταρική θεωρία στη σύγχρονη εκδοχή της υποστηρίζει ότι:  
1. Όλοι οι οργανισμοί αποτελούνται από κύτταρα και από κυτταρικά  
παράγωγα. 2. Όλα τα κύτταρα δομούνται από τις ίδιες χημικές ενώσεις και εκδηλώνουν παρόμοιες μεταβολικές διεργασίες. 3. Η λειτουργία των οργανισμών είναι το αποτέλεσμα της συλλογικής δράσης  
και αλληλεπίδρασης των κυττάρων που τους αποτελούν. 4. Κάθε κύτταρο προέρχεται από τη διαίρεση προϋπάρχοντος κυττάρου.  
Τα κύτταρα, με κριτήριο την πολυπλοκότητα της κατασκευής τους και  
κυρίως την ύπαρξη ή όχι μεμβράνης που περιβάλλει το γενετικό τους υλικό,  
διακρίνονται σε προκαρυωτικά και σε ευκαρυωτικά. Η δομή των ευκαρυωτικών  
κυττάρων, δηλαδή ορισμένων μονοκύτταρων και των πολυκύτταρων  
οργανισμών, είναι συνθετότερη. Η μεμβράνη που περιβάλλει το γενετικό υλικό  
σχηματίζει μαζί μ' αυτό τον πυρήνα του κυττάρου (κάρυο = πυρήνας, ευ=  
καλώς → καλά σχηματισμένος πυρήνας). Αντίθετα, στα προκαρυωτικά κύτταρα  
(βακτήρια και κυανοβακτήρια), που είναι απλούστερα, το γενετικό υλικό δεν  
περιβάλλεται από μεμβράνη και συνεπώς δεν υπάρχει πυρήνας. Θεωρείται ότι  
τα προκαρυωτικά κύπαρα, κατά την εξελικτική διαδικασία, προϋπήρξαν των  
ευκαρυωτικών.

**Πυρήνας**  
Ο πυρήνας είναι το πιο ευδιάκριτο οργανίδιο των ευκαρυωτικών  
κυττάρων. Κατά κανόνα υπάρχει ένας πυρήνας σε κάθε κύτταρο. Υπάρχουν  
ωστόσο και κύτταρα με δύο πυρήνες, όπως το κύτταρο του πρωτόζωου  
Παραμέτσιουμ (Paramecium), ή κύτταρα με πολυάριθμους πυρήνες, όπως  
ορισμένα μυϊκά. Υπάρχουν όμως και κύτταρα, όπως είναι τα ερυθρά  
αιμοσφαίρια, που κατά τη διάρκεια της διαφοροποίησής τους χάνουν τον  
πυρήνα τους. Το σχήμα του πυρήνα είναι συνήθως σφαιρικό ή ωοειδές και η διάμετρος του, αν και ποικίλλει, προσεγγίζει τα 5 μm. Σε μερικά κύτταρα βρίσκεται περίπου στο κέντρο τους, σε άλλα όμως δε φαίνεται να έχει σταθερή θέση. Ο πυρήνας περιβάλλεται από τον πυρηνικό φάκελο ή πυρηνική  
μεμβράνη, που αποτελείται από δύο στοιχειώδεις μεμβράνες, μια εσωτερική και  
μια εξωτερική. Η παρατήρηση του πυρηνικού φακέλου με το ηλεκτρονικό  
μικροσκόπιο δείχνει ότι κατά διαστήματα παρουσιάζει πόρους, που  
σχηματίζονται από τη συνένωση της εσωτερικής με την εξωτερική μεμβράνη.  
Οι πυρηνικοί πόροι παίζουν σημαντικό ρόλο στην επικοινωνία του πυρήνα με  
το κυτταρόπλασμα, γιατί ελέγχουν τα μακρομόρια που ανταλλάσσονται μεταξύ  
τους. Το εσωτερικό του πυρήνα καταλαμβάνεται από το πυρηνόπλασμα. Είναι  
μια ημίρρευστη ουσία, στην οποία περιέχονται το σύνολο σχεδόν του DNA του  
ευκαρυωτικού κυττάρου, ένας ή περισσότεροι πυρηνίσκοι και διάφορες χημικές ενώσεις (νουκλεοτίδια, ένζυμα, πρωτεΐνες κ.ά.). Ο πυρηνίσκος είναι μια δομή που διακρίνεται εύκολα στο μικροσκόπιο από το σφαιρικό σχήμα της και την πυκνή υφή της. Αποτελείται κυρίως από RNA και DNA και δεν περιβάλλεται από στοιχειώδη μεμβράνη. Σ' αυτόν συντίθεται το rRNA (συστατικό των ριβοσωμάτων). Ο ρόλος του πυρήνα για τη ζωή των κυττάρων είναι σημαντικός, αφού: 1. Φυλάσσει το γενετικό υλικό (DNA). Με βάση τις πληροφορίες που είναι καταγραμμένες σ' αυτό καθορίζονται οι ιδιότητες του κυττάρου, και κατ' επέκταση του οργανισμού, και ελέγχονται όλες οι κυτταρικές  
δραστηριότητες. 2. Είναι το οργανίδιο στο οποίο διπλασιάζεται το γενετικό υλικό, με τρόπο που εξασφαλίζει τη μεταβίβαση των γενετικών πληροφοριών, αναλλοίωτων, από κύτταρο σε κύτταρο αλλά και από γενιά σε γενιά. 3. Είναι το οργανίδιο στο εσωτερικό του οποίου συντίθενται τα διάφορα είδη  
RNA από γενετικές πληροφορίες που φέρει το DNA.  
Λεπτομέρειες για τις διαδικασίες αυτές θα γνωρίσουμε σε επόμενο  
κεφάλαιο. Κάτι που δείχνει τη μεγάλη σημασία του πυρήνα για τη ζωή του κυττάρου  
είναι το γεγονός ότι κύτταρα τα οποία έχασαν τον πυρήνα τους κατά τη  
διαφοροποίησή τους (π.χ. ερυθρά αιμοσφαίρια) ή κύτταρα από τα οποία  
αφαιρέθηκε τεχνητά ο πυρήνας δεν αναπαράγονται και εμφανίζουν μικρό  
αριθμό μεταβολικών διεργασιών και περιορισμένη διάρκεια ζωής.

**Ενδομεμβρανικό σύστημα**

Το αδρό ενδοπλασματικό δίκτυο φέρει στην εξωτερική επιφάνεια των  
μεμβρανών του μικρούς σχηματισμούς, τα ριβοσώματα. Οι σχηματισμοί αυτοί  
δεν περιβάλλονται από μεμβράνη και αποτελούνται από rRNA και πρωτεΐνες.  
Στα ριβοσώματα γίνεται η πρωτεϊνοσύνθεση. Στη συνέχεια οι πρωτεΐνες που  
συντίθενται εισέρχονται στο εσωτερικό των αγωγών. Εκεί ενδέχεται να  
υποστούν τροποποιήσεις (π.χ. προσθήκη σακχάρων). Ριβοσώματα υπάρχουν  
όχι μόνο στην επιφάνεια των μεμβρανών του αδρού ενδοπλασματικού δικτύου,  
αλλά και ελεύθερα στο κυτταρόπλασμα, καθώς επίσης και στα μιτοχόνδρια και  
στους χλωροπλάστες. Τα οργανίδια αυτά έχουν τη δυνατότητα να συνθέτουν,  
ανεξάρτητα από το κύτταρο, πρωτεΐνες που τους είναι απαραίτητες.

**Χλωροπλάστες και μιτοχόνδρια - Οι μετατροπείς ενέργειας των κυττάρων**  
Τα κύτταρα χρειάζονται ενέργεια, για να διατηρήσουν τη δομή και τη  
λειτουργικότητά τους. Την ενέργεια αυτή την αντλούν συνεχώς από το  
περιβάλλον τους. Δεν αρκεί όμως μόνο η εισαγωγή ενέργειας στα κύτταρα.  
Χρειάζεται και η μετατροπή της σε μορφή τέτοια, που να μπορεί να  
χρησιμοποιηθεί από τα κύτταρα για την παραγωγή έργου (μηχανικού, χημικού,  
μεταφοράς ουσιών κ.τλ.), από το οποίο εξαρτάται η επιβίωση τους.  
Τα οργανίδια του ευκαρυωτικού κυττάρου τα εξειδικευμένα στη  
μετατροπή της εξωτερικής ενέργειας σε χρησιμοποιήσιμη μορφή είναι οι  
χλωροπλάστες και τα μιτοχόνδρια.

**Χλωροπλάστες**  
Υπάρχουν μόνο στα κύτταρα των πράσινων τμημάτων των φυτών. Στα  
οργανίδια αυτά γίνεται η φωτοσύνθεση.  
Οι χλωροπλάστες περιβάλλονται από διπλή στοιχειώδη μεμβράνη. Στο  
εσωτερικό τους υπάρχει μια ρευστή μάζα, το στρώμα, στο οποίο περιέχονται  
πεπλατυσμένα κυστίδια, τα θυλακοειδή, που στοιβάζονται το ένα πάνω στο  
άλλο, ώστε να σχηματίσουν σωρούς, τα grana, στα οποία περιέχονται μόρια  
χλωροφύλλης. Υπάρχουν επίσης μεμονωμένες μεμβρανώδεις δομές, τα  
ελασμάτια, που συνδέουν τα grana μεταξύ τους.  
Στο στρώμα του χλωροπλάστη βρίσκεται και DNA, όπως επίσης ένζυμα  
και ριβοσώματα, που του επιτρέπουν να διαιρείται και να δίνει θυγατρικά  
οργανίδια, αλλά και να συνθέτει μερικές από τις πρωτεΐνες του, χωρίς να  
εξαρτάται ολοκληρωτικά από το γενετικό υλικό του πυρήνα.  
Οι χλωροπλάστες ανήκουν σε μια ευρύτερη κατηγορία οργανιδίων των  
φυτικών κυττάρων, που ονομάζονται πλαστίδια, Στα πλαστίδια ανήκουν και οι  
άχρωμοι αμυλοπλάστες, που βρίσκονται στα κύτταρα των ριζών  
ων φυτών και αποτελούν αποθήκες αμύλου, καθώς επίσης οι  
χρωμοπλάστες, που περιέχουν χρωστικές και βρίσκονται στα άνθη, στα φύλλα  
και στους καρπούς.

**Μιτοχόνδρια**  
Τα μιτοχόνδρια υπάρχουν σε όλα τα ευκαρυωτικά κύτταρα (φωτοσυνθετικά και  
μη), με εξαίρεση τα ώριμα ερυθρά αιμοσφαίρια. Είναι τα οργανίδια στα οποία  
γίνεται μετατροπή της ενέργειας σε μορφή που να μπορεί να αξιοποιηθεί για τις  
διάφορες λειτουργίες του κυττάρου. Το σχήμα των μιτοχονδρίων ποικίλλει (επίμηκες, σφαιρικό ή ωοειδές),όπως ποικίλλει και ο αριθμός τους στους διάφορους τύπους κυττάρων. Γενικώς, κύτταρα που έχουν υψηλές απαιτήσεις σε χημική ενέργεια, όπως τα μυϊκά, έχουν και πάρα πολλά μιτοχόνδρια, ενώ κύτταρα με μικρότερες ενεργειακές απαιτήσεις έχουν μικρότερο αριθμό μιτοχονδρίων. Όπως οι χλωροπλάστες, έτσι και τα μιτοχόνδρια περιβάλλονται από διπλή στοιχειώδη μεμβράνη. Η εξωτερική μεμβράνη είναι λεία, ενώ η εσωτερική παρουσιάζει αναδιπλώσεις προς το εσωτερικό του μιτοχονδρίου. Στις αναδιπλώσεις αυτές εντοπίζονται διάφορα ένζυμα. Όπως στους  
χλωροπλάστες, έτσι και στα μιτοχόνδρια ο χώρος μέσα από την εσωτερική  
μεμβράνη καλύπτεται από μια παχύρρευστη μάζα, τη μήτρα του μιτοχονδρίου.  
Στη μήτρα του μιτοχονδρίου, όπως και στο στρώμα του χλωροπλάστη,  
υπάρχουν DNA, ένζυμα και ριβοσώματα. Τα οργανίδια δηλαδή αυτά διαθέτουν  
τον απαραίτητο εξοπλισμό, που τους εξασφαλίζει μια σχετική γενετική  
αυτοδυναμία. Χάρη σ' αυτό το μηχανισμό μπορούν να παράγουν ορισμένες  
πρωτεΐνες και να διπλασιάζονται ανεξάρτητα από το διπλασιασμό του  
κυττάρου.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

**Μηχανισμός δράσης των ενζύμων**

Για να πραγματοποιηθούν πολλές από τις χημικές αντιδράσεις, ακόμη και αυτές που τελικά αποδίδουν ενέργεια (εξώθερμες), πρέπει αρχικά να προσφερθεί ενέργεια στα αντιδρώντα μόρια. Η ενέργεια αυτή ονομάζεται ενέργεια ενεργοποίησης. Στο περιβάλλον η ενέργεια ενεργοποίησης μπορεί να εξασφαλιστεί με προσφορά θερμότητας. Σε ό,τι αφορά τις αντιδράσεις του μεταβολισμού, αν επιδιώξουμε την πραγματοποίησή τους στο εργαστήριο, έξω από το κύτταρο, προσφέροντας θερμότητα, θα διαπιστώσουμε ότι το ποσό που απαιτείται θα ήταν απαγορευτικό για την επιβίωση του κυττάρου. Επιπλέον ο χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση των μεταβολικών αντιδράσεων είναι πολύ μεγάλος. Αυτό θα δημιουργούσε επίσης πρόβλημα στους οργανισμούς, των οποίων οι ανάγκες είναι σχεδόν πάντα άμεσες και φυσικά απαιτούν μεγάλη ταχύτητα αντιδράσεων. Τα κύτταρα, για να αντιμετωπίσουν αυτό το πρόβλημα, διαθέτουν μηχανισμό μείωσης της ενέργειας ενεργοποίησης των μεταβολικών τους αντιδράσεων. Ο μηχανισμός αυτός στηρίζεται στη δράση των ενζύμων, που, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι πρωτεΐνες. Τα ένζυμα, γενικά, καταλύουν αντιδράσεις που θα μπορούσαν να γίνουν και χωρίς την παρουσία τους. Με την παρουσία όμως των ενζύμων η ταχύτητα των αντιδράσεων αυξάνεται ακόμη και μέχρι 100 εκατομμύρια φορές. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι αντιδράσεις που πραγματοποιούνται, με την παρουσία ενζύμων, μέσα σ' ένα λεπτό, θα χρειάζονταν 32 μήνες για να πραγματοποιηθούν χωρίς αυτά. Αυτό επιτυγχάνεται με τον κατάλληλο προσανατολισμό των αντιδρώντων μορίων ή μορίων - υποστρωμάτων. Ο προσανατολισμός των μορίων - υποστρωμάτων γίνεται στο ενεργό κέντρο του ενζύμου, που αποτελεί μια μικρή περιοχή του. Η σύνδεση των αντιδρώντων μορίων με αυτό μοιάζει με το «ταίριασμα του κλειδιού στην κλειδαριά». Η σύνδεση των υποστρωμάτων με το ένζυμο έχει ως αποτέλεσμα να γίνονται ασταθείς οι δεσμοί των αντιδρώντων μορίων. «Σπάνε» πιο εύκολα, κάτι που αποτελεί προϋπόθεση για το σχηματισμό των προϊόντων. Σε ορισμένες περιπτώσεις το ενεργό κέντρο των ενζύμων αποκτά σχήμα συμπληρωματικό του σχήματος του υποστρώματος μόνο μετά την πρόσδεση του υποστρώματος στο ενεργό κέντρο.

**Ιδιότητες των ενζύμων.**

Το γεγονός ότι τα ένζυμα είναι πρωτεϊνικά μόρια έχει ως αποτέλεσμα ορισμένες, τουλάχιστον, από τις ιδιότητές τους. Ας δούμε τις κυριότερες από  
αυτές: Η καταλυτική δράση των ενζύμων καθορίζεται από την τριτοταγή δομή του πρωτεϊνικού μορίου τους και χάνεται, όταν η δομή αυτή, για κάποιο λόγο, πάψει να υπάρχει. **1**. Δρουν πολύ γρήγορα. Για παράδειγμα, ένα μόριο καταλάσης μπορεί να καταλύσει, στη θερμοκρασία του κυττάρου, τη διάσπαση έξι εκατομμυρίων μορίων υπεροξειδίου του υδρογόνου μέσα σε ένα λεπτό (2Η2Ο2 καταλάση 🡪 2Η2Ο+Ο2). **2**. Δε συμμετέχουν στην αντίδραση που καταλύουν, με την έννοια ότι παραμένουν αναλλοίωτα και μετά το τέλος της αντίδρασης μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν πολλές φορές, ώσπου να καταστραφούν **3**. Εμφανίζουν υψηλό βαθμό εξειδίκευσης, που οφείλεται στη διάταξή τους στο χώρο και στη δυνατότητα σύνδεσης του ενεργού τους κέντρου με το υπόστρωμα. Αυτό σημαίνει ότι δρουν συνήθως σε ένα μόνο συγκεκριμένο υπόστρωμα. Ένα ένζυμο δηλαδή καταλύει συνήθως μία μόνο χημική αντίδραση ή, το πολύ, μια σειρά από πολύ συγγενικές αντιδράσεις. Η καταλάση, για παράδειγμα, καταλύει μόνο την αντίδραση διάσπασης του  
υπεροξειδίου του υδρογόνου. Αντίθετα η παγκρεατική λιπάση, ένζυμο που  
εκκρίνεται από το πάγκρεας, καταλύει τις αντιδράσεις διάσπασης μιας  
σειράς διαφορετικών λιπιδίων. **4**. Η δραστικότητα των ενζύμων επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες. Σ' αυτούς ανήκουν η θερμοκρασία, το pH κ.ά.  
Τα ένζυμα, ανάλογα με το αν δρουν μέσα στα κύτταρα του οργανισμού  
ή εκκρίνονται και δρουν έξω από αυτά, σε κοιλότητες όπως το στομάχι,  
διακρίνονται σε ενδοκυτταρικά και εξωκυτταρικά. Μέσα στο κύτταρο τα ένζυμα  
βρίσκονται είτε ελεύθερα είτε δεσμευμένα πάνω σε μεμβράνες. Αυτό  
προσδιορίζει και το χώρο όπου μπορεί να λαμβάνει χώρα η αντίδραση την  
οποία κάθε ένζυμο καταλύει. Τα ένζυμα παίρνουν συνήθως το όνομά τους είτε  
με προσθήκη της κατάληξης - άση στο όνομα του υποστρώματος στο οποίο  
δρουν είτε από τον τύπο της αντίδρασης που καταλύουν. Για παράδειγμα, οι  
λιπάσες καταλύουν αντιδράσεις διάσπασης λιπιδίων.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

**Κύκλος ζωής του κυττάρου**

Το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από τη δημιουργία ενός κυττάρου  
ως τότε που και το ίδιο θα παράγει τους απογόνους του, ονομάζεται κυτταρικός  
κύκλο ή κύκλος ζωής του κυττάρου. Τον κύκλο αυτό, αν και αποτελεί μια  
συνεχή διαδοχή γεγονότων, τον χωρίζουμε σε δύο φάσεις, στη μεσόφαση και  
στη μιτωτική διαίρεση ή μίτωση, προκειμένου να τον περιγράψουμε και να τον  
μελετήσουμε καλύτερα. Η μεσόφαση παρεμβάλλεται σε δύο διαδοχικές μιτωτικές διαιρέσεις και αντιπροσωπεύει το 90% έως 95% της διάρκειας του κυτταρικού κύκλου. Τα κύτταρα κατά τη διάρκειά της φαίνεται να «αδρανούν», γιατί δεν παρατηρούνται έντονα κινητικά φαινόμενα στο χώρο του πυρήνα. Στην πραγματικότητα όμως αποτελεί αφ' ενός περίοδο αύξησης του όγκου του κυττάρου και αφ' ετέρου περίοδο προετοιμασίας του κυττάρου για την επικείμενη διαίρεσή του. Αυτό σημαίνει έντονες μεταβολικές διαδικασίες (διπλασιασμό του DNA, σύνθεση mRNA, tRNA, πρωτεϊνών κτλ.).  
Κάτι πολύ ενδιαφέρον, που ίσως δεν το έχουμε ποτέ αναλογιστεί, είναι  
ότι στον οργανισμό μας παράγονται διαρκώς νέα κύτταρα. Στο χρόνο που  
χρειάζεται για να ολοκληρώσουμε τη μελέτη αυτής της σελίδας θα έχουν  
παραχθεί στο σώμα μας ένα δισεκατομμύριο περίπου νέων κυττάρων. Καθένα  
από αυτά είναι προϊόν μιας κυτταρικής διαίρεσης, δηλαδή της διαδικασίας με την οποία πολλαπλασιάζονται τα κύτταρα. Αφού όμως τα κύτταρα αποτελούν τη θεμελιώδη μονάδα της ζωής, κάθε διαδικασία που γίνεται σ' αυτά πρέπει να αποτελεί την αφετηρία για μια αντίστοιχη διαδικασία του οργανισμού. Αν λοιπόν η συστολή των μυϊκών κυττάρων είναι η αφετηρία της κίνησης, η κυτταρική διαίρεση είναι η αφετηρία της ανάπτυξης και της αναπαραγωγής των οργανισμών. Πιο συγκεκριμένα, με κυτταρική διαίρεση επιτελείται: η μονογονική αναπαραγωγή των οργανισμών, κατά την οποία το νέο ή τα νέα άτομα προέρχονται από ένα μόνο γονέα, η αμφιγονική αναπαραγωγή των οργανισμών, κατά την οποία το νέο άτομο είναι προϊόν γονιμοποίησης, συνένωσης δηλαδή δύο εξειδικευμένων κυττάρων (γαμετών), που προέρχονται από γονείς διαφορετικού φύλου η αύξηση του αριθμού των κυττάρων και συνεπώς η ανάπτυξη των πολυκύτταρων οργανισμών, η αντικατάσταση των νεκρών, κατεστραμμένων ή γηρασμένων κυττάρων στους ιστούς με άλλα όμοια με αυτά. Ο βασικός τύπος κυτταρικής διαίρεσης στα ευκαρυωτικά κύτταρα είναι  
η μίτωση. Ωστόσο οι ευκαρυωτικοί οργανισμοί, που παράγονται  
αμφιγονικά, έχουν αναπτύξει και μια πιο εξελιγμένη παραλλαγή της, τη  
μείωση, με την οποία παράγουν τους απλοειδείς γαμέτες τους. Στους  
προκαρυωτικούς οργανισμούς η κυτταρική διαίρεση είναι απλούστερη,  
γίνεται με διχοτόμηση, και δεν έχει τα χαρακτηριστικά της μίτωσης.  
**Μίτωση**  
Το 1879 ένας Γερμανός ανατόμος, ο Β. Φλέμινγκ, ανακάλυψε ότι στον  
πυρήνα υπάρχει ένα χαρακτηριστικό νηματοειδές υλικό. Παρατηρώντας  
μάλιστα τα κύτταρα σε διάφορα στάδια της ζωής τους, παρατήρησε ότι τα  
νημάτια που συνιστούν αυτό το υλικό, αφού βραχυνθούν και παχυνθούν,  
  
κόβονται, για να διανεμηθούν στους απογόνους του κυττάρου. Την ακολουθία  
αυτών των φαινομένων την ονόμασε μίτωση, από την ελληνική λέξη μίτος, που  
σημαίνει «νήμα». Σήμερα γνωρίζουμε ότι τα νημάτια του Β. Φλέμινγκ είναι τα  
χρωμοσώματα, οι φορείς των γονιδίων, και ότι η μίτωση είναι ο βασικός τύπος  
διαίρεσης των ευκαρυωτικών κυττάρων. Η μίτωση είναι το συντομότερο αλλά και εντυπωσιακότερο τμήμα του κυτταρικού κύκλου, που οδηγεί τελικά στη δημιουργία δύο πανομοιότυπων μεταξύ τους (όσο και με το μητρικό) θυγατρικών κυττάρων. Αυτό διασφαλίζεται με δύο διαδοχικές διαδικασίες, την πυρηνική διαίρεση και την κυτταροπλασματική διαίρεση, που συμβαίνουν στη διάρκεια της μίτωσης. Κατά τη διάρκεια της πυρηνικής διαίρεσης γίνεται ακριβοδίκαιη διανομή γενετικού υλικού στους δύο θυγατρικούς πυρήνες. Κατά τη διάρκεια της κυτταροπλασματικής διαίρεσης το κυτταρόπλασμα του μητρικού κυττάρου μοιράζεται στα δύο θυγατρικά κύτταρα, έτσι ώστε το καθένα να αποκτήσει το απαραίτητο κυτταρόπλασμα και οργανίδια.

**Πυρηνική διαίρεση**

Η πυρηνική διαίρεση είναι ένα συνεχές φαινόμενο και μόνο για να  
διευκολυνθούμε στη μελέτη και την περιγραφή του, το χωρίζουμε σε στάδια. Τα  
στάδια αυτά για τα περισσότερα ευκαρυωτικά κύτταρα είναι τέσσερα:  
η πρόφαση, η μετάφαση, η ανάφαση και η τελόφαση. Ας τα δούμε ένα ένα:  
**Πρόφαση**: Είναι το μεγαλύτερο σε διάρκεια: στάδιο της μίτωσης. Στη διάρκειά  
της τα ινίδια της χρωματίνης αρχίζουν να περιελίσσονται και να  
συμπυκνώνονται, για να πάρουν τη χαρακτηριστική μορφή των  
χρωμοσωμάτων. Κάθε χρωμόσωμα αποτελείται από δύο αδελφές χρωματίδες,  
ενωμένες στο κεντρομερίδιο. Επειδή οι αδελφές χρωματίδες είναι αποτέλεσμα  
του αυτοδιπλασιασμού του γενετικού υλικού, που έγινε κατά τη μεσόφαση,  
αποτελούνται (η καθεμιά) από ένα δίκλωνο μόριο DNA και είναι γενετικά όμοιες.  
Ο λόγος για τον οποίο το γενετικό υλικό του κυττάρου «πακετάρεται» σε  
χρωμοσώματα είναι απλός: δεν πρέπει να σπάσει ούτε να χαθεί τίποτε κατά  
τη μεταφορά του γενετικού υλικού στα θυγατρικά κύτταρα. Στη συνέχεια  
σχηματίζεται η άτρακτος. Αυτό στα ζωικά κύτταρα γίνεται με τη βοήθεια του  
κεντροσωματίου, που έχει ήδη διπλασιαστεί κατά τη μεσόφαση. Τα δύο  
κεντροσωμάτιο μετακινούνται προς τους δύο πόλους. Από κάθε κεντροσωμάτιο  
προβάλλουν ακτινωτά νημάτια, οι μικροσωληνίσκοι, που σιγά σιγά  
σχηματίζουν την άτρακτο. Στα φυτικά κύτταρα είναι προφανές ότι η άτρακτος  
δεν οργανώνεται από κεντροσωμάτιο, αφού δε διαθέτουν τέτοια. Ο πυρηνικός  
φάκελος και ο πυρηνίσκος αποδιοργανώνονται, επιτρέποντας στους  
μικροσωληνίσκους να εισβάλουν στο χώρο που καταλάμβανε ο πυρήνας και  
να ενωθούν με τα κεντρομερίδια των χρωμοσωμάτων.  
Μετάφαση: Με την έναρξή της τα χρωμοσώματα εγκαταλείπουν τις τυχαίες  
θέσεις που καταλάμβαναν κατά την πρόφαση και αρχίζουν να μετακινούνται  
κατά μήκος των νηματίων της ατράκτου, προς το ισημερινό επίπεδο του  
κυττάρου. Στο τέλος αυτής της φάσης τα χρωμοσώματα έχουν φτάσει στο  
ισημερινό επίπεδο, με τις αδελφές χρωματίδες κάθε χρωμοσώματος να έχουν  
τοποθετηθεί παράλληλα προς αυτό. Κατά τη μετάφαση συνεχίζεται η  
συμπύκνωση της χρωματίνης. Στο τέλος της τα χρωμοσώματα έχουν το  
μέγιστο βαθμό συμπύκνωσης, γι' αυτό είναι περισσότερο διακριτά από όσο σε  
κάθε άλλο στάδιο του κυτταρικού κύκλου. Γι' αυτό το λόγο η παρατήρηση, η  
φωτογράφηση, όπως και κάθε άλλη διαδικασία που αφορά τη μελέτη της  
δομής, το μήκος ή τον αριθμό των χρωμοσωμάτων γίνονται κατά τη διάρκειά  
της.

**Ανάφαση**: Αρχίζει με τη διαίρεση του κεντρομεριδίου κάθε χρωμοσώματος. Με  
την ολοκλήρωση αυτής της διαίρεσης καθεμιά από τις αδελφές χρωματίδες  
ανεξαρτητοποιείται από την άλλη. Οι μικροσωληνίσκοι της ατράκτου ασκούν  
αντίθετη έλξη στα δημιουργούμενα κεντρομερίδια και έτσι οι δύο αδελφές  
χρωματίδες αποχωρίζονται, σαν να κινούνται πάνω σε ράγες τρένου, προς  
αντίθετο πόλο η καθεμιά. Από το σημείο αυτό θεωρούμε ότι κάθε χρωματίδα  
αποτελεί πλέον ένα ανεξάρτητο χρωμόσωμα.  
**Τελόφαση**: Όταν καθεμιά από τις δύο πλήρεις σειρές χρωμοσωμάτων, που  
δημιουργήθηκαν κατά την ανάφαση, φθάσει στον πόλο του κυττάρου προς τον  
οποίο κατευθυνόταν, αρχίζει το τελικό στάδιο της πυρηνικής διαίρεσης, η  
τελόφαση. Στη διάρκειά της συμβαίνουν οι ακριβώς αντίστροφες διαδικασίες  
από αυτές που συνέβησαν στην πρόφαση. Η άτρακτος αποδιοργανώνεται και  
επανεμφανίζονται οι πυρηνικοί φάκελοι. Δημιουργούνται έτσι δύο θυγατρικοί  
πυρήνες. Σε καθέναν από αυτούς τα χρωμοσώματα επανέρχονται στη μορφή  
του δικτύου χρωματίνης της μεσόφασης και επανασχηματίζεται ο πυρηνίσκος.

**Κυτταροπλασματική διαίρεση**

Με τη διαδικασία της πυρηνικής διαίρεσης δημιουργούνται δύο γενετικά  
πανομοιότυποι πυρήνες, που μοιράζονται ωστόσο το ίδιο κυτταρόπλασμα. Για να ολοκληρωθεί συνεπώς η μίτωση, πρέπει να διαιρεθεί και το κυτταρόπλασμα, ώστε να σχηματιστούν δύο αυτοτελή κύτταρα. Αυτό γίνεται με τη διαδικασία της κυτταροπλασματικής διαίρεσης, κατά την οποία διανέμεται το κυτταρόπλασμα στα δύο θυγατρικά κύτταρα. Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται αυτό εξαρτάται από το είδος του κυττάρου. Στα ζωικά κύτταρα, στο ύψος του ισημερινού επιπέδου του κυττάρου, σχηματίζεται ένας περιφερικός δακτύλιος από ινίδια ακτίνης. Ο δακτύλιος αυτός με την πάροδο του χρόνου στενεύει όλο και περισσότερο, ώσπου να διχοτομήσει τελικά το κύτταρο (αυλάκωση). Στα ανώτερα φυτικά κύτταρα η κυτταροπλασματική διαίρεση γίνεται με εντελώς διαφορετικό τρόπο. Ήδη, από το τέλος της ανάφασης, στην περιοχή του ισημερινού επιπέδου αρχίζει να δημιουργείται από μικροσωληνίσκους ένα πλέγμα, ο φραγμοπλάστης. Από το φραγμοπλάστη θα προκύψουν τα κυτταρικά τοιχώματα των δύο θυγατρικών κυττάρων. Η διάρκεια του κυτταρικού κύκλου αλλά και η διάρκεια καθεμιάς από τις φάσεις του εξαρτώνται από τον τύπο του κυττάρου αλλά και από εξωτερικούς παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, η παροχή θρεπτικών ουσιών, οξυγόνου κ.ά. Μερικά κύτταρα ολοκληρώνουν τον κυτταρικό τους κύκλο σύντομα και αυτό τους επιτρέπει να διαιρούνται με μεγάλη συχνότητα. Άλλα, όπως τα νευρικά κύτταρα, από τη στιγμή που θα δημιουργηθούν, διαιρούνται σπάνια ή και καθόλου.

**Η βιολογική σημασία της μίτωσης**

Ένα ζωγραφικό πίνακα τον αξιολογούμε καλύτερα, αν κάνουμε ένα βήμα  
πίσω, ώστε να τον αντικρίσουμε συνολικά. Παρόμοια στη μίτωση μια  
απομάκρυνση από τις λεπτομέρειες της ίσως βοηθήσει να κατανοήσουμε  
καλύτερα τη μεγάλη βιολογική σημασία της. Αν παραλείψουμε λοιπόν τα  
ενδιάμεσα στάδια και εστιάσουμε την προσοχή μας μόνο στο αρχικό κύτταρο  
και στα δύο θυγατρικά του, τότε θα παρατηρήσουμε ότι έχουν μια σημαντική  
ομοιότητα. Και τα τρία είναι ταυτόσημα από γενετική άποψη, γιατί καθένα από  
τα δύο θυγατρικά πήρε τη μία από τις δύο αδελφές χρωματίδες κάθε  
χρωμοσώματος του μητρικού κυττάρου. Η μίτωση δηλαδή είναι μια διαδικασία  
που ευνοεί τη γενετική σταθερότητα και για το λόγο αυτό άλλωστε αποτελεί τη  
διαδικασία με την οποία γίνεται: **1**. Η μονογονική αναπαραγωγή των μονοκύτταρων και των πολυκύτταρων ευκαρυωτικών οργανισμών (π.χ. η βλαστητική αναπαραγωγή των φυτών με παραφυάδες, οφθαλμούς κτλ.). Οι απόγονοι τους έχουν τον ίδιο αριθμό και το ίδιο είδος χρωμοσωμάτων με τους προγόνους τους. **2**. Η ανάπτυξη των πολυκύτταρων οργανισμών και η ανανέωση των κυττάρων τους. Τα κύτταρα που προστίθενται στον αναπτυσσόμενο οργανισμό, ή αντικαθιστούν κατεστραμμένα ή γερασμένα, έχουν ίδιο αριθμό και είδος χρωμοσωμάτων με τα κύτταρα από τα οποία προήλθαν.

**Μείωση**Το πιο ενδιαφέρον ίσως χαρακτηριστικό της Γενετικής είναι ότι είναι η  
επιστήμη των αντιθέσεων. Η έκφραση «τα όμοια γεννούν όμοια», που  
συνοψίζει τη βασική αρχή της κληρονομικότητας ότι οι οργανισμοί  
μεταβιβάζουν τα χαρακτηριστικά τους στους απογόνους τους, επιβεβαιώνεται  
από την καθημερινή εμπειρία, όσο επιβεβαιώνονται και οι εξαιρέσεις της. Με  
τους γονείς μας εμφανίζουμε τα ίδια βασικά ανθρώπινα χαρακτηριστικά, δεν  
είμαστε όμως πιστά αντίγραφά τους, ούτε μοιάζουμε με τα αδέλφια μας σαν  
δύο σταγόνες νερό. Τι ακριβώς συμβαίνει; Στη μονογονική αναπαραγωγή, οι γενετικές πληροφορίες για τη δημιουργία του νέου ατόμου προέρχονται από ένα μοναδικό γονέα. Είναι λοιπόν επόμενο οι απόγονοι, λόγω της πιστότητας της αντιγραφής του γενετικού υλικού και της ακρίβειας της διανομής του με τη μίτωση, να είναι πιστά αντίγραφά του. Αντίθετα, στην αμφιγονική αναπαραγωγή, τις γενετικές πληροφορίες για τη δημιουργία του νέου ατόμου συνεισφέρουν δύο γονείς διαφορετικού φύλου. Οι απόγονοι επομένως δεν μπορεί να είναι ακριβή αντίγραφα κανενός, αλλά προϊόν γενετικής συμβολής και των δύο. Εδώ όμως ανακύπτει ένα πρόβλημα.  
Αν κάθε γονέας μεταβίβαζε στον απόγονο του τον ακριβή αριθμό χρωμοσωμάτων του, το νέο άτομο θα είχε το άθροισμα του αριθμού των  
χρωμοσωμάτων και των δύο, Ένας τέτοιος όμως απόγονος, ακόμη κι αν  
επιβίωνε, θα είχε διαφορετικό αριθμό χρωμοσωμάτων από αυτόν που είναι  
καθορισμένος για το είδος του. Το πρόβλημα αυτό για τους αμφιγονικά αναπαραγόμενους οργανισμούς λύθηκε στη διάρκεια της εξέλιξης μέσα από δύο μηχανισμούς, τη μείωση και τη γονιμοποίηση. Με τη μείωση κάθε γονέας παράγει τους γαμέτες του, δηλαδή εξειδικευμένα αναπαραγωγικά κύτταρα, που φέρουν το μισό αριθμό χρωμοσωμάτων από τον κανονικό, είναι δηλαδή απλοειδή. Με τη γονιμοποίηση ο αρσενικός γαμέτης και ο θηλυκός γαμέτης  
συνενώνονται σε ένα νέο κύτταρο, το ζυγωτό, από το οποίο, με συνεχείς  
μιτωτικές διαιρέσεις, προκύπτει ο νέος οργανισμός. Το κύπαρο αυτό είναι  
διπλοειδές και, κατ' επέκταση διπλοειδής είναι και ο νέος οργανισμός, αφού η  
συνένωση των απλοειδών γαμετών επαναφέρει τον αριθμό χρωμοσωμάτων  
στο κανονικό. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι η μείωση δεν αποσκοπεί στην παραγωγή γαμετών που γενικά και αόριστα έχουν το μισό αριθμό χρωμοσωμάτων. Αντίθετα παράγει γαμέτες που έχουν πάρει, από κάθε ζεύγος ομόλογων χρωμοσωμάτων, υποχρεωτικά τη μία χρωματίδα, η οποία με το τέλος της μείωσης αντιστοιχεί σε ένα χρωμόσωμα. Ας δούμε πώς γίνονται όλα αυτά κι ακόμη πώς αυτός ο τύπος κυτταρικής διαίρεσης λειτουργεί ως ένας θαυμάσιος μηχανισμός παραγωγής γενετικής ποικιλομορφίας. Η μείωση γίνεται σε μια ειδική κατηγορία διπλοειδών κυττάρων, που χαρακτηρίζονται ως άωρα γεννητικά κύτταρα. Μετά τον αυτοδιπλασιασμό του γενετικού υλικού (καθένα χρωμόσωμα αποτελείται από δύο χρωματίδες), στο κύτταρο που πρόκειται να υποστεί μείωση γίνονται δύο διαδοχικές κυτταρικές διαιρέσεις. Καθεμιά από αυτές περιλαμβάνει μια διαίρεση του πυρήνα και μια διαίρεση του κυτταροπλάσματος. Από την πρώτη κυτταρική διαίρεση, που χαρακτηρίζεται ως 1η μειωτική διαίρεση ή μείωση I, παράγονται δύο κύτταρα. Καθένα από αυτά υφίσταται τη δεύτερη κυτταρική διαίρεση, που χαρακτηρίζεται ως 2η μειωτική διαίρεση ή μείωση II, με αποτέλεσμα την παραγωγή τεσσάρων  
γαμετών. Σε ό,τι αφορά τον άνθρωπο, και οι τέσσερις γαμέτες στον άνδρα είναι  
λειτουργικοί, δηλαδή σπερματοζωάρια. Αντίθετα στη γυναίκα ένας μόνο από  
τους τέσσερις γαμέτες είναι λειτουργικός, δηλαδή ωάριο.

**Πρώτη μειωτική διαίρεση**

**Πρόφαση I**: Είναι το μεγαλύτερο σε διάρκεια στάδιο της μείωσης. Τα γεγονότα  
που συμβαίνουν στη διάρκειά της είναι τα ακόλουθα:  
α. Εμφανίζονται τα χρωμοσώματα, χωρίς όμως να είναι δυνατή, στα αρχικά  
τουλάχιστον στάδια, η διάκριση των αδελφών χρωματίδων.  
β. Τα ομόλογα χρωμοσώματα εγκαταλείπουν τις τυχαίες θέσεις που κατείχαν  
στο χώρο του πυρήνα, πλησιάζουν και τοποθετούνται το ένα απέναντι στο  
άλλο. Το φαινόμενο αυτό, που ονομάζεται σύναψη, γίνεται με εξαιρετική  
ακρίβεια, γιατί τα ομόλογα χρωμοσώματα στοιχίζονται έτσι, ώστε οι αντίστοιχοι  
γονιδιακοί τόποι (δηλ. οι θέσεις στις οποίες εδράζονται τα γονίδια που ελέγχουν  
το ίδιο γνώρισμα) να είναι ο ένας απέναντι στον άλλο.  
γ. Ορισμένες φορές, εξαιτίας της σύναψης, είναι δυνατό οι μη αδελφές  
χρωματίδες των ομόλογων χρωμοσωμάτων, που έχουν γίνει πια ορατές, να  
«μπερδευτούν» μεταξύ τους. Έτσι δημιουργούνται τα χαρακτηριστικά και ορατά  
από το οπτικό μικροσκόπιο χιάσματα, στα οποία οι χρωματίδες κόβονται και  
επανασυγκολλώνται, αφού όμως έχουν ανταλλάξει μεταξύ τους ομόλογα  
χρωμοσωμικά τμήματα. Το φαινόμενο αυτό, που ονομάζεται **επιχιασμός**, δίνει τη δυνατότητα στα ομόλογα χρωμοσώματα να ανταλλάξουν μεταξύ τους γονίδια. Αυτό εξασφαλίζει γενετική ποικιλότητα στους οργανισμούς που αναπαράγονται με αμφιγονία.

δ. Στο τέλος του σταδίου, όπως και στη μιτωτική πρόφαση, αποδιοργανώνεται ο πυρηνικός φάκελος και εξαφανίζεται ο πυρηνίσκος, ενώ αρχίζει ο σχηματισμός της ατράκτου και η μετακίνηση των ομόλογων χρωμοσωμάτων προς το ισημερινό επίπεδο του κυττάρου.

**Μετάφαση I**: Κατά τη διάρκειά της τα ζεύγη των ομόλογων χρωμοσωμάτων ολοκληρώνουν τη μετακίνησή τους προς το ισημερινό επίπεδο του κυττάρου. Αντίθετα όμως με ό,τι συμβαίνει στη μιτωτική μετάφαση, επειδή το κάθε χρωμόσωμα τοποθετείται απέναντι στο ομόλογο του, ο στοίχος που δημιουργείται δεν είναι στοίχος μεμονωμένων χρωμοσωμάτων αλλά ζευγών ομολόγων. Επειδή στη συνέχεια κάθε χρωμόσωμα από τα μέλη κάθε ζευγαριού ομολόγων μπορεί να κατευθυνθεί είτε προς τον έναν είτε προς τον άλλο πόλο, είναι δυνατός ένας μεγάλος αριθμός διαφορετικών συνδυασμών. Το φαινόμενο αυτό, που λέγεται **ανεξάρτητος συνδυασμός των χρωμοσωμάτων**, είναι ένας μηχανισμός αναδιανομής των γονιδίων που βρίσκονται σε διαφορετικά, μη ομόλογα, χρωμοσώματα. Η άτρακτος έχει πλέον οργανωθεί πλήρως και τα νημάτιά της καταλήγουν στα κεντρομερίδια.

**Ανάφαση I**: Αντίθετα από τη μιτωτική ανάφαση, τα κεντρομερίδια δε  
διαιρούνται, με αποτέλεσμα να μην αποχωρίζονται οι αδελφές χρωματίδες.  
Αποχωρίζονται όμως τα μέλη κάθε ζεύγους ομόλογων χρωμοσωμάτων.  
Σχηματίζονται έτσι δύο πλήρεις απλοειδείς σειρές χρωμοσωμάτων, που  
απομακρύνονται κατευθυνόμενες προς τους αντίθετους πόλους.

**Τελόφαση I**: Όταν καθεμιά από τις δύο πλήρεις απλοειδείς σειρές  
χρωμοσωμάτων φτάσει στον πόλο του κυττάρου προς τον οποίο  
κατευθυνόταν, αρχίζει το τελικό στάδιο, η τελόφαση I. Τα περισσότερα κύτταρα,  
ταυτόχρονα με την τελόφαση I, προχωρούν στην κυτταροπλασματική διαίρεση.  
Από αυτήν παράγονται δύο απλοειδή κύτταρα, στα οποία τα χρωμοσώματα  
αποτελούνται από δύο αδελφές χρωματίδες ενωμένες στην περιοχή του  
κεντρομεριδίου.Την πρώτη μειωτική διαίρεση ακολουθεί η δεύτερη, χωρίς να μεσολαβεί αυτοδιπλασιασμός του γενετικού υλικού πριν από αυτήν.

**Δεύτερη μειωτική διαίρεση**

Καθένα από τα δύο κύτταρα που προκύπτουν από την 1η μειωτική διαίρεση  
υφίσταται μια διαίρεση που έχει την ίδια ακολουθία γεγονότων με τη μίτωση.  
Στο τέλος της έχουν παραχθεί τέσσερα απλοειδή κύτταρα, που έχουν το μισό  
της ποσότητας του γενετικού υλικού του αρχικού κυττάρου. Αυτό συμβαίνει,  
γιατί καθένα τους έχει πάρει τη μια αδελφή χρωματίδα από κάθε ζευγάρι  
ομόλογων χρωμοσωμάτων.

**Η βιολογική σημασία της μείωσης**

Το ερώτημα που αντιμετωπίσαμε στην αρχή του κεφαλαίου ήταν: «Πώς  
είναι δυνατό να έχουμε τα ίδια βασικά ανθρώπινα χαρακτηριστικά με τα  
συγγενικά μας πρόσωπα, χωρίς να είμαστε πανομοιότυποι μεταξύ μας;». Τώρα  
που γνωρίζουμε τις λεπτομέρειες της μείωσης ίσως μπορούμε να το  
απαντήσουμε. Η μείωση σε συνδυασμό με τη γονιμοποίηση διασφαλίζει στο  
δημιουργούμενο ζυγωτό μια πλήρη διπλοειδή σειρά χρωμοσωμάτων και  
γονιδίων. Έτσι ο οργανισμός που θα προέλθει από αυτό εκδηλώνει, όπως οι  
γονείς του και τα αδέλφια του, το σύνολο των βασικών γνωρισμάτων που  
προσδιορίζει το είδος τους. Ταυτόχρονα όμως κάθε οργανισμός έχει πάρει από τους γονείς του, μέσω των γαμετών τους, μια συλλογή χρωμοσωμάτων και γονιδίων, που είναι απίθανο να υπάρχει σε κάποιο από τα αδέλφια του. Αυτή η μοναδική συλλογή αποκτάται, όπως είδαμε, χάρη στους δύο μηχανισμούς, τον ανεξάρτητο συνδυασμό χρωμοσωμάτων και τον επιχιασμό. Χάρη στον ανεξάρτητο συνδυασμό χρωμοσωμάτων δημιουργείται ένα  
πλήθος από νέους συνδυασμούς μη ομόλογων χρωμοσωμάτων και συνεπώς  
ένα πλήθος από νέους συνδυασμούς γονιδίων, που βρίσκονται σε μη ομόλογα  
χρωμοσώματα. Η απλοειδής σειρά χρωμοσωμάτων συμβολίζεται με n. Η διπλοειδής, αντίστοιχα, συμβολίζεται με 2n. Στον άνθρωπο για παράδειγμα, n=23 και 2n=46.Όταν ένα κύτταρο με 2n χρωμοσώματα υφίσταται μείωση για την παραγωγή γαμετών, τότε οι διαφορετικοί συνδυασμοί μη ομόλογων  
χρωμοσωμάτων που μπορούν να εμφανιστούν σε διαφορετικούς γαμέτες  
(απλοειδή n κύτταρα) που θα προκύψουν από αυτήν είναι 2n. Αυτό για τον  
άνθρωπο σημαίνει ότι κάθε γονέας έχει καταθέσει σε κάθε γαμέτη του  
τον έναν από τους 223 συνδυασμούς που μπορεί να παραγάγει. Σε αντίθεση με τον ανεξάρτητο συνδυασμό χρωμοσωμάτων, ο οποίος  
έχει ως αποτέλεσμα την αναδιανομή των γονιδίων που βρίσκονται σε μη  
ομόλογα χρωμοσώματα, ο επιχιασμός ανασυνδυάζει γονίδια που βρίσκονται  
στο ίδιο το ζεύγος ομόλογων χρωμοσωμάτων. Αυτό συμβαίνει, γιατί με την  
ανταλλαγή αντίστοιχων τμημάτων, που γίνεται μεταξύ των μη αδελφών  
χρωματίδων των ομόλογων χρωμοσωμάτων, ανταλλάσσονται και γονίδια.  
Ο συνδυασμός των δύο μηχανισμών που αναφέρθηκαν έχει ως  
συνέπεια σε κάθε γαμέτη να αντιπροσωπεύεται ένα μοναδικό «μείγμα»  
γονιδίων που βρίσκονται σε διαφορετικά χρωμοσώματα και ταυτόχρονα ένα  
μοναδικό «μείγμα» γονιδίων που βρίσκονται στο ίδιο χρωμόσωμα.  
Έτσι λοιπόν, χάρη στη μείωση, είναι στατιστικά απίθανο εμείς και κάποιο  
από τα αδέλφια μας να έχουμε την ίδια συλλογή χρωμοσωμάτων και γονιδίων  
και από τους δύο γονείς, οπότε να είμαστε πανομοιότυποι μεταξύ μας.  
Το γεγονός αυτό, που είναι η ουσία της γενετικής ποικιλομορφίας που  
χαρακτηρίζει τους αμφιγονικά αναπαραγόμενους οργανισμούς, έχει μεγάλη  
σημασία για την εξέλιξη. Μερικοί από τους συνδυασμούς γονιδίων (άρα και γνωρισμάτων που επηρεάζονται από τα γονίδια αυτά) είναι επιτυχέστεροι απ' ό,τι άλλοι, με την έννοια ότι προσφέρουν μεγαλύτερες δυνατότητες επιβίωσης στο φορέα τους σε συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες. Ο μηχανισμός αυτός συμβάλλει στην εξέλιξη, γιατί κάθε πληθυσμός περνά στις επόμενες γενιές του πιο ευνοϊκούς συνδυασμούς γονιδίων και γνωρισμάτων.

**Κυτταρική διαίρεση στους προκαρυωτικούς οργανισμούς**

Το είδος της κυτταρικής διαίρεσης με το οποίο αναπαράγονται οι  
προκαρυωτικοί οργανισμοί, συγκρινόμενο με το βασικό τύπο κυτταρικής  
διαίρεσης των ευκαρυωτικών, τη μίτωση, είναι απλούστερο. Το βακτηριακό  
«χρωμόσωμα», για παράδειγμα, είναι ουσιαστικά ένα κυκλικό μόριο DNA, το  
οποίο αυτοδιπλασιάζεται πριν από τη διαίρεση του βακτηρίου. Τα δύο  
«χρωμοσώματα» μοιράζονται στα θυγατρικά κύτταρα με τη βοήθεια της  
κυτταρικής μεμβράνης, χωρίς τη δημιουργία ατράκτου. Τη διανομή του  
γενετικού υλικού ακολουθεί η διαίρεση του κυτταροπλάσματος. Τα δύο  
θυγατρικά κύτταρα αποχωρίζονται με την ανάπτυξη νέων κυτταρικών  
τοιχωμάτων.