

5.1 Στοιχεία Θεωρίας

► Ορολογία

αμιγή (καθαρά) στελέχη: στελέχη (φυλές - ποικιλίες) τα οποία μετά την αυτογονιμοποίησή τους παρουσιάζουν για πολλές γενιές την ίδια ιδιότητα.

γονιμοποίηση: η διαδικασία σύντηξης του αρσενικού γαμέτη (γυρεόκοικοι στα φυτά - σπερματοζωάρια στα ζώα), με το θηλυκό γαμέτη (ωάρια σε φυτά και ζώα) που οδηγεί στη δημιουργία του ζυγωτού. Το ζυγωτό αποτελεί το πρώτο κύτταρο κάθε αμφιγονικά αναπαραγόμενου πολυκύτταρου οργανισμού, το οποίο σταδιακά (ανάπτυξη) διαμορφώνεται με συνεχείς διαιρέσεις σε ολόκληρο οργανισμό.

τεχνητή γονιμοποίηση: η γονιμοποίηση ενός φυτού που επιτυγχάνεται με τη μεταφορά στον ύπερό του γύρης που προέρχεται από άλλο φυτό με τη χρήση ενός ειδικού εργαλείου.

αυτογονιμοποίηση: η γονιμοποίηση που μπορεί να πραγματοποιηθεί (φυσιολογικά) σε άτομα ορισμένων ειδών, που διαθέτουν και τα δύο είδη αναπαραγωγικών συστημάτων (αρσενικό - θηλυκό). Στην περίπτωση αυτή, το ζυγωτό δημιουργείται από τη συνένωση των γαμετών που προέρχονται από το ίδιο άτομο.

πατρική γενεά: οι αρχικοί γονείς που διασταυρώνονται προκειμένου να αποκτήσουν απογόνους.

θυγατρική γενεά: οι απόγονοι της πατρικής γενεάς.

πρώτη θυγατρική γενεά: οι απόγονοι που προέρχονται από τη διασταύρωση μεταξύ των ατόμων της πατρικής γενεάς.

δεύτερη θυγατρική γενεά: οι απόγονοι που προέρχονται από τη διασταύρωση μεταξύ των ατόμων της πρώτης θυγατρικής γενεάς.

υβριδικά άτομα: οι απόγονοι, αμιγών γονέων που είχαν διαφορετική έκφραση του ίδιου χαρακτήρα, πχ οι απόγονοι των διασταυρώσεων αμιγή κοντά φυτά (x) αμιγή ψηλά φυτά.

χαρακτήρας: μία από τις ιδιότητες ενός οργανισμού που μελετούμε (π.χ., σχήμα καρπού ή χρώμα καρπού ή χρώμα ματιών ή χρώμα μαλλιών κλπ).

Ένας χαρακτήρας μπορεί να έχει διαφορετικές μορφές. Π.χ., το χρώμα του σπέρματος στο μωσχομπίζελο (χαρακτήρας) μπορεί να είναι κίτρινο ή πράσινο (διαφορετικές μορφές) ή το χρώμα των ματιών στον άνθρωπο (χαρακτήρας) μπορεί να είναι καστανό ή γαλάζιο (διαφορετικές μορφές). Για κάθε διαφορετική μορφή ενός χαρακτήρα ευθύνεται ένας διαφορετικός «κληρονομικός παράγοντας».

μονοϋβριδισμός: η μελέτη της κληρονόμησης ενός χαρακτήρα με την πραγματοποίηση των κατάλληλων διασταυρώσεων.

δυοϋβριδισμός: η μελέτη της ταυτόχρονης κληρονόμησης δύο χαρακτήρων (ιδιοτήτων) με την πραγματοποίηση των κατάλληλων διασταυρώσεων.

γονότυπος (κάποιου οργανισμού): το σύνολο των αλληλομόρφων γονιδίων του οργανισμού.

* Στην πράξη εννοούμε τη σύσταση των αλληλομόρφων γονιδίων για μία ή περισσότερες ιδιότητες που μελετούμε με διασταυρώσεις και όχι το σύνολο των γονιδίων (που καθορίζουν όλους τους χαρακτήρες) του οργανισμού.

φαινότυπος: το σύνολο των χαρακτήρων οι οποίοι αποτελούν την έκφραση του γονοτύπου ενός οργανισμού, όπως είναι η εξωτερική εμφάνιση και η βιοχημική σύσταση.

[Ουσιαστικά, πρόκειται για το ορατό αποτέλεσμα από την έκφραση των κληρονομικών παραγόντων. Με άλλα λόγια, ο φαινότυπος είναι η εμφάνιση (αυτό που βλέπουμε) ενός οργανισμού, καθώς επίσης οτιδήποτε είναι μετρήσιμο με διάφορες τεχνικές ή κατάλληλες συσκευές που χρησιμοποιούμε για ιατρικούς σκοπούς].

γονίδιο: τμήμα DNA (σε κύτταρα) με συγκεκριμένη αλληλουχία βάσεων, μέσα στο οποίο περιέχονται οι πληροφορίες για τη σύνθεση ενός μορίου RNA ή μίας πολυπεπτιδικής αλυσίδας.

διπλοειδείς οργανισμοί: ευκαρυωτικοί οργανισμοί, συνήθως πολυκύτταροι, που τα σωματικά κύτταρά τους είναι διπλοειδή και οι γαμέτες τους (γεννητικά κύτταρα) απλοειδή κύτταρα.

Τα διπλοειδή σωματικά τους κύτταρα διαθέτουν στον πυρήνα τους δύο αντίγραφα γονιδιώματος (πατρικής και μητρικής προέλευσης αντίστοιχα), δηλαδή 2 σειρές χρωμοσωμάτων που είναι οργανωμένα σε ζεύγη ομόλογων χρωμοσωμάτων. Κάθε χρωμόσωμα του ζεύγους των ομολόγων, φέρει ένα αλληλόμορφο για καθεμιά από τις ιδιότητες που καθορίζει. Έτσι ένας διπλοειδής οργανισμός μπορεί να φέρει και στα δύο χρωμοσώματα ενός ζεύγους ομόλογων το ίδιο αλληλόμορφο για μία ιδιότητα (ομόζυγο για την ιδιότητα άτομο) ή πάλι μπορεί στο ένα χρωμόσωμα να έχει το ένα είδος αλληλόμορφου και στο ομόλογό του χρωμόσωμα να έχει άλλο είδος αλληλόμορφου (ετερόζυγο για την ιδιότητα άτομο).

ομόλογα χρωμοσώματα: ζευγάρι χρωμοσωμάτων που έχουν το ίδιο σχήμα και μέγεθος και περιέχουν στις ίδιες γενετικές θέσεις, γονίδια, τα οποία ελέγχουν ίδιες ιδιότητες με διαφορετικό ενδεχομένως τρόπο. Το ένα χρωμόσωμα από το ζευγάρι είναι πατρικής προέλευσης ενώ το άλλο μητρικής προέλευσης.

*Ζεύγη ομόλογων χρωμοσωμάτων υπάρχουν μόνο στα διπλοειδή κύτταρα των διπλοειδών οργανισμών, ενώ στα απλοειδή κύτταρά τους υπάρχει μόνο ένα χρωμόσωμα από κάθε ζευγάρι ομολόγων.

αλληλόμορφα γονίδια: τα γονίδια που ελέγχουν τον ίδιο χαρακτήρα (ή ιδιότητα) με διαφορετικό τρόπο ονομάζονται αλληλόμορφα. (Π.χ., το γονίδιο που καθορίζει το χαμηλό ύψος του φυτού στο μπιζέλι είναι αλληλόμορφο με αυτό που καθορίζει το μεγάλο ύψος του φυτού). Τα αλληλόμορφα γονίδια βρίσκονται στην ίδια (γονιδιακή ή γενετική) θέση πάνω στα ομόλογα χρωμοσώματα.

ομόζυγο άτομο (για μία συγκεκριμένη ιδιότητα): ο διπλοειδής εκείνος οργανισμός που φέρει και στα δύο χρωμοσώματα ενός ζεύγους ομόλογων χρωμοσωμάτων το ίδιο αλληλόμορφο γονίδιο για τη συγκεκριμένη ιδιότητα.

ετερόζυγο άτομο (για μία συγκεκριμένη ιδιότητα): ο διπλοειδής εκείνος οργανισμός που φέρει σε καθένα από τα δύο χρωμοσώματα ενός ζεύγους ομόλογων χρωμοσωμάτων διαφορετικό αλληλόμορφο γονίδιο για τη συγκεκριμένη ιδιότητα.

*Προσοχή!! Κάποιο άτομο μπορεί να είναι ομόζυγο για κάποια ή κάποιες ιδιότητες, ενώ ταυτόχρονα να είναι ετερόζυγο για κάποια ή κάποιες άλλες.

*Προσοχή!! Οι όροι ομόλογα χρωμοσώματα, αλληλόμορφα γονίδια, ομόζυγο, ετερόζυγο άτομο αναφέρονται μόνο σε διπλοειδείς οργανισμούς.

*Τα αλληλόμορφα γονίδια μπορεί να έχουν **σχέση** επικρατούς – υπολειπομένου ή ατελούς επικράτειας ή συνεπικράτειας, γεγονός που επηρεάζει την εμφάνιση του χαρακτήρα στα άτομα.

επικρατές γονίδιο: το γονίδιο εκείνο, που καλύπτει την έκφραση ενός άλλου αλληλομόρφου του, και καθορίζει έτσι το φαινότυπο του διπλοειδούς ατόμου. Δηλαδή, αρκεί η παρουσία ενός αντιγράφου του γονιδίου στον οργανισμό, για να καθοριστεί ο φαινότυπός του.

υπολειπόμενο γονίδιο: το γονίδιο του οποίου καλύπτεται η έκφραση, από ένα διαφορετικό αλληλόμορφο του (το επικρατές). Ένα υπολειπόμενο γονίδιο οδηγεί στην εμφάνιση του αντίστοιχου φαινότυπου μόνο σε διπλοειδή άτομα που είναι ομόζυγα για το αλληλόμορφο αυτό.

*Προσοχή!! Εξαίρεση αποτελεί η περίπτωση των φυλοσύνδετων υπολειπόμενων γονιδίων, τα οποία στα αρσενικά άτομα καθορίζουν το φαινότυπο, δίχως να βρεθούν σε ομόζυγη κατάσταση, αφού τα συγκεκριμένα άτομα διαθέτουν μόνο ένα αντίγραφο για κάθε φυλοσύνδετο γονίδιο.

διασταύρωση ελέγχου: ονομάζουμε τη διασταύρωση ενός ατόμου με γνωστό φαινότυπο (εμφανίζει το φαινότυπο που καθορίζεται από το επικρατές αλληλόμορφο) και άγνωστο γονότυπο (άτομο ομόζυγο για το επικρατές αλληλόμορφο ή ετερόζυγο άτομο) με ένα άτομο ομόζυγο για το υπολειπόμενο αλληλόμορφο γονίδιο (άτομο με γνωστό φαινότυπο αλλά και γονότυπο).

1^{ος} νόμος του Μέντελ. Νόμος του διαχωρισμού των αλληλομόρφων:

Κατά τη μείωση διαχωρίζονται τα δύο ομόλογα χρωμοσώματα και κατά συνέπεια και τα δύο αλληλόμορφα γονίδια. Οι απόγονοι προκύπτουν από την τυχαία διασταύρωση των γαμετών που έχουν παραχθεί από τους δύο γονείς. Με την τυχαία διασταύρωση των γαμετών συνδυάζονται τυχαία και τα αλληλόμορφα γονίδια στους απογόνους.

2^{ος} νόμος Μέντελ. Νόμος της ανεξάρτητης μεταβίβασης των γονιδίων:

Το γονίδιο που ελέγχει έναν χαρακτήρα δεν επηρεάζει τη μεταβίβαση του γονιδίου που ελέγχει έναν άλλο (δεύτερο) χαρακτήρα.

Απαραίτητη προϋπόθεση για να ισχύει ο 2^{ος} νόμος του Μέντελ είναι τα γονίδια που καθορίζουν τον διαφορετικό χαρακτήρα των ατόμων να βρίσκονται σε διαφορετικά ζεύγη ομολόγων χρωμοσωμάτων.

ατελώς επικρατή γονίδια: τα αλληλόμορφα γονίδια που σε ετερόζυγα άτομα, καθορίζουν έναν ενδιάμεσο φαινότυπο, συγκριτικά με τους φαινότυπους των 2 ομόζυγων ατόμων για τα 2 αντίστοιχα γονίδια (ομόζυγους για το καθένα από τα δύο διαφορετικά αλληλόμορφα γονίδια).

Παρατηρούμε ότι στις διασταυρώσεις αυτές, όταν τα άτομα φέρουν γονότυπους με γονίδια ατελώς επικρατή, η γονοτυπική αναλογία ταυτίζεται με την φαινοτυπική, διότι κάθε γονότυπος καθορίζει ένα διαφορετικό φαινότυπο.

συνεπικρατή γονίδια: τα αλληλόμορφα γονίδια εκείνα, που εκφράζονται και τα δύο στο φαινότυπο του ετερόζυγου ατόμου.

Παρατηρούμε ότι στις διασταυρώσεις αυτές, όταν τα άτομα φέρουν γονότυπους με γονίδια συνεπικρατή, η γονοτυπική αναλογία ταυτίζεται με την φαινοτυπική, διότι κάθε γονότυπος καθορίζει ένα διαφορετικό φαινότυπο.

θνησιγόνα γονίδια: πρόκειται για αλληλόμορφα γονίδια που δημιουργούν ιδιαίτερα σοβαρά προβλήματα στην ανάπτυξη ενός εμβρύου, και οδηγούν στον πρόωρο θάνατο, ακόμη και πριν την 8^η εβδομάδα κύησης (2^ο μήνα), γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα να μην εμφανίζεται ποτέ σε ένα πληθυσμό (λόγω θανάτου-αποβολής) ο συγκεκριμένος φαινότυπος.

πολλαπλά αλληλόμορφα γονίδια: Γονίδια που αντιστοιχούν στην ίδια γενετική θέση στα ομόλογα χρωμοσώματα, λέγονται πολλαπλά αλληλόμορφα, όταν είναι περισσότερα από 2. Η ύπαρξη των πολλαπλών αλληλομόρφων για μία γονιδιακή θέση είναι εφικτό να παρατηρηθεί μόνο όταν ελέγχουμε έναν πληθυσμό και όχι ένα άτομο.

Σημ.: Τα αλληλόμορφα γονίδια ενός ατόμου είναι πάντοτε δύο, αφού τα χρωμοσώματα είναι σε ζεύγη.

Παραδείγματα πολλαπλών αλληλομόρφων γονιδίων: Τα γονίδια των ομάδων αίματος I^A , I^B , i και τα γονίδια της β θαλασσαιμίας.

μονογονιδιακός χαρακτήρας: ένας χαρακτήρας που καθορίζεται από τα αλληλόμορφα μίας γονιδιακής θέσης. Σημ.: Οι περισσότεροι χαρακτήρες που μελετούμε είναι μονογονιδιακοί.

πολυγονιδιακός χαρακτήρας: ένας χαρακτήρας που καθορίζεται από τα αλληλόμορφα δύο ή περισσότερων γονιδιακών θέσεων.

Προσοχή! Οι πολυγονιδιακοί χαρακτήρες δεν πρέπει να συγχέονται με τα πολλαπλά αλληλόμορφα γονίδια. Τα πολλαπλά αλληλόμορφα γονίδια αν και περισσότερα από 2, αντιστοιχούν στην ίδια γενετική θέση. Τα γονίδια που ελέγχουν έναν πολυγονιδιακό χαρακτήρα, αφορούν μεν στην ίδια ιδιότητα, αντιστοιχούν όμως σε διαφορετικές γενετικές θέσεις στο ίδιο χρωμοσώμα ή σε διαφορετικά.

Παράδειγμα πολυγονιδιακού χαρακτήρα είναι η σύνθεση της α αλυσίδας της αιμοσφαιρίνης A, που ελέγχεται από συνολικά 4 γονίδια σε ένα ζεύγος ομόλογων ινιδίων χρωματίνης.

φυλοσύνδετα γονίδια: τα γονίδια που βρίσκονται στο X χρωμόσωμα και δεν έχουν αλληλόμορφα στο Y.

γενεαλογικό δένδρο: η διαγραμματική απεικόνιση των μελών μίας οικογένειας για πολλές γενεές στην οποία αναπαριστώνται οι γάμοι, η σειρά των γεννήσεων, το φύλο των ατόμων και ο φαινότυπός τους σε σχέση με κάποιο συγκεκριμένο χαρακτήρα.

► Μείωση

- Ειδική περίπτωση διαίρεσης που συμβαίνει στα άωρα γεννητικά κύτταρα, εξειδικευμένα κύτταρα των οργανισμών που διαθέτουν αναπαραγωγικά συστήματα (σ , φ). Αν τα δύο αναπαραγωγικά συστήματα υπάρχουν φυσιολογικά στο ίδιο άτομο, μιλάμε για μόνοικα είδη ή ερμαφρόδιτα π.χ. μοσχομπίζελο, σαλιγκάρι κ.ά. (ο όρος "ερμαφρόδιτα" δεν συμπίπτει σε όλες τις περιπτώσεις με τον όρο "μόνοικα" είδη). Αν τα δύο αναπαραγωγικά συστήματα υπάρχουν σε διαφορετικά άτομα (όπως στον άνθρωπο και σε πολλούς από τους ανώτερους ζωικούς οργανισμούς) μιλάμε για δίοικα είδη.
- Σκοπός της μείωσης είναι η παραγωγή γαμετών, ειδικών κυττάρων που περιέχουν τη μισή ποσότητα DNA (και τα μισά χρωμοσώματα) σε σύγκριση με τα κύτταρα από τα οποία προέρχονται, δηλαδή τα άωρα γεννητικά. Φυσικά περιέχουν τη μισή ποσότητα DNA συγκρινόμενα και με οποιοδήποτε άλλο κύτταρο του οργανισμού μας (σωματικό), όταν αυτό βρίσκεται στην αρχή της μεσόφασης. Οι γαμέτες λέγονται και γεννητικά κύτταρα. Οι γαμέτες περιέχουν ένα αντίγραφο του γονιδιώματος, είναι δηλαδή απλοειδή κύτταρα.

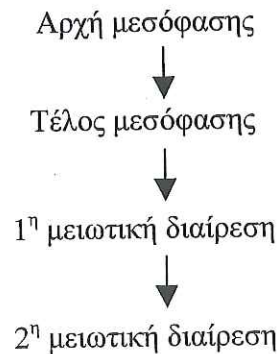
- **Μηχανισμός:** Η μείωση περιλαμβάνει δύο διαδοχικές διαιρέσεις, την 1^η μειωτική διαίρεση και τη 2^η μειωτική διαίρεση. Πριν ξεκινήσει η 1^η μειωτική διαίρεση, στο στάδιο της μεσόφασης στα άωρα γεννητικά κύτταρα, γίνεται ο διπλασιασμός του DNA, όπως ακριβώς και πριν από τη μίτωση. Έτσι ένα άωρο γεννητικό κύτταρο, ξεκινώντας τη διαίρεση, περιέχει 46 διπλασιασμένα ινίδια χρωματίνης (κάθε ινίδιο έχει διπλασιαστεί και τα θυγατρικά ινίδια συνδέονται στο κεντρομερίδιο). Κάθε διαίρεση, τόσο η 1^η όσο και η 2^η, διακρίνονται σε πρόφαση, μετάφαση, ανάφαση, τελόφαση.

Η περιγραφή των σταδίων της μείωσης, που ακολουθεί, περιέχεται αναλυτικά στην ύλη της Βιολογίας Γενικής Παιδείας της Β' λυκείου και δεν αποτελεί τμήμα της εξεταστέας ύλης για τη Βιολογία Κατεύθυνσης της Γ' λυκείου.

- **Πρόφαση I:** Αυξάνεται η συσπείρωση των διπλασιασμένων ινιδίων χρωματίνης, ώστε να αποκτήσουν τη χαρακτηριστική μορφή των χρωμοσωμάτων. Τα ομόλογα χρωμοσώματα συνάπτονται, δηλαδή «αναγνωρίζονται» και συνδέονται ώστε να σχηματίσουν ζεύγη ομόλογων χρωμοσωμάτων. Η σύναψη στηρίζεται στο ότι τα χρωμοσώματα κάθε ζεύγους ομολόγων, περιέχουν πληροφορίες για τα ίδια γνωρίσματα (αλληλόμορφα γονίδια).
- **Μετάφαση I:** Τα συνημμένα ομόλογα χρωμοσώματα, τοποθετούνται κατά ζεύγη στο ισημερινό επίπεδο. Πρόσεξε ότι στη μίτωση, τα ομόλογα χρωμοσώματα δεν αναγνωρίζονται ούτε συνάπτονται. Έτσι στη μίτωση συναντάμε 46 χρωμοσώματα τυχαία τοποθετημένα στο ισημερινό επίπεδο, ενώ στη μείωση συναντάμε 46 χρωμοσώματα, τοποθετημένα κατά ζεύγη ομολόγων.
- **Ανάφαση I:** Διαχωρίζονται τα δύο χρωμοσώματα κάθε ζεύγους ομολόγων και κινούνται προς τους αντίθετους πόλους. Πρόσεξε ότι σε αντίθεση με τη μίτωση, το κεντρομερίδιο δε διαιρείται και οι αδελφές χρωματίδες κάθε χρωμοσώματος παραμένουν ενωμένες.
- **Τελόφαση I:** Άφιξη των χρωμοσωμάτων στους πόλους.
- **Τέλος 1^{ης} μειωτικής διαίρεσης:** Διαιρείται το κυτταρόπλασμα και προκύπτουν δύο κύτταρα, καθένα από τα οποία περιέχει 23 χρωμοσώματα με δύο αδελφές χρωματίδες το καθένα. Εξαιτίας του τρόπου τοποθέτησης των χρωμοσωμάτων στη μετάφαση I, τα κύτταρα δε διαθέτουν πλέον ομόλογα χρωμοσώματα, είναι δηλαδή απλοειδή. (Τα 23 χρωμοσώματα που περιέχει το καθένα είναι διαφορετικά, μη ομόλογα. Το γεγονός ότι κάθε χρωμόσωμα έχει αδελφές χρωματίδες δεν κάνει το κύτταρο διπλοειδές).
- **Πρόφαση II:** Σε κάθε κύτταρο, τα 23 μη ομόλογα χρωμοσώματα που περιέχει, βρίσκονται στη συσπειρωμένη μορφή.
- **Μετάφαση II:** Τα χρωμοσώματα τοποθετούνται στο ισημερινό επίπεδο σε κάθε κύτταρο.
- **Ανάφαση II:** Οι αδελφές χρωματίδες κάθε χρωμοσώματος διαχωρίζονται και η μία κινείται προς τον ένα πόλο και η άλλη προς τον αντίθετο πόλο.
- **Τελόφαση II:** Άφιξη των χρωματίδων στους πόλους.
- **Τέλος 2^{ης} μειωτικής διαίρεσης (τέλος μείωσης):** Κάθε κύτταρο διαιρείται. Προκύπτουν συνολικά 4 κύτταρα που το καθένα περιέχει τη μία χρωματίδα από καθένα από τα 23 χρωμοσώματα που είχε το κύτταρο στην πρόφαση II. Δηλαδή συνολικά περιέχει, σε σχέση με το άωρο γεννητικό κύτταρο, 1 χρωματίδα από κάθε ζεύγος ομολόγων χρωμοσωμάτων.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η 2^η μειωτική διαίρεση παρουσιάζει μεγάλη ομοιότητα με τη μιτωτική διαίρεση. Η 2^η μειωτική διαίρεση στοχεύει στο να δημιουργήσει κύτταρα (γαμέτες), χωρίς αδελφές χρωματίδες στα χρωμοσώματα που περιέχουν. Τα κύτταρα έχουν γίνει απλοειδή (χωρίς ομόλογα χρωμοσώματα) ήδη από την 1^η μειωτική διαίρεση.

Σχηματική απεικόνιση της παραγωγής γαμετών από ανθρώπινα άωρα γεννητικά κύτταρα:



• **Μεσόφαση (παρουσιάζεται ένα ζεύγος ομόλογων χρωμοσωμάτων)**

- ♦ αρχή μεσόφασης – 46 ινίδια χρωματίνης, άρα συνολικά 46 μόρια DNA.

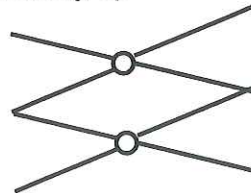


- ♦ τέλος μεσόφασης – 46 διπλασιασμένα ινίδια χρωματίνης. Κάθε διπλασιασμένο ινίδιο χρωματίνης αποτελείται από 2 αδελφές χρωματίδες, άρα συνολικά 92 μόρια DNA.



• **Μείωση: 1^η μειωτική διαίρεση**

- ♦ πρόφαση I – 46 χρωμοσώματα. Κάθε χρωμόσωμα αποτελείται από δύο αδελφές χρωματίδες, άρα συνολικά 92 μόρια DNA.



- ♦ μετάφαση I – 46 χρωμοσώματα, τα οποία τοποθετούνται στο κέντρο του κυττάρου σε ζεύγη. Κάθε χρωμόσωμα αποτελείται από δύο αδελφές χρωματίδες συσπειρωμένες στο μέγιστο βαθμό, άρα συνολικά 92 μόρια DNA. Τα μεταφασικά χρωμοσώματα είναι ορατά στο οπτικό μικροσκόπιο.



- ♦ ανάφαση I – 46 χρωμοσώματα. Κάθε χρωμόσωμα αποτελείται από δύο αδελφές χρωματίδες συσπειρωμένες στο μέγιστο βαθμό, άρα συνολικά 92 μόρια DNA. Στην ανάφαση I πραγματοποιείται ο διαχωρισμός των ομόλογων χρωμοσωμάτων.



- ♦ τελόφαση I – 46 χρωμοσώματα. Κάθε χρωμόσωμα αποτελείται από δύο αδελφές χρωματίδες, άρα συνολικά 92 μόρια DNA. Αποσυσπείρωση γενετικού υλικού.



- τέλος 1^{ης} μειωτικής διαίρεσης: Δημιουργούνται δύο κύτταρα (απλοειδή), καθένα εκ των οποίων διαθέτει 23 διπλασιασμένα ινίδια χρωματίνης. Κάθε διπλασιασμένο ινίδιο χρωματίνης αποτελείται από 2 αδελφές χρωματίδες, άρα σε κάθε κύτταρο περιέχονται συνολικά 46 μόρια DNA.



Εφόσον κατά τη μείωση I επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός των ομολόγων χρωμοσωμάτων, κάθε κύτταρο που υφίσταται τη 2^η μειωτική διαίρεση διαθέτει ένα χρωμόσωμα από κάθε αρχικό ζεύγος ομολόγων χρωμοσωμάτων.

- Μείωση: 2^η μειωτική διαίρεση (παρουσιάζεται το ένα χρωμόσωμα από το αρχικό ζεύγος των ομολόγων χρωμοσωμάτων)

- ♦ πρόφαση II – 23 χρωμοσώματα (δεν υπάρχουν ζεύγη χρωμοσωμάτων). Κάθε χρωμόσωμα αποτελείται από δύο αδελφές χρωματίδες, άρα συνολικά 46 μόρια DNA.



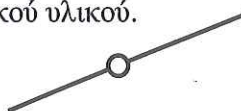
- ♦ μετάφαση II – 23 χρωμοσώματα. Δεν υπάρχουν πλέον ζεύγη χρωμοσωμάτων. Κάθε χρωμόσωμα αποτελείται από δύο αδελφές χρωματίδες συσπειρωμένες στο μέγιστο βαθμό, άρα συνολικά 46 μόρια DNA. Τα μεταφασικά χρωμοσώματα είναι ορατά στο οπτικό μικροσκόπιο.



- ♦ ανάφαση II – 46 χρωμοσώματα (χρωματίδες). Άρα, 46 μόρια DNA.



- ♦ τελόφαση II – 46 χρωμοσώματα (χρωματίδες). Άρα, 46 μόρια DNA. Αποσυσπείρωση γενετικού υλικού.



- τέλος 2^{ης} μειωτικής διαίρεσης: 23 ινίδια σε κάθε κύτταρο. Κάθε ινίδιο περιέχει 1 μόριο DNA, άρα 23 μόρια DNA σε κάθε κύτταρο (ώριμο γαμέτη).



ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Τον όρο χρωμόσωμα μπορούμε να τον χρησιμοποιήσουμε γενικότερα, ακόμη και για τα ινίδια χρωματίνης (μεσοφασικά χρωμοσώματα).