

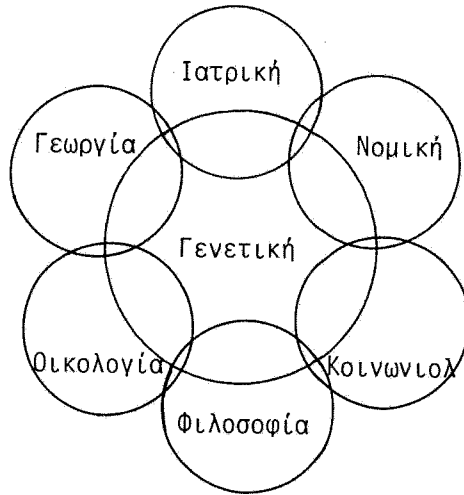
1. Η ΓΕΝΕΤΙΚΗ ΚΑΙ Ο ΑΝΘΡΩΠΟΣ

Η γνώση των κληρονομικών φαινομένων ήταν ενδιαφέρουσα για τον άνθρωπο από πολύ παλιά. Η πρόοδος του ανθρώπου αυτή καθ'αυτή έχθηκε δυνατή από τότε που οι νομαδικές φυλές έμαθαν να εξημερώνουν φυτά και ζώα. Οι άνθρωποι επιλέγαν τα φυτά με τις μεγαλύτερες αποδόσεις και τα ζώα με την καλύτερη γούνα ή κρέας πριν ακόμη από την ύπαρξη της Γενετικής ως επιστήμης. Παρόλα αυτά, μόνο μετά την ανακάλυψη των νόμων του Mendel ήταν δυνατόν να διευκρινισθεί η πραγματική βάση της κληρονομικότητας.

Οι γνώσεις της γενετικής έχουν μια δυναμική επίδραση σε πολλές αλληλοεπηρεαζόμενες περιοχές της ανθρώπινης δραστηριότητας (εικ.1). Οι νέες γνώσεις αφενός μεν προκάλεσαν νέα ερεθίσματα στον άνθρωπο για παραπέρα έρευνα, αφετέρου δε τον βοήθησαν να δώσει λύσεις σε ορισμένα από τα προβλήματά του. Για παράδειγμα, στην αρχή αυτού του αιώνα δημιουργήθηκε στον Καναδά μια νέα ποικιλία σιταριού γνωστή με το όνομα Marquis. Τα χαρακτηριστικά της ποικιλίας αυτής ήταν: καλή ποιότητα, αντοχή σε ασθένειες και επιπλέον ήταν ηρωιμότερη κατά δύο εβδομάδες σε σχέση με τις άλλες εμπορικές ποικιλίες. Το τελευταίο αυτό χαρακτηριστικό είναι πολύ σπουδαίο σε περιοχές με μικρή βλαστική περίοδο.

Η σημασία αυτής της ποικιλίας οφείλεται στο γεγονός ότι επέτρεψε την καλλιέργεια του σιταριού σε εκατομμύρια τετραγωνικών χιλιομέτρων χονίμων εδαφών στις βόρειες χώρες όπως ο Καναδάς, Σουηδία και η USSR. Ο πίνακας 1 δείχνει πως η γενετιστές βελτίωσαν το ρύζι ως προς μια σειρά από επιθυμητά χαρακτηριστικά. Εκτός από τη βελτίωση των ποικιλιών ως προς την αντοχή τους στις ασθένειες και έντομα, οι γενετιστές έμαθαν να αλλοιάζουν τα γεννητικά συστήματα των εντόμων προκαλώντας έτσι μειωμένη χονιμότητα. Η τεχνική αυτή είναι ένα νέο όπλο που θα βοηθήσει στο συνεχές αγώνα του ανθρώπου να κρατήσει τα επιβλαβή έντομα έξω από τις καλλιέργειες.

Τέτοιες επιτυχίες των τελευταίων ετών οδήγησαν στην ιδέα της "Πράσινης Επανάστασης" σαν επιστημονική απάντηση στο πρόβλημα της πείνας. Έτσι, χρησιμοποιώντας τεχνικές βελτίωσης που βασίζονται στις νέες γνώσεις της Γενετικής, οι γενετιστές δημιούργησαν υψηλοαποδοτικές νέες ποικιλίες σιταριού (εικ.2) και ρυζιού (εικ.3). Η διάδοση των ποικιλιών

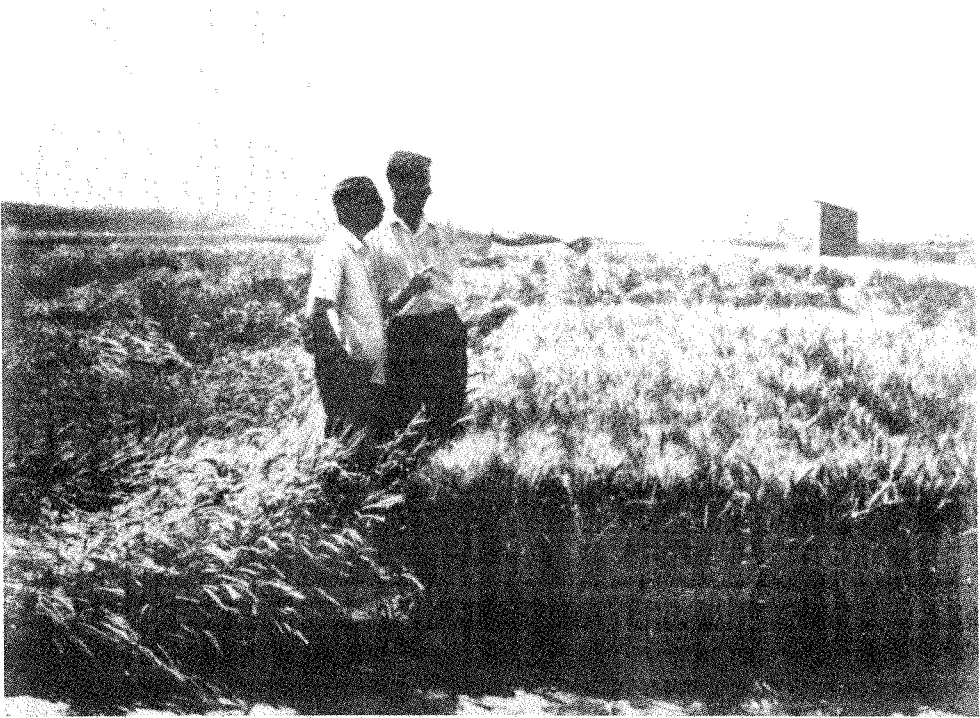


Εικ. 1. Περιοχές της ανθρώπινης δραστηριότητας που δέχονται την επίδραση των γνώσεων της Γενετικής.

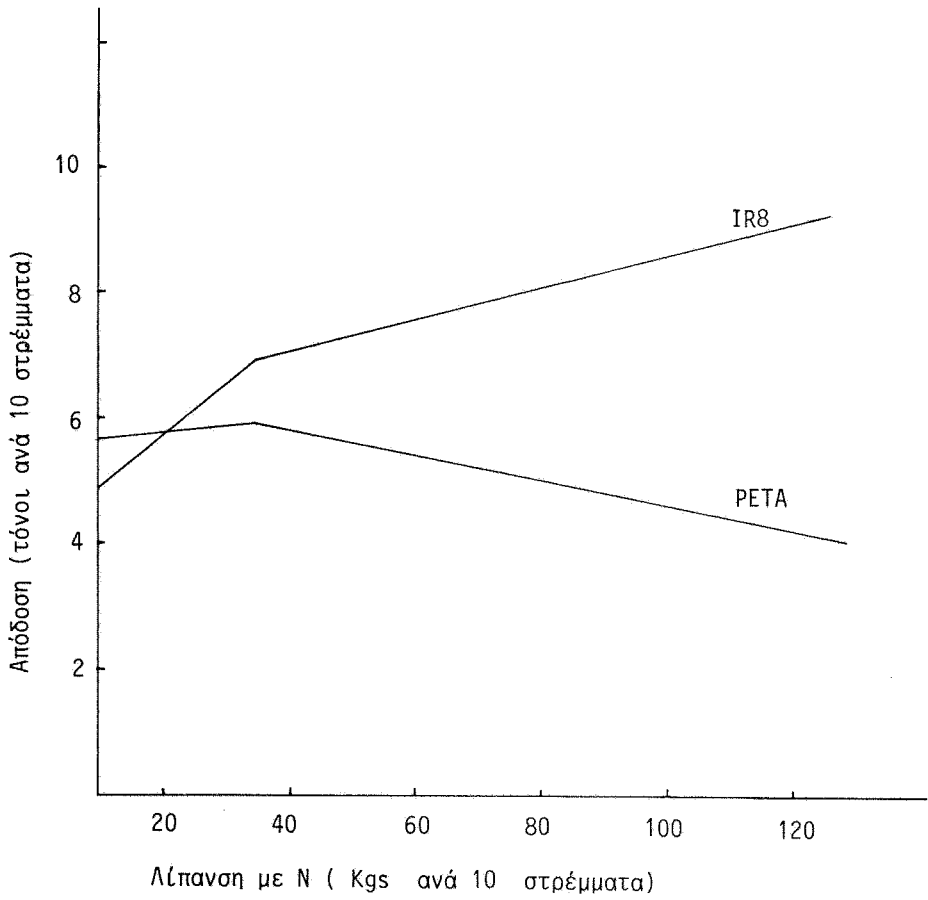
ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Δημιουργία ποικιλιών ρυζιού ανθεκτικών σε ασθένειες και έντομα.

Ποικιλία	Έτος δημιουργίας	Ασθένειες						Έντομα		
		Περικουλάρια (Blast fungus)	Βακτηριακός μαρσμός (Bacterial blight)	Ιός ραβδώσεως φύλλων (Leafstreak virus)	Ιός νανισμού (Grassy stunt virus)	Ίωση εκφυλισμού (Tungro virus)	Τσιτσικάκι (Green leaf-hopper)	Τσιτσικάκι (Brown hopper)	Βλαστορηκτική προνόμψη (Stem borer)	
IR 8	1966	MR	S	S	S	S				MS
IR 5	1967	S	S	MS	S	S				SS
IR 20	1969	MR	R	MR	S	R				MS
IR 22	1969	S	R	MS	S	S				S
IR 24	1971	S	S	MR	S	MR				S
IR 26	1973	MR	R	MR	MR	R				MR

Τα αντίστοιχα σύμβολα περιγράφουν την ανοχή ή ευπάθεια κάθε ποικιλίας στις ασθένειες και έντομα: S= ευπαθής, MS= μέτρια ευπαθής, MR= μέτρια ανθεκτική, R= ανθεκτική.



Εικ. 2. Μία βελτιωμένη νάνα ποικιλία σιταριού (δεξιά) που αντέχει στο πλάγιασμα πολύ περισσότερο από μία συνηθισμένη ποικιλία (αριστερά).



Εικ. 3. Η βελτιωμένη νάνα ποικιλία ρυζιού που ονομάζεται IR8 σφείλει μέρος της επιτυχίας της στο ότι αντιδρά θετικά στην αζωτούχο λίπανση.

αυτών σε ολόκληρο τον κόσμο είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση των παραγομένων τροφίμων αλλά και την δημιουργία νέων προβλημάτων. Αυτές οι βελτιωμένες ποικιλίες απαιτούν εντατική καλλιέργεια και πολυδάπανα λιπάσματα. Η εικ.3 δίνει χαρακτηριστικά την πληροφορία ότι το δυναμικό μιας καλής ποικιλίας εκδηλώνεται μόνο μετά από καλή λίπανση, είναι δηλαδή χαρακτηριστικό παράδειγμα αλληλεπίδρασης γενοτύπου και περιβάλλοντος. Η διάδοση των νέων ποικιλιών συνετέλεσε στη διάδοση της μονοκαλλιέργειας που με τη σειρά της άφηνε μεγάλες εκτάσεις στο έλεος μερικών νεοεισαχόμενων ασθενειών και εντόμων ή στις νέες φυλές των ασθενειών. Ο μεγάλος ανθρώπινος πληθυσμός της γης, μας κάνει να εξαρτώμαστε όλο και περισσότερο από τις υψηλοαποδοτικές ποικιλίες φυτών και ζώων. Στην πραγματικότητα, η σταθερότητα της ανθρώπινης κοινωνίας εξαρτάται κατά πολύ από την ικανότητα των γενετιστών να μεταχειρίζονται τα κληρονομικά χαρακτηριστικά και να σχηματίζουν νέες υψηλοαποδοτικές ποικιλίες που να βρίσκονται ένα βήμα μπροστά από τα υπάρχοντα επιβλαβή παράσιτα όσον αφορά την αντοχή τους σ' αυτά.

Τα τελευταία χρόνια έγινε μεγάλη πρόοδος στον τομέα της μοριακής γενετικής που οδήγησε στη δημιουργία νέων κλώνων βακτηρίων και μυκήτων που φέρουν ενσωματωμένα στο γηνοφόριό τους (genofore) ειδικά χονίδια από μη συγγενείς οργανισμούς όπως είναι ο άνθρωπος. Τα μικρόβια αυτά παράχουν πολύ χρήσιμα συστατικά όπως είναι η ινσουλίνη, ορμόνες και ιντερφερόνη που πιθανόν να έχει αντικαρκινικές ιδιότητες.

Πέρα όμως από τα παραπάνω, οι γνώσεις της γενετικής βρήκαν μεγάλη εφαρμογή στον ίδιο τον άνθρωπο. Σήμερα μπορούμε να διαγνώσουμε κληρονομικές αρρώστιες πριν ή μόλις μετά τη γέννηση. Χρησιμοποιώντας το οικογενειακό δένδρο μπορούμε να δώσουμε πληροφορίες σχετικά με την πιθανότητα που έχουν οι απόγονοι δύο γονέων να είναι φορείς μιας αρρώστιας. Τεχνικές όπως η αμνιοκέντηση και η fetoscopy μπορούν να μας δώσουν πληροφορίες σχετικά με το αν το έμβρυο είναι φορέας μιας αρρώστιας ή όχι, από τα πρώτα ακόμη στάδια της εγκυμοσύνης.

Η μελέτη της γενετικής ενδιαφέρει όχι μόνο το βιολόγο αλλά κάθε σκεπτόμενο άνθρωπο της σημερινής τεχνοκρατικής κοινωνίας. Οι γνώσεις των αρχών της γενετικής είναι βασικές προκειμένου να πάρουμε αποφάσεις σε πολλά επίπεδα, όπως επιστημονικές, πολιτικές ή και προσωπικές ακόμη. Ο γεωπόνος όπως και κάθε βιολόγος δεν θα μπορέσει να χρησιμοποιήσει τις γνώσεις της γενετικής στη γεωργία αν πρώτα δεν χίνει γνώστης των αρχών της γενετικής.

2. ΜΙΤΩΣΗ - ΜΕΙΩΣΗ

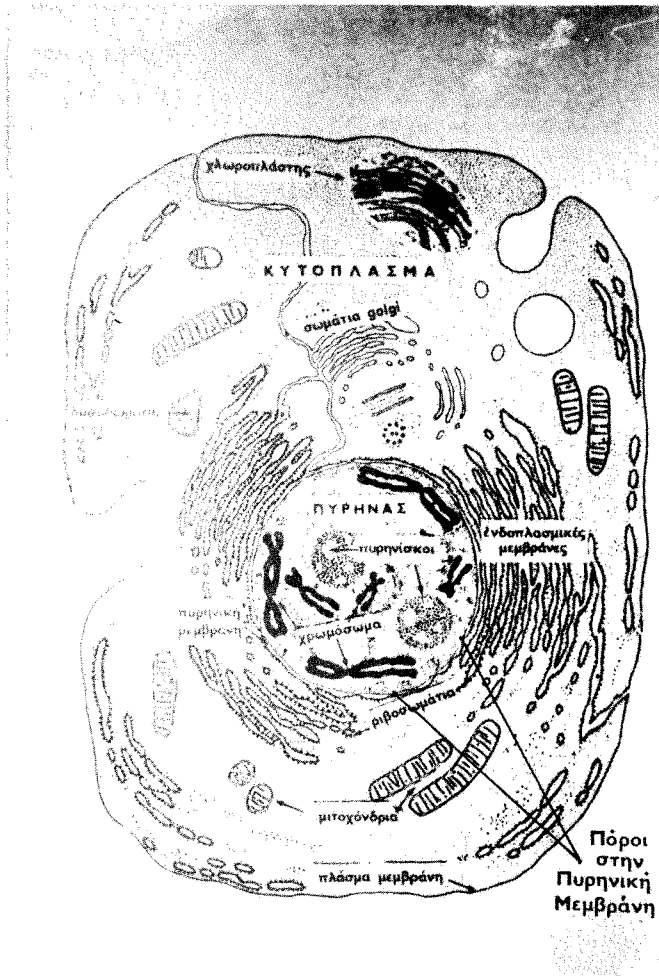
Μέχρι τα τέλη του 18ου αιώνα οι κυτολόγοι και οι εμβρυολόγοι μελέτησαν πολύ εντατικά τα φυτικά και ζωικά κύτταρα. Μέσα στα κύτταρα βρέθηκαν διάφορα οργανίδια που σήμερα είναι γνωστά με τα ονόματα που φαίνονται στην εικ.4. Από γενετική άποψη το κυριότερο οργανίδιο του κυττάρου είναι ο πυρήνας γιατί περιέχει τα χρωμόσωμα (εικ.5). Τα χρωμοσωμα βρέθηκε ότι είναι φορείς των γονιδίων του Mendel.

Το θαυμαστό της Μενδελικής ανάλυσης είναι ότι τα δεδομένα που προκύπτουν από διασταυρώσεις μπορούν να εξηγηθούν με βάση το νόμο της διάσπασης των γονιδίων και το νόμο της τυχαίας κατανομής τους. Πέρα όμως από αυτό, είναι δυνατόν να προβλέψουμε και το αποτέλεσμα των μετέπειτα διασταυρώσεων. Όλα αυτά φυσικά μπορούν να γίνουν με την απλή παρουσίαση αφηρημένων υποθετικών παραχόντων κληρονομικότητας (ή γονιδίων) με σύμβολα, χωρίς να μας ενδιαφέρει η φύση τους ή η θέση τους στο κύτταρο. Παρόλο που οι νόμοι του Mendel βρέθηκε ότι ισχύουν σε πολλούς διαφορετικούς οργανισμούς και γενοτύπους, το επόμενο προφανές ερώτημα είναι: ποιο οργανίδιο του κυττάρου αντιστοιχεί στα υποθετικά γονίδια του Mendel;

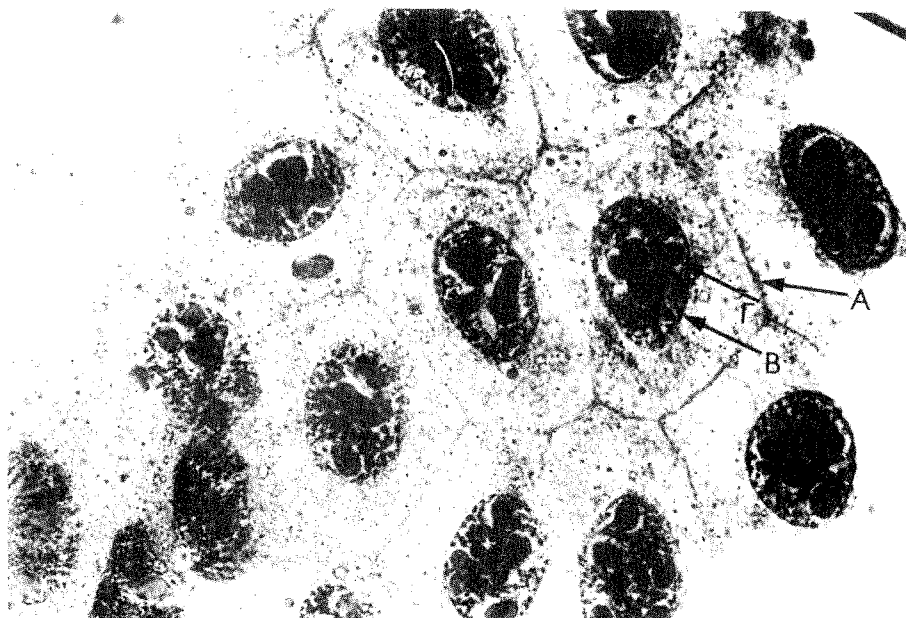
Στο διάστημα που μεσολάβησε μεταξύ της εποχής των πειραμάτων του Mendel και της ανακάλυψης εκ νέου των νόμων της γενετικής, πολλοί βιολόγοι ενδιαφέρονταν για την κληρονομικότητα αν και αγνοούσαν τα αποτελέσματα του Mendel. Οι ερευνητές αυτοί προσπάθησαν να δώσουν λύση στο πρόβλημα κατά ένα τελείως διαφορετικό τρόπο από εκείνο του Mendel. Αυτοί ενδιαφέρονταν περισσότερο για τη φύση του κληρονομικού υλικού. Έτσι, εξέτασαν πολύ προσεκτικά τους χαμέτες γιατί αποτελούν τον μόνο φυσικό σύνδεσμο μεταξύ των γενεών.

Την εποχή εκείνη πίστευαν ότι το ωάριο και το σπέρμα συμβάλλουν εξίσου στη γενετική κατασκευή των απογόνων. Δεδομένου όμως, ότι το ωάριο ήταν μεγαλύτερο από το σπέρμα, οι ερευνητές πίστευαν ότι οι φορείς της κληρονομικότητας θα πρέπει να είναι μικρότερες κατασκευές που βρίσκονται μέσα στους χαμέτες. Το κυτόπλασμα δεν φαινόταν ότι θα μπορούσε να είναι η θέση των φορέων της κληρονομικότητας. Αντίθετα, οι πυρήνες των χαμετών των δύο φύλων ήταν γνωστό ότι είχαν περίπου το ίδιο μέγεθος, γιαυτό και θεωρήθηκαν ως πιθανοί φορείς της κληρονομικής ουσίας.

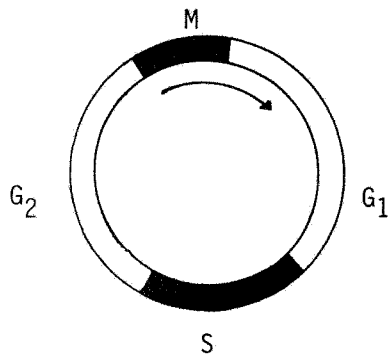
Η εντατική έρευνα που ακολούθησε έδειξε ότι το κύριο περιεχόμενο



Εικ. 4. Διαγραμματική παράσταση των διαφόρων οργανιδίων του κυττάρου όπως φαίνονται στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

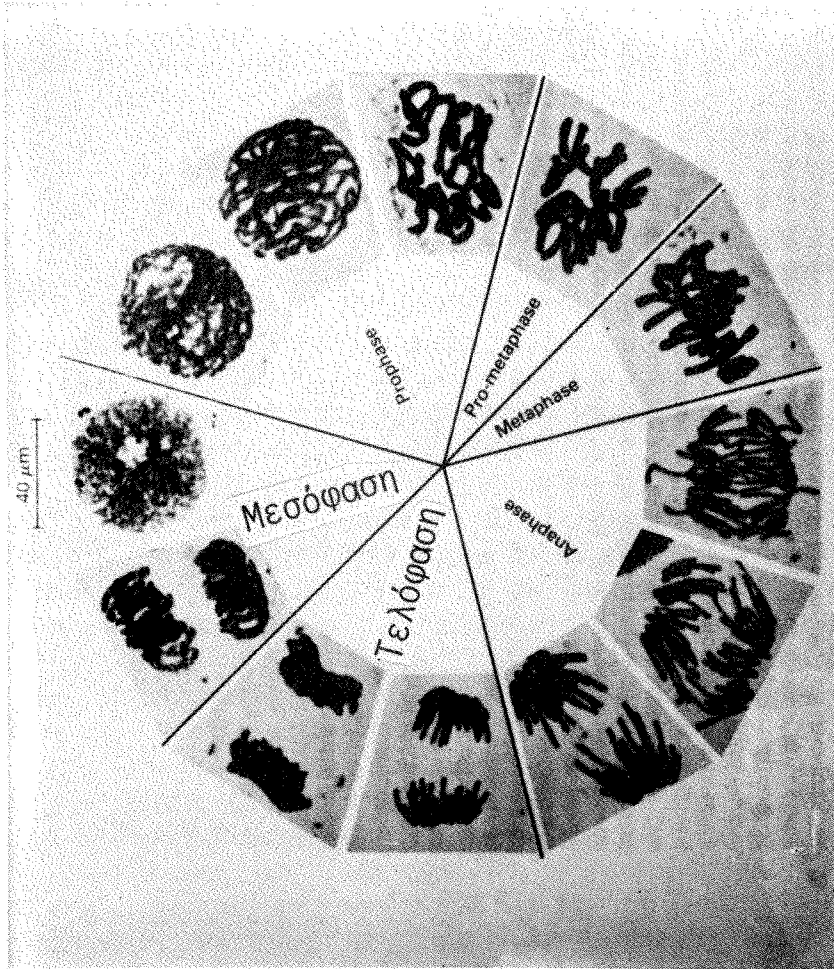


Εικ. 5. Κύτταρα ενδοσπερμίου: A=Κυτταρικά τοιχώματα, B=Πυρήνας και Γ=Πυρινίσκοι.



Εικ. 6. Στάδια μιτωτικού κύκλου.

M = μίτωση, S = DNA σύνθεση, G = gap (άνοιγμα).



Εικ. 7. Τα διάφορα στάδια της μίτωσης σε κύτταρα κρεμμυδιού.

της ατράκτου είναι απαραίτητες για την κατευθυνόμενη κίνηση των χρωμοσώμων. Αυτό βασίζεται στο γεγονός ότι παρουσία κολχικίνης τα χρωμόσωμα είναι ανίκανα να πάρουν τη συνήθη διάταξή τους στον ισημερινό. Η κολχικίνη είναι γνωστό ότι καταστρέφει τις ίνες της ατράκτου. Μέρος της προμετάφασης αποτελεί και ο προσανατολισμός των δύο χρωματιδίων (τουλάχιστον στην περιοχή του κεντρομέρους) έτσι ώστε το ένα βλέπει προς τον ένα πόλο και το άλλο προς τον άλλο.

Μετάφαση. Η μετάφαση αντιπροσωπεύει ένα στάδιο ισορροπίας κατά το οποίο τα συνδεδεμένα αδελφά χρωματίδια αυτοπροσανατολίζονται στην ισημερινή πλάκα, που είναι ένα επίπεδο σε συμμετρική θέση απόστασης μεταξύ των σημείων όπου συγκλίνουν οι ίνες της ατράκτου. Όταν όμως η διαίρεση γίνεται παρουσία κολχικίνης δεν παρατηρείται αυτή η χαρακτηριστική συκέντρωση των χρωμοσώμων στον ισημερινό αλλά τα χρωμόσωμα συνεχίζουν να κατέχουν θέσεις σε όλο το χώρο του πυρήνα, πράγμα που βοηθάει πολύ στην παρασκευή παρασκευασμάτων έτσι ώστε τα χρωμόσωμα να μην είναι το ένα πάνω στο άλλο, αλλά ευδιάκριτα. Αυτός είναι ο λόγος που η κολχικίνη χρησιμοποιείται τόσο πολύ σε μερικές κυτολογικές τεχνικές (το ίδιο και η θερμοκρασία 0^ο).

Κατά τη μετάφαση τα χρωμόσωμα αποκτούν την εξατομικευμένη, χαρακτηριστική, αναγνωρίσιμη εξωτερική μορφολογία τους. Με άλλα λόγια η μετάφαση είναι το καταλληλότερο στάδιο για τη σπουδή των χρωμοσώμων.

Κάθε χρωμόσωμο μιτωτικής μετάφασης αποτελείται από δύο αδελφικά χρωματίδια το ένα δίπλα στο άλλο που συγκρατούνται μαζί στο κεντρομερές. Τα αδελφικά χρωματίδια είναι απολύτως όμοια τόσο μορφολογικά όσο και γενετικά. Το κεντρομερές επίσης ονομάζεται πρωτογενής περίσφιξη (primary constriction) και βασικά αποτελεί το κύριο σημείο που χαρακτηρίζει τη μορφολογία του χρωμοσώμου. αν το κεντρομερές είναι ένα όπως στα ανώτερα φυτά και ζώα, τότε το χρωμόσωμο ονομάζεται μονοκεντρικό (unicentric or monokinetic). Αν όμως το κεντρομερές είναι διάχυτο σε όλο το μήκος του χρωμοσώμου τότε το χρωμόσωμο ονομάζεται πολυκεντρικό (polycentric or holokinetic) π.χ. στη *Luzula* (sedges and rushes) και στα λειψιδόπερα. Ένα χρωμόσωμο που φέρει δύο κεντρομέρη ονομάζεται δικεντρικό (dicentric). Δεδομένου ότι ο κανόνας είναι τα μονοκεντρικά χρωμόσωμα, θα ασχοληθούμε λίγχο περισσότερο μ'αυτά. Ανάλογα με τη θέση του κεντρομερούς πάνω στο χρωμόσωμο, τα χρωμόσωμα διαιρούνται:

1. Μετακεντρικά (metacentric)
2. Υπομετακεντρικά (submetacentric)
3. Ακροκεντρικά (acrocentric)
4. Τελοκεντρικά (telocentric)

Εκτός της χονδροειδούς αυτής κατάταξης, τα χρωμόσωμα μπορούν να περιγραφούν ακριβέστερα με πραγματικές μετρήσεις. Τα τελοκεντρικά χρωμόσωμα γενικά θεωρείται ότι σπάνια υπάρχουν φυσικά στα φυτά. Δεν συμβαίνει το ίδιο στα ζώα. Στα φυτά, τα τελοκεντρικά χρωμόσωμα παράγονται τεχνητά από τα μονοκεντρικά χρωμόσωμα με εκκάρσιο σπάσιμο του κεντρομερούς. Έτσι, κάθε μονοκεντρικό χρωμόσωμα παράγει δύο τελοκεντρικά. Ο Sears έχει παράγει με αυτόν τον τρόπο σχεδόν όλα τα τελοκεντρικά στο εξαπλοειδές σιτάρι. Αυτά τα φυτά με τελοκεντρικά μπορούν να χαρακτηριστούν ως ημιμόνιμα και να είναι πιο σταθερά από τα τελοκεντρικά του αραβοσίτου.

Τα τελοκεντρικά του σίτου έχουν χρησιμοποιηθεί πάρα πολύ για τη χαρτογράφηση χονιδίων. Η χαρτογράφηση χονιδίων με τελοκεντρικά βασίζεται στο γεγονός ότι τα τελοκεντρικά δεν μεταβιβάζονται μέσω της γύρης. Έτσι, αν ένα φυτό φέρει ένα τελοκεντρικό ως προς το χρωμόσωμα 1 και αυτό το τμήμα του χρωμοσώμου φέρει ένα χονίδιο, ο φαινότυπος αυτού του χονιδίου δεν θα μεταδοθεί μέσω της γύρης. Τελοκεντρικά χρησιμοποιήθηκαν επίσης στη μελέτη του φαινομένου της σωματικής σύζευξης. Ο Endrizzi επίσης χρησιμοποίησε τελοκεντρικά για χαρτογράφηση χονιδίων.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό σημείο δομής μερικών χρωμοσώμων είναι η παρουσία μιας δευτερογενούς περίσφιξης (secondary constriction) συνήθως στο τέλος του κοντού βραχίονα. Βασικά αυτή η σύσφιξη αποτελεί τον οργανωτή του πυρηνίσκου. Αν ο οργανωτής είναι μακρύς, τότε η σύσφιξη είναι μακρυνά και άχρωμη αλλά μετά τη σύσφιξη υπάρχει ένα μικρό τμήμα χρωμοσώμου σε σχήμα μπάλας που ονομάζεται δορυφόρος (satellite)

Ανάφαση. Κατά την ανάφαση τα κεντρομερή (centromeres) χωρίζουν και τα αδελφικά χρωματίδια αποχωρίζονται. Κάθε χρωματίδιο αποτελεί ένα νέο χρωμόσωμα. Τα δύο αδελφικά χρωμόσωμα κινούνται προς αντίθετη κατεύθυνση, έτσι ώστε, τελικά να βρεθούν στους αντίθετους πόλους. Ο τρόπος κίνησης των χρωμοσώμων δεν είναι ακόμη γνωστός. Η ανάφαση της μίτωσης συνήθως είναι πολύ κανονική, υπάρχουν όμως περιπτώσεις που παρατηρούνται αποκλίσεις. Έτσι, μερικές φορές τα δύο αδελφικά χρωματίδια μετακινούνται προς τον ίδιο πόλο με αποτέλεσμα ένα

από τα δύο θυγατρικά κύτταρα να φέρει ένα επιπλέον χρωμόσωμο και το άλλο ένα λιγότερο. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό σαν μη-απόζευξη (non-disjunction). Η μη απόζευξη μπορεί να είναι κανονική και να προσδιορίζεται γενετικά όπως π.χ. στα Β χρωμόσωμα του αραβοσίτου κατά τη διάρκεια της δεύτερης μιτωτικής διαίρεσης των ανώριμων χυρεοκόκκων ή να αποτελεί λάθος διαίρεσης. Η μη απόζευξη χρωμοσώμων έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή ανευπλοειδών κυττάρων. Έτσι, προκύπτουν άτομα με τρία χρωμόσωμα φύλου XXX ή XO ή τα τρισωμικά σύνδρομα στον άνθρωπο.

Έκτός της μη απόζευξης υπάρχουν και άλλες ανωμαλίες κατά την ανάφαση. Π.χ. αν υπάρχει σπάσιμο και ανασυνδυασμός χρωματιδίων έτσι ώστε να προκύψει χρωματίδιο με δύο κεντρομερή ή με καθόλου κεντρομερή και τα δύο κεντρομερή ενός δικεντρικού χρωματιδίου μετακινηθούν προς τους αντίθετους πόλους, τότε θα προκύψει μια γέφυρα (εικ.8). Το χρωματίδιο χωρίς κεντρομερές, ονομάζεται ακεντρικό κομμάτι (acentric fragment) και είναι ανίκανο να μετακινηθεί προς τον ένα ή τον άλλο πόλο και κατά συνέπεια τα χονίδια που φέρει δεν εκκλείονται ούτε στον ένα ούτε στον άλλο θυγατρικό πυρήνα. Η συγκλίνουσα κατεύθυνση των ινών της ατράκτου προς τους δύο πόλους έχει μεγάλη σημασία στην επίτευξη του σκοπού της μίτωσης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα χρωμόσωμα μεταφέρονται όλα σε ένα κοινό σημείο πράγμα που βοηθάει πολύ στο να εκκλεισθούν από μια κοινή πυρηνική μεμβράνη. Μεταλλάξεις που προκαλούν αποκλίνοσες ατράκτους έχουν σαν αποτέλεσμα το σχηματισμό πολλών μικροπυρηνίσκων που στο τέλος οδηγούν στο θάνατο.

Τελόφαση. Η τελόφαση είναι στάδιο ανάδρομο της πρόφασης. Πρόκειται για την πορεία της μετατροπής των αναφασικών χρωμοσώμων σε μεσοφασικά. Γίνεται βαθμιαία αποσπίρωση και εξαφάνιση του σταθερού περιγράμματος. Τελικά, ανασχηματίζεται η πυρηνική μεμβράνη και οι πυρηνίσκοι, ενώ εξαφανίζεται η πυρηνική άτρακτος, αρχίζοντας από την περιοχή των πόλων. Από κυτολογική άποψη, είναι πιο δύσκολο στάδιο για τη μελέτη των χρωμοσώμων γιατί, το ένα χρωμόσωμο βρίσκεται πάνω στο άλλο. Ο ανασχηματισμός της πυρηνικής μεμβράνης πραγματοποιείται σε στενή επαφή με ορισμένα τμήματα των χρωμοσώμων (κεντρομερή, άκρα μακρών βραχιόνων) ή με υπολείμματα της προηγούμενης μεμβράνης. Γενικά πιστεύεται ότι τμήματα των ενδοπλασματικών μεμβρανών ή υπολείμματα της προηγούμενης πυρηνικής μεμβράνης κινούνται και έρχονται σε επαφή με τα τελόφασικά χρωμόσωμα. Στη συνέχεια, τα κομμάτια αυξάνουν πλευρικά μέχρι να περιβάλλουν ολόκληρο τον πυρήνα.

Κυτοκίνηση-(cytokinesis). Είναι μέρος της τελόφασης και



Εικ. 8. Χρωμοσωμικές γέφυρες σε πυρήνες ενδοσπερμίου από σπόρους Τριτικάλε.

συνήθως ακολουθεί την ανάφαση. Με την κυτοκίνηση επιτυγχάνεται η τελική διαίρεση του κυττάρου σε δύο θυγατρικά κύτταρα. Η κυτοκίνηση διαιρεί το κυτόπλάσμα με τα ριβοσώματα, μιτοχόνδρια, ένζυμα κλπ. σε δύο σχεδόν ίσου μεγέθους τμήματα. Πολλές φορές όμως, η κυτοκίνηση χωρίζει το περιεχόμενο του κυτοπλάσματος σε δύο άνισα τμήματα. Τέτοια κυτοκίνηση ονομάζεται ασυμμετρική και όταν γίνεται έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή ενός μεγάλου και ενός μικρού κυττάρου. Τέτοια διαίρεση γίνεται κατά την χαμετογένεση στα θηλυκά θηλαστικά.

ΣΩΜΑΤΙΚΗ ΣΥΖΕΥΞΗ ΚΑΙ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ - (SOMATIC PAIRING AND RECOMBINATION)

Σωματική σύζευξη είναι το φαινόμενο κατά το οποίο τα ομόλογα χρωμόσωμα συζεύγονται κατά τη διάρκεια της μίτωσης.

Ο μ ό θ ο ρ α είναι δύο χρωμόσωμα που είναι (1) όμοια ως προς τον αριθμό και τη θέση των γονιδιακών θέσεων (genetic loci) (φέρουν τον ίδιο αριθμό γονιδίων στην ίδια θέση, και (2) είναι όμοια ως προς την εξωτερική κατασκευή που διαφέρει από τα άλλα χρωμόσωμα του αυτού πυρήνα. Έχει αποδειχθεί ότι σωματική σύζευξη γίνεται σε μερικούς μύκητες και σε όλα τα δίπτερα όπου ανήκει η Δροσόφιλα.

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΙΤΩΤΙΚΩΝ ΧΡΩΜΟΣΩΜΩΝ

Γενικά είναι γνωστό ότι κατά τη διάρκεια της μίτωσης δεν γίνεται αναδιπλάσιασμός του DNA (DNA replication) και βασικά ούτε μεταγραφή του RNA (RNA transcription) σε ποσότητα που θα μπορούσε να ανιχνευθεί με ραδιενεργά νουκλεοτίδια. Εδώ θα μπορούσαμε να πούμε ότι τα γονίδια στη μίτωση είναι αδρανή και αν γίνονται ορισμένες λειτουργίες όπως προσανατολισμός, απόζευξη και κίνηση, αυτές θα πρέπει να είναι προκαθορισμένες από την προηγούμενη μεσόφαση.

ΣΙΩΠΗΛΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ - SILENT REGIONS

Ένα άλλο ερώτημα που θα μπορούσατε εύκολα να θέσετε είναι: τα γονίδια είναι ομοιόμορφα κατανομημένα σε όλο το μήκος του χρωμοσώμου; Η απάντηση είναι όχι. Υπάρχουν περιοχές που πραγματικά είναι πυκνοκατοικημένες από γονίδια και περιοχές στις οποίες σχεδόν δεν έχει βρεθεί κανένα γονίδιο. Αυτές οι περιοχές ονομάζονται σιωπηλές. Τέτοιες περιοχές βρέθηκαν στους βραχίονες 3L, 5L, 6L, 7L και 5S του αραβοσίτου

(Phillips, 1969). Ο Rick (1971) επίσης βρήκε σιωπηλές περιοχές στην ντομάτα. Χαρακτηριστικά ανέφερε ότι το χρωμόσωμο 12 είναι σχεδόν τελείως σιωπηλό. Το ερώτημα όμως είναι: οι περιοχές αυτές είναι πραγματικά σιωπηλές και αν ναι, γιατί δεν αποβάλλονται από τον οργανισμό; Ακριβώς ο δεύτερος λόγος μας λέγει ότι δεν θα πρέπει να είναι σιωπηλές αλλά μάλλον εμείς δεν μπορούμε να ανακαλύψουμε τα χονίδια που υπάρχουν εκεί και που πιθανόν να είναι πολύ χρήσιμα για την επιβίωση των οργανισμών.

ΜΕΙΩΣΗ

Από τότε που έγινε φανερό ότι ο ρόλος της μιτωτικής διαίρεσης ήταν να διατηρεί τον αριθμό των χρωμοσώμων σταθερό σε κάθε πυρήνα, οι ερευνητές διαπίστωσαν μια αντίφαση στα γεγονότα που ακολουθούσαν τη χονιμοποίηση. Ήξεραν τότε, ότι κατά την πορεία της χονιμοποίησης γίνεται συγχώνευση δύο πυρήνων, παρόλα αυτά παρατήρησαν ότι ο αριθμός των χρωμοσώμων παραμένει σταθερός. Το ερώτημα επομένως που προέκυψε ήταν: Τί είναι αυτό που προλαμβάνει το διπλοσωμισμό του αριθμού των χρωμοσώμων από γενεά σε γενεά; Η απάντηση δόθηκε από την πρόβλεψη της ύπαρξης ενός ειδικού μηχανισμού πυρηνοδιαίρεσης που είχε σαν αποτέλεσμα τη μείωση του αριθμού των χρωμοσώμων στο μισό. Η ειδική αυτή πυρηνοδιαίρεση διαπιστώθηκε ότι γίνεται στους ιστούς που παράχουν χαμέτες, τόσο στα φυτά όσο και στα ζώα και ονομάστηκε μείωση.

Η μείωση μαζί με τη φυλετική αναπαραγωγή, που χρωμοσωμικά αλληλοσυμπληρώνονται, είναι και οι δυο απαραίτητες για την ομαλή συνέχεια οποιασδήποτε μορφής ζωής. Η φυλετική αναπαραγωγή διπλασιάζει τον αριθμό των χρωμοσώμων, ενώ η μείωση τον ελαττώνει στο μισό. Η φυλετική αναπαραγωγή προέκυψε στην πορεία της εξέλιξης ως ένας μηχανισμός αύξησης της παραλλακτικότητας μέσα σε ένα είδος. Για να γίνει όμως αυτό δυνατό, χωρίς δυσμενείς επιδράσεις του διπλοσωμισμού των χρωμοσώμων στην ίδια τη ζωή, θα έπρεπε να εξελιχθεί συγχρόνως και ένας δεύτερος μηχανισμός ελάττωσης του αριθμού των χρωμοσώμων στο αρχικό επίπεδο. Η μείωση σήμερα, πέρα από το ρόλο που παίζει στην ελάττωση του αριθμού των χρωμοσώμων, συμπληρώνει τη φυλετική αναπαραγωγή στη δημιουργία γενετικής παραλλακτικότητας. Αυτό επιτυγχάνεται με την ανταλλαγή χρωμοσωμικών τμημάτων και ανασυνδυασμό των χονιδίων. Η μελέτη των νεοσυνδυασμών είναι η βάση της γενετικής.

Ένα παράδειγμα που δείχνει τι μπορεί να συμβεί όταν γίνεται φυλετική αναπαραγωγή χωρίς όμως να προηγηθεί μείωση, αναφέρθηκε στο

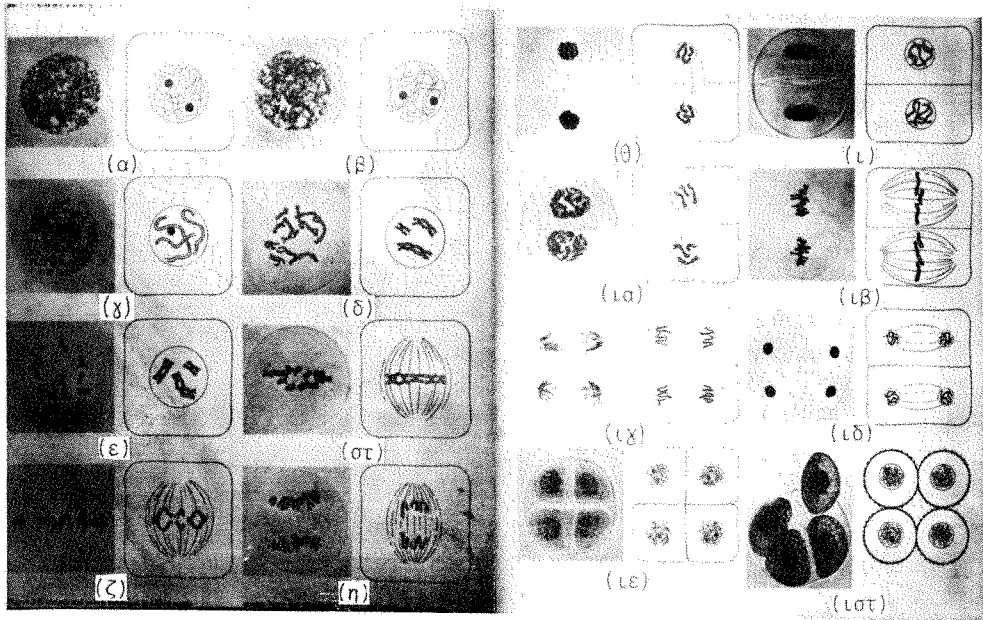
φυτό Parthenium. Μια φυλή με χρωμοσωμικό αριθμό $2n=72$, έδινε wάρια χωρίς μείωση, αλλά για αναπαραγωγή ήταν απαραίτητη η γονιμοποίηση. Έτσι, οι απόγονοι είχαν $2n=108$ ($72\varphi + 36\delta$). Τα φυτά αυτά πάλι έδιναν wάρια χωρίς μείωση με 108 χρωμόσωμα που με γονιμοποίηση από χαμέτες με 36 χρωμόσωμα, προήλθαν φυτά με $2n=140$. Αυτό ήταν και το τέλος της δυνατής χρωμοσωμικής αύξησης.

Προμειωτική μεσόφαση: Είναι η μεσόφαση που προηγείται της μειωτικής διαίρεσης. Όπως έχει αποδειχθεί από πολλές εργασίες ο διπλοασιασμός του DNA γίνεται στη διάρκεια αυτής της φάσης. Επίσης, θεωρείται πολύ πιθανό ότι η ετεροχρωματινή στη φάση αυτή πρέπει να μεταβάλλει τη συμπυκνωμένη δομή της πριν από το διπλοασιασμό του DNA και των ιστονών της. Έχει βρεθεί ότι οι ιστόνες αρχίζουν να διπλοασιάζονται κατά την περίοδο διπλοασιασμού του DNA, αλλά η δραστηριότητα αυτή δεν τελειώνει μέχρι το στάδιο της παχυταινίας.

Η μείωση σε βιολογική εκδήλωση πρέπει να ελέγχεται από γονίδια. Έτσι, μεταλλάξεις των γονιδίων που ελέγχουν τη μείωση δημιουργούν ανωμαλίες στην όλη διαδικασία. Έχουν βρεθεί μεταλλάξεις που εμποδίζουν τη σύναψη των χρωμοσώμων στην πρόφαση. Τα γονίδια που ελέγχουν τη μείωση ενεργοποιούνται κατά τη διάρκεια της προμειωτικής μεσόφασης ή και ενωρίτερα αν θεωρήσουμε ότι το προμειωτικό ζευγάρωμα είναι μέρος της μείωσης. Η βαθιά γνώση της μείωσης είναι ουσιαστική για τους γενετιστές, γιατί σ'αυτή βρίσκεται η φυσική απάντηση των νόμων της κληρονομικότητας. Στην εικ.9 παρουσιάζονται κατά σειρά οι φάσεις και τα στάδια της μειωτικής διαίρεσης.

Πρόφαση: Το τέλος της προμειωτικής μεσόφασης οδηγεί στη μειωτική πρόφαση που είναι και το πιο ουσιαστικό στάδιο του όλου μηχανισμού. Όπως στη μίτωση, έτσι και στη μείωση, η φάση αυτή αρχίζει όταν τα χρωμόσωμα γίνονται ο ρ α τ ά, σαν ξεχωριστά νήματα, με το κοινό μικροσκόπιο. Η φάση όμως αυτή, σε αντίθεση με την αντίστοιχη της μίτωσης, είναι σύνθετη και μπορεί να υποδιαιρεθεί σε στάδια που διακρίνονται μεταξύ τους. Τα στάδια αυτά κατά σειρά εμφάνισης είναι: **λεπτοταινία, ζυγοταινία, παχυταινία, διπλοταινία** και **διακίνηση**.

Λεπτοταινία. Το στάδιο αυτό γίνεται γενικά παραδεκτό σαν το πρώτο στάδιο της πρόφασης. Τα χρωμόσωμα είναι πολύ λεπτά, αζευγάρωτα και τυχαία διασκορπισμένα στον πυρήνα (εικ.9α). Διακρίνονται πολλά μικρά εξογκώματα κατά μήκος των χρωμονημάτων που ονομάζονται **χρωμομέρη**. Το στάδιο τελειώνει όταν τα μονά, σαν λεπτά νήματα χρωμόσωμα αρχίζουν να ζευγαρώνουν (σύναψη) με τα ομόλογά τους.



Εικ. 9. Μείωση και σχηματισμός γύρης στο φυτό *Lilium regale*. (α) Λεπτοταινία (β) Ζυγοταινία. (γ) Παχυταινία. (δ) Διπλοταινία. (ε) Διακίνηση. (στ) Μετάφαση I. (ζ) Αρχή ανάφασης I. (η) Προχωρημένη ανάφαση I. (θ) Τελόφαση I. (ι) Μεσόφαση. (ια) Πρόφαση II. (ιβ) Μετάφαση II. (ιγ) Ανάφαση II. (ιδ) Τελόφαση II. (ιε) Τετράδα. (ιστ) Ανώριμοι γυρεόκοκοι.

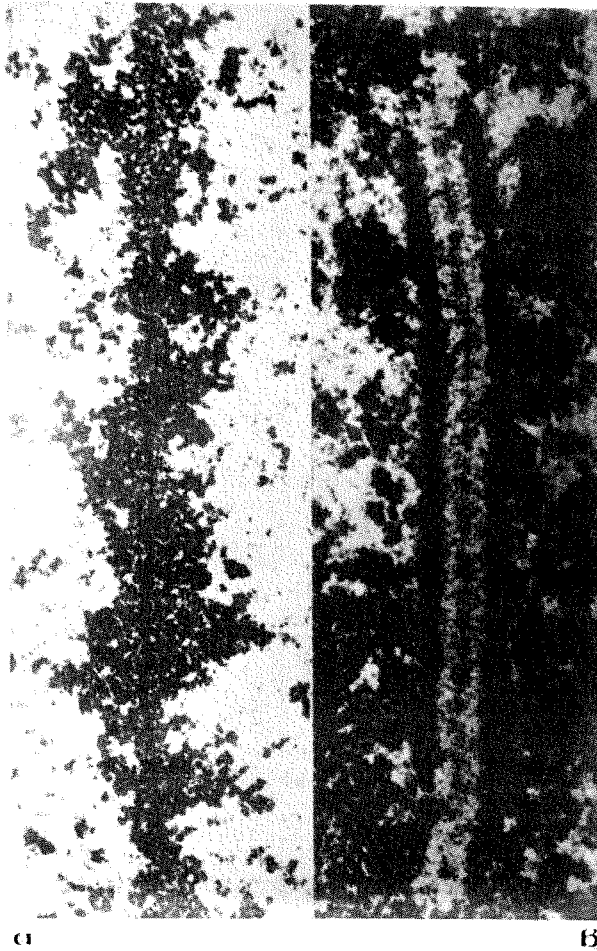
Ζυγοταινία: Σύμφωνα με την κλασική θεωρία, τα ομόλογα χρωμόσωμα έλκονται μεταξύ τους από την τυχαία θέση που έχουν μέσα στον πυρήνα και κινούνται κάτω από τα άκρα των χρωμοσώμων στις περιπτώσεις που αυτά έχουν τη διάταξη μορφής ανθοδέσμης στον πυρήνα (κυρίως στα ζώα αλλά και στα φυτά). Αλλιώς, η σύζευξη μπορεί ν' αρχίσει σε οποιοδήποτε σημείο έλθουν σε επαφή τα δύο χρωμόσωμα. Η μελέτη του σταδίου αυτού είναι δύσκολη με το κοινό μικροσκόπιο αλλά και με το ηλεκτρονικό.

Στη διάρκεια της σύζευξης των ομολόγων χρωμοσώμων, εμφανίζεται και το **Συναπτονημικό Σύμπλεγμα (Σ.Σ.)**, μια χαρακτηριστική δομική σύνθεση, ορατή μόνο με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, που θεωρείται απαραίτητο μέσο για τη σύζευξη των χρωμοσώμων (εικ.10). Γιαυτό θα μιλήσουμε εκτενέστερα στη συνέχεια της περιγραφής της μείωσης. Επειδή στο στάδιο αυτό, μερικά τμήματα των χρωμοσώμων έχουν συμπληρώσει τη σύνθεση του Σ.Σ. και και άλλα όχι, αυτό δείχνει ότι στο στάδιο αυτό δεν έχει γίνει πλήρης σύζευξη των ομολόγων χρωμοσώμων σ' όλο το μήκος του. Στη ζυγοταινία γίνεται κάποια ελάττωση του μήκους των χρωμοσώμων που όμως οι λεπτομέρειες του τρόπου που γίνεται είναι άγνωστες.

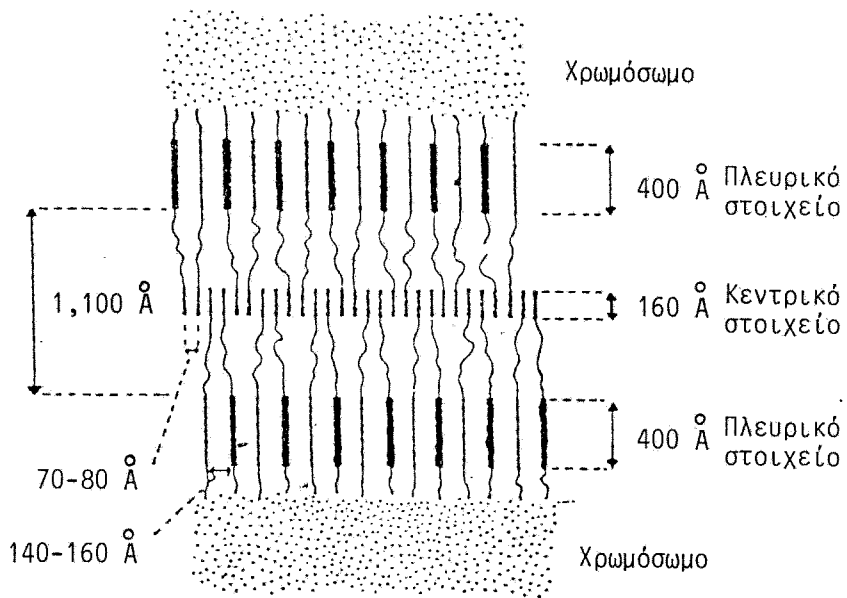
Η σύζευξη επηρεάζεται, σύμφωνα με αποτελέσματα ερευνητικών εργασιών, από χονίδια, από τον υβριδισμό, αλλά και από τις συνθήκες του περιβάλλοντος και είναι διαφορετική μεταξύ φυτών του ίδιου είδους, ακόμα και στο ίδιο φυτό, όταν διαφέρει το περιβάλλον και η ημέρα συλλογής τους.

Παχυταινία: Τα χρωμόσωμα στο στάδιο αυτό είναι μικρότερα και παχύτερα και έχουν περίπου το ένα πέμπτο του μήκους που έχουν στη λεπτοταινία (εικ.9χ). Σε μερικές περιπτώσεις τα άκρα είναι προσκολλημένα στην πυρηνική μεμβράνη. Πιστεύεται, ότι τα άκρα των χρωμοσώμων πιθανόν να είναι συνεχώς προσκολλημένα στην πυρηνική μεμβράνη από την προηγούμενη τελοφαση.

Το Συναπτονημικό Σύμπλεγμα (Σ.Σ.) ολοκληρώνεται στο στάδιο αυτό. Το Σ.Σ. είναι μια ξεχωριστή κυτταρική κατασκευή που εμφανίζεται μόνο κατά τη ζυγοταινία και παχυταινία και θεωρείται σαν ξεχωριστό χαρακτηριστικό γνώρισμα της μείωσης. Αν και δεν είναι γνωστό πότε αρχίζει η ανάπτυξη του Σ.Σ. φαίνεται πιθανό ότι κάθε χρωμόσωμο, πριν τη σύναψη, σχηματίζει κατά τη διάρκεια της ζυγοταινίας ή και πιο πριν, ένα λεπτό εμμηκυσμένο πρωτεϊνικό νήμα που ονομάζεται "core". Για τη σύζευξη των ομολόγων χρωμοσώμων στη ζυγοταινία, τα δύο πρωτεϊνούχα νήματα, ένα από κάθε ομόλογο χρωμόσωμο, προσεγγίζουν και γίνονται τα παράλληλα πλευρικά στοιχεία του Σ.Σ. Στη συνέχεια, με ίνες που



Εικ. 10. Συναπτονημικό σύμπλεγμα στο *Lilium tyrinum*. (α) Αζευγάρωτο χρωμόσωμο με το αντίστοιχο core. (β) Πλήρες συναπτονημικό σύμπλεγμα.



Εικ. 11. Σχηματική παράσταση της δομής του συναπτονημικού συμπλέγματος.