



Α' Τεχνικού και Επαγγελματικού Λυκείου

# ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΕΝΕΤΙΚΗΣ

Αγαθοκλή Υφούλη

ΚΑΘΗΓΗΤΗ Κ.Α.Τ.Ε.Ε. ΛΑΡΙΣΑΣ





1954

**ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ  
ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Ο Ευγένιος Ευγενίδης, ο ιδρυτής και χορηγός του « Ιδρύματος Ευγενίδου», πολύ νωρίς πρόβλεψε και σχημάτισε την πεποίθηση ότι η άρτια κατάρτιση των τεχνικών μας, σε συνδυασμό με την εθνική αγωγή, θα ήταν αναγκαίος και αποφασιστικός παράγοντας της πρόοδου του Έθνους μας.

Την πεποίθησή του αυτή ο Ευγενίδης εκδήλωσε με τη γενναιόφρονα πράξη ευεργεσίας, να κληροδοτήσει σεβαστό ποσό για τη σύσταση Ιδρύματος που θα είχε σκοπό να συμβάλλει στην τεχνική εκπαίδευση των νέων της Ελλάδας.

Έτσι το Φεβρουάριο του 1956 συστήθηκε το « Ίδρυμα Ευγενίδου », του οποίου την διοίκηση ανέλαβε η αδελφή του κυρία Μαριάνθη Σίμου, σύμφωνα με την επιθυμία του διαθέτη.

Από το 1956 μέχρι σήμερα η συμβολή του Ιδρύματος στην τεχνική εκπαίδευση πραγματοποιείται με διάφορες δραστηριότητες. Όμως απ' αυτές η σημαντικότερη, που κρίθηκε από την αρχή ως πρώτης ανάγκης, είναι η έκδοση βιβλίων για τους μαθητές των τεχνικών σχολών.

Μέχρι σήμερα εκδόθηκαν 150 τόμοι βιβλίων, που έχουν διατεθεί σε πολλά εκατομμύρια τεύχη, και καλύπτουν ανάγκες των Κατώτερων και Μέσων Τεχνικών Σχολών του Υπ. Παιδείας, των Σχολών του Οργανισμού Απασχολήσεως Εργαπικού Δυναμικού (ΟΑΕΔ) και των Δημοσίων Σχολών Εμπορικού Ναυτικού.

Μοναδική φροντίδα του Ιδρύματος σ' αυτή την εκδοτική του προσπάθεια ήταν και είναι η ποιότητα των βιβλίων, από άποψη όχι μόνον επιστημονική, παιδαγωγική και γλωσσική, αλλά και από άποψη εμφανίσεως, ώστε το βιβλίο να αγαπηθεί από τους νέους.

Για την επιστημονική και παιδαγωγική ποιότητα των βιβλίων, τα κείμενα υποβάλλονται σε πολλές επεξεργασίες και βελτιώνονται πριν από κάθε νέα έκδοση.

Ιδιαίτερη σημασία απέδωσε το Ίδρυμα από την αρχή στην ποιότητα των βιβλίων από γλωσσική άποψη, γιατί πιστεύει ότι και τα τεχνικά βιβλία, όταν είναι γραμμένα σε γλώσσα άρτια και ομοιόμορφη αλλά και κατάλληλη για τη στάθμη των μαθητών, μπορούν να συμβάλλουν στην γλωσσική διαπαιδαγώγηση των μαθητών.

Έτσι με απόφαση που πάρθηκε ήδη από το 1956 όλα τα βιβλία της Βιβλιοθήκης του Τεχνίτη, δηλαδή τα βιβλία για τις Κατώτερες Τεχνικές Σχολές, όπως αργότερα και για τις Σχολές του ΟΑΕΔ, είναι γραμμένα σε γλώσσα δημοτική με βάση την γραμματική του Τριανταφυλλίδη, ενώ όλα τα άλλα βιβλία είναι γραμμένα στην απλή καθαρεύουσα. Η γλωσσική επεξεργασία των βιβλίων γίνεται από φιλολόγους του Ιδρύματος και έτσι εξασφαλίζεται η ενιαία σύνταξη και ορολογία κάθε κατηγορίας βιβλίων.

*Η ποιότητα του χαρτιού, το είδος των τυπογραφικών στοιχείων, τα σωστά σχήματα και η καλαίσθητη σελιδοποίηση, το εξώφυλλο και το μέγεθος του βιβλίου περιλαμβάνονται και αυτά στις φροντίδες του Ιδρύματος.*

*To Ιδρυμα θεώρησε ότι είναι υποχρέωσή του, σύμφωνα με το πνεύμα του ίδρυτή του, να θέσει στην διάθεση του Κράτους όλη αυτή την πείρα του των 20 ετών, αναλαμβάνοντας την έκδοση των βιβλίων και για τις νέες Τεχνικές και Επαγγελματικές Σχολές και τα νέα Τεχνικά και Επαγγελματικά Λύκεια, σύμφωνα με τα Αναλυτικά Προγράμματα του Κ.Ε.Μ.Ε.*

#### **ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ**

**Αλέξανδρος Ι. Παππάς, Ομ. Καθηγητής ΕΜΠ, Πρόεδρος.**

**Χρυσόστομος Φ. Καβουνίδης, Διπλ.-Μηχ.- Ηλ. ΕΜΠ, Επίτιμος Διοικητής ΟΤΕ, Αντιπρόεδρος.**  
**Μιχαήλ Γ. Αγγελόπουλος, Τακτικός Καθηγητής ΕΜΠ, τ. Διοικητής ΔΕΗ.**

**Θεοδόσιος Παπαθεοδοσίου, Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός, Δ/ντής Εφ. Προγρ. και Μελετών Τεχν. και Επαγγ. Εκπ. Υπ. Παιδείας.**

**Επιστημ. Σύμβουλος, Γ. Ρούμσος, Χημ.-Μηχ. ΕΜΠ.**

**Σύμβουλος επί των εκδόσεων του Ιδρύματος Κ. Α. Μανάφης, Καθηγητής Φιλοσοφικής Σχολής Παν/μίου Αθηνών.**

**Γραμματεύς, Δ. Π. Μεγαρίτης.**

**Διατελέσαντα μέλη ή σύμβουλοι της Επιτροπής**

**Γεώργιος Κακριδής † (1955 - 1959) Καθηγητής ΕΜΠ, Άγγελος Καλογεράς † (1957 - 1970) Καθηγητής ΕΜΠ, Δημήτριος Νιάνιας (1957 - 1965) Καθηγητής ΕΜΠ, Μιχαήλ Σπετσιέρης (1956 - 1959), Νικόλαος Βασιώπης (1960 - 1967), Θεόδωρος Κουζέλης (1968 - 1976) Μηχ.- Ηλ. ΕΜΠ, Παναγώνης Χατζηιωάννου (1977 - 1982) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ.**





Α' ΤΑΞΗ ΤΕΧΝΙΚΟΥ  
ΚΑΙ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΟΥ ΛΥΚΕΙΟΥ

# ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΕΝΕΤΙΚΗΣ

ΑΓΑΘΟΚΛΗ ΥΦΟΥΛΗ  
ΚΑΘΗΓΗΤΗ Κ.Α.Τ.Ε.Ε. ΛΑΡΙΣΑΣ

ΑΘΗΝΑ  
1983



### **Πρόλογος του Συγγραφέα**

**Η Γενετική επιστήμη έχει υπεισέλθει σε πολλούς τομείς της ανθρώπινης ζωής. Τόσο σε τομείς εξευγενισμού του ίδιου του ανθρώπου, δύο και σε τομείς παραγωγικούς.**

**Η Γεωπονική επιστήμη στηρίζει τη διατροφή του συνεχώς αυξανόμενου ανθρώπινου πληθυσμού στην υπερπαραγωγή, πράγμα που μπορεί να επιτευχθεί και με την καλλιέργεια αποδοτικών φυτών και τη διατροφή βελτιωμένων ζώων. Τη δημιουργία τέτοιων φυτών και ζώων έχουν αναλάβει δύο κλάδοι της εφαρμοσμένης Γενετικής, δηλαδή η βελτίωση των φυτών και των ζώων.**

**Οι μαθητές του τεχνικού και Επαγγελματικού Λυκείου θα βρουν στο εγχειρίδιο αυτό τις βασικές έννοιες και αρχές της Γενετικής. Ιδιαίτερη προσπάθεια πρέπει να καταβληθεί για την κατανόηση δύο βασικών κεφαλαίων, δηλαδή του 1ου και του 2ου. Τα άλλα κεφάλαια αποτελούν ανάπτυξη του Μενδελισμού, συμπληρωμένη με τις σύγχρονες γνώσεις.**

## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

### **0.1 Γενικά.**

Η ζωή στον πλανήτη μας εμφανίζεται πολύμορφη και αντιπροσωπεύεται από πολυάριθμα είδη φυτών και ζώων. Στο ζωικό μόνο βασίλειο γνωρίζομε σήμερα περισσότερα από ένα εκατομμύριο είδη. Η πολυμορφία των οργανισμών παρατηρείται όχι μόνο μεταξύ ειδών, αλλά και μεταξύ των ατόμων του ίδιου είδους. Θα αναφέρομε, για παράδειγμα, τον ανθρώπινο πληθυσμό, στον οποίο κάθε άτομο έχει εντελώς δικά του χαρακτηριστικά. Τέτοιες διαφορές, ή με άλλα λόγια, τέτοια **παραλλακτικότητα**, συμβαίνει κατά κανόνα σε όλα τα φυτικά και ζωικά είδη. Ακόμη και στα φυτά καλαμποκιού του ίδιου αγρού μπορούμε να διαπιστώσομε διαφορετικές ιδιότητες.

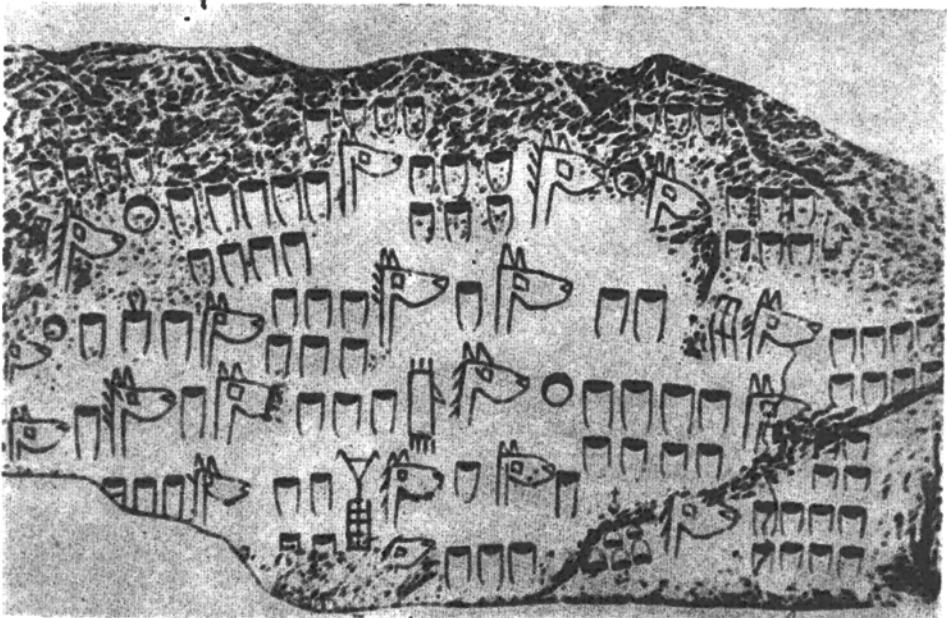
Το ερώτημα που προκύπτει από τα παραπάνω είναι: γιατί η ζωή εμφανίζεται με τόσες πολλές μορφές; ή γιατί η γη να μην κατοικείται από ένα μόνο είδος ζωής, στο οποίο όλα τα άτομα να είναι όμοια; ή απάντηση στο ερώτημα αυτό αποτελεί αντικείμενο της **Γενετικής**. Ένα άλλο ερώτημα, στο οποίο καλείται η Γενετική να απαντήσει, είναι το εξής: γιατί τα παιδιά μοιάζουν με τους γονείς; γιατί, δηλαδή, όταν σπείρομε ένα σπόρο σταριού, θα πάρομε νέα φυτά σταριού; ή γιατί οι απόγονοι της γάτας γίνονται πάλι γάτες; όσο και να φαίνεται παράξενη η ερώτηση, η απάντηση εντούτοις αποτελεί ένα δύσκολο πρόβλημα. Η ομοιότητα γονέων και απογόνων δεν περιορίζεται μόνο στο γεγονός ότι έχουν τα χαρακτηριστικά του είδους στο οποίο ανήκουν. Πολλές ατομικές ιδιορρυθμίες ή και παραξενές ακόμη των γονέων επανεμφανίζονται στους απογόνους με μεγάλη σαφήνεια. Είναι επίσης γνωστό ότι μερικές φορές τα παιδιά μοιάζουν, εκτός από τους γονείς, και στους πολύ στενούς συγγενείς.

### **0.2. Οι πρώτες πληροφορίες.**

Η σύγχρονη Γενετική είναι νέα επιστήμη, αλλά οι θεωρίες που αναπτύχθηκαν για την εξήγηση της κληρονομικότητας χρονολογούνται από την αρχή του ανθρώπινου πολιτισμού. Οι θεωρίες αυτές βασίσθηκαν σε παρατηρήσεις που έγιναν στον ίδιο τον άνθρωπο, στα καλλιεργούμενα φυτά και στην προσπάθεια του ανθρώπου να βελτιώσει τα ζώα του. Το σχήμα 0.2α απεικονίζει πολύ πιθανόν την προσπάθεια που κατέβαλαν οι Χαλδαίοι εδώ και 6000 χρόνια για τη βελτίωση του αλόγου.

Οι παραστάσεις που υπάρχουν στις οριζόντιες γραμμές του σχήματος παριστάνουν το γενεαλογικό δένδρο του αλόγου, ενώ τα κεφάλια των οριζόντιων γραμ-

μών τους διαφορετικούς τύπους, οι οποίοι είναι γνωστοί και σήμερα ακόμα στους ζωτέχνες. Από το φυτικό βασίλειο, εξάλλου, το φοινικόδενδρο έχει αποτελέσει αντικείμενο μελέτης και επιλογής πριν πάρα - πάρα πολλά χρόνια. Το φυτό αυτό είναι **δίοικο** και γι' αυτό διακρίνομε φυτά θηλυκά και φυτά αρσενικά.



Σχ. 0.2α.

Γενεαλογία αλόγου στη Χαλδαία πριν από 6000 χρόνια.

Οι Ασσύριοι και οι Βαβυλώνιοι μετέφεραν γύρη από αρσενικά φυτά και εφάρμοσαν την τεχνητή επικονίαση για να επιτύχουν πλουσιότερη και κανονικότερη καρποφορία (σχ. 0.2β).

### 0.3. Τα πρώτα πειραματικά δεδομένα γύρω από την κληρονομικότητα.

Ο πρώτος που έκανε πειράματα γύρω από την **τεχνητή επικονίαση** και που έδειξε ότι με τη διασταύρωση δύο ειδών μπορεί να προκύψει ένα νέο προϊόν ήταν ο **Καμεράριος** (σχ. 0.3α) το 1694. Το πρώτο, εντούτοις, **υβρίδιο** είχε παραχθεί στην αρχή του 18ου αιώνα από τον Άγγλο Thomas Fairchild με τη διασταύρωση δύο ειδών γαρύφαλου. Οι επιστήμονες, όμως, της εποχής εκείνης δεν είχαν πεισθεί ότι τα φυτά έχουν γένη, ώσπου ο **Λιναίος** (Linnæus) παρουσίασε το 1760 συστηματικές πειραματικές εργασίες γύρω από την τεχνητή δημιουργία υβριδίων. Ο ίδιος ανέπτυξε και θεωρία για τη φυσική δημιουργία των ειδών.

Ο πρώτος πραγματικός ερευνητής στον **υβριδισμό** θεωρείται ο Joseph Gottlieb Kölreuter (σχ. 0.3β), ο οποίος διενήργησε διασταυρώσεις ανάμεσα σε 54 διαφορετικά φυτικά είδη. Με τη βοήθεια ενός πρωτόγονου μικροσκοπίου μελέτησε την εμφάνιση και τις ιδιότητες του γυρεοκόκκου. Το πρώτο υβρίδιό του έγινε το 1760 από διασταύρωση δύο ειδών καπνού. Στο υβρίδιο αυτό έδωσε το όνομα **βοτανικός**



**Σχ. 0.2β.**

Στη μέση: Θηλυκό φοινικόδενδρο που επικονιάζεται με γύρη από αρσενικά δένδρα, που μεταφέρουν Ασσύριοι.



**Σχ. 0.3α.**

Rudolph Jacob Camerarius (1665 - 1721).



**Σχ. 0.3β.**

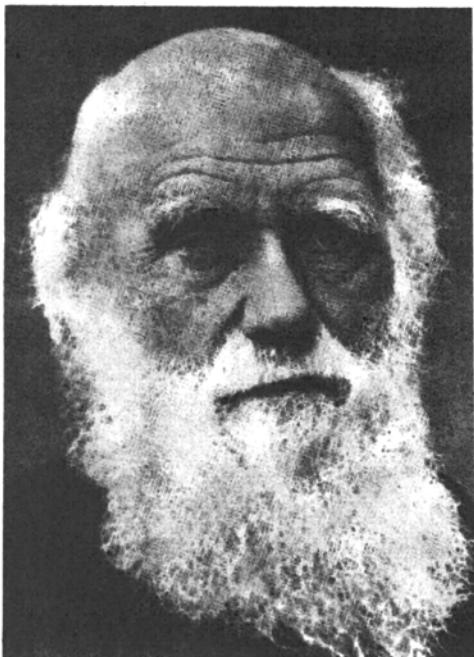
Joseph Gottlieb Kölreuter (1733 - 1806).

**ημίονος**, λόγω προφανώς της στειρότητάς του, όπως κατά κανόνα συμβαίνει στον πραγματικό ημίονο. Ο ημίονος, όπως είναι γνωστό, είναι υβρίδιο μεταξύ αλόγου και γαϊδάρου. Ο Kölreuter διαπίστωσε ότι μόνο τα συγγενικά είδη μπορούν να δώ-

σουν υβρίδια. Παρατήρησε επίσης ότι τα υβρίδια ήταν μεγαλύτερα και ισχυρότερα από τους γονείς. Μετά τη διαπίστωση αυτή υπέδειξε να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος του υβριδισμού. Χρειάσθηκε όμως να περάσουν σχεδόν δύο αιώνες, για να γίνει αυτό πραγματικότητα.

#### 0.4 Οι δοξασίες του Δαρβίνου.

Ο Δαρβίνος, φημισμένος φυσιοδίφης (σχ. 0.4α) είχε επισκιάσει τους βιολόγους κατά το δεύτερο ήμισυ του 19ου αιώνα. Οι θεωρίες του είχαν επικρατήσει και είχαν θέσει σε δεύτερη μοίρα και αυτές ακόμα τις μοντέρνες τότε ιδέες του Μέντελ (σχ. 0.4β), για του οποίου τη θεωρία θα μιλήσομε παρακάτω. Ο Δαρβίνος δημοσίευσε την πρώτη του εργασία για την προέλευση των ειδών το 1859. Στην εργασία του αυτή ανέπτυξε με σαφήνεια ότι τα είδη δεν είναι σταθερά, αλλά μεταβλητά και ότι προήλθαν από άλλα είδη διαφορετικά από αυτά που ζουν σήμερα. Οι προγενέστεροι από το Δαρβίνο πίστευαν ότι τα είδη είναι σταθερά και όμοια, όπως αρχικά δημιουργήθηκαν.



Σχ. 0.4α.  
Charles Darwin (1809 - 1882).



Σχ. 0.4β.  
Gregor Johann Mendel (1822 - 1884).

Αναφορικά με τον τρόπο μεταβιβάσεως των γνωρισμάτων από τους γονείς στους απογόνους, ο Δαρβίνος πίστευε ότι κάθε σωματικό κύτταρο παράγει τα στοιχεία του ή τα **μικροσκοπικά αντίγραφά** του (gemmules). Τα στοιχεία αυτά, στην περίπτωση των ζώων, εκχύνονται με τη γονιμοποίηση στο αίμα. Με τον τρό-

πο αυτόν τα αντίγραφα όλων των μελών του σώματος συγκεντρώνονται και σχηματίζουν τους **γαμέτες**. Όταν αυτοί δίνουν γένεση σ' έναν καινούργιο οργανισμό, τα διάφορα «στοιχεία» δημιουργούν κύτταρα και όργανα, όμοια με εκείνα από τα οποία προήλθαν. Παραδεχόταν δηλαδή ο Δαρβίνος ότι η κληρονομικότητα οφείλεται στη μεταβίβαση των στοιχείων, τα οποία αντιπροσωπεύουν διάφορα όργανα, τμήματα και συστατικά του σώματος. Η υπόθεση αυτή του Δαρβίνου μοιάζει με τη θεωρία του Ιπποκράτη (400 π.Χ.), κατά την οποία ο αρσενικός και ο θηλυκός **σπόρος** αποτελείται από έκχυμα των σωματικών κυττάρων. Το έκχυμα αυτό πίστευε ότι μεταβιβάζει τα χαρακτηριστικά του ατόμου, από το οποίο προέρχεται, στον νέο οργανισμό.

## 0.5 Κληρονόμηση των επικτήτων χαρακτήρων.

Οι βιολόγοι παρατήρησαν τα εξής δύο γεγονότα: 1) Οι οργανισμοί διαφοροποιούνται και διαμορφώνονται από το περιβάλλον. Η υπερβολική χρήση ή άσκηση ενός οργάνου (π.χ. των μυών του σώματος) οδηγεί στην ισχυροποίηση και ανάπτυξη του οργάνου αυτού. Αντίθετα, η αχρηστία ενός οργάνου έχει ως συνέπεια την εξασθένησή του. 2) Οι απόγονοι έχουν την τάση να μοιάζουν στους γονείς τους. Συνδυάζοντας τις δύο αυτές παρατηρήσεις, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι τροποποιήσεις, που προκλήθηκαν από το περιβάλλον στους γονείς, δηλαδή οι **επίκτητοι χαρακτήρες**, μπορούν να μεταβιβασθούν ή να κληρονομηθούν από τους απογόνους, έστω και αν απουσιάζει η επίδραση του περιβάλλοντος που τις προκάλεσε αρχικά.

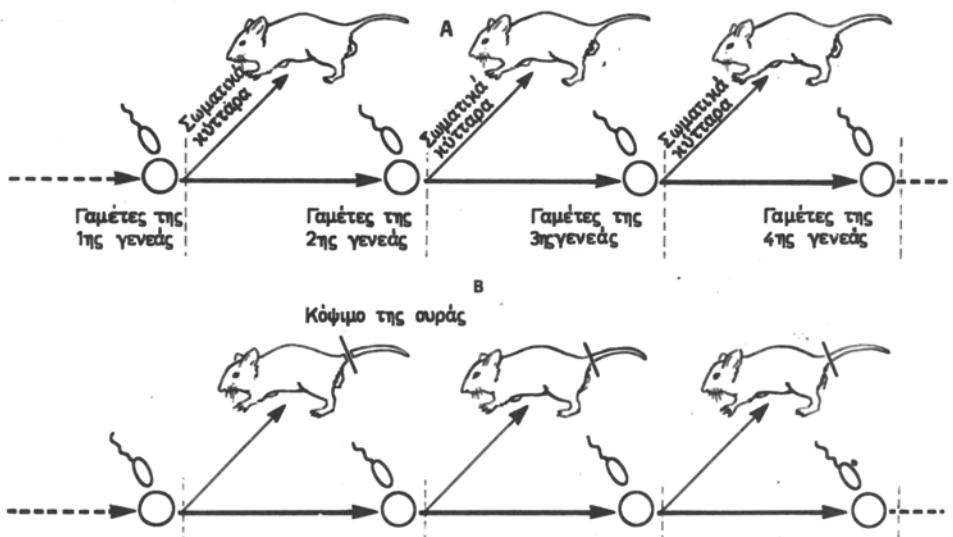
Η κληρονόμηση των επικτήτων ιδιοτήτων έγινε παραδεκτή από όλους σχεδόν τους βιολόγους της εποχής εκείνης, συμπεριλαμβανόμενου και του Δαρβίνου. Ο Γάλλος βιολόγος Lamarck (1744 - 1829), ο ιδρυτής της πρώτης θεωρίας περί βιολογικής εξελίξεως, θεώρησε την κληρονόμηση των επικτήτων ιδιοτήτων ως το σπουδαιότερο, αν όχι το μόνο, μηχανισμό για κάθε αλλαγή στην εξέλιξη. Κατά τον Lamarck, ολόκληρη η παρατηρούμενη παραλλακτικότητα ήταν επίκτητη και κληρονομήσιμη.

## 0.6 Η υπόθεση του Βάισμαν.

Ο August Weismann (1834 - 1914) αντιτάχθηκε στη θεωρία της κληρονομήσεως των επικτήτων χαρακτήρων. Για να αποδείξει τη θέση του αυτή πραγματοποίησε σειρά από πειράματα με ποντίκια. Πριν από το ζευγάρωμά τους απέκοπτε τις ουρές τους. Το ίδιο έκανε επί σειρά γενεών. Το αποτέλεσμα ήταν ότι όλοι οι απόγονοι είχαν ουρά με κανονικό μήκος (σχ. 0.6).

## 0.7 Η θεωρία του Μέντελ.

Ο Gregor Johan Mendel, μοναχός σ' ένα μοναστήρι του σημερινού Brno της Τσεχοσλοβακίας, έθεσε τις αρχές της Γενετικής και υποστήριξε ότι η κληρονομική ουσία δεν είναι το έκχυμα των σωματικών κυττάρων, αλλά πολλές ανεξάρτητες και σταθερές κληρονομικές μονάδες, που μεταβιβάζονται από γενεά σε γενεά. Οι κληρονομικές αυτές μονάδες ανασυνδυάζονται έτσι, ώστε να δημιουργούν μεγάλη



Σχ. 0.6.

Η θεωρία και τα πειράματα του Weismann: (A) γεννητικά κύτταρα σχηματίζουν μια συνεχή γραμμή, που συνδέει τη μια γενεά με την άλλη· τα σωματικά κύτταρα δεν συνδέουν τη μια γενεά με την άλλη. Έτσι, μεταβολές στα σωματικά κύτταρα (αποκοπή ουράς) δεν επιδρούν στην επόμενη γενεά. (B) Η αποκοπή της ουράς των ποντικιών, πριν από το ζευγάρωμά τους, επί σειρά γενεών δεν επηρέασε το μήκος της ουράς στους απόγονους. Η ουρά δεν πρόκειται να εξαφανισθεί, εφόσον τα γεννητικά και όχι τα σωματικά κύτταρα εφοδιάζουν με τις γενετικές πληροφορίες την επόμενη γενιά.

### Βιολογική παραλλακτικότητα.

Ο Μέντελ, εντούτοις, δεν έζησε για να χαρεί τη νίκη της θεωρίας του. Μάταια προσπάθησε να κινήσει το ενδιαφέρον των συγχρόνων του ερευνητών. Τελικά εγκατέλειψε το επιστημονικό του έργο και ασχολήθηκε με τα μοναχικά του καθήκοντα. Πέθανε το 1884. Το έργο του αναγνωρίσθηκε 16 χρόνια μετά το θάνατό του. Τα ευρήματά του ξαναανακαλύφθηκαν και η βιολογική έρευνα εισήλθε σε μια νέα και αποτελεσματική περίοδο. Δικαίως ο Μέντελ αποκλήθηκε ο πατέρας της Γενετικής.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

### ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

#### 1.1 Γενικά.

Η μόνη φυσική σύνδεση μεταξύ γονέων και απογόνων είναι οι δύο *γαμετικοί πυρήνες*, οι οποίοι όταν πρόκειται για ζώα, περιέχονται στο σπερματοζωάριο και το ωάριο. Μέσω των πυρήνων τους μεταβιβάζονται όλες οι ιδιότητες από τη μια γενέα στην άλλη. Ο γενετιστής Μίλλερ υπολόγισε ότι το σύνολο των σπερματοζωαρίων, από τα οποία προήλθε ολόκληρος ο πληθυσμός της γης κατά την εποχή του, δεν υπερβαίνει το μέγεθος ενός δισκίου ασπιρίνης. Στο ίδιο μέγεθος υπολογίζεται και το σύνολο δυδμίσυ περίπου δισεκατομμυρίων ωαρίων! Δύο δισκία, λοιπόν, κληρονομικής ουσίας καθορίζουν, σε συνεργασία με το περιβάλλον, τις ιδιότητες του ανθρώπινου πληθυσμού της γης. Το σώμα ενός ώριμου ανθρώπου έχει μάζα πενήντα δισεκατομμύρια μεγαλύτερη από τη μάζα ενός γονιμοποιημένου ωαρίου, από το οποίο προήλθε. Η τεράστια αυτή διαφορά της μάζας οφείλεται στην κατανάλωση της τροφής από τον αναπτυσσόμενο οργανισμό. Κάθε οργανισμός, δηλαδή, αποτελείται από μεταποιημένη τροφή. Άλλα, όμοια πρώτη ύλη χρησιμοποιείται για να κατασκευασθεί το σώμα διαφορετικών οργανισμών, όπως του ανθρώπου, της γάτας κλπ. Το είδος όμως του σώματος που θα προκύψει εξαρτάται όχι μόνο από την τροφή, που καταναλώνεται, αλλά κυρίως από την κληρονομική ουσία που φέρει ο οργανισμός.

Προκειμένου να αναπτυχθεί ο οργανισμός, μεταφέρονται από το περιβάλλον υλικά, τα οποία ενσωματώνονται στο αναπτυσσόμενο σώμα. Για τα φυτά τα υλικά αυτά αποτελούνται από νερό, ανόργανα άλατα του εδάφους, διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα και ηλιακή ενέργεια. Για τους άλλους ζωντανούς οργανισμούς, η ανάπτυξη προκαλείται από την ενσωμάτωση των οργανικών και ανοργάνων τροφών, που έχει ανάγκη ο οργανισμός. Κάθε οργανισμός αφομοιώνει την τροφή του με καθορισμένο τρόπο.

#### 1.2 Γενότυπος και φαινότυπος (πειράματα του Johannsen).

Εφόσον ένας οργανισμός είναι ζωντανός, η κληρονομική του σύνθεση σε συνεργασία (αλληλεπίδραση) με το περιβάλλον καθορίζει τη μορφή του οργανισμού αυτού σε κάθε στάδιο της ζωής του. Σχετικά είναι τα πειράματα του Δανού γενετιστή Johannsen, που έκανε το 1911 (σχ. 1.2a) για να διακρίνει το *γενότυπο* (ή γονότυπο) ενός οργανισμού από το *φαινότυπο* του. Είχε παρατηρήσει ότι το μέγεθος



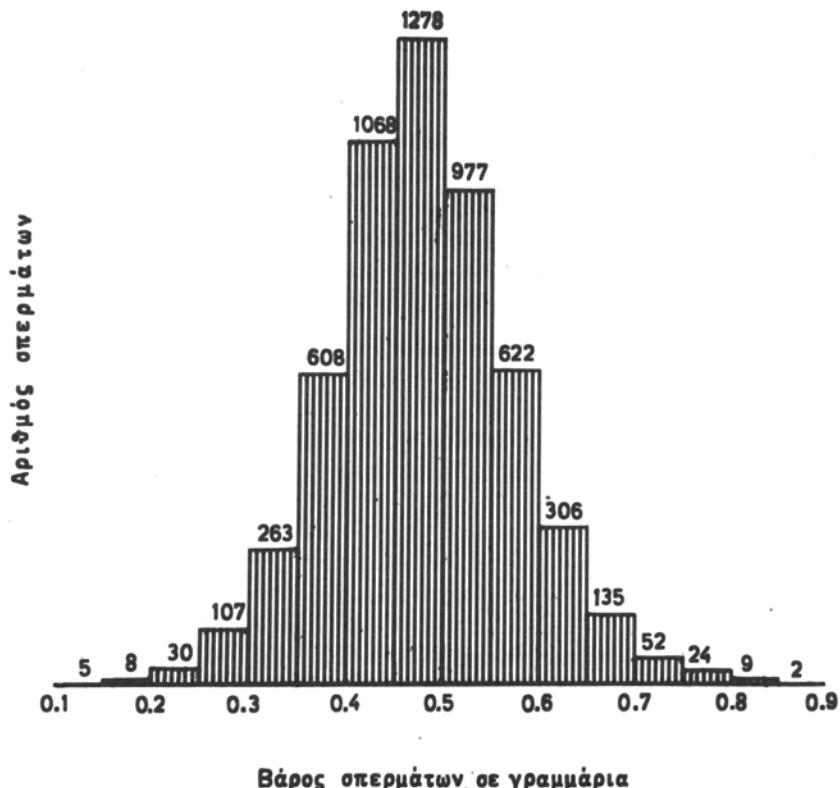
Σχ. 1.2α.  
Wilhelm Johannsen (1857 - 1927).

των φασολιών διέφερε όχι μόνο από ποικιλία σε ποικιλία, αλλά και από σπόρο σε σπόρο του ίδιου φυτού. Για να διαπιστώσει τα αίτια των διαφορών στο μέγεθος των σπερμάτων έκανε το εξής πείραμα: από ένα εμπορικό δείγμα φασολιών πήρε στην τύχη 5.494 φασόλια και τα ζύγισε ένα - ένα. Αφού τα κατάταξε σε κατηγορίες ανάλογα με το βάρος τους, παρουσίασε τις συχνότητές τους γραφικά και προέκυψε η εικόνα του σχήματος 1.2β, το οποίο είναι γνωστό ως κανονική κατανομή. Παρατηρούμε ότι τα περισσότερα φασόλια είχαν βάρος γύρω από το μέσο όρο του βάρους τους, που ήταν περίπου μισό γραμμάριο. Ελάχιστα μόνο είχαν βάρος πολύ μικρό, που έφθανε το 0,1 γραμμάριο ή πολύ μεγάλο, ως 1 γραμμάριο.

Από το ίδιο εμπορικό δείγμα πήρε στην τύχη 19 σπέρματα, τα οποία έσπειρε, για να μελετήσει το μέγεθος των φασολιών που επρόκειτο να παραχθούν στα 19 φυτά. Παρατήρησε (σχ. 1.2γ) ότι οι μέσοι όροι του βάρους των σπερμάτων που παρήχθησαν από τα 19 αυτά φυτά διέφεραν μεταξύ τους όσο και τα 19 σπέρματα, από τα οποία προήλθαν. Ο μέσος όρος του φυτού με τα μικρότερα σπέρματα ήταν 35,1 εκατοστά του γραμμαρίου, ενώ του φυτού με τα μεγαλύτερα σπέρματα ήταν 64, 26 εκατοστά του γραμμαρίου, διέφεραν δηλαδή μεταξύ τους περίπου 30 εκατοστά του γραμμαρίου, όση ήταν και η διαφορά των σπερμάτων από τα οποία προήλθαν. Κατόπιν θέλησε να ελέγχει το μέγεθος των απογόνων που προέρχονται από σπέρματα του ίδιου φυτού, αλλά με διαφορετικό βάρος. Για το σκοπό αυτό, έσπειρνε κάθε χρόνο σπέρματα δύο κατηγοριών που προέρχονταν από το ίδιο φυτό: πολύ μεγάλα σε μέγεθος και πολύ μικρά. Παρατήρησε ότι, ενώ οι διαφορές των

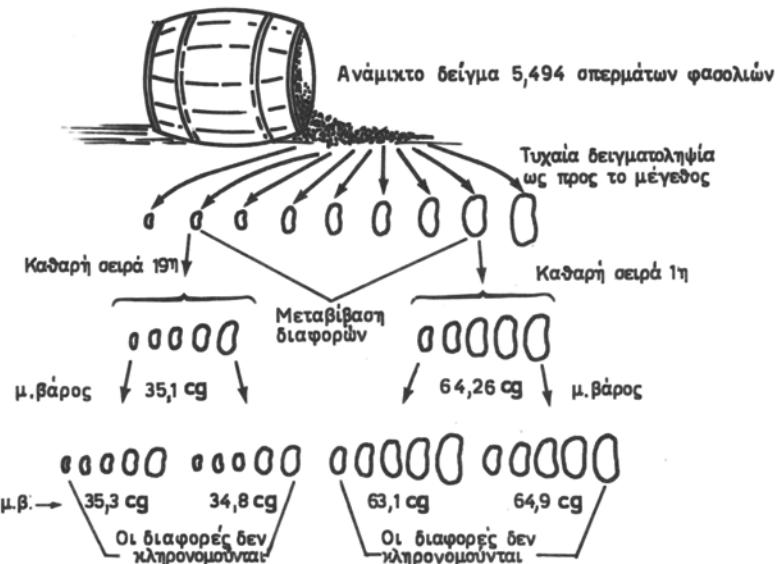
φασολιών με τα οποία ξεκινούσε ήταν μεγάλες, τελικά τα φυτά που προέκυπταν έδιναν το ίδιο μέγεθος φασολιών κατά μέσο όρο, ανεξάρτητα αν προέρχονταν από μεγάλα ή μικρά σπέρματα. Οι διαφορές στο μέγεθος των φασολιών, στην περίπτωση αυτή, δεν μεταβιβάσθηκαν στους απογόνους, όπως συνέβη με τις διαφορές των 19 φασολιών με τα οποία ξεκίνησε.

Τα πειραματικά αυτά δεδομένα του Johannsen δείχνουν ότι το σύνολο της παραλλακτικότητας, που εμφάνισαν στην αρχή τα φασόλια, και το οποίο καλούμε **φαινοτυπική παραλλακτικότητα** ή **φαινότυπο**, αποτελείται από δύο μέρη: από ένα που μεταβιβάζεται στους απογόνους, δηλαδή κληρονομείται, και από ένα άλλο που δεν κληρονομείται. Το μέρος που κληρονομείται ονομάζομε **γενετυπική παραλλακτικότητα**, που οφείλεται στη γενετική σύνθεση (γενότυπος) και είναι αυτό που έδωσε τις διαφορές στο μέγεθος ανάμεσα στις αρχικές 19 σειρές. Το άλλο μέρος, που δεν κληρονομείται, ονομάζομε **παραλλακτικότητα του περιβάλλοντος** και είναι εκείνο που δημιούργησε τις διαφορές στα φασόλια του ίδιου φυτού και που οφείλεται σε ποικίλους παράγοντες του περιβάλλοντος. Μπορούμε λοιπόν να πούμε ότι **γενότυπος** είναι η γενετική σύνθεση, που κάθε οργανισμός παίρνει από τους γονείς του, ενώ **φαινότυπος** είναι η εμφάνιση (ανάπτυξη, διαμόρφωση) του οργανι-



Σχ. 1.2β.

Κατάταξη του μεγέθους των σπερμάτων φασολιών, σύμφωνα με τα πειράματα του Johannsen. (Συνολική φαινοτυπική παραλλακτικότητα).



Σχ. 1.2γ.

Διαχωρισμός στην κληρονομήσιμη και μη κληρονομήσιμη παραλλακτικότητα του μεγέθους των φασολιών.

σημού, δηλαδή το σύνολο των χαρακτηριστικών του, όπως είναι: το χρώμα, το σχήμα, το μέγεθος, η συμπεριφορά, η χημική σύνθεση, η δομή κλπ. Φυσικά ο όρος φαινοτυπική παραλλακτικότητα νοείται πάντοτε μέσα στα πλαίσια του είδους. Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό αυτό που τονίσθηκε στην αρχή της παραγράφου αυτής, ότι δηλαδή ο φαινότυπος ενός οργανισμού είναι αποτέλεσμα δύο βασικών παραγόντων: του γενότυπου και του περιβάλλοντος, που αλληλεπιδρούν.

**1.3 Διάκριση της γενοτυπικής παραλλακτικότητας και έκείνης που οφείλεται στο περιβάλλον.**

Συχνά διερωτάται κανές: ποιος από τους δύο παράγοντες, ο γενότυπος ή το περιβάλλον, συμβάλλει περισσότερο στη διαμόρφωση του ατόμου; Ίσως υπάρχουν και σήμερα άνθρωποι που πιστεύουν ότι όλα τα νήπια είναι όμοια κατά τη γέννησή τους και ότι κάθε νήπιο θα μπορούσε να γίνει μεγαλοφύια, αρκεί να γνωρίζαμε ποιες επιδράσεις του περιβάλλοντος δημιουργούν την ιδιότητα αυτή.

Η θέση που πάρονται οι γενετιστές στο ερώτημα αυτό είναι η βασική αρχή που αναφέρθηκε πιο πάνω, ότι δηλαδή ο φαινότυπος είναι το αποτέλεσμα της αλληλεπιδράσεως μεταξύ γενοτύπου και περιβάλλοντος. Η αρχή αυτή δε διασφαλίζει ποιο στοιχείο παιζει το μεγαλύτερο ρόλο. Οι γενετιστές όμως μπορούν να διευκρινίσουν το σχετικό ρόλο του γενότυπου και του περιβάλλοντος με τη χρήση δύο κύριων μεθόδων. Κατά την πρώτη μέθοδο χρησιμοποιούνται γενετικώς διαφορετικά άτομα κάτω από όμοιες συνθήκες περιβάλλοντος. Είναι δυνατή π.χ. η καλλιέργεια διαφορετικών ποικιλιών ενός είδους φυτού δίπλα - δίπλα στον ίδιο αγρό και η εξακρίβωση των γενετικών διαφορών τους. Κατά τη δεύτερη μέθοδο χρησιμοποιούνται όμοια γενετικώς άτομα κάτω από διαφορετικές συνθήκες περιβάλλον-

τος. Αυτό γίνεται εύκολα με τα φυτά, γιατί μπορούν να πολλαπλασιασθούν αγενώς. Παίρνομε δηλαδή τμήματα από το ίδιο το φυτό και τα φυτεύομε, οπότε όλα τα νέα φυτά που θα προκύψουν θα έχουν τον ίδιο γενότυπο. Τα φυτά αυτά, που αποτελούν ένα κλώνο, μπορούν να καλλιεργηθούν σε διαφορετικό περιβάλλον, όπως π.χ. σε σταθμούς ερεύνης που να διαφέρουν ως προς το υψόμετρο, τη θερμοκρασία, την υγρασία, την ηλιοφάνεια κλπ.

Σχετικά πειράματα έγιναν στην Καλιφρόνια. Τα αποτελέσματά τους παρουσιάζονται στο σχήμα 1.3α. Σε κάθε οριζόντια γραμμή περιλαμβάνονται φυτά διαφορετικής ποικιλίας που προήλθαν από το ίδιο φυτό που κόπηκε σε τρία τμήματα. Κάθε τμήμα φυτεύθηκε σε διαφορετικό υψόμετρο, δηλαδή στο επίπεδο της θάλασσας περίπου, σε υψόμετρο 1.500 μέτρων και σε υψόμετρο 3.300 μέτρων. Οι διαφορές συνεπώς των τριών φυτών της ίδιας οριζόντιας γραμμής δείχνουν τη συμπεριφορά του ίδιου φυτού σε διαφορετικό περιβάλλον.

Σε κάθε κάθετη στήλη, περιλαμβάνονται τρεις διαφορετικές ποικιλίες, που αναπτύσσονται μαζί στον ίδιο πειραιματικό κήπο. Επομένως οι διαφορές που παρουσιάζουν τα τρία αυτά φυτά οφείλονται στο γενότυπο.

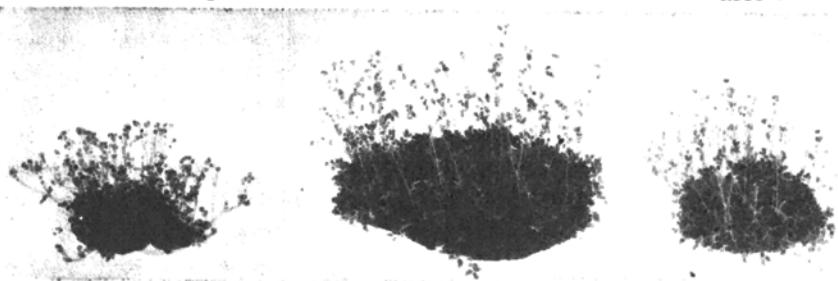
Στον άνθρωπο, γενετικώς όμοια άτομα, που να ανήκουν δηλαδή στον ίδιο κλώνο, βρίσκονται μόνο στην περίπτωση των *μονοζυγώτων* δίδυμων. Τα δίδυμα αυτά έχουν πανομοιότυπο γενότυπο, γιατί προέρχονται από το ίδιο γονιμοποιημένο ώαριο, σε αντίθεση προς τα *διζύγωτα* δίδυμα που προκύπτουν από δύο διαφορετικά ωάρια, τα οποία όμως γονιμοποιήθηκαν συγχρόνως. Συνεπώς από γενετική άποψη τα διζύγωτα δίδυμα δεν διαφέρουν από δύο αδέλφια που γεννήθηκαν σε διαφορετικό χρόνο. Μπορεί επίσης τα διζύγωτα αυτά νά ανήκουν και σε διαφορετικό φύλο, σε αντίθεση προς τα μονοζυγώτα δίδυμα, τα οποία είναι πάντοτε του ίδιου φύλου και εμφανίζουν καταπληκτική ομοιότητα ως προς τα φυσικά και πνευματικά γνωρίσματα (σχ. 1.3β). Σε σπανιότερες περιπτώσεις μπορούν να προκύψουν περισσότερα από δύο άτομα από το ίδιο γονιμοποιημένο ώαριο. Γνωστό είναι το παράδειγμα των πενταδύμων Dionne του Καναδά (σχ. 1.3γ), που ανήκουν στον ίδιο κλώνο και έχουν τον ίδιο γενότυπο. Σε άλλες περιπτώσεις, στις οποίες γεννιούνται περισσότερα από δύο παιδιά συγχρόνως, ενδέχεται μερικά μόνο απ' αυτά να έχουν προέλθει από το ίδιο ώαριο.

Η έρευνα που έγινε γύρω από τα μονοζυγώτα δίδυμα απέδειξε ότι η γενετική σύνθεση του οργανισμού παίζει πολύ σπουδαίο ρόλο στη διαμόρφωση τόσο της εξωτερικής εμφανίσεως του ατόμου όσο και των πνευματικών ιδιοτήτων, καθώς και της αντοχής στις διάφορες ασθένειες. Αυτό ισχύει κατά μέσο όρο και στις περιπτώσεις που τα μονοζυγώτα δίδυμα αποχωρίσθηκαν σε μικρή ηλικία και αναπτύχθηκαν σε διαφορετικές συνθήκες περιβάλλοντος (σχ. 1.3δ). Συμβαίνει όμως μερικές φορές η συμφωνία μεταξύ των δύο δίδυμων να μην είναι πλήρης. Παραπορθήθηκε π.χ. ότι μπορεί να απουσιάζει ένα γνώρισμα από το ένα μόνο δίδυμο, κυρίως από τα πνευματικά γνώρισματα, γιατί αυτά επηρεάζονται από το περιβάλλον περισσότερο από ότι επηρεάζονται τα φυσικά γνωρίσματα.

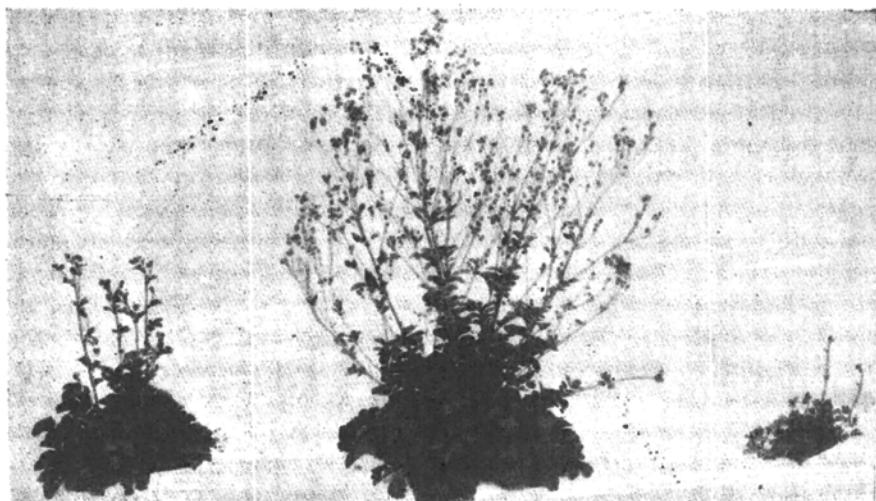
#### 1.4 Επίδραση του περιβάλλοντος, στη διαμόρφωση του φαινότυπου.

Μάθαμε ότι ο γενότυπος και το περιβάλλον αλληλεπιδρώντας δημιουργούν το φαινότυπο. Η επίδραση του περιβάλλοντος στη διαμόρφωση αυτή σε άλλα γνωρί-

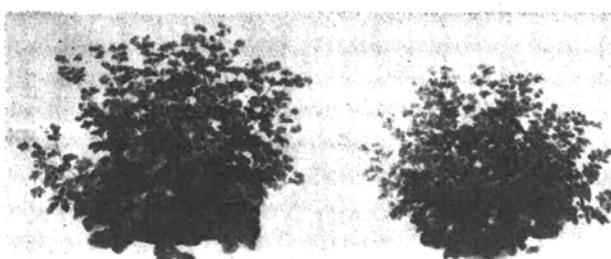
Τυφόμετρο όπου αναπτύχθηκε το φυτό  
Επίπεδο θάλασσας 1.500 m 3.300 m



Ποικιλία από ύψος 3.300 m



Ποικιλία από ύψος 1.500 m



Απειδησκει

Ποικιλία από ύψος 200 m

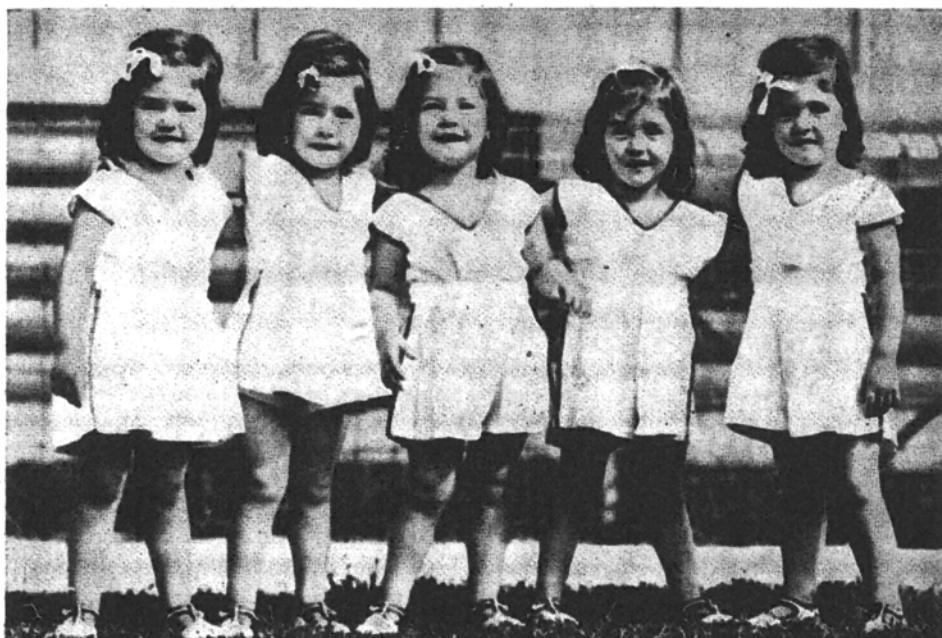
### Σχ. 1.3a.

Τρεις διαφορετικές ποικιλίες του φυτού *Potentilla Glandulosa* (πεντάφυλλο), που αναπτύσσονται σε διαφορετικό περιβάλλον. Οι διαφορές μεταξύ των φυτών στην ίδια κάθετη στήλη είναι γενοτυπικές και οφείλονται στην προσαρμογή των προγόνων τους σε διαφορετικό υψόμετρο. Οι διαφορές μεταξύ των φυτών στην ίδια οριζόντια γραμμή αντιπροσωπεύουν αντιδράσεις του ίδιου γενότυπου σε διαφορετικό περιβάλλον.



**Σχ. 1.3β.**

Οι δύο γυναίκες του σχήματος είναι μονοζύγωτα δίδυμα. Η πρώτη είναι αριστερόχερη και έχει το τσουλούφι των μαλλιών της δεξιά, ενώ η δεύτερη είναι δεξιόχερη και έχει το τσουλούφι αριστερά. Η μία δηλαδή είναι είδωλο της άλλης.



**Σχ. 1.3γ.**

Τα πεντάδυμα Dionne, που έχουν τον ίδιο γενότυπο επειδή ανήκουν στον ίδιο κλώνο.



Σχ. 1.36.

Τα μονοζύγωτα δίδυμα της εικόνας έχουν αναπτυχθεί σε διαφορετικό περιβάλλον. Ο χωρισμός τους έγινε λίγο μετά τη γέννησή τους. Έτσι το αριστερό δίδυμο έζησε στην πόλη και το δεξιό στην ύπαιθρο. Σχετικά με την ανάπτυξη του σώματος και τη νοημοσύνη τους τα δίδυμα έδειξαν μεγάλη ομοιότητα. Παρουσίασαν όμως εμφανείς διαφορές στην πνευματική ανάπτυξη.

σματα<sup>·</sup> είναι μηδαμινή ή ελάχιστη, όπως π.χ. στα ποιοτικά γνωρίσματα (χρώμα ανθέων, χρώμα σπόρων, παρουσία ή απουσία τριχών κλπ), ενώ σε άλλα είναι σημαντική, όπως π.χ. στα ποσοτικά γνωρίσματα (ύφος, βάρος, απόδοση κλπ.). Κατά κάνονα κληρονομείται ο τρόπος αντιδράσεως του οργανισμού στις επιδράσεις του περιβάλλοντος.

Η βασική αυτή αρχή γίνεται κατανοητή με τα εξής παραδείγματα: Αν πάρομε μια ποικιλία με κόκκινα λουλούδια του φυτού *Primula Sinensis* και την καλλιεργή-

σομε μέσα σε θερμοκήπιο, όπου η θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ  $30^{\circ}$  και  $35^{\circ}\text{C}$  και η υγρασία της ατμόσφαιρας είναι ψηλή, θα παρατηρήσουμε ότι τα νέα λουλούδια που θα ανθίσουν είναι άσπρα. Ο φαινότυπος, συνεπώς, έχει αλλάξει. Ο γενότυπος όμως έχει μείνει αμετάβλητος. Αυτό γίνεται φανερό από το γεγονός ότι, αν το ίδιο φυτό επαναφερθεί σε περιβάλλον με θερμοκρασία  $15^{\circ}$  ως  $20^{\circ}\text{C}$ , θα αρχίσει πάλι να παράγει κόκκινα λουλούδια. Το ότι η κληρονομική σύνθεση των φυτών αυτών δεν έχει μεταβληθεί αποδεικνύεται και από το εξής γεγονός: Αν σπείρομε σπόρους από τα άσπρα και από τα κόκκινα λουλούδια, τα φυτά που θα προκύψουν θα παράγουν όλα κόκκινα λουλούδια, αν αναπτύσσονται σε περιβάλλον με χαμηλές θερμοκρασίες, και όλα άσπρα λουλούδια, αν αναπτύσσονται σε περιβάλλον με ψηλές θερμοκρασίες. Επομένως δεν κληρονομείται το άσπρο ή το κόκκινο χρώμα αυτό καθεαυτό, αλλά ο καθορισμένος τρόπος με τον οποίο θα αντιδράσει το φυτό στις εξωτερικές συνθήκες και στην περίπτωσή μας στη θερμοκρασία.

Η παραπάνω παρατήρηση ισχύει και για άλλους οργανισμούς. Δύο αγελάδες π.χ., που φθάνουν το ίδιο περίπου βάρος με ορισμένο σιτηρέσιο, μπορεί να παρουσιάσουν διαφορά βάρους, αν τους αυξήσουμε το σιτηρέσιο, επειδή η μία από τις δύο δεν έχει την ικανότητα να αξιοποιήσει την επί πλέον τροφή δύο η άλλη.

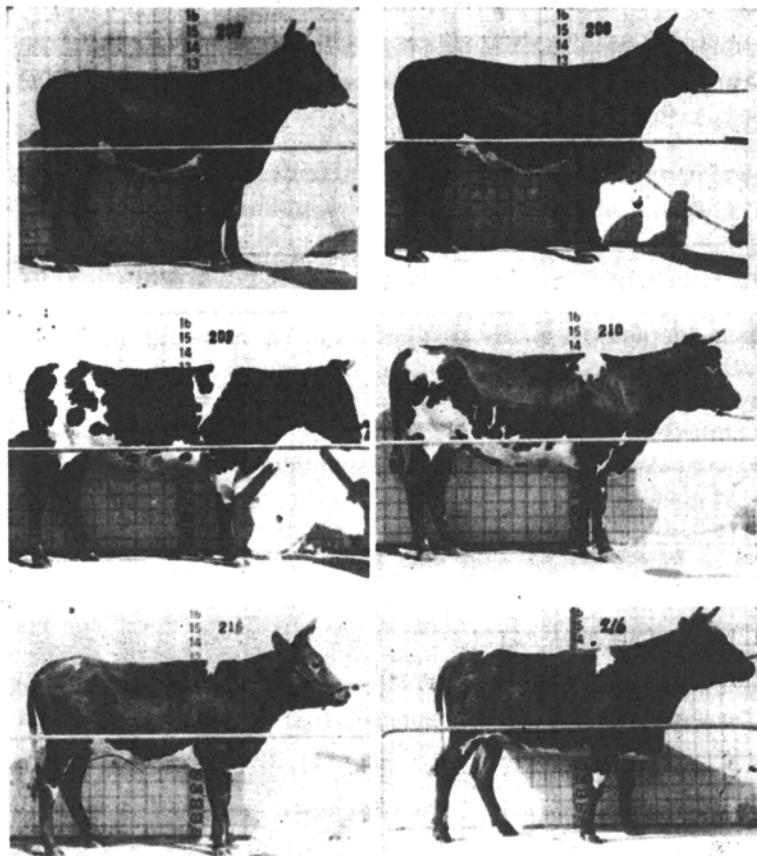
Σχετικά πειράματα έγιναν στο Wiad κοντά στη Στοκχόλμη, με τη χρήση μονοζυγώτων μοσχαριών, για να διαπιστωθεί ο βαθμός επιδράσεως του γενοτύπου και του περιβάλλοντος πάνω στις ιδιότητες των ζώων. Οι εργασίες έγιναν από τον G. Bonnier και τους συνεργάτες του, οι οποίοι απέδειξαν ότι διαφορετικά άτομα έχουν και διαφορετικό βαθμό αξιοποιήσεως της τροφής. Το σχήμα 1.4α παρουσιάζει τρία ζεύγη μονοζυγώτων διδύμων μοσχαριών (207 - 208, 209 - 210 και 215 - 216). Το αριστερό ζώο της φωτογραφίας κάθε ζευγαριού αναπτύχθηκε με μειωμένο σιτηρέσιο που ήταν το ίδιο και για τρία ζώα, ενώ το δεξιό με επαρκές σιτηρέσιο το ίδιο και για τα τρία ζώα. Όλα τα ζώα στο δεξιό μέρος της εικόνας είναι μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα αριστερά· η διαφορά όμως ανά ζεύγη δεν είναι η ίδια, όπως δείχνουν οι αριθμητικοί δείκτες του σχήματος.

Στα κουνέλια υπάρχει μια φυλή, γνωστή με το όνομα Ιμαλαίο (σχ. 1.4β), στην οποία τα ροζ μάτια, ο τύπος των μαύρων ποδιών, των αυτιών και της ουράς, καθώς και το άσπρο σώμα μεταβιβάζονται πιοσά στους απογόνους. Αν μαδήσουμε το τρίχωμα από τα άσπρα μέρη του σώματος ενός κουνελιού και διατηρήσουμε το ζώο σε ψυχρό περιβάλλον, το νέο τρίχωμα που θα εμφανισθεί δεν θα είναι άσπρο αλλά μάλλον μαύρο. Αν μαδήσουμε, επίσης το τρίχωμα από το μαύρο τμήμα του σώματος του και διατηρήσουμε το τμήμα αυτό σε θερμό περιβάλλον (με ένα επίδεσμο π.χ.), το νέο τρίχωμα που θα φυτρώσει θα είναι μάλλον άσπρο και όχι μαύρο. Από το παράδειγμα αυτό γίνεται φανερό ότι δεν κληρονομείται το άσπρο ή μαύρο χρώμα, αλλά η ικανότητα ορισμένων τμημάτων να σχηματίζουν ή όχι χρωστική ουσία, ανάλογα με τη θερμοκρασία τους.

Γενικά μπορούμε να πούμε ότι το οποιοδήποτε γνώρισμα ενός οργανισμού είναι αποτέλεσμα και των δύο παραγόντων, δηλαδή του γενότυπου και του περιβάλλοντος.

## 1.5 Θέματα για συζήτηση

1. Οι προνύμφες της Δροσόφιλας, που διατρέφονται επαρκώς σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες, εξελίσσονται σε μεγαλύτερες μύγες από ό,τι όμοιες προνύμφες,



Σχ. 1.4α.

Τρία ζεύγη μονοζυγώτων διδύμων μοσχαριών. Τα αριστερά ζώα τράφηκαν με μειωμένο, ενώ τα δεξιά με επαρκές σπηρέσιο.



Σχ. 1.4β.

Επίδραση της θερμοκρασίας στο χρώμα του τριχώματος στο ιμαλάιο κουνέλι. Το άσπρο τρίχωμα στο πίσω μέρος μαδήθηκε και το κουνέλι τοποθετήθηκε σε ψυχρό χώρο. Το νέο τρίχωμα που βγήκε ήταν μαύρο. Στην ίδια περιοχή του σώματος το τρίχωμα υπό θερμές συνθήκες είναι άσπρο.

που διατρέφονται ελλειπώς και σε ψηλές θερμοκρασίες. Οι μύγες της Δροσόφιλας D. Miranda είναι μεγαλύτερες από εκείνες της D. Pseudoobscura, εφόσον οι προνύμφες διατρέφονται επαρκώς και στην ίδια θερμοκρασία. Άλλα, η D. Miranda, όταν αναπτύσσεται σε ψηλή θερμοκρασία και με λίγη τροφή, σχηματίζει μικρότερο σωματικό μέγεθος από την D. Pseudoobscura, όταν η τελευταία αναπτύσσεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία και με επαρκή τροφή.

Είναι το σωματικό μέγεθος στις μύγες αυτές κληρονομικό;

2. Μερικές ποικιλίες ενός νεράγκαθου σχηματίζουν σπειροειδές στέλεχος, όταν αναπτύσσονται σε πλούσιο έδαφος, ενώ σε πτωχό έδαφος το στέλεχος γίνεται κανονικό ίσιο. Σε τι διαφέρει γενοτυπικώς ένα κανονικό φυτό της ποικιλίας αυτής από ένα κανονικό φυτό μιας άλλης ποικιλίας, που δεν εμφανίζει ποτέ στρίψιμο του στέλέχους;
  3. Μια ασθένεια που προσβάλλει τα καστανόδενδρα είχε μεταφερθεί από την Κίνα στις Η.Π.Α. και προκάλεσε καταστροφές. Η ασθένεια όμως αυτή δεν προσβάλλει τα καστανόδενδρα της Κίνας. Μπορείτε να εξηγήσετε τη διαφορά αυτή μεταξύ των κινεζικών και αμερικανικών καστανοδένδρων;
  4. Έχοντας υπόψη τα αποτελέσματα των πειραμάτων του σχήματος 1.3α, να σχεδιάσετε ένα πρόγραμμα για να δημιουργήσετε μια ποικιλία ενός φυτού, που προορίζεται να καλλιεργηθεί στην ορεινή Ελλάδα.
-

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

### ΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΤΟΥ MENDEL

#### 2.1 Γενικά.

Ο Mendel γεννήθηκε το 1822 στο Hyncice της Τσεχοσλοβακίας. Στην αρχη παρακολούθησε Εκκλησιαστικό Σχολείο ύστερα φοίτησε στο Γυμνάσιο και σπούδασε σε Φιλοσοφικό Ινστιτούτο. Το 1843 εισήχθηκε στο μοναστήρι των Αυγουστίνων του Brno. Τα επόμενα τέσσερα χρόνια (1844 - 1848) σπούδασε Θεολογία. Στο μεταξύ, το 1846 παρακολούθησε και μαθήματα Γεωπονίας, στο φιλοσοφικό ινστιτούτο του Brno. Χειροτονήθηκε ιερέας το 1847 και από το 1851 ως το 1853 σπούδασε φυσικές επιστήμες στο Πανεπιστήμιο της Βιέννης. Το 1854 διορίσθηκε Καθηγητής Φυσικών Επιστημών στο γερμανικό ανώτερο γυμνάσιο του Brno. Κατά την οκταετία 1856 - 1864 έκανε τα περίφημα πειράματά του στους κήπους του Μοναστηριού. Οι πειραματικές του εργασίες με τα αποτελέσματά τους δημοσιεύθηκαν το 1866. Κανές δύναμη δεν συγκινήθηκε από την εργασία του Mendel ως το 1900, οπότε στά ίδια συμπεράσματα κατέληξαν ταυτόχρονα τρεις ερευνητές: ο De Vries στην Ολλανδία, ο Correns στη Γερμανία και ο Tschermak στην Αυστρία.

Πέθανε την 6η Ιανουαρίου του 1884 στο μοναστήρι του Brno.

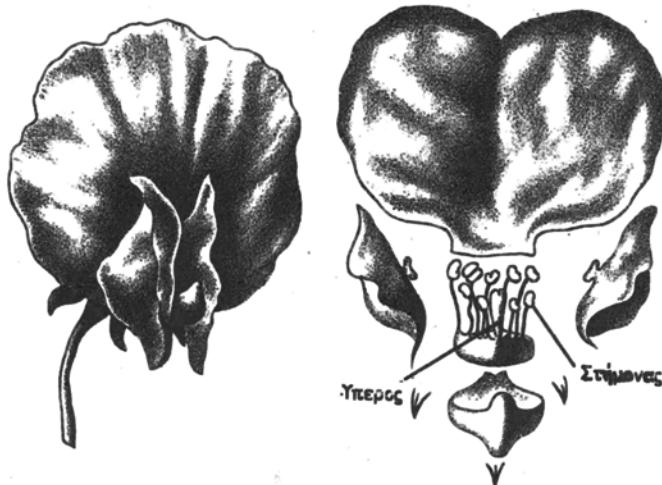
#### 2.2 Το πειραματικό υλικό του Mendel.

Ο Mendel διάλεξε για πειραματικό υλικό τα μπιζέλια, γιατί είναι φυτό ετήσιο με ευκρινή και καλά καθορισμένα χαρακτηριστικά. Η ανάπτυξη των φυτών αυτών και οι διασταυρώσεις μεταξύ τους γίνονται πολύ εύκολα. Τα άνθη τους είναι τέλεια (σχ. 2.2), περιέχουν δηλαδή τόσο τα αρσενικά όσο και τα θηλυκά στοιχεία και κατά κανόνα αυτογονιμοποιούνται.

Οι διάφορες ποικιλίες μπιζέλιού που χρησιμοποίησε ο Mendel ήταν καθαρές, δηλαδή μεταβίβαζαν πιστά τα χαρακτηριστικά τους από τους γονείς στους απογόνους, επειδή είχαν πολλαπλασιασθεί επί πολλές γενιές με φυσική αυτογονιμοποίηση. Ο Mendel είχε προνοήσει να κάνει τις διασταυρώσεις μεταξύ ποικιλιών, που διέφεραν ως προς ένα μόνο χαρακτηριστικό. Συνολικά μελέτησε εππά χαρακτηριστικά, που επεικονίζονται στο σχήμα 2.4a.

#### 2.3 Ο μηχανισμός των διασταυρώσεων.

Οι διασταυρώσεις στα λουλούδια του μπιζέλιού απαιτούσαν μεγάλη προσοχή.



Σχ. 2.2.

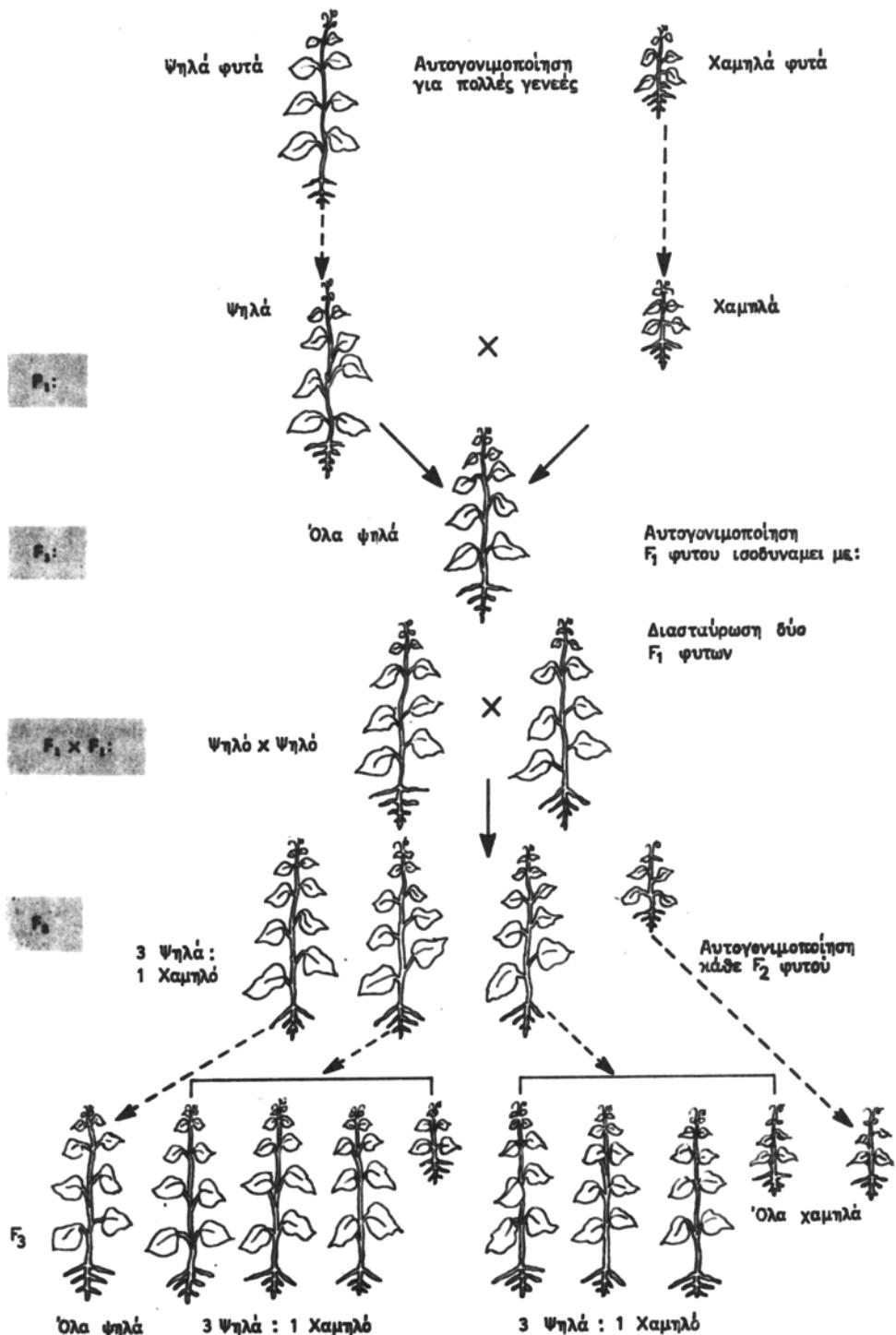
Διαγράμματα άνθους μπιζελιού. Αριστερά ολόκληρο άνθος, δεξιά άνθος από το οποίο έχουν απομακρυνθεί τα αναπαραγωγικά μέρη του.

Για να αποφευχθή η αυτογονιμοποίηση στα φυτά, που είχαν επιλεγεί ως μητέρες, απομακρύνονταν οι ανθήρες πριν από την ωρίμανση των υπέρων τους. Γύρη από τα φυτά - πατέρες μεταφέρονταν τον κατάλληλο χρόνο στο στήγμα των ανθέων των φυτών - μητέρων. Οι σπόροι ωρίμαζαν πάνω στο φυτό. 'Όταν το χαρακτηριστικό που μελετούσε ήταν απλό, όπως π.χ. το χρώμα του σπόρου, η ταξινόμηση των φυτών μπορούσε να γίνει αμέσως. 'Όταν όμως ήθελε να εκτιμήσει άλλα χαρακτηριστικά, όπως το ύψος των φυτών, έπρεπε να σπείρει τους σπόρους την επόμενη χρονιά και να αφήσει τα φυτά να ωριμάσουν.

#### 2.4 Ο νόμος της διασπάσεως.

Ο Mendel είχε παρατηρήσει ότι, αυτογονιμοποιώντας τα άνθη μιας ποικιλίας μπιζελιού που είχε ψηλά φυτά, έπαιρνε ως απογόνους πάλι ψηλά φυτά. 'Όταν αυτογονιμοποιούσε τα άνθη ποικιλίας με χαμηλά φυτά, οι απόγονοι ήταν μόνο χαμηλά φυτά (σχ. 2.4a). Ο καιρός, το έδαφος και η υγρασία επηρέαζαν το ύψος των φυτών, αλλά ο κύριος παράγοντας που το καθόριζε ήταν η ποικιλία, δηλαδή ο γενότυπος. Στις συνθήκες του πειράματός του τα ψηλά φυτά είχαν ύψος μεταξύ 180 και 210 cm, ενώ τα χαμηλά 25 έως 35 cm.

Σε ένα πείραμα ο Mendel καλλιέργησε χωριστά δύο καθαρές ποικιλίες μπιζελιού, μια ψηλή και μια χαμηλή, και τις διασταύρωσε (σχ. 2.4a). Όλοι οι απόγονοι της πρώτης θυγατρικής γενιάς ήταν ψηλά φυτά. Τη γενιά αυτή τήν ονομάζομε  $F_1$ , από το λατινικό *Filial*, που σημαίνει απόγονος. Το χαρακτηριστικό δηλαδή του μικρού ύψους των φυτών εξαφανίσθηκε στη  $F_1$ . 'Όταν τα ψηλά φυτά - υβρίδια αυτογονιμοποιούνται ή διασταυρώνονται μεταξύ τους, στους απογόνους της δεύτερης τώρα γενιάς ( $F_2$ ) ξαναεμφανίζεται το χαμένο χαρακτηριστικό του μικρού ύψους. Μερικοί απόγονοι ήταν ψηλά φυτά και άλλοι χαμηλά. Προσεκτική ταξινόμηση των



Γνωρίσματα	Γονείς	Φυτά της $F_1$	Φυτά της $F_2$	Αναλογία
1. Επιφάνεια σπόρων (λεία-ανώμαλη)	X	όλα	5474 + 1850	2.96 : 1
2. Χρώμα κοτυληδόνος (κίτρινο-πράσινο)	X	όλα	6022 + 2001	3.01 : 1
3. Χρώμα φλοιού (καφέ-λευκό)	X	όλα	705 + 224	3.15 : 1
4. Σχήμα λοβών (απλό-δακτυλιωτό)	X	όλα	882 + 299	2.95 : 1
5. Χρώμα λοβών (πράσινο-κίτρινο)	X	όλα	428 + 152	2.82 : 1
6. Διάταξη λοβών (εξονική-ακραία)	X	όλα	651 + 207	3.14 : 1
7. Ύψος φυτών (ψηλά-νάνα)	ψηλά X νάνα	όλα ψηλά	787 ψηλά + 277 νάνα	2.84 ψηλά : 1 νάνα

Σχ. 2.4β.

Τα επτά γνωρίσματα που μελέτησε ο Mendel και ανακάλυψε ότι διασπώνται στην αναλογία 3:1, γιατί ελέγχονται από κυρίαρχο και υποτελές γονίδιο.

Σχ. 2.4α.

←→ Διατήρηση δύο καθαρών ποικιλιών μπζελιού, που διαφέρουν μόνο στο ύψος και διασταύρωσή τους για να πάρομε μόνο φυτά ψηλά στη  $F_1$ , και διάσπαση στην αναλογία 3 ψηλά προς 1 χαμηλό στη  $F_2$ . Στη  $F_3$  τα μεν κοντά φυτά παράγουν μόνο κοντά φυτά, ενώ τα ψηλά φυτά αυτογονιμοποιούμενα παράγουν τη διάσπαση της  $F_2$  είτε 3:1.

φυτών, εφόσον ο αριθμός τους ήταν επαρκής, έδειξε ότι τα τρία τέταρτα περίπου ήταν ψηλά και το ένα τέταρτο χαμηλά. Για την ακρίβεια, από σύνολο 1064 της γενιάς  $F_2$  φυτών, τα 787 ήταν ψηλά και τα 277 χαμηλά [σχ. 2.4β (7)]. Κατόπιν, αυτογονιμοποίησε αυτά τα φυτά της  $F_2$  γενιάς και διαπίστωσε ότι τα κοντά φυτά συνέχιζαν να παράγουν μόνο κοντά φυτά (σχ. 2.4α). Τα ψηλά φυτά ήταν δύο τύπων: ο ένας τύπος που περιλάμβανε το ένα τρίτο των φυτών αυτών έδινε μόνο ψηλά φυτά· ο άλλος τύπος, που περιλάμβανε τα υπόλοιπα δύο τρίτα των ψηλών φυτών παρήγε ψηλά και κοντά φυτά στην αναλογία 3:1 (σχ. 2.4α). Αυτός ο τύπος της διασταυρώσεως μεταξύ γονέων, που διαφέρουν ως προς ένα μόνο γνώρισμα, είναι γνωστός ως **μονοϋβριδισμός**, τα δε άτομα της  $F_1$  ως **μονοϋβρίδια**.

Ο Mendel μελέτησε με τον τρόπο αυτόν επτά συνολικά γνωρίσματα και πήρε αναλογικά τα ίδια αποτελέσματα, που εμφανίζονται στο σχήμα 2.4β. Όταν π.χ. διασταύρωσε φυτά με κίτρινους σπόρους, με φυτά που είχαν πράσινους σπόρους, πήρε φυτά που είχαν μόνο κίτρινους σπόρους. Από σύνολο 8023 σπόρων  $F_2$ , που είχε συλλέξει από 250 φυτά, οι 6022 ήταν κίτρινοι και οι 2001 πράσινοι, δηλαδή η αναλογία πάλι 3:1 περίπου. Ο Mendel πρόβλεψε, τότε, τι απογόνους θα έπαιρνε στην επομένη γενιά ( $F_3$ ). Για επιβεβαίωση έσπειρε τους  $F_2$  σπόρους. Με βάση την υπόθεσή του, περίμενε ότι το ένα τρίτο των κίτρινων  $F_2$  σπόρων θα παρήγε μόνο κίτρινους σπόρους, ενώ τα άλλα δύο τρίτα θα παρήγαν και κίτρινους και πράσινους σπόρους. Οι πράσινοι  $F_2$  σπόροι θα παρήγαν μόνο πράσινους. Πράγματι αυτό και έγινε. Έσπειρε 519 κίτρινους  $F_2$  σπόρους. Τα 353 από τα φυτά που προέκυψαν έδωσαν κίτρινους και πράσινους σπόρους στην αναλογία 3:1, τα δε υπόλοιπα 166 έδωσαν μόνο κίτρινους σπόρους. Οι  $F_2$  πράσινοι σπόροι έδιναν πραγματικά φυτά με πράσινους μόνο σπόρους.

Παραπήρησε λοιπόν ο Mendel ότι στην  $F_1$  γενιά εμφανίσθηκε μόνο το κίτρινο χρώμα των σπόρων, ενώ το πράσινο είχε χαθεί. Το ίδιο συνέβη και με τα ψηλά φυτά σχετικά με τα χαμηλά. Και στα υπόλοιπα πέντε ζεύγη γνωρίσμάτων το ένα μόνο γνώρισμα εμφανίζονταν. Το γνώρισμα που εμφανίζονταν στην  $F_1$  ονομάσθηκε **κυριαρχο** (Dominant), γιατί επεσκίαζε το άλλο, το οποίο καλείται **υποτελές** (Recessive). Στην  $F_2$  όμως γενιά επανεμφανίζονταν, όπως είδαμε, το υποτελές γνώρισμα, δηλαδή είχαμε τη διάσπαση της ομοιόμορφης  $F_1$  γενιάς στα δύο αρχικά γνωρίσματα. Η διαπίστωση αυτή απετέλεσε την **1η βασική αρχή** ή **νόμο** του Mendel.

## 2.5 Η υπόθεση του γονιδίου.

Τα πειραματικά αποτελέσματα οδήγησαν τον Mendel στην εξής υπόθεση: αντίστοιχοι χαρακτήρες, όπως π.χ. το κίτρινο και πράσινο χρώμα του σπόρου των μπιζελιών ή το κόκκινο και το άσπρο χρώμα των λουλουδιών τους προσδιορίζονται από κάπι την απόκοπον **παράγοντα**, που μεταβιβάζεται από τους γονείς στους απογόνους μέσω των γαμετικών κυττάρων (γαμετών). Αυτό το κάπι ή αυτός ο **παράγοντας σήμερα** καλείται **γονίδιο** (γόνος). Τα διάφορα γονίδια, όπως αυτά που προσδιορίζουν το χρώμα του άνθους ή το χρώμα του σπόρου ή το ύψος του φυτού, δεν αναμιγνύονται, ούτε το ένα επηρεάζει το άλλο, αν και βρίσκονται μαζί στο ίδιο υβρίδιο. Τα γονίδια αυτά διασπώνται και ξεχωρίζουν ανέπαφα μεταφερόμενα στους γαμέτες που σχηματίζει το υβρίδιο και μέσω των γαμετών αυτών στους απογόνους του υβρίδιου.

Ο Mendel χρησιμοποίησε γράμματα του αλφαβήτου για να συμβολίσει τους παράγοντες (γονίδια) και να παραστήσει, πώς μεταβιβάζονται και διανέμονται στους απογόνους. Συμβατικώς, τα γονίδια, που προσδιορίζουν κυρίαρχα χαρακτηριστικά, συμβολίζονται με κεφαλαία γράμματα, ενώ εκείνα που προσδιορίζουν υποτελή χαρακτηριστικά με μικρά γράμματα. Στη διασταύρωση π.χ. μεταξύ κόκκινων και λευκών λουλουδιών μπιζελιού, με το γράμμα C συμβολίζομε το γονίδιο που είναι υπεύθυνο για το κόκκινο χρώμα των λουλουδιών και με το c το γονίδιο που είναι υπεύθυνο για το λευκό χρώμα: Τα δύο αντίστοιχα C και c καλούνται **αλληλόμορφα**.

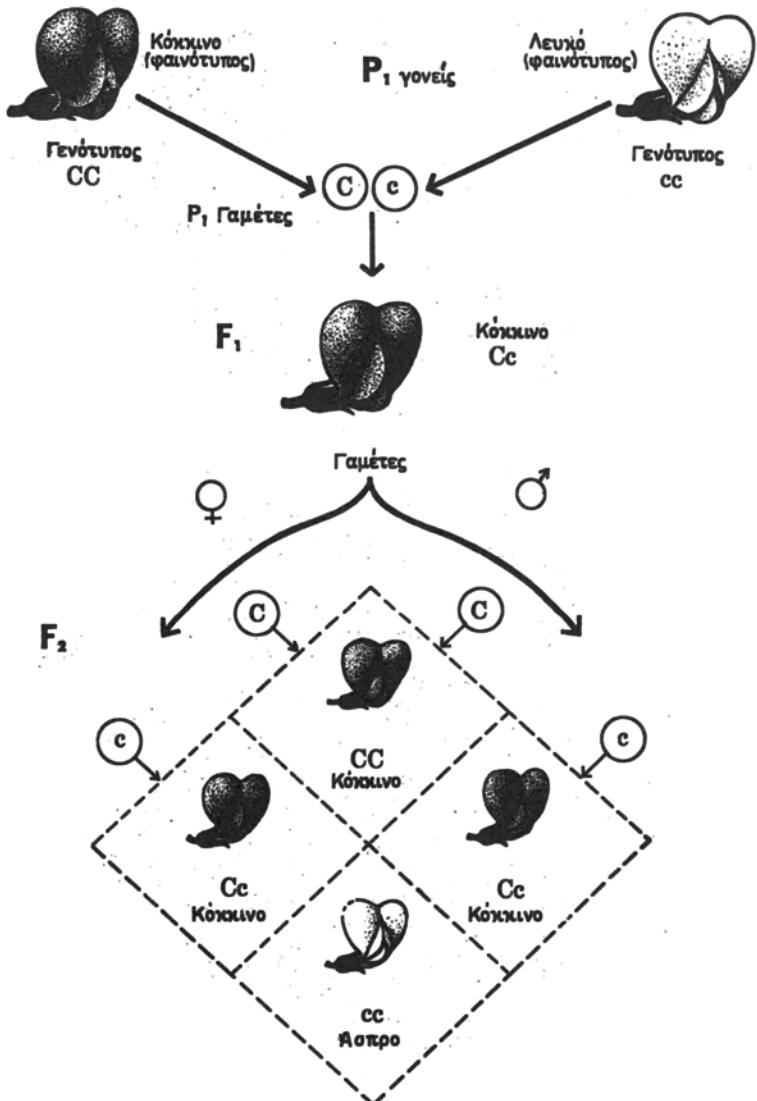
Δεδομένου ότι ένα άτομο προκύπτει από την ένωση δύο γαμετών, λαμβάνει ένα γονίδιο για το χρώμα των λουλουδιών από κάθε γονέα. Ο γονέας που κληρονομεί σταθερά τα κόκκινα λουλούδια μπορεί, συνεπώς, νά παρασταθεί ως CC και οι γαμέτες του ως C. Ο γονέας, εξ άλλου, που κληρονομεί σταθερά τα άσπρα λουλούδια περιστάνεται ως cc και οι γαμέτες του ως c (σχ. 2.5).

Όταν τα δύο φυτά διασταυρώνονται, ένα ωάριο C γονιμοποιείται με έναν αρσενικό γεμέτη c ή και αντίστροφα, οπότε ο υβριδισμένος ζυγώτης του θα έχει τη γενετική σύσταση Cc. Όταν τα δύο μέλη ενός ζεύγους αλληλομόρφων γονιδίων σ'ένα άτομο είναι όμοια, το άτομο λέγεται **ομοζύγωτο**. Τα φυτά δηλαδή που κληρονομούν σταθερά το κόκκινο χρώμα με γενότυπο CC ή το άσπρο με γενότυπο cc είναι ομοζύγωτα. Όταν τα δύο μέλη ενός ζεύγους αλληλομόρφων γονιδίων είναι ανόμοια, το άτομο που τα φέρει καλείται **ετεροζύγωτο**. Τα φυτά με τα κόκκινα λουλούδια που πήρε ο Mendel στην F<sub>1</sub>, και που έχουν γενότυπο Cc είναι ετεροζύγωτα. Ο φαινότυπος των λουλουδιών στα φυτά αυτά ήταν κόκκινος, επειδή το αλληλόμορφο C είναι κυρίαρχο στο c, όπως απέδειξε το πείραμα.

Σύμφωνα με το νόμο-της διασπάσεως τα δύο αλληλόμορφα στα ετεροζύγωτα φυτά Cc δεν συγχωνεύονται, ούτε αναμιγνύονται, ούτε μολύνει το ένα το άλλο, παρά το γεγονός ότι ο φαινότυπος του υβρίδου δείχνει μόνο το κόκκινο χρώμα στα λουλούδια και δεν παρέχει ούτε ένδειξη για την ύπαρξη του γονίδιου c στο γενότυπο. Όταν όμως το υβρίδιο σχηματίζει τους γαμέτες του, τα αλληλόμορφα διασπώνται έτσι, ώστε οι μισοί γαμέτες θα φέρουν πάλι το γονίδιο C και οι άλλοι μισοί το γονίδιο c. Αν υποθέσουμε ότι κατά τη γονιμοποίηση οι γαμέτες ενώνονται τυχαία μεταξύ τους, τότε στην F<sub>2</sub> θα έχομε τις τρεις γενοτυπικές κλάσεις CC: 2C: cc και τους δύο φαινότυπους: κόκκινο (CC ή Cc) και άσπρο (cc), στην αναλογία 3:1, όπως δείχνει το σχήμα 2.5, επειδή το αλληλόμορφο C (κόκκινο) είναι κυρίαρχο στο c (άσπρο). Ο πρώτος νόμος του Mendel, συνεπώς μπορεί να διατυπωθεί ως εξής: **Τα κληρονομούμενα χαρακτηριστικά καθορίζονται από ειδικές μονάδες ή παράγοντες (γονίδια). Οι μονάδες αυτές εμφανίζονται κατά ζεύγη στο άτομο, αλλά κατά το σχηματισμό των γαμετικών κυττάρων (ωάριο και σπερματοζωάριο, προκειμένου για τα ζώα και τον άνθρωπο) διασπώνται έτσι, ώστε ένα μόνο μέλος του ζεύγους μεταβιβάζεται σ' έναν από τους γαμέτες. Όταν ο αρσενικός και θηλυκός γαμέτης ενώνονται, ο διπλός αριθμός των γονιδίων αποκαθίσταται στους απογόνους.**

## 2.6 Ο νόμος της ανεξάρτητης κληρονομήσεως (αυτοτέλειας των γονιδίων).

Με τα μονούβριδα ο Mendel διεπίστωσε τη συμπεριφορά ενός ζεύγους γονιδίων στους απογόνους. Θέλησε τώρα να δει, τι συμβαίνει όταν οι γονείς που διε-



Σχ. 2.5.

Σχηματική παράσταση συμπεριφοράς των γονιδίων στη διασταύρωση μπιζελιών με κόκκινα και άσπρα λουλούδια. Φαίνονται: Οι γενότυποι και φαινότυποι των γονέων και της  $F_1$ , οι γαμέτες που παράγουν και η τυχαία ένωσή τους για να σχηματισθούν οι τρεις γενότυποι και οι δύο φαινότυποι στη  $F_2$ .

σταύρωσε διέφεραν ως προς δύο χαρακτηριστικά. Έτσι διασταύρωσε δύο φυτά, από τα οποία το ένα είχε λείους - κίτρινους σπόρους και το άλλο συρρικνωμένους - πράσινους. Μια τέτοια διασταύρωση, στην οποία οι γονείς διαφέρουν ως προς τα δύο διαφορετικά κληρονομούμενα χαρακτηριστικά, καλείται **διυβριδική διασταύρωση**, τα δε υβρίδια που προκύπτουν καλούνται **διυβρίδια**. Στην  $F_1$  της παραπάνω

διασταυρώσεως ο Mendel πήρε μπιζέλια που είχαν μόνο κίτρινους λείους σπόρους, αφού το κίτρινο χρώμα, όπως αποδείχθηκε, είναι κυρίαρχο στο πράσινο και η λεία επιφάνεια κυρίαρχη στη συρρικνωμένη. Όταν διεσταύρωσε τα φυτά της  $F_1$ , δηλαδή τα διυβρίδια, που είναι το ίδιο όπως αν τα άφηνε να αυτογονιμοποιηθούν, πήρε συνολικά 556 σπόρους της  $F_2$ . Όταν κατέταξε τους σπόρους αυτούς ως προς το χρώμα, πήρε:

- σπόρους κίτρινους: 416, δηλαδή 74,82%
- σπόρους πράσινους: 140, δηλαδή 25,18%,  
ενώ όταν τους κατέταξε ως προς το σχήμα, πήρε:
- σπόρους λείους: 423, δηλαδή 76,08%
- σπόρους συρρικνωμένους: 133 δηλαδή 23,92%.

Η σχέση συνεπώς, 3 κυρίαρχο προς 1 υποτελές (75% : 25%) εμφανίσθηκε πάλι. Το βασικό ερώτημα όμως είναι το εξής: Είναι οι δύο χαρακτήρες, δηλαδή το χρώμα και το σχήμα του σπόρου, δεμένοι μαζύ κατά κάποιο τρόπο ή ο καθένας κληρονομείται ανεξάρτητα από τον άλλον; Αφού οι αρχικές ποικιλίες (γονείς) είχαν η μία κίτρινους - λείους σπόρους και η άλλη πράσινους - συρρικνωμένους, θα συνεχίσει το κίτρινο χρώμα να είναι μαζύ με τη λεία επιφάνεια και το πράσινο με τη συρρικνωμένη επιφάνεια ή μήπως θα εμφανισθούν όλοι οι συνδυασμοί των δύο χαρακτήρων;

Κατατάσσοντας ο Mendel τους παραπάνω 556 σπόρους και για τους δύο χαρακτήρες συγχρόνως, πήρε τις εξής κατηγορίες:

- κίτρινοι - λείοι σπόροι: 315
- πράσινοι - λείοι σπόροι: 108\*
- κίτρινοι - συρρικνωμένοι σπόροι: 101\*
- πράσινοι - συρρικνωμένοι σπόροι: 32

Στην  $F_2$  δηλαδή εμφανίσθηκαν τόσο οι χαρακτήρες των γονέων, όσο και καινούργιοι συνδυασμοί τους. Με τον αστερίσκο σημειώνονται οι νέοι συνδυασμοί των χαρακτήρων, που δεν υπήρχαν στους γονείς και προήλθαν από τους συνδυασμούς των γονιδίων στο υβρίδιο. Είναι φανερό, λοιπόν, ότι τα τέσσερα γνωρίσματα: κίτρινο, πράσινο, λεία επιφάνεια, συρρικνωμένη επιφάνεια (που αποτελούν δύο ζεύγη) μεταβιβάζονται ανεξάρτητα από τη μία γενεά στην άλλη και γι' αυτό εμφανίσθηκαν στην εξής αναλογία:

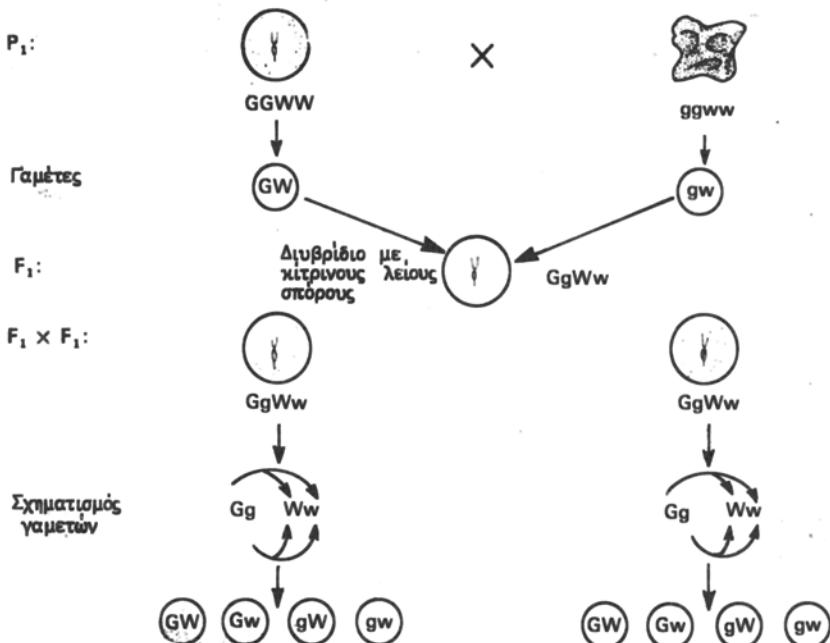
- 315 σπόροι με τα δύο κυρίαρχα γνωρίσματα (κίτρινο, λείο).
- 108 σπόροι με το ένα κυρίαρχο και ένα υποτελές (λείο, πράσινο).
- 101 σπόροι με το άλλο κυρίαρχο και άλλο υποτελές (κίτρινο - συρρικ.).
- 32 σπόροι με τα δύο υποτελή γνωρίσματα (πράσινο - συρρικνωμένο).

Η αναλογία αυτή, αν στρογγυλοποιηθεί, γίνεται 9:3:3:1.

Τα παραπάνω αποτελέσματα εξηγούνται πλήρως με την υπόθεση του γονιδίου ή του «παράγοντα» κατά Mendel. Έτσι, αν παραστήσουμε: με W το γονίδιο για τη λεία επιφάνεια, με w το αλληλόμορφό του για τη συρρικνωμένη επιφάνεια, με G το γονίδιο για το κίτρινο χρώμα και g για το πράσινο χρώμα (σχ. 2.6), τότε: ο ομοζύγωτος γονέας με τα δύο κυρίαρχα γνωρίσματα θα έχει το γενότυπο GGWW, ενώ ο άλλος ομοζύγωτος με τα υποτελή γονίδια το γενότυπο ggww. Ο πρώτος γονέας παράγει το γαμέτη GW και ο δεύτερος τον gw. Το διυβρίδιο θα έχει το γενότυπο GgWw, αφού προέρχεται από την ένωση των δύο γαμετών. Τώρα το πρόβλημα εί-

Ομοζύγωτος κίτρινους λειούς σπόρους

Ομοζύγωτος με πράσινους-συρρικνωμένους σπόρους



Αρσενικοί γαμέτες

	GW	Gw	gW	gw
GW	GGWW	GGWw	GgWW	GgWw
Gw	GGWw	GGww	GgWw	Ggww
gW	GgWW	GgWw	ggWW	ggWw
gw	GgWw	Ggww	ggWw	ggww

- 9 Κίτρινοι - λεῖαι
- 3 Κίτρινοι - συρρικνωμένοι
- 3 Πράσινοι - λεῖαι
- 1 Πράσινοι - συρρικνωμένοι

### Σχ. 2.6.

Το διάγραμμα δείχνει την ανεξάρτητη κληρονόμηση δύο ζευγών χαρακτηριστικών στα μπζέλια. Ο ένας γονέας είναι ομοζύγωτος ως προς την κίτρινη και λεία επιφάνεια του σπόρου, ενώ ο άλλος ομοζύγωτος ως προς την πράσινη και συρρικνωμένη επιφάνεια. Εμφανίζονται οι γαμέτες, οι γενότυποι και οι φαινότυποι στη F<sub>1</sub> και F<sub>2</sub>.

ναι να βρούμε τα είδη των γαμετών, που θα παραχθούν από το διυβρίδιο. Αν θεωρήσομε μόνο το χρώμα του σπόρου, τότε το μονοϋβρίδιο G παράγει δύο ειδών γαμέτες: οι μισοί θα φέρουν το γονίδιο G και οι άλλοι μισοί το γονίδιο g. Είναι όμως εύλογο ότι κάθε γαμέτης πρέπει να περιέχει όχι μόνο το γονίδιο για το χρώμα του σπόρου, αλλά και το γονίδιο για την επιφάνεια του σπόρου. Θα πρέπει δηλαδή οι μισοί από τους γαμέτες G να έχουν και το γονίδιο W και οι άλλοι μισοί το w. Το ίδιο και για τους γαμέτες g, οι μισοί πάλι θα φέρουν και το W, ενώ οι άλλοι μισοί και το w. Έτσι το διυβρίδιο της F<sub>1</sub> παράγει τέσσερα είδη γαμετών σε ίση αναλογία:

GW, Gw, gW, gw.

Διασταυρώνοντας τώρα δύο φυτά της F<sub>1</sub>, δηλαδή δύο διυβρίδια, που το καθένα παράγει τους παραπάνω τέσσερις γαμέτες, θα έχομε 16 συνδυασμούς γαμετών, αφού θα έχομε τέσσερα είδη γυρεοκόκκων και άλλα τέσσερα ωαρίων μια και πρόκειται για φυτά. Η ένωση των γαμετών ανά δύο γίνεται τυχαία και έτσι είναι δυνατόν να προκύψουν όλοι οι συνδυασμοί στην ίδια αναλογία. Από τους 16 συνδυασμούς (σχ. 2.6) οι 9 είναι κίτρινοι - λείοι (G - W-), οι 3 κίτρινοι - συρρικνωμένοι (G - ww), οι 3 πράσινοι - λείοι (gg W -) και 1 πράσινος - συρρικνωμένος (ggww).

Βασιζόμενος στα πειραματικά αυτά δεδομένα ο Mendel διετύπωσε το **2o νόμο** του ή την αρχή της **ανεξάρτητης κληρονομίσεως**, η οποία λέει ότι: **τα μέλη ενός ζεύγους παραγόντων [γονιδίων] διασπώνται ανεξάρτητα από τα μέλη άλλων ζευγών κατά το σχηματισμό των γαμετών [το ζεύγος Gg π.χ. διασπάται ανεξάρτητα από το ζεύγος Ww].**

## 2.7 Τριυβρίδια.

Όταν διασταυρώνονται καθαρές ποικιλίες, που διαφέρουν ως προς τρία ή περισσότερα κληρονομούμενα χαρακτηριστικά, ισχύει πάλι η αρχή της ανεξάρτητης κληρονομίσεως. Ας διασταυρώσουμε π.χ. μια ποικιλία μπιζελιών με κίτρινους - λείους σπόρους και κόκκινα λουλούδια με μιαν άλλη ποικιλία με πράσινους - συρρικνωμένους σπόρους και άσπρα λουλούδια. Ας ορίσουμε τους εξής συμβολισμούς:

- A για το κίτρινο και a για το πράσινο χρώμα.
- B για τη λεία επιφάνεια και b για τη συρρικνωμένη και,
- Γ για τα κόκκινα άνθη και γ για τα άσπρα.

Οι γενότυποι των δύο γονέων θα είναι: AABBΓΓ και ααββγγ και οι γαμέτες τους ABΓ και αβγ, οπότε το τριυβρίδιο που θα προκύψει θα έχει το γενότυπο AaBbΓγ. Λόγω της κυριαρχίας, το τριυβρίδιο θα έχει σπόρους λείους - κίτρινους και λουλούδια κόκκινα. Δεδομένου ότι τα γονίδια κληρονομούνται ανεξάρτητα, το τριυβρίδιο παράγει οκτώ είδη γαμετών, δηλαδή: ABΓ, ABγ, AΒΓ, Aβγ, aBΓ, aβγ, aBγ, aβγ. Με τη τυχαία ένωση των 8 γαμετών θα προκύψουν στην F<sub>2</sub> 64 δυνατοί συνδυασμοί, που εμπίπτουν σε 8 φαινότυπους με την ακόλουθη συχνότητα:

- 27 με σπόρους λείους - κίτρινους και λουλούδια κόκκινα.
- 9 με σπόρους λείους - κίτρινους και λουλούδια άσπρα.
- 9 με σπόρους λείους - πράσινους και λουλούδια κόκκινα.
- 9 με σπόρους συρρικνωμένους - κίτρινους και λουλούδια κόκκινα.
- 3 με σπόρους λείους - πράσινους και λουλούδια άσπρα.
- 3 με σπόρους συρρικνωμένους - κίτρινους και λουλούδια άσπρα.

- 3 με σπόρους συρρικνωμένους - κίτρινους και λουλούδια κόκκινα.
- 1 με σπόρους συρρικνωμένους - πράσινους και λουλούδια άσπρα.

Τα συμπεράσματα από τις εργασίες του Mendel μπορούν, λοιπόν, να συνοψι- σθούν στα εξής:

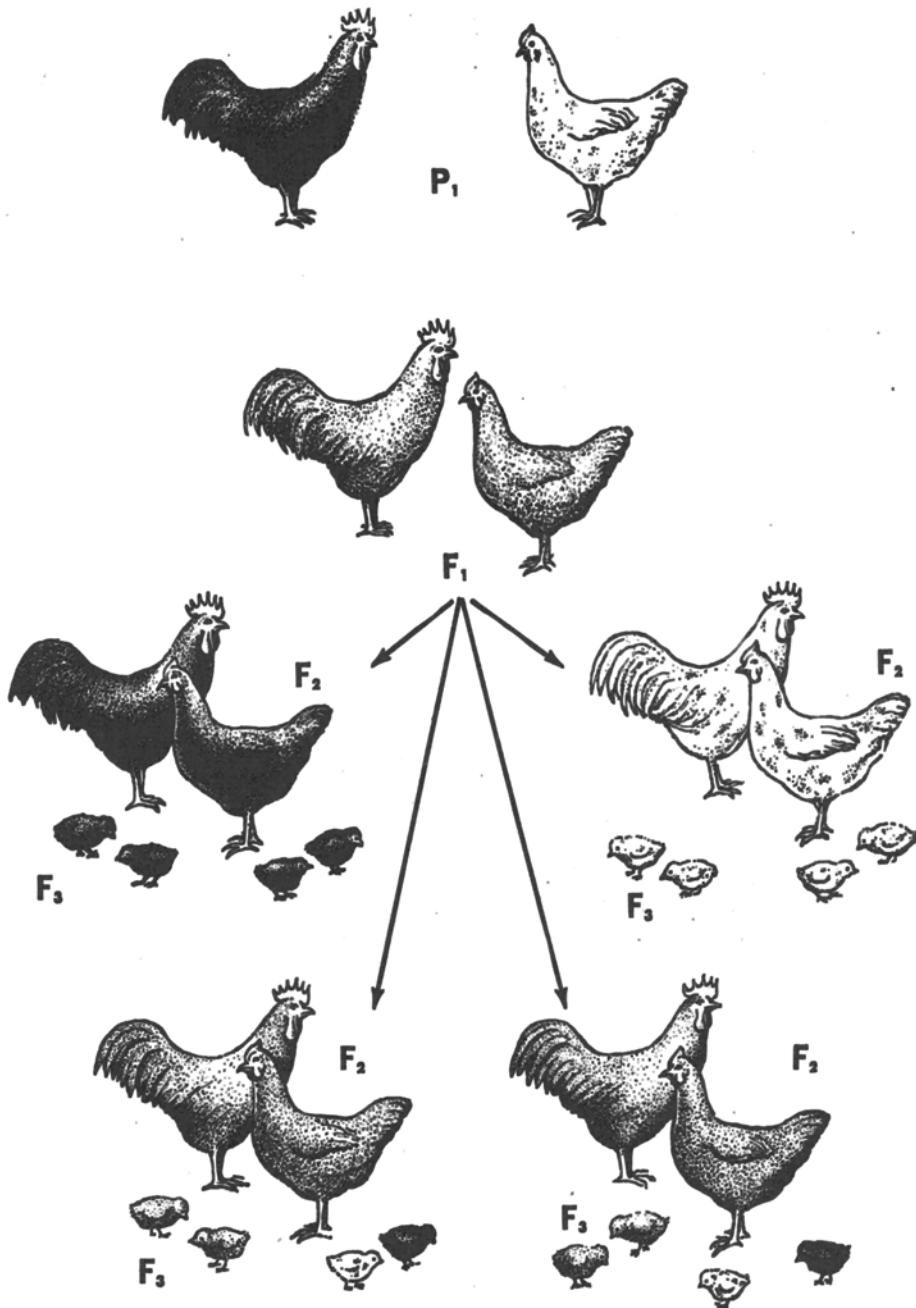
1. Κάθε γνώρισμα οφείλει την εκδήλωση του σε ένα ζευγάρι κληρονομικών συν- τελεστών, που καλούμε σήμερα **γονίδια** και που προέρχονται το ένα από τον πατέρα και το άλλο από τη μητέρα. Υπάρχουν επομένως τόσα ζευγάρια γονι- δίων, όσα και γνωρίσματα.
2. Τα γονίδια έχουν την ικανότητα να διπλασιάζονται πιστά και να μεταβιβάζονται αναλλοίωτα από τη μια γενιά στην άλλη.
3. Σε κάθε ζευγάρι γονιδίων τα δύο μέλη μπορεί να είναι εντελώς όμοια, οπότε το άτομο που τα έχει λέγεται **ομοιούγωτο ή καθαρό**, ή διαφορετικά, οπότε λέγεται **ετεροιούγωτο ή υβρίδιο**.
4. 'Όπως το γονίδιο υπάρχει σε δύο διαφορετικές μορφές, έτσι και τό ελεγχόμενο από το γονίδιο γνώρισμα υπάρχει σε αντίστοιχες μορφές.
5. Στο μονοϋβρίδιο Αα, το ζευγάρι των γονιδίων διαχωρίζεται κατά το σχηματι- σμό των γαμετών, ώστε μισοί γαμέτες έχουν το Α γονίδιο και μισοί το α.
6. Με την ένωση δύο γαμετών για τη δημιουργία της νέας γενεάς, τα γονίδια συν- δυάζονται ξανά. Ο ανασυνδυασμός γίνεται εντελώς τυχαία, ώστε, όταν έχομε πολλά ζευγάρια γονιδίων και πολλούς απογόνους, προκύπτουν όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί, ωσάν τα ζευγάρια να κληρονομούνται το ένα ανεξάρτητα από το άλλο. Έτσι δημιουργείται μεγάλη γενετική παραλλακτικότητα.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, αν και εκτιμούμε την ύπαρξη του γονιδίου από το γνώρισμα που ελέγχει, εκείνο που μεταβιβάζεται στην πραγματικότητα από γενιά σε γενιά δεν είναι το γνώρισμα αλλά τα γονίδια που το ελέγχουν. Τα γνωρίσματα είναι το αποτέλεσμα της δράσεως των γονιδίων και υπάρχει σαφής διάκριση ανά- μεσα στον τρόπο μεταβιβάσεως των γονιδίων και στον τρόπο δράσεως. Έτσι τα πειράματα του Mendel έδειξαν ότι η συνέχεια της ζωής εξασφαλίζεται με την πιστή διαιώνιση των γονιδίων, τα οποία αποτελούν τους υλικούς φορείς των κληρονομι- κών ιδιοτήτων, δηλαδή το γενετικό υλικό.

## 2.8 Εφαρμογές.

### α) Η κληρονόμηση των χρώματος των πουλερικών της Ανδαλουσίας.

Μετά τον Mendel οι ερευνητές ανεκάλυψαν αρκετά χαρακτηριστικά που εμφα- νίζουν πλήρη κυριαρχία ή πρακτικώς πλήρη κυριαρχία. Σε πολλές όμως περιπτώ- σεις η κυριαρχία δεν εμφανίζεται και τα υβρίδια δεν μοιάζουν ακριβώς με κανέναν από τους δύο γονείς, αλλά βρίσκονται σε μιαν ενδιάμεση περίπου κατάσταση. Με τον τρόπον αυτόν κληρονομείται το χρώμα του πτερώματος στα πουλερικά της Ανδαλουσίας (σχ. 2.8a). Όταν διασταυρώθηκε μαύρος κόκκορας με άσπρη κότα, τα υβρίδια είχαν στην  $F_1$  πτέρωμα μπλε. Στην  $F_2$  η διάσπαση ήταν όχι 3:1 αλλά 1:2:1 δηλαδή: 1/4 μαύρα, 2/4 μπλε και 1/4 άσπρα. Η περίπτωση αυτή θεωρείται ως παραλλαγή της μεντελικής διασπάσεως και οφείλεται, όπως θα δούμε, στην αλ- ληλεπίδραση μεταξύ των δύο αλληλομόρφων γονιδίων. Στις αγελάδες φυλής Shorthorn, διασταυρώνοντας κόκκινες με άσπρες, παίρνουμε παραδαλά ζώα, που έ-



Σχ. 2.8α.

Κληρονόμηση του χρώματος στο πέραμα των πουλερικών της Ανδαλουσίας. Διασταυρώσεις μεταξύ μαύρων και άσπρων δίνουν στη  $F_1$  απογόνους μπλε-καφέ. Διασταυρούμενα τα υβρίδια μεταξύ τους, δίνουν στη  $F_2$ : α) ένα τέταρτο μαύρους, που δίνουν συνεχώς μαύρους απογόνους, β) ένα τέταρτο άσπρους, που δίνουν επίσης συνεχώς άσπρους απογόνους και γ) δύο τέταρτα μπλε-καφέ απογόνους, που κληρονομούν όπως τα υβρίδια της  $F_1$ .

χουν μίγμα από κόκκινο και άσπρο τρίχωμα. Σε άλλες περιπτώσεις τα υβρίδια μπορεί να μοιάζουν περισσότερο με τον ένα γονέα, οπότε έχομε ατελή κυρίαρχα.

### **β) Η κληρονόμηση του χρώματος των κόκκων αραβοσίτου.**

Παράδειγμα μονοϋβριδικής διασπάσεως δείχνει το σχήμα 2.8β, στο οποίο οι περισσότεροι κόκκοι (περίπου τα 3/4) είναι μαύροι και μόνο το 1/4 είναι άσπροι. Ο σπάδικας αυτός έχει παραχθεί από  $F_1$ , φυτό που προήλθε από διασταύρωση ενός καθαρού τύπου αραβοσίτου με μαύρους κόκκους και ενός άλλου με άσπρους.



**Σχ. 2.8β.**

Μονοϋβριδική διάσπαση του χρώματος 3 μαύρα προς ένα άσπρο σε σπάδικα καλαμποκιού.

### **γ) Κληρονόμηση του χρώματος στα χοιρίδια της Γουινέας.**

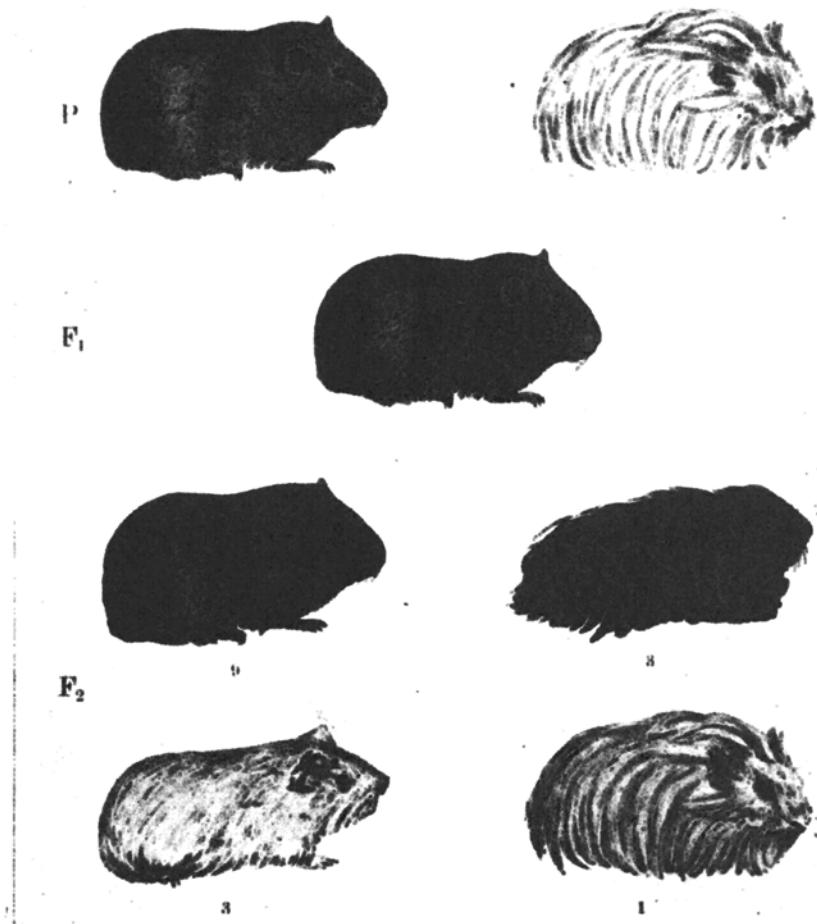
Στο σχήμα 2.8γ εμφανίζεται ένα παράδειγμα διυβριδικής διασπάσεως στην αναλογία 9:3:3:1, στα χοιρίδια της Γουινέας. Ο ένας από τους γονείς είναι μαύρος με κοντό τρίχωμα, ενώ ο άλλος άσπρος με μακρύ τρίχωμα. Το μαύρο χρώμα προκαλείται από ένα κυρίαρχο γονίδιο, έστω το A, ενώ το κοντό τρίχωμα από ένα άλλο κυρίαρχο γονίδιο το B. Οι γονείς συνεπώς θα έχουν τους γενότυπους AABB και aaBB, ενώ το διυβρίδιο AaBb, οπότε τα άτομα της  $F_1$  θα είναι όλα μαύρα με κοντό τρίχωμα. Οι τέσσερις κατηγορίες της  $F_2$  παριστάνονται στο σχήμα με ένα μόνο χοιρίδιο, ο αριθμός δε που είναι κάτω από αυτό δείχνει τη συχνότητά τους. Οι δύο από τις κατηγορίες αυτές μοιάζουν ακριβώς στους γονείς. Η μία δηλαδή είναι η μαύρη με κοντό τρίχωμα (επειδή έχουν τα γονίδια A και B) και η άσπρη με μακρύ τρίχωμα (αφού έχει μόνο τα γονίδια a και b). Οι δύο άλλες κατηγορίες είναι νεοσυνδυασμοί, δηλαδή: μαύρη με μακρύ τρίχωμα (A επειδή έχει τα γονίδια A και bb) και άσπρη με κοντό τρίχωμα (επειδή έχει τα γονίδια aa και B).

### **2.9. Εφαρμογές για δάσκηση.**

a) Έχοντας υπόψη τους νόμους του Mendel, να προβλέψετε τα αποτελέσματα των παρακάτω διασταύρώσεων στα μπιζέλια:

- 1) Ομοζύγωτη ψηλή ποικιλία με ομοζύγωτη χαμηλή ποικιλία.
- 2) Αυτογονιμοποίηση των προϊόντων της περιπτώσεως (1).
- 3) Προϊόντα της περιπτώσεως (1) με τον αρχικό ψηλό γονέα.
- 4) Προϊόντα της περιπτώσεως (1) με τον αρχικό χαμηλό γονέα.

β) Ο Mendel διεσταύρωσε φυτά μπιζελιού, που είχαν λείους σπόρους με φυτά



Σχ. 2.8γ.

Διυβριδική διάσπαση στα χοιρίδια της Γουινέας. Η  $F_2$  δίνει 4 φαινότυπους στην αναλογία 9:3:3:1. Κάθε φαινότυπος αντιπροσωπεύεται στη φωτογραφία με ένα μόνο άτομο.

που είχαν συρρικνωμένους σπόρους. Από σύνολο 7324  $F_2$  σπόρων που πήρε, οι 5474 ήταν λειοί και οι 1850 συρρικνωμένοι. Χρησιμοποιώντας τα σύμβολα A και a για τα γονίδια, να συμβολίσετε τους γονείς, τους γαμέτες που παράγουν τους απογόνους στην  $F_1$ , και τους γενότυπους στην  $F_2$ .

γ) Ο Γάλλος βιολόγος Cuvier διεσταύρωσε φαιά με άσπρα ποντίκια. Στην πρώτη γενιά όλα ήταν καφέ. Προχώρησε στην  $F_2$  γενιά και πήρε συνολικά 270 ποντίκια, από τα οποία τα 198 ήταν καφέ και τα 72 άσπρα. Πώς εξηγείτε τα αποτελέσματα;

δ) Μια γυναίκα έχει μια σπάνια ανωμαλία στα βλέφαρα, που καλείται πτώση, η οποία δεν επιτρέπει το πλήρες άνοιγμα των βλεφάρων. Η πτώση των βλεφάρων οφείλεται στο κυρίαρχο γονίδιο (P). Ο πατέρας της γυναίκας είχε πτώση βλεφάρων, αλλά η μητέρα της είχε κανονικά βλέφαρα. Να βρήτε: Τους πιθανούς γενότυπους της γυναίκας και των γονέων της. 2) Αν η γυναίκα αυτή παντρευθεί έναν άν-

δρα με κανονικά βλέφαρα, τι ποσοστό των παιδιών της θα έχουν ππώση βλεφάρων;

ε) Στον άνθρωπο δύο ανωμαλίες, δηλαδή ο καταρράκτης στα μάτια και τα αδύνατα οστά, φαίνεται ότι οφείλονται σε δύο ξεχωριστά κυρίαρχα γονίδια. Ένας άνδρας με καταρράκτη και κανονικά οστά, του οποίου ο πατέρας είχε κανονικά μάτια, νυμφεύεται μια γυναίκα που δεν έχει καταρράκτη αλλά έχει αδύνατα οστά. Ο πατέρας της είχε κανονικά οστά. Ποια είναι η πιθανότητα ότι το πρώτο παιδί τους: 1) Θα είναι απαλλαγμένο και από τις δυο ανωμαλίες; 2) Θα έχει καταρράκτη αλλά δυνατά οστά; 3) Θα έχει αδύνατα οστά, αλλά όχι καταρράκτη; 4) Θα έχει και καταρράκτη και αδύνατα οστά;

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

### Η ΦΥΣΙΚΗ ΒΑΣΗ ΤΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΚΟΤΗΤΑΣ

#### 3.1 Γενικά.

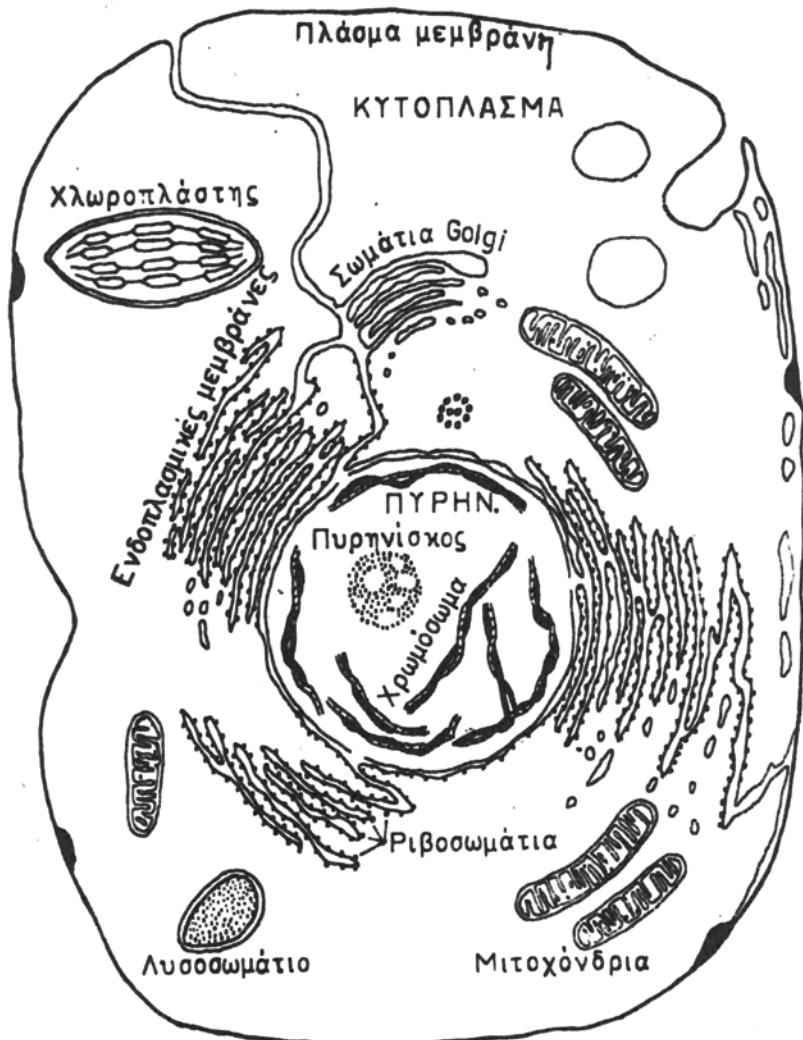
Τα πειράματα του Mendel έδειξαν ότι η συνέχεια της ζωής εξασφαλίζεται με την πιστή διαιώνιση των γονιδίων από γενιά σε γενιά. Τα γονίδια, όπως γνωρίζομε, αποτελούν τους υλικούς φορείς των κληρονομικών ιδιοτήτων, δηλαδή το γενετικό υλικό. Το πόρισμα αυτό επιβεβαιώθηκε πλήρως από τις μετέπειτα γενετικές έρευνες, οι οποίες απέδειξαν την ύπαρξη των γονιδίων. Πολλά γονίδια μαζύ συγκροτούν μεγαλύτερες κληρονομικές μονάδες, τα **χρωμοσώματα** (χρωματοσωμάτια) τα οποία βρίσκονται στον πυρήνα του κυττάρου. Από τη θέση αυτή τα γονίδια ελέγχουν τις βιολογικές λειτουργίες του κυττάρου, το οποίο μοιάζει με ένα καλά οργανωμένο εργοστάσιο. Μια σύντομη, συνεπώς, περιγραφή του κυττάρου είναι αναγκαία για την κατανόηση των αρχών της κληρονομικότητας.

#### 3.2. Οργάνωση του κυττάρου.

Όλοι οι οργανισμοί αποτελούνται από ένα ή περισσότερα **κύτταρα**. Τα κύτταρα, είτε ανήκουν στα πρωτότυπα είτε στον άνθρωπο, εμφανίζουν αρκετές ομοιότητες αναφορικά με τον τρόπο διπλασιασμού και λειτουργίας του γενετικού υλικού.

Θεωρείται ότι το κύτταρο αποτελεί τη μονάδα της ζωής. Το συνηθισμένο μέγεθος των κυττάρων κυμαίνεται από 0,5 μέχρι 20 μικρά. Υπάρχουν όμως και μεγαλύτερα κύτταρα. Το σχήμα 3.2α δείχνει σχηματικά τα κυριότερα στοιχεία του κυττάρου, ενώ το σχήμα 3.2β παρουσιάζει ηλεκτρονική μικρογραφία αυτού. Το κύτταρο περιβάλλεται από την πλάσμα μεμβράνη. Η μεμβράνη αυτή είναι ημιδιαπερατή, δηλαδή επιτρέπει την είσοδο σε ορισμένα μόνο μόρια για να ρυθμίζει την ωσμωτική πίεση του κυττάρου. Η πλάσμα μεμβράνη εμφανίζει εσωδιπλώσεις, που διακλαδίζονται σε όλο τον όγκο του κυττάρου και καλούνται **ενδοπλασμϊκές μεμβράνες**. Οι τελευταίες φαίνεται ότι αποτελούν ένα μεταγωγικό και αποθηκευτικό σύστημα μέσα στο κύτταρο. Η επιφάνεια των ενδοπλασμικών μεμβρανών μπορεί να είναι λεία ή να φέρει πολλά σωματίδια διαμέτρου 150 μικρών περίπου, τα οποία καλούνται **ριβοσωμάτια**.

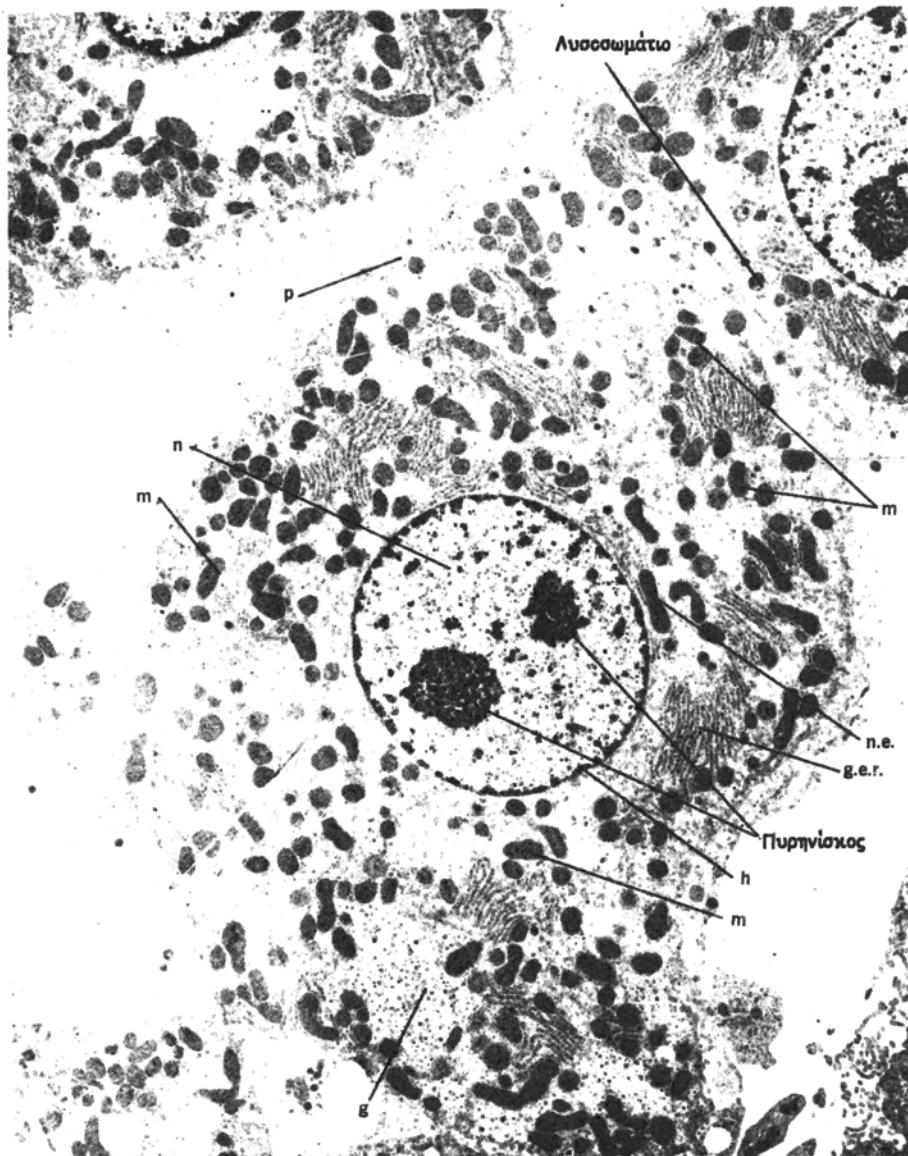
Η βασική ουσία του κυττοπλάσματος περιλαμβάνει ορισμένα οργανίδια, που έχουν ειδική λειτουργική αποστολή. Τα οργανίδια αυτά είναι: οι **χλωροπλάστες**, που εμφανίζονται μόνο στα πράσινα φυτά, τα **μποχόνδρια**, τα **ριβοσωμάτια**, τα **λυσοσωμάτια**, τα **σωμάτια Golgi** και ο **πυρήνας**.



Σχ. 3.2α.

Διαγραμματική παράσταση των συστατικών του κυττάρου, όπως φαίνονται στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

**Οι χλωροπλάστες**, σωμάτια με πολύπλοκη εσωτερική οργάνωση έχουν ως αποστολή να δεσμεύουν την ηλιακή ενέργεια και να τη μετατρέπουν σε χημική. Για το λόγο αυτό μόνον τα πράσινα φυτά, εκτός από μερικούς μικροοργανισμούς, είναι σε θέση να δεσμεύουν την ηλιακή ενέργεια και να τη μετατρέπουν σε χημική. Στην αρχή σχηματίζονται σάκχαρα και μετά μεγαλύτερα μόρια, όπως το άμυλο και τα λίπη. Η ενέργεια όμως που είναι αποθηκευμένη στις ενώσεις αυτές δεν χρησιμοποιείται εύκολα από το κύτταρο. Γι' αυτό η ενέργεια αυτή μεταβιβάζεται σε άλλες ενώσεις, οι οποίες μπορούν να την προσφέρουν υπό μορφή συμπυκνωμένη και πιο ευμετάδοτη. Η σπουδαιότερη από τις ενώσεις αυτές είναι η τριφωσφορική α-



Σχ. 3.28.

Ηλεκτρονική φωτομικρογραφία ενός ηπατικού κυττάρου, όπου διακρίνονται τα κυριότερα οργανίδια: π, πλάσμα μεμβράνης; m, μιτοχόνδρια· n, πυρήνας· Nucleo πυρηνίσκος· G.E.R., ενδοπλασματικό δίκτυο.

δενοσίνη, που είναι γνωστή ως ATP. Η μετατροπή αυτή γίνεται στα **μιτοχόνδρια**, που έχουν μέγεθος από 0,2 έως 3 μικρά. Εδώ παράγεται όλη η ενέργεια που είναι απαραίτητη για να πραγματοποιηθούν οι λειτουργίες του κυττάρου. Τα μιτοχόνδρια, που παρουσιάζουν μεγάλη εσωτερική επιφάνεια λόγω των διπλών μεμβρα-

νων με εσωδιπλώσεις, διαθέτουν πολλά ένζυμα για να οξειδώνουν τους υδατάνθρακες, τις πρωτεΐνες και τα λίπη σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Κατά την οξείδωση ελευθερώνεται η βιολογική ενέργεια υπό μορφή ATP. Τα μιτοχόνδρια μετακινούνται στις περιοχές του κυττάρου στις οποίες παρατηρείται έντονη κυτταρική δραστηριότητα. Συμπερασματικά, οι χλωροπλάστες μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε χημική και τα μιτοχόνδρια τη χημική σε μιαν άλλη μορφή πιο εύχρηστη και πιο συμπυκνωμένη.

Τα **ριβοσωμάτια** είναι τα κέντρα συνθέσεως των πρωτεΐνων. Βρίσκονται, όπως είδαμε, στην επιφάνεια των ενδοπλασμικών μεμβρανών. Μπορούν επίσης να απαντηθούν ελεύθερα μέσα στη βασική ουσία του κυτταροπλάσματος. Αποτελούνται από 40% περίπου πρωτεΐνες και 60% ριβονουκλεϊκά οξέα.

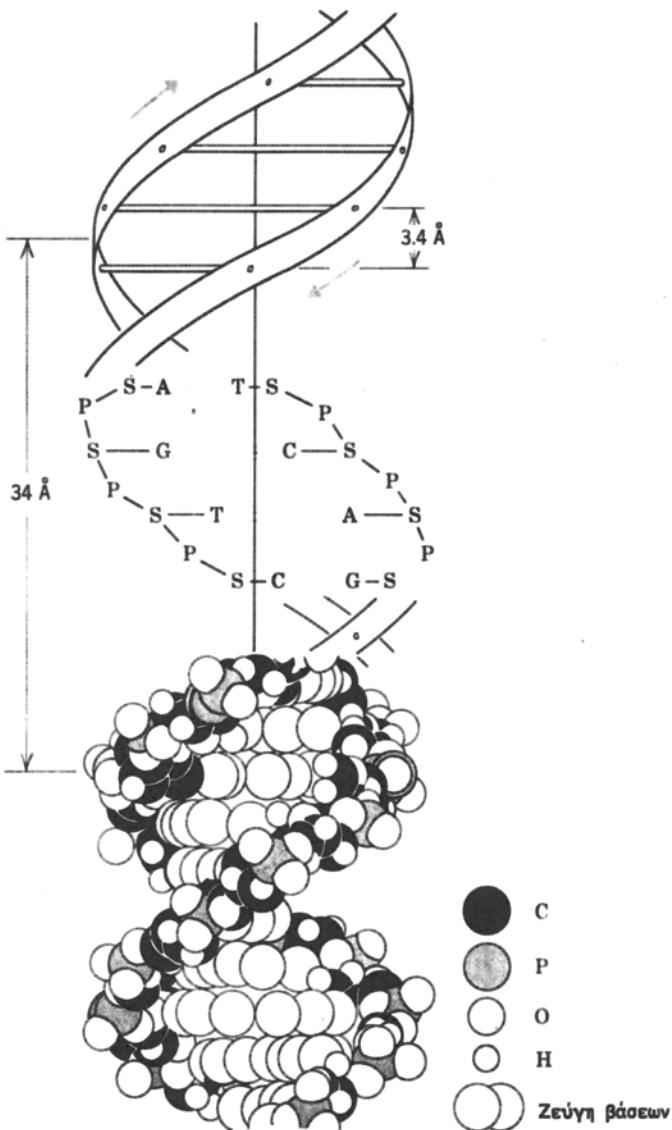
Τα **λυσοσωμάτια** είναι σφαιρικά με πολλά πεψιγόνα ένζυμα. Ο ακριβής λόγος τους δεν έχει ακόμη διαλευκανθεί. Τα **σωμάτια Golgi**, που λέγονται και **λιποχόνδρια**, αποτελούνται από λείες μεμβράνες που επικοινωνούν με τις ενδοπλασμικές μεμβράνες. Ο ρόλος τους δεν έχει εξακριβωθεί πλήρως. Πιστεύεται ότι έχουν να κάνουν με την έκκριση ουσιών.

Τέλος, ο πυρήνας είναι το σπουδαιότερο όργανο του κυττάρου και παρομοιάζεται ως το διοικητικό του κέντρο. Εδώ εδρεύουν τα χρωμοσώματα με τα γονίδια, που ρυθμίζουν όλες τις δραστηριότητες του κυττάρου. Η βασική ουσία του πυρήνα ονομάζεται **πυρηνόπλασμα**. Μέσα σ' αυτό βρίσκεται ένας ή περισσότεροι **πυρηνίσκοι**, καθώς και τα **χρωμοσώματα**. Ο αριθμός των χρωμοσωμάτων είναι ορισμένος για κάθε είδος. Τα κύτταρα του ανθρώπου π.χ. έχουν 46 χρωμοσώματα.

Εάν παρατηρήσουμε με το μικροσκόπιο τον πυρήνα ενός κυττάρου που δεν βρίσκεται στη διαδικασία της διαιρέσεως, μπορούμε να διακρίνομε τον πυρηνίσκο ή τους πυρηνίσκους, αλλά όχι και τα χρωμοσώματα. Η ουσία των χρωμοσωμάτων, δηλαδή η **χρωματίνη**, φαίνεται να συγκροτεί ένα πολύπλοκο δίκτυο. Όταν όμως, ο πυρήνας προετοιμάζεται για διαιρεση, η χρωματίνη διαμορφώνεται σε λεπτά νήματα τα οποία στη συνέχεια συμπυκνώνονται σε ευδιάκριτα ραβδόμορφα σώματα, τα χρωμοσώματα.

### 3.3 Το γενετικό υλικό.

Τα **χρωμοσώματα** στους ανώτερους οργανισμούς αποτελούνται από νουκλεο-πρωτεΐνες. Οι πρωτεΐνες είναι πρωταμίνες ή ιστόνες, τα δε νουκλεϊκά οξέα είναι ριβονουκλεϊκά (RNA) και δεοξυριβονουκλεϊκά (DNA). Το DNA αποτελεί τη χημική ουσία των γονιδίων. Το μόριο του DNA είναι μακρύ, πολυμερές χωρίς διακλαδώσεις. Παρομοιάζεται με δύο ελικοειδή κομπολόγια, που το ένα συμπληρώνει το άλλο και που ενώνονται στο ύψος κάθε χάνδρας (σχ. 3.3). Με χάνδρα παριστάνεται το νουκλεοτίδιο, το οποίο αποτελείται από φωσφορικό οξύ, δεοξυριβόζη και μια αζωτούχο βάση. Η βάση είναι τεσσάρων ειδών, δηλαδή θυμίνη, αδενίνη, κυτοσίνη και γουανίνη. Έτσι και τα νουκλεοτίδια είναι τεσσάρων ειδών, δηλαδή: το δεοξυθυμιδιλικό (Θ ή διεθνώς T), το το δεοξυαδενιλικό (A), το δεοξυκυτοσιλικό (Κ ή C) και το δεοξυγουανιλικό (Γ ή G). Ο τρόπος διαδοχής των τεσσάρων νουκλεοτίδιων στην κατακόρυφη σύνδεση ποικίλει από το ένα είδος DNA σε άλλο. Για την οριζόντια σύνδεση ισχύει για όλα τα DNA η εξής αρχή: το νουκλεοτίδιο A ενώνεται



Το πρότυπο των Watson και Crick για το DNA. Άνω η σχηματική παράσταση της ελικοειδούς δομής του DNA· στη μέση διακρίνεται η διαδοχή των βάσεων και των νουκλεοτίδων· κάτω η δομή του DNA στο χώρο. Τα σύμβολα είναι αυτά που χρησιμοποιούνται στη χημεία, καθώς και εκείνα που αναφέρονται στο κείμενο για τα νουκλεοτίδια (S = σάκχαρο, P = φωσφορικό οξύ).

πάντοτε με το Θ (T) και το Γ (G) με το Κ (C). Αφού όλα τα γονίδια αποτελούνται από DNA, οι διαφορές από γονίδιο σε γονίδιο συνίσταται στο διαφορετικό τρόπο διαδοχής των τεσσάρων νουκλεοτίδων στην κατακόρυφη σύνδεση. Ο τρόπος διαδο-

χής των νουκλεοτιδίων συνεπώς εξασφαλίζει στα γονίδια την ικανότητα να μεταβι- βάζουν διαφορετικές εντολές και να ρυθμίζουν διαφορετικές βιοχημικές λειτουρ- γίες. Οι εντολές αυτές μεταβιβάζονται με το σχηματισμό του DNA, που αποτελεί το δεύτερο συστατικό των χρωμοσωμάτων.

### 3.4 Οι βασικές λειτουργίες του γενετικού υλικού.

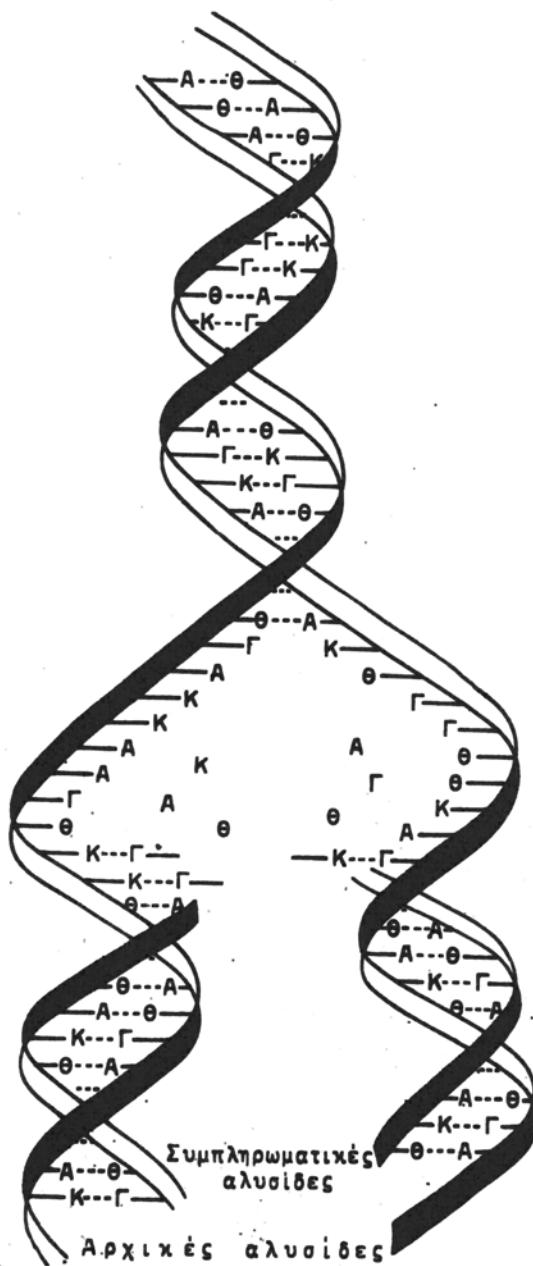
Mία από τις βασικές λειτουργίες του DNA είναι η συνέχιση της ζωής, που εξασφαλίζεται με τον πιστό διπλασιασμό του. Αυτός επιτυγχάνεται με τον εξής τρόπο (σχ. 3.4). Η διπλή αλυσίδα του DNA χωρίζεται στην αρχή σε δύο απλές. Σε κάθε μιαν απ' αυτές σχηματίζεται μια νέα συμπληρωματική αλυσίδα από δεοξυριβονου- κλεοτίδια που υπάρχουν στο περιβάλλον. Το ζευγάρωμα των νουκλεοτιδίων κατά το σχηματισμό των συμπληρωματικών αλυσίδων δε γίνεται τυχαία, αλλά σύμφωνα με την αρχή που έχει εκτεθεί παραπάνω, δηλαδή η γουανίνη ενώνεται πάντα με την κυτοσίνη και η αδενίνη με τη θυμίνη. Έτσι, οι δύο νεοσχηματιζόμενες διπλές αλυσίδες είναι πιστά αντίγραφα του αρχικού DNA. Τα δεδομένα αυτά από τη μο- ριακή γενετική μας βοηθούν να κατανοήσουμε τον τρόπο με τον οποίο διπλασιάζον- ται τα γονίδια. Όταν δηλαδή το κύτταρο ετοιμάζεται να διαιρεθεί, προηγείται δι- πλασιασμός του DNA και κάθε γονίδιο δημιουργεί ένα πιστό αντίγραφο του εαυ- τού του.

Μια άλλη βασική λειτουργία του DNA είναι η **βιοσύνθεση** των πρωτεΐνων, στην οποία σημαντική σημασία έχουν τα εξής τρία είδη RNA: το εντολοδόχο RNA, το μεταγωγό RNA και ριβοσωμικό RNA. Το DNA χρησιμεύει σαν καλούπι για τη δη- μιουργία του εντολοδόχου RNA, το οποίο κατόπιν μεταφέρεται στα ριβοσωμάτια, όπου χρησιμεύει σαν νέο καλούπι για τη σύνθεση των πρωτεΐνων. Τα αμινοξέα, που είναι απαραίτητα για τη σύνθεση των πρωτεΐνων, μεταφέρονται στα ριβοσω- μάτια με το μεταγωγό RNA. Το μεταγωγό RNA είναι εξειδικευμένο και μεταφέρει ένα συγκεκριμένο αμινοξύ, δηλαδή κάθε αμινοξύ έχει και το δικό του μεταγωγό RNA. Μεταφερόμενο το αμινοξύ στα ριβοσωμάτια παραδίνεται στο εντολοδόχο RNA, που χρησιμεύει σαν καλούπι στη θέση που καθορίζεται από την ειδική σειρά των βάσεων. Τα αμινοξέα τέλος ενώνονται με πεπτιδικούς δεσμούς και σχηματί- ζουν το μόριο της πρωτεΐνης, οπότε και ελευθερώνονται από τα ριβοσωμάτια. Ο ρόλος του ριβοσωμικού RNA παραμένει ακόμη άγνωστος.

Από την περιγραφή του κυττάρου καταλήγομε στο γενικό συμπέρασμα ότι η φυσική βάση της κληρονομικότητας είναι τα γονίδια που αποτελούν το γενετικό υ- λικό των οργανισμών και ότι τα γονίδια συντίθενται από νουκλεϊκά οξέα και μάλι- στα DNA. Πολλά μαζύ γονίδια συγκροτούν μεγαλύτερες κληρονομικές μονάδες, τα χρωμοσώματα, που βρίσκονται στον πυρήνα του κυττάρου. Οι γενετικές πληροφο- ρίες είναι αποθηκευμένες στο DNA των χρωμοσωμάτων, από όπου μεταβιβάζον- ται, υπό μορφή εντολοδόχου RNA και κατόπιν ενζύμων, στα διάφορα όργανα του κυττάρου, για να κατευθύνουν τις βιολογικές λειτουργίες.

### 3.5 Η διαίρεση του κυττάρου.

Με τη διαίρεση του κυττάρου εξασφαλίζεται η αναπαραγωγή και ανάπτυξη των οργανισμών. Κάθε νέο κύτταρο που προκύπτει είναι πλήρες παρά το μικρό του μέ-



Σχ. 3.4.

γεθος. Με την ταχεία όμως ανάπτυξη του αποκτά σύντομα το μέγεθος του αρχικού κυττάρου.

Η ανάπτυξη στους ανώτερους οργανισμούς πραγματοποιείται με την κυτταροδιαίρεση, την αύξηση του μεγέθους των νέων κυττάρων και την διαφοροποίησή τους. Ο ανθρώπινος οργανισμός π.χ. έχει την αφετηρία σ' ένα και μόνο γονιμοποιημένο κύτταρο, το **ζυγώτη**, ο οποίος δίνει το ώριμο άτομο και έχει περισσότερα από ένα εκατομμύριο δισεκατομμυρίων κυττάρων. Η κυτταροδιαίρεση είναι βασική λειτουργία στη διαδικασία αυξήσεως όλων σχεδόν των ανωτέρων οργανισμών.

Ο μηχανισμός, με τον οποίο διαιρούνται τα κύτταρα, έχει διαλευκανθεί κατά το τέλος του 19ου αιώνα κυρίως από τον Walther Flemming (1843 - 1915) στα ζωικά κύτταρα και από τον Edward Strasburger (1844 - 1912) στα φυτικά κύτταρα.

### a) Η μίτωση.

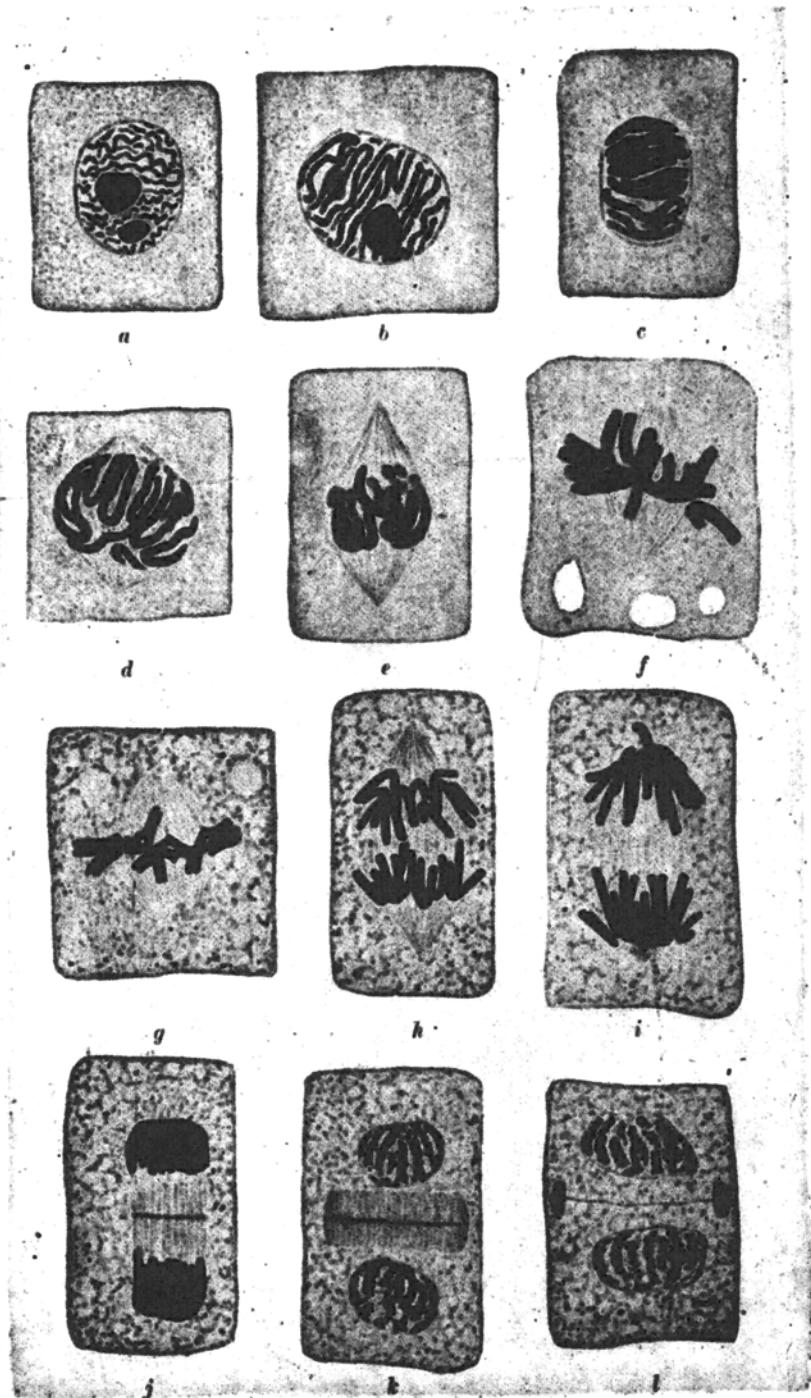
Μίτωση είναι η κυτταροδιαίρεση που εξασφαλίζει τη δημιουργία δύο ομοίων αδελφικών κυττάρων, διατηρώντας τη γενετική σταθερότητα με τον πιστό διπλασιασμό του DNA. Γιαυτό, το βασικότερο μέρος της κυτταροδιαίρεσης είναι ο διπλασιασμός του DNA. Η μίτωση πραγματοποιείται σε διάφορα στάδια. Τα στάδια αυτά είναι: η **πρόφαση**, η **μετάφαση**, η **άναφαση** και η **τελόφαση**. Το ενδιάμεσο στάδιο που παρεμβάλλεται μεταξύ δύο διαιρέσεων λέγεται **μεσόφαση**. Κατά τη μεσόφαση διακρίνεται ο πυρήνας, ο πυρηνίσκος και η πυρηνική μεμβράνη, ενώ τα χρωμοσώματα συγκρατούν ένα οργανωμένο σύνολο. Πριν αρχίσει το κύτταρο να διαιρείται, διπλασιάζεται το DNA και μετά σχηματίζονται τα χρωμοσώματα, τα οποία στην αρχή είναι λεπτά και μακριά, για να γίνουν μετά παχύτερα και βραχύτερα. Προσδευτικά εξαφανίζονται η πυρηνική μεμβράνη και ο πυρηνίσκος, ενώ δημιουργείται η πυρηνική άτρακτος. Το στάδιο ως εδώ αποτελεί την **πρόφαση**. Στη συνέχεια τα χρωμοσώματα διατάσσονται στην ισημερινή πλάκα με τα κεντρομερή πάνω στην πλάκα και τους βραχίονες προς τα έξω. Το στάδιο αυτό καλείται **μετάφαση**. Στη φάση αυτή το κάθε χρωμόσωμα αποτελείται από δύο αδελφικά χρωματίδια. Τα χρωματίδια αυτά αποχωρίζονται και οδεύουν προς τους δύο πόλους με τη βοήθεια των νημάτων της ατράκτου. Το στάδιο αυτό καλείται **ανάφαση**. Την ανάφαση ακολουθεί η **τελόφαση**, κατά την οποία τα χρωμοσώματα γίνονται δυσδιάκριτα, επανεμφανίζεται η πυρηνική μεμβράνη και δημιουργείται η διαχωριστική μεμβράνη που χωρίζει τα δύο νέα και όμοια θυγατρικά κύτταρα. Το σχήμα 3.5α παρουσιάζει τα διάφορα στάδια της μιτώσεως σε κύτταρο κεμμυδιού.

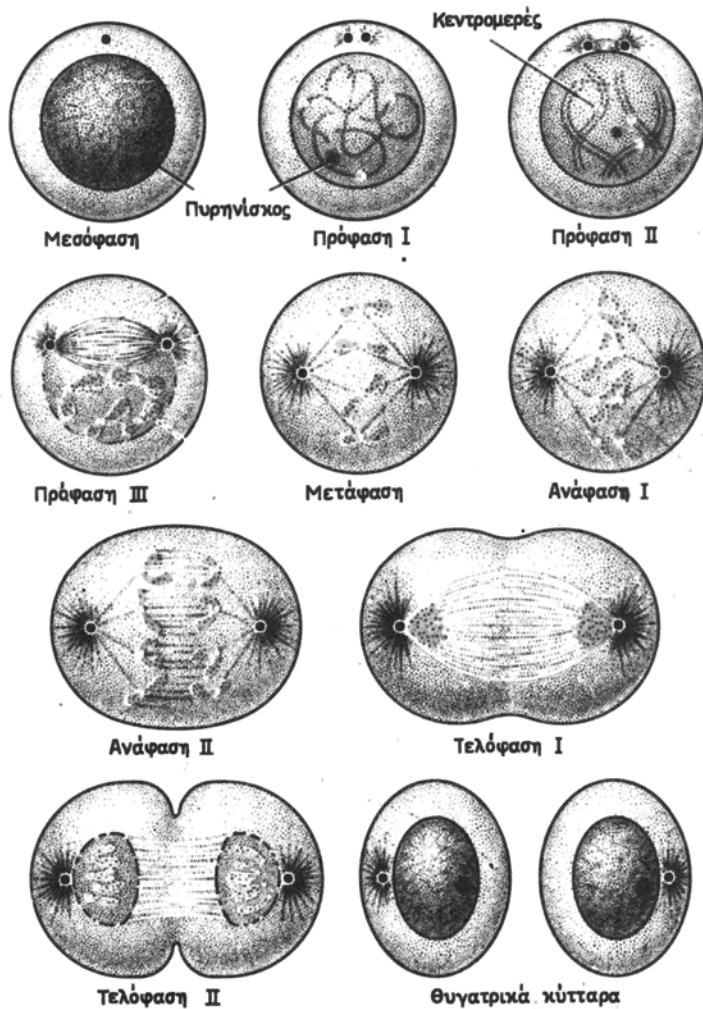
Η μίτωση στα ζωικά κύτταρα είναι περίπου η ίδια με τη μίτωση τα φυτικά κύτταρα, όπως περιγράφηκε δηλαδή παραπάνω, με δύο όμως βασικές διαφορές: κατά το στάδιο της μεσοφάσεως εμφανίζονται έξω από τόν πυρήνα δύο οργανίδια που είναι γνωστά ως **κεντροσωμάτια**. Αυτά μεταναστεύουν στους δύο πόλους και συμμετέχουν στο σχηματισμό της ατράκτου. Η άλλη διαφορά έγκειται στο ότι, στην ισημερινή πλάκα των ζωικών κυττάρων δημιουργείται, αντί για τη μεμβράνη, μια

#### Σχ. 3.5α.

Στάδια μιτώσεως σε κύτταρο του ακροριζίου ενός κρεμμυδιού. a, πυρήνας αναπαύδομενος; b - e, πρόφαση· τα στρογγυλά μαύρα σωματίδια στο a και b είναι πυρηνίσκοι· f, g, μετάφαση· h, i, ανάφαση· j - l, σχηματισμός δύο πυρήνων και κυττάρων.





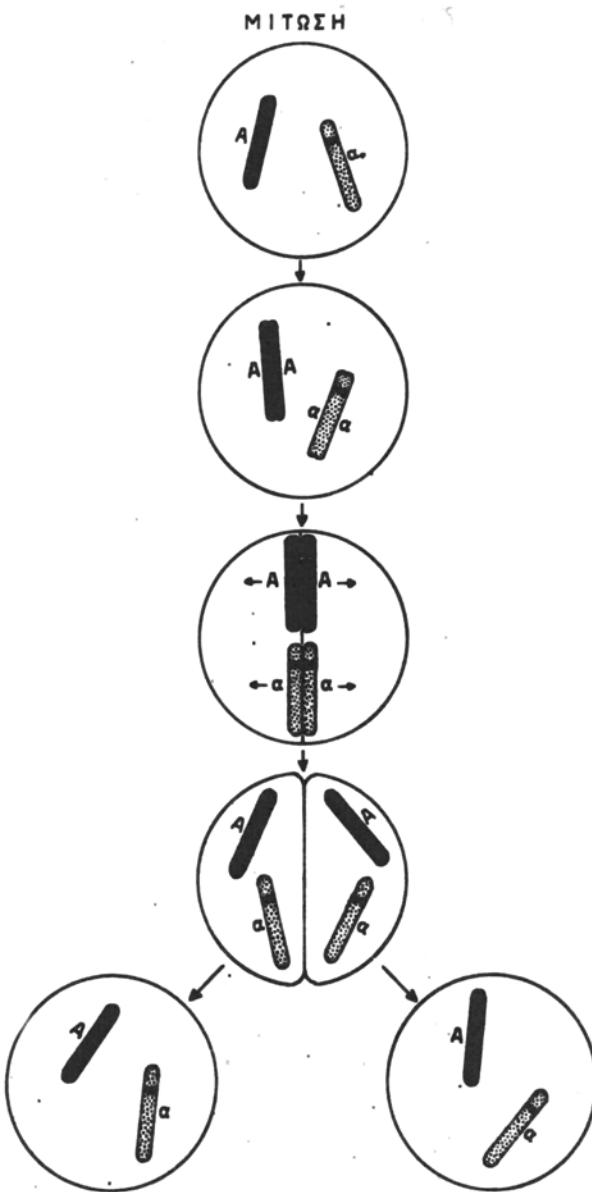


Σχ. 3.5β.

Διαγραμματική εμφάνιση της μιτώσεως σε ζωικό κύτταρο με 4 χρωμοσώματα.

περίσφιγξη που προοδευτικά αποχωρίζει τα δύο αδελφικά κύτταρα. Στο σχήμα 3.5β εμφανίζεται σχηματικά η μίτωση ενός ζωικού κυττάρου με 4 χρωμοσώματα.

Από την περιγραφή της μιτώσεως καθίσταται φανερό ότι το είδος αυτό της κυτταροδιαιρέσεως εξασφαλίζει την πιστή διαιώνιση των συνδυασμών των γονιδίων και κατά συνέπεια την πλήρη γενετική ομοιομορφία και σταθερότητα. Το γε-



Σχ. 3.5γ.

Διαγραμματική παρουσίαση της πορείας ενός ζεύγους γονιδίων σ' ένα ζεύγος χρωμοσωμάτων κατά τη μιτώση. Με τον πιστό διπλασισμό του DNA εξασφαλίζεται ο πιστός διπλασισμός των γονιδίων και μ' αυτόν η γενετική σταθερότητα.

γονός γίνεται περισσότερο κατανοητό, αν παρακολουθήσουμε διαγραμματικά την πορεία ενός ζεύγους χρωμοσωμάτων με ένα επίσης ζεύγος γονιδίων κατά τη διαδικασία της μιτώσεως (σχ. 3.5γ.).

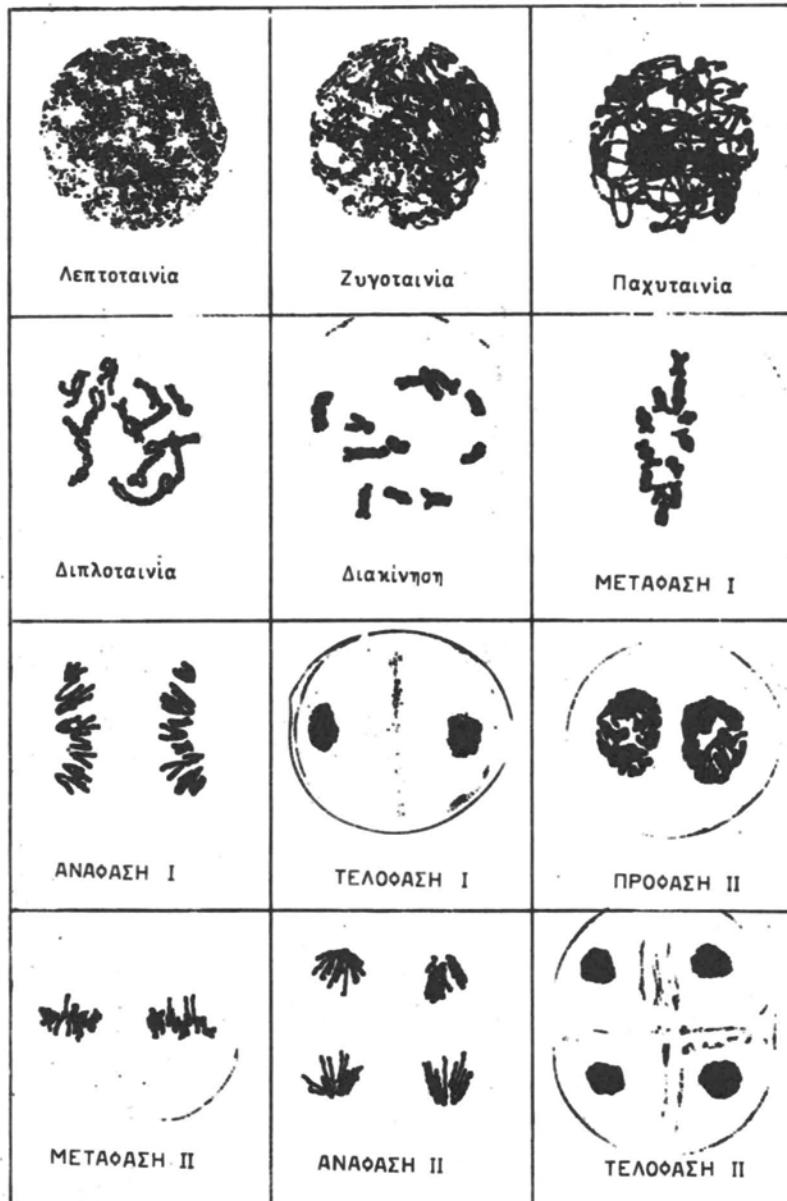
## **β) Μείωση (δημιουργία γαμετών).**

Όλα τα κύτταρα ουσιαστικά μπορούν να αυτοαναπαραχθούν. Τα γαμετικά όμως κύτταρα είναι προικισμένα με την ικανότητα να δίνουν γένεση σε ολόκληρο τον οργανισμό. Οι γαμέτες δημιουργούνται με μια διαδικασία που λέγεται **γαμετογένεση**. Κατά τη γαμετογένεση μειώνεται ο αριθμός των χρωμοσωμάτων στο μισό, γιαυτό το είδος της κυτταροδιαιρέσεως που οδηγεί στο σχηματισμό των γαμετών καλείται **μείωση**. Η μείωση περιλαμβάνει δύο διαδοχικές πυρηνοδιαιρέσεις, κατά τις οποίες από ένα διπλοειδές κύτταρο σχηματίζονται τέσσερα **απλοειδή** (σχ. 3.5δ).

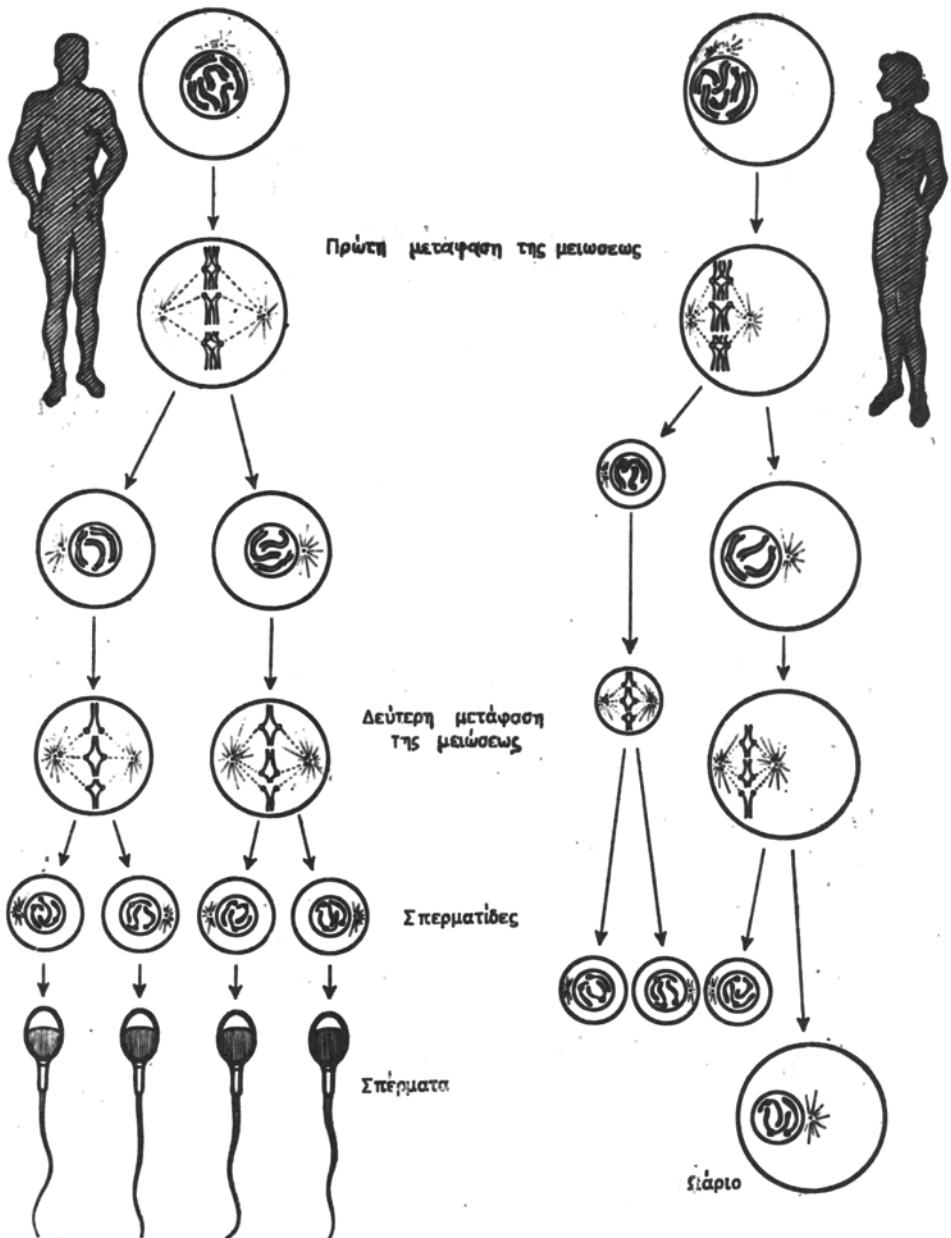
**Πρώτη πυρηνοδιαιρέση:** αρχίζει με την πρόφαση, η οποία συντελείται σε διάφορα στάδια, δηλαδή: τη **λεπτοτανία**, **ζυγοτανία**, **παχυτανία**, **διπλοτανία** και **διακίνηση**. Κατά το στάδιο της **λεπτοτανίας** τα χρωμοσώματα μοιάζουν με λεπτά και μακριά νήματα που είναι σκορπισμένα σ' όλο τον πυρήνα. Στο στάδιο της **ζυγοτανίας** γίνεται η σύνταξη των ομολόγων χρωμοσωμάτων σε ζεύγη. Με τη συμπλήρωση της συνάψεως, το κάθε χρωμόσωμα φαίνεται διηρημένο σε δύο αδελφικά χρωματίδια, οπότε το ζεύγος των ομολόγων χρωμοσωμάτων περιλαμβάνει 4 χρωματίδια (**παχυτανία**). Στη συνέχεια τα ομόλογα αρχίζουν να αποχωρίζονται (**διπλοτανία**) και να μετακινούνται προς την ισημερινή πλάκα (**διακίνηση**). Αφού έτσι συμπληρώθηκε η πρόφαση, ακολουθεί η μετάφαση, κατά την οποία τα ζεύγη των ομολόγων χρωμοσωμάτων που συγκροτούν τετράδες, διατάσσονται στην ισημερινή πλάκα έτσι, ώστε τα χρωματίδια ανά δύο να είναι στραμμένα προς τους δύο πόλους. Ο προσανατολισμός αυτός είναι τυχαίος για το κάθε ζεύγος και συντελεί στον ανασυνδυασμό των γονιδίων. Ακολουθεί ο αποχωρισμός των ομολόγων που οδεύουν σε αντίθετους πόλους (ανάφαση). Επειδή κάθε ομόλογο αποτελείται από δύο χρωματίδια, στον κάθε πόλο φθάνουν τα μισά χρωμοσώματα. Τέλος στο επόμενο στάδιο, που είναι η τελόφαση, τα χρωμοσώματα δεν σχηματίζουν συνήθως τον τυπικό πυρήνα, αλλά αμέσως σχεδόν μετακινούνται για να σχηματίσουν νέα ισημερινή πλάκα, που είναι κάθετη προς την πρώτη. Δεν γίνεται δηλαδή κυτταροδιαιρέση, αλλά αρχίζει η δεύτερη πυρηνοδιαιρέση. Η πρώτη πυρηνοδιαιρέση καλείται **αναγωγική**, επειδή ο αριθμός των χρωμοσωμάτων ανάγεται στο μισό.

**Δεύτερη πυρηνοδιαιρέση:** περιλαμβάνει την πρόφαση, τη μετάφαση, την ανάφαση και την τελόφαση, που είναι πολύ όμοια προς τα αντίστοιχα στάδια της τυπικής μιτώσεως. Ο αριθμός των χρωμοσωμάτων μετά τη δεύτερη πυρηνοδιαιρέση παραμένει πάλι μισός, γιαυτό η διαιρέση αυτή καλείται **εξισωτική**. Τελικά σχηματίζονται τέσσερα απλοειδή κύτταρα από ένα αρχικό διπλοειδές. Στα αρσενικά ζώα και τον άνδρα, και τα τέσσερα απλοειδή κύτταρα εξελίσσονται σε σπέρματα, ενώ στα θηλυκά το ένα μόνο εξελίσσεται σε ωάριο και τα υπόλοιπα εκφυλίζονται (σχ. 3.5ε). Το ίδιο συμβαίνει και στα φυτά. Στους ανθήρες δηλαδή όλα τα προϊόντα της μειώσεως εξελίσσονται σε γυρεόκοκκους, ενώ στη σπερμοβλάση το ένα μόνο εξελίσσεται σε εμβρυόστακο και τα υπόλοιπα εκφυλίζονται.

Η συμπεριφορά ενός ζεύγους χρωμοσωμάτων με ένα ζεύγος γονιδίων κατά τη διεργασία της μειώσεως εμφανίζεται διαγραμματικά στο σχήμα 3.5στ.

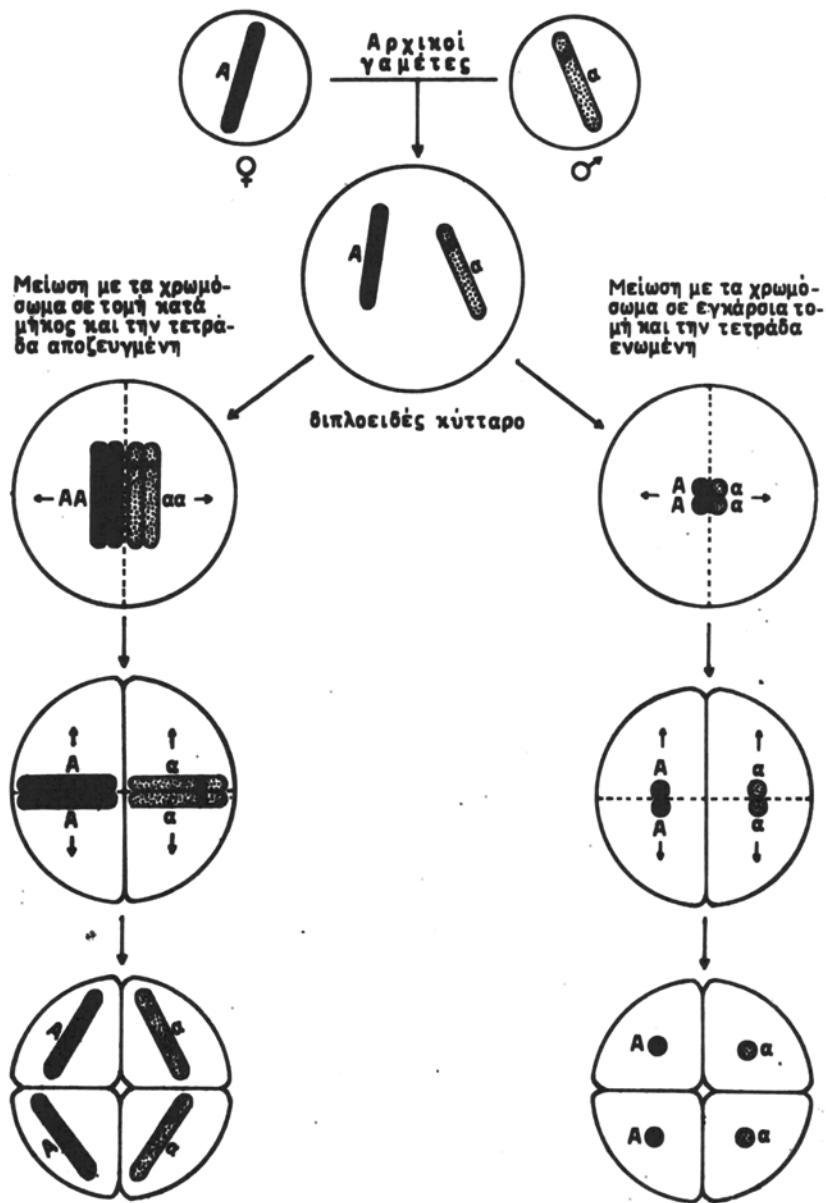


Σχ. 3.5δ.  
Τα διάφορα στάδια της μειώσεως.



Σχ. 3.5ε.

Σχηματισμός σπερματοζωαρίων (σπερματογένεση) και ωαρίων (ωογένεση) στα ζώα και στον ανθρώπο.



### Σχ. 3.5στ.

Η γαμετογένεση γίνεται με τη μείωση, κατά την οποία ένα ζεύγος γονιδίων αποχωρίζεται και το ένα γονίδιο περιλαμβάνεται στους μισούς γαμέτες, το δε άλλο στους άλλους μισούς. Από το αρχικό διπλοειδές κύτταρο έχουν παραχθεί τέσσερις απλοειδείς γαμέτες.

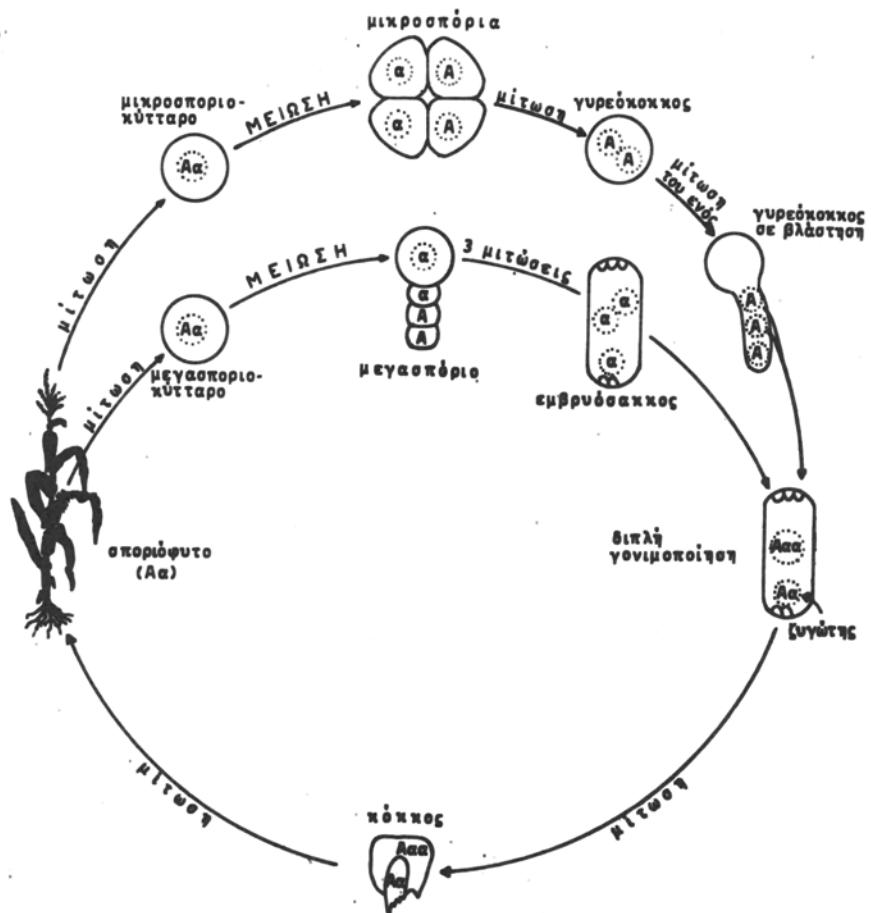
### 3.6 Η γονιμοποίηση.

Είδαμε ότι κατά τον σχηματισμό των γαμετών ο αριθμός των χρωμοσωμάτων μειώνεται στο μισό με τη μείωση. Η αναγκαιότητα αυτή γίνεται κατανοητή όταν αναλογισθούμε ότι κατά τη γονιμοποίηση αθροίζονται τα χρωμοσώματα των δύο γαμετών. Εάν η άθροιση αυτή των χρωμοσωμάτων δεν αντισταθμίζοταν από τη μείωση του αριθμού τους στο μισό κατά τη δημιουργία των γαμετών, ο αριθμός των χρωμοσωμάτων θα διπλασιαζόταν σε κάθε γενιά.

#### *a) Η γονιμοποίηση και ο βιολογικός κύκλος στα φυτά.*

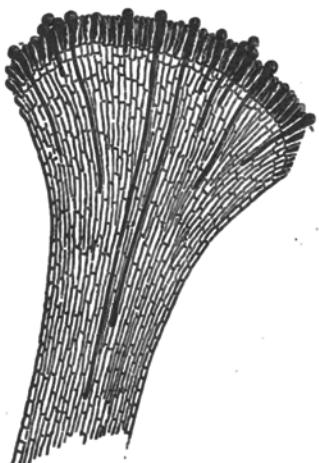
Για να κατανοήσουμε καλύτερα τα προηγούμενα, θα παρακολουθήσουμε τη δράση της μιτώσεως, της μειώσεως και της γονιμοποίησεως στον κύκλο αναπαραγωγής του καλαμποκιού. Το φυτό του καλαμποκιού, όπως το βλέπομε στον αγρό, ονομάζεται **σποριόφυτο**. Στην κορυφή του έχει τη φούντα, όπου υπάρχουν τα αρσενικά λουλούδια. Στο στέλεχος φέρει ένα ή περισσότερους σπάδικες στους οποίους βρίσκονται τα θηλυκά λουλούδια. Το φυτό του καλαμποκιού δηλαδή είναι μόνοικο δικλινές. Στους ανθήρες των αρσενικών λουλουδιών ορισμένα διπλοειδή κύτταρα, που καλούνται μικροσποριοκύτταρα, δημιουργούν μετά από μείωση τέσσερα απλοειδή μικροσπόρια. Εάν παρακολουθήσουμε ένα ζεύγος γονιδίων, έστω το A, a, τότε τα μικροσποριοκύτταρα, ως διπλοειδή, θα έχουν και τα δύο γονίδια του ζεύγους, δηλαδή Aa, ενώ από τα απλοειδή μικροσπόρια τα μισά θα έχουν το γονίδιο A (γόνος ή γονύλλιο) και τα άλλα μισά το a. Η μείωση δηλαδή στα μικροσποριοκύτταρα έχει ελαττώσει τον αριθμό των χρωμοσωμάτων στο μισό. Στη συνέχεια ο απλοειδής πυρήνας του μικροσπορίου υφίσταται μίτωση, οπότε δημιουργούνται δύο όμοιοι γενετικώς πυρήνες, δηλαδή ή A, A ή a, a. Ο ένας από τους πυρήνες είναι βλαστικός και χρησιμεύει μόνο για τη βλάστηση του γυρεοκόκκου. Ο άλλος πυρήνας είναι γεννητικός και είτε παραμένει αδιαίρετος, οπότε ο γυρεόκοκκος είναι διπύρηνος, είτε διαιρέται μιτωτικώς, για να δώσει δύο σπερματικούς πυρήνες, οπότε ο γυρεόκοκκος γίνεται τριπύρηνος. Οι τρεις πυρήνες, προφανώς, είναι γενετικώς όμοιοι, αφού προήλθαν από έναν πυρήνα με μίτωση (σχ. 3.6a).

Ο σπάδικας του φυτού, δηλαδή η θηλυκή ταξιανθία, φέρει πολλούς υπέρους: ο καθένας περιλαμβάνει την ωθήκη, το στύλο και το στύγμα. Τα μετάξινα νήματα στον σπάδικα είναι οι στύλοι. Στην ωθήκη ορισμένα διπλοειδή κύτταρα (Aa), που ονομάζονται μεγασποριοκύτταρα, δίνουν με μείωση τέσσερα απλοειδή μεγασπόρια, από τα οποία τα δύο θα έχουν το γονίδιο A και τα άλλα δύο το a. Και εδώ μειώθηκε ο αριθμός των χρωμοσωμάτων και συνεπώς και των γονιδίων στο μισό. Από τα τέσσερα μεγασπόρια, μόνο το ένα θα συνεχίσει την εξέλιξη, ενώ τα άλλα θα εκφυλισθούν. Μισές πιθανότητες υπάρχουν να εξελιχθεί το μεγασπόριο με το A γονίδιο και άλλες τόσες το άλλο με το γονίδιο a. Ο πυρήνας του μεγασπορίου, που δεν εκφυλίζεται, διαιρέται με τρεις αλλεπάλληλες μιτώσεις και δημιουργούνται έτσι οκτώ απλοειδείς πυρήνες που συγκροτούν όλοι μαζί τον εμβρυόδσακκο. Από τους οκτώ πυρήνες, ο ένας αποτελεί το ωδ (στην άκρη του εμβρυόδσακκου), δύο που βρίσκονται στη μέση αποτελούν τους πολικούς πυρήνες, ενώ οι υπόλοιποι εκφυλίζονται.



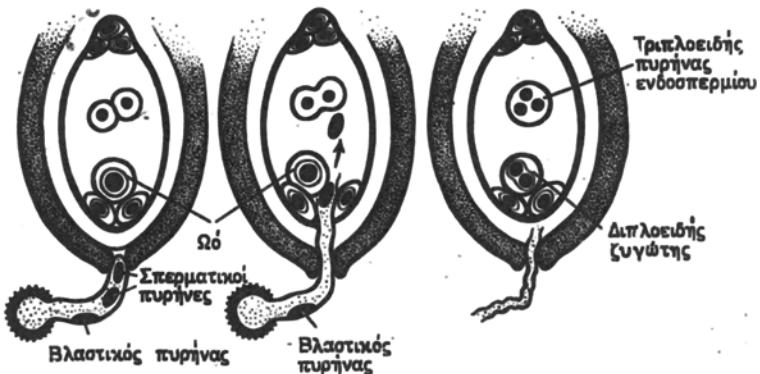
Σχ. 3.6α.

Ο κύκλος αναπαραγωγής του καλαμποκιού, όπου φαίνεται και η πορεία ενός ζεύγους γονιδίων.



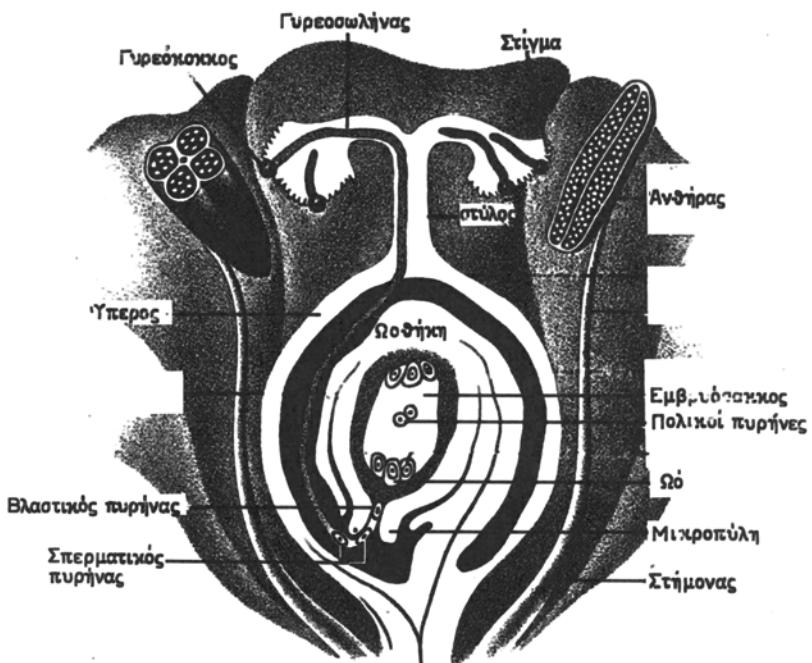
Σχ. 3.6β.

Κατά μήκος τομή του επάνω τμήματος στύλου ενός άνθους. Φαίνονται οι γυρεόκοκκοι που βλάστησαν και έδωσαν γυρεοσωλήνες διαφόρου μήκους.



Σχ. 3.8γ.

Διάγραμμα γονιμοποίησεως στα φυτά. Ο ένας σπερματικός πυρήνας γονιμοποιεί το ωάριο, ενώ ο άλλος τους κεντρικούς πυρήνες.



Σχ. 3.8δ.

Διαγραμματική κατά μήκος τομή ενός πλήρους άνθους κατά το χρόνο της γονιμοποίησεως.

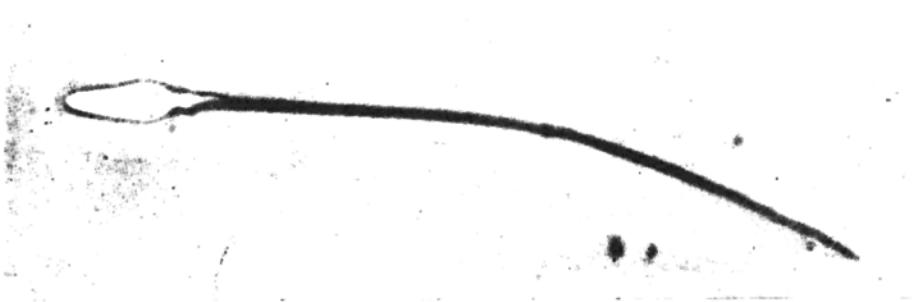
'Όταν τώρα ο ώριμος γυρεόκοκκος πέσει πάνω σ' ένα στίγμα, βλαστάνει δίνον τας μια προβολή που διασχίζει το στύλο για να φθάσει στον εμβρυόσπαστο (σχ. 3.8β). Στο γυρεοσωλήνα προηγείται ο βλαστικός πυρήνας και έπονται οι δύο γενετικοί ή σπερματικοί πυρήνες. Ο ένας απ' αυτούς ενώνεται με το ωό για να σχηματίσει το ζυγώτη, ενώ ο άλλος σπερματικός πυρήνας ενώνεται με τους δύο πολικούς πυρήνες του εμβρυόσπαστου, για να σχηματίσει το τριπλοειδές ενδοσπέρμιο

(σχ. 3.6γ). Στο σχήμα 3.6δ εξάλλου φαίνεται ένα ολόκληρο άνθος με όλα τα μέλη του κατά το χρόνο της γονιμοποίησεως. Ο ζυγώτης, στη συνέχεια, υφίσταται αλεπάλληλες μιτωτικές διαιρέσεις και εξελίσσεται σε έμβρυο.

### **β) Η γονιμοποίηση και ο βιολογικός κύκλος στα ζώα και τον άνθρωπο.**

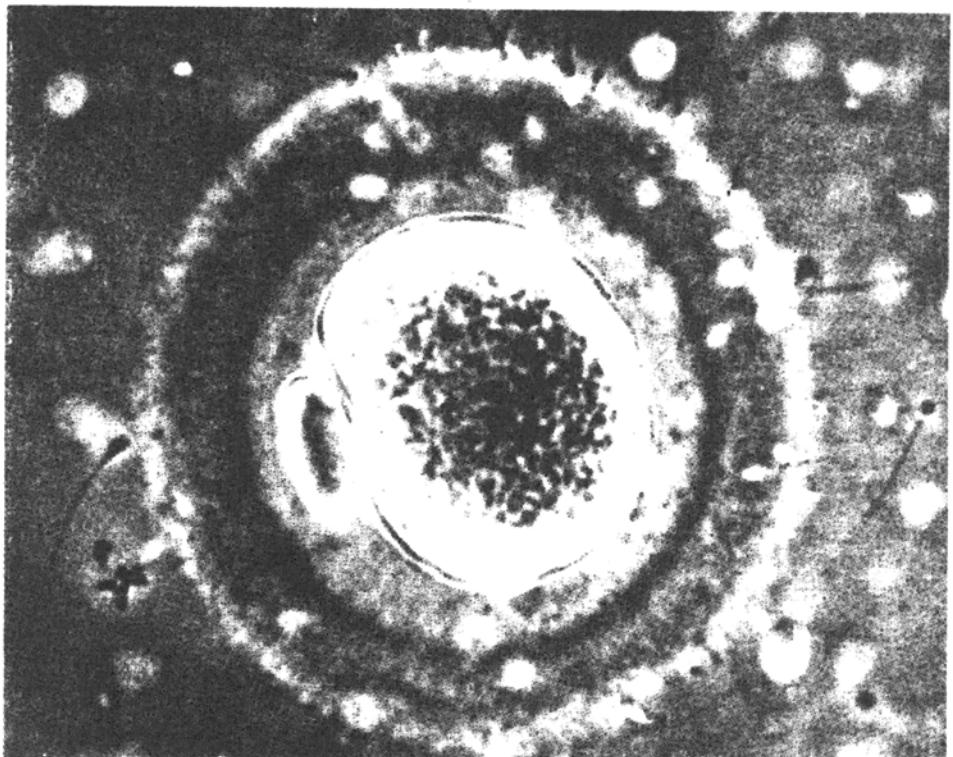
Στο σχήμα 3.5ε εξηγείται ο σχηματισμός των γαμετών, δηλαδή των σπερματοζωαρίων στα αρσενικά και των ωαρίων στα θηλυκά. Οι σπερματοχύτες, που βρίσκονται στα αρσενικά γεννητικά όργανα, δίνουν με μείωση τέσσερα σπερματίδια με το μισό αριθμό χρωμοσωμάτων. Τα σπερματίδια μετασχηματίζονται σε σπερματοζωάρια (σχ. 3.6ε).

Στα θηλυκά γεννητικά όργανα, οι ωοχύτες δίνουν με μείωση ένα μόνο ωάριο, κατά αντιστοιχία προς τα φυτά, με μισό επίσης αριθμό χρωμοσωμάτων. Το ωάριο περιέχει και κάποια ποσότητα θρεπτικών ουσιών, η οποία είναι πολύ μεγάλη στα πτηνά, όπου είναι απαραίτητη για την εμβρυακή ανάπτυξη. Το ωάριο του ανθρώπου έχει διάμετρο που κυμαίνεται από 0,13 ως 0,14 του χιλιοστομέτρου, γιατί το έμβρυο τρέφεται από τη μητέρα. Το σχήμα 3.6στ δείχνει την γονιμοποίηση στον άνθρωπο, ενώ το σχήμα 3.6ζ δείχνει την πορεία ενός ζεύγους αλληλομόρφων γονιδίων στο βιολογικό κύκλο ενός ζώου.



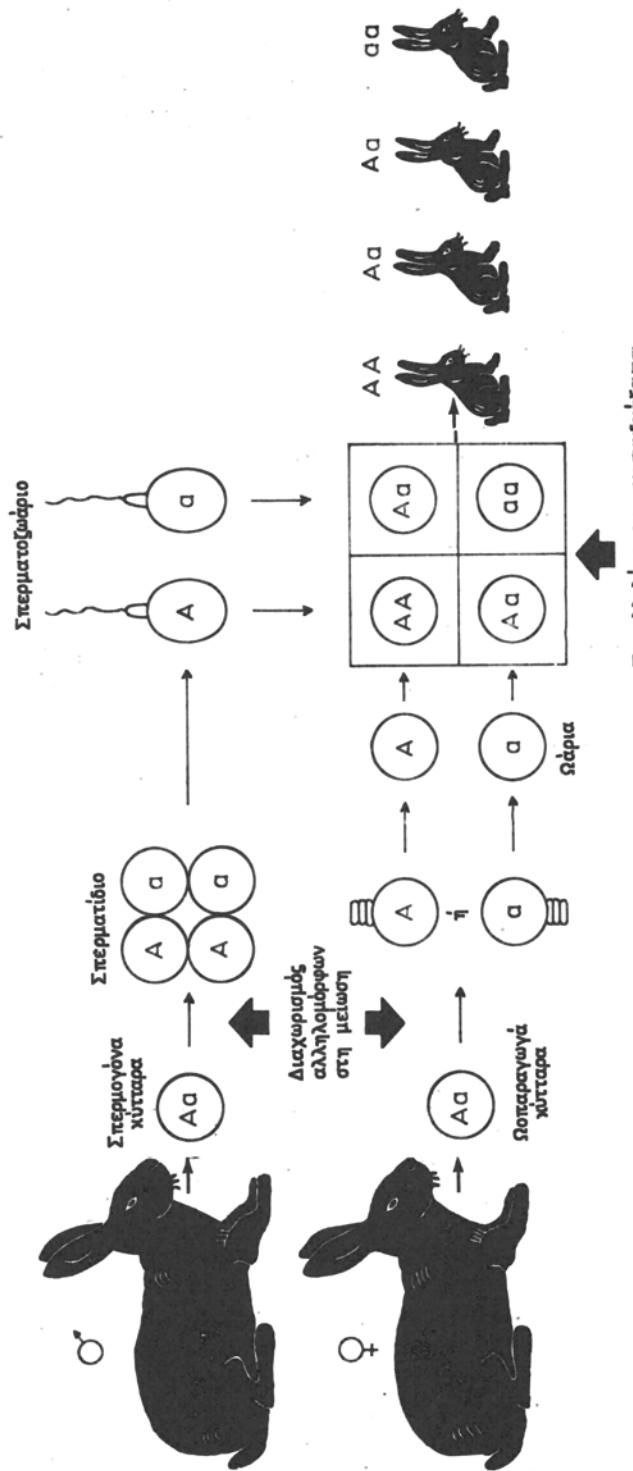
**Σχ. 3.6ε.**

Φωτογραφία ζωντανού ανθρώπινου σπέρματος σε μεγέθυνση 1 προς 2500. Η κεφαλή του σπέρματος περιέχει την κληρονομική ουσία από τον πατέρα, και έχει φωτογραφηθεί από πάνω (α) και από τα πλάγια (β).



**Σχ. 3.θατ.**

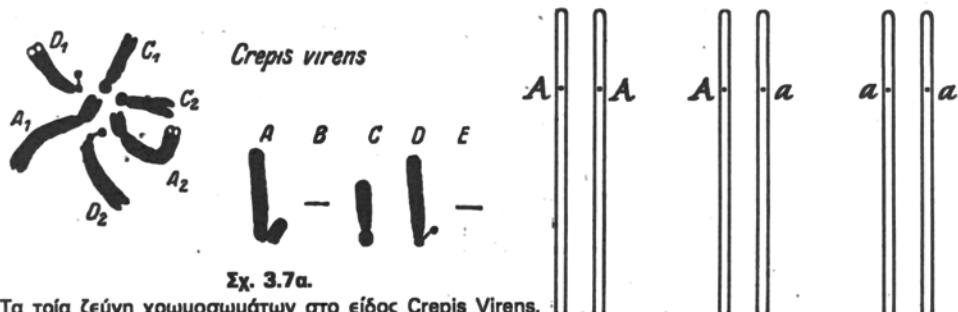
Φωτογραφία της γονιμοποιήσεως στον άνθρωπο. Ένα ζωντανό ωάριο περιβάλλεται από μια στεφάνη προστατευτικών κυττάρων. Αρκετά σπέρματα επιπίθενται στο ωάριο. Μερικά σπέρματα, δεξιά, πέτυχαν μερική είσοδο. Αριστερά διακρίνεται ένα πολικό σωμάτιο. (Το ωάριο αναμίχθηκε με τα σπέρματα και τοποθετήθηκε κάτω από το μικροσκόπιο).



**Σκ. 3.67.**  
Η πορεία ενός ζεύγους αλληλομορφών γονιδίων στο βιολογικό κύκλο ενός ζώου. Κατά τη γαιετογένεση στο αρσενικό δύτο ο μειωστής δισχωρίζει τα αλληλομορφά και σχηματίζει τέσσερα σπερματόζωα. Στο θηλυκό δύτο από τα τέσσερα προϊόντα της μειώσεως τα τρία εκφυλίζονται και το ένα αναπτύσσεται σε αδρίο.

### 3.7 Τα γονίδια και τα χρωμοσώματα.

Από τα προηγούμενα έγινε φανερό ότι οι γενετικές πληροφορίες είναι αποθηκευμένες στο DNA και ότι το χρωμόσωμα συγκροτείται από νουκλεϊκά οξέα και πρωτεΐνες. Οι κληρονομικές μονάδες των χρωμοσωμάτων καλούνται γονίδια και ελέγχουν συγκεκριμένες βιολογικές λειτουργίες και τελικά γνωρίσμα. Ο αριθμός των χρωμοσωμάτων είναι ορισμένος για κάθε είδος οργανισμού. Στο γένος *Crepis* π.χ. τα χρωμοσώματα είναι 3 στους γαμέτες και 6 στα σωματικά κύτταρα (σχ. 3.7a). Στο δεξιό τμήμα του σχήματος 3.7a φαίνονται οι τρεις τύποι χρωμοσωμάτων, ενώ στο αριστερό τμήμα τα τρία ζεύγη σ' ένα σωματικό κύτταρο, που βρίσκεται στο στάδιο της μεταφάσεως. Κάθε χρωμόσωμα διαιρείται σε δύο μισά, που αντιστοιχούν στα χρωματίδια, που είναι ευδιάκριτα στα άκρα των χρωμοσωμάτων  $A_1$  και  $D_1$ . Τα τρία ζεύγη χρωμοσωμάτων είναι  $A_1$  και  $A_2$ ,  $C_1$  και  $C_2$ ,  $D_1$  -  $D_2$ . Ένα χρωμόσωμα από κάθε ζεύγος προήλθε από το σπέρματικό πυρήνα του γυρεόδοκκου, που γονιμοποίησε το ωάριο και το άλλο χρωμόσωμα των ζευγών προήλθε από το ωάριο. Δηλαδή, για το σχηματισμό κάθε ζεύγους χρωμοσωμάτων συμβάλλει κατά ένα χρωμόσωμα ο πατέρας και κατά ένα η μητέρα.



Σχ. 3.7a.

Τα τρία ζεύγη χρωμοσωμάτων στο είδος *Crepis Virens*.

Σχ. 3.7b.

Διάγραμμα που δείχνει την ομοζυγωτία και ετεροζυγωτία σ' ένα ζεύγος αλληλομόρφων.

Κάθε χρωμόσωμα περιέχει πολλά διαφορετικά γονίδια, το καθένα από τα οποία κατέχει ορισμένη θέση. Μπορούμε να φαντασθούμε το χρωμόσωμα ως ένα κομπολόγι, του οποίου οι χάνδρες αντιπροσωπεύουν τα γονίδια. Η θέση του χρωμοσώματος στην οποία είναι τοποθετημένο το γονίδιο, (γόνος ή γονύλιο) καλείται διεθνώς Locus. Την ίδια θέση μπορεί να καταλάβει, σε πολλές περιπτώσεις, ένα ή άλλο γονίδιο από μια σειρά ομοίων γονιδίων. Τέτοια γονίδια ονομάζονται **αλληλόμορφα**. Συνήθως δύο μόνο αλληλόμορφα είναι γνωστά για μια ορισμένη θέση του χρωμοσώματος. Σε άλλες περιπτώσεις υπάρχει ολόκληρη σειρά τέτοιων γονιδίων, οπότε καλούνται **πολλαπλά αλληλόμορφα**.

Θεωρούμε την περίπτωση που δύο αλληλόμορφα είναι γνωστά, έστω τα  $A$  και  $a$ . Ένα ορισμένο χρωμόσωμα μπορεί να είναι ο φορέας ενός μόνον αλληλομόρφου, είτε δηλαδή του  $A$  είτε του  $a$ . Στα ανώτερα ζώα και φυτά, στα οποία τα άτομα είναι διπλοειδή, περιέχουν δηλαδή δύο χρωμοσώματα από κάθε είδος (ομόλογα χρωμοσώματα), είναι δυνατές οι εξής περιπτώσεις (σχ. 3.7β):

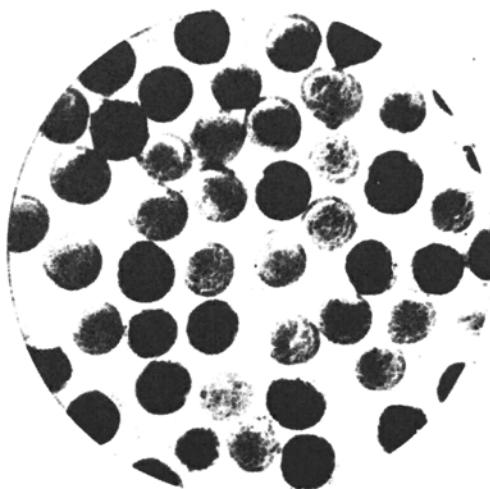
1η. Και τα δύο χρωμοσώματα περιέχουν το αλληλόμορφο  $A$ , οπότε τα άτομα αυτά έχουν τη σύνθεση  $AA$ .

2η. Και τα δύο χρωμοσώματα περιέχουν το αλληλόμορφο α, οπότε τα άτομα θα έχουν τη σύνθεση αα.

3η. Το ένα χρωμόσωμα περιέχει το αλληλόμορφο Α και το άλλο το αλληλόμορφο α, οπότε τα άτομα θα είναι της συνθέσεως ΑΑ. Ένα τέτοιο άτομο καλείται **ετεροζύγιατο**, ενώ τα άτομα που έχουν σύνθεση ΑΑ είναι αα καλούνται **ομοζύγιατα**. Οι λέξεις είναι σύνθετες, με πρώτο συνθετικό το «ομό» ή «έτερο» που σημαίνει «ίσο» ή «άνισο» και δεύτερο συνθετικό τη λέξη «ζυγώτης» δηλαδή γονιμοποιημένο ωάριο. Ομοζύγιατο, λοιπόν, είναι το άτομο που προήλθε από ζυγώτη, στον οποίο οι αντίστοιχες θέσεις, δηλαδή τα αλληλόμορφα γονίδια είναι ταυτόσημα, ενώ ετεροζύγιατο είναι το άτομο, που αναπτύχθηκε από ζυγώτη με διαφορετικά αλληλόμορφα γονίδια.

Τα ομοζύγιατα άτομα παράγουν γαμέτες ενός μόνον είδους. Στο προηγούμενο παράδειγμα τα άτομα της συνθέσεως ΑΑ παράγουν γαμέτες A, ενώ της συνθέσεως αα μόνον γαμέτες a. Τα ετεροζύγιατα, όμως άτομα (Αα) παράγουν δύο ειδών γαμέτες σε ίση συχνότητα, δηλαδή μισούς A και μισούς a. Αυτό συμβαίνει, γιατί κατά τη μείωση τα δύο ομόλογα χρωμοσώματα χωρίζονται και το μεν ένα με το γονίδιο A οδεύει στον ένα πόλο, το δε άλλο με το γονίδιο a στον άλλο πόλο, οδεύοντας δηλαδή ανά ένα στα θυγατρικά κύτταρα. Το ότι το ετεροζύγιατο άτομο σχηματίζει καθαρούς γαμέτες (A ή a π.χ.) και σε ίση αναλογία αποδεικνύεται και από το εξής γεγονός: στον αραβόσιτο ένα ζεύγος αλληλομόρφων γονιδίων, το Ww, εκδηλώνεται και στο γυρεόκοκκο ακόμη. Το κυρίαρχο αλληλόμορφο W δημιουργεί άμυλο στους γυρεόκοκκους, ενώ το υποτελές αλληλόμορφο w οδηγεί στο σχηματισμό δεξτρίνης.

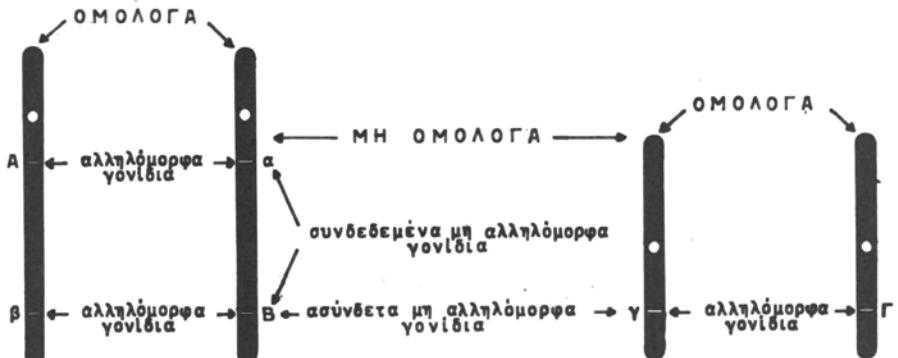
Το άμυλο σε διάλυμα ιωδίου γίνεται μπλε. Όταν οι γυρεόκοκκοι ενός ετεροζύγιατου φυτού επεξεργάστηκαν με διάλυμα ιωδίου, τότε οι μισοί, δύοι δηλαδή περιείχαν το κυρίαρχο W, έγιναν μπλε (σχ. 3.7γ).



Σχ. 3.7γ.

Γυρεόκοκκοι υβριδίου αραβοσίτου που υπέστησαν την επίδραση διαλύματος ιωδίου. Οι μισοί χρωματίσθηκαν μπλε.

Στο σχήμα 3.7δ περιγράφονται τα είδη χρωμοσωμάτων και γονιδίων.



Σχ. 3.7δ.

Είδη χρωμοσωμάτων και γονιδίων. Ομόλογα είναι δύο χρωμοσώματα όταν υπάρχει πλήρης αντιστοιχία μεταξύ των θέσεων, οι οποίες κατέχονται από μορφές του ίδιου γονίδιου, που καλούμε αλληλόμορφα. Στα μη ομόλογα χρωμοσώματα δεν υπάρχουν αλληλόμορφα γονίδια, ενώ στα ομόλογα υπάρχουν σε αντίστοιχες θέσεις ίδια ή διαφορετικά αλληλόμορφα γονίδια, και σε διαφορετικές θέσεις μη αλληλόμορφα γονίδια. Τα μη αλληλόμορφα γονίδια, όταν βρίσκονται στο ίδιο χρωμόσωμα, λέγονται συνδεδεμένα και όταν βρίσκονται σε μη ομόλογα χρωμοσώματα λέγονται ασύνδετα.

#### Ερωτήσεις για δάσκηση.

- Σημειώστε με + τις ορθές και με - τις εσφαλμένες προτάσεις: α) Τα κύτταρα του δέρματος και οι γαμέτες του ίδιου ζώου περιέχουν τον ίδιο αριθμό χρωμοσωμάτων;  
β) Οποιοδήποτε χρωμόσωμα μπορεί να ζευγαρώσει με οποιοδήποτε άλλο του ίδιου κυττάρου στη μείωση;  
γ) Οι γαμέτες ενός ζώου έχουν περισσότερα μητρικά χρωμοσώματα από όσα έχουν τα κύτταρα του σώματος;  
δ) Από τα 10 χρωμοσώματα σ' ένα ώριμο σπερματοζωάριο τα πέντε είναι πάντα από τη μητέρα;
- Σε κάθε σωματικό κύτταρο ενός ζώου υπάρχουν 46 χρωμοσώματα. Πόσα χρωμοσώματα θα υπάρχουν σε ώριμο αράριο; Πόσα σε σπερματοζωάριο;
- Σε μια κανονική σπερματογένεση, όπου όλα τα κύτταρα επιζούν, πόσα σπερματοζωάρια θα υπάρχουν από 50 σπερματίδια;
- Σε τι διαφέρει η μίτωση στα ζώα από τη μίτωση στα φυτά;
- Σε τι διαφέρει η μίτωση από τη μείωση;
- Τι είναι η διπλή γονιμοποίηση στα φυτά;

#### Εφαρμογές για δάσκηση.

- Στον άνθρωπο ένας τύπος μυωπίας εξαρτάται από το κυρίαρχο γονίδιο M. Να παραστήσετε γραφικά με χρήση χρωμοσωμάτων μια διασταύρωση μεταξύ μιας γυναίκας με μυωπία σε ετεροζύγια κατάσταση (Mμ) και ενός κανονικού άνδρα (μμ). Να δείξετε τα είδη των γαμετών που παράγει κάθε άτομο και να αναφέρετε το αποτέλεσμα της διασταύρωσεως.
- Στον άνθρωπο, ένα είδος πολύποδα εξαρτάται από το κυρίαρχο γονίδιο A και μια νευρική αδιαθεσία, γνωστή ως σύνδρομο του Χάντινγκτον, καθορίζεται από το κυρίαρχο γονίδιο H. Ένας άνδρας με γενότυπο AaHH νυμφεύεται μια γυναίκα με γενότυπο aaHh. Υποθέστε ότι τα γονίδια A και H βρίσκονται σε μη ομόλογα χρωμοσώματα. Να παραστήσετε με διάγραμμα τη διασταύρωση και να δείξετε την αναλογία των παιδιών που αναμένεται να έχουν τη μια ή την άλλη ανωμαλία ή και τις δύο ή καμιά.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

### ΔΡΑΣΗ ΚΑΙ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΓΟΝΙΔΙΩΝ

#### 4.1 Γενικά

Έγινε κατανοητό από τα προηγούμενα ότι δεν κληρονομούνται τα γνωρίσματα «αυτά καθ' εαυτά» όπως τα βλέπομε στα διάφορα άτομα, αλλά οι κληρονομικές μονάδες (γονίδια) είναι εκείνες, που μεταβιβάζονται από γενιά σε γενιά και που ελέγχουν τα γνωρίσματα. Είδαμε, επίσης, ότι τα γονίδια αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον, για να διαμορφώσουν τελικά το γνώρισμα. Ένας όμως οργανισμός διαθέτει πολλά γονίδια για τον έλεγχο όλων των γνωρισμάτων. Όλα τα γονίδια μαζί, που αποτελούν το λεγόμενο **γενότυπο** (γονότυπο) αλληλεπιδρούν όχι μόνο με το περιβάλλον, αλλά και μεταξύ τους. Στην εκδήλωση, λοιπόν, όλων των γνωρισμάτων (φαινοτύπου) συμμετέχει και η αλληλεπίδραση μεταξύ των γονιδίων. Διακρίνομε δύο είδη τέτοιων αλληλεπιδράσεων: την αλληλεπίδραση μεταξύ **αλληλομόρφων γονιδίων** και την αλληλεπίδραση μεταξύ **μη αλληλομόρφων γονιδίων**.

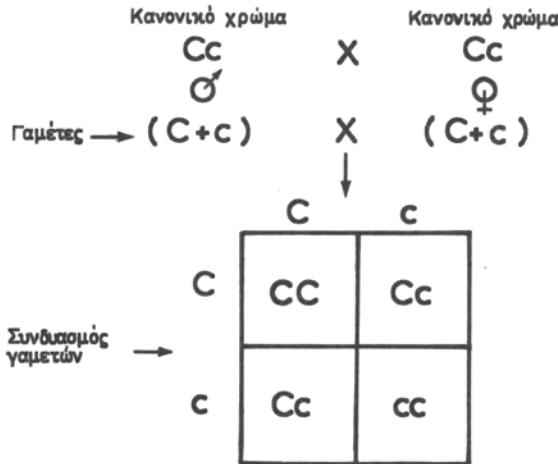
#### 4.2 Αλληλεπίδραση μεταξύ αλληλομόρφων γονιδίων.

Ας πάρομε ένα ζευγάρι αλληλομόρφων γονιδίων, έστω το Αα: Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.7β, ένα άτομο μπορεί να έχει έναν από τους τρεις συνδυασμούς: AA, Αα ή aa. Κάθε συνδυασμός ελέγχει και μια χωριστή μορφή του γνωρίσματος. Η μορφή που θα πάρει το γνώρισμα τελικά εξαρτάται από τον τρόπο που αλληλεπιδρούν τα δύο αλληλομόρφα γονίδια Α και α. Στην προκειμένη περίπτωση υπάρχουν οι παρακάτω τρεις τρόποι:

##### α) Πλήρης κυριαρχία.

Η δράση του γονιδίου Α να επισκιάζει τη δράση του γονιδίου α, οπότε το Α είναι κυρίαρχο και το α υποτελές (A>a). Ο τρόπος αυτός αλληλεπιδράσεως καλείται **πλήρης κυριαρχία**. Ως παράδειγμα αναφέρομε την κληρονόμηση του **αλβινισμού** στον άνθρωπο (σχ. 4.2a). Ένα κυρίαρχο γονίδιο C είναι υπεύθυνο για την εκδήλωση του χρώματος, ενώ το υποτελές c για την εκδήλωση του αλβινισμού. Από τους τρεις δυνατούς γενότυπους CC, Cc, cc, οι δύο πρώτοι θα παρουσιάσουν κανονικό χρωματισμό και ο τελευταίος αλβινισμό. Παραδεχόμαστε δηλαδή ότι το γονίδιο C παράγει την ίδια ποσότητα χρωμογόνου είτε σε απλή δόση (C) είτε σε διπλή (CC). Τα ετεροζύγωτα άτομα Cc συνεπώς θα έχουν τον ίδιο χρωματισμό με τα

ομοζύγωτα άτομα CC. Αν διασταυρώσουμε δύο ετεροζύγωτα άτομα Cc κατά το παρακάτω σχήμα:



Θα έχουμε τέσσερις γενότυπους: CC, Cc, Cc, cc, που δίνουν δύο μόνο φαινότυπους στην αναλογία 3 κανονικού χρώματος προς 1 αλβινό άτομο, επειδή:

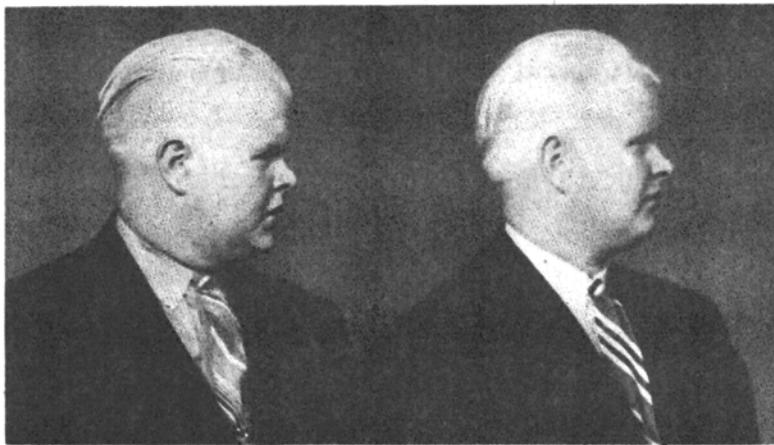
CC → δίνει κανονικό χρώμα	}	3
Cc → δίνει κανονικό χρώμα		
Cc → δίνει κανονικό χρώμα		
cc → δίνει αλβινισμό		

Στην περίπτωση λοιπόν της πλήρους κυριαρχίας η διάσπαση δύο ετεροζυγώτων ατόμων δίνει την αναλογία 3:1, δηλαδή τα 3/4 των απογόνων θα έχουν το κυρίαρχο γνώρισμα και το 1/4 το υποτελές.

### Υποτελή Θανατηφόρα γονίδια.

Μερικά γονίδια έχουν τόσο σοβαρή επίδραση στον οργανισμό που τα φέρει, ώστε προκαλούν το θάνατο. Τα γονίδια αυτά ονομάζονται **θανατηφόρα**. Αν ένα θανατηφόρο γονίδιο είναι κυρίαρχο, συνήθως εκδηλώνεται αμέσως, οπότε το άτομο-φορέας πεθαίνει και το γονίδιο απομακρύνεται από τον πληθυσμό. Αν όμως το θανατηφόρο γονίδιο είναι υποτελές, είναι δυνατόν να διατηρηθεί σε ετεροζύγωτη κατάσταση χωρίς να μπορεί να εκδηλωθεί, οπότε το ετεροζύγωτο άτομο είναι φορέας του. Όταν τώρα διασταυρωθούν δύο φορείς, το ένα τέταρτο των απογόνων θα φέρει το γονίδιο αυτό σε ομοζύγωτη κατάσταση και τότε μπορεί να προκαλέσει το θάνατο.

Υποτελή θανατηφόρα γονίδια είναι γνωστό ότι υπάρχουν τουλάχιστον 27 στις αγελάδες. Μερικά απ' αυτά έχουν διαδοθεί αρκετά με την τεχνητή σπερματέγχυση. Οι 13 ανωμαλίες από τις 27 αναφέρονται στο σχηματισμό των οστών. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα οστά εμφανίζουν ελαπτωματική ανάπτυξη. Τα μοσχάρια «μπουλντάκι» (σχ. 4.2β) είναι η πιο γνωστή ανωμαλία που οφείλεται σε θανατηφόρα γονίδια στις αγελάδες. Περιγράφηκαν για πρώτη φορά στη Γερμανία



**Σχ. 4.2α.**

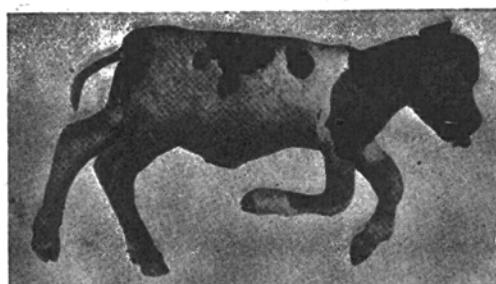
Μονοζύγωτα δίδυμα με αλβινισμό που οφείλεται σε υποτελές γονίδιο.

το 1869. Άλλο παράδειγμα υποτελούς θανατηφόρου γονίδιου είναι η εκ γενετής έλλειψη τριχώματος, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.2γ.



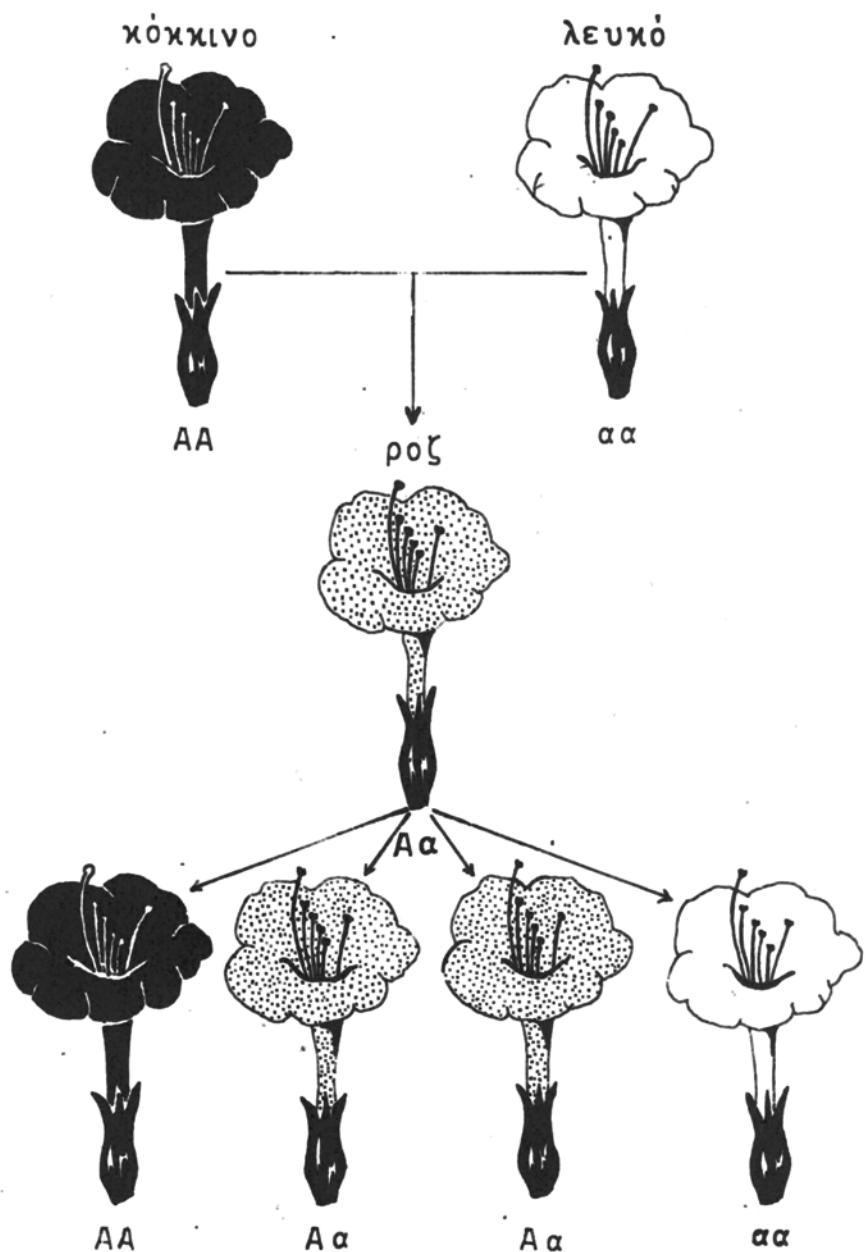
**Σχ. 4.2β.**

Μοσχάρι «μπουλντάκ». Η ανωμαλία αυτή οφείλεται σε υποτελές γονίδιο όταν βρίσκεται σε ομοζύγωτη κατάσταση, οπότε προκαλεί την αποβολή του εμβρύου από τον 6ο ως τον 8ο μήνα.



**Σχ. 4.2γ**

Έλλειψη τριχώματος στα μοσχάρια. Η ανωμαλία οφείλεται σε υποτελές γονίδιο και επιφέρει το θάνατο.



Σχ. 4.25.

Το χρώμα των λουλουδιών στο φυτό *Mirabilis Jalapa* κληρονομείται από δύο αλληλόμορφα γονίδια, που δρούν αθροιστικά, εκδηλώνοντας δηλαδή μερική κυριαρχία ή ημικυριαρχία.

### β) Ημικυριαρχία ή μερική κυριαρχία.

Ο δεύτερος τρόπος αλληλεπιδράσεως δύο αλληλομόρφων γονιδίων ( $A, a$ ) είναι η περίπτωση κατά την οποία η δράση του ενός γονιδίου  $A$  προστίθεται στη δράση του άλλου γονιδίου  $a$ , δηλαδή τα δύο γονίδια δρουν αθροιστικά. Τα γονίδια τότε λέγονται **μερικώς κυριαρχα** ή **ημικυριαρχα** και συμβολίζονται ως ( $A + a$ ). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η κληρονόμηση του χρώματος των λουλουδιών στο φυτό *Mirabilis Jalapa* (σχ. 4.2δ). Παραδεχόμαστε ότι το αλληλόμορφο  $a$  δεν συμβάλλει καθόλου στο χρωματισμό του λουλουδιού, οπότε λέμε ότι η συμβολή του είναι μηδέν, δηλαδή  $a = 0$ . Το αλληλόμορφο  $A$  δεχόμαστε ότι συμβάλλει στο χρωματισμό κατά δύο τόνους, οπότε  $A = 2$ . Οι τρεις γενότυποι συνεπώς θα λάβουν τις εξής τιμές, τόνους κόκκινου χρώματος:

$$aa = 0 + 0 = 0 \text{ (δηλαδή χωρίς χρώμα, άρα άσπρο)}$$

$$Aa = 2 + 0 = 2 \text{ (που δίνει το ροζ χρώμα)}$$

$$AA = 2 + 2 = 4 \text{ (που δίνει το κόκκινο χρώμα)}$$

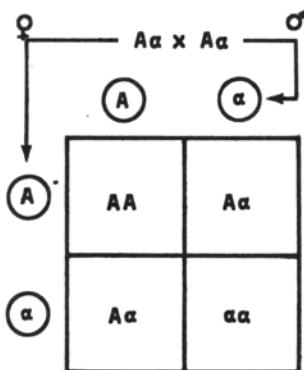
Όταν διασταυρώνουμε λοιπόν ένα φυτό με κόκκινα λουλούδια με ένα άλλο φυτό, που φέρει λευκά λουλούδια ( $AA \times aa$ ), στην πρώτη γενιά θα πάρομε μονοϋβρίδια,  $Aa$ , όλα ροζ. Διασταυρώνοντας τώρα δύο ροζ λουλούδια, έχομε:

1  $AA$ , φυτό με κόκκινα λουλούδια

2  $Aa$ , φυτά με ροζ λουλούδια

1  $aa$ , φυτό με λευκά λουλούδια

Δηλαδή αναλογία διασπάσεως 1:2:1, όπως προκύπτει και από το σχήμα 4.2ε.



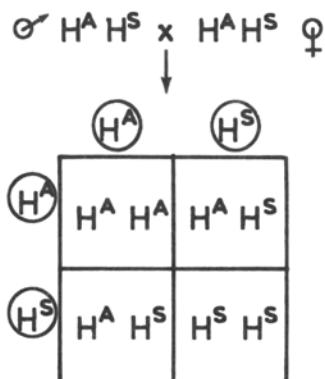
Σχ. 4.2ε.

### γ) Συγκυριαρχία.

Ο τρίτος τρόπος, που αλληλεπιδρούν τα δύο αλληλόμορφα γονίδια  $A, a$ , είναι ο εξής: το καθένα αλληλόμορφο δρά ανεξάρτητα από το άλλο και παράγει διαφορετικό προϊόν (ένζυμο), οπότε, όταν δρουν και τα δύο μαζί, παράγουν και τα δύο προϊ-

όντα τους. Τότε λέμε ότι τα γονίδια είναι **συγκυρίαρχα** και τα συμβολίζομε ως ( $A \neq a$ ). Παράδειγμα συγκυριαρχίας η κληρονόμηση της **δρεπανοκυτταρικής αναιμίας** στον ανθρωπο (σχ. 4.2στ.). Η κατάσταση αυτή ελέγχεται από τα δύο αλληλομόρφα  $H^A$  και  $H^S$ . Το γονίδιο  $H^A$  παράγει κανονική αιμογλοβίνη, που είναι γνωστή ως A, το δε  $H^S$  παράγει την αιμογλοβίνη S, που προκαλεί τη δρεπανοκυτταρική αναιμία. Τα άτομα που υποφέρουν από την αρρώστια αυτή πεθαίνουν σε νεαρή ηλικία. Όσα άτομα έχουν γενότυπο  $H^A H^A$  έχουν όλα τα αιμοσφαίριά τους με την κανονική αιμογλοβίνη S, ενώ τα ετεροζύγωτα άτομα με γενότυπο  $H^A H^S$  έχουν τόσο την αιμογλοβίνη A, όσο και την S. Τα δύο δηλαδή γονίδια έδρασαν χωριστά το ένα από το άλλο και σχημάτισαν δύο διαφορετικά προϊόντα, δηλαδή έδρασαν ως συγκυρίαρχα. Τα άτομα αυτά με τις δύο αιμογλοβίνες εμφανίζουν την αρρώστια σε ενδιάμεση μορφή, αλλά επιζούν.

Όταν διασταυρωθούν δύο ετεροζύγωτα άτομα, παίρνομε την εξής διάσπαση:

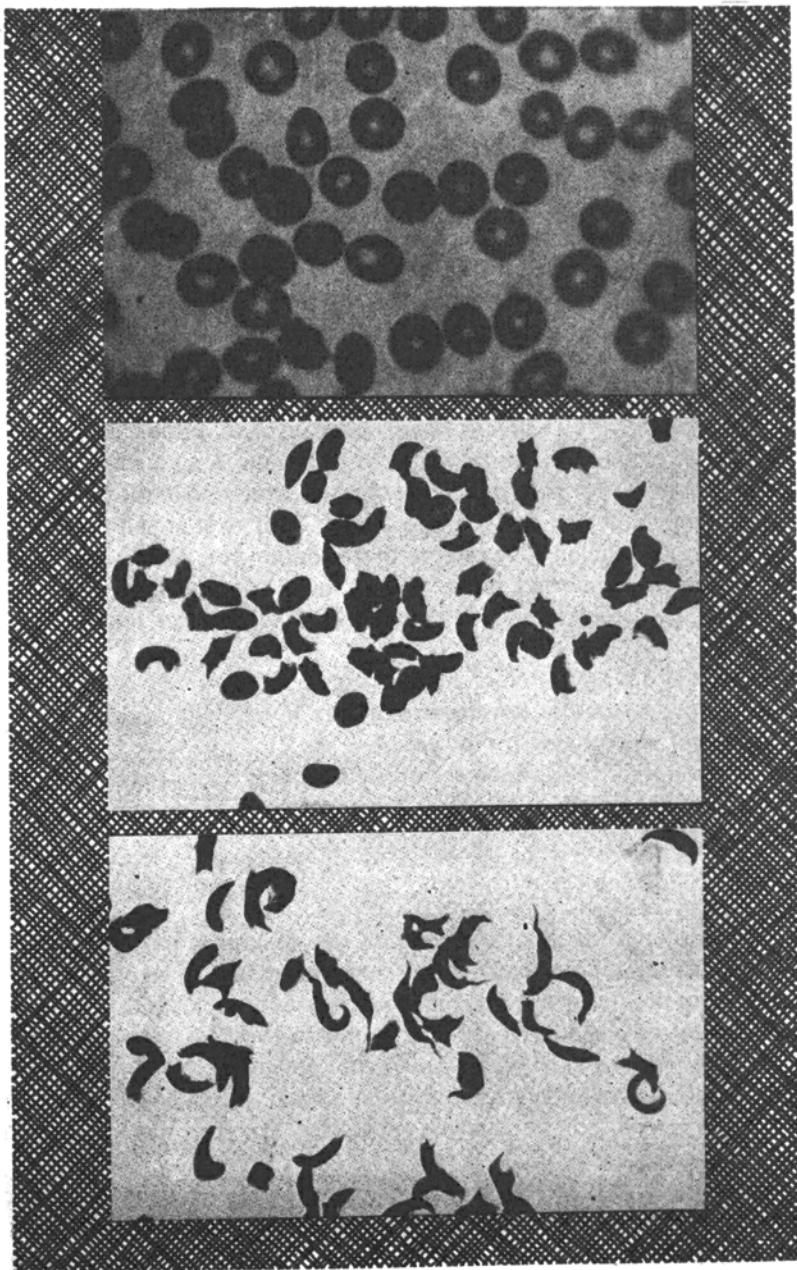


Δηλαδή την αναλογία:

$$1(H^A H^A) : 2(H^A H^S) : 1(H^S H^S)$$

Συνοψίζοντας τους τρόπους δράσεως και αλληλεπιδράσεως δύο αλληλομόρφων γονιδίων, παραθέτομε τον πίνακα 4.2.1.

Αλληλεπιδραση	Συμβολισμός	Διάσπαση	Τρόπος δράσεως
Κυριαρχία	$A > a$	3:1	Το ένα επικυριάζει το άλλο
Ημικυριαρχία	$A + a$	1:2:1	Οι δράσεις προσθέτονται
Συγκυρίαρχα	$A \neq a$	1:2:1	Δρουν χωριστά



Σχ. 4.2στ.

Φωτογραφία ανθρωπίνων ερυθρών αιμοσφαιρίων. Πάνω, κανονικά κύτταρα από άτομο με γενότυπο  $H^A H^A$ . Στη μέση, κύτταρα από έτεροζύγιο άτομο  $H^A H^S$ , στο οποίο άλλα είναι κανονικά και άλλα παραμορφωμένα. Κάτω, κύτταρα από το ομοζύγιο άτομο  $H^S H^S$ , δλα παραμορφωμένα.

### 4.3 Αλληλεπίδραση μεταξύ μη αλληλομόρφων γονιδίων.

Ο Mendel είχε διαπιστώσει τις βασικές αρχές της γενετικής βασιζόμενος στους τρόπους μεταβιβάσεως απλών γνωρίσμάτων του μπιζελιού. Τα γνωρίσματα αυτά ελέγχονται από αλληλόμορφα γονίδια με σχέση κυριαρχίας. Μεταγενέστεροι ερευνητές ανέφεραν τρόπους κληρονομήσεως γνωρίσμάτων, που φαίνονται ότι δεν ακολουθούσαν τους νόμους του Mendel. Αυτό συνέβαινε για δύο κυρίως λόγους: Πρώτα, γιατί υπάρχουν και συνδεδεμένα γονίδια, τα οποία κληρονομούνται ως επί το πλείστον μαζί και όχι ανεξάρτητα: ύστερα, γιατί υπάρχουν γνωρίσματα για την εκδήλωση των οποίων συνεργάζονται περισσότερα από ένα ζεύγη γονιδίων. Τα συνεργαζόμενα ζεύγη αλληλεπιδρούν έτσι, ώστε το ένα ζεύγος να επηρεάζει την εκδήλωση του άλλου. Δύο ζεύγη δηλαδή έχουν, όπως και τα αλληλόμορφα, τρεις τρόπους αλληλεπηρεασμού:

1) Το γονίδιο A π.χ. (του ζεύγους αλληλομόρφων A, α) μπορεί να επισκιάζει το γονίδιο B (του ζεύγους B, β), οπότε λέμε ότι το γονίδιο A είναι **επιστατικό** επάνω στο γονίδιο B (κατ' αντιστοιχία προς τα κυρίαρχο, όταν πρόκειται για αλληλόμορφα) και χρησιμοποιούμε τον συμβολισμό ( $A > B$ ). Το B τότε καλείται **υποστατικό**.

2) Η δράση του γονιδίου A προσθέτεται στη δράση του γονιδίου B, τα δύο δηλαδή γονίδια δρουν αθροιστικά, οπότε λέμε ότι αυτά είναι **ημιεπιστατικά ή μερικώς επιστατικά** (κατ' αντιστοιχία προς τα ημικυρίαρχα αλληλόμορφα) και συμβολίζονται ως ( $A + B$ ).

3) Τα δύο γονίδια A και B δρουν ανεξάρτητα και παράγουν διαφορετικά προϊόντα (ένζυμα), οπότε καλούνται **συνεπιστατικά** (κατ' αντιστοιχία προς τα συγκυρίαρχα αλληλόμορφα) και συμβολίζονται ως ( $A \neq B$ ).

Για να κατανοήσουμε τους τρόπους αυτούς δράσεως και αλληλεπιδράσεως των ασυνδέτων μη αλληλομόρφων γονιδίων, θα παραθέσουμε ένα παράδειγμα από κάθε περίπτωση.

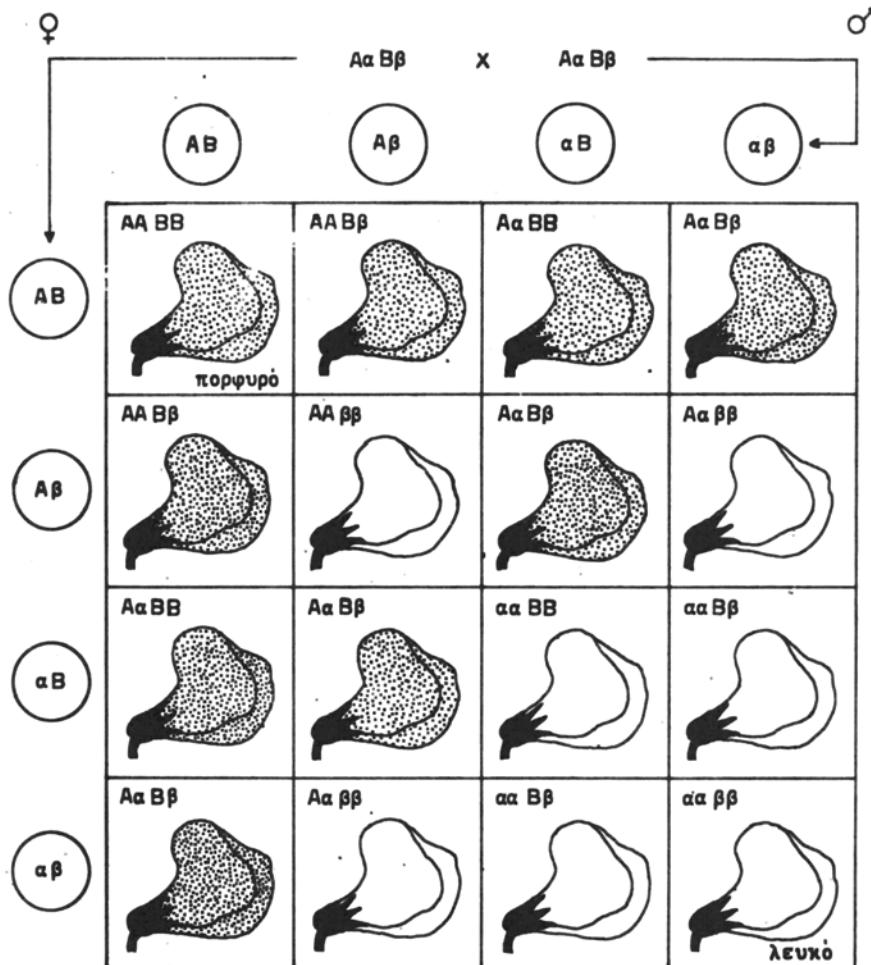
#### a) Επίσταση.

Το σχήμα 4.3α επεξηγεί την κληρονόμηση του χρώματος των λουλουδιών στα μοσχομπίζελα. Τα λουλούδια είναι είτε κόκκινα είτε λευκά. Για να παραχθεί το κόκκινο χρώμα, είναι απαραίτητη η παρουσία και των δύο κυριάρχων γονιδίων A και B. Σε όποιο γενότυπο εμφανιστεί ένα από τα υποτελή γονίδια, σε ομοιζύγωτη όμως κατάσταση, η αντίδραση για την παραγωγή του χρώματος διακόπτεται, οπότε το λουλούδι παραμένει λευκό. Το γονίδιο δηλαδή α ή β σε διπλή δόση δρα επιστατικά και διακόπτει την αντίδραση παραγωγής χρώματος. Η σχέση των γονιδίων αυτών συμβολίζεται ως εξής: ( $a = \beta$ )  $>$  B, A.

Απαραίτητη προϋπόθεση για να αλληλεπιδράσουν δύο γονίδια είναι τα γονίδια αυτά να ελέγχουν το ίδιο γνώρισμα. Στο παράδειγμά μας τα δύο ζεύγη γονιδίων δίνουν με την αυτογονιμοποίηση ενός διυβριδίου 16 γενοτυπικούς συνδυασμούς, που ο καθένας αναγράφεται στο τετραγωνίδιο του σχήματος. Οι συνδυασμοί αυτοί συνοψίζονται ως εξής:

9	A—B—	$\rightarrow$ πορφύρο χρώμα}	9
3	A— $\beta\beta$	$\rightarrow$ λευκό χρώμα	
3	aaB—	$\rightarrow$ λευκό χρώμα	
1	aa $\beta\beta$	$\rightarrow$ λευκό χρώμα	}

Επιστατικά ( $\alpha=\beta$ ) > Β, A 9:7



Σχ. 4.3a.

Κληρονόμηση του χρώματος των λουλουδιών στα μοσχομήτελα. Το κόκκινο (πορφυρό) χρώμα απαιτεί την παρουσία και των δύο κυριάρχων γονίδιων A, B. Ένα υποτελές όμως γονίδιο σε ομοζυγωτία διακόπτει την παραγωγή του χρώματος και κάνει τα λουλούδια λευκά.

Παρατηρούμε δηλαδή ότι η αναμενόμενη αναλογία 9:3:3:1 έχει μετατραπεί στην αναλογία 9:7 λόγω της επιστάσεως του οποιουδήποτε ομοζυγωτού υποτελούς πάνω σ' ένα από τα κυριάρχα. Ανάλογα με τον τρόπο που δρουν επιστατικά τα γονίδια, οι αναλογίες που βρέθηκαν σε διάφορες περιπτώσεις ήταν οι εξής: 9:3:4, 12:3:1, 13:3 και 15:1. Ήταν αυτές οι διασπάσεις που έκαναν τους ερευνητές στην αρχή να αμφιβάλλουν για την παγκοσμιότητα των νόμων του Mendel. Είδαμε όμως ότι οι γενοτυπικοί συνδυασμοί ακολουθούν τις βασικές αρχές του Mendel και παραλάσσουν οι φαινοτυπικές μόνο αναλογίες λόγω της επιστάσεως.

### **β) Ημιεπίσταση.**

Το σχήμα 4.3β παρουσιάζει τον τρόπο κληρονομήσεως του μεγέθους της διαμέτρου στα κολοκύθια. Η διάμετρος ελέγχεται από δύο ζεύγη γονιδίων, έστω τα A, α και B, β. Τα υποτελή γονίδια δεν συμβάλλουν στην αύξηση της διαμέτρου, οπότε με την έλλειψη των κυριάρχων γονιδίων τα κολοκύθια γίνονται επιμήκη. Αν υπάρχει ένα κυρίαρχο, μεγαλώνει η διάμετρος κατά μια ποσότητα και τα κολοκύθια γίνονται σφαιρικά. Όταν τώρα υπάρχει και το άλλο κυρίαρχο γονίδιο, συντελεί και αυτό στην περαιτέρω αύξηση της διαμέτρου, οπότε τα κολοκύθια γίνονται δισκοειδή.

Τα δύο δηλαδή κυρίαρχα γονίδια παράγουν το ίδιο προϊόν και η δράση του ενός προσθέτεται στη δράση του άλλου. Λέμε τότε ότι δρουν ημιεπιστατικά ή μερικώς επιστατικά ή αθροιστικά και τα συμβολίζομε ως εξής: (A + B). Οι φαινότυποι συνεπώς των προϊόντων από την αυτογονιμοποίηση διυβριδίου είναι:

9	A—B—	$\rightarrow$ δισκοειδή	}	9
3	A—ββ	$\rightarrow$ σφαιρικά		
3	ααΒ—	$\rightarrow$ σφαιρικά		
1	ααββ	$\rightarrow$ επίμηκες		6

Αντί λοιπόν της αναμενόμενης αναλογίας 9:3:31 έχομε την αναλογία 9:6:1.

### **γ) Συνεπίσταση.**

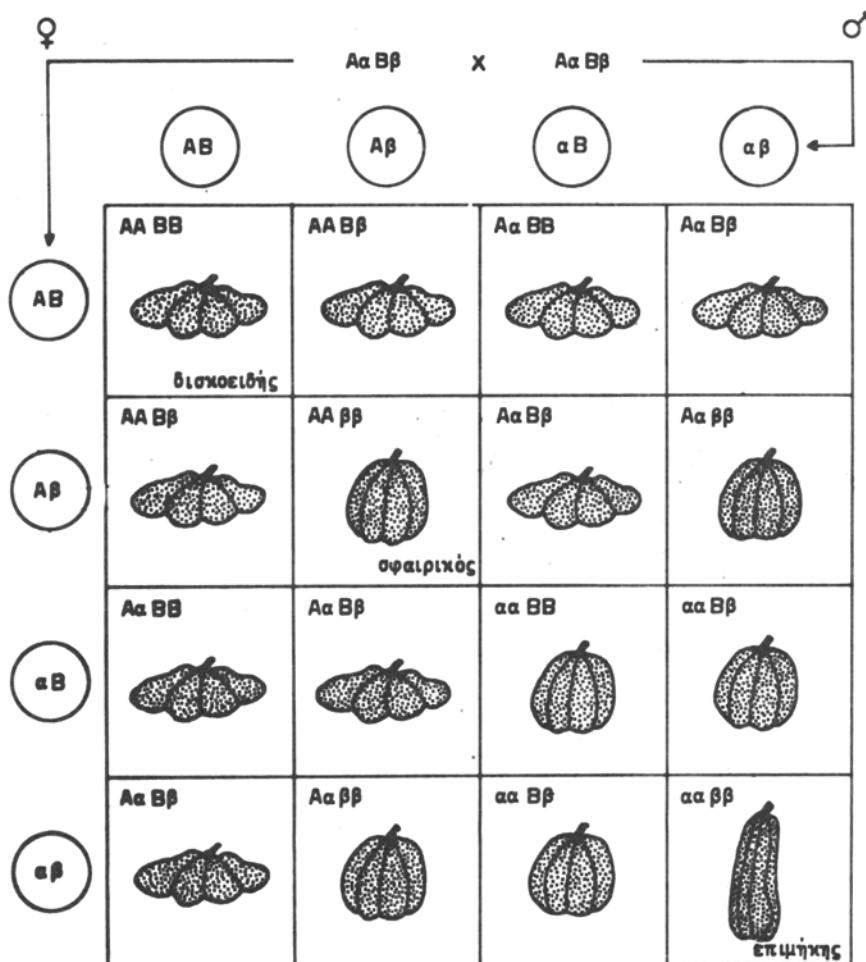
Το χρώμα στα παπαγαλάκια (σχ. 4.3γ) ελέγχεται από δύο ζευγάρια γονιδίων, το A, α, και B, β. Στο επίπεδο των αλληλομόρφων τα γονίδια είναι κυρίαρχα, δηλαδή  $A > \alpha$  και  $B > \beta$ . Το γονίδιο A δίνει στα παπαγαλάκια μπλε χρώμα, ενώ το B κίτρινο χρώμα. Όταν λείπουν τα κυρίαρχα γονίδια και υπάρχουν μόνο τα υποτελή, δεν σχηματίζεται χρώμα και τα παπαγαλάκια γίνονται άσπρα.

Ο γενότυπος AAββ δίνει μπλε χρώμα, που σημαίνει ότι το κυρίαρχο γονίδιο A παράγει ένζυμο, που οδηγεί στο σχηματισμό του μπλε χρώματος. Ο γενότυπος ααΒΒ δίνει κίτρινο χρώμα, επειδή το κυρίαρχο B παράγει ένζυμο, που οδηγεί στο σχηματισμό του κίτρινου χρώματος. Διασταυρώνοντας τους δύο αυτούς γενότυπους:

$$\begin{array}{c} \text{AAββ (μπλε)} \times \text{ααΒΒ (κίτρινο)} \\ \downarrow \\ \text{ΑαΒβ (πράσινο)} \end{array}$$

παίρνουμε στην F<sub>1</sub> παπαγαλάκια με πράσινο χρώμα. Όταν δηλαδή υπάρχουν και τα δύο κυρίαρχα γονίδια A — B —, το αποτέλεσμα είναι πράσινο χρώμα που προκύπτει από το ανακάτωμα του μπλε και του κίτρινου χρώματος. Αυτό σημαίνει ότι τα διαφορετικά προϊόντα των δύο γονιδίων συνυπάρχουν και δίνουν συνδυασμό των δύο χρωμάτων, οπότε λέμε ότι δρουν συνεπιστατικά και τα συμβολίζομε ως  $A \neq B$ . Το τελικό προϊόν του κάθε γονιδίου συνδυάζεται με το προϊόν του άλλου γονιδίου και έτσι και τα δύο προϊόντα μαζί δίνουν διαφορετικό αποτέλεσμα από ότι καθένα χωριστά, χωρίς βέβαια το ένα γονίδιο να εξουδετερώνει τη δράση του άλλου.

Μερικώς επιστατικά ή ημιεπιστατικά A+B 9:6:1



Σχ. 4.3β.

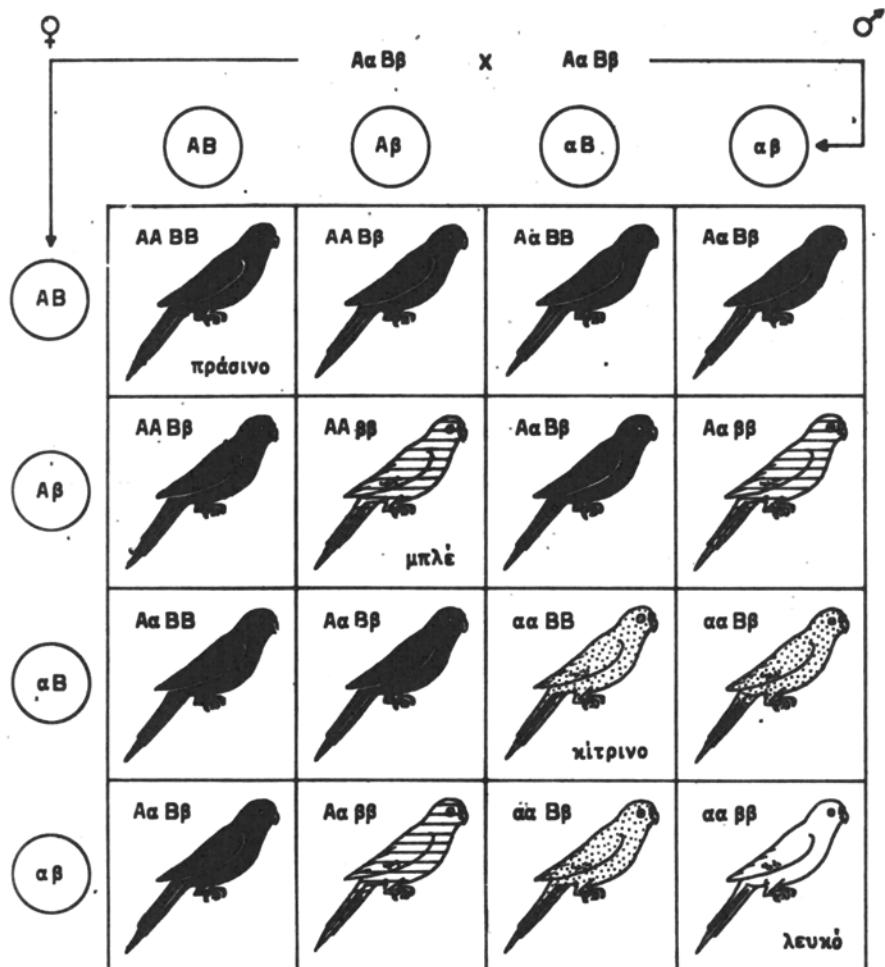
Το μέγεθος της διαμέτρου στα κολοκύθια ελέγχεται από δύο ζεύγη γονιδίων που δρουν αθροιστικά (ημιεπιστατικά). Τα υποτελή γονίδια δεν αυξάνουν τη διάμετρο και γ' αυτό τα κολοκύθια γίνονται επιμήκη. Ένα μόνο κυρίαρχο αυξάνει τη διάμετρο, οπότε τα κολοκύθια γίνονται σφαιρικά. Και τα δύο κυρίαρχα μαζύ προσθέτουν τις δράσεις τους και μεγαλώνοντας τη διάμετρο κάνουν τα κολοκύθια δισκοειδή.

Όταν, τώρα διασταυρώνομε δύο πράσινα παπαγαλάκια της προηγούμενης F1 (σχ. 4.3γ), παίρνουμε την εξής διάσπαση:

9 A-B-	→ πράσινα	}	9
3 A-ββ	→ μπλε	}	3
3 ααB-	→ κίτρινα	}	3
1 ααββ	→ λευκό	}	1

Δηλαδή την αναμενόμενη αναλογία 9:3:3:1.

Συνεπιστατικά  $A \neq B$  9:3:3:1



Σχ. 4.3γ.

Κληρονόμηση του χρώματος στα παπαγαλάκια. Το κυρίαρχο γονίδιο A δίνει μπλε χρώμα, το B κίτρινο χρώμα, ενώ και τα δύο μαζύ πράσινο, γιατί τα γονίδια A και B δρουν συνεπιστατικά.

#### 4.4 Εφαρμογές.

##### α) Η κληρονόμηση του λειριού στις δρυιθες.

Ένα κλασσικό παράδειγμα αλληλεπιδράσεως των γονιδίων είναι η κληρονόμηση του σχήματος του λειριού στις κόπτες, που μελετήθηκε από τον William Bateson και τον συνεργάτη του R.C. Punnett στο Πανεπιστήμιο του Cambridge.

Οι διάφορες φυλές ορνίθων έχουν διάφορα σχήματα λειριού, όπως φαίνονται στο σχήμα 4.4a. Από διασταύρωση μεταξύ ροδοειδούς και πισοειδούς προέκυψε  $F_1$  που είχε μόνο καρυοειδές. Ο τύπος αυτός του λειριού δεν υπήρχε στους γονείς. Διασταύρωντας πολλά άτομα της  $F_1$  μεταξύ τους, πήραν στην  $F_2$  άτομα που εμφάνισαν τη διάσπαση 9:3:3:1 δηλαδή 9 άτομα με λειρί καρυοειδές, 3 με λειρί ροδοειδές, 3 με λειρί πισοειδές, και 1 άτομο με λειρί απλό. Από τις 4 φαινοτυπικές κλάσεις οι δύο, δηλαδή το απλό και το καρυοειδές λειρί, δεν υπάρχουν στους γονείς. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην αλληλεπίδραση των γονιδίων.

Το ροδοειδές λειρί οφείλεται στο γονίδιο  $R$ , ενώ το πισοειδές στο γονίδιο  $P$ . Και τα δύο γονίδια μαζί, δηλαδή οι γενότυποι  $R - P -$ , δίνουν λειρί καρυοειδές, επειδή τα γονίδια αλληλεπιδρούν συνεπιστατικά. Τα υποτελή σε ομοζυγωτία (rrpp) δίνουν το απλό λειρί. Τα αποτελέσματα λοιπόν του Bateson εξηγούνται ως εξής:

$RRpp$ (ροδοειδές) $\times rrPP$	(πισοειδές)
↓	
$RrPp$	(καρυοειδές)
↓	
9 $R-P-$	→ καρυοειδή
3 $R-pp$	→ ροδοειδή
3 $rrP-$	→ πισοειδή
1 $rrPP$	→ απλό.

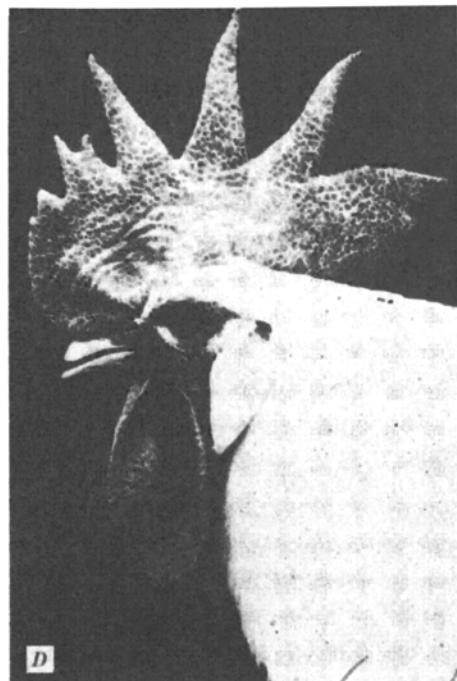
##### β) Η κληρονόμηση του χρώματος των ορνίθων.

Το σχήμα 4.4b εμφανίζει ένα παράδειγμα επιστάσεως του ομοζύγωτου υποτελούς πάνω σ' ένα κυρίαρχο. Από διασταύρωση μεταξύ δύο διυβριδίων εγχρώμων ( $Cc Oo \times Cc Oo$ ) παίρνουμε την αναλογία 9:7 αντί για την αναμενόμενη 9:3:3:1, επειδή τα ομοζύγωτα υποτελή ( $cc \text{ ή } oo$ ) επισκιάζουν τη δράση ενός κυρίαρχου γονίδιου. Για να εμφανισθεί το χρώμα στα φτερά, πρέπει να υπάρχουν και τα δύο κυρίαρχα γονίδια  $C$  και  $O$ .

##### γ) Αταβισμός.

Μερικά γνωρίσματα μπορεί να μένουν κρυμμένα από γενιά σε γενιά, επειδή η εμφάνιση τους εμποδίζεται από το φαινόμενο της επιστάσεως των γονιδίων ή από άλλους είδους αλληλεπιδράσεις. Έξαφνα, όμως ενδέχεται να εμφανισθεί ένα γνώρισμα των προγόνων σε μια βελτιωμένη φυλή ζώου ή ποικιλία φυτού. Το φαινόμενο αυτό καλούμε **αταβισμό**.

Στο σχήμα 4.4γ παρουσιάζεται μια περίπτωση αταβισμού στα περιστέρια. Τα περιστέρια Α και Β αντιπροσωπεύουν δύο βελτιωμένες φυλές, που χρησιμο-



**Σχ. 4.4α.**

Τύποι λειριού στις κόττες: (Α) ροδοειδές· (Β) πισοειδές· (C) καρυοειδές, που είναι υβρίδιο μεταξύ του Α και Β· (D) απλό.

Γαμέτες

'Εγχρωμο

Cc0o



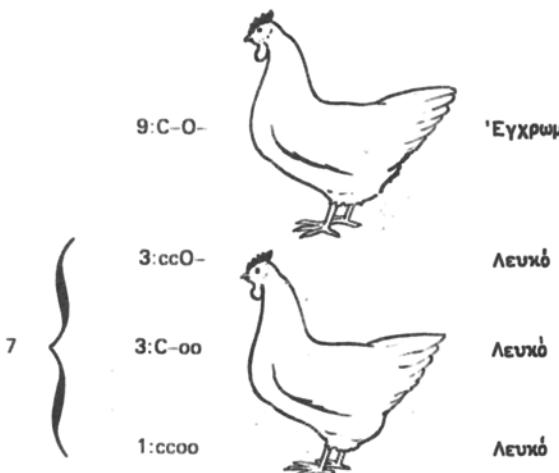
'Ευχρώμο

Cg00



Απογεννητοί

	CO	Co	cO	co
CO	CCOO 'Εγχρωμο	CCOo 'Εγχρωμο	CcOO Εγχρωμο	CcOo 'Εγχρωμο
Co	CCOo 'Εγχρωμο	CCoo Λευκό	CcOo 'Εγχρωμο	Ccoo Λευκό
cO	CcOO 'Εγχρωμο	CcOo 'Εγχρωμο	ccOO Λευκό	ccOo Λευκό
co	CcOo 'Εγχρωμο	Ccoo Λευκό	ccOo Λευκό	ccoo Λευκό



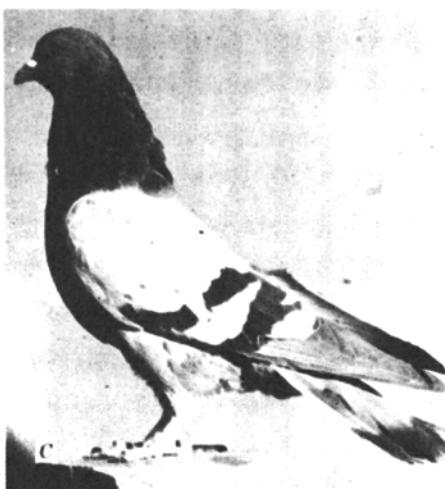
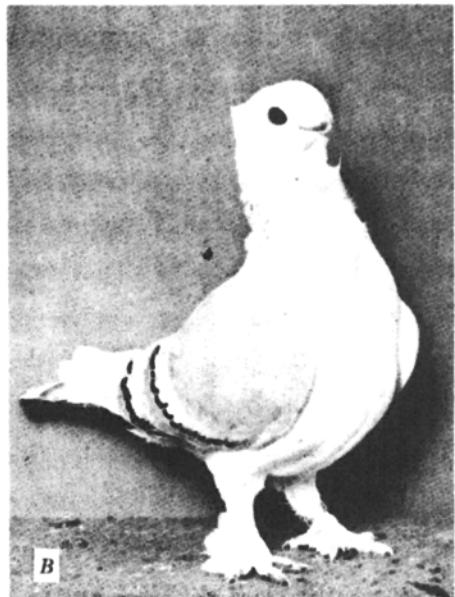
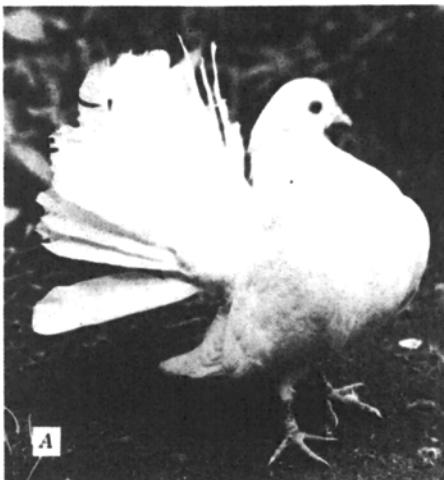
**Σχ. 4.4β.**

Για να εμφανισθεί το χρώμα στα φτερά να υπάρχουν και τα δύο κυρίαρχα γονίδια, γιατί ένα οποιοδή-  
ποτε ομοζύγιο υποτελές είναι επιστατικό σ' ένα από τα κυρίαρχα.

ποιούνται για επιδείξεις. Διασταυρώνοντας τις δύο αυτές φυλές πάρνομε μερικές φορές περιστέρια που μοιάζουν τα αγριοπερίστερα (C). Φαίνεται ότι ένας τυχαίος ανασυνδυασμός του γονιδίου με τις διασταυρώσεις απομακρύνει την επίδραση των επιστατικών γονιδίων, που μέχρι τώρα καταπίεζαν τα προγονικά γνωρίσματα.

#### **4.5 Εφαρμογές για ασκήσεις.**

1) Ένας ερασιτέχνης περιστεράς είχε μια φυλή περιστεριών που κληρονομούσε σταθερά ως προς το μήκος του φτερού, που ήταν 20 cm. Όταν πραγματοποίησε διασταυρώσεις με μιαν άλλη φυλή με μήκος φτερών 16 cm, που το κληρονομούσε σταθερά, προέκυψαν απόγονοι με μήκος 18 cm. Διασταυρώσεις ανάμεσα σε περιστέρια με 18 cm, έδωσαν απογόνους με τα τρία μήκη. Πώς κληρονομείται το μήκος των φτερών στα περιστέρια;



Σχ. 4.4γ.

2) Στις κόπτες διασταυρώσεις που πραγματοποιήθηκαν ανάμεσα σε άτομα με κανονικά και κοντά πόδια έδωσαν τα εξής αποτελέσματα:

Κανονικά πόδια x κοντά  
Κοντά πόδια x κοντά

Απόγονοι με  
κοντά πόδια  
48  
55

Απόγονοι με  
κανονικά πόδια  
51  
28

Πώς κληρονομείται το μήκος των ποδιών;

3) Δύο μαύρα θηλυκά ποντίκια διασταυρώνονται με ένα καστανό. Σε διάφορες γέννες το ένα από τα δύο θηλυκά έδωσε 9 μαύρους και 8 καστανούς απογόνους, ενώ το άλλο έ-

δωσε 57 απογόνους όλους μαύρους. Τι συμπέρασμα βγάζομε ως προς την κληρονόμηση του μαύρου και του καστανού χρώματος στα ποντίκια;

4) Τα φύλλα από τα κουνουπίδια έχουν συνήθως σκούρο πράσινο χρώμα. Ένα υποτελές γονίδιο κάνει το φύλλωμα γυαλιστερό, πράγμα ανεπιθύμητο, γιατί τα γυαλιστερά φύλλα προσβάλλονται εύκολα από έντομα. Αν σε ένα σπορείο εμφανισθούν κουνουπίδια με γυαλιστερά φύλλα, πώς μπορούμε να εξαλείψουμε αυτό το ανεπιθύμητο γνώρισμα;

5) Στα μπιζέλια το ψηλό ανάστημα είναι κυρίαρχο πάνω στο νάνο. Ένα ψηλό φυτό διασταυρώνεται με ένα νάνο και παράγει απογόνους, από τους οποίους οι μισοί έχουν ψηλό ανάστημα και οι μισοί είναι νάνοι. Ποιοί είναι οι γενότυποι των γονέων;

6) Στις κότες το κυρίαρχο γονίδιο R κάνει το λειρί ροδόμορφο, ενώ το υποτελές r το κάνει απλό. Σε μια φυλή με ροδόμορφο λειρί, κάπου κάπου εμφανίζονται πουλιά με απλό λειρί. Πώς δικαιολογείται αυτό και με ποιους τρόπους οι εκτροφείς είναι δυνατό να απαλλάξουν τη φυλή από τα πουλιά με το απλό λειρί;

7) Το άσπρο χρώμα του τριχώματος στα πρόβατα οφείλεται σε ένα κυρίαρχο γονίδιο W και το μαύρο στο υποτελές w. Μια άσπρη προβατίνα διασταυρώνεται με ένα άσπρο κριάρι και γεννά ένα μαύρο αρνί. Εάν από τα δύο αυτά ζώα γεννηθεί ένα δεύτερο αρνί, θα μπορούσε να είναι άσπρο; Να γραφούν οι γενότυποι όλων των ζώων που αναφέρονται στο πρόβλημα.

8) Τα ρουμάνικα πρόβατα Τσουρκάνα είναι γκρίζα ή μαύρα. Τα μαύρα όταν διασταυρώθούν μεταξύ τους, δίνουν μόνο μαύρους απογόνους και τά γκρίζα δίνουν 2/3 γκρίζους απογόνους και 1/3 μαύρους. Κατά τη διασταύρωση μαύρων και γκρίζων πάρνομε απογόνους μαύρους και γκρίζους σε ίση αναλογία. Πώς κληρονομείται το χρώμα;

9) Στα βοοειδή η έλλειψη κεράτων καθορίζεται από ένα γονίδιο P που είναι κυρίαρχο πάνω στο γονίδιο p που κάνει τα ζώα κερασφόρα. Ένας ακέρατος ταύρος διασταυρώνεται με δύο κερασφόρες αγελάδες και με μια ακέρατη και δίνει: με την πρώτη ένα ακέρατο μοσχάρι, με τη δεύτερη ένα κερασφόρο και με την τρίτη επίσης κερασφόρο. Ποιοι είναι οι γενότυποι των τεσσάρων γονέων και τι απογόνους και ποιες αναλογίες περιμένουμε από τις συζεύξεις;

10) Στην πτομάτα το κόκκινο χρώμα του καρπού ελέγχεται από το κυρίαρχο γονίδιο R και το κίτρινο από το υποτελές r. Το ψηλό ανάστημα από το κυρίαρχο γονίδιο D και το νάνο από το υποτελές d. Δύο σταθερές ποικιλίες, η μία κίτρινη - ψηλή και η άλλη κόκκινη - νάνος, διασταυρώθηκαν και έδωσαν απογόνους. Είναι δυνατόν επιλέγοντας τους απογόνους να δημιουργήσουμε δύο νέες σταθερές ποικιλίες, μία κόκκινη - ψηλή και μία κίτρινη - νάνο; Ποια από τις δύο ποικιλίες δημιουργείται πιο εύκολα;

11) Στα καρπούζια το χρώμα μπορεί να είναι πράσινο ή ραβδωτό και το σχήμα σφαιρικό ή επίμηκες. Ένα φυτό ομοζύγωτο με επιμήκεις και πράσινους καρπούς διασταυρώνεται με ένα ομοζύγωτο με καρπούς σφαιρικούς και ραβδωτούς. Τα φυτά της F<sub>1</sub> είχαν όλα καρπούς σφαιρικούς και πράσινους. Τα φυτά της F<sub>2</sub> ήταν τεσσάρων τύπων ως προς το σχήμα και το χρώμα των καρπών και οι αναλογίες ήταν: 9 σφαιρικά - πράσινα προς 3 σφαιρικά - ραβδωτά προς 3 επιμήκη - πράσινα προς 1 επιμήκεις - ραβδωτό. Πόσα ζεύγη γονιδίων υπεισέρχονται στην κληρονόμηση των παραπάνω χαρακτηριστικών και ποια γονίδια είναι κυριαρχα; Τι αποτελέσματα αναμένονται στην F<sub>1</sub> και F<sub>2</sub>, εάν διασταυρώσουμε ομοζύγωτα σφαιρικά - πράσινα με ομοζύγωτα επιμήκη - πράσινα;

12) Στις κότες το μαύρο χρώμα επηρεάζεται από το κυριάρχο γονίδιο E και το κόκκινο από το υποτελές e. Η ύπαρξη λειριού οφείλεται στο κυρίαρχο γονίδιο C, ενώ η έλλειψη στο υποτελές c. Ένας πετεινός κόκκινος με λειρί, διασταυρώνεται με μια κότα μαύρη και χωρίς λειρί. Αποκτούν πολλούς απογόνους, οι μισοί από τους οποίους είναι μαύροι με λειρί και οι

μισοί κόκκινοι με λειρί. Ποιοι είναι οι γενότυποι των γονέων;

13) Στα κουνέλια το μαύρο χρώμα οφείλεται στο κυρίαρχο γονίδιο B και το καστανό στο υποτελές b. Το κοντό τρίχωμα οφείλεται στο κυρίαρχο γονίδιο L και το μακρύ στο υποτελές l. Δύο ζώα ομοζύγωτα το ένα με μαύρο - κοντό τρίχωμα και το άλλο με καστανό - μακρύ διασταυρώθηκαν και έδωσαν απογόνους. Οι απόγονοι διασταυρώθηκαν μεταξύ τους και έδωσαν την F<sub>2</sub> γενιά. Ποιοι είναι οι γενότυποι και οι φαινότυποι της F<sub>1</sub> και F<sub>2</sub> γενιάς; Αν τα δύο ομοζύγωτα ζώα ήταν το ένα με μαύρο - μακρύ τρίχωμα και το άλλο με καστανό - κοντό τρίχωμα, ποια θα ήταν τα αποτελέσματα στην F<sub>1</sub> καί F<sub>2</sub> γενιάς;

14) Στα άλογα το μαύρο χρώμα οφείλεται στο κυρίαρχο γονίδιο B και το καστανό στο υποτελές b. Το βάδισμα υπο μορφή καλπασμού οφείλεται στο κυρίαρχο γονίδιο P και το κανονικό στο υποτελές p. Ένα μαύρο άλογο με κανονικό βάδισμα διασταυρώνεται με ένα καστανό, που καλπάζει και γεννούν ένα πουλάρι καστανό με κανονικό βηματισμό. Ποιοι είναι οι γενότυποι των γονέων και του πουλαριού;

15) Στον άνθρωπο τα καστανά μάτια οφείλονται στο κυρίαρχο γονίδιο B και τα γαλανά στο υποτελές b. Ένα άλλο κυρίαρχο γονίδιο R κάνει τα μαλλιά μαύρα και το υποτελές g κόκκινα. Ένας άνδρας με καστανά μάτια και κόκκινα μαλλιά νυμφεύεται μια γυναίκα με γαλανά μάτια καί μαύρα μαλλιά. Αποκτούν ένα παιδί με καστανά μάτια και κόκκινα μαλλιά και ένα με γαλανά μάτια και μαύρα μαλλιά. Ποιοι είναι οι γενότυποι των γονέων και των παιδιών;

16) Στα σκυλιά το κυρίαρχο γονίδιο B είναι υπεύθυνο για το μαύρο χρώμα και το υποτελές b για το καστανό. Ένα άλλο κυρίαρχο γονίδιο I εμποδίζει την εκδήλωση του χρώματος σε τρόπο ώστε παρουσία του τα ζώα να είναι λευκά. Χρώμα εκδηλώνεται μόνον όταν υπάρχει το υποτελές γονίδιο. Δύο ζώα με το γενότυπο Bb II διασταυρώνονται. Να βρεθούν οι φαινοτυπικές αναλογίες των απογόνων.

17) Στις κότες όταν διασταυρώθηκαν δύο φυλές η μια με φτερά στις κνήμες και η άλλη χωρίς φτερά, έδωσαν στην F<sub>1</sub> δλούς τους απογόνους με φτερά και στην F<sub>2</sub> 336 απογόνους με φτερά και 24 χωρίς φτερά. Πώς κληρονομείται το γνώρισμα;

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

### ΚΛΗΡΟΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΠΟΣΟΤΙΚΩΝ ΓΝΩΡΙΣΜΑΤΩΝ

#### 5.1 Τα ποιοτικά και τα ποσοτικά γνωρίσματα.

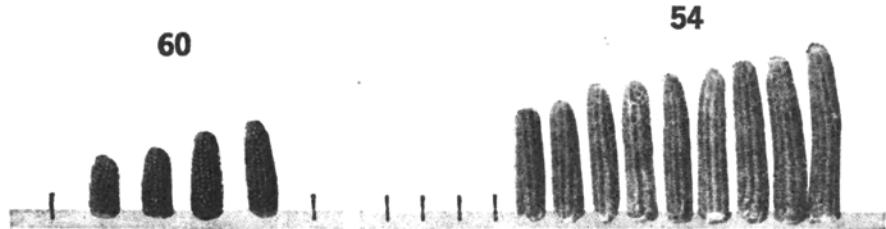
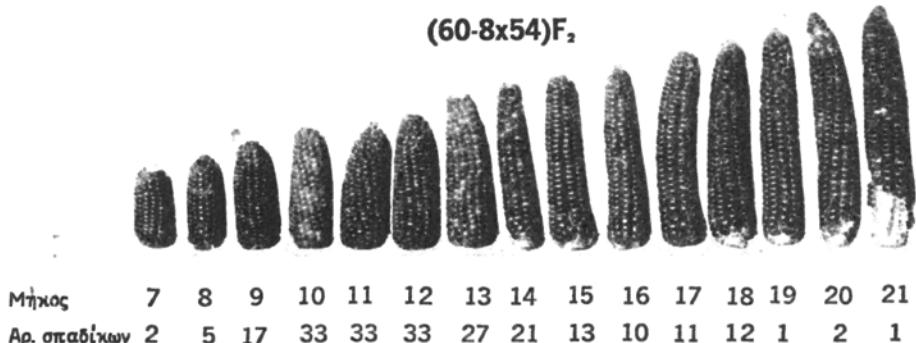
Τα γνωρίσματα που μελέτησε ο Mendel, όπως η λεία ή συρρικνωμένη επιφάνεια του σπόρου, το κίτρινο ή πράσινο χρώμα του, το κόκκινο ή λευκό χρώμα των λουλουδιών, έχουν ποιοτικές διαφορές μεταξύ τους. Γι' αυτό ονομάζονται **ποιοτικά γνωρίσματα**. Ενώ τα γνωρίσματα εκείνα που εμφανίζουν ποσοτικές διαφορές, όπως είναι η γαλακτοπαραγωγή, η απόδοση, το σωματικό βάρος, η ευρωστία, η ευφυΐα κλπ., καλούνται **ποσοτικά**.

Τα ποιοτικά γνωρίσματα, όπως είδαμε, ελέγχονται από ένα ή δύο ζεύγη γονιδίων. Τα ποσοτικά όμως γονίδια, όπως θα δούμε παρακάτω, ελέγχονται από περισσότερα ζεύγη γονιδίων. Τα γονίδια αυτά καλούνται **πολυμερή γονίδια** ή **πολλαπλά γονίδια** ή **πολυγονίδια**.

#### 5.2 Τα πειράματα του East με το καλαμπόκι.

Ο East μελέτησε στην Αμερική τον τρόπο με τον οποίο κληρονομείται το μήκος του σπάδικα στο καλαμπόκι, προς τούτο διεσταύρωσε δύο ποικιλίες καλαμποκιού, όπως δείχνει το σχήμα 5.2a. Η μία ποικιλία, από το Μεξικό, είχε μεγάλο μήκος σπάδικα, ενώ η άλλη είχε μικρό. Οι σπάδικες ταξινομήθηκαν κατά κατηγορίες (κλάσεις) που η μία διέφερε από την άλλη κατά 1cm. Κάτω από κάθε κατηγορία γράφεται ο αριθμός των σπαδίκων που είχαν το μήκος της κατηγορίας αυτής. Έτσι π.χ., στόν πρώτο γονέα βλέπουμε ότι βρέθηκαν 4 σπάδικες με μήκος 5 cm, 21 σπάδικες με μήκος 6 cm κ.ο.κ. Κάθε μία από τις δύο αυτές ποικιλίες παρουσιάζει κάποια παραλλακτικότητα στο μήκος του σπάδικα. Το μέσο μήκος του σπάδικα ήταν στη μεν μία ποικιλία 6,6 cm στη δε άλλη 16,8 cm.

Τα φυτά της  $F_1$ , γενιάς είχαν σπάδικες με μήκος ενδιάμεσο, το οποίο κυμαίνονταν μεταξύ των τιμών των δύο γονέων, όπως δηλαδή συνέβαινε και στα ποιοτικά γνωρίσματα με έλλειψη κυριαρχίας. Στα φυτά της  $F_2$  θα περιμέναμε ύστερα απ' αυτό οι σπάδικες να εμφανίσουν διάσπαση στην αναλογία 1: 2:1. Δεν έδωσαν όμως ευδιάκριτες κατηγορίες μήκους, αλλά μία συνεχή παραλλακτικότητα με μέσο όρο ίσο με το μέσο όρο της  $F_1$ . Το εύρος όμως στην  $F_2$  ήταν πολύ μεγαλύτερο από εκείνο της  $F_1$ . Παρατηρήθηκαν δηλαδή φυτά, που είχαν τόσο κοντούς σπάδικες, όσο και ο κοντότερος αρχικός γονέας, και φυτά που είχαν τόσο μακρείς σπάδικες, όσο και ο γονέας με τους μακρείς σπάδικες. Υπήρχαν επίσης φυτά με μήκος σπά-

(60x54)F<sub>1</sub>(60-8x54)F<sub>2</sub>

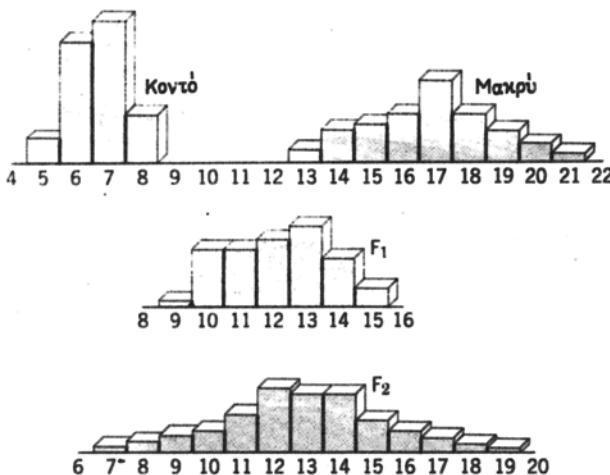
Σχ. 5.2α

Η κληρονόμηση του μήκους του σπάδικα στο καλαμπόκι, Διασταυρώθηκαν δύο ποικιλίες με διαφορετικό μήκος σπάδικα. Επάνω φαίνεται το εύρος του μήκους στους δύο γονείς, στη μέση το εύρος της F<sub>1</sub> και κάτω το εύρος σπάδικα στα φυτά της F<sub>2</sub>.

δίκα που μπορούσε να ανήκει σ' όλες τις ενδιάμεσες κατηγορίες. Οι συχνότητες κάθε κλάσεως παρουσιάζονται γραφικά στο σχήμα 5.2β.

### 5.3 Διαφορές στην κληρονόμηση ποιοτικού και ποσοτικού γνωρίσματος.

Συγκρίνοντας την κληρονόμηση του μήκους του σπάδικα, που είναι ποσοτικό γνώρισμα, με τον τρόπο κληρονομήσεως του χρώματος του άνθους στο φυτό *Mirabilis Jalapa*, που είναι ποιοτικό γνώρισμα, παρατηρούμε ότι:



Σχ. 5.28

Γραφική παράσταση των αποτελεσμάτων των πειραμάτων του East με το μήκος σπάδικα στο καλαμπόκι.

α) Το χρώμα των λουλουδιών στο φυτό αυτό ήταν στον μεν ένα γονέα κόκκινο, στο δε άλλο γονέα λευκό, δηλαδή πλήρως καθορισμένο. Στο καλαμπόκι όμως το μήκος του σπάδικα ήταν κατά μέσο όρο 6,6 cm στον ένα γονέα, αλλά με εύρος από 5 ως 8 cm, στον άλλο δε γονέα 16,8 cm αλλά με τιμές που κυμαίνονταν από 13 ως 21 cm.

β) Στην F<sub>2</sub> έχουμε διάσπαση του χρώματος σε τρεις σαφείς φαινοτυπικές κλάσεις δηλαδή: 1 κόκκινο: 2 ροζ: 1 λευκό. Στους σπάδικες το μήκος κυμαίνονταν από 7 ως 21 cm. Οι συχνότητες δε κάθε κατηγορίας (κλάσεως) μήκους ακολουθούν κανονική κατανομή (σχ. 5.2β).

γ) Το χρώμα των λουλουδιών κληρονομείται, όπως αναφέραμε σε άλλο κεφάλαιο, από ένα ζεύγος αλληλομόρφων γονιδίων, που δρουν αθροιστικά (ημικυριαρχικά) και εμφανίζει τρεις σαφείς φαινοτυπικές κλάσεις στην F<sub>2</sub>. Στο καλαμπόκι το μήκος του σπάδικα εμφανίζει στην F<sub>2</sub> πολλές μικρές φαινοτυπικές κλάσεις για τη δημιουργία των οποίων παραδεχόμαστε την ύπαρξη περισσοτέρων ζευγών γονιδίων. Το καθένα απ' αυτά συμβάλλει στην αύξηση του μήκους του σπάδικα κατά μια ορισμένη ποσότητα. Η δράση του ενδές ζεύγους προσθέτεται στη δράση του άλλου, δηλαδή δρουν αθροιστικά, και έτσι όσα περισσότερα γονίδια συγκεντρώνονται στο γενότυπο, τόσο μεγαλύτερο μήκος θα έχει ο σπάδικας.

δ) Οι κλάσεις του μήκους πλησιάζουν περισσότερο η μία την άλλη, όσα περισσότερα ζεύγη γονιδίων (πολυγονιδίων) ελέγχουν το γνώρισμα. Έρχεται και το περιβάλλον, εν των μεταξύ, που δημιουργεί πρόσθετη παραλλακτικότητα και συγχέει έτσι τις κλάσεις, ώστε στην F<sub>2</sub> παρουσιάζεται συνεχής η κατανομή της συχνότητας των κλάσεων δίνοντας την κανονική καμπύλη.

#### 5.4 Τα πειράματα του Nilsson – Ehle με το σιτάρι.

Ο Nilsson-Ehle μελέτησε την κληρονόμηση του χρώματος των κόκκων στο σιτάρι. Διασταύρωσε δύο ποικιλίες σιταριού, από τις οποίες η μία είχε κόκκους με

σκούρο κόκκινο χρώμα και η άλλη με λευκό χρώμα. Τα φυτά της  $F_1$  είχαν σπόρους με ενδιάμεσο χρωματισμό. Στην  $F_2$  οι σπόροι είχαν την αναλογία 64 κόκκινοι: 1 λευκός. Οι κόκκινοι σπόροι δεν είχαν όλοι τον ίδιο τόνο χρώματος, αλλά κυμαίνονταν από το πολύ σκούρο κόκκινο ως το πολύ ανοικτό. Περισσότεροι ήταν οι κόκκινοι με τον ενδιάμεσο τόνο χρώματος και λιγότεροι καθώς προχωρούσαν προς τους πολύ σκούρους ή πολύ άνοικτούς.

Αν υποθέσουμε ότι το χρώμα ελέγχεται από τρία ζεύγη γονιδίων (σχ. 5.4) με αθροιστική δράση και ότι κάθε κυρίαρχο γονίδιο σκουραίνει το χρώμα κατά 1 τόνο, ενώ τα υποτελή αδρανούν τότε ο τόνος χρώματος κάθε γενότυπου θα εξαρτάται από τον αριθμό των κυριάρχων γονιδίων που περιέχει. Θα έχουμε συνεπώς τόσους τόνους χρώματος, όσοι και οι διαφορετικοί γενοτυπικοί συνδυασμοί. Δύο γενότυποι με τον ίδιο αριθμό κυριάρχων, όπως π.χ. οι:

$R_1R_1R_2r_2r_3$  και  $R_1r_1R_2r_2R_3R_3$ , αν και είναι διαφορετικοί δίνουν τον ίδιο τόνο χρώματος, δηλαδή τον ίδιο φαινότυπο.

## 5.5 Κληρονόμηση του χρώματος της επιδερμίδας στον ανθρώπο.

Τό χρώμα της επιδερμίδας του ανθρώπου ποικίλλει από τους λευκούς Καυκάσιους μέχρι τους μαύρους της Αφρικής. Όλες οι έρευνες δείχνουν ότι η ιδιότητα αυτή είναι χαρακτηριστικό ποσοτικό, που κληρονομείται με 3-4 ζεύγη γονιδίων. Για απλούστευση, θα παραδεχθούμε ότι δύο ζεύγη αλληλομόρφων γονιδίων είναι υπεύθυνα για το χρώμα της επιδερμίδας (σχ. 5.5). 'Ενα εξαιρετικά λευκό άτομο δεν έχει γονίδιο που να προσδίδει χρωστική, ενώ ένα εξαιρετικά μαύρο άτομο θα έχει και τα 4 γονίδια, που το καθένα παράγει χρωστική κατά μια καθορισμένη ποσότητα. Τα υπόλοιπα άτομα θα έχουν ενδιάμεσους χρωματισμούς. Η επίδραση του περιβάλλοντος βέβαια τείνει να εξαφανίσει τις διαφορές του χρώματος στις διάφορες κλάσεις, με αποτέλεσμα να παρατηρούμε μια συνεχόμενη μεταβολή στον τόνο του χρώματος.

## 5.6 Συμπέρασμα.

Τα γνωρίσματα που κληρονομούνται διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: τα **ποιοτικά** και τα **ποσοτικά**. Τα πρώτα ελέγχονται από λίγα ζεύγη γονιδίων, που καλούνται **μακρογονίδια ή μεγαλογονίδια**. Τα ποσοτικά ελέγχονται από πολλά ζεύγη γονιδίων με αθροιστική δράση και καλούνται **πολυγονίδια**. Η δράση των πολυγονιδίων επηρεάζεται από το περιβάλλον, ενώ των μεγαλογονιδίων δεν επηρεάζεται. Το περιβάλλον δημιουργεί τυχαία παραλλακτικότητα που τείνει να εξαφανίσει τις διαφορές μεταξύ των φαινοτυπικών κλάσεων και ακολουθεί κανονική κατανομή.

### Σχ. 5.4

Ποσοτική κληρονόμηση του χρώματος στους κόκκους του σπιταριού. Το χρώμα ελέγχεται από τρία ζεύγη γονιδίων. Κάθε κυρίαρχο γονίδιο ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ) προσθέτει ίση δόση χρώματος. Τα υποτελή αλληλομορφά τους ( $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$ ) δε συμβάλλουν στο χρωματισμό. Το τριυβρίδιο δίνει ενδιάμεσο χρώμα, γιατί έχει τρία ενεργά γονίδια. Επειδή το τριυβρίδιο δίνει γαμέτες οκτώ ειδών, στην  $F_2$  έχουμε 64 συνδυασμούς, από τους οποίους ο ένας έχει και τα 6 κυρίαρχα, άρα παίρνει 6 βαθμούς χρώματος, και άλλος ένας τα υποτελή, άρα παίρνει μηδέν βαθμούς χρώματος. 'Όλοι οι άλλοι γενότυποι έχουν τόνους χρώματος μεταξύ των δύο ακραίων κλάσεων. Οι αριθμοί στα τετραγωνίδια δίνουν τον αριθμό των κυριάρχων γονιδίων και συνεπώς τον τόνο του χρώματος.



**F<sub>1</sub>:** Με κόκκινους σπόρους

Με λευκούς σπόρους

Γαμέτες

R<sub>1</sub>R<sub>1</sub>R<sub>2</sub>R<sub>2</sub>R<sub>3</sub>R<sub>3</sub>

X

r<sub>1</sub>r<sub>1</sub>r<sub>2</sub>r<sub>2</sub>r<sub>3</sub>r<sub>3</sub>

(R<sub>1</sub>R<sub>2</sub>R<sub>3</sub>)

(r<sub>1</sub>r<sub>2</sub>r<sub>3</sub>)

**F<sub>1</sub>:**

R<sub>1</sub>r<sub>1</sub>R<sub>2</sub>r<sub>2</sub>R<sub>3</sub>r<sub>3</sub> — Ενθιάμεσο κόκκινο

Γαμέτες της F<sub>1</sub>

(R<sub>1</sub>R<sub>2</sub>R<sub>3</sub>) , (R<sub>1</sub>r<sub>2</sub>R<sub>3</sub>) , (r<sub>1</sub>R<sub>2</sub>R<sub>3</sub>) , (r<sub>1</sub>r<sub>2</sub>R<sub>3</sub>) ,  
 (R<sub>1</sub>R<sub>2</sub>r<sub>3</sub>) , (R<sub>1</sub>r<sub>2</sub>r<sub>3</sub>) , (r<sub>1</sub>R<sub>2</sub>r<sub>3</sub>) , (r<sub>1</sub>r<sub>2</sub>r<sub>3</sub>)

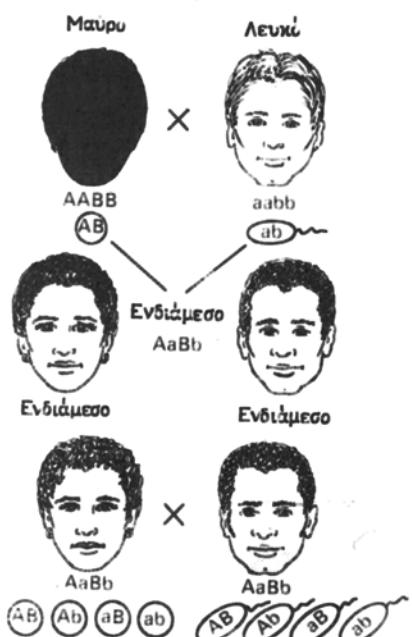
F<sub>1</sub> × F<sub>1</sub>

	R <sub>1</sub> R <sub>2</sub> R <sub>3</sub>							
R <sub>1</sub> R <sub>2</sub> R <sub>3</sub>	6	5	5	4	5	4	4	3
R <sub>1</sub> r <sub>2</sub> R <sub>3</sub>	5	4	4	3	4	3	3	2
r <sub>1</sub> R <sub>2</sub> R <sub>3</sub>	5	4	4	3	4	3	3	2
r <sub>1</sub> r <sub>2</sub> R <sub>3</sub>	4	3	3	2	3	2	2	1
R <sub>1</sub> R <sub>2</sub> r <sub>3</sub>	5	4	4	3	4	3	3	2
R <sub>1</sub> r <sub>2</sub> r <sub>3</sub>	4	3	3	2	3	2	2	1
r <sub>1</sub> R <sub>2</sub> r <sub>3</sub>	4	3	3	2	3	2	2	1
r <sub>1</sub> r <sub>2</sub> r <sub>3</sub>	3	2	2	1	2	1	1	0

## 5.7 Εφαρμογές για δάσκηση.

- Εάν άνδρες με διάφορους τόνους χρώματος νυμφευθούν γυναίκες με γενότυπο ααββ, δηλαδή λευκές, μπορούν να έχουν μαύρα παιδιά; πώς εξηγείται;
- Κάνετε το διάγραμμα της διασταύρωσεως μεταξύ μιας ποικιλίας σπαριού με κόκκινους σπόρους (AABB) και μιας ποικιλίας με λευκούς σπόρους (ααββ). Παραδεχόμαστε ότι το χρώμα ελέγχεται από δύο ζεύγη γονιδίων που δρουν αθροιστικά. Ταξινομείτε τους απογόνους στην  $F_2$  στις εξής φαινοτυπικές κλάσεις: κόκκινοι σπόροι, σκούροι, ανοικτοί και λευκοί.
- Τρία ανεξάρτητα ζεύγη γονιδίων ( $Aa$ ,  $Bb$  και  $Gy$ ) ελέγχουν το ύψος ενός φυτού. Κάθε κυρίαρχο γονίδιο αυξάνει το βασικό ύψος κατά 10cm. Ποιο θα είναι το ύψος των φυτών που θα προκύψουν από την διασταύρωση:

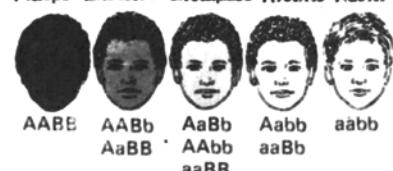
$AABBGG$  (100cm) x  $aaBbGg$  (40cm).



	AB	Ab	aB	ab
AB	Μαύρο AABB	Σκοτεινό AABb	Σκοτεινό AaBB	Ενδιάμεσο AaBb
Ab	Σκοτεινό AAbb	Ενδιάμεσο AAbb	Ενδιάμεσο AaBb	Ανοικτό Aabb
aB	Σκοτεινό AaBb	Ενδιάμεσο AaBb	Ενδιάμεσο aaBb	Ανοικτό aaBb
ab	Ενδιάμεσο Aabb	Ανοικτό Aabb	Ανοικτό aaBb	Λευκό aabb

Φαινότυπος: Μαύρο Σκοτεινό Ενδιάμεσο Ανοικτό Λευκό

Γενότυπος



Σχ. 5.5

Κληρονόμηση του χρώματος της επιδερμίδας στον άνθρωπο. Διασταύρωση μεταξύ μαύρου και λευκού προσώπου δίνει ενδιάμεσους απογόνους. Διασταύρωση δύο ενδιάμεσων τύπων δίνει απογόνους με χρώμα από μαύρο ως λευκό, με όλα τα ενδιάμεσα στάδια. Κατά πάσα πιθανότητα, υπεισέρχονται 3-4 ζεύγη αλληλομόρφων γονιδίων, αλλά για απλούστευση χρησιμοποιούμε δύο μόνο ζεύγη.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

### ΤΑ ΣΥΝΔΕДЕΜΕΝΑ ΓΟΝΙΔΙΑ

#### 6.1 Γενικά.

Ο αριθμός των χρωμοσωμάτων που έχει κάθε είδος είναι ορισμένος. Στον άνθρωπο π.χ. είναι 23 ζεύγη ομολόγων, στο καλαμπόκι 10 και στο κριθάρι 7 ζεύγη ομολόγων χρωμοσωμάτων. Τα γονίδια, από την άλλη μεριά, είναι πολύ περισσότερα: στο καλαμπόκι π.χ. έχουν επισημανθεί 500 περίπου γονίδια, τα οποία είναι κατανεμημένα στα 10 χρωμοσώματα (σχ. 6.1). Καθώς τα χρωμοσώματα κατανέμονται στους γαμέτες, τα γονίδια, που βρίσκονται στο ίδιο χρωμόσωμα, μεταβιβάζονται ως μια ομάδα στους απογόνους. Η τάση αυτή των γονιδίων, που βρίσκονται στο ίδιο χρωμόσωμα, να κληρονομούνται μαζί ως ομάδες είναι γνωστή ως **σύνδεση** και η ομάδα των γονιδίων ενός χρωμοσώματος ως **ομάδα συνδέσεως**. Οι ομάδες συνδέσεως σε κάθε είδος είναι τόσες, δύσα τα ζεύγη των χρωμοσωμάτων.

#### 6.2 Συμβολισμός των συνδεδεμένων γονιδίων.

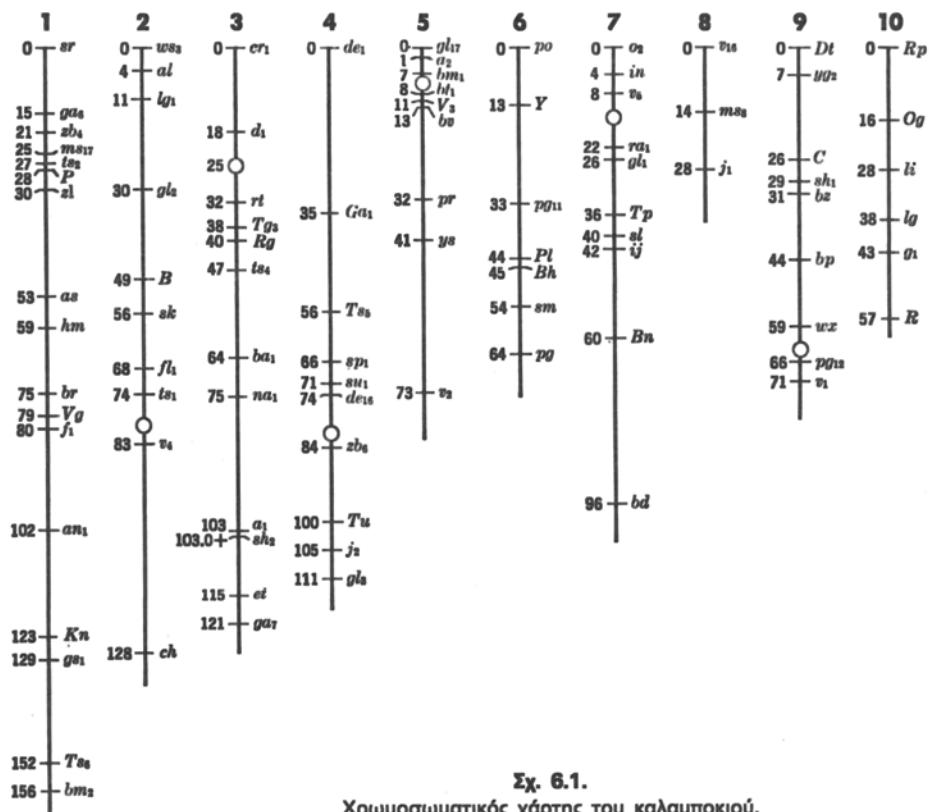
Έχομε π.χ. τα δύο ζεύγη γονιδίων Αα και Ββ. Όταν είναι ασύνδετα, βρίσκονται δηλαδή σε διαφορετικά χρωμοσώματα, τα συμβολίζομε ως ΑαΒβ. Όταν όμως είναι συνδεδεμένα τα παριστάνομε με ένα κλάσμα ως εξής:

A	B	A	B
————— ή —————			
a	β	a	B

Η κάθε γραμμή συμβολίζει ένα ομόλογο χρωμόσωμα. Η πρώτη διάταξη, στην οποία τα δύο κυρίαρχα γονίδια είναι τοποθετημένα στο ένα ομόλογο και τα δύο υποτελή στο άλλο ομόλογο, καλείται **ομόπλευρη**. Στη δεύτερη περίπτωση, όπου στο κάθε ομόλογο χρωμόσωμα βρίσκεται ένα κυρίαρχο και ένα υποτελές, λέμε ότι έχουμε **διάταξη ετερόπλευρη**.

#### 6.3 Πρακτική σημασία των συνδεδεμένων γονιδίων.

Εάν υποθέσουμε ότι το γονίδιο Α δίνει στο φυτό του καλαμπόκιού αντοχή σε μια αρρώστεια, π.χ. τον άνθρακα, και το γονίδιο Β καλή ποιότητα της πρωτεΐνης του κόκκου, τότε, όταν ο βελτιωτής επιλέγει ένα φυτό ανθεκτικό στον άνθρακα, είναι σίγουρος ότι το φυτό αυτό θα δίνει συγχρόνως και καλή πρωτεΐνη. Αυτό συμβαίνει γιατί τα δύο γονίδια Α και Β κληρονομούνται μαζί. Όταν, τώρα, θέλει να επιλέξει φυτά, που να είναι ανθεκτικά στον άνθρακα, αλλά δεν υπάρχει προσβολή της αρ-



Σχ. 6.1.  
Χρωμοσωματικός χάρτης του καλαμποκιού.

ρώστειας, για να διαπιστωθεί η ανθεκτικότητα, αρκεί να βρει τα φυτά που έχουν καλή πρωτεΐνη. Αφού, δηλαδή, το φυτό έχει το γονίδιο Β, θα έχει και το Α, γιατί τα δύο κληρονομούνται μαζί. Το γονίδιο Β, με άλλα λόγια, χρησιμοποιήθηκε ως δείκτης για την ύπαρξη του γονίδιου Α.

Πιθανόν όμως από τα δύο συνδεδεμένα γονίδια το ένα μόνο να είναι επιθυμητό και το άλλο ανεπιθύμητο, επειδή δίνει στο φυτό λόγου χάρη ευπάθεια σε μια άλλη ασθένεια. Στην περίπτωση αυτή η σύνδεση των δύο γονιδίων αποτελεί εμπόδιο για το βελτιωτή.

Ευτυχώς για τη δεύτερη περίπτωση και δυστυχώς για την πρώτη, δύο συνδεδεμένα γονίδια δεν μένουν πάντα συνδεδεμένα, αλλά κατά ένα ποσοστό αποχωρίζονται με το φαινόμενο της ανταλλαγής.

#### 6.4 Ανταλλαγή των συνδεδεμένων γονιδίων.

Έστω ότι αυτογονιμοποιούμε ένα άτομο που έχει το γενότυπο:  $\frac{A}{a} \frac{B}{b}$ .

Όταν τα ομόλογα χωρισθούν στη μείωση για να δώσουν τους γαμέτες, τότε το ένα ομόλογο A θα πάει στον ένα γαμέτη, και το άλλο a β στον άλλο γαμέτη. Θα σχηματισθούν δηλαδή δύο μόνον είδη γαμετών αντί 4 που περιμένομε, αν τα γονίδια ήταν ασύνδετα. Αυτό δύναται να συμβαίνει απόλυτα, γιατί κατά τη μείωση γίνεται ανταλλαγή χρωμοσωματικών τμημάτων (σχ. 6.4), οπότε έχουμε πάλι το σχηματισμό 4 γαμετών. Σε όσα κύτταρα δε γίνεται ανταλλαγή, και αυτά είναι συνήθως τα περισσότερα, θα σχηματισθούν δύο μόνο γαμέτες, όπως φαίνεται στο αριστερό μέρος του σχήματος 6.4. Στα κύτταρα δύναται, στα οποία θα συμβεί ανταλλαγή, όπως εξηγείται στο δεξιό τμήμα του ίδιου σχήματος, θα σχηματισθούν 4 γαμέτες. Η ανταλλαγή γίνεται στο στάδιο της τετράδας. Όταν δηλαδή τα ομόλογα διπλασιάζονται και αυξεύγονται, τα μη αδελφικά χρωματίδια ανταλλάσσουν τμήματα. Στην περίπτωση του σχήματος έγινε ανταλλαγή του τμήματος που περιέχει το ζεύγος Bβ, οπότε τα γονίδια B και β έχουν ανταλλάξει θέσεις. Έτσι, οι γαμέτες που σχηματίζονται είναι οι εξής:

A B      a β      A β      a B

Η ανταλλαγή, όπως γίνεται κατανοητό από το σχήμα 6.4, περιορίζεται σ' ένα ορισμένο μόνο ποσοστό. Αν π.χ. συμβεί ανταλλαγή στα μισά κύτταρα, το ποσοστό των νέων συνδυασμών θα είναι 25%, δηλαδή 2 στους 8 συνολικά, οπότε οι 6 θα μοιάζουν τους πατρικούς συνδυασμούς. Το ποσοστό της ανταλλαγής δεν μπορεί να ξεπεράσει το 50% των κυττάρων. Όσο τα συνδεδεμένα γονίδια βρίσκονται πολύ κοντά το ένα στο άλλο πάνω στο χρωμόσωμα, τόσο σπάνια είναι η ανταλλαγή τους. Όσο μεγαλύτερη είναι η απόστασή τους, τόσο μεγαλύτερο είναι και το ποσοστό ανταλλαγής. Στη συσχέτιση αυτή μεταξύ ποσοστού ανταλλαγής και αποστάσεως των γονιδίων στηρίζεται η κατασκευή των χρωμοσωμικών χαρτών.

Αν βρεθεί ότι το ποσοστό ανταλλαγής ανάμεσα σε δύο συνδεδεμένα γονίδια είναι π.χ. 28%, αυτό σημαίνει ότι και το ποσοστό των γαμετών με τους νεοσυνδυασμούς είναι 28%, οπότε 14% απαντάται ο ένας και 14% ο άλλος καινούργιος συνδυασμός. Στα υπόλοιπα 72% θα μοιρασθούν εξ ίσου οι συνδυασμοί των γονέων.

## 6.5 Η πρακτική σημασία της ανταλλαγής των συνδεδεμένων γονιδίων.

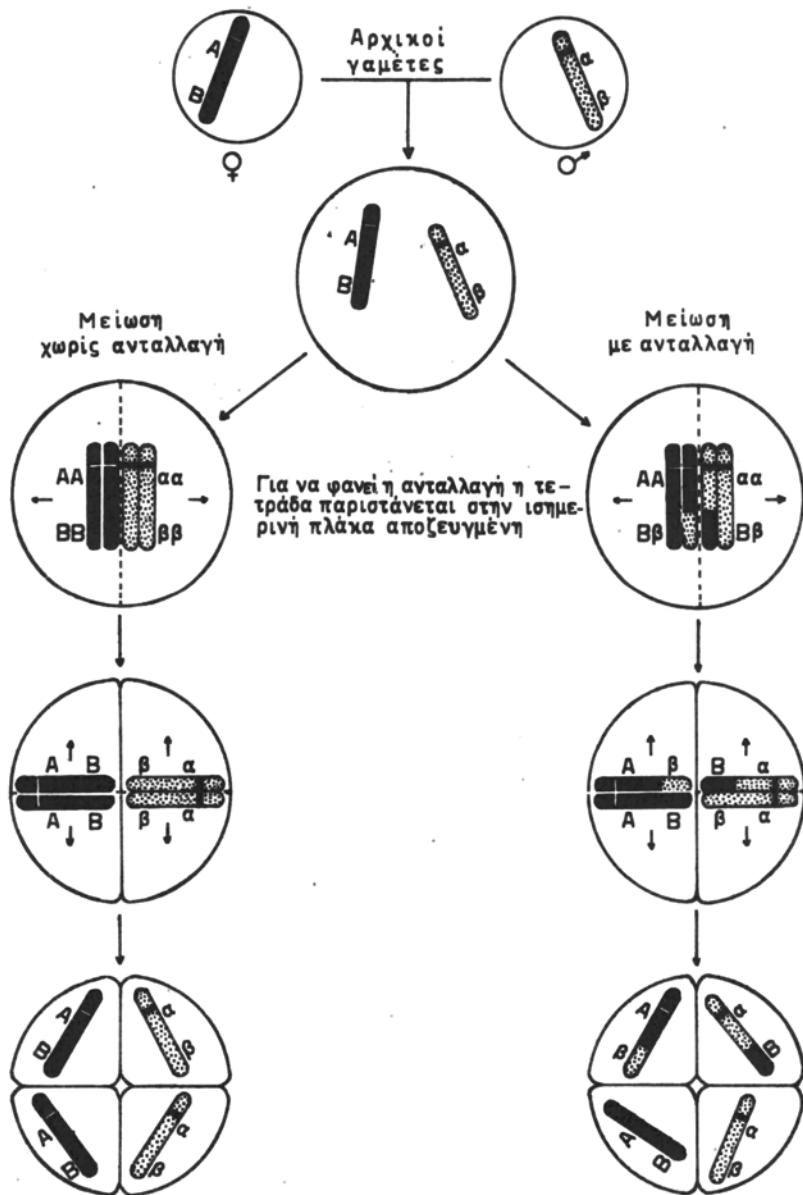
Με το μηχανισμό της ανταλλαγής των συνδεδεμένων γονιδίων ανασυνδυάζονται και τα γονίδια αυτά, με άμεσο αποτέλεσμα τη δημιουργία γενετικής παραλλακτικότητας. Μια τέτοια παραλλακτικότητα είναι απαραίτητη στους βελτιωτές, για να μπορέσουν να επιλέξουν τους καλύτερους συνδυασμούς.

Στην περίπτωση που από τα δύο συνδεδεμένα γονίδια το ένα είναι ανεπιθύμητο, το φαινόμενο της ανταλλαγής μας δίνει την ευκαιρία να απαλλαγούμε απ' αυτό.

Όταν είναι χρήσιμο να έχουμε συνδεδεμένα ορισμένα πολύτιμα γονίδια, τότε επιθυμούμε τα γονίδια αυτά να είναι στενά συνδεδεμένα, δηλαδή να βρίσκονται πολύ κοντά πάνω στο χρωμόσωμα, για να μη αποχωρίζονται εύκολα με την ανταλλαγή.

## 6.6 Ερωτήσεις για εξάσκηση.

- Ποια γονίδια είναι ασύνδετα και ποια συνδεδεμένα;



Σχ. 6.4.

Η συμπεριφορά δύο συνδεδεμένων ζευγών γονιδίων κατά τη μείωση. Όταν η μείωση γίνεται χωρίς ανταλλαγή (αριστερά), δημιουργούνται δύο μόνο γαμέτες, όμοιοι με τους γονείς. Όταν όμως γίνεται ανταλλαγή (δεξιά), προκύπτουν 4 γαμέτες. Από αυτούς οι 2 μοιάζουν στους γονείς και οι 2 είναι νέοι συνδυασμοί.

2. Με ποια γονίδια δημιουργείται μεγαλύτερη γενετική παραλλακτικότητα, με τα ασύνδετα  
ή με τα συνδεδεμένα;
  3. Πότε έχομε ομόπλευρη και πότε ετερόπλευρη σύνδεση δύο γονιδίων;
  4. Πότε έπιθυμούμε δύο γονίδια να είναι συνδεδεμένα;
  5. Πότε θέλουμε να μη γίνει ανταλλαγή σε δύο συνδεδεμένα γονίδια;
  6. Αν το ποσοστό ανταλλαγής ανάμεσα στα ζεύγη γονιδίων Αα και Ββ είναι 8%, να βρήτε:
    - α) Πόσοι και ποιοι γαμέτες θα σχηματισθούν;
    - β) Ποιο το ποσοστό του κάθε γαμέτη;
-

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

Η ΚΛΗΡΟΝΟΜΗΣΗ ΤΟΥ ΦΥΛΟΥ ΚΑΙ ΤΑ ΦΥΛΟΣΥΝΔΕΤΑ ΓΟΝΙΔΙΑ

7.1 Γενικά.

Είδαμε ότι με τη γονιμοποίηση συγκεντρώνονται στο νέο οργανισμό γονίδια από τους δύο γονείς, δηλαδή από δύο διαφορετικές πηγές. Έτσι τα γονίδια ανασυνδυάζονται και δίνουν νέους γενότυπους, οπότε λέμε ότι δημιουργείται **γενετική παραλλακτικότητα**. Η παραλλακτικότητα αυτή είναι αναγκαία στα άτομα, για να μπορούν να αντιδρούν και να προσαρμόζονται στις συνθήκες του περιβάλλοντος, που συνεχώς μεταβάλλονται. Όσο μεγαλύτερη γενετική παραλλακτικότητα διαθέτει ένα είδος οργανισμού, τόσο ευκολότερα επιβιώνει κάτω από αντίστοιχες συνθήκες του περιβάλλοντος.

Η φύση έχει προνοήσει και δημιούργησε μηχανισμούς, με τους οποίους προκαλείται η απαραίτητη γενετική παραλλακτικότητα. Ένας από τους μηχανισμούς αυτούς είναι και η ύπαρξη δύο ξεχωριστών φύλων, του αρσενικού και του θηλυκού, οπότε αναγκαστικά συμβαίνει ο ανασυνδυασμός των γονιδίων με τη μείωση (κατά τη δημιουργία των γαμετών) και τη γονιμοποίηση, δηλαδή την ένωση των δύο γαμετών.

## 7.2 Το χρωμόσωμο του φύλου στον άνθρωπο.

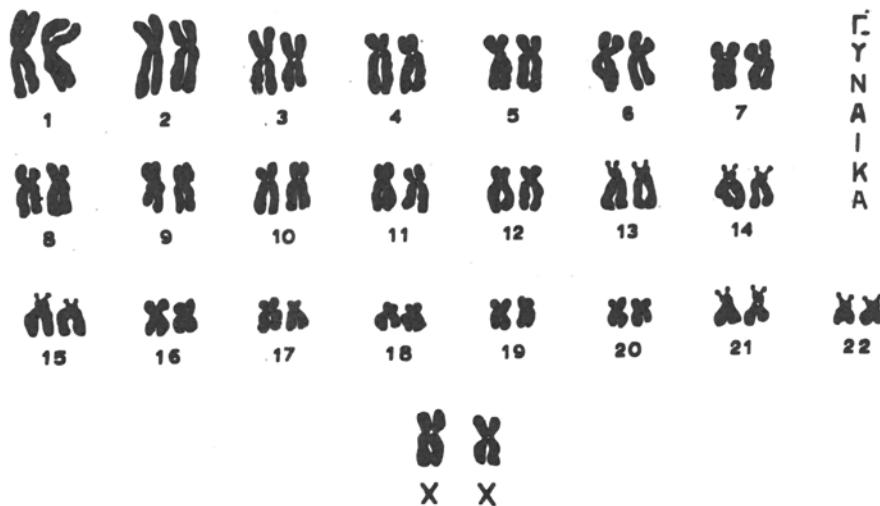
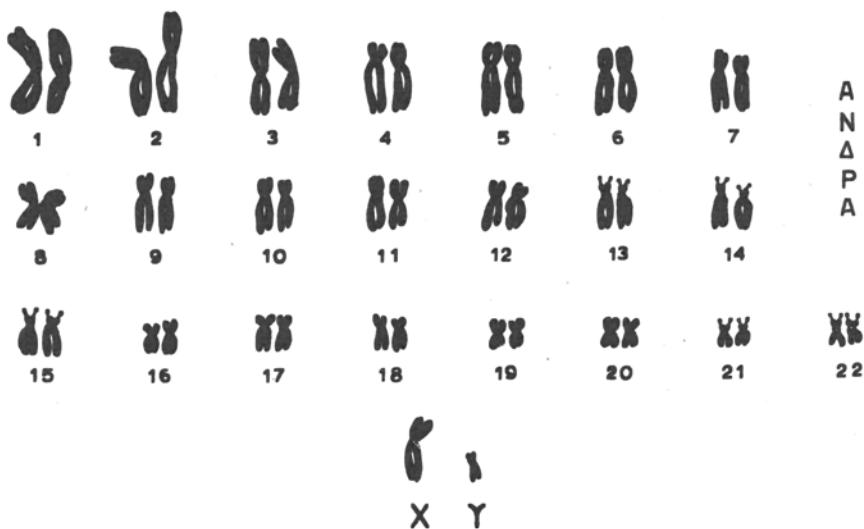
Στο σχήμα 7.2 φαίνονται τα 23 ζεύγη χρωμοσωμάτων του ανθρώπου, χωριστά στον άνδρα και στη γυναίκα. Παρατηρούμε ότι, ενώ τα 22 ζεύγη είναι όμοια και στα δύο φύλα, το 23ο ζεύγος χρωμοσωμάτων είναι διαφορετικό στον άνδρα από ό,τι στη γυναίκα. Στη μεν γυναίκα αποτελείται από δύο όμοια χρωμοσώματα, που τα συμβολίζουμε με δύο X (δηλαδή XX), στον δε άνδρα από δύο διαφορετικά, δηλαδή ένα X και ένα Y. Έτσι ο γενότυπος των δύο φύλων, καθώς και το είδος των γαμετών τους, μπορεί να συμβολισθεί ως εξής:

του άνδρα:  $44 + XY$  σπερματοζωάρια ↗ 22+X (50%)  
22+Y (50%)

της γυναίκας:  $44 + X \xrightarrow{\text{ώρα}} 22 + X$  (100%)

Επειδή ο ἄνδρας παράγει δύο είδη γαμετών, καλέται **ετερογαμετικό** φύλο, ενώ η γυναίκα που παράγει ενάς μόνον τύπου αποτελεί το **ομογαμετικό** φύλο.

**Κατά τη γονιμοποίηση του ωρίου, υπάρχει η ίδια πιθανότητα αυτή να γίνει με**



### Σχ. 7.2.

Στο πάνω τμήμα φαίνονται τα χρωμοσώματα του άνδρα και στο κάτω της γυναίκας. Τό 23ο ζεύγος χρωμοσωμάτων, δηλαδή αυτό που καθορίζει το φύλο, στη μεν γυναίκα αποτελείται από δύο X χρωμοσώματα, στον δε άνδρα από ένα X και ένα Y.

ένα από τα δύο είδη του σπερματοζωαρίου: αν γίνει με τον τύπο  $22 + X$ , ο ζυγώτης που θα προκύψει θα έχει το γενότυπο  $(22 + X) + (22 + X) = 44 + XX$ , οπότε θα εξελιχθεί σε κορίτσι.

Αν όμως η γονιμοποίηση γίνει με σπερματοζωάριο του τύπου  $(22 + Y)$ , τότε ο

γενότυπος του ζυγώτη θα είναι:  $(22 + X) + (22 + Y) = 44 + XY$  και θα δώσει αγόρι. Δεδομένου δε ότι οι δύο τύποι των σπερματοζωαρίων έχουν την ίδια συχνότητα, τα μισά παιδιά θα είναι αγόρια και τα άλλα μισά κορίτσια. Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι το ετερογαμετικό φύλο, δηλαδή ο άνδρας, καθορίζει το φύλο.

### 7.3 Το χρωμόσωμα του φύλου στη δροσόφιλα.

Το φύλο στη δροσόφιλα (μύγα των φρούτων) κληρονομείται με τον ίδιο μηχανισμό όπως στον άνθρωπο και εικονίζεται στο σχήμα 7.3. Ο γενότυπος της μύγας αποτελείται από 4 ζεύγη χρωμόσωμάτων: το I, που είναι υπεύθυνο για τον καθορισμό του φύλου και τα άλλα τρία (II, III, και IV) που ονομάζονται *αυτόσωμα* (αυτόσωμα καλούνται όλα τα χρωμόσωμα, που δεν έχουν σχέση με την κληρονόμηση του φύλου). Το αρσενικό έχει τα τρία ζεύγη και τα χρωμόσωμάτα  $1X + 1Y$ , ενώ το θηλυκό τα τρία και δύο X. Όλα τα ωάρια φέρουν το X χρωμόσωμα, ενώ από τα σπερματοζωάρια, τα μισά φέρουν το X και τα άλλα μισά τό Y. Το κάθε ωάριο έχει την ίδια πιθανότητα να γονιμοποιηθεί με το ένα ή το άλλο σπερματοζωάριο, οπότε οι μισοί απόγονοι θα είναι θηλυκοί και οι μισοί αρσενικοί.

### 7.4 Το χρωμόσωμα του φύλου στους άλλους οργανισμούς.

Ο παραπάνω μηχανισμός για τον καθορισμό του φύλου δεν είναι καθολικός. Σε ορισμένες κατηγορίες ζώων. (πίπηνά, ψάρια και τα λεπιδόπτερα έντομα) ομογαμετικό φύλο είναι το αρσενικό και ετερογαμετικό το θηλυκό. Ισχύει, δηλαδή, το αντίθετο από ότι στον άνθρωπο και στη δροσόφιλα. Στον πετεινό, π.χ. το ζεύγος των χρωμόσωμάτων, που καθορίζει το φύλο, συμβολίζεται με ZZ, ενώ στην κότα με ZW.

Σε ορισμένα είδη ακρίδων και αφίδων (κ. μελίγκρα) το ετερογαμετικό φύλο αποτελείται μόνο από το X χρωμόσωμα και συμβολίζεται με XO, ενώ το ομογαμετικό με XX.

### 7.5 Τα φυλοσύνδετα γονίδια.

Στο σχήμα 7.5 φαίνονται σχηματικά τα χρωμόσωμα του φύλου στον άνθρωπο. Σ' αυτά διακρίνονται τρεις περιοχές: η μια περιοχή περιλαμβάνει τα δύο μελανά κατά το σχήμα (ομόλογα) τμήματα των χρωμόσωμάτων X και Y, η δεύτερη ένα μεγάλο τμήμα του χρωμόσωματος X, που δεν έχει αντίστοιχο τμήμα στο χρωμόσωμα Y και η τρίτη περιοχή περιλαμβάνει ένα μικρό τμήμα του χρωμόσωματος Y, που δεν έχει αντίστοιχο ομόλογο στο X.

'Οσα γονίδια βρίσκονται στην πρώτη περιοχή, δηλαδή στα δύο ομόλογα τμήματα του ζεύγους, ονομάζονται *μερικώς φυλοσύνδετα*. 'Οσα βρίσκονται στο μη ομό-

#### Σχ. 7.3.

Η κληρονόμηση του φύλου στην μύγα των φρούτων. Α' τα σωματικά κύτταρα περιέχουν 3 ζεύγη χρωμόσωμάτων όμοια και ένα διαφορετικό. Τα ωάρια είναι ενός είδους, ενώ τα σπερματοζωάρια δύο ειδών. Β' τα ωάρια γονιμοποιούνται σε ίση αναλογία με το κάθε είδος σπερματοζωαρίων, παρέχοντας έτσι μισά αρσενικά και μισά θηλυκά.



A

Αρσενικό



Θηλυκό



Σωματικά κύτταρα



Σπέρματα



Σωματικά κύτταρα

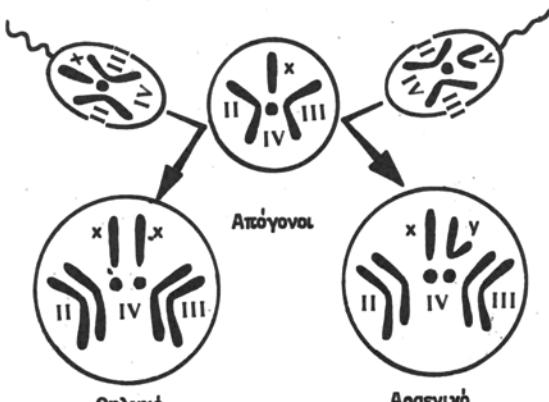


Ωάρια

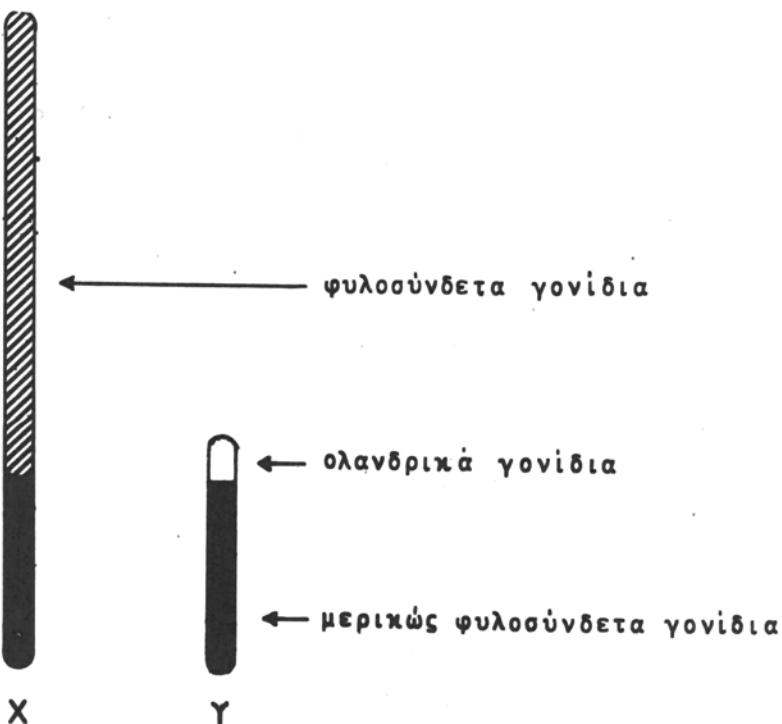


B

Απόγονος



λογο τμήμα του Χ χρωμοσώματος καλούνται **φυλοσύνδετα γονίδια**, ενώ εκείνα που βρίσκονται στο μη ομόλογο τμήμα του Υ χρωμοσώματος καλούνται **ολανδρικά**. Έχουν βρεθεί στον άνθρωπο τουλάχιστο 60 γονίδια φυλοσύνδετα και στη δροσόφιλα περί τα 150.



**Σχ. 7.5.**

Τα χρωμοσώματα του φύλου στον άνθρωπο. Καθορίζονται οι περιοχές που βρίσκονται τα διάφορα είδη γονιδίων.

### 7.6 Κληρονόμηση των φυλοσυνδέτων γονιδίων.

Θα παρακολουθήσομε την πορεία ενός φυλοσύνδετου γονιδίου στη δροσόφιλα (σχ. 7.6). Το κυρίαρχο γονίδιο W κάνει τα μάτια κόκκινα και το υποτελές w τα κάνει λευκά. Αφού το ομογαμετικό φύλο (εδώ το θηλυκό) έχει δύο χρωμοσώματα X, η μεν θηλυκή μύγα θα έχει έναν από τους εξής τρεις γενότυπους: XW XW, XW Xw ή Xw Xw, η δε αρσενική έναν από τους εξής δύο: XY ή XwY, όπως φαίνεται στην κάθετη και οριζόντια στήλη αντιστοίχως του σχήματος. Πραγματοποιώντας τις διασταυρώσεις με όλους τους δυνατούς συνδυασμούς θηλυκών και αρσενικών απόμων, παρατηρούμε τα εξής:

- Η αναλογία αρσενικών και θηλυκών στους απογόνους είναι, όπως αναμενόταν, 50% και 50%.
- Οι αρσενικοί απόγονοι παίρνουν χρωμόσωμα X μόνον από τη μητέρα τους

Αρσενικά θυλητρά				
$X_w X_w$				
$X_w X_w$				
$X_w X_w$				
Αναλογία	50%	50%	50%	50%

Σχ. 7.6.

Πώς κληρονομείται ένα φυλοσύνδετο γονίδιο στη δροσόφιλα. Το κυρίαρχο γονίδιο  $W$  κάνει τα μάτια κόκκινα, ενώ το υποτελές  $w$  τα κάνει λευκά.

και συνεπώς φυλοσύνδετα γονίδια μόνον από τη μητέρα. Γι' αυτό τα αρσενικά, που έχουν μητέρα  $XW XW$  (ωάρια μόνο  $XW$ ), θα έχουν όλα κόκκινα μάτια, ενώ όσα έχουν μητέρα  $XW Xw$  (μισά ωάρια  $XW$  και μισά  $Xw$ ) θα είναι κατά 50% με κόκκινα μάτια και 50% με λευκά μάτια. Τα αρσενικά, τέλος, που η μητέρα τους έχει το γενότυπο  $Xw Xw$  (ωάρια μόνο  $Xw$ ), θα είναι όλα με λευκά μάτια.

γ) Οι θηλυκοί απόγονοι παίρνουν ένα X χρωμόσωμα από τη μητέρα και το άλλο X από τον πατέρα. Κληρονομούν, δηλαδή, φυλοσύνδετα γονίδια και από τους δύο γονείς.

δ) Τα αρσενικά άτομα, που έχουν γενότυπο XwY, θα έχουν κόκκινα μάτια, ενώ εκείνα με γενότυπο XwY λευκά μάτια. Το υποτελές, συνεπώς, γονίδιο, εφόσον είναι φυλοσύνδετο, εκδηλώνεται και στην απλή του δόση, δηλαδή σε *ημιζύγωτη* κατάσταση. Αυτό σημαίνει ότι ένα υποτελές φυλοσύνδετο γονίδιο εκδηλώνεται συχνότερα στους άνδρες από ό,τι στις γυναίκες.

## 7.7 Κληρονόμηση των ολανδρικών και μερικώς φυλοσυνδέτων γονιδίων.

Επειδή τα ολανδρικά γονίδια βρίσκονται μόνο στο μη ομόλογο τμήμα του χρωμοσώματος Y και αφού το χρωμόσωμα αυτό βρίσκεται μόνο στους άνδρες, τα γονίδια αυτά μεταβιβάζονται από τον πατέρα στα αγόρια και ποτέ στα κορίτσια. Παράδειγμα ολανδρικού γονιδίου είναι εκείνο που δημιουργεί τα «τριχωτά αυτιά» στους άνδρες μερικών φυλών.

Τα μερικώς φυλοσύνδετα γονίδια, αφού βρίσκονται στο ομόλογο τμήμα και των δύο χρωμοσωμάτων X και Y, κληρονομούνται με τον ίδιο τρόπο, όπως και όλα τα γονίδια στα αυτόσωμα χρωμοσώματα.

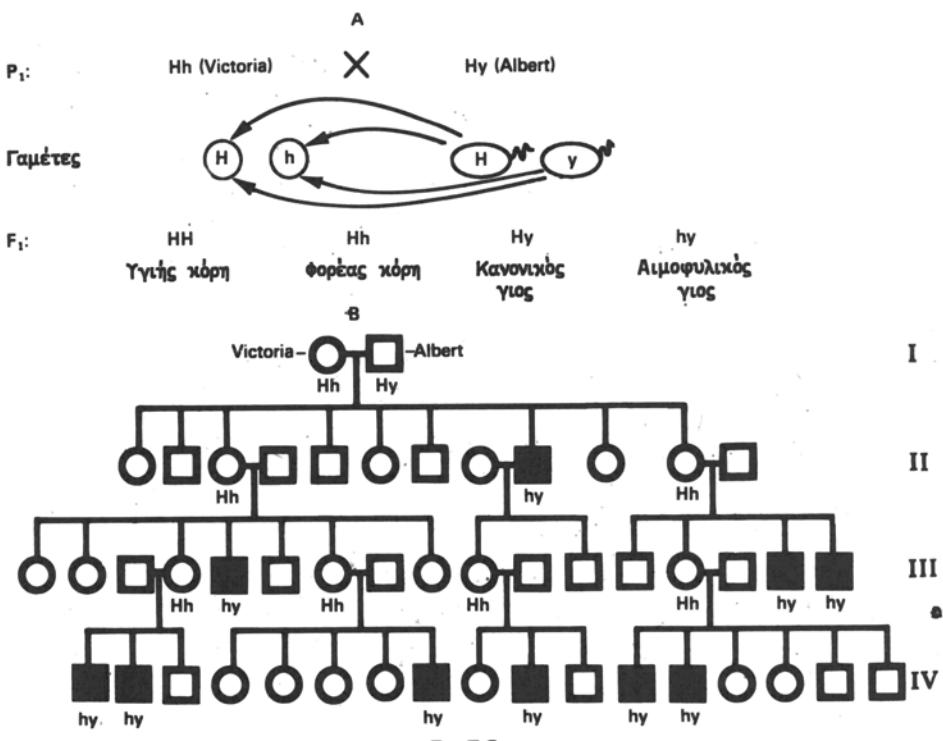
## 7.8 Εφαρμογές.

### α) Η κληρονόμηση της αιμοφιλίας στον άνθρωπο.

Η αιμοφιλία είναι ασθένεια που εμποδίζει την πήξη του αίματος. Εμφανίσθηκε σε άτομα των βασιλικών οικογενειών της Ευρώπης κατά τη βασιλεία της Βικτωρίας στην Αγγλία. Η αρρώστεια οφείλεται σ' ένα υποτελές φυλοσύνδετο γονίδιο h, που προέκυψε κατά πάσα πιθανότητα με μετάλλαξη από το κανονικό κυρίαρχο H, είτε στο ωάριο της μητέρας της Βικτωρίας, είτε στο σπερματοζωάριο του πατέρα της. Η Βικτωρία θα πρέπει να ήταν, συνεπώς, ετεροζύγωτη ως προς το ζεύγος Hh, δηλαδή θα είχε το γενότυπο XH Xh. Στο σχήμα 7.8α παριστάνεται μια γενεαλογία, στην οποία φαίνεται η κληρονόμηση του υποτελούς φυλοσύνδετου γονιδίου h. Οι άνδρες με το γενότυπο XHY είναι υγιείς, ενώ οι άνδρες με το γενότυπο XhY πάσχουν από αιμοφιλία. Οι γυναίκες XHXH είναι οπωσδήποτε υγιείς, ενώ οι XHXh δεν εκδηλώνουν την ασθένεια, γιατί το h είναι υποτελές, αλλά είναι φορείς του γονιδίου h, το οποίο μεταβιβάζουν στα μισά αγόρια.

### β) Η κληρονόμηση του ραβδωτού πτερώματος των πουλερικών.

Το ραβδωτό πτέρωμα των πουλερικών οφείλεται σ' ένα κυρίαρχο γονίδιο B, ενώ το μη ραβδωτό κόκκινο ή μαύρο στο υποτελές γονίδιο b. Το γονίδιο αυτό είναι φυλοσύνδετο και ο μεν πτετεινός μπορεί να έχει και τα δύο γονίδια, αφού είναι το ομογαμετικό φύλο, η δε κότα που είναι ετερογαμετικό, μόνο ένα από τα δύο γονίδια. Έτσι, όταν διασταυρώνομε μια ραβδωτή κότα με ένα μη ραβδωτό πτετεινό (σχ. 7.8β), στην F<sub>1</sub>, όλοι οι πτετεινοί θα είναι ραβδωτοί, επειδή παίρνει το κυρίαρχο φυλοσύνδετο από την κότα, και όλες οι κότες μη ραβδωτές, αφού παίρνει φυλοσύνδετο γονίδιο μόνο από τον πτετεινό (συμβαίνει το αντίθετο δηλαδή από ό,τι στον άνθρωπο). Στην F<sub>2</sub>, όμως, έχουμε μισές κότες και μισούς πτετεινούς ραβδωτούς.



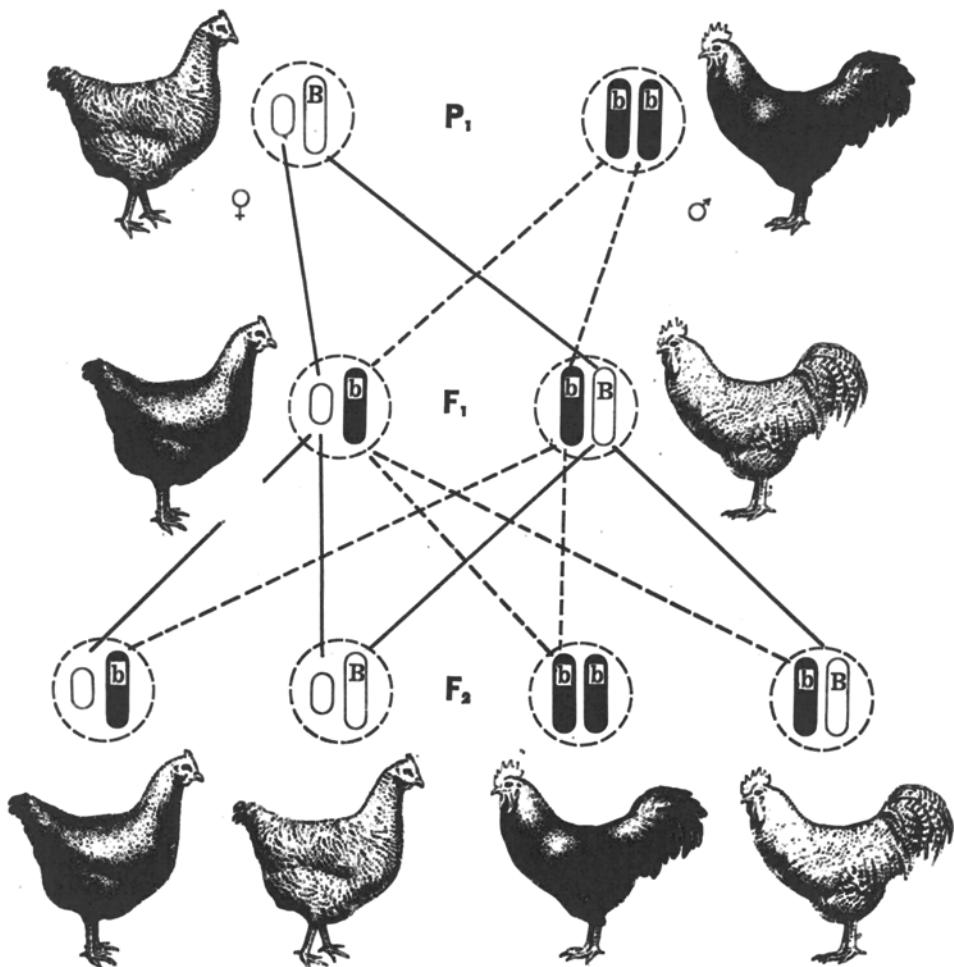
Στη γενεολογία αυτή εξηγείται η κληρονόμηση της αιμοφυλίας, που οφείλεται σε ένα υποτελές φυλοσύνδετο γονίδιο. (Οι κύκλοι παριστάνουν θηλυκά και τα τετράγωνα αρσενικά άτομα).

Όταν όμως διασταυρώσουμε έναν ομοζύγωτο (BB) πετεινό με τη ραβδωτή κότα (σχ. 7.8γ), παίρνομε στην  $F_1$  όλες τις κότες και όλους τους πετεινούς ραβδωτούς, επειδή το κυρίαρχο γονίδιο B που είναι υπεύθυνο για τις ραβδώσεις, προέρχεται από το ραβδωτό πετεινό. Στην  $F_2$  όλοι μεν οι πετεινοί είναι ραβδωτοί, από τις κότες δε οι μισές μόνο είναι ραβδωτές.

### 7.9 Εφαρμογές για διάκηση.

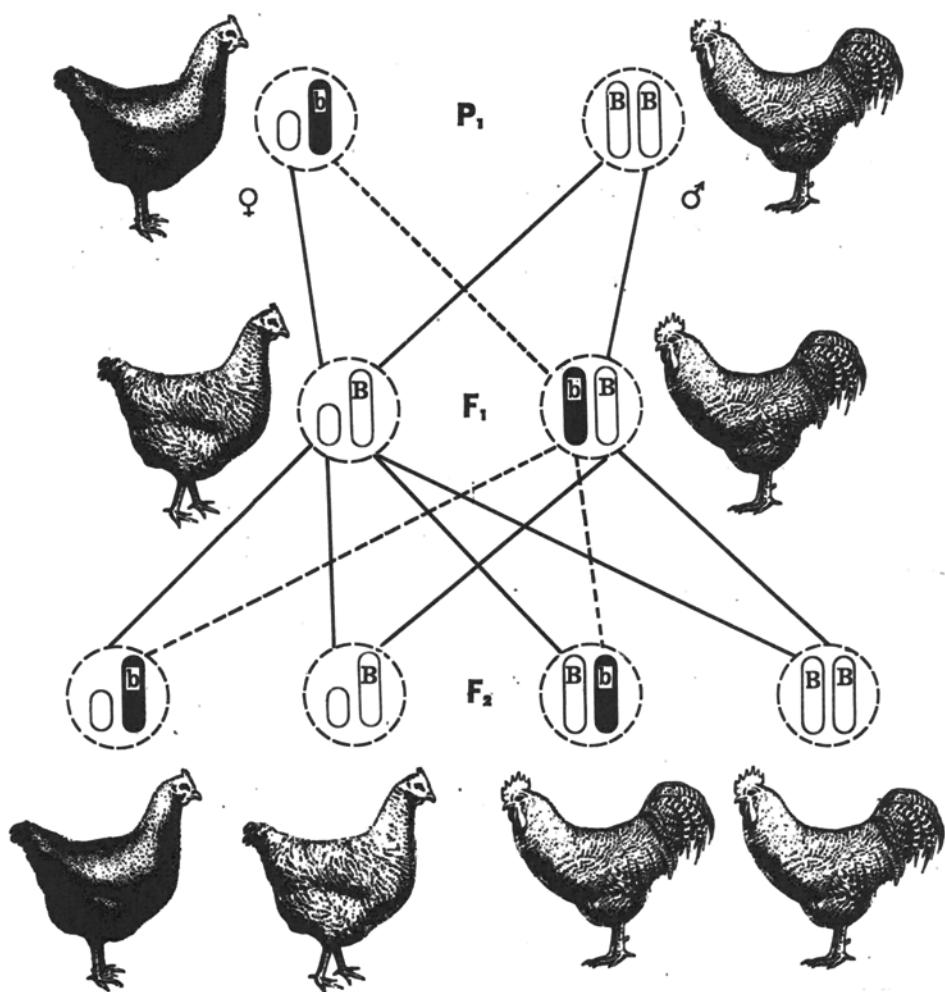
- Στα πτηνά ένα υποτελές φυλοσύνδετο γονίδιο s προσδίδει αργυρό χρώμα στα φτερά και το κυρίαρχο S καστανό. Ένα καστανό θηλυκό διασταυρώνεται με ένα αργυρόχρωμο αρσενικό. Τι σχηματισμούς θα έχουμε στην  $F_1$ , και στην  $F_2$  σε συνδυασμό με το φύλο;
- Ένας άνδρας με αχρωματοψία έχει ένα κανονικό αδελφό και μια αδελφή με αχρωματοψία. Ποιοι είναι οι γενότυποι των γονέων; Ποιες είναι οι πιθανότητες το επόμενο παιδί να είναι κόρη με αχρωματοψία;
- Δυο γονείς με κανονική όραση αποκτούν ένα αιγόρι με αχρωματοψία. Ποιοι είναι οι γενότυποι των γονέων; Ποιες είναι οι πιθανότητες το επόμενο παιδί να είναι κόρη με αχρωματοψία;
- Στα ποντίκια το κυρίαρχο και φυλοσύνδετο γονίδιο B, κάνει την ουρά κοντή και γυριστή. Ένα κανονικό θηλυκό διασταυρώθηκε με ένα αρσενικό, που είχε κοντή και γυριστή ουρά. Ποια φαινοτυπική αναλογία θα προκύψῃ στην  $F_1$ ;

5. Σε περιστέρια ένα κυρίαρχο φυλοσύνδετο γονίδιο, όταν βρίσκεται σε ομοζύγωτη κατάσταση, κάνει το χρώμα του πτερώματος λευκό, ενώ σε ετεροζύγωτη ή ημιζύγωτη κατάσταση το κάνει γκρίζο ανοικτό. Πώς είναι δυνατόν να χρησιμοποιήσουμε το γονίδιο αυτό για φυλοδιάγνωση σε νεογέννητα περιστέρια;
6. Μια γυναίκα, στην οποία εκδηλώθηκε ένα υποτελές γνώρισμα, παντρεύθηκε ένα κανονικό άνδρα και έκαναν ένα κανονικό αγόρι. Είναι δυνατόν το υποτελές γονίδιο να βρίσκεται στο X χρωμόσωμα;
7. Τα κυρίαρχα ή τα υποτελή φυλοσύνδετα γονίδια εκδηλώνονται περισσότερο στους άνδρες και γιατί; Ισχύει το ίδιο για τις γυναίκες και γιατί;



Σχ. 7.8β.

Διασταύρωση μιας ραβδωτής κότας με ομοζύγωτο μη ραβδωτό πετεινό. Το κυρίαρχο γονίδιο B που κάνει τις ραβδώσεις είναι φυλοσύνδετο.



Σχ. 7.8γ.

Διασταύρωση μεταξύ ενός ομοζύγιου ραβδωτού πτεινού ( $BB$ ) με μη ραβδωτή κότα. Δεξιά οι πτεινοί και αριστερά οι κότες.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ

### ΠΟΛΛΑΠΛΑ ΑΛΛΗΛΟΜΟΡΦΑ ΓΟΝΙΔΙΑ

#### 8.1 Γενικά.

Είδαμε στα προηγούμενα ότι κάθε γονίδιο απαντάται υπό δύο μορφές. Η μία βρίσκεται στο ένα χρωμόσωμο και η άλλη στο άλλο ομόλογό του χρωμόσωμο. Οι δύο μορφές του γονιδίου ονομάσθηκαν **αλληλόμορφα**. Ένα αλληλόμορφο μπορεί, κατά τον ένα ή τον άλλο τρόπο, όπως π.χ. με τις μεταλλάξεις, να μεταβληθεί ελαφρά και να αποτελέσει έτσι μια τρίτη μορφή του αρχικού αλληλομόρφου. Αυτό μπορεί να συνεχισθεί έτσι, ώστε να προκύψει και τέταρτη ή πέμπτη μορφή κ.ο.κ. Οι διάφορες αυτές μορφές, υπό τις οποίες εμφανίζεται ένα αλληλόμορφο και υπερβαίνουν τις δύο, καλούνται **πολλαπλά αλληλόμορφα**.

#### 8.2 Τα πολλαπλά αλληλόμορφα στο χρώμα των κουνελιών.

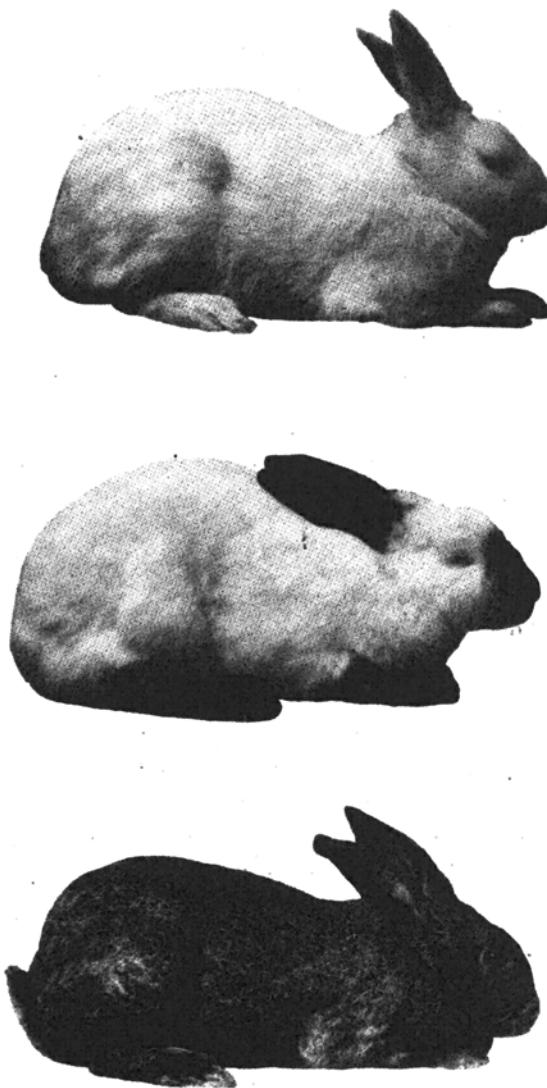
Στο σχήμα 8.2 διακρίνομε τρεις μορφές χρωματισμών: το πρώτο κουνέλι είναι τελείως λευκό (αλβινό) με ροζ μάτια· το δεύτερο έχει ιμαλάιο αλβινισμό, δηλαδή έχει ροζ μάτια και λευκό τρίχωμα εκτός από τα πόδια, την ουρά, τα αυτιά και την άκρη της μύτης, που είναι μαύρα και το τρίτο κουνέλι είναι έγχρωμο.

Όταν διασταυρώθει το πρώτο με το τρίτο, οι απόγονοι της  $F_1$  είναι όλοι έγχρωμοι, ενώ στην  $F_2$  διασπώνται στην αναλογία 3 έγχρωμοι προς 1 λευκό. Το χρώμα λοιπόν που ελέγχεται από το γονίδιο C είναι κυρίαρχο στον αλβινισμό που ελέγχεται από το γονίδιο  $a_1$ . Τα γονίδια συνεπώς C και  $a_1$  αποτελούν ένα ζεύγος αλληλομόρφων.

Αν διασταυρώσουμε το δεύτερο, δηλαδή το ιμαλάιο κουνέλι, με το τρίτο (έγχρωμο), τα κουνέλια της  $F_1$  είναι όλα έγχρωμα, ενώ στην  $F_2$  παίρνομε τη διάσπαση 3 έγχρωμα προς 1 ιμαλάιο. Αυτό σημαίνει πως υπάρχει και ένα άλλο τρίτο γονίδιο που δίνει τον ιμαλάιο αλβινισμό και είναι υποτελές στο C, που δίνει το χρώμα. Το τρίτο αυτό γονίδιο, που το συμβολίζουμε με  $a_2$ , αποτελεί με το C ένα άλλο ζεύγος αλληλομόρφων το  $C > a_2$ .

Εκείνο που μένει τώρα είναι να δούμε τι σχέση υπάρχει ανάμεσα στα δύο γονίδια  $a_1$  και  $a_2$ . Από τη διασταύρωση μεταξύ αλβινού και ιμαλάιου παίρνομε στην  $F_1$  μόνον ιμαλάια και στην  $F_2$  τρία ιμαλάια προς 1 αλβινό. Τα δύο γονίδια  $a_1$  και  $a_2$  δεν βρίσκονται ποτέ στον ίδιο γαμέτη. Το έγχρωμο κουνέλι έχει το γονίδιο C ή με το

$a_1$ , ή με το  $a_2$ , αλλά ποτέ με τα δύο μαζί. Συμπεραίνομε λοιπόν ότι το  $a_1$  και  $a_2$  είναι αλληλόμορφα τόσο μεταξύ τους όσο και με το C. Τα τρία συνεπώς αλληλόμορ-



Σχ. 8.2.

Τρία αλληλόμορφα ενός γονιδίου που ρυθμίζουν το χρώμα των κουνελιών. Άνω,  $a_1, a_2$  που δίνουν πλήρη αλβινισμό στο μέσον,  $a_2a_2$  που δίνουν ιμαλάιο αλβινισμό κάτω, CC που είναι έγχρωμα κουνέλια. Η σχέση κυριαρχίας είναι  $C > a_2 > a_1$ .

φα: C,  $a_1$  και  $a_2$  είναι τρεις μορφές του ίδιου γονιδίου και αποτελούν μια σειρά πολλαπλών αλληλομόρφων με σχέση κυριαρχίας:  $C > a_2 > a_1$ .

### 8.3 Τα πολλαπλά αλληλόμορφα στις ομάδες αίματος του ανθρώπου.

Όλα τα άτομα ταξινομούνται σε τέσσερις ομάδες αίματος: την A, όταν έχουν στο αίμα τους το αντιγόνο A, την B, με το αντιγόνο B, την AB, όταν έχουν και τα δύο αντιγόνα A και B, και την ομάδα O χωρίς αντιγόνο στο αίμα. Το αίμα της ομάδας A δεν έχει αντισώματα, για να προκαλεί συγκόλληση των ερυθροκυττάρων A, αλλά έχει αντισώματα για να αντιμετωπίσει τα B ερυθροκύτταρα. Το αίμα της ομάδας B δεν έχει αντισώματα για να συγκολλάει τα κύτταρα B, αλλά έχει για τα κύτταρα A. Τα άτομα της ομάδας AB δεν έχουν αντισώματα, ενώ της ομάδας O έχουν και από τους δύο τύπους αντισωμάτων. Όταν γίνεται μετάγγιση αίματος, η αντίδραση των κυττάρων των διαφόρων ομάδων γίνεται σύμφωνα με τον παρακάτω Πίνακα 8.3.1.

**Πίνακας 8.3.1.**

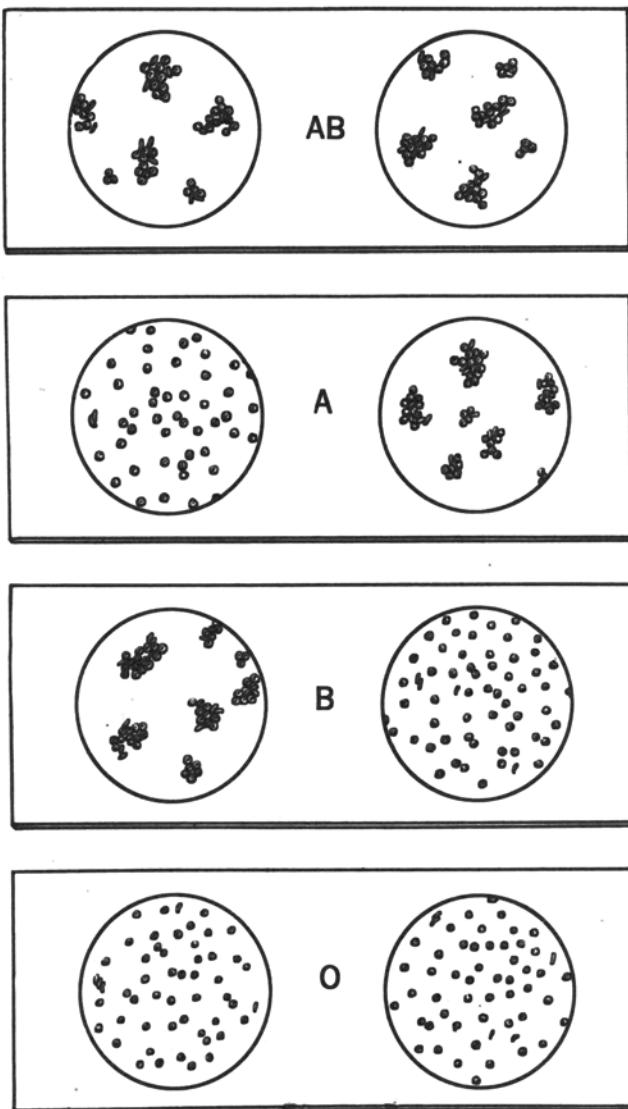
Ομάδα αίματος	Προκαλεί συγκόλληση στα αιμοσφαίρια της ομάδας	Τα αιμοσφαίρια συγκολλούνται από τον ορρό του αίματος της παρακάτω ομάδας
AB	σε καμιά ομάδα	O, A, B
A	B, AB	O, B
B	A, AB	O, A
O	A, B, AB	από καμιά ομάδα

Στο σχήμα 8.3 φαίνεται η εικόνα που εμφανίζουν τα αιμοσφαίρια κατά τη μετάγγιση.

Ο τύπος του αίματος είναι κληρονομικό γνώρισμα και ελέγχεται από τρία αλληλόμορφα γονίδια:  $I^A$ ,  $I^B$  και  $I$ , κατά τον εξής τρόπο:

Ομάδα αίματος	γενότυπος
AB	$ A B$
B	$ B B \text{ ή }  B I$
A	$ A A \text{ ή }  A I$
O	II

Το γονίδιο  $I^A$  είναι υπεύθυνο για την παρουσία του αντιγόνου A, το  $I^B$  για το αντιγόνο B και το I για τη μη παραγωγή αντιγόνου. Τόσο το γονίδιο  $I^A$  όσο και το  $I^B$  είναι κυρίαρχα πάνω στο I, ενώ τα  $I^A$  και  $I^B$  είναι μεταξύ τους συγκυρίαρχα, αφού τα προϊόντά τους είναι διαφορετικά και συνυπάρχουν στον τύπο AB. Τα τρίτα λοιπόν αλληλόμορφα συμβολίζονται ως εξής:  $I^A \neq I^B > I$ .



**Σχ. 8.3.**

Επίδραση των ορρών Α και Β πάνω στα αιμοσφαίρια ατόμων που ανήκουν στις 4 ομάδες αίματος AB, A, B και O.

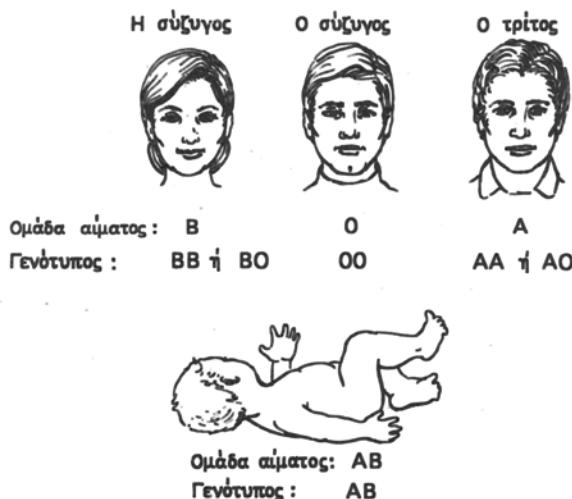
#### 8.4 Τα πολλαπλά αλληλόμορφα σε άλλα γνωρίσματα.

Και άλλα σπουδαία φυσιολογικά γνωρίσματα του ανθρώπου, όπως το *Rhesus* του αίματος, κληρονομούνται με πολλαπλά αλληλόμορφα γονίδια. 99

Παράδειγμα από το φυτικό βασίλειο αποτελεί ο έλεγχος του ασυμβιβάστου στα ανώτερα φυτά από τη σειρά  $S_1, S_2, S_3 \dots S_n$  πολλαπλών αλληλομόρφων.

## 8.5 Εφαρμογές.

Η γνώση του τρόπου κληρονομήσεως των ομάδων αίματος χρησιμοποιείται πολλές φορές για τη διαπίστωση της πατρότητας ενός παιδιού. Ας υποθέσουμε ότι ένας πατέρας αμφισβητεί την πατρότητα του παιδιού και υποπτεύεται έναν τρίτο. Ο ίδιος ανήκει στην ομάδα αίματος O, ο άλλος στην A, η γυναίκα του δε στη B και το παιδί στην AB (σχ. 8.5). Πράγματι, ο σύζυγος δεν μπορεί να είναι ο πατέρας του παιδιού, επειδή είναι της ομάδας O και δεν είναι δυνατόν να συνεισφέρει ούτε το γονίδιο A, ούτε το B. Το παιδί έχει πάρει το B από τη μητέρα του και το A πιθανόν από τον τρίτο, γιατί υπάρχουν και άλλοι με τον τύπο A ή AB που μπορούσαν να είχαν δώσει το γονίδιο A.



Σχ. 8.5.

Η κληρονόμηση των ομάδων αίματος στην υπηρεσία της επιστήμης για τη διαπίστωση της πατρότητας.

## 8.6 Εφαρμογές για άσκηση.

1) Στα κουνέλια το χρώμα καθορίζεται από μια σειρά πολλαπλών αλληλομόρφων C, c<sup>ch</sup>, c<sup>h</sup>, c τα οποία σε ομοζύγωτη κατάσταση δίνουν αντίστοιχα τους εξής χρωματισμούς: φαιό, αργυρόφαιο, ιμαλάιο και λευκό. Η σχέση κυριαρχίας ανάμεσα στα αλληλόμορφα είναι C>c<sup>ch</sup>>c<sup>h</sup>>c, δηλαδή κάθε αλληλόμορφο κυριαρχεί σε όλα τα υπόλοιπα που βρίσκονται δεξιά του.

Από επτά κουνέλια, όλα της ίδιας γέννας τα τέσσερα έχουν φαιό χρωματισμό, τα δύο είναι αργυρόφαια και το ένα λευκό. Ποιοι είναι οι γενότυποι των γονέων;

2) Στο δικαστήριο μια γυναίκα με ομάδα αίματος O, παρουσίασε ένα παιδί της ομάδας O, το οποίο υποστήριζε πως απέκτησε με έναν άνδρα της ομάδας AB τον οποίο και εμήνυσε. Τι επιπτώσεις μπορεί να έχει ο τύπος του αίματος στη λήψη δίκαιης αποφάσεως;

3) Στον άνθρωπο τα αλληλόμορφα  $I^A$ ,  $I^B$  και  $I^O$ , που για απλούστευση παριστάνομε μόνο με τους δείκτες A,B και O. Τα A και B αλληλόμορφα είναι μεταξύ τους συγκυρίαρχα, ενώ είναι κυρίαρχα πάνω στο O. Να βρεθούν: α) Ποιοι γενότυποι αντιστοιχούν στις τέσσερις ομάδες αίματος. β) Αν ένα παιδί ανήκει στην ομάδα A και η μητέρα του στην O, σε ποια ομάδα ή ομάδες θα ανήκει ο πατέρας; γ) Αν ένας πατέρας της ομάδας A και μια μητέρα της ομάδας B αποκτήσουν ένα παιδί της ομάδας O, σε ποιες άλλες ομάδες μπορεί να ανήκουν τα υπόλοιπα παιδιά τους; δ) Αν ο πατέρας είναι της ομάδας B και η μητέρα της O και γεννήσουν το πρώτο παιδί της ομάδας O, ποιες είναι οι πιθανότητες το δεύτερο παιδί να ανήκει σε μια από τις ομάδες O,B,A και AB; ε) Δύο γονείς της ομάδας A, που το μωρό τους ανήκει στην ομάδα O, διαμαρτυρήθηκαν ότι στο νοσοκομείο τους άλλαξαν το παιδί. Έχουν λόγους να διαμαρτύρονται; στ) Αν το προηγούμενο παιδί ανήκε στην ομάδα B, τι ενδείξεις προσφέρει αυτό σχετικά με τη συγγένεια γονέων και παιδιού;

4) Όταν ένας γονέας ανήκει στην ομάδα αίματος AB και ο άλλος στην O, πόσες φορές σε οικογένειες με τρία παιδιά περιμένομε ένα παιδί της ομάδας A και δύο παιδιά της ομάδας B;

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ

### ΜΕΤΑΛΛΑΞΕΙΣ

#### 9.1 Γενικά.

Λέγοντας **μετάλλαξη** ή **μεταλλαγή** εννοούμε μια απότομη αλλαγή στην κληρονομική ουσία, που δεν έχει ως αίτιο τον ανασυνδυασμό των γονιδίων. Τέτοιες μεταβολές έχουν παρατηρηθεί πριν από εκατοντάδες χρόνια. Κατά το τέλος του 18ου αιώνα π.χ. εμφανίσθηκε ένα πρόβατο με πολύ κοντά πόδια, που οδήγησε στη δημιουργία της φυλής *Ancon* της Νέας Αγγλίας (σχ. 9.1α).

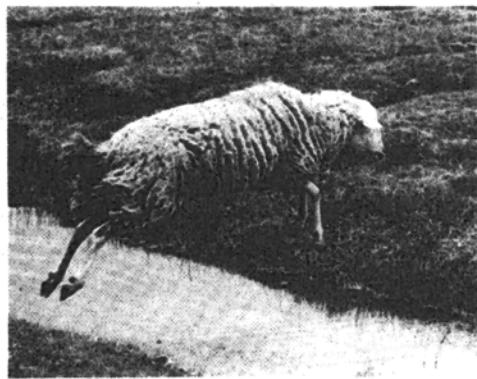
Ο πρώτος γενετιστής που ασχολήθηκε σοβαρά με τις μεταλλάξεις ήταν ο Hugo de Vries περί το 1880. Το υλικό, με το οποίο εργάσθηκε, ήταν το φυτό *Oenothera Lamarckiana*, στο οποίο διεπίστωσε τόσες μεταβολές, ώστε πίστεψε ότι το φυτό αυτό βρίσκονταν σε περίοδο μεταλλάξεων. Μια μετάλλαξη του φυτού αυτού, γνωστή ως **γίγας** (σχ. 9.1β), προήλθε μάλλον από το διπλασιασμό των χρωμοσωμάτων. Είχε δηλαδή 28 αντί 14 χρωμοσώματα. Σε άλλη μετάλλαξη του ίδιου φυτού βρέθηκαν 15 αντί 14 χρωμοσώματα, δηλαδή το ένα **ζεύγος** είχε 3 αντί για 2. Άλλες μεταλλαγές του φυτού αυτού οφείλονταν στην ανταλλαγή τρημάτων μεταξύ των χρωμοσωμάτων του.

Αποτέλεσμα των παραπάνω μεταρρυθμίσεων στα χρωμοσώματα της *Oenothera* ήταν η εμφάνιση ατόμων με διαφορετικά εξωτερικά γνωρίσματα.

#### 9.2 Η φύση της μεταλλάξεως.

Σήμερα περιοριζόμαστε να παραδεχθούμε ότι η μετάλλαξη σημαίνει αλλαγή μέσα στην κληρονομική μονάδα, δηλαδή μέσα στο γονίδιο, το οποίο είναι πολύ μεγάλο και σύνθετο μόριο. Μια τυπική μετάλλαξη υποτίθεται ότι είναι συνέπεια κάποιας αλλαγής μέσα στο μόριο αυτό. Μπορεί π.χ. να είναι μια απώλεια ή ανακατάξη ορισμένων ατόμων. Τέτοιες μικρές αλλαγές στο μεγάλο μόριο του γονιδίου μπορούν να συμβούν χωρίς να ελαττώσουν τη βιοσιμότητα του ατόμου, που φέρει την αλλαγή. Οι μικρές αλλαγές στα άτομα οδηγούν παρ' όλα αυτά στη μεταβολή των εξωτερικών γνωρισμάτων, όπως π.χ. το χρώμα στα μάτια της δροσόφιλας μπορεί αντί για κόκκινο να πάρει την απόχρωση του βερύκοκκου.

Μετάλλαξη δυνατόν να συμβεί, εκτός από το γονίδιο, και στη βάση του χρωμοσώματος ή του **γενών**. Ένα τρήμα κάποιου χρωμοσώματος μπορεί να σπάσει και ή να χαθεί ή να ανασυγκολληθεί. Οι χρωμοσωμικές μεταλλάξεις αναφέρονται, συνήθως, ως ελλείμματα, διπλασιασμοί, αναστροφές και μετατοπίσεις.



**Σχ. 9.1α.**

Η φυλή Apson προβάτου που δημιουργήθηκε με μετάλλαξη. Αριστερά βραχύποδα πρόβατα. Δεξιά πρόβατο με κανονικά πόδια.



**Σχ. 9.1β.**

Ανθοφόροι κλάδοι του *Oenothera Lamarckiana*. (α) το κανονικό φυτό και (β) ο γίγας, που προήλθε από μετάλλαξη.

Το γένωμα είναι η ομάδα που αποτελείται από τα μη ομόλογα χρωμοσώματα ενός παλιού είδους, από το οποίο προέκυψαν τα νεώτερα είδη. Το γένωμα του ανθρώπου π.χ. είναι τα 23 μη ομόλογα χρωμοσώματα. Ο αριθμός αυτός συμβολίζεται με X. Οι οργανισμοί που έχουν στα κύτταρά τους ένα X, δηλαδή ένα γένωμα, ονομάζονται **απλοειδείς ή μονοπλοειδείς**. Οι περισσότεροι ανώτεροι οργανισμοί είναι **διπλοειδείς**, έχουν δηλαδή δύο γενώματα στα σωματικά τους κύτταρα. Στα γεννητικά τους όμως κύτταρα (ωάρια, σπέρματα, γυρεόκοκκοι) έχουν το ένα μόνο γένωμα. Κάθε μεταβολή στον αριθμό των γενωμάτων, που έχει ως αποτέλεσμα να έχομε περισσότερα από το κανονικό γενώματα, καλείται **μεταλλάξη** στο επίπεδο του γενώματος.

### 9.3 Τεχνητές μεταλλάξεις.

Ανέκαθεν οι ερευνητές προσπαθούν να δημιουργήσουν κληρονομικές μεταβολές με διάφορα εξωτερικά μέσα. Ο Pasteur, π.χ. επεδίωξε να διαταράξει την κληρονομική δομή με όργανο που προκαλούσε δονήσεις. Άλλοι επέδρασαν με διάφορα χημικά μέσα ή με απότομες αλλαγές της θερμοκρασίας και πήραν διάφορους τύπους του οργανισμού.

Η έρευνα γύρω από τις μεταλλάξεις συστηματοποιήθηκε από τον H.J. Müller το 1927, οπότε πέτυχε μεταλλάξεις σε μεγάλη συχνότητα χρησιμοποιώντας ακτινοβολία με ακτίνες X. Για την ανακάλυψή του αυτή ο Müller πήρε το βραβείο Nobel το 1946.

Ο Müller και οι συνεργάτες του ανέπτυξαν μεθόδους, που τους επέτρεψαν να δημιουργούν μεταλλάξεις με τις ακτίνες X και να μετρούν, επίσης, τη συχνότητα που συμβαίνουν οι αυτόματες μεταλλάξεις στη φύση. Διεπίστωσαν, εξ άλλου, ότι είναι μάλλον αδύνατο να επιφέρομε μια επιθυμητή αλλαγή πάνω σε ορισμένο γονίδιο με τον τρόπο της μεταλλάξεως. Παράλληλα με τον Müller ο Αμερικανός L.J. Stadler δημιούργησε μεταλλάξεις με ακτίνες X στο καλαμπόκι και το κριθάρι.

Μετά τις ακτίνες X και άλλες ακτινοβολίες, όπως η γ-ακτινοβολία από το ραδιενεργό κοβάλτιο, χρησιμοποιήθηκαν στη γενετική για τη δημιουργία μεταλλάξεων.

### 9.4 Ερωτήσεις.

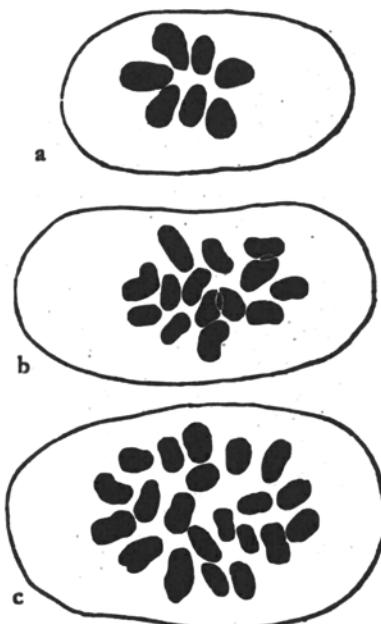
1. Τι είναι η μεταλλάξη; αναφέρατε ένα παράδειγμα από το φυτικό και ένα από το ζωικό βασίλειο.
2. Ποια είναι η φυσική βάση της μεταλλάξεως;
3. Τι ακριβώς συμβαίνει στο γονίδιο, το χρωμόσωμα ή το γένωμα, όταν υφίσταται μια μετάλλαξη;
4. Ποιος είναι ο θεμελιωτής της έρευνας πάνω στις μεταλλάξεις και ποιο μέσο χρησιμοποίησε για να τις δημιουργήσει;
5. Ποια είναι η χρησιμότητα των τεχνητών μεταλλάξεων;

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ

### Η ΠΟΛΥΠΛΟΕΙΔΙΑ

#### 10.1 Γενικά.

Γνωρίζομε ότι, κατά κανόνα, κάθε είδος έχει ορισμένο αριθμό χρωμοσωμάτων. Μερικά είδη σιταριού π.χ. έχουν 14 χρωμοσώματα, ενώ άλλα έχουν 28 και άλλα 42. Ο αριθμός αυτός αναφέρεται στα σωματικά κύτταρα. Στα γεννητικά όμως κύτταρα ο αριθμός των χρωμοσωμάτων είναι ο μισός, δηλαδή 7, 14 και 21 αντίστοιχα (σχ. 10.1α). Οι αριθμοί αυτοί είναι πολλαπλάσια του 7 ( $1 \times 7$ ,  $2 \times 7$ ,  $3 \times 7$ ). Ο αριθμός 7 είναι βασικός αριθμός του γένους. Σε άλλα γένη ο βασικός αριθμός των χρωμοσωμάτων είναι διαφορετικός. Στο χρυσάνθεμο π.χ. ο βασικός αριθμός είναι ο 9 και υπάρχουν είδη χρυσανθέμων με όλα τα πολλαπλάσια του 9, από το 18 ως



Σχ. 10.1α

Η πολυπλοειδής σειρά 7, 14, 21 κατά τη μείωση σε τρία είδη σιταριού: (a) *Triticum Aegilopoides* ( $n = 7$ ). (b) *Triticum Dicoccum* ( $n = 14$ ) και (c) *Triticum Aestivum* ( $n = 21$ ).

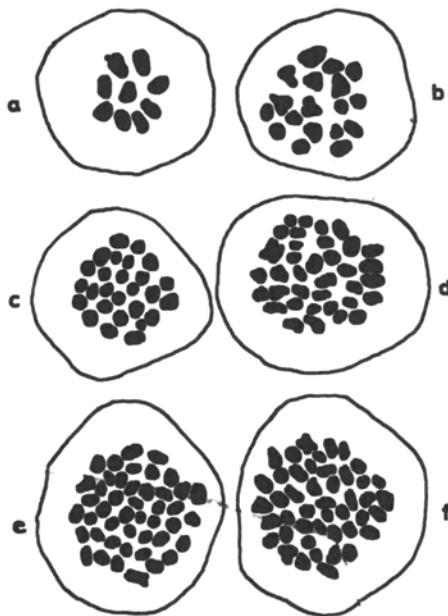
το 90 (σχ. 10.1β). Στον καπνό ο βασικός αριθμός χρωμοσωμάτων είναι 12 και υπάρχουν είδη με 24, 48 και 72 χρωμοσώματα κ.ο.κ. Η εμφάνιση μιας σειράς ειδών με βασικό αριθμό χρωμοσωμάτων πολλαπλάσιο του αρχικού καλείται **πολυπλοειδία**.

Αν λοιπόν ένας οργανισμός έχει στα σωματικά του κύτταρα μια φορά το βασικό αριθμό (ένα δηλαδή **γένωμα**) τον καλέσαμε στο προηγούμενο κεφάλειο **απλοειδή** και αν έχει δύο γενώματα **διπλοειδή**. Αν, τώρα, έχει περισσότερα από δύο γενώματα καλείται **πολυπλοειδής**.

Οι πολυπλοειδείς οργανισμοί διακρίνονται σε:

- α) Ευπλοειδείς**, όταν αποτελούνται από πλήρη γενώματα, και  
**β) ανευπλοειδείς**, όταν τουλάχιστον ένα γένωμά τους δεν είναι ισορροπημένο, δηλαδή τους λείπει ή τους περισσεύει ένα ή περισσότερα χρωμοσώματα.

Οι ευπλοειδείς διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: στους **αυτοπολυπλοειδείς**, όταν έχουν όλα τα γενώματα ομόλογα, και στους **αλλοπολυπλοειδείς**, όταν τα γενώματά τους είναι διαφορετικά. Οι αυτοπολυπλοειδείς, ανάλογα με τον αριθμό των γενώματων, χαρακτηρίζονται ως **αυτοτριπλοειδείς**, **αυτοτετραπλοειδείς** κ.ο.κ.



Σχ. 10.1β.

Η πολυπλοειδία στο χρυσάνθεμο. Φαίνονται τα χρωμοσώματα στην πρώτη μετάφαση της μειώσεως. Το (a) είδος έχει βασικό αριθμό χρωμοσωμάτων  $n = 9$ , το (b) έχει  $n = 18$ , το (c) έχει  $n = 27$ , το (d) έχει  $n = 36$ , το (e) έχει  $n = 45$  και το (f) έχει  $n = 45$ .

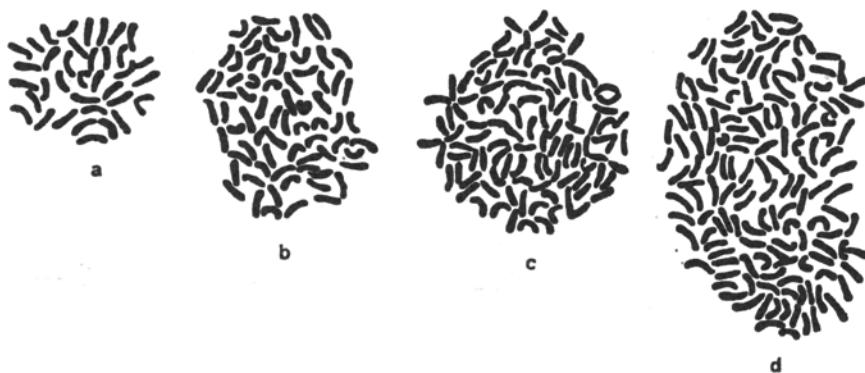
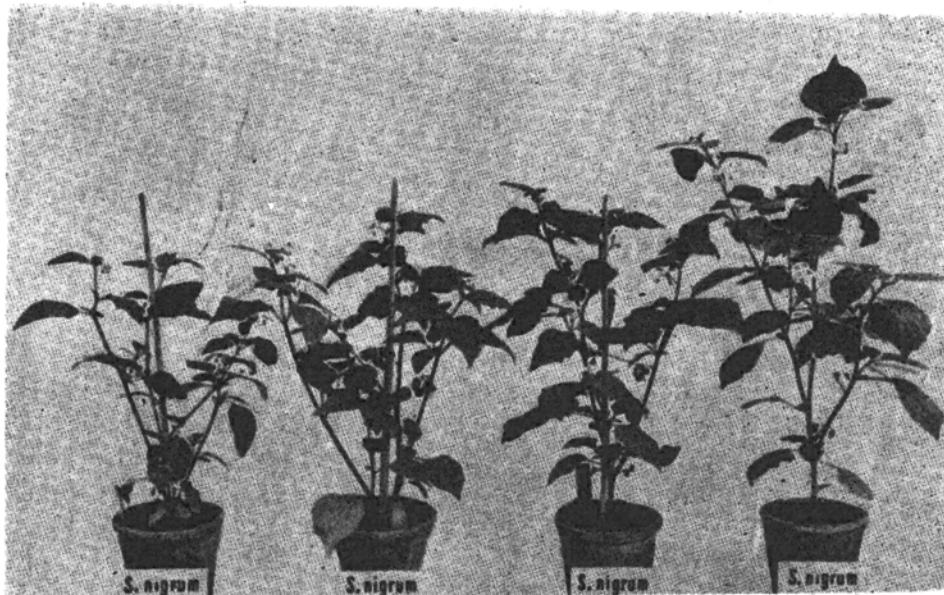
Οι ανευπλοειδείς οργανισμοί διακρίνονται σε:

- α) Ασωμικούς**, όταν τους λείπει ένα ζεύγος ομολόγων χρωμοσωμάτων.  
**β) Μονοσωμικούς**, όταν λείπει ένα μόνο ομόλογο χρωμόσωμο.  
**γ) Τρισωμικούς**, όταν σε ένα ζεύγος χρωμοσωμάτων υπάρχει ένα επί πλέον χρωμόσωμο.

**δ) Τετραπλοειδής**, όταν είναι δύο τα επί πλέον χρωμοσώματα κ.ο.κ.

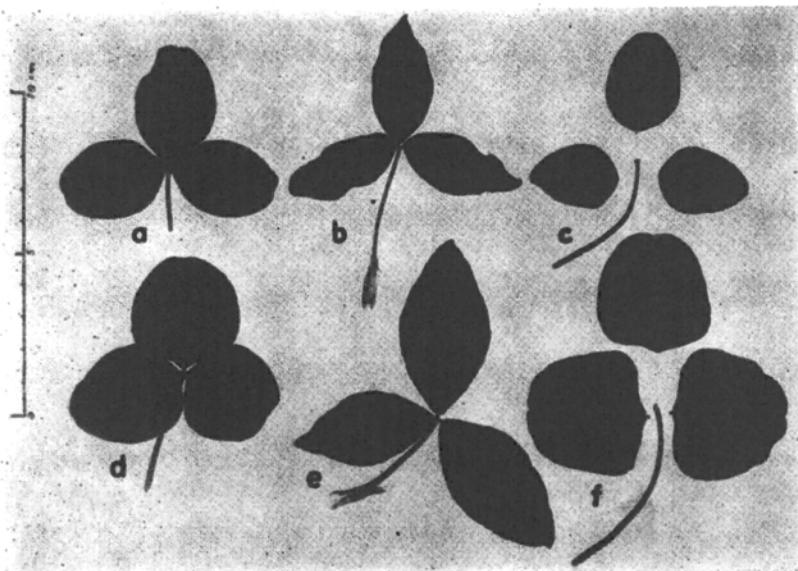
## 10.2 Ιδιότητες των πολυπλοειδών.

Τα αυτοτετραπλοειδή φυτά χαρακτηρίζονται από ένα βαθμό μεγαλύτερο στο μέγεθος του στελέχους, των φύλλων, των ανθέων των σπόρων και γενικά από μεγαλύτερη ανάπτυξη συγκριτικά με το αρχικό υλικό. Οι αλλαγές αυτές οφείλονται, κατά πρώτο, στο γεγονός ότι τα κύτταρα των τετραπλοειδών είναι σημαντικά μεγαλύτερα. (Σχετικά παραδείγματα παρέχονται στα σχήματα 10.2α, 10.2β και 10.2γ. Αυτό συμβαίνει γιατί υπάρχει στενή συσχέτιση μεταξύ του αριθμού χρωμο-



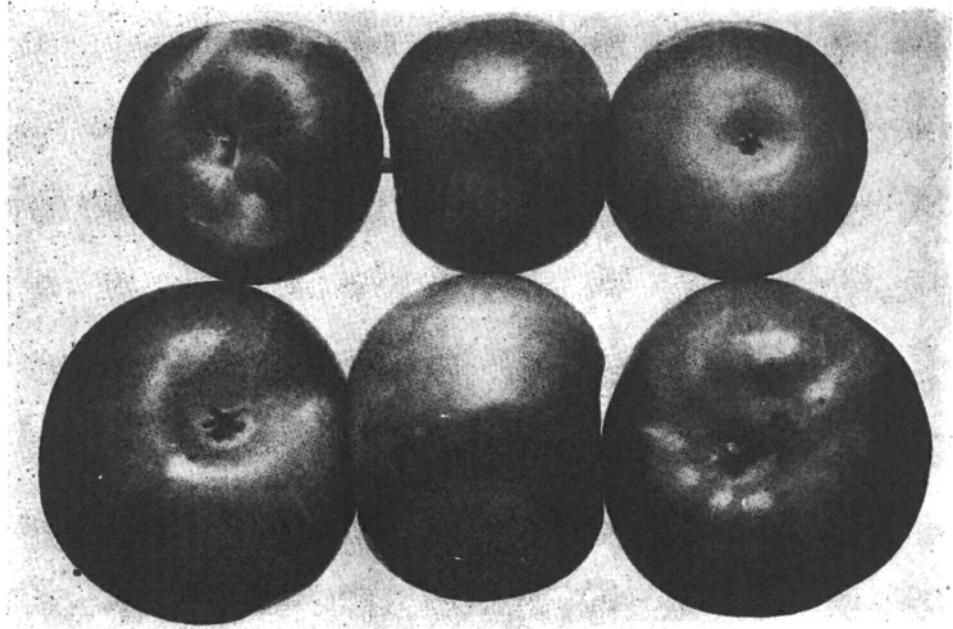
Σχ. 10.2α

Φυτά του *Solanum Nigrum* με 36, 72, 108 και 144 σωματικά χρωμοσώματα.



Σχ. 10.2β

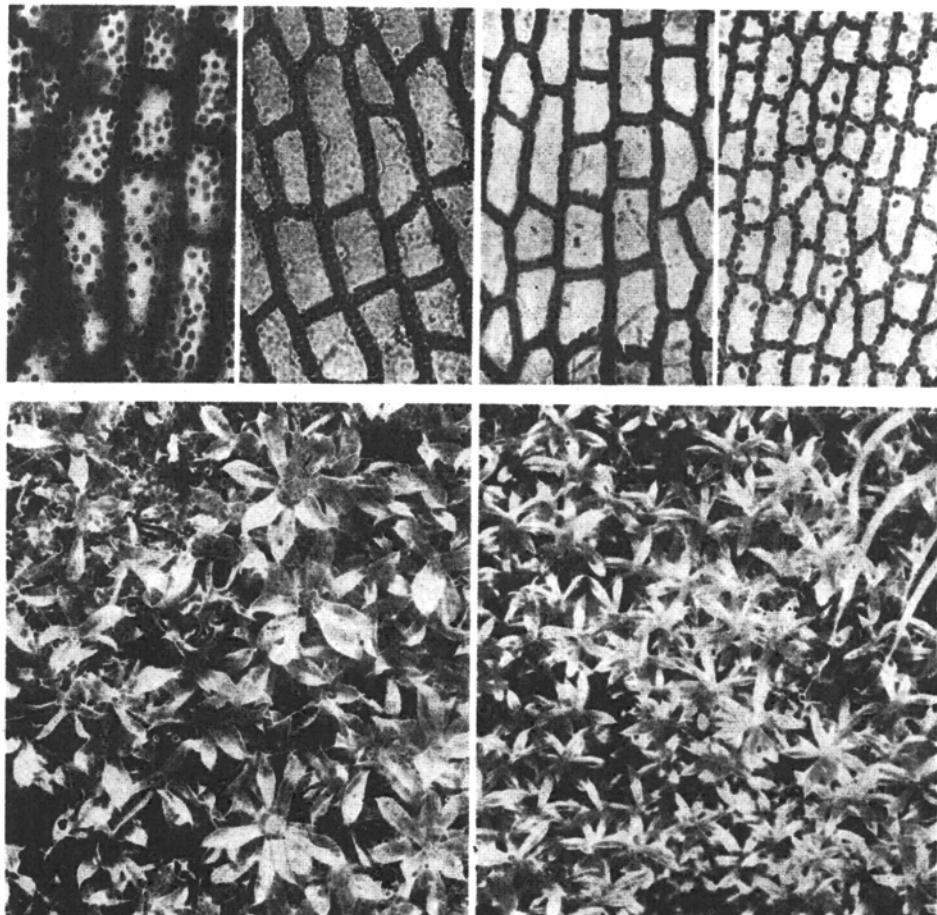
Φύλλα τριφυλλιού. Επάνω από διπλοειδές και κάτω από τετραπλοειδές φυτό.



Σχ. 10.2γ

Διπλοειδή (επάνω) και τετραπλοειδή (κάτω) μήλα.

σωμάτων και του μεγέθους του κυτταρικού πυρήνα, καθώς και μεταξύ μεγέθους πυρήνα και διαστάσεων του κυττάρου. Τα τετραπλοειδή άτομα επομένως συγκροτούνται από μεγαλύτερες οικοδομικές μονάδες (σχ. 10.2δ).

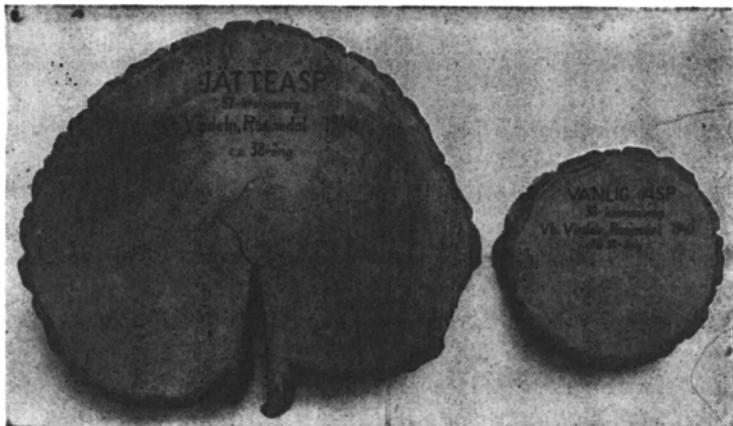


Σχ. 10.2δ

Επάνω, μεγαλωμένοι ιστοί φύλλων βρυσφίτου· Ο αριθμός χρωμοσωμάτων από αριστερά προς τα δεξιά είναι: κανονικός, διπλάσιος, τριπλάσιος και τετραπλάσιος. Το μέγεθος των κυττάρων αυξάνεται σημαντικά με τον αυξανόμενο αριθμό χρωμοσωμάτων. Κάτω αριστερά είναι τα κανονικά φυτά και δεξιά μεγαλύτερα λόγω του διπλάσιου αριθμού των χρωμοσωμάτων.

Τα αυτοτριπλοειδή έχουν παρόμοιες με εκείνες των αυτοτετραπλοειδών, δηλαδή παρουσιάζουν **γιγαντιασμό** συγκριτικά προς τα διπλοειδή άτομα. Ένα είδος λεύκας, η λεύκα η τρεμοφυλλοειδής, η γνωστή ως λεύκα - γίγαντας, έχει  $3 \times 19 = 57$  χρωμοσώματα και παράγεται σήμερα πειραματικά (σχ. 10.2ε).

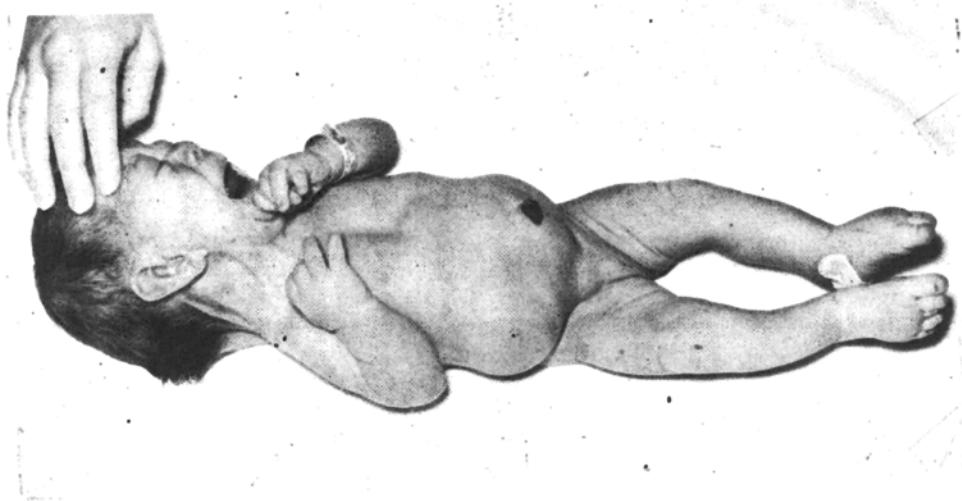
Η διαφορά είναι ότι κατά κανόνα, τα αυτοτριπλοειδή άτομα είναι συνήθως στείρα, ενώ τα αυτοτετραπλοειδή γόνιμα και δίνουν απογόνους.



Ex. 10.2e

**Τομές κορμών της τρεμοφυλλοειδούς λεύκης. Αριστερά, τριπλοειδής και δεξιά, διπλοειδής της ίδιας ηλικίας.**

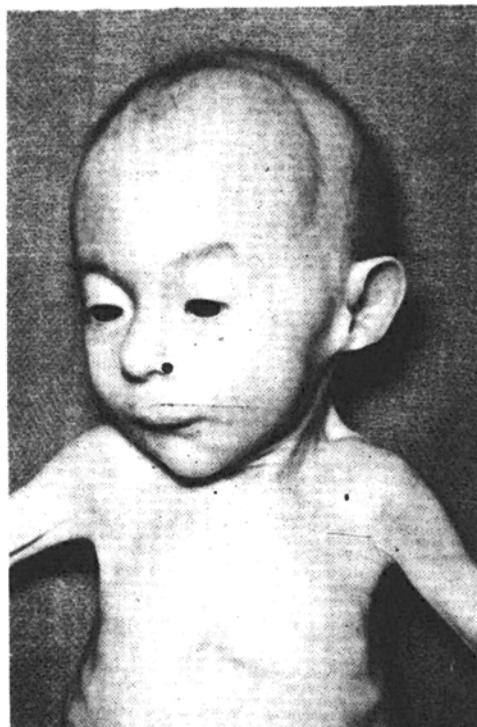
Για τα ανευπλοείδη άτομα θα αναφέρουμε δύο παραδείγματα από τον άνθρωπο, ένα μονοσωμικό και ένα τρισωμικό. Η ανωμαλία που είναι γνωστή ως **σύνδρομο του Turner** (σχ. 10.2στ) οφείλεται στη έλλειψη ενός X χρωμοσώματος και τα άτομα που πάσχουν από αυτήν έχουν 44 χρωμοσώματα και ένα μόνο X, δηλαδή είναι μονοσωμικά. Η ανωμαλία αυτή απαντάται με συχνότητα 0.23 σε κάθε 1000 γεννήσεις, ενώ στους ενήλικες η συχνότητα είναι ένας στους 5000. Το κυριότερο σύμπτωμα στα ενήλικα άτομα είναι η υπανάπτυξη της ωθήκης.



**Σx. 10.2σt**

Το σύνδρομο του Turner, που οφείλεται στην έλλειψη ενός χρωμοσώματος X.

Το σχήμα 10.2ζ δείχνει άτομο τρισωμικό, το οποίο έχει συνολικά 47 χρωμοσώματα, δηλαδή  $44 + XX$  συνένοικο τρίτο χρωμόσωμα στο ζεύγος 18, όπως φαίνεται στο σχήμα 10.2η.



Σχ. 10.2ζ

Τρισωμικό άτομο, στο οποίο το ζεύγος 18 έχει τρία χρωμοσώματα.



A 1            A 2            A 3            B 4-5



C 6-12 + XX



D 13-15



E 16      E 17      E 18



F 19-20



G 21-22

Σχ. 10.2η

Τα 47 χρωμοσώματα που βρέθηκαν στα κύτταρα του τρισωμικού ατόμου του σχήματος 10.2ζ.

Το τρίτο χρωμόσωμα του ζεύγους 18 δείχνεται με το βέλος.

**10.3 Ερωτήσεις.**

1. Τι καλείται γένωμα;
  2. Τι καλείται πολυπλοειδία;
  3. Πόσα χρωμοσώματα έχει το γένωμα του σπαριού;
  4. Πόσα χρωμοσώματα έχει το γένωμα του χρυσάνθεμου;
  5. Τι είναι η ευπλοειδία και τι η ανευπλοειδία;
  6. Τι είναι τα αυτοτετραπλοειδή και τι τα αυτοτριπλοειδή;
  7. Ποια είναι η διαφορά μεταξύ των αυτοτριπλοειδών και αυτοτετραπλοειδών αναφορικά με την γονιμότητά τους;
  8. Τι είναι τα μονοσωμικά και τι τα τρισωμικά άτομα;
  9. Αναφέρατε ένα παράδειγμα μονοσωμίας και ένα τρισωμίας στον άνθρωπο.
  10. Πώς εξηγείται ο γιγαντισμός στα αυτοπολυπλοειδή;
-

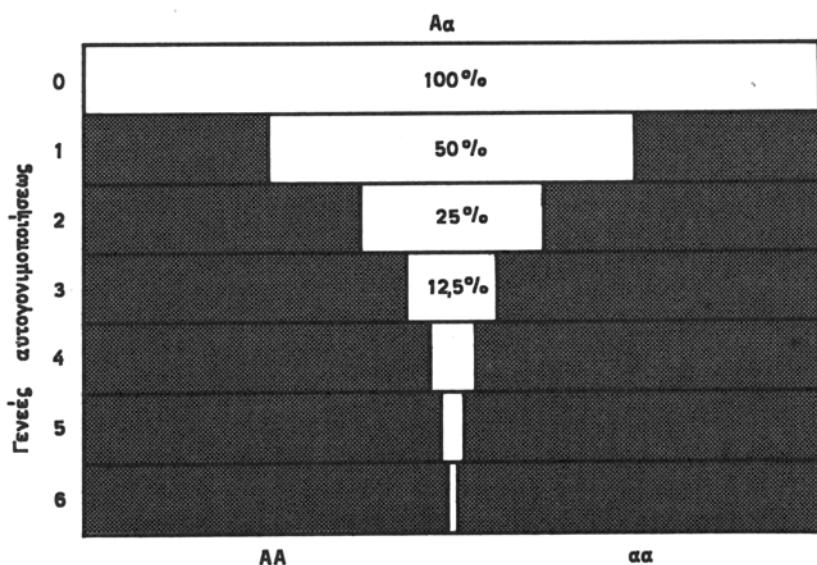
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΔΕΚΑΤΟ

### ΟΜΟΜΕΙΞΙΑ ΚΑΙ ΕΤΕΡΩΣΗ

#### A. ΟΜΟΜΕΙΞΙΑ.

##### 11.1 Γενικά.

Με τον όρο **ομομείξια** εννοούμε το σύστημα αναπαραγωγής κατά το οποίο διασταυρώνομε άτομα που είναι συγγενή. Η πιο στενή μορφή ομομείξιας συμβαίνει στα φυτά με την αυτογονιμοποίηση. Με την ομομείξια αυξάνεται από γενιά σε γενιά η ομοζυγωτία και ελαπτώνεται η ετεροζυγωτία. Η μείωση της ετεροζυγωτίας, λόγω ομομείξιας, είναι σε κάθε γενιά 50%, όταν αυτογονιμοποιούμε (σχ. 11.1), 25% όταν διασταυρώνομε **αδέλφια**, 12,5% όταν διασταρώνομε **μηλαδέλφια** και 6,25% όταν διασταυρώνομε **ξαδέλφια**.

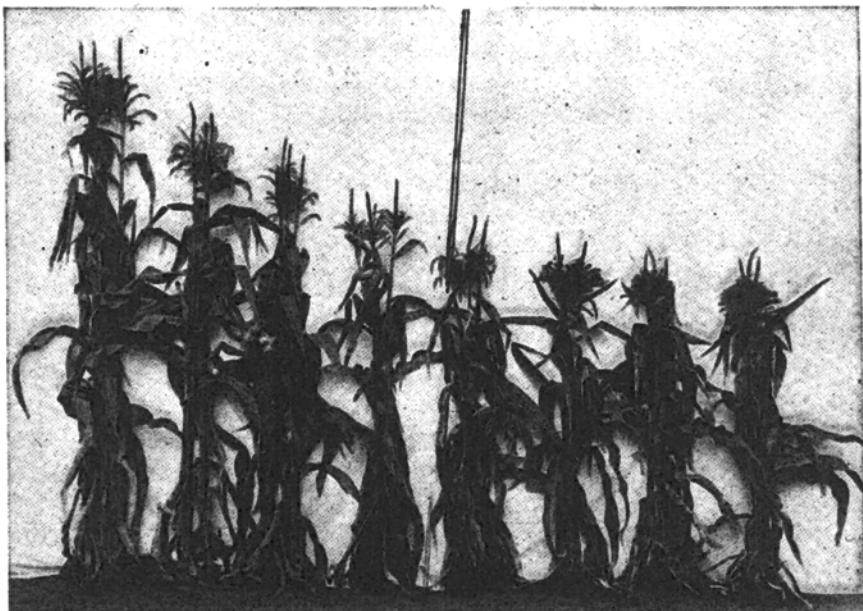


Σχ. 11.1.

Ο ρυθμός μειώσεως της ετεροζυγωτίας με την αυτογονιμοποίηση είναι 50% σε κάθε γενιά. Στην έκτη γενιά τα ετεροζύγωτα άτομα είναι λιγότερο από 1%.

## 11.2 Η ομομειξία στα σταυρογονιμοποιούμενα φυτά.

Ορισμένα φυτικά είδη, όπως π.χ. το καλαμπόκι, σταυρογονιμοποιούνται κατά κανόνα. Εάν αυτογονιμοποίουμε το φυτό αυτό για μερικές γενιές, το αποτέλεσμα είναι η συνεχής μείωση της ευρωστίας από γενιά σε γενιά (σχ. 11.2). Συνεχίζοντας την αυτογονιμοποίηση μέχρι τη 10η γενιά, παίρνομε τον ελάχιστο βαθμό ευρωστίας και αποδύσεως του φυτού. Παραπέρα μείωση δεν παρατηρείται έστω και αν συνεχίσουμε την αυτογονιμοποίηση και μετά τη 10η γενιά.



Σχ. 11.2.

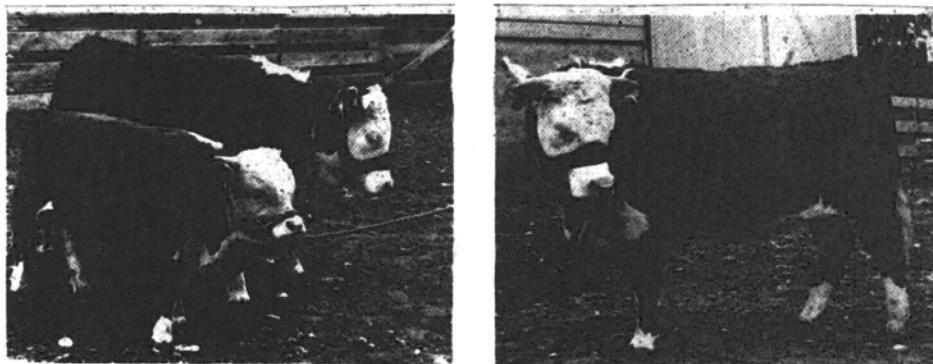
Μείωση της ευρωστίας στο καλαμπόκι με την αυτογονιμοποίηση. Το φυτό αριστερά είναι το αρχικό υλικό που πολλαπλασιάζονταν με σταυρογονιμοποίηση. Το δεύτερο φυτό, από αριστερά προς τα δεξιά, προήλθε από αυτογονιμοποίηση του πρώτου, το τρίτο από αυτογονιμοποίηση του δεύτερου κ.ο.κ.

## 11.3 Η ομομειξία στα ζώα και στον άνθρωπο.

Επειδή στα ζώα είναι αδύνατη η αυτογονιμοποίηση, πετυχαίνομε την ομομειξία διασταυρώνοντας τα αδέλφια. Συνεχίζοντας την ομομειξία με το τρόπο αυτό για μερικά γενιές, έχομε και εδώ, όπως στα φυτά, μείωση της ευρωστίας στο ελάχιστο δριο. Σχετικό παράδειγμα παρουσιάζεται στο σχήμα 11.3. Τα κοντά μοσχάρια, που καλούνται βραχυκεφαλικά, προήλθαν από ομομειξία ή αλλοιώς από συγγενική αναπαραγωγή επί αρκετές γενιές, οπότε ανάμεσα στα 36 μοσχάρια βρέθηκαν και 5 κοντά και βραχυκέφαλα. Διαπιστώθηκε ότι ένας ταύρος και μερικές αγελάδες έφεραν ένα υποτελές γονίδιο υπεύθυνο για το μικρό ανάστημα και το βραχύ κεφάλι. Δόθηκε η εξήγηση ότι τα υποτελή αυτά αλληλόμορφα συγκεντρώθηκαν σ' ένα γε-

νότυπο που έδωσε έτσι κοντά μοσχάρια.

Στον άνθρωπο έχουμε με την ομομειξία τα ίδια αποτελέσματα με εκείνα που συμβαίνουν στα ζώα. Εδώ η ομομειξία γίνεται όταν παντρεύονται συγγενείς μεταξύ τους ή όταν γίνονται οι γάμοι αποκλειστικά ανάμεσα σε λίγες οικογένειες που αποτελούν μικρούς απομονωμένους πληθυσμούς σε νησιά ή σε κοιλάδες. Σε τέτοιους απομονωμένους πληθυσμούς παραπτηρούνται σε μεγάλη σχετικά συχνότητα κληρονομικές ανωμαλίες ή ασθένεις. Ο T. Sjögren βρήκε μια χαρακτηριστική κληρονομική διανοητική ασθένεια να απαντάται σε μεγάλη συχνότητα στους πληθυσμούς δύο νησιών κοντά στις δυτικές ακτές της Σουηδίας.



Σχ. 11.3.

Μοσχάρια της ίδιας φυλής και της ίδιας ηλικίας. Τα δύο αριστερά μοσχάρια προήλθαν από ομομειξία.

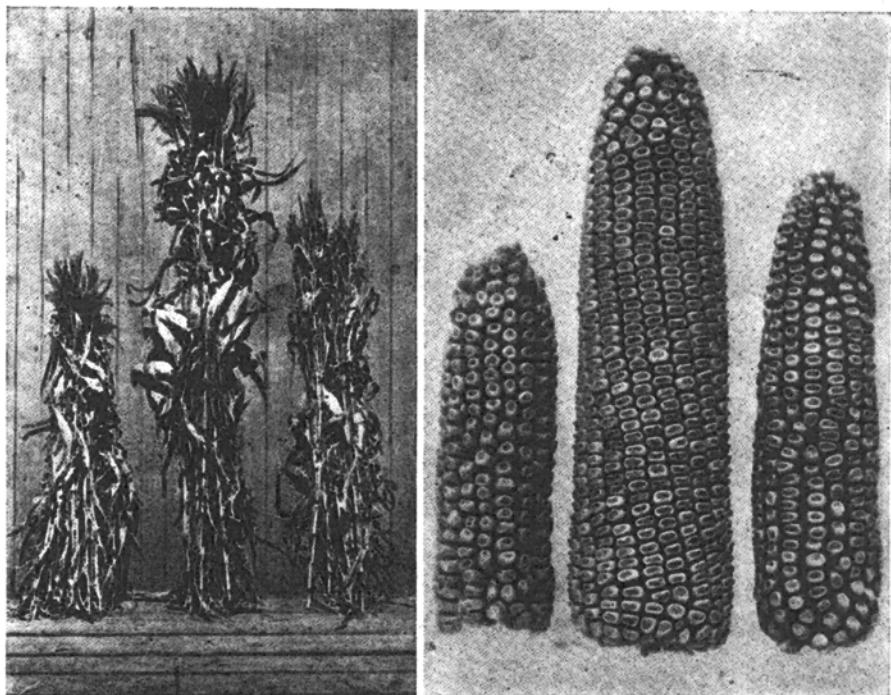
## B. ΕΤΕΡΩΣΗ.

### 11.4 Γενικά.

Με την ομομειξία, ή όπως τη λέμε με άλλα λόγια με τη συγγενική αναπαραγωγή, έχουμε ως αποτέλεσμα τη μείωση της ευρωστίας των απογόνων και την αύξηση της συχνότητας, με την οποία εμφανίζονται ορισμένες κληρονομικές ασθένειες. Τα άτομα που προέρχονται από την ομομειξία επί πολλές γενιές είναι κατά κανόνα ομοζύγωτα (σχ. 11.1), οπότε λέμε ότι αποτελούν καθαρές σειρές και κληρονομούν σταθερά, δηλαδή δίνουν απογόνους που τους μοιάζουν σε μεγάλο βαθμό.

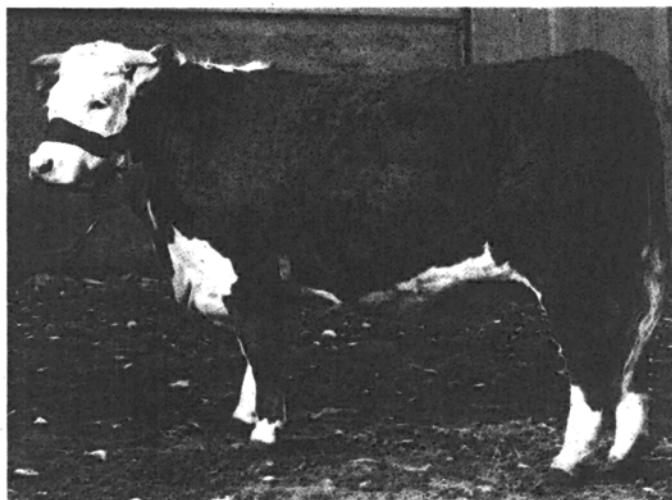
Με τη συνεχή αυτογονιμοποίηση στο καλαμπόκι π.χ. παίρνουμε καθαρές σειρές, που είναι πολύ φτωχές σε απόδοση και ευρωστία. Αν διασταυρώσουμε τύρα τέτοιες σειρές, θα πάρουμε σπόρους από των οποίων τη σπορά βλαστάνουν εύρωστα φυτά με μεγάλη απόδοση (σχ. 11.4a). Τα φυτά αυτά της F<sub>1</sub> τά καλούμε *υβρίδια* και το φαινόμενο *ετέρωση* ή *ευφορία των υβρίδων*. Μπορούμε, δηλαδή, να πούμε ότι ετέρωση είναι η υπεροχή των ετεροζυγώτων απογόνων σε σύγκριση με τους ομοζύγωτους συνήθεις γονείς από τους οποίους προέρχονται.

Το φαινόμενο της ετέρωσεως παραπήρθηκε στα ζώα και στον άνθρωπο. Στο σχήμα 11.4β εμφανίζεται ένα ζώο υβρίδιο, που προέκυψε από τη διασταύρωση ενός ομοζύγωτου ταύου με μη συγγενή αγελάδα, η οποία είχε πατέρα άλλον ταύ-



Σχ. 11.4α.

Αύξηση της ευρωστίας στο καλαμπόκι με διασταύρωση δύο καθαρών σειρών. Στα άκρα οι δύο καθαρές σειρές και στο μέσον το προϊόν της διασταύρωσεώς τους (αριστερά φυτά, δεξιά οι σπάδικες τους).



Σχ. 11.4β.

Το μοσχάρι αυτό προήλθε από διασταύρωση δύο καθαρών φυλών.

ρο επίσης ομοζύγωτο. Το ζώο αυτό είχε βάρος γεννήσεως 12% περισσότερο από τα μοσχάρια της ίδιας φυλής, μετά δε τη διατροφή του με τις ίδιες συνθήκες, έδωσε τελικό βάρος κατά 35 χιλιόγραμμα μεγαλύτερο.

O G. Dahlberg απέδωσε, ως ένα βαθμό, την αύξηση του ύψους στον πληθυσμό της Σουηδίας κατά την τελευταία εκατονταετηρίδα σε φαινόμενα υβριδισμού. Οι Σουηδοί, που ζούσαν προηγουμένως σε μεμονωμένες περιφέρειες άρχισαν με τη διάδοση των μέσων επικοινωνίας να έρχονται σε επαφή μεταξύ τους και επομένως οι γάμοι να γίνονται με ποικίλη επιλογή.

### 11.5 Γενετική εξήγηση της ετερώσεως.

Είδαμε ότι αυτογονιμοποιώντας το καλαμπόκι επέρχεται μείωση της ευρωστίας, δηλαδή συμβαίνει κατά κάποιο τρόπο ένα είδος εκφυλισμού. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται, από γενετική άποψη, σε δύο αίτια:

α) Με την αυτογονιμοποίηση έρχονται σε ομοζύγωτη κατάσταση ανεπιθύμητα υποτελή γονίδια, που μέχρι τώρα προστατεύονταν από την ετεροζυγωτία. Τα υποτελή αυτά γονίδια σε ομοζύγωτη κατάσταση εκδηλώνονται και συμβάλλουν στον εκφυλισμό ή και τον θάνατο ακόμα των ατόμων.

β) Με την πρόδοση της αυτογονιμοποίησεως ελαττώνεται το αρχικό απόθεμα των γονιδίων. Υπολογίζεται ότι στην έκτη γενιά αυτογονιμοποίησεως απομένει στα άτομα της γενιάς αυτής ο μισός αριθμός διαφορετικών γονιδίων από από εκείνον του αρχικού φυτού.

Έχοντας υπόψη τα παραπάνω, μπορούμε να κατανοήσουμε τις ακόλουθες δύο θεωρίες, που προτείνονται για την εξήγηση της ετερώσεως:

Η πρώτη παραδέχεται ότι η ευρωστία των υβριδίων οφείλεται στο ότι συγκέντρωνονται στον ίδιο γενότυπο επιθυμητά κυρίαρχα γονίδια. Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, τα επιθυμητά γονίδια της ευρωστίας είναι κυρίαρχα και τα ανεπιθύμητα είναι υποτελή. Υποθέτομε ότι τα κυρίαρχα γονίδια ABΓΔΕ συμβάλλουν στην απόδοση του καλαμποκιού. Από αυτά, τα A και B βρίσκονται σε μια καθαρή σειρά και τα υπόλοιπα Γ, Δ, Ε σε μια άλλη καθαρή σειρά. Η πρώτη σειρά θα έχει το γενότυπο AABΒγγδεε, η δε άλλη το γενότυπο ααββΓΓΔΔΕΕ. Διασταυρώνοντας τις δύο αυτές σειρές έχουμε:

$$\text{AABΒγγδεε} \times \text{ααββΓΓΔΔΕΕ}$$

↓

$$\text{F}_1 \text{ υβρίδιο: AaBβΓγΔΔEe}$$

Το υβρίδιο δηλαδή περιέχει όλα τα κυρίαρχα γονίδια και γι' αυτό είναι πιο εύρωστο από υποιονδήποτε από τους γονείς του.

Η δεύτερη θεωρία, γνωστή ως **υπερκυριαρχία**, παραδέχεται ότι η ευρωστία στην F<sub>1</sub> οφείλεται στο ότι η ετεροζυγωτία από μόνη της υπερέχει ως προς την ομοζυγωτία.

Προσπαθώντας να συνδυάσουμε τις δύο αυτές θεωρίες με τα όσα μάθαμε για τη δράση και αλληλεπίδραση των γονιδίων, θα μπορούσαμε να πούμε ότι, για να έχουμε ευρωστία, θα πρέπει τα μεν ημικυρίαρχα γονίδια να βρίσκονται σε ομοζυγωτία, τα δε συγκυρίαρχα σε ετεροζυγωτία.

### 11.6 Εφαρμογές για δάσκηση.

- Ποιες είναι οι συνέπειες της αυτογονιμοποίησεως σε φυτά που κανονικά σταυρογονιμοποιούνται;

2. Αν αυτογονιμοποιήσουμε τα μπιζέλια, θα παρατηρήσουμε εκφυλισμό · γιατί;
  3. Έχουμε μια ποικιλία μπιζελιού που είναι ετεροζύγωτη ως προς τρία ζεύγη γονιδίων, δηλαδή: Αα (κίτρινος ή πράσινος σπόρος) Ββ (λείπει ή συρρικνωμένος) και Γγ (κόκκινα λουλούδια ή λευκά). Αφήνουμε την ποικιλία αυτή να αυτογονιμοποιηθεί για πολλές γενιές. Τι φαινότυπους θα έχουν οι καθαρές σειρές που θα προκύψουν;
  4. 'Όταν αυτογονιμοποιήσουμε μια καθαρή σειρά, θα πάρουμε μόνο ομοζύγωτους απογόνους; Δώστε εξήγηση.
  5. Σ' ένα βουστάσιο εμφανίζονται κάπου - κάπου μερικά κοντά μοσχάρια. Για την ανωμαλία αυτή είναι υπεύθυνο ένα υποτελές γονίδιο. Πώς εξηγείτε την εμφάνιση των κοντών μοσχαριών; Τι μέτρα θα πάρετε για να μη γεννιούνται κοντά μοσχάρια;
  6. Αν υποθέσουμε ότι τα κυρίαρχα γονίδια Α,Β,Γ και Δ δημιουργούν ευρωστία στα φυτά του καλαμποκιού και ότι το καθένα αυξάνει το ύψος κατά 20 cm, να βρείτε το ύψος των καλαμποκιών που θα προκύψουν από τις διασταυρώσεις:
    - α) ααββΓΓΔΔ X ΑΑΒΒγγδδ
    - β) F<sub>1</sub> X F<sub>1</sub> της προηγουμένης
    - γ) F<sub>1</sub> της πρώτης X F<sub>1</sub> της δεύτερης.
- Παραδεχόμαστε ότι το βασικό ύψος του φυτού με γενότυπο ααββγγδδ είναι 40 cm.
7. Τι συνέπειες περιμένουμε από την ομομείξια και τι από την αναπαραγωγή μεταξύ διαφορετικών γενετικών ατόμων στα ζώα και στον άνθρωπο;
-

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΩΔΕΚΑΤΟ

### ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΖΩΩΝ

#### 12.1 Γενικά.

Η γνώση των αρχών της Γενετικής συντελεί στην προσπάθεια του ανθρώπου να βελτιώσει τα φυτά και τα ζώα, ώστε να επαρκέσουν για τη διατροφή του πληθυσμού. Η παραγωγή συνεχώς περισσότερων αγαθών αποτελεί επιτακτική ανάγκη ιδίως σήμερα, λόγω του σημειωμένου υπερπληθυσμού των κατοίκων της γης.

Λέγοντας **βελτίωση των φυτών και των ζώων** εννοούμε τη δημιουργία πιο παραγωγικών ποικιλιών των καλλιεργουμένων φυτών και πιο βελτιωμένων φυλών των ζώων που εκμεταλλεύεται ο άνθρωπος. Με τον όρο **ποικιλία** εννοούμε ομάδα φυτών, τα οποία είναι όμοια γενετικώς και εμφανίζουν όμοιο φαινότυπο, ώστε να διακρίνονται εύκολα από άλλες ομάδες φυτών του αυτού είδους. Ο όρος **φυλή** στα ζώα σημαίνει ότι περίπου ο όρος ποικιλία στα φυτά.

Με τη βελτίωση προσπαθούμε να συγκεντρώσουμε όσο το δυνατόν περισσότερα επιθυμητά γονίδια σε μια ποικιλία ή σε μια φυλή, τα οποία να προσδίνουν τέτοια γνωρίσματα στον αντίστοιχο φαινότυπο, ώστε να εξασφαλίζουν παραγωγικότητα και καλή ποιότητα προϊόντος. Μπορούμε να επιδιώξουμε π.χ. μια ποικιλία βαμβακιού που να προσφέρει μεγάλη παραγωγή ανά στρέμμα και καλή ποιότητα ίνας· όπως επίσης μια βελτιωμένη φυλή αγελάδας, που να παράγει πολύ γάλα και με μεγάλη λιποπεριεκτικότητα.

#### 12.2 Η παραλλακτικότητα ως βάση της βελτιώσεως.

Η δημιουργία μιας ποικιλίας ή μιας φυλής προϋποθέτει κάποιον πληθυσμό φυτών ή ζώων, στον οποίο τα άτομα εμφανίζουν διαφορές μεταξύ τους, για να μπορέσουμε να επιλέξουμε τα καλύτερα. Πρέπει συνεπώς να έχουμε παραλλακτικότητα για να επιτύχουμε την **επλογή**. Επιλέγοντας όμως τα καλύτερα φυτά ή τα καλύτερα ζώα πρέπει να είμαστε σίγουροι ότι τα άτομα που διαλέξαμε θα δώσουν και καλύτερους απογόνους. Αυτό σημαίνει ότι η υπεροχή των επιλεγέντων ατόμων δεν οφείλεται στο περιβάλλον αλλά στο γενότυπο, πρέπει δηλαδή να είναι γενοτυπική. Απαραίτητη συνεπώς προϋπόθεση για την πραγματοποίηση της επιλογής είναι η ύπαρξη γενετικής παραλλακτικότητας.

Πρώτο καθήκον του βελτιωτή είναι να δημιουργήσει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη παραλλακτικότητα. Για να το επιτύχει αυτό χρησιμοποιεί τα εξής μέσα:

α) Τον **υβριδισμό**: διασταυρώνει άτομα που να διαφέρουν γενετικώς μεταξύ

τους οπότε παίρνει στη  $F_2$  μεγάλη γενετική παραλλακτικότητα με τον ανασυνδυασμό των γονιδίων βάσει του νόμου της διασπάσεως. Διενεργεί διασταυρώσεις κατα κανόνα μεταξύ ποικιλιών ή φυλών, αλλά μερικές φορές και μεταξύ ειδών.

β) Τις **μεταλλάξεις** επειδή οι μεταλλάξεις συμβαίνουν τυχαία και με μικρή συχνότητα, προσπαθεί να δημιουργήσει τεχνητές μεταλλάξεις, με διάφορα μέσα, όπως με τις ακτίνες X ή γ ή με χημικές ουσίες κλπ.

γ) Την **πολυπλοειδία** εκτός από την εμφάνιση των φυσικών πολυπλοειδών, που γίνεται πάλι με πολύ μικρή συχνότητα, δημιουργεί τεχνητά πολυπλοειδή.

Δεύτερο καθήκον του βελτιωτή είναι να επιλέξει τον καλύτερο γενότυπο που υπάρχει ανάμεσα στα γενετικώς διάφορα άτομα που δημιούργησε με τους παραπάνω τρόπους. Οι διαφορές όμως των ατόμων αυτών διαφοροποιούνται και από το περιβάλλον. Η συνολική δηλαδή φαινοτυπική παραλλακτικότητα πρέπει να διαχωρισθεί στα δυο συστατικά της, δηλαδή τη γενοτυπική και αυτήν που οφείλεται στο περιβάλλον.

Για να ανταπεξέλθει ο βελτιωτής στα δυο παραπάνω καθήκοντά του έχει αναπτύξει τις **μεθόδους βελτιώσεως** των φυτών ή των ζώων.

### 12.3 Μέθοδοι βελτιώσεως των φυτών.

Διακρίνομε τρεις κυρίως μεθόδους:

α) Την **εισαγωγή** ποικιλιών από το εξωτερικό παίρνομε δηλαδή σπόρο από βελτιωμένες ποικιλίες άλλων χωρών και τις καλλιεργούμε στη χώρα μας, αφού πρώτα τις ελέγχουμε με πειράματα για να διαπιστώσουμε ότι ο γενότυπός τους προσαρμόζεται στο νέο περιβάλλον.

β) Την **επιλογή** από ένα γενετικώς ανόμοιο πληθυσμό, που δημιουργήθηκε είτε φυσικά είτε τεχνητά από το βελτιωτή, επιλέγονται τα καλύτερα φυτά. Μετά, είτε ενώνουμε το σπόρο των επιλεγέντων φυτών, για να σπέρνουμε το σύνολό τους (**μαζική επιλογή**) είτε σπέρνουμε το σπόρο κάθε επιλεγέντος φυτού χωριστά για να διαπιστώσουμε το γενότυπό του (**γενεαλογική επιλογή**).

γ) Τον **υβριδισμό** διασταυρώνουμε φυτά δύο διαφορετικών ποικιλιών και με τη μέθοδο της γενεαλογικής επιλογής απομονώνουμε τον καλύτερο γενοτυπικό συνδυασμό. Όταν πρόκειται για είδος φυτού που σταυρογονιμοποιείται, όπως το καλαμπόκι, δημιουργούνται τα υβρίδια της  $F_1$ .

Εκτός από τις παραδοσιακές μεθόδους, όπως χαρακτηρίζονται οι παραπάνω τρόποι, χρησιμοποιήθηκαν σε μεγάλη κλίμακα οι διάφορες ακτινοβολίες και η πολυπλοειδία.

### 12.4 Η γενετική στη βελτίωση των ζώων.

#### α) Γενικά.

'Όπως στα φυτά, έτσι και στα ζώα, το πρωταρχικό πρόβλημα που αντιμετωπίζει ο βελτιωτής είναι η διάκριση μεταξύ της παραλλακτικότητας που κληρονομείται και εκείνης που δεν κληρονομείται. Πράγματι, αν δύο ταύροι π.χ. έχουν τους γενοτύπους: AA ο ένας και Aa ο άλλος και αν  $A > a$ , τότε και οι δύο θα είναι όμοιοι φαινοτυπικά, αλλά ο ομοζύγωτος (AA) μεταβιβάζει αυτούσιες τις ιδιότητές του, ενώ ο ε-

τεροζύγωτος (Αα) θα τις διασπά. Ο μόνος βέβαιος τρόπος συνεπώς είναι ο **έλεγχος του γενοτύπου** κάθε ταύρου με τους απογόνους του. Ο έλεγχος αυτός είναι απόλυτα απαραίτητος στα μεγάλα ζώα, στα οποία κάθε γνώρισμα έχει μεγάλη οικονομική σημασία. Στα μικρά ζώα με γρήγορο ρυθμό αναπαραγωγής, όπως τα πουλερικά, η επιλογή γίνεται με βάση το φαινότυπο, χωρίς τον έλεγχο των απογόνων.

Με τον έλεγχο των απογόνων και χρησιμοποιώντας τη στατιστική, υπολογίζει κατόπιν ο βελτιωτής ένα δείκτη, που ονομάζει **κληρονομική ικανότητα**. Ο δείκτης αυτός σημαίνει το ποσοστό της παραλλακτικότητας που οφείλεται στο γενότυπο. Όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής αυτός, τόσο περισσότερο ελέγχεται το γνώρισμα από το γενότυπο. Δηλαδή είναι μεγάλο το κληρονομούμενο τμήμα της συνολικής παραλλακτικότητας, οπότε ευκολότερα βελτιώνεται το γνώρισμα. Συνήθως η κληρονομική ικανότητα είναι μεγάλη στα ποιοτικά γνωρίσματα και μικρή στα ποσοτικά.

Ο έλεγχος της κληρονομικής ικανότητας ενός ταύρου απαιτούσε πρώτα πολλά χρόνια, γιατί έπρεπε να πάρομε αρκετό αριθμό απογόνων για να τους ελέγξουμε. Σήμερα όμως, με την τεχνητή **γνηματοποίηση**, με την οποία μπορεί ένας ταύρος να δώσει 1000 απογόνους αντί για 50, που έδινε πρώτα, γίνεται η κληρονομική του εκτίμηση πολύ πιο σύντομα. Με τον τρόπο αυτόν απομένει αρκετό διάστημα ζωής του ταύρου, ώστε να χρησιμοποιηθεί για αναπαραγωγή, εφόσον κριθεί κατάλληλος.

Γίνεται ακόμα λόγος και για δυνατότητα **ελέγχου του φύλου** στα μοσχάρια που γεννιούνται. Το Χ χρωμόσωμο στις αγελάδες είναι μεγαλύτερο από το Υ χρωμόσωμο. Έτσι ο γενετιστής P.E Lindahl σκέφθηκε να φυγοκεντρίσει το σπέρμα πριν από την τεχνητή σπερματέγχυση για να αυξήσει τη συχνότητα των βαρυτέρων σπερματοζωαρίων που έφεραν το Χ χρωμόσωμα.

### **β) Η σημασία των θανατηφόρων παραγόντων στη βελτίωση των ζώων.**

Το 1902 ένας εξαιρετικός ταύρος της φυλής Holstein, ο «Πρύγκηπας Αδόλφος» εισήχθηκε από τη Γερμανία στη Σουηδία. Χρησιμοποιήθηκε τόσο πολύ στην αναπαραγωγή, ώστε το 1930 τα γονίδια του ταύρου αυτού είχαν διαδοθεί σε περισσότερους από 2000 ταύρους, που τους θεωρούσαν ως μεγάλης αξίας. Κατά την περίοδο αυτήν είχε παρατηρηθεί στα βουστάσια της βορειοδυτικής Ευρώπης μεγάλος αριθμός θανάτων μοσχαριών. Τα μοσχάρια αυτά γεννιόταν χωρίς τρίχωμα και πέθαιναν μετά τη γέννα, επειδή δεν μπορούσαν να ρυθμίσουν τη θερμοκρασία του σώματος. Οι θάνατοι αυτοί των μοσχαριών μεταφράζονταν σε ζημιά εκατομμυρίων δολλαρίων. Μετά από γενετική έρευνα διαπιστώθηκε ότι ο ταύρος «Πρύγκηπας Αδόλφος» έφερε ένα θανατηφόρο υποτελές γονίδιο σε ετεροζύγωτη κατάσταση, το οποίο μετεβίβαζε κάθε φορά στους μισούς απογόνους του. Σε όσα ότομα των επομένων γενεών το γονίδιο εμφανίζοταν σε ομοιογένωτη κατάσταση προκαλούσε το θάνατο των μοσχαριών. Τέτοια υποτελή γονίδια που προκαλούν το θάνατο των ατόμων που τα φέρουν σε ομοιογένωτη κατάσταση καλούνται **θανατηφόροι παράγοντες**. Με τη χρησιμοποίηση, τελευταία, της τεχνητής γονιμοποίησεως στις αγελάδες, είναι ευνόητο ότι τέτοια γονίδια διαδίδονται με ταχύτερο ρυθμό.

Ο βελτιωτής συνεπώς ελέγχει τον ταύρο γενετικώς προτού τον χρησιμοποιήσει για αναπαραγωγή, προκειμένου να βεβαιωθεί ότι δεν φέρει υποτελή θανατηφόρα γονίδια. Αυτό το κατορθώνει με το να διασταυρώσει τον ελεγχόμενο ταύρο με 20 τουλάχιστον θυγατέρες του. Αν ο ταύρος φέρει υποτελές θανατηφόρο γονίδιο, τότε αυτό θα μεταβιβασθεί στις μισές κόρες του, οπότε αυτές θα έχουν τον γενότυπο Αα. Όταν τώρα διασταυρώσουμε τον ταύρο με τις κόρες του, τότε τα 25% των απογόνων θα πεθάνουν ( $\text{Αα} \times \text{Αα} = \text{ΑΑ} : 2\text{αα} : \text{αα}$ ). Αν δεν συμβεί θάνατος σε μεγάλο αριθμό μοσχαριών, τότε βεβαιωνόμαστε ότι ο ταύρος δεν φέρει υποτελή θανατηφόρα γονίδια.

### **γ) Τα ποσοτικά γνωρίσματα στη βελτίωση των ζώων.**

Αρκετά γνωρίσματα των ζώων, όπως το βάρος του σώματος, η γαλακτοπαραγωγή, η λιποπεριεκτικότητα, η παραγωγή αυγών κλπ. έχει διαπιστωθεί ότι κληρονομούνται με πολυγονίδια γι' αυτό τα γνωρίσματα αυτά καλούνται **πολυγενείς ή πολυμερείς χαρακτήρες**. Η γνώση των πολυμερών ή ποσοτικών, όπως τα ονομάσια, γνωρισμάτων, έχει ιδιαίτερη σημασία κατά την εφαρμογή της συγγενικής αναπαραγωγής (ομομειξίας) και της αναπαραγωγής με διασταύρωση διαφορετικών φυλών. Συμβαίνει και εδώ ό,τι και στα φυτά σχετικά με τον εκφυλισμό μετά από ομομειξία ή με την ευφορία των υβριδίων. Η χρησιμοποίηση καθαρών φυλών ή υβριδίων στα ζώα είναι περισσότερο πολύπλοκη και δύσκολη, ασχολείται δε μ' αυτά ειδικός κλάδος της ζωοτεχνίας.

### **12.5. Ο εξευγενισμός του ανθρώπου.**

Υποτελή γονίδια υπάρχουν και στον ανθρώπινο πληθυσμό, τα οποία σε ομοζύγωτη κατάσταση προκαλούν σοβαρές ανωμαλίες ή και θανάτους. Για παράδειγμα αναφέρομε τη **δρεπανοκυτταρική αναιμία** και τη **θαλασσαιμία**. Άτομα που φέρουν το γονίδιο μιας τέτοιας ασθένειας σε ετεροζύγωτη κατάσταση είναι υγιή και δεν φέρουν συμπτώματα της ασθένειας. Αν όμως παντρευτούν δυο άτομα φορείς, τότε το ένα τέταρτο των παιδιών τους ( $\text{Αα} \times \text{Αα} = \text{ΑΑ} : 2\text{Αα} : \text{αα}$ ) θα είναι άρρωστα, ενώ τα δύο τρίτα των υγιών θα είναι φορείς. Η κατάλληλη γενετική εξέταση για την επισήμανση των φορέων και η σχετική διαφώτιση των ενδιαφερομένων μπορεί να περιορίσουν την εμφάνιση τέτοιων ασθενειών.

### **12.6 Ερωτήσεις.**

1. Τι είναι η βελτίωση των φυτών και τι η βελτίωση των ζώων;
2. Τι είναι ποικιλία και τι φυλή;
3. Ποια είναι η απαραίτητη προϋπόθεση για τη διενέργεια της επιλογής στα φυτά και στα ζώα;
4. Πώς διαχωρίζομε το γενότυπο από το φαινότυπο;
5. Πώς δημιουργούμε γενετική παραλλακτικότητα;
6. Στα ζώα ή στα φυτά δημιουργούμε ευκολότερα υβρίδια και γιατί;
7. Τι είναι κληρονομική ικανότητα και σε τι μας χρησιμεύει;

8. Τι είναι η τεχνητή γονιμοποίηση στα ζώα; Ποια είναι τα πλεονεκτήματα και ποια τα μειονεκτήματά της;
  9. Μπορούμε να ελέγξουμε το φύλο των μοσχαριών και πώς;
  10. Τι είναι οι θανατηφόροι παράγοντες και ποια η σημασία τους;
  11. Πώς η Γενετική μπορεί να βοηθήσει στον εξευγενισμό του ανθρώπου;
-

## ΛΕΞΙΛΟΓΙΟ

**Αλληλόμορφο:** ένα γονίδιο υπάρχει σε περισσότερες από μία μορφές, λόγω των μεταλλάξεων. Τις μορφές αυτές του γονίδιου ονομάζομε αλληλόμορφα· τα αλληλόμορφα ελέγχουν το ίδιο γνώρισμα, αλλά με διαφορετικό τρόπο.

**Αλλοπολυπλοειδές:** πολυπλοειδές άτομο με διαφορετικά γενύματα.

**Αναγωγική διαίρεση:** η πρώτη διαίρεση της μειώσεως, κατά την οποία αποχωρίζονται μη αδελφικά κεντρομερή, λέγεται αναγωγική, γιατί ο αριθμός των χρωμοσωμάτων μειώνεται στο μισό.

**Αναδιασταύρωση:** η κατ' επανάληψη διασταύρωση των απογόνων με τον ένα από τους δύο αρχικούς γονεῖς.

**Αναπαραγωγή:** ο πολλαπλασιασμός των ζωντανών οργανισμών με τον οποίον εξασφαλίζεται η διαιώνισή τους.

**Ανασυνδυασμός:** κάθε νέος συνδυασμός γονιδίων, που αυξάνει τη γενετική παραλλακτικότητα. Οι κυριότεροι μηχανισμοί ανασυνδυασμού των γονιδίων στους ανώτερους οργανισμούς είναι η μείωση και η γονιμοποίηση. Κατά τη μείωση οδεύουν στους πόλους ανακατωμένα τα πατρικά και μητρικά χρωμοσώματα. Κατά τη γονιμοποίηση ενώνονται γονίδια από δύο διαφορετικές πηγές.

**Ανάφαση:** το στάδιο της πυρηνοδιαίρεσεως, κατά το οποίο τα χρωμοσώματα που έχουν διαταχθεί στην ισημερινή πλάκα αρχίζουν να αποχωρίζονται στους δύο πόλους.

**Ανευπλοειδές:** άτομο που δεν αποτελείται από πλήρη γενύματα, αλλά λείπουν η περισσεύουν ένα ή περισσότερα χρωμοσώματα.

**Ανταλλαγή:** αμοιβαία ανταλλαγή γονιδίων μεταξύ μη αδελφικών χρωματιδίων δύο ομολόγων χρωμοσωμάτων. Ανασυνδυάζει τα συνδεμένα γονίδια.

**Αντιγόνα:** ουσίες που δταν εισχωρήσουν στο σώμα των σπονδυλωτών και είναι ξένες προς τον οργανισμό προκαλούν τη δημιουργία αντισωμάτων.

**Απλοειδές:** άτομο με ένα μόνο γένωμα.

**Ασυμβίβαστο:** η παρεμπόδιση σχηματισμού βιώσιμου ζυγώτη μετά από αυτογονιμοποίηση. Οφείλεται στην αλληλεπίδραση πολλαπλών αλληλομόρφων γονιδίων.

**Ασωμικό:** άτομο από το οποίο λείπει ένα ζεύγος ομολόγων χρωμοσωμάτων.

**Άτρακτος:** ο ινόμορφος άτρακτος σκελετός που σχηματίζεται μεταξύ της ισημερινής πλάκας και των δύο πόλων κατά τη διαίρεση του κυττάρου.

**Αυτογονιμοποίηση:** ένωση αρσενικού και θηλυκού γαμέτη, που ανήκουν στο ίδιο άτομο.

**Αυτοπολυπλοειδές:** άτομο με περισσότερα από δύο γενύματα.

**Αυτόσωμο:** κάθε χρωμόσωμο εκτός από τα χρωμοσώματα του φύλου.

**Βελτίωση των φυτών:** ο κλάδος της εφαρμοσμένης Γενετικής που μελετά τις μεθόδους δημιουργίας και επιλογής επιθυμητών γονιδιακών συνδυασμών.

**Βλαστικός πυρήνας:** στον γυρεόκοκκο υπάρχουν δύο πυρήνες: ο ένας που λέγεται ελαστικός και κατευθύνει την προβολή της γύρεως και ο άλλος που λέγεται γεννητικός και διαιρείται για να δώσει τους δύο σπερματικούς πυρήνες.

**Γαμέτης:** κύπταρο που χρησιμεύει για τον εγγενή πολλαπλασιασμό του οργανισμού. Είναι απλοειδές, δηλαδή περιέχει το μισό αριθμό των χρωμοσωμάτων των σωματικών κυττάρων. Ενώνεται με άλλο γαμέτη αντίθετου φύλου και σχηματίζει τον ζυγώτη.

**Γαμετόπλασμα:** βλέπε γεννητικό πλάσμα.

**Γενεά απογόνων:** είναι η γενεά που ακολουθεί τη διασταύρωση δύο απογόνων.

**Γενεαλογία:** χάρτης της προγονικής ιστορίας ενός ατόμου.

**Γεννητικός πυρήνας:** βλέπε βλαστικός πυρήνας.

**Γενότυπος:** το σύνολο των γονιδίων ενός οργανισμού. Καλείται και γονότυπος.

**Γεννητικό πλάσμα:** το σύνολο των κυττάρων του οργανισμού που είναι ή πρόκειται να σχηματισθούν σε γαμέτες. Λέγεται και γαμετόπλασμα.

**Γένωμα:** ομάδα μη ομολόγων χρωμοσωμάτων που βρίσκονται σε γενετική ισορροπία μεταξύ τους και που ο αριθμός τους αποτελεί τον απλοειδή παλιών είδων, από τα οποία προήλθαν τα νεώτερα είδη.

**Γνώρισμα:** ίδιότητα του οργανισμού που είναι αποτέλεσμα της αλληλεπιδράσεως γενότυπου και περιβάλλοντος.

**Γονίδιο:** η μονάδα του γενετικού υλικού. Πολλά γονίδια μαζύ συγκροτούν τα χρωμοσώματα. Καλείται και γόνος.

**Γονιμοποίηση:** ένωση δύο γαμετών αντίθετου φύλου για να σχηματίσουν το ζυγώτη.

**Γυρεόκοκκος:** όταν το μικροσποριοκύτταρο στους ανθήρες των φυτών υποστεί μείωση, δίνει τέσσερα κύτταρα, που το καθένα διαφοροποιείται σε γυρεόκοκκο.

**Δεοξυριβονουκλεϊκό οξύ:** συμβολίζεται με τα αρχικά DNA. Η χημική βάση που αποθηκεύονται οι γενετικές πληροφορίες του οργανισμού.

**Διάσπαση:** ο αποχωρισμός των αλληλομόρφων στη μείωση.

**Δίδυμα:** αδέλφια που γεννιούνται από την ίδια κύνηση. Αν προέρχονται από ένα μόνο ζυγώτη είναι γενετικώς δμοια και καλούνται μονοζύγωτα ή μονοζυγωτικά. Αν προέρχονται από δύο ζυγωτές, είναι γενετικώς ανδρόμοια και καλούνται διζύγωτα ή διζυγωτικά.

**Διπλή γονιμοποίηση:** η ταυτόχρονη γονιμοποίηση του ωαρίου και των δύο πολικών πυρήνων του εμβρυοσάκκου από τους δύο σπερματικούς πυρήνες της γύρεως. Από τη γονιμοποίηση του ωαρίου με τον ένα σπερματικό πυρήνα προκύπτει ο ζυγώτης των δύο πολικών πυρήνων από τον άλλο σπερματικό πυρήνα προκύπτει το τριπλοειδές ενδοσπέρμιο.

**Διπλοειδές:** άτομο που έχει στα κύτταρά του δύο ομόλογα γενώματα. Το ένα προήλθε από τον αρσενικό γαμέτη και το άλλο από το θηλυκό.

**Δοκιμή απογόνων:** εκτίμηση της αξίας ενός γενότυπου από τη συμπεριφορά των απογόνων του.

**Εμβρυόσακκος:** διαφοροποιημένο το ένα από τα τέσσερα προϊόντα της μειώσεως ενός μεγασποριοκυττάρου, μετά τον εκφυλισμό των άλλων τριών.

**Ένζυμο:** είναι πρωτεΐνη που, επιδρώντας ως καταλύτης, επιταχύνει τις βιολογικές αντιδράσεις χωρίς να μετέχει στα τελικά προϊόντα.

**Εξέλιξη:** η προοδευτική μεταβολή των οργανισμών από τις απλούστερες μορφές στις πιο σύνθετες, με την επίδραση των μεταλλάξεων με τους μηχανισμούς της μειώσεως και γονιμοποίησεως και με τη φυσική επιλογή.

**Επικονίαση:** η τοποθέτηση γυρεοκόκκων πάνω στο στίγμα του άνθους.

**Επίκτητο γνώρισμα:** γνώρισμα που απέκτησε ο οργανισμός κατά τη διάρκεια της ζωής του. Οφείλεται στο περιβάλλον και όχι στα γονίδια, και γι' αυτό δεν κληρονομείται.

**Επιλογή:** διάλεγμα ορισμένων μόνο γενοτύπων, τους οποίους κατόπιν πολλαπλασιάζουμε. Στην περίπτωση που το διάλεγμα γίνεται από τη φύση, μιλούμε για φυσική επιλογή, ενώ όταν γίνεται από τον άνθρωπο την καλούμε τεχνητή επιλογή.

**Επίσταση:** η σχέση δύο μη αλληλομόρφων γονιδίων, κατά την οποία το ένα γονίδιο επισκιάζει την εκδήλωση του άλλου.

**Επιστατικό:** ένα γονίδιο είναι επιστατικό σε ένα άλλο μη αλληλομόρφο γονίδιο, όταν το πρώτο επισκιάζει τη δράση του δεύτερου. Το δεύτερο τότε καλείται υποστατικό. Η δράση και των δύο γονιδίων αφορά στο ίδιο γνώρισμα.

**Ετερογαμετικό:** το άτομο που παράγει μισούς γαμέτες με το χρωμόσωμο X και μισούς με το χρωμόσωμο Y.

**Ετεροζύγωτο:** άτομο που περιέχει δύο τουλάχιστον διαφορετικά αλληλόμορφα γονίδια.

**Ετέρωση:** η υπεροχή σε ευρωστία και άλλα γνωρίσματα των ετεροζυγώτων απογόνων συγκριτικά με τους ομοζύγωτους γονείς από τους οποίους προήλθαν.

**Ευγονισμός:** η χρησιμοποίηση των δεδομένων της Γενετικής επιστήμης για τη βελτίωση των κληρονομικών ιδιοτήτων του ανθρώπου.

**Συγώντης:** το προϊόν της ενώσεως ενός αρσενικού με ένα θηλυκό γαμέτη κατά τη γονιμοποίηση.

**Ημιεπίσταση:** η κατάσταση κατά την οποία μη αλληλόμορφα γονίδια ελέγχουν το ίδιο γνώρισμα δρώντας αθροιστικά.

**Ημικυριαρχία:** όταν δύο αλληλόμορφα γονίδια προσθέτουν τη δράση τους δρώντας όμοια ( $A_1 + A_2$ ).

**Καθαρή σειρά:** σύνολο ομοζυγώτων και ομοίων γενετικώς ατόμων. Οι ποικιλίες των αυτογονιμοποιουμένων φυτών αποτελούν καθαρές σειρές.

**Κλώνος:** σύνολο ομοίων γενετικώς ατόμων, που προήλθαν από ένα αρχικό άτομο με αγενή πολλαπλασιασμό.

**Κυριαρχία:** το φαινόμενο, κατά το οποίο ένα αλληλόμορφο γονίδιο επισκιάζει την εκδήλωση του άλλου, που καλείται υποτελές ( $A_1 > A_2$ ).

**Κύτταρο:** η μικρότερη μονάδα ζωής με βιολογική δομή και λειτουργία.

**Μεγαλογονίδιο:** το γονίδιο που έχει μεγάλη επίδραση πάνω στον φαινότυπο και ελέγχει τα ποιοτικά γνωρίσματα.

**Μείωση:** μηχανισμός (κυτταροδιάρεση) που παράγει κύτταρα με μισό αριθμό χρωμοσωμάτων. Τα κύτταρα αυτά εξελίσσονται σε γαμέτες.

**Μετάλλαξη:** η απότομη μεταβολή ενός αλληλόμορφου σ' ένα άλλο. Όταν γίνεται μόνη της στη φύση καλείται **Φυσική μετάλλαξη**, ενώ όταν την κάνει ο άνθρωπος με ακτινοβολίες ή χημικές ουσίες λέγεται **τεχνητή μετάλλαξη**.

**Μήτωση:** η διαίρεση του κυττάρου σε δύο θυγατρικά κύτταρα.

**Μόνοικο:** φυτό που έχει αρσενικά και θηλυκά λουλούδια αλλά σε διαφορετικές θέσεις.

**Μονοσωμικό:** άτομο από το οποίο λείπει ένα χρωμόσωμα.

**Ξενία:** η ιδιότητα των γονιδίων της γύρεως να επηρεάζουν γνωρίσματα του ενδοσπερμίου ή του εμβρύου στη διπλή γονιμοποίηση.

**Ομογαμετικό:** το άτομο που παράγει γαμέτες ενός μόνο είδους.

**Ομόλογο:** δύο χρωμοσώματα λέγονται ομόλογα, όταν ανήκουν στο ίδιο ζευγάρι και είναι μορφολογικά όμοια.

**Ομομειξία:** συγγενική αναπαραγωγή.

**Ομόπλευρη διάταξη:** όταν στα συνδεμένα γονίδια τα κυρίαρχα βρίσκονται στο ένα ομόλογο και τα υποτελή στο άλλο ομόλογο χρωμόσωμο  $\frac{A}{B}$  Η διάταξη  $\frac{A}{B}$

$a \quad b$   $a \quad b$

λέγεται **ετερόπλευρη**.

**Πολυγονίδια:** γονίδια που το καθένα ασκεί μικρή και αθροιστική επίδραση στον κοινότυπο.

'Όλα μαζύ ελέγχουν τα ποσοτικά γνωρίσματα.

**Ποσοτικό γνώρισμα:** γνώρισμα που ελέγχεται από τα πολυγονίδια.

**Ριβονουκλεϊκό σξύ:** συμβολίζεται με τα αρχικά RNA. Υπάρχουν τρία είδη: το ριβοσωμικό (rRNA) το μεταγωγό (mRNA) και το εντολοδόχο (eRNA).

**Σπορικόκυτταρο:** το μητρικό κύτταρο που δίνει μετά από μείωση τα σπόρια.

**Σταυρογονιμοποίηση:** ένωση ενός αρσενικού και ενός θηλυκού γαμέτη, που ανήκουν σε δύο γενετικώς ανόμοια άτομα.

**Συγκυρίαρχο:** δύο αλληλόμορφα που δρουν ανεξάρτητα και παράγουν διαφορετικά προϊόν-

τα, τα οποία συνύπαρχουν στα ετεροζύγωτα άτομα ( $A_1 \neq A_2$ ).

**Συνεπιστατικό:** δύο μη αλληλόμορφα γονίδια που ελέγχουν στο ίδιο γνώρισμα παράγοντας το καθένα διαφορετικό προϊόν ( $A \neq B$ ).

**Τετρασωμικό:** άτομο που έχει τέσσερα αντί δύο ομόλογα χρωμοσώματα σ' ένα συγκεκριμένο ζευγάρι.

**Τρισωμικό:** άτομο που έχει τρία αντί δύο ομόλογα χρωμοσώματα σ' ένα συγκεκριμένο ζευγάρι.

**Τριυβρίδιο:** άτομο ετερωζύγωτο ως πρός τρία ζεύγη αλληλομόρφων.

**Υβρίδιο:** Προϊόν διασταυρώσεως δύο διαφορετικών γονέων. Κάθε ετεροζύγωτο άτομο είναι και υβρίδιο.

**Υπερκυριαρχία:** η περίπτωση κατά την οποία το ετεροζύγωτο Αα υπερέχει και από τα δύο ομοζύγωτα.

**Υποτελές γονίδιο:** το αλληλόμορφο όπου δεν εκδηλώνεται παρουσία άλλου αλληλομόρφου.

**Φαινότυπος:** το σύνολο των ορατών ιδιοτήτων ενός οργανισμού. Είναι το αποτέλεσμα της αλληλεπιδράσεως μεταξύ γενότυπου και περιβάλλοντος.

**Χρωμόσωμο:** σωματίδιο του πυρήνα που βάφεται έντονα και περιέχει τα γονίδια. Αποτελείται κυρίως από DNA.

**Ωοκύτταρο:** μητρικό κύτταρο από το οποίο προέρχεται το ωδ.

Ο συγγραφεύς ευχαριστεί τον καθηγητήν κ. Α. Φασούλαν, εκ του βιβλίου του οποίου: "Θεωρία και προβλήματα γενετικής" ελήφθησαν ορισμένα σχήματα και εφαρμογές.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Εισαγωγή .....	1
0.1 Γενικά .....	1
0.2 Οι πρώτες πληροφορίες .....	1
0.3 Τα πρώτα πειραματικά δεδομένα γύρω από την κληρονομικότητα .....	2
0.4 Οι δοξασίες του Δαρβίνου .....	4
0.5 Κληρονόμηση των επικτήτων χαρακτήρων .....	5
0.6 Η υπόθεση του Βάισμαν .....	5
0.7 Η θεωρία του Μέντελ .....	5

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

### Κληρονομικότητα και περιβάλλον

1.1 Γενικά .....	7
1.2 Γενότυπος και φαινότυπος (πειράματα του Johannsen) .....	7
1.3 Διάκριση της γενοτυπικής παραλλακτικότητας και εκείνης που οφείλεται στο περιβάλλον ..	10
1.4 Επίδραση του περιβάλλοντος στη διαμόρφωση του φαινότυπου .....	11
1.5 Θέματα για συζήτηση .....	15

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

### Τα πειράματα του Mendel

2.1 Γενικά .....	18
2.2 Το πειραματικό υλικό του Mendel .....	18
2.3 Ο μηχανισμός των διασταύρωσεων .....	18
2.4 Ο νόμος της διασπάσεως .....	19
2.5 Η υπόθεση του γονιδίου .....	22
2.6 Ο νόμος της ανεξάρτητης κληρονομήσεως (αυτοτέλειας των γονιδίων) .....	23
2.7 Τριυβρίδια .....	27
2.8 Εφαρμογές .....	28
2.9 Εφαρμογές για άσκηση .....	30

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

### Η φυσική βάση της κληρονομικότητας

3.1 Γενικά .....	33
3.2 Οργάνωση του κυττάρου .....	33
3.3 Το γενετικό υλικό .....	36
3.4 Οι βασικές λειτουργίες του γενετικού υλικού .....	38
3.5 Η διαίρεση του κυττάρου .....	38
3.6 Η γονιμοποίηση .....	48
3.7 Τα γονίδια και τα χρωμοσώματα .....	54
3.8 Ερωτήσεις για άσκηση .....	56
3.9 Εφαρμογές για άσκηση .....	56

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

### Δράση και αλληλεπίδραση των γονιδίων

4.1 Γενικά .....	57
4.2 Αλληλεπίδραση μεταξύ διληλομόρφων γονιδίων .....	57
4.3 Αλληλεπίδραση μεταξύ μη αλληλομόρφων γονιδίων .....	64
4.4 Εφαρμογές .....	69
4.5 Εφαρμογές για ασκήσεις .....	71

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

### Κληρονόμηση των ποσοτικών γνωρισμάτων

5.1 Τα ποιοτικά και τα ποσοτικά γνωρίσματα .....	75
5.2 Τα πειράματα του East με το καλαμπόκι .....	75
5.3 Διαφορές στην κληρονόμηση ποιοτικού και ποσοτικού γνωρίσματος .....	76
5.4 Τα πειράματα του Nilsson -Ehle με το σιάρι .....	77
5.5 Κληρονόμηση του χρώματος της επιδερμίδας στον άνθρωπο .....	78
5.6 Συμπέρασμα .....	78
5.7 Εφαρμογές για άσκηση .....	80

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

### Τα συνδεμένα γονίδια

6.1 Γενικά .....	81
6.2 Συμβολισμός των συνδεμένων γονιδίων .....	81
6.3 Πρακτική σημασία των συνδεμένων γονιδίων .....	81
6.4 Ανταλλαγή των συνδεμένων γονιδίων .....	82
6.5 Η πρακτική σημασία της ανταλλαγής των συνδεμένων γονιδίων .....	83
6.6 Ερωτήσεις για εξάσκηση .....	83

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

### Η κληρονόμηση του φύλου και τα φυλοσυνδέτα γονίδια

7.1 Γενικά .....	86
7.2 Το χρωμόσωμο του φύλου στον άνθρωπο .....	86
7.3 Το χρωμόσωμο του φύλου στη δροσόφila .....	88
7.4 Το χρωμόσωμα του φύλου στους άλλους οργανισμούς .....	88
7.5 Τα φυλοσυνδέτα γονίδια .....	88
7.6 Κληρονόμηση των φυλοσυνδέτων γονιδίων .....	90
7.7 Κληρονόμηση των ολανδρικών και μερικώς φυλοσυνδέτων γονιδίων .....	92
7.8 Εφαρμογές .....	92
7.9 Εφαρμογές για άσκηση .....	93

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ

### Πολλαπλά αλληλόμορφα γονίδια

8.1 Γενικά .....	96
8.2 Τα πολλαπλά αλληλόμορφα στο χρώμα των κουνελιών .....	96
8.3 Τα πολλαπλά αλληλόμορφα στις ομάδες αίματος του ανθρώπου .....	98

8.4 Τα πολλαπλά αλληλόμορφα σε άλλα γνωρίσματα .....	99
8.5 Εφαρμογές .....	100
8.6 Εφαρμογές για άσκηση .....	100

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ

### Μεταλλάξεις

9.1 Γενικά .....	102
9.2 Η φύση της μεταλλάξεως .....	102
9.3 Τεχνητές μεταλλάξεις .....	104
9.4 Ερωτήσεις .....	104

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ

### Η πολυπλοκαδία

10.1 Γενικά .....	105
10.2 Ιδιότητες των πολυπλοκαδών .....	107
10.3 Ερωτήσεις .....	112

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΔΕΚΑΤΟ

### Ομομειξία και επέρωση

#### A. ΟΜΟΜΕΙΞΙΑ

11.1 Γενικό .....	113
11.2 Η ομομειξία στα σταυρογονιμοποιημένα φυτά .....	114
11.3 Η ομομειξία στα ζώα και στον ανθρώπο .....	114

#### B. ΕΤΕΡΩΣΗ

11.4 Γενικά .....	115
11.5 Γενετική εξήγηση της ετερώσεως .....	117
11.6 Εφαρμογές για άσκηση .....	117

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΩΔΕΚΑΤΟ

### Βελτίωση των φυτών και των ζώων

12.1 Γενικά .....	119
12.2 Η παραλλακτικότητα ως βάση της βελτιώσεως .....	119
12.3 Μέθοδοι βελτιώσεως των φυτών .....	120
12.4 Η γενετική στη βελτίωση των ζώων .....	120
12.5 Ο εξενγενεισμός του ανθρώπου .....	122
12.6 Ερωτήσεις .....	122
Λεξιλόγιο .....	124

**COPYRIGHT ΙΑΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ**

---

