

Συμβουλές για τις ασκήσεις του 5^{ου} κεφαλαίου

1. Ασκήσεις μονοϋβριδισμού:

- α. οι ανώτεροι ευκαρυωτικοί οργανισμοί είναι διπλοειδείς, δηλαδή έχουν σε κάθε σωματικό τους κύτταρο δύο αλληλόμορφα γονίδια για κάθε χαρακτήρα.
- β. οι γαμέτες των ανώτερων ευκαρυωτικών οργανισμών δημιουργούνται με τη διαδικασία της μείωσης, κατά την οποία τα δύο αλληλόμορφα διαχωρίζονται και κάθε γαμέτης περιέχει μόνο το ένα από αυτά.
- γ. οι απόγονοι προκύπτουν από τον τυχαίο συνδυασμό των γαμετών των δύο γονέων και βρίσκονται με το τετράγωνο του Punnett.
- δ. στην περίπτωση που σε κάποιο γονίδιο τα αλληλόμορφα του είναι ατελώς επικρατή ή συνεπικρατή ή υπάρχει κάποιο θνησιγόνο αλληλόμορφο ή υπάρχουν πολλαπλά αλληλόμορφα, τότε οι αναλογίες που προκύπτουν είναι διαφορετικές από τις αναμενόμενες με βάση τις διασταυρώσεις του Mendel.

2. Ασκήσεις διυβριδισμού:

- α. δύο γονίδια που βρίσκονται σε διαφορετικά ζεύγη ομολόγων χρωμοσωμάτων διαχωρίζονται ανεξάρτητα στους γαμέτες κατά τη μείωση. Έτσι το κάθε αλληλόμορφο του ενός γονιδίου μπορεί να συνυπάρχει στον ίδιο γαμέτη με οποιοδήποτε από τα δύο αλληλόμορφα του άλλου γονιδίου.
- β. οι απόγονοι προκύπτουν από τον τυχαίο συνδυασμό των γαμετών των δύο γονέων και βρίσκονται με το τετράγωνο του Punnett.
- γ. η πιθανότητα να φέρει ένα άτομο δύο χαρακτήρες που ελέγχονται από γονίδια που βρίσκονται σε διαφορετικά ζεύγη χρωμοσωμάτων είναι ίση με το γινόμενο των δύο πιθανοτήτων εμφάνισης του κάθε χαρακτηριστικού χωριστά.

3. Ασκήσεις όπου αναζητείται ο γονότυπος των ατόμων:

- α. κάθε άτομο κληρονομεί ένα αλληλόμορφο από καθένα από τους δύο γονείς
 - β. για να βρούμε το γονότυπο των ατόμων σε μια οικογένεια, αρχίζουμε από εκείνα στα οποία ο φαινότυπος αντιστοιχεί σε ένα μόνο γονότυπο, όπως:
 - i) άτομα που εκδηλώνουν χαρακτήρα που οφείλεται σε υπολειπόμενο γονίδιο,
 - ii) αρσενικά άτομα προκειμένου για ένα φυλοσύνδετο χαρακτήρα
- Στη συνέχεια βρίσκουμε το γονότυπο των υπόλοιπων ατόμων αιτιολογώντας.
- γ. ένας πατέρας υποχρεωτικά κληροδοτεί το Χ χρωμόσωμα στους θηλυκούς απογόνους του και το Υ χρωμόσωμα στους αρσενικούς απογόνους.
 - δ. όταν σε μια άσκηση μελετώνται περισσότερα από ένα χαρακτηριστικά είναι προτιμότερο το κάθε χαρακτηριστικό να εξετάζεται αυτόνομα και στο τέλος να γράφονται συγκεντρωτικά οι γονότυποι των ατόμων.

4. Ασκήσεις με αριθμητικές αναλογίες:

- α. στην περίπτωση που σε μια άσκηση υπάρχει αριθμητική φαινοτυπική αναλογία απογόνων, ο σκοπός είναι να βρεθεί εκείνη η διασταύρωση που δίνει θεωρητική φαινοτυπική αναλογία παραπλήσια με την αναλογία της άσκησης.
- β. η αναλογία φύλου μεταξύ των απογόνων είναι φυσιολογικά περίπου 1:1. Όταν η αναλογία φύλου είναι 2 θηλυκά:1 αρσενικά, τότε υπάρχει φυλοσύνδετο θνησιγόνο γονίδιο.
- γ. για την εύρεση κατά πόσο ένας χαρακτήρας είναι αυτοσωμικός ή φυλοσύνδετος ισχύουν τα παρακάτω:
 - i) όταν η φαινοτυπική αναλογία για ένα χαρακτήρα είναι 3:1, στα αρσενικά και στα θηλυκά άτομα, τότε ο χαρακτήρας ελέγχεται από αυτοσωμικό γονίδιο.

ii) όταν η φαινοτυπική αναλογία για ένα χαρακτήρα είναι διαφορετική ανάμεσα σε αρσενικά και θηλυκά άτομα, τότε ελέγχεται από φυλοσύνδετο γονίδιο.

iii) όταν η φαινοτυπική αναλογία για ένα χαρακτήρα είναι 1:1 τόσο στα αρσενικά όσο και στα θηλυκά άτομα, τότε ο χαρακτήρας μπορεί να ελέγχεται είτε από αυτοσωμικό είτε από φυλοσύνδετο γονίδιο (**παίρνουμε περιπτώσεις**).

5. Ασκήσεις με γενεαλογικά δέντρα:

α. όταν από υγιείς γονείς προκύπτει ασθενές παιδί η ασθένεια κληρονομείται με υπολειπόμενο τύπο κληρονομικότητας. Στην περίπτωση αυτή, αν επιπλέον από υγιή πατέρα προκύπτει ασθενές κορίτσι, ή από ασθενή μητέρα προκύπτει υγιής γιος, η ασθένεια κληρονομείται με αυτοσωμικό τρόπο.

β. όταν από ασθενείς γονείς προκύπτει υγιές παιδί η ασθένεια κληρονομείται με επικρατή τύπο κληρονομικότητας. Στην περίπτωση αυτή, αν επιπλέον από ασθενή πατέρα προκύπτει υγιές κορίτσι ή από υγιή μητέρα προκύψει ασθενής γιος, η ασθένεια κληρονομείται με αυτοσωμικό τρόπο.

6. Ασκήσεις με χαρακτήρες που ελέγχονται από γονίδια που βρίσκονται στο μιτοχονδριακό DNA:

Τα χαρακτηριστικά που ελέγχονται από τα γονίδια του μιτοχονδριακού DNA έχουν μητρική κληρονόμηση, δηλαδή ο φαινότυπος της μητέρας ταυτίζεται με το φαινότυπο των απογόνων της. **Προσοχή:** μια ασθένεια που σχετίζεται με βλάβη στο μεταβολισμό μπορεί να οφείλεται σε μετάλλαξη πυρηνικού γονιδίου

7. Όταν υπάρχουν περισσότεροι από δύο φαινότυποι στους απογόνους μιας διασταύρωσης, τότε διερευνούμε...

α. για **συνεπικρατή αλληλόμορφα**, όταν στο φαινότυπο κάποιων απογόνων συνυπάρχουν και οι δύο χαρακτήρες (μπορεί να παρατηρηθεί ταυτόχρονα η φαινοτυπική αναλογία 1:2:1)

β. για **ατελώς επικρατή αλληλόμορφα**, όταν υπάρχουν κάποιοι απόγονοι με ενδιάμεσο φαινότυπο (μπορεί να παρατηρηθεί ταυτόχρονα και η φαινοτυπική αναλογία 1:2:1)

γ. για **πολλαπλά αλληλόμορφα**, εάν τα χαρακτηριστικά που παρατηρούνται στο φαινότυπο των απογόνων δεν έχουν κάποια από τις παραπάνω σχέσεις.

8. Περιπτώσεις διασταυρώσεων που υποψιαζόμαστε θνησιγόνο γονίδιο

α. σε μια διασταύρωση ετερόζυγων ατόμων που έχουν τον **ίδιο** φαινότυπο, η φαινοτυπική αναλογία των απογόνων είναι 2:1 ή 100% και στους αρσενικούς και στους θηλυκούς απογόνους (τα αλληλόμορφα πρέπει να έχουν σχέση επικρατούς-υπολειπόμενου), τότε το γονίδιο είναι υπολειπόμενο αυτοσωμικό

β. όταν σε μια διασταύρωση ετερόζυγων ατόμων, που έχουν **διαφορετικό** φαινότυπο η φαινοτυπική αναλογία των απογόνων είναι 2:1 ή 100% και στους αρσενικούς και στους θηλυκούς απογόνους (τα αλληλόμορφα πρέπει να έχουν σχέση επικρατούς-υπολειπόμενου), τότε το γονίδιο είναι υπολειπόμενο αυτοσωμικό, **όμως υπάρχουν πολλαπλά αλληλόμορφα**

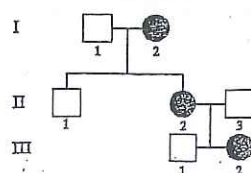
γ. όταν οι θηλυκοί απόγονοι είναι διπλάσιοι από τους αρσενικούς, τότε το γονίδιο είναι φυλοσύνδετο θνησιγόνο και φορέας του γονιδίου πρέπει να είναι το θηλυκό άτομο της πατρικής γενιάς

δ. το θνησιγόνο αλληλόμορφο γονίδιο δεν αποκλείεται να είναι συνεπικρατές ή ατελώς επικρατές. Στην περίπτωση αυτή μετατρέπεται η φαινοτυπική αναλογία από 1:2:1 σε 1:2

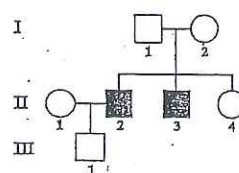
Ασκήσεις για το 5^ο κεφάλαιο

1. Από τη διασταύρωση ενός φυτού μοσχομπίζελου με λεία σπέρματα με φυτό με ρυτιδωμένα σπέρματα, προέκυψαν στην επόμενη γενιά φυτά και με λεία και με ρυτιδωμένα σπέρματα σε ίση περίπτωση αναλογία. Να κάνετε τη διασταύρωση που να αιτιολογεί τα αποτελέσματα αυτά.
2. Από τη διασταύρωση ενός φυτού μοσχομπίζελου ψηλού με κίτρινα σπέρματα με φυτό κοντό με πράσινα σπέρματα, προέκυψαν στην επόμενη γενιά μόνο ψηλά φυτά με κίτρινα σπέρματα.
α) με δεδομένο ότι τα φυτά που διασταυρώθηκαν ήταν αμιγή, να κάνετε τη διασταύρωση και να αιτιολογήσετε τα αποτελέσματα. Δίνεται ότι τα γονίδια που ελέγχουν τα δύο χαρακτηριστικά βρίσκονται σε διαφορετικά ζεύγη χρωμοσωμάτων.
β) αν τα φυτά που προέκυψαν από την προηγούμενη διασταύρωση διασταυρωθούν μεταξύ τους, να βρείτε τη φαινοτυπική αναλογία των απογόνων. Ποια είναι η πιθανότητα να προκύψει από τη διασταύρωση αυτή κοντό φυτό με κίτρινα σπέρματα;
3. Από το γάμο της Μαρίας που έχει γραμμή τριχοφυΐας με κορυφή και είναι φυσιολογική ως προς την αιμορροφιλία Α και του Γιάννη που δεν έχει κορυφή στη γραμμή τριχοφυΐας του και είναι επίσης φυσιολογικός ως προς την αιμορροφιλία, γεννήθηκε ένα αγόρι που έχει γραμμή τριχοφυΐας με κορυφή και πάσχει από αιμορροφιλία Α. Οι γονείς της Μαρίας είναι φυσιολογικοί ως προς την αιμορροφιλία Α. Επιπλέον, ο πατέρας της Μαρίας έχει γραμμή τριχοφυΐας με κορυφή, ενώ η μητέρα της δεν εμφανίζει κορυφή στη γραμμή τριχοφυΐας της.
α) να βρείτε τους πιθανούς γονοτύπους των μελών της οικογένειας και να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.
β) να βρείτε ποια είναι η πιθανότητα το δεύτερο παιδί του ζευγαριού να είναι: i) αγόρι με γραμμή τριχοφυΐας με κορυφή και φυσιολογικό ii) κορίτσι με γραμμή τριχοφυΐας χωρίς κορυφή και φυσιολογικό
4. Από τη διασταύρωση ατόμων *Drosophila* με κόκκινα μάτια και κανονικές πτέρυγες προέκυψαν στην επόμενη γενιά 181 θηλυκά άτομα με κόκκινα μάτια και κανονικές πτέρυγες, 90 αρσενικά με κόκκινα μάτια και κανονικές πτέρυγες, 86 αρσενικά με λευκά μάτια και κανονικές πτέρυγες, 60 θηλυκά με κόκκινα μάτια και ατροφικές πτέρυγες, 29 αρσενικά με κόκκινα μάτια και ατροφικές πτέρυγες και 28 αρσενικά με λευκά μάτια και ατροφικές πτέρυγες. Να βρείτε τον τρόπο κληρονομησης του κάθε χαρακτήρα και να κάνετε τη διασταύρωση που εξηγεί τα παραπάνω αποτελέσματα. Δίνεται ότι στη *Drosophila* τα θηλυκά άτομα έχουν γονότυπο XX και τα αρσενικά XY.
5. Ένας γεωργός καλλιεργεί στο κτήμα του ένα φυτό που έχει κίτρινα ή κόκκινα άνθη και καρπούς με στρογγυλό ή ωοειδές σχήμα. Από τη διασταύρωση φυτών με κίτρινα άνθη και στρογγυλούς καρπούς με φυτά που έχουν κόκκινα άνθη και ωοειδείς καρπούς, πήρε μόνο φυτά με πορτοκαλί άνθη και ωοειδείς καρπούς. Τα στελέχη που διασταυρώθηκαν ήταν αμιγή και τα γονίδια που ελέγχουν τις δύο ιδιότητες βρίσκονται σε διαφορετικά ζεύγη ομολόγων χρωμοσωμάτων.
α) να κάνετε τη διασταύρωση και να αιτιολογήσετε τα αποτελέσματα
β) αν διασταυρωθούν μεταξύ τους τα φυτά που προέκυψαν από την πρώτη διασταύρωση, να υπολογίσετε την πιθανότητα να προκύψουν φυτά με πορτοκαλί άνθη και στρογγυλούς καρπούς.

6. Άνδρας που πάσχει από μερική αχρωματοψία στο πράσινο και το κόκκινο χρώμα παντρεύεται με υγιή γυναίκα και αποκτούν κατά σειρά μια ασθενή κόρη, έναν υγιή γιο και μια υγιή κόρη. Οι δύο κόρες παντρεύτηκαν με υγιείς άντρες και απέκτησαν και οι δύο από ένα παιδί με μερική αχρωματοψία.
α) να κατασκευάσετε το γενεαλογικό δέντρο της οικογένειας.
β) τι φύλο μπορεί να ήταν τα δύο ασθενή παιδιά;
γ) να βρείτε τους γονότυπους των ατόμων του γενεαλογικού δέντρου.
7. Ένας άνδρας που πάσχει από οικογενή υπερχοληστερολαιμία και έχει ελεύθερους λοβούς αυτιών, παντρεύεται μια γυναίκα, η οποία δεν πάσχει από υπερχοληστερολαιμία και έχει ελεύθερους λοβούς αυτιών. Το ζευγάρι αυτό αποκτά τρία παιδιά. Το πρώτο εμφανίζει υπερχοληστερολαιμία και έχει ελεύθερους λοβούς αυτιών, το δεύτερο δεν πάσχει από υπερχοληστερολαιμία και έχει προσκολλημένους λοβούς αυτιών και το τρίτο δεν πάσχει από υπερχοληστερολαιμία και έχει ελεύθερους λοβούς αυτιών.
α) Ποιοι είναι οι γονότυποι των γονέων; Δικαιολογήστε την απάντησή σας.
β) Ποιοι είναι οι πιθανοί γονότυποι των τριών παιδιών; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.
8. Γυναίκα με ομάδα αίματος A παντρεύεται άνδρα με ομάδα αίματος B και γεννούν δύο παιδιά εκ των οποίων το πρώτο, που είναι κορίτσι, έχει ομάδα αίματος A και το δεύτερο ομάδα αίματος O. Το δεύτερο παιδί πάσχει από κληρονομική μεταβολική νόσο. Οι δύο γονείς είναι υγιείς και η μητέρα μόνο είναι φορέας του υπολειπόμενου γονιδίου που ελέγχει τη νόσο αυτή. Για τα γονίδια που ελέγχουν τους παραπάνω χαρακτήρες ισχύει ο δεύτερος νόμος του Mendel. Να βρείτε τους γονότυπους των γονέων και των παιδιών τους ως προς τους δύο χαρακτήρες, κάνοντας τις κατάλληλες διασταυρώσεις και να δικαιολογήσετε το φύλο του δεύτερου παιδιού.
9. Ένας άνδρας με ομάδα αίματος O και με φυσιολογική όραση παντρεύεται μια γυναίκα με ομάδα αίματος A, που είναι φορέας μερικής αχρωματοψίας στο πράσινο και στο κόκκινο. Ο πατέρας του συγκεκριμένου άνδρα είναι ομάδας αίματος A με φυσιολογική όραση και η μητέρα του είναι ομάδας αίματος B με φυσιολογική όραση.
α) να προσδιορίσετε τους γονότυπους των γονέων του άνδρα.
β) να γράψετε τις πιθανές διασταυρώσεις μεταξύ του άνδρα ομάδας αίματος O με φυσιολογική όραση και της γυναίκας ομάδας αίματος A που είναι φορέας της μερικής αχρωματοψίας.
γ) σε καθεμιά από τις διασταυρώσεις του β ερωτήματος, να βρείτε την πιθανότητα να γεννηθεί αγόρι ομάδας αίματος A με μερική αχρωματοψία στο πράσινο και το κόκκινο, δικαιολογώντας την απάντησή σας.
10. Στα παρακάτω γενεαλογικά δέντρα μελετάται ο τρόπος κληρονομής της ίδιας ασθένειας σε δύο διαφορετικές οικογένειες A και B. Στην οικογένεια A τα άτομα I2, II2 και III2 (μαυρισμένα) είναι ασθενή, ενώ στην οικογένεια B τα άτομα II2 και II3 (μαυρισμένα) είναι ασθενή.
α) με βάση τα γενεαλογικά δέντρα να βρείτε τον τύπο κληρονομικότητας της ασθένειας αυτής (δεν υπάρχει πιθανότητα μετάλλαξης).
β) να γράψετε τους πιθανούς γονότυπους όλων των ατόμων που απεικονίζονται στα γενεαλογικά δέντρα των οικογενειών A και B.
γ) να υπολογίσετε την πιθανότητα να γεννηθεί αγόρι με την ασθένεια αυτή από το γάμο του ατόμου III2 της οικογένειας A με το άτομο III1 της οικογένειας B.



οικογένεια A



οικογένεια B

Απαντήσεις για τις ασκήσεις του 5^{ου} κεφαλαίου

1. Το σχήμα του σπέρματος στο μοσχομπίζελο ελέγχεται από δύο αλληλόμορφα γονίδια. Το αλληλόμορφο για το λείο σχήμα είναι το επικρατές, ενώ εκείνο για το ρυτιδωμένο σχήμα το υπολειπόμενο. Επομένως έστω:

Λ: το αλληλόμορφο που είναι υπεύθυνο για το λείο σχήμα σπέρματος, και

λ: το αλληλόμορφο που είναι υπεύθυνο για το ρυτιδωμένο σχήμα.

Ένα φυτό με λεία σπέρματα έχει γονότυπο ΛΛ ή Λλ, ενώ ένα φυτό με ρυτιδωμένα σπέρματα έχει γονότυπο λλ.

Με βάση τα παραπάνω, το φυτό με τα ρυτιδωμένα σπέρματα έχει υποχρεωτικά γονότυπο λλ. Για να προκύψουν στους απογόνους φυτά με λεία και φυτά με ρυτιδωμένα σπέρματα σε ίση αναλογία περίπου, το φυτό με τα λεία που χρησιμοποιήθηκε αρχικά πρέπει να έχει γονότυπο Λλ. Σύμφωνα με τον 1^ο νόμο του Mendel, κατά τη μείωση διαχωρίζονται τα ομόλογα χρωμοσώματα και κατά συνέπεια και τα αλληλόμορφα γονίδια που εδράζονται σε αυτά και σχηματίζονται οι γαμέτες. Έτσι, κάθε γαμέτης περιέχει ένα μόνο από τα δύο αλληλόμορφα κάθε γονιδίου. Δηλαδή, στην περίπτωση του φυτού με γονότυπο Λλ, δημιουργούνται δύο είδη γαμετών, από τους οποίους οι μισοί περιέχουν το Λ αλληλόμορφο και οι άλλοι μισοί το λ. Κατά τη γονιμοποίηση, μέσω του τυχαίου συνδυασμού των γαμετών των δύο γονέων, γίνεται ελεύθερος συνδυασμός των αλληλομόρφων γονιδίων. Αυτή η διασταύρωση παριστάνεται ως εξής:

P γενιά: ΛΛ x λλ

Γαμέτες: Λ, λ λ

F₁ γενιά: Λλ, λλ

Γονοτυπική αναλογία: 1Λλ : 1λλ

Φαινοτυπική αναλογία: 1 με λεία σπέρματα : 1 με ρυτιδωμένα σπέρματα

Η διασταύρωση αυτή εξηγεί τα αποτελέσματα, καθώς οι μισοί απόγονοι έχουν λεία σπέρματα και οι άλλοι μισοί ρυτιδωμένα.

2. α) Το ύψος του μοσχομπίζελου ελέγχεται από δύο αλληλόμορφα γονίδια. Το αλληλόμορφο για το ψηλό φυτό είναι το επικρατές, ενώ εκείνο για το κοντό φυτό το υπολειπόμενο. Επομένως, έστω

Ψ: το αλληλόμορφο που είναι υπεύθυνο για το ψηλό φυτό,

ψ: το αλληλόμορφο που είναι υπεύθυνο για το κοντό φυτό.

Ένα ψηλό φυτό έχει γονότυπο ΨΨ ή Ψψ, ενώ ένα κοντό έχει γονότυπο ψψ.

Το χρώμα του σπέρματος στο φυτό αυτό ελέγχεται επίσης από δύο αλληλόμορφα. Το αλληλόμορφο για το κίτρινο χρώμα είναι το επικρατές, ενώ το αλληλόμορφο για το πράσινο χρώμα είναι το υπολειπόμενο. Έστω λοιπόν

Κ: το αλληλόμορφο που είναι υπεύθυνο για το κίτρινο χρώμα σπέρματος,

κ: το αλληλόμορφο που είναι υπεύθυνο για το πράσινο χρώμα σπέρματος.

Ένα φυτό με κίτρινα σπέρματα έχει γονότυπο ΚΚ ή Κκ, ενώ ένα φυτό με πράσινα σπέρματα έχει γονότυπο κκ.

Με βάση τα παραπάνω, ένα ψηλό φυτό με κίτρινα σπέρματα, αμιγές και για τις δύο ιδιότητες θα έχει γονότυπο ΨΨΚΚ, ενώ ένα κοντό φυτό με πράσινα σπέρματα είναι υποχρεωτικά αμιγές και έχει γονότυπο ψψκκ. Το φυτό ΨΨΚΚ δημιουργεί με τη διαδικασία της μείωσης ένα είδος γαμέτη, ο οποίος περιέχει ένα Ψ και ένα Κ αλληλόμορφο (ΨΚ). Το φυτό ψψκκ δημιουργεί επίσης ένα είδος γαμέτη που περιέχει τα ψ και κ αλληλόμορφα (ψκ). Οι απόγονοι προκύπτουν από την ένωση των δύο αυτών γαμετών. Η διασταύρωση των δύο αυτών φυτών παριστάνεται ως εξής:

P γενιά: ΨΨΚΚ x ψψκκ

Γαμέτες: ΨΚ ψκ

F₁ γενιά: ΨψΚκ

Γονοτυπική αναλογία: όλα ΨψΚκ

Φαινοτυπική αναλογία: όλα ψηλά με κίτρινα σπέρματα

Η διασταύρωση αυτή εξηγεί τα αποτελέσματα, καθώς όλοι οι απόγονοι είναι ψηλά φυτά με κίτρινα σπέρματα.

β) Σύμφωνα με τον 2^ο νόμο του Mendel, το γονίδιο που ελέγχει ένα χαρακτήρα δεν επηρεάζει τη μεταβίβαση του γονιδίου που ελέγχει έναν άλλο χαρακτήρα. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην τυχαία διάταξη των ζευγών χρωμοσωμάτων κατά τη μετάφαση της μείωσης I και έχει ως αποτέλεσμα να προκύπτουν γαμέτες με όλους τους πιθανούς συνδυασμούς των αλληλομόρφων των δύο αυτών γονιδίων. Έτσι, κάθε φυτό ΨψΚκ της F₁ δημιουργεί τέσσερα είδη γαμετών σε ίση περίπτωση αναλογία, τα ΨΚ, Ψκ, ψΚ, και ψκ. Οι απόγονοι προκύπτουν από τον τυχαίο συνδυασμό των γαμετών των δύο γονέων. Η διασταύρωση αυτή παριστάνεται ως εξής:

F₁ γενιά: ΨψΚκ x ΨψΚκ

Γαμέτες: ΨΚ, Ψκ, ψΚ, ψκ ΨΚ, Ψκ, ψΚ, ψκ

F₂ γενιά:

	ΨΚ	Ψκ	ψΚ	ψκ
ΨΚ	ΨΨΚΚ	ΨΨΚκ	ΨψΚΚ	ΨψΚκ
Ψκ	ΨΨΚκ	ΨΨκκ	ΨψΚκ	Ψψκκ
ψΚ	ΨψΚΚ	ΨψΚκ	ψψΚΚ	ψψΚκ
ψκ	ΨψΚκ	Ψψκκ	ψψΚκ	ψψκκ

Η φαινοτυπική αναλογία των απογόνων της διασταύρωσης αυτής είναι 9 ψηλά φυτά με κίτρινα σπέρματα : 3 ψηλά φυτά με πράσινα σπέρματα : 3 κοντά φυτά με κίτρινα σπέρματα : 1 κοντό φυτό με πράσινα σπέρματα, δηλαδή 9:3:3:1, αναλογία που έβρισκε και ο Mendel στα πειράματά του. Όπως προκύπτει από το τετράγωνο του Punnett, η πιθανότητα να προκύψει κοντό φυτό με κίτρινα σπέρματα είναι 3/16.

3. Για να βρεθούν οι γονότυποι των μελών της οικογένειας θα μελετηθεί ο κάθε χαρακτήρας ξεχωριστά.

Γραμμή τριχοφυΐας

Ο χαρακτήρας γραμμή τριχοφυΐας ελέγχεται από αυτοσωμικό γονίδιο. Το επικρατές αλληλόμορφο δημιουργεί κορυφή στη γραμμή τριχοφυΐας, ενώ το υπολειπόμενο δε δημιουργεί. Επομένως

Γ: το υπεύθυνο αλληλόμορφο για τη γραμμή τριχοφυΐας με κορυφή,

γ: το υπεύθυνο αλληλόμορφο για τη γραμμή τριχοφυΐας χωρίς κορυφή.

Έτσι, στο φαινότυπο γραμμή τριχοφυΐας με κορυφή αντιστοιχούν δύο γονότυποι οι ΓΓ και Γγ, ενώ στο φαινότυπο γραμμή τριχοφυΐας χωρίς κορυφή αντιστοιχεί μόνο ο γονότυπος γγ.

Η μητέρα της Μαρίας έχει γραμμή τριχοφυΐας χωρίς κορυφή, επομένως έχει γονότυπο γγ. Η Μαρία έχει γραμμή τριχοφυΐας με κορυφή, επομένως έχει ένα Γ αλληλόμορφο επειδή εμφανίζει το γνώρισμα και ένα γ που κληρονόμησε από τη μητέρα της, δηλαδή έχει γονότυπο Γγ. Ο πατέρας της Μαρίας έχει κορυφή και ο γονότυπος του μπορεί να είναι είτε ΓΓ είτε Γγ.

Ο Γιάννης δεν έχει κορυφή στη γραμμή τριχοφυΐας του, άρα ο γονότυπός του θα είναι γγ. Ο γιος του εμφανίζει την κορυφή, επομένως θα έχει γονότυπο Γγ επειδή κληρονόμησε το Γ αλληλόμορφο από τη Μαρία και το γ από το Γιάννη.

Αιμορροφιλία Α

Η αιμορροφιλία Α ελέγχεται από φυλοσύνδετο γονίδιο, δηλαδή από γονίδιο που βρίσκεται μόνο στο χρωμόσωμα Χ. Το επικρατές αλληλόμορφο είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία φυσιολογικού ατόμου, ενώ το υπολειπόμενο είναι υπεύθυνο για την ασθένεια. Επομένως

X^A : το υπεύθυνο αλληλόμορφο για τη φυσιολογική κατάσταση και

X^a : το υπεύθυνο αλληλόμορφο για την αιμορροφιλία Α.

Στα αρσενικά άτομα ένα υγιές άτομο έχει γονότυπο X^AY , ενώ ένα άτομο που πάσχει έχει γονότυπο X^aY . Στα θηλυκά άτομα, τα υγιή έχουν γονότυπο X^AX^A ή X^AX^a , ενώ όσα πάσχουν έχουν γονότυπο X^aX^a .

Ο Γιάννης είναι υγιής, επομένως έχει γονότυπο X^AY . Ο γιος του πάσχει από αιμορροφιλία Α, άρα έχει γονότυπο X^aY . Η Μαρία, αφού είναι υγιής έχει το αλληλόμορφο X^A και επειδή ο γιος της πάσχει έχει το X^a το οποίο του κληροδότησε. Επομένως έχει γονότυπο X^AX^a . Ο πατέρας της Μαρίας είναι υγιής, άρα έχει γονότυπο X^AY . Η μητέρα της έχει γονότυπο X^AX^a , επειδή αφενός μεν είναι υγιής, οπότε έχει σίγουρα το X^A αλληλόμορφο, αφετέρου κληρονόμησε το X^a στη Μαρία. Συνοψίζοντας, οι γονότυποι των μελών της οικογένειας είναι οι ακόλουθοι:

Πατέρας Μαρίας: ΓX^AY ή ΓyX^AY

Μητέρα Μαρίας: $\gamma\gamma X^AX^a$

Μαρία: $\Gamma\gamma X^AX^a$

Γιάννης: $\gamma\gamma X^AY$

Γιος Μαρίας: $\Gamma\gamma X^aY$

β) Σύμφωνα με το 2^ο νόμο του Mendel, το γονίδιο που ελέγχει έναν χαρακτήρα δεν επηρεάζει τη μεταβίβαση του γονιδίου που ελέγχει έναν άλλο χαρακτήρα. Ο νόμος αυτός ισχύει για γονίδια που βρίσκονται σε διαφορετικά ζεύγη ομολόγων χρωμοσωμάτων. Ο ανεξάρτητος διαχωρισμός των γονιδίων γίνεται επειδή τα χρωμοσώματα κάθε γονέα συνδυάζονται με τυχαίο τρόπο κατά τη δημιουργία των γαμετών. Στη συγκεκριμένη άσκηση, ισχύει ο 2^{ος} νόμος του Mendel, γιατί το ένα γονίδιο είναι αυτοσωμικό (γραμμή τριχοφυΐας με κορυφή), ενώ το άλλο γονίδιο είναι φυλοσύνδετο (αιμορροφιλία Α). Οι απόγονοι προκύπτουν από τον τυχαίο συνδυασμό των γαμετών των δύο γονέων. Έτσι, από τη διασταύρωση μεταξύ του Γιάννη και της Μαρίας, η θεωρητική φαινοτυπική αναλογία των απογόνων είναι η ακόλουθη:

F₁ γενιά: $\Gamma\gamma X^AX^a$ x $\gamma\gamma X^AY$

Γαμέτες: $\Gamma X^A, \Gamma X^a, \gamma X^A, \gamma X^a$ $\gamma X^A, \gamma Y$

F₂ γενιά:

$\delta / \text{♀}$	ΓX^A	ΓX^a	γX^A	γX^a
γX^A	$\Gamma\gamma X^AX^A$	$\Gamma\gamma X^AX^a$	$\gamma\gamma X^AX^A$	$\gamma\gamma X^AX^a$
γY	$\Gamma\gamma X^AY$	$\Gamma\gamma X^aY$	$\gamma\gamma X^AY$	$\gamma\gamma X^aY$

Επομένως η φαινοτυπική αναλογία στην F₂ γενιά είναι:

Θηλυκά άτομα: 1 με γραμμή τριχοφυΐας με κορυφή και υγιές : 1 με γραμμή τριχοφυΐας χωρίς κορυφή και υγιές.

Αρσενικά άτομα: 1 με γραμμή τριχοφυΐας με κορυφή και υγιές : 1 με γραμμή τριχοφυΐας με κορυφή και με αιμορροφιλία A : 1 με γραμμή τριχοφυΐας χωρίς κορυφή και υγιές : 1 με γραμμή τριχοφυΐας χωρίς κορυφή και με αιμορροφιλία A.

Η φαινοτυπική αναλογία **συνολικά και όχι ανά φύλο**, είναι: 2 θηλυκά με γραμμή τριχοφυΐας με κορυφή και υγιή : 2 θηλυκά με γραμμή τριχοφυΐας χωρίς κορυφή και υγιή : 1 αρσενικό με γραμμή τριχοφυΐας με κορυφή και υγιές : 1 αρσενικό με γραμμή τριχοφυΐας με κορυφή και με αιμορροφιλία A : 1 αρσενικό με γραμμή τριχοφυΐας χωρίς κορυφή και υγιές : 1 αρσενικό με γραμμή τριχοφυΐας χωρίς κορυφή και με αιμορροφιλία A.

Επομένως, για τη συγκεκριμένη οικογένεια, η πιθανότητα να αποκτήσει:

i) αγόρι με γραμμή τριχοφυΐας με κορυφή και φυσιολογικό = $1/8 = 12,5\%$,

ii) κορίτσι με γραμμή τριχοφυΐας χωρίς κορυφή και φυσιολογικό = $2/8 = 25\%$.

4. Αρχικά ελέγχουμε τον αριθμό των απογόνων ανά φύλο. Υπάρχουν 241 θηλυκά και 233 αρσενικά άτομα, οπότε η αναλογία φύλου είναι η αναμενόμενη, δηλαδή σχεδόν 1:1. Για να βρεθεί ο τρόπος κληρονομησης των δύο χαρακτηριστικών, θα μελετηθεί καθένας από αυτούς ξεχωριστά.

Χρώμα ματιών

Επειδή από τη διασταύρωση ατόμων *Drosophila* με κόκκινα μάτια προέκυψαν, εκτός από άτομα με κόκκινα μάτια και απόγονοι με λευκά, συμπεραίνουμε ότι το αλληλόμορφο που ελέγχει το κόκκινο χρώμα ματιών είναι το επικρατές και εκείνο που ελέγχει το λευκό είναι το υπολειπόμενο. Για να βρούμε αν το γονίδιο αυτό είναι αυτοσωμικό ή φυλοσύνδετο, υπολογίζουμε τη φαινοτυπική αναλογία των απογόνων ως προς το χρώμα ματιών ξεχωριστά για το κάθε φύλο:

Θηλυκοί απόγονοι: κόκκινα μάτια / λευκά μάτια = $241 / 0 \rightarrow$ όλα κόκκινα

Αρσενικοί απόγονοι: κόκκινα μάτια / λευκά μάτια = $119/114$, περίπου 1:1

Η φαινοτυπική αναλογία είναι διαφορετική μεταξύ των δύο φύλων, γεγονός που σημαίνει ότι το γονίδιο είναι φυλοσύνδετο. Επομένως ορίζουμε

X^K : το υπεύθυνο αλληλόμορφο για το κόκκινο χρώμα ματιών

X^k : το υπεύθυνο αλληλόμορφο για το λευκό χρώμα ματιών

Σύμφωνα με τον 1^ο νόμο του Mendel, κατά την παραγωγή των γαμετών σε ένα άτομο, διαχωρίζονται τα δύο ομόλογα χρωμοσώματα και συνεπώς και τα δύο αλληλόμορφα γονίδια. Έτσι, από ένα ετερόζυγο άτομο σχηματίζονται δύο ειδών γαμέτες σε ίση αναλογία. Οι απόγονοι προκύπτουν από τον τυχαίο συνδυασμό των γαμετών των δύο γονέων. Από τα άτομα που διασταυρώθηκαν, το αρσενικό άτομο με κόκκινο χρώμα ματιών έχει γονότυπο X^KY , ενώ το θηλυκό είναι υποχρεωτικά ετερόζυγο X^KX^k , έτσι ώστε να προκύπτουν και αρσενικοί απόγονοι με λευκό χρώμα ματιών. Επομένως, η διασταύρωση ως προς το χρώμα των ματιών είναι η εξής

P γενιά: $X^KX^k \times X^KY$

Γαμέτες: $X^K, X^k \quad X^K, Y$

F₁ γενιά: $X^KX^K, X^KX^k, X^KY, X^kY$

Η φαινοτυπική αναλογία που προκύπτει από τη διασταύρωση είναι:

Θηλυκά άτομα: όλα με κόκκινο χρώμα ματιών

Αρσενικά άτομα: 1 με κόκκινο χρώμα ματιών : 1 με λευκό χρώμα ματιών
 Η αναλογία αυτή είναι παρόμοια με την αναλογία των απογόνων της άσκησης, οπότε η διασταύρωση αυτή εξηγεί τα αποτελέσματα.

Είδος πτέρυγας

Επειδή από τη διασταύρωση ατόμων *Drosophila* με κανονικές πτέρυγες, προέκυψαν εκτός από άτομα με κανονικές πτέρυγες και απόγονοι με ατροφικές, συμπεραίνουμε ότι το αλληλόμορφο που ελέγχει τις κανονικές πτέρυγες είναι το επικρατές και εκείνο που ελέγχει τις ατροφικές είναι το υπολειπόμενο. Για να βρεθεί αν το γονίδιο αυτό είναι αυτοσωμικό ή φυλοσύνδετο, υπολογίζουμε τη φαινοτυπική αναλογία των απογόνων ως προς το είδος της πτέρυγας ξεχωριστά για το κάθε φύλο:

Θηλυκοί απόγονοι: κανονικές πτέρυγες/ατροφικές πτέρυγες=181/60~3:1

Αρσενικοί απόγονοι: κανονικές πτέρυγες/ατροφικές πτέρυγες=176/57~3:1

Η φαινοτυπική αναλογία είναι ίδια μεταξύ των δύο φύλων, καθώς εμφανίζουν την αναλογία 3:1 που έβρισκε ο Mendel όταν διασταύρωνε ετερόζυγα άτομα για μια ιδιότητα. Επομένως, το γονίδιο αυτό είναι αυτοσωμικό. Άρα

A: το υπεύθυνο αλληλόμορφο για τις κανονικές πτέρυγες

a: το υπεύθυνο αλληλόμορφο για τις ατροφικές πτέρυγες

Αφού από άτομα με κανονικές πτέρυγες προκύπτουν και άτομα με ατροφικές, τα άτομα που διασταυρώνονται θα είναι ετερόζυγα. Επομένως, η διασταύρωση ως προς το είδος της πτέρυγας είναι η ακόλουθη:

P γενιά: Aa x Aa

Γαμέτες: A, a A, a

F₁ γενιά: AA, Aa, Aa, aa

Η φαινοτυπική αναλογία που προκύπτει από τη διασταύρωση είναι 3 άτομα με κανονικές πτέρυγες : 1 άτομο με ατροφικές και είναι παρόμοια με την αναλογία των απογόνων της άσκησης, οπότε η διασταύρωση αυτή εξηγεί τα αποτελέσματα.

Σύμφωνα με το 2^ο νόμο του Mendel, το γονίδιο που ελέγχει ένα χαρακτήρα δεν επηρεάζει τη μεταβίβαση του γονιδίου που ελέγχει έναν άλλο χαρακτήρα. Ο νόμος αυτός ισχύει για γονίδια που βρίσκονται σε διαφορετικά ζεύγη ομολόγων χρωμοσωμάτων. Ο ανεξάρτητος διαχωρισμός των γονιδίων γίνεται επειδή τα χρωμοσώματα κάθε γονέα συνδυάζονται με τυχαίο τρόπο κατά τη δημιουργία των γαμετών. Στην άσκηση αυτή ισχύει ο 2^{ος} νόμος του Mendel, επειδή το γονίδιο για το είδος της πτέρυγας είναι αυτοσωμικό, ενώ το γονίδιο για το χρώμα των ματιών είναι φυλοσύνδετο. Οι απόγονοι προκύπτουν από τον τυχαίο συνδυασμό των γαμετών των δύο γονέων.

Συγκεντρωτικά, η διασταύρωση που πραγματοποιήθηκε είναι η παρακάτω:

P γενιά: AaX^KX^K x AaX^KY

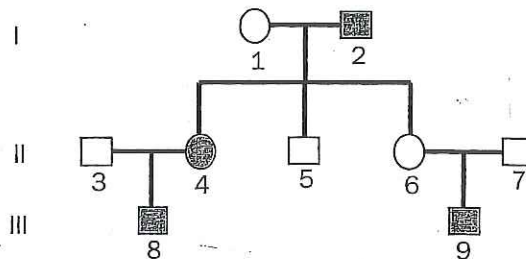
Γαμέτες: AX^K, AX^K, aX^K, aX^K AX^K, aX^K, AY, aY

F₁ γενιά:

♂ / ♀	AX ^K	AX ^K	aX ^K	aX ^K
AX ^K	AA X ^K X ^K	AA X ^K X ^K	Aa X ^K X ^K	Aa X ^K X ^K
aX ^K	Aa X ^K X ^K	Aa X ^K X ^K	aa X ^K X ^K	aa X ^K X ^K
AY	AA X ^K Y	AA X ^K Y	Aa X ^K Y	Aa X ^K Y
aY	Aa X ^K Y	Aa X ^K Y	aa X ^K Y	aa X ^K Y

Η φαινοτυπική αναλογία που προκύπτει από αυτή τη διασταύρωση είναι:

- 6 θηλυκά άτομα με κόκκινα μάτια και κανονικές πτέρυγες : 2 θηλυκά άτομα με κόκκινα μάτια και ατροφικές πτέρυγες : 3 αρσενικά άτομα με κόκκινα μάτια και κανονικές πτέρυγες : 3 αρσενικά άτομα με λευκά μάτια και κανονικές πτέρυγες : 1 αρσενικό άτομο με κόκκινα μάτια και ατροφικές πτέρυγες : 1 αρσενικό άτομο με λευκά μάτια και ατροφικές πτέρυγες. Αυτή η φαινοτυπική αναλογία 6:2:3:3:1:1, είναι παρόμοια με την 181:60:90:86:29:28 που είναι η αναλογία των απογόνων στο πείραμα που περιγράφεται. Επομένως η συγκεκριμένη διασταύρωση εξηγεί τα παραπάνω αριθμητικά δεδομένα.
5. α) χρώμα άνθους: ατελώς επικρατή, K_1 : κίτρινο χρώμα, K_2 : κόκκινο χρώμα
Σχήμα καρπού: Ω : ωοειδείς καρποί, ω : στρογγυλοί καρποί.
Διασταύρωση: $P: K_1K_1\omega\omega \times K_2K_2\Omega\Omega$,
 F_1 : όλοι $K_1K_2\Omega\omega$
β) Διασταύρωση: $K_1K_2\Omega\omega \times K_1K_2\Omega\omega$
Πιθανότητα να προκύψουν φυτά με πορτοκαλί άνθη και στρογγυλούς καρπούς = $1/8 = 12,5\%$
6. α) βλέπε το παρακάτω γενεαλογικό δέντρο
β) τα παιδιά (άτομα 8 και 9), αφού πάσχουν, είναι υποχρεωτικά αγόρια
γ) γονότυπος ατόμων 2, 8, 9 = $X^{M}Y$
γονότυπος ατόμων 3, 5, 7 = $X^{m}Y$
γονότυπος ατόμων 1, 6 = $X^{M}X^{m}$
γονότυπος ατόμου 4 = $X^{m}X^{m}$



7. α) άνδρας: $YyEe$, γυναίκα: $yyEe$
β) 1^ο παιδί: $YyEE$ ή $YyEe$, 2^ο παιδί: $yyee$, 3^ο παιδί: $yyEE$ ή $yyEe$
8. Αν η μεταβολική οδός κληρονομούνται με αυτοσωμικό τρόπο, αφού ο πατέρας δεν είναι ούτε ασθενής ούτε φορέας, όλα τα παιδιά θα ήταν υγιή. Άρα κληρονομείται με φυλοσύνδετο τρόπο και το παιδί που πάσχει είναι υποχρεωτικά αγόρι.
Γονότυπος γυναίκας: $I^A iX^A X^a$
Γονότυπος άνδρα: $I^B iX^A Y$
Γονότυποι παιδιών: 1^ο παιδί: $I^A iX^A X^A$ ή $I^A iX^A X^a$, 2^ο παιδί: $iiX^a Y$
9. α) Πατέρας άνδρα: $I^A iX^A Y$, μητέρα άνδρα: $I^B iX^A X^A$ ή $I^B iX^A X^a$
β) 1^η περίπτωση: $iiX^a Y \times I^A I^A X^A X^a$, 2^η περίπτωση: $iiX^a Y \times I^A iX^A X^a$
γ) 1^η περίπτωση: $1/4 = 25\%$, 2^η περίπτωση: $1/8 = 12,5\%$
10. α) Στην οικογένεια B: επειδή από υγιείς γονείς (άτομα I1 και I2) προκύπτει άρρωστο παιδί (άτομα II2 ή II3), απορρίπτεται η επικρατής κληρονομικότητα. Στην οικογένεια A: επειδή από υγιή πατέρα προκύπτει άρρωστη κόρη (ή επειδή από υγιή μητέρα προκύπτει άρρωστος γιος), απορρίπτεται η φυλοσύνδετη κληρονομικότητα. Άρα, η ασθένεια κληρονομείται με αυτοσωμικό υπολειπόμενο τρόπο.
β) Οικογένεια A: άτομα I1, II1, II3 και III1: Aa , άτομα I2, II2 και III2: aa
Οικογένεια B: άτομα I1, I2 και III1: Aa , άτομα II1 και II4: AA ή Aa , άτομα II και II3: aa
γ) η πιθανότητα να γεννηθεί αγόρι με την ασθένεια είναι 25% .