

4.1

α. Ο επιχιασμός συμβαίνει στα άωρα γενετικά κύτταρα που διανύουν την πρώτη μειωτική διαίρεση και συγκεκριμένα κατά το στάδιο της πρόφασης Ι. Εκεί ορισμένες φορές, εξαιτίας της σύναψης, είναι δυνατό οι μη αδελφές χρωματίδες των ομόλογων χρωμοσωμάτων, που έχουν γίνει πια ορατές, να «μπερδευτούν» μεταξύ τους. Έτσι δημιουργούνται τα χαρακτηριστικά και ορατά από στο οπτικό μικροσκόπιο χιάσματα, στα οποία οι χρωματίδες κόβονται και επανασυγκολλώνται, αφού όμως έχουν ανταλλάξει μεταξύ τους ομόλογα χρωμοσωμικά τμήματα. Το φαινόμενο αυτό, που ονομάζεται επιχιασμός, δίνει τη δυνατότητα στα ομόλογα χρωμοσώματα να ανταλλάξουν μεταξύ τους γονίδια. Αυτό εξασφαλίζει γενετική ποικιλότητα στους οργανισμούς που αναπαράγονται με αμφιγονία.

β. Σε αντίθεση με τον ανεξάρτητο συνδυασμό χρωμοσωμάτων, ο οποίος έχει ως αποτέλεσμα την αναδιανομή των γονιδίων που βρίσκονται σε μη ομόλογα χρωμοσώματα, ο επιχιασμός ανασυνδυάζει γονίδια που βρίσκονται στο ίδιο ζεύγος ομόλογων χρωμοσωμάτων. Αυτό συμβαίνει, γιατί με την ανταλλαγή αντίστοιχων τμημάτων, που γίνεται μεταξύ των μη αδελφών χρωματίδων των ομόλογων χρωμοσωμάτων, ανταλλάσσονται και γονίδια.

γ. Με τη μίτωση από ένα αρχικό κύτταρο με διπλοειδή αριθμό χρωμοσωμάτων ($2n=46$ στον άνθρωπο) προκύπτουν δύο επίσης διπλοειδή γενετικά πανομοιότυπα κύτταρα (με $2n=46$ χρωμοσώματα). Καθένα από τα δύο θυγατρικά κύτταρα, που προκύπτουν με την μίτωση, παίρνει τη μία από τις δύο αδελφές χρωματίδες κάθε χρωμοσώματος του αρχικού κυττάρου. Επομένως, και τα δύο χρωμοσώματα κάθε ζεύγους ομόλογων χρωμοσωμάτων εκπροσωπούνται μία φορά σε καθένα από τα θυγατρικά κύτταρα που προκύπτουν. Με άλλα λόγια όλα τα αλληλόμορφα γονίδια που φέρει το αρχικό κύτταρο μεταβιβάζονται στα δύο γενετικά πανομοιότυπα θυγατρικά του. Με τη μείωση παράγονται εξειδικευμένα αναπαραγωγικά κύτταρα, που φέρουν το μισό αριθμό χρωμοσωμάτων από τον κανονικό, είναι δηλαδή απλοειδή. Οπότε ξεκινώντας από ένα αρχικό διπλοειδές κύτταρο με $2n=46$ χρωμοσώματα στον άνθρωπο, καταλήγουμε να παίρνουμε τέσσερα κύτταρα με $n=23$ χρωμοσώματα. Αυτό συμβαίνει μέσα από τις δύο διαδοχικές μειωτικές διαιρέσεις, όπου στο τέλος της πρώτης διαίρεσης, από κάθε ζεύγος ομόλογων χρωμοσωμάτων μόνο το ένα χρωμόσωμα, και με τις δυο του χρωματίδες ενωμένες, εκπροσωπείται στα δυο κύτταρα που προκύπτουν, ενώ στη δεύτερη μειωτική διαίρεση χωρίζονται οι αδελφές χρωματίδες κάθε χρωμοσώματος. Έτσι στο τέλος της δεύτερης μειωτικής διαίρεσης ένα αλληλόμορφο

γονίδιο από κάθε ζεύγος αλληλομόρφων εκπροσωπείται στα θυγατρικά κύτταρα. Προφανώς λοιπόν τα “κύτταρα-προϊόντα” της μείωσης εμφανίζουν γενετική απόκλιση από το αρχικό κύτταρο, αφού φέρουν διαφορετικούς συνδυασμούς αλληλομόρφων.

4.2

α. Η αναλογία των βάσεων $[(A+T)/(G + C)]$ διαφέρει από είδος σε είδος και σχετίζεται με το είδος του οργανισμού. Από τα δεδομένα προκύπτει ότι η αναλογία για το κύτταρο του μαστικού αδένου θα είναι $A+T / C + G = 28+28 / 22+22 = 56 / 44 \approx 2,273$, ενώ για το ωάριο θα ισχύει: $A+T / C + G = 31+31 / 19+19 = 62/38 \approx 1,632$. Αφού λοιπόν η αναλογία των βάσεων είναι διαφορετική για τα συγκεκριμένα κύτταρα, ανήκουν σε διαφορετικά είδη. Η σύσταση των βάσεων στα κύτταρα του ζώου-κλώνου που θα προκύψει θα είναι ακριβώς η ίδια με αυτή των κυττάρων του ζώου από το οποίο απομονώθηκε το μαστικό κύτταρο δηλαδή A: 28% T: 28% C:22% G:22%. Αυτό εξηγείται από τη διαδικασία της κλωνοποίησης, κατά την οποία ο πυρήνας ενός κυττάρου μαστικού αδένου τοποθετείται σε ωάριο, από το οποίο έχει προηγουμένως αφαιρεθεί ο πυρήνας. Από αυτό το “ωάριο” προκύπτουν με διαιρέσεις όλα τα κύτταρα του οργανισμού-κλώνου, τα οποία συνεπώς έχουν το ίδιο με αυτό γενετικό υλικό.

β. Η παραγωγή φαρμακευτικών πρωτεϊνών από βακτήρια είναι δυνατή για δύο λόγους. (1) Ο γενετικός κώδικας είναι σχεδόν καθολικός, δηλαδή όλοι οι οργανισμοί έχουν τον ίδιο γενετικό κώδικα. Συνεπώς, το mRNA από οποιονδήποτε οργανισμό μπορεί να μεταφραστεί σε εκχυλίσματα φυτικών, ζωικών ή βακτηριακών κυττάρων *in vitro* και να παραγάγει την ίδια πρωτεΐνη. (2) Τα ριβοσώματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως θέση μετάφρασης για οποιοδήποτε mRNA. Ωστόσο, το βασικό μειονέκτημα παραγωγής ανθρώπινων φαρμακευτικών πρωτεϊνών από βακτήρια είναι ότι συνήθως οι πρωτεΐνες αυτές δεν είναι ακριβώς ίδιες με τις πρωτεΐνες του ανθρώπου, επειδή τα βακτήρια δεν διαθέτουν τους μηχανισμούς τροποποίησης των πρωτεϊνών που διαθέτουν οι ευκαρυωτικοί οργανισμοί. (Εναλλακτικά: για την παραγωγή πρωτεϊνών σε βακτήρια απαιτείται η κατασκευή cDNA βιβλιοθηκών).