

ΘΕΜΑ Α

A1. β A2. β A3. δ A4. γ A5. γ

ΘΕΜΑ Β

B1.

Στήλη I		Στήλη II
1. DNA δεσμάση		A: Δημιουργία φωσφοδιεστερικών δεσμών
2. DNA ελίκαση		B: Διάσπαση φωσφοδιεστερικών δεσμών
3. RNA πολυμεράση		
4. Περιοριστική ενδονουκλεάση		Γ: Ούτε το A, ούτε το B
5. Πριμόσωμα		
6. Αντίστροφη μεταγραφάση		
7. Απαμινάση της αδενοσίνης		

1. A 2. Γ 3. A 4. B 5. A 6. A 7. Γ

B2. Βλέπε σχολικό εγχειρίδιο σελίδα 20 «Τα χρωμοσώματα ταξινομούνται σε ζεύγη κατά ελαττούμενο μέγεθος. Η απεικόνιση αυτή αποτελεί τον καρυότυπο». Τα συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν από τη μελέτη του καρυότυπου ενός ανθρώπου είναι:

- Αριθμός και μορφολογία χρωμοσωμάτων (σχήμα, μέγεθος, θέση κεντρομεριδίου).
- Φύλο ατόμου.
- Αριθμητικές και δομικές χρωμοσωμικές ανωμαλίες.
- Είδος οργανισμού. (απλοειδής, διπλοειδής)

B3. α. Βλέπε σχολικό εγχειρίδιο σελίδα 119

Κάθε είδος αντισώματος που αναγνωρίζει έναν αντιγονικό καθοριστή παράγεται από μια ομάδα όμοιων Β-λεμφοκυττάρων, που αποτελούν έναν κλώνο. Τα αντισώματα που παράγονται από έναν κλώνο Β-λεμφοκυττάρων ονομάζονται μονοκλωνικά.

β. Βλέπε σχολικό εγχειρίδιο σελίδα 57 «Οι τεχνικές με τις οποίες ο άνθρωπος επεμβαίνει στο γενετικό υλικό, αποτελούν τη Γενετική Μηχανική».

ΜΕΘΟΔΙΚΟ

B4. Αρχικά γινόταν παραγωγή φαρμακευτικών πρωτεϊνών από εκχύλιση οργάνων θηλαστικών (π.χ. παραγωγή ινσουλίνης από εκχύλιση του παγκρέατος χοίρων και βοοειδών). Όμως αυτή η διαδικασία ήταν δαπανηρή και πολύπλοκη και επιπλέον, επειδή είχαν μικρές διαφορές στη σύσταση των αμινοξέων τους από τις ανθρώπινες πρωτεΐνες, προκαλούσε αλλεργικές αντιδράσεις.

Ένας δεύτερος τρόπος παραγωγής φαρμακευτικών πρωτεϊνών είναι από τροποποιημένα βακτήρια με τη μέθοδο της cDNA βιβλιοθήκης. Στις περισσότερες όμως περιπτώσεις οι πρωτεΐνες αυτές δεν είναι ακριβώς ίδιες με τις πρωτεΐνες του ανθρώπου, επειδή τα βακτήρια δεν διαθέτουν τους μηχανισμούς τροποποίησης των πρωτεϊνών (ρύθμιση μετά τη μετάφραση) που διαθέτουν οι ευκαρυωτικοί οργανισμοί.

Μια πολλά υποσχόμενη ιδέα είναι η παραγωγή πρωτεϊνών από κύτταρα των μαστικών αδένων των ζώων (ευκαρυωτικοί οργανισμοί), για παράδειγμα των προβάτων και των αγελάδων. Με αυτό τον τρόπο θα είναι δυνατή η συλλογή της πρωτεΐνης από το γάλα των ζώων. Αυτός ο τρόπος παραγωγής ονομάζεται παραγωγή φαρμακευτικών πρωτεϊνών από διαγονιδιακά ζώα (gene pharming).

ΘΕΜΑ Γ

Γ1. Το γονίδιο I, που καθορίζει τις ομάδες αίματος, έχει τρία αλληλόμορφα. Τα I^A και I^B κωδικοποιούν τα ένζυμα που σχηματίζουν τα A και B αντιγόνα αντίστοιχα, ενώ το i δεν κωδικοποιεί κάποιο ένζυμο. Τα I^A και I^B είναι συνεπικρατή, ενώ το i είναι υπολειπόμενο. Άτομα ομάδας A έχουν γονότυπο, $I^A I^A$ ή $I^A i$. Άτομα ομάδας B έχουν γονότυπο $I^B I^B$ ή $I^B i$, ενώ άτομα AB έχουν $I^A I^B$. Τα άτομα ομάδας 0 είναι ii.

Τα άτομα II3 και II4 είναι ομάδα αίματος AB και άρα έχουν γονότυπο $I^A I^B$. Αυτά κληρονομούν το ένα γονίδιο (I^B) από τη μητέρα τους (άτομο I_2) και το άλλο αλληλόμορφο γονίδιο (I^A) από τον πατέρα τους (άτομο I_1). Άρα το άτομο I_1 έχει ένα γονίδιο I^A .

Τα άτομα II1 και II2 είναι ομάδα αίματος B, άρα έχουν γονότυπο $I^B I^B$ ή $I^B i$. Κληρονομούν το ένα γονίδιο από τη μητέρα τους (I_2) και το άλλο από τον πατέρα τους. Άρα ο γονότυπος του ατόμου II1 θα μπορούσε να είναι $I^A I^B$ ή $I^A i$.

Γ2. Το γενεαλογικό δέντρο 2 απεικονίζει τον τρόπο κληρονόμησης της αιμορροφιλίας A.

Το γενεαλογικό δέντρο 3 απεικονίζει τον τρόπο κληρονόμησης του αλφισμού.

Το γενεαλογικό δέντρο 4 απεικονίζει τον τρόπο κληρονόμησης της οικογενούς υπερχοληστερολαιμίας.

Γ3. Αιμορροφιλία: Τα θηλυκά άτομα που πάσχουν από αιμορροφιλία A έχουν γονότυπο $X^a X^a$ και τα αρσενικά $X^a Y$. Από γονείς που πάσχουν ($I1 \rightarrow X^a Y$ και $II2 X^a X^a$) στο γενεαλογικό δέντρο 4 μπορούν να προκύψουν μόνο απόγονοι που πάσχουν, κάτι που δεν ισχύει. Άρα το γενεαλογικό δέντρο 4 δεν αντιστοιχεί στην αιμορροφιλία A.

Το θηλυκό άτομο II4 στο γενεαλογικό δέντρο 3 πάσχει οπότε έχει γονότυπο $X^a X^a$. Κληρονομεί το ένα γονίδιο από τον πατέρα και το ένα από τη μητέρα, άρα θα έπρεπε υποχρεωτικά να πάσχει ο πατέρας (II1), ο οποίος είναι υγιής. Άρα το γενεαλογικό δέντρο 3 δεν αντιστοιχεί στην αιμορροφιλία A.

Άρα το γενεαλογικό δέντρο 2 απεικονίζει τον τρόπο κληρονόμησης της αιμορροφιλίας A.

ΜΕΘΟΔΙΚΟ

Αλφισμός: Ο αλφισμός κληρονομείται με αυτοσωμικό υπολειπόμενο τρόπο, άρα άτομα που πάσχουν έχουν γονότυπο αα. Από τη διασταύρωσή τους μόνο άτομα που πάσχουν μπορεί να προκύψουν. Στο γενεαλογικό δέντρο 4, από τη διασταύρωση των ατόμων I1 και I2 που πάσχουν (αα), προκύπτουν υγιή παιδιά (II1 και II3), άρα το γενεαλογικό δέντρο 4 δεν αντιστοιχεί στον αλφισμό. Στον αλφισμό αντιστοιχεί το γενεαλογικό δέντρο 3.

Οικογενής υπερχοληστερολαιμία: Η οικογενής υπερχοληστερολαιμία απεικονίζεται στο γενεαλογικό δέντρο 4.

Γ4. Σωστή απάντηση το β.

Οι Watson και Crick φαντάστηκαν μια διπλή έλικα η οποία ξετυλίγεται και κάθε αλυσίδα λειτουργεί σαν καλούπι για τη σύνθεση μιας νέας συμπληρωματικής αλυσίδας. Έτσι τα δύο θυγατρικά μόρια που προκύπτουν είναι πανομοιότυπα με το μητρικό και καθένα αποτελείται από μία παλιά και μία καινούρια αλυσίδα. Ο μηχανισμός αυτός ονομάστηκε ημισυντηρητικός.

Μετά από πέντε διαδοχικές διαιρέσεις θα υπάρχουν 32 μόρια DNA και αφού είναι δίκλιωνα οι αλυσίδες είναι 64. **Οι δύο περιέχουν το μη ραδιενεργό ισότοπο του φωσφόρου** και οι 62 περιέχουν ραδιενεργό φώσφορο. Το μόριο DNA του βακτηρίου είναι δίκλινο κυκλικό και αποτελείται από 2×10^5 ζεύγη βάσεων, δηλαδή από 4×10^5 βάσεις. Η κάθε αλυσίδα των μορίων αποτελείται από 2×10^5 βάσεις. Άρα ο αριθμός των νουκλεοτιδίων που θα περιέχουν μη ραδιενεργό φώσφορο θα είναι 4×10^5 .

Γ5. Το οπερόνιο της λακτόζης αποτελείται από το ρυθμιστικό γονίδιο, τον υποκινητή, τον χειριστή και τα τρία δομικά γονίδια. Το οπερόνιο της λακτόζης δε μεταγράφεται ούτε μεταφράζεται, όταν απουσιάζει από το θρεπτικό υλικό η λακτόζη. Τότε λέμε ότι τα γονίδια που το αποτελούν βρίσκονται υπό καταστολή. Το ρυθμιστικό γονίδιο μεταγράφεται συνεχώς και παράγει λίγα μόρια του καταστολέα. Τα μόρια αυτά προσδένονται συνεχώς στο χειριστή και εμποδίζουν την RNA πολυμεράση να αρχίσει τη μεταγραφή των γονιδίων του οπερονίου. Όταν στο θρεπτικό υλικό υπάρχει μόνο λακτόζη, τότε ο ίδιος ο δισακχαρίτης προσδένεται στον καταστολέα και δεν του επιτρέπει να προσδεθεί στο χειριστή. Τότε η RNA πολυμεράση είναι ελεύθερη να αρχίσει τη μεταγραφή. Δηλαδή η λακτόζη λειτουργεί ως επαγωγέας της μεταγραφής των γονιδίων του οπερονίου. Τότε τα γονίδια αρχίζουν να «εκφράζονται», δηλαδή να μεταγράφονται και να συνθέτουν τα ένζυμα.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση στο θρεπτικό υλικό υπάρχει λακτόζη και τα βακτήρια δεν μπορούν να τη διασπάσουν λόγω γονιδιακών μεταλλάξεων που συνέβησαν σε περιοχές του οπερονίου της λακτόζης.

- Αν συμβεί γονιδιακή μετάλλαξη στην περιοχή του υποκινητή του οπερονίου της λακτόζης, η RNA πολυμεράση δε θα μπορεί να προσδεθεί σε αυτόν και έτσι δε θα ξεκινάει η μεταγραφή των δομικών γονιδίων. Ως αποτέλεσμα, δε θα παράγονται τα ένζυμα διάσπασης της λακτόζης και τα βακτήρια δε θα μπορούν να την μεταβολίσουν.
- Αν συμβεί γονιδιακή μετάλλαξη στην περιοχή του ρυθμιστικού γονιδίου του οπερονίου της λακτόζης και επηρεαστεί η περιοχή του καταστολέα που συνδέεται με τη λακτόζη, η λακτόζη δε θα προσδένεται στον καταστολέα και αυτός θα προσδένεται μόνιμα στον χειριστή. Η RNA πολυμεράση θα συνδέεται στον υποκινητή αλλά δε θα μπορεί να ξεκινήσει τη μεταγραφή των δομικών γονιδίων. Ως αποτέλεσμα, δε θα παράγονται τα ένζυμα διάσπασης της λακτόζης και τα βακτήρια δε θα μπορούν να την μεταβολίσουν.

ΘΕΜΑ Δ

Δ1. Η αλυσίδα Α είναι η κωδική και η αλυσίδα Β είναι η μη κωδική.

Γνωρίζουμε ότι το mRNA που προκύπτει από τη μεταγραφή είναι συμπληρωματικό και αντιπαράλληλο με τη μεταγραφόμενη αλυσίδα (μη κωδική) του DNA που χρησιμοποιείται ως καλούπι για το σχηματισμό του. Η συμπληρωματική αλυσίδα του DNA (κωδική) συμπίπτει με το mRNA και έχει τον ίδιο προσανατολισμό με αυτό, απλά έχει Τ αντί για U.

Ο γενετικός κώδικας είναι κώδικας τριπλέτας, δηλαδή μια τριάδα νουκλεοτιδίων, το κωδικόνιο, κωδικοποιεί ένα αμινοξύ. Ο γενετικός κώδικας είναι συνεχής, δηλαδή το mRNA διαβάζεται συνεχώς ανά τρία νουκλεοτίδια χωρίς να παραλείπεται κάποιο νουκλεοτίδιο. Επίσης ο γενετικός κώδικας είναι μη επικαλυπτόμενος, δηλαδή κάθε νουκλεοτίδιο ανήκει σε ένα μόνο κωδικόνιο. Το mRNA έχει κωδικόνιο έναρξης και κωδικόνιο λήξης. Το κωδικόνιο έναρξης σε όλους τους οργανισμούς είναι το AUG και κωδικοποιεί το αμινοξύ μεθειονίνη. Υπάρχουν τρία κωδικόνια λήξης, τα UAG, UGA και UAA. Η παρουσία των κωδικονίων αυτών στο μόριο του mRNA οδηγεί στον τερματισμό της σύνθεσης της πολυπεπτιδικής αλυσίδας. Ο όρος κωδικόνιο δεν αφορά μόνο το mRNA αλλά και το γονίδιο από το οποίο παράγεται. Τα αντίστοιχα κωδικόνια στη κωδική αλυσίδα του DNA είναι 5'ATG3' και 5'TAG3', 5'TGA3', 5'TAA3'.

Κάθε μόριο tRNA μεταφέρει ένα αμινοξύ και χαρακτηρίζεται από μία ειδική τριπλέτα, το αντικωδικόνιο, που είναι συμπληρωματική προς ένα κωδικόνιο του mRNA. Με βάση τα αντικωδικόνια που δίνονται τα αντίστοιχα κωδικόνια του mRNA είναι:

5'AUG3' 5'UGG3' 5'UUU3' 5'CCU3' 5'AUG3' 5'UGG3' 5'GUU3'

Με βάση τα παραπάνω, η αλυσίδα 1 είναι η κωδική αλυσίδα του DNA διότι σε αυτήν εντοπίσαμε το κωδικόνιο έναρξης 5'ATG3' και με βήμα τριπλέτας, συνεχόμενα και μη επικαλυπτόμενα, χωρίς να συμπεριλάβουμε το εσώνιο, εντοπίσαμε και το κωδικόνιο λήξης 5'TAA3'. Η αλυσίδα 2 είναι η μη κωδική αλυσίδα του DNA. Οι δύο αλυσίδες είναι αντιπαράλληλες, δηλαδή το 5' άκρο της μίας είναι απέναντι από το 3' άκρο της άλλης. Τα άκρα στα σημεία I και IV είναι 5' ενώ τα άκρα στα σημεία II και III είναι 3'.

Δ2. Στους περισσότερους ευκαρυωτικούς οργανισμούς και στους ιούς που τους προσβάλλουν, τα περισσότερα γονίδια είναι ασυνεχή ή διακεκομμένα. Δηλαδή, η αλληλουχία που μεταφράζεται σε αμινοξέα (εξώνια) διακόπτεται από ενδιάμεσες αλληλουχίες που δε μεταφράζονται σε αμινοξέα και λέγονται εσώνια.

Το εσώνιο στο γονίδιο είναι

5'AATCATA3'
3'TTAGTAT5'

Δ3. Κατά την έναρξη της μεταγραφής ενός γονιδίου η RNA πολυμεράση προσδένεται στον υποκινητή με τη βοήθεια των μεταγραφικών παραγόντων και προκαλεί τοπικό ξετύλιγμα της διπλής έλικας του DNA. Στη συνέχεια, τοποθετεί τα ριβονουκλεοτίδια απέναντι από τα δεσοξυριβονουκλεοτίδια της μίας αλυσίδας του DNA σύμφωνα με τον κανόνα της συμπληρωματικότητας των βάσεων. Η RNA πολυμεράση συνδέει τα ριβονουκλεοτίδια, που προστίθενται το ένα μετά το άλλο, με 3'-5' φωσφοδιεστερικό δεσμό. Η μεταγραφή έχει προσανατολισμό 5' → 3'. Η σύνθεση του RNA σταματά στο τέλος του γονιδίου, όπου ειδικές αλληλουχίες οι οποίες ονομάζονται αλληλουχίες λήξης της μεταγραφής, επιτρέπουν την απελευθέρωσή του.

ΜΕΘΟΔΙΚΟ

Το πρόδρομο mRNA είναι:

5'ACAGU... AUGUGAAUCAUAGUUUCCUAUGUGGGUUUAAGCAU3'

Όταν ένα γονίδιο που περιέχει εσώνια μεταγράφεται, δημιουργείται το πρόδρομο mRNA που περιέχει και εξώνια και εσώνια. Το πρόδρομο mRNA μετατρέπεται σε mRNA με τη διαδικασία της ωρίμανσης, κατά την οποία τα εσώνια κόβονται από μικρά ριβονουκλεοπρωτεϊνικά «σωματίδια» και απομακρύνονται. Τα ριβονουκλεοπρωτεϊνικά σωματίδια αποτελούνται από snRNA και από πρωτεΐνες και λειτουργούν ως ένζυμα: κόβουν τα εσώνια και συρράπτουν τα εξώνια μεταξύ τους. Έτσι σχηματίζεται το «ώριμο» mRNA. Αυτό, παρ' ότι αποτελείται αποκλειστικά από εξώνια, έχει δύο περιοχές που δε μεταφράζονται σε αμινοξέα. Η μία βρίσκεται στο 5' άκρο και η άλλη στο 3' άκρο. Οι αλληλουχίες αυτές ονομάζονται 5' και 3' αμετάφραστες περιοχές, αντίστοιχα.

Το ώριμο mRNA που θα χρησιμοποιηθεί στη μετάφραση είναι:

5'ACAGU... AUGUGGGUUUCCUAUGUGGGUUUAAGCAU3'

Το mRNA που θα μεταφραστεί δε θα συμπεριλαμβάνει το εσώνιο, τις 5' και 3' αμετάφραστες περιοχές και το κωδικόνιο λήξης.

5'AUGUGGGUUUCCUAUGUGGGUU3'

Δ4. Η 5' αμετάφραστη περιοχή του mRNA είναι 5'ACAGT3'.

Κατά την έναρξη της μετάφρασης το mRNA προσδένεται, μέσω μιας αλληλουχίας που υπάρχει στην 5' αμετάφραστη περιοχή του, με το ριβοσωμικό RNA της μικρής υπομονάδας του ριβοσώματος, με βάση τον κανόνα της συμπληρωματικότητας των βάσεων. Άρα το συμπληρωματικό rRNA έχει την παρακάτω αλληλουχία.

mRNA	5'ACAGU3'
rRNA	3'UGUCA5'

Το rRNA που προκύπτει είναι συμπληρωματικό και αντιπαράλληλο με τη μεταγραφόμενη αλυσίδα (μη κωδική) που χρησιμοποιείται ως καλούπι για το σχηματισμό του. Η συμπληρωματική αλυσίδα του DNA (κωδική) συμπίπτει με το rRNA και έχει τον ίδιο προσανατολισμό με αυτό, απλά έχει T αντί για U.

Αφού το rRNA σχηματίζεται από 5' προς το 3' άκρο του και διαθέτει την αλληλουχία 5'ACUGU3', η μη κωδική αλυσίδα του DNA που χρησιμοποιείται ως καλούπι από την RNA πολυμεράση είναι: 3'TGACA5'. Άρα, η αλυσίδα Γ είναι η μη κωδική και η αλυσίδα Δ η κωδική.

αλυσίδα Γ ...5'ACAGT3'...

αλυσίδα Δ ...3'TGTCA5'...

Δ5.

I. Στην περίπτωση που γίνει προσθήκη των τριών συνεχόμενων ζευγών βάσεων 5' AGC 3'
3'TCG5'

στο σημείο 1 η αλληλουχία του μορίου του DNA θα γίνει:

Αλυσίδα Α: 5' ACAGT...ATG TG AATCATA G TAG CTT CCT ATG TGG GTT TAA GCAT 3'

Αλυσίδα Β: 3' TCTCA... TAC AC TTAGTATC ATC GAA GGA TAC ACC CAA ATT CGTA 5'

ΜΕΘΟΔΙΚΟ

Εξαιτίας της μετάλλαξης, μετά τα δύο πρώτα κωδικόνια της κωδικής αλυσίδας του DNA (ATG TGG) δημιουργείται κωδικόνιο λήξης (TAG), τερματίζεται πρόωρα η πρωτεϊνοσύνθεση και η μεταλλαγμένη πρωτεΐνη θα αποτελείται μόνο από δύο αμινοξέα. Πιθανότατα, χάνει τη λειτουργικότητά της.

Στην περίπτωση που γίνει προσθήκη των τριών συνεχόμενων ζευγών βάσεων $5' \text{GCT } 3'$
 $3' \text{CGA } 5'$

στο σημείο 1 η αλληλουχία του μορίου του DNA θα γίνει:

Αλυσίδα Α: $5' \text{ACAGT...ATG TG AATCATA G TGC TTT CCT ATG TGG GTT TAA GCAT } 3'$

Αλυσίδα Β: $3' \text{TCTCA... TAC AC TTAGTAT C ACG AAA GGA TAC ACC CAA ATT CGTA } 5'$

Εξαιτίας της μετάλλαξης στη συγκεκριμένη περίπτωση, πραγματοποιείται προσθήκη ενός κωδικονίου (GCT), μετά το δεύτερο κωδικόνιο της κωδικής αλυσίδας του DNA. Ως αποτέλεσμα, η μεταλλαγμένη πρωτεΐνη θα αποτελείται από ένα παραπάνω αμινοξύ. Εάν το διαφορετικό αμινοξύ βρίσκεται στο ενεργό κέντρο ενός ενζύμου ή κοντά σε αυτό, τότε η ενεργότητά του, δηλαδή η ικανότητα κατάλυσης αντιδράσεων, μπορεί να ελαττωθεί ή και να μηδενισθεί. Επίσης, σε άλλα είδη πρωτεϊνών η μετάλλαξη μπορεί να οδηγήσει σε αλλαγή της δομής τους και συνεπώς και της λειτουργίας τους, όπως στην περίπτωση της HbS στη δρεπανοκυτταρική αναιμία. Διαφορετικά θα μπορούσε να είναι μια ουδέτερη μετάλλαξη.

II. Στην περίπτωση που γίνει προσθήκη των τριών συνεχόμενων ζευγών βάσεων $5' \text{AGC } 3'$
 $3' \text{TCG } 5'$

στο σημείο 2 η αλληλουχία του μορίου του DNA θα γίνει:

Αλυσίδα Α: $5' \text{ACAGT...ATG TG AATCATA G TTT CCT AGC ATG TGG GTT TAA GCAT } 3'$

Αλυσίδα Β: $3' \text{TCTCA... TAC AC TTAGTAT CAAA GGA TCG TAC ACC CAA ATT CGTA } 5'$

Εξαιτίας της μετάλλαξης αυτής, θα αλλάξει το 5^ο κωδικόνιο της κωδικής αλυσίδας του DNA (ACG). Τα επόμενα κωδικόνια θα είναι (ATG), (TGG), (GTT) και το κωδικόνιο λήξης (TAA). Ως αποτέλεσμα, η μεταλλαγμένη πρωτεΐνη θα αποτελείται από ένα παραπάνω αμινοξύ.

Στην περίπτωση που γίνει προσθήκη των τριών συνεχόμενων ζευγών βάσεων $5' \text{GCT } 3'$
 $3' \text{CGA } 5'$

στο σημείο 2 η αλληλουχία του μορίου του DNA θα γίνει:

Αλυσίδα Α: $5' \text{ACAGT...ATG TG AATCATA G TTT CCT GCT ATG TGG GTT TAA GCAT } 3'$

Αλυσίδα Β: $3' \text{TCTCA... TAC AC TTAGTAT C AAA GGA CGA TAC ACC CAA ATT CGTA } 5'$

Εξαιτίας της μετάλλαξης αυτής, θα αλλάξει το 5^ο κωδικόνιο της κωδικής αλυσίδας του DNA (GCT). Τα επόμενα κωδικόνια θα είναι (ATG), (TGG), (GTT) και το κωδικόνιο λήξης (TAA). Ως αποτέλεσμα, η μεταλλαγμένη πρωτεΐνη θα αποτελείται από ένα παραπάνω αμινοξύ.

Επιμέλεια: Δημάκου Σοφία