

## Αντιγραφή, έκφραση και ρύθμιση της γενετικής πληροφορίας

### Διαφορές της γονιδιακής έκφρασης προκαρυωτικού και ευκαρυωτικού οργανισμού

Προκαρυωτικοί οργανισμοί	Ευκαρυωτικοί οργανισμοί
<ol style="list-style-type: none"> <li>Υπάρχει ένα είδος RNA πολυμεράσης.</li> <li>Το mRNA αρχίζει να μεταφράζεται σε πρωτεΐνη, πριν ακόμη ολοκληρωθεί η μεταγραφή του.</li> <li>Το mRNA που παράγεται κατά τη μεταγραφή ενός γονιδίου είναι έτοιμο να εκφραστεί.</li> <li>Το mRNA μπορεί να είναι προϊόν περισσοτέρων γονιδίων.</li> <li>Η ρύθμιση της γονιδιακής έκφρασης είναι πιο απλή.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Υπάρχουν τρία είδη RNA πολυμερασών.</li> <li>Το mRNA αρχίζει να μεταφράζεται σε πρωτεΐνη, αφού έχει ολοκληρωθεί η μεταγραφή του.</li> <li>Το mRNA που παράγεται κατά τη μεταγραφή ενός γονιδίου δεν είναι έτοιμο να μεταφραστεί αλλά υφίσταται τη διαδικασία της ωρίμανσης.</li> <li>Το mRNA είναι προϊόν γονιδίου.</li> <li>Η ρύθμιση της γονιδιακής έκφρασης είναι πολύπλοκη.</li> </ol>

### Προβλήματα

- Το παρακάτω δίκλωνο μόριο DNA

... A T A T G ...

... T A T A C ...

αυτοδιπλασιάζεται σε καλλιέργεια μέσα στην οποία υπάρχουν μόνο ιχνηθετημένα νουκλεοτίδια που συμβολίζονται με A\*, T\*, C\*, G\* αντί των κανονικών νουκλεοτιδίων. Να γραφούν τα μόρια που θα προκύψουν μετά τον πρώτο και το δεύτερο διπλασιασμό. Δικαιολογήστε την απάντησή σας.

- Δίκλωνο μόριο DNA περιέχει μόνο ραδιενεργό φωσφόρο (P). Αυτοδιπλασιάζεται σε περιβάλλον όπου υπάρχει μόνο ραδιενεργό άζωτο (N). Όμως τα θυγατρικά μόρια που δημιουργήθηκαν αυτοδιπλασιάζονται σε περιβάλλον όπου δεν υπάρχουν ραδιενεργά στοιχεία. Να αναπαραστήσετε όλα τα μόρια που αναφέρονται, σχεδιάζοντας τα μη ραδιενεργά τμήματα του DNA με συνεχή γραμμή, αυτά που έχουν ραδιενεργό φωσφόρο με διακεκομμένη γραμμή και αυτά που έχουν ραδιενεργό άζωτο με τελείες. Να αιτιολογήσετε τη μορφή που δώσατε στα σχέδιά σας.

- Μία από τις δύο αλυσίδες του DNA που έχει τη σύνθεση βάσεων αδενίνη (A): 21%, γουανίνη (G): 29%, κυτοσίνη (C): 29% και θυμίνη (T): 21%, διπλασιάζεται, για να δώσει τη συμπληρωματική

αλυσίδα. Η συμπληρωματική αλυσίδα μεταγράφεται σε RNA. Να δοθεί η σύνθεση των βάσεων του σχηματιζόμενου RNA. Να αιτιολογηθεί η απάντηση.

4. Ένα μόριο βακτηριακού DNA αποτελείται από 606.000 νουκλεοτίδια:

α) Πόσα δεοξυριβονουκλεοτίδια θα χρειαστούν για την αντιγραφή του;

β) Να ονομάσεις τα ένζυμα που θα πάρουν μέρος στην αντιγραφή του.

γ) Αν το 5% του μήκους του κωδικοποιεί 50 πολυπεπτιδικές αλυσίδες, ποιος είναι ο αριθμός των αμινοξέων που απαιτούνται για την έκφραση των πληροφοριών του παραπάνω μορίου DNA;

5. Το κύριο κυκλικό μόριο DNA του βακτηρίου *E. coli* αποτελείται από  $4 \cdot 10^6$  ζεύγη βάσεων.

Ένα βακτήριο *E. coli* αναπτύσσεται σε περιβάλλον με ραδιενεργό φώσφορο  $^{32}\text{P}$ . Αν ο χρόνος διπλασιασμού του βακτηρίου είναι 20 min, να εξηγήσεις μετά από 40 min:

α) Πόσα μόρια DNA σχηματίστηκαν;

β) Πόσα κανονικά και ραδιενεργά άτομα φωσφόρου περιέχονται στα μόρια του DNA που σχηματίστηκαν;

6. Μια πρωτεΐνη συνίσταται από 1000 αμινοξέα. Μετά τη μετάφραση που οδήγησε στη σύνθεσή της δεν παρατηρήθηκε αφαίρεση αμινοξέων από το αμινικό άκρο. Πόσα νουκλεοτίδια έχει το τμήμα του mRNA που μεταφράστηκε αν αυτή η πρωτεΐνη περιλαμβάνει:

α) μία πολυπεπτιδική αλυσίδα;

β) δύο ίδιες πολυπεπτιδικές αλυσίδες;

γ) δύο διαφορετικές πολυπεπτιδικές αλυσίδες;

7. Η εκατοστιαία αναλογία των αζωτούχων βάσεων ενός μορίου mRNA που προέρχεται από τη μεταγραφή ενός βακτηριακού DNA είναι 30% G, 40% C, 20% A και 10% U. Ποια είναι η εκατοστιαία αναλογία των αζωτούχων βάσεων στην κωδική αλυσίδα του μορίου DNA από το οποίο προέκυψε;

8. Βακτηριακό mRNA που έχει 2.999 φωσφοδιεστερικούς δεσμούς κατευθύνει τη σύνθεση πολυπεπτιδικής αλυσίδας που αποτελείται από 989 αμινοξέα.

Ποιος είναι ο αριθμός των νουκλεοτιδίων του mRNA που δεν κωδικοποιούν αμινοξέα;

9. Δύο γονίδια ευκαρυωτικού κυττάρου συνίστανται συνολικά από 6000 νουκλεοτίδια. Οι αμετάφραστες περιοχές τους και τα εσώνιά τους αποτελούν το 50% του μήκους τους. Το καθένα από τα γονίδια αυτά κωδικοποιεί τη μία από τις δύο πολυπεπτιδικές αλυσίδες μιας πρωτεΐνης. Πόσα αμινοξέα αποτελούν την πρωτεΐνη αυτή; (Δεν σημειώνεται αφαίρεση αμινοξέων από το αμινικό άκρο).

10. Ένα μόριο DNA από κύτταρο ανθρώπου έχει 150.000.000 ζεύγη βάσεων.

α) Είναι μεγαλύτερο ή μικρότερο από το εκτιμώμενο μέσο μήκος;

β) Ποιο είναι το μήκος του που αντιστοιχεί σε γονίδια, εάν οι μη κωδικοποιούσες περιοχές του αποτελούν το 95% του μήκους του;

γ) Πόσες διαφορετικές πολυπεπτιδικές αλυσίδες των 499 αμινοξέων μπορεί να κωδικοποιεί;

Δίνεται ότι τα κωδικόνια αποτελούν το 5% του μήκους των mRNA που μεταγράφονται από αυτό το μόριο DNA. Να μην ληφθεί υπόψη η αφαίρεση αμινοξέων από το αμινικό άκρο.

δ) Εάν τα κωδικόνια αποτελούν το 45% του μήκους των mRNA που μεταγράφονται από ίδιου μήκους μόριο DNA, πόσα διαφορετικά πενταπεπτίδια μπορεί να κωδικοποιούνται;

Δεν παρατηρείται αφαίρεση αμινοξέων από το αμινικό άκρο.

11. Ένα οπερόνιο περιλαμβάνει δύο χειριστές που υπόκεινται στην επίδραση του ίδιου καταστολέα. Ο καταστολέας συνίσταται από μια πολυπεπτιδική αλυσίδα.

α) Πόσα ρυθμιστικά γονίδια υπάρχουν, πόσοι υποκινητές και πόσα δομικά γονίδια;

β) Πόσα διαφορετικά mRNA παράγονται;

12. Σε ένα βακτήριο εντοπίζεται μια πρωτεΐνη 40.000 αμινοξέων που αποτελείται από 8 ίδιες πεπτιδικές αλυσίδες. Οι αμετάφραστες περιοχές αποτελούν το 50% του μήκους του σχετικού mRNA. Από πόσα νουκλεοτίδια συνίσταται το τμήμα γενετικού υλικού που κωδικοποιεί αυτή η πρωτεΐνη;

13. Σε μια θηλιά αντιγραφής DNA σχηματίστηκαν 8 πρωταρχικά τμήματα, καθένα εκ των οποίων αποτελούνταν από 5 βάσεις A και U (συνολικά) και 1 C.

α. Πόσα συνεχή και πόσα ασυνεχή τμήματα σχηματίστηκαν κατά τη σύνθεση κάθε νέας αλυσίδας DNA στη θηλιά;

β. Πόσοι δεσμοί υδρογόνου έσπασαν μέχρι την ολοκλήρωση της σύνθεσης της αντιγραφής της θηλιάς;

14. Πρόδρομο μόριο mRNA αποτελείται συνολικά από 300 A, 800 G, 400 C και 500 U, κατά την ωρίμανση του οποίου αφαιρούνται τρεις αλληλουχίες που αποτελούν εσώνια, ενώ το ώριμο mRNA που προκύπτει περιέχει 121 κωδικόνια.

α. Ποια είναι η % αναλογία βάσεων A στο γονίδιο;

β. Πόσοι δεσμοί έσπασαν και πόσοι δημιουργήθηκαν κατά την ωρίμανση;

γ. Ποιο είναι το % ποσοστό των βάσεων που μεταφράζονται σε αμινοξέα στο γονίδιο; Να εξηγήσετε εάν το ποσοστό αυτό ισούται με το ποσοστό των εξωνίων στο γονίδιο.

δ. Σε δεδομένη χρονική στιγμή, το mRNA μεταφράζεται ταυτόχρονα από 4 ριβοσώματα και απομακρύνονται ταυτόχρονα από το πρώτο ριβόσωμα το 94ο tRNA, από το δεύτερο ριβόσωμα το 55ο tRNA, από το τρίτο ριβόσωμα το 45ο tRNA και από το τέταρτο ριβόσωμα το 11ο tRNA. Να υπολογίσετε:

- Το συνολικό αριθμό των αμινοξέων που έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι αυτή τη στιγμή για τη σύνθεση των πολυπεπτιδικών αλυσίδων.
- Τους πεπτιδικούς δεσμούς που έχουν ήδη δημιουργηθεί στην αλυσίδα που συντίθεται από το πρώτο ριβόσωμα,
- Τα μόρια tRNA που θα χρησιμοποιηθούν ακόμη για την ολοκλήρωση της σύνθεσης της πολυπεπτιδικής αλυσίδας από το τέταρτο ριβόσωμα.

15. Σε θρεπτικό υλικό που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία τεσσάρων καλλιεργειών *E. coli* περιέχονται ως πηγές άνθρακα λακτόζη και γλυκόζη σε ίσες ποσότητες. Εμβολιάζουμε την καλλιέργεια 1 με το φυσιολογικό βακτήριο και καθεμία από τις άλλες με βακτήρια που έχουν υποστεί μεταλλάξεις, οι οποίες έχουν καταστήσει ανενεργά τα τμήματα του οπερονίου της λακτόζης.

Καλλιέργεια	1	2	3	4
Ανενεργό τμήμα	-	Ρυθμιστικό	Υποκινητής	Χειριστής

**α.** Ποια διαδικασία γονιδιακής ρύθμισης συμβαίνει στο οπερόνιο της λακτόζης στην καλλιέργεια 1 τη στιγμή που εξαντλείται η γλυκόζη από το θρεπτικό υλικό;

**β.** Να εξηγήσετε κατά πόσο είναι δυνατό τα βακτήρια της καλλιέργειας 2 να αναπτύσσονται παρουσία γλυκόζης ή παρουσία λακτόζης.

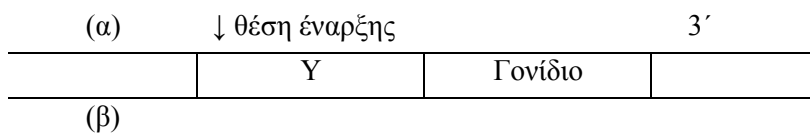
**γ.** Ποιες θα είναι οι συνέπειες της μετάλλαξης στην ανάπτυξη των βακτηρίων της καλλιέργειας 3 σε θρεπτικό υλικό λακτόζης;

**δ.** Να εξηγήσετε ποια από τις καλλιέργειες 2, 3, 4 θα επέλθει ταχύτερα στη φάση θανάτου.

**16.** Στο ακόλουθο σχήμα απεικονίζεται τμήμα DNA που περιέχει υποκινητή και γονίδιο, σε ένα σημείο του οποίου υπάρχει θέση έναρξης της αντιγραφής, όπως απεικονίζεται στο σχήμα.

**α.** Να σημειώσετε την κωδική αλυσίδα του γονιδίου.

**β.** Ποια από τις δύο αλυσίδες αντιγράφεται με συνεχή τρόπο;



**17.** Από ανθρώπινο κύτταρο απομονώνεται η ακόλουθη αλληλουχία βάσεων που αποτελεί γονίδιο υπεύθυνο για τη σύνθεση ενός μικρού πεπτιδίου, και με κατάλληλες τεχνικές το γονίδιο ενσωματώνεται στο γονιδίωμα της *E. coli*.

5'	<b>X</b>	AATTATTACTTCTCCTCAGGAGTCAGATGCACCATCTATT	<b>Y</b>	3' (α)
3'		TTAATAATGAAGAGGAGTCCTCAGTCTACGTGGTAGATAA		5' (β)

Η αλληλουχία 5' GACTCC 3' (και η συμπληρωματική της) αποτελεί το εσώνιο που φέρει το γονίδιο στο εσωτερικό του και τα τμήματα X και Y αποτελούν αλληλουχίες που βρίσκονται εκατέρωθεν του γονιδίου.

**α.** Σε ποιο από τα τμήματα X και Y περιέχεται ο υποκινητής του γονιδίου;

**β.** Να γράψετε την αλληλουχία και να σημειώσετε τα άκρα του mRNA που παράγεται από το γονίδιο αυτό και συνδέεται με τα ριβοσώματα προς τον σχηματισμό του πεπτιδίου:

**i.** στην *E. coli*      **ii.** στο ανθρώπινο κύτταρο

**γ.** Να γράψετε τα αντικωδικόνια των μορίων tRNA που συμμετέχουν στη μετάφραση του mRNA και συμβουλευόμενοι τον γενετικό κώδικα, την αλληλουχία των αμινοξέων στην πολυπεπτιδική αλυσίδα τη στιγμή που ολοκληρώνεται η σύνθεσή της σε κάθε περίπτωση του προηγούμενου ερωτήματος.

**18.** Μια λειτουργική πρωτεΐνη αποτελείται από 185 αμινοξέα. Η πολυπεπτιδική αλυσίδα από την οποία προέκυψε είχε επιπλέον 15 αμινοξέα στο αμινικό της άκρο. Εάν στις 5' και 3' αμετάφραστες περιοχές του mRNA από το οποίο προέκυψε περιέχονται 17 βάσεις, να βρεθεί:

**α.** Το μήκος του γονιδίου που κωδικοποιεί την παραπάνω πρωτεΐνη.

**β.** Πόσοι φωσφοδιεστερικοί δεσμοί σπάνε και πόσοι σχηματίζονται κατά την ωρίμανση του πρόδρομου mRNA.

Γνωρίζουμε ότι το γονίδιο είναι ασυνεχές, αφού περιέχει 3 εσώνια με 150 ζεύγη βάσεων συνολικά.

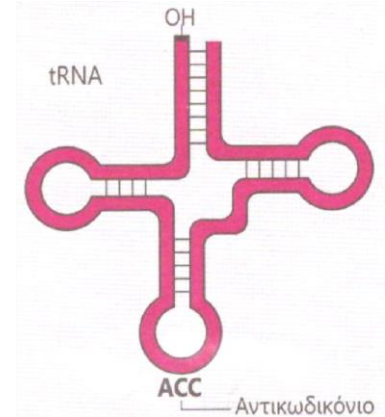
19. Το μόριο που απεικονίζεται στο σχήμα είναι το tRNA που μεταφέρει το αμινοξύ τρυπτοφάνη (trp).

α. Το tRNA αυτό κωδικοποιείται από το γονίδιο:

(α) ...ATCTGCATGTTCTCGGGGACGTAATGGAATTGAAGC...

(β) ...TAGACGTACAAGAGCCCCTGCATTACCTTAACTTCG...

- Να προσδιορίσετε τα 5' και 3' άκρα του μορίου του tRNA και να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.
- Να εξηγήσετε ποια από τις δυο αλυσίδες (α ή β) είναι η μη κωδική αλυσίδα του γονιδίου και να σημειώσετε τα 5' και 3' άκρα των δυο αλυσίδων.



β. Η ακόλουθη αλληλουχία αποτελεί τμήμα γονιδίου προκαρυωτικού κυττάρου που μεταγράφεται σε mRNA και μεταφράζεται σε πεπτιδική αλυσίδα.

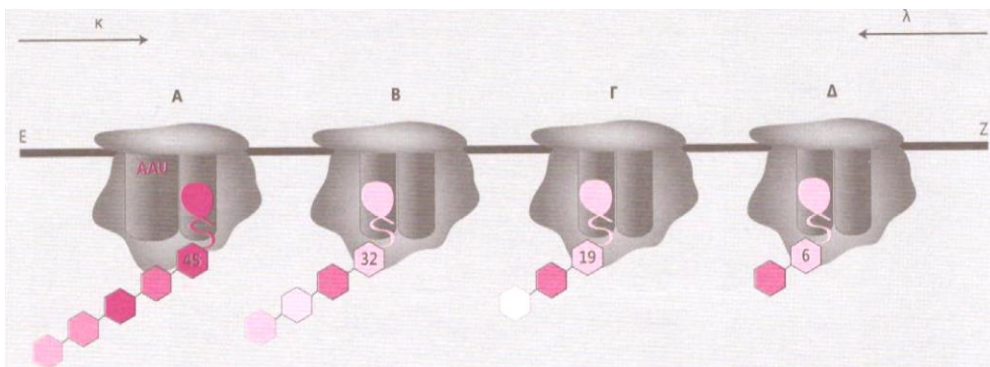
**Αλυσίδα 1:** ...GAAGTGCATATTCCACGTAATGT...

**Αλυσίδα 2:** ...CTTCACGCATAAGGTGCATTTACA...

Κατά τη μετάφραση του τμήματος mRNA, που παράγεται από τη μεταγραφή του τμήματος DNA, συμμετέχει το συγκεκριμένο tRNA.

- Να εξηγήσετε ποια από τις δυο αλυσίδες (1 και 2) είναι η μη κωδική του γονιδίου και να σημειώσετε τα 5' και 3' άκρα των δυο αλυσίδων.
- Ποια είναι η αλληλουχία των αμινοξέων που προκύπτει από τη μεταγραφή και μετάφραση του συγκεκριμένου τμήματος και πόσοι πεπτιδικοί δεσμοί σχηματίζονται κατά τη σύνθεσή του;

20. Στο σχήμα απεικονίζεται ένα μόριο mRNA (EZ) και τα ριβοσώματα (A, B, Γ και Δ) που το μεταφράζουν μια δεδομένη χρονική στιγμή. Στην πρώτη θέση εισδοχής του ριβοσώματος A συνδέονται 45 αμινοξέα, ενώ στη δεύτερη θέση εισδοχής των ριβοσωμάτων B, Γ και Δ συνδέονται 32, 19 και 6 αμινοξέα αντίστοιχα.



α. Να γράψετε πώς ονομάζεται το σύμπλοκο του mRNA και των ριβοσωμάτων και ποια είναι η χρησιμότητά του για το κύτταρο.

β. Να γράψετε ποιο άκρο του mRNA (E ή Z) αντιστοιχεί στο 5' και ποιο στο 3' άκρο του και να εξηγήσετε ποιο βέλος (κ ή λ) υποδεικνύει την κατεύθυνση της μετάφρασης.

γ. Να εξηγήσετε πόσα κωδικόνια υπάρχουν στο mRNA αυτό και από πόσα αμινοξέα αποτελείται κάθε πολυπεπτιδική αλυσίδα που παράγεται από τη μετάφρασή του.

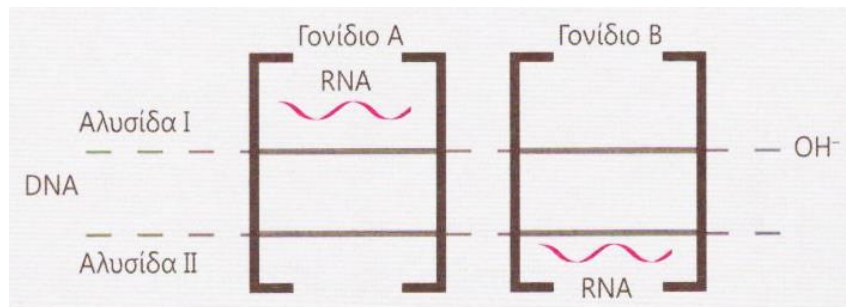
δ. Πώς εξηγείται ότι η πρωτεΐνη που παράγεται από αυτό το mRNA αποτελείται τελικά από 39 αμινοξέα;

ε. Να προσδιορίσετε πόσα μόρια tRNA θα χρησιμοποιηθούν ακόμη μέχρι την ολοκλήρωση της μετάφρασης στο ριβόσωμα Γ.

στ. Δεδομένου ότι το 5' αμετάφραστο άκρο του mRNA αποτελείται από 22 νουκλεοτίδια και το 3' αμετάφραστο άκρο του από 40 νουκλεοτίδια, ποιο είναι το μήκος του γονιδίου από το οποίο μεταγράφηκε, εάν αυτό είναι:

- συνεχές,
- ασυνεχές με εσώνια συνολικού μήκους 50 ζευγών νουκλεοτιδίων.

21. Σε ένα μόριο DNA ευκαρυωτικού κυττάρου υπάρχουν δυο γονίδια A και B, όπως φαίνεται στο σχήμα.



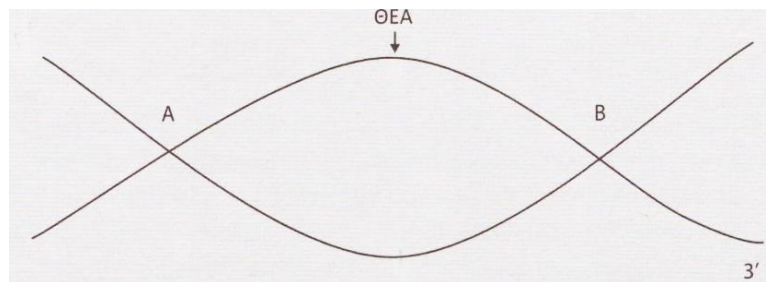
α. Να σημειώσετε τα άκρα των αλυσίδων του DNA.

β. Τα γονίδια A και B μεταγράφονται σε RNA. Να σημειώσετε τα άκρα των RNA και να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

γ. Να εξηγήσετε ποια είναι η κωδική αλυσίδα για το γονίδιο A και ποια για το γονίδιο B.

δ. Να σημειώσετε στο σχήμα με ένα βέλος τη θέση του υποκινητή κάθε γονιδίου.

22. Στο σχήμα απεικονίζεται μια θηλιά αντιγραφής στο τμήμα DNA AB μήκους 20.000 ζευγών βάσεων και η θέση έναρξης αντιγραφής (ΘΕΑ) που βρίσκεται στο μέσον της. Κατά την αντιγραφή του τμήματος AB χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 480 ριβονουκλεοτίδια.



α. Πόσα είναι τα ασυνεχή τμήματα που συντέθηκαν σε κάθε νέα αλυσίδα και πόσο είναι το μήκος (σε αζωτούχες βάσεις) καθενός από αυτά; Δίνεται ότι το μήκος του πρωταρχικού τμήματος είναι 40 νουκλεοτίδια και ότι όλα τα ασυνεχή τμήματα έχουν ίδιο μήκος.

β. Εάν θεωρηθεί ότι η αντιγραφή τόσο στη συνεχή όσο και στην ασυνεχή σύνθεση γίνεται με ταχύτητα 500 νουκλεοτίδια/sec, πόσο χρόνο διήρκεσε η αντιγραφή της μισής θηλιάς και πόσο χρόνο διήρκεσε η αντιγραφή ολόκληρης της θηλιάς;

γ. Να αναφέρετε σε ποιες περιπτώσεις συντίθεται αλυσίδα RNA δίχως να έχει προηγηθεί η διαδικασία της μεταγραφής.