

Μεταγραφή

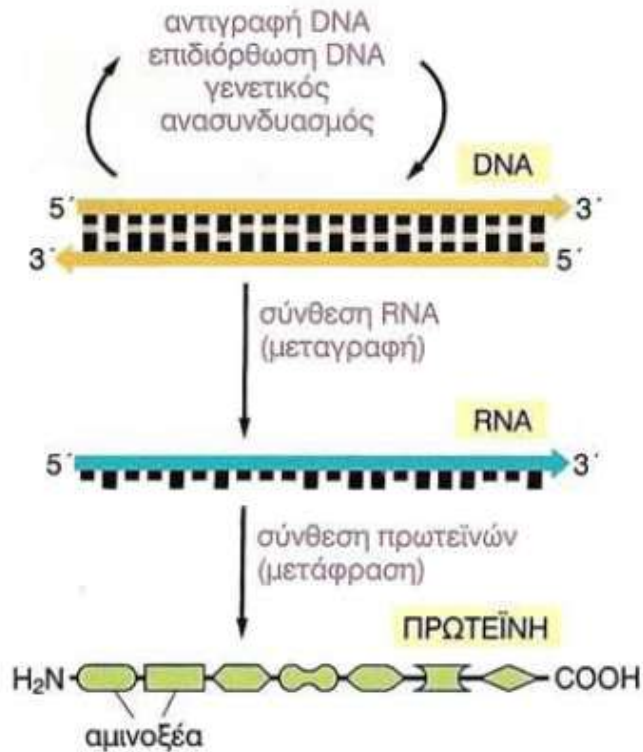
Δρ. Γκατζίδου Ελισάβετ

Μέλος Ε.ΔΙ.Π.

Εργαστήριο Βιολογίας

Τμήμα Ιατρικής ΔΠΘ

Κεντρικό Δόγμα της Βιολογίας



Εικόνα 7-1. Από το DNA στις πρωτεΐνες. Σε όλα τα ζωντανά κύτταρα, η ροή των γενετικών πληροφοριών είναι από το DNA στο RNA (μεταγραφή) και από το RNA στις πρωτεΐνες (μετάφραση).

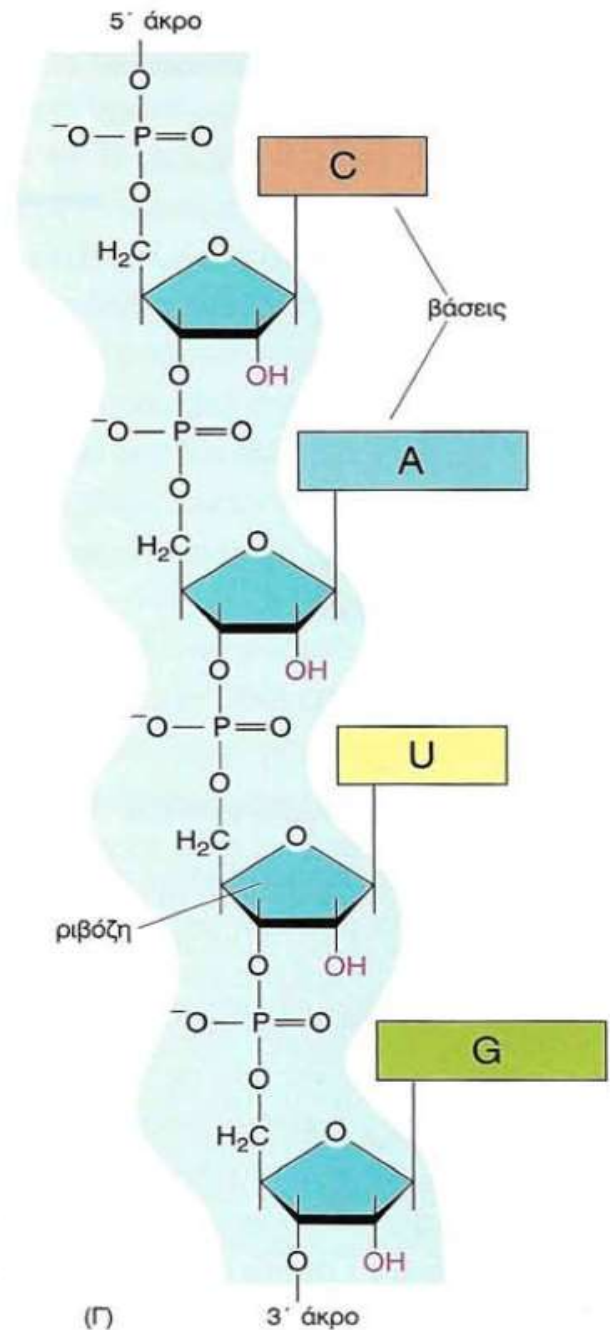
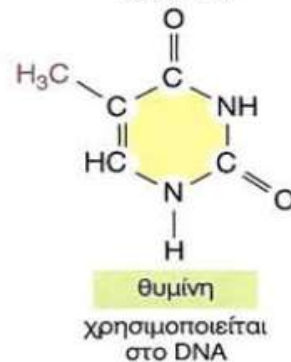
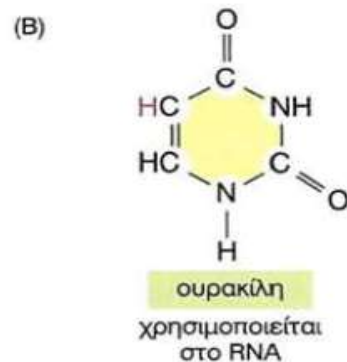
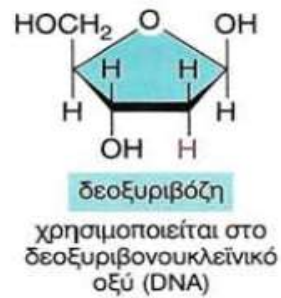
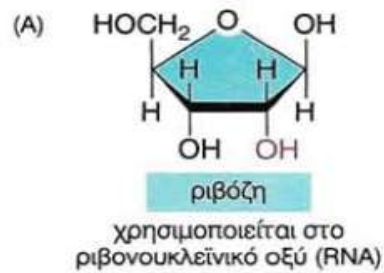
DNA → RNA → Πρωτεΐνες

-
- Το 1ο βήμα στην έκφραση ενός τμήματος γενετικών οδηγιών του κυττάρου είναι η αντιγραφή της κατάλληλης αλληλουχίας των νουκλεοτιδίων του DNA, δηλαδή του κατάλληλου γονιδίου σε μια αλληλουχία RNA.
 - Η διεργασία καλείται **μεταγραφή (transcription)**.
 - Οι πληροφορίες αντιγράφονται σε διαφορετική χημική μορφή αλλά στην ίδια γλώσσα, τη γλώσσα των νουκλεοτιδίων.

RNA

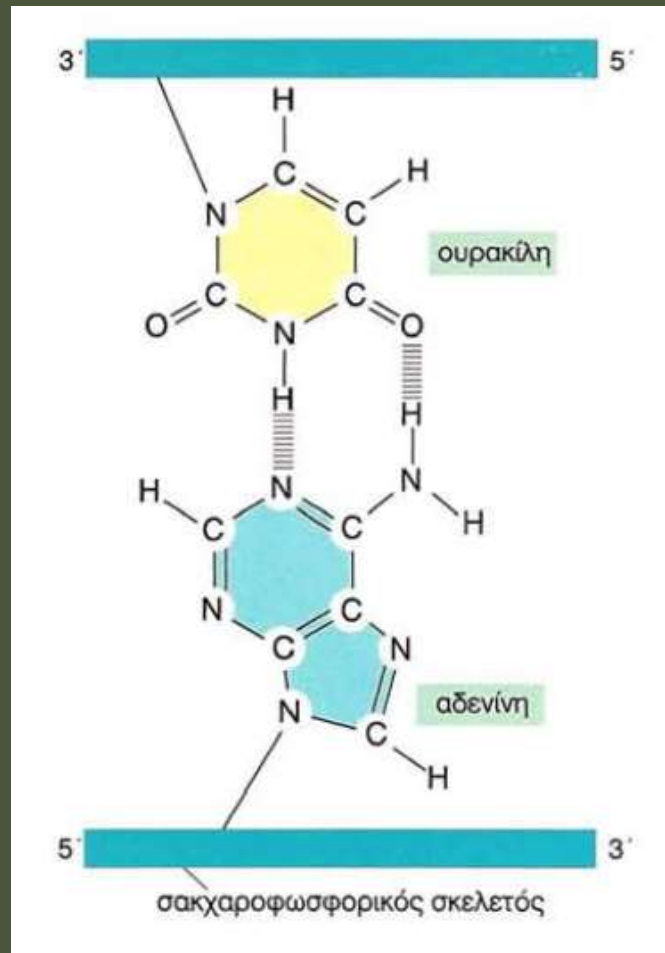
- RNA: γραμμικό πολυμερές που αποτελείται από 4 διαφορετικά νουκλεοτίδια, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με φωσφοδιεστερικούς δεσμούς.

- Χημικές διαφορές με το DNA:
 1. Τα νουκλεοτίδια του είναι ριβονουκλεοτίδια
 2. Περιέχει U αντί για T.



Εικόνα 7-3. Η χημική δομή του RNA. (Α). Το RNA περιέχει το σάκχαρο ριβόζη το οποίο διαθέτει μια επιπλέον ομάδα $-OH$ από τη δεοξυριβόζη, δηλαδή το σάκχαρο που χρησιμοποιείται στο DNA. (Β) Το RNA περιέχει τη βάση ουρακίλη, η οποία έχει μια ομάδα $-CH_3$ λιγότερη από την ομόλογο της βάση στο DNA, δηλαδή τη θυμίνη. (Γ) Ένα μικρό τμήμα RNA. Η χημική σύνδεση ανάμεσα στα νουκλεοτίδια του RNA είναι η ίδια που χρησιμοποιείται και στο DNA.

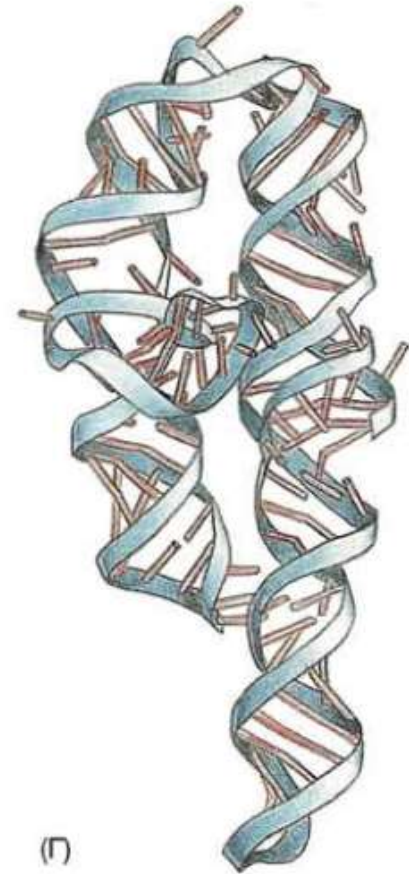
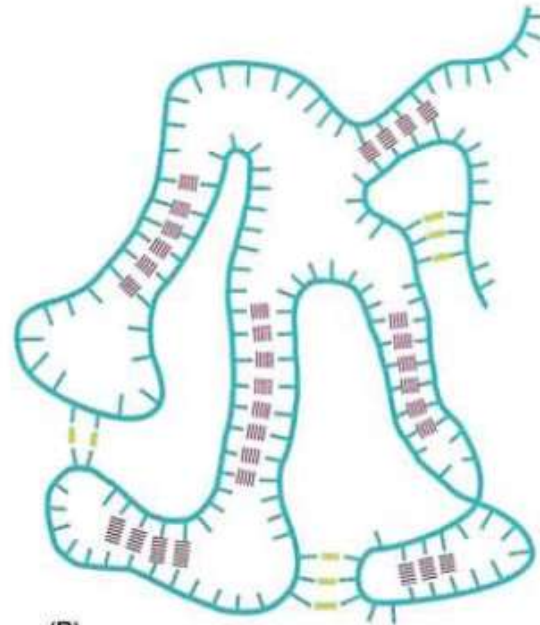
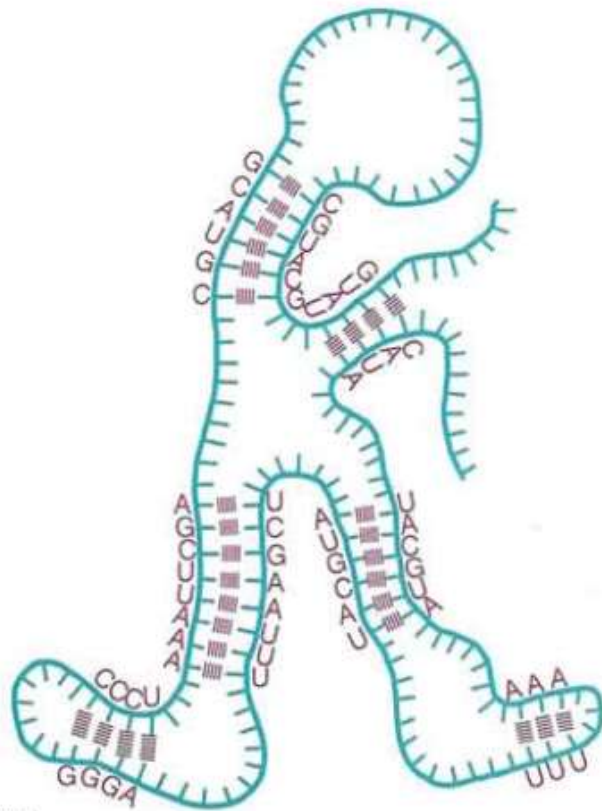
Η ουρακίλη ζευγαρώνει με την αδενίνη.



RNA

- ❑ Οι κανόνες συμπληρωματικότητας των βάσεων ισχύουν και στο RNA.
- ❑ Το DNA και το RNA έχουν πολύ διαφορετική δομή:
 1. Το RNA είναι μονόκλωνο, ενώ το DNA βρίσκεται στα κύτταρα υπό τη μορφή διπλής έλικας.
 2. Μία αλυσίδα RNA μπορεί να διπλωθεί σε ποικίλες δομές, ενώ το DNA δεν έχει αυτή τη δυνατότητα.

Το RNA σχηματίζει ενδομοριακά ζεύγη βάσεων



Ομοιότητες με την αντιγραφή του DNA.

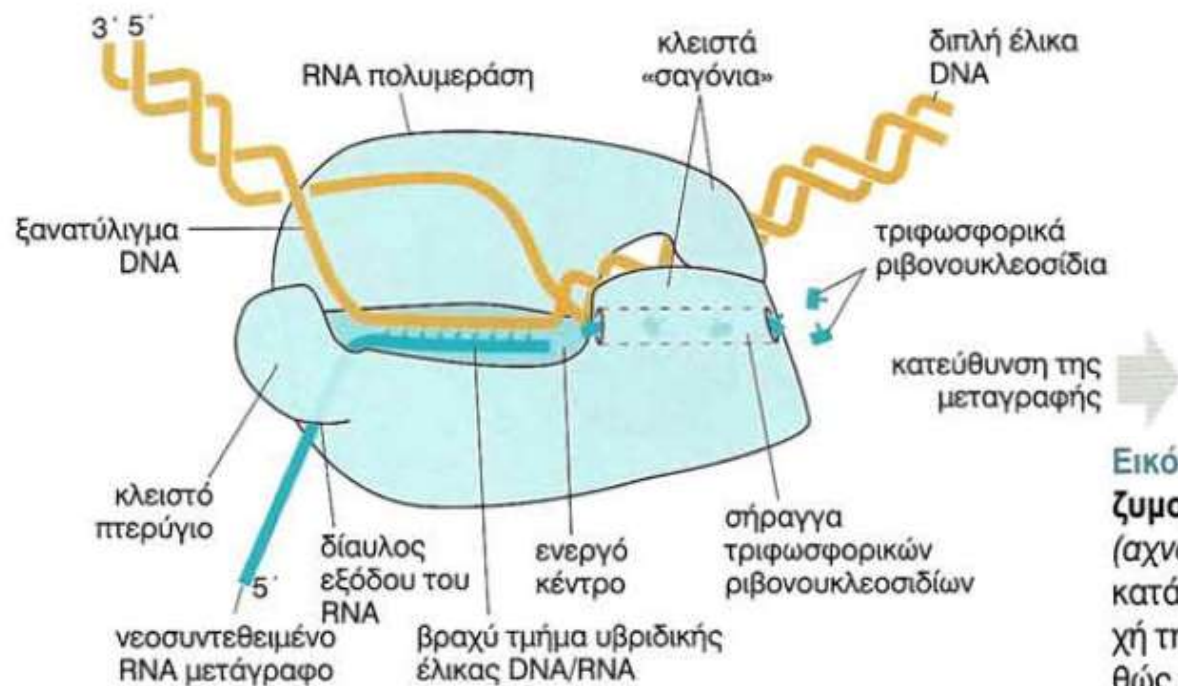
1. Η μεταγραφή ξεκινά με ξεδίπλωμα ενός μικρού τμήματος της δίκλωνης έλικας του DNA.
2. Ο ένας από τους δύο κλώνους της διπλής έλικας του DNA δρα ως εκμαγείο για τη σύνθεση του RNA.
3. Η αλληλουχία των ριβονουκλεοτιδίων του RNA καθορίζεται από το εκμαγείο του DNA σύμφωνα με τους κανόνες συμπληρωματικότητας των βάσεων.
4. Η αλυσίδα που παράγεται από τη μεταγραφή, ονομάζεται **μετάγραφο (transcript)** επιμηκύνεται με ρυθμό ένα νουκλεοτίδιο τη φορά.

Διαφορές με την αντιγραφή του DNA.

1. Ο κλώνος του RNA δεν παραμένει συνδεδεμένος με τον κλώνο εκμαγείο του DNA. Τα μόρια του RNA που παράγονται από τη μεταγραφή είναι **μονόκλωνα**.
2. Τα μόρια του RNA είναι πολύ **βραχύτερα** από τα μόρια του DNA.
3. Πιστότητα – Οι RNA πολυμεράσες κάνουν 1 λάθος ανά 10^4 νουκλεοτίδια που αντιγράφονται σε RNA, ενώ η συχνότητα λάθους της DNA πολυμεράσης είναι 1 λάθος στα 10^7 νουκλεοτίδια.
4. Σύνδεση νεοσυντιθέμενου κλώνου με μητρικό – Άμεση απελευθέρωση του κλώνου RNA από το DNA.
5. Ταυτόχρονη παραγωγή πολλών μεταγράφων

RNA πολυμεράση

- ❑ Καταλύουν το σχηματισμό φωσφοδιεστερικών δεσμών που συνδέουν τα νουκλεοτίδια μεταξύ τους και δημιουργούν το σακχαροφωσφορικό σκελετό της αλυσίδας του RNA.
- ❑ Μετακινείται βήμα βήμα κατά μήκος του DNA.
- ❑ Η αυξανόμενη αλυσίδα του RNA επιμηκύνεται με ρυθμό ένα νουκλεοτίδιο τη φορά σε κατεύθυνση $5' \rightarrow 3'$ χρησιμοποιώντας τριφωσφορικά νουκλεοσίδια.



Εικόνα 7-7. Το RNA μεταγράφεται από το ένζυμο RNA πολυμεράση. Η RNA πολυμεράση (αχνό γαλάζιο χρώμα) μετακινείται βήμα-βήμα κατά μήκος του DNA, ξετυλίγοντας την περιοχή της έλικας που βρίσκεται μπροστά της. Καθώς προχωρεί, η πολυμεράση προσθέτει νουκλεοτίδια (με σχήμα «T») στη θέση πολυμερισμού με ρυθμό ένα τη φορά. Κατόπιν, προκαλεί την επανελίκωση των δύο κλώνων του DNA που βρίσκονται πίσω από τη θέση πολυμερισμού ώστε να εκτοπιστεί το νεοσχηματισμένο RNA. Επομένως, μόνο πρόσκαιρα σχηματίζεται ένα βραχύ τμήμα υβριδικής έλικας DNA/RNA. Το RNA μετάγραφο είναι ένα μονόκλωνο συμπληρωματικό αντίγραφο του ενός από τους δύο κλώνους του DNA. Τα εισερχόμενα νουκλεοτίδια βρίσκονται υπό μορφή τριφωσφορικών ριβονουκλεοσιδίων ATP, UTP, CTP και GTP). Η υδρόλυση τους παρέχει την ενέργεια για την αντίδραση του πολυμερισμού (βλ. Εικόνα 6-10).

Διαφορές μεταξύ RNA πολυμεράση και DNA πολυμεράση

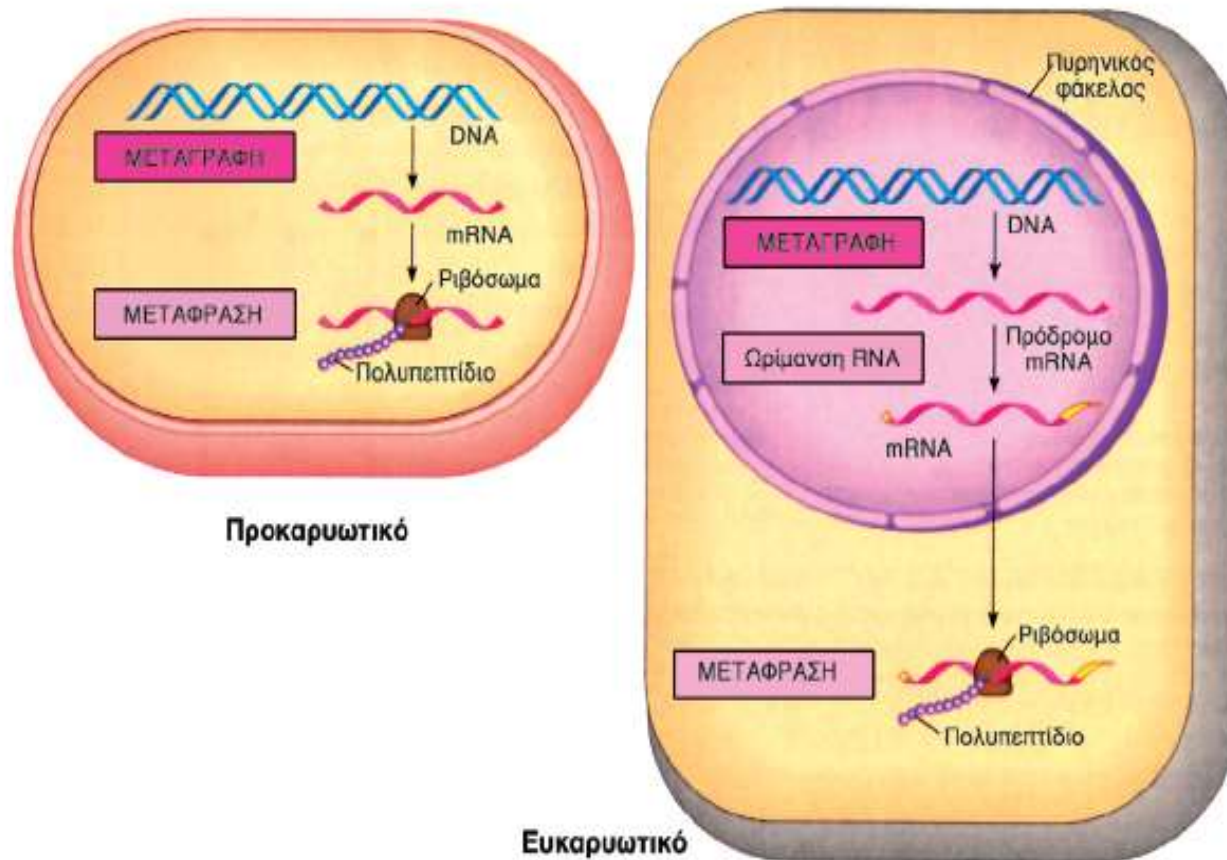
1. RNA πολυμεράση καταλύει τη σύνθεση ριβονουκλεοτιδίων
2. Οι RNA πολυμεράσες μπορούν να αρχίσουν μία αλυσίδα RNA χωρίς να χρειάζονται εκκινητή.

Διαφορετικά είδη RNA

- ❑ Τα μόρια του RNA που μεταγράφονται από τα γονίδια στο DNA των κυττάρων (τα οποία τελικά κατευθύνουν τη σύνθεση των πρωτεϊνών) ονομάζονται **αγγελιοφόρα RNA**. (**messenger RNA, mRNA**)
- ❑ Το **ριβωσωματικό RNA** (**ribosomal RNA, rRNA**) σχηματίζει το κέντρο των ριβωσώματων, πάνω στα οποία πραγματοποιείται η μετάφραση του mRNA σε πρωτεΐνη.
- ❑ Το **μεταφορικό RNA** (**transfer RNA, tRNA**) σχηματίζει τους συναρμολογητές που επιλέγουν τα αμινοξέα και τα συγκρατούν στην κατάλληλη θέση πάνω στο ριβωσώματιο για να ενσωματωθούν σε πρωτεΐνη.
- ❑ **microRNA (miRNA)** λειτουργούν ως ρυθμιστές της έκφρασης γονιδίων στους ευκαρυώτες.
- ❑ **Άλλα μικρά μόρια RNA**: χρησιμοποιούνται στη συρραφή, στη συντήρηση των τελομερών και σε άλλες διεργασίες του κυττάρου.

-
- Η έναρξη της μεταγραφής έχει μεγάλη σημασία.
 - Για να αρχίσει η μεταγραφή, η RNA πολυμεράση πρέπει να αναγνωρίσει την αφετηρία ενός γονιδίου και να προσδεθεί ισχυρά στη συγκεκριμένη περιοχή.

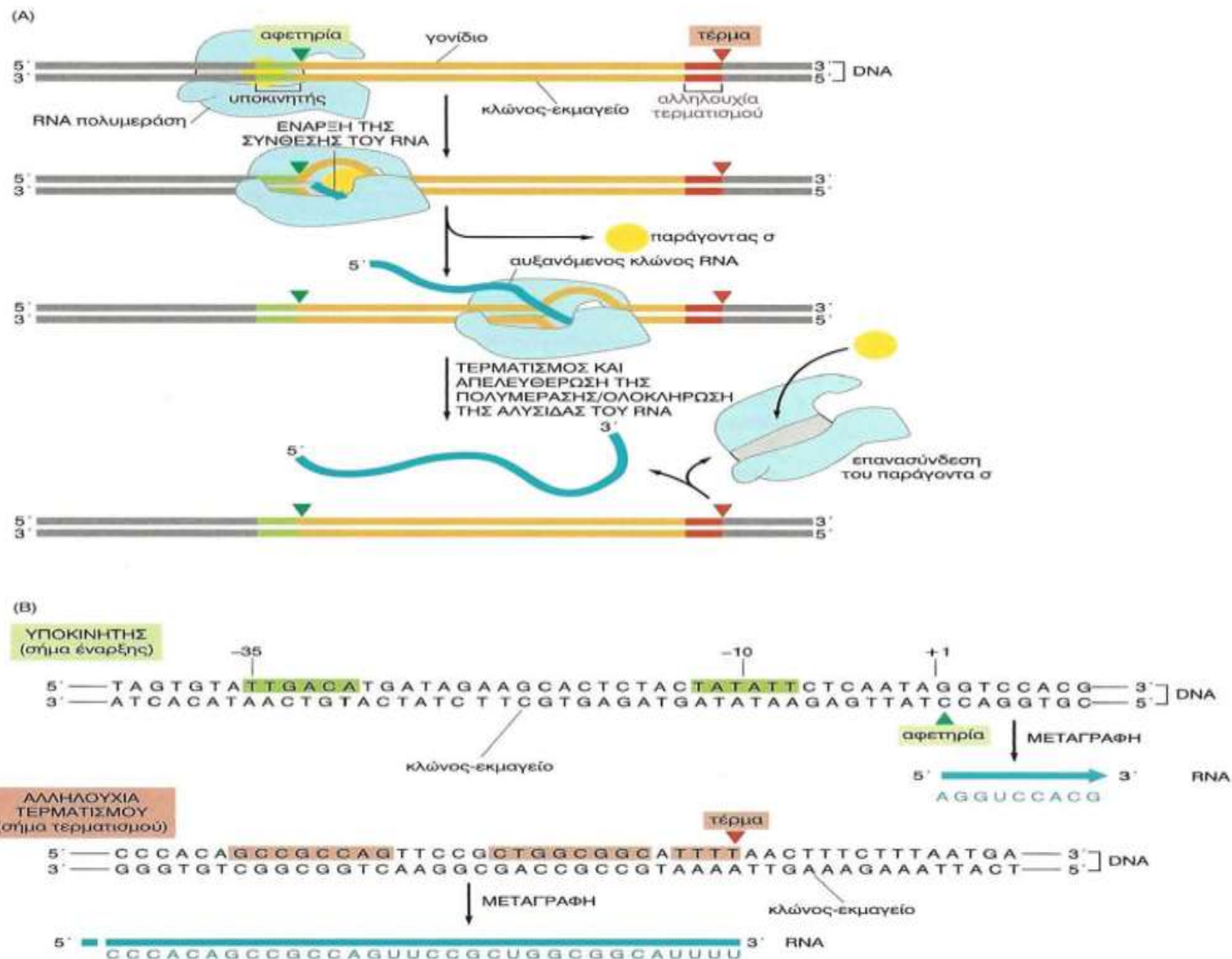
Προκαρυώτες vs Ευκαρυώτες



Εικ. 14.15 Η μετάφραση του mRNA και η παραγωγή πολυπεπτιδίου σε προκαρυωτικό και ευκαρυωτικό κύτταρο.

Προκαρυώτες vs Ευκαρυώτες

- RNA polymerase → αναγνωρίζει τον υποκινητή → προσδένεται ισχυρά στο DNA.
- Η RNA πολυμεράση ανοίγει την περιοχή της διπλής έλικας που βρίσκεται ακριβώς μπροστά της.
- Ο ένας από τους δύο εκτεθειμένους κλώνους του DNA δρα ως εκμαγείο για να σχηματιστούν συμπληρωματικά ζεύγη βάσεων με τα εισερχόμενα ριβονουκλεοτίδια.
- Η αλυσίδα επιμηκώνεται έως ότου συναντήσει ένα 2^ο σήμα πάνω στο DNA την αλληλουχία τερματισμού, οπότε σταματά και απελευθερώνει τόσο το DNA όσο και τη νεοσυντεθειμένη αλυσίδα του RNA.
- Υπομονάδα βακτηριακής πολυμεράσης – παράγοντας σίγμα (σ) (sigma factor)
- Γενικοί μεταγραφικοί παράγοντες (TFIID, TFIIF)
- 1. Τοποθετούν κατάλληλα την RNA πολυμεράση.
- 2. Ανοίγουν την διπλή έλικα του DNA ώστε να εκτεθεί η έλικα που θα χρησιμοποιηθεί ως εκμαγείο.
- 3. Τελικά απελευθερώνουν την RNA πολυμεράση για να ξεκινήσει η μεταγραφή.
- TATA box
- Σύμπλοκο έναρξης της μεταγραφής



Εικόνα 7-9. Η μεταγραφή ενός βακτηριακού γονιδίου από την RNA πολυμεράση. (Α) Παραγωγή ενός μορίου RNA στα βακτήρια. Η βακτηριακή RNA πολυμεράση (ανοιχτό γαλάζιο) περιέχει μια υπομονάδα που αποκαλείται παράγοντας σίγμα (κίτρινο) και αναγνωρίζει τον υποκινητή (πράσινο) πάνω στο DNA. Μόλις αρχίσει η μεταγραφή, ο παράγοντας σίγμα απομακρύνεται και η πολυμεράση συνεχίζει να μεταγράφει το RNA από μόνη της. Η αλυσίδα του RNA επιμηκύνεται έως ότου η πολυμεράση συναντήσει ένα σήμα τερματισμού (κόκκινο) πάνω στο DNA. Εκεί το ένζυμο σταματά και απελευθερώνει το DNA εκμαγείο και το νεοσυντεθειμένο μετάγραφο. Στη συνέχεια, η πολυμεράση συνδέεται μ' έναν ελεύθερο παράγοντα σίγμα και αναζητά έναν άλλο υποκινητή για να ξαναπιάσει δουλειά. Οι περιοχές που σκιαζονται με πράσινο χρώμα στο πάνω μέρος του διαγράμματος (Β) αντιπροσωπεύουν τις αλληλουχίες του DNA που είναι απαραίτητες για τη δημιουργία του υποκινητή. Οι αριθμοί αναφέρονται στις θέσεις των νουκλεοτιδίων, αρχίζοντας από το πρώτο νουκλεοτίδιο που μεταγράφεται, το οποίο ορίζεται ως +1. Οι περιοχές που σκιαζονται με κόκκινο χρώμα στο κάτω μέρος του διαγράμματος (Β) αντιπροσωπεύουν τις αλληλουχίες που σηματοδοτούν στην RNA πολυμεράση να σταματήσει τη μεταγραφή.

Διαφορές στη μεταγραφή

Προκαρυώτες vs Ευκαρυώτες

- ❑ Τα βακτήρια έχουν μόνο ένα είδος πολυμεράσης. Οι ευκαρυωτικοί οργανισμοί έχουν τρία είδη.
- ❑ Η βακτηριακή RNA πολυμεράση (μαζί με τον παράγοντα σ), μπορεί να ξεκινήσει τη μεταγραφή από μόνη της, οι RNA πολυμεράσες των ευκαρυωτών χρειάζονται τη βοήθεια πολλών βοηθητικών πρωτεϊνών – γενικούς μεταγραφικούς παράγοντες.
- ❑ Περίπλοκοι μηχανισμοί έναρξης στους ευκαρυώτες.
- ❑ Κατά την έναρξη της μεταγραφής στους ευκαρυώτες πρέπει να επιλυθεί το ζήτημα της συσκευασίας του DNA σε νουκλεοσωμάτια και πιο συμπαγείς δομές χρωματίνης.

Διαφορές στη μεταγραφή

Προκαρυώτες vs Ευκαρυώτες

- Στους ευκαρυώτες, όλα τα πρωταρχικά mRNA υφίστανται ωρίμανση.
- Στους ευκαρυώτες, η σύνθεση mRNA γίνεται στον πυρήνα και η μετάφρασή του στο κυτταρόπλασμα. Το βακτηριακό DNA είναι άμεσα εκτεθειμένο στο κυτταρόπλασμα.
- Στους ευκαρυώτες, ο χρόνος ημιζωής του mRNA μετράται σε ώρες ενώ στους προκαρυώτες μετράται σε λεπτά.
- Στα βακτήρια, ομάδα γειτονικών γονιδίων μεταγράφεται σε ενιαίο RNA που περιέχει πληροφορίες για αρκετές πολυπεπτιδικές αλυσίδες. Στους ευκαρυώτες, κάθε μόριο RNA φέρει πληροφορίες για μόνο μία πολυπεπτιδική αλυσίδα.

Διαφορές στη μεταγραφή

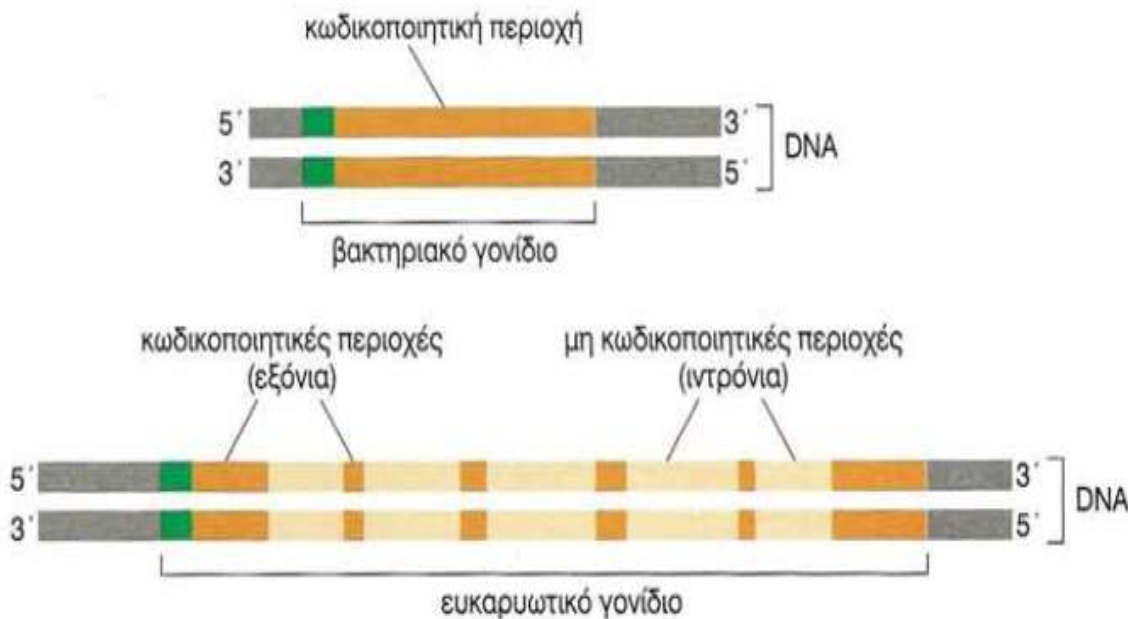
Προκαρυώτες vs Ευκαρυώτες

- Στα βακτήρια, τα γονίδια βρίσκονται κοντά το ένα στο άλλο. Ανάμεσά τους υπάρχουν πολύ μικρά μη μεταγραφόμενα τμήματα.

Στα ευκαρυωτικά γονίδια, οι κωδικοποιητικές αλληλουχίες (εξόνια) διακόπτονται από άλλες μη κωδικοποιητικές (ιντρόνια).

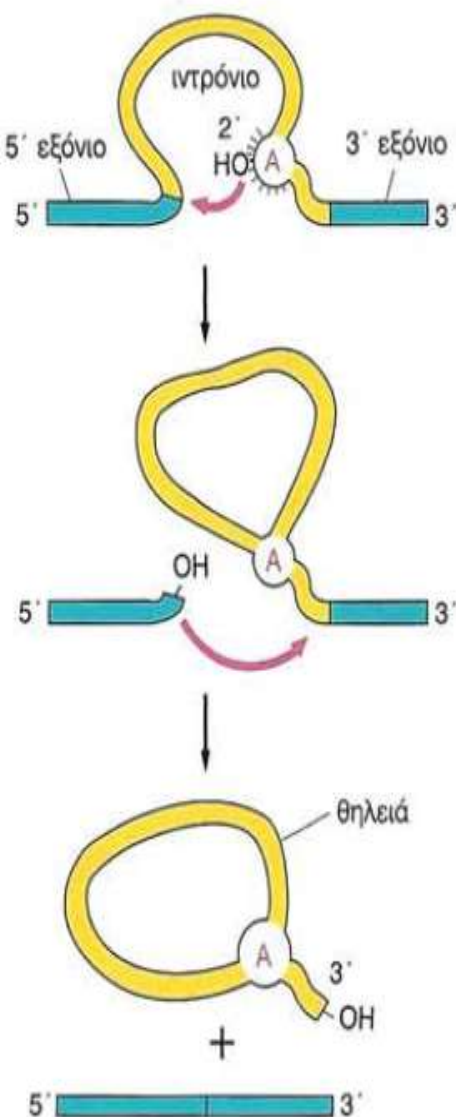
- Διαφέρει ο τρόπος πρόσδεσης της RNA πολυμεράσης στην αφετηρία μεταγραφής προκαρυωτικών και ευκαρυωτικών κυττάρων.

Βακτηριακό vs Ευκαρυωτικό Γονίδιο

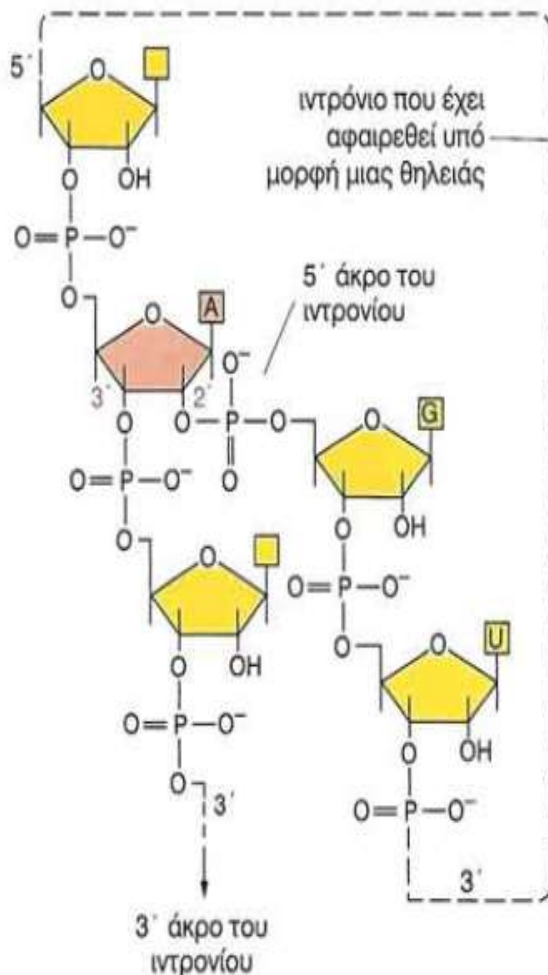


Εικόνα 7-13. Σύγκριση ενός βακτηριακού με ένα ευκαρυωτικό γονίδιο. Το βακτηριακό γονίδιο αποτελείται από ένα ενιαίο τμήμα συνεχούς αλληλουχίας νουκλεοτιδίων που κωδικοποιεί την αλληλουχία των αμινοξέων μιας πρωτεΐνης. Αντίθετα, οι κωδικοποιητικές αλληλουχίες των περισσότερων ευκαρυωτικών γονιδίων (εξόνια) διακόπτονται από μη κωδικοποιητικές αλληλουχίες (ιντρόνια). Οι υποκινητές για τη μεταγραφή επισημαίνονται με πράσινο χρώμα.

(A)



(B)

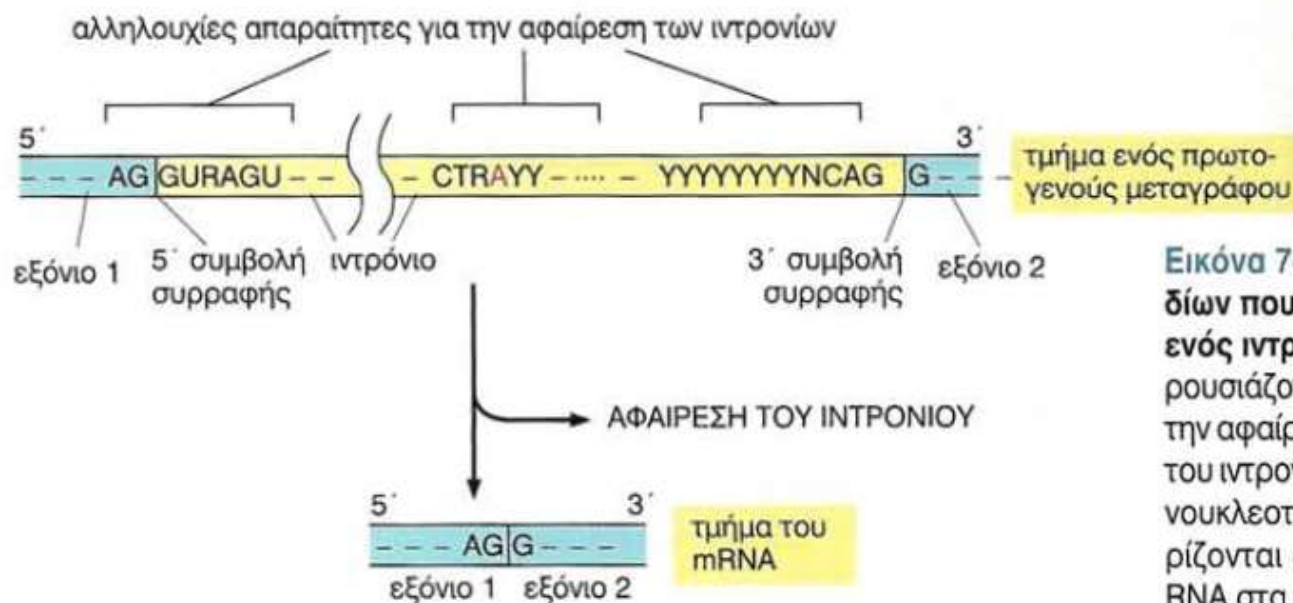


Εικόνα 7-16. Η δομή της διακλαδισμένης αλυσίδας του RNA που σχηματίζεται κατά τη διάρκεια της συρραφής. (A) Στο πρώτο βήμα ένα νουκλεοτίδιο αδενίνης (κόκκινο) στην αλληλουχία του ιντρονίου «επιτίθεται» στην 5' θέση συρραφής και κόβει τον σακχαροφωσφορικό σκελετό του RNA σε αυτή τη θέση. Πρόκειται για την ίδια αδενίνη που επισημάνθηκε στην Εικόνα 7-15. Το κομμένο 5' άκρο του ιντρονίου συνδέεται ομοιοπολικά με το νουκλεοτίδιο της αδενίνης. Έτσι στο μόριο του RNA σχηματίζεται ένας βρόχος ή, όπως λέγεται αλλιώς, μια θηλειά. Στη συνέχεια, το ελεύθερο 3'-OH άκρο του πρώτου εξονίου αντιδρά με την αρχή του δεύτερου εξονίου και κόβει το ιντρόνιο στο 3' άκρο του ενώ ταυτόχρονα συνδέει τα δύο εξόνια. Το αποτέλεσμα αυτών των αντιδράσεων συρραφής είναι ότι οι αλληλουχίες των δύο εξονίων ενώνονται σε μια συνεχή κωδικοποιητική αλληλουχία, ενώ το λάσο που περιέχει το ιντρόνιο απελευθερώνεται και τελικά αποδομείται. (B) Λεπτομερής απόδοση της δομής του λάσου. Το κομμένο 5' άκρο του ιντρονίου συνδέεται με την 2'-OH ομάδα της ριβόζης του νουκλεοτιδίου A στο σημείο διακλάδωσης.

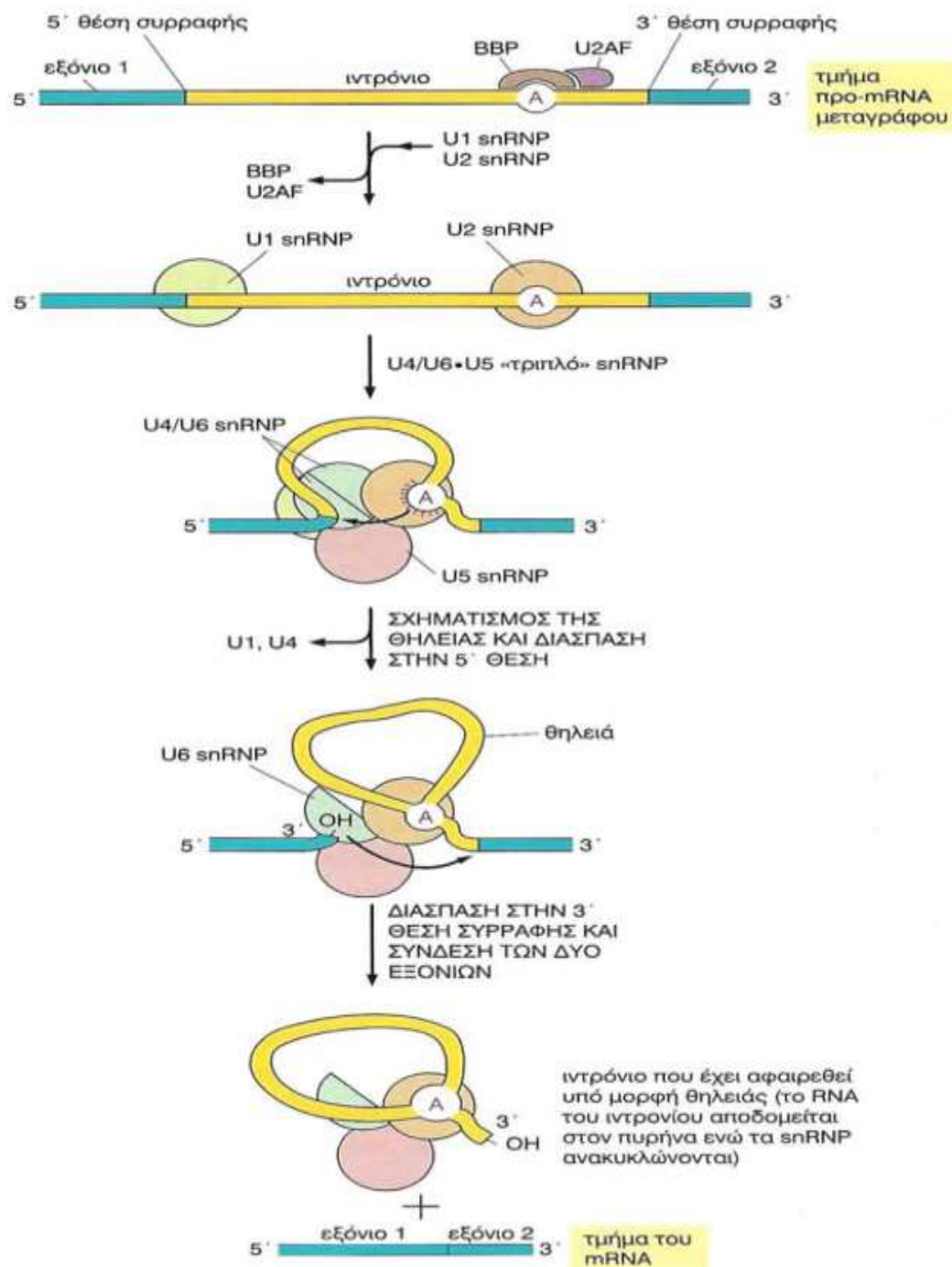
Κατά τη μεταγραφή τους στον πυρήνα, τα μόρια RNA των ευκαρυωτών υφίστανται ταυτόχρονα και επεξεργασία.

Είδη επεξεργασίας στα οποία υποβάλλονται τα μετάγραφα που προορίζονται να γίνουν μόρια mRNA:

1. Ο σχηματισμός της καλύπτρας του RNA (RNA capping)
2. Η πολυαδενοσύλιωση (polyadenylation)
3. Συρραφή



Εικόνα 7-15. Οι αλληλουχίες των νουκλεοτιδίων που σημαδεύουν την αρχή και το τέλος ενός ιντρονίου. Οι τρεις αλληλουχίες που παρουσιάζονται στην εικόνα είναι απαραίτητες για την αφαίρεση ενός ιντρονίου. Στις άλλες θέσεις του ιντρονίου μπορεί να βρίσκεται οποιοδήποτε νουκλεοτίδιο. Οι ειδικές αλληλουχίες αναγνωρίζονται από snRNPs, τα οποία διασπούν το RNA στα όρια ιντρονίου-εξονίου και διασυνδέουν ομοιοπολικά τα εξόνια. Στην εικόνα A, G, U και C είναι τα συνήθη νουκλεοτίδια του RNA. R = A ή G, Y = C ή U. Το νουκλεοτίδιο A που τονίζεται με κόκκινο χρώμα σχηματίζει το σημείο διακλάδωσης του λάσσου που παράγεται κατά την αντίδραση της συρραφής (βλ. Εικόνα 7-16) και συνήθως εντοπίζεται περίπου 30 νουκλεοτίδια πριν από το 3' άκρο του ιντρονίου. Το μήκος του RNA μεταξύ των τριών αλληλουχιών συρραφής είναι πολύ μεταβλητό. Ωστόσο, η απόσταση μεταξύ του σημείου διακλάδωσης και της 3' συμβολής συρραφής συνήθως είναι πολύ μικρότερη από την αντίστοιχη απόσταση μεταξύ της 5' συμβολής συρραφής και του σημείου διακλάδωσης. Οι αλληλουχίες συρραφής της εικόνας αφορούν σε ανθρώπινα γονίδια. Άλλοι ευκαρυώτες έχουν παρόμοιες αλληλουχίες που κατευθύνουν τη συρραφή.

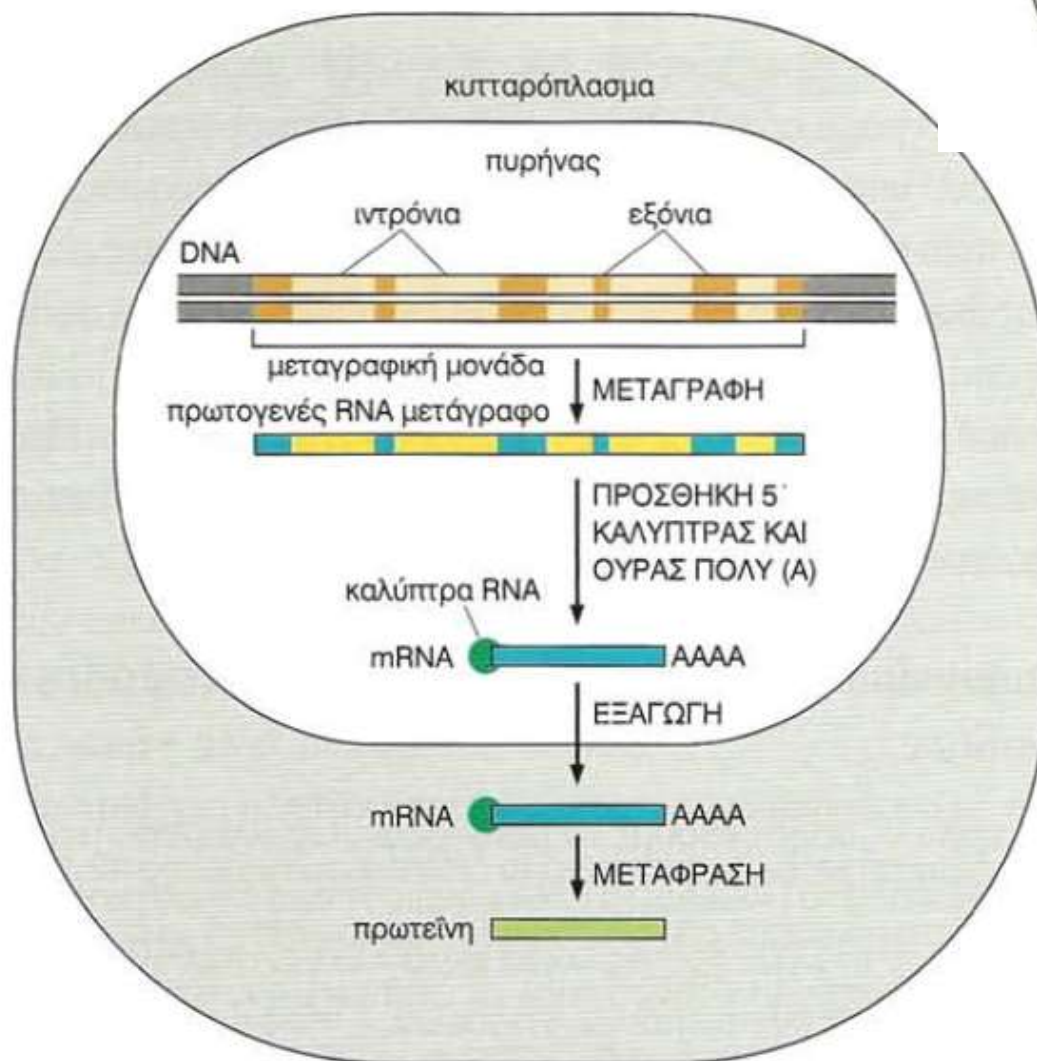


Εικόνα 7-17. Η συρραφή του RNA καταλύεται από ένα συνάθροισμα σωματιδίων snRNP (φαίνονται ως έγχρωμοι κύκλοι) και άλλων πρωτεϊνών (δεν φαίνονται στην εικόνα). Το σωματίδιο συρραφής αναγνωρίζει τα σημεία συρραφής πάνω σ' ένα μόριο προ-mRNA, φέρνει κοντά τα δύο άκρα του ιντρονίου και καταλύει τις δύο αντιδράσεις. Το σημείο διακλάδωσης πρώτα αναγνωρίζεται από την πρωτεΐνη BBP (πρωτεΐνη σύνδεσης με το σημείο διακλάδωσης) και την επικουρική πρωτεΐνη U2AF. Στα επόμενα βήματα, το U2 snRNP εκτοπίζει τις πρωτεΐνες BBP και U2AF και σχηματίζει ζεύγη βάσεων με τη συναινετική αλληλουχία στο σημείο διακλάδωσης, ενώ το U1 snRNP σχηματίζει ζεύγη βάσεων με την 5' συμβολή συρραφής. Σε αυτό το σημείο, το «τριπλό», U4/U6•U5 snRNP εισέρχεται στο σωματίδιο συρραφής. Στο τριπλό snRNP, τα U4 και U6 snRNA συγκρατούνται σφιχτά με σχηματισμό ζευγών βάσεων, ενώ το U5 snRNP συνδέεται πιο χαλαρά. Στη συνέχεια συμβαίνουν αρκετές αναδιατάξεις RNA-RNA που διαχωρίζουν τα ζεύγη βάσεων U4/U6 και προσδίδουν στο U6 snRNP τη δυνατότητα να εκτοπίσει το U1 από την 5' θέση συρραφής. Επακόλουθες αναδιατάξεις δημιουργούν το ενεργό κέντρο του σωματιδίου συρραφής και τοποθετούν στη σωστή θέση τα κατάλληλα τμήματα του προ-mRNA ώστε να συμβεί η αντίδραση της συρραφής. Η A με το κόκκινο χρώμα είναι η ίδια που επισημάνθηκε στις Εικόνες 7-15 και 7-16.

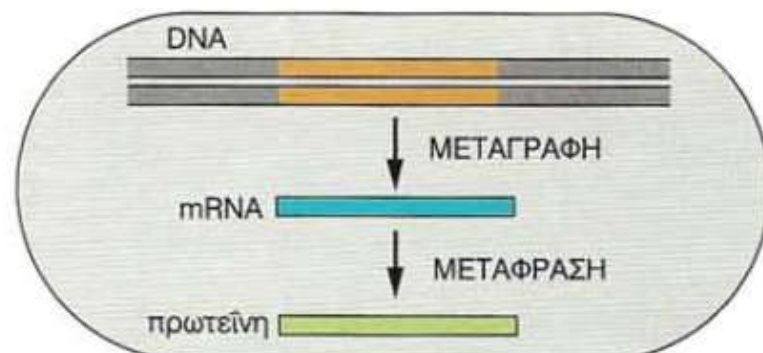
Παραγωγή ενός mRNA στα ευκαρυωτικά κύτταρα

- Ολόκληρο το γονίδιο, συμπεριλαμβανομένων των ιντρονίων και των εξονίων, πρώτα μεταγράφεται σε ένα μόριο RNA.
- Μετά το σχηματισμό της καλύπτρας και καθώς το RNA μεταγράφεται, όλα τα ιντρόνια αφαιρούνται ενώ τα εξόνια συνδέονται μεταξύ τους.
- Τελικά κάθε μετάγραφο αποκτά μια ουρά πολυ(A).
- Το RNA είναι πλέον ένα λειτουργικό μόριο RNA, το οποίο μπορεί να εγκαταλείψει τον πυρήνα.

(A) ΕΥΚΑΡΥΩΤΕΣ



(B) ΠΡΟΚΑΡΥΩΤΕΣ



Εικόνα 7-20. Οι προκαρυώτες και οι ευκαρυώτες διαχειρίζονται τα RNA μετάγραφο τους κάπως διαφορετικά. (Α) Στα ευκαρυωτικά κύτταρα, το αρχικό μόριο του RNA που παράγεται από τη μεταγραφή (το πρωτογενές μετάγραφο) περιέχει ιντρόνια και εξόνια. Στη συνέχεια, τα δύο άκρα του τροποποιούνται και τα ιντρόνια αφαιρούνται με μια ενζυμικά καταλυόμενη αντίδραση συρραφής. Από τις μετατροπές αυτές παράγεται mRNA, το οποίο κατόπιν μεταφέρεται από τον πυρήνα στο κυτταρόπλασμα όπου μεταφράζεται σε πρωτεΐνη. Μολονότι στο σχεδιάγραμμα αυτό τα ξεχωριστά βήματα φαίνεται να συμβαίνουν το ένα μετά το άλλο σε μια ακολουθία, στην πραγματικότητα συχνά εξελίσσονται ταυτόχρονα. Τόσο η προσθήκη της καλύπτρας όσο και η συρραφή συνήθως αρχίζουν προτού ολοκληρωθεί η σύνθεση του πρωτογενούς μεταγράφου. Εξαιτίας αυτής της σύζευξης, πλήρη πρωτογενή μετάγραφα συνήθως δεν υπάρχουν στο κύτταρο. (Β) Στους προκαρυώτες, η παραγωγή μορίων mRNA είναι απλούστερη. Το 5' άκρο ενός μορίου mRNA παράγεται κατά την έναρξη της μεταγραφής από την RNA πολυμεράση και το 3' άκρο του κατά τον τερματισμό της μεταγραφής. Επειδή τα προκαρυωτικά κύτταρα δεν διαθέτουν πυρήνα, η μεταγραφή και η μετάφραση εξελίσσονται στο ίδιο κοινό διαμέρισμα. Στην πραγματικότητα, η μετάφραση ενός βακτηριακού mRNA συχνά αρχίζει πριν καν ολοκληρωθεί η σύνθεσή του. Το τελικό επίπεδο μιας πρωτεΐνης στο κύτταρο εξαρτάται από την αποτελεσματικότητα του κάθε βήματος και από την ταχύτητα αποδόμησης των μορίων του RNA και της πρωτεΐνης.

Βιβλιογραφία

- Alberts et.al. **Βασικές Αρχές Κυτταρικής Βιολογίας.** Εκδόσεις Π.Χ. Πασχαλίδης
- Cooper GM και Hausman RE. **Το κύτταρο: Μία Μοριακή Προσέγγιση.** Ακαδημαϊκές Εκδόσεις Ι.Μπάσδρα και ΣΙΑ Ο.Ε.