

Ερωτήσεις για την προέλευση της ζωής

Μέρος 1ο

Άρθρο, Ιούλιος 2003

Όταν σχηματίστηκε η Γη, περίπου 4,54 δισεκατομμύρια χρόνια πριν, ήταν μια άψυχη, αφιλόξενη θέση για τη ζωή. Κι ένα δισεκατομμύριο χρόνια μετά υπήρχαν προηγμένες μορφές της ζωής πάνω στη Γη, οργανισμοί που έμοιαζαν με τα γαλαζοπράσινα άλγη.

Σε βράχους αυτής της εποχής, έχουν βρεθεί «αποτυπώματα» κυανό-βακτηριδίων, τους πιο εξελιγμένους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς που είναι μέχρι και σήμερα παρόντες στη Γη. Επίσης αποθέσεις άνθρακα πλούσιους στο ελαφρύτερο ισότοπο C-12 —ένα σημάδι βιολογικής αφομοίωσης— επιβεβαιώνουν την ύπαρξη της ζωής σε ακόμα παλαιότερη ηλικία. Αφ' ετέρου, θεωρείται ότι ο νέος πλανήτης, που βρισκόταν κάτω από την επίδραση των ηφαιστειακών εκρήξεων αλλά που κτυπιόταν ανελέητα και κομήτες και αστεροειδείς, παρέμεινε αφιλόξενος στους οργανισμούς για περίπου μισό δισεκατομμύριο χρόνια μετά από το σχηματισμό του, περίπου 4.54 δισ. χρόνια πριν. Αυτό αφήνει ένα παράθυρο ίσως και 200-300 εκατομμύρια χρόνια για την εμφάνιση της ζωής πάνω στη Γη.

Πώς όμως σχηματίστηκαν; Πώς, εν ολίγοις, άρχισε η ζωή;

Αυτή η ερώτηση, που χιλιάδες χρόνια βασανίζει τους ανθρώπους συνεχίζει να δημιουργεί συναρπαστικές υποθέσεις και έξυπνα πειράματα, πολλές από τις οποίες στρέφονται στην εξής πιθανότητα. Η εμφάνιση της ζωής μπορεί να οφείλεται στο αυτό-αντιγραφικό μακρομόριο RNA, που η εμφάνισή του στη Γη ήταν ο κρίσιμος και ο θεμελιώδης κρίκος στο δρόμο για τη ζωή. Πώς όμως δημιουργήθηκε αυτό το RNA, παραμένει άγνωστο.

Πότε ξεκίνησε η ζωή;

Από τα απολιθώματα των οργανισμών που υπήρχαν πάνω στη Γη υπάρχουν αποδείξεις ότι η ζωή έχει ηλικία τουλάχιστον 3.5 δισεκατομμυρίων χρόνων και ίσως και 3.8 δισ. χρόνων.

Η προέλευση της ζωής πρέπει λοιπόν να έχει εμφανιστεί νωρίτερα από αυτό το διάστημα, αλλά όμως όχι και πολύ νωρίτερα, γιατί τα πρώτα-πρώτα εκατό εκατομμύρια χρόνια της γήινης ιστορίας ο πλανήτης δεχόταν καθημερινά έναν έντονο βομβαρδισμό συντριμμίων, που είχαν μείνει ελεύθερα από την εποχή του σχηματισμού του ηλιακού συστήματος. Οι μεγαλύτερες τότε συγκρούσεις με αντικείμενα από το διάστημα ή οι πτώσεις μετεωριτών κλπ, θα είχαν εξαφανίσει πιθανώς την οποιαδήποτε μορφή ζωής, που θα υπήρχε την εποχή εκείνη πάνω στη Γη.

Δεδομένου ότι η Γη έχει ηλικία περίπου 4.5 δισεκατομμύρια χρόνια, ο πλέον πιθανός χρόνος για το ξεκίνημα της ζωής δείχνει έτσι να είναι μεταξύ των 4 και 3.8 δισεκατομμυρίων ετών πριν από τη σημερινή εποχή.



Πού όμως έγινε;

Μια τρέχουσα δημοφιλής θεωρία για τις τοποθεσίες στις οποίες ξεκίνησε η ζωή είναι οι βαθύς υδροθερμικοί αεραγωγοί μέσα στη θάλασσα. Αυτή η πρόταση ξεκίνησε όταν ανακαλύφθηκαν μεγάλα οικοσυστήματα γύρω από αυτούς τους υδροθερμικούς αεραγωγούς, την ανακάλυψη ότι υπέρ-θερμό-φιλικό οργανισμοί φαίνονται να είναι μεταξύ των αρχαιότερων κλάδων του δέντρου της ζωής, και το γεγονός ότι τέτοιες θέσεις θα παρείχαν την απαραίτητη χημεία και μια έτοιμη πηγή ενέργειας. Μια τοποθεσία βαθιά μέσα στη θάλασσα, επίσης, θα πρόσφερε περισσότερη προστασία από το βαρύ βομβαρδισμό της επιφάνειας της Γης από το διάστημα. Όμως άλλοι επιστήμονες υποστηρίζουν ότι τέτοιες υψηλές θερμοκρασίες θα κατέστρεφαν σημαντικές χημικές ουσίες όπως το RNA, και ότι η προέλευση πρέπει να έχει εμφανιστεί σε πιο μέτριες θερμοκρασίες πλησιέστερα στην επιφάνεια.

Μήπως όμως η ζωή δεν ξεκίνησε στη Γη;

Μια άλλη δυνατότητα είναι ότι η ζωή δημιουργήθηκε σε έναν άλλο πλανήτη, ο Άρης είναι ο πλέον πιθανός, και μεταφέρθηκε στη Γη από τους μετεωρίτες. Έχουμε πολλά παραδείγματα Αρειανών μετεωριτών, και στην έντονη φάση του βομβαρδισμού η μεταφορά του υλικού μεταξύ των πλανητών θα είχε γίνει κάτι το συνηθισμένο. Δεν φαίνεται επίσης αδικαιολόγητο ότι οργανισμοί σαν τα βακτηρίδια θα μπορούσαν να έχουν επιζήσει αυτού του ταξιδιού πάνω σε μετεωρίτες.

Πώς όμως ξεκίνησε;

Ξέρουμε ότι όλες οι μορφές της ζωής μοιράζονται σήμερα μια κοινή χημική βάση, που βασίζεται στη χρήση του DNA για να μεταφέρει τις απαραίτητες γενετικές πληροφορίες στην επόμενη γενιά, στα πρωτεϊνικά ένζυμα για να ενεργήσουν ως καταλύτες και να καθοδηγήσουν τις σύνθετες χημικές διαδικασίες στα κύτταρα, σε ένα καθολικό γενετικό κώδικα που κάνει δυνατό στην ακολουθία του DNA να ορίζει λεπτομερώς μια πρωτεΐνη, και μια πρωτεϊνοσύνθεση που βασίζεται στο RNA. Αυτή η βασική δομή πρέπει να έχει κληρονομηθεί από ένα κοινό πρόγονο όλων των μορφών της ζωής. Αυτός ο κοινός πρόγονος που ήταν γνωστός επίσης ως LUCA (Last Universal Common Ancestor Τελευταίος Καθολικός Κοινός Πρόγονος) έζησε πριν δισεκατομμύρια χρόνια, αλλά νύξεις ή υπαινιγμοί ως προς τη φύση του μπορούν να αποκαλυφτούν μέσω της μοριακής φυλογένεσης - τη σύγκριση των ακολουθιών των γονιδίων για τον καθορισμό του δέντρου της ζωής - με το LUCA στις ρίζες του.

Ο Κόσμος του RNA

Για να καταλάβουμε πώς ξεκίνησε το DNA/πρωτεϊνική δομή του LUCA πρέπει να το αντιμετωπίσουμε σαν το πρόβλημα της κότας και του αυγού. Το DNA μπορεί να αντιγραφεί πιστά μόνο με τη βοήθεια των πρωτεϊνικών ενζύμων, αλλά αυτές οι πρωτεΐνες απαιτούν την ύπαρξη του DNA για να προσδιορίσουν τη δομή τους. Μια λύση σε αυτό το πρόβλημα προέρχεται από το RNA. Τα μόρια RNA μπορούν να αντιγραφούν και να μεταφέρουν πληροφορίες (όπως και το DNA) και να ενεργήσουν και ως καταλύτες (ribozymes) όπως οι πρωτεΐνες. Αυτή η ικανότητά τους, μαζί με τον τρέχοντα ρόλο του RNA στα πρωτόγονα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της χημείας των κυττάρων, μας φανερώνει ότι αρχικά το RNA θα μπορούσε να παρέχει και το γονιδίωμα και τους καταλύτες και αυτοί οι ρόλοι θα μπορούσαν στη συνέχεια να αναληφθούν από το DNA και τις πρωτεΐνες. Αυτό το στάδιο είναι γνωστό ως Κόσμος του RNA (RNA World).

Ο Κόσμος προ-RNA

Θα μπορούσε λοιπόν ένας τέτοιος Κόσμος του RNA να έχει δημιουργηθεί άμεσα με την τυχαία λειτουργία της προ-βιοτικής χημείας;

Αυτό όμως φαίνεται απίθανο - η κατασκευή των συστατικών του RNA και η συγκέντρωσή τους σε έναν βιώσιμο κόσμο RNA ικανό να φέρει την εξέλιξη, δεν είναι εύκολη υπόθεση.

Κατά συνέπεια πολλοί ερευνητές της Προέλευσης της Ζωής ερευνούν τώρα την πιθανότητα να υπάρχει κι ένας Κόσμος προ-RNA - ένα απλούστερο σύστημα στο οποίο έγινε χρήση μερικών άλλων γενετικών υλικών αντί για το RNA ή το DNA - στον οποίο θα μπορούσε να λειτουργήσει η εξέλιξη με τη βοήθεια της φυσικής επιλογής, αλλά που φαίνεται πιο φυσιολογικό να είναι προϊόντα της προ-βιοτικής χημείας.

Υπάρχουν πολλές προτάσεις για αυτόν τον Αρχέγονο Κόσμο του προ-RNA, που κυμαίνονται από τις απλούστερες παραλλαγές των RNA/DNA πεπτιδικών νουκλεϊνικών οξέων έως την πρόταση του Graham Cairns-Smith περί ανόργανων κρυστάλλων αργίλου.

Άλλοι επιστήμονες πιστεύουν ότι αντί να ψάχνουμε για μόρια αντιγραφής πρέπει να στρέψουμε την προσοχή μας στον πρώτο-μεταβολισμό - δίκτυα αντιδράσεων που μπορεί να είναι πρόδρομοι των σύνθετων μεταβολικών δρόμων των σύγχρονων κυττάρων.

Πηγή: <http://www.physics4u.gr/articles/2003/faqoflife1.html>

Μέρος 2ο

Από την ιστορία της έρευνας για την δημιουργία της ζωής

Πριν από τα μέσα του 17ου αιώνα, οι περισσότεροι άνθρωποι νόμιζαν ότι ο Θεός είχε δημιουργήσει μόνο τον άνθρωπο και τα μεγαλύτερα ζώα και ότι τα έντομα, οι βάτραχοι και άλλα μικρά πλάσματα θα μπορούσαν να προκύψουν αυθόρμητα στη λάσπη ή σε ένα υλικό αποσύνθεσης. Στους επόμενους δύο αιώνες, αυτές οι ιδέες εξετάστηκαν κριτικά και στα μέσα του 19ου αιώνα δύο σημαντικές επιστημονικές πρόοδοι έβαλαν σε συζήτηση το ζήτημα της προέλευσης της ζωής.

Από τη μία μεριά ήταν ο Louis Pasteur που απέρριψε την έννοια της αυθόρμητης παραγωγής. Πρόσφερε δε αποδείξεις ότι ακόμη και τα βακτηρίδια και οι άλλοι μικροοργανισμοί προκύπτουν από όμοιους πρόγονους. Με αυτόν τον τρόπο ξεκίνησε μια άλλη ενδιαφέρουσα και προκλητική συνάμα ερώτηση: Πώς όμως εμφανίστηκε η πρώτη γενιά του κάθε είδους πάνω στη Γη;

Η δεύτερη πρόοδος, η θεωρία της φυσικής επιλογής, πρότεινε σε αυτό το ζήτημα μια απάντηση. Σύμφωνα με αυτήν την πρόταση, που έγινε γνωστή από δύο ερευνητές, τους Charles Darwin και Alfred Russel Wallace, μερικές από τις διαφορές μεταξύ των ατόμων σε έναν πληθυσμό είναι κληρονομήσιμες. Όταν το περιβάλλον αλλάζει, τότε τα άτομα που φέρουν γνωρίσματα που παρέχουν καλύτερη προσαρμογή στο νέο περιβάλλον, συναντιούνται με πολύ μεγάλη αναπαραγωγική επιτυχία. Συνεπώς, η επόμενη γενεά περιέχει πολύ περισσότερα προσαρμοσμένα άτομα στο νέο περιβάλλον. Με άλλα λόγια, οι περιβαλλοντικές πιέσεις επιλέγουν τα προσαρμοστικά γνωρίσματα για τη διαίωνιση.

Η φυσική επιλογή, γενιά προς γενιά, θα μπορούσε έτσι να οδηγήσει στην εξέλιξη των απλών οργανισμών προς σύνθετους. Η θεωρία επομένως θεωρεί ότι όλες οι σημερινές μορφές της ζωής θα μπορούσαν να έχουν εξελιχθεί από έναν μοναδικό, απλό πρόγονο - έναν οργανισμό που τώρα αναφέρεται σαν ο "τελευταίος κοινός πρόγονος της ζωής". (Αυτή η μορφή της ζωής λέγεται ότι είναι η "τελευταία" κι όχι η "πρώτη" επειδή είναι ο κοντινότερος κοινός πρόγονος όλων των σύγχρονων οργανισμών. Οι πιο απόμακροι πρόγονοι πρέπει να έχουν εμφανιστεί πιο ενωρίς).

Ο Δαρβίνος, που ήταν ο πρώτος που έθεσε τις θρησκευτικές προκαταλήψεις της εποχής του στο περιθώριο, θεώρησε στην τελική παράγραφο του έργου του "Η προέλευση των ειδών", ότι ο "Δημιουργός" αρχικά φύσηξε τη ζωή "σε μερικές μορφές ή σε μία μόνο". Τότε ξεκίνησε η εξέλιξη: "Από μια τόσο απλή αρχή σχηματίστηκαν ατελείωτες μορφές ομορφότερες και πιο θαυμάσιες, με την εξέλιξη".

Στην ιδιωτική του αλληλογραφία, εντούτοις, πρότεινε ότι η ζωή θα μπορούσε να έχει προκύψει μέσω της χημείας, "σε κάποια θερμή μικρή λίμνη, με παρόντα όλα τα είδη της αμμωνίας και των φωσφορικών αλάτων, το φως, τη θερμότητα, την ηλεκτρική ενέργεια κλπ".

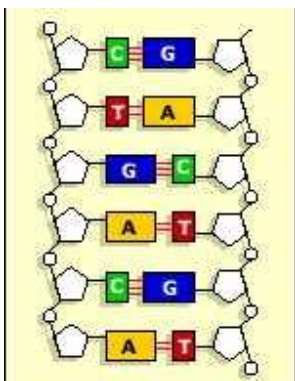
Σε ένα μεγάλο μέρος του 20ού αιώνα, η έρευνα της προέλευσης της ζωής στόχευε στη βελτίωση της υπόθεσης του Δαρβίνου - να διευκρινίσει πώς, χωρίς υπερφυσική επέμβαση, η αυθόρμητη αλληλεπίδραση των σχετικά απλών μορίων που διαλύθηκαν στις λίμνες ή τους ωκεανούς του προβιοτικού κόσμου θα μπορούσε να έχει παραγάγει τον τελευταίο κοινό πρόγονο της ζωής.

Η ανακάλυψη μιας λύσης σε αυτό το πρόβλημα απαιτεί να γνωρίζουμε κάτι για τα χαρακτηριστικά εκείνου του προγόνου. Προφανώς, έπρεπε να κατέχει γενετικές πληροφορίες - δηλαδή κληρονομήσιμες οδηγίες για τη λειτουργία και την αναπαραγωγή - και τα μέσα για να ξεδιπλωθούν και να πραγματοποιηθούν αυτές οι οδηγίες. Διαφορετικά δεν θα είχε αφήσει κανέναν απόγονο. Επίσης, το σύστημά του για την αναπαραγωγή του γενετικού υλικού του, έπρεπε να επιτρέπει κάποια τυχαία μεταβολή στα κληρονομήσιμα χαρακτηριστικά του απογόνου έτσι ώστε τα νέα γνωρίσματα να μπορούν να επιλεγούν και να οδηγήσουν στη δημιουργία των διαφορετικών ειδών.

Οι επιστήμονες έχουν επιτύχει ακριβέστερη διορατικότητα στο χαρακτήρα του τελευταίου κοινού προγόνου με τον προσδιορισμό των κοινών ιδιοτήτων στους σύγχρονους οργανισμούς. Κάποιος μπορεί σωστά να συμπεράνει ότι τα περίπλοκα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που βρίσκονται σε όλες τις σύγχρονες ποικιλίες της ζωής, εμφανίστηκαν επίσης και σε εκείνο τον κοινό πρόγονο. Γιατί η λογική λέει ότι είναι αδύνατο τέτοια καθολικά γνωρίσματα να έχουν εξελιχθεί χωριστά.

Μια εύκολα προφανής κοινή ιδιότητα είναι ότι όλα τα ζωντανά όντα αποτελούνται από παρόμοιες οργανικές ενώσεις (πλούσιες σε άνθρακα). Μια άλλη κοινή ιδιότητα είναι ότι οι πρωτεΐνες που υπάρχουν στους σημερινούς οργανισμούς διαμορφώνονται από ένα σύνολο 20 στάνταρ αμινοξέων. Αυτές οι πρωτεΐνες περιλαμβάνουν τα ένζυμα (οι βιολογικοί καταλύτες), που είναι ουσιαστικά υπεύθυνα για την ανάπτυξη, την επιβίωση και την αναπαραγωγή.

Ακόμη, οι σύγχρονοι οργανισμοί μεταφέρουν τις γενετικές πληροφορίες τους στα νουκλεϊνικά οξέα - RNA και DNA - και χρησιμοποιούν ουσιαστικά τον ίδιο γενετικό κώδικα. Αυτός ο κώδικας καθορίζει τις ακολουθίες των αμινοξέων σε όλες τις πρωτεΐνες, που χρειάζεται ο κάθε οργανισμός. Ακριβέστερα, οι οδηγίες λαμβάνουν τη μορφή συγκεκριμένων ακολουθιών νουκλεοτιδίων, των δομικών μονάδων των νουκλεϊνικών οξέων. Αυτά τα νουκλεοτίδια αποτελούνται από ένα σάκχαρο (τη δεσοξυ-ριβόζη στο DNA, και την απλή ριβόζη στο RNA), μια ομάδα φωσφορικού άλατος και μία από τέσσερις διαφορετικές αζωτούχες βάσεις. Στο DNA, οι βάσεις είναι η αδενίνη (A), η γουανίνη (G), η κυτοσίνη (C) και η θυμίνη (T). Στο RNA, η ουρακίλη (U) βρίσκεται στη θέση της θυμίνης. Οι βάσεις αποτελούν το αλφάβητο, και οι τριπλέτες (τριάδες) των βάσεων σχηματίζουν τις λέξεις. Για παράδειγμα, η τριπλέτα CUU στο RNA καθοδηγεί ένα κύτταρο να προσθέσει το αμινοξύ λευκίνη σε μια πρωτεΐνη.



Από τέτοια συμπεράσματα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι ο τελευταίος κοινός πρόγονός μας αποθήκευε τις γενετικές πληροφορίες του στα νουκλεϊκά οξέα που καθόριζαν τη σύσταση όλων των αναγκαίων πρωτεϊνών. Στηρίχθηκε επίσης στις πρωτεΐνες για να κατευθύνει πολλές από τις αντιδράσεις που απαιτήθηκαν για την αυτό-διαίωξη. Ως εκ τούτου, το κεντρικό πρόβλημα της έρευνας για την προέλευση της ζωής μπορεί να καθοριστεί στην εξής ερώτηση: Από ποια σειρά χημικών αντιδράσεων δημιουργήθηκε αυτό το αλληλοεξαρτώμενο σύστημα των νουκλεϊκών οξέων και των πρωτεϊνών;

Ο καθένας όμως που προσπαθεί να λύσει αυτόν τον γρίφο αντιμετωπίζει αμέσως ένα παράδοξο. Σήμερα τα νουκλεϊκά οξέα μπορούν να συντεθούν μόνο με τη βοήθεια των πρωτεϊνών, και οι πρωτεΐνες φτιάχνονται μόνο εάν υπάρχει η αντίστοιχη ακολουθία των νουκλεοτιδίων τους. Είναι εξαιρετικά απίθανο ότι οι πρωτεΐνες και τα νουκλεϊκά οξέα, που και τα δύο είναι δομικά σύνθετα, προέκυψαν αυθόρμητα στην ίδια θέση συγχρόνως. Ακόμα φαίνεται επίσης αδύνατο να υπάρξει το ένα χωρίς το άλλο. Και έτσι, με την πρώτη ματιά, πρέπει να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι η ζωή δεν θα μπορούσε ποτέ, στην πραγματικότητα, να έχει δημιουργηθεί με χημικά μέσα.

Προς το τέλος της δεκαετίας του '60 ο Carl R. Woese του Πανεπιστημίου του Ιλλινόις, ο Francis Crick, (νομπελίστας για την ανακάλυψη της έλικας του DNA) και η Leslie Orgel (που δούλευε στο Σαν Ντιέγκο) ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο πρότειναν μια διέξοδο αυτής της δυσκολίας. Πρότειναν ότι το RNA μπορεί να είχε έρθει πρώτα και να έχει φτιαχτεί αυτό που λέγεται σήμερα Κόσμος του RNA - ένας κόσμος στον οποίο το RNA έγινε καταλύτης σε όλες τις απαραίτητες αντιδράσεις για να επιζήσει ένας πρόδρομος του τελευταίου κοινού προγόνου της ζωής και να επαναδιπλωθεί. Επίσης οι τρεις επιστήμονες έθεσαν σαν προϋπόθεση ότι το RNA θα μπορούσε στη συνέχεια να έχει αναπτύξει την ικανότητα να συνδέσει τα αμινοξέα στις πρωτεΐνες. Αυτό το σενάριο θα μπορούσε να έχει εμφανιστεί, μόνο εάν το προ-βιοτικό RNA είχε δύο ιδιότητες που σήμερα δεν είναι εμφανείς: Μια ικανότητα να επαναδιπλωθεί χωρίς τη βοήθεια των πρωτεϊνών και μιας δεύτερης δυνατότητας να καταλύσει κάθε βήμα της πρωτεϊνικής σύνθεσης.

Υπήρχαν φυσικά κάποιοι λόγοι για τους οποίους θεωρούσαν το RNA πάνω από το DNA ως δημιουργό του γενετικού συστήματος, ακόμα κι αν το DNA είναι τώρα η κύρια γενετική αποθήκη των κληρονομικών πληροφοριών. Μια εκτίμηση ήταν ότι τα ριβονουκλεοτίδια στο RNA μπορούν να συντεθούν ευκολότερα από ότι τα δεσοξυριβονουκλεοτίδια στο DNA. Επιπλέον, ήταν πιο εύκολο να προβλεφθούν οι τρόποι που το DNA θα μπορούσε να εξελιχθεί από το RNA και έπειτα, όντας αυτό το DNA σταθερότερο, να αναλάβει το ρόλο του RNA ως φύλακας της κληρονομικότητας. Μάλιστα ένας άλλος λόγος που το RNA πρέπει να εμφανίστηκε πριν από τις πρωτεΐνες ήταν, γιατί δεν φαίνεται ότι οι πρωτεΐνες θα μπορούσαν να αντιγραφούν πιστά με την έλλειψη των νουκλεϊκών οξέων.

Τα τελευταία περίπου 20 χρόνια βρέθηκαν κι άλλες αποδείξεις ότι ο υποθετικός κόσμος RNA υπήρξε και οδήγησε στην εμφάνιση της ζωής την βασισμένη στο DNA, στο σημερινό RNA και τις πρωτεΐνες. Ειδικότερα, το 1983 ο Thomas R. Cech του Πανεπιστημίου του Κολοράντο στο Boulder και, ανεξάρτητα από αυτόν, ο Sidney Altman του Πανεπιστημίου Yale ανακάλυψαν τα πρώτα γνωστά ribozymes, ένζυμο φτιαγμένο από RNA. Μέχρι τότε, οι πρωτεΐνες θεωρούνταν ότι μπορούν να πραγματοποιήσουν όλες τις καταλυτικές αντιδράσεις στους σημερινούς οργανισμούς. Πράγματι, ο όρος "ένζυμο" συνήθως αναφέρεται για τις πρωτεΐνες. Εντούτοις, το γεγονός ότι αυτά συμπεριφέρθηκαν όπως τα ένζυμα προσθέτει βάρος στην ιδέα ότι το αρχαίο RNA επίσης πρέπει να ήταν καταλυτικό

Αναφορά: Leslie Orgel, η οποία είναι καθηγήτρια-ερευνήτρια στο Ινστιτούτο Βιολογικών σπουδών στο San Diego. Είναι επίσης ειδική στην Κοσμική Χημεία και συνεργάτης της NASA για θέματα που άπτονται της Αστροβιολογίας και της προέλευσης της Ζωής.

Πηγή: <http://www.physics4u.gr/articles/2003/faqoflife2.html>