

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### Η Ιστορία της Γενετικής Επανάστασης

Όπως ήταν φυσιολογικό για ένα πρωινό Σαββάτου, στις 28 Φεβρουαρίου 1953, πήγα να δουλέψω στο Εργαστήριο Κάβεντις του Πανεπιστημίου του Κέιμπριτζ νωρίτερα από τον Francis Crick. Είχα λόγους να βρίσκομαι εκεί νωρίς. Ήξερα ότι ήμαστε κοντά –αν και δεν είχα ιδέα πόσο κοντά– στο να διαλευκάνουμε τη δομή ενός, μέχρι τότε, λίγο γνωστού μορίου με την ονομασία δεσοξυριβονουκλεϊνικό οξύ: DNA. Αυτό δεν ήταν ένα οποιοδήποτε μόριο: το DNA, όπως ο Crick και εγώ εκτιμήσαμε, κατέχει το ίδιο το κλειδί για τη φύση των ζωντανών πραγμάτων. Αποθηκεύει τις κληρονομικές πληροφορίες που μεταδίδονται από τη μια γενιά στην επόμενη και ενορχοστρώνει τον απίστευτα πολύπλοκο κόσμο του κυττάρου. Κατανοώντας την τρισδιάστατη δομή του –την αρχιτεκτονική του μορίου– ελπίζαμε ότι θα έδινε μια καλύτερη ματιά σε αυτό που ο Crick αναφερόταν μισοαστεία ως «το μυστικό της ζωής».

Γνωρίζαμε ήδη ότι τα μόρια DNA αποτελούνται από πολλαπλά αντίγραφα μίας μοναδικής βασικής μονάδας, του νουκλεοτιδίου, η οποία εμφανίζεται σε τέσσερις μορφές: αδενίνη (A), θυμίνη (T), γουανίνη (G) και κυτοσίνη (C). Είχα περάσει το προηγούμενο απόγευμα κάνοντας μοντέλα από χαρτόνι αυτών των τεσσάρων συστατικών και τώρα, ανενόχλητος ένα ήσυχο σαββατιάτικο πρωινό, θα μπορούσα να ανακατέψω αυτά τα κομμάτια του τρισδιάστατου παζλ. Πώς θα ταίριαζαν όλα μαζί; Σύντομα συνειδητοποίησα ότι ένα απλό σχήμα αντιστοίχισης λειτουργούσε εξαιρετικά καλά: Ένα A ταίριαζε με ένα T και ένα G με ένα C. Αυτό ήταν; Μήπως το μόριο αποτελείται από δύο αλυσίδες που συνδέονται μεταξύ τους με ζεύγη από A-T και G-C; Ήταν τόσο απλό, τόσο κομψό, που σχεδόν έπρεπε να είναι σωστό. Αλλά είχα κάνει λάθη στο παρελθόν, και πριν ο ενθουσιασμός μου κορυφωθεί, το σχέδιο αντιστοίχισης θα έπρεπε να επιβιώσει από τον έλεγχο της κριτικής ματιάς του Crick. Ήταν μια αγωνιώδης αναμονή.

Αλλά δεν χρειαζόταν να ανησυχώ: ο Crick συνειδητοποίησε αμέσως ότι η ιδέα της σύζευξης υπονοούσε μια δομή διπλής έλικας, με τις δύο

μοριακές αλυσίδες να εξελίσσονται προς αντίθετες κατευθύνσεις. Όλα όσα γνωρίζαμε για το DNA και τις ιδιότητές του –για τα οποία είχαμε αγωνιστεί, καθώς προσπαθούσαμε να λύσουμε το πρόβλημα– έβγαζαν νόημα υπό το πρίσμα αυτών των απαλών συμπληρωματικών συστροφών. Ακόμα πιο σημαντικό, ο τρόπος με τον οποίο είχε οργανωθεί αυτό το μόριο, αμέσως πρότεινε λύσεις σε δύο από τα παλαιότερα μυστήρια της βιολογίας: πώς αποθηκεύονται οι κληρονομικές πληροφορίες και πώς αντιγράφονται. Παρ' όλα αυτά, ο κομπασμός του Crick στον «Αετό», την παμπ που τρώγαμε συνήθως μεσημεριανό, ότι ανακαλύψαμε πράγματι «το μυστικό της ζωής», μου φάνηκε σαν κάτι αδιάντροπο, ειδικά στην Αγγλία, όπου η μετριοφροσύνη είναι τρόπος ζωής.

Ο Crick, ωστόσο, είχε δίκιο. Η ανακάλυψή μας έθεσε τέλος σε μια συζήτηση τόσο παλιά όσο και το ανθρώπινο είδος: έχει η ζωή κάποια μαγική, μυστικιστική ουσία, ή είναι σαν οποιαδήποτε χημική αντίδραση που λαμβάνει χώρα με επιστημονική ακρίβεια, το προϊόν κανονικών φυσικών και χημικών διεργασιών; Υπάρχει κάτι θεϊκό στην καρδιά ενός κυττάρου που το φέρνει στη ζωή; Η διπλή έλικα απάντησε σε αυτή την ερώτηση με ένα οριστικό όχι.

Η θεωρία της εξέλιξης του Δαρβίνου, η οποία έδειξε πως ολόκληρη η ζωή είναι αλληλένδετη, ήταν μια σημαντική πρόοδος στην κατανόησή μας για τον κόσμο από υλιστική-φυσικοχημική άποψη. Οι ανακαλύψεις των βιολόγων Theodor Schwann και Louis Pasteur κατά το δεύτερο μισό του δέκατου ένατου αιώνα, ήταν επίσης ένα σημαντικό βήμα προς τα εμπρός. Το σάπιο κρέας δεν έφτιαξε εκ του μηδενός σκουλήκια, αλλά οι συγκεκριμένοι οργανισμοί προέκυψαν ως αποτέλεσμα γνωστών βιολογικών παραγόντων και διεργασιών – σε αυτή την περίπτωση, οι μύγες που αποθέτουν αυγά. Η ιδέα της αυτόματης γένεσης<sup>1</sup> είχε πλέον χάσει την αξιοπιστία της.

Παρά τις εξελίξεις αυτές, διάφορες μορφές βιταλισμού –η πεποίθηση ότι οι φυσικοχημικές διεργασίες δεν μπορούν να εξηγήσουν τη ζωή και τις διαδικασίες της– συνεχίστηκαν. Πολλοί βιολόγοι, απρόθυμοι να δεχτούν τη φυσική επιλογή ως τον μοναδικό καθοριστικό παράγοντα της τύχης των εξελικτικών γραμμών, επικαλέστηκαν μια ανεπαρκώς καθορισμένη πνευματική δύναμη, η οποία επιβλέπει τα πάντα, ώστε να προσαρμόζει κατάλληλα αυτές τις εξελικτικές γραμμές κατά περίπτωση. Οι φυσικοί, συνηθισμένοι να ασχολούνται με έναν απλό, κατακερματισμένο κόσμο –μερικά σωματίδια, λίγες δυνάμεις– βρέθηκαν να κοιτούν με απο-

<sup>1</sup> Γνωστή στους βιολόγους και ως αβιογένεση.

ρία την ακαταστασία που ξεπρόβαλλε μπροστά τους λόγω της εξαιρετικής πολυπλοκότητας της βιολογίας. Ίσως, όπως πρότειναν, οι διαδικασίες στην καρδιά του κυττάρου, εκείνες που διέπουν τα βασικά της ζωής, υπερβαίνουν τους γνωστούς νόμους της φυσικής και της χημείας.

Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο η διπλή έλικα ήταν τόσο σημαντική. Έφερε την επανάσταση του Διαφωτισμού της υλιστικής σκέψης στο κύτταρο. Το διανοητικό ταξίδι το οποίο είχε αρχίσει με τον Κοπέρνικο να εκτοπίζει τους ανθρώπους από το κέντρο του σύμπαντος και το οποίο συνέχισε με την επιμονή του Δαρβίνου, ότι οι άνθρωποι δεν είναι παρά τροποποιημένοι πίθηκοι, είχε τελικά επικεντρωθεί στην ίδια την ουσία της ζωής. Και δεν υπήρχε τίποτα ιδιαίτερο σε αυτό. Η διπλή έλικα είναι μια κομψή δομή, αλλά το μήνυμα είναι εντελώς πεζό: η ζωή είναι απλώς θέμα χημείας.

Ο Crick και εγώ κατανοήσαμε γρήγορα τη διανοητική σημασία της ανακάλυψής μας, αλλά δεν υπήρχε κανένας τρόπος να μπορούμε να προβλέψουμε την εκρηκτική επίδραση της διπλής έλικας στην επιστήμη και την κοινωνία. Κρυμμένο στις αρμονικές καμπύλες του μορίου ήταν το κλειδί για τη μοριακή βιολογία, μια νέα επιστήμη με εντυπωσιακή πρόοδο κατά τα επόμενα εξήντα τέσσερα χρόνια. Όχι μόνο έχει αποδώσει μια εκπληκτική σειρά γνώσεων σχετικά με τις θεμελιώδεις βιολογικές διεργασίες, αλλά τώρα πια παρουσιάζει έναν όλο και πιο βαθύ αντίκτυπο στην ιατρική, τη γεωργία και τη νομική επιστήμη. Το DNA δεν αποτελεί πλέον ζήτημα ενδιαφέροντος μόνο για επιστήμονες με λευκή ρόμπα σε κάποια σκοτεινά πανεπιστημιακά εργαστήρια— μας επηρεάζει όλους.

Μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1960, είχαμε επεξεργαστεί τη βασική μηχανική του κυττάρου και γνωρίζαμε πώς, μέσω του «γενετικού κώδικα», το αλφάβητο τεσσάρων γραμμάτων της αλληλουχίας του DNA μεταφράζεται σε ένα αλφάβητο από είκοσι γράμματα των πρωτεϊνών. Η επόμενη εκρηκτική ώθηση στην ανάπτυξη της νέας επιστήμης ήρθε στη δεκαετία του 1970 με την εισαγωγή τεχνικών για τη χειραγώγηση του DNA και την ανάγνωση της ακολουθίας των ζευγών από βάσεις. Δεν ήμασταν πλέον καταδικασμένοι να βλέπουμε τη φύση από το περιθώριο, αλλά μπορούσαμε, στην κυριολεξία, να μαστορέψουμε το DNA των ζώων οργανισμών και να διαβάσουμε το βασικό σενάριο της ζωής. Είχαν ανοίξει εξαιρετικοί νέοι επιστημονικοί ορίζοντες: Θα αντιμετωπίζαμε επιτέλους τις γενετικές ασθένειες, από την κυστική ίνωση μέχρι τον καρκίνο, θα φέρναμε επανάσταση στην ποινική δικαιοσύνη μέσω γενετικών μεθόδων ανάλυσης αποτυπωμάτων, θα αναθεωρούσαμε σε βάθος τις ιδέες

μας για την προέλευση του ανθρώπινου είδους –για το ποιοι είμαστε και από πού προερχόμαστε– χρησιμοποιώντας προσεγγίσεις DNA που έχει διατηρηθεί από την προϊστορία. Και θα μπορούσαμε να βελτιώσουμε τα σημαντικά γεωργικά είδη με μια αποτελεσματικότητα που προηγουμένως μόνο την είχαμε φαντασιωθεί.

Αλλά η κορύφωση των πρώτων πενήντα χρόνων της επανάστασης του DNA ήρθε τη Δευτέρα 26 Ιουνίου 2000, με την ανακοίνωση του τότε Αμερικανού Προέδρου Μπιλ Κλίντον για την ολοκλήρωση του προσχεδίου της αλληλούχησης του ανθρώπινου γονιδιώματος: «Σήμερα μαθαίνουμε τη γλώσσα στην οποία ο Θεός δημιούργησε τη ζωή... Με αυτή τη βαθιά νέα γνώση, η ανθρωπότητα βρίσκεται στα πρόθυρα να αποκτήσει τεράστια νέα δύναμη για να θεραπεύσει». Το Πρόγραμμα Γονιδιώματος άφησε εποχή στη μοριακή βιολογία: είχε γίνει «μεγάλη επιστήμη» με πολλά χρήματα και μεγάλα αποτελέσματα. Δεν ήταν μόνο ένα εξαιρετικό τεχνολογικό επίτευγμα –η ποσότητα πληροφοριών που εξήχθη από τα ανθρώπινα είκοσι τρία ζεύγη χρωμοσωμάτων είναι συγκλονιστική– αλλά ήταν επίσης ένα ορόσημο αναφορικά με την ιδέα μας για το τι είναι άνθρωπο. Είναι το DNA μας που διακρίνει εμάς απ’ όλα τα άλλα είδη και αυτό που μας κάνει τα δημιουργικά, συνειδητά, κυρίαρχα, καταστροφικά πλάσματα που είμαστε. Και εδώ, στην ολότητα του, ήταν μπροστά μας αυτό το σύνολο του DNA – το βιβλίο οδηγιών για τον άνθρωπο.

Το DNA έχει περάσει πολύ δρόμο από αυτό το πρωινό Σαββάτου στο Κέιμπριτζ. Εντούτοις, είναι επίσης σαφές ότι η επιστήμη της μοριακής βιολογίας –τι μπορεί να κάνει το DNA για εμάς– έχει ακόμα να διανύσει πολύ δρόμο. Ο καρκίνος εξακολουθεί να χρειάζεται θεραπεία. Πρέπει να αναπτυχθούν αποτελεσματικές γονιδιακές θεραπείες για γενετικές ασθένειες. Η γενετική μηχανική πρέπει ακόμα να συνειδητοποιήσει την εκπληκτική της δυνατότητα να βελτιώσει την τροφή μας. Όλα αυτά θα έρθουν. Τα πρώτα εξήντα χρόνια της επανάστασης του DNA έφεραν αξιοσημείωτη επιστημονική πρόοδο, καθώς και την αρχική εφαρμογή αυτής της προόδου στα ανθρώπινα προβλήματα. Το μέλλον θα έχει να καλύψει πολύ περισσότερα επιστημονικά βήματα, αλλά όλο και περισσότερο θα επικεντρωθεί στην ολοένα και μεγαλύτερη επίδραση του DNA στον τρόπο με τον οποίο ζούμε.