

Το παράδοξο του βιολογικού παραδείγματος

Μετατόπιση από την αμετατροπία προς τη μεταβλητότητα, την αστάθεια και την πολυπλοκότητα

1. Εισαγωγή

Κρίση του βιολογικού παραδείγματος

Ανάμεσα στις δεκαετίες 1930-1960, από τη σύγκλιση διαφορετικών βιολογικών κλάδων, όπως αυτών της βιοχημείας, της κλασικής γενετικής, της μικροβιολογίας και της ιολογίας, αναδύθηκε μια νέα βιολογική αντίληψη, που φιλοδοξούσε να ερμηνεύσει τα βιολογικά φαινόμενα μέσα από τις ιδιότητες των μακρομορίων που τα απαρτίζουν. Η νέα αυτή αντίληψη αποτέλεσε τα θεμέλια του «βιολογικού παραδείγματος» της *Μοριακής Βιολογίας*, που εδραιώθηκε στη δεκαετία του '60 και θεμελιώθηκε πάνω στις αφηρημένες οντότητες (των γονιδίων, της φυσικής επιλογής και της κυτταρικής θεωρίας), οι οποίες επινοήθηκαν κατά το 19ο αιώνα και απελευθέρωναν τον τομέα της βιολογίας από το βιταλισμό. Σε αυτό το παράδειγμα, η κληρονομικότητα περιγράφεται με τη γλώσσα των εννοιών που συνιστούν τα συστατικά του *γενετικού προγράμματος* [και οι οποίες εισήχθησαν στο χώρο αυτό χάρη στο ρόλο των φυσικών επιστημόνων που είχαν στρέψει το ενδιαφέρον τους προς τη βιολογία, όπως του Niels Bohr (1885-1962) και του Erwin Schrödinger (1887-1961)¹]:

- της πληροφορίας,
- των μηνυμάτων
- και του γενετικού κώδικα.

Οι βιολόγοι θεώρησαν ότι με την εισαγωγή αυτών των εννοιών θα γεφύρωναν την τυχαιότητα και την αιτιοκρατία σε μια ενιαία οντότητα και έτσι θα εξαφάνιζαν τις αντιφάσεις από τις αντιθέσεις που είχε συννοήσει η βιολογία γύρω από τις έννοιες:

- σκοπιμότητα - μηχανισμός,
- αναγκαιότητα - ενδεχομενικότητα, τυχαιότητα,
- σταθερότητα - μεταβολή.

Η ιδέα του προγράμματος που υιοθέτησαν, συμπεριλάμβανε τις δύο αναγκαίες διαδικασίες της κληρονομικότητας: τη *μνήμη* και το *σχέδιο*, δηλαδή τις ιδιότητες των έμβιων όντων που η κληρονομικότητα χαράζει στους απογόνους τους (στις οποίες δεν περιλαμβάνονται οι *επίκτητες ιδιότητες*), και το *πλάνο* που κατευθύνει τη διαμόρφωση του οργανι-

σμού. Δέχτηκαν ότι το πρόγραμμα καταρτίζεται από τη συνδυαστική εντελώς αμετάτρωτων στοιχείων (που τα συνιστούν οι αλληλουχίες του DNA), η δομή των οποίων δεν επιτρέπει την παραμικρή επέμβαση από το περιβάλλον, ότι δεν δέχεται μαθήματα από την εμπειρία (παντελής έλλειψη εσκεμμένης επέμβασης, δηλαδή κάθε είδους σκοπιμότητας και κάθε ίχνους λαμαρκισμού). Πηγή για το χείμαρρο των γεγονότων του προγράμματος θεωρήθηκε η δράση της ενδοχωμικότητας (τα πάντα υπόκεινται στο ρόλο της τυχαιότητας, όπως π.χ. ο ανασυνδυασμός των γονιδίων, οι τυχαίες μεταλλάξεις κ.λπ.). Σύμφωνα με τις απόψεις αυτές, το πρόγραμμα της Μοριακής Βιολογίας συνιστούσε μια μηχανιστική ερμηνεία της ζωής, αφού η κληρονομικότητα εκφράζεται ως κωδικογραφημένη μέσα σε έναν ειρμό οργανικών χημικών ενώσεων^{2,3}. Πρόκειται για ένα μηχανιστικό μοντέλο, δανεισμένο από την πληροφορική και τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Η μοριακή θεώρηση που υιοθέτησαν οι βιολόγοι, λειτούργησε κατ' αρχάς προωθητικά για το βιολογικό παράδειγμα, διότι δόθηκε η δυνατότητα να εδραιωθούν πάνω στα θεμέλια του γενετικού προγράμματος πολλά βιολογικά μοντέλα, δόγματα και αρχές, μέσω των οποίων διαλευκάνθηκαν οι μηχανισμοί της αποθήκευσης της γενετικής πληροφορίας, της γενετικής ροής και μπήκαν τα σύνορα για το ρόλο της καθεμιάς ξεχωριστά μεγαλομοριακής ένωσης (DNA, RNA, πρωτεΐνη).

Έτσι, αποδείχθηκε μέχρι τη δεκαετία του '60 ότι:

- το DNA συνιστά το αποθηκευτικό υλικό της πληροφορίας,
- το RNA τη μεγαλομοριακή ένωση που μεταφέρει την πληροφορία,
- οι πρωτεΐνες είναι τα εκτελεστικά και δομικά όργανα των κυττάρων,
- η γενική αρχή που ισχύει είναι ότι: τα πάντα καθορίζονται από τα γονίδια, που είναι

αμετάτρωτοι και απρόσιτοι παράγοντες.

Η γνώση που συσσωρεύτηκε στον τομέα της βιολογίας ήταν τεράστια. Η αυτονόμηση και η επέκταση της Μοριακής Βιολογίας στην Ευρώπη και στην Αμερική είχαν ως συνέπεια την επένδυση στον κλάδο αυτό τόσο σε δυναμικό ανθρώπινο όσο και σε οικονομικό.

Όμως, κατά τη διάρκεια αυτών των τελευταίων ετών εκδηλώθηκε μια ενδογενής κρίση στο βιολογικό παράδειγμα, που ωθούσε στην τροποποίηση των μοντέλων της βιολογίας, στην ανανέωση των εννοιολογικών και τεχνολογικών εργαλείων, στην εγκατάλειψη της ιδέας ότι η σταθερότητα χαρακτηρίζει τον έμβιο κόσμο και στην εισαγωγή της έννοιας της ρευστότητας⁴. Η κρίση αυτή συνδεόταν με την ανάπτυξη των κλάδων της φυσικής, της κυβερνητικής, της μικροηλεκτρονικής, της πληροφορικής, της μαθηματικής θεωρίας του χάους και της αστάθειας, οι οποίοι κλάδοι άνοιγαν ένα καινούριο κεφάλαιο για τη μακροχρόνη επιστημονική πορεία⁵ και προσέφεραν νέα εργαλεία στον τομέα της βιολογίας. Συνδεόταν όμως άμεσα και με εξωγενή κρίση, που τα αίτια της βρίσκονταν στην αμφισβήτηση γενικά των επιστημών, ως επακόλουθο του πολέμου του Βιετνάμ.

Σύμφωνα με τις απόψεις του Thomas Kuhn: «Κρίση στην επιστήμη σημαίνει μια αναγκαία και πρόδρομη κατάσταση για την ανάδυση μιας νέας θεωρίας»⁶. Η ενδογενής κρίση της μοριακής βιολογίας προκλήθηκε όταν, λόγω της επινόησης των τεχνικών της γενετικής μηχανικής, άρχισαν να διαλύονται και στο τέλος να καταρρέουν τα σύνορα που με τόση φροντίδα έχτισαν οι ερευνητές της για να διαχωρίσουν το εξωτερικό περιβάλλον από την υλική βάση της κληρονομικότητας, τα πληροφοριακά μόρια από τα λειτουργικά⁷. Στην ιστορία της επιστήμης, δεν είναι λίγα τα παραδείγματα τέτοιων παράδοξων καταστάσεων, όπου:

η θεωρητική ανάπτυξη ενός επιστημονικού κλάδου οδηγεί στην ανάδυση φαινομένων που έρχονται σε αντίθεση με το αρχικό θεωρητικό πλαίσιο και δεν ερμηνεύονται πλέον από αυτό. Στην περίπτωση της βιολογίας, το σύνολο των αρχών, που επέτρεψε τη γενετική μελέτη της κληρονομικότητας και το διαχωρισμό της από εξωτερικές τελεολογικές επεμβάσεις, δημιούργησε τελικά τις συνθήκες για την κατευθυνόμενη τροποποίηση των ζώντων οργανισμών, την οποία δεν αποδέχονταν οι θεωρητικές βάσεις του ίδιου του «παραδείγματος».

Η κατάσταση αυτή ενισχύθηκε, όταν οι νέες τεχνικές άνοιξαν το δρόμο για την άμεση επέμβαση στο γενετικό υλικό, οπότε δόθηκε η δυνατότητα για εσκεμμένες και οργανωμένες επεμβάσεις στο κληρονομικό υλικό των οργανισμών, συμβάλλοντας στο να γίνει κατορθωτό το όνειρο πολλών ερευνητών, για εσκεμμένη γενετική τροποποίηση των οργανισμών και για τη μεταβίβαση αυτών των νέων χαρακτηριστικών στις επόμενες γενεές. Συνεπώς, οι τεχνικές αυτές άνοιξαν την πόρτα για φιναιλιστικές και εσκεμμένες επεμβάσεις στα έμβια όντα.

Κατ' αυτό τον τρόπο, οι τεχνικές του ανασυνδυασμένου DNA συνέβαλαν στο να έρθει πλαγίως στην επικαιρότητα η επιστήμη του Λυσσένκο, ο οποίος ισχυριζόταν ότι η προσαρμογή των φυτικών οργανισμών σε κλίματα διαφορετικά μπορούσε να οδηγήσει στην τροποποίηση του κληρονομικού υλικού, μεταβιβαζόμενου στις επόμενες γενιές⁸. Φυσικά, κανένας βιολόγος δεν θα επιθυμούσε και δεν θα τολμούσε την επιστροφή και την αποκατάσταση της «νέας Βιολογίας» του Λυσσένκο.

Την ιστορία αυτού του παραδόξου θα παρακολουθήσουμε στη συνέχεια.

2. Οι σχολές που θεμελίωσαν το βιολογικό παράδειγμα της μοριακής βιολογίας (Η πρώτη στιγμή του παραδόξου)

Τα κύρια ρεύματα, που έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην οικοδόμηση της μοριακής βιολογίας και των συνόρων της ανάμεσα στο γενετικό υλικό και στο εξωτερικό περιβάλλον, ταξινομούνται σε επτά διαφορετικούς εννοιολογικούς πόλους, τους οποίους για ευκολία θα αποκαλέσουμε σχολές.

2.1. Η σχολή της Γενετικής

Η πρώτη σχολή, που ονομάζεται από τους ιστορικούς σχολή της Γενετικής, φιλοδοξούσε να αποκαλύψει το μηχανισμό δράσης των γονιδίων. Πρωταγωνιστής αυτής της έρευνας θεωρείται ο George Beadle, ο οποίος εργαζόταν στο Κάλτεχ της Αμερικής, που τον χρηματοδοτούσε το Ίδρυμα Ροκφέλερ.

Μέχρι το 1945, οι αντιλήψεις για το γονίδιο περιορίζονταν μόνο στον ορισμό του ως θεμελιώδους οντότητας της κληρονομικότητας, χωρίς παράλληλο ενδιαφέρον για τον τρόπο λειτουργίας του. Πριν από τον πόλεμο ακόμη, δύο ερευνητές, ο αμερικανός George Beadle και ο ρωσικής καταγωγής Boris Ephrussi, άρχισαν την πρώτη πειραματική προσπάθεια, για να συνδέσουν τα γονίδια με τη δράση των ενζύμων, με αφετηρία τις υποθέσεις τους για τον τρόπο που αναπτύσσεται το χρώμα των ματιών της δροσόφιλας. Μια γρήγορη ματιά στην πειραματική μεθοδολογία αυτών των ερευνών φανερώνει ότι οι ερευνητές αυ-

τοί δεν χρησιμοποίησαν τις παραδοσιακές μεθόδους της Μεντελικής γενετικής. Η πειραματική μεθοδολογία που χρησιμοποίησαν ήταν δανεισμένη από την *εμβρυολογία*, δεδομένου ότι οι δύο ερευνητές προσπαθούσαν να γεφυρώσουν το χάσμα που χώριζε αυτό τον κλάδο από τη Γενετική.

Μετά τον πόλεμο, ο Beadle με το συνεργάτη του Edward Tatum επινόησαν μια *γενετική προσέγγιση* για τη λύση του προβλήματός τους, η οποία τους επέτρεψε την πειραματική προσέγγιση μεταξύ της βιοχημείας και της γενετικής. Με τη μέθοδο αυτή επιβεβαιώθηκαν οι αρχικές υποθέσεις, ότι η σύνθεση των ενζύμων ρυθμίζεται από τα γονίδια. Οι δύο ερευνητές στράφηκαν προς τη μελέτη του μικροοργανισμού της μούχλας *Neurospora*. Το μικρόβιο αυτό μπήκε στο πάνθεον της ιστορίας της βιολογίας, γιατί επέτρεψε στον Beadle να διατυπώσει την περίφημη σχέση:

- ένα γονίδιο = ένα ένζυμο.

Μετά το 1945, η παραπάνω σχέση είχε μεγάλη απήχηση στον ερευνητικό προσανατολισμό των βιολόγων και καταγράφηκε ως δόγμα μέσα στο εννοιολογικό πλαίσιο του βιολογικού παραδείγματος.

Η σχέση αυτή επιβεβαιώθηκε πειραματικά στο λειτουργικό μηχανισμό των αμινοξέων στους μύκητες και στα βακτήρια⁹. Τη γενετική πειραματική επαλήθευση στα βακτήρια ανέλαβε ο μαθητής του Tatum, Joshua Lederberg, που τότε ήταν μόνο είκοσι ενός χρονών, και κατέληξε στο καταπληκτικό για την εποχή συμπέρασμα ότι τα βακτήρια διαθέτουν και αυτά γονίδια αλλά και σεξουαλικότητα. Ανακάλυψε ότι τα βακτήρια στο ζευγάρωμά τους ανταλλάσσουν γονίδια και ανασυνδυάζουν το γενετικό τους υλικό. Χάρη σε αυτή την έρευνα, το όνομα του Lederberg μπήκε στο πάνθεον των πρωτεργατών της μοριακής βιολογίας.

2.2. Η κυτταρολογική σχολή

Η δεύτερη σχολή, την οποία θα αποκαλέσουμε *κυτταρολογική*, εκπροσωπείται από το σουηδό βιολόγο *Torbjorn Casperson* και το βέλγο *Jean Brachet*, οι οποίοι κατά τη δεκαετία του '40 μελετούσαν ανεξάρτητα ο καθένας τη βιοσύνθεση των πρωτεϊνών στους οργανισμούς των οποίων τα κύτταρα διαθέτουν πυρήνα, εφαρμόζοντας όμως διαφορετικές κυτταρολογικές και ιστοχημικές μεθόδους.

Η σουηδική βιοχημική σχολή ήταν ήδη πολύ γνωστή αυτή την εποχή, δεδομένου ότι στην Ουνάλα γινόταν το προσκύνημα των βιοχημικών όλου του κόσμου που ήθελαν να χρησιμοποιήσουν την πρώτη φυγόκεντρο για το διαχωρισμό των πρωτεϊνών, την οποία είχε επινοήσει ο Svedberg, και λίγο αργότερα την πρώτη συσκευή ηλεκτροφόρησης του Tiselius. Από τις αρχές της δεκαετίας του '40, ο Casperson διαπίστωσε μέσω των φασματοσκοπικών μεθόδων τη σχέση ανάμεσα στο ποσοστό της πρωτεϊνικής σύνθεσης και στην ποσότητα του κυτταροπλασματικού RNA.

Ο Jean Brachet, εφαρμόζοντας βιοχημικές και ιστοχημικές μεθόδους, κατέληξε στα ίδια συμπεράσματα με τον Casperson. Οι έρευνές του φανέρωσαν ότι τα νουκλεϊικά οξέα συμμετέχουν στην πρωτεϊνοσύνθεση.

Ωστόσο, η συνεισφορά των δύο ερευνητών για την εξέλιξη της μοριακής βιολογίας αγνοήθηκε από τους περισσότερους ιστορικούς της επιστήμης¹⁰.

2.3. Η βιοχημική σχολή της δομής των μακρομορίων

Η τρίτη σχολή, της βιοχημείας της δομής των μακρομορίων, εκπροσωπείται κυρίως από άγγλους ερευνητές, που είχαν ως αντικείμενο μελέτης τη δομική χωροδιάταξη των μορίων. Οι ερευνητές αυτοί στόχευαν στο να χρησιμοποιήσουν τη μεθοδολογία της φυσικής μέσω της περίθλασης των ακτίνων Χ από τους κρυστάλλους των μορίων στα βιολογικά μόρια.

Η μέθοδος αυτή εφαρμόστηκε για πρώτη φορά από την ομάδα του φυσικού W.L. Bragg. Ο W.T. Astbury (ο οποίος, σύμφωνα με τον Hess, εισήγαγε και τον όρο «μοριακή βιολογία») παρασκεύασε, το 1941, το πρώτο διάγραμμα του DNA μέσω της περίθλασης των ακτίνων Χ. Στην πραγματικότητα, η ανάπτυξη αυτού του διαγράμματος έγινε πολύ πρόωρα, όταν τα πνεύματα δεν ήταν ακόμη έτοιμα να δεχθούν το ρόλο του DNA ως γεννητικού φορέα και, συνεπώς, δεν έπαιξε σημαντικό ρόλο για την ανάπτυξη του κλάδου. Τη μέθοδο της περίθλασης χρησιμοποίησε και ο J.D. Bernal για τη μελέτη των κρυστάλλων των πρωτεϊνών.

Τα ουσιαστικά αποτελέσματα της σχολής αυτής ήρθαν αργότερα, κυρίως στον τομέα των πρωτεϊνών, από τον John Kendrew και τον αυστριακό πρόσφυγα στην Αγγλία Max Perutz. Στην ίδια σχολή ανήκουν και ο γνωστός βιοχημικός, που ήταν υπεύθυνος του τμήματος της κρυσταλλογραφίας στο Κινγκ Κόλιντζ, Maurice Wilkins και η συνεργάτιδά του Rosalind Franklin. Οι μελέτες τους στο φάσμα του DNA χρησιμοποιήθηκαν από τους Watson και Crick στη διατύπωση του μοντέλου της διπλής έλικας.

Θα κατατάξουμε στην ίδια σχολή και τον Linus Pauling, ο οποίος εργαζόταν στην Αμερική με αντικείμενο τη στερεοδομή και χωροδιάταξη των μορίων της ζωής. Με τις εργασίες του, αφ' ενός έδωσε διέξοδο στις απορίες των Watson και Crick όσον αφορά στη δομή του DNA, αφ' ετέρου αποκάλυψε το ρόλο των γονιδίων στη δομή των πρωτεϊνών. Στην αγγλική σχολή ανήκει και ο Frederic Sanger, ο οποίος προέρχεται επίσης από το Κέμπριτζ. Είναι αυτός που επινόησε τη μέθοδο αποκρυπτογράφησης της αλληλουχίας μιας πρωτεΐνης και ο οποίος, συνεχίζοντας την παράδοση αργότερα (με την ανάπτυξη της γενετικής μηχανικής), πρώτος αποκρυπτογράφησε τη δομή των γονιδίων¹¹.

2.4. Η σχολή της βιοχημικής μικροβιολογίας

Η τέταρτη σχολή, η σχολή της βιοχημικής μικροβιολογίας, περιλαμβάνει τους ερευνητές αυτούς που μελετούσαν το φαινόμενο της βακτηριακής μεταμόρφωσης. Πρωταγωνιστές αυτής της σχολής είναι ο Oswald Avery και οι συνεργάτες του McLeond και McCarthy, οι οποίοι εργάζονταν στο Ινστιτούτο Ροκφέλερ της Αμερικής.

Το φαινόμενο της βακτηριακής μεταμόρφωσης παρατηρήθηκε για πρώτη φορά το 1926 από τον άγγλο βακτηριολόγο Fred Griffith (1877-1941), ο οποίος ερευνούσε με ποιο τρόπο μπορούσε να ελέγξει το πρόβλημα της πνευμονίας. Στους ερευνητικούς του στόχους ήταν να απομονώσει κάποια ουσία υπεύθυνη για τη μεταμόρφωση, με την οποία να μεταδώσει τη μεταμόρφωση σε άλλους πνευμονιόκοκκους. Δεν διέθετε όμως τότε τις κατάλληλες τεχνικές γι' αυτή τη μελέτη.

Στη δεκαετία του '40, ο Oswald Avery και οι συνεργάτες του McLeond και McCarthy επιχείρησαν να δώσουν απάντηση στο πρόβλημα, διότι διέθεταν πλέον ακριβείς μεθόδους

για την έρευνά τους. Το 1941, απέδειξαν ότι το DNA είναι η ουσία με τις ιδιότητες αυτές και όχι οι πρωτεΐνες. Συμπέραναν λοιπόν ότι, εφόσον η μεταφορά του DNA στα βακτήρια κληρονομείται, άρα η ουσία αυτή αποτελεί το συστατικό των γονιδίων.

Αυτή η εξαιρετική μελέτη δεν είχε τον απόηχο που της άξιζε μεταξύ των βιολόγων της εποχής, οι οποίοι ήταν καθηλωμένοι στην ιδέα ότι τα γονίδια αποτελούνται από πρωτεΐνες. Όπως πολύ σωστά αναφέρει ο F. Gros στα 1986: «ο ηγεμονικός ρόλος των πρωτεϊνών ήταν τέτοιος αυτή την εποχή, που μπορούμε να μιλήσουμε για εννοιολογικό ιμπεριαλισμό». Οι αντιστάσεις στην ανακάλυψη αυτή δεν περιορίστηκαν μόνο ανάμεσα στους γενετιστές, όπως ο Herman Muller, αλλά ανάμεσα και σε γνωστούς βιοχημικούς, όπως ο A.E. Mirsky.

Ωστόσο, έγινε αποδεκτό αργότερα ότι η ανακάλυψη αυτή άνοιξε το δρόμο για τη μελέτη της δομής του DNA. Η ανακάλυψη αυτή ήταν η αιτία για την οποία ο Erwin Chargaff (πολιτικός πρόσφυγας στην Αμερική) στράφηκε αμέσως προς την ερευνητική κατεύθυνση των νουκλεϊκών οξέων. Στις πειραματικές του προσπάθειες, ασχολήθηκε με το σαφή καθορισμό των ποσοστών με τα οποία συμμετέχουν τα τέσσερα νουκλεοτίδια στο μόριο του DNA διαφόρων οργανισμών. Απέδειξε δε, ότι ανεξάρτητα από τους οργανισμούς, το πηλίκον της αδενίνης προς θυμίνη και της γουανίνης προς κυτοσίνη είναι πάντα κοντά στη μονάδα. Απέδειξε επιπλέον ότι ο λόγος των A+Θ προς Γ+Κ διέφερε στους διάφορους οργανισμούς. Με την απόδειξη αυτή απέρριψε την τετρανουκλεοδική θεωρία για τη δομή του DNA των P. Levene και L. Bass, η οποία είχε διατυπωθεί το 1931 και η οποία έπαιξε ανασταλτικό ρόλο (επιστημολογικό εμπόδιο) για την αποδοχή του μορίου του DNA ως γενετικού υλικού.

Η σημασία της έννοιας του ζευγαρώματος των αζωτούχων βάσεων του Chargaff έγινε αντιληπτή από την ομάδα (Watson και Crick) που προσπαθούσε να λύσει το αίνιγμα της δομής των γονιδίων. Αποτέλεσε λοιπόν έναν από τους σημαντικότερους δείκτες για την αρχιτεκτονική δομή του γενετικού υλικού. Άνοιξε επίσης το δρόμο για τη δυνατότητα επέμβασης στο μόριο του DNA.

2.5. Η σχολή της πληροφορίας ή ομάδας των φάγων

Η πέμπτη σχολή της «πληροφορίας» περιλαμβάνει τους φυσικούς που στράφηκαν προς τη βιολογική έρευνα και οι οποίοι ενδιαφέρονταν για τη σταθερότητα των γενετικών χαρακτηριστικών. Τη σχολή αυτή θα την αποκαλούμε στο εξής «ομάδα του φάγου», διότι το πειραματικό τους υλικό ήταν οι φάγοι. Ο πρωταγωνιστής αυτής της ομάδας ήταν ο γερμανός θεωρητικός φυσικός Max Delbruck, του οποίου το ενδιαφέρον προς τη βιολογία ξεκίνησε μετά από μία διάλεξη του δανού φυσικού Niels Bohr (1885-1962) στα 1932. Ο Delbruck ήταν ένας από αυτούς που εξαναγκάστηκαν να παραμείνουν στην Αμερική λόγω του πολέμου. Η οξυδέρκεια που τον διέκρινε και η ικανότητα να δημιουργεί ποιοτικές σχέσεις στις συνεργασίες του με τις άλλες χώρες τον κατέστησαν το επίκεντρο αυτής της ομάδας των φάγων. Ο Delbruck έδωσε την αξία που έπρεπε στο ρόλο των γονιδίων και στην πληροφορία που περικλείουν. Οι μελέτες της ομάδας αυτής στρέφονται κυρίως προς την κατεύθυνση της φύσης των γονιδίων, στον τρόπο που διπλασιάζονται και στον τρόπο που μεταφέρουν την πληροφορία τους στις επόμενες γενεές. Την περίοδο αυτή δεν διέθεταν τα εργαλεία για να λύσουν τα αινίγματα που τους απασχολούσαν και γι' αυτό προσπάθησαν με

πλάγιο τρόπο να βρουν τις λύσεις. Προσπάθησαν λοιπόν να λύσουν το πρόβλημα της σταθερότητας των γονιδίων¹².

Στις αρχές του 1940, ο Delbruck δημιούργησε τη *γενετική των φάγων* και αργότερα, σε συνεργασία με τον ιταλό Salvatore Luria, που είχε καταφύγει και αυτός στην Αμερική εξαιτίας του πολέμου, τη *βακτηριακή γενετική*. Με τις έρευνές τους απέδειξαν ότι τα βακτήρια λειτουργούν γενετικά όπως και οι άλλοι οργανισμοί και δεν προσαρμόζονται στο περιβάλλον, εισάγοντας έτσι και τον κόσμο των μικροβίων στο ρεύμα του νεοδαρβινισμού. Η ομάδα περιελάμβανε ως μέλη τον σύγγρο φυσικό Leo Szilard, τον Alfred Hersey και τον Milislav Demerec.

Οι ιστορικοί κατατάσσουν στην ομάδα αυτή και το φυσικό Erwin Schrödinger (1887-1961), ο οποίος το 1944 διατύπωσε την ιδέα ότι τα γονίδια καθορίζουν το πεπρωμένο των οργανισμών με τη μορφή ενός *κωδικοποιημένου μηνύματος*. Το 1952, ο James Watson, μαθητής του Salvatore Luria και του Delbruck, και ο άγγλος φυσικός Francis Crick αποκάλυψαν, αφ' ενός, την αρχιτεκτονική δομή της γενετικής πληροφορίας και, αφ' ετέρου, το ρόλο της πληροφορίας στην αναπαραγωγή των κυττάρων και των οργανισμών. Η ανακάλυψη αυτή αποτελεί μία από τις σημαντικότερες στιγμές της ιστορίας του βιολογικού παραδείγματος. Χάρη σε αυτή την ανακάλυψη έγινε κατορθωτό να δοθεί η ερμηνεία για τη σύνθεση των πρωτεϊνών από τα νουκλεϊκά οξέα. Όπως συμβαίνει όμως πάντα στην ιστορία της επιστήμης, η ίδια ανακάλυψη έπαιξε ανασταλτικό ρόλο στις περαιτέρω έρευνες των ευκαρυωτικών γονιδίων¹³.

2.6. Η γαλλική σχολή

Από το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο και μετά, στη Γαλλία η βιολογική, βιοχημική και γενετική έρευνα είχε βρεθεί στο περιθώριο, λόγω της επικράτησης του *νεολαμαρχισμού*. Οι ιστορικοί προσπαθούν ακόμη να ερμηνεύσουν αυτό το φαινόμενο: με ποιο τρόπο η Γαλλία κατάφερε τελικά να συμβάλει τόσο σημαντικά στην ανάπτυξη της μοριακής βιολογίας αμέσως μετά τον πόλεμο, ενώ η ανάπτυξη των βιολογικών επιστημών είχε τόσο καθυστερήσει μεταξύ των δύο πολέμων;

Ορισμένοι ιστορικοί διατυπώνουν την άποψη ότι η πηγή γι' αυτή την ανάπτυξη βρίσκεται στην παραδοσιακή κληρονομιά της *микροβιολογίας του Παστέρ* και στην *εννοιολογική επίδραση του Claude Bernard για την προσαρμοστικότητα των οργανισμών στις φυσιολογικές αλλαγές του περιβάλλοντος*¹⁴. Συμφωνούμε με την άποψη του γάλλου βιολόγου και ιστορικού Morange, ο οποίος υποστηρίζει ότι ακριβώς αυτή η καθυστέρηση της ανάπτυξης της γενετικής στη Γαλλία «αποτελέσει τη δύναμη, το ισχυρό ατού των γάλλων βιολόγων» για τη συμμετοχή τους στην ανάπτυξη της μοριακής βιολογίας. Οι μελέτες των γάλλων ερευνητών Jacques Monod και François Jacob θα πάρουν την εκδίκησή τους για την καθυστέρηση της βιοχημείας και της γενετικής στη Γαλλία και θα αποτελέσουν τον *προωθητικό παράγοντα* για την περαιτέρω εξέλιξη της μοριακής βιολογίας.

Οι εργασίες της γαλλικής σχολής είχαν ως επίκεντρο τις έρευνες των Andre Lwoff και Ellie Wollman στη *микροβιολογία*, του ρώσου Boris Ephrussi και του George Tessier στη *φυσιολογική γενετική* και του ρώσου Louis Rapkine (1904-1948) στην *κυτταρική φυσιολο-*

γία και ενζυμολογία. Οι πρωταγωνιστές αυτού του ρεύματος ήταν οι Lwoff, Monod, Jacob, Wollman, Cohen και Gros.

Ο Monod μελετούσε το φαινόμενο της ενζυμικής προσαρμοστικότητας. Το κύριο πρόβλημα αυτού του φαινομένου ήταν ότι έπρεπε να αξιολογηθεί με σαφήνεια ο ρόλος των κληρονομικών παραγόντων και ο ρόλος αντίστοιχα του περιβάλλοντος στη σύνθεση του ενζύμου. Στα 1947, ο Monod, προκειμένου να ερμηνεύσει την ενζυμική προσαρμοστικότητα, είχε υιοθετήσει το μοντέλο που παρουσίασε στη διατριβή του ο Karstom (1930), σύμφωνα με το οποίο το ένζυμο *εκπαιδεύεται* για την ενζυμική μορφή που θα προσλάβει από κάποιο πρόδρομο, αδρανές μόριο¹⁵. Το ίδιο μοντέλο είχαν υιοθετήσει και οι ερευνητές εκείνοι που μελετούσαν τα αντι σώματα.

Ο γνωστός ιστορικός της επιστήμης Bruno Fantini υποστηρίζει ότι το πρόγραμμα αυτό εμπεριείχε, αφ' ενός, *φιλοσοφικές προεκτάσεις*, καθόσον η ενζυμική προσαρμοστικότητα εκείνη την εποχή, με την αποδοχή της «*διδασκτικής θεωρίας*», αποτελούσε ένα παράδειγμα λαμαρκισμού και, αφ' ετέρου, *πολιτικές προεκτάσεις*, διότι το φαινόμενο του λαμαρκισμού συγγεόταν με το *λυσσενκισμό*. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο ο Monod αποφάσισε, στα 1953, να αντικαταστήσει την ονομασία του φαινομένου με τη νέα ονομασία «*ενζυμική επαγωγή*», αποδεικνύοντας έτσι ότι ο ερευνητικός του προσανατολισμός δεν είχε καμιά σχέση με το *νεολαμαρκισμό*¹⁶.

Στα 1954, άρχισε η συνεργασία του George Cohen με τον Jacques Monod και ο πρώτος αποκάλυψε το μηχανισμό του συστήματος γαλακτόζης-περμεάσης. Το σύστημα αυτό, το οποίο έθετε σε αμφισβήτηση τις έως τότε θεωρίες για τη σχέση ενζύμου υποστρώματος, δεν έγινε αμέσως αποδεκτό από τον Monod. Μόνο όταν ο ίδιος επαλήθευσε προσωπικά τα πειράματα του Cohen, αποδέχθηκε τις νέες απόψεις.

Ο δεύτερος πρωταγωνιστής της γαλλικής σχολής, ο Jacob, εκείνη την εποχή συνεργαζόταν με τον Wollman κάτω από την επίβλεψη του Lwoff. Μελετούσαν το φαινόμενο της «*ευγοτικής επαγωγής*» μέσω της ανταλλαγής των γονιδίων των βακτηρίων. Οι μελέτες τους φανέρωσαν ότι τα γονίδια που μετακινούνται μεταξύ των βακτηρίων μπορούν αμέσως να εκφραστούν. Αυτό το μεθοδολογικό και θεωρητικό εργαλείο ήταν το κατάλληλο που ταιριάζει στον Monod για να ερμηνεύσει την ενζυμική προσαρμοστικότητα. Αυτή ήταν η αιτία της αφετηρίας της συνεργασίας των δύο ερευνητών. Το σημαντικότερο αποτέλεσμα αυτής της συνεργασίας ήταν η επεξεργασία της οικοδόμησης του μοντέλου της *κυτταρικής ρύθμισης*, το οποίο ωρίμασε στα 1958 και το οποίο ερμηνεύει το διπλό *γενετικό ντετερμινισμό* που ισχύει στη σύνθεση των πρωτεϊνών ότι: *ένα γονίδιο καθορίζει τη δομή ενός προϊόντος (καταστολέας), μπλοκάροντας την έκφραση άλλων γονιδίων, και ένα άλλο ρυθμίζει την έκφρασή του*.

Το ίδιο μοντέλο αποτέλεσε το θεμέλιο για την αποκάλυψη του αγγελιοφόρου RNA και προσέφερε τα εργαλεία για τη μελέτη των πολύπλοκων διαδικασιών, όπως της εμβρυϊκής ανάπτυξης και της κυτταρικής διαφοροποίησης.

Οι εργασίες των Monod και Jacob είχαν σημαντικές *φιλοσοφικές προεκτάσεις*, δεδομένου ότι συνδέσαν τη σύνθεση των ενζύμων με το *νεοδαρβινισμό*, την κυρίαρχη αντίληψη της μοριακής βιολογίας. Δόθηκε έτσι ένα τέλος στις *Διδασκτικές θεωρίες*, οι οποίες δέχονταν ότι το υπόστρωμα των ενζύμων καθοδηγούσε τη σύνθεση της πρωτεΐνης, και άνοιξε ο δρό-

μος για την εγκαθίδρυση των *Επιλεκτικών θεωριών*, οι οποίες κυριάρχησαν στο χώρο της βιολογίας. Ωστόσο, σύμφωνα με τα νέα πειραματικά δεδομένα, παρέμενε ακόμη ένα καταφύγιο για τη δράση του περιβάλλοντος: ότι η δράση αυτή ασκείται όχι στο ίδιο το γονίδιο, αλλά στην έκφρασή του. Κατ' αυτό τον τρόπο, μετά από τόσα χρόνια, μέσα από αυτές τις μελέτες, *συμφιλιώνονταν κατά κάποιο τρόπο οι απόψεις του Δαρβίνου και του Λαμάρκ*.

Αναφερόμενοι στη γαλλική σχολή και στον ιστορικό της ρόλο στην ανάπτυξη της μοριακής βιολογίας, θα ήταν ατόπημα να αποκλείσουμε από αυτή τον Α. Βοϊνίν και τους συνεργάτες του, R. Vendrely και C. Vendrely. Είναι οι ερευνητές εκείνοι που στα 1948, όταν δεν είχε γίνει ακόμη αποδεκτή η ιδέα ότι το DNA αποτελούσε το γενετικό υλικό, είχαν ως αντικείμενο μελέτης αυτό το μόριο. Είχαν επινοήσει μια μέθοδο με την οποία υπολόγιζαν την ακριβή ποσότητα του μορίου, αποδεικνύοντας ότι τα διπλοειδή κύτταρα περιέχουν διπλάσια ποσότητα DNA¹⁷. Οι μελέτες τους δεν εντάσσονταν στο Μεντελικό παραδοσιακό τρόπο μελέτης της γενετικής και αποδείκνυαν, για μια ακόμη φορά, ότι η προσφορά της γαλλικής σχολής στην ανάπτυξη της μοριακής βιολογίας είχε άλλη καταγωγή πέραν από τον καθαρό Μεντελισμό.

2.7. Η ρωσική σχολή

Θα αναφερθούμε τώρα στο ρόλο της *ρωσικής σχολής* στην ανάπτυξη της μοριακής βιολογίας. Η ρωσική σχολή, εκτός από τους ρώσους επιστήμονες που εγκαταστάθηκαν σε κάποια στιγμή στη Δύση, όπως ο Θεόδωρος Ντομπζάνσκι, ο Ephrussi, ο Rapkine, ο George Gamow (1904-1968) και ο Timofeef-Ressofski, περιλαμβάνει ένα μεγάλο αριθμό ερευνητών που παρέμειναν και έδρασαν πειραματικά στη χώρα τους. Οι ρώσοι αυτοί, όπως ο Τσετβέρικοφ και οι νεότεροι όπως ο Α. Σπίριν, ο Α. Μπελοζέρσκι, ο Γ. Γκεοργκίεφ και ο Μπλάγιεφ, είχαν μυηθεί στο δαρβινισμό. Όταν η γενετική, μετά την αποθέωση στη Ρωσία του λυσσεντισμού και του σταλινισμού, είχε παραλύσει ως επιστημονικός κλάδος, ορισμένοι ρώσοι βιολόγοι, που κατάφεραν να ενσωματωθούν στις φυσικοχημικές δραστηριότητες, μπόρεσαν να συνεχίσουν την έρευνά τους μέσα από τη φυσικοχημεία. Οι βιολόγοι αυτοί ανέπτυξαν πρωτότυπες φυσικοχημικές μεθόδους για την ανάπτυξη της μοριακής βιολογίας. Πολλοί από αυτούς φυλακίστηκαν, όπως ο Βαβίλοφ, ο Άγολ, ο Λέβιτ και ο Μπάγιεφ. Ο Μπάγιεφ, για παράδειγμα (που γεννήθηκε στα 1904), στα 1937 φυλακίστηκε και παρέμεινε κρατούμενος έως το 1954. Όταν ελευθερώθηκε, όμως, μπόρεσε να ξαναρχίσει τη βιολογική έρευνα. Στη δεκαετία του '60 επινόησε, με το συνεργάτη του Μιρζαμπέκοφ, μία εκπληκτική μέθοδο κλασμάτωσης του DNA και αποκρυπτογράφησης της αλληλουχίας των κλασμάτων του με υφριδοποίηση, η οποία αποτέλεσε το θεμέλιο για την ταχεία μέθοδο αποκρυπτογράφησης του DNA των Walter Gilbert και Alan Maxam¹⁸. Ο Μπάγιεφ το 1989 διορίστηκε ως ο υπεύθυνος του ρωσικού προγράμματος για το ανθρώπινο γονιδίωμα.

Η μεγαλύτερη συνεισφορά της ρωσικής σχολής επικεντρώνεται φυσικά στο έργο του Τιμοφέγιεφ Ρεσόφσκι, ο οποίος, σύμφωνα με το νομπελίστα Perutz, θεωρείται ένας από τις μεγαλύτερες φυσιογνωμίες της βιολογικής έρευνας. Άρχισε τις έρευνές του στη Μόσχα στη δεκαετία του '20, με τη μελέτη των μεταλλάξεων. Στα 1926, χάρη σε ένα πρόγραμμα πολιτιστικών ανταλλαγών του σοβιετικού καθεστώτος με τη Γερμανία, βρέθηκε στο Βερο-

λινό, όπου ίδρυσε ένα εργαστήριο γενετικής έρευνας της δροσόφιλας, στο Ινστιτούτο Kaiser Wilhem. Στα 1935, με τους Max Delbruck και K.G. Zimmer, παρουσίασε ένα εκπληκτικό άρθρο, με τον τίτλο: «*Φύση των γενετικών μεταλλάξεων και δομή του γονιδίου*». Ο Perutz υποστηρίζει ότι το άρθρο αυτό ενέπνευσε τον Schrödinger σε τέτοιο σημείο, ώστε να αρχίσει μία σειρά από μαθήματα-διαλέξεις στο Trinity College του Δουβλίνου στα 1943. Το περιεχόμενο των μαθημάτων αυτών εκδόθηκε σε βιβλίο με τον τίτλο *Τι είναι η ζωή*; και θεωρήθηκε από όλους το κίνητρο για την ανάπτυξη της μοριακής βιολογίας. Στο πρώτο μέρος του άρθρου αυτού, ο ρώσος ερευνητής παρουσιάζει τη μεταλλαξογόνο δράση των ακτίνων X και γάμα στη δροσόφιλα.

Μετά τον πόλεμο, βρέθηκε στις καταναγκαστικές φυλακές της Ρωσίας. Με την απελευθέρωσή του, ξανάρχισε με τη βοήθεια της γυναίκας του την ερευνητική του δραστηριότητα. Η μεγάλη συνεισφορά του ρώσου ερευνητή για την ανάδυση της μοριακής βιολογίας υπογραμμίζεται και από το νομπελίστα Delbruck, ο οποίος παραδέχεται πόσο επηρεάστηκε ο ίδιος από αυτόν στο βιολογικό ερευνητικό προσανατολισμό του. Αλλά και άλλοι πολλοί ερευνητές δέχονται ότι επηρεάστηκαν από το ρώσο βιολόγο¹⁹.

Ο δεύτερος ρόλος στη σχολή αυτή αποδίδεται στον κοσμολόγο Gamow. Αυτός σπούδασε στο Λένινγκραντ, κοντά στο γνωστό επιστήμονα Φρίντμαν. Στα 1928, βρέθηκε στο Göttingen για πολιτιστική και επιστημονική συνεργασία. Όταν άρχισε η μεγάλη επιστημονική διαμάχη στη Ρωσία, αναχώρησε στην Αμερική (1934), όπου *συμμετείχε στη θεωρητική ανάπτυξη του γενετικού κώδικα*. Όλοι οι πρωταγωνιστές της μοριακής βιολογίας (Watson, Crick, Monod) αναφέρονται στο ρόλο του για την ανάπτυξη του κλάδου.

Επίσης, οι δύο ρώσοι ερευνητές Σπίριν και Μπελοζέρσκι έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στο θεωρητικό στοχασμό που οδήγησε στην ανάπτυξη του μοντέλου για τη ροή της γενετικής πληροφορίας.

Η ιδέα που επικρατούσε εκείνη την εποχή από τις εργασίες των Caspersen και Brachet και η οποία ενισχύθηκε από την αποκάλυψη της δομής της διπλής έλικας του DNA, ήταν ότι η εγγεγραμμένη πληροφορία στο μόριο του DNA μεταφερόταν στα ριβοσώματα και ότι κάθε ριβόσωμα κατασκεύαζε μία μόνο πρωτεΐνη²⁰. Η ιδέα αυτή παρουσιαζόταν με το εξής μοντέλο: *ένα γονίδιο = ένα ριβόσωμα = μία πρωτεΐνη*. Οι έρευνες των δύο ρώσων αποδείκνυαν ότι αυτή η σχέση δεν ίσχυε και ότι το σχήμα αυτό ήταν εσφαλμένο και το γεγονός αυτό ώθησε τους βιολόγους της Δύσης να δώσουν άλλη κατεύθυνση στον προβληματισμό τους για το ρόλο των ριβοσωμάτων. Οι ίδιες έρευνες φανέρωναν επιπλέον από τότε ότι το RNA υφίσταται φάσεις ωρίμανσης πριν καταλήξει στα ριβοσώματα²¹. Οι έρευνες εξάλλου της ομάδας Γεοργκίγιεφ και Σαμαρίνα συνέβαλαν στην κατανόηση του ρόλου της *ωρίμανσης του RNA*²².

3. Οι κύριες έννοιες του βιολογικού παραδείγματος

Οι τρεις σημαντικές έννοιες που αποτέλεσαν τα δόγματα του βιολογικού παραδείγματος στη δεκαετία του '60 είναι οι ακόλουθες:

- Η έννοια της μονόδρομης ροής της γενετικής πληροφορίας, γνωστής με το όνομα

«κεντρικό δόγμα της βιολογίας», το οποίο υποστηρίζει ότι η πληροφορία ρέει πάντα από το DNA προς το RNA και από το RNA προς τις πρωτεΐνες.

Ο μηχανισμός αυτός, ο μη αντιστρεπτός, ο οποίος θεωρούσε την πληροφορία ως κώδικα αλληλουχίας νουκλεοτιδίων, καταδίκασε σε εξαφάνιση τη διδακτική θεωρία, δηλαδή τη ροή της πληροφορίας από τις πρωτεΐνες προς τα νουκλεϊκά οξέα.

Από τότε, επίσημα πια και σε παγκόσμιο επίπεδο, η διδακτική θεωρία μπήκε στην παραιονομία, όπως και ο Λυσσενκισμός στις τότε κομμουνιστικές χώρες. Η νίκη του Μεντελισμόν, στον οποίο θεμελιώθηκε το βιολογικό παράδειγμα του 20ού αιώνα, ήταν μεγάλη και σε παγκόσμιο επίπεδο. Στις 22 Νοεμβρίου του 1964, στο επίσημο όργανο του κομμουνιστικού κόμματος, στην εφημερίδα *Πράβντα*, έκανε την εμφάνισή του ένα άρθρο του γενετιστή και διευθυντή του Ινστιτούτου της Σιβηρίας, Μπελάγιεφ, το οποίο ασκούσε έντονη κριτική στο Λυσσενκισμό: «Δεν είναι μυστικό ότι η καθυστέρηση της επιστήμης της γενετικής στη χώρα μας οφείλεται στην επιρροή και στην αυθαιρεσία του Λυσσενκισμού στα 1948».

Η αντιπαράθεση «διδακτική διαδικασία - επιλεκτική διαδικασία» κατέληξε τελικά στη νίκη της δεύτερης.

- Η έννοια της συγγραμικότητας του DNA και της πρωτεΐνης, που είχε την προέλευσή της στο γενετικό κώδικα, ο οποίος δέχεται την πλήρη συγγραμικότητα ανάμεσα στο μήνυμα και στην πρωτοταγή δομή των πρωτεϊνών.

Σύμφωνα με το γενετικό κώδικα, η αλληλουχία των νουκλεοτιδίων καθορίζει την αλληλουχία της πολυπεπτιδικής αλυσίδας. Η υπόθεση της γραμμικής αντιστοιχίας των δύο μορίων είχε επαληθευτεί από τους S. Brenner και C. Yanofsky. Ο Yanofsky επιβεβαίωσε, με τα πειραματικά του δεδομένα στις μεταλλάξεις της *E. Coli*, τη γραμμική αντιστοιχία των μορίων.

- Η έννοια της παγκοσμιότητας του γενετικού κώδικα.

Οι έννοιες που μόλις αναφέραμε, οι οποίες αποδεικνύουν τη διαδρομή της εξέλιξης της μοριακής βιολογίας, ήρθαν να προστεθούν στις αρχές της κλασικής γενετικής και βιοχημείας, που είχαν αναπτυχθεί στην πρώτη εικοσαετία του αιώνα. Είναι γεγονός ότι, με την ανάπτυξη της μοριακής βιολογίας, οι ιδέες για την οργάνωση και την ποικιλομορφία του γενετικού υλικού, που ήταν παραδεκτές στα 1900-1940, δεν άλλαξαν. Αυτή είναι η άποψη και του γνωστού βιολόγου S. Benzer, ο οποίος, αναλύοντας με μοριακούς όρους τη χρωμοσωμική δομή, συνέβαλε στο γεφύρωμα της κλασικής με τη μοριακή γενετική: «Είναι γεγονός ότι το μοντέλο των Watson-Crick προωθεί στην αποδοχή της ιδέας ότι οι λειτουργικοί παράγοντες, δηλαδή τα γονίδια της κλασικής γενετικής, αποτελούνται από γραμμικές αλληλουχίες, οι οποίες τέμνονται μόνο από τις μεταλλάξεις και κατά το μειωτικό γενετικό ανασυνδυασμό»²³.

Το σύνολο των φαινομένων της κλασικής γενετικής μπορούσε πια να ερμηνευθεί με όρους μοριακούς: το γονίδιο το αντικαθιστούσε η ιδέα του τμήματος του DNA, τις μεταλλάξεις οι νουκλεοτιδικές τροποποιήσεις. Οι έννοιες και τα δόγματα της κλασικής γενετικής και της βιοχημείας είχαν αναχθεί στις έννοιες του νέου κλάδου.

Η βιοχημική αρχή του James Sumner, που είχε διατυπωθεί στα 1920, ότι

- η ενζυμική δραστηριότητα συνδέεται μόνο με τις πρωτεΐνες

παρέμενε εν ισχύ και ενσωματώθηκε στο κεντρικό δόγμα της βιολογίας. Ο ρόλος των βιολογικών μορίων διαχωριζόταν με πολύ αυστηρά σύνορα, από τους κανόνες της βιοχημείας

και της μοριακής βιολογίας: η λειτουργία της αποθήκευσης και της μεταφοράς της γενετικής πληροφορίας συνδεόταν πάντα μόνο με τα νουκλεϊκά οξέα, με ηγεμόνα το μόριο του DNA, οι καταλυτικές και δομικές λειτουργίες με τις πρωτεΐνες.

Με την ανάπτυξη της μοριακής βιολογίας, οικοδομήθηκε στο χώρο της γενετικής μια εικόνα για την οργάνωση των βιολογικών συστημάτων θεμελιωμένη «στην αντιστοιχία δύο τοπολογιών, της μιας, πολυδιάστατης, που αφορά στη γενετική πληροφορία, και της άλλης, μονοδιάστατης και γραμμικής, που αφορά στην πρωτοταγή δομή των πρωτεϊνών»²⁴. Αυτή η εικόνα αποκάλυπτε την ύπαρξη ενός ανστηρού προγράμματος, το οποίο χαρακτηρίζεται από σταθερότητα, από άρνηση στα εξωτερικά μηνύματα και το οποίο μεταδίδεται αναλλοίωτο από γενεά σε γενεά²⁵. Το πρόγραμμα αυτό, σύμφωνα με τις απόψεις ενός από τους πρωταγωνιστές της μοριακής βιολογίας, του F. Jacob: «είναι απρόσιτο σε πειραματισμούς και επεμβάσεις [...] Η δομή του νουκλεϊκού οξέος παραμένει αναλλοίωτη σε ολόκληρες γενιές [...] η ίδια η φύση του γενετικού προγράμματος είναι τέτοια που εμποδίζει κάθε είδους αλλαγή από το περιβάλλον»²⁶.

Αλλά και ο Monod (1970) αποδίδει στη συμμετρία του μορίου του DNA τη γενετική αμετατροπία. Και αυτός υποστηρίζει επίσης: «ότι το γονιδίωμα είναι εντελώς συντηρητικό στη δομή του, κλεισμένο και απρόσιτο, χωρίς να επηρεάζεται διδακτικά από τον εξωτερικό κόσμο. Πρόκειται για ένα σύστημα το οποίο αρνείται την οποιαδήποτε αλλαγή».

Είναι ενδιαφέρον να υπογραμμίσουμε το γεγονός ότι, κατά τη δεκαετία του '70, την εποχή που διατυπώνονται αυτές οι απόψεις, η ιδεολογική διαμάχη που ξεκίνησε στη δεκαετία του '40 ανάμεσα στις δυτικές απόψεις για σταθερό και απρόσιτο γενετικό υλικό και στους υποστηρικτές της σοβιετικής βιολογίας, που υποστήριζε ότι το εξωτερικό περιβάλλον επηρεάζει την κληρονομικότητα των οργανισμών, είχε ήδη λήξει. Η νίκη ήταν με το μέρος του Μεντελικού βιολογικού παραδείγματος. Οι πόρτες της Σοβιετικής Ένωσης άνοιξαν στη Μεντελική γενετική και στη μοριακή γενετική και το γεγονός αυτό γιορτάστηκε με την αποδοχή της πρότασης της σοβιετικής βιολογικής κοινότητας να οργανωθεί στα 1961 το διεθνές συνέδριο της βιοχημείας στη Μόσχα. Ο F. Crick περιγράφει με πολύ γλαφυρό τρόπο την αλλαγή του κλίματος στο ανατολικό μπλοκ: «Η επίδραση του Λυσένκο, του ανθρώπου που κατακερμάτισε τη ρωσική γενετική, ήταν πια ελάχιστη. Μου δόθηκε η εντύπωση ότι τον κύριο ρόλο για την κατάρριψη του λυσοσενκισμού τον έπαιξαν κυρίως οι επιστήμονες που προέρχονταν από το χώρο της φυσικής, όπως ο Ταμ, οι οποίοι μπορούσαν να διακρίνουν τους τσαρλατάνους από τους πραγματικούς επιστήμονες και διέθεταν επιπλέον και πολιτικό κύρος. Κάποιοι από τους συνέδρους, όπως εγώ, προσκληθήκαμε να δώσουμε διαλέξεις σε βιολογικά τμήματα της ατομικής ενέργειας, κάτι που ήταν απίστευτο λίγα χρόνια πριν»²⁷.

4. Δεύτερη στιγμή του παραδόξου ή επιστροφή του φιναιλισμού

Το παράδειγμα αυτό, του οποίου την πορεία μόλις παρακολουθήσαμε, αποτελεί την πρώτη στιγμή του παραδόξου. Χρειάζεται τώρα να ερμηνεύσουμε τη δεύτερη στιγμή αυτού του παραδόξου. Οι θεωρητικοί και πειραματικοί προβληματισμοί των σχολών της μοριακής βιολογίας, που έδωσαν ώθηση στην ανάπτυξη αυτού του παραδείγματος, δεν ακολου-

θησαν καλό δρόμο... δεδομένου ότι έδωσαν τη δυνατότητα στο να αναπτυχθούν οι τεχνολογίες του ανασυνδυασμένου DNA, οι οποίες επέτρεψαν την απομόνωση και την αποκρυπτογράφηση γονιδίων από όλα τα είδη, τη μεταφορά γονιδίων από ένα είδος σε άλλο και το άνοιγμα προς *φινανλιστικές επεμβάσεις στο γενετικό υλικό*.

Ο αναγνώστης δεν μπορεί παρά να διαπιστώσει μαζί με μας αυτή τη νέα κατάσταση: ότι το σύνολο των αρχών που επέτρεψε την οικοδόμηση του παραδείγματος και είχε αποκλείσει αυστηρά τις *εσχεμμένες, φινανλιστικές επιδράσεις του περιβάλλοντος*, ήταν το ίδιο που έδωσε τη δυνατότητα της ανάπτυξης των εργαλείων επέμβασης στο γενετικό υλικό. Αυτή η *ρήξη των θεμελιωδών συνόρων*, που διαχωρίζαν, μέσα στο πλαίσιο του παραδείγματος, το εξωτερικό περιβάλλον από το γενετικό υλικό, είναι ακόμη πιο επαναστατική, λόγω του ότι καταγράφεται μέσα στα πολιτισμικά σχέδια που έχουν πολιτικές, οικονομικές και ιατρικές προεκτάσεις. Αυτή η νέα κατάσταση, κατά τον Michel Tibon-Comillot, δεν μπορεί παρά να ερμηνευτεί μέσα στο πλαίσιο ενός είδους σύγχρονου «*νεο-λαμαρκισμού*», εάν δεχτούμε ότι πρέπει να διατηρήσουμε τον όρο, λόγω της τελεολογικής διάστασης που παρουσιάζει και όχι λόγω των εσφαλμένων αντιλήψεων που τον χαρακτήριζαν ως ρεύμα στην εποχή του. Έτσι, η οικοδόμηση του τόσο λειτουργικού βιολογικού παραδείγματος, που παρακολούθησαμε την ετεξεργασία της εδραίωσής του, με το γκρέμισμα των συνόρων του απελευθέρωσε ένα νέο θεωρητικό πλαίσιο, για το οποίο οι βιολόγοι καλούνται να δώσουν επιστημολογικές και ιστορικές ερμηνείες.

Αυτό το νέο θεωρητικό και πειραματικό πλαίσιο έφερε στο φως νέα ευρήματα, από τα οποία αμφισβητούνται πάρα πολλές από τις έννοιες, τα δόγματα και τις επιστημονικές αλήθειες του βιολογικού παραδείγματος, χάρη στις οποίες ο κλάδος αναπτύχθηκε και επεκτάθηκε και σε άλλους κλάδους και οι οποίες είχαν θεωρηθεί προγενέστερα ως τελειωμένες και αναλλοίωτες²⁸.

Ο κατάλογος των εννοιών που αμφισβητούνται, και που ορισμένες τις καταγράφουμε παραδειγματικά εδώ, έχει γίνει σήμερα τεράστιος. Αναφέρουμε, χαρακτηριστικά, κάποιες από αυτές τις έννοιες, οι οποίες ίσχυαν πριν και έχουν σήμερα αμφισβητηθεί:

1. Το δόγμα «*ένα γονίδιο = μία πρωτεΐνη*». Σήμερα γνωρίζουμε ότι ένα γονίδιο μπορεί να κωδικοποιήσει για πολλές και διαφορετικές πρωτεΐνες και ένζυμα, (μέσω των μηχανισμών επιλογής, 1) των υποκινητών, 2) του διαφορικού ματίσματος, 3) διαφορετικών αλληλουχιών ως αρχή και τέλος της μετάφρασης...).

2. Το δόγμα «*της μονόδρομης ροής της γενετικής πληροφορίας*» από το DNA προς το RNA και προς τις πρωτεΐνες, καθώς σήμερα είναι γνωστό ότι η αντίστροφη μεταγραφή αποτελεί το ευλογημένο εργαλείο των βιολόγων...

3. Η έννοια της *μετάλλαξης* ως μιας τυχαίας, συμπτωματικής και αυθόρμητης αλλαγής. Στις μέρες μας, με την *κατευθυνόμενη μεταλλαξιογένεση*, μπορούμε να κατασκευάσουμε εσχεμμένες μεταλλάξεις σε συγκεκριμένες θέσεις.

4. Η αλήθεια ότι «*οι μολυσματικοί παράγοντες περιέχουν μόνο νοικλεϊκό οξύ ως γενετικό υλικό*». Είναι πλέον γνωστό ότι το βραβείο Νόμπελ του 1997 δόθηκε στους ερευνητές που ανακάλυψαν μέσω των Πριόνς ότι η γενετική πληροφορία μπορεί να μεταβιβαστεί και με άλλες μορφές κωδικοποίησης εκτός του γονιδίου²⁹.

5. Το δόγμα της «*συγγραμικότητας*» των γονιδίων και των πρωτεϊνών γκρεμίστηκε με

την ανακάλυψη, από τον Sharp στην Αμερική, τον Georgief στη Ρωσία και τον Chambon στη Γαλλία, των ιντρονίων και των εξονίων, καθώς και από την ανακάλυψη του φαινομένου Editing.

6. Το δόγμα της σταθερότητας του γενετικού υλικού. Σήμερα όλοι γνωρίζουν ότι τα γονίδια αποτελούν αντικείμενα έντονης δραστηριότητας, αλλαγής, μετακίνησης, απώλειας...

7. Το δόγμα της βιοχημείας ότι μόνο οι πρωτεΐνες έχουν ενζυμική δραστηριότητα. Είναι πια γνωστό ότι το μόριο του RNA αποτελεί καταπληκτικό ένζυμο κατάλυσης (ριβοζύμη) και ότι η ανακάλυψη αυτή, που επιβραβεύτηκε με το βραβείο Νόμπελ, άνοιξε νέους δρόμους στην ενζυμολογία. Έτσι, καταργήθηκαν και τα σύνορα ανάμεσα στα πληροφοριακά και στα λειτουργικά μόρια.

Το νέο σκηνικό, που διαμορφώθηκε στο χώρο της βιολογίας στη δεκαετία του '80, παρουσιάζεται με εξαιρετικό τρόπο από τον F. Jacob, ο οποίος αναφέρει: «είναι εκπληκτικό πόσο εύπλαστο είναι το γενετικό υλικό και με πόση ευκολία ανασυνδυάζεται. Αυτή η συνδυαστική ικανότητα ήταν γνωστή ότι ίσχυε για τα άτομα, για τα κύτταρα, αλλά [...] αυτή η συνεχής και ασταμάτητη συνδυαστική αυτών των ιδίων τμημάτων των γονιδίων, για να κατασκευάσουν νέα προϊόντα, από κομμάτια παλιά [...] δεν μπορούσαμε να τη φανταστούμε. Πρόκειται για έναν καινούριο τρόπο για να βλέπουμε τη ζωή»³⁰.

5. Τρίτη στιγμή του παραδόξου ή η απόρριψη του άκρατου αναγωγισμού

Η αποκρυπτογράφηση και ανάλυση των γονιδιωμάτων των διαφόρων οργανισμών, η διαπίστωση ότι το ανθρώπινο γονιδίωμα ελάχιστα διαφέρει από αυτό της δροσόφιλας και η ανακάλυψη ότι μόνο το 1,5% των γονιδίων μας είναι γνωστό, σε συνδυασμό με τα ευρήματα από τα πειράματα της γονιδιακής καταστολής (knock out), έφεραν στο φως νέες ιδιότητες του DNA: την πλειοτροπία, τον πλεονασμό, την πολυπλοκότητα και κάποια μορφή επιγενετικής κληρονομικότητας.

Η νέα αντίληψη για τον κόσμο των έμβιων όντων, που προέκυψε μέσα από αυτές τις νέες ιδιότητες, συνιστά μια μικρή επιστημολογική επανάσταση, λόγω της απόρριψης από ένα τμήμα βιολόγων του άκρατου αναγωγισμού. Σύμφωνα με τα νέα ευρήματα, οι πολύπλοκες ιδιότητες των οργανισμών δεν εξαρτώνται από τη δομή των συστατικών μορίων τους, αλλά από τη συγκεκριμένη ολοκληρωμένη λειτουργικότητα και αλληλεπίδρασή τους. Με τη νέα αντίληψη, οι ιδιότητες των οργανισμών δεν μπορούν να «αναχθούν» στη δράση μόνο ορισμένων γονιδίων και πρωτεϊνών.

Σημειώσεις

1. Erwin Schrödinger, *Τι είναι η ζωή*, εκδόσεις Κωσταράκη.
2. Φρανσουά Ζακόμπ, *Η λογική του ζώντος*, εκδόσεις Ράππα, σσ. 17-18, Claude Bernard, *Leçons sur les phenomenes de la vie*, σσ. 50-51.
3. Henri Atlan, *La fin du tout génétique?*, εκδόσεις INRA, σσ. 16-17.

4. M. Morange, *Η ιστορία της μοριακής βιολογίας*, 1991, ελ. έκδ. Καστανιώτης, σ. 115.
5. I. Prigogine, *La fin des certitudes*, εκδ. Odile Jacob, Paris 1996, σ. 4.
6. T. Kuhn, *La structure des révolutions scientifiques*, Edition Flammarion, Paris 1970, σ. 98.
7. M.T. Cornillot, *Penser en amont de la bioéthique*, 1992, σ. 143.
8. A. Kahn, "Instabilités", *Journées de génétique*, 16, Septembre, 1994, Paris.
9. Beadle G., "Genes and chemical reaction in Neurospora", *Science*, 129, no 3365, 1959, σσ. 1715-1719, Tatum E., "A case history in biological research", *Science*, 129, 1959, σσ. 1711-1714.
10. Davidson J., *La biochimie des acides nucléiques*, Edition Dunod, Paris, 1960, σ. 204, Thieffry D. and Burian R., "Jean Brachet's alternative scheme for proteins synthesis", *TIBS* 21, 1996, σσ. 114-117, Brachet J., "Ribonucleic acids and the synthesis of cellular proteins", *Nature* 186, 1960, σσ. 194-198.
11. Hess E., "Origins of molecular biology", *Science*, 168, 1970, σσ. 664-668, Stent G., "That Was the Molecular Biology", *Science* 160, 1968, σσ. 390-395, Sanger F., "Sequences, sequences and sequences", *Ann. Rev. Bioch.* 1988, 57, σσ. 1-28.
12. Perutz M., *La Science est-elle nécessaire?*, ed. O. Jacob, σ. 280.
13. Judson H., *The eight day of creation*, Simon and Schuster, N.Y. 1979, σ. 209, Pnina Abir-Am., "Themes genres and orders of legitimation in the consolidation of new scientific disciplines: Deconstructing the historiography of molecular biology", *Science, History Publications*, 1985, σσ. 73-111.
14. Burian R., "La contribution française aux instruments de recherche, dans le domaine de la génétique moléculaire", *Histoire de la génétique*, La Découverte, 1990, σσ. 247-269, Gaudiliere J.P., *Molecular biology in French tradition*, 1993, σ. 475.
15. Cohen G., "Studies on B-galactosidase and their impact on molecular biology: a personal view", *Current biology*, 15 July, 1994, σ. 197.
16. Morange M. (1994), σ. 197, Monod J., Cohn M., Pollock M., Spiegelman S., Stanier R., "Terminology of enzyme formation", *Nature, Lettre*, 172, 1953, σ. 1096.
17. Boivin A. και Vendrely R., "Sur le rôle possible des deux acides nucléiques dans la cellule vivante", *Experientia*, 3, 1947, σσ. 32-34, Vendrely R. και Vendrely C., *Experientia*, 4, 1948, 434.
18. Ο αμερικανός ιστορικός της γενετικής μηχανικής S. Hall περιγράφει, στο γνωστό βιβλίο του *Invisible Frontiers. The Race To Synthesize a Human Gene*, τον τρόπο με τον οποίο αναπτύχθηκε η μέθοδος αποκρυπτογράφησης του DNA: «Είναι η στιγμή κατά την οποία ο Gilbert θα παρουσιάσει ένα νέο μεθοδολογικό εργαλείο, εξαιρετικό και χρήσιμο [...]. Ο Gilbert και ο Maxam άρχισαν να κατασκοπεύουν τον καλεσμένο τους Μιχάηλ Μπέκφ, ο οποίος είχε επινοήσει κάποια μέθοδο για την εύρεση της αλληλουχίας [...]». Μια άλλη αναφορά για το ίδιο θέμα γίνεται στο βιβλίο: Robert Cook-Deegan, *The Gene Wars*, εκδόσεις Norton, USA, 1994, σσ. 192-195, και στο βιβλίο: Jordan B., *Voyage autour du Genome*, εκδόσεις Inserm, 1993, σ. 86.
19. Delbruck M., "A physicist's Renewed Look at Biology: Twenty Years Later", *Science*, 168, 1970, σσ. 1312-1315, Yoxen E.J., "Where does Schrodinger's 'What is Life' belong in the History of molecular biology?", *Hist. Sci.* xvii, 1979, σσ. 17-52.
20. Cohen G., *Biosyntheses*, Herman Publishers in Art and Sciences, 1994, France, σ. 103.
21. Spirin A., *Ribosome structure and proteins synthesis*, Institute of Protein Research, Moscow 1986, The benjamin Publishing Company, σσ. 7-9, Belogerski A. και Spirin A., "A correlation between the composition of Deoxyribonucleic acids and Ribonucleic acids", *Nature* 4628, 182, 1958, σσ. 111-112.
22. Georgief G., Samarina O., Lerman M., Smirnov M., Severtov A., "Biosynthesis of messenger and ribosomal ribonucleic acids in the nucleolochromosomal apparatus of animal cells", *Nature*, 200, 1963, σσ. 1291-1294, Georgief G., "On the structural organization of operon and the regulation of RNA synthesis in animal cells", *J. Theor. Biol.* 1969, 25, σσ. 473-490.
23. Benzer S., "The fine structure of the gene", *Scient. Amer.*, January 1962, 70-84.
24. Fantini B., "Jacques Monod et les origines de la biologie moléculaire", *La Recherche*, no 218, 1990, σ. 186.
25. Kahn Axel, "Instabilités", *Journée de génétique et de pathologie moléculaire*, Paris, 1994.
26. Jacob F., *Η λογική του ζώοντος*, 1970, σσ. 11, 16.
27. Crick F., *ό.π.*, 1988, σ. 180.
28. A. Kahn, "Instabilités", *Journées de génétique*, 16, Septembre, 1994, Paris.
29. S. Prusiner, "Les maladies a prions", *Pour la science*, no 209, 1995, σ. 42, D. Dormont and J.M. Delys, "Une enigme biologique non resolue", *Pour la science*, 209, 1995, σ. 49.
30. F. Jacob, "Trente ans après", *La Recherche*, 1995, 28 Octobre, σσ. 111-114.

