

Κύριοι σταθμοί δημιουργίας των σύγχρονων βιοεπιστημών (1).

Η βιολογία κατά τον 20ο αιώνα αναπτύχθηκε πολύ σημαντικά ώστε στα τέλη του και στις αρχές του 21ου αιώνα να γίνει η επιστήμη που ασκεί μαζί με την πληροφορική το μεγαλύτερο γόητρο στον άνθρωπο και κυρίως στους νέους. Η περίοδος αυτή μπορεί να χωριστεί σε δύο περιόδους. Την πρώτη 50ετία, αυτή της κλασσικής βιολογίας όπου η γνώσεις μας αναπτύσσονται και επιταχύνονται και τη δεύτερη περίοδο, από τότε μέχρι και σήμερα, την περίοδο κατανόησης των βιολογικών λειτουργιών σε μοριακό επίπεδο. Η εξιχνίαση της μοριακής δομής του DNA οριοθετεί χονδρικά τις δύο αυτές περιόδους.

Γενετική

Με το Μέντελ αρχίζει ουσιαστικά η γενετική, ο κλάδος της βιολογίας που μελετά τα φαινόμενα της κληρονομικότητας και της ποικιλότητας (χωρίς την ύπαρξη διαφορετικών μορφών δεν είναι δυνατόν να μελετηθεί ο τρόπος με τον οποίον αυτές κληρονομούνται). Στον Τσέχο αυγουστίνο μοναχό Gregor (κατά κόσμον Johann) Mendel (1822-1884), οφείλουμε την αποκρυπτογράφηση του μηχανισμού της κληρονομικότητας. Ο Μέντελ προέβη σε δύο σημαντικές μεθοδολογικές καινοτομίες, που του επέτρεψαν αυτή την κατανόηση. Αρχικά παρατήρησε τη μεταβίβαση ενός μόνο χαρακτηριστικού σε όσες διασταυρώσεις έκανε, (αργότερα περισσότερων χαρακτηριστικών συγχρόνως), ενώ οι πρόδρομοι του διασταύρωναν ποικιλίες που διέφεραν συγχρόνως σε πολλά γνωρίσματα. Επίσης δεν αρκέσθηκε στην παρατήρηση ενός ή λίγων ατόμων στις επόμενες γενιές αλλά καταμέτρησε πολλά, αποκτώντας έτσι στατιστικά δεδομένα. Με διασταυρώσεις μεταξύ «καθαρών σειρών» (που η καθεμιά τους ήταν για γενιές ομοιόμορφη σε μορφολογικά χαρακτηριστικά) μπόρεσε να παρατηρήσει το φαινόμενο της «διάσχισης». Το φαινόμενο δηλ. όπου ενώ συχνά τα υβρίδια (τα προϊόντα της πρώτης γενιάς από τη διασταύρωση) ήταν ομοιόμορφα και έμοιαζαν με έναν από τους δύο γονείς (φαινόμενο της «κυριαρχίας» κατά το οποίο ένα χαρακτηριστικό επικρατεί στο άλλο), στη δεύτερη γενιά φανερώνονταν

και οι δύο γονεϊκοί τύποι με αναλογία 3 (του κυρίαρχου χαρακτηριστικού, του απαντώμενου στον ένα γονέα) προς 1 (του γονέα του οποίου το χαρακτηριστικό επισκιάζόταν στην πρώτη γενιά, του «υπολειπόμενου» χαρακτηριστικού). Αυτό το φαινόμενο, η «διάσχιση», φανέρωνε ότι οι κληρονομική ουσία συμπεριφερόταν μάλλον ως μονάδα παρά ως μειγνυόμενο υγρό και ότι κάθε τέτοια μονάδα μπορούσε να υφίσταται σε περισσότερες από μια μορφή (αλληλόμορφοι) και ότι οι μορφές αυτές δεν άλλαζαν τη φύση τους έστω και εάν συνευρίσκονταν εντός ενός ατόμου μαζί με μια άλλου τύπου μορφή (με διαφορετικό αλληλόμορφο). Πράγματι, κάθε άτομο μοιάζει να κληρονομεί μια τέτοια μονάδα ή μορφή από τον πατέρα του (ή τον αρσενικό γαμέτη) και μια άλλη από τη μητέρα του (από το ωάριο). Κάθε χαρακτηριστικό καθοριζόταν από διαφορετική μονάδα. Οι μονάδες αυτές, «παράγοντες» ή «οριστές», αργότερα, το 1909, ονομάστηκαν γονίδια από τον Δανό Johanssen. Κάθε γονίδιο μπορούσε να υφίσταται σε διάφορες μορφές. Ο Μέντελ στις διασταυρώσεις του αρχικά παρακολουθούσε τη διάσχιση ενός γονιδίου, ακολούθως τη διάσχιση δύο γονιδίων συγχρόνως. Στις διασχίσεις δύο γονιδίων παρατήρησε μόνο ανεξάρτητες διασχίσεις, δηλαδή ότι το ένα γονίδιο διασχιζόταν ανεξάρτητα από το άλλο.

Το έργο του Μένδελ στερήθηκε της αναγνώρισης και αποδοχής που εδικαιούτο. Οι λόγοι για τούτο είναι πολλοί. Διάσημοι βοτανικοί της εποχής του δεν το αναγνώρισαν ως σημαντικό. Τα ευρήματα του Μέντελ ήρθαν και πάλι στην επικαιρότητα το 1900 από τρεις βιολόγους, που τα ανακάλυψαν ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλον: το Βερολινέζο βοτανικό Carl Correns (1864-1933), ο οποίος είχε επίσης πειραματικά δεδομένα που έμοιαζαν με εκείνα του Μέντελ), τον Ολλανδό βοτανικό Hugo de Vries (1848-1935) και τον Αυστριακό Erich von Seysenegg Tschermak (1871-1962). Τα ευρήματα του Μέντελ αναφέρονταν σε ποιοτικά χαρακτηριστικά, χαρακτηριστικά μη συνεχούς κατανομής, σε αντίθεση με τα ποσοτικά χαρακτηριστικά. Ο Δαρβίνος με την υιοθέτηση των μικρών εξελικτικών βημάτων είχε εστιάσει την προσοχή προς τις μικρές ποσοτικές διαφορές. Ήταν λοιπόν φυσικό η σχολή που προήλθε από το Δαρβίνο να αντιδράσει στο μενδελισμό. Πρόκειται για τους βιομετριστές, επικεφαλής των οποίων ήταν ο ξάδελφος του Δαρβίνου, Francis Gallon

(1822-1911). Οι βιομετριστές, ο Gallon και ο μαθητής του Karl Pearson (1857-1936) μεταξύ άλλων, απέκρουαν το μενδελισμό. Όντως μια σειρά ζωολόγων και βοτανικών με διασταυρώσεις σε διάφορα είδη ζώων και φυτών επιβεβαίωνε το μηχανισμό του Μέντελ. Έτσι παρακάμφθηκαν οι αντιρρήσεις των βιομετριστών.

Ο Wilhelm Johannsen (1857-1927) παρατήρησε ότι ο γονότυπος (η γενετική δομή του ατόμου, ο συνδυασμός των αλληλόμορφων που πήρε από τους γονείς του για ένα γονίδιο ή για περισσότερα γονίδια (ή για όλα του τα γονίδια) και ο φαινότυπος (τα χαρακτηριστικά του ατόμου, μορφολογικά, ανατομικά, φυσιολογικά, συμπεριφοράς) έχουν την ακόλουθη σχέση μεταξύ τους: ο φαινότυπος καθορίζεται από το γονότυπο και το περιβάλλον στο οποίο διαμορφώνεται και διαβιώνει το άτομο, δηλαδή ο φαινότυπος καθορίζεται από την αλληλεπίδραση των δύο αυτών παραγόντων. Τα γονίδια δεν είναι μικρογραφίες των χαρακτηριστικών, παρέχουν μόνο τις δυνατότητες να αποκτήσει το άτομο αυτά τα χαρακτηριστικά κατά την ανάπτυξη του σε ένα ορισμένο περιβάλλον. Αυτές οι δυνατότητες παρέχουν την ευχέρεια ύπαρξης όχι μόνο ποιοτικών αλλά και ποσοτικών διαφορών.

Στις αρχές του περασμένου αιώνα, το 1900, έγινε φανερό ότι η συμπεριφορά των χρωμοσωμάτων έμοιαζε εκπληκτικά με τη συμπεριφορά των γονιδίων: κάθε γαμέτης έχει ένα μόνο χρωματόσωμα από κάθε ζεύγος χρωμοσωμάτων (μετά τη μείωση του αριθμού των χρωμοσωμάτων κάθε γαμέτης φέρει τον μισό αριθμό χρωμοσωμάτων σε σύγκριση με εκείνο των σωματικών κυττάρων), κάθε γαμέτης φέρει ένα μόνο από τους δύο αλληλομόρφους του ατόμου. Το άτομο στα σωματικά του κύτταρα φέρει το διπλάσιο αριθμό χρωμοσωμάτων, δύο σε κάθε ζεύγος - δύο αντίγραφα του ίδιου γονιδίου φέρει κάθε άτομο, ένα προερχόμενο από τον πατέρα του, το άλλο από τη μητέρα του. Τέλος, η ανεξάρτητη διάσχιση των χρωμοσωμάτων που ανήκουν σε διαφορετικά ζεύγη θυμίζει την ανεξάρτητη διάσχιση δύο διαφορετικών γονιδίων. Ο Αμερικανός μεταπτυχιακός φοιτητής W. Sutton και συγχρόνως ο Γερμανός καθηγητής και γνωστός κυτταρολόγος Theodor Boveri (1862-1915) υπέθεσαν ότι τα γονίδια εδράζονταν στα χρωμοσώματα και ως εκ

τούτου έχουν υλική υπόσταση.

Τα χρωμοσώματα υποδείκνυαν και κάτι άλλο, μια άμεση σχέση τους με τον καθορισμό του φύλου. Στο Πανεπιστήμιο Columbia της Νέας Υόρκης ο διευθυντής του τμήματος ζωολογίας, εμβρυολόγος και κυτταρολόγος E.B. Wilson (1856-1939) και συνεργάτες του παρατήρησαν ότι διέφεραν τα αρσενικά άτομα από τα θηλυκά της μύγας του ξιδιού δροσόφιλα (*Drosophila melanogaster*) σε ένα ζεύγος χρωμοσωμάτων (τα φυλετικά χρωμοσώματα). Ενώ τα θηλυκά έφεραν δύο όμοια χρωμοσώματα (XX), τα αρσενικά είχαν σε αυτό το «ζεύγος» δύο ανόμοια (XY). Η «μενδελιανή» διάσχιση αυτού του ζεύγους εξηγούσε γιατί παράγονται 50% αρσενικά και 50% θηλυκά άτομα: το φύλο με τα ανόμοια χρωμοσώματα (το «ετερογαμετικό» φύλο) παρήγε δύο ειδών γαμέτες (σπερματοζωάρια) ως προς αυτά (τα μισά έφεραν το X, τα άλλα μισά το Y).

Ο Thomas Hunt Morgan (1866-1945), αποφάσισε να μελετήσει το φαινόμενο της κληρονομικότητας χρησιμοποιώντας ως υλικό τη δροσόφιλα. Η έρευνα άρχισε το 1908 και ήδη το 1915 είχε διατυπωθεί ο βασικός μηχανισμός της κληρονομικότητας [στο βιβλίο των Μόργκαν, Στάρτεβαντ και Μπρίτζες *The Mechanism of Mendelian Heredity* (Ο μηχανισμός της Μενδελιανής Κληρονομικότητας)]. Ο Μόργκαν μπόρεσε να κατασκευάσει «γενετικούς» χάρτες των χρωμοσωμάτων τοποθετώντας πάνω τους τις θέσεις των γονιδίων. Η ομάδα του παρήγαγε χάρτες όλων των χρωμοσωμάτων της δροσόφιλας. Ο Μύλλερ, ο μόνος μαθητής του Μοργκαν που τιμήθηκε, όπως προηγουμένως και ο δάσκαλος του, με το βραβείο Nobel, είναι εκείνος που το 1927 απέδειξε ότι οι ακτίνες X προκαλούσαν μεταλλάξεις. Οι μεταλλάξεις, απότομες αλλαγές του γονιδίου από μια σε άλλη αλληλόμορφη κατάσταση, είναι πολύ σπάνιες στις συνηθισμένες φυσικές συνθήκες, Με ακτινοβολήση ακτίνων X αυξανόταν σημαντικά η συχνότητα εμφάνισέως τους.

Το επόμενο βήμα έγινε λίγο πριν από το Β' Παγκόσμιο πόλεμο στη Γαλλία [από το Γάλλο Boris Ephrussi (1901-1979) και τον Αμερικανό G. Beadle] αλλά κυρίως κατά τη διάρκεια του πολέμου, το 1941, από τους Αμερικανούς George Beadle (1903-1989) και

Edward Tatum (1909-1975). Αυτοί οι δύο χρησιμοποιώντας άλλο βιολογικό υλικό, τους μύκητες, μπόρεσαν να τεκμηριώσουν την άποψη ότι τα γονίδια διαμορφώνουν τα χαρακτηριστικά (δηλαδή τον φαινότυπο) μέσω ενζύμων. Σε κάθε γονίδιο αντιστοιχεί ένα ένζυμο (θεωρία ενός γονιδίου-ενός ενζύμου). Στη Γερμανία η μελέτη των πρωτεϊνών ήταν πολύ περισσότερο προηγμένη από εκείνη των νουκλεϊκών οξέων. Οι πρωτεΐνες ήταν γνωστό ότι συνίσταντο από ενωμένα αμινοξέα σε μια γραμμική σειρά, σειρά που μπορούσε αργότερα να αναδιπλωθεί και να λάβει συγκεκριμένη μορφή στον τρισδιάστατο χώρο. Ο αριθμός των διαφορετικών ειδών αμινοξέων ήταν 20. Το 1932 οι οργανικοί χημικοί Max Bergmann (1886-1944) και Λεωνίδα Ζέρβας (1902-1980) επινόησαν μια μέθοδο σύνθεσης μικρών πρωτεϊνών με καθορισμένη κάθε φορά σειρά διαδοχής αμινοξέων. Με 20 διαφορετικά αμινοξέα σε διαφορετικές ακολουθίες μπορούσαν να πάρουν μεγάλο αριθμό διαφορετικών μορίων, να έχουν την ίδια ποικιλότητα, όπως ήταν εκείνη των γονιδίων και των αλληλόμορφων τους. Είχαν όμως μια λανθασμένη εικόνα της δομής των νουκλεϊκών οξέων, Αυτή η δομή δεν επέτρεπε παραγωγή μεγάλης ποικιλότητας, ήταν μονότονη.

Το επόμενο βήμα έγινε με τη μελέτη της γενετικής των βακτηρίων και των ιών, κυρίως των βακτηριοφάγων, ιών που μολύνουν και λύουν, δηλαδή καταστρέφουν, τα βακτήρια. Ο Max Delbruck (1906-1981) και Salvador Luria (1912-1991) αποδεικνύουν ότι οι μεταλλαγές στα βακτήρια είναι τυχαίες. Βακτήρια ευαίσθητα σε αντιβιοτικό και που καλλιεργούνταν σε μέσο που περιείχε αυτό το αντιβιοτικό εμφάνιζαν λίγα στελέχη ανθεκτικά σε αυτό, ενώ τα περισσότερα πέθαιναν. Τούτο δεν οφειλόταν στο ότι τα λίγα αυτά βακτήρια συνήθιζαν το αντιβιοτικό και κληρονομούσαν στους απογόνους τους αυτή την εξοικείωση, αλλά σε τυχαίες μεταλλαγές που τα καθιστούσαν ανθεκτικά σε αυτό το αντιβιοτικό και τούτο τους επέτρεπε να επιβιώσουν στο μέσο καλλιέργειας που το περιείχε.

Ο Alfred Hershey (1908-1997) μαζί με τη Martha Chase απέδειξαν ότι, όταν ο βακτηριοφάγος μολύνει το βακτήριο, μόνο το DNA του βακτηριοφάγου εισέρχεται στο

βακτήριο και πολλαπλασιάζεται, ενώ το πρωτεϊνικό του κάλυμμα αφήνεται απέξω. Τούτο ήταν ισχυρή απόδειξη ότι το γενετικό υλικό, δηλαδή τα γονίδια, αποτελούντο από DNA. Ενισχυτικό προς αυτή την κατεύθυνση ήρθε και το φαινόμενο της βακτηριακής «μεταμόρφωσης», γνωστό από το 1928. Κουνέλια που μολύνονται από μολυσματικούς πνευμονιόκοκκους πεθαίνουν από πνευμονία. Οι μολυσματικοί πνευμονιόκοκκοι περιβάλλονται (γύρω από την κυτταρική τους μεμβράνη) από μια κάψα με πολυσακχαρίδια. Μη μολυσματικοί πνευμονιόκοκκοι στερούνται κάψας και τα κουνέλια που μολύνονται από αυτούς δεν αρρωσταίνουν. Όταν όμως κουνέλια μολυνθούν συγχρόνως με σκοτωμένα (με θέρμανση, άρα μη ικανά να προκαλέσουν πνευμονία) μολυσματικά βακτήρια και ζωντανά μη μολυσματικά, εκδηλώνουν γρήγορα πνευμονία και πεθαίνουν. Από τα νεκρά κουνέλια μπορεί να απομονωθεί στέλεχος μολυσματικών με κάψα. Το ίδιο πείραμα μπορεί να γίνει *in vitro*, (σε γυάλινα εργαστηριακά σκεύη) δηλαδή σε καλλιέργεια, εκτός του σώματος του κουνελιού. Στο ίδιο μέσο καλλιέργειας η συνύπαρξη ζωντανών μη μολυσματικών με νεκρά μολυσματικά παράγει μολυσματικά. Το ίδιο αποτέλεσμα με τα νεκρά έχουν και τα εκχυλίσματα νεκρών μολυσματικών. Μετά από εξονυχιστικές μελέτες καθαρισμού των συστατικών του εκχυλίσματος και απομόνωσης του ενεργού παράγοντα, το 1944, ο O. Avery (1877-1955) μαζί με τους συνεργάτες του C. McLeod και M. McCarty απέδειξαν ότι ο ενεργός παράγων ήταν το DNA. Δεδομένου ότι η παρουσία κάψας είναι γενετικά καθορισμένη ιδιότητα, έγινε φανερό ότι η χημική σύσταση του γονιδίου είναι το DNA, που επιφέρει τη μεταμόρφωση.

Ο James Watson (1928-) συνάντησε το Francis Crick (1916- 2004) στο Cambridge της Αγγλίας. Οι δυο τους, χρησιμοποιώντας και κρυσταλλογραφικά δεδομένα της Rosalind Franklin, κατανόησαν και πρότειναν ένα υπόδειγμα δομής αυτού του μορίου το 1953. Αρχίζει μια νέα εποχή στη γενετική και στη βιολογία γενικότερα. Η δομή που προτάθηκε έγινε γνωστή ως η διπλή έλικα. Πρόκειται για δύο αλυσίδες νουκλεοτιδίων ελικοειδώς συνεστραμμένες. Σε κάθε νουκλεοτίδιο της μιας αλυσίδας που περιέχει αδενίνη αντιστοιχεί (και είναι μαζί του ενωμένο με δεσμούς υδρογόνου) ένα νουκλεοτίδιο με θυμίνη της

απέναντι του συμπληρωματικής αλυσίδας, και το αντίστροφο. Το ίδιο συμβαίνει με τα νουκλεοτίδια της κυτοσίνης στη μια αλυσίδα που ενώνονται στην συμπληρωματική αλυσίδα με νουκλεοτίδια γουανίνης, και τανάπαλιν. Έτσι κάθε έλικα (αλυσίδα) αποτελεί την αρνητική εικόνα της συμπληρωματικής της, Αρκεί ο διαχωρισμός των δύο αλυσίδων και η άντληση από το περιβάλλον διαλυμάτων αντίστοιχων συμπληρωματικών νουκλεοτιδίων για να σχηματισθούν από ένα δύο πανομοιότυπα μόρια. Η ιδιαιτερότητα κάθε γονιδίου στην αλυσίδα του DNA συνίσταται στη σειρά διαδοχής, την ακολουθία, των βάσεων των νουκλεοτιδίων του τμήματος αυτής της αλυσίδας. Με αυτό το υπόδειγμα καθίστατο προφανής η ικανότητα αυτοπολλαπλασιασμού του γονιδίου: ένα μεγάλο μυστήριο της γενετικής λυνόταν ικανοποιητικά. Το 1960, δύο Γάλλοι γενετιστές που εργάζονταν στο Ινστιτούτο Παστέρ του Παρισιού, οι François Jacob (1920-) και Jacques Monod (1910-1976), ανακάλυψαν ότι ένα κλωνάρι του DNA μπορούσε να αποχωρισθεί από το συμπληρωματικό του και να αντιγραφεί (ονομάσθηκε μεταγραφή) με τις συμπληρωματικές σε αυτό βάσεις σε RNA που συνήθως όμως αποτελείται από μονόκλωνη αλυσίδα). Το RNA αυτό ονόμασαν αγγελιοφόρο, γιατί μετέφερε το μήνυμα, δηλαδή την πληροφορία για τη σύνθεση της πρωτεΐνης. Η ακολουθία των βάσεων του δεοξυριβοζονουκλεϊκού οξέος μεταβιβαζόταν στο ριβοζονουκλεϊκό οξύ και τούτο μεταφραζόταν σε πρωτεΐνη, δηλαδή σε ακολουθία αμινοξέων. Ο κώδικας αποκρυπτογραφήθηκε στις ΗΠΑ, από το 1961 ως το 1966, από πλειάδα βιοχημικών: τον J.H. Matthaei με το δάσκαλο του M. Nirenberg (1927-), το S. Ochoa (1905-1993), τον H.G. Khorana (1922-) κ.ά. Έτσι, στο τέλος της δεκαετίας του '60 είχαν ολοκληρωθεί οι βασικές ανακαλύψεις των βασικών γενετικών μηχανισμών.

Ήδη, από το 1958, ο Crick είχε εξαγγείλει το «κεντρικό δόγμα» της μοριακής βιολογίας: η ροή της πληροφορίας βαίνει από τα νουκλεϊκά οξέα προς τις πρωτεΐνες. Η αντίστροφη διαδρομή δεν είναι δυνατή, από τις πρωτεΐνες στα νουκλεϊκά οξέα. Το κεντρικό δόγμα αποτελεί μια σύγχρονη παραλλαγή της αρχής για τη μη κληρονομικότητα των επίκτητων ιδιοτήτων που διετύπωσε ο Weismann στα τέλη του 19ου αιώνα. Σύμφωνα με το κεντρικό δόγμα τα νουκλεϊκά οξέα μπορούν να αναπαράγονται: το DNA αναπαράγει

άλλο DNA όμοιο του, το DNA συνθέτει RNA. Τέλος αργότερα φανερώθηκε πώς το RNA μπορεί να συνθέσει DNA. Όμως οι πρωτεΐνες, που καθορίζουν το φαινότυπο, δεν μπορούν να συνθέσουν νουκλεϊκά οξέα, τα χαρακτηριστικά δεν αποτυπώνονται σε γονίδια, σε αντίθεση με τα γονίδια που καθορίζουν τα χαρακτηριστικά.

Φυσιολογία και Βιοχημεία

Η συγκρότηση της βιοχημείας και η πρόοδος της

Πρόδρομοι της βιοχημείας δηλαδή της μελέτη των χημικών αντιδράσεων και των ενώσεων στα έμβια, ήταν οι Liebig, Woehler, Buchner, των οποίων το σύνολο ή το σημαντικό μέρος της δράσεως τους έλαβε χώρα κατά το 19ο αιώνα. Βασικό πρόβλημα παρέμενε η διερεύνηση των ενδιάμεσων ενώσεων και αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα εντός του οργανισμού κατά το μεταβολισμό. Γνωστές ήταν μόνο οι αρχικές ενώσεις και τα τελικά προϊόντα. Ο Λήμπιχ με τη φαντασία του υπέθετε αντιδράσεις βασισμένες σε ακριβή ισοζύγια, χωρίς όμως να προσκομίζει κάποια άλλη τεκμηρίωση. Από την άλλη μεριά ο Μπύχνερ, ήδη από το 1897, είχε αποδείξει ότι εκχύλισμα σακχαρομυκήτων περιείχε ενεργή χημική ένωση που πυροδοτούσε τη ζύμωση του σακχάρου και τη συνέχιζε. Την είχε ονομάσει «ζυμάση». Δεν χρειαζόταν η παρουσία ζωντανών κυττάρων για να επιτευχθεί η ζύμωση, όπως διατεινόταν ο Παστέρ. Για τον Μπύχνερ, ως εκ τούτου, η δομή και η εσωτερική οργάνωση του κυττάρου είχαν λίγη σημασία· το κύτταρο αποτελούσε μια αποθήκη ή μάλλον την πηγή της ζυμάσης, που μπορούσε να δράσει ανεξάρτητα του κυττάρου, δηλαδή εκτός του κυττάρου. Οργανικές χημικές ενώσεις που δρουν όμοια με τη ζυμάση, δηλαδή καταλύουν χημικές αντιδράσεις, ονομάσθηκαν ένζυμα.

Ο Otto Warburg (1883-1970) μελέτησε την αναπνοή και παρατήρησε ότι τα «ένζυμα», τα οποία απομονώνονταν από ζωντανούς ιστούς, ήσαν λιγότερο δραστικά από εκείνα που ακόμα βρισκόνταν στο ζωντανό κύτταρο, πριν από την απομόνωση τους. Γι' αυτόν το ένζυμο εντός του κυττάρου ήταν μια πρωτεΐνη απορροφημένη από κυτταρικές δομές και γι' αυτόν το λόγο ενεργή.

Οι πρωτεΐνες

Οι πρωτεΐνες εθεωρούντο μεγάλα μόρια, συγκρινόμενα με άλλες κατηγορίες ενώσεων, συχνά παρούσες υπό κολλοειδή μορφή σε υδατικά διαλύματα, αλλά μη σταθερής σύνθεσης, με δομή που μπορούσε να αλλοιωθεί με θέρμανση ή με την επίδραση μηχανικής ανατάραξης ή με την επίδραση οξέων ή βάσεων. Οι πρωτεΐνες, με χημικές δράσεις ή υπό την επίδραση ενζύμων, όπως η ρυψίνη ή η πεψίνη, μπορούσαν να κατατμηθούν σε μικρότερα τμήματα. Ο Emil Fischer (1852-1919) πίστευε ότι, όπως τα άλλα μόρια ενώσεων, έτσι και οι πρωτεΐνες είχαν μια σταθερή σύνθεση. Η διάσπαση των πρωτεϊνών (η χάλαση των πεπτιδικών δεσμών τους) έδινε αμινοξέα διαφόρων ειδών, που ο αριθμός τους υπερέβαινε τη δεκάδα. Ο Fischer με τις έρευνες του εμπέδωσε την πίστη στη σταθερή σύνθεση των πρωτεϊνών. Συγχρόνως είχε γίνει αποδεκτό ότι τα ένζυμα αποτελούντο από πρωτεΐνες. Βρέθηκε ότι το μοριακό βάρος των πρωτεϊνών ήταν πολύ μεγάλο, της τάξης των δεκάδων χιλιάδων μονάδων (σε σύγκριση με το μοριακό βάρος του ύδατος που είναι 18). Η μέθοδος της χρωματογραφίας, βοήθησε την απομόνωση τμημάτων στα οποία μια πρωτεΐνη μπορεί να διασπασθεί. Στα μέσα της δεκαετίας του '40 με τη μελέτη των τμημάτων μιας σχετικά μικρής πρωτεΐνης, της ινσουλίνης (51 αμινοξέα), ο Frederick Sanger (1918-) με τους συνεργάτες του έδωσαν την πλήρη σειρά (ακολουθία) των αμινοξέων από τα οποία αποτελείται η ινσουλίνη της αγελάδας. Αποτελείται από δύο αλυσίδες αμινοξέων, δηλαδή δύο πεπτίδια, που ενώνονται «παράλληλα» μεταξύ τους με δεσμούς θείου-θείου. Η ινσουλίνη ήταν η πρώτη πρωτεΐνη της οποίας η δομή γινόταν πλήρως γνωστή.

Το 1950 ο Linus Pauling, Αμερικανός φυσικός, ξεκινώντας από θεωρητική εργασία είχε προτείνει ότι οι πρωτεΐνες έχουν μια δομή στον τρισδιάστατο χώρο και ειδικότερα ότι η γραμμική ακολουθία των αμινοξέων σχηματίζει σε τμήματα της ελικοειδείς περιελίξεις (τις α-έλικες), περιστροφές που συγκρατούνται με ασθενέστερους δεσμούς υδρογόνου στο εξωτερικό των περιελίξεων. Η τρισδιάστατη μορφή μπορούσε να ερμηνεύσει και τη

λειτουργία των ενζύμων ή άλλων δομικών πρωτεϊνών του οργανισμού. Μια αλλαγή ενός μόνο αμινοξέος ήταν δυνατό να μεταβάλλει την τρισδιάστατη δομή και τη λειτουργικότητα μιας πρωτεΐνης. Αυτή ήταν η περίπτωση της παθολογικής αιμοσφαιρίνης S της δρεπανοκυτταρικής αναιμίας, που διέφερε σε ένα μόνο αμινοξύ από την κανονική αιμοσφαιρίνη, όπως απέδειξε το 1957 ο Ingram.

Η αναπνοή

Ο Julius Sachs (1832-1897), Γερμανός βοτανικός, είναι από τους πρώτους που ασχολήθηκαν με τη φυσιολογία των φυτών και ιδιαίτερα με τη φωτοσύνθεση. Έδειξε ότι η χλωροφύλλη δεν είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη στο κύτταρο, αλλά εντοπίζεται σε οργανίδια του κυττάρου, τους χλωροπλάστες. Επίσης ότι η χλωροφύλλη «καταλύει» τις αντιδράσεις που παλαιότεροι ερευνητές είχαν επισημάνει, δηλαδή τη μετατροπή του διοξειδίου του άνθρακα και του νερού σε οργανική ουσία. Ο Warburg μελέτησε επίσης με ακριβή ποσοτικό τρόπο την αναπνοή στα ζώα. Χρησιμοποίησε επιπλέον φασματομετρικές μεθόδους για τον προσδιορισμό ενώσεων («ζυμών», όπως τότε λέγονταν τα ένζυμα) που δρούσαν καταλυτικά στην αναπνοή (την πρόσληψη οξυγόνου για την αποδόμηση οργανικών ενώσεων για την παραγωγή ενέργειας). Ο Warburg χρησιμοποίησε αναλυτικά εργαλεία και μεθόδους που συνιστούν τους προδρόμους της σύγχρονης instrumental analysis, δηλαδή ανάλυσης με επιστημονικά όργανα που κάνουν χρήση φυσικών ιδιοτήτων. Όντως η μεθοδολογία αλλάζει άρδην μετά την πρώτη δεκαετία του 20ού αιώνα. Επινεύονται όργανα ακριβείας, διαρκώς πολυπλοκότερα και πολυδάπανα.

Η μορφολογική παρατήρηση οφείλει πολλά στην ανάπτυξη του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου. Επινόηθηκε στις αρχές της δεκαετίας του '30 από το Γερμανό Ernst August Ruska (1906-1988) και το 1933 χάρις σε αυτό είχαν επιτευχθεί μεγεθύνσεις 12.000 φορές (σε αντίθεση με το μικροσκόπιο φωτός, που μόλις έφθανε τις 1.000-2.000 φορές). προστίθεται και το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης [που επινόησαν ο Ελβετός H. Rohrer (1933-) και ο Γερμανός G. Binnig (1947-)]. Οι μεγεθύνσεις έφθασαν το 1 ή τα 2

εκατομμύρια φορές. Τα τελευταία χρόνια η παραγωγή επιστημονικών οργάνων μαζί με την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών αλλάζουν πλήρως τις συνθήκες, τις προϋποθέσεις αλλά και τις δυνατότητες της επιστημονικής έρευνας.

Η ανακάλυψη των ενώσεων

Η πορεία της βιοχημείας μπορεί να σκιαγραφηθεί με πρόοδο προς δύο κατευθύνσεις, αφενός με την ανακάλυψη, τον προσδιορισμό και την εργαστηριακή σύνθεση βιολογικά σημαντικών οργανικών ενώσεων και αφετέρου με τον προσδιορισμό των ενδιάμεσων σταδίων του μεταβολισμού, της ακολουθίας των χημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα στον οργανισμό.

Το 1902, για πρώτη φορά, ανακαλύπτεται ότι η μεταβίβαση πληροφοριών στον οργανισμό δεν γίνεται μόνο με τη νευρική οδό αλλά και με ουσίες που εκκρίνονται, τις ορμόνες. Πρώτη εντοπίστηκε η αδρεναλίνη (που αρχικά ονομάστηκε επινεφρίνη), η οποία εκκρίνεται από τα επινεφρίδια (στα τέλη του 19ου αιώνα). Στις αρχές του 20ού αιώνα ανακαλύπτεται η ινσουλίνη που παράγεται στο πάγκρεας και η οποία αργότερα, στη δεκαετία του '20, αναγνωρίζεται ότι λείπει στον ινσουλινο-εξαρτώμενο διαβήτη. Ακολουθούν, την ίδια δεκαετία, η αυξητική ορμόνη της υπόφυσης η παραθορμόνη, το οιστρογόνο. Την επομένη δεκαετία, η ανδροστερόνη, οι 28 φλοιοεπινεφρικές ορμόνες οι προσταγλανδίνες, φλοιοτρόπος ορμόνη (ACTH), η νοραδρεναλίνη, που είναι κυρίως νευροδιαβιβαστής (ουσία που επιτρέπει τη μεταφορά μηνύματος στους νευρώνες, τα νευρικά κύτταρα) στο συμπαθητικό νευρικό σύστημα. Την επόμενη δεκαετία καθορίζεται η μελανοτρόπος ορμόνη και η αυξητική ορμόνη. Το 1975 απομονώνονται οι ενδορφίνες, που παίζουν ρόλο στο νευρικό σύστημα.

Στα τέλη του 19ου αιώνα εντοπίζονται ενώσεις που ονομάζονται βιταμίνες και τούτο από παθήσεις που οφείλονται σε στερητικά φαινόμενα των ενώσεων αυτών. Το 1906 ο Hopkins χρησιμοποιεί για πρώτη φορά τον όρο βιταμίνη. Τις δύο πρώτες δεκαετίες του 20ού αιώνα

απομονώνονται οι βιταμίνες A, B, C και D. Τις δύο επόμενες δεκαετίες η βιταμίνη E, ενώ γίνεται γνωστή η χημική δομή της A (από τον Ελβετό Paul Karrer), της C (από τους King, Szent Gyorgyi), της B1 (θειαμίνης, από το Williams). Την ίδια χρονική περίοδο παρασκευάζονται η C (Reichstein), η B2 (ριβοφλαβίνη, από τον Karrer), η E (πάλι από τον Karrer) και καθορίζεται η δομή της K και της νιασίνης. Στη δεκαετία του '40 γίνεται η απομόνωση της H (βιοτίνης) και της B12 (κυανοκοβαλαμίνης). Την επόμενη δεκαετία καθορίζεται η δομή της B12, η οποία συντίθεται το 1972.

Ανακαλύπτονται και άλλα σημαντικά είδη μορίων. Στις τρεις πρώτες δεκαετίες του 20ού αιώνα απομονώνεται το NAD η αίμη, η ριβόζη, η δεοξυριβόζη, η ακετυλχολίνη, η ακτίνη και η ακτινομουσίνη, ενώ στη δεκαετία του '40 το ATP, το ενεργειακό νόμισμα του οργανισμού. Το 1951 ανακαλύπτεται συνένζυμο A, το 1951 το ακετυλοσυνένζυμο A και το 1960 το κυκλικό AMP.

Οι μεταβολικές αντιδράσεις

Με μετρήσεις θερμοκρασίας συσπασμένων και χαλαρών μυών ο Βρετανός A.V. Hill (1886-1977) έδειξε ότι κατά τη διάρκεια της σύσπασης γίνεται κατανάλωση οξυγόνου. Την ίδια χρονιά (1913) ο Otto Meyerhof (1884-1951) μελετά τη συσσώρευση γαλακτικού οξέος στους μυς που εργάστηκαν και την περαιτέρω οξειδωση του. Τα μέσα της δεκαετίας του '20 μελετώνται από τους D. Keilin και Warburg τα κυτοχρώματα και άλλοι ενδιάμεσοι υποδοχείς υδρογόνου στις οξειδοαναγωγές. Το 1933 η πρώτη δέσμη σταδίων στην αναπνοή, η γλυκόλυση (διάσπαση της γλυκόζης), και τα πρώτα στάδια της ζύμωσης γίνονται γνωστά από τους G. Embden (1874-1933) και Meyerhof. Ο Βρετανός A.V. Hill (1886-1977) με μετρήσεις θερμοκρασίας συσπασμένων και χαλαρών μυών έδειξε ότι κατά τη διάρκεια της σύσπασης γίνεται κατανάλωση οξυγόνου. Την ίδια χρονιά (1913) ο Otto Meyerhof (1884-1951) μελετά τη συσσώρευση γαλακτικού οξέος στους μυς που εργάστηκαν και την περαιτέρω οξειδωση του. Τα μέσα της δεκαετίας του '20 μελετώνται από τους D. Keilin και Warburg τα κυτοχρώματα και άλλοι ενδιάμεσοι υποδοχείς

υδρογόνου στις οξειδοαναγωγές. Το 1933 η πρώτη δέσμη σταδίων στην αναπνοή, η γλυκόλυση (διάσπαση της γλυκόζης), και τα πρώτα στάδια της ζύμωσης γίνονται γνωστά από τους G. Embden (1874-1933) και Meyerhof. Ο Βρετανός A.V. Hill (1886-1977) με μετρήσεις θερμοκρασίας συσπασμένων και χαλαρών μυών έδειξε ότι κατά τη διάρκεια της σύσπασης γίνεται κατανάλωση οξυγόνου. Την ίδια χρονιά (1913) ο Otto Meyerhof (1884-1951) μελετά τη συσσώρευση γαλακτικού οξέος στους μυς που εργάστηκαν και την περαιτέρω οξείδωση του. Τα μέσα της δεκαετίας του '20 μελετώνται από τους D. Keilin και Warburg τα κυτοχρώματα και άλλοι ενδιάμεσοι υποδοχείς υδρογόνου στις οξειδοαναγωγές. Το 1933 η πρώτη δέσμη σταδίων στην αναπνοή, η γλυκόλυση (διάσπαση της γλυκόζης), και τα πρώτα στάδια της ζύμωσης γίνονται γνωστά από τους G. Embden (1874-1933) και Meyerhof. Η γλυκόζη διασπάται με σειρά αντιδράσεων τελικά σε δύο μόρια πυροσταφυλικού οξέος. Η διάσπαση είναι σταδιακή και η ενέργεια που εκλύεται αποθηκεύεται σε ATP. Το 1937 ο Γερμανός ο Hans Krebs (1900-1981) στη γέννηση και μαθητής του Warburg διευκρίνισε τις αντιδράσεις του κύκλου του κιτρικού οξέος. Σε αυτό τον κύκλο εισέρχεται το προϊόν της μετατροπής του πυροσταφυλικού οξέος, το οξικό οξύ, ή μάλλον η ακετυλο-ρίζα ενωμένη με το συνένζυμο A. Κατά τον κύκλο αλέθεται, αποδομείται πλήρως το κατάλοιπο που παρήγαγε η γλυκόλυση, ολοκληρώνεται δηλαδή πλήρως η αποδόμηση της γλυκόζης, και παράγεται ενέργεια, που αποθηκεύεται σε ATP και σε NADH, την ανηγμένη μορφή του NAD⁺.

Μια άλλη μεταβολική διαδικασία μελετάται στα φυτά, η φωτοσύνθεση. Το 1938 ο Hill έχει απομονώσει χλωροπλάστες σε ελεύθερο διάλυμα και μελετά την απορρόφηση του οξυγόνου από αυτούς. Το 1957 οι Melvin Calvin (1911-) και ο συνεργάτης του A. Benson ανακαλύπτουν τον κύκλο του Κάλβιν κατά τον οποίο μόρια του διοξειδίου του άνθρακα ενσωματώνονται σε μια ένωση (τη διφωσφοροριβουλόζη) η οποία συμμετέχει σε έναν άλλο κύκλο αντιδράσεων. Με το γύρισμα αυτού του κύκλου (και μάλιστα έξι φορές) αποδίδεται αφενός η αρχική ένωση (η διφωσφοροριβουλόζη) και αφετέρου ένα μόριο γλυκόζης, που προήλθε από το διοξείδιο του άνθρακα και το υδρογόνο. Η υδρόλυση

επιτυγχάνεται χάρις την ηλιακή ακτινοβολία.

Το 1950-1965 οι ενζυματικές οδοί για τη βιοσύνθεση και την αποδόμηση των αμινοξέων, των πουρινών και των πυριμιδινών (οργανικών βάσεων που απαντώνται στα νουκλεϊκά οξέα), των λιπαρών οξέων, των πολύπλοκων υδατανθράκων και των στεροειδών έχουν διευκρινισθεί.

Το νευρικό σύστημα

Το 1914 με 1921 γίνεται γνωστή η ακετυλχολίνη, που επιτρέπει τη διέλευση του νευρικού ερεθίσματος από τις συνάψεις των νευρώνων. Το 1922 μελετώνται ηλεκτρικά οι νευρικές ώσεις. Πολύ αργότερα κατανοήθηκε η διαβίβαση του νευρικού μηνύματος. Πρόκειται για μια στιγμιαία ελευθέρωση από τους αγωγούς στη μεμβράνη των νευρώνων, τους αγωγούς που επιτρέπουν την έξοδο από το νευρώνα των κατιόντων του καλίου και την είσοδο από το εξωτερικό στο νευρώνα των κατιόντων του νατρίου. Μετά τη διέλευση του ερεθίσματος, δαπανώνται μόρια ATP για να επαναφερθεί το σύστημα στην πρότερη του κατάσταση.

Σημαντική προσπάθεια κατεβλήθη για τον εντοπισμό στον εγκέφαλο λειτουργιών ή κέντρων. Αρχικά, τυχαίοι τραυματισμοί, νεκρώσεις ή και ηλεκτρικές καταγραφές ή ηλεκτρικά ερεθίσματα στον εγκέφαλο κατά τη διάρκεια εγχειρήσεων έδωσαν τις πρώτες ενδείξεις για τον εντοπισμό λειτουργικών κέντρων στον εγκέφαλο. Αργότερα οι μελέτες έγιναν με όργανα μεγαλύτερης ακρίβειας, με τη χρήση των λεγόμενων απεικονιστικών μεθόδων, όπως είναι η απεικονιστική αξονική τομογραφία (CT scan), που χρησιμοποιεί ακτίνες Χ, η τεχνική του μαγνητικού συντονισμού (MRI, Magnetic Resonance Imaging) αλλά κυρίως η τεχνική της τομογραφίας εκπομπής ποζιτρονίων (PET, positron emission tomography).

Το 1861 ο Γάλλος Paul Broca περιέγραψε στο αριστερό ημισφαίριο κέντρο του οποίου ο τραυματισμός κατέληγε σε ανικανότητα ομιλίας. Το 1876 ο Γερμανός Karl Wernicke περιέγραψε άλλη μορφή αφασίας, αδυναμία κατανόησης των λέξεων κατόπιν

τραυματισμού άλλης περιοχής στο αριστερό ημισφαίριο. Ειδικές περιγραφικές μορφολογικές μελέτες του φλοιού του εγκεφάλου ακολούθησαν από το Γερμανό K. Brodmann (1908). Έκτοτε η μελέτη επεκτάθηκε στον εντοπισμό ορισμένων κατηγοριών εννοιών, γνωσιακών λειτουργιών, της νόησης και της σκέψης, συναισθημάτων κ.λπ. Πρόκειται για τον τομέα της νευροφυσιολογίας και νευροψυχολογίας, που βρίσκεται σε πλήρη ανάπτυξη τις δύο τελευταίες δεκαετίες.

Η ανοσολογία

Ένας σημαντικός σταθμός υπήρξε και η εξήγηση του φαινομένου της ανοσολογικής αντίδρασης του οργανισμού που ολοκληρώθηκε το 1959. Ο οργανισμός των θηλαστικών έχει τη δυνατότητα παραγωγής «αντισωμάτων», δηλαδή ειδικών πρωτεϊνών εναντίον κάθε «αντιγόνου» (κάθε μεγαλομοριακής ένωσης, που μπορεί να υποδηλώνει την παρουσία ενός παρασιτικού εισβολέα), ειδικών για κάθε αντιγόνο πρωτεϊνών, που το «καταπολεμούν». Υπάρχει ένας μηχανισμός αναγνώρισης ενός ξένου εισβολέα (παρασίτου, βακτηρίου λ.χ.) στον οργανισμό. Τμήματα του εισβολέα, το αντιγόνο (ή τα αντιγόνα), αποτελούν το στοιχείο αναγνώρισης εναντίον του οποίου ο οργανισμός παράγει ειδικό «αντίδοτο», το αντίσωμα. Δεδομένου ότι ο οργανισμός μπορεί να παραγάγει εκατομμύρια είδη διαφορετικών αντισωμάτων ετέθη το ερώτημα πόσα γονίδια θα χρειάζονταν γι' αυτόν το σκοπό, αφού τα αντισώματα είναι πρωτεΐνες και η σύνθεση καθεμιάς τους ελέγχεται από διαφορετικό γονίδιο. Τόσο μεγάλο αριθμό αναγκαίων γονιδίων δεν έχει ο οργανισμός, βρέθηκε όμως ότι είναι δυνατό να παραχθεί ένας τεράστιος αριθμός αντισωμάτων από λίγα σχετικά γονίδια, έτσι που κάθε λεμφοκύτταρο να μπορεί να παράγει το δικό του διαφορετικό αντίσωμα. Το αντίγονο παίζει το ρολό του εκλυτικού παράγοντα, εκείνου που πυροδοτεί τον πολλαπλασιασμό εκείνου του λεμφοκυττάρου που μπορεί να το αντιμετωπίσει. Πρόκειται για ένα μηχανισμό επιλογής αντίστοιχο της φυσικής δαρβινικής επιλογής, τη θεωρία της «κλωνικής επιλογής» του Αυστραλού F.M. Burnet. Για τη θεωρία του αυτή ο Μπαρνέτ τιμήθηκε με το βραβείο Nobel.

Η κοινωνιοβιολογία

Ο Edward O. Wilson (1928-), με το βιβλίο *Sociobiology* το 1975 προσπαθεί να ερμηνεύσει τα κοινωνικά φαινόμενα προσφεύγοντας στην εξέλιξη και θεωρώντας ότι η βάση τους είναι γραμμένη στον γενετικό κώδικα, εγγραφή που προέρχεται από τη δράση της φυσικής επιλογής. Στην εποχή του Δαρβίνου πολλοί βιολόγοι και ανθρωπολόγοι είχαν διατυπώσει παρόμοια υπόθεση αλλά μετέπειτα με την αυτονόμηση της κοινωνιολογίας επεβλήθη η άποψη ότι τα κοινωνικά φαινόμενα μπορούν να ερμηνευθούν μόνο με βάση τις κοινωνικές έννοιες. Ο Ουίλσον επανέφερε την προηγούμενη θέση. Στο βιβλίο του ασχολείται κυρίως με κοινωνίες εντόμων, πτηνών, θηλαστικών και ελάχιστα με τον άνθρωπο. Έκτοτε όμως αναπτύχθηκε μια «βιολογική» θεωρία των κοινωνικών φαινομένων στον άνθρωπο. Το 1986, έγινε προσπάθεια επέκτασης και στην ηθική, δηλαδή υποστηρίχθηκε ότι ο άνθρωπος έχει γενετικά γραμμένες ηθικές αρχές που προήλθαν από τη φυσική επιλογή. Η επέκταση συνεχίστηκε και προς την αισθητική. Σε αυτό τον τομέα η σεξουαλική επιλογή προτάθηκε ως το εφαλτήριο από το οποίο ξεκινούν οι αισθητικές μας προτιμήσεις για το ωραίο, προτιμήσεις που είναι γενετικά γραμμένες μέσα μας και παγκοσμίου ισχύος, δηλαδή που ισχύουν σε όλους τους ανθρώπινους πληθυσμούς.

Η τελική όμως και η σημαντικότερη προέκταση είναι εκείνη της εξελικτικής επιστημολογίας η οποία θέλει να ερμηνεύσει την ιστορία της επιστήμης και των επιστημονικών θεωριών με ένα υπόδειγμα παρόμοιο με την φυσική επιλογή. Στην περισσότερο φιλόδοξη εκδοχή της, η εξελικτική επιστημολογία θεωρεί ότι το νοητικό μας όργανο, η δομή των πνευματικών μας ικανοτήτων και ο τρόπος παραγωγής λογικών συμπερασμάτων είναι κληρονομικά καθορισμένα, γενετικά γραμμένα, με εγγραφή που έγινε από τη φυσική επιλογή. Υπ' αυτή την έννοια η εξελικτική θεωρία καθίσταται η βασική επιστήμη παντός επιστητού.

Η μοριακή γενετική

Το 1977 αποκαλύπτεται ότι στους ανώτερους οργανισμούς τα γονίδια έχουν μια ανεπάντευτη μορφή: το DNA τους διακόπτεται από τμήματα που δεν μεταφράζονται, τα εσόνια (introns). Τα μεταφραζόμενα τμήματα, τα εξόνια (exons), όταν το DNA τους μεταγραφεί (αντιγραφεί) σε αγγελιοφόρο RNA, συνενώνονται σε μια μεταφραζόμενη αλυσίδα συνεχούς ροής, ενώ απομακρύνονται, απορρίπτονται τα εσόνια

Μια σειρά ανακαλύψεων έδωσε τη δυνατότητα ανάπτυξης της γενετικής μηχανικής, της τεχνικής επέμβασης στο μοριακό επίπεδο, στα γονίδια, αφαιρώντας τμήματα του DNA, ή προσθέτοντας τμήματα (γονίδια ή μεγαλύτερα κομμάτια), γενικά πραγματοποιώντας χειρισμούς (κοπή, συρραφή, ενσωμάτωση τμημάτων DNA) στο γενετικό υλικό.

Η δυνατότητα μεταφοράς γενετικού υλικού από μακρινά είδη σε άλλα (το 1974 υλικό ενός αμφιβίου μεταφέρθηκε σε βακτήριο και αποδείχθηκε ενεργό) προκάλεσε πανικό για τις ενδεχόμενες επιπτώσεις με αποτέλεσμα δημιουργία πανικού και τη θέσπιση απαγορευτικών διατάξεων οι οποίες όμως βαθμιαία ήρθαν.

Από το 1975 ως το 1980 άρχισε να αναπτύσσεται η νέα αυτή τεχνική, η γενετική μηχανική. Διάφορες ομάδες ασχολήθηκαν με την αναζήτηση και τις στρατηγικές ανίχνευσης και απομόνωσης του γονιδίου, για το οποίο ενδιαφέρονταν, μέσα στο χάωδες και σχεδόν άπειρο νουκλεϊκό υλικό που είχαν στη διάθεση τους. Η γενετική μηχανική επέτρεψε από γενετικά τροποποιημένα βακτήρια την παραγωγή ορμονών, ιντερφερονών και πλήθους οργανικών ενώσεων, χρήσιμων ως φαρμάκων. Ήταν η πρώτη φορά που ο άνθρωπος στο μοριακό επίπεδο χρησιμοποιούσε ζωντανά συστήματα σαν μικροσκοπικές «βιομηχανικού τύπου» μονάδες. Η μεταφορά γονιδίων για την αντικατάσταση ή υποκατάσταση ελαττωματικών γονιδίων στον άνθρωπο δεν είχε ακόμα το εύρος και την επιτυχία που προσδοκάτο. Η παραγωγή γενετικά τροποποιημένων φυτών, που καλλιεργούνται, και γενετικά τροποποιημένων πειραματόζων και εκτρεφόμενων ζώων, αποτελούν επιτεύγματα της τεχνικής αυτής. Με τη χρήση τεχνικών γενετικής μηχανικής,

διασταυρώσεων και επιλογής μετά από σήμανση κατέστη δυνατή η παραγωγή διαγονιδιακών ατόμων (που έχουν σταθερά ενσωματώσει επιλεγμένα γονίδια άλλης προέλευσης).

Τα τελευταία χρόνια της εκατονταετίας είδαν το φως τα πρώτα τελικά αποτελέσματα της αποκρυπτογράφησης ολόκληρου του γονιδιώματος (του συνολικού γενετικού υλικού) ειδών, δηλαδή της ακολουθίας των βάσεων του DNA. Μέχρι στιγμής λίγα είδη προκαρυωτικών οργανισμών (βακτηρίων), ενός νηματώδους, ενός μύκητα και ενός εντόμου είναι στη διάθεση των ερευνητών. Συνεχίζεται η προσπάθεια για ένα μικρό φυτό και για τον άνθρωπο καθώς και άλλα είδη. Στον άνθρωπο, μέχρι το τέλος της εκατονταετίας το 90% του δεοξυριβοζονουκλεϊκού οξέος είχε αποκωδικοποιηθεί.

Η μοριακή βιολογία κυττάρου

Τα όρια μεταξύ μοριακής γενετικής και μοριακής κυτταρολογίας είναι όντως δυσδιάκριτα. Παράδειγμα η περίπτωση των ογκογονιδίων. Μεταξύ 1975 και 1985 ανακαλύφθηκαν γονίδια που έπαιζαν σημαντικό ρόλο στην εμφάνιση του καρκίνου. Ορισμένα από αυτά στην κανονική τους λειτουργία ελέγχουν τον κυτταρικό κύκλο, δηλαδή τότε το κύτταρο θα διαιρεθεί, θα ολοκληρώσει το μιτωτικό μηχανισμό, τότε θα διπλασιάσει το νουκλεϊκό του οξύ. Τα γονίδια αυτά (όπως το *ras*) δρουν πια ανεξέλεγκτα επιτρέποντας, ή μάλλον παροτρύνοντας, συνεχείς διαιρέσεις του κυττάρου. Άλλα ογκογονίδια είναι αυτά που παρεμποδίζουν τη δράση και που καταστέλλουν την ογκογένεση και όταν εκδηλώνεται ο καρκίνος έχουν αδρανοποιηθεί. Ο κυτταρικός κύκλος ελέγχεται από συνδυασμό ενζύμων, που λέγονται κινάσες, με πρωτεΐνες, τις κυκλίνες. Από την παραγωγή των μεμονωμένων γονιδίων (της μοριακής γενετικής) μεταβαίνουμε στη λειτουργία του συνολικού κυττάρου (της μοριακής βιολογίας του κυττάρου).

Οι πρωτεΐνες αποτελούν τα εργαλεία που χρησιμοποιείτο ζωντανό σύστημα για τις λειτουργίες του. Η σειρά διαδοχής των βάσεων καθιστά γνωστή τη σειρά διαδοχής των αμινοξέων στην πρωτεΐνη, δεν φανερώνει όμως αμέσως την τρισδιάστατη δομή τους.

Αναπτύχθηκαν αλγόριθμοι γι' αυτόν το σκοπό. Όντως, κάθε γραμμική σειρά των ενωμένων αμινοξέων συνήθως αναδιπλώνεται με συγκεκριμένο τρόπο, δίνοντας σε κάθε είδος πρωτεΐνης συγκεκριμένο σχήμα, που ικανοποιεί θερμοδυναμικές και άλλες συνθήκες. ο τρισδιάστατο σχήμα των πρωτεϊνών είναι εκείνο που συνήθως άμεσα καθορίζει τη λειτουργία τους.

Η εξέταση σε μοριακό επίπεδο έδειξε ότι τα πρωτεϊνικά μόρια συγκροτούν είδος

μηχανών, που υφίστανται αλλαγές στη διαμόρφωση τους κατά τη λειτουργία τους.

Πρωτεϊνικά συγκροτήματα αλληλεπιδρούν με άλλα και έτσι το κύτταρο περιέχει περίτεχνα δίκτυα διαπλεκόμενων αλυσίδων συναρμολόγησης, καθεμιά από τις οποίες συναποτελείται από συνεργαζόμενες πρωτεϊνικές μηχανές. Η διακίνηση των πρωτεϊνών από ένα σε άλλο τμήμα του κυττάρου προσδιορίζεται από συγκεκριμένες αλληλουχίες αμινοξέων, που αναγνωρίζονται και επιτρέπουν τη διέλευση της πρωτεΐνης σε αυτά τα τμήματα (έρευνες στο τέλος της δεκαετίας του '70 από το νομπελίστα G. Blobel). Ο τρόπος με τον οποίο κινούνται σε μικροσωληνίσκους ορισμένα κυτταρικά οργανίδια (χρωμοσώματα), ο τρόπος με τον οποίο κινούνται πρωτεΐνες, όπως η δυνείνη και η κινεσίνη, δείχνει νέες λεπτομέρειες και πολυπλοκότητες της κυτταρικής μηχανής, άγνωστες μέχρι τότε που γνωρίζαμε μόνο τους κλασικούς μεταβολικούς κύκλους και τις μορφολογικές αλλαγές στο κύτταρο. Η μοριακή βιολογία αποτελεί προέκταση της βιοχημείας και της μορφολογίας, όπως αποτέλεσε και το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο προέκταση του μικροσκοπίου φωτός, αποκαλύπτοντας τις λεπτές δομές του κυττάρου στις αρχές της δεύτερης πεντηκονταετίας του 20ού αιώνα.

Η οικολογία και η προστασία του περιβάλλοντος

«Οικολογία» είναι η ονομασία την οποία έδωσε ο Haeckel στον κλάδο αυτό της βιολογίας που μελετά τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ του οργανισμού και του περιβάλλοντος στο οποίο διαβιώνει. Η πρόοδος της οικολογίας οφείλει πολλά στην ανάπτυξη της βοτανικής γεωγραφίας (φυτογεωγραφία) αλλά και στη μελέτη της γεωγραφικής κατανομής

των ζώων (ζωογεωγραφία). Οι μελέτες αυτές είχαν πάντα μια ιστορική πλευρά, μια πλευρά που ενίσχυε την εξελικτική θεωρία, και το 1915 με τη θεωρία του αποχωρισμού των ηπείρων από το Wegener ισχυροποίησαν αυτή την τάση. Η θεωρία του Wegener μεταλλάχθηκε σε μια νέα και ισχυρότερη εκδοχή μετά το Β' Παγκόσμιο πόλεμο, στη θεωρία των τεκτονικών πλακών, μια άποψη γενικά αποδεκτή από τους σύγχρονους γεωλόγους.

Τη δεκαετία του '60, άρχισε μια περίοδος ευαισθητοποίησης στο ευρύ κοινό απέναντι στο πρόβλημα της υποβάθμισης και καταστροφής του περιβάλλοντος από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Παρατηρήθηκε τότε ότι πολλά είδη πτηνών είχαν εξαφανισθεί μη βρίσκοντας πια έντομα για να τραφούν. Τα εντομοκτόνα, των οποίων η εφαρμογή άρχισε μετά το Β' Παγκόσμιο πόλεμο, χρησιμοποιήθηκαν ευρύτατα για την καταπολέμηση των κουνουπιών (και εμμέσως της ελονοσίας) και άλλων βλαπτικών εντόμων, όπως αυτών που αποτελούν τους εχθρούς των καλλιεργειών. Τα εντομοκτόνα, τα μυκητοκτόνα, τα ζιζανιοκτόνα, τα λιπάσματα ρυπαίνουν το έδαφος και τα ύδατα, ενώ τον ατμοσφαιρικό αέρα δηλητηριάζουν τα καυσαέρια από βιομηχανικές ή αστικές δραστηριότητες. Η ανάπτυξη της βιομηχανίας, η υπερθήρευση και υπεραλιεία, η υπερβόσκηση, η καταστροφή των δασών, η εξάντληση των υδατικών πόρων και άλλων πηγών αγαθών οφείλονται κυρίως στο διαρκώς αυξανόμενο ανθρώπινο πληθυσμό και στην κάλυψη ολοένα μεγαλύτερων κατά άτομο αναγκών στον πρώτο κόσμο (μαζί με τις καταστροφές από διάφορα πολεμικά γεγονότα). Όλα αυτά καταστρέφουν ανεπιστρεπτή τη βιόσφαιρα. Το ζεύγος των Αμερικανών βιολόγων Paul R. Ehrlich και Anne H. Ehrlich το 1970 επισήμανε τη γενικότητα του προβλήματος που αντιμετωπίζεται. Ακολούθησαν συλλογικές προσπάθειες μελέτης του παγκόσμιου αυτού προβλήματος από «οικολογικές» ενώσεις των αναπτυγμένων κυρίως χωρών, που συνένωνε στην προσπάθεια πρόβλεψης του μέλλοντος οικολόγους, πολιτικούς, οικονομολόγους, κοινωνιολόγους κ.ά. Πολλές από τις αρνητικές προβλέψεις δεν επαληθεύθηκαν ποσοτικά (ρυθμός εξάντλησης απολιθωμένων καυσίμων, δηλαδή πετρελαίου, καύσιμων αερίων), αλλά πάμπολλες επαληθεύθηκαν ποιοτικά (το φαινόμενο του θερμοκηπίου) και μάλιστα αποκαλύφθηκαν ορισμένες πλευρές τους που ήταν

αδύνατον εκ των προτέρων να προβλεφθούν (η τρύπα του όζοντος). Δεύτερον, η ενασχόληση με τα περιβαλλοντικά προβλήματα και την καταστροφή των βιοκοινοτήτων έδωσε ώθηση στην ανάπτυξη μελετών της βιοποικιλότητας, άρα και της συστηματικής ζώων και φυτών.

Το χρονικό της Βιολογίας κατά τα τελευταία 150 χρόνια φαίνεται στους παρακάτω

πίνακες(2):

1860	Αποδεικνύεται οριστικά από τον Παστέρ ότι είναι αδύνατη η αβιογένεση.
1863	Περιγράφονται χαρακτηριστικά του φαινομένου του θερμοκηπίου.
1865	Δημοσιοποιούνται οι νόμοι του Μέντελ.
1868	Ανακαλύπτεται ζωή σε μεγάλα βάθη των ωκεανών.
1870	Ο Δαρβίνος εκδίδει το βιβλίο "Η καταγωγή του ανθρώπου". Έρχονται στο φως τα ερείπια της Τροίας.
1872	Ο Γερμανός βοτανολόγος Φέρντιναντ Κον θέτει τα θεμέλια της Βακτηριολογίας. Ανακαλύπτεται το Έπος του Γιλγαμές.
1882	Ο Γερμανός ανατόμος Βάλτερ Φλέμινγκ μετά από χρώση, παρατήρησε στον πυρήνα μια ουσία, που την ονόμασε χρωματίνη, και τη διαδικασία της κυτταρικής διαίρεσης, που ονόμασε μίτωση από την ελληνική λέξη «μίτος», που σημαίνει νήμα.
1883 1883	Ο Βέλγος κυτταρολόγος Έντουαρντ Βαν Μπένεντεν παρατηρεί τη μείωση και τον σχηματισμό γαμετών. Προσδιορίζεται η λειτουργία των φαγοκυττάρων. Υποστηρίζεται η θεωρία της ευγονικής.
1888	Ο Γερμανός Χάινριχ φον Βάλνταγιερ-Χαρτς δίνει το όνομα «χρωμοσώματα» στα μικρά νήματα που παρατηρεί κατά τη μίτωση.
1898	Παρατηρούνται τα μιτοχόνδρια. Ανακαλύπτεται διηθητός ιός.
1900	Αρχίζει να διαμορφώνεται η έννοια της μετάλλαξης. Διακρίνονται οι ομάδες αίματος A, B, AB, 0. Ανακαλύπτονται τα ερείπια της Κνωσού.
1902	Συσχετίζονται, από τον Αμερικανό γενετιστή Γουόλτερ Σάτον, τα χρωμοσώματα με γενετικούς παράγοντες. Εφαρμόζονται οι νόμοι της γενετικής στα ζώα.
1904	Χρησιμοποιείται οργανικός ιχνηθέτης.

1907	Προσδιορίζεται η μοριακή δομή των πρωτεϊνών. Χρησιμοποιούνται δροσόφιλες για τη μελέτη της κληρονομικότητας.
1909	Εισάγεται ο όρος «γονίδιο». Μελετώνται τα φυλοσύνδετα χαρακτηριστικά.
1911	Παρουσιάζεται ο πρώτος χρωμοσωμικός χάρτης (συχνότητα διαχωρισμού γονιδίων με επιχιασμό). Ταυτοποιείται ογκογόνος ιός.
1915	Απομονώνονται Βακτηριοφάγοι.
1918	Χρησιμοποιούνται ραδιενεργοί ιχνηθέτες. Μελετάται η ανάπτυξη του εμβρύου.
1927	Προκαλείται μετάλλαξη στη δροσόφιλα με χρήση ακτίνων Χ.
1928	Ανακαλύπτεται η πενικιλίνη από τον Σκωτσέζο Βακτηριολόγο, που το 1922 είχε ανακαλύψει τη λυσοζύμη, Αλέξανδρο Φλέμινγκ.
1929	Αναγνωρίζεται η δεοξυριβόζη.
1931	Προσδιορίζεται το μέγεθος των ιών. Καλλιεργούνται ιοί μέσα σε αυγά όρνιθας. Ο Γερμανός μηχανικός Ερνστ Ρούσκα κατασκευάζει το πρώτο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.
1937	Αναπτύσσεται η τεχνική της ηλεκτροφόρησης. Εφευρίσκεται το μικροσκόπιο εκπομπής πεδίου. Διαπιστώνεται η ύπαρξη ριβονουκλεϊκού οξέος σε ιό. Ανακαλύπτεται ο κύκλος του κιτρικού οξέος. Η μετάλλαξη συνδέεται με την εξέλιξη από τον Θεοδόσιο Ντομπζάνσκι στο βιβλίο «Η γενετική και η προέλευση των ειδών».
1941	Ο γενετιστής Τζ. Μπιντλ και ο βιοχημικός Λ. Τάτουμ αποδεικνύουν τη λειτουργία του γονιδίου. βραβεύονται με Νόμπελ το 1958.
1944	Από τους Ο. Άβερι , Κ. Μακλέοντ και Μ. Μακάρτι αναγνωρίζεται το DNA ως το γενετικό υλικό.
1945	Αποδεικνύονται οι μεταλλάξεις των ιών.
1950	Ανακαλύπτεται το ενδοπλασματικό δίκτυο.
1952	Πραγματοποιούνται μελέτες του DNA με περίθλαση των ακτίνων Χ.
1953	Επισημαίνεται η διπλή έλικα ως δομή του ONA από τους Γουάτσον και Κρικ (Νόμπελ 1962).
1954	Αρχίζει να χρησιμοποιείται το εμβόλιο κατά της πολιομυελίτιδας. Πραγματοποιείται η πρώτη μεταμόσχευση νεφρού. Απομονώνονται χλωροπλάστες. Συλλαμβάνεται η έννοια του πολυνουκλεοτιδικού γενετικού κώδικα.

1956	Διαπιστώνεται ότι τα ριβοσώματα είναι το σημείο παρασκευής των πρωτεϊνών. Ανακαλύπτεται το mRNA
1961	Αποκωδικοποιείται ο γενετικός κώδικας. Υποστηρίζεται η ύπαρξη γονιδιακών ρυθμιστών από τους βιολόγους Ζακόμπ και Μονό, οι οποίοι βραβεύονται με Νόμπελ το 1965.
1964	Προσδιορίζεται η δομή του tRNA
1965	Επιτυγχάνεται η σύνθεση πρωτεϊνών από τον Ρόμπερτ Μέριφιλντ (ινσουλίνη) και τον Ντέιβιντ Φίλιπς (λυσοζύμη).
1967	Παράγονται κλώνοι σπονδυλωτών.
1970	Αναπτύσσεται η τεχνική του ανασυνδυασμένου ΟΝΑ από τους Χάμιλτον Σμιθ και Ντανιέλ Νάθανς (Νόμπελ 1978). Κατασκευάζεται το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης. Εντοπίζεται η αντίστροφη μεταγραφάση από τους Χ. Τέμιν και Ν. Μπάλτιμορ (Νόμπελ 1975).
1974	Έρχονται στο φως τα λείψανα της Λούσι (<i>Australopithecus afarensis</i>).
1976	Συνθετικό γονίδιο τοποθετείται σε ζωντανό κύτταρο.
1977	Στη Σομαλία καταγράφεται το τελευταίο κρούσμα ευλογιάς. Στο Σαν Φρανσίσκο των ΗΠΑ αναφέρεται το πρώτο περιστατικό AIDS.
1978	Μελετώνται τα ογκογονίδια. Προσδιορίζεται η δομή όλων των γονιδίων του ιού SV40. Γεννιέται το πρώτο παιδί του σωλήνα.
1982	Εγκρίνεται το πρώτο φάρμακο (ανθρώπινη ινσουλίνη από βακτήρια) που έχει παραχθεί με μεθόδους γενετικής μηχανικής.
1983	Ο βιοχημικός Κ. Μούλις συλλαμβάνει την ιδέα της αλυσιδωτής αντίδρασης της πολυμεράσης (PCR).
1984	Η ανάλυση DNA εφαρμόζεται για τη διερεύνηση της εξέλιξης του ανθρώπου. Οι βιολόγοι Τόμας Ρόμπερτ Τσεχ και Σίντνι Άλτμαν απέδειξαν τη λειτουργία του ριβόζυμου (βακτηριακό DNA που δρα ως ένζυμο και ανασυντίθεται μόνο του).
1985	Εντοπίζεται τρύπα στη στιβάδα του όζοντος. Χρησιμοποιούνται, σε εγκληματολογική έρευνα, μοναδικές αλληλουχίες DNA για την πιστοποίηση της ταυτότητας ατόμων.
1986	Εγκρίνεται το εμβόλιο για την ηπατίτιδα Β, το οποίο παρασκευάστηκε με μεθόδους γενετικής μηχανικής.

1988	Επιδεινώνεται το φαινόμενο του θερμοκηπίου.
1990	Οι Αμερικανοί γενετιστές Μάικλ Μπλεζ και Φρεντς Άντερσον εφαρμόζουν επιτυχώς γονιδιακή θεραπεία σε κορίτσι τεσσάρων ετών που πάσχει από γενετική ανωμαλία του ανοσοποιητικού συστήματος (ADA). Επίσημη έναρξη του διεθνούς Προγράμματος Ανθρώπινου Γονιδιώματος.
1991	Η Μαίρη Κλαίρη Κινγκ εντοπίζει, στο χρωμόσωμα 17, γονίδιο που προκαλεί την κληρονομούμενη μορφή καρκίνου του μαστού.
1993	Κλωνοποιούνται ανθρώπινα έμβρυα και αναπτύσσονται για λίγες μέρες σε τρυβλία Πετρί.
1997	Επιστήμονες με επικεφαλής τον Γιαν Γουίλμουτ, στο Ινστιτούτο Ρόσλιν της Σκωτίας, δημιουργούν με κλωνοποίηση ένα πρόβατο, την Ντόλι.
1998	Δημιουργούνται, στο Πανεπιστήμιο της Χαβάης τρεις γενιές κλωνοποιημένων ποντικών και, σε Πανεπιστήμιο της Ιαπωνίας, έξι μοσχάρια από κύτταρα αγελάδας.
2001	Ολοκληρώνεται η χαρτογράφηση του ανθρώπινου γονιδιώματος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Κωνσταντίνος Κρίμπας, Γεώργιος Παπαδόπουλος 2003, Η εξέλιξη των ιδεών στις Θετικές Επιστήμες, τόμος Β', η Ιστορία της Βιολογίας, κεφ. 5, σελ 159 – 207.
2. Ευαγγελία Μαυρικάκη, Μαριάννα Γκούβρα, 2005, Αναστασία Καμπούρη, Βιολογία Γ' Γυμνασίου, κεφ. παράρτημα, Σελ. 145 – 147
3. <http://en.wikipedia.org>