

## ΓΕΝΕΤΙΚΗ

Η επιτυχία του προγράμματος χαρτογράφησης του ανθρώπινου γονιδιώματος έστρεψε την προσοχή του κόσμου στην προοπτική της εξάλειψης πολλών ιατρικών παθήσεων μέσα από την κατανόηση των μηχανισμών της κληρονομικότητας. Είναι τόσο υψηλές οι προσδοκίες του κόσμου, ώστε πολλοί ειδικοί σήμερα ανησυχούν για την τεράστια υπεραπλούστευση που χαρακτηρίζει τον τρόπο με τον οποίο ο μέσος άνθρωπος κατανοεί το ρόλο της κληρονομικότητας στην ανάπτυξη του ατόμου. Οι άνθρωποι περιμένουν ότι θα υπάρξει ένα γονίδιο «για» κάθε συγκεκριμένο χαρακτηριστικό, καλό ή κακό, και προσδοκούν την ώρα που θα μπορέσουν να παραχθούν «γενετικά τροποποιημένα μωρά», τα οποία θα έχουν μόνο τις καλύτερες πλευρές των χαρακτηριστικών των γονέων τους. Οι επικριτές αυτής της άποψης ανησυχούν, γιατί θεωρούν ότι μια τέτοια πιθανότητα, εάν εφαρμοζόταν ευρέως, θα είχε δραματικές και όχι αναγκαστικά επωφελείς επιπτώσεις στην κοινωνία. Επισημαίνουν, επίσης, ότι όλο αυτό το σχέδιο στηρίζεται σε μια παρανόηση του τρόπου λειτουργίας των γονιδίων: η βλάβη ενός γονιδίου μπορεί να προκαλέσει μια συγκεκριμένη ιατρική κατάσταση, αλλά δεν υπάρχει ένα μόνο γονίδιο που διασφαλίζει υψηλό δείκτη ευφυΐας ή την προδιάθεση για εγκληματική συμπεριφορά. Ακόμη κι αν εντοπιζόταν ένα γενετικό στοιχείο για τόσο σύνθετα χαρακτηριστικά, τα αποτελέσματα θα εξαρτώνταν από την αλληλεπίδραση ανάμεσα στα γονίδια και το περιβάλλον μέσα στο οποίο αναπτύσσεται ο οργανισμός. Η προσδοκία ότι κάθε χαρακτηριστικό είναι αυστηρά προκαθορισμένο από την κληρονομικότητα αντανακλά μια συγκεκριμένη και πολύ αμφιλεγόμενη άποψη για την ανθρώπινη φύση, που έχει κάνει την εμφάνισή της κατά διαστήματα τον τελευταίο αιώνα ή και νωρίτερα, συχνά με συνέπειες που πολλοί από μας θεωρούν εξαιρετικά δυσάρεστες. Διακινδυνεύουμε την επανεμφάνιση μιας νέας μορφής ευγονικής ακόμη πιο ύπουλης— και η ιστορία μας προειδοποιεί για το πόσο εύκολα η ιδεολογία του γενετικού ντετερμινισμού μπορεί να βγει εκτός ελέγχου (βλ. κεφ. 18, «Βιολογία και ιδεολογία»).

Κάτω από αυτές τις συνθήκες, είναι σημαντικό να καταλάβουμε πώς εμφανίστηκε η νεότερη επιστήμη της γενετικής και πώς η κακή χρήση της μεγαλοποιεί το βαθμό στον οποίο τα γονίδια καθορίζουν το χαρακτήρα. Σε κάποιο βαθμό, η ίδια η ιστορία της γενετικής έχει χρησιμοποιηθεί για να μας πείσει ότι η επιστημονική γνώση για την κληρονομικότητα εξελίχθηκε μέσα από την ανακάλυψη και την αξιοποίηση της ιδέας ότι οι οργανισμοί έχουν χαρακτηριστικά που μεταδίδονται ως ολόκληρες μονάδες, επειδή προ- καθορίζονται από συγκεκριμένα γονίδια. Όλοι έχουν ακούσει την ιστορία για το πώς ο

Γκρέγκορ Μέντελ ξεκαθάρισε το τοπίο σε μια περιοχή βυθισμένη στη σύγχυση, αφού εντόπισε τα μοναδιαία χαρακτηριστικά στις διαδοχικές γενιές των μπιζελιών που φύτευαν στον κήπο του μοναστηριού του. Η συσχέτιση αυτών των χαρακτηριστικών που φημιγκεκριμένα τμήματα των χρωμοσωμάτων στον κυτταρικό πυρήνα ήταν εκείνο που έκανε τον Τόμας Χαντ Μόργκαν και την ομάδα του να διατυπώσουν την κλασική έννοια του γονιδίου (στις παραδοσιακές μελέτες για την ιστορία της γενετικής συγκαταλέγονται μεταξύ άλλων οι Carlson 1966· Dunn 1965· Sturtevant 1965). Πιο πρόσφατα, η ανακάλυψη της δομής της διπλής έλικας του DNA από τους Τζέιμς Ουότσον [James Watson] και Φράνσις Κρικ [Francis Crick], το 1953, θεωρήθηκε το κλειδί της λειτουργίας του «γενετικού κώδικα» και έθεσε τα θεμέλια για την ανάπτυξη της μοριακής βιολογίας και της βιολογίας υψηλής τεχνολογίας, για παράδειγμα το έργο χαρτογράφησης του ανθρώπινου γονιδιώματος και τις εφαρμογές του.

Η προσεκτικότερη μελέτη της ιστορίας της γενετικής υποδεικνύει μια πολύ πιο σύνθετη εικόνα (Bowler 1989· Keller 2000· Olby 1985). Η προ-μεντελική «κατάσταση σύγχυσης» αντανάκλωσε εν μέρει την απουσία εννοιολογικών διακρίσεων, που διασαφηνίστηκαν στις αρχές του 20ού αιώνα — και μάλιστα με κόστος μια υπεραπλούστευση των σύνθετων σχέσεων ανάμεσα στη μεταβίβαση των χαρακτήρων από γονέα σε απόγονο και την ανάπτυξη των χαρακτήρων αυτών στο έμβρυο. Η καθιέρωση του Μέντελ ως «πρώτου γελου» ή «πρόδρομου» της γενετικής του 20ού αιώνα έχει αποδειχτεί προβληματική, εν μέρει επειδή ο ίδιος μάλλον δεν αναζητούσε μια νέα θεωρία της κληρονομικότητας: το πιθανότερο είναι ότι τα περίφημα πειράματά του σκοπό είχαν να διαφωτίσουν το θέμα της προέλευσης νέων ειδών με υβριδισμό. Η αναδιτύπωση των ιδεών για την κληρονομικότητα, που κατέληξε στη δημιουργία της νεότερης γενετικής μετά την «επανανάκλυψη» του έργου του Μέντελ, το 1900, αντανάκλωσε ένα σύνθετο σύνολο συμφερόντων — πνευματικών, επαγγελματικών και πολιτισμικών. Νέες ιδέες για την εξελικτική θεωρία και τη θεωρία των κυττάρων έστρεψαν την προσοχή στην πιθανότητα της ύπαρξης χαρακτήρων ως μονάδων που κληροδοτούνται σταθερά από γενιά σε γενιά. Όμως, η έμφαση στον κληρονομικό καθορισμό του χαρακτήρα καλλιεργήθηκε τόσο από την ανάγκη εύρεσης ενός νέου τρόπου να ελεγχθεί η αναπαραγωγή ζώων και φυτών για γεωργικούς σκοπούς όσο και από την εμφάνιση ενός κοινωνικού προγράμματος που επέμενε ότι η κατωτερότητα ορισμένων ανθρώπων ήταν προκαθορισμένη από τη γενετική κληρονομιά τους. Η θεωρία του μοναδιαίου γονιδίου, που είναι απολύτως απρόσβλητο από τις περιβαλλοντικές επιδράσεις, χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία ενός ανεξάρτητου κλάδου γενετικής εντός της επιστημονικής κοινότητας, αλλά μόνο στον αγγλόφωνο κόσμο. Στη Γαλλία και τη Γερμανία, η γενετική δεν έγινε ξεχωριστός επιστημονικός κλάδος και η ιδέα του αυστηρού γενετικού ντετερμινισμού βρήκε πολύ λιγότερους υποστηρικτές, τουλάχιστον στον μεταξύ των βιολόγων.

Για αρκετές δεκαετίες, στις αρχές του 20ού αιώνα, οι Άγγλοι και οι Αμερικανοί γενετιστές διερεύνησαν την έννοια του μοναδιαίου γονιδίου θεωρώντας ότι αντιστοιχεί σε ένα ξεχωριστό τμήμα του χρωμοσώματος στον κυτταρικό πυρήνα. Διερεύνησαν τη συμπεριφορά των χρωμοσωμάτων και τη συνέδεσαν με τα κληρονομικά χαρακτηριστικά, αλλά δεν ήξεραν πώς «κωδικοποιείται» η γενετική πληροφορία στη χημική δομή του πυρήνα, και γενικά αγνόησαν το ερώτημα της αποκωδικοποίησης της πληροφορίας αυτής στη συνέχεια, κατά την ανάπτυξη του εμβρύου. Η κατάσταση αυτή άρχισε να αλλάζει με την

εμφάνιση της μοριακής βιολογίας μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο. Τελικά, ανακαλύφθηκε η χημική φύση αυτού του υλικού (DNA) και το 1953 οι Ουότσον και Κρικ έδωσαν την εμπνευσμένη απάντησή τους στο ερώτημα πώς ένα χημικό μόριο μπορεί να διπλασιαστεί κατά τη μεταβίβαση και να λειτουργήσει ως κώδικας για την κατασκευή των πρωτεϊνών στον αναπτυσσόμενο οργανισμό. Η κατοπινή ανάπτυξη της μοριακής βιολογίας διεύρυνε τη γνώση μας γύρω από τη λειτουργία των γονιδίων σε τέτοιο βαθμό, ώστε η παλαιότερη έννοια του μοναδιαίου γονιδίου ουσιαστικά εξαφανίστηκε: διαμορφώθηκαν πολλές διαφορετικές έννοιες του γονιδίου, ανάλογα με την προς διερεύνηση λειτουργία. Επίσης, διευρύνθηκε η γνώση μας γύρω από τον τρόπο αποκωδικοποίησης της πληροφορίας στο DNA, αν και ακόμη δεν έχουμε ένα συνεκτικό σχήμα που να συνδέει το στοιχείο αυτό με τα μεταγενέστερα στάδια της εμβρυϊκής ανάπτυξης. Πολλοί είναι αυτοί που ασκούν κριτική και προειδοποιούν ότι η αδυναμία μας να καταλάβουμε πόσα πολλά ακόμη μένουν να γίνουν ενθαρρύνει τις υπεραισιόδοξες εκτιμήσεις για επανάσταση στην ιατρική μέσω της χαρτογράφησης του ανθρώπινου γονιδιώματος και συμβάλλει, επίσης, στη διάδοση της υπερβολικά απλουστευτικής άποψης ότι η γενετική πληροφορία προκαθορίζει αυστηρά το χαρακτήρα του ενήλικου ανθρώπου. Αυτές οι αδυναμίες επιτρέπουν στην ξεπερασμένη έννοια του μοναδιαίου γονιδίου να διατηρεί μια θέση στη λαϊκή φαντασία, κι αυτό με τη σειρά του ενθαρρύνει την επανεμφάνιση κοινωνικών φαινομένων που έχουν κοινά γνωρίσματα με τα προγράμματα ευγονικής.

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναλύσουμε τα βασικά βήματα στην ιστορία της γενετικής υπό το πρίσμα των αναθεωρητικών θέσεων που αναφέρονται παραπάνω. Θα ξεκινήσουμε όμως με μια επισκόπηση της προ-μεντελικής περιόδου, για να δείξουμε πώς ήταν δυνατό γενιές ολόκληρες φυσιοδιφών να ασχολούνται με αυτά τα θέματα χωρίς να συνειδητοποιούν ότι θα μπορούσε να υπάρξει ένας ξεχωριστός κλάδος για τη μελέτη της κληρονομικότητας. Δεν επρόκειτο τόσο για μια περίοδο σύγχυσης (αν και ορισμένα ζητήματα ήταν μπερδεμένα, σύμφωνα με τα μεταγενέστερα κριτήρια) όσο για μια κατάσταση κατά την οποία δεν μπορούσε κανείς να διανοηθεί ότι θα ήταν δυνατόν να μελετηθεί η μεταβίβαση των χαρακτήρων χωρίς να εξεταστεί ο τρόπος ανάπτυξης αυτών των χαρακτήρων στο έμβρυο. Οι διαμάχες στην εμβρυολογία οδήγησαν σε εναλλακτικές απόψεις για το ρόλο του προσχηματισμού και της επίδρασης του περιβάλλοντος, ενώ η εξελικτική θεωρία χρησιμοποιήθηκε τελικά για να εξηγήσει γιατί η ανάπτυξη του εμβρύου ακολουθούσε μια προκαθορισμένη πορεία. Μέσα σε αυτή την παράδοση διεξάγονταν κατά καιρούς μελέτες για τον τρόπο μεταβίβασης μεμονωμένων χαρακτήρων από τη μία γενιά στην επόμενη, αλλά αυτές μάλλον αντανάκλυσαν τα πρακτικά ενδιαφέροντα των διασταυρωτών ζώων και φυτών, οι οποίοι προσπαθούσαν να φτιάξουν ένα συστηματικό πλαίσιο που θα έριχνε φως στα φαινόμενα που έπρεπε να θέσουν υπό έλεγχο.

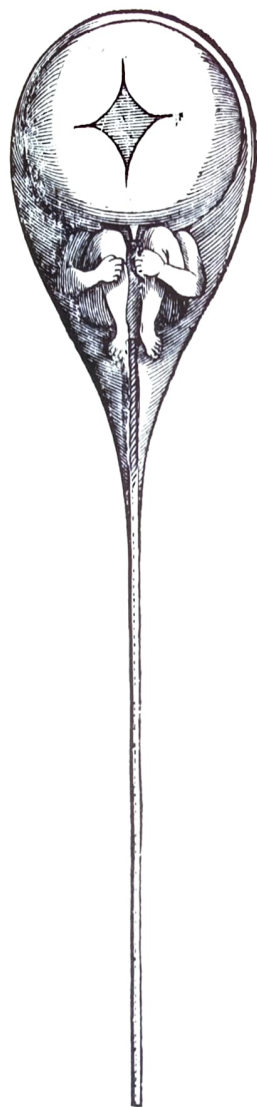
### ΠΡΟΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΝΑΝΤΙΟΝ ΕΠΙΓΕΝΕΣΗΣ

Η πιθανότητα να είναι προκαθορισμένοι από τη στιγμή της σύλληψης (ή ακόμα νωρίτερα) οι χαρακτήρες του ενήλικου οργανισμού διατυπώθηκε στα τέλη του 17ου αιώνα ως απάντηση στην κρίση που ξέσπασε με την εφαρμογή της «μηχανοκρατίας» στους έμβριους οργανισμούς. Εάν ο οργανισμός ήταν απλώς μια σύνθετη μηχανή, πώς ήταν δυνατό να παραχθεί από αδιαφοροποίητη ύλη μέσω μιας αναπτυξιακής διαδικασίας — ασφαλώς οι

νόμοι της μηχανικής δεν θα μπορούσαν να οργανώσουν την ύλη, ώστε να παραχθούν δομές με συγκεκριμένους σκοπούς. Σε μια εποχή στην οποία εξακολουθούσε να βασιλεύει η φυσική θεολογία, το ερώτημα είχε μια πιθανή απάντηση. Ίσως οι νόμοι της φύσης δεν χρειαζόταν να κατασκευάσουν τάξη από το χάος, επειδή η δομή του οργανισμού υπήρχε ήδη σε μικροσκοπική μορφή, και το μόνο που χρειαζόταν ήταν να «γεμίσει» με επιπλέον ύλη για να φανούν τα μέρη του σώματος και να τα δει ο φυσιοδίφης που μελετούσε το αναπτυσσόμενο έμβρυο. Στην πιο ακραία εκδοχή αυτής της «θεωρίας προσχηματισμού», τα έμβρυα κάθε είδους ήταν αποθηκευμένα το ένα μέσα στο άλλο, σαν μια σειρά από ρωσικές κούκλες, και το καθένα περίμενε τη σειρά του για να αναπτυχθεί. Ολόκληρη η ανθρωπότητα είχε δημιουργηθεί κατευθείαν από τον Θεό και βρισκόταν κλεισμένη μέσα στο σπέρμα του Αδάμ ή στις ωοθήκες της Εύας (εικ. 8.1· Pinto-Correira 1997· Roe 1981· Roger 1998).

Τη θεωρία αυτή διακωμώδησαν οι μεταγενέστεροι βιολόγοι, και πράγματι μοιάζει να είναι παράδοση και να έρχεται σε αντίθεση με την παρατήρηση. Βεβαίως, όπως έδειχναν οι μικροσκοπικές μελέτες ήδη πριν από το 1700, το έμβρυο αναπτύσσεται από ένα αδιαφοροποίητο τμήμα ιστού με την επάλληλη προσθήκη των διαφόρων μερών του σώματος — μια διαδικασία που ήταν γνωστή ως επιγένεση. Το γεγονός ότι οι μικροσκοπικές μελέτες ερμηνεύονταν πολλές φορές με τρόπο που ενίσχυε τη θεωρία του προσχηματισμού — υποστηρίζοντας ότι συχνά ήταν ορατά πολύ μικρά υποτυπώδη όργανα πριν από την κύρια ανάπτυξη της δομής — δείχνει πόσο εύκολα η παρατήρηση διαμορφώνεται από τις θεωρητικές προκαταλήψεις. Κι όμως, η ιδέα του προσχηματισμού δεν ήταν τόσο ανόητη όσο ακούγεται: μάλιστα, ο ίδιος ο όρος «προσχηματισμός» χρησιμοποιήθηκε στα τέλη του 19ου αιώνα για να δηλώσει τις θεωρίες που προϋπέθεταν ότι η μελλοντική δομή του εμβρύου είναι κατά κάποιο τρόπο προκαθορισμένη κατά τη σύλληψη από τις πληροφορίες που είναι κωδικοποιημένες μέσα στο γονιμοποιημένο ωάριο. Σήμερα θεωρούμε ότι οι πληροφορίες που είναι εγγεγραμμένες σε μια χημική δομή κατά κάποιο τρόπο «αποκωδικοποιούνται» κατά την αναπτυξιακή πορεία. Τέτοιου είδους λεπτομέρειες δεν ήταν διαθέσιμες στους στοχαστές του 17ου και του 18ου αιώνα — επομένως, γιατί μας κάνει εντύπωση πως φαντάζονταν ότι υπήρχαν πραγματικές μικροσκοπικές υπάρξεις, που περίμεναν να αποκτήσουν σάρκα και οστά; Όχι μόνο δεν ήταν μια ανόητη θεωρία, αλλά ο προσχηματισμός στην πραγματικότητα όρισε τη βασική ιδέα που, όταν αναδιατυπώθηκε, δημιούργησε την κλασική έννοια του γονιδίου.

Υπήρχαν, φυσικά, διάφορα προβλήματα με τη θεωρία του προσχηματισμού. Πρώτα πρώτα, υπήρχαν διαφορές ως προς το εάν οι μικροσκοπικές υπάρξεις ήταν αποθηκευμένες μέσα στο θηλυκό ωάριο ή στο αρσενικό σπέρμα (έπρεπε να είναι ή το ένα ή το άλλο). Επικράτησε το ωάριο, γιατί διαφορετικά ένας τεράστιος αριθμός πλήρως σχηματισμένων μικροσκοπικών ανθρώπων θα χανόταν σε κάθε ανδρική εκσπερμάτιση. Πώς όμως θα μπορούσε να εξηγηθεί η μεταβίβαση χαρακτήρων που προέρχονται από το γονέα που δεν είναι φορέας της μνιαιούρας — όπως, για παράδειγμα, τα κόκκινα μαλλιά του πατέρα που μεταβιβάζονται στα παιδιά του; Ο Γάλλος πολυμαθής Πιερ-Λουί ντε Μοπερτουί [Pierre-Louis de Maupertuis], το 1745, επιτίθεται στη θεωρία του προσχηματισμού, προχωρώντας σε ένα πρώιμο εγχείρημα — που ενίοτε παρουσιάζεται ως προδρομικό του έργου του Μέντελ — ανίχνευσης χαρακτήρων και στα δύο φύλα σε διαδοχικές γενιές. Ως απάντηση ήρθε ο ισχυρισμός ότι το ανδρικό σπέρμα παρέχει την τροφή για τα πρώτα



**ΕΙΚΟΝΑ 8.1** Αρσενικό σπέρματοζωάριο με υποθετική ανθρώπινη μορφή προσχηματισμένη στο κεφάλι (*Essai de dioptrique* [Δοκίμιο διοπτρικής], Nicolas Hartsoeker, Παρίσι, 1694). Ο Χάρτσεκερ δεν ισχυρίστηκε ότι είχε παρατηρήσει αυτή τη μορφή, αλλά θέλησε να δείξει τι θα έπρεπε να περιμένουμε, εάν ολόκληρος ο οργανισμός όντως προϋπήρχε εντός του σπέρματος. Οι περισσότεροι φυσιοδίφες εκείνη την εποχή πίστευαν ότι το πιθανότερο είναι πως η μινιατούρα προσχηματίζεται εντός του θηλυκού ωαρίου, ενώ το ανδρικό σπέρμα λειτουργεί ως ερέθισμα που θέτει σε λειτουργία την ανάπτυξη της (και σε αυτή την περίπτωση το πιθανότερο είναι ότι το σπερματικό υγρό και όχι το σπέρμα είναι ο βασικός παράγοντας γονιμοποίησης).

βήματα της ανάπτυξης του ωαρίου, και έτσι επιτρέπει τη μεταβίβαση ορισμένων αρσενικών χαρακτήρων. Ο Μοπερτουί ακολούθησε μια πιο τολμηρή πορεία· όπως έκαναν πολλές από τις πιο ριζοσπαστικές φυσιογνομίες του Διαφωτισμού, απέρριψε την ιδέα του Θεού σχεδιαστή των πάντων. Υποστήριξε ότι οι νόμοι της φύσης μπορούν να δομήσουν το έμβρυο από την ανάμιξη υγρού σπέρματος που παρέχουν και οι δύο γονείς (στη θεωρία του δεν παίζει ρόλο το σπέρμα και το ωάριο). Αυτό όμως τον έφερε και πάλι αντιμέτωπο με το πρόβλημα εξαιτίας του οποίου δημιουργήθηκε αρχικά η θεωρία του προσχηματισμού: πώς μπορούν οι νόμοι της μηχανικής από μόνοι τους να ελέγξουν την κίνηση της ύλης με τέτοια ακρίβεια, ώστε να κατασκευάσουν ένα έμβρυο από ένα υγρό χωρίς δομή;

Ο Μοπερτουί απέφυγε το πρόβλημα αφήνοντας να εννοηθεί ότι η ίδια η ύλη διαθέτει δυνάμεις, όπως μνήμη και βούληση. Οι αντίπαλοι του προσχηματισμού στα τέλη του 18ου αιώνα, όπως ο Κάσπαρ Φρίντριχ Βολφ

[Caspar Friedrich Wolff], ήταν ανοιχτά βιταλιστές: για να εξηγήσουν τη σταδιακή παραγωγή των εμβρυϊκών μερών με επιγένεση επικαλούνταν την ύπαρξη άυλων, εμπρόθετων δυνάμεων, οι οποίες επιβάλλουν τάξη στο υλικό που είναι ενσωματωμένο στη δομή. Στις αρχές του επόμενου αιώνα, ο προσχηματισμός έχει πλέον πεθάνει και οι εμβρυολόγοι αφοσιώνονται στη μελέτη της σταδιακής διαδικασίας με την οποία δομείται ο νέος ορ-

γανισμός. Υπήρχε γενικά η αντίληψη ότι το πρότυπο ανάπτυξης ακολουθούσε μια λίγο έως πολύ γραμμική αλληλουχία ή ιεραρχία, παρόμοια με την παλαιότερη «αλυσιδα της ύπαρξης». Σύμφωνα με αυτή τη θεωρία, το ανθρώπινο έμβρυο ήταν αρχικά ασπόνδυλο, μετά διαδοχικά ψάρι, ερπετό και κατώτερο θηλαστικό, προτού αποκτήσει τα ξεχωριστά ανθρώπινα χαρακτηριστικά του. Εξακολουθούσαν να θεωρούν ότι τον έλεγχο ασκούσε μια μη φυσική κατευθυντήρια δύναμη. Η κατάσταση έγινε ακόμη πιο ενδιαφέρουσα, όταν φάνηκε ότι η αναπτυξιακή ακολουθία αντιστοιχούσε στην ιστορία της ζωής στη Γη, έτσι όπως αποκαλύπτεται στο αρχείο απολιθωμάτων. Εξελικτιστές του τέλους του 19ου αιώνα, όπως ο Ερνστ Χέκελ, ήταν υπέρμαχοι της «θεωρίας της ανακεφαλαίωσης», σύμφωνα με την οποία η ανάπτυξη του εμβρύου (οντογένεση) ανακεφαλαιώνει την εξελικτική ιστορία του είδους του (φυλογένεση). (Βλ. κεφ. 6, «Η δαρβινική επανάσταση», και Gould [1977]).

Σε αυτή τη σύνθεση εξελικτισμού και εμβρυολογίας δεν υπήρχε μεγάλο περιθώριο για την έννοια των αυστηρά προκαθορισμένων χαρακτηριστικών ή για μια ξεχωριστή μελέτη του τρόπου με τον οποίο κληρονομούνται τα διαφορετικά χαρακτηριστικά. Το συνολικό μοτίβο της οντογένεσης ήταν προκαθορισμένο από την παρελθούσα ιστορία του είδους, αλλά ο Χέκελ, όπως οι περισσότεροι οπαδοί της ανακεφαλαίωσης, δεχόταν τη θεωρία του Λαμάρκ για την κληρονομικότητα των επίκτητων χαρακτηριστικών. Η οντογένεση έπρεπε να είναι αρκετά ευέλικτη, ώστε να επιτρέπει στον οργανισμό να προσαρμοστεί στις αλλαγές του περιβάλλοντός του — ο λαμαρκισμός όμως θεωρούσε ότι τέτοιες αυτοπροσαρμογές ενσωματώνονται στην οντογένεση, κι έτσι μπορούν να κληροδοτηθούν στις μελλοντικές γενιές. Ο Χέκελ δεν ήταν βιταλιστής, αλλά ο φιλοσοφικός «μονισμός» που υιοθετούσε πρέσβευε ότι ύλη και πνεύμα είναι διαφορετικές όψεις μιας υποκειμένης ουσίας, και αυτό του επέτρεπε να αποδίδει πνευματικές ιδιότητες ακόμη και στις πιο βασικές φυσικές οντότητες. Για τον ίδιο και τους οπαδούς του, η κληρονομικότητα ήταν αντίστοιχη της μνήμης — το αναπτυσσόμενο έμβρυο θυμάται τη σειρά των χαρακτηριστικών που προστίθενται στην πορεία της εξελικτικής γενεαλογίας του είδους του. Σε μια τέτοια κοσμοαντίληψη, δεν υπήρχε προοπτική εμφάνισης οποιασδήποτε θεωρίας που να θυμίζει τη νεότερη γενετική.

Ο Χέκελ θεωρούσε τον εαυτό του δαρβινιστή, αν και ο εξελικτισμός του δεν αξιοποιούσε ιδιαίτερα τη θεωρία του Δαρβίνου για τη φυσική επιλογή που δρα σε ατομικές παραλλαγές. Η θεωρία της επιλογής όντως στράφηκε στις διαφορές των ατομικών χαρακτήρων και στηρίχτηκε στην υπόθεση ότι αυτές οι διαφορές είναι κληρονομικές. Συχνά λέγεται ότι η θεωρία του Δαρβίνου χρειαζόταν επειγόντως το γενετικό μοντέλο κληρονομικότητας, που θα επέτρεπε να διατηρηθούν οι ευνοϊκές παραλλαγές ως μονάδες προς μεταβίβαση στις επόμενες γενιές. Ο Δαρβίνος, όμως, διερεύνησε μια διαφορετική άποψη, που ήταν πιο εναρμονισμένη με το αναπτυξιακό μοντέλο που σκιαγραφήσαμε παραπάνω (Gayon 1998). Σύμφωνα με τη θεωρία της «παγγένεσης» που ανέπτυξε και η οποία δημοσιεύτηκε το 1868, η κληρονομικότητα λειτουργεί μέσω της μεταβίβασης στον απόγονο μικροσκοπικών σωματιδίων (που τα ονόμασε σωματίδια κληρονομικότητας [gemmules]), τα οποία εκφύονται από τα μέρη του σώματος των γονέων. Θεωρούσε ότι στις περισσότερες περιπτώσεις αυτά τα γονικά σωματίδια αναμιγνύονται σε κάθε δομή και έτσι γίνεται η μίξη των διαφορετικών χαρακτήρων στον απόγονο. Το σημαντικότερο είναι ότι η θεωρία στηριζόταν στο ότι οι υλικές δομές που ευθύνονται για την κληρονομικότητα σχηματίζονται από τα σώματα των γονέων· σε αντίθεση με τη νεότερη θεωρία,

δεν υπήρχαν γενετικές μονάδες που μεταδίδονται αμετάβλητες από τη μία γενιά στην επόμενη. Ο ίδιος ο Δαρβίνος δεχόταν το λαμαρκισμό μαζί με τη φυσική επιλογή, επειδή θεωρούσε ότι οι επίκτητες αλλαγές στα σώματα των γονέων αντανακλώνται σε αυτά τα εκφυόμενα μικροσκοπικά σωματίδια και άρα είναι κληρονομικές.

### Ο ΜΕΝΤΕΛ

Η σύντομη επισκόπηση που προηγήθηκε εξηγεί γιατί τα κλασικά πειράματα αναπαραγωγής του Μέντελ, που δημοσιεύτηκαν το 1865, έπεσαν σε ώτα μη ακουόντων: κανείς δεν φανταζόταν ότι υπάρχουν μοναδιαίοι χαρακτήρες που μεταβιβάζονται από τη μία γενιά στην επόμενη. Σύμφωνα με την ορθόδοξη ιστορία της γενετικής, ο Μέντελ άλλαξε την κατάσταση (τουλάχιστον δυνητικά), προτείνοντας ένα εντελώς νέο μοντέλο κληρονομικότητας, το οποίο αποσαφήνισε όλα τα συγκεχυμένα στοιχεία που ενυπήρχαν στις προηγούμενες ιδέες. Το πρόβλημα ήταν ότι πέρασε καιρός για να φανεί η αξία αυτών των διορατικών σκέψεων, έτσι ο Μέντελ πέθανε στην αφάνεια αφήνοντας να «ανακαλύψουν εκ νέου» το μοντέλο του, το 1900, οι βιολόγοι που επρόκειτο να θεμελιώσουν τη νεότερη γενετική. Οι εξελίξεις που έκαναν δυνατή την έναρξη αυτού του νέου εγχειρήματος αποτελούν το θέμα του επόμενου υποκεφαλαίου. Πρώτα όμως θα προσπαθήσουμε να τοποθετήσουμε τον ίδιο τον Μέντελ στο γενικότερο πλαίσιο. Οι ιστορικοί της επιστήμης αντιμετωπίζουν πλέον με όλο και μεγαλύτερη καχυποψία τους προάγγελους ή πρόδρομους, που υποτίθεται ότι είχαν προτείνει νέες θεωρίες πολύ πριν αυτές γίνουν εντέλει αποδεκτές. Δεδομένης της βασικής θεώρησής μας, σύμφωνα με την οποία η επιστημονική γνώση εξαρτάται από το πλαίσιο μέσα στο οποίο διαμορφώνεται, μοιάζει εγγενώς απίθανο ένας άνθρωπος να είναι σε θέση να αποκοπεί από το δικό του πνευματικό περιβάλλον και, κατά κάποιο τρόπο, να προβλέψει εκείνο μιας μελλοντικής γενιάς. Σίγουρα υπήρχε κάτι νέο στην προσέγγιση του Μέντελ, αλλά σύμφωνα με πρόσφατες ιστορικές μελέτες, η παραδοσιακή εικόνα του ως προάγγελου της γενετικής κατασκευάστηκε προκειμένου να δώσει στη νέα επιστήμη ένα μύθο δημιουργίας βασισμένο σε έναν παρεξηγημένο ιδρυτή. Είναι βέβαιο ότι δεν προέβλεψε ολόκληρο το εννοιολογικό σύστημα της γενετικής των αρχών του 20ού αιώνα και, σύμφωνα με τα λεγόμενα ενός ιστορικού, ο ίδιος ο Μέντελ δεν ήταν μεντελιστής (Olby 1979· 1985, παράρτημα).

Το πρόβλημα μοιάζει να προέκυψε, επειδή εκείνοι που ανακάλυψαν εκ νέου τον Μέντελ προέβαλαν πολλές από τις δικές τους ιδέες στο άρθρο του. Υπέθεσαν ότι αναζητούσε ένα γενικό νόμο της κληρονομικότητας, όπως και οι ίδιοι. Επίσης, φαίνεται ότι θεώρησαν πως τα πειράματά του δεν είχαν νόημα, εκτός εάν ερμηνεύονταν υπό το πρίσμα της ύπαρξης μοναδιαίων χαρακτήρων, που προσδιορίζονται από κάποιο είδος υλικού σωματιδίου, το οποίο μεταβιβάζεται μεταξύ των γενεών (του γονιδίου, όπως έγινε κατόπιν γνωστό). Πρόσφατα, οι ιστορικοί επεσήμαναν ότι το άρθρο του Μέντελ δεν αναφέρεται σε ζεύγη υλικών σωματιδίων, αλλά μιλάει αποκλειστικά για τις διαφορές χαρακτήρων και δεν προχωρεί καθόλου στη διατύπωση κάποιας υπόθεσης γύρω από τον τρόπο διατήρησης αυτών των διαφορών. Το πιο ενδιαφέρον είναι ότι, εάν αναζητήσουμε το πλαίσιο εντός του οποίου ο Μέντελ αντιμετώπισε το πρόβλημα, θα δούμε ότι μπορεί να μην είχε καν σκοπό να ελέγξει το νόμο της κληρονομικότητας. Η πιο ριζοσπαστική ελιπερνηνεία θεωρεί ότι στην πραγματικότητα προσπαθούσε να διατυπώσει μια εναλλακτική εκδοχή

της δαρβινικής θεωρίας της εξέλιξης. Δεν περίμενε ότι τα αποτελέσματα των ερευνών του θα θεωρούνταν η βάση ενός νέου τρόπου σκέψης γύρω από το ζήτημα της κληρονομικότητας (Callendar 1988). Αυτή η αναθεωρητική ερμηνεία έχει το μεγάλο πλεονέκτημα ότι καθιστά άτοπο συνολικά το ερώτημα του γιατί κανείς δεν κατάλαβε τη νέα «θεωρία της κληρονομικότητας» που εισηγήθηκε ο Μέντελ — επειδή δεν υπήρξε τέτοια θεωρία.

Η προβληματική του Μέντελ στηρίχτηκε στον υβριδισμό ποικιλιών του μοσχοπιζελου με μη τυπικά χαρακτηριστικά και στην ανίχνευση αυτών των μη τυπικών χαρακτηριστικών στις επόμενες γενιές. Υπήρχε μια παράδοση διεξαγωγής τέτοιων πειραμάτων, εν μέρει από τους φυτοκόμους, που ήθελαν να έχουν μεγαλύτερο έλεγχο στις καλλιέργειες, αλλά και από τους φυσιολόγους, που εμπνέονταν από τον Λινναίο και την πρόταση που διατύπωσε κατά τον προηγούμενο αιώνα περί πιθανής δημιουργίας νέων ειδών με υβριδοποίηση των υπαρχόντων (Roberts 1929). Ένας καθολικός ιερέας που απεχθανόταν τη δαρβινική θεωρία ήταν προφανές ότι θα μπορούσε να δει αυτή την ιδέα με νέα ματιά. Ο Μέντελ διασταυρώνοντας μη τυπικές ποικιλίες μπιζελιών ήλιζε να διαφωτίσει το κατά πόσο η διασταύρωση των ειδών μπορούσε να παραγάγει μόνιμα νέες μορφές. Αυτό εξήγει γιατί ήταν τόσο ευαίσθητοποιημένος απέναντι στο ενδεχόμενο του εντοπισμού σταθερών χαρακτήρων μέσω των υβριδίων και των απογόνων τους. Όμως εκείνο στο οποίο πραγματικά στόχευε ήταν η θεμελίωση των νόμων του υβριδισμού και όχι των νόμων της κληρονομικότητας.

Ο Μέντελ είχε περιορισμένη επιστημονική κατάρτιση προτού πάει να μονάσει στο Μπρυν της Μολδαβίας, όπου έκανε τα πειράματά του (Henig 2000· Itlis 1932· Orel 1995). Ξεκίνησε με διάφορες ποικιλίες μοσχοπιζελου, που είχαν επιλεγεί τεχνητά για αμυγή αναπαραγωγή, και επέλεξε να ανιχνεύσει επτά διαφορετικούς χαρακτήρες στις υβριδικές γενιές. Έτσι, για παράδειγμα, διασταύρωσε μια ποικιλία με πολύ μεγάλο ύψος με μια χαμηλή και βρήκε ότι δεν υπήρξε μίξη: όλα τα φυτά της πρώτης υβριδικής γενιάς ήταν ψηλά και όχι μέσου ύψους. Το χαρακτηριστικό του χαμηλού ύψους είχε προφανώς εξαφανιστεί. Όταν διασταύρωσε τα υβρίδια για να παραγάγει τη δεύτερη υβριδική γενιά, βρήκε τη διάσημη αναλογία του 3:1. Ο χαρακτήρας του χαμηλού ύψους είχε επανεμφανιστεί, αλλά μόνο στο ένα τέταρτο των φυτών· τα άλλα τρία τέταρτα ήταν ψηλά. Αυτό απέδειξε ότι οι χαρακτήρες υπάρχουν ως διακριτές μονάδες και ότι ο ένας χαρακτήρας «υπερέχει» κατά κάποιο τρόπο του άλλου (του υποτελούς). Σε μια υβριδική μορφή μπορεί να υπάρχει το δυναμικό του υποτελούς χαρακτήρα, αλλά εάν συνυπάρχει με το δυναμικό του υπερέχοντος, τότε το υποτέλει καλύπτεται εντελώς στον ενήλικο οργανισμό. Τα πειράματα έδειξαν ότι πρέπει να δούμε την κληρονομικότητα με βάση ζεύγη χαρακτήρων· κάθε οργανισμός κληρονομεί ένα χαρακτήρα από κάθε γονέα και μεταδίδει ένα σε κάθε απόγονο. Ο Μέντελ δεν διευκρίνισε ότι οι χαρακτήρες ορίζονται από υλικά σωματίδια που μεταδίδονται από γονέα σε απόγονο, και παρότι οι περισσότεροι από τους πρώτους γενετιστές υπέθεσαν ότι κάτι τέτοιο θα πρέπει να είχε στο μυαλό του, δεν έχουμε στοιχεία που να δείχνουν ότι όντως συνέβαινε αυτό.

Εάν μεταφράσουμε τα πειράματα σύμφωνα με τη μεταγενέστερη ορολογία του γονιδίου (που είναι ο τρόπος με τον οποίο διάβασαν το άρθρο μετά το 1900), πρέπει να θεωρήσουμε ότι για ένα συγκεκριμένο χαρακτήρα, όπως είναι το ύψος των μπιζελιών, υπάρχουν δύο γενετικές μονάδες, οι οποίες είναι σε θέση να ελέγχουν αυτό το χαρακτήρα (δύο «αλληλόμορφα γονίδια») — στη συγκεκριμένη περίπτωση ένα για το ψηλό (Ψ) και ένα



για το χαμηλό (Κ) ύψος. Κάθε φυτό έχει ένα ζεύγος γονιδίων που κληρονόμησε από τους γεννήτορές του, και στις αμιγείς ποικιλίες αυτό θα πρέπει να είναι ΨΨ για τα ψηλά φυτά και ΚΚ για τα κοντά. Η πρώτη υβριδική γενιά πρέπει να έχει ένα γονίδιο από κάθε γονέα (ΨΚ), αλλά εδώ λειτουργεί η σχέση υπερέχοντος-υποτελους και έτσι εκδηλώνεται μόνο το γονίδιο του μεγάλου ύψους.

$$\begin{array}{ccc}
 \Psi\Psi & \times & ΚΚ \\
 (\text{ψηλό}) & & (\text{κοντό}) \\
 & \downarrow & \\
 & \PsiΚ & \\
 & (\text{ψηλό}) & 
 \end{array}$$

Τα υβρίδια εμφανίζονται όμοια με τον ψηλό γονέα, αλλά διαφέρουν γενετικά, επειδή το καθένα φέρει ένα κρυμμένο αντίγραφο του γονιδίου Κ. Όταν διασταυρώσουμε τα ίδια τα υβρίδια, παίρνουμε και τους τέσσερις δυνατούς συνδυασμούς του Ψ και του Κ σε περίπου ίδιο αριθμό και εφαρμόζοντας και πάλι τον κανόνα υπερέχοντος-υποτελους θα δούμε ότι προκύπτουν τέσσερις καταστάσεις, από τις οποίες οι τρεις θα παραγάγουν ψηλά φυτά, ενώ σε μία μπορεί και πάλι να κάνει την εμφάνισή του το υπολειπόμενο χαμηλό ύψος Κ:

$$\begin{array}{ccccccc}
 & & \PsiΚ & \times & \PsiΚ & & \\
 & & \downarrow & & \downarrow & & \\
 \Psi\Psi & & \PsiΚ & & Κ\Psi & & ΚΚ \\
 (\text{ψηλό}) & & (\text{ψηλό}) & & (\text{ψηλό}) & & (\text{κοντό})
 \end{array}$$

Ο Μέντελ έδειξε, επίσης, ότι και οι επτά διαφορετικοί χαρακτήρες που μελέτησε μεταβιβάζονται ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο. Οι μεταγενέστεροι υποστηρικτές του υπέθεσαν ότι αυτή η κατάσταση θα μπορούσε να γενικευτεί για να δώσει μια ολοκληρωμένη θεωρία της κληρονομικότητας βασισμένη σε διακριτούς μοναδιαίους χαρακτήρες, που μεταβιβάζονται αμετάβλητοι από γενιά σε γενιά, και δεν υπάρχει ανάμιξη των κληρονομικών χαρακτήρων, επειδή κυριαρχεί μόνο ο ένας.

**ΠΡΕΛΟΥΔΙΟ ΣΤΗ ΓΕΝΕΤΙΚΗ**

Το άρθρο του Μέντελ παρουσιάστηκε στην τοπική εταιρεία φυσικής ιστορίας το 1865 και δημοσιεύτηκε τον επόμενο χρόνο (αγγλική μετάφραση: Bateson 1902· Stern και Sherwood 1966). Σχεδόν κανείς δεν του έδωσε σημασία. Ο μόνος επιστήμονας που πήρε τον Μέντελ στα σοβαρά, ο Καρλ φον Νέγκελι [Carl von Nägeli], τον παρότρυνε να ασχοληθεί με το γερακόχορτο, ένα φυτό με σύνθετη γενετική δομή που δεν είναι κατάλληλο για ανάλυση με τέτοιες τεχνικές. Οι πρώτες ιστορίες της γενετικής προσπάθησαν να εξηγήσουν για ποιο λόγο αυτό το άρθρο αγνοήθηκε επί μακρόν επισημαίνοντας το γεγονός ότι το περιοδικό στο οποίο δημοσιεύτηκε ήταν άσημο. Τώρα μπορούμε να δούμε ότι υπήρχαν πιο σημαντικοί λόγοι για τους οποίους κανείς δεν το πήρε στα σοβαρά. Οι μοναδιαίοι χαρακτήρες δεν ήταν συμβατοί με το συνολικό θεωρητικό πλαίσιο μέσα στο οποίο αντιμέτωπιζαν οι περισσότεροι βιολόγοι το ζήτημα της κληρονομικότητας και της ανάπτυ-

ξης. Εάν ο ίδιος ο Μέντελ θεωρούσε ότι το άρθρο συνιστούσε συμβολή στην επιστημονική αντιπαράθεση περί υβριδικών ειδών, τότε δεν θα ενδιαφερόταν να το παρουσιάσει ως θεμελίωση μιας θεωρίας της κληρονομικότητας. Από πιο πρακτική σκοπιά, οι σαφώς διαφορετικοί χαρακτήρες που μελέτησε στα μπιζέλια του δεν συνιστούν τυπικούς χαρακτηριστές στα περισσότερα είδη — έτσι το έργο του μάλλον έμοιαζε απλώς με εξαίρεση στον κανόνα. Οι περισσότεροι χαρακτήρες στα περισσότερα είδη ελέγχονται από πολλά διαφορετικά γονίδια, που συμφύρονται ανομοιογενώς στον πληθυσμό και δίνουν εκ πρώτης όψεως την εντύπωση της ανάμιξης. Το σημαντικότερο είναι ότι παράγουν ένα συνεχές φάσμα ποικιλότητας εντός του πληθυσμού, όπως είχε παρατηρήσει ο Δαρβίνος. Οι άνθρωποι δεν διακρίνονται σε γίγαντες και σε νάνους; οι περισσότεροι έχουν μέσο ύψος, με τους ολιγάριθμους υψηλού και χαμηλού αναστήματος να βρίσκονται στα δύο άκρα του φάσματος.

Θα χρειαζόταν πολύ φαντασία για να θεωρήσει κανείς ότι οι νόμοι του Μέντελ θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να ερμηνεύσουν τα ποικίλα φαινόμενα της κληρονομικότητας, και πρέπει τώρα να αναρωτηθούμε ποιες αλλαγές συντελέστηκαν στο επιστημονικό κλίμα μεταξύ 1865 και 1990 οι οποίες έκαναν δυνατή την εκ νέου ανακάλυψη του έργου του Μέντελ. Μειζονες εξελίξεις έλαβαν χώρα όσον αφορά την κατανόηση της αναπαραγωγικής διαδικασίας και την εξελικτική θεωρία, οι οποίες επικεντρώθηκαν στην ιδέα ότι η κληρονομικότητα είναι μια δύναμη που προκαθορίζει τα ενήλικα χαρακτηριστικά και ότι είναι πιθανό τα χαρακτηριστικά αυτά να θεωρηθούν ξεχωριστές μονάδες. Υπήρξε αυξημένο ενδιαφέρον για τον πειραματικό έλεγχο φαινομένων όπως η κληρονομικότητα και η ανάπτυξη, ιδιαίτερα όταν η θεωρία της ανακεφαλαίωσης αποδείχτηκε αναξιόπιστη ως οδηγός για την κατανόηση της εξέλιξης (Allen 1975). Όμως, αυτή η νέα κατεύθυνση στην οποία στράφηκε η βιολογία αποτελούσε εν μέρει απάντηση σε γενικότερες αλλαγές που συνέβαιναν στην κοινωνία συνολικά. Η ανάπτυξη του κινήματος της ευγονικής έστρεψε την προσοχή του κόσμου στην κληρονομικότητα, θεωρώντας ότι είναι το αίτιο εμφάνισης στον πληθυσμό ανθρώπων με εκφυλισμένο χαρακτήρα. Η συμβολή του Φράνσις Γκάλτον [Francis Galton] στη διαμάχη για την κληρονομικότητα στηριζόταν στην πεποίθησή του ότι ο ανθρώπινος χαρακτήρας —καλός ή κακός— προκαθορίζεται από την κληρονομικότητα κατά τη γέννηση. Πολύ σημαντικό επίσης ήταν πλέον και το έργο των ανθρώπων που ασχολούνταν με τη διασταύρωση ζώων και φυτών, αφού οι γεωπόνοι αναζητούσαν καλύτερους τρόπους εφαρμογής της τεχνητής επιλογής για την παραγωγή χρήσιμων νέων ποικιλιών. Άρχισε, λοιπόν, να ανοίγει ένα παράθυρο σε μια νέα επιστήμη της κληρονομικότητας, που θα παρείχε πληροφορίες στις οποίες θα μπορούσε να στηριχτεί ο έλεγχος ανθρώπινων και μη πληθυσμών.

Όταν η προσοχή στράφηκε στον τρόπο μεταβίβασης των χαρακτήρων, δρομολογήθηκαν πολλές εξελίξεις. Εκείνη την εποχή, στη βιολογία ήταν κυρίαρχη η κυτταρική θεωρία (βλ. κεφ. 7, «Η νέα βιολογία»). Το 1875, ο Όσκαρ Χέρτβιχ [Oscar Hertwig] έδειξε ότι το έμβρυο αναπτύσσεται από ένα μόνο κύτταρο του θηλυκού ωαρίου, το οποίο γονιμοποιεί μια ουσία που προέρχεται από τον πυρήνα ενός μόνο ανδρικού σπερματοζωαρίου. Ο Έντουαρντ βαν Μπένεντεν [Edouard van Beneden] έδειξε ότι οι γαμέτες (ωάριο και σπέρμα) λάμβαναν μόνο ένα χρωμόσωμα από κάθε υπάρχον ζεύγος — αυτές οι δομές που έχουν ραβδωτό σχήμα ονομάστηκαν έτσι επειδή έπαιρναν το χρώμα της χρωστικής που χρησιμοποιούσαν στο εργαστήριο για να φανούν καλύτερα τα δείγματα κάτω από το μι-

κροσκόπιο. Ήταν ξεκάθαρο ότι η πράξη της γονιμοποίησης δημιουργεί ένα ζεύγος για τον απόγονο που συντίθεται από ένα ζεύγος κάθε γονέα (εικ. 8.3). Αυτές οι ανακαλύψεις θα αποτελούσαν τη βάση του μηχανισμού που πρότειναν οι πρώτοι γενετιστές για να εξηγήσουν το σχηματισμό ζεύγους χαρακτήρων στα πειράματα του Μέντελ. Ο Άουγκουστ [«germplasm»] — η υλική βάση της κληρονομικότητας, που με κάποιο τρόπο μεταβιβάζει τους χαρακτήρες από το γονέα στον απόγονο. Όμως ο Βάισμαν επέμενε ότι το γενετικό υλικό είναι απομονωμένο από το υπόλοιπο σώμα και έτσι μεταβιβάζεται αμετάβλητο από γενιά σε γενιά. Ο λαμαρκισμός δεν είχε καμία θέση σε αυτό το μοντέλο κληρονομικότητας και δεν υπήρχε χώρος για αόριστες ιδέες περί εμβρύου που «θυμάται» το εξελικτικό παρελθόν του. Ο Βάισμαν δεν θεωρούσε ότι οι χαρακτήρες είναι προκαθορισμένοι ως μονάδες μεγάλης κλίμακας και προτιμούσε ένα δαρβινικό μοντέλο φυσικής επιλογής, στηριγμένο σε μικροσκοπικές παραλλαγές γενετικού υλικού.

Αυτό το κλιμακωτό μοντέλο εξέλιξης άρχισε ναβάλλεται την τελευταία δεκαετία του αιώνα, καθώς οι βιολόγοι άρχισαν να βλέπουν ξανά με ενδιαφέρον την παλαιότερη ιδέα σύμφωνα με την οποία η εξέλιξη λειτουργεί με ξαφνικά άλματα. Το 1894, ο Βρετανός βιολόγος Ουίλιαμ Μπέιτσον [William Bateson] δημοσίευσε το βιβλίο του *Materials for the Study of Variation* [Υλικά για τη μελέτη της ποικιλότητας], στο οποίο επιτέθηκε κατά της δαρβινικής θεωρίας, επιμένοντας ότι λεπτομερείς μελέτες πολλών ειδών έδειχναν πως οι νέοι χαρακτήρες παράγονται μέσω αλμάτων. Εάν, για παράδειγμα, ένα άνθος μετασηματιστεί από ποικιλία με τέσσερα πέταλα σε ποικιλία με πέντε, το επιπλέον πέταλο θα έχει δημιουργηθεί όχι από τη βραδεία προέκταση ενός μικροσκοπικού υποτυπώδους οργάνου, αλλά από μια ξαφνική αλλαγή στην αναπτυξιακή διαδικασία. Ο Ολλανδός βοτανολόγος Ύχο ντε Βρις [Hugo De Vries] παρουσίασε τη «θεωρία της μετάλλαξης», σύμφωνα με την οποία η εξέλιξη λειτουργεί με ξαφνικά άλματα, που παράγουν ακαριαία νέες ποικιλίες ή ακόμη και νέα είδη. Τη θεωρία αυτή υποστήριξε μέσα από τις μελέτες του για το φυτό *παναγίτσα*, αν και αργότερα διαπιστώθηκε ότι εκείνο που παρατηρούσε ο ντε Βρις δεν ήταν γενετικές μεταλλάξεις, αλλά ανασυνδυασμοί χαρακτήρων λόγω υβριδισμού. Η θεωρία της μετάλλαξης έγινε πολύ δημοφιλής στο γύρισμα του αιώνα και έδωσε το έναυσμα για τη δημιουργία ενός κλίματος που οδήγησε τους βιολόγους στη σκέψη ότι εάν οι νέοι χαρακτήρες δημιουργούνται ως μονάδες, τότε ίσως στη συνέχεια κληροδοτούνται σταθερά ως μονάδες. Δεν είναι τυχαίο ότι πολλοί από τους θεμελιωτές της γενετικής ξεκίνησαν από το ενδιαφέρον για την εξέλιξη μέσω αλμάτων — ο ντε Βρις ήταν ένας από αυτούς που ανακάλυψαν εκ νέου το έργο του Μέντελ και ο Μπέιτσον στην Αγγλία έγινε ο βασικός υπέρμαχος αυτού που ονόμαζε «γενετική».

## Ο ΜΕΝΤΕΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ Η ΚΛΑΣΙΚΗ ΓΕΝΕΤΙΚΗ

Το πεδίο ήταν πλέον έτοιμο για την επαναανακάλυψη των νόμων του Μέντελ. Το 1900, δύο βιολόγοι που έκαναν πειράματα υβριδισμού ανακοίνωσαν τους νόμους της μεταβίβασης που είχε ήδη επισημάνει ο Μέντελ. Ο ένας ήταν ο ντε Βρις και ο άλλος ο Γερμανός βοτανολόγος Καρλ Κόρενς [Carl Correns] (οι ισχυρισμοί ότι υπήρχε και τρίτος, ο Έριχ βοτανολόγος Καρλ Τσέρμακ [Erich von Tschermak], σήμερα δεν γίνονται δεκτοί, επειδή στην πραγματικότητα δεν είχε κατανοήσει τους νόμους). Σύντομα άρχισαν οι αναφορές στον Μέντελ

που τον παρουσίαζαν ως πρόδρομο, αφού είχε ήδη δημοσιεύσει τους νόμους, και είναι πράγματι πιθανό ότι η ευκρίνεια της αναλυτικής παρουσιάσής τους βοήθησε τους μεταγενέστερους επιστήμονες, ιδιαίτερα τον ντε Βρις, να καταλάβουν τι ακριβώς συνέβησαν. Ο Μπέιτσον επίσης εντυπωσιάστηκε όταν διάβασε το άρθρο του Μέντελ, και σύντομα εξέδωσε την πρώτη αγγλική μετάφραση, υποστηρίζοντας ταυτόχρονα με σθένος ότι αυτό έπρεπε να θεωρηθεί η βάση μιας νέας επιστήμης της κληρονομικότητας (Bateson 1902). Η προθυμία με την οποία όλοι αναγνώρισαν τον Μέντελ ως θεμελιωτή της νέας επιστήμης ίσως να ήταν αποτέλεσμα της επιθυμίας τους να αποτρέψουν μια πιθανή έντονη διαμάχη γύρω από το ποιος ήταν εκείνος που πρώτος επαναανάκαλυψε τον Μέντελ. Ο Μπέιτσον ιδιαίτερα θεωρούσε ότι οι νόμοι αυτοί εισηγούνται ένα μοντέλο που θα μετασχηματίζε πλήρως τη μελέτη της κληρονομικότητας. Οι χαρακτήρες που δεν ταιρίαζαν σε αυτό το μοντέλο δεν είχαν σημασία — ισχυρισμός που παρέτεινε μια ήδη έντονη διαμάχη με την υπό τον Καρλ Πίρσον βιομετρική σχολή του δαρβινισμού, που επέμενε ότι η φυσιολογική ποικιλότητα εμφανίζει συνεχές εύρος (Gayon 1998· Provine 1971). Οι περισσότεροι από τους πρώτους υπέρμαχους του μεντελισμού υποστήριζαν τη θεωρία της μετάλλαξης και υπέθεσαν ότι η εισαγωγή νέων χαρακτήρων γίνεται ξαφνικά με εντυπωσιακές μεταβολές των μεντελικών παράγοντων. Παραδόξως, ο ντε Βρις σύντομα έπαψε να ενδιαφέρεται για το μεντελισμό, υποστηρίζοντας ότι οι μεταλλαγμένοι χαρακτήρες δεν ακολουθούν αναγκαστικά τους νόμους του.

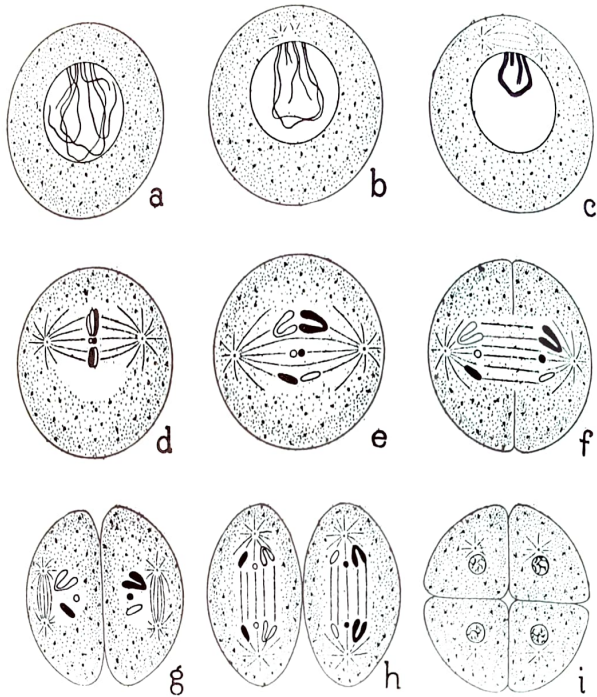
Ο Μπέιτσον επινόησε τον όρο «γενετική» το 1905 και τον παρουσίασε σε διεθνές συνέδριο τον επόμενο χρόνο. Επιχείρησε να προωθήσει τη νέα επιστήμη στο Πανεπιστήμιο του Κέμπριτζ, αλλά εκείνοι που έδειξαν πραγματικό ενδιαφέρον ήταν οι διαστωρωτές ζώων και φυτών, και τελικά ο Μπέιτσον πήγε στο Ινστιτούτο Φυτοκομίας John Innes. Ο μαθητής του, Ρέτζιναλτ Πάνετ [Reginald Crundall Punnett], ανέλαβε την πρώτη έδρα γενετικής στο Κέμπριτζ το 1916. Στην Αμερική, τη νέα επιστήμη υποδέχτηκαν με ενθουσιασμό όσοι είχαν αγροτικά συμφέροντα, αν και εδώ αποδείχτηκε ευκολότερη η κατοχύρωση της ακαδημαϊκής υπόστασης του κλάδου, επειδή το πανεπιστημιακό σύστημα βρισκόταν σε φάση επέκτασης. Πολλά από τα πρώτα δείγματα της εφαρμογής των κανόνων του Μέντελ αφορούσαν είδη με εμπορική αξία (εικ. 8.2). Τα πρώτα χρόνια, ο κλάδος βασίστηκε σε ένα θεωρητικό μοντέλο που αφορούσε αποκλειστικά τον τρόπο μεταβίβασης των χαρακτήρων. Ούτε ο Μπέιτσον ούτε ο Πάνετ έδειξαν να ενδιαφέρονται για την πιθανότητα προσχηματισμού των χαρακτήρων από πληροφορίες κωδικοποιημένες στην υλική δομή των χρωμοσωμάτων. Ο Μπέιτσον ήταν φιλοσοφικά αντίθετος στον υλισμό και απέρριψε τη χρωμοσωμική θεωρία του γονιδίου ακόμη και όταν έγινε ευρέως αποδεκτή, μια δεκαετία αργότερα. Ο Δανός βοτανολόγος Βίλχελμ Γιόχανσεν [Wilhelm Johannsen] εισήγαγε τον όρο «γονίδιο», θεωρώντας ότι ο «γονιδιώτυπος» (η γενετική σύσταση) του οργανισμού είναι ο μόνος παράγοντας που σχετίζεται με την επίδραση του γονιδίου στις μελλοντικές γενιές — επαναβεβαιώνοντας έτσι την αντίθεση στο λαμαρκισμό που είχε εκφράσει ο Βάισμαν. Ωστόσο, όπως ο Μπέιτσον έτσι και ο Γιόχανσεν δεν πίστευε ότι το γονίδιο είναι υλικό σωματίδιο, αλλά προτιμούσε να θεωρεί ότι πρόκειται για σταθερή ενεργειακή κατάσταση στον οργανισμό ως ολότητα.

Αυτό που έγινε γνωστό ως κλασική γενετική εμφανίστηκε μεταξύ 1910 και 1915 μέσα από τις προσπάθειες του Αμερικανού βιολόγου Τόμας Χαντ Μόργκαν και της σχολής του να συνδέσουν τους νόμους της κληρονομικότητας με τη συμπεριφορά των χρωμοσωμά-



**ΕΙΚΟΝΑ 8.2** Υβριδικά καλαμπόκια όπου φαίνεται ο μεντελικός διαχωρισμός των καρπών με διαφορετικό χρώμα (W. E. Castle κ.ά., *Heredity and Eugenics* [Κληρονομικότητα και ευγονική], Σικάγο, University of Chicago Press, 1992, σελ. 94). Πολλές από τις πρώτες μελέτες επιβεβαίωσης των νόμων της γενετικής πραγματοποιήθηκαν σε είδη που απέφεραν οικονομικό όφελος, με την ελπίδα ότι η κατανόηση του τρόπου μεταβίβασης των χαρακτήρων θα βοηθούσε τους διασταυρωτές να βελτιώσουν τις σοδειές.

των κατά τη διαδικασία της γονιμοποίησης (Allen 1978). Ο Μόργκαν αρχικά είχε απορρίψει το μεντελισμό, αν και είχε επιτεθεί στο δαρβινισμό στο όνομα της θεωρίας της μετάλλαξης. Τώρα άρχισε να ενδιαφέρεται για την προφανή αντιστοιχία ανάμεσα στον τρόπο σχηματισμού του ζεύγους χρωμοσωμάτων, με την ανάμιξη ωαρίου και σπέρματος, και στη μεταβίβαση των μεντελικών χαρακτήρων (εικ. 8.3). Εστίασε την προσοχή του στη μύγα του ξυδιού (*Drosophila*), της οποίας τα χρωμοσώματα είναι συνήθως μεγάλα και συνεπώς μπορούν να μελετηθούν ευκολότερα (Kohler 1994). Έδειξε ότι ο καλύτερος τρόπος να καταλάβουμε τι είναι το γονίδιο είναι να το θεωρήσουμε τμήμα του χρωμοσώματος κωδικοποιημένο κατά τρόπο ώστε να παράγει τον αντίστοιχο χαρακτήρα στον αναπτυσσόμενο οργανισμό. Ο ίδιος και οι επίγονοί του ήταν σε θέση να φτιάξουν ακόμη και χάρτες που έδειχναν πού περίπου εντοπίζεται κάθε γονίδιο στο χρωμόσωμά του. Τα αποτελέσματα των ερευνών τους συνοψίστηκαν στο βιβλίο με τίτλο *The Mechanism of Mendelian Inheritance* [Ο μηχανισμός της μεντελικής κληρονομικότητας] (Morgan κ.ά. 1915), στο οποίο παρουσιάζεται η κλασική θεωρία του γονιδίου.



**ΕΙΚΟΝΑ 8.3** Συμπεριφορά των χρωμοσωμάτων κατά την πρώτη κυτταρική διαίρεση ή μείωση, που εδώ απεικονίζεται στο σχηματισμό ενός κυττάρου σπέρματος (T. H. Morgan, *Evolution and Genetics* [Εξέλιξη και γενετική], Πρίνστον: Princeton University Press, 1925, σελ. 80). Το κρίσιμο μέρος της διαδικασίας που εξηγεί τους νόμους του Μέντελ φαίνεται στη μεσαία σειρά (στάδια d-f), όπου τα χρωμοσώματα διαίρονται και μετά χωρίζονται σε δύο κύτταρα, καθένα από τα οποία περιέχει μόνο ένα από τα αρχικά ζεύγη του γονεϊκού κυττάρου. Η διαδικασία είναι πολύ σύνθετη και περιλαμβάνει μια δεύτερη διαίρεση, που τελειώνει στο στάδιο i με τέσσερα σπερμογόνια κύτταρα. Πρόκειται για εξιδανικευμένη αναπαράσταση αυτού που βλέπει κανείς στο μικροσκόπιο και συνδυάζει τα αποτελέσματα πολλών ετών έρευνας από πολλούς βιολόγους στα τέλη του 19ου και στις αρχές του 20ού αιώνα.

Ο Μόργκαν και η σχολή του μελέτησαν επίσης την παραγωγή με μετάλλαξη νέων γενετικών χαρακτήρων. Έδειξαν ότι υπάρχουν σποραδικοί αιφνίδιοι μετασχηματισμοί που μεταβάλλουν ένα υπάρχον γονίδιο σε κάτι το οποίο κωδικοποιεί έναν νέο χαρακτήρα, που στη συνέχεια μεταβιβάζεται αμετάβλητος στην επόμενη γενιά, αντικαθιστώντας στην πραγματικότητα το αρχικό γονίδιο. Όποια κι αν είναι η υλική δομή του γονιδίου, προφανώς θα μπορούσε να μεταβληθεί έτσι ώστε να κωδικοποιήσει κάτι νέο. Οι μεταλλάξεις δημιουργούνται από εξωτερικές δυνάμεις, όπως η ακτινοβολία, και πολλές μεταλλάξεις είναι ουδέτερες ή και επιβλαβείς. Ο Μόργκαν, ωστόσο, επεσήμανε ότι οι περισσότερες είναι αρκετά μικρές και ότι οι φορείς τους φαίνεται να προχωρούν σε φυσιολογική

αναπαραγωγή με τον υπόλοιπο πληθυσμό. Αυτή η ιδέα, μαζί με το γεγονός ότι οι επιστήμονες όλο και πιο πρόθυμα δέχονταν πλέον την άποψη ότι πολλοί χαρακτήρες επηρεάζονται από περισσότερα του ενός γονίδια, άνοιξαν το δρόμο για την τελική συμφιλίωση γενετικής και δαρβινισμού. Η μετάλλαξη είναι η πηγή της τυχαίας διαφοροποίησης που θεωρούσε ο Δαρβίνος ότι εμφανίζεται σε κάθε πληθυσμό, ενώ οι νόμοι του Μέντελ επιτρέπουν στη διαδικασία της επιλογής να λειτουργήσει, μειώνοντας τη συχνότητα εμφάνισης ενός επιβλαβούς γονιδίου και αυξάνοντας τη συχνότητα εμφάνισης εκείνου του σποραδικού γονιδίου που προσφέρει προσαρμοστικό πλεονέκτημα.

Σύντομα η γενετική εδραιώθηκε στις επιστημονικές κοινότητες της Αμερικής και της Βρετανίας μαζί με τη θέση ότι το χρωμοσωμικό γονίδιο προκαθορίζει απόλυτα το χαρακτήρα που θα αναπτύξει ο οργανισμός στον οποίο μεταβιβάζεται (γι' αυτό η θεωρία θα μπορούσε να περιγραφεί ως αναβίωση του προσχηματισμού). Ωστόσο, η κατάσταση ήταν πολύ διαφορετική στο μη αγγλόφωνο κόσμο, απεικονίζοντας το βαθμό στον οποίο οι ακόμη και μείζονες επιστημονικές εξελίξεις αντανάκλουν το τοπικό πλαίσιο εντός του οποίου διεξάγεται η έρευνα. Στη Γαλλία σχεδόν κανείς δεν πήρε τη θεωρία στα σοβαρά και ο μόνος σημαντικός γενετιστής εκεί, ο Λυσιέν Κενό [Lucien Cuénot], ενδιαφερόταν περισσότερο για τον τρόπο με τον οποίο εκφράζεται το γονίδιο στον αναπτυσσόμενο οργανισμό (Burian, Gayon και Zallen 1988). Το έργο του Κενό έγινε γνωστό ως φυσιολογική γενετική, ενώ εκείνο της σχολής του Μόργκαν ονομάστηκε μεταβιβαστική γενετική. Στη Γερμανία, η θεωρία είχε μεγαλύτερη επιτυχία, αλλά δεν χρησιμοποιήθηκε για να ορίσει έναν νέο επιστημονικό κλάδο στη βιολογία (Harwood 1993). Εδώ επίσης οι βιολόγοι ενδιαφέρονταν για τη φυσιολογική και για τη μεταβιβαστική γενετική και υπήρχαν πολλοί που αμφισβητούσαν τον αυστηρό προσχηματισμό που υποστήριζε η χρωμοσωμική θεωρία. Πιθανόν το υλικό που περιβάλλει το κύτταρο, το κυτταρόπλασμα, να έπαιξε επίσης κάποιο ρόλο στην κληρονομικότητα και ίσως να μην ήταν τόσο αυστηρά απομονωμένο από τα φαινόμενα του περιβάλλοντός του (Sapp 1987).

Αυτές οι γεωγραφικές διαφορές δείχνουν ότι η κλασική γενετική της αγγλο-αμερικανικής επιστημονικής κοινότητας δεν συνιστούσε αναπόφευκτη έκφραση ενός αδιαμφισβήτητου βήματος στην κατεύθυνση της κατανόησης της φύσης. Η χρωμοσωμική θεωρία του γονιδίου ήταν εξαιρετικά σημαντική, αλλά επικεντρώθηκε σε ένα περιορισμένο σύνολο θεμάτων και απέκλεισε ιδέες και σκέψεις που αργότερα θα αποδεικνύονταν καθοριστικές. Προφανώς, το γεγονός πως οι γενετιστές επικεντρώθηκαν μόνο στη μεταβίβαση των χαρακτηριστικών τους αποξένωσε από τους βιοχημικούς και τους εμβρυολόγους, μη επιτρέποντάς τους να αποκτήσουν εποπτεία (και να ενδιαφερθούν) για το πώς το γονίδιο είναι σε θέση να ασκήσει έλεγχο στο αναπτυσσόμενο έμβρυο με τόσο ντετερμινιστικό τρόπο. Το μόνο που είχε σημασία στη χρωμοσωμική θεωρία του γονιδίου ήταν ο τρόπος με τον οποίο μεταβιβάζεται από τη μία γενιά στην επόμενη. Αυτός ο περιορισμός του ερευνητικού προγράμματος όχι μόνο διαίρεσε τη βιολογία σε αντίπαλους τομείς αλλά τροφοδότησε και την ευρύτερη αντίληψη ότι το γονίδιο είναι ο καθοριστικός παράγοντας του χαρακτήρα του ατόμου. Πολλοί γενετιστές της πρώτης γενιάς στήριξαν το πρόγραμμα ευγονικής και την πολιτική του περιορισμού της αναπαραγωγής ατόμων με «ακατάλληλα» γονίδια (βλ. κεφ. 18, «Βιολογία και ιδεολογία»). Αν και σύντομα άρχισαν να διαπιστώνουν ότι όλα αυτά ήταν υπεραπλουστεύσεις, καθυστέρησαν να διατυπώσουν ευθαρσώς την αντίρρησή τους κατά της πολιτικής αυτής, πριν δηλαδή εμφανιστούν οι

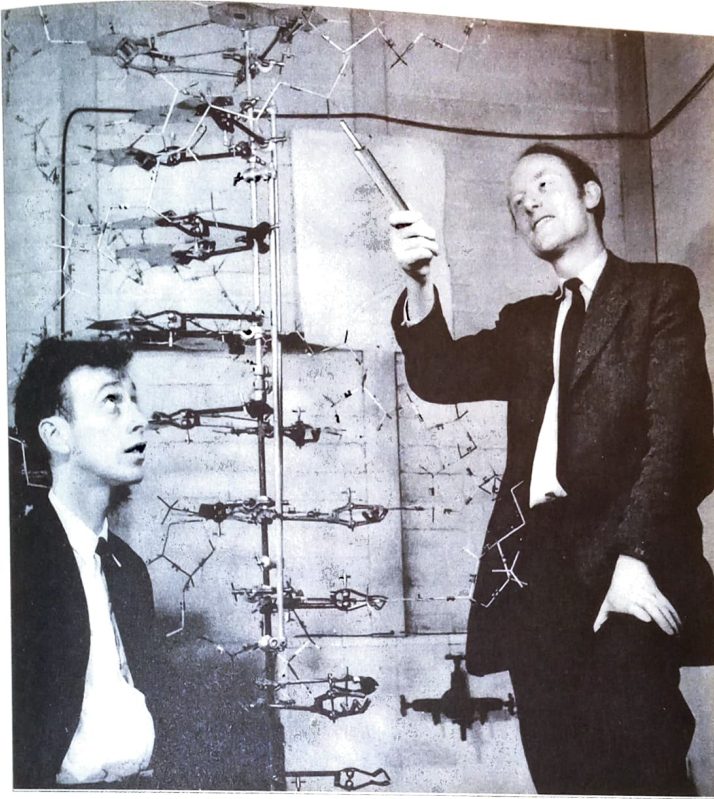
καταχρήσεις των Ναζί στη Γερμανία για να υπογραμμίσουν τις τρομακτικές συνέπειες της άτεγκτης εφαρμογής της. Το πρόβλημα ήταν ότι οι γενετιστές της μεταβιβαστικής θεωρίας εφησυχάστηκαν προσποιούμενοι πως τίποτα ιδιαίτερα ενδιαφέρον δεν συμβαίνει κατά τη διαδικασία αποκωδικοποίησης του γονιδίου στη διάρκεια της εμβρυολογικής ανάπτυξης. Έτσι καθλώθηκαν σε μια ιδεολογία που αμέλησε να εξετάσει την πιθανότητα επίδρασης περιβαλλοντικών παραγόντων στον τρόπο με τον οποίο εκφράζεται το γονίδιο, άρα και στον χαρακτήρα του ενήλικου οργανισμού. Σε κάποιο βαθμό εξακολουθούμε να επηρεαζόμαστε από τις εννοιολογικές παρωπίδες που θέτει η προσέγγιση αυτή στον τρόπο με τον οποίο εξετάζουμε τη σχέση μεταξύ γονιδίων και οργανισμών.

### Η ΜΟΡΙΑΚΗ ΒΙΟΛΟΓΙΑ

Η αδυναμία της κλασικής γενετικής έγινε εμφανής από το γεγονός ότι πολλά από τα βασικά βήματα που ακολούθησε προκειμένου να μελετήσει τη φύση του γενετικού κώδικα είχαν την αφετηρία τους σε έρευνες που διεξάγονταν εκτός του δικού της πεδίου δράσης. Η κλασική γενετική δεν είπε τίποτα για τη φύση του γενετικού κώδικα – απλώς θεώρησε ότι με κάποιο τρόπο ένα τμήμα του χρωμοσώματος περιέχει ένα χημικό παράγοντα ικανό να προκαθορίζει την εμβρυολογική ανάπτυξη με συγκεκριμένο τρόπο. Η διερεύνηση της φύσης του κώδικα θα απαιτούσε νέες ιδέες και νέες τεχνικές και, συνεπώς, μια επανάσταση στα ίδια τα θεμέλια της γενετικής. Χρειάζονταν πληροφορίες για να οριστεί επακριβώς πώς μια χημική ουσία μπορεί να διπλασιαστεί με τόση ακρίβεια ώστε να μεταβιβάζονται πανομοιότυπα αντίγραφα από το ένα κύτταρο στο άλλο. Αλλά το σημαντικότερο είναι ότι θα απαιτούνταν η δημιουργία μιας ολόκληρης νέας ερευνητικής περιοχής, που θα συνέδεε τις βιοχημικές διεργασίες που συντελούνται στα γονίδια με τα πρώτα στάδια της εμβρυολογικής ανάπτυξης. Πώς ήταν δυνατόν ο χημικός κώδικας όχι μόνο να αντιγράφει τον εαυτό του αλλά και, κάτω από διαφορετικές περιστάσεις, να πυροδοτεί μια αλυσίδα σύνθετων χημικών μετασχηματισμών που επηρεάζουν τους τρόπους με τους οποίους σχηματίζονται τα κύτταρα του εμβρύου; Αυτά ήταν τα ερωτήματα που έθετε η νέα επιστήμη της μοριακής βιολογίας, η οποία εμφανίστηκε στα μέσα του 20ού αιώνα (Echols 2001· Judson 1979· Olby 1974). Οι ιστορικοί εξακολουθούν να διαφωνούν ως προς το εάν η εμφάνιση αυτού του νέου κλάδου συνιστά επιστημονική επανάσταση με την κοινωνική έννοια ή εάν θα ήταν καλύτερο να θεωρηθεί εφαρμογή ενός νέου επιπέδου κατανόησης των παραδοσιακών προβλημάτων που ορίζονται από τη γενετική – κατανόησης που πηγάζει από κλάδους τόσο διαφορετικούς όσο η βιοχημεία και η φυσική.

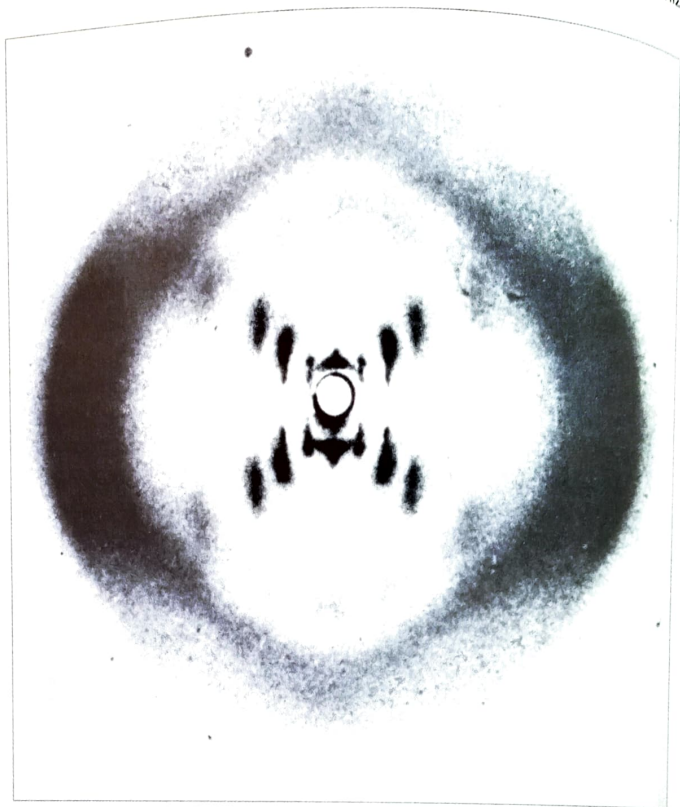
Τη δεκαετία του 1930 ανακαλύφθηκε ότι η δομή των ιών (που κατ' ουσίαν είναι γυμνά γονίδια) αποτελείται κατά 90% από πρωτεΐνη και κατά 10% από νουκλεϊκό οξύ. Δεν πρέπει να μας εκπλήσσει το γεγονός πως στην αρχή θεώρησαν ότι το γενετικό μήνυμα το μεταφέρει η πρωτεΐνη και μόνο τη δεκαετία του 1940 άρχισε να στρέφεται η προσοχή στο νουκλεϊκό οξύ. Εκείνη την εποχή ήταν γνωστό ότι υπάρχουν δύο τύποι νουκλεϊκού οξέος, το ριβονουκλεϊκό οξύ (RNA) και το δεσοξυριβονουκλεϊκό οξύ (DNA), και στη συνέχεια έρευνες πάνω στους ιούς επιβεβαίωσαν ότι το DNA είναι ο γενετικός αγγελιαφόρος. Τότε το ερώτημα τέθηκε ως εξής: πώς γίνεται η δομή του μορίου DNA να αντιγράφει τον εαυτό της και να μεταφέρει ταυτόχρονα κωδικοποιημένες πληροφορίες που θα πυροδοτήσουν την ανάπτυξη του οργανισμού; Ο Έρβιν Τσάργκαφ [Erwin Chargaff] ανακά-





**ΕΙΚΟΝΑ 8.4** Ο Τζέιμς Ουότσον και ο Φράνσις Κρικ παρουσιάζουν το μοντέλο διπλής έλικας της δομής του DNA στο Εργαστήριο Κάβεντις (Κέιμπριτζ, 1952).

λυσε ότι στις τέσσερις βάσεις της δομής, οι αναλογίες της αδενίνης και της θυμίνης είναι ίδιες, όπως και εκείνες της γουανίνης και της κυτοσίνης. Με περίθλαση ακτίνων-X στο μόριο, ο Μόρις Ουίλκινς [Maurice Wilkins] και η Ρόζαλιντ Φράνκλιν [Rosalind Franklin] έδειξαν ότι η διάταξη είναι ελικοειδής και αυτό ήταν που επέτρεψε στους Τζέιμς Ουότσον και Φράνσις Κρικ να προχωρήσουν στην πρωτοπόρα ανακοίνωσή τους το 1953, σύμφωνα με την οποία το μόριο είναι μια διπλή έλικα και οι πληροφορίες μεταφέρονται μέσω της διάταξης των βάσεων που απαρτίζουν τους κλώνους της έλικας (εικ. 8.4-8.6 για μια πολύ προσωπική εξιστόρηση της ανακάλυψης, βλ. Watson 1968). Εάν η αδενίνη σχηματίζει δεσμό μόνο με τη θυμίνη και η γουανίνη μόνο με την κυτοσίνη, τότε, όταν ξεδιπλώνεται η έλικα, κάθε κλώνος μπορεί να αναδημιουργήσει τον άλλον, επειδή οι βάσεις ταιριάζουν μεταξύ τους μόνο με προκαθορισμένο τρόπο. Έτσι, ο γενετικός κώδικας μπορεί να αντιγράφεται επ' άπειρον. Οι περισσότερες αρχικές έρευνες για την εύρεση όλων αυτών των διεργασιών έγιναν στους απλούστερους δυνατούς οργανισμούς, στους



**ΕΙΚΟΝΑ 8.5** Μορφή B-DNA (φωτογραφία του Ray Gosling, με την ευγενική παραχώρηση της Συλλογής James D. Watson, Αρχεία Εργαστηρίου Cold Spring Harbor, Κολντ Σπρινγκ Χάρμπορ, Νέα Υόρκη). Φωτογραφία του DNA που ελήφθη με φασματοσκοπία ακτίνων X. Η ουσία ακτινοβολείται με ακτίνες X, οι οποίες σκεδάζονται με διαφορετικούς τρόπους από τα μόρια διαφορετικών δομών. Το χαρακτηριστικό σταυροειδές μοτίβο αποτελεί ένδειξη της σπειροειδούς δομής του μορίου. Παρόμοιες φωτογραφίες που τράβηξε η Ρόζαλιντ Φράνκλιν επέτρεψαν στους Ουότσον και Κρικ να συλλάβουν τη δομή του DNA.

ιούς που προσβάλλουν βακτήρια (βακτηριοφάγους), που στην πραγματικότητα είναι γυμνά γονίδια. Επικεφαλής αυτών των πρώτων μελετών τέθηκε η «ομάδα των φάγων», που ίδρυσαν οι Μαξ Ντελμπρύκ [Max Delbrück], Σαλβαντόρ Λούρια [Salvador Luria] και Άλφρεντ Χέρσυ [Alfred Hershey].

Η σημαντική ανακάλυψη που οδήγησε στην κατανόηση του γενετικού κώδικα εξακολουθούσε να μην είναι σε θέση να εξηγήσει πώς αποκωδικοποιούνται οι πληροφορίες που μεταφέρονται από την αλληλουχία των βάσεων για το σχηματισμό της ανάπτυξης των κυττάρων και επομένως του εμβρύου. Οι Τζωρτζ Μπιντλ [George Beadle] και Εντουαρντ Τέιτουμ [Edward Tatum] προχώρησαν στην υπόθεση του «ενός γονιδίου — μιας πρωτε-

**ΕΙΚΟΝΑ 8.6**

Η σπειροειδής δομή του μορίου DNA όπως απεικονίζεται στο κλασικό άρθρο των Ουότσον και Κρικ «Molecular Structure of Nucleic Acids» [Μοριακή δομή των νουκλεϊκών οξέων], *Nature*, 25 Απριλίου 1953, σελ. 737. Οι δύο σπειροειδείς κορδέλες αναπαριστούν αλυσίδες φωσφορικού άλατος και σακχάρου, ενώ οι οριζόντιες ράβδοι είναι τα ζεύγη βάσεων που συγκρατούν το μόριο.

ίνης», σύμφωνα με την οποία κάθε τμήμα DNA ελέγχει με κάποιο τρόπο την παραγωγή μίας μόνο πρωτεΐνης. Ο Γκεόργκι Γκάμοφ [Georgiy Gamow], από τη σκοπιά της θεωρίας πληροφοριών με την οποία είχε ασχοληθεί, υποστήριξε ότι ο συνδυασμός των βάσεων ανά τριάδες (τριπλέτες) σχηματίζει τα αμινοξέα από τα οποία συντίθενται οι πρωτεΐνες. Ο Φράνσις Κρικ προχώρησε στην υπόθεση ότι το RNA είναι ο ενδιάμεσος που χρησιμοποιεί τις πληροφορίες που υπάρχουν στις τριπλέτες του DNA για τη δημιουργία των αμινοξέων. Τελικά, αποδείχτηκε ότι υπάρχουν δύο είδη RNA: οι Φρανσουά Ζακόμπ [François Jacob] και Ζακ Μονό [Jacques Monod] υποστήριξαν ότι η διαλυτή μορφή λειτουργεί ως «αγγελιαφόρος» (μεταφορικό RNA) για να μεταφέρει τις πληροφορίες στο αδιάλυτο (ριβοσωμικό) RNA, στο οποίο συγκεντρώνονται τα αμινοξέα. Στη συνέχεια έδειξαν ότι το μοντέλο του «ενός γονιδίου — μίας πρωτεΐνης» είναι ανεπαρκές, επειδή η λειτουργία ορισμένων γονιδίων συνίσταται αποκλειστικά στη ρύθμιση άλλων με την ενεργοποίηση και την αδρανοποίηση της δραστηριότητάς τους.

Οι ανακαλύψεις αυτές βοήθησαν σε μεγάλο βαθμό στην καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας του γενετικού κώδικα. Θεμελίωσαν δε το «κεντρικό δόγμα» της μοριακής βιολογίας, που κατ' ουσίαν συνιστά επιβεβαίωση του προσχηματισμού και του ισχυρισμού του Βάισμαν ότι το γενετικό υλικό δεν επηρεάζεται από τις μεταβολές του αναπτυσσόμενου οργανισμού. Το DNA φτιάχνει RNA και το RNA φτιάχνει πρωτεΐνες και οι μεταβολές που συντελούνται κατά την πρωτεϊνική δημιουργία των κυττάρων δεν υπάρχει περίπτωση να μεταφερθούν ξανά πίσω στον κώδικα που καθορίζει τη διάταξη των ζευγών βάσεων στο DNA. Υπ' αυτήν την έννοια, η εμφάνιση της μοριακής βιολογίας περισσότερο εκλέπτυνε παρά έφερε επαναστατικές αλλαγές στις έννοιες της παραδοσιακής γενετικής. Ωστόσο, υπό μία άλλη έννοια, έχουν αλλάξει τα πάντα. Η μοριακή βιολογία είναι κατ' ουσίαν ένα αναγωγιστικό ερευνητικό πρόγραμμα — προσπαθεί να εξηγήσει τα φαινόμενα της ζωής (κληρονομικότητα και ανάπτυξη) βάσει της συμπεριφοράς των χημικών μορίων. Ορισμένοι από τους πιο επιτυχημένους βιολόγους υποστηρίζουν σήμερα ότι το μέλλον επιτάσσει την αναγωγή των πάντων στους νόμους της φυσικής. Εκείνοι που προσπαθούν να κατανοήσουν τον τρόπο με τον οποίο λειτουργούν οι έμβιοι οργανισμοί στο φυσικό

κόσμο, οι οικολόγοι και οι εξελικτιστές, είναι απογοητευμένοι με την τάση των μοριακών βιολόγων να απορρίπτουν το έργο τους υποστηρίζοντας ότι εκείνο που κάνουν είναι φυσική ιστορία, που σήμερα είναι ξεπερασμένη. Η πλάστιγγα δεν έχει γείρει ακόμη για να δείξει εάν τελικά η μοριακή προσέγγιση θα συνεχίσει να κυριαρχεί στη βιολογία κατά τον 21ο αιώνα.

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο αναγωγισμός της μοριακής βιολογίας αντιπροσωπεύει την πιο επιθετική φάση μιας παράδοσης που υπάρχει από τότε που ο Ντεκάρτ πρώτος δήλωσε ότι τα ζώα είναι απλώς σύνθετες μηχανές. Μπορούμε να καταλάβουμε τους περιορισμούς αυτής της προσέγγισης εάν εστιάσουμε την προσοχή μας στη σπουδαιότητα των επιπέδων ανάλυσης που δεν θα είχε νόημα να εκφράσουμε με μοριακούς όρους. Η προσπάθεια περιγραφής του αποκικισμού μιας περιοχής από ένα νεοαφιχθέν μεταναστευτικό είδος με μοριακούς όρους δεν έχει κανένα νόημα και χάνει από το οπτικό της πεδίο τα πραγματικά προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπίσουν οι οικολόγοι και οι εξελικτιστές. Υπάρχει, όμως, μια ακόμη πιο σοβαρή επίπτωση, η οποία προκύπτει από την εξουσία που μας έχει δώσει η νέα γενετική. Το σημερινό έργο συνολικής χαρτογράφησης του γονιδιώματος του ανθρώπινου είδους (και ενός όλο και μεγαλύτερου πλήθους άλλων ειδών) δείχνει πως σήμερα μπορούμε να ελπίζουμε ότι θα προσδιορίσουμε όσο το δυνατόν πιο ολοκληρωμένα ολόκληρη την αλληλουχία πληροφοριών στο γονίδιο. Αυτό το έργο, σε συνδυασμό με το κεντρικό δόγμα του γενετικού ντετερμινισμού, τροφοδοτεί τις προσδοκίες του κόσμου, που θεωρεί ότι σύντομα θα αποδειχτεί πως κάθε χαρακτήρας κάθε οργανισμού (και του ανθρώπου) προκαθορίζεται αυστηρά από ένα και μόνο γονίδιο. Ο γενετικός ντετερμινισμός της εποχής της κλασικής γενετικής και του κινήματος της ευγονικής απέκτησε νέα πνοή με το ενδιαφέρον του κόσμου για τις ιατρικές συνεπαγωγές της μοριακής βιολογίας. Για να είμαστε δίκαιοι απέναντι στους επιστήμονες, πρέπει να πούμε ότι από την αρχή του έργου όλοι είχαν συνείδηση της βαρύτητας αυτού που έκαναν (Kevles και Hood 1992).

Οι ενδεχόμενοι κίνδυνοι επιβάλλουν να αναγνωρίσουμε ότι έχουμε να διανύσουμε ακόμη πολύ δρόμο για να καταλάβουμε πώς πραγματικά λειτουργεί το γονίδιο κάθε οργανισμού — εκτός από λίγες ξεκάθαρες περιπτώσεις, όπου υπάρχει απώλεια μιας ζωτικής λειτουργίας, όταν ένα γονίδιο βλάπτεται από μετάλλαξη. Αν και γνωρίζουμε τις αρχές αποκωδικοποίησης των πληροφοριών στο γονίδιο, στην πράξη απομένουν ακόμη πολλά προτού μπορέσουμε να ανιχνεύσουμε με ποιο τρόπο αναπτύσσονται σύνθετα όργανα και λειτουργίες, που μπορεί να επηρεάζονται από πολλά γονίδια. Η έρευνα έχει γίνει τόσο σύνθετη ώστε είναι πλέον δύσκολο να οριστεί η ιδέα του «γονιδίου» συνολικά. Υπάρχουν πολλές και διαφορετικές λειτουργίες: ορισμένα μόρια DNA φαίνεται να έχουν πάνω από μία λειτουργία, ενώ υπάρχουν άλλα που δεν έχουν κανένα σκοπό (άχρηστο γενετικό υλικό — junk DNA). Διάφοροι τομείς της μοριακής βιολογίας χρησιμοποιούν διαφορετικούς ορισμούς για το τι συνιστά γονίδιο — κι όμως, για το ευρύ κοινό το γονίδιο αντιπροσωπεύει ένα πολύ συγκεκριμένο κομμάτι του βιολογικού εξοπλισμού.

Ακόμη σοβαρότερο είναι ότι υπάρχουν πολλά που πρέπει να βρούμε και αφορούν την αλληλεπίδραση των γενετικών πληροφοριών με το περιβάλλον εντός του οποίου αναπτύσσεται ο οργανισμός. Όσοι ασκούν κριτική στην ιδεολογία του γενετικού ντε-

τερμινισμού επισημαίνουν πως δεν υπάρχει επαρκής αιτιολόγηση του ισχυρισμού ότι κάθε γονίδιο έχει μια αδιαμφισβήτητη λειτουργία, που θα εκφραστεί αυτόματα σε κάθε περιβάλλον. Σε πολλές περιπτώσεις, ο τρόπος με τον οποίο εκφράζεται η γενετική πληροφορία εξαρτάται από τις καταστάσεις που προσφέρει το περιβάλλον. Η αναπτυξιακή διαδικασία του εμβρύου είναι εξαιρετικά ευέλικτη και συχνά αποκρίνεται με εμπρόθετο τρόπο όταν η κατάσταση διαταράσσεται από εξωγενείς παράγοντες. Όσο περισσότερο συνειδητοποιούμε αυτούς τους παράγοντες τόσο πιο δύσκολα μπορούμε να εμπιστευτούμε την απλοϊκή υπόθεση που θεωρεί ότι κάθε χαρακτήρας έχει γενετική θεμελίωση. Ο οργανισμός είναι ένα σύνθετο σύνολο, η δομή του οποίου διαμορφώνεται από την αλληλεπίδραση γονιδίων και περιβάλλοντος, και σε αυτή την κατάσταση είναι λάθος να ισχυριζόμαστε ότι κάθε χαρακτήρας είναι προκαθορισμένος. Στην παλιά διαμάχη μεταξύ προσχηματισμού και επιγένεσης δεν θα έπρεπε να επιτρέπουμε στην προφανή επιτυχία του γενετικού ντετερμινισμού να αποκρύψει το γεγονός ότι η επιγένεση εξακολουθεί να έχει ζωτικό ρόλο. Η ιστορία δείχνει ότι υπήρξαν πολλές φάσεις στις οποίες ο προσχηματισμός έμοιαζε να παίρνει το πάνω χέρι, αλλά αυτό πάντοτε γινόταν μέσα από μια υπεραπλούστευση. Για να είμαστε δίκαιοι, η υπεραπλούστευση είναι κάποιες φορές απαραίτητη για να ξεκινήσει κανείς να ερμηνεύει ένα σύνθετο φαινόμενο, και η τάση εξειδίκευσης της νεότερης επιστήμης συχνά ενθαρρύνει τέτοιου είδους πρωτοβουλίες. Όμως το εκκρεμές συχνά πρέπει να κινηθεί και προς την άλλη πλευρά, όταν η αρχική έκρηξη της στενά εστιασμένης έρευνας ξεμεινεί από καύσιμα. Αυτό μπορεί κάλλιστα να συμβεί ξανά, όταν το σημερινό επίκεντρο, ο γενετικός προσχηματισμός, αρχίσει να βαλτώνει κατά την ιδιαίτερα σύνθετη προσπάθεια κατανόησης της επιγένεσης.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Allen, Garland E. 1975. *Life Science in the Twentieth Century*. Νέα Υόρκη: Wiley.
- . 1978. *Thomas Hunt Morgan: The Man and His Science*. Πρίνστον: Princeton University Press.
- Bateson, William. 1894. *Materials for the Study of Variation, Treated with Especial Regard to Discontinuity in the Origin of Species*. Λονδίνο: Macmillan.
- . 1902. *Mendel's Principles of Heredity: A Defence*. Κέμπριτζ: Cambridge University Press.
- Bowler, Peter J. 1989. *The Mendelian Revolution: The Emergence of Hereditarian Concepts in Modern Science and Society*. Λονδίνο: Athlone· Βαλτιμόρη: Johns Hopkins University Press.
- Burian, R. M., J. Gayon και D. Zallen. 1988. «The Singular Fate of Genetics in the History of French Biology». *Journal of the History of Biology* 21:357-402.
- Callendar, L. A. 1988. «Gregor Mendel—an Opponent of Descent with Modification». *History of Science* 26:41-75.
- Carlson, Elof A. 1966. *The Gene: A Critical History*. Φιλαδέλφεια: Saunders.
- Dunn, L. C. 1965. *A Short History of Genetics*. Νέα Υόρκη: McGraw Hill.
- Echols, Harrison. 2001. *Operators and Promoters: The Story of Molecular Biology and Its Creators*. Μπέρκλεϊ: University of California Press.
- Gayon, Jean, 1998. *Darwinism's Struggle for Survival: Heredity and the Hypothesis of Natural Selection*. Κέμπριτζ: Cambridge University Press.
- Gould, Stephen Jay. 1977. *Ontogeny and Phylogeny*. Κέμπριτζ Μασσ.: Harvard University Press.
- Harwood, Jonathan. 1993. *Styles of Scientific Thought: The German Genetics Community, 1900-1933*. Σικάγο: University of Chicago Press.

- Henig, Robin Marantz. 2000. *A Monk and Two Peas: The Story of Gregor Mendel and the Discovery of Genetics*. Λονδίνο: Weidenfeld & Nicolson.
- Illis, Hugo. 1932. *Life of Mendel*. Reprint, Νέα Υόρκη: Hafner, 1966.
- Judson, H. F. 1979. *The Eighth Day of Creation: Makers of the Revolution in Biology*. Λονδίνο: Jonathan Cape.
- Keller, Evelyn Fox. 2000. *The Century of the Gene*. Κέμπριτζ Μασσ.: Harvard University Press (50 χρόνια αιώνιας του γονιδίου, μτφ. Γεωργία Αθανασοπούλου, Αθήνα: Τραυλός, 2004).
- Kevles, Daniel J. και Leroy Hood (επιμ.). 1992. *The Code of Codes: Scientific and Social Issues in the Human Genome Project*. Κέμπριτζ Μασσ.: Harvard University Press.
- Kohler, Robert E. 1994. *Lords of the Fly: "Drosophila" Genetics and the Experimental Life*. Σικάγο: University of Chicago Press.
- Morgan, T. H., A. H. Sturtevant, H. J. Muller και C. B. Bridges. 1915. *The Mechanism of Mendelian Inheritance*. Νέα Υόρκη: Henry Holt.
- Olby, Robert C. 1974. *The Path to the Double Helix*. Λονδίνο: Macmillan.
- . 1979. «Mendel No Mendelian?» *History of Science* 17:53-72.
- . 1985. *The Origins of Mendelism*. Αναθ. έκδ. Σικάγο: University of Chicago Press.
- Orel, Vitezslav. 1995. *Gregor Mendel: The First Geneticist*. Οξφόρδη: Oxford University Press.
- Pinto-Correia, Clara. 1997. *The Ovary of Eve: Egg and Sperm and Preformation*. Σικάγο: University of Chicago Press.
- Provine, William B. 1971. *The Origins of Theoretical Population Genetics*. Σικάγο: University of Chicago Press.
- Roberts, H. F. 1929. *Plant Hybridization before Mendel*. Πρίνστον: Princeton University Press.
- Roe, Shirley A. 1981. *Matter, Life, and Generation: Eighteenth-Century Embryology and the Haller-Wolff Debate*. Κέμπριτζ: Cambridge University Press.
- Roger, Jacques. 1998. *The Life Sciences in Eighteenth-Century French Thought*. Επιμ. Κ. R. Benson. Μτφ. Robert Ellrich. Στάνφορντ: Stanford University Press.
- Sapp, Jan. 1987. *Beyond the Gene: Cytoplasmic Inheritance and the Struggle for Authority in Genetics*. Νέα Υόρκη: Oxford University Press.
- Stern, Kurt και E. R. Sherwood. 1966. *The Origins of Genetics: A Mendel Sourcebook*. Σαν Φρανσίσκο: W. H. Freeman.
- Sturtevant, A. H. 1965. *A History of Genetics*. Νέα Υόρκη: Harper & Row.
- Watson, J. D. 1968. *The Double Helix*. Νέα Υόρκη: Athenaeum [Η διπλή έλικα, μτφ. γόνη Μιχαηλίδου-Γεωργιάτσου, επιμ. Ι. Γ. Γεωργιάτσος, Αθήνα: Τροχαλία, 1990].