1

Ζούμε! Γιατί;

Το ερώτημα «Γιατί ζούμε;» έχει απαντηθεί εμμέσως από τον Καρτέσιο, πριν από περίπου 400 χρόνια, μέσα από την περίφημη ρήση του «Je pense, donc je suis» (Σκέφτομαι, άρα υπάρχω), αλλά και με άμεσο τρόπο από τους Monty Python, το 1983, μέσα από την ταινία τους «The meaning of life» (Το νόημα της ζωής). Γι' αυτό, πρόθεσή μου δεν είναι να μπω σε ξένα –φιλοσοφικά– χωράφια και να προσπαθήσω να παραθέσω τις δικές μου σκέψεις και ανησυχίες πάνω στο νόημα της ζωής. Αντιθέτως, το ερώτημα που θέτω ξεκινώντας τη συγγραφή αυτού του βιβλίου τίθεται στο πλαίσιο μιας προσπάθειας απλοποίησης του περιεχομένου ενός επιστημονικού κλάδου, ούτως ώστε αυτό να γίνει πιο κατανοητό σε όσους δεν ασχολήθηκαν μαζί του παρά μόνο όταν (και αν) προετοιμάζονταν για τις Πανελλήνιες ή Πανελλαδικές Εξετάσεις.[1] Έτσι, τόσο το ερώτημα όσο και η προσπάθεια απάντησής του εμπίπτουν ξεκάθαρα στον χώρο των θετικών επιστημών.

1.1 *Ζώα, φυτά και άλλα πολλά*

Προκειμένου να δώσω μια όσο γίνεται πιο αποδεκτή απάντηση, ας μου επιτραπεί να επιχειρήσω το ακατόρθωτο: να δώσω δηλαδή έναν ορισμό τού τι σημαίνει ζωή ή, αν θέλετε, τι σημαίνει ζωντανός οργανισμός. Για να αποφύγω τις πολλές συζητήσεις, παρα-

1 Ελπίζω να μην αλλάξει και πάλι η ονομασία των εξετάσεων μέχρι να εκδοθεί το βιβλίο, ώστε να μην χρειαστεί αμέσως μια νέα, ενημερωμένη έκδοσή του…

θέτω εδώ έναν κατά τη γνώμη μου καθ' όλα αποδεκτό ορισμό, τον οποίο αντλώ από το ελεγχόμενο λεξιλόγιο (*controlled vocabulary*) *Medical Subject Headings* (*MESH*). Το *MESH* χρησιμοποιείται διεθνώς ως βιβλιοθηκονομικό εργαλείο πάνω σε θέματα ιατρικής και θα το χρησιμοποιήσω μερικές φορές –αν και όχι αποκλειστικώς– στα επόμενα κεφάλαια. Εκεί, ως *ζωή* (*life*) ορίζεται «Η κατάσταση που διακρίνει τους [ζώντες][2] οργανισμούς από την ανόργανη ύλη, και που εκδηλώνεται μέσω της ανάπτυξης/αύξησης, του μεταβολισμού, της αναπαραγωγής και της προσαρμογής. Περιλαμβάνει την πορεία της ύπαρξης, το άθροισμα των εμπειριών, τον τρόπο του υπάρχειν ή το γεγονός τού Είναι» (*The state that distinguishes [living] organisms from inorganic matter, manifested by growth, metabolism, reproduction, and adaptation. It includes the course of existence, the sum of experiences, the mode of existing, or the fact of being*). Βεβαίως, ο ανωτέρω ορισμός περιέχει όρους οι οποίοι επίσης χρήζουν ορισμού, σε περίπτωση που κάποιος θελήσει να κατανοήσει πλήρως τον όρο «ζωή».

Για παράδειγμα, τι θα μπορούσαμε να πούμε εξετάζοντας ξεχωριστά το καθένα από τα τέσσερα σημαντικά χαρακτηριστικά της ζωής (ανάπτυξη/αύξηση, μεταβολισμός, αναπαραγωγή, προσαρμογή); Ας επικεντρωθούμε στους τέσσερις αυτούς όρους κι ας δούμε αν και πώς θα μπορούσαμε να ξεκαθαρίσουμε τα πράγματα. Κατ' αρχάς, εφ' όσον και τα τέσσερα αυτά φαινόμενα είναι συνιστώντα στοιχεία της ζωής, χρήσιμο θα ήταν να δούμε αν και με ποιον τρόπο συνδέονται μεταξύ τους: Η *ανάπτυξη/αύξηση* δηλώνει ότι ένας οργανισμός κατά κανόνα αυξάνει τη μάζα του στη διάρκεια της ζωής του. Σε έναν πολυκύτταρο οργανισμό, αυτό συνήθως επιτυγχάνεται με την αύξηση του αριθμού και του όγκου των κυττάρων. Είναι σε όλους μας γνωστό βεβαίως ότι ένας άλλος τρόπος αύξησης της μάζας είναι η εναπόθεση λίπους (πιο σωστά: η δημιουργία λιπαρού ιστού) σε διάφορα μέρη ενός οργανισμού

2 Προσέθεσα το επίθετο «ζώντες» προκειμένου να γίνει σαφές ότι ο ορισμός δεν ισχύει για οργανισμούς που πέθαναν – μπορεί να διαφέρουν από την ανόργανη ύλη, όμως τους λείπουν όλα τα υπόλοιπα.

ή η αύξηση της μυϊκής μάζας του (π.χ. με τη χρήση αναβολικών ορμονών ή, βεβαίως, με την άθληση). Ο *μεταβολισμός* είναι το σύνολο των απαραίτητων για τη ζωή διεργασιών (χημικών αντιδράσεων) που επιτελούνται μέσα σε έναν ζωντανό οργανισμό και οδηγούν στον χημικό μετασχηματισμό ουσιών και την παραγωγή ενέργειας. *Αναπαραγωγή* είναι η βιολογική διαδικασία μέσα από την οποία οργανισμοί-απόγονοι παράγονται από οργανισμούς-γονείς. Τέλος, *προσαρμογή* είναι η διαδικασία διά της οποίας ένα απαραίτητο για τη ζωή λειτουργικό χαρακτηριστικό ενός οργανισμού διατηρείται διαχρονικά στους απογόνους, έχοντας εξελιχθεί με τη βοήθεια της φυσικής επιλογής. Ένα σημαντικό στοιχείο που συνδέει τις παραπάνω διεργασίες είναι ότι και οι τέσσερις υπόκεινται σε ορισμένους μηχανισμούς ελέγχου ή, αν θέλετε, ακολουθούν ορισμένους κανόνες. Τούτοι, μάλιστα, πρέπει αναγκαστικώς να κληροδοτούνται και στους απογόνους ενός οργανισμού, έτσι ώστε να μπορούν και αυτοί να χαρακτηριστούν ζώντες οργανισμοί. Αυτή η τελευταία φράση μάς οδηγεί κατ' ευθείαν στη γενετική. Το *MESH* ορίζει τη γενετική ως τον «κλάδο της επιστήμης που μελετά τα μέσα και τις συνέπειες της μετάδοσης και της παραγωγής των συνιστωσών της βιολογικής κληρονομιάς» (*The branch of science concerned with the means and consequences of transmission and generation of the components of biological inheritance*).

Η γενετική ως επιστήμη ασχολείται με τους κανόνες που διέπουν τους μηχανισμούς ελέγχου όσον αφορά την κληροδότησή τους τόσο από γονέα σε απόγονο όσο και από ένα κύτταρο εντός ενός οργανισμού σε θυγατρικά κύτταρα μέσα στον ίδιο οργανισμό (π.χ. κατά την ανάπτυξή του).[3] Με άλλα λόγια, μπορούμε να πούμε πως ασχολείται με τη σχέση γονέων και απογόνων: αφ' ενός μεταξύ δύο διαφορετικών οργανισμών και αφ' ετέρου μεταξύ κυττάρων μέσα στον ίδιο οργανισμό.

3 Ορισμένοι λογίζουν ως αντικείμενο της γενετικής και τη μετάδοση πληροφοριών σε οριζόντιο επίπεδο. Δεν έχω κανένα πρόβλημα με αυτό, αρκεί να οριοθετηθούν τόσο οι πληροφορίες όσο και οι αποδέκτες τους.

Πινακας 1.1

Βασική ταξινομική κατάταξη των ζώντων οργανισμών

Ζώντες (και μη) οργανισμοί
1. Ιοί (*Viridae*)
1.1 Ιοί ευκαρυωτών
1.2 Βακτηριοφάγοι
2. Προκαρυωτικοί οργανισμοί – προκάρυα (*Prokaryota*)
2.1 Αρχαία (*Archaea*)
2.2 Βακτήρια (*Bacteria*)
3. Ευκαρυωτικοί οργανισμοί – ευκάρυα (*Eukaryota*)
3.1 Φυτά (*Plantae*)
3.2 Ζώα (*Animalia*)
3.3 Φύκη (*Algae*)
3.4 Μύκητες (*Fungi*)
3.5 Πρώτιστα (*Protista*)

Έχοντας ήδη ορίσει τι σημαίνει ζωή, ας δούμε τώρα ποιοι είναι οι ζώντες οργανισμοί. Στον Πίνακα 1.1 ακολουθούμε μέσες-άκρες το ταξινομικό σύστημα του Thomas Cavalier-Smith (1998), με τις εξής όμως διαφοροποιήσεις: αφ' ενός χωρίζουμε το βασίλειο των βακτηρίων (εδώ: προκάρυα) στα δύο και αφ' ετέρου προσθέτουμε τους ιούς. Φροντίσαμε, βεβαίως, ώστε το ταξινομικό μέρος του βιβλίου να είναι όσο το δυνατόν πιο ευσύνοπτο. Με τόσες διαφορετικές απόψεις να διατυπώνονται από τους ειδικούς και με εκατομμύρια είδη ζώντων οργανισμών πάνω στον πλανήτη μας (έξι έως δέκα εκατομμύρια υπολογίζονται μόνο τα είδη[4] των εντόμων που ζουν σήμερα), καλό θα ήταν να μην επεκταθούμε πάνω σ' αυτό. Ας περάσουμε όμως στην περιγραφή τους, προχωρώντας από τους μικρότερους προς τους μεγαλύτερους οργανισμούς.

Πολλοί δεν θεωρούν τους ιούς ζώντες οργανισμούς. Και τούτο όχι λόγω του πολύ μικρού μεγέθους τους (περίπου ένα εκατοστό

4 *Είδος* είναι μια ταξινομική μονάδα που περιλαμβάνει πληθυσμούς όμοιων μεταξύ τους ατόμων, τα οποία έχουν τη δυνατότητα να αναπαραχθούν διασταυρούμενα μεταξύ τους.

ενός βακτηρίου, δηλαδή έως 0,3 μικρόμετρα), κάτι που τους καθιστά κατά κανόνα αόρατους ακόμα και με τη βοήθεια ενός πολύ καλού οπτικού μικροσκοπίου, αλλά για τον απλούστατο λόγο πως ο μοναδικός τρόπος για να υπάρξουν είναι να εισέλθουν μέσα σε ένα ζωντανό κύτταρο και να χρησιμοποιήσουν ενεργώς πολλούς δικούς του λειτουργικούς μηχανισμούς.[5] Με εξαίρεση την αδυναμία δράσης των αντιβιοτικών επάνω τους (βλ. Κεφάλαια 4 και 5), το αν οι ιοί θεωρούνται ή όχι ζώντες οργανισμοί είναι ένα εντελώς δευτερεύον ζήτημα, περισσότερο σημασιολογικό θα λέγαμε παρά επιστημολογικό. Επί πλέον, το γενετικό υλικό τους (σε άλλους αποτελείται από DNA και σε άλλους από RNA[6]) είναι περιορισμένο σε «μήκος» (σωστότερα: έχει περιορισμένη πολυπλοκότητα) και εμπεριέχει, σχεδόν αποκλειστικώς, λίγες μόνο από τις πληροφορίες που χρειάζονται για τον διπλασιασμό τους (δηλαδή την αναπαραγωγή τους), καθώς και για την κωδικοποίηση των πρωτεϊνών που αποτελούν το περίβλημα των ιών. Για ό,τι άλλο χρειαστούν οι ιοί προκειμένου να πολλαπλασιαστούν ή να σκοτώσουν το κύτταρο ξενιστή, επιστρατεύουν τους μηχανισμούς αυτού του τελευταίου.

Υπάρχουν τουλάχιστον τρεις θεωρίες πάνω στην εξέλιξη των ιών: 1) ότι προήλθαν από μικρά κύτταρα που είχαν κάποτε παρασιτήσει μεγαλύτερα κύτταρα· 2) ότι αποτελούν τμήματα DNA και RNA που «απέδρασαν» από κύτταρα και «αυτονομήθηκαν»· και 3) ότι ίσως αποτελούν οντότητες που εξελίχθηκαν πριν από

5 Αν ένα κύτταρο μολυνθεί από κάποιον ιό, υπάρχουν τρία εναλλακτικά σενάρια για το μέλλον του: 1) αφού πολλαπλασιαστεί ο ιός σε πολλά αντίγραφα, το κύτταρο πεθαίνει· 2) το κύτταρο καταφέρνει να «σκοτώσει» τον ιό και να τον αποβάλει· και 3) ο ιός ενσωματώνεται στο γονιδίωμα του κυττάρου και παραμένει εκεί, είτε εν υπνώσει για πάντα είτε ενεργοποιούμενος κάποια στιγμή και ακολουθώντας –συνήθως– το πρώτο από τα τρία σενάρια. Στο τρίτο σενάριο, ο ενσωματωμένος ιός ονομάζεται προϊός (*provirus*) ή, κατ' αναλογίαν (βλ. ενότητα 5.2), προφάγος (*prophage*).

6 Πολλοί μη βιολόγοι πιστεύουν λανθασμένα πως το γενετικό υλικό αποτελείται πάντοτε από DNA. Ωστόσο, το RNA μπορεί επίσης να αποτελεί το υλικό του γονιδιώματος πολλών ιών. Γνωρίζουμε μάλιστα πως το RNA προηγήθηκε εξελικτικώς του DNA. Αξίζει να προσθέσουμε εδώ ότι υπάρχουν και κάποιες «άλλες» ταξινομικές οντότητες, π.χ. τα ιοειδή (*viroids*), που αποτελούνται μόνο από RNA (δηλαδή καμία πρωτεΐνη) και μολύνουν αποκλειστικώς φυτά.

τα οργανωμένα προ- ή ευκαρυωτικά κύτταρα. Με δεδομένο ότι και οι τρεις αυτές θεωρίες έχουν μεγάλα προβλήματα και δεν είναι σε θέση να εξηγήσουν πλήρως την πιθανή προέλευση των ιών, δεν θα επεκταθούμε περαιτέρω πάνω σε αυτές. Αξίζει πάντως να σημειώσουμε ότι οι ιοί που μολύνουν αποκλειστικώς προκαρυωτικούς οργανισμούς ονομάζονται «βακτηριοφάγοι» ή απλώς «φάγοι» (*bacteriophages*, *phages*). Γι' αυτό, όταν στη βιολογία αναφερόμαστε γενικώς σε ιούς χωρίς να τους προσδιορίζουμε, συνήθως εννοούμε αυτούς των ευκαρυωτικών οργανισμών.

Προχωρώντας προς τα πάνω με γνώμονα το μέγεθος, συναντάμε τα βακτήρια (με μέγεθος που συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 0,5-5 μικρόμετρα). Τα βακτήρια ονομάζονται –«ορθώς» κατά τη γνώμη μας– προκαρυωτικοί οργανισμοί[7] (προκάρυα), επειδή δεν διαθέτουν το οργανίδιο εκείνο εντός του οποίου βρίσκονται τα χρωμοσώματα,[8] δηλαδή τον πυρήνα. Στα προκάρυα, το DNA βρίσκεται «χύμα» μέσα στο κύτταρο. Τα είδη των βακτηρίων διαφέρουν πολύ μεταξύ τους ως προς τη μορφολογία. Αυτό ισχύει τόσο για τα μεμονωμένα βακτηριακά κύτταρα (σφαιρικά όπως οι κόκκοι, ραβδοειδή όπως οι βάκιλοι, σπειροειδή όπως οι σπειροχαίτες, κ.ο.κ.) όσο και για τις αποικίες (*colonies*) που σχηματίζουν σε ένα θρεπτικό υλικό (π.χ. διαφέρουν ως προς το χρώμα, την οσμή, τον χρόνο αύξησης κ.λπ.). Θα πρέπει να τονιστεί ότι οι διαφορές αυτές εξαρτώνται τόσο από το γενετικό υλικό των διαφόρων ειδών όσο και από το περιβάλλον (π.χ. από το θρεπτικό υλικό).

---

7 Επειδή ο όρος «προκαρυωτικός» περιλαμβάνει και τα «αρχαία» (βλ. αμέσως παρακάτω), καλό είναι να αποφεύγεται η χρήση του για ταξινομικούς σκοπούς, όταν αναφερόμαστε σε κάτι που ισχύει για τα μεν (π.χ. για τα βακτήρια) αλλά όχι και για τα δε (αρχαία). Δυστυχώς, αυτή η λανθασμένη πρακτική εξακολουθεί να είναι αρκετά διαδεδομένη και γι' αυτό εφιστούμε την προσοχή!

8 Μπορεί τα χρωμοσώματα να μην είναι οργανίδια, είναι όμως σύνθετες δομές που αποτελούνται από DNA και διάφορες πρωτεΐνες. Σε αυτές περιλαμβάνονται τόσο οι δομικές πρωτεΐνες, που συμβάλλουν στο σωστό «πακετάρισμα» του DNA (βλ. ενότητα 2.2), όσο και οι λειτουργικές πρωτεΐνες, που παίζουν ενεργό ρόλο σε κυτταρικές διαδικασίες όπως τα ένζυμα, στα οποία θα αναφερθούμε εκτενέστερα παρακάτω.

Τέλος, υπάρχουν και είδη βακτηρίων (π.χ. οι ρικέτσιες [*rickettsiae*] και τα χλαμύδια [*chlamydia*]) που υποχρεωτικώς είναι ενδοκυττάρια, κάτι που σημαίνει ότι δεν μπορούν να πολλαπλασιαστούν παρά μόνο αν έχουν εισέλθει στο εσωτερικό των κυττάρων ενός ξενιστή. Δεν πρέπει όμως, λόγω αυτής της ιδιότητάς τους, να τα συγχέουμε με τους ιούς: σε αντίθεση με αυτούς, οι ρικέτσιες και τα χλαμύδια διαθέτουν περισσότερα από ένα πρωτεϊνικά καλύμματα του γονιδιακού τους υλικού (κυτταρικό τοίχωμα, κυτταρικές μεμβράνες) και είναι πραγματικά σύνθετοι οργανισμοί.

Λόγω της έλλειψης πυρήνα, παλαιότερα στα βακτήρια συγκαταλέγονταν και οι οργανισμοί που σήμερα είναι γνωστοί ως «αρχαία» (*archaea*) και οι οποίοι θεωρείται πλέον ότι αποτελούν ξεχωριστό βασίλειο, όπως τα βακτήρια και τα ευκάρυα (*eukaryota*). Αν και ορισμένες λειτουργίες τους θυμίζουν βακτήρια (π.χ. ασεξουαλικός πολλαπλασιασμός), εν τούτοις σήμερα γνωρίζουμε ότι, από εξελικτική σκοπιά, πολλά γονίδιά τους και μεταβολικά μονοπάτια τους είναι εγγύτερα στους ευκαρυωτικούς οργανισμούς. Σε αντίθεση με τα βακτήρια, δεν έχουν βρεθεί (ακόμα;) αρχαία που να είναι παθογόνα για τα ζώα, συμπεριλαμβανομένου του ανθρώπου. Μάλιστα, πολλά αρχαία συμβιώνουν με τα ζώα (συμβίωση [*symbiosis, commensalism*]), ενίοτε δε σε σχέση αμοιβαιότητας (*mutualism*). Οι ακραίες συνθήκες στις οποίες ζουν πολλά είδη αρχαίων (π.χ. υψηλές θερμοκρασίες, συγκέντρωση αλάτων κ.λπ.) έχουν ωθήσει τους βιοτεχνολόγους σε μια απόπειρα χρησιμοποίησης αυτών ή των προϊόντων τους σε διάφορες εφαρμογές.

Οι ευκαρυωτικοί οργανισμοί ξεχωρίζουν από τους προκαρυωτικούς ως προς δύο σημαντικά χαρακτηριστικά: α) την παρουσία μέσα σε όλα τους τα κύτταρα[9] ενός ξεχωριστού οργανιδίου (*organelle*) που ονομάζεται πυρήνας (*nucleus*)· και β) το γεγονός

9 Η έκφραση «σε όλα τους τα κύτταρα» είναι, βεβαίως, σχετική. Οι πρώιμες μορφές των ερυθροκυττάρων, όπως και τα ερυθροκύτταρα πολλών οργανισμών (π.χ. της πάπιας), έχουν πυρήνα, ενώ τα ώριμα ερυθροκύτταρα πολλών άλλων οργανισμών (π.χ. του ανθρώπου) τον έχουν απολέσει. Έτσι, τα ερυθροκύτταρα αυτά δεν έχουν απογόνους! Θα μπορούσαμε εδώ να αναφερθούμε και στην περίπτωση των πολυπύρηνων κυττάρων, όμως καλό θα ήταν να μην επεκταθούμε αναφερόμενοι σε εξαιρέσεις.

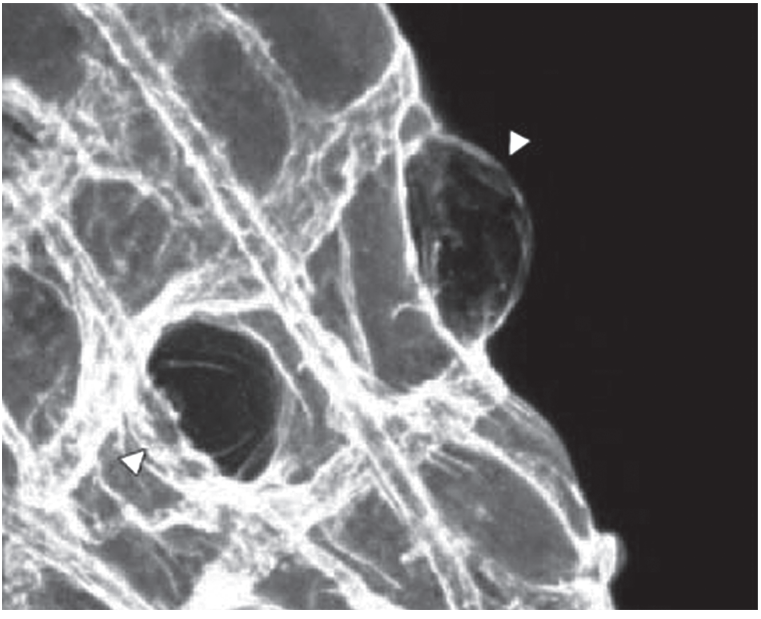
ότι τόσο ο πυρήνας όσο και όλα τα υπόλοιπα οργανίδια περικλείονται από –και είναι προσδεδεμένα σε– μεμβράνες (*membranes*). Η ύπαρξη πυρήνα έχει ως αποτέλεσμα αρκετές διαδικασίες μεταξύ προκάρυων και ευκάρυων να διαφέρουν.

Στο πλαίσιο των ευκαρυωτικών οργανισμών, τα κύτταρα των φυτών διαφέρουν από τα ζωικά ως προς το ότι διαθέτουν τους χλωροπλάστες (*chloroplasts*), που περιέχουν τη χλωροφύλλη (*chlorophyl*), και τα ένζυμα, που απαιτούνται για τη φωτοσύνθεση. Διαφέρουν επίσης και κατά το ότι, πλέον της κυτταρικής μεμβράνης, τα φυτικά κύτταρα διαθέτουν και το κυτταρικό τοίχωμα, που περιέχει κυτταρίνη (*cellulose*). Στο βασίλειο των φυτών είχαν παλαιότερα συγκαταλεχθεί επίσης οι μύκητες (*fungi*) και τα φύκη (*algae*). Σήμερα όμως, σύμφωνα με τους περισσότερους βιολόγους, αυτά αποτελούν ξεχωριστά βασίλεια, παρ' ότι έχουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά με τα φυτά (π.χ. οι χλωροπλάστες στα φύκη).

Υπάρχουν όμως και άλλοι ευκαρυωτικοί οργανισμοί που δεν ανήκουν σε κάποιο από τα προαναφερθέντα τέσσερα βασίλεια. Όλους αυτούς τους εντάσσουμε στα πρώτιστα (*protista*). Και για να μην νιώθουν παραπονεμένοι, καθ' ότι οι παρίες των ευκαρυωτών, προσθέσαμε κάποιες θετικές (τρόπος του λέγειν) ιδιότητες στον ορισμό τους: είναι μονοκύτταροι και δεν σχηματίζουν ιστούς! Αρκετά από τα χαρακτηριστικά των οργανισμών αυτών διαφέρουν ιδιαιτέρως μεταξύ τους. Πολλοί απ' αυτούς είναι παρασιτικοί, όπως για παράδειγμα τα παράσιτα (*parasites*), που προκαλούν την ελονοσία (βλ. Εικόνα 1.1), τις τρυπανοσωμιάσεις, τη λεϊσμανίαση και άλλες ασθένειες, τόσο στον άνθρωπο και τα άλλα ζώα όσο και στα φυτά.

Όπως ήδη αναφέραμε, τα διαφορετικά οργανίδια των ευκάρυων είναι όλα συνδεδεμένα με μεμβράνες.[10] Περίπου τριάντα οργανίδια έχουν περιγραφεί, μερικά από τα οποία βρίσκονται σε όλα τα ευκαρυωτικά κύτταρα (π.χ. ριβοσώματα [*ribosomes*], μιτοχόνδρια [*mitochondria*]), ενώ άλλα τα συναντούμε μόνο σε ορισμένες

10 Τα προκάρυα διαθέτουν και αυτά καμιά δεκαριά διαφορετικά οργανίδια, τα οποία όμως, με κάποιες εξαιρέσεις, δεν περικλείονται από μεμβράνες.



ΕΙΚΟΝΑ 1.1 Η εικόνα δείχνει την επιφάνεια του μεσεντέρου ενός κουνουπιού (αριστερά), στο τοίχωμα του οποίου διακρίνονται (άσπρα βελάκια) δύο ωοκύστεις του πλασμωδίου, δηλαδή του παρασίτου που προκαλεί την ελονοσία. Το μεσέντερο έχει χρωσθεί με αντίσωμα κατά της λαμινίνης, μιας εξωκυτταρικής πρωτεΐνης του κουνουπιού, η οποία –μαζί με άλλες– καλύπτει την πλευρά του μεσεντέρου που βλέπει το αιμόκοιλο. Ας φανταστούμε το εσωτερικό του εντερικού σωλήνα «κάτω» από το τοίχωμά του στα αριστερά. Οι ωοκύστεις είναι το τελευταίο στάδιο πολλαπλασιασμού του παρασίτου μέσα στο κουνούπι. Στην εικόνα αυτή δεν φαίνονται οι ωοκύστεις αυτές καθ' εαυτές (δεν έχουν χρωσθεί με το αντίσωμα που χρησιμοποιήθηκε), αλλά ο «σφαιρικός» χώρος στον οποίο βρίσκονται, καλυμμένος από τη λαμινίνη. Οι ωοκύστεις θα σπάσουν περίπου 10-15 μέρες μετά τη λήψη του μολυσμένου αίματος από το κουνούπι (ο χρόνος εξαρτάται από το είδος του πλασμωδίου και τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος), και τα «ώριμα» πλασμώδια (σποροζωίτες) θα κολυμπήσουν και θα φθάσουν στον σιελογόνο αδένα του κουνουπιού, απ' όπου με ένα επόμενο τσίμπημα θα μολύνουν κάποιον ατυχή συνάνθρωπό μας. Η εικόνα δείχνει τη στενή σχέση μεταξύ ενός ζώου και ενός πρωτίστου: χωρίς το πέρασμα από το κουνούπι δεν θα υπάρξουν νέα παράσιτα – μάλιστα, παρά τη μικρή ζημιά που προκαλείται στο μεσέντερο, το κουνούπι δεν παθαίνει τίποτα. Είναι εξ ίσου «κανονικό», είτε έχει είτε δεν έχει μολυνθεί από πλασμώδιο. Να σημειωθεί πως το πλέγμα που διακρίνεται οφείλεται σε μυς που περικλείουν το έντερο. (φωτο.: Β. Μαχαιράκης)

κατηγορίες (π.χ. το ακρόσωμα [*acrosome*], που βρίσκεται μόνο στα σπερματοζωάρια).

Σε αντίθεση με τα προκάρυα (δηλαδή τα βακτήρια και τα αρχαία), που κάποια στιγμή απλώς διαχωρίζονται σε δύο θυγατρικά κύτταρα, ο πολλαπλασιασμός των ευκάρυων γίνεται συχνά –όχι όμως αποκλειστικώς (αναλόγως με το είδος)– μέσω της αμφιγονικής αναπαραγωγής (δηλαδή, ο μπαμπάς και η μαμά κάνουν παιδάκια). Στη διαδικασία αυτή οι γαμέτες (*gametes*), δηλαδή τα κύτταρα ενός οργανισμού που έχουν εξελικτικώς εξειδικευτεί στην αναπαραγωγή, έχουν υποστεί τη λεγόμενη μείωση (*meiosis*), που όπως λέει και το όνομά της έχει ως αποστολή τη μείωση στο μισό του αριθμού των χρωμοσωμάτων.[11] Όπως προαναφέραμε, στα προκάρυα η αναπαραγωγή γίνεται με μία απλή διαίρεση, που «χωρίζει στα δύο» ένα κύτταρο. Η εν λόγω διαδικασία είναι ανάλογη –αν και όχι εξ ίσου πολύπλοκη– με εκείνη της μίτωσης (*mitosis*), δηλαδή της μη μειωτικής διαίρεσης στα σωματικά κύτταρα των ευκάρυων. Περισσότερες λεπτομέρειες θα δούμε στην ενότητα 2.3.

Τέλος, ένα χαρακτηριστικό πολλών ζωικών και φυτικών ειδών (και λιγότερο συχνά των μυκήτων και των φυκών) είναι η ανάπτυξή τους υπό μορφή σύνθετων οργανισμών με πλειάδα διαφοροποιημένων κυττάρων που οργανώνονται σε διαφορετικούς ιστούς[12] (*tissues*).

1.2 *Τριάντα χιλιάδες χρόνια γενετικής*

Όλα σχεδόν τα βιβλία με θέμα την επιστήμη της γενετικής αναφέρουν ως θεμελιωτή της τον Gregor Johann Mendel (1822-1884), ηγούμενο της αυγουστινιανής μονής του Αγίου Θωμά στο Μπρνο της σημερινής Τσεχίας. Αν και κανείς δεν αμφιβάλλει ως προς αυτό, τουλάχιστον όσον αφορά την επιστημονική προσέγγιση της γενε-

11 Όταν με τη γονιμοποίηση συνενωθούν οι γαμέτες, τα δύο «μισά» θα οδηγήσουν σε ένα «ολόκληρο».

12 *Ιστός* είναι μια ανατομική δομή που αποτελείται από πολλά κύτταρα ενός τύπου (σπανιότερα) ή λίγων διαφορετικών τύπων (συχνότερα), τα οποία βρίσκονται μέσα σε μια εξωκυτταρική μήτρα που αποτελείται από πρωτεΐνες.

τικής, εν τούτοις οι πρώτες εφαρμογές της επιστήμης αυτής είναι κατά πολύ αρχαιότερες. Όπως θα δούμε αμέσως παρακάτω, πριν περίπου 25.000-30.000 χρόνια, δηλαδή πολύ νωρίτερα από την ανακάλυψη της γεωργίας, ο άνθρωπος είχε ήδη εξημερώσει τον λύκο. Μεταγενέστερα, ο άνθρωπος άρχισε να ασχολείται με την εξημέρωση και τη βελτίωση[13] των οικόσιτων ζώων και των εδώδιμων φυτών. Βεβαίως, οι απαραίτητες διασταυρώσεις για την παραγωγή απογόνων με επιθυμητά χαρακτηριστικά βασίζονταν τότε αποκλειστικώς και μόνον στην εμπειρική γνώση. Κι όμως, αν αναλογιστούμε τι παρήγαγαν οι πρόγονοί μας, μένουμε έκθαμβοι με το γεγονός ότι μέχρι τα μέσα του 20ού αιώνα δεν γνωρίζαμε καν τη βάση πάνω στην οποία λειτουργούσε η κληρονομικότητα.

Στα πειράματά του με τα μπιζέλια ο Μέντελ έθεσε τις πρώτες επιστημονικές βάσεις στηριζόμενος σε πειραματικά δεδομένα. Λίγες δεκαετίες αργότερα (πρώτο μισό του 20ού αιώνα), ο Thomas Hunt Morgan και οι συνεργάτες του άρχισαν να διατυπώνουν –σε μοντέρνο, πλέον, επιστημονικό επίπεδο– τους κανόνες της κληρονομικότητας. Τι το ξεχωριστό έκανε ο Μέντελ, το οποίο δεν είχε επιχειρήσει κανείς άλλος πριν από αυτόν; Άρχισε, απλούστατα, να μετράει αυτά που έβλεπε. Επί πλέον, απέφυγε την αυτογονιμοποίηση των φυτών, ενώ γενικότερα σχεδίασε πολύ προσεκτικά τα πειράματά του. Όταν, για παράδειγμα, διασταύρωνε φυτά που παρήγαν κίτρινους σπόρους (μπιζέλια) με φυτά που παρήγαν πράσινους, μετρούσε τον αριθμό των απογόνων, ειδικότερα δε τον αριθμό και το ποσοστό εκείνων που ήταν πράσινοι ή κίτρινοι, ενώ κατέγραφε οποιοδήποτε άλλο χαρακτηριστικό είχαν τα φυτά που διασταύρωνε. Ας πάρουμε όμως τα πράγματα με χρονολογική σειρά.

Χιλιετίες νωρίτερα, όταν κανείς ακόμα δεν ήταν σε θέση να κατονομάσει αυτά που έκανε, πολύ δε περισσότερο δεν ήξερε πού θα κατέληγαν όλα αυτά, ξεκίνησε να χρησιμοποιείται η εφαρμοσμένη

13 Ο όρος «βελτίωση» χρησιμοποιείται εδώ προκειμένου να αποδοθεί ο αγγλικός όρος *breeding* (*to cause [an animal or plant] to produce offspring, typically in a controlled and organized way*: να γίνει η αιτία ώστε [ένα ζώο ή ένα φυτό] να παράγει απογόνους, τυπικώς με ελεγχόμενο και οργανωμένο τρόπο).

γενετική. Οι λιγοστοί άνθρωποι που υπήρχαν τότε στη Γη ζούσαν οργανωμένοι σε μικρές ομάδες και τρέφονταν κυρίως από το κυνήγι,[14] ενίοτε δε με κάποιο φρούτο ή χορταρικό, όποτε η άγρια φύση τούς το προσέφερε. Το κυνήγι, λοιπόν, ήταν αυτό που έδωσε το έναυσμα για την «εφεύρεση» της γενετικής. Μάλιστα, ταυτοχρόνως με τη γενετική γεννήθηκε και η πιο ανθεκτική στον χρόνο φιλία, αυτή του ανθρώπου με τον σκύλο.

Πριν από 25.000-30.000 χρόνια, πιθανότατα στην ανατολική Ασία,[15] μία έγκυος λύκαινα (*Canis lupus*) απομονώθηκε από την αγέλη της και προσκολλήθηκε σε μία ομάδα ανθρώπων. Την είχαν διώξει, άραγε, οι υπόλοιποι λύκοι λόγω τυχόν παράξενης συμπεριφοράς της, ή μήπως ξέμεινε μακριά από την αγέλη εξ αιτίας τραυματισμού; Αυτό δεν θα το μάθουμε ποτέ. Εμμέσως ωστόσο γνωρίζουμε –χωρίς και πάλι να είμαστε σίγουροι για τα αίτια, τα οποία ενδέχεται να κατανοήσουμε καλύτερα τα επόμενα χρόνια[16]– ότι το ζώο αυτό όχι μόνο επέδειξε λιγότερο επιθετική συμπεριφορά σε σύγκριση με τους άλλους λύκους, αλλά επί πλέον, με κάποιον τρόπο, βοήθησε τη νέα του παρέα (τους ανθρώπους) στο κυνήγι. Μας είναι άγνωστο αν αυτό το έκανε «δείχνοντας» (*point* > *pointer*: πόιντερ, *braquer* > *braque*: μπρακ) το σημείο όπου θα

14 Χορτοφάγοι (*vegetarian*) και αποκλειστικώς χορτοφάγοι (*vegan*) άνθρωποι πρωτοεμφανίσθηκαν τον 7ο π.Χ. αιώνα στην Ινδία, στηρίζοντας την επιλογή τους πάνω σε φιλοσοφική-θρησκευτική βάση. Στην Ελλάδα εμφανίζονται τον 6ο π.Χ. αιώνα (ορφικοί, πυθαγόρειοι), αργότερα δε και στη Ρωμαϊκή Αυτοκρατορία. Είναι ενδιαφέρον ότι, προτού καταλήξει να γίνει παμφάγος (*omnivore*), με τη σημερινή έννοια του όρου, ο άνθρωπος πέρασε μια μακρά περίοδο έντονης κρεατοφαγίας, περίπου στις αρχές της εμφάνισης του είδους.

15 Λόγω της επιμειξίας με λύκους, είναι αδύνατον να πει κανείς αν η εξημέρωση του σκύλου ξεκίνησε στην ανατολική (το πιο πιθανό) ή τη δυτική Ασία. Υπάρχουν και κάποιοι που «δείχνουν» προς την Αφρική, όμως οι περισσότεροι αμφισβητούν τη θεωρία αυτή.

16 Η μοντέρνα γονιδιωματική (*genomics*) έχει ήδη αρχίσει να μελετά το γονιδίωμα (*genome*) του σκύλου και να αναλύει τα γονίδιά του. Μεταξύ άλλων, εκείνα που προσδιορίζουν συμπεριφορές και πολλά εξ όσων είναι υπεύθυνα, με άμεσο ή έμμεσο τρόπο, για διάφορες ασθένειες (βλ. ενότητες 7.2 και 10.2). Μάλιστα, πολύ πρόσφατα ταυτοποιήθηκαν και γονίδια που συν-ευθύνονται για τη μη επιθετική συμπεριφορά των σκύλων. Αξίζει να σημειώσουμε ότι παρόμοια γονίδια βρίσκονται και στον άνθρωπο!

μπορούσαν να βρουν κατάλληλο ή εύκολο θήραμα, ή αν η λύκαινα βούτηξε σε κάποια λίμνη για να φέρει πίσω στον κυνηγό (*retrieve* > *retriever*: ριτρίβερ) το πουλί που εκείνος είχε σκοτώσει χρησιμοποιώντας τόξο και βέλος ή σφεντόνα. Είναι σίγουρο πάντως ότι ο πρώτος «αφέντης» του πρώτου κατοπινού σκύλου εκτίμησε τη βοήθεια που του παρασχέθηκε και κράτησε κοντά του τόσο τη λύκαινα όσο και τα κουτάβια της. Τα πράγματα στη συνέχεια εξελίχθηκαν, από επιστημονικής πλευράς, με τρόπο απλούστατο: για πρώτη φορά στην ιστορία του ο άνθρωπος εκμεταλλεύθηκε –πιο σωστά: χρησιμοποίησε– τη γενετική επαναδιασταύρωση.[17]

Είναι γνωστό σε όσους έχουν περισσότερα από ένα σκυλιά ότι τα μεγαλύτερα σε ηλικία «διδάσκουν» στα νεότερα πολλά εξ όσων οφείλει να γνωρίζει ένα σκυλί (και τα οποία, εμείς οι κυνολάτρες, καμιά φορά θα προτιμούσαμε να μην ξέρει!). Επίσης, η διασταύρωση των κουταβιών μεταξύ τους επιτρέπει την επικράτηση στους απογόνους χαρακτηριστικών που είναι επιθυμητά. Στην περίπτωση της δημιουργίας του σκύλου που περιγράφουμε εδώ, επιλέχθηκε αφ' ενός ένας τύπος επιθετικότητας αισθητά μικρότερης έντασης από αυτήν του τυπικού λύκου και αφ' ετέρου η ενεργός βοήθεια προς τον κυνηγό. Πολλές χιλιετίες αργότερα, με την εμφάνιση άλλων επικρατούντων χαρακτηριστικών σε μερικούς από τους απογόνους αυτού του αρχικού λύκου, έγινε δυνατή η επιλογή ανάλογων «νέων» ιδιοτήτων και η επί τούτω δημιουργία νέων φυλών (ράτσες).[18] Κατ' αυτόν τον τρόπο εμφανίστηκαν και τα σκυλιά τεριέ (*terrier*): λόγω της μικρής σωματικής τους διάπλασης και της εξαιρετικής όσφρη-

17 Όταν στη γενετική μιλάμε για επαναδιασταύρωση (*backcross*), εννοούμε τη διασταύρωση των απογόνων κάποιου ζευγαριού μεταξύ τους (ή, κατά περίπτωση, και με τους γονείς). Αν αυτό συνεχιστεί για μερικές γενιές, το αποτέλεσμα των συνεχών επαναδιασταυρώσεων είναι ο εμπλουτισμός στους απογόνους του γενετικού υποβάθρου που προέρχεται από το πρωταρχικό ζευγάρι. Χάρη σ' αυτήν την ομογενοποίηση που επιτυγχάνεται για το συγκεκριμένο γονιδίωμα, επιτυγχάνεται βεβαίως και η ομογενοποίηση ενός ή περισσότερων χαρακτηριστικών που είχαν τα δύο μέρη του αρχικού ζευγαριού.

18 Η *φυλή* (*ράτσα* [*race*]) είναι μια άτυπη ταξινομική μονάδα, κάτω από αυτήν του *υποείδους*, η οποία δεν έχει ακόμη οριστεί επιστημονικώς. Περιλαμβάνει ομάδες ατόμων με ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά, όπως είναι, π.χ., οι ανθρώπινες φυλές ή οι ράτσες των σκυλιών.

Εικονα 1.2
Ύστερα από 30.000 χρόνια, ιδού πώς οι διασταυρώσεις οδήγησαν στον Calaf, ένα ιταλικό μπρακ (*bracco italiano*). Η άγρια ομοιότητά του με τους προγόνους του λύκους είναι… εμφανέστατη. Όσο για το ερώτημα προς τα πού κοιτάζει, τούτο είναι εύκολο να απαντηθεί: προς το πιάτο του.

σής τους ήταν ιδανικά για το κυνήγι μικρών θηραμάτων που ζουν μέσα στη γη (*terra*), όπως π.χ. τα κουνέλια. Παρομοίως, η ιδιαιτέρως στενή σχέση ενός σκύλου με τον αφέντη του και την οικογένειά του στάθηκε η απαρχή για τα σκυλιά-φύλακες. Επίσης, η φυσική τάση του σκύλου να θέλει να γίνει ο αρχηγός της ομάδας οδήγησε στη δημιουργία των τσοπανόσκυλων (π.χ. *border collie*). Τέλος, κατ' ανάλογο τρόπο, από τα σκυλιά που εξ ενστίκτου δείχνουν στον κυνηγό πού κρύβεται ένα πουλί ή κάποιος λαγός προήλθαν τα πόιντερ και τα μπρακ (βλ. Εικόνα 1.2).

Το ότι από τα πρώτα τεριέ προήλθαν επίσης τα *Yorkshire terrier*, τα μικροσκοπικά μακρύτριχα σκυλάκια που συχνότατα οι κυρίες τους τα στολίζουν με φιόγκους στο κεφάλι, δεν έχει βεβαίως να κάνει με τις ανάγκες των κυνηγών ούτε με αυτές των σημερινών ανθρώπων. Θα μπορούσε, φυσικά, οποιοσδήποτε να ισχυριστεί ότι εδώ έχουμε μια «παρακμιακή επιλογή». Πρέπει όμως να συνειδητοποιήσουμε πως η εφαρμοσμένη γενετική είναι σε θέση να «παράγει» όλες εκείνες τις ράτσες που ενδιαφέρουν τη σημερινή κοινωνία ή και παλαιότερες: η αρχική ιδέα για τα *Yorkshire terrier* ήταν ότι τα μικροσκοπικά αυτά κυνηγόσκυλα ήταν ιδανικά στο να ξετρυπώνουν, να πιάνουν και εν τέλει να σκοτώνουν αρουραίους στα εργοστάσια υφασμάτων της Αγγλίας τα χρόνια της εκβιομηχάνισης της χώρας. Συμπέρασμα: ένα πραγματικά παρακμιακό παρόν, για μια ράτσα που έκανε πολύ καλά την αιμοβόρα δουλειά για την οποία αρχικά προοριζόταν…

ΕΙΚΟΝΑ 1.3
Ένα εξημερωμένο αλεπουδάκι στο αλωπεκοτροφείο του Νοβοσιμπίρσκ. Ο παρατηρητικός αναγνώστης θα προσέξει πως η ουρά του δεν είναι φουντωτή. Αυτό σημαίνει ότι οι εξημερωμένες αλεπούδες δεν ενδείκνυνται για την παραγωγή «ρενάρ» για κυρίες. (φωτο.: Wikipedia)

Μπορεί άραγε να επαληθεύσει κανείς οτιδήποτε σχετίζεται με τα σκυλιά προσεγγίζοντάς τα πειραματικά; Αν μη τι άλλο, για πολλούς αυτό φαντάζει δύσκολο, αφού ένα τέτοιο πείραμα απαιτεί δεκαετίες για να ολοκληρωθεί. Κι όμως, κάτι τέτοιο έχει ήδη επιχειρηθεί – ή, πιο σωστά, ξεκίνησε! Στο Νοβοσιμπίρσκ, σ' ένα από τα κέντρα γενετικής έρευνας της Ρωσίας, ο Dmitri Belyayev θέλησε να εξακριβώσει αν θα μπορούσε να εξημερώσει αλεπούδες, έναν –«εξελικτικώς»– αρκετά κοντινό συγγενή των σκύλων (ξεχώρισαν πριν από περίπου 12 εκατομμύρια χρόνια). Όπως και ο πρόγονός μας πριν από χιλιετίες, ο Μπελυάγιεφ γύρω στα 1950 έβαλε μπρος τις επιλεκτικές διασταυρώσεις με απώτερο σκοπό την επιθυμητή συμπεριφορά. Τα επιδιωκόμενα χαρακτηριστικά ήταν η φιλικότητα προς τον άνθρωπο και η μη επιθετικότητα. Ο Μπελυάγιεφ και οι συνεργάτες του (που συνέχισαν την έρευνα μετά τον θάνατό του) χρειάστηκαν πάνω από 50 χρόνια (εκατοντάδες γενεών) προκειμένου να αποκτήσουν ένα σταθερό στέλεχος εξημερωμένων αλεπούδων! Μαζί με τη συμπεριφορά συν-επελέγησαν, χωρίς αυτό να έχει επιδιωχθεί, και ορισμένες διαφοροποιήσεις στο χρώμα της γούνας (βλ. ενότητα 3.3) και στο «σχήμα» των αυτιών, τα οποία ως επί το πλείστον, αντί για

όρθια, ήταν πλέον «πεσμένα».[19] Άραγε, δημιούργησε κατ' αυτόν τον τρόπο ο Μπελυάγιεφ «νέου τύπου» σκυλιά; Η απάντηση είναι όχι: αν και μοιάζουν σε αρκετά χαρακτηριστικά με τα σκυλιά, οι εξημερωμένες αλεπούδες εξακολουθούν να έχουν αρκετές διαφορές στη συμπεριφορά (π.χ. μεγαλύτερη αυτονομία στη σχέση τους με τους ανθρώπους, όπως οι γάτες). Ελπίζουμε ότι το εν εξελίξει πείραμα θα εξακολουθήσει να χρηματοδοτείται, έτσι ώστε τα επόμενα χρόνια οι κατοπινοί συνάδελφοί μας να προοδεύσουν ακόμη περισσότερο πάνω σε θέματα όπως η γενετική της συμπεριφοράς.

1.3 *Μερικές χιλιετίες αργότερα*

Περίπου 10.000 χρόνια μετά την «καθοδηγημένη εξέλιξη» του λύκου σε σκύλο, η γενετική συνεχίζει να εξελίσσεται, με τον άνθρωπο να εφευρίσκει τη γεωργία! Επιλέγει και καλλιεργεί φυτά (ρύζι, φακή, σιτάρι κ.ά.) κι έτσι σταδιακά απαλλάσσεται από την «υποχρέωση» του κυνηγιού. Ταυτοχρόνως εξημερώνει και άλλα οικόσιτα ζώα, όπως ο χοίρος, το πρόβατο και το βόδι, κάτι που ξεκινά περίπου το 13000 π.Χ. Και παρ' ότι η χρήση της γενετικής βελτίωσης φυτών πρωτοεμφανίζεται στην Εγγύς Ανατολή, ωστόσο στην Άπω Ανατολή (ρύζι, σόγια) και τη Νότια Αμερική (ντομάτες, πατάτες)[20] ο άνθρωπος αρχίζει να «εξημερώνει» φυτά και να τα επιλέγει με γενετικά κριτήρια, δίνοντας έμφαση σε χαρακτηριστικά όπως η γεύση ή το θερμιδικό τους περιεχόμενο (χωρίς, μάλιστα, να έχει ακόμη την παραμικρή ιδέα περί τίνος πρόκειται). Το βαμβάκι μάλιστα, ένα από τα πρώτα προϊόντα φυτικής επιλογής που δεν σχετίζεται με την παραγωγή τροφής, «εξημερώνεται» τόσο στη Νότια Αμερική όσο και στην Ασία μέσα από τέσσερις γεωγραφικά ανεξάρτητες μεταξύ τους διαδικασίες!

19 Εκτός από τους ελέφαντες και αρκετές ράτσες αμνοεριφίων και αγελάδων, που και αυτές είναι προϊόντα «βελτίωσης», τα μόνα θηλαστικά στον πλανήτη με «πεσμένα» αυτιά είναι πολλές ράτσες σκυλιών!

20 Είναι ενδιαφέρον το γεγονός ότι, παρά τη γεωγραφική διασπορά των ανθρώπων και την έλλειψη επικοινωνίας μεταξύ τους, η επιλεκτική βελτίωση αρχίζει να λαμβάνει χώρα σχεδόν ταυτοχρόνως σε Νότια Αμερική (από ανθρώπους που είχαν μόλις φτάσει εκεί) και Ασία.

Στην πορεία του χρόνου τα πράγματα γίνονται ολοένα και πιο σύνθετα, χωρίς ακόμα ο άνθρωπος να γνωρίζει ποια είναι η βάση των επιλογών του. Πριν από περίπου 4.000-5.000 χρόνια, κάπου στα εδάφη της σημερινής Κίνας ένας άνθρωπος παρατήρησε πως από το κουκούλι του μεταξοσκώληκα είναι δυνατόν να παραχθούν ίνες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, όπως και το βαμβάκι, για την παραγωγή υφάσματος. Σχεδόν ταυτοχρόνως, ο ίδιος ή κάποιος άλλος Κινέζος παρατηρεί τη διατροφική σχέση ανάμεσα στον μεταξοσκώληκα και τα φύλλα της μουριάς. Κάπως έτσι λοιπόν αρχίζει η επαγγελματική ενασχόληση με τη σηροτροφία και η παραγωγή όλο και καλύτερου (ή πιο εξειδικευμένου) μεταξιού. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι με την εμφάνιση της σηροτροφίας ξεκινά και η απομόνωση μεταλλάξεων (στην πράξη: ποικιλιών) στον μεταξοσκώληκα, που αποσκοπεί στην παραγωγή μεταξιού με διαφορετικές ιδιότητες.

Εδώ και αρκετές χιλιετίες πάντως, έχει σχεδόν σταματήσει η εξημέρωση νέων ειδών, ζώων και φυτών. Αντιθέτως, διεισδύοντας ολοένα και περισσότερο στην καθημερινή ζωή του ανθρώπου, η εφαρμοσμένη γενετική ασχολείται πλέον με τη δημιουργία νέων ποικιλιών και στελεχών με ιδιαιτέρως επιθυμητά χαρακτηριστικά[21] και όχι με την εξημέρωση ειδών (υπάρχουν, βεβαίως, και χαρακτηριστικές εξαιρέσεις, όπως, για παράδειγμα, το σταμναγκάθι!). Πολλοί θα θυμούνται την τηλεοπτική διαφήμιση για μια καινούργια ποικιλία καλαμποκιού, όπου δύο αγρότες συζητούν γι' αυτήν μέσα σ' ένα κουπέ τραίνου ενώ διασχίζουν τον θεσσαλικό κάμπο.

1.4 *Το πρόσφατο παρελθόν και πέρα από αυτό…*

Ας αφήσουμε προς το παρόν κατά μέρος την εφαρμοσμένη γενετική της προϊστορικής εποχής και ας δούμε εν τάχει την πρόσφατη ιστορία της γενετικής ως «καθαρής» επιστήμης. Τα ιστορικά γε-

21 Λάχανο, κουνουπίδι, μπρόκολο, λαχανάκια Βρυξελλών και άλλα πολλά: πρόκειται για γενετικώς ίδια φυτά (ανήκουν στο ίδιο είδος)! Προσοχή, όμως: δεν μιλάμε για φυσική βιοποικιλότητα, αλλά για προϊόντα βελτίωσης, αφού το καθένα έχει επιλεγεί για διαφορετικά χαρακτηριστικά.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2

Εξημερωμένα φυτά και ζώα που σχετίζονται άμεσα με τη γεωργία και /ή τις μεταφορές, με ταυτόχρονη αναφορά στη χρονική περίοδο και τη γεωγραφική περιοχή όπου επιτεύχθηκε η εξημέρωσή τους.

Κοινή ονομασία	*Είδος*	*Χρονική περίοδος*	*Γεωγραφική περιοχή*
α. Φυτά			
δίκοκκο σιτάρι	*Triticum dicoccum*	13000-9500 π.Χ.	Εγγύς Ανατολή
σιτάρι	*Triticum monococcum*	13000-9500 π.Χ.	Εγγύς Ανατολή
κριθάρι	*Hordeum vulgare*	13000-9500 π.Χ.	Εγγύς Ανατολή
μπιζέλι	*Pisum sativum*	13000-9500 π.Χ.	Εγγύς Ανατολή
φακή	*Lens culinaris*	13000-9500 π.Χ.	Εγγύς Ανατολή
βίκος (πικρό κουκί)	*Vicia ervilia*	13000-9500 π.Χ.	Εγγύς Ανατολή
ρεβύθι	*Cicer arietinum*	13000-9500 π.Χ.	Εγγύς Ανατολή
λινόσπορος	*Linum usitatissimum*	13000-9500 π.Χ.	Εγγύς Ανατολή
ρύζι	*Oryza sativa*	11500-6200 π.Χ.	Κίνα
ροβίτσα	*Vigna radiata*	11500-6200 π.Χ.	Κίνα
σόγια	*Glycine max*	11500-6200 π.Χ.	Κίνα
καλαμπόκι	*Zea mays*	10000 π.Χ.	Κεντρική Αμερική
πατάτα	*Solanum tuberosum*	8000 π.Χ.	Βόρειες Άνδεις
ζαχαροκάλαμο	*Saccharum officinarum*	7000 π.Χ.	Νέα Γουινέα
ντομάτα	*Solanum lycopersicum*	1000 π.Χ.	Κεντρική Αμερική

Πινακας 1.2 *(συνέχεια)*

Κοινή ονομασία	*Είδος*	*Χρονική περίοδος*	*Γεωγραφική περιοχή*
β. Ζώα			
σκύλος	*Canis lupus familiaris*	20000-30000 π.Χ.	Ευρασία
χοίρος	*Sus scrofa*	13000 π.Χ.	Ευρασία
πρόβατο	*Ovis aries*	11000 π.Χ.	Μεσοποταμία
βόδι	*Bos taurus*	8500 π.Χ.	Εγγύς Ανατολή
καμήλα	*Camelus dromedarius*	4500 π.Χ.	Αραβία
άλογο	*Equus ferus caballus*	4000 π.Χ.	Κεντρική Ασία
γαϊδούρι	*Equus africanus asinus*	4000 π.Χ.	Αίγυπτος
μεταξοσκώληκας	*Bombyx mandarina*	3000 π.Χ.	Κίνα
λάμα	*Lama glama*	2500 π.Χ.	Άνδεις

γονότα είναι ελάχιστα και μπορούν να περιγραφούν μέσα σε λίγες αράδες. Ακόμη και ο Αριστοτέλης, ο οποίος για όλες τις πτυχές του βίου είχε να πει κάτι σοφό, εν προκειμένω έκανε λάθος και δεν άφησε την παραμικρή παρακαταθήκη πάνω στην κατανόηση της κληρονομικότητας. Κανείς από τους παλαιότερους ή τους νεότερους σοφούς του κόσμου (π.χ. Ιπποκράτης, Δαρβίνος κ.ά.) δεν διατύπωσε κάποια θεωρία που να ευσταθεί. Λίγο-πολύ, όλοι ισχυρίζονται λανθασμένα ότι η παγγένεση ή παγγενεσία (*pangenesis*) εξηγεί τα πάντα.[22] Κι όμως, υπήρξαν ορισμένοι επιστήμονες που

22 Με δυο λόγια, μέσα στους οργανισμούς είναι συγκεντρωμένες όλες οι απαραίτητες πληροφορίες για τη δημιουργία ενός νέου οργανισμού, και χρειάζεται

έδειχναν προς τη σωστή κατεύθυνση, αλλά κανείς τους δεν μπόρεσε να υπερισχύσει των συναδέλφων του. Σημαντικότερος ανάμεσά τους, και πιθανότατα ο πιο προβεβλημένος, ήταν ο Lazzaro Spallanzani (βλ. Εικόνα 1.4), ο οποίος κατασκευάζοντας μικροσκοπικά προφυλακτικά για βατράχους απέδειξε πως το σπέρμα και τα ωάρια περιέχουν όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για τη δημιουργία νέων βατραχιών μέσα από τη «συνεύρεση» ενός βατράχου και μιας βατραχίνας![23] Θα πρέπει ωστόσο να τονιστεί πως τα πειράματά του, που πραγματοποιήθηκαν μεταξύ 1760 και 1780, δεν στάθηκαν ικανά να δώσουν στον κόσμο να καταλάβει το αυτονόητο. Παράξενο πώς, ύστερα από εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια καθημερινού σεξ, ο άνθρωπος δυσκολεύτηκε να δεχθεί μια θεωρία που αποδεικνυόταν πειραματικά, και μάλιστα με τον πλέον… ευχάριστο τρόπο. Χρειάστηκε να περάσουν ακόμα 100 χρόνια, έως ότου γίνουν τα πειράματα του Louis Pasteur, τα οποία αφ' ενός αποδείκνυαν ότι ο Σπαλλαντζάνι είχε δίκιο και αφ' ετέρου αποδομούσαν τις θεωρίες του Αριστοτέλη και του Κάρολου Δαρβίνου![24] Αυτό που απέμενε ήταν να εντοπιστούν, μέσα στο σπέρμα και τα ωάρια, τα σχέδια που καθοδηγούν την ανάπτυξη μιας νέας ζωής.

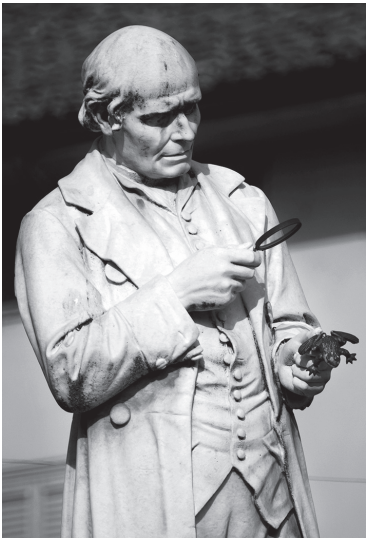
Προτού όμως αναφερθούμε σε αυτό, ας πούμε δυο λόγια για τον Γκρέγκορ Μέντελ, ο οποίος πρότεινε τον μηχανισμό κληρονόμησης αυτών των πληροφοριών (μεντελική κληρονόμηση). Οι γνώσεις που αποκόμισε μέσα από τα πειράματά του συμπυκνώνονται σε αυτό που διεθνώς ονομάζεται «Νόμοι του Μέντελ» (1ος και 2ος νόμος), οι οποίοι, λόγω των εξαιρέσεων που εμπεριέχουν,

---

μόνο η σωστή συνάθροιση (!) τούτων των πληροφοριών για την επίτευξή του.

23 Για να είμαστε ακριβείς, ο Σπαλλαντζάνι (ιερέας, βιολόγος, φυσιολόγος και καθηγητής στο Πανεπιστήμιο της Παβίας) υποστήριξε ότι τα γυναικεία ωάρια γονιμοποιούνται από το σπερματικό υγρό: θεωρούσε ότι τα σπερματοζωάρια ως κύτταρα ήταν αρκετά απλά και μικρά για να συμμετέχουν ενεργά στη δημιουργία ενός νέου οργανισμού. Ωστόσο, όχι μόνο είχε αντιληφθεί ότι απαιτούνταν υλικό από τον πατέρα και τη μητέρα για τη δημιουργία των παιδιών, αλλά είχε «δείξει» και τα σωστά υλικά.

24 Φυσικά και δεν αναφέρομαι στην εξέλιξη και την αποκαλούμενη από πολλούς σήμερα «δαρβινική θεωρία» (ή «εξελικτική θεωρία», όπως είναι το πιο σωστό!), αλλά στην παγγενεσία, που επίσης υποστηρίχθηκε από τον Δαρβίνο.



Εικονα 1.4
Ανδριάντας του Lazzaro Spallanzani στη γενέτειρά του το Σκαντιάνο. Στο δεξί του χέρι κρατά έναν μεγεθυντικό φακό με τη βοήθεια του οποίου εξετάζει ένα βατραχάκι.
(φωτο.: Massimo Barbieri)

θυμίζουν… ελληνικούς νόμους.[25] Ο Μέντελ εκάρη μοναχός σε ηλικία 21 ετών και σπούδασε με έξοδα του Τάγματός του φυσικές επιστήμες στο Πανεπιστήμιο του Όλομουτς στη Μοραβία. Δίδαξε στο Γυμνάσιο του Μπρνο, πόλη της σημερινής Τσεχίας που τότε ανήκε στην Αυστροουγγαρία, όπου βρισκόταν και το μοναστήρι στο οποίο υπαγόταν.

Στον Μέντελ άρεσε να ασχολείται με την πρακτική βοτανική. Εξετάζοντας χιλιάδες μπιζέλια, έμεινε γνωστός στην παγκόσμια ιστορία του πολιτισμού για την επισταμένη έρευνα και μελέτη

25 Το 1985 ζητήθηκε από τους ερευνητές του Ινστιτούτου Μοριακής Βιολογίας και Βιοτεχνολογίας να συμμετάσχουν σε μια διημερίδα στο Κολυμπάρι Χανίων, όπου θα παρείχαν φροντιστηριακή διδασκαλία στους καθηγητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης της Κρήτης πάνω στην ύλη της βιολογίας. Δυστυχώς, οι περισσότεροι εξ αυτών δεν ήταν βιολόγοι (οι πιο πολλοί ήταν φυσικο-χημικοί και ελάχιστοι ήταν φυσιογνώστες), με λογικό επακόλουθο να χρειάζονται μερική καθοδήγηση. Δεδομένου ότι σε μένα έλαχε η γενετική, έκπληκτος διαπίστωσα ότι στο βιβλίο της Βιολογίας, βάσει του οποίου εξετάζονταν τα παιδιά στις Πανελλήνιες Εξετάσεις, οι Νόμοι του Mendel που αναφέρονταν ήταν 4 και όχι 2, όπως παντού αλλού στον κόσμο! Ιδού, λοιπόν, μια βιολογικού τύπου εκδοχή της ελληνικής πολυνομίας…

του πάνω στην κληρονομικότητα των χαρακτηριστικών. Αν και τα αποτελέσματα των παρατηρήσεών του είχαν ήδη δημοσιευθεί από τότε, εν τούτοις δεν έτυχαν της απαραίτητης προσοχής από την επιστημονική κοινότητα της εποχής του. Τα τελευταία είκοσι χρόνια της ζωής του έπαψε να έχει ως κύρια ενασχόλησή του την επιστήμη και αφοσιώθηκε στη διοίκηση του μοναστηριού του, στο οποίο εν τω μεταξύ είχε γίνει ηγούμενος. Περίπου δεκαπέντε χρόνια μετά τον θάνατό του, το 1900, οι βοτανολόγοι της εποχής θα καταπιαστούν εκ νέου με το έργο του και θα αναγνωρίσουν επιτέλους τη σημασία του.

Θα επανέλθουμε στους Νόμους του Μέντελ σε άλλο σημείο του βιβλίου παρακάτω. Ας αναφερθούμε όμως εδώ σε μια αντιπαράθεση που δεν έχει ακόμα βρει την οριστική της λύση. Όλοι ξέρουμε πως αν παίξουμε «κορώνα-ή-γράμματα» χρησιμοποιώντας ένα νόμισμα, η πιθανότητα να «έρθει πάνω» μία από τις δύο πλευρές του είναι 50:50. Στην πραγματικότητα όμως, στις εκατό προσπάθειες το αποτέλεσμα ενδέχεται και να είναι 47:53, στις χίλιες 482:518, στις δέκα χιλιάδες 4.975:5.025, κ.ο.κ. Με άλλα λόγια, τα αναμενόμενα «ιδανικά» νούμερα πιθανόν και να μην έρθουν. Ουδείς όμως ασχολείται με τέτοιες λεπτομέρειες – μόνο τα μικρά παιδιά ενδέχεται να έχουν κάποιο πρόβλημα κατανόησης. Κι όμως, απ' ό,τι φαίνεται, στα πειράματα του Μέντελ όλα τα αποτελέσματα που θα έπρεπε στατιστικώς να είναι τυχαία κάθε άλλο παρά τυχαία ήταν.[26]

Μία μόνο εξήγηση υπάρχει γι' αυτό: ο Μέντελ να είχε αντιληφθεί τι έπρεπε να δείχνουν τα αποτελέσματα των διασταυρώσεων, και γι' αυτό να τα «μαγείρεψε» κατάλληλα ώστε να βγουν «βολικά». Με άλλα λόγια, ίσως εδώ βρισκόμαστε μπροστά σε μια επιστημονική «μικροαπάτη», η οποία δεν συγχωρείται με βάση

26 Στην πραγματικότητα, το… «τέχνασμα» του Μέντελ είχε να κάνει κυρίως με την επιλογή των ζευγαριών των γονιδίων που μελετούσε και τα οποία ήταν όλα μη συνδεδεμένα, δηλαδή βρίσκονταν σε διαφορετικό χρωμόσωμα. Αυτό σημαίνει πως τα ζεύγη των γονιδίων δεν εμπλέκονταν σε περιπτώσεις ανασυνδυασμού (βλ. παρακάτω, ενότητα 2.4), του οποίου τα αποτελέσματα φάνταζαν ανεξήγητα σε επιστήμονες εκτός γενετικής, ιδίως την εποχή εκείνη.

τη σημερινή επιστημονική ηθική ή τον κώδικα ορθής ερευνητικής διαδικασίας, ακόμη κι αν έγινε για «καλό» σκοπό. Υπάρχουν ωστόσο συνάδελφοι γενετιστές που υποστηρίζουν ότι τα κείμενα του Μέντελ δεν περιγράφουν σύνολη τη διαδικασία (μεθοδολογία) και πως τα δημοσιευμένα αποτελέσματα βασίζονται μόνο στις αρχικές του παρατηρήσεις. Ως εκ τούτου, το πρόβλημα δεν είναι τόσο μεγάλο ούτε μειώνεται η συμβολή του Μέντελ στην επιστήμη. Όπως και να 'χουν τα πράγματα, γεγονός παραμένει πως τα «αποτελέσματα» του Μέντελ είναι 100% συμβατά με όσα ο ίδιος περιγράφει, καθώς και με την εξήγηση που δίνει, η οποία επίσης είναι σωστή.

Από το 1900 μέχρι τα μέσα του 20ού αιώνα η γενετική στην παραδοσιακή εκδοχή της αρχίζει να καλπάζει. Με τη βοήθεια και άλλων επιστημονικών κλάδων κατακτώνται πλέον πολλές βασικές γνώσεις, όπως, π.χ., η χημική βάση του κληρονομικού υλικού (το DNA και μερικώς το RNA) και το πού βρίσκεται αυτό (στα χρωμοσώματα [*chromosomes*]), πώς διαιρούνται τα κύτταρα (μίτωση [*mitosis*] και μείωση [*meiosis*]), πώς μεταδίδονται οι πληροφορίες από τα χρωμοσώματα στο υπόλοιπο κύτταρο (μεταγραφή [*transcription*], μετάφραση [*translation*]), πού και πώς είναι κωδικοποιημένες οι πληροφορίες (γενετικός κώδικας [*genetic code*]) κ.ο.κ. Στο πεδίο της εφαρμοσμένης γενετικής αρχίζουν επίσης να γίνονται γνωστά πλήθος σημαντικά πράγματα: τι είναι οι ιοί, ποια είναι η μοριακή βάση πολλών ασθενειών, πώς κατασκευάζουμε ξένα αλλά συνάμα «φυσικά» προϊόντα μέσα σε βακτηριακά κύτταρα, κ.ά. Τέλος, το ευρύ κοινό ανακαλύπτει τη γενετική, και τα ΜΜΕ –και όχι μόνο[27]– βομβαρδίζουν την κοινή γνώμη με ιδέες και θεωρίες πέρα για πέρα αστήρικτες επιστημονικά.

Σε σύντομο χρονικό διάστημα μετά τον Μέντελ, οι βιολόγοι και οι βιοχημικοί[28] αρχίζουν σταδιακά να ανακαλύπτουν τα συστατικά

27 Ιδού το μνημειώδες τσιτάτο από την ιστοσελίδα γνωστής ΠΑΕ: «Το παρελθόν αποτελεί οδηγό για το μέλλον, και το ξεχωριστό DNA [της ομάδας μας…] περνά από γενιά σε γενιά». Δεν θα επεκταθώ στην έννοια του «ξεχωριστού»…

28 Παρά το όνομά της, μέχρι πρόσφατα η βιοχημεία θεωρούνταν κλάδος της ιατρικής. Ιστορικώς, αυτό έχει λογικότατη εξήγηση, αν λάβουμε υπόψη μας την αν-

αλλά και τις διαδικασίες μέσω των οποίων είναι φτιαγμένος ο άνθρωπος και όλοι οι υπόλοιποι ζωντανοί οργανισμοί. Έτσι, οι πρωτεΐνες[29] (*proteins*), που πρώτος περιέγραψε ο κόμης (και χημικός) Antoine François, comte de Fourcroy, με το πέρασμα του χρόνου αποδείχθηκαν το βασικό συστατικό των ζώντων οργανισμών: τεράστια μόρια, που αποτελούνται από αλυσίδες 20 διαφορετικών μικρομορίων με παρόμοια δομή, τα οποία ονομάζονται αμινοξέα (*amino acids*). Η ακριβής δομή των πρωτεϊνών έγινε γνωστή μόλις στα μέσα του 20ού αιώνα. Με τις έως τότε υπάρχουσες γνώσεις, λογικό ήταν ορισμένοι να διατυπώσουν την υπόθεση ότι το κατ' εξοχήν κληρονομικό υλικό θα μπορούσε να ήταν αυτές. Βεβαίως, αν ίσχυε κάτι τέτοιο, θα βρισκόμασταν μπροστά στο παράδοξο οι πρωτεΐνες να αποτελούν ταυτοχρόνως το γενετικό όσο και το εξ αυτού προερχόμενο υλικό, οπότε θα οδηγούμασταν σε ένα κυκλικό και λογικά λανθασμένο επιχείρημα.

Το 1869, ο ελβετός Friedrich Miescher ανακάλυψε το DNA. Την εποχή εκείνη όμως δεν υπήρχαν ακόμα οι απαραίτητες γνώσεις (ή ακόμη και το «ένστικτο») που θα του επέτρεπαν να συλλάβει το μέγεθος της ανακάλυψής του. Πενήντα χρόνια αργότερα, ο ρώσος (τότε σοβιετικός) Nikolai Koltsov πρότεινε ότι το γενετικό υλικό θα πρέπει να είναι ένα μακρομόριο αποτελούμενο από δύο αλυσίδες όπου η αλληλουχία της μίας υπαγορεύει την αλληλουχία της άλλης. Με άλλα λόγια, περιέγραψε το DNA δίχως να το κατονομάζει. Για τη θεωρία του αυτή ο Κολτσόφ φυλακίστηκε προσωρινά και προτάθηκε εισαγγελικά η καταδίκη του σε θάνατο. Τον διέσωσε όμως

θρωποκεντρική στόχευση των βιοεπιστημών παγκοσμίως, που ως συνέπεια είχε να ενδιαφέρονται πρωτίστως για εμάς και όχι για τα υπόλοιπα ζωντανά της φύσης.

29 Οι όροι «πρωτεΐνη» και «πολυπεπτίδιο» είναι ώς έναν βαθμό συνώνυμοι. Επειδή όμως συχνότατα οι πρωτεΐνες αποτελούνται από περισσότερες της μίας πολυπεπτιδικές αλυσίδες και εξίσου συχνά από ένα ή περισσότερα μικρομόρια, καλό είναι να διαφοροποιούμε τους δύο αυτούς όρους. Για παράδειγμα, η πρωτεΐνη αιμοσφαιρίνη αποτελείται από τέσσερις πολυπεπτιδικές αλυσίδες (δύο ζεύγη ομοίων) και τέσσερα μόρια αίμης, που είναι ενωμένα ανά ένα σε κάθε μία από τις τέσσερις αλυσίδες σε ένα σύνθετο μόριο. Αντιθέτως, η ορμόνη κορτικοτροπίνη (ACTH) θεωρείται πεπτίδιο, αφού η αλυσίδα της αποτελείται μόνο από 39 αμινοξέα.

ο Μαξίμ Γκόρκι, χρησιμοποιώντας την προσωπική του γνωριμία με τον Λένιν. Λίγα χρόνια μετά την αποκατάστασή του, ο Κολτσόφ κατηγορήθηκε και πάλι, αυτή τη φορά ως φασίστας, από τους οπαδούς του Λυσένκο, λόγω των γενετικών του θεωριών, γεγονός που συνέπεσε χρονικά με τις Δίκες της Μόσχας. Θα πρέπει λοιπόν να θεωρήσουμε μοιραίο το γεγονός ότι τελικά δηλητηριάστηκε από την NKVD, τη μυστική αστυνομία της Σοβιετικής Ένωσης, χωρίς μάλιστα να έχει καταδικαστεί εκ νέου σε θάνατο – και πώς θα μπορούσε, άλλωστε; Δεκαπέντε χρόνια μετά τη δολοφονία του, οι δήθεν «φασιστικές» θεωρίες του επαληθεύτηκαν, όταν οι Watson και Crick προσδιόρισαν τη δομή του DNA. Στα χρόνια που μεσολάβησαν, οι εργασίες του Griffith και της ομάδας των Oswald Avery, Colin MacLeod και Maclyn McCarty επίσης υποδείκνυαν το DNA ως τον πιο πιθανό υποψήφιο για υπόβαθρο του γενετικού υλικού. Επρόκειτο για την απαρχή αυτού που ονομάζω «Πρώτη Επανάσταση στη Γενετική».

Τα αποτελέσματα των πειραμάτων μετασχηματισμού (*transformation*)[30] βακτηριακών στελεχών από τον Oswald Avery και τους συνεργάτες του στα τέλη του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου απέδειξαν πέραν πάσης αμφιβολίας πως η χημική ουσία που φέρει ολόκληρο το κληρονομικό υλικό δεν είναι άλλη από το DNA.[31] Αυτό επιτεύχθηκε με την αλλαγή (μετασχηματισμό) μη παθογόνων στελεχών του βακτηρίου *Streptococcus pneumoniae* σε παθογόνα, διά της εισαγωγής σε αυτά DNA από παθογόνα στελέχη. Ακολουθώντας μια εντελώς διαφορετική προσέγγιση, το 1952 οι Alfred Hershey και Martha Chase επιβεβαίωσαν ότι το γενετικό υλικό ήταν όντως το DNA, και μόλις

30 Στη γενετική, ο όρος «μετασχηματισμός» σημαίνει την πειραματικώς επαγόμενη (ή φυσική για ορισμένα βακτήρια) αλλαγή του γενετικού υλικού ενός κυττάρου κάποιου οργανισμού με τη μόνιμη είσοδο και ενσωμάτωση σε αυτό τμήματος DNA ενός διαφορετικού οργανισμού (ακόμα και διαφορετικού είδους). Στην κυτταρική βιολογία, αντιθέτως, μπορεί να υπονοεί τη φαινοτυπική αλλαγή των απογόνων ενός «κανονικού» κυττάρου σε καρκινικά. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η ακριβής σημασία του όρου γίνεται αντιληπτή από τα συμφραζόμενα.

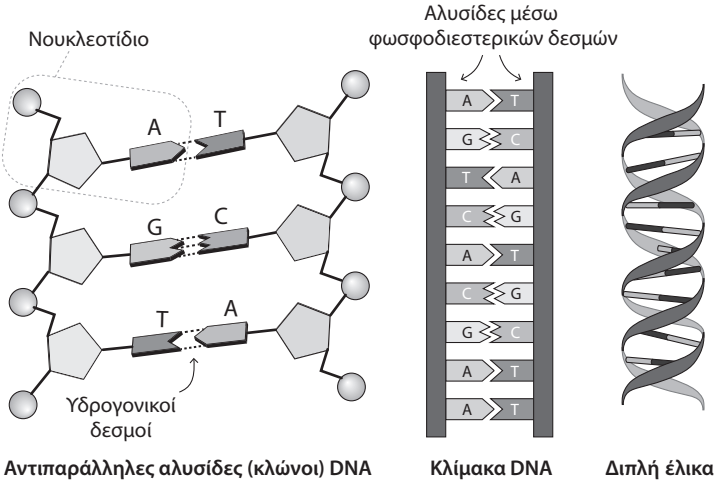
31 Η λειτουργία του RNA ως κληρονομικού υλικού πολλών ιών ανακαλύφθηκε αργότερα, στα τέλη της δεκαετίας του ’50.

έναν χρόνο αργότερα οι James Watson και Francis Crick δημοσίευσαν στο επιστημονικό περιοδικό *Nature* το κλασικό άρθρο τους στο οποίο πρότειναν τη διπλή έλικα ως μορφή της δομής του DNA. Η δομή της διπλής έλικας ήταν σύμφωνη με όσα ήδη γνωρίζαμε μέχρι τότε, και κυρίως ήταν σύμφωνη με τις προϋποθέσεις που έπρεπε να καλύπτει μια προτεινόμενη (και από τον Κολτσόφ) δομή για το γενετικό υλικό: α) να έχει τη δυνατότητα αντιγραφής σε ένα πανομοιότυπο αντίγραφο· β) να επιτρέπει την αποκωδικοποίηση των πληροφοριών που θα έφερε η δομή αυτή σε πρωτεΐνες· και γ) να επιτρέπει τη δημιουργία μεταλλάξεων, παρά το ότι το γενετικό υλικό έπρεπε να εδράζεται σε μια σταθερή χημική ένωση που θα κρατούσε μέσα της τις κωδικοποιημένες πληροφορίες. Πράγματι, το DNA κάλυπτε όλα τα προαπαιτούμενα.

Το κύριο χημικό υπόβαθρο της κληρονομικότητας είναι ένα πολυμερές (*polymeric*) μόριο,[32] το δε(σ)οξυριβονουκλεϊνικό (ή δε[σ]οξυριβονουκλεϊκό) οξύ, πιο γνωστό ως DNA από τα αρχικά της ονομασίας του στα αγγλικά (*deoxyribonucleic acid*). Το DNA «κουβαλάει» μέσα του όλες τις πληροφορίες που χρειάζεται ένας ζωντανός οργανισμός για να ζήσει και να αναπαραχθεί.

Το DNA ανήκει σε μια κατηγορία πολυμερών, τα νουκλεϊ-(νι)κά οξέα, τα μονομερή συστατικά των οποίων ονομάζονται νουκλεοτίδια ή, ακριβέστερα, μονονουκλεοτίδια (*mononucleotides*). Η δομή του απεικονίζεται στην Εικόνα 1.5. Κάθε μονομερές συστατικό (νουκλεοτίδιο) του DNA αποτελείται από μία αζωτούχο βάση, μία φωσφορική ρίζα και ένα σάκχαρο με πέντε άτομα άνθρακα, τη δε(σ)οξυριβόζη (*deoxyribose*), από την οποία πήραν το όνομά τους τόσο το DNA όσο και τα νουκλεοτίδιά του (δε[σ]οξυριβονουκλεοτίδια). Κάθε νουκλεοτίδιο ενώνεται με τα γειτονικά του με φωσφοδιεστερικούς δεσμούς (*phosphodiester bonds*). Στη φύση, και πιο συγκεκριμένα στα χρωμοσώματα των διαφόρων ειδών, ένα μόριο DNA αποτελείται από αλυσίδες με μήκος μερικές χιλιάδες

32 *Πολυμερές μόριο*: χημική ένωση που σχηματίζεται από τη σύνδεση πολλών όμοιων μικρών μορίων, τα οποία ονομάζονται «μονομερή», σε ένα μακρύ/μεγάλο μόριο.



Εικονα 1.5 Απεικόνιση της δομής του DNA σε τρία επίπεδα. Αριστερά: ο τρόπος ζευγαρώματος των βάσεων (νουκλεοτιδίων)· στο κέντρο: ανάπτυγμα της κλίμακας του DNA, σε μορφή που δεν απαντάται ποτέ στη φύση· δεξιά: φυσική απεικόνιση της διπλής έλικας στον χώρο.

έως μερικές εκατοντάδες εκατομμύρια νουκλεοτίδια.[33] Ένα μόριο DNA μέσα σε ένα κύτταρο είναι πάντοτε στενά συνδεδεμένο με ορισμένες πρωτεΐνες και αποκαλείται χρωμόσωμα. Το DNA σε ένα χρωμόσωμα (με εξαίρεση τα χρωμοσώματα μερικών ιών) είναι πάντοτε δίκλωνο, δηλαδή αποτελείται από δύο «αντιπαράλληλες» αλυσίδες που είναι ζευγαρωμένες η μία με την άλλη ακολουθώντας τον απλό κανόνα του Chargaff: στο DNA βρίσκουμε τέσσερις διαφορετικές αζωτούχες βάσεις: τις πυριμιδίνες κυτοσίνη (*cytosine*, C) και θυμίνη (*thymine*, T), και τις πουρίνες γουανίνη (*guanine*, G) και αδενίνη (*adenine*, A). Σύμφωνα με τη δομή των βάσεων αυτών και τον προαναφερθέντα κανόνα, μέσω υδρογονικών δεσμών ένα

33 Το μήκος του DNA εκφράζεται σε μονάδες που ονομάζονται ζεύγη βάσεων (*base pair*, *bp*). Πολλαπλάσια είναι η κιλοβάση (*kilobase*, *Kb*), η μεγαβάση (*megabase*, *Mb*), κ.ο.κ. Οι ίδιες μονάδες ισχύουν και για το μήκος μορίων RNA. Το bp ισχύει αυστηρά *μόνο* για δίκλωνο μόριο, ενώ οι υπόλοιπες μονάδες μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για δίκλωνα όσο και για μονόκλωνα μόρια.

νουκλεοτίδιο που περιέχει C μπορεί να σχηματίσει ζευγάρι με ένα που περιέχει G· και αντιστοίχως, ένα που περιέχει T μπορεί να ζευγαρώσει με ένα που περιέχει A. Με άλλα λόγια, το ζευγάρωμα γίνεται πάντοτε μεταξύ μιας πουρίνης και μιας πυριμιδίνης. Έτσι, η αλληλουχία των βάσεων (σωστότερα: των νουκλεοτιδίων) σε μια αλυσίδα ενός δίκλωνου DNA καθορίζει αναγκαστικά και την αλληλουχία της αντιπαράλληλης αλυσίδας!

Χωρίς να επεκταθούμε σε λεπτομέρειες, ας μιλήσουμε ακροθιγώς και για τη δομή του RNA. Σε σύγκριση με το DNA, το RNA είναι γενικώς πολύ πιο μικρό (κοντό) μόριο, συνήθως μονόκλωνο, και έχει στα νουκλεοτίδιά του (ριβονουκλεοτίδια) ως σάκχαρο τη ριβόζη (και όχι τη δε[σ]οξυριβόζη). Επίσης, όπου το DNA έχει στην αλληλουχία του T, το RNA αντικαθιστά τη θυμίνη με ουρακίλη (*uracil*, U). Με το RNA όμως θα ασχοληθούμε εκτενέστερα στην ενότητα 3.1.

Αν εξετάσουμε λεπτομερέστερα τη δομή του DNA, θα παρατηρήσουμε πως το δίκλωνο μόριο σχηματίζει μια δεξιόστροφη διπλή έλικα με τις βάσεις στο εσωτερικό του και κάθετες προς τον άξονα της έλικας. Οι δύο αλυσίδες συγκρατούνται μεταξύ τους με τους προαναφερθέντες υδρογονικούς δεσμούς (*hydrogen bonds*): δύο για τα ζευγάρια αδενίνης και θυμίνης και τρεις για τα ζευγάρια γουανίνης και κυτοσίνης. Εφ' όσον η σύνδεση των μονομερών μεταξύ τους γίνεται πάντοτε με τους φωσφοδιεστερικούς δεσμούς να ενώνουν το 5′ άτομο άνθρακα σε ένα μόριο της δε(σ)οξυριβόζης με το 3′ άτομο άνθρακα στο μόριο της επόμενης δε(σ)οξυριβόζης, η κάθε αλυσίδα DNA αποκτά μια πολικότητα που χαρακτηρίζεται ως 5′ → 3′. Τούτο έχει ως συνέπεια, λόγω της συμπληρωματικότητας των δύο αντιπαράλληλων αλυσίδων, η αλληλουχία της μιας να είναι κατ' ανάγκην διαφορετική από αυτήν της άλλης. Αυτό γίνεται ξεκάθαρο όταν το καταγράψουμε στο χαρτί! Συμβατικά, ξεκινάμε να γράφουμε τις αλληλουχίες με τον 5′ (άνθρακα) αριστερά και τον 3′ δεξιά. Αν μάλιστα είμαστε απολύτως σωστοί, τότε σημειώνουμε αναλόγως. Στο δίκλωνο μόριο DNA υπάρχει ένα μικρό πρόβλημα ως προς τη «σύμβαση», αφού αναγκαστικά, για τη μία αλυσίδα, το

5′ άκρο θα πρέπει να είναι από την άλλη πλευρά, με αποτέλεσμα να φαίνεται ότι έχει αντίθετη πολικότητα (3′ → 5′).[34]

Στο παρακάτω παράδειγμα ενός δίκλωνου τμήματος DNA βλέπουμε καθαρότατα τη διαφορετική αλληλουχία των δύο αλυσίδων σε περίπτωση που διαβάσουμε και τις δύο με βάση την πολικότητά τους. Στην «επάνω» αλυσίδα, με φορά 5′ → 3′, μπορούμε να δούμε ένα μη αληθινό παλίνδρομο, αν διαβάσουμε την αλληλουχία τόσο από αριστερά όσο και από δεξιά, προχωρώντας προς την κάθετη γραμμή στο κέντρο. Το ίδιο ισχύει και για την «κάτω» αλυσίδα με την «αντίθετη» πολικότητα 3′ → 5′. Στην πραγματικότητα όμως καμία αλληλουχία δεν αποτελεί παλίνδρομο, αφού και οι δύο αλυσίδες μπορούν να διαβαστούν μόνο με την κανονική τους φορά (5′ → 3′), οπότε βλέπουμε πόσο διαφορετικές είναι (AGGATC…έναντι TCCTAG…)!

5′ A G G A T C G T G A | A G T G C T A G G A 3′
3′ T C C T A G C A C T | T C A C G A T C C T 5′

Νωρίτερα κάναμε λόγο περί «Πρώτης Επανάστασης στη Γενετική» και ακολούθως παραθέσαμε συνοπτικώς ορισμένα αποτελέσματα που έκτοτε βγήκαν προς τα έξω. Τα υπόλοιπα θα τα εξετάσουμε αναλυτικότερα στα επόμενα κεφάλαια, οπότε δεν χρειάζεται βιασύνη. Ζητώ συγγνώμη για την κάπως φορμαλιστική περιγραφή της δομής του DNA, πιστεύω όμως ότι καλό είναι να γίνει περισσότερο κατανοητή, από τη στιγμή που το μόριο αυτό είναι η ιδανική χημική ουσία για να φτιαχτεί το κληρονομικό υλικό…

1.5 *Όποιος έχει τη μύγα μυγιάζεται…*

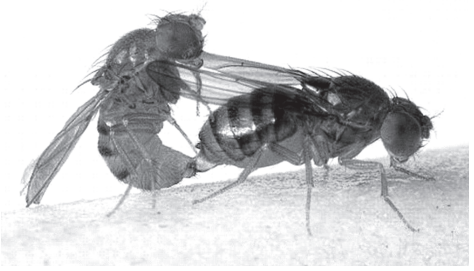
Εύλογα θα αναρωτηθεί κανείς γιατί πρέπει να αφιερώσουμε ολόκληρη υποενότητα στις μύγες, ειδικά μάλιστα από τη στιγμή που τα ζώα αυτά στην κουλτούρα των περισσότερων κοινωνιών του

34 Εδώ, λοιπόν, η πολικότητα δεν αναφέρεται μόνο στην αντιπαράλληλη δομή των δύο αλυσίδων, αλλά και στον τρόπο που ο άνθρωπος (βιολόγος, φοιτητής ή απλός αναγνώστης) αντιλαμβάνεται τη διαφορετική αλληλουχία των βάσεων στις δύο αλυσίδες, ασχέτως αν οι δύο αλληλουχίες αλληλοκαθορίζονται.

πλανήτη αντιμετωπίζονται, αν μη τι άλλο, ως ενοχλητικότατα. Κι όμως, από γενετικής πλευράς, ο πιο καλά μελετημένος ανώτερος οργανισμός είναι το μυγάκι του ξιδιού ή μυγάκι του κρασιού.[35] Ας μας επιτραπούν λοιπόν δυο λόγια για τη Δροσόφιλα (*Drosophila melanogaster*), το κατ' εξοχήν εργαλείο της γενετικής εδώ και τουλάχιστον μία εκατονταετία. Όταν ο Μόργκαν και οι συνεργάτες του ξεκίνησαν τη γενετική ανάλυση, επέλεξαν για τα πειράματά τους το μυγάκι αυτό, που τότε έφερε την ονομασία *Oinopota ampelofila*. Η παλαιότερη –κυρίως– ονομασία του είναι δηλωτική του τρόπου ζωής του στη φύση: όπου υπάρχει κατάσταση ζύμωσης (π.χ. φρούτα πεσμένα στο έδαφος, μούστος που βράζει, κ.λπ.) η Δροσόφιλα είναι εκεί και τρέφεται από το υλικό που βρίσκεται σε ζύμωση. Στο εργαστήριο, τα μυγάκια μας τρέφονται με βρασμένο πήκτωμα καλαμποκάλευρου και φρέσκια μαγιά. Ο κύκλος ζωής τους στους 25°C διαρκεί λίγο παραπάνω από 10 ημέρες (από την εναπόθεση του γονιμοποιημένου αβγού ώς την περίοδο της αναπαραγωγής).

Τα γονιμοποιημένα αβγά (έμβρυα) ξεκινούν τη ζωή τους εναποτιθέμενα από τη μητέρα κατ' ευθείαν επάνω στην τροφή. Οι κατάλληλες διεργασίες εντός του εμβρύου οδηγούν σε πολλαπλασιασμό και διαφοροποίηση των κυττάρων. Σε περίπου 24 ώρες γίνεται η πρώτη έκδυση (*moult*, *ecdysis*), κατά την οποία παράγεται η προνύμφη 1ου σταδίου (*1st instar larva*). Αφού περάσουν άλλες 24 ώρες, κατά τη δεύτερη έκδυση παράγεται η σχεδόν διπλάσια σε μέγεθος προνύμφη 2ου σταδίου (*2nd instar larva*). Η προνύμφη 3ου σταδίου (*3rd instar larva*), διπλάσια σε μέγεθος και αυτή από την προηγούμενη, εκδύεται ύστερα από επίσης 24 ώρες.

35 Παρ' ότι το μυγάκι αυτό ανέκαθεν έφερε ελληνικό όνομα και αφθονεί στη χώρα μας, εν τούτοις στη γλώσσα του λαού ουδέποτε απέκτησε ιδιαίτερη ονομασία. Άλλοι το αποκαλούν μύγα του ξιδιού ή του κρασιού και άλλοι σκνίπα. Το τελευταίο το βρίσκω άκρως υποτιμητικό. Σκνίπα ονομάζουμε το έντομο του γένους *Phlebotomus* (επίσης ελληνικό όνομα), ένα τρομερά ενοχλητικό έντομο που, σε αντίθεση με την εντελώς άκακη Δροσόφιλα (τον δεύτερο, μετά τον σκύλο, καλύτερο φίλο του ανθρώπου, τον οποίο «συνοδεύει» μέχρι και στην Ανταρκτική), διαθέτει τσίμπημα χειρότερο από του κοινού κουνουπιού και μεταφέρει ασθένειες, ορισμένες από τις οποίες πολύ επικίνδυνες (π.χ. η λεϊσμανίαση ή, επί το κρητικότερον, το «χανιώτικο»).



ΕΙΚΟΝΑ 1.6
Ένα ζευγάρι του αυστραλιανού είδους *Drosophila serrata* ξεκινά ένα… πείραμα γενετικής. Στα αριστερά είναι το αρσενικό.
(φωτο.: Antoine Morin)

Τα επόμενα δύο 24ωρα η προνύμφη εξακολουθεί να κάνει ό,τι και πριν, δηλαδή να σέρνεται μέσα στην τροφή τρώγοντας, αφοδεύοντας και αυξάνοντας το μέγεθός της. Στη συνέχεια εγκαταλείπει την περιοχή της τροφής, σταματώντας οριστικά το φαγητό και αναζητώντας ένα μέρος στεγνό. Με τη βοήθεια μιας κολλώδους ουσίας που παράγουν οι σιελογόνοι αδένες της (σαν τον μεταξοσκώληκα όταν παράγει το μετάξι) αναζητά ένα υπόστρωμα (χώμα, πέτρα, ξύλο ή γυαλί, π.χ. το τοίχωμα ενός μπουκαλιού στο εργαστήριο) και κολλά πάνω σ' αυτό. Στη φάση αυτή η μύγα ονομάζεται πλέον νύμφη (*pupa*) και η ζωή της υπόκειται σε μεγάλες αλλαγές με χαρακτηριστικότερη τη σκλήρυνση της επιδερμίδας της. Χρησιμοποιώντας τον εαυτό της ως πηγή ενέργειας, με τη βοήθεια των δίσκων του ακμαίου (*imaginal disks*), που είναι συσσωματώματα κυττάρων τα οποία πρωτοεμφανίζονται κατά την εμβρυϊκή περίοδο, δημιουργεί το νέο ακμαίο έντομο (*adult*, *imago*). Τούτο εκδύεται περίπου 4-5 ημέρες αργότερα, και ύστερα από 24 ώρες είναι έτοιμο να αναπαραχθεί!

Πέρα από το μικρό της μέγεθος και το χαμηλό κόστος αναπαραγωγής της στο εργαστήριο, η Δροσόφιλα είναι ιδανική για τη γενετική ανάλυση και για έναν επί πλέον λόγο: τον μεγάλο αριθμό απογόνων που παράγει (20-50 καθημερινά!). Υπό ιδανικές συνθήκες (βλ. Εικόνα 1.6), ένα ζευγάρι θα αποκτήσει μία με δύο εκατοντάδες απογόνους, ενίοτε και παραπάνω, που αν πολλαπλασιασθούν επί τον αριθμό των μεταξύ τους διασταυρώσεων μας δίνουν μέσα σε λίγες μέρες έναν μεγάλο αριθμό (σε χιλιάδες!), κατάλληλο για μια αξιόπιστη στατιστική ανάλυση.

Οι Δροσόφιλες, όπως και όλα τα άλλα είδη μύγας και τα κουνούπια, είναι τα πιο εξελιγμένα έντομα.[36] Διαφοροποιούνται από όλα τα υπόλοιπα ως προς το ότι φέρουν ένα μόνο ζευγάρι φτερών (δίπτερα, *diptera*). Είναι τα ζώα που έχουν μελετηθεί περισσότερο απ' οποιοδήποτε άλλο από τη γενετική επιστήμη και κυρίως από τον κλάδο της βιολογίας της ανάπτυξης. Δεν θα ήταν υπερβολή αν λέγαμε ότι μελετώντας τη Δροσόφιλα αρχίσαμε πλέον να εμβαθύνουμε τις γνώσεις μας πάνω στην ανάπτυξη των θηλαστικών και κατ' επέκταση του ανθρώπου. Θα επανέλθουμε όμως και αργότερα σε αυτήν.

1.6 *Η γλώσσα της γενετικής*

Διαβάζοντας το βιβλίο αυτό, είμαι βέβαιος ότι πολλοί από τους παλιούς φοιτητές μου στο Ηράκλειο θα βλέπουν και πάλι εφιάλτες, όπως την εποχή που τους έκοβα στις εξετάσεις σε ποσοστό 80%-90%. Δικαιολογούσα όμως το ποσοστό της αποτυχίας τους σκεπτόμενος όσα μου είχε πει στην αρχή της σταδιοδρομίας μου ο Rolf Nöthiger, ένας από τους κυριότερους ερευνητές του φυλετικού προσδιορισμού και της φυλετικής διαφοροποίησης στη Δροσόφιλα. Ο Rolf ήταν από τους λίγους γενετιστές εξ όσων γνώρισα στη ζωή μου που έκανε τους πάντες να κατανοήσουν όσα θέματα και στοιχεία γενετικής δίδασκε, ακόμα και τα πιο δύσκολα. Ο ίδιος ισχυριζόταν: *«Η γενετική είναι μια από τις πιο "εύκολες" επιστήμες, δυστυχώς όμως χρησιμοποιεί πολύ περίπλοκη γλώσσα, με αποτέλεσμα συχνά να μην γίνεται κατανοητή»*. Οι φοιτητές μου λογικά καταλάβαιναν όλα όσα τους δίδασκα, έμεναν όμως βουβοί επειδή δεν… κατείχαν τη γλώσσα! Ήμουν, συνεπώς, κακός… μεταφραστής. Μάλιστα, το πρόβλημα της γλώσσας γίνεται ακόμα πιο οξύ αν αναλογιστούμε την «ιδιόρρυθμη» ορολογία της επιστήμης αυτής στα ελληνικά.

36 Με την έκφραση «πιο εξελιγμένα» εννοούμε πως αντιπροσωπεύουν τα πιο πρόσφατα προϊόντα της εξέλιξης των εντόμων. Τα δίπτερα (μύγες, κουνούπια) πρωτοεμφανίσθηκαν «μόλις» πριν από 200-250 εκατομμύρια χρόνια.

Τόσο στο κείμενο όσο και στους πίνακες του βιβλίου ο αναγνώστης θα βρει μια σειρά από όρους της γενετικής. Καλό θα ήταν όμως να αναφερθούμε εδώ διευκρινιστικά σε ορισμένες από τις περιπτώσεις διπλών –ενίοτε και τριπλών– όρων. Θα αποφύγω να προτείνω τη μία ή την άλλη εκδοχή, παρ' ότι έχω τις προσωπικές μου προτιμήσεις, τις οποίες βασίζω σε διάφορα επιχειρήματα που κυρίως άπτονται της ετυμολογίας. Προτού δούμε το «πρόβλημα» μέσα από μερικά αντιπροσωπευτικά παραδείγματα, θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι για το νόημα των παρακάτω όρων παραπέμπουμε στο κείμενο.

Γονίδιο ή **γόνος** [***gene***]**:** Ο όρος «γονίδιο» είναι σήμερα ο πλέον αποδεκτός όσο και κατανοητός από τους εκπροσώπους των επιστημών της ζωής στην Ελλάδα. Κι όμως, μέχρι και πριν από ελάχιστα χρόνια, οι γεωπόνοι χρησιμοποιούσαν αντ' αυτού τον όρο «γόνος». Σύμφωνα με τον Κώστα Κριμπά, τότε καθηγητή Γενετικής στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, ο όρος αυτός απέδιδε σωστότερα στα ελληνικά τον αντίστοιχο αγγλικό όρο «gene» – και η αλήθεια είναι ότι είχε απολύτως δίκιο. Καλώς ή κακώς, όμως, ο όρος «γονίδιο» είναι αυτός που τελικώς επικράτησε, υιοθετούμενος τόσο από τους βιολόγους όσο και από τους γιατρούς. Με τον καιρό μάλιστα, ακόμα και οι γεωπόνοι άρχισαν να χρησιμοποιούν τον όρο «γονίδιο».

Γονιδίωμα ή **γένωμα** [***genome***]**:** Με δεδομένο ότι ο αντίστοιχος αγγλικός όρος προέρχεται από τη λέξη «γονίδιο» + την κατάληξη «-ωμα», ο όρος «γονιδίωμα» είναι ξεκάθαρα ο σωστός. Υπό το κράτος όμως της κυριαρχίας των greeklish, ο όρος «γένωμα» έχει αρχίσει σιγά-σιγά να εξαπλώνεται. Έτσι, καλύτερο θα ήταν να αποφύγουμε να προβλέψουμε ποιος θα επικρατήσει τα επόμενα 5-10 χρόνια.

Επικρατής ή **κυρίαρχος** [***dominant***] **/ υπολειπόμενος** ή **υποτελής** [***recessive***]**:** Στην περίπτωση αυτή, η χρήση των όρων είναι μοιρασμένη σε αναλογία 50:50.

Μετάλλαξη ή **μεταλλαγή** [***mutation***]**:** Στην αρχή του Κεφαλαίου 4 θα ασχοληθούμε εκτενέστερα με το «δίλημμα» αυτό.

Υποκινητής ή **προαγωγός** [***promoter***]**:** Λίγοι είναι οι συνάδελφοι που χρησιμοποιούν τον όρο «προαγωγός», αντί για τον μάλλον «λανθασμένο» αλλά επιβληθέντα όρο «υποκινητής», που περιγράφει το σημείο στο οποίο προσδένεται οτιδήποτε είναι απαραίτητο προκειμένου να ρυθμιστεί και να επισυμβεί η έναρξη της μεταγραφής. Παρά το γεγονός ότι η δεύτερη απόδοση είναι ορθότερη, ο όρος αυτός δεν έχει καθιερωθεί. Προσωπικά, θεωρώ παράλογο να θέλει κανείς να αλλάξει έναν όρο που έχει επιβληθεί εδώ και χρόνια, επειδή έτσι το σκέφτηκε κάποιος.

1.7 *Ένας μικρός, ενδιάμεσος… «επίλογος»*

Με βάση όσα είδαμε σε αυτή τη μικρή ιστορική αναδρομή, εύκολα μπορεί κανείς να συμπεράνει πως από τη σκοπιά της γενετικής επιστήμης ο κόσμος έχει αλλάξει, και μάλιστα πολύ! Τι άλλαξε στα περίπου 30.000 χρόνια που καλύπτει η αφήγησή μου;

Ο άνθρωπος μπορεί πλέον και μιλάει πλήθος γλώσσες, γράφει, μαγειρεύει, κατασκευάζει υπολογιστές, πετάει μέχρι το Διάστημα, έχει διαφοροποιήσει το διαιτολόγιό του με αποτέλεσμα να ψηλώσει ή να παχύνει, κ.ο.κ.

Τα ζώα έχουν επίσης υποστεί μεγάλες αλλαγές! Πολλά είδη εξαφανίστηκαν[37] (οι δεινόσαυροι πολύ παλαιότερα, τα *Dodo* και η γιγαντιαία υδροδάμαλις πριν από λίγες εκατοντάδες χρόνια) και καινούργια είδη έκαναν ή ετοιμάζονται να κάνουν την εμφάνισή τους (π.χ. τα «εν τη γενέσει» είδη κουνουπιού της Αφρικής· βλ. ενότητα 8.3). Πολλές συμπεριφορές αντικαθίστανται συχνά με νέες, κάτι που πολλές φορές οδηγεί τα είδη σε σταδιακή μετανάστευση.

Και τα φυτά, όμως, γνώρισαν ουκ ολίγες αλλαγές! Αν ένας μανάβης στις μέρες μας πουλούσε μήλα του 19ου αιώνα, τότε σίγουρα θα έχανε τους πελάτες του, αφού θα ήταν στιφά, ξινά και

37 Πάνω από το 99% των ειδών που κάποτε έζησαν στη Γη έχουν πλέον εξαφανιστεί.

δίχως άρωμα. Όσο για τα υπόλοιπα αγροτικά προϊόντα, έχουμε ήδη μιλήσει ακροθιγώς.

Τι συνέβη, λοιπόν; Μήπως για όλα αυτά ευθύνεται ο άνθρωπος; Σίγουρα έχει κι αυτός μερίδιο ευθύνης, ωστόσο δεν είναι ο μόνος υπεύθυνος. Ας θυμηθούμε τους παγετώνες που έλιωσαν πριν από «μόλις» 10.000-12.000 χρόνια, χωρίς την παραμικρή ανθρώπινη συμμετοχή στην όλη διαδικασία. Γι' αυτό, όταν ακούει κανείς σήμερα να γίνεται λόγος περί επερχόμενης ανθρωπογενούς αλλαγής στη φύση, καλό είναι να γνωρίζει ότι αυτό δεν είναι κάτι καινοφανές. Δεν ισχυρίζομαι βεβαίως πως οποιαδήποτε αλλαγή είναι για καλό. Θα πρότεινα όμως να είμαστε περισσότερο ανοιχτόμυαλοι…