

Η βιολογική πληροφορία

Stephen M. Downes

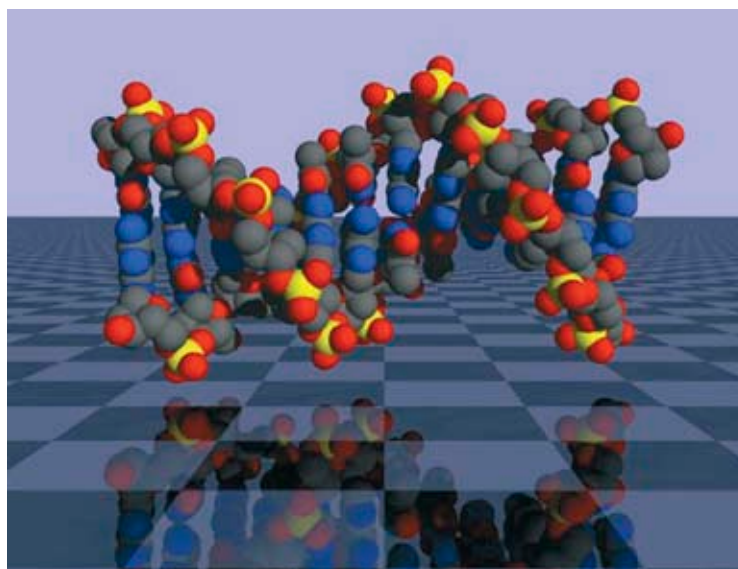
J. Pfeiffer, S. Sarkar, editors. New York: Routledge

Ελεύθερη απόδοση: ΦΩΤΗΣ ΒΛΑΣΤΟΣ
Πνευμονολόγος

Εισαγωγή

Η πληροφορία χρησιμοποιείται ως έννοια από τους βιολόγους σε πολλές συγκυρίες. Οι συμπεριφορολόγοι των ζώων εξετάζουν τα σήματα που ανταλλάσσονται μεταξύ δύο οργανισμών ή επιχειρούν να αναγνωρίσουν τη δομή του εσωτερικού χάρτη που οδηγεί ένα ζώο στη μετανάστευση. Οι νευροφυσιολόγοι αναφέρονται στην πληροφορία που περνά από νευρώνες και συνάψεις στο κεντρικό και στο περιφερικό νευρικό σύστημα. Ο τρόπος με τον οποίον χρησιμοποιείται ο όρος πληροφορία στα παραπάνω πλαίσια δεν αποτελεί αντικείμενο συζήτησης για τους φιλοσόφους. Οι φιλόσοφοι του νου (philosophers of mind) ενδιαφέρονται για τα αναπαραστατικά συστήματα των ζώων, όπως ο εσωτερικός χάρτης των μελισσών και για τον τρόπο με τον οποίο λειτουργούν οι εγκέφαλοι, ώστε να διαφωτισθούν χιλιόχρονα προβλήματα που αφορούν στη φιλοσοφία του νου. Αντίθετα, το αμφιλεγόμενο ζήτημα για τη φιλοσοφία της βιολογίας είναι η έννοια της πληροφορίας έτσι όπως χρησιμοποιείται για να εξηγηθεί η κληρονομικότητα και η ανάπτυξη: η γενετική πληροφορία. Αυτό το κείμενο ασχολείται με αυτήν ακριβώς τη χρήση της βιολογικής πληροφορίας.

Η ιδέα ότι τα γονίδια είναι φορείς πληροφοριών ή περιέχουν προγράμματα που οδηγούν την ανάπτυξη των ζωντανών οργανισμών προκαλεί σύγχυση. Αυτή η ιδέα προπαγανδίζεται άμεσα ή έμμεσα από βιολόγους και από εκηλαϊκευτές της βιολογίας. Η ιδέα αυτή είναι τόσο παραπλανητική στη βιολογία, ώστε σχεδόν δεν αξίζει να εξετασθεί σοβαρά. Ωστόσο, αν εξετάσουμε οποιοδήποτε βιβλίο βιολογίας, θα δούμε γραμμένο ότι τα γονίδια περιέχουν πληροφορίες με τη μορφή αλληλοσυμπληρωμάτων του DNA και ότι αυτές οι πληροφορίες παρέχουν οδηγίες για την παραγωγή φαινοτύπων. Αντίθετα, μια εξέταση της φιλοσοφικής βιβλιογραφίας σχετικά με τη γενετική πληροφορία μάς αποκαλύπτει ότι ελάχιστοι φιλόσοφοι της επιστήμης χρησιμοποιούν τις παραπάνω έννοιες με



του αρμόδιου γενετικού υλικού με όρους μοριακής δομής. Στα 1953, αποκαλύφθηκε η δομή του DNA και μαζί του ένας μηχανισμός που αφορά στο διπλάσιασμα του κληρονομούμενου υλικού και τη μετάδοσή του από τη μια γενιά στην επόμενη. Η ανακάλυψη αυτή άνοιξε το δρόμο για την ανάπτυξη της μοριακής βιολογίας. Ένα σημαντικό τμήμα της στράφηκε στην αποκάλυψη των λεπτομερειών της ανάπτυξης των ζωντανών οργανισμών.

Η βιολογία της ανάπτυξης είναι η μελέτη της ανάπτυξης των οργανισμών από το γονιμοποιημένο ωάριο μέχρι την ενηλικίωση. Η σκέψη στη βιολογία της ανάπτυξης συχνά επηρεάστηκε από τη σκέψη στη βιολογία της εξέλιξης. Οι βιολόγοι της ανάπτυξης έχουν συχνά αναρωτηθεί για απόψεις και προσεγγίσεις που εκπορεύονται από τη βιολογία της εξέλιξης, όπως η κεντρική θέση που κατέχει το γονίδιο στη βιολογία της εξέλιξης. Με τις νέες τεχνικές της μοριακής βιολογίας εμφανίσθηκε η ελπίδα μιας ενιαίας προσέγγισης της εξέλιξης και της ανάπτυξης. Για να υλοποιηθεί αυτή η ελπίδα, η μοριακή εξελικτική βιολογία και η μοριακή αναπτυξιακή βιολογία έπρεπε να συνεργασθούν αρμονικά.

Η εξέλιξη περιλαμβάνει το πέρασμα ενός γενετικού υλικού από τη μια γενιά στην επόμενη, ενώ η ανάπτυξη είναι η διαδικασία της κίνησης από το γενετικό υλικό στο σωματικό. Αυτές οι διαδικασίες μπορούν να κατανοηθούν από τη μοριακή σκοπιά, εάν γινόταν αποδεκτό ότι το συστατικό της κληρονομικότητας στην εξέλιξη ήταν το πέρασμα του DNA από τη μία γενιά στην επόμενη και ότι η ανάπτυξη είναι η παραγωγή πρωτεϊνών από το DNA. Σε αυτήν την εικόνα, τα γονίδια είναι διακριτά τμήματα του DNA που περνούν πιστά από τη μία γενιά στην επόμενη και κάθε γονίδιο είναι υπεύθυνο για την παραγωγή μιας ορισμένης πρωτεΐνης ή ενός πολυπεπτιδίου. Αυτός είναι ένας ορισμός του γονιδίου που αντανάκλα την ιστορία της σύζευξης της αναπτυξιακής και της

τον ίδιο τρόπο. Για να κατανοήσουμε πώς προέκυψε αυτή η κατάσταση πρέπει πρώτα να εξετάσουμε το ρόλο που έπαιξε η έννοια της πληροφορίας στην επεξεργασία των σύγχρονων θεωριών της βιολογίας. Γι' αυτό χρειάζεται να εξετάσουμε αρχικά μερικές έννοιες της μοριακής βιολογίας και να αναφερθούμε επίσης στην ιστορία της παραπλανητικής χρήσης της έννοιας «πληροφορία» στη σύγχρονη βιολογία. Τέλος, θα αναφερθούμε σε ορισμένα σημαντικά σημεία της φιλοσοφικής συζήτησης γύρω από την πληροφορία στη βιολογία.

Σύντομη ματιά στη σύγχρονη μοριακή βιολογία

Οι βιολόγοι ενδιαφέρονται για δύο σημαντικές διαδικασίες: την εξέλιξη και την ανάπτυξη. Οι βιολόγοι της εξέλιξης προσπαθούν να αποκρυπτογραφήσουν τη διαδικασία της εξελικτικής μεταβολής, συμπεριλαμβανομένων των μεταβολών στα είδη και στους ζωντανούς οργανισμούς του ίδιου είδους με την πάροδο του χρόνου. Έχει σημειωθεί μεγάλη πρόοδος στη σύλληψη της εξελικτικής μεταβολής, όσο αυτή αφορά στη μεταβολή της συχνότητας εμφάνισης γονιδίων, στις δεκαετίες του '30 και του '40. Πολλοί βιολόγοι της εξέλιξης αναφέρονται στην εξέλιξη αποκλειστικά από τη σκοπιά της γενετικής. Μετά την αποκάλυψη ότι τα γονίδια είναι το κληρονομούμενο γενετικό υλικό, το επόμενο βήμα ήταν η νοντική σύλληψη

⇒ εξελικτικής βιολογίας μέσω της μοριακής βιολογίας. Η έννοια της πληροφορίας εκλήθη για να παίξει ένα ρόλο στην κατανόηση της φύσης του DNA και του RNA στα πλαίσια της κληρονομικότητας και της ανάπτυξης. Έτσι, οι βάσεις του DNA και του RNA μπορούν να αντικατασταθούν από γράμματα του αλφαβήτου. Η σχέση μεταξύ της τριάδας των γραμμάτων στο RNA και του προκύπτοντος πολυπεπτιδίου μπορεί να εννοηθεί σαν κωδική σχέση. Έτσι, το DNA υποτίθεται ότι περιέχει τον κώδικα για το πολυπεπίδιο. Αντί να προκαλεί την παραγωγή της συγκεκριμένης πρωτεΐνης, η αλληλοϋχία του DNA περιέχει τον κώδικα γι' αυτήν.

Ο ορισμός του γονιδίου που έχει ήδη εισαχθεί με την παραπάνω υπόθεση μπορεί τώρα να εξετασθεί προσεκτικά. Αντί να είναι διακριτά τμήματα του DNA που μεταβιβάζονται από τη μία γενιά στην επόμενη, τα γονίδια μπορούν τώρα να θεωρηθούν ως ο τύπος όπου υπάρχει μια πληροφορία που μεταβιβάζεται από τη μία γενιά στην άλλη και ότι η πληροφορία είναι ο κώδικας για τη συγκεκριμένη πρωτεΐνη ή το πολυπεπίδιο. Αυτό που πλέον μεταβιβάζεται από τη μία γενιά στην επόμενη είναι η πληροφορία στο DNA, κωδικοποιημένη σε μια μοναδική αλληλοϋχία βάσεων. Η ανάπτυξη μπορεί τώρα να εννοηθεί ως η πιστή μεταβίβαση πληροφοριών από το DNA στο RNA, μέσω του σχεδίου των συμπληρωματικών βάσεων και ως η μεταβίβαση αυτών των πληροφοριών στη γραμμική δομή της πρωτεΐνης, μέσω της κωδικής σχέσης μεταξύ της τριάδας των βάσεων και ειδικών αμινοξέων. Οι μοριακοί βιολόγοι εισήγαγαν μια ορολογία που είναι συνεπής με την παραπάνω προσέγγιση: η πληροφορία στο DNA διπλασιάζεται με τη μίτωση του κυττάρου, «μεταγράφεται» από το DNA στο RNA και «μεταφράζεται» από το RNA σε πρωτεΐνες.

Αν και η διαδικασία της ανάπτυξης περιλαμβάνει κάθε μέρος του κυτταρικού κύκλου κάθε ζωντανού οργανισμού που οδηγεί στην πλήρη ανάπτυξη των φαινοτυπικών χαρακτηριστικών, η συζήτηση που ακολουθεί εστιάζεται σε ένα μέρος της αναπτυξιακής διαδικασίας, αυτό που αφορά στο εσωτερικό των κυττάρων, που ξεκινά με τον αποχωρισμό των δύο σκελών του DNA και καταλήγει με την παραγωγή μιας πρωτεΐνης. Σε μερικές συζητήσεις, η γενετική πληροφορία παρουσιάζεται σαν να περιέχει οδηγίες για την παραγωγή των φαινοτυπικών χαρακτηριστικών, όπως π.χ. τα μάτια, αλλά αυτή η επέκταση της έννοιας της γενετικής πληροφορίας εμφανίζει πρόσθετα προβλήματα (Godfrey-Smith 2000).

“ **Οι φιλόσοφοι του νου (philosophers of mind) ενδιαφέρονται για τα αναπαραστατικά συστήματα των ζώων, όπως ο εσωτερικός χάρτης των μελισσών, και για τον τρόπο με τον οποίο λειτουργούν οι εγκέφαλοι ώστε να διαφωτισθούν χιλιόχρονα προβλήματα που αφορούν στη φιλοσοφία του νου.** ”

Η παραπλανητική έννοια της γενετικής πληροφορίας: ιστορία και τρέχουσα χρήση

Στο προκλητικό του κείμενο «Τι Είναι η Ζωή», στα 1944, ο φυσικός Erwin Shrodinger έγραψε: «αυτά τα χρωματοσώματα...περιέχουν κατά κάποιο τρόπο έναν κωδικό για το σύνολο των μελλοντικών χαρακτηριστικών της ανάπτυξης και των λειτουργιών της ώριμης φάσης» (Schrodinger 1944 p. 20). Εξηγούσε την ορολογία του ως εξής: «Ονομάζοντας κωδικό τη δομή της ίνας του χρωματοσώματος, εννοούμε ότι ο παντογνώστης νους, όπως τον εννοεί ο Laplace, για τον οποίο κάθε αιτιακή σχέση καθίσταται γνωστή, θα μπορούσε να πει από τη δομή αυτών των χρωματοσωμάτων εάν το ωάριο θα αναπτυχθεί, κάτω από κατάλληλες συνθήκες, σε ένα μαύρο κόκκορα ή μια άσπρη χήνα, σε μια μύγα ή ένα τροπικό φυτό, σε ένα ροδόδεντρο, ένα σκαθάρι, ένα ποντίκι ή μια γυναίκα» (Schrodinger 1944 p. 20-21). Όπως γράφει και ο Morange, ο Schrodinger είδε τα γονίδια σαν περιέκτες πληροφοριών, σαν ένα κώδικα που καθορίζει το σχηματισμό του ατόμου (Morange 1998 p. 75). Οι προτάσεις του Schrodinger έγιναν πριν από την ανακάλυψη της δομής του DNA. Το κείμενο του Schrodinger έφθασε μέχρι τους πρωτεργάτες της μοριακής βιολογίας. Όπως σημειώνει και ο Sarkar (1996), οι Watson και Crick ήταν οι πρώτοι που χρησιμοποίησαν τον όρο «πληροφορία» στα πλαίσια των συζητήσεων για το γενετικό κώδικα: «Ο σκελετός από σάκχαρο και φωσφορικές ομάδες του προτύπου μας είναι απολύτως κανονικός, αλλά κάθε αλληλοϋχία ζεύγους βάσεων μπορεί να ταιριάζει στη δομή. Κατά συνέπεια, σε ένα μακρύ μόριο επιτρέπονται πολλές παραλλαγές και έτσι φαίνεται πιθανό ότι η ακριβής αλληλοϋχία

των βάσεων είναι ο κώδικας που περιέχει τη γενετική πληροφορία» (Watson and Crick 1980/1953 p. 244). Οι γάλλοι γενετιστές, Jacob και Monod, έπαιξαν επίσης σημαντικό ρόλο στην εδραίωση της γλώσσας του Schrodinger σχετικά με τον κώδικα, έτσι ώστε να υιοθετηθεί από τη μοριακή βιολογία η ορολογία της πληροφορικής (Fox Keller 2000).

Από τις αρχές της δεκαετίας του '60 αυτή η ορολογία εγκαταστάθηκε στο χώρο της μοριακής βιολογίας. Η έννοια του γονιδίου-πληροφορία είναι παραπλανητική για την εργασία του θεωρητικού εξελικτικού βιολόγου. Ίσως η πλέον δραστική διατύπωση της έννοιας της κληρονομικότητας με όρους πληροφορίας ήταν αυτή του θεωρητικού George Williams. Στο έργο του Adaptation and Natural Selection (1966) γράφει: «Στην εξελικτική θεωρία, ένα γονίδιο μπορεί να οριστεί ως μια κληρονομούμενη πληροφορία για την οποία υπάρχει ευνοϊκή ή δυσμενής επιλογή...ένα γονίδιο δεν είναι ένα μόριο DNA, είναι η μεταγράψιμη πληροφορία κωδικοποιημένη από ένα μόριο» (Williams 1966 p. 25 και 1992 p. 11). Ο ορισμός του γονιδίου με όρους πληροφορίας ή ως ένας κώδικας είναι συχνός στα εγχειρίδια της βιολογίας. Ένα από τα κλασικά κείμενα της μοριακής βιολογίας εισάγει το θέμα ως εξής: «Σήμερα, η ιδέα ότι το DNA μεταφέρει γενετική πληροφορία στη μακρά αλυσίδα των νουκλεοτιδίων του είναι τόσο θεμελιώδης για τη βιολογική σκέψη, που είναι μερικές φορές δύσκολο να συνειδητοποιήσουμε το τεράστιο διανοητικό κενό που καλύπτει» (Alberts et al. 1994 p. 98).

Ένας από τους ορισμούς του γονιδίου στο ίδιο κείμενο αναφέρει: «Ένα γονίδιο (είναι) οποιαδήποτε αλληλοϋχία του DNA μεταγράφεται σε συγκεκριμένη μονάδα και κωδικοποιεί μια ομάδα στενά συγγενών πολυπεπτιδικών αλυσέων (ισομορφές πρωτεϊνών)». Οι εισαγωγές των εγχειριδίων της μοριακής βιολογίας είναι γεμάτες με όρους όπως μεταγραφή, μετάφραση, κωδικοποίηση, μια ορολογία που υποδηλώνει τη μεταφορά της πληροφορίας.

Θα πρέπει πλέον να έχει γίνει σαφές ότι η ορολογία αυτή είναι παραπλανητική για τη βιολογική σκέψη. Ασφαλώς, υπάρχουν ιστορικοί λόγοι για την υιοθέτηση αυτής της ορολογίας, καθώς επίσης και κάποια χρησιμότητα. Ωστόσο, υπάρχουν προβλήματα όσο σκεφτόμαστε τα γονίδια ως πληροφορίες. Πολλά από αυτά τα προβλήματα έχουν διατυπωθεί από φιλοσόφους της βιολογίας. Συζητούνται επίσης και μεταξύ των βιολόγων στα πλαίσια της πληροφορικής χρήσης των γονιδίων.

Προβλήματα λόγω της πληροφορικής σημασιότητας των γονιδίων

Σε αρκετά από τα πρόσφατα κείμενά του, ο εξελικτικός βιολόγος Maynard Smith κάλεσε τους φιλοσόφους να προσέλθουν στη συζήτηση σχετικά με την πληροφορική σημασιότητα των γονιδίων. Για παράδειγμα, γράφει ότι «δεδομένου του ρόλου που ιδέες που προέκυψαν από τη μελέτη της ανθρωπίνης επικοινωνίας έπαιξαν και παίζουν στη βιολογία, είναι περίεργο που δεν τράβηξαν την προσοχή των φιλοσόφων της βιολογίας. Νομίζω ότι είναι ένα θέμα που απαιτεί προσεκτική μελέτη» (Maynard Smith 2000a p. 192). Αν και δε θίγουν άμεσα το θέμα της γενετικής πληροφορίας, οι φιλόσοφοι της βιολογίας έχουν ασχοληθεί έμμεσα από καιρό. Για παράδειγμα, η έννοια των γονιδίων ως πληροφοριών έπαιξε σημαντικό ρόλο σε συζητήσεις σχετικά με την αναγωγή, τις μονάδες επιλογής, τη διάκριση μεταξύ replicator/interactor, τις αλληλεπιδράσεις γονιδίων/περιβάλλοντος κ.λπ. Πρόσφατα, η προσοχή των φιλοσόφων εστιάστηκε στην πληροφορική σημασιότητα της έννοιας γονίδιο. Αρκετοί φιλόσοφοι έχουν ήδη ασχοληθεί με το σχέδιο για τη διατύπωση μιας γενικής έννοιας της πληροφορίας που ταιριάζει καλύτερα με τη βιολογία, όταν η τελευταία αναφέρεται στη γενετική πληροφορία.

Ο πληροφοριακός ορισμός του γονιδίου, όπως παρουσιάστηκε παραπάνω, αναφέρει ότι τα γονίδια περιέχουν πληροφορίες που μεταβιβάζονται από τη μία γενιά στην επόμενη και ότι οι πληροφορίες αυτές κωδικοποιούν για την παραγωγή συγκεκριμένων πρωτεϊνών ή πολυπεπτιδίων. Όπως γράφουν οι Sterelny και Griffiths «Η κλασική μοριακή έννοια του γονιδίου είναι μια σπιθαμή DNA που κωδικοποιεί για μία μόνο πολυπεπτιδική αλυσίδα» (1999 p. 132). Τα γονίδια, από αυτή την άποψη, περιέχουν πληροφορίες σχετικές με το φαινότυπο, την πρωτεΐνη που εκφράζεται. Ενώ οι περισσότεροι βιολόγοι πιστεύουν ότι τα γονίδια περιέχουν πληροφορίες σχετικά με τον αναμενόμενο φαινότυπο, κανείς δεν πιστεύει ότι οι γονιδιακές πληροφορίες είναι αρκετές για να παραχθεί αυτός ο φαινότυπος. Ακόμη και όσοι χαρακτηρίζονται φανατικοί του γενετικού ντετερμινισμού κατανοούν ότι η πληροφορία στο γονίδιο εκφράζεται μόνο με τη βοήθεια ενός τεράστιου αριθμού κυτταρικών συστατικών. Κατά συνέπεια, η τρέχουσα άποψη είναι ότι τα γονίδια περιέχουν την αρμόζουσα ή μια σημαντική πληροφορία που οδηγεί στην ανάπτυξη του οργανισμού. Όλα τα άλλα κυτταρικά συστατικά συμμετέχουν στην έκφραση της πληροφορίας.

Ένας τρόπος για να φαντασθεί κανείς αυτή

“ Ένα από τα κλασικά κείμενα της μοριακής βιολογίας εισάγει το θέμα ως εξής: «Σήμερα, η ιδέα ότι το DNA μεταφέρει γενετική πληροφορία στη μακρά αλυσίδα των νουκλεοτιδίων του είναι τόσο θεμελιώδης για τη βιολογική σκέψη, που είναι μερικές φορές δύσκολο να συνειδητοποιήσουμε το τεράστιο διανοητικό κενό που καλύπτει». ”

την υπόθεση είναι ότι τα γονίδια εισάγουν την πληροφορία στο αναπτυξιακό σχέδιο, ενώ όλοι οι άλλοι μηχανισμοί προσφέρουν μια σχετική συνεισφορά για την ανάπτυξη. Συχνά χρησιμοποιούνται όροι από τη θεωρία της πληροφορίας. Η θεωρία αυτή υποστηρίζει ότι «ένα γεγονός μεταφέρει πληροφορία σχετικά με ένα άλλο γεγονός στο μέτρο που συνδέεται αιτιακά με αυτό κατά τρόπο συστηματικό. Έτσι, η πληροφορία λέγεται ότι μεταφέρεται μέσω ενός καναλιού που συνδέει τον πομπό με το δέκτη, όταν μια μεταβολή στο δέκτη συνδέεται αιτιακά με μια μεταβολή στον πομπό» (Gray 2001 p. 190). Με βάση αυτή την άποψη, η πληροφορία περιορίζεται στο ρόλο της συστηματικής αιτιακής εξάρτησης. Οι φιλόσοφοι της βιολογίας αναφέρονται σ' αυτόν το χαρακτηρισμό της γενετικής πληροφορίας ως αιτιακού παράγοντα. Οι Sterelny και Griffiths (1999) αναφέρονται γλαφυρά στο πώς η αιτιακή έννοια της πληροφορίας θα μπορούσε να λειτουργήσει στα πλαίσια της μοριακής βιολογίας «Η ιδέα της πληροφορίας ως συστηματικής αιτιακής εξάρτησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξηγηθεί το πώς τα γονίδια μεταφέρουν πληροφορίες σχετικές με την ανάπτυξη. Το γονιδίωμα είναι το σήμα και ο υπόλοιπος αναπτυξιακός ιστός παρέχει απλώς τις συνθήκες υπό τις οποίες ο κύκλος της ζωής ενός οργανισμού περιέχει (λαμβάνει) πληροφορίες σχετικές με το γονιδίωμα» (Sterelny and Griffiths 1999 p. 102).

Αρκετοί είναι αυτοί που ισχυρίζονται ότι η αιτιακή άποψη περί γενετικής πληροφορίας εμφανίζει πολλή δυσχέρεια. Οι Sterelny και Griffiths (1999) αναφέρουν ότι «είναι θεμελιώδης για τη θεωρία της πληροφορίας ότι ο ρόλος της πηγής του σήματος και των συνθηκών του καναλιού μπορούν να αντιστραφούν». Επιπλέον, η διάκριση σήματος/

καναλιού είναι συνάρτηση των συμφερόντων των παρατηρητών. Για παράδειγμα, μπορούμε να επιλέξουμε να κρατήσουμε σταθερό το αναπτυξιακό ιστορικό ενός οργανισμού και έτσι, από αυτή την οπτική γωνία, ο φαινότυπος του οργανισμού θα περιέχει πληροφορίες για το γονότυπό του. Αλλά, αν επιλέξουμε να κρατήσουμε «όλους τους αναπτυξιακούς παράγοντες εκτός, απ'όπου από την ποσότητα της τροφής, η ποσότητα της διατροφής που θα προσλαμβάνεται από τον οργανισμό θα μεταβάλλεται σε σχέση και άρα θα μεταφέρει πληροφορίες σχετικές με το φαινότυπο». Η σύλληψη της αιτιακής πληροφορίας πάσχει επειδή δε μπορεί να διακρίνει αν τα γονίδια είναι οι μόνοι φορείς σημαντικών ή κρίσιμων πληροφοριών. Από αυτήν την άποψη, τα γονίδια είναι μία μόνο πηγή πληροφοριών. Εκτός από τα γονίδια, πληροφορίες περιέχουν το περιβάλλον του οργανισμού και το υπόλοιπο κυτταρικό υλικό. Αυτό ονομάζεται «θέση μερικότητας» (Griffiths and Gray 1994). Η θεωρία αυτή υποστηρίζει την ανάγκη μιας άλλης έννοιας της πληροφορίας, όπου τα γονίδια δε θα θεωρούνται η μοναδική πηγή πληροφοριών.

Έχουν επίσης εξετασθεί εναλλακτικές έννοιες της πληροφορίας, σχετικά με τη λειτουργία των γονιδίων. Μια από αυτές αναφέρεται στην προτιθέμενη, σημαντική ή τελεοσημαντική πληροφορία. Αυτή η έννοια πληροφορίας έτυχε σημαντικής πρόσφατης υπεράσπισης από τον Maynard Smith, αλλά με κάποιες παραλλαγές και από τους Daniel Dennett (Dennett 1995), Kim Sterelny (Sterelny, Smith et al 1996 και Sterelny 2000).

Ο όρος «τελεοσημαντική» είναι δανεισμένος από το «φιλοσοφικό πρόγραμμα για την αναγωγή των εννοιών στις βιολογικές λειτουργίες (τελεολογία) και στη συνέχεια για την αναγωγή των βιολογικών λειτουργιών στη φυσική επιλογή». Το πρόγραμμα αυτό εισήχθησαν οι Ruth Millikan και Karen Neander. Μια καλή ανάλυση για τις σχέσεις μεταξύ των φιλοσόφων του νου και των εννοιών της βιολογικής πληροφορίας παρέχεται από τον Godfrey-Smith (1999). Αυτή η ανάλυση στηρίζεται, σύμφωνα με τη φιλοσοφία του νου, στην παραδοχή ότι η λεκτική εκφορά μιας νοητικής κατάστασης, όπως μια πρόταση, έχει τη βιολογική λειτουργία της αναπαράστασης μιας ορισμένης κατάστασης του κόσμου και ότι η λειτουργία αναδύεται ως αποτέλεσμα επιλογής. Εφαρμόζοντας αυτήν την άποψη στο τρέχον πρόβλημα μπορεί κανείς να συμπεράνει ότι «ένα γονίδιο περιλαμβάνει πληροφορία σχετικά με τις αναπτυξιακές δράσεις τις οποίες έχει επιλεγεί να παρά- ➔

⇒ γει» (Sterelny and Griffiths 1999 p. 105). Η Maynard Smith θέτει το θέμα ως εξής: «Το DNA περιέχει πληροφορίες που έχουν προγραμματισθεί μέσω φυσικής επιλογής» (Maynard Smith 2000a p. 190). Εδώ η πληροφορία στο γονίδιο είναι ανάλογη με μια πρόταση στο μυαλό. Το γονίδιο περιέχει πληροφορία όχι ως αποτέλεσμα σημαντικής αιτιακής αλληλεξάρτησης με το φαινότυπο, αλλά ως αποτέλεσμα του ότι λειτουργεί για να παράγει τον απαραίτητο φαινότυπο. Οι υπερασπιστές αυτής της άποψης ισχυρίζονται ότι αυτό επιτρέπει στην πληροφορία να μείνει η ίδια, ακόμη και αν αλλάξουν οι συνθήκες της μεταφοράς της. Εάν μεταβληθούν οι συνθήκες στο κανάλι αγωγής, η γονιδιακή πληροφορία απλώς δε διαβιβάσθηκε ορθά. Αυτή η εκδοχή θα μπορούσε να λύσει το πρόβλημα του να καταστούν τα γονίδια οι αποκλειστικοί φορείς της πληροφορίας, ως εάν οι άλλοι συντελεστές της ανάπτυξης να μην περιέχουν (τελεοσημαντικές) πληροφορίες (Sterelny and Griffiths 1999 p. 104).

Αν και η τελεοσημαντική εκδοχή φαίνεται υποσχόμενη, η συζήτηση δεν έχει ακόμη τελειώσει. Η εκδοχή αυτή μας δίνει μια δυνατότητα: εάν μια αναπτυξιακή αιτία, μέρος για παράδειγμα των συστατικών του κυττάρου, βρεθεί ότι είναι κληρονομούμενη και αφορά μια λειτουργία παραγωγής ενός συγκεκριμένου αναπτυξιακού αποτελέσματος, τότε, εξ ορισμού, περιέχει επίσης τελεοσημαντική πληροφορία. Πολλοί βιολόγοι υποστηρίζουν ότι υπάρχουν πράγματι τέτοιοι μηχανισμοί: Sarkar (1996, 2000), Griffiths (1994), Gray (2001), Fox Keller (Fox Keller 2000), Sterelny (1996, 2000). Αυτοί οι συγγραφείς κατέληξαν σε σημαντικά συμπεράσματα αποδεικνύοντας την ύπαρξη μηχανισμών που δεν είναι γονίδια, αλλά κληρονομούνται και εμπεριέχουν τη δυνατότητα της παραγωγής συγκεκριμένων αναπτυξιακών αποτελεσμάτων.

Θεωρητικοί των αναπτυξιακών συστημάτων, όπως οι Griffiths και Gray, χρησιμοποίησαν αυτά τα συμπεράσματα για να δείξουν ότι οι τελεοσημαντικές πληροφορίες συμβιβάζονται επίσης με τη θεωρία της μερικότητας. Φθάνουν μέχρι το σημείο να υποστηρίξουν ότι καμία εκδοχή της έννοιας της πληροφορίας δε μπορεί να διακρίνει τα γονίδια ως τους κρίσιμους φορείς της ανάπτυξης. Τα γονίδια είναι απλώς συνταξιδιώτες δίπλα σε όλα τα εξαρτήματα του κυττάρου και το περιβάλλον διαμορφώνει τα αναπτυξιακά αποτελέσματα. Άλλοι, όπως οι Sarkar και Fox Keller είναι περισσότερο επιφυλακτικοί και δέχονται μια εκδοχή της πληροφορίας που μπορεί να διακρίνει τα γονίδια ως ένα ιδιαίτερο είδος μεταφοράς της πληροφορίας.

Τέλος, ερευνητές όπως η Maynard Smith και άλλοι επιχειρήσαν να ενισχύσουν την έννοια της τελεοσημαντικής πληροφορίας ώστε να διατηρηθεί μια βιολογική διάκριση που φαίνεται σημαντική: «η θεμελιωδέστερη διάκριση στη βιολογία είναι μεταξύ νουκλεϊνικών οξέων, που έχουν ρόλο μεταφορών της πληροφορίας και πρωτεϊνών, που εκφράζουν τον φαινότυπο» (Maynard Smith and Szathmary 1995 p. 61).

Τρεις συνεκτικές εκδοχές εμφανίζονται σήμερα ως απαντήσεις στο ερώτημα «που βρίσκεται η βιολογική πληροφορία;»

1. Η πληροφορία βρίσκεται στο DNA και σε άλλες αλληλοουσίες νουκλεοτιδίων. Τα άλλα κυτταρικά εξαρτήματα δεν περιέχουν πληροφορίες.

2. Η πληροφορία βρίσκεται στο DNA, σε άλλες αλληλοουσίες νουκλεοτιδίων και άλλους κυτταρικούς μηχανισμούς, π.χ. σε κυτταροπλασματικές ή εξωκυτταρικές πρωτεΐνες. Επίσης, σε άλλα μέσα, π.χ. στο εμβρυϊκό περιβάλλον ή σε συστατικά του ευρύτερου οργανικού περιβάλλοντος.

3. Το DNA και άλλες νουκλεοτιδικές αλληλοουσίες δεν περιέχουν πληροφορίες και το ίδιο ισχύει και για τους άλλους κυτταρικούς μηχανισμούς.

Αυτές οι εκδοχές μπορούν να διαβαστούν είτε οντολογικά είτε ευρηστικά (μια εισαγωγή στην ευρηστική παρέχεται από τον Richardson, 1999). Η οντολογική ερμηνεία του 1 είναι ότι υπάρχει ένα ορισμένο είδος πληροφορίας που υπάρχει μόνο στο DNA και στις άλλες νουκλεοτιδικές αλληλοουσίες. Κατά συνέπεια, είναι μάταια οποιαδήποτε άλλη εργασία επάνω στην έννοια της πληροφορίας. Η ευρηστική ερμηνεία του 1 είναι ότι, θεωρώντας ότι η πληροφορία βρίσκεται στο DNA και στα υπόλοιπα νουκλεοτιδία, είναι ο καταλληλότερος οδηγός για ορθές απαντήσεις σε ερευνητικά ερωτήματα της αναπτυξιακής βιολογίας. Η φιλοσοφική συζήτηση που παρουσιάστηκε σε αυτό το κείμενο εστιάζεται σε αναπτυσσόμενες ή προκλητικές προσεγγίσεις της πληροφορίας που συνάδουν με την οντολογική ερμηνεία του 1. Για παράδειγμα, οι Smith και Dennett είναι υποστηρικτές της εκδοχής 1. Πολλοί περισσότεροι υποστηρίζουν ότι η εκδοχή 2 έχει οντολογικό νόημα μόνο όταν κανείς υιοθετήσει μία αιτιακή έννοια της πληροφορίας. Ωστόσο, από τα παραπάνω καθίσταται φανερό ότι και άλλοι παράγοντες με σημαντικό αναπτυξιακό ρόλο μπορούν να χαρακτηρισθούν ως μεταφορείς τελεοσημαντικών πληροφοριών.

Οι υπερασπιστές της θεωρίας των αναπτυξιακών συστημάτων, όπως ο Sarkar (Sarkar 1996) πησιάζουν την εκδοχή 2. Εξ όσων γνωρίζουμε μόνο ένας φιλόσοφος, ο

Ken Waters (Waters 2000) έχει μέχρι σήμερα παρουσιάσει μια συνεκτική υπεράσπιση της εκδοχής 3. Ο Waters αναφέρει ότι η περί πληροφορίας συζήτηση στη βιολογία είναι παραπλανητική και πρέπει να αντικατασταθεί από μια ορολογία καθαρά αιτιακή (causal talk), δηλαδή ότι είναι πολύ πρακτικότερο για τους βιολόγους το να αναλύουν την ανάπτυξη με όρους αιτίου και αποτελέσματος, αντί να μιλούν για πληροφορίες.

Αυτή η ανασκόπηση δείχνει ότι σήμερα οι φιλόσοφοι συνεργάζονται με τους θεωρητικούς βιολόγους για την επεξεργασία γόνιμων εννοιών της πληροφορίας που θα μας βοηθήσουν να κατανοήσουμε ορθά την ορολογία της πληροφορίας, έτσι όπως χρησιμοποιείται σήμερα στη βιολογία. Αυτή η συνεργασία είναι σήμερα σε πλήρη εξέλιξη και δεν έχει καταλήξει ακόμη σε οριστικά συμπεράσματα.

Βιβλιογραφία

1. Alberts B et al. The molecular biology of the cell. New York: Garland; 1994.
2. Dennett DC. Darwin's dangerous idea. New York: Simon and Schuster; 1995.
3. Fox Keller E. Decoding the genetic program: Or, some circular logic in the logic of circularity. In: Beurton PJ, Falk R, Rheinberger H, editors. The Concept of the Gene in Development and Evolution. Cambridge: Cambridge University Press; 2000. p. 159-77.
4. Godfrey-Smith P. Genes and Codes: Lessons from the philosophy of mind? In: Hardcastle VG, editor. Where biology meets psychology: philosophical essays. Cambridge: MIT Press; 1999. p. 305-32.
5. Godfrey-Smith P. On the theoretical role of "genetic coding". Philosophy of Science 2000; 67:26-44.
6. Gray RD. Selfish genes or developmental systems? Thinking about evolution: historical, philosophical, and political perspectives. In: Singh RS, Krimbas CB, Paul DB, Beatty J, editors. Cambridge: Cambridge University Press; 2001. p. 184-207.
7. Griffiths PE, Gray RD. Developmental systems and evolutionary explanation. Journal of Philosophy 1994; 91:277-304.
8. Maynard Smith J. Shaping life. New Haven: Yale University Press; 1998.
9. Maynard Smith J. The concept of information in biology. Philosophy of Science 2000a; 67:177-94.
10. Maynard Smith J, Szathmary E. The major transitions in evolution. Oxford: Oxford University Press; 1995.
11. Morange M. A history of molecular biology. Cambridge: Harvard University Press; 1998.
12. Richardson R. Heuristics and satisficing. A companion to cognitive science. Bechtel W et al. Oxford: Blackwell; 1999. p. 566-75.
13. Sarkar S. Biological information: A skeptical look at some central dogmas of molecular biology. In: S. Sarkar, editor. The philosophy and history of molecular biology: new perspectives. Dordrecht: Kluwer; 1996. p. 187-231.
14. Sarkar S. Information in genetics and developmental biology. Philosophy of Science 2000; 67:208-13.
15. Schrodinger E. What is life? The physical aspects of the living cell. Cambridge: Cambridge University Press; 1944.
16. Sterelny K. The "genetic program" program: A commentary on Maynard Smith on information in biology. Philosophy of Science 2000; 67:195-201.
17. Sterelny K., Griffiths PE. Sex and Death. Chicago: University of Chicago Press; 1999.
18. Sterelny K, Smith K, et al. The extended replicator. Biology and Philosophy 1996; 11: 377-403.
19. Waters K. Molecules made biological. Revue Internationale de Philosophie 2000; 539-64.
20. Williams GC. Adaptation and natural selection. Princeton: Princeton University Press; 1966.
21. Williams GC. Natural selection: Domains, levels and challenges. New York: Oxford University Press; 1992.