

Open Schools Journal for Open Science

Vol 3, No 8 (2020)



Γονιδιακές μεταλλάξεις και εξέλιξη

Ελένη Αυγενάκη, Αλεξάνδρα Ντρουμπογιάννη

doi: [10.12681/osj.24371](https://doi.org/10.12681/osj.24371)

Copyright © 2020, Ελένη Αυγενάκη, Αλεξάνδρα Ντρουμπογιάννη



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

To cite this article:

Αυγενάκη Ε., & Ντρουμπογιάννη Α. (2020). Γονιδιακές μεταλλάξεις και εξέλιξη. *Open Schools Journal for Open Science*, 3(8). <https://doi.org/10.12681/osj.24371>



Γονιδιακές μεταλλάξεις και εξέλιξη

Αυγενάκη Ελένη¹, Ντρουμπογιάννη Αλεξάνδρα²

¹1^ο ΓΕΛ Ρεθύμνου, Ρέθυμνο, Ελλάδα

²Βιολόγος, Med, MSc, Δρ. Βιοηθικής, 1^ο ΓΕΛ Ρεθύμνου, Ρέθυμνο, Ελλάδα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία εξετάζονται δύο επιμέρους ερευνητικά ερωτήματα που αφορούν αφενός στους παράγοντες και μηχανισμούς γένεσης μεταλλάξεων στον άνθρωπο, και αφετέρου στη συνεισφορά των μεταλλάξεων στην αύξηση της γενετικής ποικιλομορφίας στο ανθρώπινο είδος. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προέκυψαν με βιβλιογραφική επισκόπηση σχετικών ερευνών εξασφαλίζοντας σημαντικά στοιχεία τα οποία βοηθούν στην απάντηση των δύο προηγούμενων ερευνητικών ερωτημάτων, όσο και στην τεκμηρίωση της συζήτησης σχετικά με τον αποχαρακτηρισμό ή όχι των μεταλλάξεων ως αναγκαστικά επιβλαβών για την ανθρώπινη υγεία.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

μεταλλάξεις, μεταλλαξογόνοι παράγοντες, γενετική ποικιλομορφία, εξέλιξη, φυσική επιλογή

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι γενετικές μεταλλάξεις είναι αλλαγές στην αλληλουχία του DNA που προκαλούνται είτε τυχαία, είτε από τη δράση μεταλλαξογόνων παραγόντων του περιβάλλοντος. Οι γονιδιακές μεταλλάξεις μπορεί να προκαλέσουν «υποβοηθητικές» ή βλαβερές αλλαγές στην ανθρώπινη υγεία, επιβίωση αλλά και εξέλιξη του ανθρωπίνου είδους.

Στην παρούσα εργασία, αρχικώς αποσαφηνίζονται οι όροι «μετάλλαξη» και «μεταλλαξογόνοι παράγοντες», ακολούθως πραγματοποιείται εκτενής αναφορά τόσο στις επιβλαβείς όσο και





στις επωφελείς μεταλλάξεις και στο τέλος συζητείται η συμβολή των μεταλλάξεων στην εξέλιξη.

ΜΕΤΑΛΛΑΞΕΙΣ- ΜΕΤΑΛΛΑΞΟΓΟΝΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Οι μεταλλάξεις είναι οι αλλαγές στην αλληλουχία των βάσεων του DNA που συνήθως δημιουργούν έναν διαφορετικό φαινότυπο, χωρίς όμως αυτό να συμβαίνει σε όλες τις περιπτώσεις των μεταλλάξεων.

Οι μεταλλάξεις μπορούν να προκληθούν είτε με «αυτόματο» τρόπο, δηλαδή λόγω κάποιου σφάλματος στην αντιγραφή του DNA ή από λάθη στο διαχωρισμό των ομόλογων χρωμοσωμάτων ή αδελφών χρωματίδων στα διάφορα στάδια της μείωσης, είτε από περιβαλλοντικούς παράγοντες, για παράδειγμα διάφορες χημικές ουσίες (χρωστικές, καφεΐνη, φορμαλδεΰδη) και ακτινοβολίες (ακτίνες Χ, ακτίνες Υ, υπεριώδης ακτινοβολία).

Ο ανθρώπινος πληθυσμός εκτίθεται με πολλούς τρόπους σε ακτινοβολίες π.χ. για ιατρικούς σκοπούς (ακτινοσκόπησεις, ακτινοθεραπεία). Επίσης, εκτίθεται στην κοσμική ακτινοβολία, που φθάνει στη Γη από το διάστημα, και στην ακτινοβολία που εκπέμπουν τα ραδιενεργά κοιτάσματα. Κατά περιόδους, εκτίθεται σε μεγάλα ποσά ακτινοβολίας που ελκύνονται κατά τη διάρκεια δοκιμών ατομικών όπλων και σε πυρηνικά ατυχήματα. (Αλεπόρου et al. ,2017).

Ωστόσο, υπάρχουν ειδικά ένζυμα που επιδιορθώνουν τα λάθη που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της αντιγραφής του DNA, ώστε η πιθανότητα λάθους να περιορίζεται σε 1 στα 10 τρισεκατομμύρια. Οι μικρότερες σε έκταση αλλαγές ονομάζονται γονιδιακές μεταλλάξεις και οι μεγάλες σε έκταση αλλαγές στο γονιδίωμα αποτελούν τις χρωμοσωμικές ανωμαλίες. Οι αλλαγές στον αριθμό των χρωμοσωμάτων ονομάζονται αριθμητικές χρωμοσωμικές ανωμαλίες, ενώ οι αλλαγές στη δομή τους ονομάζονται δομικές χρωμοσωμικές ανωμαλίες (Αλεπόρου et al. ,2017). Γονιδιακές μεταλλάξεις μπορεί να συμβούν σε οποιοδήποτε κύτταρο του οργανισμού. Η αλλαγή και μίας μόνο βάσης μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένη δομή ,παραδείγματος χάριν της αιμοσφαιρίνης με αποτέλεσμα τα ερυθρά αιμοσφαίρια στο αίμα να έχουν δρεπανοειδές σχήμα (δρεπανοκυτταρική αναιμία), γεγονός που προκαλεί σοβαρότατα προβλήματα στην κυκλοφορία του αίματος και τη λειτουργία των οργάνων.





Τα κύτταρα έχουν μια ποικιλία ειδικών ενζύμων -διορθωτών που μπορούν να εντοπίσουν και να διορθώσουν σφάλματα στον κώδικα του DNA. Όμως, αν το γονίδιο που ελέγχει ένα ένζυμο-διορθωτή υποστεί μια μετάλλαξη, το γονίδιο θα παράγει ένα ένζυμο που δεν μπορεί να κάνει αυτή την δουλειά. Αν και οι διορθωτές του DNA χάνουν μόνο το ένα σε κάθε 100.000 λάθη, 10 φορές πιο πολλά λάθη μπορεί να περάσουν απαρατήρητα, αν τα ένζυμα δεν εργαστούν (Αλεπόρου et al. ,2017).

Ωστόσο, ένα σφάλμα στη σειρά των βάσεων σ' ένα γονίδιο δεν προκαλεί απαραίτητα πρόβλημα. Για παράδειγμα ένα τέτοιο μεταλλαγμένο ένζυμο επιδιόρθωσης, κάνει ένα άτομο με συγκεκριμένη μετάλλαξη γονιδίου επιρρεπές στην εμφάνιση καρκίνου του δέρματος, μετά όμως από παρατεταμένη έκθεση στον ήλιο.

Εξάλλου, αν κατά τη διάρκεια της μείωσης συμβεί το φαινόμενο του «μη-αποχωρισμού», δηλαδή δεν πραγματοποιηθεί φυσιολογικά ο διαχωρισμός των ομόλογων χρωμοσωμάτων, τότε δημιουργούνται γαμέτες με μεγαλύτερο ή μικρότερο αριθμό χρωμοσωμάτων. Έτσι, τα άτομα που προέρχονται από αυτούς τους γαμέτες έχουν λανθασμένη ποσότητα γενετικού υλικού, με αποτέλεσμα να μην αναπτύσσονται φυσιολογικά. Τα άτομα που έχουν περίσσεια ή έλλειψη χρωμοσωμάτων ονομάζονται ανευπλοειδή. Η απουσία ενός χρωμοσώματος ονομάζεται μονοσωμία και οδηγεί στο θάνατο, ενώ η ύπαρξη ενός επιπλέον ονομάζεται τρισωμία.

Οι δομικές χρωμοσωμικές ανωμαλίες είναι αλλαγές ενός ή περισσότερων χρωμοσωμάτων. Η δημιουργία τέτοιων μεταλλάξεων οφείλεται σε μια μεγάλη ποικιλία μηχανισμών. Ανάλογα με το είδος της αλλαγής οι δομικές χρωμοσωμικές ανωμαλίες χωρίζονται σε ελλείψεις, διπλασιασμούς, αναστροφές και μετατοπίσεις.

Στις ελλείψεις έχουμε απώλεια γενετικού υλικού, στους διπλασιασμούς έχουμε περίσσεια γενετικού υλικού, στις αναστροφές έχουμε αλλαγή στη διάταξη του γενετικού υλικού και τέλος στις μετατοπίσεις έχουμε θραύση ενός τμήματος του χρωμοσώματος και επανένωσης του με ένα άλλο μη ομόλογο χρωμόσωμα(Αλεπόρου et al. ,2017).





ΜΕΤΑΛΛΑΞΕΙΣ : « ΕΠΙΒΛΑΒΕΙΣ Ή ΕΠΩΦΕΛΕΙΣ;»

Ιστορικά, η μετανάστευση πληθυσμών σε νέες γεωγραφικές περιοχές οδήγησε πιθανόν στην εμφάνιση γονιδίων που βοήθησαν τους ανθρώπους να προσαρμοστούν στο περιβάλλον τους. Σε τέτοιες περιβαλλοντικές προσαρμογές μπορεί να οφείλονται οι παραλλαγές στο χρώμα και την ανάπτυξη ανθρώπων που ζουν σε διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη. Για παράδειγμα, η απόχρωση του σκούρου δέρματος όσων ανθρώπων ζουν σε τροπικές χώρες μπορεί να τους προστατεύει από τις βλαβερές επιδράσεις του ηλίου. Το ανοιχτόχρωμο δέρμα ανθρώπων που ζουν σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη φαίνεται ότι είναι προσαρμογή, που βοηθάει τα κύτταρα του δέρματος τους να παράγουν μια επαρκή ποσότητα βιταμίνης D, παρά το περιορισμένο ηλιακό φως (ygeiaonline.gr).

Παράλληλα οι χρωμοσωμικές ανωμαλίες συχνά αποτελούν αιτία σοβαρών συνδρόμων, όπως το σύνδρομο Down που οφείλεται στην παρουσία ενός χρωμοσώματος που ανήκει στο ζεύγος 21. Κατά τη διαδικασία δημιουργίας των γαμετών, παρατηρείται μη αποχωρισμός των χρωμοσωμάτων του 21^{ου} ζεύγους που οδηγεί σε ωάρια με δύο χρωμοσώματα 21. Η γονιμοποίηση αυτού του ωαρίου με ένα φυσιολογικό σπερματοζωάριο, δίνει ζυγωτό με τρία χρωμοσώματα 21. Η τρισωμία 21 παρουσιάζεται με συχνότητα μία στις εννιακόσιες γεννήσεις και αυξημένη πιθανότητα στις γυναίκες άνω των 35 ετών.

Ακόμα ένα παράδειγμα μεταλλάξεων είναι η **φαινυλκετονουρία (PKU = Phenyl Keton Urea)** η οποία είναι μία ασθένεια που προκαλείται από την έλλειψη του ενζύμου που στα φυσιολογικά άτομα, μετατρέπει το αμινοξύ φαινυλαλανίνη σε τυροσίνη, με αποτέλεσμα τη συσσώρευση φαινυλαλανίνης. Στα άτομα που είναι ομόζυγα για το υπολειπόμενο μεταλλαγμένο γονίδιο παρεμποδίζεται η φυσιολογική ανάπτυξη και λειτουργία των κυττάρων του εγκεφάλου, με συνέπεια τη διανοητική καθυστέρηση. Εάν η ασθένεια ανιχνευθεί νωρίς, κατά τη νεογνική ηλικία, τότε η εμφάνιση των συμπτωμάτων που σχετίζονται με αυτήν μπορεί να αποφευχθεί με τη χρησιμοποίηση, εφ' όρου ζωής, κατάλληλου διαιτολογίου με περιορισμένη ποσότητα φαινυλαλανίνης (Αλεπόρου et al. ,2017).

Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις όπου μια μετάλλαξη μπορεί να έχει ελάχιστη ή και καμία





επίδραση στην κατασκευή και τη λειτουργικότητα μιας πρωτεΐνης και το άτομο να μην παρουσιάζει καμία διαταραχή. Οι μεταλλάξεις αυτές ονομάζονται ουδέτερες ή σιωπηλές.

Αξίζει όμως να σημειωθεί ότι στις περισσότερες περιπτώσεις, οι μεταλλάξεις είναι επιβλαβείς. Τυχαίες διακυμάνσεις συμβαίνουν στη συχνότητα μερικών γονιδίων σ' έναν πληθυσμό, από τη μια γενιά στην άλλη. Συχνότητα γονιδίων είναι η συχνότητα μιας συγκεκριμένης μορφής ενός γονιδίου, σε σύγκριση με το σύνολο όλων των μορφών εκείνου του γονιδίου. Σημαντικό είναι να σημειωθεί το γεγονός ότι, απρόοπτες αλλαγές στη συχνότητα του γονιδίου παρατηρούνται πιο πολύ σε μικρούς, απομονωμένους πληθυσμούς. Με την πάροδο των γενεών, αυξήσεις στη συχνότητα μερικών γονιδίων τείνουν να κάνουν τα άτομα αυτών των πληθυσμών πιο όμοια, από όσο θα ήταν σε διαφορετικές συνθήκες.

Σύμφωνα με τη θεωρία της Φυσικής Επιλογής, τα διάφορα είδη φυτικών και ζωικών οργανισμών που υπάρχουν σήμερα, προέκυψαν από απλούστερες προγονικές μορφές με σταδιακή διαφοροποίηση των χαρακτηριστικών τους. Αυτή η διαφοροποίηση οφείλεται σε προσθήκη γενετικής πληροφορίας στο DNA των προγονικών μορφών, με διαδοχικές τροποποιήσεις του γενετικού υλικού, μέσω ενός μεγάλου πλήθους αλληπάλληλων ευνοϊκών μεταλλάξεων οι οποίες συνέβησαν εντελώς τυχαία. Με τη συσσώρευση όλων αυτών των μεταλλάξεων, οι οργανισμοί απέκτησαν σταδιακά νέες ιδιότητες και εξελίχθηκαν σιγά-σιγά σε ανώτερα είδη.

Σε αντίθεση με την άποψη αυτή διατυπώνεται και η άποψη ότι δεν έχει βρεθεί μέχρι σήμερα καμία μετάλλαξη η οποία να είναι αμιγώς ευεργετική. Υπάρχουν απλώς μεμονωμένες περιπτώσεις μεταλλάξεων που προσδίδουν μεν ένα πλεονέκτημα επιβίωσης σε έναν οργανισμό αλλά αυτό το πλεονέκτημα έχει ισχύ μόνο κάτω από πολύ συγκεκριμένες συνθήκες περιβάλλοντος, καθώς υπάρχει εις βάρος κάποιας άλλης φυσιολογικής λειτουργίας η οποία έχει καταστραφεί λόγω της μετάλλαξης. (*"Χριστιανισμός και Επιστήμη" της 15/01/2009*).

Για παράδειγμα, άνθρωποι που φέρουν μια μετάλλαξη σε ένα γονίδιο που ονομάζεται CCR5, δεν μπορούν να προσβληθούν από τον ιό του AIDS. Όμως η μετάλλαξη αυτή είναι χρήσιμη μόνο αν τα άτομα βρεθούν σε συνθήκες έκθεσης στον ιό του AIDS, γιατί γενικά επιφέρει στον οργανισμό άλλες σοβαρές επιπλοκές. Συγκεκριμένα έχει βρεθεί ότι τα άτομα που φέρουν αυτή τη μετάλλαξη έχουν περισσότερες πιθανότητες να προσβληθούν από τον ιό του Δυτικού Νείλου





και την Ηπατίτιδα C. Άρα οι άνθρωποι που έχουν προσβληθεί από αυτή τη μετάλλαξη έχουν πλεονέκτημα επιβίωσης σε συνθήκες έκθεσης στον ιό του AIDS ,ενώ οι αυτοί που δεν έχουν αυτή τη μετάλλαξη έχουν πλεονέκτημα επιβίωσης σε συνθήκες έκθεσης στον ιό του Δυτικού Νείλου ή στην Ηπατίτιδα C. Επιπλέον όλες οι γενετικές διαφορές μεταξύ ανθρώπων, συμπεριλαμβανόμενων και σωματικών χαρακτηριστικών όπως το χρώμα των ματιών, είναι τελικό αποτέλεσμα μεταλλάξεων που έγιναν στο παρελθόν και μεταβιβάστηκαν, στη διάρκεια εκατοντάδων χιλιάδων χρόνων, από τη μια γενιά στην άλλη. Οι πιο πολλές μεταλλάξεις γονιδίων που έχουν διατηρηθεί είναι επωφελείς ή τουλάχιστον δεν είναι επιβλαβείς στην ικανότητα ενός ατόμου να επιβιώσει και ν' αναπαραχθεί.

Μεταλλάξεις που περιορίζουν τις πιθανότητες επιβίωσης και αναπαραγωγής ενός ατόμου θα σβήσουν με την πάροδο των γενεών αντίθετα, μεταλλάξεις με ουδέτερο αποτέλεσμα είναι πιθανόν να διατηρηθούν και εκείνες που αυξάνουν τις πιθανότητες ενός ατόμου να επιβιώσει και αναπαραχθεί τείνουν να γίνουν πιο συνηθισμένες. Αυτές οι γενετικές αλλαγές είναι η βάση της εξέλιξης.

Η ομάδα αίματος είναι ένα παράδειγμα ανθρώπινης παραλλαγής που είναι πιθανόν να είναι αποτέλεσμα ακίνδυνης μετάλλαξης γονιδίων. Η σχετική συχνότητα των διάφορων γονιδίων που καθορίζουν την ομάδα αίματος ποικίλει χαρακτηριστικά από το ένα μέρος του κόσμου στο άλλο. (ygeiaonline.gr)

Ακόμα ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελούν οι άνθρωποι που έχουν αντοχή σε μεγάλο υψόμετρο και άρα λιγότερο οξυγόνο. Συγκεκριμένα, οι κάτοικοι του Θιβέτ και του Νεπάλ διαθέτουν μεγαλύτερη φυσική αντοχή στο μεγάλο υψόμετρο. Τι είναι όμως αυτό που τους επιτρέπει να εργάζονται σε περιβάλλον με λιγότερο οξυγόνο;

Οι Θιβητιανοί ζουν σε υψόμετρο άνω των 4.000 μέτρων και είναι συνηθισμένοι να αναπνέουν αέρα που περιέχει περίπου 40% λιγότερο οξυγόνο σε σχέση με το επίπεδο της θάλασσας. Κατά τη διάρκεια των αιώνων, τα σώματά τους αντιστάθμισαν αυτήν την έλλειψη οξυγόνου, αναπτύσσοντας μεγαλύτερο στέρνο και πνευμόνια που δέχονται περισσότερο αέρα, ώστε σε κάθε εισπνοή να παίρνουν περισσότερο αέρα. Επιπλέον, σε αντίθεση με άλλους ανθρώπους





που όταν υπάρχει λιγότερο οξυγόνο, τα σώματά τους παράγουν περισσότερα ερυθρά αιμοσφαίρια, οι Θιβητιανοί παράγουν λιγότερα.

Αυτό συμβαίνει καθώς αν και παροδικά η αύξηση των ερυθρών αιμοσφαιρίων μπορεί να βοηθήσει στην τροφοδότηση του οργανισμού με οξυγόνο, κάνει το αίμα πιο «πηχτό» όσο περνάει ο καιρός και μπορεί να οδηγήσει σε θρόμβωση και άλλες δυνητικά θανατηφόρες επιπλοκές.

Ακόμη και όταν ζουν σε χαμηλότερα υψόμετρα, οι Θιβητιανοί διατηρούν αυτά τα χαρακτηριστικά και οι ερευνητές έχουν βρει πως δεν πρόκειται για φαινοτυπικές διαφορές, αλλά για γενετική προσαρμογή. Συγκεκριμένα, μια γενετική διαφοροποίηση εντοπίζεται σε ένα τμήμα του DNA, γνωστό και σαν EPAS1, κωδικοποίηση μια ρυθμιστικής πρωτεΐνης. Η συγκεκριμένη πρωτεΐνη ανιχνεύει το οξυγόνο και ελέγχει την παραγωγή των ερυθρών αιμοσφαιρίων, κάτι που εξηγεί για ποιο λόγο δεν παρουσιάζουν μεγάλη παραγωγή των αιμοσφαιρίων όταν το οξυγόνο είναι λιγότερο, όπως οι συνηθισμένοι άνθρωποι (newsbeast.gr).

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Όσον αφορά τη συνεισφορά των μεταλλάξεων στην αύξηση της γενετικής ποικιλομορφίας στο ανθρώπινο είδος, γνωστό είναι ότι η ύπαρξη γενετικής ποικιλότητας μέσα σε έναν πληθυσμό παρέχει στα άτομα τη δυνατότητα ανάπτυξης προσαρμοστικών πλεονεκτημάτων, καθιστώντας τα άτομα αυτά ανταγωνιστικά αποτελεσματικότερα.

Η ανάπτυξη, ωστόσο, διαφόρων προσαρμογών καθώς και η τροποποίησή τους όταν αλλαγές των περιβαλλοντικών συνθηκών το επιβάλουν, είναι δυνατή εξαιτίας της ύπαρξης ευρείας ενδοειδικής γενετικής ποικιλότητας, δηλαδή μεγάλου και ανομοιογενούς γενετικού αποθέματος μέσα στο είδος.

(http://kpe-kastor.kas.sch.gr/biodiversity_site/b/species1.htm).

Οι πληθυσμοί όλων των ειδών τείνουν να αυξηθούν από γενιά σε γενιά με γεωμετρική πρόοδο, όμως το μέγεθός τους παραμένει σχεδόν σταθερό σε κάθε γενιά. Η υπέρμετρη αύξηση ενός πληθυσμού εμποδίζεται από την ύπαρξη περιοριστικών παραγόντων (Αδαμαντιάδου et al., 2017).





Ειδικότερα, μέσα σε μία βιοκοινότητα, τα άτομα ενός πληθυσμού καθώς και οι πληθυσμοί μεταξύ τους ανταγωνίζονται για συγκεκριμένους κάθε φορά πόρους (χώρο, τροφή, κ.ά.). Οι ενδοειδικές (ενδοφυλετικές ή και ανεξαρτήτως φύλου) και διαειδικές αυτές μορφές ανταγωνισμού ευνοούν τα "ισχυρότερα", τα καλύτερα προσαρμοσμένα άτομα. Τα καλύτερα προσαρμοσμένα στο περιβάλλον τους άτομα αναπαράγονται με γρηγορότερους ρυθμούς και η γενετική τους σύνθεση επικρατεί διαμορφώνοντας την εξελικτική πορεία του πληθυσμού και έμμεσα του είδους στο χρόνο.

Συνοψίζοντας, χρειάζεται να επισημανθεί ότι, χωρίς μεταλλάξεις ένας πληθυσμός δεν μπορεί να αλλάξει και να προσαρμοστεί σε καινούριες συνθήκες. Γι' αυτό και οι τυχαίες αλλαγές του DNA αποφέρουν πλεονεκτικές αλλαγές στο φαινότυπο, στη διαδικασία της Φυσικής Επιλογής και κατά συνέπεια στη μετέπειτα εξέλιξη των πληθυσμών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Αδαμαντιάδου, Σμ., Γεωργάτου, Μ., Γιαπιτζάκης, Χ. Λάκκα, Λ., Νοταράς, Δ., Φλωρεντίν, Ν., Χατζηγεωργίου, Γ. Χαντηκωντή, Ολ. (2017) *Βιολογία Γενικής Παιδείας, Γ' Γενικού Λυκείου*. Εκδόσεις Διόφαντος
- [2] Αλαχιώτης, Σ. (2005) *Εισαγωγή στη Γενετική*. Αθήνα: Ελληνικά Γράμματα
- [3] Αλαχιώτης, Σ. (1999) *Η πρόκληση των γονιδίων*. Αθήνα: Καστανιώτης
- [4] Αλεπόρου, Β, Αργυροκαστρίτης, Α., Κομητοπούλου, Α., Πιαλόγλου, Π., Σγουρίτσα, Β. (2017) *Βιολογία Ομάδας Προσανατολισμού Θετικών Σπουδών Γ' τάξης Γενικού Λυκείου*. Εκδόσεις Διόφαντος
- [5] Darwin, C. (2018) *On Natural Selection- Η Φυσική Επιλογή*. Αθήνα : Πατάκης
- [6] Futuyma, D.J. (1998) *Evolutionary Biology*. Third Edition. Sinauer Associates, Sunderland, MA.
- [7] Griffiths, A.J.F. (1999) *Introduction to Genetic Analysis*. 6th/7th ed. New York: W H Freeman & Co
- [8] Jorde, L., Carey, J., Bamshad, M., (2015) *Medical Genetics*, 5th Edition, Kindle Edition- Elsevier
- [9] Suzuki, D., Griffiths, A., Miller, J., Lewontin, R. (2000) *An Introduction to Genetic Analysis*. 7th Edition. New York: W. H. Freeman





ΔΙΚΤΥΟΓΡΑΦΙΑ

Γενετική ποικιλότητα (διαθέσιμο στο http://kpe-kastor.kas.sch.gr/biodiversity_site/b/species1.htm , ανακτήθηκε 20/06/2018)

Ευεργετική συνεισφορά γενετικής μετάλλαξης (διαθέσιμο στο <https://www.newsbeast.gr/weekend/arthro/777312/genetikes-metallaxeis-pou-evqalan-uperanthropous> , ανακτήθηκε 20/06/2018)

Νεοδαρβινισμός Περίληψη της εκπομπής «Χριστιανισμός και Επιστήμη» της 15/01/2009

Ο Κάρολος Δαρβίνος και Η Εξέλιξη (διαθέσιμο στο http://www.wwf.gr/images/pdfs/pe/Darwin_Theory.pdf , ανακτήθηκε 30/10/18)

Σφάλμα στο DNA (διαθέσιμο στο <http://www.ygeiaonline.gr/2008-11-26-18-04-34/78-all-about-health> , ανακτήθηκε 20/06/2018)

