

ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΑΞΕΩΝ ΣΤΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ

Η φύση των μεταλλάξεων

Ως μετάλλαξη ορίζεται κάθε απότομη αλλαγή του γενετικού υλικού ενός κυττάρου, που δεν οφείλεται σε ανασυνδυασμό των γονιδίων και κληρονομείται στους απογόνους.

Ως όρος χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον De Vries.

Πιστεύεται, με τη βοήθεια των μεταλλάξεων είναι δυνατό να δημιουργηθούν νέα γενετικά γνωρίσματα.

Η φύση των μεταλλάξεων

Οι μεταλλάξεις που συμβαίνουν τυχαία και συνέχεια στη φύση, χωρίς την μεσολάβηση του ανθρώπου ονομάζονται φυσικές και θεωρείται ότι αποτελούν την κύρια αιτία δημιουργίας νέας γενετικής παραλλακτικότητας στη φύση.

Οι μεταλλάξεις που προκαλούνται από τον άνθρωπο με τη χρησιμοποίηση μεταλλαξιγόνων παραγόντων ονομάζονται τεχνητές μεταλλάξεις.

Η φύση των μεταλλάξεων

Οι μεταλλάξεις ονομάζονται γονιδιακές όταν περιλαμβάνουν ελλείψεις, ή δομικές αλλαγές μέσα στα φυσικά όρια ενός γονιδίου.

Όταν όμως περιλαμβάνουν αναδιάρθρωση, απώλεια ή διπλασιασμό χρωμοσωματικών τμημάτων, τότε ονομάζονται χρωμοσωματικές.

Η φύση των μεταλλάξεων

Οι περισσότερες μεταλλάξεις είναι επιβλαβείς για ένα οργανισμό και πιθανά θανατηφόρες.

Για να γίνει δυνατή η αναγνώριση κάποιας μετάλλαξης θα πρέπει να έχει συμβεί κάποια φαινοτυπική μεταβολή.

Οι μεταλλάξεις που προκαλούν μικρές αλλαγές σε ποσοτικά γνωρίσματα (π. χ. μέγεθος, φυσιολογική δραστηριότητα, χημική σύσταση, παραγωγικότητα) είναι πιο δύσκολο να ανιχνευθούν.

Η φύση των μεταλλάξεων

Η εμφάνιση μιας απότομης φαινοτυπικής διαφοροποίησης στους απογόνους μιας ομοζύγωτης σειράς μπορεί να οδηγήσει στην υπόθεση ότι έχει συμβεί μια μετάλλαξη.

Αυτό από μόνο του δεν είναι αρκετό για να αποδείξει την ύπαρξη κάποιας μετάλλαξης. Ο νέος φαινότυπος θα μπορούσε να προκληθεί από ανασυνδυασμό των γονιδίων.

Η φύση των μεταλλάξεων

Η διαπίστωση μιας μετάλλαξης είναι πιο δύσκολη στα σταυρογονιμοποιούμενα φυτά και ειδικά για υποτελή αλληλόμορφα (η δράση τους μπορεί να καλύπτεται από το κυρίαρχο γονίδιο).

Στα αυτογονιμοποιούμενα φυτά η φυσική διασταύρωση με τον ανασυνδυασμό των γονιδίων που ακολουθεί, μπορεί να οδηγήσει στον σχηματισμό νέων φαινοτύπων, που θα μπορούσαν να ληφθούν ως μεταλλάξεις.

Π. Χ.,

κάποιοι ερευνητές αφού ακτινοβόλησαν φυτά βρώμης βρήκαν στους απογόνους τους κάποιους διαφορετικούς φαινοτύπους, που θεώρησαν ως μεταλλάξεις.

Διαπιστώθηκε όμως ότι ήταν το αποτέλεσμα κάποιας διασταύρωσης.

Για να αποφανθεί ο Βελτιωτής ότι το συγκεκριμένο φυτό είναι ή όχι προϊόν μετάλλαξης θα πρέπει να καλλιεργήσει τους απογόνους του και να δει αν υπάρχει διάσπαση.

Επίσης, μπορεί να διασταυρώσει το υποτιθέμενο μεταλλαγμένο φυτό με τον γονέα, ή με ένα άλλο φυτό γνωστού γενότυπου, στη συνέχεια να αυτογονιμοποιήσει τους απογόνους του και να μελετήσει τη διάσπαση των φυτών.

Αν το ύποπτο φυτό είναι πραγματικά μεταλλαγμένο τότε δεν θα παρατηρηθεί διάσπαση στους απογόνους του.

Γενικά, στα πειράματα με μεταλλαγμένα φυτά, τα φυτικά υλικά θα πρέπει να χρησιμοποιούνται γενετικά ομοιόμορφα ως προς τα γνωρίσματα που μελετώνται.

Επιπλέον, η επικονίαση θα πρέπει να ελέγχεται αυστηρά, ώστε να αποφευχθεί ή ελεύθερη επικονίαση των φυτών και η ακολουθούμενη διάσπαση.

Είδη μεταλλάξεων

Οι μεταλλάξεις διακρίνονται και σε υποτελείς, όταν οφείλονται στη δράση υποτελών γονιδίων (είναι οι πιο κοινές) και σε κυρίαρχες, όταν οφείλονται στη δράση κυρίαρχων γονιδίων.

Είδη μεταλλάξεων

Αν συμβεί μια μετάλλαξη σε υποτελές σωματικό γονίδιο ενός ομοζύγωτου φυτού, τα αποτελέσματα θα φανούν την επόμενη γενεά, μόνο στα φυτά που φέρουν το γονίδιο σε ομοζύγωτη κατάσταση.

Για να εκδηλωθεί μια μετάλλαξη αμέσως πρέπει και τα δυο αλληλόμορφα να μεταλλαχθούν ταυτόχρονα, αυτό όμως είναι σπάνιο.

Είδη μεταλλάξεων

Αν η μετάλλαξη συμβεί σε κυρίαρχο γονίδιο, τότε θα εμφανισθεί αμέσως, αλλά και αυτό είναι σπάνιο.

Αν οι μεταλλάξεις συμβούν σε σωματικούς ιστούς, τότε ένα μόνο μικρό τμήμα του φυτού (π. χ. ένα από τα αδέρφια) που θα προέρχεται από το μεταλλαγμένο κύτταρο, θα φέρει το μεταλλαγμένο γονίδιο.

Είδη μεταλλάξεων

Αν η υποτελής μετάλλαξη συμβεί σε γαμετικό κύτταρο και ενωθεί αυτό με άλλο γαμέτη (που φέρει το κυρίαρχο γονίδιο) από το σπόρο που θα σχηματισθεί θα προκύψει ετεροζύγωτο φυτό. Αν οι σπόροι του σπαρθούν τότε στους απογόνους του θα παρατηρηθεί διάσπαση.

Είδη μεταλλάξεων

Οι μεταλλάξεις μπορούν να διαχωριστούν (αυθαίρετα) επίσης ανάλογα με το μέγεθος του αποτελέσματος που προκαλούν σε μακρομεταλλάξεις (προκαλούν έντονα αποτελέσματα και γι' αυτό εύκολα διακρίνονται στα ατομικά φυτά) και σε μικρομεταλλάξεις (το αποτέλεσμα δεν είναι ιδιαίτερα έντονο και απαιτούνται ειδικές μετρήσεις για να αποδειχθεί η παρουσία τους).

Τέλος, έχει προταθεί ότι οι μακρο-μεταλλάξεις επηρεάζουν ποιοτικώς κληρονομούμενα γνωρίσματα, ενώ οι μικρο-μεταλλάξεις ποσοτικώς κληρονομούμενα γνωρίσματα, αλλά αυτό δεν φαίνεται να είναι απόλυτο.

Είδη μεταλλάξεων

Οι μακρομεταλλάξεις κίνησαν το ενδιαφέρον των Βελτιωτών, λόγω της ευκολίας με την οποία αναγνωρίζονται.

Στο σόργο έχουν βρεθεί μεταλλαγμένα νάνα φυτά, βιώσιμα και παραγωγικά (είναι όμως η εξαίρεση του κανόνα) και έχουν χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία κοντόσωμων ποικιλιών σόργου.

Είδη μεταλλάξεων

Χρήσιμες μακρομεταλλάξεις βρέθηκαν και στο καλαμπόκι (το γονίδιο της ζάχαρης, που διαφοροποιεί το γλυκό καλαμπόκι από το κοινό και το γονίδιο που χαρακτηρίζει το κηρώδες καλαμπόκι).

Οι περισσότερες όμως μακρομεταλλάξεις έχουν βρεθεί να είναι θανατηφόρες, γιατί προκαλούν μεγάλες αλλαγές στα φυτά (μειωμένη βιωσιμότητα και αυξημένη στειρότητα).

Είδη μεταλλάξεων

Οι μικρομεταλλάξεις πολύ συχνά παραβλέπονται γιατί το αποτέλεσμά τους δεν είναι τόσο φανερό. Η ανάπτυξη όμως ειδικών τεχνικών για την εκτίμηση του γενετικού υλικού και τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων, έκανε τη μέτρηση τους πιο ακριβή.

Οι μικρομεταλλάξεις μπορεί να είναι πιο χρήσιμες από τις μακρομεταλλάξεις, γιατί προκαλούν μικρές αλλαγές και έτσι είναι λιγότερο πιθανό να προκαλέσουν μεγάλη διαταραχή της γενετικής ισορροπίας.

Είδη μεταλλάξεων

Οι μεταλλάξεις, ανάλογα με την προέλευσή τους μπορούν να διακριθούν σε φυσικές και σε τεχνητές ή επαγόμενες.

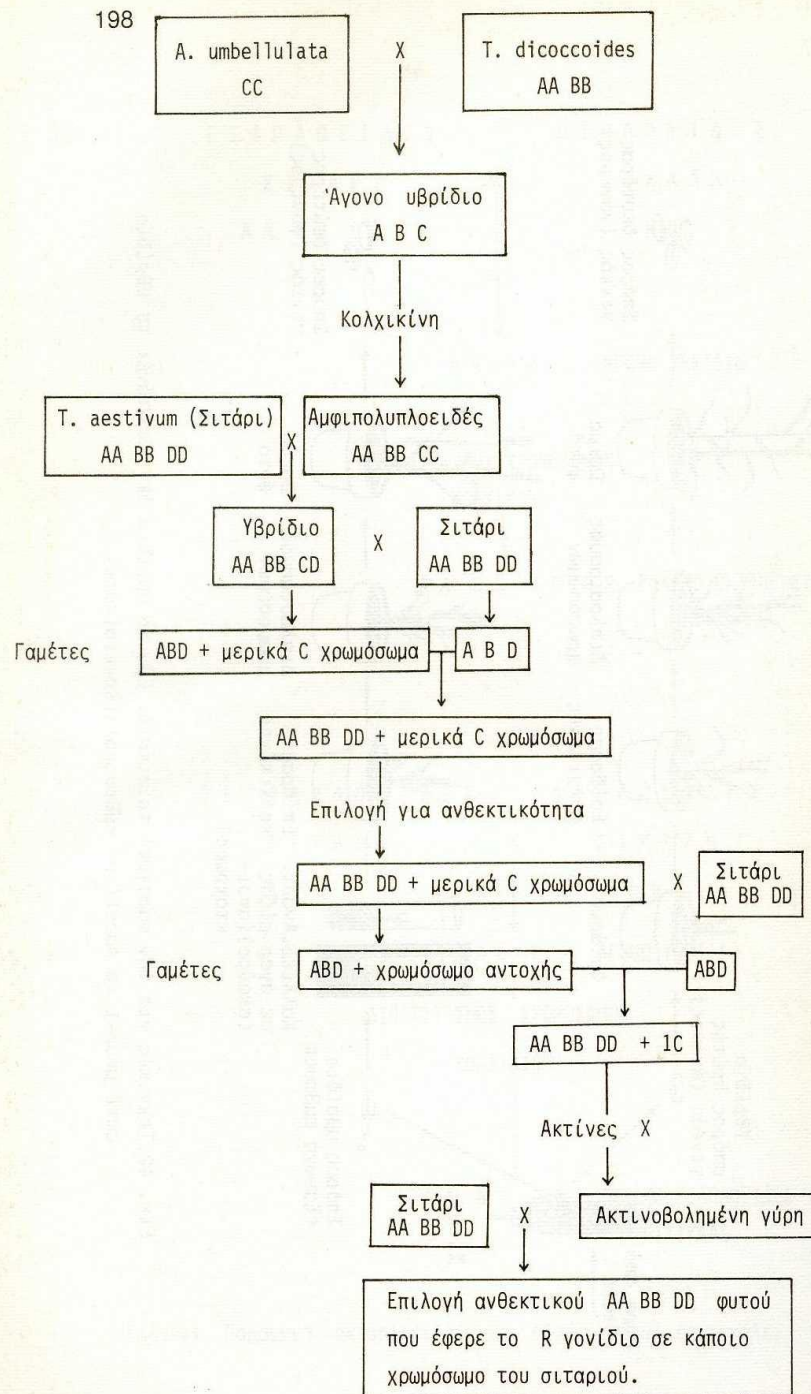
Δεν υπάρχει κάποια διαχωριστική γραμμή που να καθορίζει πότε μια μετάλλαξη θα είναι φυσική και πότε τεχνητή. Όλα τα φυτά στη φύση δέχονται κάποιες μορφές ακτινοβολίας. Επίσης, μια μετάλλαξη του φυτικού υλικού ύστερα από την επίδραση κάποιου μεταλλαξιγόνου παράγοντα, είναι πιο πιθανό να είναι φυσική παρά αποτέλεσμα της δράσης του μεταλλαξιγόνου αυτού παράγοντα.

Η πρώτη αναφορά για την τεχνητή χρησιμοποίηση των μεταλλάξεων έγινε από τον Muller το 1927, ο οποίος με τη βοήθεια των ακτίνων Χ προσπάθησε να αυξήσει τη συχνότητα εμφάνισης των μεταλλάξεων στη Drosophila.

Την επόμενη χρονιά η εργασία αυτή επαναλήφθηκε στο κριθάρι από τον Stadler, που προσπάθησε να αυξήσει τον ρυθμό των μεταλλάξεων χρησιμοποιώντας ακτίνες Χ και ράδιο.

Οι εργασίες αυτές έδειξαν ότι είναι αρκετά πιθανό να αυξηθεί η πρόοδος στη βελτίωση των φυτών, διευρύνοντας τη γενετική παραλλακτικότητα με τη βοήθεια των μεταλλάξεων.

Η προσέγγιση αυτή συχνά αναφέρεται ως βελτίωση με τη βοήθεια μεταλλάξεων και παρόλη την αρχική αισιοδοξία, τα πρακτικά αποτελέσματα της εφαρμογής της.



Το γενετικό υλικό που δημιουργείται με την τεχνική αυτή είναι ιδιαίτερα ασταθές. Όμως η συμβολή της στη γενετική έρευνα ήταν αρκετά σπουδαία, γιατί βοήθησε στην κατανόηση της γενετικής διαδικασίας και των νόμων της κληρονομικότητας.

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η συχνότητα με την οποία μεταλλάσσεται ένα ατομικό γονίδιο ποικίλει ευρέως. Αυτό κάνει ιδιαίτερα δύσκολή τη μελέτη της συχνότητας των φυσικών μεταλλάξεων.

Πίνακας. Αριθμός ποικιλιών που έχουν δοθεί στην καλλιέργεια και έχουν δημιουργηθεί με τη βοήθεια των μεταλλάξεων σε διάφορες χώρες.

Χώρα	Φυτά που αναπαράγονται με σπόρους			Φυτά που αναπαράγονται βλαστικά				Σύνολο
	Σιτηρά	Λοιπά	Σύνολο	Ανθοκομικά	Φρούτα	Λοιπά	Σύνολο	
Αίγυπτος		1	1					1
Αϊτή	1		1					1
Ακτή Ελεφαντοστού	16		16					16
Αλγερία		1	1					1
Αργεντινή	1	2	3		1		1	4
Αυστραλία	2	4	6					6
Αυστρία	13	1	14		1		1	15
Βέλγιο		2	2	18		1	19	21
Βιετνάμ	6	3	9					9
Βουλγαρία	12	7	19		1		1	20
Βραζιλία	29	1	30					30
Γαλλία	5	2	7	14	7		21	28
Γερμανία	27	8	35	50	1		51	86
Γιουγκοσλαβία, τέως		1	1					1
Δανία	5		5					5
Ελβετία	1		1					1
Ελλάδα	1		1					1
Ε. Σ. Σ. Δ., τέως	37	33	70	18	8		26	96
Ηνωμένο Βασίλειο	17		17	1			1	18
Η. Π. Α.	30	9	39	27	1	8	36	75

Πίνακας (συνέχεια). Αριθμός ποικιλιών που έχουν δοθεί στην καλλιέργεια και έχουν δημιουργηθεί με τη βοήθεια των μεταλλάξεων σε διάφορες χώρες.

Χώρα	Φυτά που αναπαράγονται με σπόρους			Φυτά που αναπαράγονται βλαστικά				Σύνολο
	Σιτηρά	Λοιπά	Σύνολο	Ανθοκομικά	Φρούτα	Λοιπά	Σύνολο	
Ιαπωνία	40	25	65	18		4	22	87
Ινδία	35	65	100	84		12	96	196
Ινδονησία	3	3	6					6
Ιταλία	11	8	19		2	2	4	23
Καμερούν	3		3					3
Καναδάς	2	5	7	4	8		12	19
Κένυα		2	2					2
Κίνα	206	43	249	7	4	4	15	264
Κορέα	2	3	5					5
Νορβηγία	2		2					2
Ουγγαρία	4		4	1			1	5
Ολλανδία		2	2	169			169	171
Πακιστάν	4	7	11					11
Πολωνία		13	13					13
Πορτογαλία	1		1					1
Σενεγάλη	2		2					2
Ταϊλάνδη	3	1	4	3	1		4	8
Τσεχοσλοβακία	31	2	33	1			1	34
Φιλανδία	10		10					10
Φιλιππίνες	3		3					3
Χιλή	1		1					1



Αρρενόστειρη φόβη
(αριστερά) που προήλθε
από μετάλλαξη στο όγδοο
χρωμόσωμα του
καλαμποκιού



Στάχια και σπόροι της ποικιλίας Δίο, που προήλθε από βομβαρδισμό σπόρων της ποικιλίας Γ-38290 (επάνω δεξιά) με θερμά νετρόνια (Σκόρδα, 1975).

Δημιουργία μεταλλάξεων:

1. Οι φυσικές μεταλλάξεις.

Δημιουργούνται από λάθη που κάνουν κάποια από τα φυσιολογικά ένζυμα των κυττάρων των οργανισμών. Κατά το παρελθόν επικρατούσε η άποψη ότι οι μεταλλάξεις αυτές προκαλούνται από τις κοσμικές ακτίνες ή από άλλους μεταλλαξιγόνους παράγοντες του περιβάλλοντος.

Αυτό όμως καταρρίφθηκε από το γεγονός ότι οι φυσικές μεταλλάξεις συμβαίνουν με πολύ γρήγορους ρυθμούς, που δεν μπορούν να δικαιολογηθούν από τη δράση της φυσικής ακτινοβολίας και μόνο.

Δημιουργία μεταλλάξεων:

1. Οι φυσικές μεταλλάξεις.

Εκτός όμως από τα ένζυμα που πιθανά να κάνουν κάποιο λάθος, φαίνεται ότι ο κύριος παράγοντας δημιουργίας φυσικών μεταλλάξεων είναι τα λεγόμενα μεταφερόμενα στοιχεία που ανακαλύφθηκαν για πρώτη φορά στο καλαμπόκι από τη Mc Clintock.

Τα στοιχεία αυτά έχουν την ικανότητα να μπαينوβγαίνουν στο γενετικό υλικό. Έτσι, είναι δυνατό στο σημείο εισόδου να συμπαρασύρουν και κάποια από τα νουκλεοτίδια του DNA-ξενιστή, ή να εγκαταλείψουν στο DNA-ξενιστή κάποια από τα νουκλεοτίδιά τους, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό μεταλλάξεις.



**Η Barbara Mc-Clintock με
σπάδικα καλαμποκιού.**

Ι. Ν. Ερνιάς: Οι μεταλλάξεις στη Βελτίωση Φυτών



Απονομή του βραβείου Nobel Ιατρικής στη Barbara Mc Clintock το 1983

Ι. Ν. Ξυνιάς: Οι μεταλλάξεις στη Βελτίωση Φυτών

Δημιουργία μεταλλάξεων:

2. Οι τεχνητές μεταλλάξεις.

Προκαλούνται από την δράση ορισμένων μεταλλαξιγόνων, παραγόντων και αποτελούν την πιο συχνή κατηγορία μεταλλάξεων.

Οι πλέον συχνοί μεταλαξιγόνοι παράγοντες

Υπεριώδης ακτινοβολία: κύριος στόχος της υπεριώδους ακτινοβολίας είναι το DNA των οργανισμών (τα περισσότερα βακτήρια θανατώνονται όταν χρησιμοποιηθεί ακτινοβολία μήκους κύματος 260nm, που είναι το μήκος κύματος που η ακτινοβολία απορροφάται από το DNA).

Οι πλέον συχνοί μεταλαξιγόνοι παράγοντες

Όταν λοιπόν ακτινοβοληθεί το DNA με υπεριώδη ακτινοβολία, ενώνονται με ομοιοπολικούς δεσμούς παρακείμενα νουκλεοτίδια πυριμιδινών, που βρίσκονται στον ίδιο πολυνουκλεοτιδικό κλώνο (τα πιο κοινά είναι τα διμερή Θυμίνης, T^T) και δημιουργούν μεγάλη παραμόρφωση της έλικας του DNA. Τα διμερή της θυμίνης αναγνωρίζονται από ένα ειδικό ενζυμικό σύστημα που υπάρχει στους οργανισμούς, που με τη βοήθεια της ορατής ακτινοβολίας τα διασπά ("επιδιόρθωση στο φως"). Όταν η επιδιόρθωση του DNA γίνεται στο σκοτάδι τότε δεν είναι τόσο αποτελεσματική και έτσι δημιουργούνται μεταλλάξεις.

Οι πλέον συχνοί μεταλαξιγόνοι παράγοντες

Χημικά ανάλογα των βάσεων: είναι ενώσεις που έχουν αρκετά παρόμοια δομή, αλλά διαφορετικές ιδιότητες ζευγαρώματος, με τις αζωτούχες βάσεις του DNA και για το λόγο αυτό είναι δυνατό να ενσωματωθούν στο μόριο του DNA σαν κανονικές βάσεις. Αν οι ενώσεις αυτές ενσωματωθούν στο DNA δημιουργούν μεταλλάξεις γιατί προκαλούν τοποθέτηση απέναντί τους αντικανονικών βάσεων. Κατά τη διάρκεια της αντιγραφής του DNA η λανθασμένη τοποθέτηση βάσης καταλήγει στην αντικατάσταση κάποιου νουκλεοτιδικού ζευγαριού. Όταν μια πουρίνη σε ένα κλώνο του DNA αντικατασταθεί από μια άλλη πουρίνη ή όταν μια πυριμιδίνη αντικατασταθεί από μια άλλη πυριμιδίνη, τότε η αντικατάσταση του νουκλεοτιδικού ζευγαριού ονομάζεται μετάπτωση. Όταν όμως μια πουρίνη αντικαθίσταται από μια πυριμιδίνη ή μια πυριμιδίνη από μια πουρίνη, τότε η αντικατάσταση του νουκλεοτιδικού ζευγαριού ονομάζεται μεταστροφή.

Οι πλέον συχνοί μεταλαξιγόνοι παράγοντες

Χημικά ανάλογα των βάσεων:

Η ένωση 5-βρωμοουρακίλη είναι ένα ανάλογο της θυμίνης, που έχει στην C5 θέση Br αντί -CH₃. Το Br επηρεάζει την κατανομή των ηλεκτρονίων και η κανονική κέτο- μορφή υφίσταται ταυτομερή μετάπτωση σε ενολική. Η τελευταία έχει τις ιδιότητες σχηματισμού δεσμών H της C και όχι της T.

Οι πλέον συχνοί μεταλαξιγόνοι παράγοντες

Τροποποιητές του DNA: είναι ενώσεις που αντιδρούν χημικά με το DNA και αλλάζουν τις ιδιότητες σχηματισμού δεσμών υδρογόνου των βάσεων. Π. χ. το νιτρώδες οξύ αντιδρά με τις αμινομάδες της θέσης C6 της C και της A, τις οποίες και αντικαθιστά. Οι τροποποιημένες βάσεις έχουν διαφορετικές ιδιότητες σχηματισμού δεσμών H. Έτσι, η C ζευγαρώνει όπως η T και η A όπως η G.

Οι πλέον συχνοί μεταλαξιγόνοι παράγοντες

Τα αλκυλιωτικά μέσα: είναι ισχυρά μεταλλαξιγόνες ενώσεις που μπορούν να προσθέτουν μια αλκυλική ομάδα σε διάφορες θέσεις, με αποτέλεσμα να αλλάξει η δυνατότητα σχηματισμού δεσμών υδρογόνου και να προκληθούν μεταπτώσεις και μεταστροφές. Παραδείγματα τέτοιων ενώσεων είναι το διμεθυλσουλφικό και η νιτροζογουανιδίνη.

Οι πλέον συχνοί μεταλαξιγόνοι παράγοντες

Η υδροξυλαμίνη: είναι ένα πολύ χρήσιμο μεταλαξιγόνο που προκαλεί μόνο τη μετάπτωση από GC σε AT.

Τροποποιητές που προκαλούν μεταλλάξεις αναγνωστικού πλαισίου: είναι ενώσεις που παρεμβάλλονται ανάμεσα στις βάσεις, στην καρδιά της έλικας του DNA. Εκεί, είναι δυνατό να προκαλέσουν είτε την είσοδο είτε την απαλοιφή ενός νουκλεοτιδίου. Παραδείγματα τέτοιων ουσιών είναι οι ακριδίνες.

Χρησιμοποίηση των μεταλλάξεων στη βελτίωση των φυτών

(α) Δημιουργία μεγάλων μορφολογικών ή φυσιολογικών αλλαγών: οι μεταλλάξεις κυμαίνονται από μεγάλες δομικές αλλαγές των χρωμοσωμάτων (συνήθως συνοδεύονται από στειρότητα, γενετική αστάθεια και μειωμένη αποδοτικότητα) έως αλλαγές σε ατομικά γονίδια. Για να έχουν βελτιωτική αξία οι μεταλλάξεις, θα πρέπει τα ευνοϊκά στοιχεία να διαχωριστούν από τα μη ευνοϊκά.

Χρησιμοποίηση των μεταλλάξεων στη βελτίωση των φυτών

(β) Δημιουργία μεταλλάξεων στο επίπεδο ατομικών γονιδίων: αφορούν μικρότερες αλλαγές και εστιάζονται στο επίπεδο ενός γονιδίου. Η αλλαγή αυτή θα μπορούσε να οδηγήσει σε βελτίωση επιμέρους γνωρισμάτων μιας εμπορικής ποικιλίας (όπως είναι η πρωιμότητα, η ανθεκτικότητα σε κάποιο συγκεκριμένο παθογόνο, ή στην αύξηση της περιεκτικότητας της πρωτεΐνης σε λυσίνη). Δυστυχώς όμως, μεταλλάξεις, που να διορθώνουν απλά γνωρίσματα φυτών δεν αποκτώνται εύκολα και πολύ συχνά συνοδεύονται από ανεπιθύμητα αποτελέσματα.

Χρησιμοποίηση των μεταλλάξεων στη βελτίωση των φυτών

(γ) Δημιουργία μεταλλάξεων σε γονίδια, για ποσοτικά γνωρίσματα: η επίδραση μεταλλαξιγόνων παραγόντων σε διάφορες καλλιέργειες έχει αυξήσει την παραλλακτικότητα σε ποσοτικά γνωρίσματα (απόδοση, βάρος των σπόρων, περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη ή λάδι, η ανθεκτικότητα σε ασθένειες). Μικρομεταλλάξεις στα γνωρίσματα αυτά θα μπορούσαν να φανούν χρήσιμες στο βελτιωτή (συνοδεύονται λιγότερο από θανατηφόρα ή δηλητηριώδη αποτελέσματα). Παρόλα αυτά όμως οι προσπάθειες για αύξηση της αποδοτικότητας με τη προσέγγιση αυτή δεν ήταν έως τώρα ενθαρρυντικές.

Χρησιμοποίηση των μεταλλάξεων στη βελτίωση των φυτών

(δ) Σωματικές μεταλλάξεις: οι μεταλλάξεις αυτές θα μπορούσαν να είναι χρήσιμες σε ανθοκομικά και οπωροφόρα είδη, που αναπαράγονται βλαστικά. Για το λόγο αυτό, η στειρότητα που σχετίζεται με το είδος αυτό της μετάλλαξης δεν επηρεάζει τη αναπαραγωγή των φυτών αυτών. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν πιθανά τα πορτοκάλια "**ναβαλίνες**", που δημιουργήθηκαν από μια τυχαία μετάλλαξη και έκτοτε αναπαράγονται βλαστικά.

Χρησιμοποίηση των μεταλλάξεων στη βελτίωση των φυτών

(ε) Σπάσιμο δεσμών: στην κατηγορία αυτή ανήκουν δύο στενά συνδεδεμένα γονίδια στη βρώμη, που σχετίζονται με την ανθεκτικότητα στη σκωρίαση του στελέχους, που χωρίστηκαν μετά από επίδραση ακτινοβολίας. Στόχος της προσέγγισης αυτής είναι να αυξηθεί ο γενετικός ανασυνδυασμός.

Χρησιμοποίηση των μεταλλάξεων στη βελτίωση των φυτών

(στ) Μεταφορά ατομικών γονιδίων ή ομάδων γονιδίων:
τυπικό παράδειγμα της κατηγορίας αυτής είναι το γονίδιο ανθεκτικότητας στη σκωρίαση των φύλλων που μεταφέρθηκε από το *Aegilops umbellulata* στο μαλακό σιτάρι. Παρόμοια γονίδια ανθεκτικότητας στις σκωριάσεις έχουν μεταφερθεί στο σιτάρι από είδη του γένους *Agropyron*.

Χρησιμοποίηση των μεταλλάξεων στη βελτίωση των φυτών

(ζ) Αύξηση του ποσοστού φυσικής διασταύρωσης στις αυτόγαμες καλλιέργειες: η ακτινοβόληση του σπόρου έχει πολύ συχνά ως συνέπεια την στειρότητα της γύρης των φυτών που προκύπτουν. Η αρρενοστεριρότητα αυτή στα αυτογονιμοποιούμενα είδη θα μπορούσε να αυξήσει τη φυσική διασταύρωση και το μαζικό υβριδισμό. Με τον τρόπο αυτό θα μπορούσαν και τα αυτόγαμα φυτικά είδη να εκμεταλλευτούν κάποια από τα πλεονεκτήματα της επαναλαμβανόμενης επιλογής. Όμως στις περιπτώσεις που υπάρχει διαθέσιμη η γενετική αρρενοστεριρότητα τότε αυτή προτιμάται.

Χρωμοσωματικές μεταλλάξεις

Οι δομικές αυτές αλλαγές των χρωμοσωμάτων, οφείλονται κυρίως στη δράση διαφόρων μεταλλαξιγόνων παραγόντων (π. χ. ακτινοβολίες, χημικές ουσίες, υψηλές θερμοκρασίες, ιοί, ναρκωτικά, καφεΐνη, νικοτίνη) που προκαλούν σπασίματα σε ένα ή περισσότερα σημεία.

Τα σπασμένα κομμάτια έχουν τάση επανασυνκόλλησης και τα σπασμένα χρωμοσώματα συχνά αποκτούν εκ νέου την αρχική τους δομή.

Αν η επανασυνκόλληση των σπασμένων κομματιών γίνει σε διαφορετικό σημείο, αλλάζει η δομή των χρωμοσωμάτων και προκύπτουν χρωμοσωματικές μεταλλάξεις, με αρνητικές επιδράσεις στα φυτά.

Αν το σπάσιμο συμβεί μέσα σε ένα γονίδιο, αυτό μπορεί να χάσει τη λειτουργικότητά του και να εξελιχθεί σε θανατηφόρο.

Χρωμοσωματικές μεταλλάξεις είναι και οι ανταλλαγές που γίνονται στη μείωση που είναι ωφέλιμες, γιατί δημιουργούν νέα γενετική παραλλακτικότητα (δεν γίνονται μέσα στα όρια των γονιδίων).

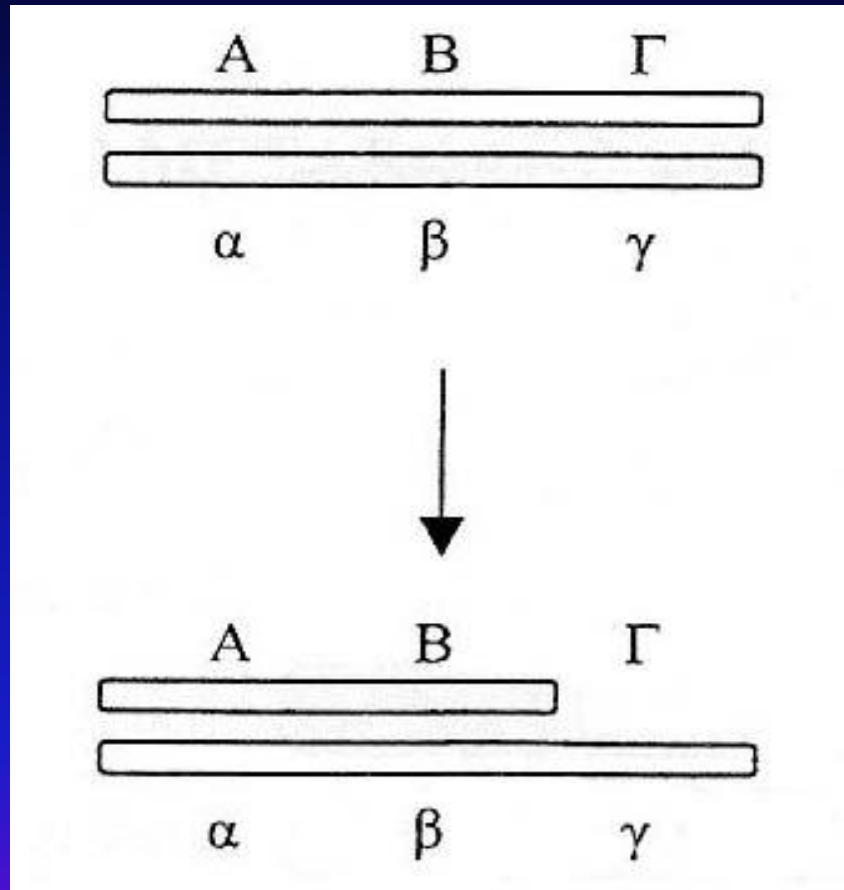
Ελλείμματα

Ελλείμματα: είναι η απώλεια μιας ή περισσότερων γονιδιακών θέσεων από ένα χρωμόσωμα.

Είναι οι πιο συχνές δομικές αλλαγές των χρωμοσωμάτων και το πόσο σπουδαίο ρόλο θα παίξουν εξαρτάται από τον αριθμό και τη σημασία των γονιδίων που χάνονται.

Τα ομοζύγωτα ελλείμματα στα σωματικά κύτταρα των ανωτέρων οργανισμών είναι τις περισσότερες φορές θανατηφόρα. Το ίδιο θα γίνει και αν το έλλειμμα συμβεί στο ένα μόνο ομόλογο (η απουσία ενός τμήματος του χρωμοσώματος θα αποκαλύψει την εκφυλιστική δράση κάποιου υποτελούς αλληλομόρφου στο αντίστοιχο τμήμα του δεύτερου ομολόγου).

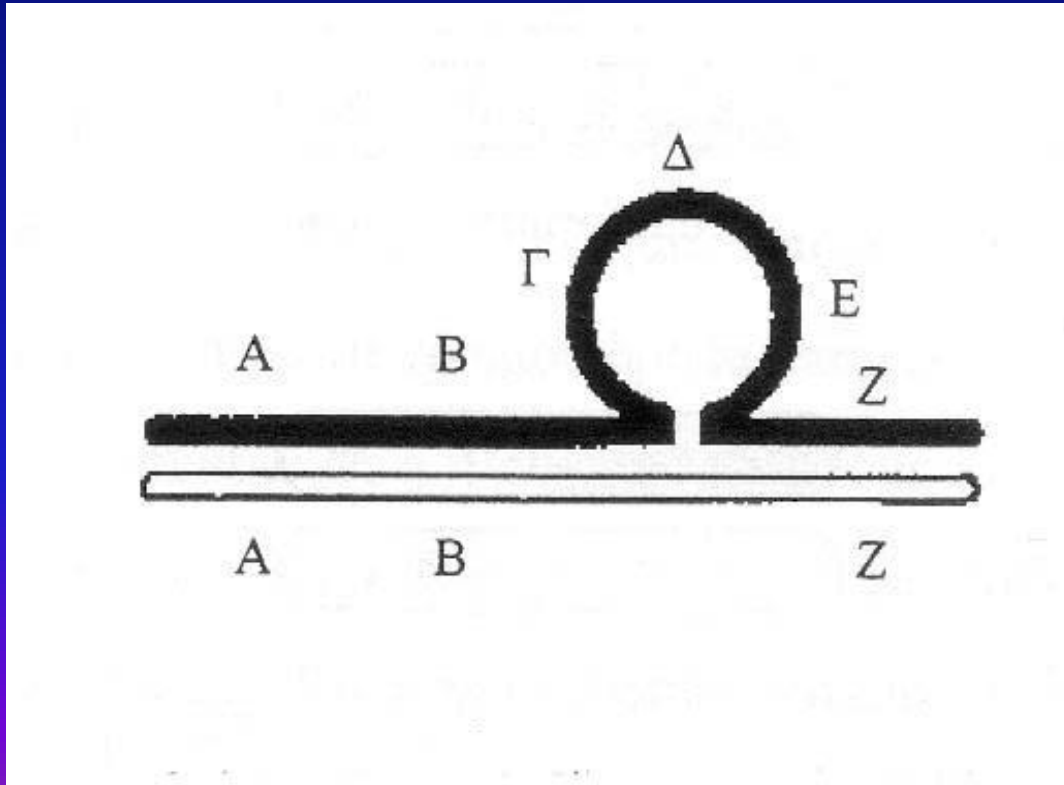
Ελλείμματα



Η έλλειψη του γονιδίου Γ θα προκαλέσει την εκδήλωση του υποτελούς γ.

Ελλείμματα

Η παρουσία ενός ελλείμματος σε ένα από τα δυο ομόλογα όταν αυτά είναι ζευγαρωμένα κατά τη μείωση, θα δημιουργήσει ένα δακτύλιο, γιατί το τμήμα του χρωμοσώματος που βρίσκεται σε αντίστοιχη θέση με το ελλειμματικό, δεν θα έχει ομόλογο για να ζευγαρώσει



Διπλασιασμοί

Οι διπλασιασμοί είναι επαναλήψεις χρωμοσωματικών περιοχών στο ίδιο ή σε διαφορετικά χρωμοσώματα.

Το αποτέλεσμα των διπλασιασμών εξαρτάται από το μέγεθος και τη θέση του διπλασιαζόμενου γονιδίου και για το λόγο αυτό μπορεί να είναι από αμελητέα έως πολύ μεγάλη. Επίσης η επίπτωση εξαρτάται και από τα γονίδια που υπάρχουν στο χρωμοσωματικό τμήμα που διπλασιάζεται.

Οι διπλασιασμοί είναι συνήθως λιγότερο οδυνηροί από τα ελλείμματα. Τα τμήματα που διπλασιάζονται είναι δυνατό να πάρουν διάφορες θέσεις επάνω στα χρωμοσώματα. Έτσι ένας διπλασιασμός είναι δυνατό να αποτελεί συνέχεια του χρωμοσώματος από το οποίο προήλθε, να βρίσκεται μετατοπισμένος ή ανεστραμμένος.

Διπλασιασμοί

Η παρουσία πολλών επαναλήψεων του ιδίου γονιδίου μερικές φορές είναι δυνατό να προκαλέσει φαινοτυπικές διαφοροποιήσεις.

Μετά από ένα αριθμό ετών, είναι δυνατό τα επαναλαμβανόμενα γονίδια να οδηγήσουν σε νέες φυσιολογικές λειτουργίες, συμβάλλοντας με τον τρόπο αυτό στην εξέλιξη των ειδών.

Ένας διπλασιασμός που είναι ετεροζύγωτος, θα δημιουργήσει δακτύλιο κατά τη μειωτική σύναψη.

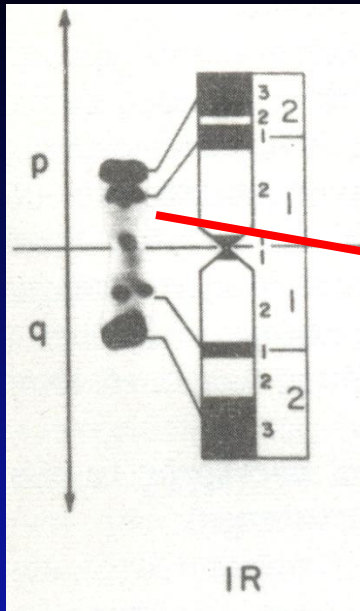
Μετατοπίσεις

Η ανταλλαγή χρωμοσωματικών τμημάτων μεταξύ μη ομολόγων χρωμοσωμάτων ονομάζεται μετατόπιση.

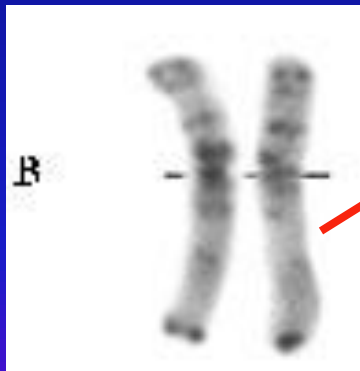
Για να συμβεί η μετατόπιση θα πρέπει να υπάρξει σπάσιμο των χρωμοσωμάτων.

Μόνο τα σπασμένα χρωμοσωματικά άκρα έχουν την ικανότητα επανασυνκόλλησης και όχι τα κανονικά τελομερή.

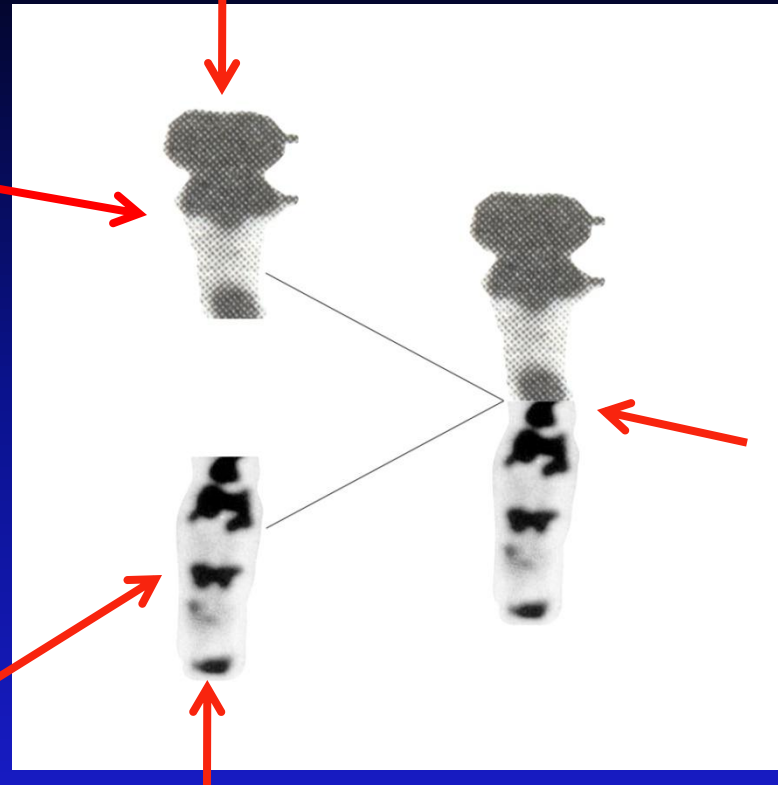
1R



1B



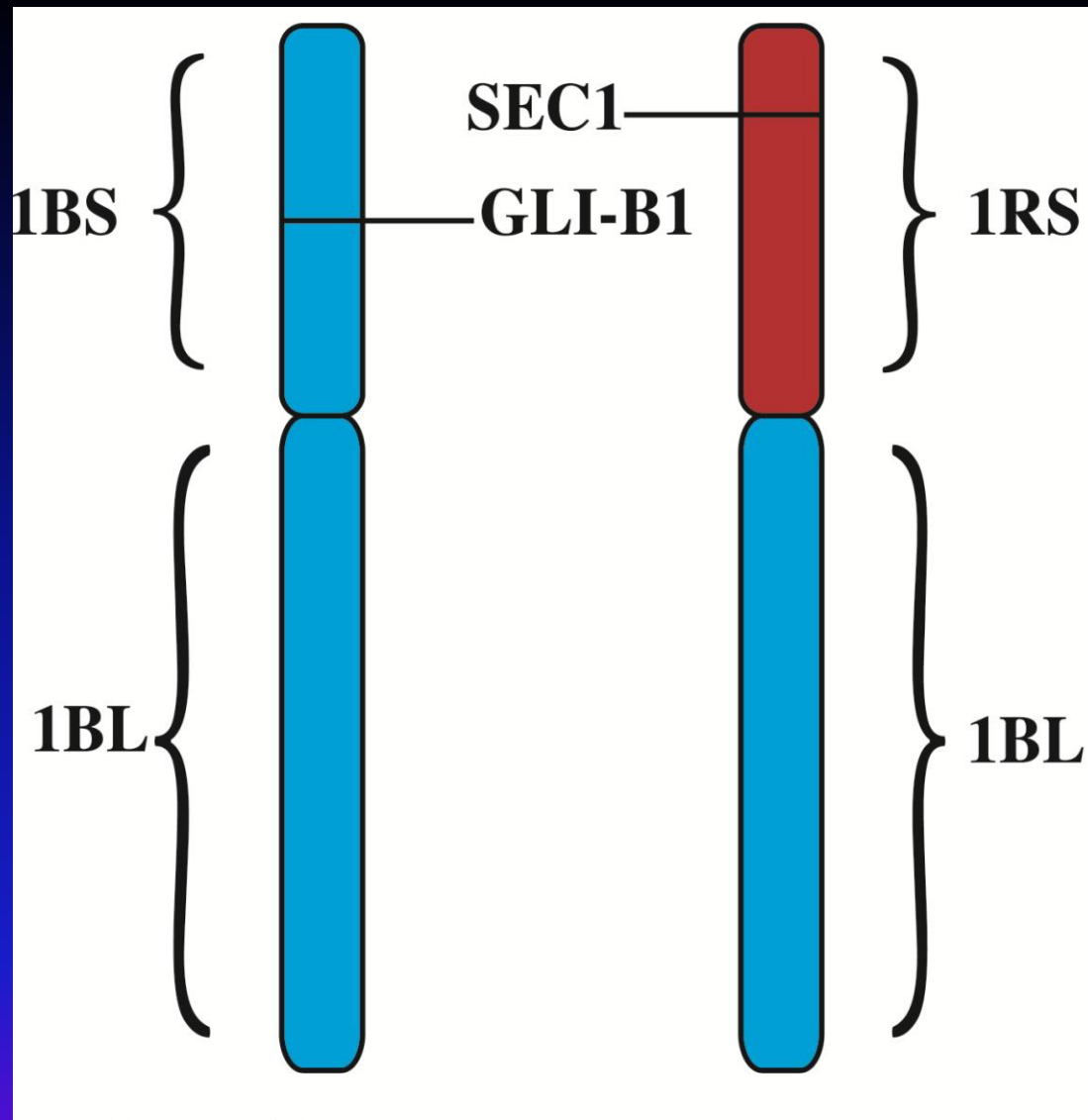
Κοντός βραχίονας
του 1R



Το νέο
1BL.1RS
χρωμόσωμα
σιταριού
βρίζας

Μακρύς
βραχίονας του 1B

Η δημιουργία της 1BL.1RS μετατόπισης σιταριού βρίζας.



Το κανονικό 1B χρωμόσωμα (αριστερά) και το μετατοπισμένο (δεξιά) και δυο γονιδιακές θέσεις αποθηκευτικών πρωτεϊνών.

Αναστροφές

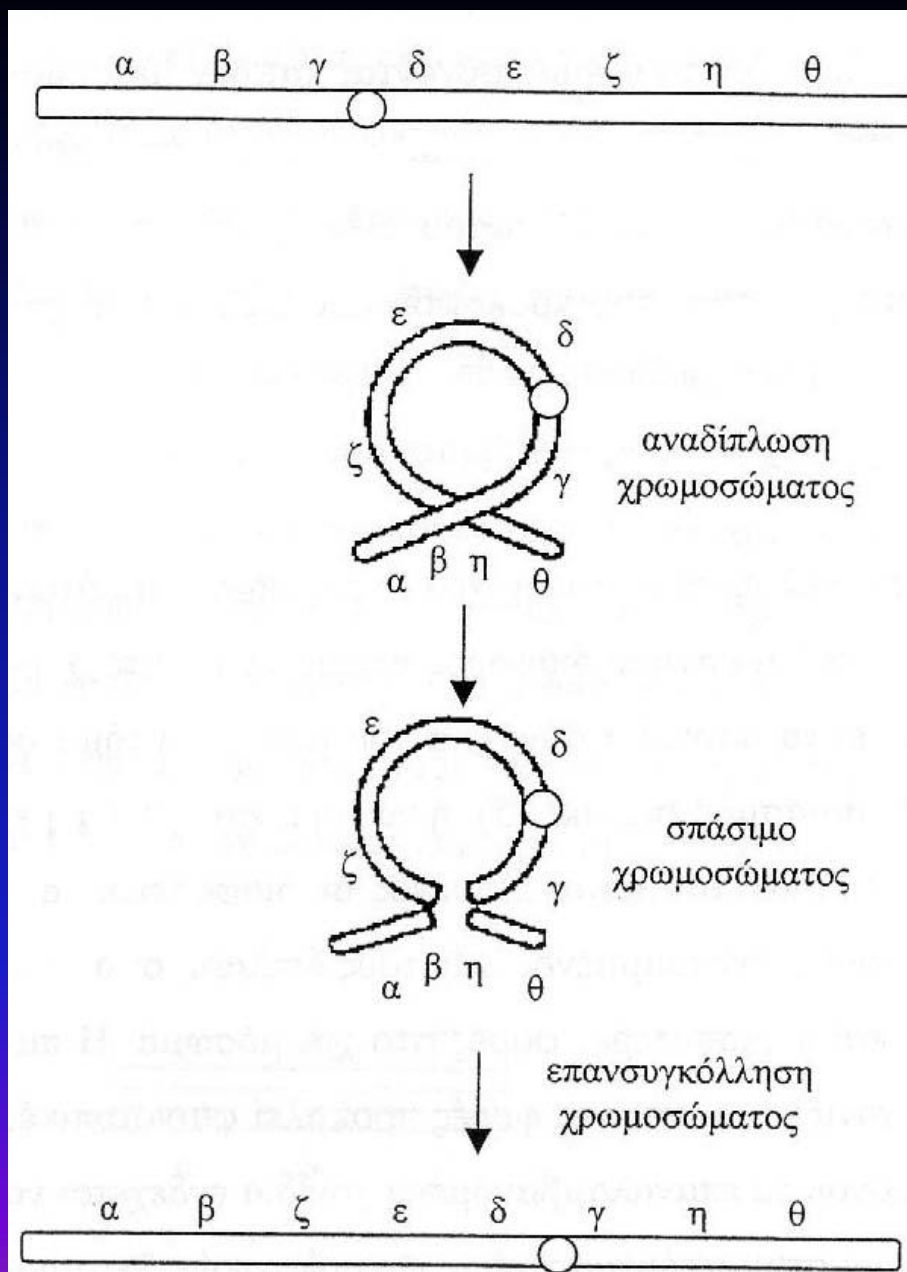
Όταν η σειρά των γονιδίων σε ένα μεγαλύτερο ή μικρότερο τμήμα ενός χρωμοσώματος αντιστραφεί, η κατάσταση που προκύπτει ονομάζεται αναστροφή.

Οι αναστροφές συμβαίνουν όταν μετά το σπάσιμο, το αποκομμένο τμήμα επανασυνκολληθεί, με αντίστροφη όμως κατεύθυνση.

Αν συμβεί αναστροφή και στα δυο ομόλογα χρωμοσώματα, τότε αυτή ονομάζεται ομοζύγωτη.

Αν όμως συμβεί στο ένα μόνο χρωμόσωμα, τότε ονομάζεται ετεροζύγωτη.

Όταν η αναστροφή περιλαμβάνει το κεντρομερές, τότε αυτή ονομάζεται περικεντρική, ενώ αν δεν το περιλαμβάνει λέγεται παρακεντρική.



Μηχανισμός δημιουργίας μιας αναστροφής.