

Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων



Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας  
Τμήμα Γεωπονίας  
Κατεύθυνσης Φυτικής Παραγωγής

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Η ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΑ  
ΜΕΧΡΙ ΣΗΜΕΡΑ

της φοιτήτριας  
Φωτεινής Παπασπύρου

Επιβλέπουσα : Κωνσταντίνα Νικολάου

Άρτα, 2020

ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ

Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας  
Τμήμα Γεωπονίας  
Κατεύθυνσης Φυτικής Παραγωγής

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Η ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΑ  
ΜΕΧΡΙ ΣΗΜΕΡΑ»

της φοιτήτριας  
Φωτεινής Παπασπύρου

Επιβλέπων: Κωνσταντίνα Νικολάου

ΑΡΤΑ, 2020

**THE HISTORICAL EVOLUTION OF PLANT BREEDING FROM ANTIQUITY TO  
THE PRESENT DAY**

Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή

#### ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Κ. Κωνσταντίνα Νικολάου (Ακαδημαϊκός Υπότροφος)
2. Κ. Χαράλαμπος Καριπίδης (Καθηγητής)
3. Κ. Παρασκευή Υφαντή (ΕΔΙΠ)

© Παπασπύρου Φωτεινή 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

All rights reserved

## Δήλωση μη λογοκλοπής

Δηλώνω υπεύθυνα και γνωρίζοντας τις διατάξεις του Ν. 2121/1993 περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι η παρούσα πτυχιακή εργασία είναι εξ ολοκλήρου αποτέλεσμα δικής μου ερευνητικής εργασίας, δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν για τη συγγραφή της περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία στοχεύει στο να παρουσιάσει την ιστορία που ακολούθησε η βελτίωση των φυτών. Αρχικά παρουσιάζονται οι λόγοι εκείνοι που οδήγησαν τον άνθρωπο να ασχοληθεί με την γεωργία. Στην συνέχεια γίνεται αναφορά στην εξημέρωση των άγριων ειδών των φυτών που αποτελεί την πρώτη μορφή βελτίωσης των φυτών. Ακολουθεί η περιγραφή των τεχνικών βελτίωσης που ακολουθούνταν κατά τους προχριστιανικούς χρόνους και κατά τους μεταχριστιανικούς χρόνους. Επίσης επιχειρείται η σκιαγράφηση της επιστήμης της βελτίωσης φυτών μεταξύ του 16ου και 19ου αιώνα. Ιδιαίτερη μνεία γίνεται στις εξελίξεις της επιστήμης στον 20ο αιώνα που οδήγησαν την βελτίωση των φυτών στα υψηλά επίπεδα που εμφανίζονται στην σημερινή εποχή. Τέλος περιγράφεται το νομοθετικό πλαίσιο μέσα στο οποίο οφείλουν όσοι ασχολούνται με την βελτίωση των φυτών να ακολουθούν.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Βελτίωση Φυτών, Εξημέρωση Φυτών, Γενετικός τροποποιημένος οργανισμός, Πράσινη Επανάσταση.

## **Abstract**

The present work aims to present the story behind the improvement of plants. Initially, the reasons that led man to become involved in agriculture are presented. Following is a reference to the taming of wild plant species, which is the first form of plant improvement. Following is a description of the improvement techniques used during the pre-Christian and post-Christian times. It also attempts to outline the science of plant improvement between the 16th and 19th centuries. Particular reference is made to the developments of science in the 20th century that led to the improvement of plants to the high levels that appear in the present day. Finally, it outlines the legal framework within which those involved in improving the plants should follow.

**KEYWORDS:** Improving of plants, Domestication of plants, Genetically modified organism, Green Revolution.



## Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	7
Abstract .....	8
Κεφάλαιο 1ο .....	10
1.1 Η εμφάνιση της γεωργίας .....	10
1.2 Εξημέρωση των φυτών και συνέπειες.....	14
1.3 Η βελτίωση των φυτών και οι στόχοι της.....	17
Κεφάλαιο 2ο .....	23
2.1 Βελτίωση φυτών κατά την προχριστιανική εποχή.....	23
Κεφάλαιο 3ο .....	28
3.1 Η φυτική βελτίωση κατά την διάρκεια του 17ου-18ου αιώνα μ.Χ.....	28
Κεφάλαιο 4ο .....	35
4.1 Η Βελτίωση φυτών κατά την διάρκεια του 19ου αιώνα μ.Χ. ....	35
Κεφάλαιο 5ο .....	40
5.1 Η βελτίωση των φυτών κατά την διάρκεια του πρώτου μισού του 20ου αιώνα.....	40
Κεφάλαιο 6ο .....	52
6.1 Η βελτίωση των φυτών κατά την διάρκεια του δεύτερου μισού του 20ου αιώνα έως και σήμερα	52
Κεφάλαιο 7ο .....	64
7.1 Νομοθετικό πλαίσιο για βελτίωση φυτών .....	64
Συμπεράσματα .....	70
Βιβλιογραφία .....	71

## Κεφάλαιο 1ο

### 1.1 Η εμφάνιση της γεωργίας

Οι πρώτοι άνθρωποι ζούσαν ως κυνηγοί και συλλέκτες των ζώων που σκότωναν και σε αυτήν την επιλογή εκτός άλλων παραγόντων, ρόλο έπαιξε το οικοσύστημα στο οποίο αυτοί ζούσαν. Όσοι άνθρωποι ζούσαν σε βοσκότοπους, προτιμούσαν τη νομαδική ζωή γεγονός που ήταν φυσικό επακόλουθο, καθώς το να ακολουθούν τα φυτά και ζώα που τους έτρεφαν, ήταν αναγκαίο. Όσοι πάλι ζούσαν σε τροπικά δάση ή σε οικοσυστήματα στα οποία τα τρόφιμα ήταν διαθέσιμα καθ' όλη την διάρκεια του έτους, μπορούσαν να εμφανίσουν ένα πιο σταθερό πολιτισμό, καθώς ο τρόπος διαβίωσης τους τους επέτρεπε να δημιουργούν μόνιμες κατοικίες. Αν και οι άνθρωποι χρησιμοποιούσαν τα άγρια φυτά πολύ καιρό πριν, η συμπεριφορά του ανθρώπου κυνηγού-συλλέκτη άρχισε να αλλάζει στο τέλος της Πλειστόκαινου εποχής εξαιτίας των σφοδρών και απρόβλεπτων κλιματολογικών αλλαγών. Οι παγετώνες είχαν με άλλα λόγια επιδράσεις στην μείωση των ειδών που αποτελούσαν επιλογή τροφής του ανθρώπου κυνηγού-συλλέκτη (Binford, 1968).

Οι μελετητές έχουν αναπτύξει διάφορες υποθέσεις προκειμένου να εξηγήσουν τις ιστορικές καταβολές της γεωργίας. Οι μελέτες που σχετίζονται με την μετάβαση από τις κοινωνίες των κυνηγών-συλλεκτών στις γεωργικές κοινωνίες, δείχνουν πως αρχικά τα άγρια φυτά που προηγουμένως συλλέγονταν από τους ανθρώπους, άρχισαν να φυτεύονται πριν από την εξημέρωσή τους (Gerritsen, 2008).

Η αλλαγή του κλίματος αποτελεί τον επικρατέστερο λόγο για την μετάβαση από το ένα είδος κοινωνίας στο άλλο. Όταν λοιπόν συντελέστηκαν μεγάλες κλιματικές αλλαγές μετά την εποχή των παγετώνων, περίπου το 11000 π.Χ., μεγάλες εκτάσεις γης αντιμετώπισαν το φαινόμενο της ξηρασίας. Οι συνθήκες αυτές ευνόησαν τα φυτά, που, αν και είχαν εξαλειφθεί, άφησαν πίσω τους αδρανείς σπόρους, οι οποίοι βοήθησαν τους ανθρώπους να οργανωθούν σε μικρά χωριά και να οργανώνουν το περιβάλλον προς όφελός τους. Ωστόσο, οι ακριβείς ημερομηνίες είναι δύσκολο να καθοριστούν καθώς τα χαρακτηριστικά των φυτών θα μπορούσαν να αλλάξουν κατά την περίοδο αυτή με φυσικό τρόπο χωρίς την ανθρώπινη επιλογή (Allabyetal., 2008).

Υπάρχουν πολλές θεωρίες που προσπαθούν να εξηγήσουν τους παράγοντες που ώθησαν τους ανθρώπους να ασχοληθούν με την γεωργία:

- Η θεωρία της Όασης (OasisTheory) του R. Pumpelly), αναφέρει πως η ενασχόληση του ανθρώπου με την γεωργία ήταν αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής και πιο συγκεκριμένα της αυξημένης ξηρότητας του κλίματος. Η θεωρία αυτή ήταν πρώιμη και δεν υποστηρίζεται από σύγχρονους επιστήμονες (Scarre, 2005). Ωστόσο, η παράμετρος του κλίματος χρησιμοποιήθηκε και από άλλους επιστήμονες οι οποίοι προσπάθησαν να αναπτύξουν αντίστοιχες θεωρίες. Οι Richersonetal (2001) θεωρούν πως η ανάπτυξη της γεωργίας προέκυψε εξαιτίας της ύπαρξης ενός περισσότερο σταθερού κλίματος κατά την διάρκεια της έναρξης της Ολοκαινικής περιόδου.
- Η θεωρία του R. Brainwood, σύμφωνα με την οποία η γεωργία ξεκίνησε στα βουνά της Μεσοποταμίας, τόπος που δεν χαρακτηρίζονταν από αυξημένη ξηρότητα. Απεναντίας, επρόκειτο για μια εξαιρετικά εύφορη περιοχή, η οποία υποστήριζε την ανάπτυξη μεγάλης ποικιλίας φυτών (Redman, 1978).
- Ο B. Hayden έχει αναπτύξει μια υπόθεση, σύμφωνα με την οποία η γεωργία προέκυψε ως ανάγκη, καθώς οι οργανωμένες κοινωνίες προκειμένου να δείξουν την υπεροχή τους και να επιδείξουν την εξουσία τους, διοργάνωναν γιορτές. Οι γιορτές αυτές απαιτούσαν με την σειρά τους πληθώρα τροφών, η οποία εξασφαλιζονταν μέσω της καλλιέργειας της γης (Hayden, 1992).
- Επίσης, μια θεωρία που έχει αναπτυχθεί, εστιάζει στην δημογραφική διάσταση του ζητήματος. Ο Binford (1968) αναφέρει πως η αύξηση του μόνιμου πληθυσμού των ανθρώπινων κοινωνιών που είχαν αρχίσει να αναπτύσσονται, είχε ως αποτέλεσμα την αυξημένη ζήτηση σε τροφή. Επομένως, οι κοινωνίες έπρεπε να εκμεταλλευτούν το περιβάλλον στο οποίο είχαν εγκατασταθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να μεγιστοποιηθούν αυτά που μπορούσε να τους προσφέρει.

Η ανάπτυξη της γεωργίας αποτελεί ένα από τα σπουδαιότερα ανθρώπινα επιτεύγματα, καθώς επέτρεψε στον άνθρωπο να εξελιχθεί και να φτάσει στο προηγμένο κοινωνικό επίπεδο στο οποίο βρίσκεται σήμερα. Το αν ο πρώιμος άνθρωπος δέχθηκε τα νέα επιτεύγματα της τεχνολογίας που σχετίζονται με την γεωργία, αποτελεί ζήτημα το οποίο ακόμα δεν έχει λυθεί, ωστόσο, είναι αναμφισβήτητο γεγονός πως η διάδοση αυτής της τεχνολογίας πραγματοποιήθηκε σε όλες τις ηπείρους. Τα συστήματα συλλογής τροφής των κυνηγών-

συλλεκτών ήταν αναποτελεσματικά και προκειμένου να επιβιώσει, ο άνθρωπος χρειάστηκε πολλά στρέμματα γης. Ως εκ τούτου, η γεωργία προέκυψε ουσιαστικά από την αναγκαιότητα της επιβίωσης και έτσι οι άνθρωποι κατάφεραν να επιβιώσουν καλλιεργώντας και χρησιμοποιώντας λιγότερα στρέμματα γης.

Η διαδικασία της προσκόλλησης του ανθρώπου σε γεωργικά συστήματα, επίσης προωθήθηκε τόσο από την θέρμανση της γης, όσο και από την έλλειψη μεγάλων χερσαίων θηλαστικών που σε παλαιότερα χρόνια χρησιμοποιούνταν ως τροφή ή ως πρώτη ύλη για την δημιουργία ρουχισμού. Τα γνωρίσματα των φυτών που χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να καλυφθεί η έλλειψη που είχε δημιουργηθεί, κατέστησαν δυνατή την εξημέρωσή των φυτών, καθώς αυτά τα φυτά ελέγχονταν από λίγα γονίδια. Τα χαρακτηριστικά αυτά καθορίστηκαν γρήγορα και έτσι ο άνθρωπος κατέληξε να χρησιμοποιεί τις ίδιες καλλιέργειες ουσιαστικά από την αρχαιότητα. Οι καλλιέργειες φυσικά και έχουν εξελιχθεί, αλλά όχι στο βαθμό που είχαν εξελιχθεί κατά τους πρώτους αιώνες.

Φυσικά οι άνθρωποι σε μεγάλο βαθμό συνέχιζαν να εξαρτιούνται από τα φυτά που φύτευαν στο έδαφος με φυσικό τρόπο και το γεγονός αυτό επιτρέπει να διατυπωθεί και να στηριχθεί η άποψη πως ακόμα ο άνθρωπος δεν είχε ορίσει την μοίρα του και φυσικά την τροφή του, καθώς εξαρτιόταν από την τύχη ή την φύση. Η διαθεσιμότητα του φαγητού επηρεαζόταν από αυτά που το οικοσύστημα μπορούσε να προσφέρει, ενώ η αναζήτηση φαγητού ήταν ένα εγχείρημα δύσκολο και κοπιαστικό, καθώς απαιτούσε την αφιέρωση από την μεριά του ανθρώπου, μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας αλλά και χρόνου.

Το γεγονός αυτής της σοβαρής έλλειψης ελέγχου πάνω στην ίδια την ανθρώπινη επιβίωση, έληξε πριν σχεδόν 10000 ή 5000 χρόνια, μέσω της εξημέρωσης φυτικών ειδών, που στην συνέχεια θα μπορούσαν να αποτελέσουν τις πρώτες γεωργικές καλλιέργειες. Η αλλαγή αυτήν φυσικά δεν ήταν κάτι το στιγμιαίο ή το απότομο και φυσικά δεν μπορεί να συγκριθεί με αυτό που στον σύγχρονο κόσμο είναι γνωστό με τον όρο «γεωργία» (Anderson, 1956).

Ενδιαφέρον στοιχείο είναι πως οι καλλιέργειες που καλλιεργεί ο άνθρωπος σήμερα σε παγκόσμιο επίπεδο και που έχουν σκοπό το να θρέψουν έναν συνεχώς αυξανόμενο πληθυσμό, στις περισσότερες των περιπτώσεων αποτελούνται από τα ίδια είδη που οι μακρινοί μας πρόγονοι αρχικά καλλιεργούσαν πριν 10000 ή 5000 χρόνια. Οι αρχές της γεωργίας και της εξημέρωσης των φυτών, εντοπίζονται σε διαφορετικούς χρόνους και σε διαφορετικές περιοχές (Flannery, 1973). Φαίνεται πως ορισμένες κοινωνίες κατάφεραν να κάνουν κάτι τέτοιο ανεξάρτητα από άλλες κοινωνίες. Αυτό σημαίνει πως υπήρξαν κοινωνίες στις οποίες η τεχνολογία και η τεχνογνωσία τους προσφέρθηκαν.

Διατυπώνεται επίσης η άποψη πως οι αρχές της γεωργίας θα είχαν και ως συνέπεια μια μείωση των φυσικών ικανοτήτων του ανθρώπου, κυρίως σε ομάδες που αναγκάστηκαν να εξελιχθούν από κυνηγοί-συλλέκτες σε γεωργούς, εξαιτίας της έλλειψης θηραμάτων για κυνήγι, άρα εξαιτίας της ανάγκης για επιβίωση (Armelagos, 1984).

## 1.2 Εξημέρωση των φυτών και συνέπειες

Η εξημέρωση των φυτών αποτελεί αναμφισβήτητα μια από τις σημαντικότερες τεχνολογικές προόδους στην ιστορία της ανθρωπότητας, καθώς επέτρεψε τον άνθρωπο να εξελιχθεί. Όσο τεχνολογικά εξελιγμένος και αν είναι σήμερα ο άνθρωπος, συνεχίζει να εξαρτάται από τα φυτά. Μπορεί μάλιστα να υποστηριχθεί το γεγονός, πως με τον σημερινό ρυθμό ανάπτυξης του ανθρώπινου πληθυσμού, η ανθρωπότητα εξαρτάται περισσότερο από ποτέ από τα φυτά. Το έτος 2000 στην επιφάνεια της γης ζούσαν σχεδόν έξη δισεκατομμύρια άνθρωποι και σύμφωνα με εκτιμήσεις ο πληθυσμός το 2050 θα αγγίζει τα 8 σχεδόν δισεκατομμύρια (UN, 2004). Η αύξηση αυτή του πληθυσμού σημαίνει πως εκτός από την ύπαρξη περισσότερων ανθρώπων που θα πρέπει να τραφούν, θα υπάρχει η ανάγκη για στέγαση, κάτι που θα καλύψει μια μεγάλη έκταση γης. Ένα μέρος λοιπόν αυτής της έκτασης γης θα χρειαστεί προκειμένου να παραχθούν τρόφιμα. Άρα, η εξημέρωση των φυτών βοήθησε τον πρώιμο άνθρωπο, καθώς μπορούσε σε ελεγχόμενες εκτάσεις να καλλιεργήσει τα φυτά του.

Κατά την εξημέρωση των φυτών επιλέχθηκαν ποικιλίες από είδη που η εμπειρία είχε αποδείξει πως ήταν αποδοτικά, που ο σπόρος τους θα μπορούσε να αποθηκευτεί και που θα ήταν σε θέση να παράσχουν στους ανθρώπους τροφή που θα κάλυπτε τόσο τις διατροφικές τους ανάγκες, όσο και τις γευστικές τους προτιμήσεις. Τα φυτά αυτά λοιπόν αποτελούν το αρχικό στάδιο των βελτιωμένων ποικιλιών του σήμερα (Mangelsdorf, 1965). Από χιλιάδες είδη φυτών ο άνθρωπος επέλεξε λίγα μόνο για να εξημερώσει με σκοπό την τροφή, τις φυτικές τους ίνες ή για κάποια άλλη χρήση. Μια αιτιολογία που διατυπώνεται για την επιλογή των φυτών, είναι πως αυτή βασίστηκε στην ευκολία αναπαραγωγής τους.

Ο μηχανισμός για παράδειγμα μέσω του οποίου το σιτάρι ή το κριθάρι διασκορπίζουν τους σπόρους τους κατά την ωριμότητα, αποτελεί έναν μηχανισμό που ελέγχεται από ένα και μόνο γονίδιο. Όταν ο άνθρωπος επέλεξε το σιτάρι που δεν διασκορπίζει το σπόρο του, το έκανε γιατί το χαρακτηριστικό αυτό έκανε το εν λόγω είδος προτιμότερο από κάποια άλλα (Zohary&Hopf, 2012). Οι πρώτοι λοιπόν γεωργοί προτίμησαν τα δημητριακά που είναι σήμερα γνωστά, εξαιτίας της ικανότητάς τους να διατηρούν τον σπόρο τους κάτι που σήμαινε πως η περίοδος συγκομιδής θα μπορούσε να είναι μεγαλύτερη χρονικά.

Με βάση τα παραπάνω, μπορεί να υποστηριχθεί το γεγονός πως τα είδη καλλιεργειών ουσιαστικά επιλέχθηκαν συνειδητά και όχι τυχαία, καθώς απαιτούσαν την λιγότερη

προσπάθεια (σε σχέση φυσικά με άλλα είδη), ώστε να αποτελέσουν πολύτιμες πηγές τροφής. Το βήμα από τον διαχωρισμό των άχρηστων φυτών και των πολύτιμων, έγινε με σχετική ευκολία. Τα αμύγδαλα αποτελούν έναν παράδειγμα κληρονομικότητας ευεργετικών χαρακτηριστικών. Οι άγριοι πρόγονοι των αμυγδάλων αποτελούνταν από πικρές χημικές ουσίες, ωστόσο η μετάλλαξη που απομάκρυνε τα πικρά αυτά χημικά, αφορά ένα γονίδιο και ως εκ τούτου ήταν εύκολο να επιλεγεί. Απεναντίας, οι βελανιδιές, έχουν επίσης δυσάρεστες χημικές ενώσεις μέσα τους, αλλά τα χημικά αυτά εξαρτώνται από πολλά γονίδια, γεγονός που απέτρεψε κατά την αρχαιότητα τον χωρίς γνώση καλλιεργητή να επιλέξει προς εξημέρωση το δέντρο. Αυτό με άλλα λόγια μπορεί να εξηγήσει τον λόγο που οι βελανιδιές δεν έχουν εξημερωθεί.

Μεταξύ των καλλιεργούμενων ειδών έχει παρατηρηθεί πως υπάρχει έναν σύνολο κοινών χαρακτηριστικών. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι που έκαναν τα φυτά αυτά παραγωγικά και συνολικά ωφέλιμα για την ανθρώπινη κοινωνία. Αυτά λοιπόν ευθύνονται για την ομοιομορφία αλλά και για την υψηλή παραγωγικότητα των φυτών που γνωρίζουμε. Κάποια γονίδια επίσης επηρεάζουν το μικρό μέγεθος των φυτών και τον δύσκολο θρυμματισμό τους (ρύζι, σιτάρι), καθώς και το μεγάλο μέγεθος και την ευχάριστη γεύση τους (μήλα, ντομάτες). Οι Fray και Doganlar (2003) υπογραμμίζουν το γεγονός πως τα σημαντικά αυτά στοιχεία των φυτών, ελέγχονται από λίγα μόνο γονίδια. Σύμφωνα με τους ίδιους, το γεγονός αυτό ίσως να υποστηρίζει την άποψη πως η μετάβαση από το άγριο στο εξημερωμένο, πραγματοποιήθηκε σε εξαιρετικά σύντομο χρονικό διάστημα, ίσως και σε διάστημα λιγότερο των εκατό χρόνων, ωστόσο κάτι τέτοιο είναι δύσκολο να αποδειχθεί χωρίς επαρκή αρχαιολογικά στοιχεία.

Μετά την αρχαία εξημέρωση των καλλιεργούμενων ειδών, η βελτίωση των φυτών πραγματοποιούνταν ανεπίσημα για χιλιάδες χρόνια. Κατά την διάρκεια αυτής της περιόδου οι αγρότες θα μπορούσαν να έχουν επιλέξει να διασώσουν τους σπόρους από τα υγιέστερα ή τα περισσότερο αποδοτικά φυτά, ωστόσο αυτό δεν πραγματοποιήθηκε καθώς δεν διέθεταν την επαρκόμενη επιστημονική γνώση για να επιτρέψουν την εκούσια αναπαραγωγή για την διάσωση των χαρακτηριστικών ή για να κατανοήσουν τις αιτίες και τις επιπτώσεις της ευρέως χρησιμοποιούμενης μεθόδου της φυσικής επιλογής. Έτσι θα πρέπει να υπογραμμιστεί πως οι απόπειρες των ανθρώπων αυτών απέχουν από μια επιστημονική μέθοδο που σκοπό έχει αμιγώς την βελτίωση των φυτών (Jensen, 1994).

Ωστόσο, είναι σημαντικό να τονιστεί πως η απουσία γραπτών αρχείων στα οποία περιγράφονται οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνταν, έχει περιορίσει την σχετική πληροφόρηση και η γνώση για την ανάπτυξη των αγροκτημάτων και τις προϊστορικές γεωργικές πρακτικές

πηγάξει από αρχαιολογικά στοιχεία. Αν και δεν είναι γνωστό ακριβώς πότε επινοήθηκε η γεωργία, σύμφωνα με τον Mangelsdorf (1952) πρέπει να έγινε σχετικά πρόσφατα αν βασιστεί κανείς στην αρχαιολογική χρονολόγηση των καλλιεργούμενων φυτικών υπολειμμάτων. Για παράδειγμα έρευνες έχουν δείξει πως η εξημέρωση του αραβόσιτου πρέπει να ξεκίνησε πριν επτά περίπου χιλιάδες χρόνια στο Μεξικό (Jensen, 1994). Παρόλα αυτά, η άποψη αυτή δεν διατυπώθηκε χωρίς διαφωνίες, καθώς διατυπώνονται διαφορετικές απόψεις.

Τα περισσότερα σημερινά φυτά έχουν τις ρίζες τους στο παρελθόν, όπου παράλληλα με την εξημέρωσή τους, υπέστησαν βελτιώσεις στην παραγωγή τους και άλλαξε η μορφολογία τους. Οι αλλαγές αυτές έγιναν έχοντας ως στόχο την αύξηση του μεγέθους και του αριθμού των σπόρων, όπως επίσης και την μείωση του ληθάργου ή του διασκορπισμού των σπόρων τους. Και φυσικά οι αλλαγές αυτές έγιναν μέσω της εξημέρωσης, άρα της ανθρώπινης επιλογής. Οι γενετικές αλλαγές που είναι αποτέλεσμα της εξημέρωσης και της γεωργίας, έχουν καταστήσει τα περισσότερα φυτά ανίκανα να επιβιώσουν στην άγρια φύση. Επομένως μπορεί να υποστηριχθεί το γεγονός πως ο άνθρωπος εξαρτά την επιβίωσή του από τις καλλιέργειες και παράλληλα τα φυτά εξαρτώνται από την ανθρώπινη φροντίδα προκειμένου να συνεχίζουν να υπάρχουν.

Με την εξημέρωση προέκυψαν και ορισμένες αρνητικές επιπτώσεις, όπως για παράδειγμα η μειωμένη γενετική ποικιλομορφία. Η μειωμένη γενετική ποικιλομορφία αποτελεί ουσιαστικά προϊόν της επιλογής του ανθρώπου για τα επιθυμητά αγρονομικά χαρακτηριστικά. Δυστυχώς, οι σύγχρονες καλλιέργειες είναι συχνά επιρρεπείς στις ασθένειες, στις επιθέσεις των εντόμων και στις αβιοτικές πιέσεις. Προκειμένου να βρεθούν ανθεκτικά γονίδια, είναι απαραίτητο ο άνθρωπος να επιστρέψει πίσω στους άγριους προγόνους των φυτών και στους στενούς συγγενείς τους. Η κίνηση αυτή μπορεί να είναι προβληματική εξαιτίας των μειωμένων αποδόσεων που έχουν οι άγριοι συγγενείς των φυτών, ωστόσο μπορεί να κρίνεται επιτακτική για την εξέλιξη της καλλιέργειας. Μια κατανόηση της εξημέρωσης των καλλιεργειών μπορεί να βοηθήσει τον γεωργό να επιδιώξει την δημιουργία του επόμενου καλύτερου φυτού.

Είναι προφανές πως η γενετική ποικιλία των καλλιεργειών που χρησιμοποιεί ο σύγχρονος άνθρωπος είναι περιορισμένη σε σχέση με την γενετική ποικιλία που υπήρχε όταν ο άνθρωπος άρχισε να κάνει τα πρώτα του βήματα στην γεωργία. Είναι πιθανό πως οι πρώτοι γεωργοί παρατήρησαν τις λίγες μεταλλάξεις ή τις αποκλίσεις που είχαν σαν αποτέλεσμα ένα θετικό χαρακτηριστικό για το φυτό και τις χρησιμοποίησαν. Η μείωση αυτή της γενετικής ποικιλομορφίας προέκυψε λοιπόν εξαιτίας της εξημέρωσης των φυτών από τον άνθρωπο (Tanksley&McCouch, 1997).



### 1.3 Η βελτίωση των φυτών και οι στόχοι της

Στην πρωτόγονη μορφή της η βελτίωση φυτών άρχισε μετά την εφεύρεση της γεωργίας, όταν οι άνθρωποι των πρωτόγονων πολιτισμών άλλαξαν τον τρόπο ζωής τους και από κυνηγοί-συλλέκτες έγιναν καλλιεργητές φυτών που είχαν επιλέξει. Η αλλαγή αυτή του τρόπου ζωής δεν συνέβη από την μια στιγμή στην άλλη, αλλά αποτελούσε μια σταδιακή διαδικασία κατά την διάρκεια της οποίας τα φυτά μεταμορφώθηκαν. Έτσι, από τα άγρια και ανεξάρτητα φυτά προέκυψαν φυτά πλήρως εξαρτημένα από την ανθρώπινη φροντίδα.

Κατά την διάρκεια αυτής της περιόδου άρχισε να χρησιμοποιείται η καθιερωμένη σήμερα βασική τεχνική της βελτίωσης των φυτών, αυτή της επιλογής, της τέχνης δηλαδή της διάκρισης μεταξύ των χαρακτηριστικών ενός πληθυσμού, με στόχο την ταυτοποίηση και στην συνέχεια την επιλογή των επιθυμητών παραλλαγών.

Στις απαρχές της βελτίωσης, οι ποικιλίες με τις οποίες ασχολήθηκαν οι άνθρωποι ήταν οι ποικιλίες που προέκυψαν φυσικά και οι άγριοι συγγενείς των καλλιεργούμενων ειδών. Επιπλέον, η επιλογή βασιζόταν αποκλειστικά στην διαίσθηση, στην ικανότητα και στην κρίση του ανθρώπου που αναλάμβανε την βελτίωση, κάτι που θα μπορούσε να υποστηριχθεί πως συμβαίνει ακόμα και σήμερα σε κάποιο βαθμό, ειδικά από γεωργούς σε φτωχές χώρες, οι οποίοι σώζουν τον σπόρο από τα φυτά που θεωρούν πως είναι τα καλύτερα της καλλιέργειάς τους. Θα μπορούσε να υποστηριχθεί επίσης το γεγονός, πως αν και οι πρωτόγονοι παραγωγοί ουσιαστικά βελτίωναν τα φυτά τους, αυτό δεν σήμαινε απαραίτητα πως πραγματοποιούσαν την όλη διαδικασία ενσυνείδητα.

Στις μέρες μας όμως η επιστήμη της βελτίωσης έχει εξελιχθεί και στην παραπάνω τεχνική έχουν προστεθεί άλλες, οι οποίες χαρακτηρίζονται από έναν επιστημονικό χαρακτήρα, γεγονός που καθιστά την όλη διαδικασία περισσότερο δαπανηρή, αλλά τα αποτελέσματά της περισσότερο ακριβή και αποτελεσματικά.

Η βελτίωση των φυτών είναι μια σκόπιμη προσπάθεια του ανθρώπου να αλλάξει ελαφρώς την φύση που σχετίζεται με την κληρονομικότητα των φυτών. Οι αλλαγές που πραγματοποιούνται είναι μόνιμες και παράλληλα κληρονομικές. Η ενέργεια της βελτίωσης προκαλείται κυρίως από την ανάγκη των ανθρώπων να βελτιώσουν ορισμένες πτυχές των φυτών, προκειμένου αυτά να καλύπτουν με έναν περισσότερο αποτελεσματικό τρόπο τις ανάγκες που παρουσιάζονται.

Η βελτίωση των φυτών μπορεί να περιλαμβάνει την εγγενή διαδικασία για την επίτευξη της επιθυμητής αλλαγής, ωστόσο μπορεί να περιλαμβάνει μια μη εγγενή διαδικασία στα φυτά

που δεν αναπαράγονται με αυτόν τον τρόπο. Ως εκ τούτου, η βελτίωση συμβαίνει για την παραποίηση των χαρακτηριστικών των φυτών, της δομής τους και της σύνθεσής τους, με στόχο πάντα αυτά να γίνουν περισσότερο χρήσιμα στον άνθρωπο.

Βελτίωση των φυτών, ονομάζεται δηλαδή η παραγωγή νέων, βελτιωμένων ποικιλιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους γεωργούς. Η νέα ποικιλία μπορεί να έχει υψηλότερες αποδόσεις και αυξημένη αντοχή στις διάφορες ασθένειες. Με άλλα λόγια οι βελτιωμένες ποικιλίες διαθέτουν έναν συνδυασμό ανώτερων ιδιοτήτων σε σύγκριση με τις ήδη υπάρχουσες ποικιλίες και αυτό γιατί οι νέες ποικιλίες θα αποτελούν έναν συνδυασμό γονιδίων, τα οποία ο επιστήμονας έχει συγκεντρώσει από μια δεξαμενή γονιδίων αυτού του είδους. Η νέα ποικιλία μπορεί να περιέχει μόνο γονίδια που ήδη υπάρχουν σε άλλες ποικιλίες της ίδιας καλλιέργειας, ή γονίδια που υπάρχουν σε φυτά που είναι στενοί συγγενείς με το φυτό που θα βελτιωθεί, ή γονίδια από άσχετους οργανισμούς που εισέρχονται με βιοτεχνολογικά μέσα

Από τα παραπάνω μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα πως ο υπεύθυνος για την βελτίωση των φυτών, χρησιμοποιεί μια σειρά από τεχνικές προκειμένου να δημιουργήσει την νέα ποικιλία. Η διαδικασία αυτή είναι χρονοβόρα αλλά και δαπανηρή. Συνήθως, απαιτούνται περισσότερα από δέκα χρόνια για να προχωρήσει μια νέα ποικιλία από τα αρχικά της στάδια στο στάδιο της εμπορικής χρήσης. Κάθε ποικιλία είναι βελτιωμένη σε σχέση με τις προηγούμενες και σε κάποιες περιπτώσεις από την νέα ποικιλία μπορεί να προκύψει κάποια πολύ σημαντική βελτίωση, εξαιτίας της χρήσης κάποιου νέου γονιδίου, μιας νέας τεχνολογίας ή της ανθεκτικότητας της σε κάποια ασθένεια ή σε κάποιο παράσιτο.

Στις περισσότερες καλλιέργειες όπου έχουν παρατηρηθεί σημαντικές γενετικές βελτιώσεις, όπως για παράδειγμα το σιτάρι, το ρύζι ή το καλαμπόκι, οι νέες ποικιλίες είναι κατά 5% περίπου καλύτερες από τις αμέσως προηγούμενες. Τα πλεονεκτήματα μιας νέας φυτικής ποικιλίας μπορεί να εμφανίζονται σε συγκεκριμένες μόνο περιοχές και μόνο υπό κάποιες ιδιαίτερες συνθήκες, ή μπορεί να διαθέτουν χαρακτηριστικά, η ύπαρξη των οποίων δεν είναι υποχρεωτική σε άλλες περιοχές. Επομένως, είναι φυσικό και σύνηθες φαινόμενο να υπάρχουν προγράμματα βελτίωσης για μια καλλιέργεια σε μια μόνο χώρα, καθώς τα προγράμματα αυτά ουσιαστικά απευθύνονται στην ιδιαιτερότητα της κάθε περιοχής.

Η βελτίωση των φυτών μπορεί σε γενικές γραμμές να περιγραφεί ως εξής (Lockett & Halloran,1988):

- Ο υπεύθυνος για την βελτίωση των φυτών αρχικά εντοπίζει τις ανάγκες των καλλιεργητών, αλλά και τις ελλείψεις που παρουσιάζουν οι υπάρχουσες ποικιλίες φυτών.

- Υπάρχει το ενδεχόμενο να διαπιστωθεί πως απαιτείται το βελτιωμένο φυτό που θα παραχθεί να είναι περισσότερο ανθεκτικό σε μια ασθένεια, ή η απόδοση του φυτού να αυξηθεί προκειμένου να καταστεί κερδοφόρα η καλλιέργειά του,
- Στην συνέχεια συγκεντρώνονται οι ξεχωριστοί γονότυποι που διαθέτουν τα χαρακτηριστικά που έχουν αποφασιστεί πως είναι αναγκαία.
- Σε περίπτωση που κάποιο από τα χαρακτηριστικά που έχει επιλεγεί δεν υπάρχει στην διαθέσιμη δεξαμενή γονιδίων, τότε ενδέχεται να χρησιμοποιηθεί γονιδιακή τεχνολογία προκειμένου να αποκτηθεί το αναγκαίο γονίδιο από κάπου αλλού ή να δημιουργηθεί ένα εντελώς νέο γονίδιο.
- Ακολούθως, το πρόγραμμα βελτίωσης συνεχίζεται με την τεχνητή υβριδοποίηση ή διασταύρωση των γονέων που διαθέτουν τα απαιτούμενα γονίδια. Οι λεπτομέρειες αυτής της φάσης εξαρτώνται από παράγοντες που σχετίζονται με τα είδη των φυτών που εμπλέκονται στην όλη διαδικασία, όπως επίσης και από το αν υπάρχει ή αν απουσιάζει γνώση σχετική με τον γενετικό έλεγχο των επιθυμητών χαρακτηριστικών.
- Στις πρώιμες γενιές, ο υπεύθυνος για την βελτίωση επιλέγει τους απογόνους από τις διασταυρώσεις, ώστε να απομακρυνθούν όσοι έχουν ανεπιθύμητους ή κατώτερους γονότυπους. Έτσι, ο υπεύθυνος ουσιαστικά απορρίπτει τους αδύναμους και κρατά τους δυνατότερους.
- Το τελικό στάδιο περιλαμβάνει την διαπίστωση της αξίας των νέων γονοτύπων σε σχέση με τις ήδη υπάρχουσες ποικιλίες και στην συνέχεια η εμπορική χρήση της νέας ποικιλίας.

Προκειμένου να επιτευχθεί η βελτίωση μιας καλλιέργειας, πρέπει να συνεργαστούν στενά μια σειρά επιστημόνων, όπως για παράδειγμα φυτικοί παθολόγοι, εντομολόγοι, βιοχημικοί, γεωπόνοι, επαγγελματίες παραγωγής σπόρων, μοριακοί βιολόγοι κ.α.. Η βελτίωση των φυτών δηλαδή, αποτελεί μια κοπιαστική εργασία που παίρνει χρόνο για να φέρει ορατά αποτελέσματα.

Ωστόσο, είναι εξαιρετικά σημαντική. Ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξάνεται με γρήγορους ρυθμούς, οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις μειώνονται εξαιτίας της αστικοποίησης, της αυξανόμενης αλατότητας, όπως επίσης της οξύτητας και της διάβρωσης του εδάφους. Παράλληλα, τα παράσιτα και οι ασθένειες των φυτών εξελίσσονται συνεχώς, με αποτέλεσμα να απειλούν τις ποικιλίες των φυτών που υπάρχουν σήμερα. Με βάση λοιπόν τα παραπάνω μπορεί να υπογραμμιστεί το γεγονός πως η βελτίωση φυτών αποτελεί μια σημαντική αποστολή.

Αλλά ακόμα και αν το ζήτημα της βελτίωσης των φυτών ειδοωθεί από μια αμιγώς οικονομική σκοπιά, προκύπτει πως η υιοθέτηση μιας βελτιωμένης ποικιλίας δεν επιβαρύνει οικονομικά τον καλλιεργητή. Άλλωστε, οι οικονομικές αναλύσεις έχουν δείξει πως μια επένδυση στην βελτίωση φυτών επιστρέφει πολλαπλά το αρχικό κεφάλαιο και αυτός είναι ένας από τους λόγους που ωθεί επιτυχημένες βιομηχανίες στο να εμπλέκονται στην όλη διαδικασία (Morris & Heisey, 2003).

Πρέπει να υπογραμμιστεί το γεγονός πως δεν μπορούν να αλλάξουν όλα τα χαρακτηριστικά των φυτών από όσους τα βελτιώνουν. Η εξέλιξη της τεχνολογίας όμως βοηθά προς αυτήν την κατεύθυνση, καθώς έχουν σημειωθεί εξαιρετικές βελτιώσεις φυτών με την εφαρμογή της βιοτεχνολογίας στην γενετική βελτίωση. Η δύναμη αυτή του ανθρώπου είναι αμφιλεγόμενη και από τις πιο αμφιλεγόμενες νέες τεχνολογίες είναι αυτήν που επιτρέπει την μεταφορά γονιδίων από ένα είδος σε άλλο.

Οι άνθρωποι που ασχολούνται με την βελτίωση των φυτών χρησιμοποιούν διάφορες τεχνολογίες και μεθοδολογίες προκειμένου να επιτύχουν στόχους που έχουν τεθεί σχετικά με την βελτίωση (Heisey & Morris, 2002). Καθώς η τεχνολογία και η επιστήμη εξελίσσονται, νέα εργαλεία δημιουργούνται, ενώ παλαιότερα εργαλεία τελειοποιούνται. Πριν την έναρξη ενός προγράμματος βελτίωσης, πρέπει να καθοριστούν με σαφήνεια οι στόχοι του, οι οποίοι κάθε φορά θα εξαρτώνται από τις ανάγκες, από τις προτιμήσεις των καταναλωτών και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι βελτιωτές επίσης, σκοπεύουν στο να κάνουν την δουλειά του καλλιεργητή περισσότερο εύκολη, αλλά και πιο αποδοτική.

Ενδέχεται να τροποποιήσουν την δομή του φυτού έτσι ώστε αυτό να μπορεί να φυτευτεί σε διάφορα περιβάλλοντα και να επιτραπεί η μηχανική συγκομιδή του. Επίσης, οι βελτιωτές μπορούν να αναπτύξουν φυτά τα οποία είναι ανθεκτικά στις επιθέσεις των παρασίτων και άρα δεν θα είναι υποχρεωτική ή θα περιορίζεται η ανάγκη της χρήσης φυτοφαρμάκων. Η μη χρήση ή η περιορισμένη χρήση φυτοφαρμάκων εκτός των άλλων πλεονεκτημάτων που έχει, παράλληλα, είναι φιλική προς το περιβάλλον, καθώς μειώνεται η ρύπανση από γεωργικές εργασίες. Ακόμα, μπορεί να αναπτυχθούν ποικιλίες υψηλών αποδόσεων κάτι που μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα ο γεωργός να είναι σε θέση να ανταποκριθεί στην συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση βελτιώνοντας το εισόδημά του (Mundt, 2014).

Οι βελτιωτές των φυτών όμως όπως έχει προαναφερθεί δεν σκέφτονται μόνο τον γεωργό που πρόκειται να καλλιεργήσει την ποικιλία, αλλά σκέφτονται και τις ανάγκες του καταναλωτή. Έτσι μπορεί να αναπτυχθούν ποικιλίες οι οποίες να διαθέτουν υψηλότερη διατροφική αξία και να είναι περισσότερο εύγευστες. Η υψηλότερη θρεπτική αξία μπορεί να συμβάλει με θετικό τρόπο στην μείωση των ασθενειών που σχετίζονται με την κατανάλωση τροφών με

ανεπαρκή θρεπτικά συστατικά, γεγονός που παρατηρείται σε αναπτυσσόμενες και όχι μόνο χώρες.

Παράλληλα, η βελτίωση των φυτών μπορεί να επιφέρει θετικές αλλαγές και στην βιομηχανική παραγωγή. Για παράδειγμα οι φυτικές ίνες του βαμβακιού μπορούν να αποτελέσουν προϊόν βελτίωσης με αποτέλεσμα ανθεκτικότερο βαμβάκι. Οι τελευταίες εξελίξεις στην τεχνολογία και πιο συγκεκριμένα στις τεχνολογίες γενετικής μηχανικής, μπορούν να εφαρμοστούν έτσι ώστε τα φυτά να είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν σαν βιοαντιδραστήρες για να παράγουν ορισμένα φαρμακευτικά προϊόντα.

Οι στόχοι που έχουν επιτευχθεί από τους βελτιωτές είναι οι εξής:

- Η αύξηση της απόδοσης των καλλιεργειών Έχει επιτευχθεί μέσω πολλών τρόπων, εκ των οποίων και η βελτίωση, ώστε τα φυτά να είναι ανθεκτικά σε ασθένειες και σε επιθέσεις παρασίτων ή να ανταποκρίνονται στο περιβάλλον παραγωγής. Οι αποδόσεις κάποιων βασικών καλλιεργειών (ρύζι, καλαμπόκι, σιτάρι, σόγια) έχουν αυξηθεί σημαντικά σε βάθος χρόνων. Αυτές οι αυξήσεις της απόδοσης δεν οφείλονται εξ ολοκλήρου στην γενετική δυναμική των νέων καλλιεργούμενων ποικιλιών, αλλά επηρεάζονται θετικά και από την βελτίωση που έχει παρατηρηθεί στα λιπάσματα ή στην άρδευση. Οι καλλιέργειες έχουν ενισχυθεί ώστε να είναι ανθεκτικές στις ασθένειες και το γεγονός αυτό είναι κάτι που επίσης ενισχύει την απόδοση.
- Η βελτίωση των χαρακτηριστικών των φυτών με στόχο την ενίσχυση της διατροφικής τους ποιότητας ή την κάλυψη βιομηχανικών αναγκών, επίσης αποτελούν βασικούς στόχους της βελτίωσης. Ποικιλίες υψηλές σε περιεκτικότητα πρωτεΐνης έχουν δημιουργηθεί και χρησιμοποιούνται σε πολλές περιοχές. Για παράδειγμα διαφορετικά είδη σιταριού απαιτούνται για διαφορετικά προϊόντα όπως μακαρόνια, ψωμί ή μπισκότα. Όσοι λοιπόν ασχολούνται με την βελτίωση των φυτών έχουν ταυτοποιήσει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τις διάφορες χρήσεις και ακολούθως προχώρησαν στην δημιουργία ποικιλιών οι οποίες διαθέτουν σε αυξημένο βαθμό αυτά τα χαρακτηριστικά.
- Στις μέρες μας υπάρχει επίσης η δυνατότητα να καλλιεργούνται φυτά σε περιοχές στις οποίες αυτά δεν συναντώνται και αυτό επειδή οι βελτιωτές φυτών έχουν αναπτύξει ποικιλίες οι οποίες διαθέτουν τροποποιημένη φυσιολογία, η οποία τις επιτρέπει να προσαρμόζονται στα νέα περιβάλλοντα. Για παράδειγμα, ποικιλίες φωτοπεριδικά ουδέτερες μπορούν πλέον να ανθίζουν και να παράγουν σπόρο κάτω υπό οποιοσδήποτε συνθήκες φωτισμού. Η διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου

διαφέρει από περιοχή σε περιοχή. Οι πρώιμα ωριμασμένες ποικιλίες επιτρέπουν στους καλλιεργητές να παράγουν ακόμα και δύο καλλιέργειες μέσα σε μια περίοδο. Επιπλέον, οι ποικιλίες που ωριμάζουν νωρίς, μπορούν να αποτελέσουν αντικείμενο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί προκειμένου να παραχθεί μια ολοκληρωμένη καλλιέργεια σε περιοχές στις οποίες οι δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες δεν το επέτρεπαν κατά το παρελθόν.

## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>

### 2.1 Βελτίωση φυτών κατά την προχριστιανική εποχή

Το πιο πιθανό είναι το μοντέλο της μετάβασης του ανθρώπου από την φάση του κυνηγιού και της συλλογής τροφίμων στην φάση της παραγωγής της τροφής, να προέκυψε σταδιακά, ενώ ο ακριβής τρόπος δράσης ακόμα αποτελεί προϊόν αναζήτησης. Ο Redding (1988) προσπαθεί να χρησιμοποιήσει μια γενικευμένη μέθοδο, σύμφωνα με την οποία ο άνθρωπος κυνηγός-συλλέκτης μέσα σε έναν συγκεκριμένο οικοσύστημα, κερδίζει σταδιακά την δεξιότητα να φροντίζει την γη, αυξάνοντας την απόδοσή της. Οι κάτοικοι ενός περιβάλλοντος που χαρακτηρίζεται από τον υπερπληθυσμό, θα πρέπει να αντιμετωπίσουν την έλλειψη πηγών, μέσω της μετανάστευσης, της μείωσης του ποσοστού αναπαραγωγής της εξεύρεσης νέων πηγών διατροφής ή της αποθήκευσης.

Οι μέθοδοι αυτοί ουσιαστικά ισοδυναμούν με την εξέλιξη της γεωργίας. Η μετανάστευση σε ένα νέο περιβάλλον, με περισσότερα διαθέσιμα φυτά και ζώα, αποτελεί τον ευκολότερο τρόπο μέσω του οποίου οι πρωτόγονοι άνθρωποι ξέφευγαν από ένα περιβάλλον με μειωμένες αποδόσεις. Η μέθοδος της μείωσης του ποσοστού αναπαραγωγής, θα χρησιμοποιούνταν προκειμένου να διατηρηθεί ο πληθυσμός σε επίπεδα που θα είναι ανάλογα με την ικανότητα του περιβάλλοντος να προσφέρει τα απαραίτητα αγαθά, που θα είναι αρκετά για την επιβίωση. Η εξεύρεση νέων πηγών τροφής είναι μέθοδος που περιλαμβάνει και την επινόηση νέων τεχνολογιών με στόχο την επεξεργασία ενός διαθέσιμου πόρου που δεν είχε ακόμα χρησιμοποιηθεί για παροχή τροφής.

Τέλος, η μέθοδος της αποθήκευσης χρησιμοποιήθηκε για να μειωθεί η αβεβαιότητα που ένιωθαν οι πρωτόγονοι άνθρωποι σχετικά με την προσφορά τροφής και μπορεί να θεωρηθεί ως ένας λόγος που ώθησε τον άνθρωπο να αναπτύξει τεχνολογία. Πιθανότατα, αποτελεί την πηγή από την οποία εξελίχθηκε η γεωργία. Η αποθήκευση τροφής θα μπορούσε να περιλαμβάνει την αιχμαλωσία ενός μεγαλύτερου αριθμού ζώων από αυτόν που θα μπορούσε να καταναλωθεί άμεσα. Παράλληλα όμως η αποθήκευση θα μπορούσε να περιλαμβάνει και την αποθήκευση ή την μεταφορά σπόρων που προοριζόνταν για έμμεση και όχι άμεση κατανάλωση.

Υπάρχουν πολλά σενάρια που έχουν διατυπωθεί για την περιγραφή αυτού του μικρού αλλά εξαιρετικά σημαντικού βήματος, από την άμεση δηλαδή στην έμμεση κατανάλωση τροφών και στην συνειδητή προσπάθεια της αποθήκευσης σπόρων με σκοπό την φύτευσής τους σε μεταγενέστερο χρόνο σε περισσότερο αποδοτικά περιβάλλοντα, και κάπως έτσι άρχισε να εμφανίζεται το φαινόμενο της σκόπιμης καλλιέργειας (Hillman&Davies, 1990).

Ο νέος αγροτικός τρόπος ζωής που είχε δημιουργηθεί έπρεπε όμως να ανταγωνιστεί τον τρόπο ζωής των ανθρώπων κυνηγών-συλλεκτών. Μόλις λοιπόν άρχισε η εξημέρωση των φυτών, παρατηρήθηκαν αλλαγές και βελτιώσεις στα φυτά (αλλά και στα ζώα) και αυτό αποτελούσε ένα σπουδαίο πλεονέκτημα που ο νέος τρόπος ζωής διέθετε. Η αλλαγή του τρόπου ζωής φυσικά δεν ήταν στιγμιαία και η ταχύτητα της αλλαγής διέφερε μεταξύ των διάφορων περιοχών (Smith, 2001).

Οι μεταβολές που έγιναν στα άγρια είδη εντοπίζονται αρχικά στην περιοχή της Νοτιοδυτικής Ασίας, όπου θεωρείται η περιοχή στην οποία ξεκίνησε η εξημέρωση των φυτών. Για τα περισσότερα από αυτά τα είδη ο άγριος πρόγονος και η άγρια γεωγραφική περιοχή στην οποία αυτός εντοπιζόταν έχει ταυτοποιηθεί και η σχέση του με το εξημερωμένο φυτό έχει αποδειχθεί μέσω γενετικών μελετών.

Η ιστορία της γεωργίας καταγράφει την εξημέρωση φυτών, όπως επίσης και την ανάπτυξη και την διάδοση των τεχνικών που χρησιμοποιούνταν και που είχαν ως στόχο μια περισσότερο παραγωγική καλλιέργεια. Η γεωργία ξεκίνησε ανεξάρτητα σε διάφορα σημεία του πλανήτη και έντεκα τουλάχιστον κέντρα εμπλέκονται ως ανεξάρτητα κέντρα προέλευσης.

Μια αντίληψη η οποία είναι αρκετά δημοφιλής, αποτελεί αυτήν που θέλει την γεωργία να προκύπτει σε εννέα μεμονωμένες διάσπαρτες περιοχές, με ανεξάρτητο τρόπο στην κάθε μία. Εμπνευστής της θεωρίας αυτής ήταν ο Vavilov (1926) και ουσιαστικά αυτές οι εννέα περιοχές αντιπροσωπεύουν τα κέντρα που ο ίδιος πρότεινε ως κέντρα προέλευσης και που στα οποία άρχισε η καλλιέργεια και η εξημέρωση άγριων τύπων φυτών. Από τα κέντρα λοιπόν αυτά εξαπλώθηκε η τεχνική της εξημέρωσης των φυτών και η καλλιέργειά τους. Φυσικά η διάδοση αυτής της τεχνογνωσίας αλλά και της τεχνολογία που απαιτούταν, ήταν μια αργή διαδικασία. Είναι απίθανο οι νομαδικοί πληθυσμοί να μετατράπηκαν μέσα σε ένα σύντομο χρονικό διάστημα σε πληθυσμούς που έμεναν μόνιμα σε έναν σημείο και αφιέρωναν προσπάθεια σε κάτι που μακροπρόθεσμα μόνο θα απέφερε κέρδη, όπως η καλλιέργεια (Smith, 2001).

Η νέα αυτή γνώση θα είχε διαδοθεί γρηγορότερα αν πραγματοποιούνταν προς τις κατευθύνσεις της ανατολής και της δύσης και αυτό γιατί θα ήταν ευκολότερη, εξαιτίας της



προσαρμοστικότητας του κλίματος. Αυτό που διαπιστώθηκε για παράδειγμα στην περίπτωση της Αφρικής ήταν πως μια διάδοση προς τον Βορρά ή προς τον Νότο, θα ήταν περισσότερο δύσκολη εξαιτίας του κλίματος (Marshall&Hildebrand, 2002).

Από το 9000 π.Χ. καλλιεργούνταν σιτάρι, κριθάρι, μπιζέλια, φακές, λινάρι στην ευρύτερη περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου. Η σίκαλη μάλιστα ενδέχεται να είχε καλλιεργηθεί νωρίτερα, το γεγονός αυτό όμως δεν μπορεί να αποδειχθεί. Οι Σουμέριοι αγρότες άρχισαν να καλλιεργούν δημητριακά, κριθάρι και σιτάρι σχεδόν από το 8000 π.Χ.. Δεδομένης της περιορισμένης βροχόπτωσης που απαντάται στην περιοχή, η γεωργία βασιζόταν σε μεγάλο βαθμό στους ποταμούς Τίγρη και Ευφράτη. Το αρδευτικό σύστημα που είχε δημιουργηθεί επέτρεψε την καλλιέργεια σιτηρών σε τεράστιες ποσότητες, τέτοιες που ήταν ικανές να υποστηρίξουν τις ανάγκες των πόλεων. Εκτός των σιτηρών, υπήρχαν καλλιέργειες ρεβιθιών, φακών, μπιζελιών, φασολιών, κρεμμυδιών, σκόρδων, μαρουλιών και φρούτων όπως τα σταφύλια, τα μήλα, τα πεπόνια και τα σύκα (Tannahill, 1968).

Το ζαχαροκάλαμο και κάποια άλλα ριζώδη λαχανικά εξημερώθηκαν στην Νέα Γουινέα το 7000 π.Χ. ενώ το ρύζι εξημερώθηκε στην Κίνα το 6200 π.Χ.. Η πατάτα και τα φασόλια μεταξύ του 8000 π.Χ. και του 5000 π.Χ.. Οι μπανάνες καλλιεργήθηκαν και υβριδοποιήθηκαν την ίδια περίοδο στην Νέα Γουινέα, ενώ στην Μεσοποταμία εξημερώθηκε ο αραβόσιτος το 4000 π.Χ.. Το βαμβάκι εξημερώθηκε στο Περού το 3600 π.Χ.. Από το 3300 π.Χ. και έπειτα υπάρχουν στοιχεία που φανερώουν την εντατικοποίηση της γεωργίας σε πληθυσμούς της Μεσοποταμίας, της αρχαίας Αιγύπτου, της Νότιας Ασίας, της αρχαίας Κίνας και της αρχαίας Ελλάδας. Από το 1200 π.Χ. και μετά και κυρίως κατά την εποχή της κλασικής αρχαιότητας, η εξάπλωση της Ρωμαϊκής αυτοκρατορίας στην περιοχή της Μεσογείου και της Δυτικής Ευρώπης βασίστηκε πάνω σε υφιστάμενα συστήματα γεωργίας.

Πιο συγκεκριμένα η πρώιμη γεωργία πιστεύεται πως γεννήθηκε και διαδόθηκε ευρέως στην περιοχή της Νοτιοδυτικής Ασίας. Η περιοχή της Εύφορης Ημισελήνου στην Νοτιοδυτική Ασία λοιπόν αποτελεί το κέντρο της εξημέρωσης ποικιλιών του σιταριού, του κριθαριού, της φακής, των μπιζελιών, των ρεβιθιών και του λinaριού. Τα ευρήματα μεγάλων ποσοτήτων σπόρων και μιας πέτρας άλεσης, αποδεικνύουν πως υπήρχε κάποιος προηγμένος για την εποχή σχεδιασμός κατανάλωσης φυτικών τροφίμων και πως επίσης οι άνθρωποι εκείνοι επεξεργάζονταν τα σιτηρά τους πριν την τελική κατανάλωση (Brownetal., 2009).

Επίσης η βόρεια Κίνα θεωρείται πως υπήρξε το κέντρο της εξημέρωσης δημητριακών πριν τουλάχιστο 8000 χρόνια. Η εξημέρωση των δημητριακών αυτών είχε λάβει χώρα στην λεκάνη του Κίτρινου Ποταμού. Το ρύζι και η σόγια αποτελούν φυτά που εξημερώθηκαν

στην ίδια περιοχή περίπου λίγο αργότερα. Επίσης τα πορτοκάλια και τα ροδάκινα εξημερώθηκαν στην Κίνα το 2500 π.Χ. (Fuller, 2007).

Στην ήπειρο της Αφρικής τα στοιχεία έχουν δείξει μεμονωμένες περιοχές ανάπτυξης της γεωργίας: την Αιθιοπία, την ζώνη του Σαχέλ και την Δυτική Αφρική. Πολύ σημαντικός ήταν ο πολιτισμός της αρχαίας Αιγύπτου που εξαρτιόταν πολύ από τον Νείλο ποταμό και από τις εποχιακές πλημμύρες του. Πιο συγκεκριμένα οι Αιγύπτιοι εκμεταλλεύτηκαν τον φυσικό κύκλο των πλημμυρών του ποταμού και γύρω από αυτόν τον κύκλο σχεδίασαν τις γεωργικές τους πρακτικές. Τα εύφορα εδάφη λοιπόν επέτρεψαν τους Αιγυπτίους να οικοδομήσουν μία ολόκληρη αυτοκρατορία η οποία είχε σαν βάση της τον γεωργικό πλούτο. Οι Αιγύπτιοι μάλιστα θεωρούνται από τους πρώτους ανθρώπους που ασχολήθηκαν με την γεωργία σε μεγάλη κλίμακα. Οι καλλιεργητικές τους πρακτικές επέτρεψαν την δημιουργία βασικών καλλιεργειών, όπως το σιτάρι και το κριθάρι, αλλά και βιομηχανικών καλλιεργειών όπως το λινάρι και ο πάπυρος (Janick, 2000).

Πιο συγκεκριμένα οι Αιγύπτιοι καλλιεργούσαν ποικιλίες καλλιεργειών που προορίζονταν για κατανάλωση, όπως σιτηρά, λαχανικά και φρούτα. Ωστόσο οι διατροφικές τους συνήθειες περιελάμβαναν τα δημητριακά και το κριθάρι. Το κριθάρι μάλιστα αναπτύχθηκε με την προϋπόθεση να ζυμωθεί ώστε να γίνει στην συνέχεια μύρα. Πρέπει επίσης να σημειωθεί το γεγονός πως οι αρχαίοι Αιγύπτιοι χρησιμοποιούσαν διάφορες ποικιλίες σιταριού, οι οποίες προορίζονταν για συγκεκριμένα τελικά προϊόντα, για παράδειγμα για την παραγωγή ψωμιού χρησιμοποιούνταν συγκεκριμένη ποικιλία. Επίσης καλλιεργούνταν φασόλια, ρεβίθια, φακές, κρεμμύδια, ραπανάκια, μαρούλια κ.α.. Μια ακόμα φυτική καλλιέργεια που μάλιστα ήταν περισσότερο απαιτητική, ήταν αυτήν των φρούτων. Ήταν περισσότερο απαιτητική γιατί προκειμένου αυτά να παραχθούν αποτελεσματικά, χρειαζόταν η ύπαρξη γεωργικών τεχνικών όπως για παράδειγμα η άρδευση και ο αγενής πολλαπλασιασμός. Αν και τα πρώτα φρούτα που καλλιεργήθηκαν ήταν φρούτα που εντοπίζονταν στην περιοχή, οι καλλιέργειά τους διανθίστηκε με φρούτα από ξένες χώρες ως αποτέλεσμα πολιτισμικών ανταλλαγών. Κάποια από τα φρούτα που καλλιεργούνταν από τους Αιγυπτίους ήταν τα σταφύλια, τα καρπούζια, τα ρόδια και τα σύκα (Janick, 2005).

Όμως όπως προαναφέρθηκε οι αρχαίοι Αιγύπτιοι δεν καλλιεργούσαν τα φυτά μόνο για τροφή, αλλά τα καλλιεργούσαν και για να παραγάγουν προϊόντα. Έτσι τα χρησιμοποιούσαν στην ιατρική, στις θρησκευτικές τους πρακτικές ή στην παραγωγή ρουχισμού. Ο πάπυρος ήταν ένα από τα χαρακτηριστικότερα παραδείγματα που εξημερώθηκε και χρησιμοποιήθηκε ως τρόφιμο, ως υλικό για κατασκευή βαρκών, ψαθών και χαρτικής ύλης (Janick, 2000).

Η εξημέρωση των φυτών και η επακόλουθη διάδοση της γεωργίας επέτρεψε στους ανθρώπους να δημιουργήσουν μόνιμες κατοικίες και να αναπτύξουν περισσότερο περίπλοκους πολιτισμούς. Με την γεωργία προέκυψε η παραγωγή περισσότερων τροφών από όσες ήταν απαραίτητες. Η ύπαρξη άφθονης τροφής, καθώς και η μείωση του χρόνου που απαιτούσε η συλλογή τροφής, οδήγησε στον επιμερισμό των εργασιών και γενικότερα σε άλλες ασχολίες, όπως για παράδειγμα η τέχνη και η επιστήμη (Diamond, 2002).

Σαν πρώτη αγροτική επανάσταση (Νεολιθική Επανάσταση) ονομάστηκε αυτήν η μετάβαση ευρείας κλίμακας ανθρώπινων κοινωνιών κατά την διάρκεια της Νεολιθικής περιόδου από μια κουλτούρα που βασιζόταν στο κυνήγι σε μια γεωργική κουλτούρα μόνιμης εγκατάστασης. Η μόνιμη αυτήν εγκατάσταση επέτρεψε εκτός των άλλων τους ανθρώπους να παρατηρήσουν προσεκτικά τα φυτά που υπήρχαν γύρω τους, να μάθουν πώς αυτά αναπτύσσονταν και να πειραματιστούν με αυτά. (Bocquet, 2011). Τα αρχαιολογικά στοιχεία δείχνουν πως η εξημέρωση πολλών διαφορετικών τύπων φυτών προέκυψε σε ξεχωριστές περιοχές σε παγκόσμιο επίπεδο και πως η Νεολιθική Επανάσταση ουσιαστικά αποτέλεσε την πρώτη επανάσταση στον χώρο της γεωργίας η οποία μπορεί να επαληθευθεί μέσω ισχυρών στοιχείων.

Παράλληλα θα πρέπει να σημειωθεί πως μια από τις συνέπειες της επανάστασης αυτής ήταν και η μείωση της ποικιλίας των τροφών που πλέον προτιμούσε ο άνθρωπος. Η Νεολιθική Επανάσταση ωστόσο δεν περιορίζεται μόνο σε αυτό το γεγονός. Μια άλλη σημαντική πτυχή της είναι πως οι μόνιμες κοινωνίες που δημιουργήθηκαν τροποποίησαν ριζικά το φυσικό περιβάλλον μέσω της καλλιέργειας τροφών ή μέσω δραστηριοτήτων όπως η άρδευση και η αποψίλωση που επέτρεψαν την παραγωγή πλεονασματικών ποσοτήτων τροφών. Αυτές οι εξελίξεις επέτρεψαν την ανάπτυξη των ανθρώπινων πολιτισμών.

## Κεφάλαιο 3ο

### 3.1 Η φυτική βελτίωση κατά την διάρκεια του 17ου-18ου αιώνα μ.Χ.

Ένα πρώιμο παράδειγμα φυτικής βελτίωσης, εντοπίζεται στις αρχές του 17ου αιώνα, περίοδος κατά την οποία περιηγητές από την Ευρώπη στην Αμερική, ανακάλυψαν πως οι παραδοσιακές ποικιλίες που καλλιεργούσαν, ήταν εξαιρετικά ακατάλληλες για να χρησιμοποιηθούν στην νέα περιοχή που είχαν μεταναστεύσει. Οι αρχικοί άποικοι άρχισαν να προσαρμόζουν σταδιακά τις δικές τους ποικιλίες, ώστε αυτές να ανταποκρίνονται στο νέο περιβάλλον. Κατά την διάρκεια των πρώτων ημερών της αμερικάνικης γεωργίας, οι αγρότες επέλεξαν τα καλύτερα φυτά από τις σοδειές κάθε χρόνου προκειμένου να εξασφαλίσουν τον σπόρο για την επόμενη γενιά και κάποιες φορές ίσως να αποκτούσαν σπόρους από άλλους μετανάστες, συμμετέχοντας έτσι τόσο στην μαζική επιλογή όσο και στην εισαγωγή νέου γενετικού υλικού (Kloppenburg, 2005). Αν και δεν επέλεξαν σκόπιμα κάποια χαρακτηριστικά ή δεν χρησιμοποιούσαν επιστημονικές μεθόδους, οι προσπάθειές τους για επιβίωση ουσιαστικά ήταν αυτήν που ενίσχυσε την προσπάθεια για προσαρμογή των φυτών μέσω της βασικής αναπαραγωγής τους.

Προκειμένου να εφαρμοστούν περισσότερο επιστημονικές μέθοδοι στην βελτίωση των φυτών, απαραίτητη κρίνεται η επιστημονική γνώση. Κατά την διάρκεια του 17ου αιώνα, δύο ανατόμοι φυτών, ο Malpighi και ο Grew, προσέφεραν την αναγκαία επιστημονική γνώση εμπλουτίζοντας την με πληροφορίες που σχετίζονταν με την ανατομία και την αναπαραγωγή των φυτών. Χρησιμοποιώντας μικροσκόπια, οι επιστήμονες πλέον μπορούσαν να περιγράψουν την δομή των φυτών και την παραγωγή των σπόρων. Αν και η σεξουαλικότητα των φυτών τότε αποτελούσε ακόμα μια άγνωστη πτυχή, ο Malpighi χρησιμοποιώντας γνώσεις του από την ιατρική και την ανατομία των ζώων, άρχισε να ονοματίζει κάποια από τα μέρη του αναπαραγωγικού συστήματος των φυτών (Ingensiep, 2004).

Επιπλέον, αν και πολλοί κηπουροί προς τα τέλη του 17ου αιώνα διατηρούσαν την πεποίθηση πως η παραγωγή σπόρων ενέπλεκε την γύρη, για τους περισσότερους ωστόσο αυτό αποτελούσε μια φιλοσοφική εικασία. Το 1694 ο R. Camerarius κατάφερε να αποδείξει την παραπάνω ιδέα, επιδεικνύοντας την ανάγκη της ύπαρξης της γύρης μέσω συστηματικών πειραμάτων, στα οποία ευνούχισε άνθη ποικίλων ειδών και μετέφερε με τεχνητά μέσα την γύρη σε αυτά. Όταν παρατηρήθηκε πως μόνο τα γονιμοποιημένα άνθη παρήγαγαν σπόρους,

διατυπώθηκε το συμπέρασμα πως οι ανθήρες που παράγουν την γύρη είναι τα αρσενικά αναπαραγωγικά όργανα του φυτού και τα θηλυκά αυτά που λάμβαναν την γύρη.

Ο Γερμανός R. Camerarius, λοιπόν, είναι ο πρώτος που αναφέρει την εγγενή αναπαραγωγή των φυτών το 1694. Ο Γερμανός γιατρός R. Camerarius παρήγαγε δηλαδή πειραματικά στοιχεία, τα οποία στήριζαν την αμφιλεγόμενη για την εποχή ιδέα, πως μια από τις ικανότητες των φυτών αποτελούσε η εγγενής αναπαραγωγή. Στα πειράματα αυτά ασχολήθηκε κυρίως με φυτά στα οποία τα δύο φύλα εντοπίζονται σε διαφορετικά σημεία του φυτού ή σε διαφορετικά φυτά (αραβόσιτος, σπανάκι,).

Ωστόσο, ακόμα και μετά την επιστημονική απόδειξη, η γνώση αυτή αγνοήθηκε για πολλές δεκαετίες, εξαιτίας κυρίως της πιστής προσκόλλησης των επιστημών της εποχής στην άποψη πως τα φυτά ήταν άφυλα. Μετά από τις ανατομικές έρευνες του 17ου αιώνα πάνω στα φυτά, κατά τον 18ο αιώνα το ενδιαφέρον των επιστημόνων στράφηκε σε ένα καινοτόμο για την εποχή είδος γεωργίας, αυτό της υβριδοποίησης ενός είδους φυτού με ένα άλλο (Thompson&Harris, 2010).

Ο J. Koelreuter, ένας Γερμανός βοτανολόγος που πρωτοστάτησε στις έρευνες που σχετίζονταν με την γονιμοποίηση των φυτών και την υβριδοποίηση, διεξήγαγε πειράματα για την υβριδοποίηση των φυτών κατά την διάρκεια των οποίων διασταύρωνε γενετικά ανόμοιους γονείς σε έναν πλήθος φυτών. Καθώς κατά την διάρκεια του 18ου αιώνα αυτό που συνέχιζε να απασχολεί ιδιαίτερα τους φυσιολόγους σχετίζονταν με την σεξουαλικότητα των φυτών και ποιο συγκεκριμένα με το ζήτημα αν τα φυτά διαθέτουν αναπαραγωγικά όργανα και αν αναπαράγονται εγγενώς, ο Koelreuter (όπως επίσης και ο Linnaeus) θεώρησε την παραγωγή υβριδικών φυτών ως ένα ισχυρό στοιχείο που αποδείκνυε την σεξουαλική δυαδικότητα των φυτών.

Βασική πεποίθησή του ήταν το γεγονός πως τα φυτά και άρα η φύση στο σύνολό της, δημιουργήθηκαν από κάποιο δημιουργό και πως στόχος της φύσης αποτελεί η διατήρηση της τάξης και της αρμονίας. Επομένως, η ίδια η φύση δεν θα μπορούσε να παραγάγει φυτά σαν αποτέλεσμα διασταύρωσης δύο διαφορετικών ειδών. Επίσης, θεωρούσε πως στον κόσμο των φυτών θα έπρεπε να υπάρχουν κάποια πρότυπα, όπως για παράδειγμα μια ομοιογένεια στην συνεισφορά των γονέων προς τους απογόνους. Ακόμα, πίστευε πως το φύλο του απογόνου σχηματίζονταν αμέσως και πως η προέλευση του εμβρύου ήταν υπεύθυνη για τα χαρακτηριστικά που θα εμφάνιζε ο απόγονος και τις ομοιότητες με τον γονέα (Lehleiter, 2017).

Ο J. Koelreuter πραγματοποίησε μια σειρά πειραμάτων σχετικών με την υβριδοποίηση, προκειμένου να προσδιορίσει αν τα χαρακτηριστικά που διαθέτουν τα φυτά, αποτελούν

πάντα προϊόν κληρονομικότητας από την μητέρα ή τον πατέρα. Στα πειράματα αυτά χρησιμοποιήθηκε μια εξαιρετική ποικιλία φυτών και αποδείχθηκε πως οι απόγονοι, τα υβριδικά φυτά δηλαδή, εμφανίζουν χαρακτηριστικά τα οποία έχουν κληρονομήσει τόσο από την μητέρα, όσο και από τον πατέρα σε ίδια σχεδόν αναλογία.

Παράλληλα, μέσω των πειραμάτων αυτών αποδείχθηκε το γεγονός πως τα υβριδικά φυτά, είναι ικανά να παράγουν σπόρο, μόνο αν οι γονείς τους ανήκαν σε κοντινά είδη. Επιπροσθέτως, η πραγματοποίηση διασταυρώσεων απέδειξε πως πολλές γενιές μετά, οι απόγονοι επαναλάμβαναν τον φαινότυπο του γονέα. Η διαδικασία αυτή ουσιαστικά αποτελεί θεμέλιο της μεθόδου της αναδιασταύρωσης, που χρησιμοποιείται εκτενώς ακόμα και σήμερα (Thompson&Harris, 2010).

Ο Kolreuter θεωρούσε πως έπρεπε να υπάρχουν δύο ομοιογενή “υγρά”, το αρσενικό και το θηλυκό “σπέρμα”, τα οποία θα αναμιγνύονταν κατά την διαδικασία της γονιμοποίησης. Από την ένωση των δύο αυτών “υγρών” προκύπτει ένα άλλο “υγρό”, το οποίο αποτελεί την πηγή του νέου οργανισμού. Ο αρσενικός παράγοντας στα ανθοφόρα φυτά είναι προϊόν των κόκκων γύρης και ο θηλυκός παράγοντας, όπως ο ίδιος πίστευε, ήταν μία κολλώδης έκκριση του στίγματος. Ο ίδιος είχε την πεποίθηση πως απαραίτητη ήταν η ύπαρξη ίδιας ποσότητας αρσενικών και θηλυκών “υγρών” και πάνω σε αυτήν την λογική άρχισε να διερευνά το πόση γύρη ήταν απαραίτητη για την γονιμοποίηση ενός συγκεκριμένου αριθμού σπόρων. Στα άνθη με πολλαπλά στίγματα προχώρησε στο κόψιμο όλων των στιγμάτων εκτός από ένα και το πείραμα αυτό τον οδήγησε στην διαπίστωση πως η γονιμοποίησή του ήταν αρκετή για την παραγωγή όλων των σπόρων (Mayr, 1986).

Συνολικά, πραγματοποίησε πειράματα υβριδισμού σε περίπου 130 διαφορετικά είδη και εξέτασε τα χαρακτηριστικά που παρουσίασε η γύρη σε περισσότερα από 1000 είδη φυτών. Μέσω των πειραμάτων αυτών κατάφερε να τεκμηριώσει πρώτος την αρρενοστεριότητα και παρατήρησε το γεγονός πως ένα υβριδικό φυτό είναι ποιοτικά ανώτερο σε σύγκριση με τους δύο γονείς του (Olby, 1966).

Αν και ο Kolreuter έκανε πολλές παρατηρήσεις και πειραματίστηκε πάνω στην διαδικασία της γονιμοποίησης, προέβη παράλληλα στην χρήση μαθηματικών για τις μετρήσεις και τις αναλύσεις των δεδομένων του, για την υποστήριξη της θεωρίας της επιγενέσεως, την ισότητα της συνεισφοράς των γονέων, κάτι που σήμερα φαίνεται φυσιολογικό. Ωστόσο, η χρήση μαθηματικών ήταν εξαιρετικά ασυνήθιστη από τους φυσιολόγους κατά την διάρκεια του 18ου αιώνα.

Ο Kolreuter παρήγαγε τα πρώτα του υβρίδια κατά την διάρκεια του 1760 που ήταν αποτέλεσμα διασταύρωσης μεταξύ δύο ειδών καπνού (tobacco), του «*Nicotiana paniculata*»

και του «*Nicotiana rustica*». Αν και ο σχηματισμός του φυτού αυτού ήταν αντίστοιχος με αυτόν τον γονέων, παρουσίαζε ένα σημαντικό ελάττωμα που σχετιζόταν με την γονιμότητα. Μετά από έρευνες διαπίστωσε πως τα υβρίδια αυτά φυτά ήταν στείρα σε απόλυτο ή σε σχετικό βαθμό, καθώς τα δοχεία γύρης τους ήταν κατά πολύ μικρότερα σε σχέση με τα αντίστοιχα δοχεία των ειδών που είχαν δημιουργηθεί από την φύση.

Τα αποτελέσματα αυτά οδήγησαν τον επιστήμονα στο να πραγματοποιεί πειράματα, μέσω των οποίων δημιουργούσε υβρίδια φυτών και παρατηρώντας τα κατέληξε στο συμπέρασμα πως εμφάνιζαν ποικίλα επίπεδα γονιμότητας. Έτσι, δημιούργησε έναν πίνακα, στον οποίο παρουσίαζε με την χρήση των μαθηματικών τα αποτελέσματα των πειραμάτων που σχετιζόταν με την γονιμότητα των υβριδίων. Σύμφωνα λοιπόν με τον πίνακα αυτό, ο Kolreuter κατατάσσει τα υβριδικά φυτά σε σχέση με την γονιμότητά τους σε τρεις κατηγορίες: στα τέλεια φυτά που εμφανίζουν υψηλά επίπεδα γονιμότητας, στα ατελή φυτά που χαρακτηρίζονται από έναν βαθμό γονιμότητας ο οποίος εμφανίζει καθοδικές τάσεις και στα ποικίλα φυτά (varietal) τα οποία έχουν σαν χαρακτηριστικό τους φυσιολογικά επίπεδα γονιμότητας (Frangsmyr et al., 1990).

Τέλος θα πρέπει να σημειωθεί πως ο Kolreuter κατανόησε πως υπάρχουν διαφορές μεταξύ των υβριδίων πρώτης και δεύτερης γενιάς. Πιο συγκεκριμένα, παρατήρησε πως τα φυτά πρώτης γενιάς οποιασδήποτε διασταύρωσης ήταν όλα όμοια, παρουσίαζαν μια μορφή που προερχόταν από τα φυτά γονείς και πως όλα ήταν σε απόλυτο ή σχετικό βαθμό στείρα. Τα υβρίδια δεύτερης γενιάς, ακόμα και στην περίπτωση που αυτά παραγόταν από μία ωοθήκη, έτειναν να μοιάζουν λιγότερο στους γονείς υβρίδια και παρουσίαζαν περισσότερες ομοιότητες με τα αρχικά φυτά.

Παράλληλα σχεδόν με τον Koelreuter, το 1717 ο R. Bradley τράβηξε πάνω του την προσοχή της επιστημονικής κοινότητας κάνοντας γνωστές τις μελέτες για διασταυρώσεις διαφορετικών ειδών που είχαν πραγματοποιηθεί από τον T. Fairchild. Ο T. Fairchild είχε καταφέρει να δημιουργήσει με τεχνητό τρόπο την πρώτη γενιά υβριδίων, αποδεικνύοντας στην πραγματικότητα πως μια ορθολογική αναπαραγωγή των φυτών ήταν δυνατή. Ο T. Fairchild με τα πειράματά του έκανε συνέβαλε σημαντικά στην ανάπτυξη της κηπουρικής, αλλά το σπουδαιότερό του επίτευγμα είναι πως η κατανόηση από μέρους του της γενετικής των φυτών δημιούργησε το κατάλληλο κλίμα για την μετέπειτα θεωρία της εξέλιξης.

Πιο συγκεκριμένα, στις αρχές του 1700 ο Fairchild ήταν ιδιοκτήτης μιας εταιρίας φυτών η οποία ήταν διάσημη στο Λονδίνο εξαιτίας των σπάνιων φυτών που διέθετε. Εκτός όμως των σπάνιων φυτών, ο ίδιος ήταν ο πρώτος που φύτεψε στην Αγγλία μπανανιές, ενώ παράλληλα διατηρούσε αμπελώνα με περισσότερες από πενήντα ποικιλίες σταφυλιών. Λίγα χρόνια

αργότερα και συγκεκριμένα το 1717 ο Fairchild διασταυρώνοντας ένα ροζ γαρύφαλλο (*Dianthus caryophyllus*) με ένα άλλο είδος γαρύφαλλου (*Dianthus barbatus*) δημιουργεί το πρώτο υβριδικό φυτό με την ονομασία «*Dianthus caryophyllus barbatus*». Κατά την διάρκεια αυτής της διαδικασίας υβριδοποίησης, ο Fairchild δημιούργησε τα πρώτης γενιάς υβρίδια και η επιστημονική αυτή εξέλιξη ήταν σημαντική και άνοιξε τον δρόμο για την μοντέρνα εποχή της γεωργίας, στην οποία κυριαρχεί η φυτική υβριδοποίηση.

Η τάση αυτή πειραματισμού όμως δεν περιορίστηκε στον Fairchild ή στον Kolreuter. Προς τα μέσα του 18ου αιώνα, ο F. Achard άρχισε να πειραματίζεται με τα ζαχαρότευτλα. Ο ίδιος ανέπτυξε έναν πρόγραμμα αναπαραγωγής ζαχαρότευτλων που διήρκησε αρκετές δεκαετίες και πιο συγκεκριμένα από το 1786 έως το 1830. Ο Achard πραγματοποιούσε μαζικές επιλογές σε ζαχαρότευτλα, έχοντας σκοπό την αύξηση των επιπέδων της σακχαρόζης τους και το αποτέλεσμα ήταν η δημιουργία μιας νέας ποικιλίας με σημαντικά υψηλότερα επίπεδα σακχαρόζης. Αυτήν η εσκεμμένη βελτίωση του φυτού είχε ως αποτέλεσμα την δημιουργία μιας μεγάλης βιομηχανίας, που αποσπούσε την σακχαρόζη από τα ζαχαρότευτλα (Dudley, 1994).

Λίγα χρόνια αργότερα και πιο συγκεκριμένα το 1753 ο Linnaeus εκδίδει το «Species plantarum» («Φυτολόγιο ειδών»). Πιο συγκεκριμένα, ο Σουηδός φυσιολόγος C. Linnaeus ήταν ο πρώτος επιστήμονας που προσπάθησε να οριοθετήσει τις αρχές με βάση τις οποίες ορίζονται τα φυσικά γένη και τα είδη των οργανισμών. Ο ίδιος κατάφερε να δημιουργήσει ένα ομοίωμα σύστημα το οποίο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την ονομασία των ειδών (binomial nomenclature).

Το πρώτο σημαντικό έργο του C.Linnaeus ήταν το «Σύστημα της Φύσης» (Systema Naturae) στο οποίο παρουσιάζονται μια ιεραρχική ταξινόμηση των τριών βασιλείων της φύσης: των πετρών, των φυτών και των ζώων. Κάθε ένα από αυτά τα βασίλεια χωριζόταν σε υποκατηγορίες όπως οι τάξεις, οι σειρές, τα γένη, τα είδη και οι ποικιλίες και το σπουδαίο στην προσέγγιση αυτήν ήταν το γεγονός πως το νέο ταξινομικό σύστημα κατάφερε να αντικαταστήσει παλαιότερα παραδοσιακά συστήματα βιολογικής ταξινόμησης (Calisher, 2007).

Ο Linnaeus, όντας γνώστης του επιστημονικού έργου του Camerarius, είχε πειστεί πως όλοι οι οργανισμοί της φύσης αναπαράγονται σεξουαλικά. Η πεποίθησή του αυτή τον οδήγησε στην υπόθεση πως κάθε φυτό θα έχει αρσενικά και θηλυκά σεξουαλικά όργανα και πάνω σε αυτήν την βάση σχεδίασε ένα απλό σύστημα ιδιαίτερων χαρακτηριστικών που στόχο είχε την ταξινόμηση κάθε φυτού. Ο αριθμός και η θέση των στημόνων θα καθόριζαν την οικογένεια στην οποία ανήκε το φυτό, ενώ ο αριθμός και η θέση των στύλων θα καθόριζαν την τάξη. Το



σεξουαλικό αυτό σύστημα ταξινόμησης έγινε ιδιαίτερος δημοφιλής και χρησιμοποιήθηκε κατά κόρον, αν και δεν ήταν η σημαντικότερη συμβολή του Linnaeus στην βοτανολογία. Το έργο για το οποίο ο ίδιος έμεινε γνωστός ήταν το «Θεμέλια της Βοτανολογίας» (Fundamenta Botanica) που ουσιαστικά έθεσε τις αρχές και τους κανόνες που θα έπρεπε να ακολουθηθούν προκειμένου να ταξινομηθούν και να ονομαστούν επιστημονικά τα διάφορα φυτά (Manktelow, 2010).

Σε αντίθεση με προηγούμενες προσπάθειες βοτανολόγων οι οποίες οδηγούσε σε αυθαίρετες διαιρέσεις, ο Linnaeus παρουσίασε ένα σύστημα που βασιζόταν σε περιγραφές του γένους και της μορφολογίας των φυτών. Το νέο αυτό σύστημα που βασιζόταν στα φυσικά χαρακτηριστικά, θα μπορούσε να διαχειριστεί έναν αυξανόμενο αριθμό νέων ειδών φυτών, τα οποία ήταν άγνωστα μέχρι τότε και που θα ερχόταν στην ήπειρο της Ευρώπης μέσω των υπερπόντιων εμπορικών σταθμών και των αποικιών.

Σύμφωνα με τον Linnaeus τα είδη ήταν παρόμοια στην μορφή και αυτό συνέβαινε καθώς προερχόταν από τα ίδια γονικά ζευγάρια τα οποία είχαν δημιουργηθεί εξ αρχής από την φύση. Την πεποίθηση αυτή δεν υποστήριζε μόνο ο εν λόγω επιστήμονας, αλλά έβρισκε υποστήριξη και μεταξύ πολλών σύγχρονων του Linnaeus επιστημόνων. Θα πρέπει όμως να τονιστεί, πως οι επιστημονικές γνώσεις που σχετιζόνταν με την φυσική ιεραρχία θα εμπλουτίζονταν σε ικανοποιητικό βαθμό πολλά χρόνια αργότερα. Το γεγονός αυτό ωστόσο δεν μπορεί να υποβαθμίσει την σπουδαιότητα της δουλειάς του Linnaeus με την οποία πραγματοποιήθηκαν τα πρώτα βήματα στο ζήτημα αυτό.

Ωστόσο το πιο διαχρονικό επίτευγμα του Linnaeus αποτελεί η δημιουργία του συστήματος της διωνυμικής ονοματολογίας (binominal nomenclature), ενός συστήματος με βάση το οποίο είναι δυνατή η επίσημη ταξινόμηση και η ονομασία των οργανισμών που απαντώνται στην φύση, σύμφωνα με το γένος και το είδος στο οποίο ανήκουν. Σε αντίθεση με τα ονόματα που δίνονταν κατά το παρελθόν και που στην ουσία αποτελούσαν διαγνωστικές φράσεις, τα νέα ονόματα που αποδίδονταν με βάση το νέο σύστημα δεν προδιέθεταν για την ποιότητα ή την αξία των φυτικών ειδών, αλλά χρησίμευαν ως ετικέτες μέσω των οποίων ήταν δυνατή μια προσφώνηση των ειδών σε παγκόσμιο επίπεδο. Μάλιστα το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα (Donk, 1957). Θα πρέπει τέλος να σημειωθεί πως το σύστημα αυτό για την ονομασία φυτών που προτάθηκε από τον Linnaeus ήταν επίσης σιωπηρά ιεραρχικό, καθώς κάθε είδος ταξινομείται σε ένα γένος.

Επίσης το σύστημα της διωνυμικής ονοματολογίας άρχισε να χρησιμοποιείται από τον ίδιο μετά το 1753 (Manktelow, 2010). Ο ίδιος έθεσε κανόνες, όπως για παράδειγμα τον νόμο που δηλώνει πως το πρώτο σωστά δημοσιευμένο όνομα ενός είδους ή γένους έχει προτεραιότητα

έναντι των ονομάτων που ακολουθούν. Οι κανόνες αυτοί κατάφεραν να καθιερωθούν στον τομέα της φυσικής ιστορίας και κατάφεραν να δημιουργήσουν την βάση πάνω στην οποία στηρίχθηκαν οι διεθνείς κώδικες ονοματολογίας, όπως ο κώδικας Strickland που δημιουργήθηκε σχεδόν έναν αιώνα αργότερα και συγκεκριμένα το 1842.

Τέλος, ο T.A. Knight πραγματοποίησε επίσης πολλές φυτικές αναπαραγωγές κατά την διάρκεια του δεύτερου μισού του 18ου αιώνα, σαν αγρότης όμως, και χωρίς να έχει επωφεληθεί από καμία επιστημονική εκπαίδευση. Η περιέργειά του που σχετιζόταν με μια ποικιλία θεμάτων που αφορούσαν την ανάπτυξη και την παραγωγή φυτών, τον οδήγησε στο να πραγματοποιήσει τον υβριδισμό διάφορων φρούτων και λαχανικών, με στόχο την δημιουργία βελτιωμένων ποικιλιών. Αφού λοιπόν δημιούργησε δύο βελτιωμένες ποικιλίες φράουλας, το 1787 άρχισε να πειραματίζεται με διασταυρώσεις μπιζελιών, προάγοντας κατά κάποιο τρόπο τις επαναστατικές μελέτες του Mendel. Αν και δεν μπορούσε να εξηγήσει αυτό που σήμερα είναι γνωστό ως κυρίαρχα και υπολειπόμενα αλληλόμορφα, ωστόσο ο ίδιος ήταν σε θέση να παράγει πρακτικά αποτελέσματα αναπαραγωγής φυτών και να παρουσιάζει κάποια από τα δομικά στοιχεία αυτού που στη συνέχεια θα εξελισσόταν σε επιστήμη της γενετικής (Thompson&Harris, 2010).

## Κεφάλαιο 4ο

### 4.1 Η Βελτίωση φυτών κατά την διάρκεια του 19ου αιώνα μ.Χ.

Ο Loraín στις αρχές του 19ου αιώνα ήταν ο πρώτος που ασχολήθηκε με την περιγραφή της επίδρασης που έχει η διασταύρωση δύο διαφορετικών ποικιλιών καλαμποκιού και επεξεργάστηκε τεχνικές για την διασταύρωση, διαβλέποντας ποιές από αυτές τις διασταυρώσεις θα μπορούσαν να προσφέρουν σπόρους που οι αγρότες θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν. Το ενδιαφέρον ήταν μεγάλο και λίγα χρόνια αργότερα, το 1835 εμφανίστηκαν ακόμα και άρθρα σε εφημερίδες που περιέγραφαν τον τρόπο με τον οποίο μπορούν να διασταυρωθούν ποικιλίες καλαμποκιού (Anderson&Brown, 1952).

Οι ποικιλίες καλαμποκιού «Southern Dent» και «Northern Flint» είχαν σκοπίμως διασταυρωθεί σε πολλές περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής, με αποτέλεσμα να παραχθούν νέες ποικιλίες. Οι παραγωγοί καλαμποκιού είχαν αρχικά προσπαθήσει να αναμείξουν τα καλύτερα χαρακτηριστικά των δύο ποικιλιών, έχοντας σαν στόχο την αύξηση της παραγωγής. Μέσω της διασταύρωσης των δύο ποικιλιών καλαμποκιού οι αγρότες ήταν σε θέση να επιλέξουν νέους τύπους καλαμποκιών, τα οποία ήταν περισσότερο κατάλληλα να καλλιεργηθούν στα εκάστοτε διαφορετικά τοπικά περιβάλλοντα (Troyer, 2006). Έτσι έχουμε την εμφάνιση της γενεαλογικής επιλογής κατα την οποία ανώτερα μεμονωμένα φυτά επιλέγονται σε διαδοχικές γενεές και παράλληλα δημιουργείται ένα αρχείο στο οποίο καταγράφονται οι σχέσεις του γονέα και του απογόνου. Η καταγραφή αυτή των σχέσεων συχνά δεν περιορίζεται μόνο σε επίπεδο γονέα και απογόνου, αλλά μπορεί να επεκτείνεται στις σχέσεις προηγούμενων γενεών ή ακόμα και πιο παλαιών προγόνων.

Οι επιλογές συχνά βασίζονται κυρίως σε οπτικές παρατηρήσεις και αξιολογήσεις των χαρακτηριστικών υψηλής κληρονομικότητας, όπως για παράδειγμα η εργαστηριακή αξιολόγηση της χημικής σύνθεσης του φυτού. Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί το γεγονός πως όλοι σχεδόν οι βελτιωτές φυτών χρησιμοποιούν την εν λόγω μέθοδο κάποια στιγμή κατά την διάρκεια των προγραμμάτων τους.

Φυσικά η μέθοδος αυτή, όπως άλλωστε και όλες οι μέθοδοι παρουσιάζουν κάποια πλεονεκτήματα και κάποια μειονεκτήματα. Στα θετικά της μεθόδου συγκαταλέγεται το γεγονός πως η τήρηση αρχείων μπορεί να προσφέρει έναν λεπτομερή κατάλογο γενετικών

πληροφοριών για κάποια ποικιλία φυτού, πληροφορίες που δεν είναι διαθέσιμες σε άλλες μεθόδους. Επίσης, η επιλογή βασίζεται όχι μόνο στον φαινότυπο, αλλά και στον γενότυπο, γεγονός που καθιστά την μέθοδο αυτή κατάλληλη για την επιλογή των ανώτερων σειρών. Ακόμα, θα πρέπει να προστεθεί το γεγονός πως η χρήση αρχείων επιτρέπει στον βελτιωτή να προωθήσει μόνο τις παρτίδες των απογόνων που εμφανίζουν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά. Παράλληλα, μπορεί να παραχθεί ένας υψηλός βαθμός γενετικής καθαρότητας σε μια καλλιέργεια, όταν φυσικά αυτό είναι ένα επιθυμητό χαρακτηριστικό.

Όπως όμως αναφέρθηκε, η μέθοδος αυτή παρουσιάζει και κάποια μειονεκτήματα. Η καταγραφή του αρχείου αποτελεί μια διαδικασία χρονοβόρα και δαπανηρή. Επίσης, η γενεαλογική μέθοδος δεν είναι κατάλληλη για είδη στα οποία μεμονωμένα φυτά είναι δύσκολο να απομονωθούν και να χαρακτηριστούν. Στα αρνητικά της μεθόδου συγκαταλέγεται και το γεγονός πως αυτήν αποτελεί μια μακρόχρονη διαδικασία, η οποία απαιτεί περίπου δέκα με δώδεκα (ή και περισσότερα) χρόνια προκειμένου να ολοκληρωθεί, στην περίπτωση που είναι δυνατή μία μόνο καλλιεργητική περίοδος.

Στην γενεαλογική μέθοδο η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

- αρχικά οι επιλεγμένοι γονείς διασταυρώνονται προκειμένου να παραχθεί μια σύνθετη γενιά (F<sub>1</sub> σπόρος)
- οι πρώτοι σπόροι φυτεύονται και είναι αναγκαία η ύπαρξη τουλάχιστο τριάντα φυτών για να παραχθούν ποιοτικοί πληθυσμοί
- στην συνέχεια, φυτεύεται η νέα γενιά και από την συνολική καλλιέργεια επιλέγονται κάποια φυτά των οποίων οι σπόροι συλλέγονται ξεχωριστά. Η επιλογή εξαρτάται από την ικανότητα του βελτιωτή να προβλέψει ουσιαστικά τα φυτά που θα παραγάγουν καλούς απογόνους
- ακολουθεί η φύτευση των απογόνων και η επιλογή μεμονωμένων φυτών που διαθέτουν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά από ανώτερους προγόνους
- μεμονωμένα και επιλεγμένα φυτά απογόνων φυτεύονται, ενώ παράλληλα επιλέγονται τα επιθυμητά φυτά και οι ανεπιθύμητοι απόγονοι απορρίπτονται. Οι απόγονοι συγκρίνονται οπτικά και περισσότερα φυτά επιλέγονται από τους ανώτερους απογόνους
- στο στάδιο αυτό πολλές οικογένειες φυτών έχουν φτάσει στο επίπεδο των ομόζυγων και άρα μπορούν να συλλεχθούν. Επίσης, εξετάζεται η σοδειά για να εντοπιστούν οι ανώτεροι απόγονοι

- ακολουθεί έλεγχος της απόδοσης και της ανθεκτικότητας και τέλος ακολουθεί πολλαπλασιασμός των σπόρων

Η αλλαγή αυτή που πραγματοποιήθηκε στην καλλιέργεια καλαμποκιού κατά την διάρκεια του 19ου αιώνα ήταν αποτέλεσμα διασταυρώσεων που πραγματοποιούνταν από αγρότες. Οι νέες ποικιλίες που παράχθηκαν, είχαν εκτός των άλλων και το χαρακτηριστικό της πιο γρήγορης ανθοφορίας, όπως επίσης και της ανεκτικότητας στην έλλειψη νερού. Τα χαρακτηριστικά αυτά προέκυψαν, καθώς τα υβριδικά φυτά καλλιεργούνταν κυρίως σε βόρειες περιοχές όπου οι εποχές ήταν μικρότερες και σε δυτικές περιοχές όπου οι ξηρασίες ήταν συχνό φαινόμενο.

Αν και υπήρχαν πολλές ποικιλίες ανοικτής γονιμοποίησης, δεν ήταν όλες ίσης αξίας. Με τον καιρό, αρχικά οι αγρότες εμπειρικά και στην συνέχεια ειδικοί βελτιωτές φυτών, εξέτασαν τις ποικιλίες ανοικτής γονιμοποίησης με στόχο να εντοπίσουν σε αυτές τα περισσότερο επιθυμητά γνωρίσματα, αυτά δηλαδή που θα διασφάλιζαν μεγάλο βαθμό προσαρμοστικότητας στο περιβάλλον και παράλληλα αυξημένες αποδόσεις. Ίσως μάλιστα η πιο πετυχημένη διασταύρωση τέτοιου είδους, να πραγματοποιήθηκε από τον R. Reid.

Η ποικιλία που κατάφερε ο Reid να αναπτύξει με την ονομασία «Yellow Dent», αποτελεί την περισσότερο καλλιεργούμενη ποικιλία καλαμποκιού, ιδιαίτερα στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Το καλαμπόκι αυτό λοιπόν δημιουργήθηκε από τον R. Reid στο Ιλινόις το 1847, από μια φυσική διασταύρωση μεταξύ ενός κόκκινου καλαμποκιού γνωστού ως «Gordon Hopkins» και της ποικιλίας καλαμποκιού «Little Yellow». Η διασταύρωση αυτή δεν ήταν προϊόν αυστηρού σχεδιασμού, αλλά περισσότερο προέκυψε τυχαία, μετά από την φύτευση σε χωράφι ποικιλίας κόκκινου καλαμποκιού της κίτρινης ποικιλίας (Troyer, 1999).

Ο γιός του R. Reid, ο L. Reid, αναγνώρισε την αξία της τυχαίας αυτής διασταύρωσης και εν συνεχεία προσπάθησε να την βελτιώσει, συνεχίζοντας την προσεκτική βελτίωσή της για περισσότερα από πενήντα χρόνια, διάστημα μέσα στο οποίο τα χαρακτηριστικά της νέας ποικιλίας παγιώθηκαν. Μάλιστα, υπάρχουν πολλοί σύγχρονοι βελτιωτές, οι οποίοι χρησιμοποιούν σε όλον τον κόσμο αυτήν την ποικιλία. Οι βελτιωτές αυτοί έχουν αναπτύξει ποικιλίες καλαμποκιού που σαν βάση τους έχουν την ποικιλία «Yellow Dent», ωστόσο οι βελτιωμένες ποικιλίες τους έχουν προσαρμοστεί έτσι ώστε να ανταποκρίνονται στις ιδιαίτερες κλιματικές συνθήκες και στα χαρακτηριστικά του εδάφους. Η ποικιλία αυτή έχει την ιδιότητα να προσαρμόζεται εύκολα στα νέα περιβάλλοντα αλλά αν διατηρηθεί καθαρή καμία επιλογή δεν μπορεί να καταστρέψει τα αρχικά χαρακτηριστικά του χρώματός της, της μορφής της και του σχήματος της, χαρακτηριστικά που βεβαίως δημιουργήθηκαν σε βάθος πενήντα χρόνων μέσα από προσεκτικές επιλογές (Pruitt, 2016).

Κατά την διάρκεια του 19ου αιώνα συνεχίστηκαν και οι οργανωμένες προσπάθειες πάνω στον τομέα της αναπαραγωγής των φυτών, περισσότερο όμως από διάφορες ομάδες και οργανώσεις και λιγότερο από κάποιους ανθρώπους που η περιέργειά τους ωθούσε προς αυτήν την κατεύθυνση. Ο Burbank για παράδειγμα προσπαθεί την περίοδο αυτή να επιτύχει μια πρακτική αναπαραγωγή φυτών, η οποία θα μπορούσε να αποδειχθεί ιδανική για εμπορικούς σκοπούς. Ο ίδιος ήταν υπεύθυνος για την δημιουργία σχεδόν οκτακοσίων ποικιλιών ενός ευρέως φάσματος φυτών, συμπεριλαμβανομένων ενός είδους κάκτου, ο οποίος σήμερα έχει εξαφανιστεί και που προορίζονταν για ζωοτροφή, πατατών «Burbank» κ.α..

Εκτός από τον Burbank και όσων επιχειρούσαν την βελτίωση φυτών για εμπορικούς λόγους, με την βελτίωση των φυτών ασχολήθηκαν την ίδια περίοδο πειραματικοί σταθμοί και γεωργικά κολλέγια. Η δράση τους δεν περιορίστηκε μόνο στην έρευνα και στην βελτίωση των ποικιλιών, αλλά επεκτάθηκε και στην διανομή σπόρων υψηλής ποιότητας και στις ιδανικές γι' αυτούς συνθήκες. Το Υπουργείο Γεωργίας των ΗΠΑ (USDA), θεωρούνταν για παράδειγμα η μεγαλύτερη επιχείρηση του κόσμου η οποία προσπαθούσε να βελτιώσει φυτά (Kloppenburger, 2005).

Κατά την διάρκεια του 19ου αιώνα, διατυπώνονται οι θεωρίες του Δαρβίνου και του Μέντελ, οι οποίες επηρεάζουν την μετέπειτα πορεία πολλών επιστημονικών κλάδων και επομένως και τις πρακτικές που χρησιμοποιούνταν για την βελτίωση φυτών. Η φυσική επιλογή είναι μια διαδικασία κατά την οποία οι διάφοροι οργανισμοί, οι οποίοι εμφανίζουν το χαρακτηριστικό της καλύτερης προσαρμοστικότητας σε συγκεκριμένες πιέσεις που τους ασκούνται από το περιβάλλον τους, τείνουν να επιβιώνουν περισσότερο και να παράγουν περισσότερους απογόνους.

Με αυτόν τον τρόπο οι οργανισμοί διασφαλίζουν την διατήρησή τους αλλά και την διατήρηση των χαρακτηριστικών εκείνων που τους βοήθησαν να επιβιώσουν. Η διαδικασία αυτή αποτελεί έναν βασικό μηχανισμό εξέλιξης που επηρεάζει οργανισμούς σε κάθε πτυχή τους, από την φυσιολογία και την μορφολογία τους, μέχρι την συμπεριφορά τους (Darwin, 1859).

Η σύγχρονη εποχή της βελτίωσης των φυτών εξαρτάται και από τις αρχές της γενετικής, την επιστήμη της κληρονομικότητας, στην οποία ο G. Mendel πραγματοποίησε κάποιες θεμελιώδεις συνεισφορές. Το αρχικό έργο του Mendel που σχετιζόταν με το μπιζέλι δημοσιεύτηκε το 1865 και περιέγραφε τους τρόπους με τους οποίους συγκεκριμένοι παράγοντες (= γονίδια) για κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, μεταδίδονται από τους γονείς στους απογόνους και μέσω των απογόνων στις επόμενες γενεές.

Οι θεωρίες του Mendel επιβεβαιώθηκαν λίγα χρόνια αργότερα από άλλους επιστήμονες όπως ο E. Tscermak και ο H. DeVries και έθεσαν τα θεμέλια της σύγχρονης γενετικής, καθώς ουσιαστικά γέννησαν τις έννοιες των γονιδίων, παράγοντες που κωδικοποιούν τα γνωρίσματα τα οποία και μεταδίδονται μέσω της σεξουαλικής διαδικασίας στους απογόνους. Επιπροσθέτως, η θεωρία του Mendel είχε ως αποτέλεσμα την διατύπωση κάποιων βασικών κανόνων κληρονομικότητας οι οποίοι έχουν μάλιστα πάρει το όνομα του επιστήμονα. Επίσης, μια από τις σημαντικότερες εταιρίες σπόρων του 19ου αιώνα, αποτελούσε η γαλλική «Vilmorin». Η εταιρία αυτή εστίασε στη μέθοδο της «γενεαλογικής επιλογής» και κατέγραψε σημαντική οικονομική επιτυχία με το σιτάρι και άλλες καλλιέργειες, όταν προχώρησε σε συνδυασμό υβριδισμού και επιλογής, την δεκαετία του 1870. Η «Vilmorin» εκτός από μια επιτυχημένη εταιρία, κατάφερε να ασκήσει μια σημαντική επιρροή στον τομέα της βελτίωσης φυτών για αρκετά χρόνια, όχι μόνο μέσω της δημιουργίας ποικιλιών και βελτιώσεων, αλλά και για την προσφορά μιας φιλοσοφικής κουλτούρας που σχετιζόταν με τον εν λόγω χώρο (Gayon & Zallen, 1998).

## Κεφάλαιο 5ο

### 5.1 Η βελτίωση των φυτών κατά την διάρκεια του πρώτου μισού του 20ου αιώνα

Το έργο του Mendel εκδόθηκε για πρώτη φορά το 1866, ωστόσο η προσοχή που έλαβε δεν ήταν η πρέπει, τουλάχιστον μέχρι το 1900 χρονιά που η δουλειά του εκτιμήθηκε αν και ακόμα δεν είχε γίνει κατανοητή η γενετική του θεωρία (Sturtevant, 1965).

Ένα σημαντικό πρόβλημα με θεωρίες που είχαν διατυπωθεί κατά το παρελθόν, αποτελούσε το γεγονός πως πολλές από αυτές βασιζόταν περισσότερο σε εικασίες και λιγότερο σε εμπειρικές παρατηρήσεις και πειραματικές αποδείξεις. Ο ίδιος όμως ήταν ως επί το πλείστον εμπειρικός και παράλληλα πολύ συγκρατημένος, όταν έπρεπε να κάνει εικασίες σχετικές με τους μηχανισμούς που μελετούσε. Και το στοιχείο αυτό κάνει τους ειδικούς να υποστηρίζουν πως ο Mendel ενδιαφερόταν περισσότερο για να θεσπίσει τους νόμους που χαρακτήριζαν την υβριδοποίηση και λιγότερο στο να διατυπώσει μια γενική θεωρία περί κληρονομικότητας. Αν και αρχικά υπήρχε απροθυμία για την υιοθέτηση του έργου του Mendel, ειδικά στον κύκλο των ακαδημαϊκών βιολόγων, μέχρι το τέλος της πρώτης δεκαετίας του 20ου αιώνα, η θεωρία του είχε κερδίσει σημαντικούς υποστηρικτές και ένας από τους λόγους αποτελούσε το γεγονός πως η θεωρία αυτή μπορούσε να επεκταθεί σε ένα και ολόένα μεγαλύτερο εύρος οργανισμών.

Επίσης, κατά τις αρχές του 20ου αιώνα η θεωρία του Mendel άρχισε να κερδίζει την προσοχή της επιστημονικής κοινότητας, κυρίως των βιομηχανικά εξελιγμένων χωρών, των οποίων το οικονομικό και πνευματικό επίπεδο ήταν σημαντικά διαφορετικό σε σχέση με το αντίστοιχο επίπεδο που υπήρχε στην Κεντρική Ευρώπη κατά το 1866. Ακόμα, τόσο στην Ευρώπη όσο και στις ΗΠΑ, άρχισαν να αυξάνονται οι απαιτήσεις προς την γεωργία, καθώς παρατηρούνταν μια αύξηση της ζήτησης για την παραγωγή τροφίμων, καθώς έπρεπε με κάποιον τρόπο να τραφεί το εργατικό δυναμικό που πλέον είχε εγκατασταθεί σε βιομηχανικές περιοχές και που παράλληλα είχε εγκαταλείψει την αγροτική παραγωγή (Allen, 2000).

Η εισαγωγή της μηχανής στην γεωργική παραγωγή είχε προχωρήσει ταχύτατα κυρίως στο τέλος του 19ου αιώνα, γεγονός στο οποίο δόθηκε ο χαρακτηρισμός «εκμηχάνιση της γεωργίας». Κατά την διάρκεια του δεύτερου μισού του 19ου αιώνα η γεωργία που βασιζόταν



στην οργανική χημεία, οδήγησε σε μια σημαντική βελτίωση της απόδοσης. Από τις αρχές όμως του 20ου αιώνα οι παραπάνω εξελίξεις είχαν φτάσει στα όριά τους και αυτό που είχε αρχίσει να επιδιώκεται ήταν οι βελτιώσεις των ποικιλιών για την αύξηση της παραγωγής. Έτσι, η εκ νέου γνωριμία με την θεωρία του Mendel είχε δημιουργήσει την ελπίδα πως ορισμένες από τις αρχές της κληρονομικότητας θα μπορούσαν να προσφέρουν τέτοιες μεθόδους. Αν και στην πραγματικότητα η εφαρμογή των αρχών του Mendel πάνω στην βελτίωση της παραγωγικότητας των φυτών αποδείχθηκε περισσότερο δύσκολη από όσο είχε αρχικά εκτιμηθεί, οι οικονομικές και κοινωνικές συγκυρίες έκαναν την θεωρία προσιτή στο κοινό (Kloppenburg, 2005).

Τα βασικότερα σημεία της θεωρίας του Mendel είναι τα ακόλουθα:

- Ο Mendel αρχικά παρατήρησε τα πρότυπα κληρονομικότητας των ιδιοτήτων και των χαρακτηριστικών στα φυτά μπιζελιών, όπως το ύψος, το χρώμα και το σχήμα του λοβού, το χρώμα και το σχήμα του σπόρου.
- Έτσι, ως προς το ύψος παρατήρησε πως το φυτό άλλοτε ήταν ψηλό και άλλοτε κοντό, ως προς το χρώμα του λοβού πως αυτό ήταν κίτρινο και πράσινο και ως προς το χρώμα και το σχήμα του σπόρου πως αυτό ήταν πράσινο ή κίτρινο και λείο ή μη λείο αντίστοιχα.
- Καθώς λοιπόν τα χαρακτηριστικά παρουσίαζαν διαφορές, κάποια από αυτά τα ονόμασε κυρίαρχα και κάποια άλλα υπολειπόμενα και εν συνεχεία υπέθεσε πως κάθε χαρακτηριστικό αντιπροσωπευόταν στα κύτταρα των ώριμων φυτών από δύο καθοριστικούς παράγοντες που είχαν ληφθεί από κάθε γονέα. Τον κυρίαρχο παράγοντα ο ίδιος χαρακτήρισε με ένα κεφαλαίο γράμμα (π.χ. A) και τον υπολειπόμενο παράγοντα με ένα μικρό γράμμα (π.χ. a).
- Ο Mendel διαπίστωσε πως οι καθοριστικοί αυτοί παράγοντες μπορούσαν να συνδυαστούν με τρεις τρόπους: δύο κυρίαρχοι (AA), δύο υπολειπόμενοι (aa) και ένας κυρίαρχος και ένας υπολειπόμενος (Aa).
- Αν και δεν γνώριζε τίποτα σχεδόν για την κυτταρολογία των χρωμοσωμάτων, υπέθεσε πως κατά την διάρκεια της διαμόρφωσης της γύρης (ή του ωαρίου), οι δύο παράγοντες για κάθε χαρακτηριστικό θα διαχωρίζονταν και θα πήγαιναν σε διαφορετικούς γαμέτες. Έτσι, ένας γονέας ο οποίος ήταν καθαρά κυρίαρχος θα παρήγαγε γαμέτες οι οποίοι θα περιείχαν τον κυρίαρχο παράγοντα (A) και ένας γονέας ο οποίος ήταν καθαρά υπολειπόμενος θα παρήγαγε γαμέτες οι οποίοι θα περιείχαν τον υπολειπόμενο παράγοντα (a).

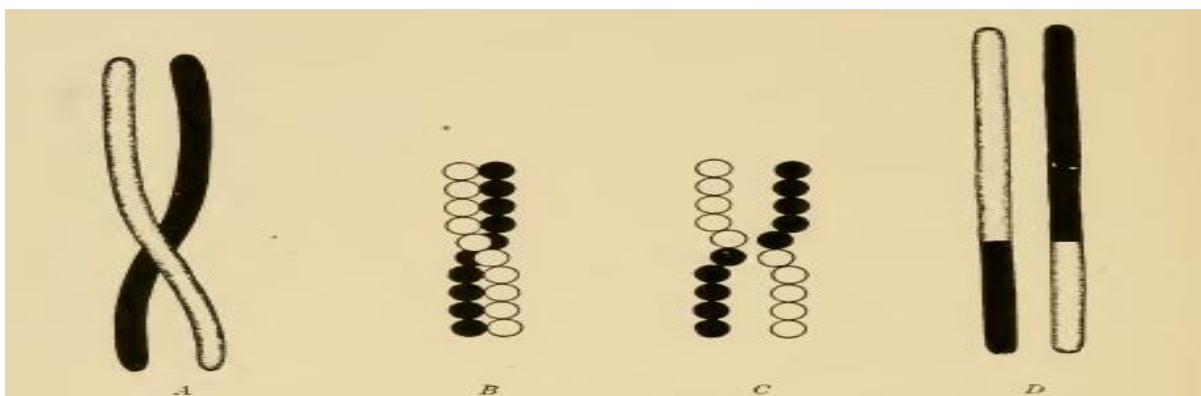
- Οι υβριδικοί γονείς ωστόσο θα παρήγαγαν δύο ειδών γαμέτες: οι μισοί από αυτούς θα περιείχαν τον κυρίαρχο παράγοντα (A) και οι άλλοι μισοί τον υπολειπόμενο παράγοντα (a).
- Οι παράγοντες λοιπόν διαπιστώθηκε πως καθορίζουν με κάποιον τρόπο τα γνώρισμα και μετά την εισαγωγή του όρου του γονιδίου το 1909, κάθε γνώρισμα αποδιδόταν σε ένα γονίδιο, π.χ. το γονίδιο του ύψους ή το γονίδιο του χρώματος (unit character hypothesis).

Καθώς όμως η ακαδημαϊκή κοινότητα αλλά και οι βελτιωτές αποδέχθηκαν την θεωρία της κληρονομικότητας του Mendel, δεν εξαφανίστηκε η αβεβαιότητα που σχετιζόταν με αυτά που πράγματι μεταφερόταν από τους γονείς στον απόγονο κατά την διάρκεια της γονιμοποίησης. Κατά την διάρκεια της πρώτης δεκαετίας του 20ου αιώνα η θεωρία του Mendel επηρέασε την γενιά εκείνη των βιολόγων που άρχισαν την επιστημονική τους πορεία βασισμένοι πάνω στις αρχές της νέας γενετικής.

Ο συνδυασμός της θεωρίας του Mendel με την κυτταρολογική έρευνα των χρωμοσωμάτων του Morgan μετά το 1910, ενίσχυσε την έννοια του γονιδίου περαιτέρω. Μέσω ενός προσεκτικού συσχετισμού των μοτίβων κληρονομικότητας των γονιδιακών μεταλλάξεων και των αλλαγών που παρατηρούνταν να συμβαίνουν στην δομή του χρωμοσώματος, ο Morgan ήταν σε θέση να αποδείξει πως τα γονίδια θα μπορούσαν να αρχίσουν να θεωρούνται ως υλικές οντότητες που καταλαμβάνουν συγκεκριμένες θέσεις γραμμικώς διευθετημένες κατά μήκος του χρωμοσώματος.

Ο Morgan και η ομάδα του λοιπόν, δημοσίευσαν την έρευνά τους με τίτλο «Ο Μηχανισμός της Μεντελικής Κληρονομιάς» και ουσιαστικά από την έρευνα αυτή προέκυψε η περισσότερο διαδεδομένη εικόνα που διαθέτει η ανθρωπότητα και που σχετίζεται με το χρωμόσωμα, που δεν είναι άλλη από ένα σχοινί με χάντρες (Morgan et al., 1915).

Εικόνα 1 - Η εικόνα του χρωμοσώματος κατά τις αρχές του 20ου αιώνα



Το μοντέλο αυτό του χρωμοσώματος προώθησε την ιδέα των γονιδίων ως ατομικές οντότητες. Το γονίδιο δεν αντιμετωπιζόταν πλέον μόνο σε μεταφορικό επίπεδο ως άτομο, αλλά και σε κυριολεκτικό επίπεδο, το οποίο μπορούσε να υπάρχει σε πολλούς συνδυασμούς, χωρίς ωστόσο να χάνει την ακεραιότητά του ως μονάδα, συμπεριφερόμενο με άλλα λόγια όπως συμπεριφερόταν τα άτομα όταν εισερχόταν μέσα σε κάποιον μοριακό συνδυασμό. Η ατομική μωσαϊκή ιδέα του γονιδίου αρχικά απέδωσε καρπούς, καθώς επέτρεψε στους βιολόγους να αναπτύξουν μια ποσοτική, πειραματική και προβλέψιμη πτυχή της επιστήμης τους, γεγονός που ήταν εξαιρετικά δύσκολο να συμβεί σε επιστήμες όπως η φυσική και η χημεία κατά την τότε εποχή (Allen, 2002).

Ωστόσο η προσέγγιση αυτή της βιολογίας δημιούργησε και προβλήματα, καθώς επέτρεψε στους βιολόγους να παραμερίζουν ζητήματα που σχετιζόνταν με την λειτουργία του γονιδίου ή την σχέση που αναπτυσσόταν μεταξύ των γονιδίων του Mendel, την ανάπτυξη των οργανισμών και την εξέλιξη. Από το 1915 και έπειτα, δόθηκε περισσότερη προσοχή στην μηχανική της ανάμιξης του γονιδίου κατά την διάρκεια της μεταφοράς των χρωμοσωμάτων από τους γονείς στους απογόνους και η επιστημονική αυτή τάση οδήγησε στο εξαιρετικό επίτευγμα της χαρτογράφησης των χρωμοσωμάτων διαφόρων οργανισμών, όπως για παράδειγμα των οπωροφόρων φυτών και του αραβόσιτου.

Η σύγχρονη γενετική έρευνα περιστρέφεται γύρω την αναπτυξιακή γενετική ή την γενετική της εξέλιξης. Οι τομείς αυτοί, οι οποίοι συνθέτουν την κλασική γενετική του πρώτου μισού του 20ου αιώνα με την μοριακή γενετική και την εξελικτική βιολογία του δεύτερου μισού του 20ου αιώνα, ενδεχομένως δώσουν μια περισσότερο ρεαλιστική εικόνα του τρόπου με τον οποίο το γονιδίωμα κατευθύνει έναν συγκεκριμένο οργανισμό από την στιγμή της γονιμοποίησης μέχρι την ωρίμανσή του.

Μια από τις πρώιμες εφαρμογές της γενετικής επιστήμης στην βελτίωση των φυτών επιχειρήθηκε από τον Δανό βοτανολόγο W. Johannsen, ο οποίος το 1903 ανέπτυξε τις θεωρίες του πάνω στο φασόλι. Τα πορίσματά του είχαν καταφέρει να επιβεβαιώσουν μια παρατήρηση που είχε γίνει κατά το παρελθόν και που σχετιζόταν με το γεγονός πως οι τεχνικές της επιλογής θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ομοιόμορφων και βελτιωμένων ποικιλιών, οι οποίες θα μπορούσαν στην συνέχεια να διασταυρωθούν. Τα προϊόντα των διασταυρώσεων που αποκαλούνταν υβρίδια, παρήγαγαν φυτά τα οποία ήταν ανώτερα από τους γονείς και που παράλληλα σεβόταν το χαρακτηριστικό που ενδιέφερε τον βελτιωτή. Η ανωτερότητα αυτή των υβριδίων αποτελεί ουσιαστικά την απαρχή των σύγχρονων υβριδικών καλλιεργειών.

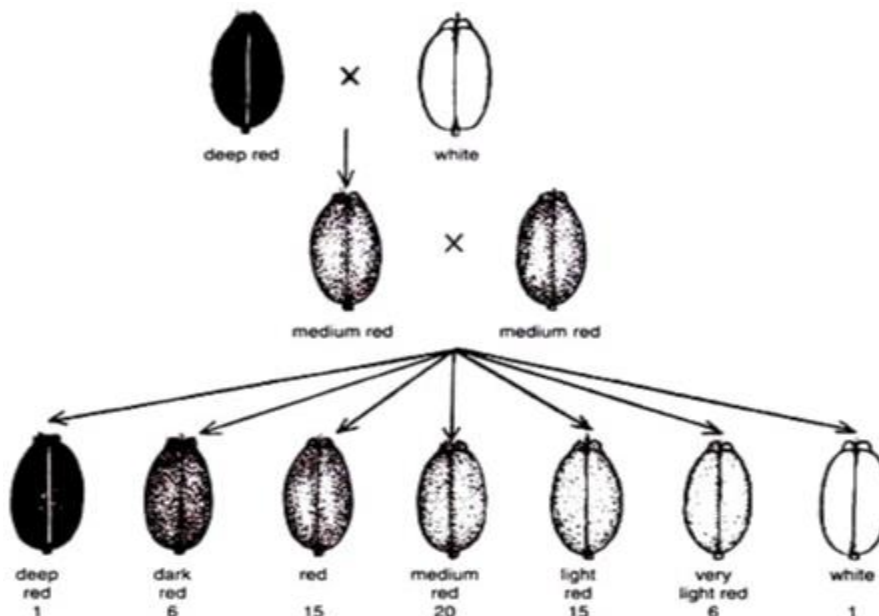
Ο W. Johannsen ήταν ένας Δανός βοτανολόγος ο οποίος πλέον αναγνωρίζεται σαν ένας από τους πιο σημαντικούς επιστήμονες, καθώς η δουλειά του είχε επιπτώσεις σε ένα ευρύ φάσμα της επιστήμης της βιολογίας. Ο ίδιος πραγματοποίησε μια σειρά πειραμάτων, τα πειράματα καθαρής σειράς, μέσω των οποίων προσπάθησε να αποδείξει πως υπήρχαν δύο ειδών παραλλαγές. Το πρώτο είδος ήταν αυτό στο οποίο οι έντονες παραλλαγές εντοπίζονται μεταξύ των διάφορων ποικιλιών και διατηρούνται και στις μεταβολές αυτών των ποικιλιών. Το είδος των παραλλαγών αυτών είναι κληρονομικό. Το δεύτερο είδος των παραλλαγών οφείλεται σε κάποια αλλαγή που έχει προκληθεί στο περιβάλλον του φυτού και δεν είναι κληρονομήσιμη (Hansen, 1979).

Προκειμένου να αποδείξει την παραπάνω θεωρία του ο Johannsen χρησιμοποίησε πειραματικά κάποια σταθερή ποικιλία φασολιών (Berry, 2014). Αρχικά, επιλέχθηκαν κάποια μεμονωμένα φυτά, εντός των οποίων υπήρχε μια συνήθης ποσότητα της παραλλαγής του χαρακτηριστικού που τον ενδιέφερε, που στην συγκεκριμένη περίπτωση ήταν το μέγεθος του σπόρου. Μερικά φυτά είχαν μεγαλύτερο και κάποια άλλα μικρότερο μέγεθος σπόρου. Στην συνέχεια οι μεμονωμένοι σπόροι κάθε φυτού αναπτύχθηκαν και τα φυτά που προέκυψαν αυτογονιμοποιήθηκαν για μια σειρά γενεών. Έτσι, ο επιστήμονας ανακάλυψε πως οι σπόροι που προέκυψαν από τα μεγαλύτερα φυτά παραγωγής έτειναν να παραμένουν μεγαλύτεροι και αυτήν η διαπίστωση τον οδήγησε να σκεφθεί πως η σταθερή ποικιλία με την οποία ασχολούνταν, ήταν αποτέλεσμα πολλών διαφορετικών γραμμών παραγωγής. Και στο σημείο αυτό βρισκόταν η απόδειξη του πρώτου είδους των παραλλαγών που είχε προτείνει.

Στην συνέχεια ο Johannsen έστρεψε την προσοχή του στους σπόρους κάθε μίας από τις «καθαρές σειρές». Κάθε μία από αυτές λοιπόν, διέθετε ένα σταθερό μέγεθος σπόρου, ωστόσο υπήρχαν παραλλαγές μεταξύ τους. Αυτές όμως ήταν οι παραλλαγές μέσα στις «καθαρές σειρές» που ο ίδιος ο επιστήμονας ήθελε να αποδείξει πως αποτελούσαν τον δεύτερο τύπο των παραλλαγών που είχε προτείνει και που δεν ήταν κληρονομήσιμες.

Πριν την θεωρία του Johannsen υπήρχε η εντύπωση πως η επιλογή μεγαλύτερων ή μικρότερων σπόρων από τις καθαρές σειρές, θα είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή μεγαλύτερων ή μικρότερων φυτών. Αυτό όμως που ο ίδιος διαπίστωσε ήταν πως όταν επέλεγε πολύ μεγάλους ή πολύ μικρούς σπόρους, η διαφορά στα τελικά φυτά δεν ήταν σπουδαία και η παρατήρηση αυτή ουσιαστικά αποτέλεσε την πειστική απόδειξη για την ύπαρξη παραλλαγών δύο ειδών, μιας παραλλαγής εσωτερικής στο φυτό και μιας άλλης εξωτερικής σε αυτό, του γονότυπου και του φαινοτύπου δηλαδή. Η ανακάλυψη αυτή του Johannsen αποτέλεσε μια σπουδαία στιγμή στην ιστορία της επιστήμης, η οποία ευθύνεται για την εξέλιξη των πρακτικών βελτίωσης των φυτών στην σύγχρονη εποχή.

Επίσης κατά το 1904-1905 ο Nilsson-Ehle, ένας Σουηδός γενετιστής που εργαζόταν πάνω σε διάφορες καλλιέργειες δημητριακών, διατυπώνει μια θεωρία για την κληρονομικότητα του χρώματος. Πριν την θεωρία του Nilsson-Ehle οι επιστήμονες ασχολούνταν με την γενετική των διακριτών φαινοτύπων των φυτών. Στην συνέχεια προτάθηκε η άποψη πως η παραλλαγή σε ένα μεμονωμένο γονίδιο, μπορεί να συμβάλλει σε μια σημαντική φαινοτυπική διαφορά. Ωστόσο, για έναν πλήθος χαρακτηριστικών που ενδιέφεραν τους βελτιωτές, όπως για παράδειγμα το χαρακτηριστικό της απόδοσης, συχνό ήταν το φαινόμενο ένας μεγάλος αριθμός γονιδίων να συνεισφέρει συλλογικά στην γενετική διαφοροποίηση. Η υπόθεση αυτή έχει μείνει γνωστή ως «πολυπαραγοντική υπόθεση» (multiple factor hypothesis) και θιασώτης της ήταν ο Nilsson-Ehle. Πολλοί από τους χαρακτήρες που εξέτασε ο ίδιος έδωσαν αναλογίες 3:1 στην δεύτερη γενιά (F2) που προέκυψε μετά την διασταύρωση δύο γονικών στελεχών. Ωστόσο τα αποτελέσματα που προέκυψαν δεν ταίριαζαν όλα στους κανόνες που είχαν διατυπωθεί, αλλά παρουσίαζαν σημαντικές εξαιρέσεις. Για παράδειγμα όταν διασταυρώνονταν άσπροι και κόκκινοι σπόροι σιταριού, η πρώτη γενιά απογόνων (F1) ήταν πανομοιότυπη ως προς το χρώμα (ανοικτό κόκκινο χρώμα), ωστόσο σε διασταυρώσεις στην δεύτερη γενιά απογόνων (F2) εμφανιζόταν ένας λόγος 63 κόκκινων φυτών και ενός άσπρου. Ένα από τα αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά αυτού του πειράματος αποτελούσε η μεταβολή της έντασης του κόκκινου χρωστικού σε σπόρους σιταριού που παράχθηκαν από φυτά τρίτης γενιάς απογόνων (F3) (Zhangetal., 2012).



Εικόνα 2: Η θεωρία των χρωμάτων του σιταριού του Nilsson-Ehle

Τα πειράματα αυτά απέδειξαν πως υπήρχαν όλες οι διαβαθμίσεις, από το βαθύ κόκκινο του ενός γονέα μέχρι και το αγνό άσπρο του άλλου γονέα και έτσι τα φυτά θα μπορούσαν να διαχωριστούν σε έξι διακριτές φαινοτυπικές κατηγορίες με ποικίλες εντάσεις του κόκκινου χρώματος: μία κατηγορία βαθιού κόκκινου, έξι σκοτεινού κόκκινου, δεκαπέντε κόκκινου, είκοσι μέτριου κόκκινου χρώματος, δεκαπέντε απαλού κόκκινου και έξι πολύ απαλού κόκκινου. Μόνο ένα από τα 64 φυτά παρήγαγε εντελώς λευκούς σπόρους.

Από τα αποτελέσματα αυτά ο Nilsson-Ehle κατέληξε σε δύο συμπεράσματα. Αρχικά συμπέρανε πως η εγγενής αναπαραγωγή μπορεί να παράγει μια τεράστια ποικιλία γονοτύπων. Και στην συνέχεια συμπέρανε πως δεδομένης της ύπαρξης αυτής της τεράστιας ποικιλίας γονοτύπων, προφανώς οι νέοι τύποι που εμφανιζόταν μέσα σε έναν πληθυσμό, θα μπορούσαν να είναι τα αποτελέσματα σπάνιων διαχωρισμών παρά νέων μεταλλάξεων.

Μετέπειτα έρευνες όπως για παράδειγμα αυτήν των Emerson&East (1913) που εξέτασαν ποσοτικά τις μεταβολές σε ένα μεγάλο αριθμό φυτών, επιβεβαίωσαν αυτές τις ιδέες. Όταν τα στελέχη των φυτών που διέφεραν ευρέως σε κάποια χαρακτηριστικά διασταυρώνονταν, καταγράφονταν οι διακυμάνσεις που εμφάνιζαν τα αποτελέσματα στην πρώτη (F1) και στην δεύτερη γενιά απογόνων (F2). Στις περισσότερες από αυτές τις διασταυρώσεις και ειδικότερα όταν οι γονικοί πληθυσμοί σχηματίζονταν μέσω της διαδικασίας της επαναλαμβανόμενης αυτογονιμοποίησης, παρατηρούνταν μια σημαντική αύξηση των μεταβολών στην δεύτερη γενιά.

Το γεγονός αυτό που προκύπτει από τους πολλαπλούς γονότυπους των ετεροζυγωτών της πρώτης γενιάς, είναι σύμφωνο με την πολυπαραγοντική υπόθεση. Η δεύτερη γενιά λοιπόν, θα αποτελείται από μια μεγάλη συλλογή διαφορετικών γονότυπων και ως εκ τούτου θα είναι πιο μεταβλητή, καθώς στην μεταβλητότητα αυτή θα συμμετέχει τόσο ο γενετικός όσο και ο περιβαλλοντικός παράγοντας. Στην πρώτη γενιά η μεταβλητότητα δεν είναι τόσο έντονη, καθώς σε αυτήν συμμετέχει μόνο ο περιβαλλοντικός παράγοντας (Akerberg, 1986).

Το 1908-1909 οι Hardy και Weinberg διατυπώνουν μια θεωρία κατά την οποία δηλώνετε ότι οι συχνότητες αλληλόμορφων και γονοτύπων σε έναν πληθυσμό θα παραμείνουν σταθερές από γενιά σε γενιά, ελλείψει άλλων εξελικτικών επιρροών. Αυτές οι επιρροές περιλαμβάνουν την αλληλόμορφη μετατόπιση, τη φυσική επιλογή, τη σεξουαλική επιλογή, τη μετάλλαξη, τη ροή των γονιδίων κτλ.. Είναι ένα μαθηματικό μοντέλο για τον σύγχρονο ορισμό της εξέλιξης, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο να παρακολουθηθούν οι αλλαγές που συμβαίνουν στις συχνότητες των αλληλόμορφων γονιδίων (γονίδια που βρίσκονται στην ίδια γονιδιακή θέση στα ομόλογα χρωμοσώματα, και ελέγχουν με διαφορετικό τρόπο την ίδια ιδιότητα) ενός πληθυσμού από την μια γενιά στην άλλη.

Η θεωρία αυτή βασίζεται στην ιδέα πως καμία εξέλιξη δεν είναι στατιστικά απίθανη. Ωστόσο η υποθετική αυτή περίπτωση της μη εξέλιξης μπορεί να χρησιμεύσει ως βάση, προκειμένου να διατυπωθούν εκτιμήσεις και προβλέψεις που σχετίζονται με τις αλλαγές στα αλληλόμορφα γονίδια σε απόγονους πληθυσμούς. Οι εκτιμήσεις αυτές βασίζονται αποκλειστικά στο ποσοστό των φαινοτυπικών αποκλίσεων μέσα σε ένα πληθυσμό (Jurmainetal., 2010).

Η σύγχρονη θεωρία της εξέλιξης συνδυάζει την θεωρία του Δαρβίνου για την κληρονομικότητα και την φυσική επιλογή με την γενετική των πληθυσμών. Έτσι εξέλιξη θεωρείται μια αλλαγή σε ένα αλληλόμορφο γονίδιο από μια γενιά σε μια άλλη, που συμβαίνει σε μια δεξαμενή γονιδίων ενός πληθυσμού. Ή με άλλα λόγια ως εξέλιξη μπορεί να θεωρηθεί το άθροισμα των γενετικά κληρονομούμενων αλλαγών που εντοπίζονται σε μεμονωμένα μέλη ενός πληθυσμού.

Γενετική ισορροπία σύμφωνα με τους Hardyκαι Weinberg υπάρχει μόνο όταν συντρέχουν και οι επτά ακόλουθοι παράγοντες: (Hartl &Clark, 2007)

- όταν δεν υπάρχει γενετική μετάλλαξη
- όταν δεν υπάρχει φυσική επιλογή που να επηρεάζει τα κληρονομικά χαρακτηριστικά, καθιστώντας κάποιους οργανισμούς μέσα σε μια γενετική δεξαμενή περισσότερο επιτυχημένους από άλλους οργανισμούς μέσα στην ίδια γενετική δεξαμενή
- όταν ο πληθυσμός είναι απείρως μεγάλος
- όταν όλα τα μέλη του πληθυσμού γεννούν
- όταν όλα τα ζευγαρώματα είναι τυχαία
- όταν κάθε μέλος του πληθυσμού παράγει τον ίδιο ακριβώς αριθμό απογόνων
- όταν δεν υπάρχει μετανάστευση εντός ή εκτός του πληθυσμού ή με άλλα λόγια όταν δεν υπάρχει ροή γονιδίων.

Καθώς όμως είναι εξαιρετικά απίθανο να υπάρχει έστω και ένας πληθυσμός στον οποίο να συντρέχει ένας μόνο από τους παραπάνω επτά παράγοντες, πόσο μάλλον να ισχύουν παράλληλα και οι επτά, θεωρείται πως η εξέλιξη είναι αναπόφευκτη. Η θεωρία των Hardyκαι Weinberg χρησιμοποιεί την έννοια της γενετικής ισορροπίας σαν βάση για να προβλέψει τις πιθανότητες των αλληλόμορφων γονιδίων σε έναν πληθυσμό απογόνων που εξαρτάται από τις γενετικές συχνότητες των γονέων.

Η εξίσωση ισορροπίας των Hardyκαι Weinberg ( $p^2+2pq+q^2=1$ )χρησιμοποιείται για να ανακαλυφθούν οι πιθανές συχνότητες γονότυπου σε έναν πληθυσμό, ακόμα και αν είναι διαθέσιμες οι φαινοτυπικές συχνότητες. Επίσης, η εξίσωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί με

στόχο την εκτίμηση των γενοτυπικών συχνοτήτων μελλοντικών γενεών σε έναν πληθυσμό. Πριν από την θεωρία αυτή θεωρούνταν πως τα κυρίαρχα αλληλόμορφα γονίδια σε βάθος χρόνου θα εξαφάνιζαν τα υπολειπόμενα αλληλόμορφα γονίδια. Με βάση αυτήν την λανθασμένη θεωρία τα κυρίαρχα αλληλόμορφα γονίδια θα έπρεπε να αυξάνονται από την μια γενιά στην άλλη. Ωστόσο οι Hardy και Weinberg κατάφεραν να αποδείξουν με την εξίσωσή τους πως τα κυρίαρχα αλληλόμορφα γονίδια με τη σειρά τους μπορούν και αυτά να μειωθούν. Το μαθηματικό τους μοντέλο θεωρείται ως ένα από τα σημεία εκκίνησης για την γενετική των πληθυσμών (Bacaeer, 2011).

Το 1908-1909 ο East εκδίδει την θεωρία του για την αναπαραγωγή από συγγενικά φυτά. Ο M. East ήταν ένας αμερικάνος γενετιστής φυτών, του οποίου τα πειράματα είχαν σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη του πρώτου υβριδικού καλαμποκιού. Αρχικά οι έρευνές του περιελάμβαναν τρία φυτά, το ταμπάκο, την πατάτα και τον αραβόσιτο. Η ενασχόλησή του με το φυτό της πατάτας ήταν στο μεγαλύτερό της μέρος αφοσιωμένη στην διερεύνηση της διαφοροποίησης του φυτού. Η ενασχόλησή του με το ταμπάκο έθεσε τα θεμέλια για την μετέπειτα γενετική του έρευνα στα είδη «Nicotiana», στα οποία πραγματοποίησε πολυάριθμες συνεισφορές. Πάντως, τα περισσότερο εκτεταμένα πειράματά του σχετίζονταν με το φυτό του αραβόσιτου και τα χαρακτηριστικά του Μέντελ που παρατηρούνται σε αυτό το φυτό (Nelson, 1993).

Η σπουδαιότερη ωστόσο συνεισφορά του East στην επιστήμη της βελτίωσης των φυτών ήταν η αναγνώριση των αποτελεσμάτων της αναπαραγωγής από συγγενικά φυτά (συγγενικής αναπαραγωγής = inbreeding) και της αναπαραγωγής μέσω διασταυρώσεων (cross-breeding). Ο ίδιος ενδιαφερόταν πρωτίστως στο να προσδιορίσει και στο να ελέγξει τις πρωτεΐνες και τις λιπαρές ουσίες του καλαμποκιού, καθώς τα δύο αυτά χαρακτηριστικά επιδρούν σε σημαντικό βαθμό πάνω στην ποιότητα του φυτού που προορίζονταν για τροφή ζώων. Στα πειράματά του τα σχετικά με την καλλιέργεια καλαμποκιού, προσπάθησε να αυξήσει τόσο την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες όσο και σε λιπαρά. Επίσης, ο East με τις έρευνές του έθεσε τις βάσεις για την έννοια της ετερότητας ή του γεγονότος πως τα υβρίδια ήταν συχνά περισσότερο βιώσιμα, πιο δυνατά και πιο γόνιμα από τα εγγενή στελέχη. Με το ίδιο θέμα (inbreeding) ασχολήθηκε την ίδια σχεδόν περίοδο και ο G. Shull. Τόσο ο ένας επιστήμονας όσο και ο άλλο εξέλιξαν το θέμα περισσότερο από όσο είχε καταφέρει ο Δαρβίνος αρκετά χρόνια πριν και αυτό το κατάφεραν μέσω επικονίασης αρκετών γενιών για παραγωγή ομόζυγων σειρών, οι οποίες στην συνέχεια διασταυρώθηκαν με σκοπό την παραγωγή υβριδίων. Ο Shull εισήγαγε τον όρο «ετέρωση» (heterosis) προκειμένου να περιγράψει την τάση που είχε παρατηρήσει στα υβρίδια και που δεν ήταν άλλη από το να αναπτύσσονται σε



αυτά ανώτερα χαρακτηριστικά σε σχέση με τα χαρακτηριστικά που εμφάνιζαν οι γονείς τους (Fitzgerald, 1990).

Τόσο ο East όσο και ο Shull αναγνώρισαν τις δυνατότητες που υπήρχαν στην μέθοδο αυτή για την παραγωγή υψηλής απόδοσης υβριδίων αραβοσίτου, τα οποία θα μπορούσαν να αναπαράγονται δίνοντας ακριβώς τα ίδια αποτελέσματα σε μελλοντικές καλλιέργειες. Οι υβριδικοί σπόροι του αραβοσίτου μάλιστα ήταν ιδανικοί για κάτι τέτοιο, καθώς καμία άλλη καλλιέργεια δεν είναι τόσο κατάλληλη από την ίδια της την φύση για την πραγματοποίηση υβριδισμών μεγάλης κλίμακας. Κανένας όμως από τους δύο επιστήμονες δεν πίστευε πως οι αγρότες θα μπορούσαν να υιοθετήσουν αυτήν την τεχνική και να καταφέρουν να βγάλουν στο τέλος κέρδος. Και αυτό γιατί τα υβρίδια που προέκυψαν από την μέθοδο αυτή έδιναν ελάχιστο έως καθόλου σπόρο. Και καθώς η παραγωγή σπόρου κοστίζει, η ετήσια δαπάνη για την αγορά σπόρων ουσιαστικά θα ήταν μεγαλύτερη από την αξία της αυξημένης παραγωγής που θα έδιναν τα υβρίδια. Με άλλα λόγια η παραγωγή θα ήταν ασύμφορη για τους αγρότες (Duvick, 2001).

Ωστόσο, η ιδέα για την χρήση της μεθόδου «inbred-hybrid» δεν εγκαταλείφθηκε. Λίγα χρόνια μετά την δημιουργία της μεθόδου και πιο συγκεκριμένα το 1918, ένας από τους μαθητές του East, ο F. Jones, κατάφερε να βρει μια λύση στο πρόβλημα της υψηλής τιμής των σπόρων. Το 1919 ο D. Jones επιχείρησε να εξελίξει την ιδέα της απλής διασταύρωσης, προτείνοντας την ιδέα της διπλής διασταύρωσης η οποία θα περιελάμβανε μια διασταύρωση μεταξύ δύο απλών διασταυρώσεων.

Η λύση στο πρόβλημα θα προέκυπτε από την διπλή διασταύρωση υβριδίων (doublecrosshybrids), που θα μπορούσε να καταστεί δυνατή από την διασταύρωση δύο απλών υβριδίων. Η διπλή διασταύρωση μπορεί να απέφερε μικρότερη απόδοση σε σχέση με τις καλύτερες απλές διασταυρώσεις, ωστόσο σε σύγκριση με τις ποικιλίες ανοικτής γονιμοποίησης ήταν κατά πολύ ανώτερη. Επιπροσθέτως, η τεχνική αυτή θα έριχνε την τιμή του σπόρου σε επίπεδα τα οποία θα ήταν επιτρεπτά για τους αγρότες, επομένως μπορεί να υποστηριχθεί πως ευθύνεται για το ότι η εμπορική παραγωγή των υβριδικών σπόρων καλαμποκιού κατέστη οικονομικά συμφέρουσα. (Nelson, 1993).

Ακόμα και πριν την γνωστοποίηση της μεθόδου διπλής διασταύρωσης από τον Jones, αρκετοί ήταν οι επιστήμονες που είχαν ξεκινήσει την μέθοδο inbred-hybrid, χωρίς ωστόσο να διαθέτουν γνώσεις σχετικές με τους ακριβείς τρόπους που θα έπρεπε να ακολουθηθούν προκειμένου να παραχθούν υβρίδια. Μετά την ανακοίνωση όμως του Jones αναπτύχθηκε η πίστη στην επιστημονική κοινότητα πως η μέθοδος αυτή θα στεφόταν με επιτυχία. Αυτό που όμως παρέμενε άγνωστο την εποχή εκείνη, ήταν για ποιόν λόγο τα υβρίδια ήταν ανώτερα σε

σχέση με τους γονείς τους (heterosis). Αν αυτήν η πληροφορία ήταν γνωστή, τότε ίσως η βελτίωση του φυτού να γινόταν με μεγαλύτερη ακρίβεια και οι αποδόσεις των υβριδίων να ήταν μεγαλύτερες (Duvick, 2001).

Κατά το πρώτο μισό του 20ου αιώνα οι επιστήμονες άρχισαν να χρησιμοποιούν σαν μέθοδο βελτίωσης και την μεταλλαξογένεση, που ουσιαστικά είναι οι μεταλλάξεις που συμβαίνουν με την χρήση μεταλλαξογόνων παραγόντων, όπως για παράδειγμα η ακτινοβολία ή τα χημικά. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε για την βελτίωση των φυτών κατά την δεκαετία του 1920, όταν οι ερευνητές ανακάλυψαν πως η έκθεση φυτών στην ακτινοβολία των ακτινών X, αύξανε τις παραλλαγές στα φυτά. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιήθηκε περισσότερο μετά το τέλος του Β Παγκόσμιου Πολέμου, όταν οι επιστήμονες συμπεριέλαβαν ατομικά σωματίδια (όπως για παράδειγμα τα σωματίδια άλφα, τα πρωτόνια) για να προκαλέσουν μεταλλάξεις σε διάφορους οργανισμούς. Αν και η τεχνική αυτή είναι εξαιρετικά απρόβλεπτη για τα αποτελέσματά της, εντούτοις έχει χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή πολυάριθμων μεταλλαγμένων ποικιλιών.

Το 1944 οι Avery, MacLeod και McCarty ανακαλύπτουν πως το DNA είναι το κληρονομικό υλικό. Η σύγχρονη αντίληψη που διαθέτει ο άνθρωπος για την σημασία που διαδραματίζει το DNA στην κληρονομικότητα έχει οδηγήσει σε μια σειρά πρακτικών εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένου για παράδειγμα του ελέγχου πατρότητας ή του γενετικού ελέγχου. Ωστόσο στις αρχές του 20ου αιώνα οι γνώσεις αυτές δεν ήταν διαθέσιμες ούτε και στους καλύτερα μορφωμένους ανθρώπους της εποχής. Η επιστημονική κοινότητα λοιπόν αγνοούσε το γεγονός πως το DNA αποτελούσε το κληρονομικό υλικό.

Το έργο του Mendel έδειξε πως τα γνωρίσματα (όπως για παράδειγμα το χρώμα των λουλουδιών στα μπιζέλια) δεν κληρονομούνται άμεσα, αλλά πως καθορίζονταν από γονίδια τα οποία μεταφέρονταν από τους γονείς στους απογόνους. Το έργο των επιστημόνων που ακολούθησαν το έργο του Mendel καθιέρωσε την γνώση πως τα χαρακτηριστικά μεταφέρονταν από την μια γενιά στην επόμενη μέσω των χρωμοσωμάτων. Ωστόσο, αρχικά, πίστευαν πως οι πρωτεΐνες οι οποίες βρίσκονται στα χρωμοσώματα και όχι το DNA ήταν υπεύθυνες για την μεταφορά του γενετικού υλικού. Για τις πρωτεΐνες ήταν γνωστό κατά την εποχή εκείνη, πως διέθεταν ποικίλες αλληλουχίες αμινοξέων, ενώ για το DNA είχε δημιουργηθεί η εντύπωση πως αποτελούσε ένα πολυμερές χωρίς ενδιαφέρον, εξαιτίας κυρίως σε μια λανθασμένη εικόνα της δομής και της σύνθεσής του που είχε επικρατήσει.

Σήμερα, η εικόνα που έχει επικρατήσει για το DNA είναι φυσικά διαφορετική από αυτήν που επικρατούσε και προς αυτήν την κατεύθυνση εργάστηκαν αρχικά επιστήμονες όπως ο F. Griffith και οι Avery, McCarty και MacLeod που συνέχισαν την δουλειά του πρώτου.

Το 1928 ο βρετανός βακτηριολόγος F. Griffith πραγματοποίησε μια σειρά πειραμάτων χρησιμοποιώντας βακτήρια *Streptococcus pneumoniae* και ποντίκια. Αυτό που ο επιστήμονας προσπαθούσε να κάνει, δεν ήταν να εντοπίζει το γενετικό υλικό, αλλά να δημιουργήσει ένα εμβόλιο κατά της πνευμονίας. Στα πειράματά του χρησιμοποίησε δύο συγγενή στελέχη βακτηρίων γνωστά ως «R» και «S». Τα στελέχη R όταν αναπτύχθηκαν μέσα σε ένα δοκιμαστικό δοχείο, σχημάτισαν αδρές αποικίες ή συστάδες βακτηριδίων που έμοιαζαν με το γράμμα R, εικόνα που τους έδωσε την ονομασία τους. Τα εν λόγω βακτήρια δεν ήταν μολυσματικά γεγονός που σήμαινε πως όταν εισάχθηκαν στο ποντίκι δεν του προκάλεσαν την ασθένεια. Τα στελέχη S παρήγαγαν αποικίες λείες που έμοιαζαν με το γράμμα S, γεγονός που τους έδωσε το όνομά τους. Τα εν λόγω βακτήρια ήταν μολυσματικά λόγω μιας επίστρωσης πολυσακχαρίτη που διέθεταν, γεγονός που σήμαινε πως όταν θα εισάγονταν στο ποντίκι θα ήταν εν δυνάμει μολυσματικά. Τα ποντίκια στα οποία εισάχθηκε το στέλεχος S ανέπτυξαν πνευμονία και πέθαναν (Lorenz&Wackernagel, 1994).

Ο επιστήμονας συνέχισε τον πειραματισμό του και έτσι αποφάσισε να θερμάνει τα βακτήρια S σε υψηλές θερμοκρασίες, και παρατήρησε πως τα κύτταρά τους πέθαιναν. Στην συνέχεια εισήγαγε τα θερμασμένα Sβακτήρια στα ποντίκια, διαπιστώνοντας πως πλέον δεν ήταν μολυσματικά. Ωστόσο, ο Griffith, όταν αποφάσισε να εισάγει στο ποντίκι βακτήρια Rκαι θερμασμένα βακτήρια S, διαπίστωσε πως όχι μόνο το ποντίκι ανέπτυξε πνευμονία και τελικά πέθανε, αλλά πως παράλληλα στο σώμα του ποντικιού είχαν δημιουργηθεί ζωντανά βακτήρια S. Έτσι κατέληξε στο συμπέρασμα πως τα βακτήρια Rείχαν μετασχηματιστεί σε μολυσματικά βακτήρια.

Λίγα χρόνια αργότερα οι Avery, McCartyκαι MacLeod συνεχίζοντας την έρευνα τουςκατέληξαν στο συμπέρασμα πως το DNA είναι τελικώς η αρχή που προκαλεί τον μετασχηματισμό. Λίγα χρόνια αργότερα οι Hersheyκαι Chaseεπιβεβαίωσαν το γεγονός πως το DNAαποτελεί γενετικό υλικό (Malagoetal., 2009).Οι γνώσεις σχετικά με το DNAείχαν αρχίσει να αυξάνονται γεγονός που άνοιξε νέους δρόμους στην βελτίωση φυτών, ειδικότερα το δεύτερο μισό του 20ου αιώνα έως και σήμερα.

## Κεφάλαιο 6ο

### 6.1 Η βελτίωση των φυτών κατά την διάρκεια του δεύτερου μισού του 20ου αιώνα έως και σήμερα

Η ανθρωπότητα ανέκαθεν αντιμετώπιζε προβλήματα όπως οι λιμοί και η έλλειψη τροφής. Ο Malthus στα τέλη του 18ου αιώνα διατύπωσε την άποψη πως ο ανθρώπινος πληθυσμός έχει την τάση να αυξάνεται με γεωμετρική πρόοδο, ενώ η παραγωγή τροφίμων να αυξάνεται με αριθμητική πρόοδο. Το γεγονός αυτό τον έκανε να υποστηρίξει πως οι άνθρωποι κάποια στιγμή, θα ερχόταν αντιμέτωποι με το πρόβλημα της απόλυτης έλλειψης τροφής. Ο ίδιος όμως δεν συμπεριέλαβε στην πρόβλεψή του τις τεχνολογικές εξελίξεις, η χρήση των οποίων θα μπορούσε να επιφέρει μια σημαντική επιτάχυνση στην παραγωγή τροφίμων (Sachs, 2008).

Το επικείμενο λοιπόν πρόβλημα της έλλειψης τροφίμων, απαιτούσε την λήψη μέτρων προς την κατεύθυνση της βελτίωσης της γεωργικής παραγωγής και το Ίδρυμα Rockefeller έδρασε προκειμένου αυτό να πραγματοποιηθεί. Οι βάσεις για την Πράσινη Επανάσταση τέθηκαν όταν ο αντιπρόεδρος Wallace των ΗΠΑ, προσέγγισε το ίδρυμα με σκοπό να ξεκινήσει ένα πρόγραμμα βελτίωσης καλλιεργειών στο Μεξικό. Ο ίδιος ο Wallace, ήταν σχετικός με το αντικείμενο, καθώς θεωρούνταν ως ένας επιτυχημένος καλλιεργητής που είχε βοηθήσει στην παραγωγή του πρώτου υβριδικού καλαμποκιού κατά την διάρκεια της δεκαετίας του 1920.

Το 1943 λοιπόν το Ίδρυμα Rockefeller ξεκίνησε το πρόγραμμα «Mexican Agricultural Program» που πρωταρχικός του σκοπός αποτελούσε η ανάπτυξη ποικιλιών υψηλής απόδοσης, που παράλληλα θα ανταποκρίνονταν καλύτερα στα αγροχημικά προϊόντα. Τα αρχικά αποτελέσματα του προγράμματος αυτού ήταν αρκετά ενθαρρυντικά και έτσι αποφασίστηκε η δημιουργία ενός ανεξάρτητου ιδρύματος στο Μεξικό, γνωστό ως Διεθνές Κέντρο βελτίωσης Καλαμποκιού και Σιταριού (International Corn and Wheat Improvement Centre ή CIMMYT).

Μεταξύ των χρόνων 1920 και 1940 το ίδρυμα Rockefeller ξεκίνησε την υποστήριξη προσπαθειών που σχετίζονταν με τον υβριδισμό του καλαμποκιού και που είχαν στόχο να δημιουργήσουν βελτιωμένες καλλιέργειες καλαμποκιού που θα προορίζονταν για την βιομηχανική γεωργία. Αποτέλεσμα αυτών των προσπαθειών υπήρξε μια ώθηση στις πωλήσεις υβριδικών σπόρων κατά την δεκαετία του 1930 και η απόδοση του καλαμποκιού αυξήθηκε σημαντικά, ιδιαίτερα μετά την εισαγωγή των διπλών υβριδίων. Η απόδοση

αυξήθηκε περαιτέρω όταν τα διπλά υβρίδια του καλαμποκιού αντικαταστάθηκαν με απλά υβρίδια (Hindmarsh, 2003).

Η γενετική βελτίωση του καλαμποκιού, συνέβαλε τις τελευταίες επτά δεκαετίες στις ΗΠΑ στην βελτίωση της απόδοσής του κατά 75%. Το ίδρυμα Rockefeller διεύρυνε περαιτέρω το πρόγραμμα της υβριδικής παραγωγής καλαμποκιού και σε άλλες χώρες, εκτός του Μεξικού, όπως την Βραζιλία και την Αργεντινή κατά την δεκαετία του 1940 και την Κένυα στα μέσα περίπου της δεκαετίας του 1950. Παράλληλα, προσπάθειες έγιναν για να διαδοθεί η Πράσινη Επανάσταση σε αναπτυσσόμενες χώρες, όπως για παράδειγμα την Ινδία, τις Φιλιππίνες και την Ινδονησία κατά την δεκαετία του 1960 (Hindmarsh, 2003). Στις Φιλιππίνες μάλιστα δημιουργήθηκε το Διεθνές Ινστιτούτο Έρευνας Ρυζιού (International Rice Research Institute ή IRRI) το 1960, που εστίασε στην έρευνα και στην αναπαραγωγή του ρυζιού, καθώς αυτό αποτελούσε την τροφή της πλειοψηφίας των φτωχών ανά τον κόσμο.

Η «Πράσινη Επανάσταση» σηματοδοτεί την περίοδο μεταξύ της δεκαετίας του 1960 και της δεκαετίας του 1980, περίοδος κατά την οποία παρατηρήθηκε μια αύξηση στην παραγωγή σιταριού και ρυζιού. Αυτό έγινε πραγματικότητα μέσω προσπαθειών που καταβλήθηκαν από τους Normankαι Borlaug. Η επιτυχία της Πράσινης Επανάστασης όμως πρέπει να χρεωθεί στον Borlaug, ο οποίος αφιέρωσε την ζωή του στην έρευνα, η οποία είχε προσανατολιστεί προς την εξάλειψη του προβλήματος της έλλειψης τροφής στον κόσμο. Για τον λόγο αυτό, ο ίδιος αποτελεί μια αναγνωρίσιμη φυσιογνωμία, ιδιαίτερα στον αναπτυσσόμενο κόσμο, που μάλιστα κέρδισε το βραβείο Νόμπελ Ειρήνης. Υπό την επίβλεψή του στο ίδρυμα CIMMYT, αναπτύχθηκαν νέες ποικιλίες και βελτιωμένες πρακτικές, εξαιτίας των οποίων παρατηρήθηκε μια σημαντική αύξηση της παραγωγής σιταριού.

Η ίδρυση του Διεθνούς Κέντρου Βελτίωσης Καλαμποκιού και Σιταριού (International Cornand Wheat Improvement Centre ή CIMMYT) και του Διεθνούς Ινστιτούτου Έρευνας Ρυζιού (InternationalRiceResearchInstituteή IRRI)συνέβαλλαν σημαντικά στην τεράστια ανάπτυξη των σύγχρονων ποικιλιών του σιταριού και του ρυζιού και αποτελούν τους καθοριστικούς παράγοντες πίσω από την επιτυχία της Πράσινης Επανάστασης. Οι υψηλές αποδόσεις αυτών των ποικιλιών αποδίδονται κυρίως στο περιορισμένο τους ύψος και στην υψηλή ανταπόκρισή τους στα λιπάσματα.

Ένας λοιπόν λόγος της επιτυχίας που σημειώθηκε από την Πράσινη Επανάσταση, ήταν η δημιουργία των ποικιλιών ημινάνων σιταριού και ρυζιού. Οι νέες αυτές ποικιλίες λειτούργησαν θετικά, καθώς διέθεταν κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, όπως η ικανότητά τους για ευρεία σχεδόν προσαρμογή, το μικρό τους ύψος, αλλά και η υψηλή ανθεκτικότητά τους στις ασθένειες. Η γένεση των ημινάνων ποικιλιών σιταριού, είχε ξεκινήσει, όταν

Ιάπωνες επιστήμονες είχαν αναπτύξει την ποικιλία σιταριού «Norin 10», χρησιμοποιώντας σαν δότη του χαρακτηριστικού του ύψους, την ποικιλία «Daruma». Η ποικιλία «Daruma», ήταν μια Ιαπωνική ποικιλία ημινάνων σιταριών, η οποία διασταυρώθηκε με την ποικιλία «Fultz» που ήταν αμερικάνικη ποικιλία υψηλής απόδοσης χειμερινού σιταριού. Στην συνέχεια, η ποικιλία «Fultz-Daruma» διασταυρώθηκε με την ποικιλία «Turkey Red», η οποία ήταν επίσης μια αμερικάνικη ποικιλία υψηλής απόδοσης χειμερινού σιταριού. Όλες οι παραπάνω διασταυρώσεις λοιπόν, είχαν σαν αποτέλεσμα την δημιουργία της ποικιλίας «Norin 10», η οποία ήταν ποικιλία ημινάνων και παράλληλα ποικιλία υψηλής απόδοσης χειμερινού σιταριού. Η ποικιλία αυτή στην συνέχεια μεταφέρθηκε στην Αμερική, διασταυρώθηκε από τον Vogel με την ποικιλία «Gaines» και από την διασταύρωση προέκυψαν οι σύγχρονες ποικιλίες ημινάνων. Πρέπει να υπογραμμιστεί το γεγονός πως οι διαφορετικές γενιές ποικιλιών αναπτύχθηκαν σε δύο διαφορετικές τοποθεσίες. Καθώς οι δύο αυτές διαφορετικές τοποθεσίες διέφεραν στα χαρακτηριστικά του εδάφους, στις θερμοκρασίες που σημειώνονταν, στις βροχοπτώσεις καθώς και στην φωτοπερίοδο, αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την παραγωγή σειρών με ευρεία αντοχή στις ασθένειες και με μη ευαισθησία στην φωτοπερίοδο (φωτοπεριοδικά ουδέτερες). Έτσι αυξήθηκε η προσαρμοστικότητα των σειρών σε διαφορετικά περιβάλλοντα (Dalrymple, 1974).

Η γένεση των ημινάνων ποικιλιών του ρυζιού εμφανίστηκε όταν το υπολειπόμενο γονίδιο «sd1» που ήταν υπεύθυνο για το χαμηλό ύψος, ενσωματώθηκε από μια κινέζικη ποικιλία, την «Dee-geo-woo-gen» (Khush, 2001). Το Διεθνές Ινστιτούτο Έρευνας Ρυζιού κατάφερε να αναπτύξει μια ποικιλία ημινάνων χρησιμοποιώντας την «Peta» ως θηλυκό γονέα που ήταν ψηλός και δυνατός και την «Dee-geo-woo-gen» ως αρσενικό γονέα που ήταν σκληρός και στον οποίο αποδίδονται τα γονίδια που ήταν υπεύθυνα για το ύψος. Το αποτέλεσμα, η ποικιλία «IR8», διέθετε χαρακτηριστικά όπως η ανθεκτικότητα, η μη ευαισθησία στην φωτοπερίοδο και η προσαρμοστικότητα. Η νέα βελτιωμένη ποικιλία ρυζιού μάλιστα έγινε πάρα πολύ δημοφιλής και αποκαλούνταν «το θαυματουργό ρύζι» (Hargrove et al., 1988).

Η επιτυχία που σημειώθηκε από τις παραπάνω ποικιλίες σιταριού και ρυζιού, οφείλεται κυρίως στο μικρό τους ύψος. Οι ποικιλίες πριν από την Πράσινη Επανάσταση διέθεταν μεγάλο ύψος, ήταν φυλλώδεις και αποτελούνταν από αδύναμα στελέχη. Τα χαρακτηριστικά αυτά και κυρίως το μεγάλο ύψος τους, είχε σαν αποτέλεσμα εκτός των άλλων και τις χαμηλές τους αποδόσεις όταν εφαρμόζονταν αζωτούχα λιπάσματα. Αντίθετα, μετά την Πράσινη Επανάσταση οι αποδόσεις των βελτιωμένων ποικιλιών θεωρούνταν ως ένα εξαιρετικά σημαντικό βήμα στην βελτίωση της αρχιτεκτονικής της δομής του σιταριού και του ρυζιού (Khush, 1995). Άλλοι παράγοντες που οδήγησαν σε θετικό αποτέλεσμα μπορούν

να θεωρηθούν η αξιοποίηση των ανόργανων λιπασμάτων, η βελτίωση των εγκαταστάσεων άρδευσης, όπως επίσης και η πολιτική βούληση.

Μετά την ανάπτυξη των βελτιωμένων ποικιλιών, η καλλιέργειά τους υιοθετήθηκε σε μεγάλη κλίμακα κυρίως από τις αναπτυσσόμενες χώρες όπου και επιτεύχθηκε μια εξαιρετικά σημαντική αύξηση της παραγωγής. Για παράδειγμα, παρατηρήθηκε αύξηση της παραγωγής σιταριού και ρυζιού στην Νότια Ασία μέσω της χρήσης νέων ποικιλιών που αναπτύχθηκαν από το Διεθνές Κέντρο Βελτίωσης Σιτηρών στο Μεξικό και το Διεθνές Ινστιτούτο Έρευνας Ρυζιού στις Φιλιππίνες. Ο σημαντικότερος αντίκτυπος της Πράσινης Επανάστασης όμως εντοπίστηκε στην Ινδία, το Πακιστάν, στις Φιλιππίνες και στην Κίνα (Borlaug, 2002).

Κατά την περίοδο 1961-2006 η παγκόσμια παραγωγή σιτηρών σχεδόν διπλασιάστηκε. Κατά την ίδια περίοδο επίσης, η παραγωγή σιτηρών διπλασιάστηκε στις αναπτυσσόμενες χώρες. Ωστόσο η εξέλιξη αυτή στην βελτίωση των ποικιλιών δεν έμεινε στάσιμη. Στις μέρες μας οι σύγχρονες ποικιλίες δεύτερης ή τρίτης γενιάς έχουν εξελιχθεί και έχουν αντικαταστήσει σε πολλές περιοχές τις πρώτες μοντέρνες βελτιωμένες ποικιλίες.

Ωστόσο, αν και η Πράσινη Επανάσταση με τις βελτιώσεις των φυτών που προέκυψαν θεωρείται επιτυχημένη, έχει δεχθεί και κριτική. Οι επικριτές της εστιάζουν στο γεγονός πως η Πράσινη Επανάσταση ουσιαστικά σηματοδοτεί την έναρξη της εποχής της χρήσης χημικών στις καλλιέργειες. Ορισμένοι, υποστηρίζουν επίσης πως προκλήθηκαν προβλήματα, όπως η υποβάθμιση της ποιότητας του εδάφους και η χημική ρύπανση, ενώ κάποιοι άλλοι διατυπώνουν το επιχείρημα πως η Πράσινη Επανάσταση αν και η λογική της ήταν η αντιμετώπιση των φτώχειας, τελικά κατέληξε να οδηγεί πληθυσμούς στην φτώχεια. Και αυτό γιατί μόνο οι μεγάλοι γαιοκτήμονες μπορούσαν να έχουν πρόσβαση στις ακριβές τεχνολογίες που είχαν δημιουργηθεί από τις αναπτυσσόμενες χώρες. Αντίθετα, οι υποστηρικτές της Πράσινης Επανάστασης χρησιμοποιούν το αντεπιχείρημα πως η Πράσινη Επανάσταση όντως έφερε σε πέρας το στόχο της, που ήταν η μείωση της φτώχειας, καθώς βοήθησε τους φτωχούς περισσότερο από τους πλούσιους γιατί παρατηρήθηκε μια μείωση στις τιμές των τροφίμων παρά την αύξηση του κόστους παραγωγής τους (Lipton, 2007).

Όποιες πάντως και αν είναι οι κατηγορίες που εστιάζουν στις κοινωνικές επιπτώσεις, κανένας δεν μπορεί να αμφισβητήσει το γεγονός πως κατά την περίοδο εκείνη πραγματοποιήθηκαν βελτιώσεις φυτών, οι οποίες βοήθησαν την ανθρωπότητα αν όχι να απαλλαγεί από το πρόβλημα της φτώχειας, να μειώσει τουλάχιστο το πρόβλημα της πείνας και της έλλειψης τροφής.

Στην σημερινή εποχή αρχίζει να παρατηρείται και πάλι η ανάγκη ενίσχυσης των επιπέδων παραγωγής, εξαιτίας της έλλειψης τροφίμων και της πείνας που επικρατεί σε περιοχές του

κόσμου. Γενετικά τροποποιημένες καλλιέργειες με την παράλληλη χρήση της βιοτεχνολογίας στην γεωργία ενδεχομένως να χρησιμοποιηθούν στο μέλλον για την επίτευξη του στόχου αυτού. Η διασφάλιση της ύπαρξης τροφής σε ένα περιβάλλον στο οποίο το ανθρώπινο είδος αυξάνεται αριθμητικά, αποτελεί μια επιδίωξη της επιστήμης.

Το 1944 η επιστήμη κατέληξε στο πόρισμα πως το DNA αποτελούσε το γενετικό υλικό και αυτό επέτρεψε την παραγωγή μιας περισσότερο εις βάθος γνώσης της μοριακής βάσης της κληρονομικότητας. Νέα μοριακά εργαλεία αναπτύχθηκαν προκειμένου να διευκολυνθεί η βελτίωση των φυτών. Έτσι σήμερα οι επιστήμονες είναι σε θέση να παρακάμψουν την σεξουαλική διαδικασία για την μεταφορά γονιδίων από τον έναν γονέα στον άλλο, καθώς τα γονίδια μπορούν να μεταφερθούν από οποιονδήποτε οργανισμό σε έναν άλλο. Η τεχνική αυτή είναι γνωστή με τον όρο «γενετική μηχανική». Τα προϊόντα που προκύπτουν από την μεταφορά ξένων γονιδίων ονομάζονται γενετικά τροποποιημένα.

Το επόμενο βήμα στην βελτίωση των φυτών αποτέλεσε η διασταύρωση συναφών αλλά διαφορετικών ειδών. Κάτι τέτοιο μοιάζει αδύνατο, καθώς υπάρχουν για παράδειγμα ορισμένα φυτά, τα οποία δεν μπορούν να παράγουν απογόνους και αυτό γιατί οι γονείς έχουν διαφορετικό αριθμό χρωμοσωμάτων ή επειδή το έμβρυο που σχηματίζεται είναι ανίκανο να αναπτυχθεί σε σπόρο. Ωστόσο, έγινε δυνατό να καταργηθούν ορισμένα από τα εμπόδια αυτά εξαιτίας κυρίως της εμφάνισης της πρακτικής της καλλιέργειας *inviter* (=ιστοκαλλιέργειας) στα μέσα κυρίως του 20ου αιώνα (Thorpe, 2007).

Η καλλιέργεια φυτικών ιστών είναι επίσης γνωστή με τον όρο «*in vitro tissue culture*» και ουσιαστικά αποτελεί μια μέθοδο μέσω της οποίας τα φυτά αναπτύσσονται και αναπαράγονται κάτω από ασηπτικές συνθήκες. Τα κύτταρα, οι ιστοί ή και ολόκληρα τα φυτά αναπτύσσονται σε ένα τεχνητό μέσο καλλιέργειας, σε πειραματικά δοχεία. Προσθέτοντας χημικές ουσίες στο μέσο καλλιέργειας οι οποίες για παράδειγμα μπορεί να ρυθμίζουν την διαίρεση των φυτικών κυττάρων, ο αριθμός των χρωμοσωμάτων των φυτών μπορεί να ρυθμιστεί. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα να διασωθούν έμβρυα φυτών με την απομάκρυνσή τους από τους σπόρους και στην συνέχεια τα έμβρυα αυτά να καλλιεργηθούν υπό ελεγχόμενες συνθήκες δεχόμενα όλες τις απαραίτητες θρεπτικές ουσίες.

Στα μέσα του 20ου αιώνα, επιχειρήθηκε ένα πρόγραμμα διασταύρωσης σιταριού και σίκαλης. Η ιδέα ήταν ότι το προϊόν που θα παραγόταν από αυτήν την διασταύρωση θα συνδύαζε τις υψηλές αποδόσεις και την καλύτερη ποιότητα, χαρακτηριστικά που εντοπίζονταν στο σιτάρι, με την μειωμένη ευαισθησία στις μολύνσεις από μύκητες, χαρακτηριστικό που εντοπίζονταν στην σίκαλη. Ωστόσο οι δύο τύποι σιτηρών ήταν γενετικά πολύ απομακρυσμένοι και αυτό τους στερούσε την δυνατότητα να παράγουν με αυθόρμητο



τρόπο απογόνους. Με την χρήση όμως διαφορετικών τεχνικών, όπως τον διπλασιασμό των χρωμοσωμάτων μέσω της χρήσης συγκεκριμένων χημικών ουσιών και την ανάπτυξη εμβρύων *in vitro*, το αποτέλεσμα ήταν η δημιουργία ενός επιτυχημένου υβριδίου, που πήρε την ονομασία «triticale». Φυσικά, το υβρίδιο αυτό δεν θα μπορούσε να υπάρξει χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση. Ακόμα και σήμερα δεν είναι ακριβώς γνωστό το πόσο δραστικά επαναδιατάχθηκε το DNA κατά την διάρκεια της δημιουργίας του triticale, όπως επίσης δεν είναι γνωστό ποιοί συνδυασμοί DNA σιταριού και σίκαλης είχαν προκύψει. Επρόκειτο για μια καλλιέργεια που η εμπορική της εκμετάλλευση άρχισε την δεκαετία του 1970 και που προορίζεται κυρίως για τροφή ζώων (Mergoumetal., 2009).

Μια άλλη σύγχρονη μέθοδος αποτελεί αυτήν της υποβοηθούμενη επιλογής. Τα βήματα επιλογής που ακολουθούνται στα προγράμματα διασταύρωσης αποτελούν ίσως το πιο απαιτητικό στάδιο της διαδικασίας. Ορισμένα χαρακτηριστικά, όπως για παράδειγμα η ανθεκτικότητα στις ασθένειες, δεν μπορούν να αξιολογηθούν μόνο με βάση την εμφάνιση του φυτού, κάτι που γινόταν κατά το παρελθόν. Προκειμένου η επιλογή να γίνει με επιτυχία, πρέπει πρώτα το φυτό να μολυνθεί από την ασθένεια και έτσι οι βελτιωτές μολύνουν τα υβρίδιά τους με σκοπό να είναι σε θέση να επιλέξουν από τον συνολικό πληθυσμό, τα φυτά που είναι τα λιγότερο ευαίσθητα. Παράλληλα υπάρχουν και ποσοτικά χαρακτηριστικά, όπως η απόδοση ή η ταχύτητα ανάπτυξης. Τα ποσοτικά αυτά χαρακτηριστικά λοιπόν, συχνά καθορίζονται από πολλαπλά γονίδια, γεγονός που καταστεί την βελτίωση μια δύσκολη και κυρίως χρονοβόρα υπόθεση.

Η αυξανόμενη όμως γνώση που έχει παραγάγει η επιστήμη σχετικά με τον τρόπο που δουλεύουν τα γονίδια των φυτών και τον ρόλο που αυτά διαδραματίζουν στην ανάπτυξη και εξέλιξη των φυτών, έχει καταστήσει γνωστό για ένα μεγάλο αριθμό χαρακτηριστικών ποιό είναι τα υπεύθυνα γονίδια. Με την ανίχνευση ενός συγκεκριμένου θραύσματος DNA μπορεί να καθοριστεί σε ένα πολύ πρώιμο στάδιο αν το φυτό θα είναι ή όχι ανθεκτικό στις ασθένειες, χωρίς να υπάρχει η ανάγκη μόλυνσης του φυτού με την ασθένεια. Αυτό σημαίνει πως τα προγράμματα διασταυρώσεων μπορούν να εκτελούνται με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα σε σχέση με το παρελθόν, καθώς η επιλογή πλέον βασίζεται στο DNA και όχι στην εμφάνιση του φυτού. Οι απόγονοι που παρουσιάζουν τον περισσότερο ωφέλιμο συνδυασμό γονιδίων, μπορούν γρήγορα να ταυτοποιηθούν και να χρησιμοποιηθούν για περαιτέρω αναπαραγωγή (Moose & Mumm, 2008).

Επομένως, η υποβοηθούμενη επιλογή χρησιμοποιεί τις γνώσεις της βιοτεχνολογίας προκειμένου να εντοπίσει την διαθεσιμότητα ή μη συγκεκριμένων γονιδίων. Σήμερα η υποβοηθούμενη επιλογή αποτελεί την πιο δημοφιλή μέθοδο που χρησιμοποιείται στα

προγράμματα βελτίωσης καλλιεργειών. Στις περισσότερες των περιπτώσεων το DNA που αναλύεται, απομονώνεται από ένα κομμάτι φυτικού ιστού από ένα νεαρό φυτό, ωστόσο το DNA μπορεί να απομονωθεί και σε πιο αρχικά στάδια του φυτού. Οι βελτιωτές μπορούν επίσης να χρησιμοποιήσουν και την επιλογή της αποκοπής του σπόρου, μια τεχνολογία που επιτρέπει να εξαχθεί DNA από ένα μικρό κομμάτι του σπόρου, χωρίς να πληγωθεί το έμβρυο (Kingetal., 2014).

Με την τεχνική αυτή μπορεί με άλλα λόγια να καθοριστεί σε εξαιρετικά πρώιμο στάδιο, ποιοί είναι οι σπόροι που περιέχουν συγκεκριμένα ωφέλιμα γνωρίσματα και ποιοί οι λιγότερο κατάλληλοι σπόροι για να απορριφθούν πριν ακόμα φυτευτούν. Η γνώση αυτή επιταχύνει τα προγράμματα βελτίωσης, μειώνει το κόστος τους και παράλληλα βελτιώνει τις καλλιέργειες.

Μια σύγχρονη τάση αποτελούν και οι μεταλλαγμένες καλλιέργειες. Δεδομένου του γεγονότος πως οι διασταυρώσεις περιορίζονται σε μεγάλο βαθμό σε φυτά που ανήκουν στο ίδιο είδος, η επιτυχία τους εξαρτάται από τον αριθμό των χαρακτηριστικών που υπάρχουν μέσα σε ένα είδος. Όσο μεγαλύτερη είναι η γενετική ποικιλία μέσα σε ένα είδος τόσο περισσότερες πιθανότητες υπάρχουν, να βρεθούν γνωρίσματα που μπορούν να συνδυαστούν. Οι βελτιωτές αναζητούν συνεχώς νέες μεθόδους και αυτό ίσως να αποδεικνύει πως οι διασταυρώσεις δεν αποτελούν την καλύτερη δυνατή μέθοδο για την δημιουργία νέων ειδών. Μάλιστα η ολοένα και αυξανόμενη γνώση που δημιουργείται γύρω από το DNA έχει κάνει τους βελτιωτές, αντί να περιμένουν για κάποια αυθόρμητη μεταλλαγή που θα δώσει νέα χαρακτηριστικά, να προκαλούν οι ίδιοι τις μεταλλάξεις αυτές ήδη από την δεκαετία του 1930. Με αυτόν τον τύπο βελτίωσης, οι αλλαγές που συμβαίνουν στο DNA του φυτού μπορούν να εφαρμοστούν σε μεγαλύτερη συχνότητα (Stadler, 1928).

Οι μεταλλάξεις μπορεί να είναι μικρές αλλαγές στον κώδικα DNA κυρίως όταν αυτές είναι φυσικές, αλλά στις περισσότερες των περιπτώσεων οι μεταλλάξεις είναι δραστικές και έχουν την μορφή σοβαρών αναδιατάξεων στο DNA ή στην εξάλειψη ορισμένων θραυσμάτων του DNA. Η ακτινοβολία μπορεί εύκολα να προκαλέσει πολλές τέτοιες δραματικές αλλαγές, ωστόσο μόνο μερικές από αυτές μπορούν να αποβούν χρήσιμες. Στις αρχές του 20ου αιώνα, οι επιστήμονες προκειμένου να καταφέρουν μεταλλάξεις χρησιμοποίησαν την δύναμη των ακτινών X, ενώ από τα μέσα του 20ου αιώνα και μετά ελήφθησαν πρωτοβουλίες μεγάλης κλίμακας προκειμένου να εκτεθούν οι σπόροι σε ακτινοβολία. Ακόμα, σπόροι έχουν σταλεί στο διάστημα για να εκτεθούν σε κοσμική ακτινοβολία. Οι σπόροι αυτοί με τυχαίες μεταλλάξεις του DNA στην συνέχεια καλλιεργήθηκαν με την ελπίδα να εμφανίσουν νέα χαρακτηριστικά. Ως αποτέλεσμα των μεταλλαγμένων καλλιεργειών θεωρούνται κάποια νέα

είδη ρυζιού, μπανάνες, το ροζ γκρέιπφρουτ και το σκληρό σιτάρι που χρησιμοποιείται για την δημιουργία μακαρονιών. Συνολικά υπάρχουν χιλιάδες ποικιλίες οι οποίες έχουν δημιουργηθεί μέσω αυτής της τεχνικής (Ahloowaliaetal., 2004).

Φυσικά, οι επιπτώσεις των μεταλλαγμένων καλλιεργειών μπορούν να εκτιμηθούν από πολλούς παράγοντες:

- αυξημένη απόδοση
- βελτιωμένη ποιότητα
- μειωμένες απαιτήσεις για χρήση φυτοφαρμάκων και μυκητοκτόνων, καθώς οι ποικιλίες αυτές διακρίνονται για την αντοχή τους στις ασθένειες και στα παράσιτα
- μειωμένες απαιτήσεις σε νερό καθώς οι ποικιλίες αυτές χρειάζονται λιγότερο χρόνο για να αναπτυχθούν πλήρως και είναι ανθεκτικές στις ξηρασίες. Το γεγονός της γρήγορης ωρίμανσης είναι επίσης θετικό καθώς επιτρέπει την όσο το δυνατόν καλύτερη εκμετάλλευση της γης μέσω εναλλαγής των καλλιεργειών
- αυξημένη θρεπτική αξία

Εκτός από τις μεταλλάξεις ο άνθρωπος πλέον μπορεί να προκαλέσει και γενετικές τροποποιήσεις. Για πολλά χρόνια ο άνθρωπος αναζητούσε μεθόδους με στόχο την απόκτηση νέων χαρακτηριστικών στα φυτά ή τον συνδυασμό χαρακτηριστικών που τον ενδιέφεραν σε μια μόνο καλλιέργεια. Το κύριο πρόβλημα της διασταυρούμενης αναπαραγωγής είναι πως αυτή εξαρτάται από την εγγενή αναπαραγωγή. Προς τα τέλη όμως της δεκαετίας του 1970, αναπτύχθηκε μια τεχνολογία η οποία επέτρεπε γενετικές πληροφορίες να εισάγονται στο DNA ενός φυτού χωρίς την ανάγκη της διασταυρούμενης αναπαραγωγής. Το γεγονός αυτό επέτρεψε στους βελτιωτές την δυνατότητα να εισαγάγουν γενετικές πληροφορίες, για παράδειγμα από μια πιπεριά σε καλαμπόκι ή σε ντομάτα. Η μέθοδος αυτή είναι γνωστή με την ονομασία γενετική μηχανική ή γενετική τροποποίηση και τα προϊόντα που προκύπτουν από αυτήν ονομάζονται γενετικά τροποποιημένα. Μπορεί να υποστηριχθεί το γεγονός πως η μέθοδος της γενετικής τροποποίησης αποτελεί ένα ορόσημο στον τομέα της βελτίωσης φυτών (και όχι μόνο) που μπορεί να συγκριθεί με την επανάσταση που προκάλεσε στις αρχές του 20ου αιώνα η θεωρία του Mendel. Το πρώτο γενετικά τροποποιημένο φυτό που αναπτύχθηκε ήταν ένα φυτό καπνού που ήταν ανθεκτικό στα ζιζανιοκτόνα το 1982 (Grunewald&Bury, 2015).

Η τεχνική της γενετικής τροποποίησης επιτρέπει την εισαγωγή ενός ή περισσότερων επιλεγμένων χαρακτηριστικών σε ένα φυτό. Αν συγκριθεί με άλλες μεθόδους βελτίωσης, η

εν λόγω μέθοδος διακρίνεται για την μεγαλύτερή της ακρίβεια, για τα προβλεπόμενα αποτελέσματά της και για τα επίπεδα ελέγχου που προσφέρει στον βελτιωτή. Επιπροσθέτως, τα χαρακτηριστικά της ποικιλίας παραμένουν ίδια, αλλά η γενετικά τροποποιημένη εκδοχή της ποικιλίας παρουσιάζει το επιπλέον χαρακτηριστικό που ο βελτιωτής απέδωσε. Αντίθετα, στην κλασική βελτίωση οι γενετικές πληροφορίες των γονέων συνδυάζονται σε τέτοιον βαθμό, ώστε τελικώς να προκύπτει μια εντελώς νέα ποικιλία.

Η αρχική και η περισσότερο αποτελεσματική μέθοδος για να τροποποιηθεί γενετικά ένα φυτό, βασίζεται στην φυσική ικανότητα των βακτηριδίων του εδάφους να μεταφέρουν DNA (Joosetal.,1983).

Τα βακτήρια που έχουν αυτήν την ικανότητα είναι τα *Agrobacterium* και ουσιαστικά μολύνουν συγκεκριμένα φυτά ξενιστές, ενσωματώνοντας στο DNA του φυτού μέρος του δικού τους DNA. Στο κομμάτι αυτό του DNA του φυτού βρίσκονται οι πληροφορίες οι σχετικές με την παραγωγή ουσιών οι οποίες θρέφουν το βακτήριο και προάγουν την παραγωγή φυτικών ορμονών οι οποίες προκαλούν στα μολυσμένα κύτταρα να πολλαπλασιάζονται. Αυτή η πολύπλοκη βιολογική διεργασία αναπτύχθηκε προς τα τέλη της δεκαετίας του 1970. Οι ερευνητές ανακάλυψαν πως το πλασμίδιο Τύπου *Agrobacterium* λειτουργεί ως μεταφορέας DNA και έτσι αντικατέστησαν το τμήμα του DNA του Τύπου το βακτήριο εισάγει στο φυτό, με γενετικές πληροφορίες ενός επιθυμητού χαρακτηριστικού. Στην συνέχεια μετά την μόλυνση του φυτού με το γενετικά τροποποιημένο βακτήριο, ανακάλυψαν πως αυτό εισάγει την πληροφορία στο DNA του φυτού (Zaenenetal., 1974).

Εκτός όμως από την μέθοδο που χρησιμοποιεί το *Agrobacterium*, προκειμένου να επιτευχθεί μια γενετική τροποποίηση υπάρχει και ο μηχανικός τρόπος εισαγωγής DNA σε φυτά, μέσω της επιτάχυνσης σωματιδίων. Για να επιτευχθεί αυτό, μικροσκοπικά σωματίδια χρυσού επικαλύπτονται με το DNA που οι βελτιωτές σκοπεύουν να εισαγάγουν στο φυτό. Αυτά τα σωματίδια χρυσού επιταχύνονται και πέφτουν στο φυτικό ιστό με μεγάλη πίεση, με αποτέλεσμα το DNA να διεισδύει στον πυρήνα που είναι ενσωματωμένο το DNA του φυτού. Σε σύγκριση με την μέθοδο του *Agrobacterium*, η μηχανική μέθοδος αφήνει περισσότερα στην τύχη και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να είναι λιγότερο αποτελεσματική. Συχνά, παρατηρείται το φαινόμενο να ενσωματώνονται στο φυτό μόνο μέρη του επιθυμητού DNA. Ωστόσο η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται όταν υπάρχει η επιθυμία για γενετική τροποποίηση σε φυτά τα οποία είναι δύσκολο να μολυνθούν με το βακτήριο *Agrobacterium*.

Μια άλλη μέθοδος βελτίωσης αποτελεί η αντίστροφη βελτίωση (reversebreeding). Στις κλασικές μεθόδους βελτίωσης οι σειρές των γονέων χρησιμοποιούνταν για την δημιουργία υβριδίων με καλύτερες αποδόσεις, ενώ σε αυτήν την μέθοδο γίνεται προσπάθεια να

δημιουργηθούν ξανά οι σειρές των γονέων από τα υβρίδια. Οι νέες σειρές γονέων είναι σε θέση να παράγουν υβρίδια σε άλλους συνδυασμούς, καθώς η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί τεχνικές γενετικής τροποποίησης κατά την διάρκεια της βελτιωτικής διαδικασίας, αλλά στο DNA του τελικού προϊόντος δεν εισάγεται επιπλέον DNA (Springer & Stupar, 2007).

Σε πολλούς οργανισμούς τα χρωμοσώματα παρουσιάζονται σε ζεύγη, που το ένα προέρχεται από την μητέρα και το άλλο από τον πατέρα. Κατά την διάρκεια της αντίστροφης βελτίωσης ο αριθμός των χρωμοσωμάτων μειώνεται στο μισό και αυτό είναι απαραίτητο προκειμένου να διασφαλιστεί πως όταν ο θηλυκός και ο αρσενικός γαμέτης συνδυαστούν, ο αρχικός αριθμός των χρωμοσωμάτων θα διατηρηθεί ως έχει. Λίγο πριν τα χρωμοσώματα διαχωριστούν, ανταλλάσσουν μεταξύ τους τμήματα DNA και από την ανταλλαγή αυτή διασφαλίζεται πως οι γαμέτες που προέρχονται από τον ίδιο γονέα διαφέρουν γενετικά και άρα οι απόγονοι από τους ίδιους γονείς θα διαφέρουν επίσης. Ως εκ τούτου η διασταύρωση αυτή δημιουργεί μια πηγή πρόσθετης γενετικής ποικιλίας.

Προκειμένου να επιτευχθεί η μέθοδος της αντίστροφης βελτίωσης, η ανταλλαγή ομόλογων χρωμοσωμάτων πρέπει να αποτρέπεται, ενώ φαίνεται πως ένας αριθμός γονιδίων είναι απαραίτητος για αυτήν την ανταλλαγή. Με την βοήθεια της τεχνολογίας της γενετικής τροποποίησης ένα από αυτά τα γονίδια μπορεί να γίνει "αόρατο" στο υβρίδιο που έχει επιλεχθεί. Έτσι, το γενετικά τροποποιημένο φυτό θα παραγάγει κόκκους γύρης, στους οποίους ο αριθμός των χρωμοσωμάτων μειώνεται χωρίς να έχει γίνει κάποια διασταύρωση. Οι κόκκοι γύρης απομονώνονται και από αυτούς τους κόκκους μπορεί να αναγεννηθεί ένα πλήρες φυτό. Τα μισά από τα φυτά που παράγονται δεν είναι γενετικά τροποποιημένα και άρα μπορούν να επιλεγούν και να χρησιμοποιηθούν για την ανακατασκευή της αρχικής σειράς ή για την παραγωγή νέων υβριδίων (Kasha, 1999).

Μια άλλη μέθοδος είναι η γρήγορη βελτίωση (fast track breeding) για δέντρα και θάμνους. Η ανάγκη για την επινόηση αυτής της μεθόδου ήταν επιτακτική, αν αναλογιστεί κανείς το γεγονός πως η καλλιέργεια δέντρων ή πολυετών φυτών χρειάζεται σαφώς χρόνο και υπομονή. Για τα δέντρα που παράγουν καρπούς (ξηρούς καρπούς, αβοκάντο), ο κύκλος αναπαραγωγής μπορεί εύκολα να διαρκέσει μία δεκαετία. Αυτό σημαίνει πως μετά την φύτευση του πρώτου υβριδίου, ένας παραγωγός πρέπει να περιμένει δέκα χρόνια προκειμένου το υβρίδιο να ανθίσει και να μπορέσει να χρησιμοποιήσει το φυτό σε πρόγραμμα βελτίωσης. Η μακρά διάρκεια της νεανικής φάσης του φυτού, της φάσης δηλαδή πριν ανθίσει, αποτελεί έναν μηχανισμό προστασίας του φυτού που διασφαλίζει σε αυτό πως θα παραχθούν καρποί μόνο όταν το ίδιο είναι μεγάλο και δυνατό ώστε να ανταγωνιστεί άλλα φυτά (Nocker & Gardiner, 2014).

Προκειμένου λοιπόν να μειωθεί η περίοδος μέχρι την ανθοφορία του φυτού και να μπορεί αυτό να χρησιμοποιηθεί για βελτίωση, χορηγούνται σε αυτό αυξητικές ορμόνες ή διαμορφώνονται οι περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως για παράδειγμα η θερμοκρασία ή οι περίοδοι παροχής φωτός. Οι τακτικές αυτές ωστόσο δεν στέφονται πάντα με επιτυχία και επομένως οι βελτιωτές στρέφονται στην τεχνολογία του DNA.

Η μέθοδος της γρήγορης βελτίωσης με χρήση τεχνολογιών DNA βασίζεται στην ανακάλυψη ορισμένων γονιδίων που καθορίζουν το πότε ένα φυτό ανθίζει. Υπό την επίδραση συγκεκριμένων εσωτερικών και εξωτερικών σημάτων, τα γονίδια αυτά ενεργοποιούνται και διασφαλίζουν πως ένα φυτό δεν θα χρειαστεί δέκα χρόνια προκειμένου να ανθίσει και πως αυτό μπορεί να συμβεί μέσα στον πρώτο χρόνο ζωής του (Nocker&Gardiner, 2014).

Τέλος, μια ακόμη μέθοδος είναι αυτήν της αγροδιήθησης (agro in filtration). Η μέθοδος αυτήν χρησιμοποιεί το βακτήριο *Agrobacteriumtumefaciens*, καθώς έχει διαπιστωθεί πως το βακτήριο αυτό μεταφέρει DNA στα φυτικά κύτταρα κατά την διάρκεια της ανάπτυξης ενός γενετικά τροποποιημένου φυτού. Το εν λόγω βακτήριο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί προσωρινά ως ένας τρόπος παραγωγής ορισμένων πρωτεϊνών. Η διήθηση του βακτηρίου αποτελεί μια τεχνική μέσω της οποίας το *Agrobacteriumtumefaciens* εγχέεται μέσα στον φυτικό ιστό (συνήθως σε ένα ή περισσότερα φύλλα), έτσι ώστε να είναι σε θέση αυτό να εξαπλωθεί στα φυτικά κύτταρα. Στην συνέχεια το βακτήριο εισάγει το επιθυμητό γονίδιο σε ένα ή σε περισσότερα φυτικά κύτταρα, οδηγώντας στην παραγωγή πρωτεΐνης. Το γονίδιο μπορεί να ενσωματωθεί στο DNA ορισμένων φυτικών κυττάρων, ωστόσο αυτό δεν απαιτείται προκειμένου να παραχθεί η πρωτεΐνη.

Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παραχθούν περίπλοκα μόρια, όπως για παράδειγμα τα αντισώματα, ωστόσο χρησιμοποιείται πρωταρχικά σαν μια μέθοδος επιλογής κατά την διάρκεια ενός προγράμματος βελτίωσης, που στόχο έχει την δημιουργία ανθεκτικών στις ασθένειες φυτών. Τα φυτά χρησιμοποιούν μια σειρά αμυντικών μηχανισμών ενάντια στα βακτήρια και στους μύκητες. Το κρίσιμο σημείο σε αυτήν την διαδικασία είναι πως το φυτό πρέπει να είναι σε θέση να αναγνωρίζει τα παθογόνα στοιχεία. Ένας τέτοιος μηχανισμός αναγνώρισης βασίζεται στην αρχή πως ένα φυτό είναι ανθεκτικό, όταν ορισμένες πρωτεΐνες του παθογόνου αναγνωρίζονται από τις ανθεκτικές στις ασθένειες πρωτεΐνες του φυτού. Αν αυτό δεν λειτουργήσει, τότε το φυτό μολύνεται. Και προκειμένου να διαπιστωθεί αν το φυτό διαθέτει αυτόν τον μηχανισμό, χρησιμοποιείται η μέθοδος της αγροδιήθησης (Vleeshouwersetal., 2011).

Για να επιτευχθεί αυτό, οι γενετικές πληροφορίες των παθογόνων στοιχείων εισάγονται αρχικά στα στελέχη του βακτηριδίου και στην συνέχεια με την μέθοδο της αγροδιήθησης,

στο ίδιο το φυτό. Μετά την αναγνώριση, θα παρατηρηθεί μια αντίδραση στο σημείο του φύλλου του φυτού που εισάχθηκε το στέλεχος του βακτηρίου. Η αντίδραση αυτή μπορεί να γίνει ορατή με το ανθρώπινο μάτι και ουσιαστικά πρόκειται για μια περιοχή νεκρών φυτικών κυττάρων. Η συγκεκριμένη μέθοδος επιτρέπει την διερεύνηση της λειτουργικότητας και του φάσματος των ανθεκτικών στην ασθένεια γονιδίων.

Συχνά τίθεται το ερώτημα του πώς θα πρέπει να χαρακτηριστεί το εξεταζόμενο φυτό. Θα πρέπει δηλαδή αυτό να θεωρείται ως γενετικά τροποποιημένος οργανισμός στο σύνολό του από την στιγμή που έχει δεχθεί ακόμη και ένα μέρος σωματικών κυττάρων DNA από το *Agrobacterium tumefaciens* σε ένα συγκεκριμένο ιστό ή όχι. Επίσης άγνωστο παραμένει το γεγονός αν το φυτό θα πρέπει να χαρακτηριστεί ως γενετικά τροποποιημένος οργανισμός, σε περίπτωση που κοπεί το φύλλο στο οποίο έχει εισαχθεί το DNA του βακτηρίου. Επίσης, θα πρέπει να επισημανθεί πως ο κύριος κίνδυνος εφαρμογής αυτής της μεθόδου είναι η ακούσια απελευθέρωση γενετικώς τροποποιημένων στελεχών του βακτηρίου στο περιβάλλον. Άλλωστε το βακτήριο αυτό στο έδαφος μπορεί να επιβιώνει αλλά και να μεταφέρει γονίδια σε άλλα φυτά (Droge et al., 1999).

## Κεφάλαιο 7ο

### 7.1 Νομοθετικό πλαίσιο για βελτίωση φυτών

Καθώς η βελτίωση των φυτών έχει αρχίσει να σχετίζεται με την επέμβαση στο DNA των φυτών, υπάρχουν περιπτώσεις που τα βελτιωμένα φυτά ενδέχεται να απειλούν τόσο την ανθρώπινη υγεία όσο και το περιβάλλον. Επομένως, η θέσπιση ενός νομοθετικού πλαισίου το οποίο θα ορίζει αυτά που επιτρέπονται και αυτά που απαγορεύονται σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης, κρίθηκε απαραίτητο. Έτσι τον Μάρτιο του 2001 η Ευρωπαϊκή Ένωση εξέδωσε την οδηγία 2001/18/EK η οποία σχετίζεται με την σκόπιμη ελευθέρωση γενετικώς τροποποιημένων οργανισμών στο περιβάλλον.

Η οδηγία 2001/18/EK ορίζει τον οργανισμό ως «κάθε βιολογική οντότητα ικανή προς αναπαραγωγή ή προς μεταφορά γενετικού υλικού». Επίσης, σύμφωνα με την οδηγία αυτή ως γενετικώς τροποποιημένος οργανισμός (ή για συντομία ΓΤΟ) ορίζεται «οργανισμός, εξαιρουμένων των ανθρώπινων όντων, του οποίου το γενετικό υλικό έχει τροποποιηθεί κατά τρόπο που δεν συμβαίνει φυσιολογικά με τη σύζευξη ή/και το φυσιολογικό ανασυνδυασμό».

Επίσης η οδηγία ορίζει την έννοια της σκόπιμης ελευθέρωσης ως «οποιαδήποτε σκόπιμη εισαγωγή ενός ΓΤΟ ή ενός συνδυασμού ΓΤΟ στο περιβάλλον, κατά την οποία δεν χρησιμοποιούνται ειδικά μέτρα απομόνωσης προκειμένου να περιορίζεται η επαφή τους με τον ευρύτερο πληθυσμό και το περιβάλλον και να παρέχεται υψηλό επίπεδο προστασίας».

Το νομοθετικό πλαίσιο λαμβάνει σοβαρά υπόψη του τους κινδύνους που ένας ΓΤΟ μπορεί να προκαλέσει και ως εκ τούτου θέλει να προτείνει στα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης μέτρα προκειμένου να αποφύγουν τους κινδύνους αυτούς. Πιο συγκεκριμένα στο άρθρο 4 αναφέρεται πως «Τα κράτη μέλη, σύμφωνα με την αρχή της προφύλαξης, μεριμνούν ώστε να λαμβάνονται όλα τα δέοντα μέτρα προκειμένου να αποφεύγονται οι αρνητικές επιπτώσεις για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον, οι οποίες μπορεί να οφείλονται στη σκόπιμη ελευθέρωση ή τη διάθεση ΓΤΟ στην αγορά».

Ωστόσο, το νομοθετικό πλαίσιο έχει μεριμνήσει να προβλέψει πως όταν ένας ΓΤΟ διατίθεται στην αγορά ως μέρος μιας φαρμακευτικής ουσίας, τότε αυτό είναι κάτι που επιτρέπεται. Συγκεκριμένα αναφέρεται πως οι περιορισμοί «...δεν εφαρμόζονται στις φαρμακευτικές



ουσίες και παρασκευάσματα για ανθρώπινη χρήση που αποτελούνται από ΓΤΟ ή περιέχουν ΓΤΟ ή συνδυασμό αυτών,...».

Επίσης, σύμφωνα με την εν λόγω οδηγία, τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης πριν προβούν σε κάποια απόφαση σχετικά με την απαγόρευση ή μη ενός γενετικώς τροποποιημένου οργανισμού, ζητούν όταν είναι εφικτό την γνώμη των πολιτών, η οποία πρέπει να εκφράζεται με υπευθυνότητα και αφού έχει προηγηθεί σχετική ενημέρωσή τους για το ζήτημα. Στο άρθρο 9 αναφέρεται πως «Τα κράτη μέλη, ... ζητούν τη γνώμη του κοινού και, όπου κρίνεται σκόπιμο, ομάδων όσον αφορά την προτεινόμενη σκόπιμη ελευθέρωση. Στην περίπτωση αυτή, τα κράτη μέλη θεσπίζουν ρυθμίσεις για τη διαβούλευση αυτή, συμπεριλαμβανομένης εύλογης προθεσμίας, ώστε το κοινό ή οι ομάδες να έχουν τη δυνατότητα να διατυπώσουν τη γνώμη τους».

Παράλληλα, πρέπει να υπογραμμιστεί το γεγονός πως το νομοθετικό πλαίσιο λαμβάνει σοβαρά υπόψη του το γεγονός πως οι τεχνολογικές και οι επιστημονικές εξελίξεις στο χώρο της βελτίωσης φυτών, είναι ραγδαίες. Ως εκ τούτου δηλώνει πως σε περίπτωση που έχει παρθεί κάποια απόφαση στο παρελθόν, αλλά νέες πληροφορίες έχουν δημιουργηθεί που σχετίζονται με την ασφάλεια και τους κινδύνους των ΓΤΟ, τότε οι παρελθοντικές αυτές αποφάσεις αλλάζουν και οι υπεύθυνοι πρέπει να συμμορφωθούν με τις νέες οδηγίες. Πιο συγκεκριμένα στο άρθρο 20 αναφέρεται πως «Εάν υπάρξουν νέες πληροφορίες, από τους χρήστες ή άλλες πηγές, όσον αφορά τους κινδύνους του ή των ΓΤΟ για την ανθρώπινη υγεία ή το περιβάλλον, μετά την έγγραφη συγκατάθεση, ο κοινοποιών λαμβάνει άμεσα τα απαραίτητα μέτρα για την προστασία της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος, ενημερώνει».

Επίσης θα πρέπει να τονιστεί το γεγονός πως προβλέπεται στις υποχρεώσεις όσων διαθέτουν στην αγορά προϊόντα με γενετικώς τροποποιημένους οργανισμούς, να επισημάνουν στην συσκευασία των προϊόντων αυτών την ύπαρξή τους. Αναλυτικά στο άρθρο 21 της οδηγίας αναφέρεται πως «Τα κράτη μέλη λαμβάνουν όλα τα απαιτούμενα μέτρα για να εξασφαλίζουν ότι, σε όλα τα στάδια της διάθεσης στην αγορά, η επισήμανση και η συσκευασία των ΓΤΟ που διατίθενται στην αγορά ως προϊόντα ή εντός προϊόντων, είναι σύμφωνες προς τις σχετικές απαιτήσεις της γραπτής συγκατάθεσης...».

Επιπροσθέτως, πρόβλεψη υπάρχει και για όσα προϊόντα ενδέχεται ακούσια ή εκούσια να περιέχουν κάποια ίχνη ΓΤΟ. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να υπάρχει ειδική σήμανση πάνω στα προϊόντα αυτά, όταν όμως η ύπαρξη ΓΤΟ ξεπερνά ένα ορισμένο επίπεδο. Σε περίπτωση που το ορισμένο αυτό επίπεδο δεν ξεπερνιέται, τότε η σήμανση δεν είναι απαραίτητη. Δηλώνεται πως «Για τα προϊόντα, για τα οποία δεν είναι δυνατόν να

αποκλεισθούν τα τυχαία ή τα τεχνικώς αναπόφευκτα ίχνη επιτρεπόμενων ΓΤΟ, μπορεί να θεσπίζεται κατώτατο όριο κάτω του οποίου δεν υφίσταται υποχρέωση επισήμανσης των προϊόντων αυτών...Τα επίπεδα των κατωτάτων ορίων καθορίζονται ανάλογα με το εκάστοτε προϊόν».

Ακόμα, η οδηγία αυτή δεν επιτρέπει στα κράτη μέλη να προχωρήσουν στην απαγόρευση της κυκλοφορίας στην αγορά όσων ΓΤΟ έχουν εγκριθεί με βάση τις προϋποθέσεις που διαμορφώνονται. Πιο συγκεκριμένα στο άρθρο 22 περί ελεύθερης κυκλοφορίας των ΓΤΟ αναφέρεται πως «... τα κράτη μέλη δεν μπορούν να απαγορεύουν, να περιορίζουν ή να παρεμποδίζουν τη διάθεση στην αγορά ΓΤΟ ως προϊόντων ή εντός προϊόντων οι οποίοι ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις της παρούσας οδηγίας».

Ο κανονισμός της Ευρωπαϊκής Ένωσης εκτός από την προστασία του περιβάλλοντος και της υγείας των καταναλωτών, προσπαθεί να διασφαλίσει και τα δικαιώματα όσων ασχολούνται με την βελτίωση φυτών. Πιο συγκεκριμένα προβλέπει πως όταν η ελεγκτική επιτροπή θα επισκεφτεί τον χώρο στον οποίο κάποιος βελτιωτής βελτιώνει τα φυτά, τα όσα θα αντικρίσει στον χώρο αυτό, θα πρέπει να μείνουν εμπιστευτικά, δείχνοντας σεβασμό στα δικαιώματα πνευματικής ιδιοκτησίας. Κάτι τέτοιο είναι λογικό, αν αναλογιστεί κανείς πόσο χρόνος, προσπάθεια, επιμονή και χρήματα για έρευνες απαιτείται προκειμένου να βελτιωθεί στην σύγχρονη εποχή ένα φυτό.

Πιο συγκεκριμένα στο άρθρο 25 δηλώνεται πως «Η Επιτροπή και οι αρμόδιες αρχές δεν αποκαλύπτουν σε τρίτους τυχόν εμπιστευτικές πληροφορίες που κοινοποιούνται ή ανταλλάσσονται δυνάμει της παρούσας οδηγίας και προστατεύουν τα δικαιώματα πνευματικής ιδιοκτησίας που σχετίζονται με τα λαμβανόμενα στοιχεία. Ο κοινοποιών μπορεί να υποδεικνύει τα στοιχεία της κοινοποίησης που υποβάλλεται δυνάμει της παρούσας οδηγίας, η αποκάλυψη των οποίων ενδέχεται να βλάψει την ανταγωνιστική θέση του και τα οποία, συνεπώς, θα πρέπει να θεωρούνται απόρρητα».

Παράλληλα, θα πρέπει να υπογραμμιστεί το γεγονός πως σε περίπτωση που η Ευρωπαϊκή Ένωση αποφασίσει να επιτρέψει την καλλιέργεια ενός ΓΤΟ, ένα κράτος μέλος έχει την δυνατότητα αν το θελήσει να απαγορέψει την καλλιέργεια του συγκεκριμένου ΓΤΟ από ορισμένες περιοχές ή από το σύνολο της επικράτειάς του. Στο άρθρο 26β της οδηγίας αναφέρεται πως « Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας έγκρισης ενός συγκεκριμένου ΓΤΟ ή κατά τη διάρκεια της ανανέωσης μιας συγκατάθεσης/έγκρισης, ένα κράτος μέλος μπορεί να ζητήσει να αναπροσαρμοστεί το γεωγραφικό πεδίο εφαρμογής της γραπτής συγκατάθεσης ή έγκρισης, ώστε να αποκλεισθεί από την καλλιέργεια το σύνολο ή τμήμα της επικράτειας αυτού του κράτους μέλους».

Τέλος η οδηγία αυτή αφήνει στο κάθε κράτος μέλος το δικαίωμα να θεσπίσει το ίδιο τις κυρώσεις που αυτό θεωρεί ως ενδεδειγμένες, σε περιπτώσεις που έχει αποδειχθεί κάποια παραβίαση του νομοθετικού πλαισίου. Συγκεκριμένα αναφέρεται πως «Τα κράτη μέλη ορίζουν τις κυρώσεις που εφαρμόζονται σε περίπτωση παραβάσεως των εθνικών διατάξεων οι οποίες θεσπίζονται σύμφωνα με την παρούσα οδηγία. Οι κυρώσεις αυτές πρέπει να είναι αποτελεσματικές, αναλογικές και αποτρεπτικές».

Η Ευρωπαϊκή Ένωση εκτός από την οδηγία 2001/18/EK, το 2015 εξέδωσε την οδηγία 2015/412. Ουσιαστικά πρόκειται για τροποποίηση της οδηγίας 2001/18/EK. Στην νέα οδηγία αποσαφηνίζονται περισσότερο ορισμένα θέματα. Πιο συγκεκριμένα στην νέα τροποποιητική οδηγία αναφέρεται πως κάθε ΓΤΟ πριν βγει στην αγορά των κρατών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, θα πρέπει να ελεγχθεί μεμονωμένα και κατά τον έλεγχο αυτό θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι επιπτώσεις που η κυκλοφορία αυτή θα έχει στην ανθρώπινη υγεία, την υγεία των ζώων και του περιβάλλοντος.

Πιο συγκεκριμένα αναφέρεται πως «...οι ΓΤΟ για καλλιέργεια υποβάλλονται σε εξατομικευμένη αξιολόγηση κινδύνου προτού εγκριθούν προς διάθεση στην αγορά της Ένωσης... λαμβάνοντας υπόψη τις άμεσες και έμμεσες, τις ταχυφανείς και οψιφανείς επιπτώσεις, καθώς και τις σωρευτικές μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον... Ο στόχος της διαδικασίας έγκρισης είναι ένα υψηλό επίπεδο προστασίας της ανθρώπινης ζωής και υγείας, της υγείας και της ευζωίας των ζώων, του περιβάλλοντος και των συμφερόντων των καταναλωτών καθώς και η αποτελεσματική λειτουργία της εσωτερικής αγοράς. Θα πρέπει διαρκώς να επιτυγχάνεται ομοιόμορφο υψηλό επίπεδο προστασίας της υγείας, του περιβάλλοντος και των καταναλωτών σε όλη την Ένωση».

Πρέπει επίσης να υπογραμμιστεί πως στην τροποποιητική οδηγία γίνεται λόγος για τις πρωτοβουλίες που μπορεί ένα κράτος μέλος να πάρει και που σχετίζονται με την απαγόρευση ή μη της διάθεσης στην αγορά και εισαγωγών ΓΤΟ. Η οδηγία επισημαίνει το γεγονός πως η πολιτική που θα ακολουθείται, είναι περισσότερο ισχυρή αν ακολουθείται από όλα τα κράτη μέλη, ωστόσο κάθε κράτος μέλος μπορεί να διαφοροποιηθεί από την κοινή γραμμή, όταν πρόκειται να θιχθούν από την απόφαση αυτή συμφέροντά του.

Πιο συγκεκριμένα δηλώνεται «Η πείρα κατέδειξε ότι η καλλιέργεια ΓΤΟ αντιμετωπίζεται αποτελεσματικότερα σε επίπεδο κρατών μελών. Ζητήματα διάθεσης στην αγορά και εισαγωγών ΓΤΟ θα πρέπει να συνεχίσουν να ρυθμίζονται νομοθετικά σε επίπεδο Ένωσης, ώστε να διαφυλαχθεί η εσωτερική αγορά. Η καλλιέργεια μπορεί ωστόσο να απαιτεί περισσότερη ευελιξία σε ορισμένες περιπτώσεις, καθόσον αποτελεί ζήτημα με έντονη εθνική, περιφερειακή και τοπική διάσταση επειδή συνδέεται με τη χρήση του εδάφους, τις

τοπικές γεωργικές δομές και την προστασία ή διατήρηση βιότοπων, οικοσυστημάτων και τοπίων. Σύμφωνα με το άρθρο 2 παράγραφος 2 της Συνθήκης για τη λειτουργία της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΣΛΕΕ), παρέχεται η δυνατότητα στα κράτη μέλη να εγκρίνουν νομικά δεσμευτικές πράξεις για τον περιορισμό ή την απαγόρευση της καλλιέργειας ΓΤΟ στην επικράτειά τους, εφόσον αυτοί οι ΓΤΟ έχουν εγκριθεί νομίμως για διάθεση στην αγορά της Ένωσης».

Με βάση λοιπόν την παραπάνω λογική «...κρίνεται σκόπιμο να δοθεί στα κράτη μέλη, σύμφωνα και με την αρχή της επικουρικότητας, περισσότερη ευελιξία να αποφασίζουν κατά πόσον επιθυμούν ή όχι να διατηρούν καλλιέργειες ΓΤΟ στην επικράτειά τους...». Ωστόσο, τα κράτη μέλη που επιλέγουν να διαφοροποιηθούν από την πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης θα πρέπει να αιτιολογήσουν την απόφασή τους. Στην οδηγία αναφέρεται «Ενώ αναμένεται ότι οι περισσότεροι περιορισμοί ή απαγορεύσεις που εγκρίνονται σύμφωνα με την παρούσα οδηγία θα εφαρμοστούν στο στάδιο της συγκατάθεσης/έγκρισης ή της ανανέωσής της, θα πρέπει επιπλέον τα κράτη μέλη να μπορούν να λάβουν αιτιολογημένα μέτρα που περιορίζουν ή απαγορεύουν την καλλιέργεια στο σύνολο ή τμήμα της επικράτειάς τους ενός ΓΤΟ ή ομάδας... Αυτοί οι λόγοι μπορούν να αφορούν στόχους περιβαλλοντικής ή γεωργικής πολιτικής ή άλλους επιτακτικούς λόγους όπως είναι η πολεοδομία και η χωροταξία, η χρήση γης, κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις, η συνύπαρξη και η δημόσια τάξη».

Στην οδηγία 2015/412 προβλέπεται επίσης και η πιθανότητα διασυνοριακής μόλυνσης. Σε περίπτωση δηλαδή που ένα κράτος μέλος έχει απαγορεύσει στο σύνολο της περιφέρειάς του ή σε συγκεκριμένες περιοχές την καλλιέργεια ενός ορισμένου ΓΤΟ και παράλληλα ένα γειτονικό κράτος μέλος επιτρέπει την καλλιέργεια του ορισμένου ΓΤΟ, ενδέχεται να προκληθεί στο κράτος μέλος που απαγορεύει την καλλιέργεια, μόλυνση. Πιο συγκεκριμένα αναφέρεται «... θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην πρόληψη πιθανής διασυνοριακής μόλυνσης από κράτος μέλος στο οποίο επιτρέπεται η καλλιέργεια σε γειτονικό κράτος μέλος όπου απαγορεύεται, εκτός εάν τα ενδιαφερόμενα κράτη μέλη συμφωνήσουν ότι δεν συντρέχει λόγος εξαιτίας των ιδιαίτερων γεωγραφικών συνθηκών».

Τέλος, αυτό που γίνεται σαφές από το νομοθετικό πλαίσιο είναι, είναι πως τα κράτη μέλη μπορούν μεν να απαγορέψουν την καλλιέργεια ΓΤΟ ή να θεσπίσουν περιορισμούς που σχετίζονται με την καλλιέργειά τους, ωστόσο δεν μπορούν σε καμία περίπτωση να απαγορεύσουν την διεξαγωγή επιστημονικών ερευνών στον τομέα της βιοτεχνολογίας, όταν φυσικά αυτές οι έρευνες κινούνται στα ρυθμιστικά πλαίσια που έχουν οριστεί. Στην οδηγία δηλώνεται «Οι αποφάσεις περί περιορισμού ή απαγόρευσης της καλλιέργειας ΓΤΟ από κράτη μέλη στο σύνολο ή τμήμα της επικράτειάς τους δεν θα πρέπει να εμποδίζουν τη

διεξαγωγή έρευνας στον τομέα της βιοτεχνολογίας, υπό τον όρο ότι κατά τη διεξαγωγή της έρευνας τηρούνται όλα τα αναγκαία μέτρα ασφαλείας που έχουν σχέση με την υγεία των ανθρώπων και των ζώων και με την προστασία του περιβάλλοντος και ότι η δραστηριότητα δεν υπονομεύει τον σεβασμό των λόγων για τους οποίους έχει επιβληθεί ο περιορισμός ή απαγόρευση».

## Συμπεράσματα

Η διαδρομή που έχει καλυφθεί από την στιγμή που ο άνθρωπος αποφάσισε να αλλάξει τον τρόπο ζωής του και να ασχοληθεί με την γεωργία εξημερώνοντας τα πρώτα φυτά, μέχρι σήμερα που ο άνθρωπος τροποποιεί τα φυτά γενετικά, είναι τεράστια.

Αρχικά, ο άνθρωπος εξαιτίας κάποιων παραγόντων άλλαξε την κοσμοθεωρία του και από κυνηγός συλλέκτης, επέλεξε την κουλτούρα της γεωργίας. Η επιλογή του αυτή σήμαινε εκτός από την εξέλιξη της γεωργίας, εξέλιξη και όλων των κοινωνικών του δομών και των επιστημών. Και πράγματι, αυτό που ακολούθησε τους επόμενους αιώνες ήταν μια συνεχής εξέλιξη σε όλους τους τομείς.

Στην αρχή τα φυτά που ο άνθρωπος επέλεξε να εξημερώσει, ήταν αυτά που ο ίδιος με βάση της παρατήρηση, θεώρησε πως θα ήταν περισσότερο εύκολο να εξημερωθούν. Στην παρατήρηση επίσης βασιζόταν και οι αρχικές τεχνικές βελτίωσης φυτών που είχαν αναπτυχθεί. Θα έπρεπε να περάσουν πολλά χρόνια και να διατυπωθούν οι θεωρίες του Δαρβίνου και του Μέντελ και ακόμα περισσότερα χρόνια μέχρι αυτές οι θεωρίες να γίνουν αντικείμενο αποδοχής από την επιστημονική κοινότητα, προκειμένου η βελτίωση φυτών να μην βασίζεται σε παρατηρήσεις που γινόταν με το ανθρώπινο μάτι και να αρχίσει να αποκτά αμιγώς επιστημονικό χαρακτήρα.

Καθώς η επιστήμη της φυτικής βελτίωσης αναπτυσσόταν, ολοένα και λιγότερα στοιχεία αφήνονταν πλέον στην τύχη. Άλλωστε η βελτίωση φυτών δεν αποτελούσε μια ασχολία πολυτελείας, αλλά μια ασχολία που θα εξασφάλισε τροφή σε έναν ανθρώπινο πληθυσμό, ο οποίος συνεχώς εμφάνιζε αυξητικές τάσεις. Η φυτική δηλαδή βελτίωση αποτελούσε ζήτημα ανθρώπινης επιβίωσης. Απόδειξη αυτού αποτελεί η «Πράσινη Επανάσταση», η οποία εκτός από τις επιστημονικές εξελίξεις που επέφερε, παράλληλα έσωσε τον πληθυσμό αναπτυσσόμενων χωρών από την ασιτία.

Καθώς όμως η εξέλιξη της επιστήμης δεν μπορεί να περιοριστεί και επειδή τα επιτεύγματά της πολλές φορές κρίνονται επικίνδυνα, η ύπαρξη ενός νομοθετικού πλαισίου που θα περιορίζει τα προϊόντα της και όχι την ίδια την επιστήμη, κρίνεται απαιτητική. Σε αυτήν την κατεύθυνση κινούνται οι οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, οι οποίες αφενός δεν επιθυμούν να ανακόψουν την επιστημονική εξέλιξη, αφετέρου όμως δεν επιθυμούν επίσης να θέσουν σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία και την ασφάλεια του φυσικού περιβάλλοντος.

## Βιβλιογραφία

Ahloowalia, B. S., Maluszynski, M., &Nichterlein, K. (2004). Global impact of mutation-derived varieties. *Euphytica*, 135(2), 187-204.

Akerberg, E. (1986). Nilsson - Ehle and the development of plant breeding at Svalöf during the period 1900–1915. *Hereditas*, 105(1), 1-5.

Allaby, R. G., Fuller, D. Q., & Brown, T. A. (2008). The genetic expectations of a protracted model for the origins of domesticated crops. *Proceedings of the NationalAcademy of Sciences*, 105(37), 13982-13986.

Allen, G. E. (2000). The reception of Mendelism in the United States, 1900–1930. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series III-Sciences de la Vie*, 323(12), 1081-1088.

Allen, G. E. (2002). The classical gene: its nature and its legacy. In *Mutating Concepts, Evolving Disciplines: Genetics, Medicine, and Society* (pp. 11-41). Springer, Dordrecht.

Anderson, E. (1956). Man as a maker of new plants and new plant communities." *Man's Role in Changing the Face of the Earth*, ed. WL Thomas.

Anderson, E., & Brown, W. L. (1952). Origin of corn belt maize and its genetic significance. *Heterosis*, 1, 124-148.

Armelagos, G. J., & Cohen, M. N. (Eds.). (1984). *Paleopathology at the Origins of Agriculture* (pp. 235-269). Orlando (FL): Academic Press.

Bacaër, N. (2011). The Hardy–Weinberg law (1908). In *A Short History of Mathematical Population Dynamics* (pp. 59-63). Springer, London.

Berry, D. (2014). The plant breeding industry after pure line theory: Lessons from the National Institute of Agricultural Botany. *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 46, 25-37.

Binford, L. R. (1968). Post-Pleistocene adaptations. *New Perspectives in Archaeology*, ed. LR Binford, SR Binford, 313-41.

Bocquet-Appel, J. P. (2011). When the world's population took off: the springboard of the Neolithic Demographic Transition. *Science*, 333(6042), 560-561.

Borlaug, N. E. (2002). *The green revolution revisited and the road ahead*. Stockholm, Sweden: Nobelprize. org.

Brown, T. A., Jones, M. K., Powell, W., & Allaby, R. G. (2009). The complex origins of domesticated crops in the Fertile Crescent. *Trends in Ecology & Evolution*, 24(2), 103-109.

Calisher, C. H. (2007). Taxonomy: What's in a name? Doesn't a rose by any other name smell as sweet?. *Croatian medical journal*, 48(2), 268.

Dalrymple, D. G. (1974). *Development and spread of high-yielding varieties of wheat and rice in the less developed nations* (No. 145638). United States Department of Agriculture, Economic Research Service.

Darwin, C. (1859). *On the origins of species by means of natural selection*. London: Murray, 247, 1859.

Diamond, J. (2002). Evolution, consequences and future of plant and animal domestication. *Nature*, 418(6898), 700.

Donk, M. A. (1957). Typification and later starting-points. *Taxon*, 6(9), 245-256.

Dröge, M., Pühler, A., & Selbitschka, W. (1999). Horizontal gene transfer among bacteria in terrestrial and aquatic habitats as assessed by microcosm and field studies. *Biology and Fertility of Soils*, 29(3), 221-245.

Dudley, J. W. (1994). Plant breeding—a vital part of improvement in crop yields, quality and production efficiency. *Historical perspectives in plant science*, 163-177.



Duvick, D. N. (2001). Biotechnology in the 1930s: the development of hybrid maize. *Nature Reviews Genetics*, 2(1), 69.

Fitzgerald, D. (1990). *The Business of Breeding: Hybrid Corn in Illinois, 1890–1940* Cornell University Press Ithaca. *London Google Scholar*.

Flannery, K. V. (1973). The origins of agriculture. *Annual review of Anthropology*, 2(1), 271-310.

Frängsmyr, T., Heilbron, J. L., & Rider, R. E. (1990). The quantifying spirit in the eighteenth century.

Frary, A. and S. Doganlar. (2003) Comparative genetics of crop plant domestication and evolution. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 27:59-69.

Fuller, D. Q. (2007). Contrasting patterns in crop domestication and domestication rates: recent archaeobotanical insights from the Old World. *Annals of Botany*, 100(5), 903-924.

Gayon, J., & Zallen, D. T. (1998). The role of the Vilmorin Company in the promotion and diffusion of the experimental science of heredity in France, 1840–1920. *Journal of the History of Biology*, 31(2), 241-262.

Gerritsen, R. (2008). *Australia and the Origins of Agriculture* (Vol. 1874). British Archaeological Reports Limited.

Grunewald, W., & Bury, J. (2015). *The GMO revolution*. Lannoo Campus.

Hayden, B. (1992). Models of domestication. In *Transitions to agriculture in prehistory* (Vol. 4, pp. 11-19). Prehistory Press Madison, WI.

Hargrove, T. R., Cabanilla, V. L., & Coffman, W. R. (1988). Twenty years of rice breeding. *BioScience*, 38(10), 675-681.

Harlan, J. R. (1992). Crops and Man. American Society of Agronomy. *Crop Science Society of America, Madison, Wisconsin*, 63-262.

Hartl, D. L., & Clark, A. G. Principles of population genetics. 2007. *Sunderland, Massachusetts: Fourth Edition Sinauer Associates Google Scholar*.

Heisey, P. W., & Morris, M. L. (2002, July). Practical challenges to estimating the benefits of agricultural R&D: The case of plant breeding research. In *Selected paper for presentation at the American Agricultural Economic Association Meetings, Long Beach, California*.

Hillman, G. C., & Davies, M. S. (1990). Measured domestication rates in wild wheats and barley under primitive cultivation, and their archaeological implications. *Journal of world prehistory*, 4(2), 157-222.

Hindmarsh, R. (2003). Genetic modification and the doubly green revolution. *Society*, 40(6), 9-19.

Ingensiep, H. W. (2004). The history of the plant embryo. Terminology and visualization from ancient until modern times. *History and philosophy of the life sciences*, 309-331.

Janick, J. (2000, October). Ancient Egyptian agriculture and the origins of horticulture. In *International Symposium on Mediterranean Horticulture: Issues and Prospects 582* (pp. 23-39).

Janick, J. (2005). The origins of fruits, fruit growing, and fruit breeding. *Plant breeding reviews*, 25(25), 5-320.

Jensen, N. F. (1994). Historical perspectives on plant breeding methodology. *Historical Perspectives in Plant Science*, 179-194.

Joos, H., Timmerman, B., Van Montagu, M., & Schell, J. (1983). Genetic analysis of transfer and stabilization of Agrobacterium DNA in plant cells. *The EMBO journal*, 2(12), 2151-2160.

Jurmain, R., Kilgore, L., Trevathan, W., & Ciochon, R. L. (2011). *Introduction to Physical Anthropology 2011-2012 Edition*. Nelson Education.

Kasha, K. J. (1999). Biotechnology and world food supply. *Genome*, 42(4), 642-645.

Khush, G. S. (1995). Modern varieties—their real contribution to food supply and equity. *GeoJournal*, 35(3), 275-284.

Khush, G. S. (2001). Green revolution: the way forward. *Nature Reviews Genetics*, 2(10), 815.

King, Z., Serrano, J., Boerma, H. R., & Li, Z. (2014). Non-toxic and efficient DNA extractions for soybean leaf and seed chips for high-throughput and large-scale genotyping. *Biotechnology letters*, 36(9), 1875-1879.

Kloppenburg, J. R. (2005). *First the seed: The political economy of plant biotechnology*. Univ of Wisconsin Press.

Lehleiter, C. (2017). Equilibrium Lost and Regained: Joseph Gottlieb Koelreuter's Attempts to Conceptualize Plant Hybridization. *The Germanic Review: Literature, Culture, Theory*, 92(2), 125-142.

Lipton, M. (2007). Plant breeding and poverty: can transgenic seeds replicate the 'Green Revolution' as a source of gains for the poor?. *The Journal of Development Studies*, 43(1), 31-62.

Lorenz, M. G., & Wackernagel, W. (1994). Bacterial gene transfer by natural genetic transformation in the environment. *Microbiological reviews*, 58(3), 563-602.

Luckett, D., & Halloran, G. WHAT IS PLANT BREEDING AND WHY DO IT?.

Malagó, W., Soares - Costa, A., & Henrique - Silva, F. (2009). DNA as genetic material: Revisiting classic experiments through a simple, practical class. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 37(5), 290-295.

Mangelsdorf, P. C. (1952). Evolution under domestication. *The American Naturalist*, 86(827), 65-77.

Mangelsdorf, P. C. (1965). The evolution of maize. *Essays on crop plant evolution*. Cambridge University Press, London. *Google Scholar*, 23-49.

Manktelow, M. (2010). History of taxonomy. *Lecture from Dept. of Systematic Biology, Uppsala University*.

Marshall, F., & Hildebrand, E. (2002). Cattle before crops: the beginnings of food production in Africa. *Journal of World Prehistory*, 16(2), 99-143.

Mayr, E. (1986). Joseph Gottlieb Kolreuter's contributions to biology. *Osiris*, 2, 135-176.

Mergoum, M., Singh, P. K., Pena, R. J., Lozano-del Río, A. J., Cooper, K. V., Salmon, D. F., & Macpherson, H. G. (2009). Triticale: a “new” crop with old challenges. In *Cereals* (pp. 267-287). Springer, New York, NY.

Morgan, T. H., Sturtevant, A. H., Muller, H. J., & Bridges, C. B. (1915). The mechanism of mendelian inheritance. *Holt, New York*.

Morris, M. L., & Heisey, P. W. (2003). Estimating the benefits of plant breeding research: methodological issues and practical challenges. *Agricultural Economics*, 29(3), 241-252.

Moose, S. P., & Mumm, R. H. (2008). Molecular plant breeding as the foundation for 21st century crop improvement. *Plant physiology*, 147(3), 969-977.

Mundt, C. C. (2014). Durable resistance: a key to sustainable management of pathogens and pests. *Infection, Genetics and Evolution*, 27, 446-455.

Naciones Unidas. Department of International Economic, Social Affairs. Population Division, Naciones Unidas, United Nations Department of Economic, & Nations Unies. Division de la population. (2004). *World population to 2300* (Vol. 236). United Nations Publications.

Nelson, O. E. (1993). A notable triumvirate of maize geneticists. *Genetics*, 135(4), 937.

Nocker, S., & Gardiner, S. E. (2014). Breeding better cultivars, faster: applications of new technologies for the rapid deployment of superior horticultural tree crops. *Horticulture Research*, 1, 14022.

Olby, R. C. (1966). Origins of Mendelism. *Origins of Mendelism*.

Pringle, H. (1998). The slow birth of agriculture.

Pruitt, J. D. (2016). A Brief History of Corn: Looking Back to Move Forward.

Richerson, P. J., Boyd, R., & Bettinger, R. L. (2001). Was agriculture impossible during the Pleistocene but mandatory during the Holocene? A climate change hypothesis. *American Antiquity*, 66(3), 387-411.

Roll - Hansen, N. (1979). The genotype theory of Wilhelm Johannsen and its relation to plant breeding and the study of evolution. *Centaurus*, 22(3), 201-235.

Sachs, J. D. (2008). The specter of Malthus returns. *Scientific American*, 299(3), 38.

Scarre, C. (2005). *The human past: world prehistory and the development of human societies*. Thames & Hudson.

Smith, B. D. (2001). Documenting plant domestication: the consilience of biological and archaeological approaches. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(4), 1324-1326.

Springer, N. M., & Stupar, R. M. (2007). Allelic variation and heterosis in maize: how do two halves make more than a whole?. *Genome research*, 17(3), 000-000.

Stadler, L. J. (1928). Mutations in barley induced by X-rays and radium. *Science*, 68(1756), 186-187.

Sturtevant, A. H. (1965). *History of genetics*. Harper And Row; New York And London.

Tannahill, R. (1968). *The fine art of food*. Folio Society.

Tanksley, S. D., & McCouch, S. R. (1997). Seed banks and molecular maps: unlocking genetic potential from the wild. *Science*, 277(5329), 1063-1066.

Thompson, P., & Harris, S. (2010). *Seeds, sex and civilization: How the hidden life of plants has shaped our world*. London: Thames & Hudson.

Thorpe, T. A. (2007). History of plant tissue culture. *Molecular biotechnology*, 37(2), 169-180.

Tollenaar, M., & Lee, E. A. (2006). Dissection of physiological processes underlying grain yield in maize by examining genetic improvement and heterosis. *Maydica*, 51(2), 399.

Troyer, A. F. (1999). Background of US hybrid corn. *Crop science*, 39(3), 601-626.

Troyer, A. F. (2006). Adaptedness and heterosis in corn and mule hybrids. *Crop science*, 46(2), 528-543.

Vleeshouwers, V. G., Raffaele, S., Vossen, J. H., Champouret, N., Oliva, R., Segretin, M. E., ... & Pel, M. A. (2011). Understanding and exploiting late blight resistance in the age of effectors. *Annual review of phytopathology*, 49, 507-531.

Zhang, T., Jia, X., & Xu, Z. (2016). The Limitations of Polygenic Hypothesis and Theorizing about Dual Multiple Factors and Three Normal Distributions. *Applied Mathematics*, 7(09), 912.

Zohary, D., Hopf, M., & Weiss, E. (2012). *Domestication of Plants in the Old World: The origin and spread of domesticated plants in Southwest Asia, Europe, and the Mediterranean Basin*. OxfordUniversity Press on Demand.