

Βελτίωση της Πατάτας



Ταξινόμηση

Οικογένεια: Solanaceae

Γένος: *Solanum*

~ 2000 είδη

150 κονδυλοφόρα είδη

Διπλοειδή 75%

Τετραπλοειδή και εξαπλοειδή είδη

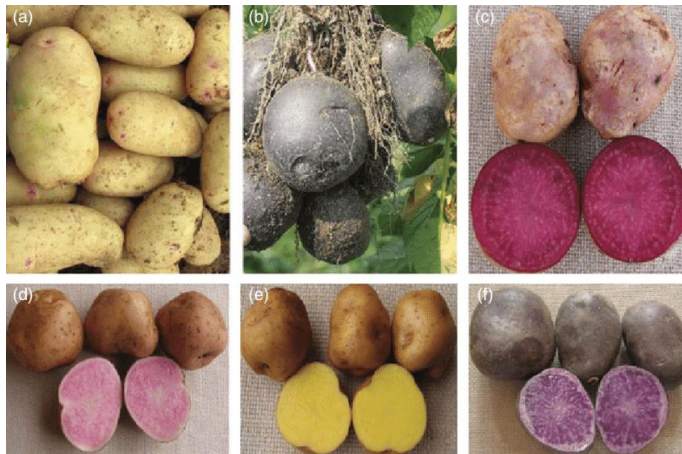
Πόες και θάμνοι



Solanum tuberosum

Αυτοτετραπλοειδές $2n=4x=48$

- Το μοναδικό είδος από τα κονδυλοφόρα σολανώδη εκτός τόπου καταγωγής
- Καταγωγή -Άνδεις από Κεντρικό Περού μέχρι Βολιβία
- Οι πατάτες εξημερώθηκαν πριν από 7.000 έως 10.000 έτη στις Άνδεις της Νότιας Αμερικής



Προσαρμοστικότητα

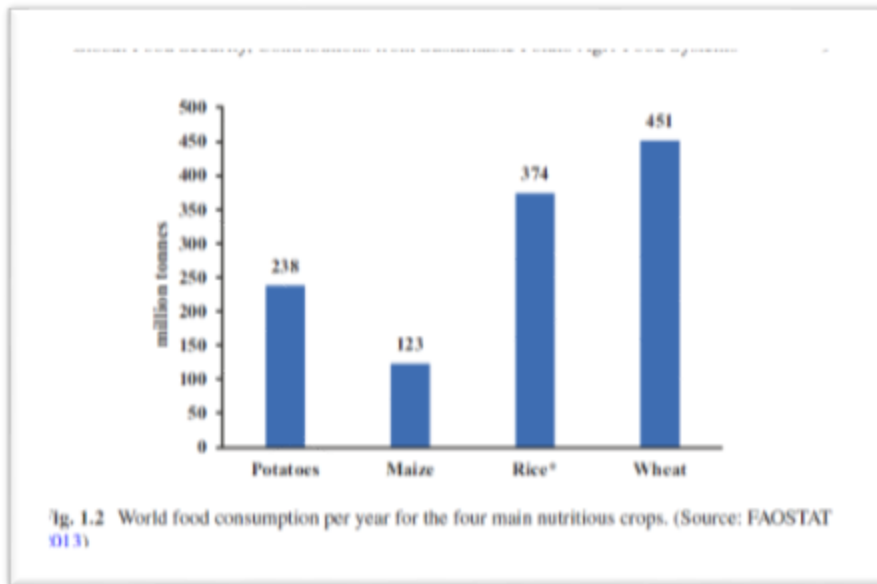
- Τροπικά και εύκρατα κλίματα
- Κάτω από την στάθμη της θάλασσας στην Ολλανδία, έως 4000 μ. στις Άνδεις και στα Ιμαλάια
- Από τον Αρκτικό κύκλο έως το στενό του Μαγγελάνου
- Στις ερήμους της Αυστραλίας και της Αφρικής

Η Πατάτα Είναι Διαφορετική

- ✓ Το βρώσιμο μέρος είναι οι κόνδυλοι και όχι οι καρποί
- ✓ Πολλαπλασιάζεται αγενώς με τους κονδύλους

Οικονομική σημασία

Η πατάτα είναι πλέον η τρίτη πιο σημαντική καλλιέργεια τροφίμων στον κόσμο από άποψη ανθρώπινης κατανάλωσης, μετά το σιτάρι και το ρύζι και πριν από το καλαμπόκι και το σόργο (FAOSTAT 2013) παρά το γεγονός ότι ένα μεγάλο ποσοστό των προϊόντα πατάτας χρησιμοποιούνται για σπόρους και ως ζωοτροφή.



- Οι φρέσκες πατάτες αντι-στοιχούν στα δύο τρίτα της συγκομιδής και περίπου 1,3 δισεκατομμύρια άνθρωποι καταναλώνουν πατάτες ως βασική τροφή (>50 κιλά /άτομο ετησίως) συμπεριλαμβανομένων περιοχών της Ινδίας και της Κίνας.

Εξέλιξη της καλλιέργειας της πατάτας μεταξύ των ετών 1966-2016: παραγωγή - εκτάσεις - αποδόσεις

Table 1.3 Potato production in 1966 and 2016 (<http://faostat.fao.org>)

Region	Production million tonnes		Area million hectares		Yield t/ha	
	1966	2016	1966	2016	1966	2016
Africa	2.29	24.50	0.27	1.77	8.35	13.86
N America	16.43	24.32	0.72	0.75	22.75	32.41
C America	0.41	2.54	0.05	0.10	8.08	26.74
S America	7.05	15.50	0.97	0.91	7.27	17.00
Asia	30.30	190.52	3.16	10.19	9.58	18.70
China	18.02	99.12	2.00	5.82	9.00	17.05
India	4.08	43.77	0.48	2.13	8.51	20.55
Europe	224.41	117.56	16.24	5.48	13.82	21.45
Oceania*	0.93	1.66	0.05	0.04	17.72	42.28
World	281.96	376.83	21.49	19.25	13.12	19.58

*Australia and New Zealand

Παγκόσμια κατανομή καλλιέργειας πατάτας

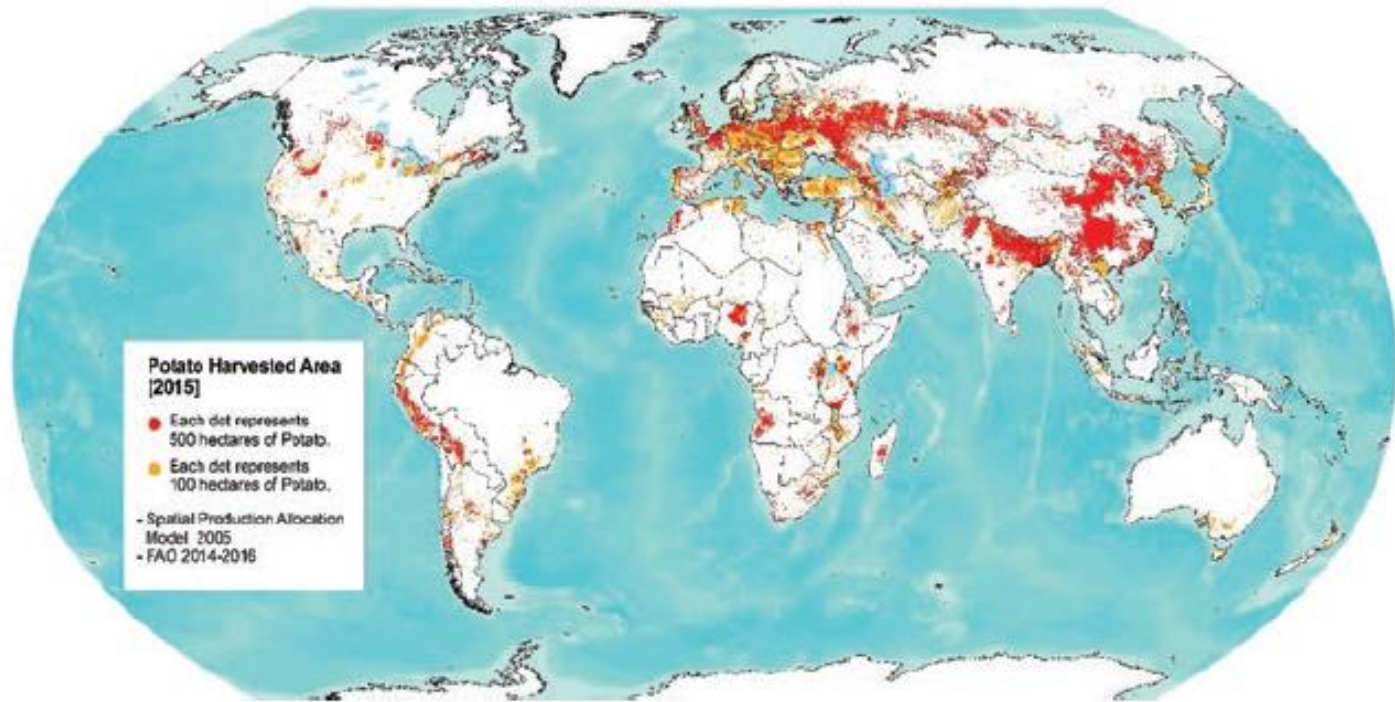


Fig. 1.1 Potato distribution worldwide, harvested area (You et al. 2014; FAOSTAT 2016)

Εικόνα 1.1 Παγκόσμια κατανομή καλλιέργειας πατάτας (You et al. 2014; FAOSTAT 2016)

Πρόβλεψη για τη εξέλιξη της καλλιέργειας της πατάτας

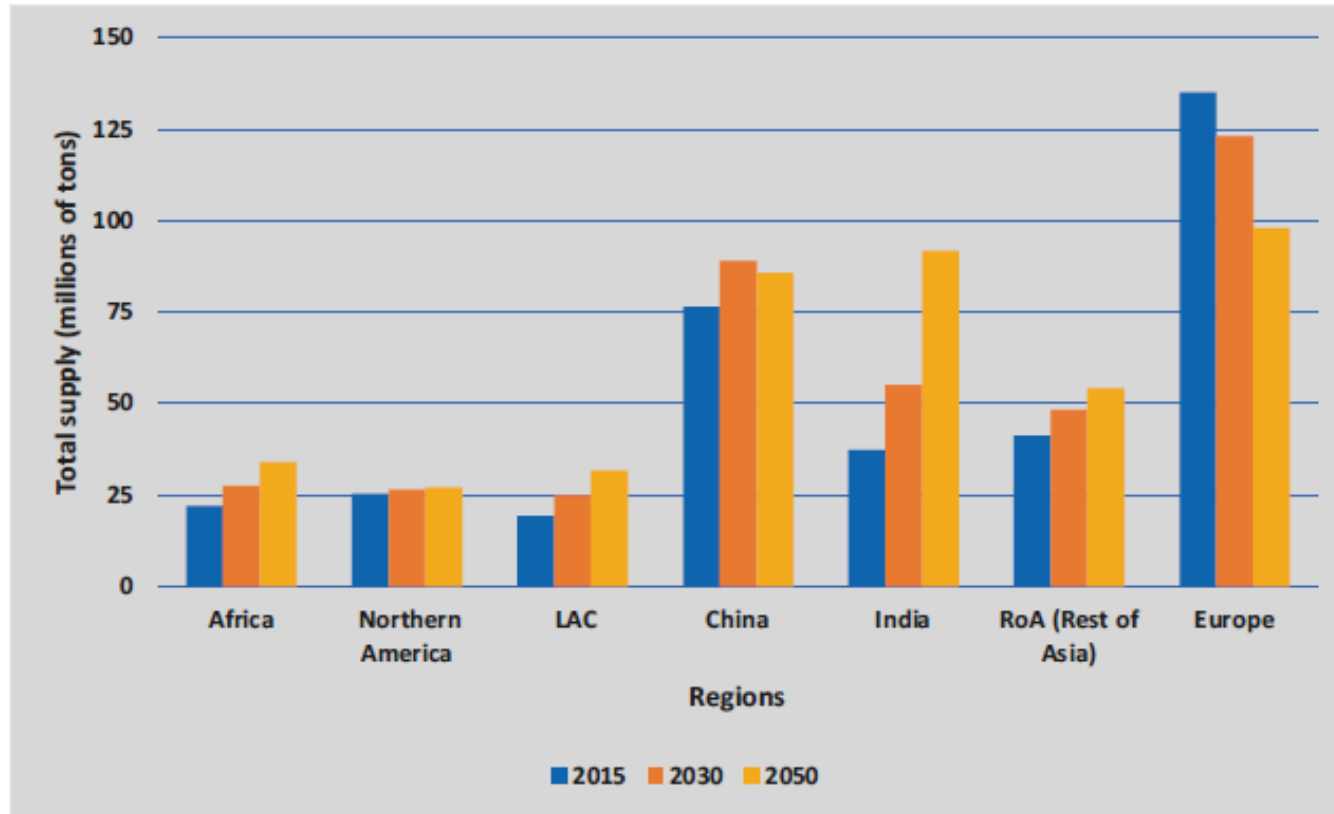


Fig. 1.6 The future of potato production. Adapted from Rosegrant et al. (2017)

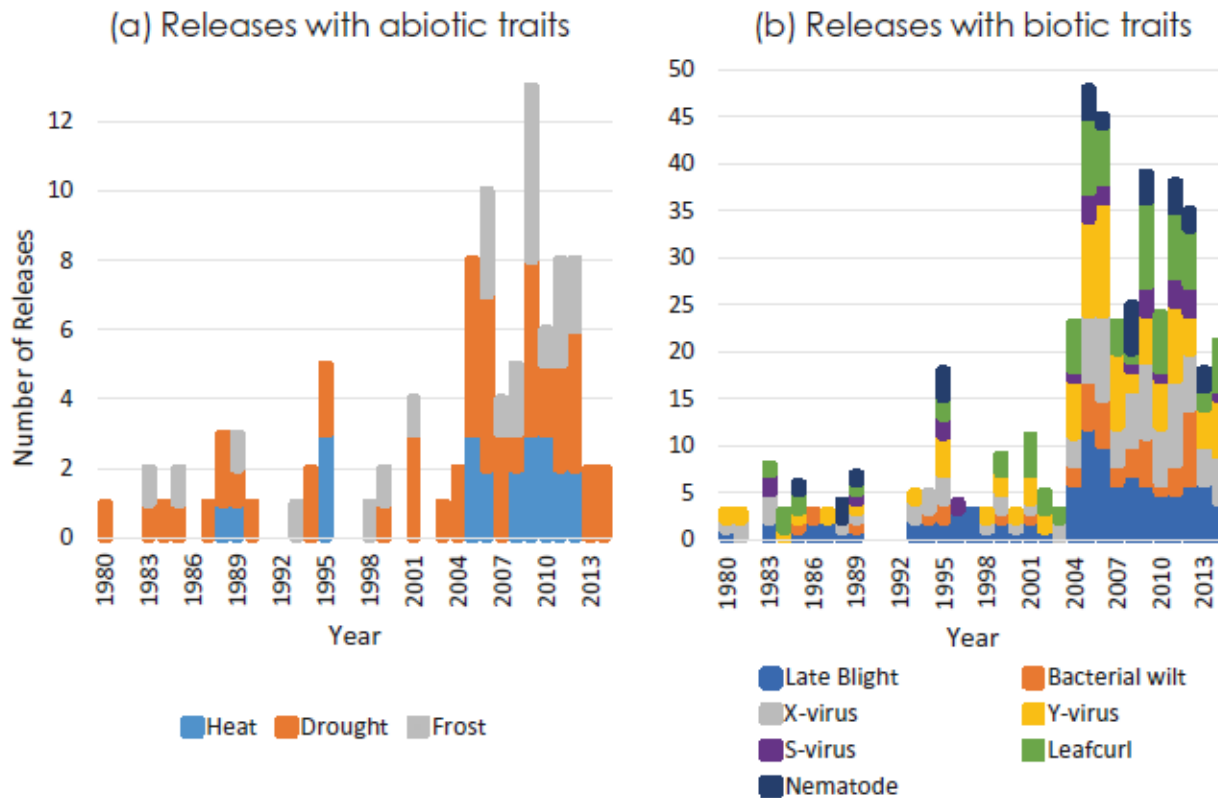
Βελτίωση πατάτας για πιο αποτελεσματική παραγωγή παγκοσμίως

- Περίπου 840 νέες ποικιλίες έχουν εισαχθεί σε Ασία, Αφρική Λατινική Αμερική για καλλιέργεια. Πολλές από αυτές με συμμετοχή του International Potato Center (CIP).

Table 1.4 Total and CIP-related number of releases by region

Region	Year	Total	CIP-related ^a	
Asia ^b	2015	518	180	35%
Africa ^c	2010	178	124	70%
Latin America ^d	2007	141	60	43%
Total		837	364	43%

Νέες ποικιλίες με υψηλή ανθεκτικότητα σε βιοτικές και αβιοτικές καταπονήσεις



Διατροφική αξία

- Μελέτες έχουν δείξει ότι η πατάτα είναι μια σημαντική πηγή υδατανθράκων, αμύλου, πρωτεϊνών, βιταμινών C και B6 και καλίου.
- Περιέχονται επίσης αντιοξειδωτικές ουσίες όπως λουτεΐνη και ζεαξανθίνη σε πατάτες με κίτρινη σάρκα και ανθοκυανίνες σε μωβ και ερυθρόσαρκες τοπικές ποικιλίες πατάτας.
- Οι πατάτες περιέχουν επίσης γλυκοαλκαλοειδή, τα οποία σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορούν να είναι τοξικές για τον άνθρωπο αλλά σε χαμηλές συγκεντρώσεις μπορεί να έχουν ευεργετικά αποτελέσματα όπως π.χ. αναστολή της ανάπτυξης καρκινικών κυττάρων

Ευεργετικές Ιδιότητες

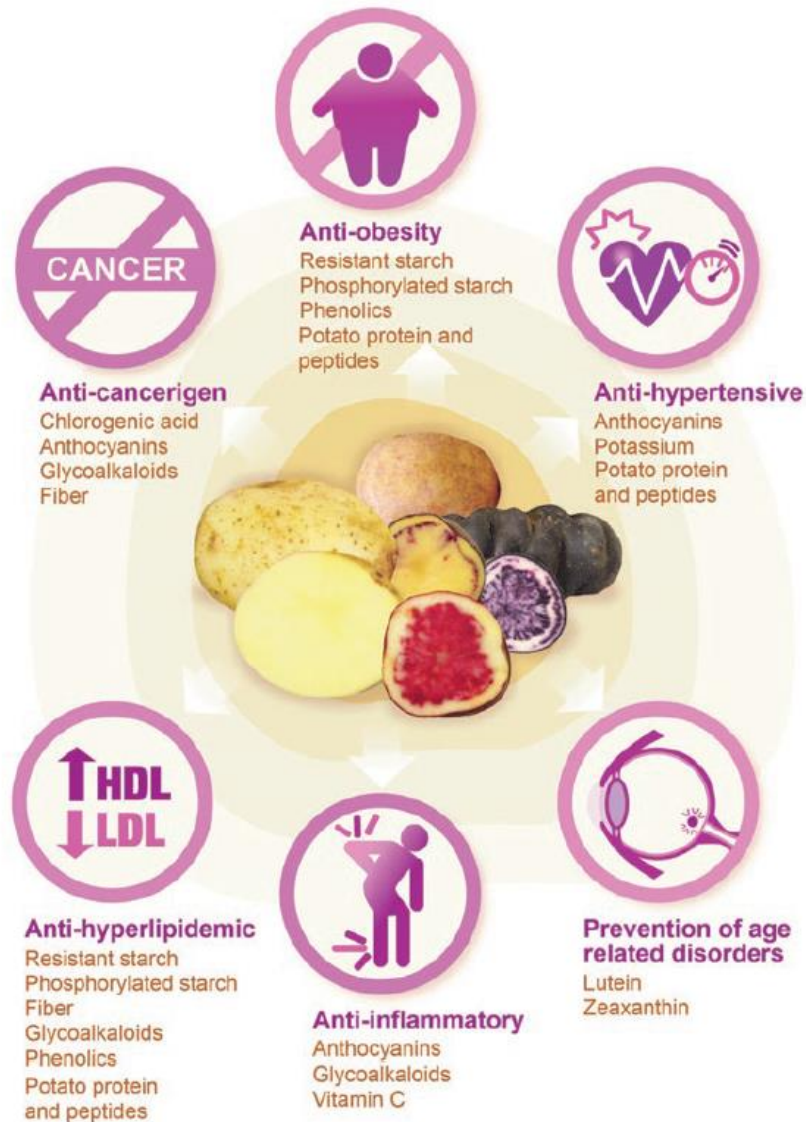


Fig. 2.5 Health benefits of potatoes

Φυτογενετικοί Πόροι

International Potato Center (CIP)

- Ex-situ διατήρηση
- Προστασία και αξιοποίηση της αγροβιοποικιλότητας
- Κέντρο Βελτίωσης πατάτας

Διαθέτει τη μεγαλύτερη συλλογή ειδικότερα του υποείδους *Andigena*, του είδους *Phureja* και τις «πικρές πατάτες-bitter potatoes»)

Φυτογενετικοί Πόροι

- Συλλογή Πατάτας της Κοινοπολιτείας (Commonwealth Potato Collection) στο James Hutton Institute στη Σκωτία.
- Γερμανο-Ολλανδική Συλλογή Πατάτας (German–Dutch Potato Collection) στο Braunschweig της Γερμανίας.
- Εθνικά Ερευνητικά Ινστιτούτα (NAR's)
- Διεθνείς Ενώσεις και πρωτοβουλίες για την Αγροβιοποικιλότητα
- CGAR, ECPGR

Ποικιλότητα καλλιεργούμενων συλλογών CIP



Fig. 4.1 Diversity of flower color and shape in cultivated potato from CIP germplasm collection

Ποικιλότητα καλλιεργούμενων συλλογών CIP

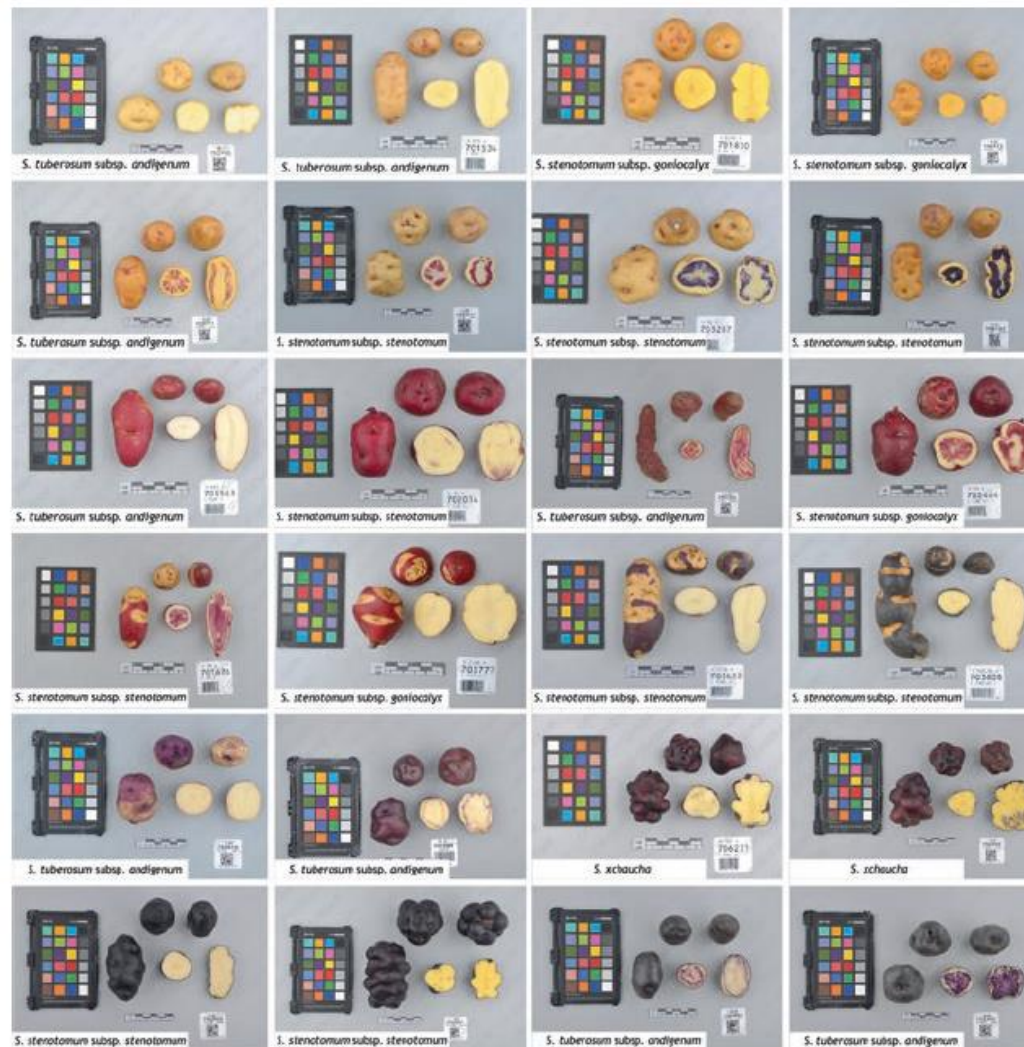


Fig. 4.2 Diversity of tuber shape and morphology and skin and flesh color in cultivated potato from the CIP germplasm collection. The color card in each photograph is used for standardizing measurement of colors of the tubers

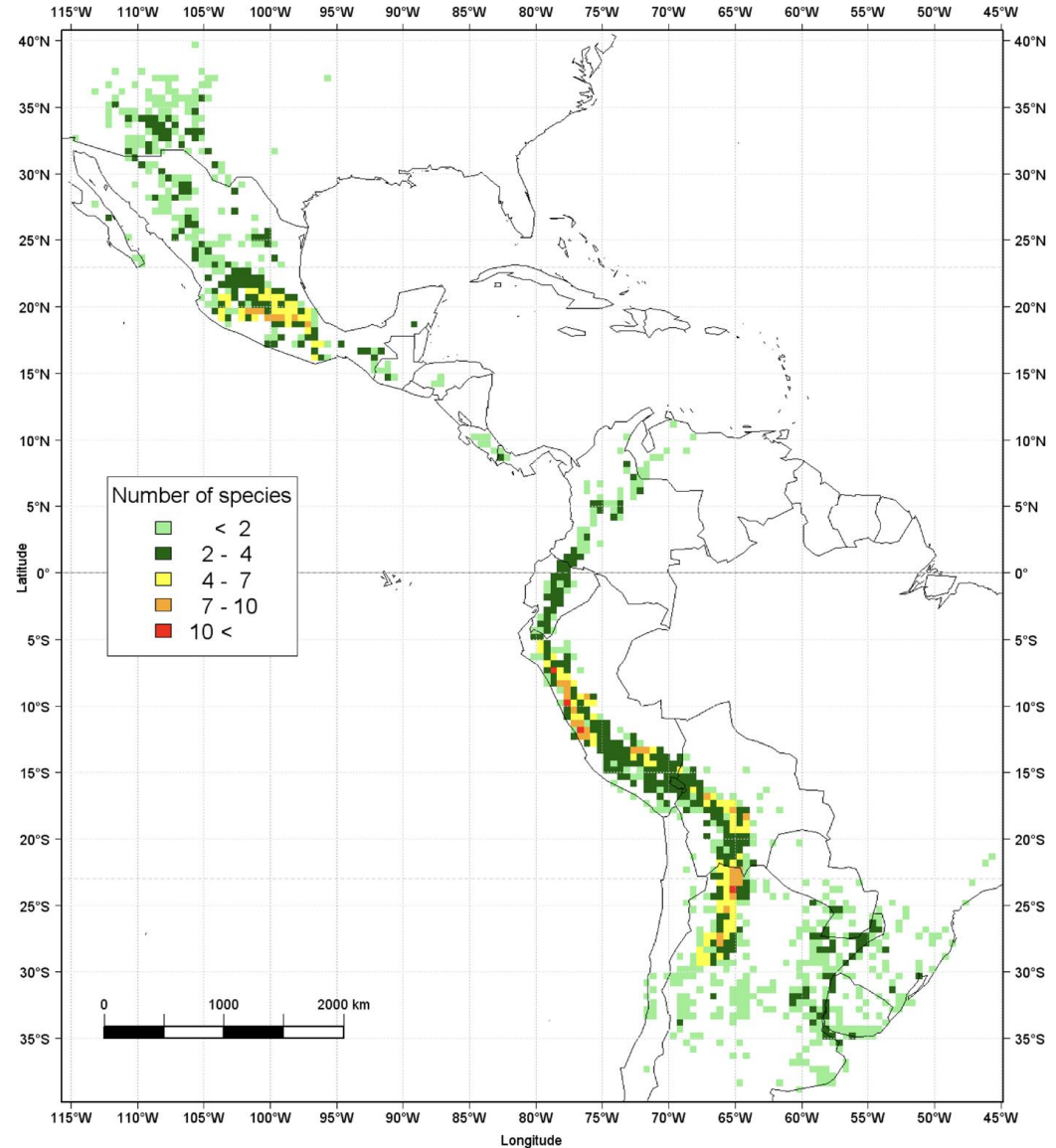
Καταγωγή και ιστορία



- ❖ Η πατάτα προέρχεται από τις Άνδεις του Περού και της Βολιβίας, όπου καλλιεργείται για περισσότερα από 2.400 έτη.
- ❖ Οι Ινδιάνοι Aymparas ανέπτυξαν πολυάριθμες ποικιλίες στο οροπέδιο Titicaca, σε υψόμετρο περίπου 3.048 m.

Καταγωγή και ιστορία

- Το γεωγραφικό εύρος των ειδών της άγριας πατάτας εξαπλώνεται σε 16 χώρες στη Β. και Ν. Αμερική.
- Οι πατάτες στο Μεξικό εισήχθησαν μετά την έλευση του Κολόμβου



Καταγωγή και ιστορία

- ❖ Η πρώτη γραπτή αναφορά χρονολογείται από το 1553. Οι Ισπανοί εισήγαγαν την πατάτα στην Ευρώπη μεταξύ των ετών 1565 και 1580.

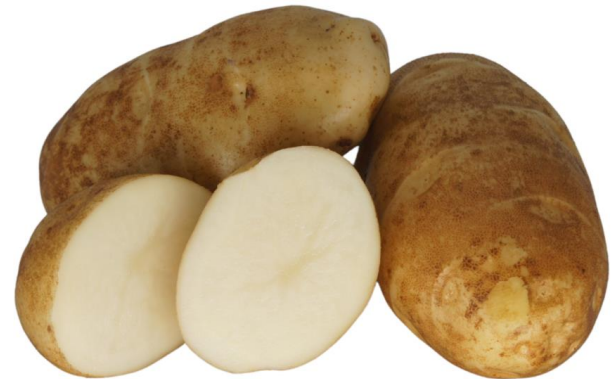


Vincent van Gogh The potato eaters (www.vggallery.com)

Καταγωγή και ιστορία

- Η πατάτα εισήχθη στην Βόρεια Αμερική από Ιρλανδούς μετανάστες «Ιρλανδική πατάτα» στο Londonderry του New Hampshire, όπου το 1719 σημειώθηκε παραγωγή μεγάλης κλίμακας.
- Τη δεκαετία του 1840, η καταστροφή από *Phytophthora infestans* προκάλεσε λιμό στην Ιρλανδία. Μαζική μετανάστευση 2.000.000 Ιρλανδών στη Βόρεια Αμερική.
- Στην Αμερική, ο Luther Burbank ήταν ο πρώτος που ασχολήθηκε με τη βελτίωση της πατάτας προωθώντας την ποικιλία «Burbank» στις πολιτείες της Δυτικής Ακτής.

- Μια ανθεκτική στις ασθένειες μετάλλαξη της ποικιλίας 'Burbank' βρέθηκε στο Colorado. Είχε ρυτιδωμένο φλοιό και έγινε γνωστή ως 'Burbank Russet'. Καλλιεργείται στα περισσότερα χωράφια του Idaho.



Εξημέρωση και προέλευση πατάτας

Δύο υποθέσεις έχουν διατυπωθεί σχετικά με την εξημέρωση και την προέλευση της καλλιεργούμενης πατάτας:

- Η θεωρία της πολλαπλής προέλευσης (multi-origin) που αναπτύχθηκε από Ρώσους επιστήμονες
- Η θεωρία της περιορισμένης προέλευσης (restricted origin) που αναπτύχθηκε από Άγγλους επιστήμονες.



Εξημέρωση και προέλευση πατάτας

Multi-origin:

- Ρώσοι επιστήμονες με βάση τις θεωρίες του N. Vavilov ότι το κέντρο καταγωγής βρίσκεται στη γεωγραφική περιοχή που εντοπίζεται η μεγαλύτερη ποικιλότητα στους πληθυσμούς ενός φυτού, καθώς και στους άγριους συγγενείς του, αλλά και το ρόλο που αυτοί παίζουν στην εξημέρωση, πρότειναν:
- Ότι η μεγαλύτερη ποικιλότητα στις τοπικές ποικιλίες πατάτας συγκεντρώθηκε σε δύο διαφορετικές κέντρα που αντιστοιχούν σε ανεξάρτητα γεγονότα εξημέρωσης α) στο οροπέδιο Περού-Βολιβίας και β) στην περιοχή του νησιού Chiloé και των γειτονικών του νησιών.

Εξημέρωση και προέλευση πατάτας

Restricted origin:

- Η πατάτα εξημερώθηκε στη Νότια Αμερική μεταξύ Κολομβίας και Βολιβίας από διπλοειδή άγρια είδη, και στη συνέχεια ακολούθησαν φαινόμενα πολυπλοειδισμού.
- Οι τοπικές “ποικιλίες” που δημιουργήθηκαν ήταν μικρής ημέρας (short day) και επεκτάθηκαν και προσαρμόστηκαν σε νέες οικολογικές συνθήκες βόρεια προς την Κολομβία και τη Βενεζουέλα και νότια στις ακτές της Χιλής.
- Η εξημέρωση της πατάτας ολοκληρώθηκε το 1600 πΧ. Το αποτέλεσμα ήταν η δημιουργία ενός διπλοειδούς εξημερωμένου είδους (cultigen) *S. tuberosum Stenotomum* Group ($2n = 2x = 24$), από το οποίο προήλθαν όλες οι υπόλοιπες καλλιεργούμενες πατάτες.

Εξημέρωση και προέλευση πατάτας

Ο Dodds (1962) ταξινόμησε τις καλλιεργούμενες πατάτες σε πέντε άτυπες ομάδες εντός ενός είδους (*S. tuberosum*) στο οποίο οι Andigena (τετραπλοειδές), Chaucha (τριπλοειδές), Phureja (διπλοειδές) και Tuberosum (τετραπλοειδές) προήλθαν από *Stenotomum* (διπλοειδές).

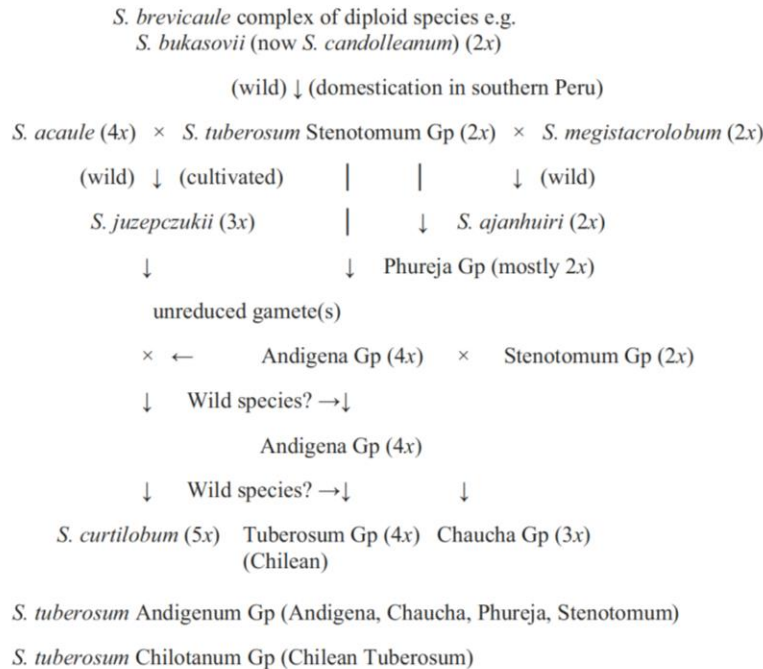


Fig. 1.1 Origin of cultivated groups (Gp = Group) of *S. tuberosum* (Dodds 1962; Spooner et al. 2007) and cultivated species with bitter taste and frost tolerance (*S. ajanhuiri*, *S. juzepczukii* and *S. curtilobum*) (2, 3, 4 and 5x = diploid, triploid, tetraploid and pentaploid) (modified from Bradshaw 2019 with permission)

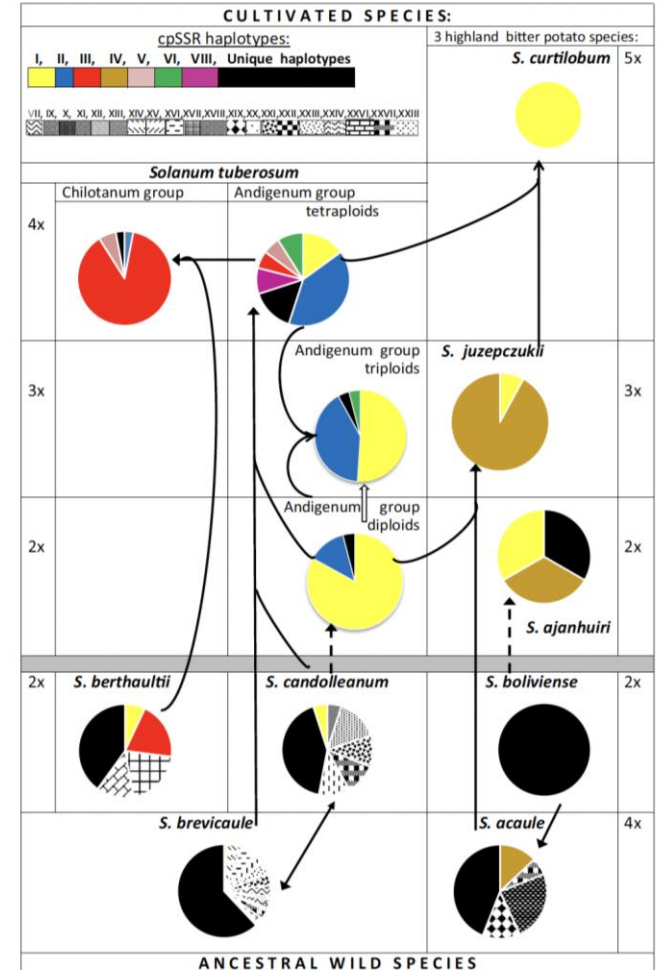


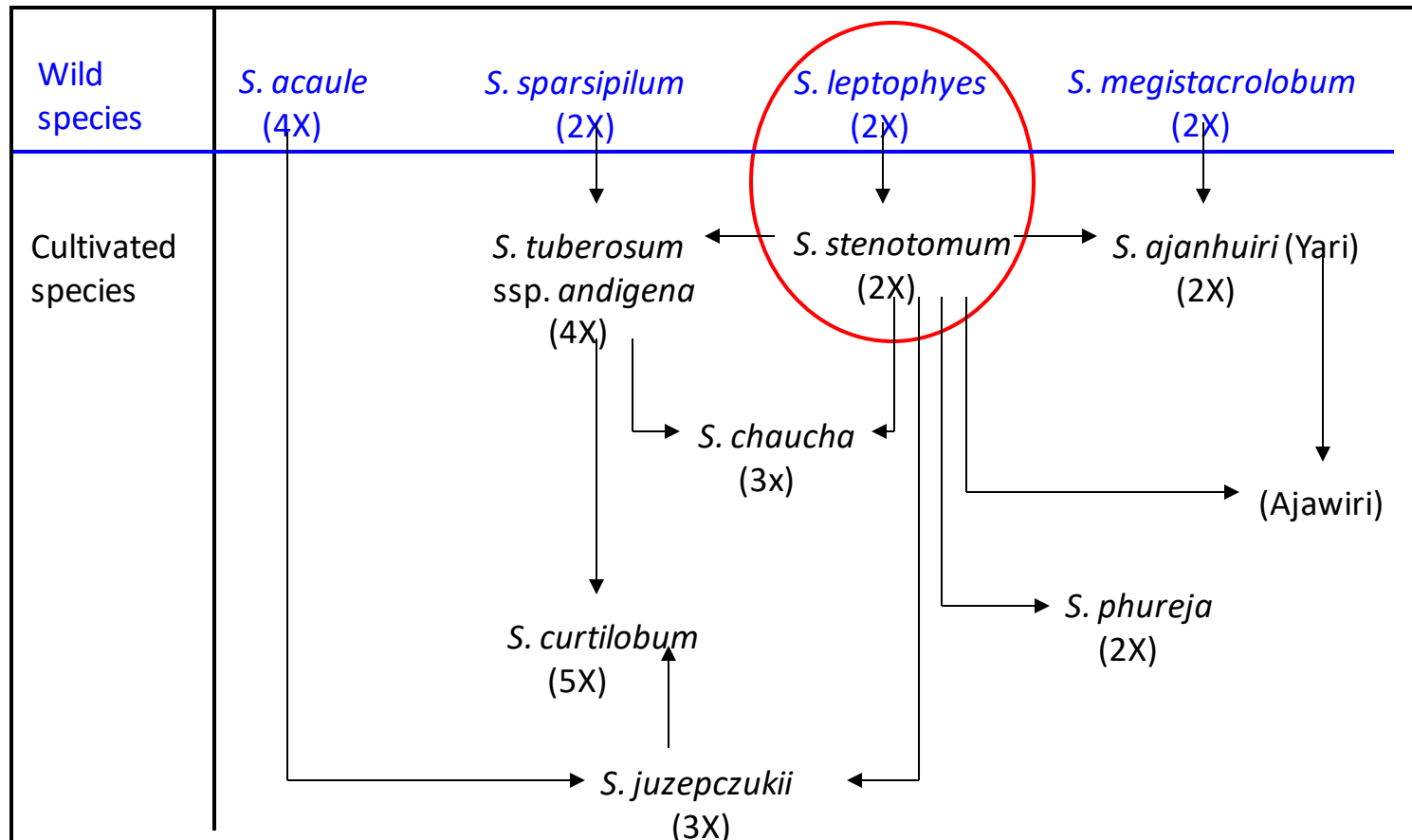
Fig. 7 Evolution of cultivated potatoes. Frequency of plastid SSR haplotypes in cultivated and wild species are according to Gavrilenko et al. 2013. Solid arrows indicate hybridization events; dotted arrows indicate domestication through natural variation and selection; double arrows indicate doubling events including unreduced gamete formation. Species names correspond to our revised taxonomy (Table 1)

Εξημέρωση και προέλευση πατάτας

- *Solanum stenotomum* αυτόχθονο καλλιεργούμενο είδος
- Το πρώτο είδος που εξημερώθηκε
- Προγεννήτορας του τετραπλοειδών ειδών
- Συνεχής επιλογή για απόδοση σε κονδύλους και πρωιμότητα σε μεγαλύτερες μέρες
- Αλλαγές στα χαρακτηριστικά του φυτού και των φύλλων και στην αντίδραση στην φωτοπερίοδο
- Ίδιες αλλαγές σε πατάτες στην Χιλή
- Χιλή δευτερογενές κέντρο καταγωγής

Η προέλευση και η καταγωγή της πατάτας:

Ο Hawkes υποστηρίζει ότι το *S. leptophyes* ως ο πρόγονος του *S. stenotomum*, (το πιο αρχαίο από τα καλλιεργούμενα είδη) είναι ο άγριος πρόγονος της πατάτας αν και άλλα είδη όπως τα *S. brevicaulis*, *S. leptophyes*, *S. canasense* έχουν συμμετάσχει.



Άγρια είδη πατάτας



Solanum verrucosum

- Εύκολες διασταυρώσεις
- Ουσιαστικά καμία άλλη καλλιέργεια δεν χρησιμοποιεί τόσο μεγάλη γονιδιακή δεξαμενή
- Συγγενή είδη διασταυρώνονται εύκολα
- Ανθεκτικότητα σε βιοτικούς και αβιοτικούς παράγοντες
- Αύξηση της ετεροζυγωτίας

Άγρια είδη πατάτας



Άγρια είδη πατάτας

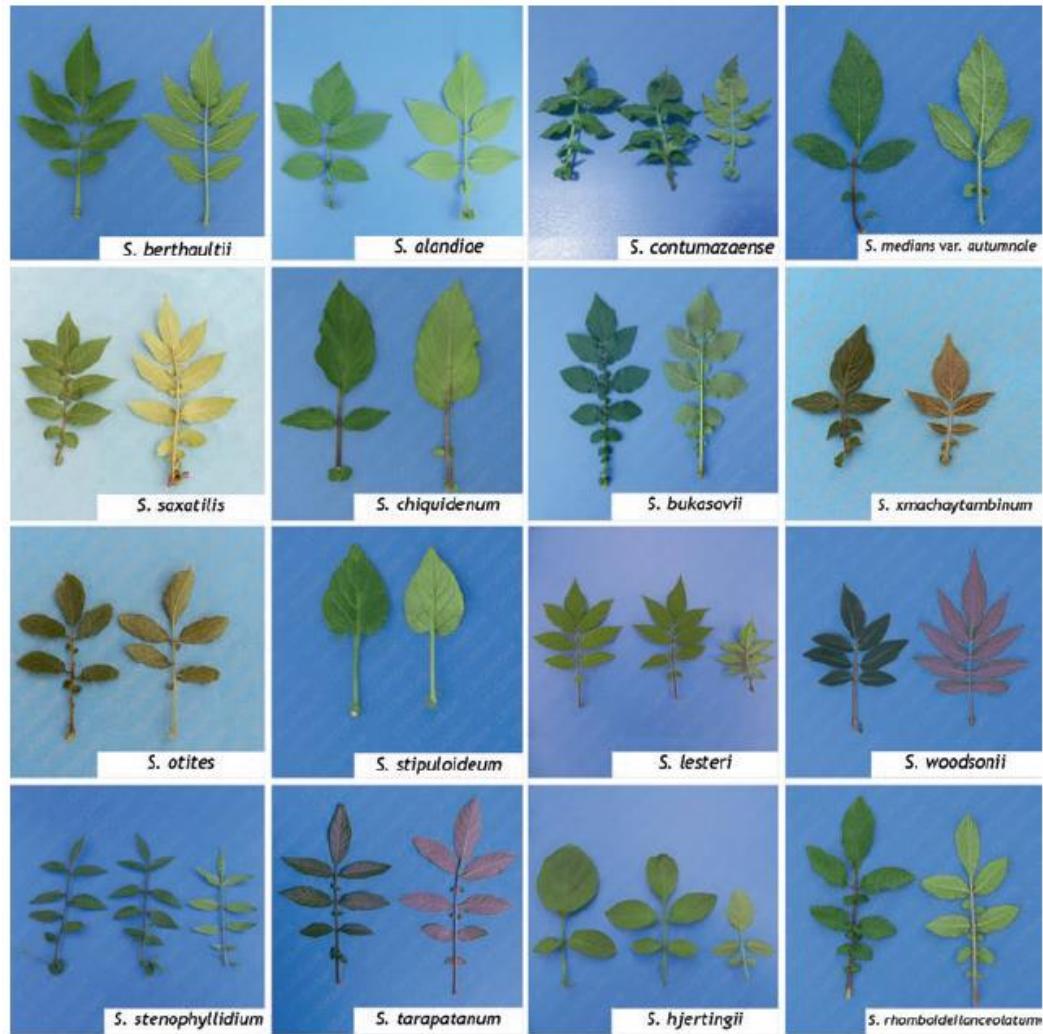


Fig. 4.4 Examples of the diversity found in leaf morphology, shape, and color of various wild potato species

Άγρια είδη πατάτας



Fig. 4.5 Examples of the diversity found in fruit morphology, shape, and color in wild potato species



Solanum cardiophyllum

Solanum demissum

Solanum brevicaule

Solanum x aemulans

S. sparsipilum

Χρωμοσωμικός αριθμός: $2n=2x=24$ EBN: 2 (αριθμός ενδοσπερμιακής ισορροπίας)

- *Globodera rostochiensis*/*G. Pallida* κυστογόνοι νηματώδεις της πατάτας
- *Meloidogyne incognita* Κομβονηματώδεις – Φυματιογόνοι νηματώδεις/ ριζόκομβοι
- PVX
- *Phytophthora infestans* (late blight)
- *Synchytrium endobioticum* (wart)(καρκίνωση)
- *Pseudomonas solanacearum* *Ralstonia solanacearum* (bacterial wilt) Βακτηριακή μάρανση

S. phureja Juz. et Buk.

Χρωμοσωμικός αριθμός: $2n=2x=24$ EBN: 2

- *Globodera rostochiensis*/*G. pallida*
- *Meloidogyne incognita*
- *Phytophthora infestans* (late blight)
- *Erwinia carotovora* (soft rot/blackleg)
- *Pseudomonas solanacearum* (bacterial wilt)
- PVX; PVY
- *Myzus persicae*/*Macrosiphum euphorbiae*

S. demissum

Χρωμοσωμικός αριθμός: $2n = 6x = 72$ EBN=4

- Εξαπλοειδές είδος
- Όταν διασταυρωθεί με διπλοειδή δίνει τετραπλοειδή υβρίδια
- Διασταυρώνονται εύκολα με το *ssp. tuberosum*
- Ανθεκτικότητα στον περονόσπορο

Ταξινόμηση των καλλιεργούμενων ειδών πατάτας

Τρεις κατηγορίες καλλιεργούμενης πατάτας:

- Άγρια είδη (χαρακτηρίζονται από μεγάλη ποικιλότητα)
- καλλιεργούμενες γηγενείς (indigenoues) στις Άνδεις και τη νότια Χιλή
- σύγχρονες ποικιλίες

Οι περισσότερες καλλιεργούμενες πατάτες είναι οι τετραπλοειδείς ($2n = 4x = 48$),

αλλά γεωργοί στις Άνδεις καλλιεργούν διπλοειδείς ($2n = 2x = 24$), τριπλοειδείς ($2n = 3x = 36$), και πενταπλοειδείς ($2n = 5x = 60$) ποικιλίες.

Ταξινόμηση των καλλιεργούμενων ειδών πατάτας

Η πλοειδία αποτελεί ταξινομικό κριτήριο για την καλλιεργούμενη πατάτα αφού συμβαίνουν επιτυχείς διασταυρώσεις μεταξύ διαφορετικών ειδών

Οι περισσότεροι αποδεκτές ταξινομικές ομάδες

S. ajanhuiri ($2n=2x=24$)

S. chaucha ($2n=3x=36$)

S. curtilobum ($2n=5x=60$)

S. juzepczukii ($2n=3x=36$)

S. phureja ($2n=2x=24$)

S. goniocalyx ($2n=2x=24$)

S. stenotomum ($2n=2x=24$)

S. tuberosum

- *ssp. tuberosum* ($2n=4x=48$)

- *ssp. andigenum* ($2n=4x=48$)

Καλλιεργούμενες τετραπλοειδείς πατάτες

Solanum tuberosum ssp. *andigena*

Solanum tuberosum ssp. *tuberosum*

Διαφορές μεταξύ ssp. *andigena* και ssp. *tuberosum*

- Μικρότερα φύλλα και φυλλίδια
- Μικρότερους και περισσότερους κονδύλους με βαθιά μάτια
- Κόκκινο φλοιό και μειωμένη απόδοση
- Και στα δύο υποείδη οι περισσότερες ποικιλίες έχουν γόνιμη γύρη

Δημιουργία τετραπλοειδίας στην πατάτα

Group Stenotomum (2n)



Πολυπλοειδισμός μέσω μη
απομειωμένων (2n) γαμετών
στα εδάφη καλλιέργειας του

S. tuberosum Group Andigena (4n)



Διασταυρώσεις με
άγρια γειτονικά είδη
Εισαγωγή γονιδίων
προσαρμοστικότητας

- Επιλογή τροποποιημένων τετραπλοειδών
- Εξάπλωση σε νέα εδάφη και δημιουργία του σύγχρονου *Group Andigena*

Δημιουργία τετραπλοειδίας στην πατάτα

Η προέλευση του *S. tuberosum Group Tuberosum* (Χιλιανές *Tuberosum*) από το *Group Andigena*.

- Έξι διακριτοί τύποι κυτοπλάσματος στην πατάτα M, P, A, W, T και D.
- Η αρχική υπόθεση ήταν ότι το *Group Tuberosum* ήταν πατάτες που ανήκαν στο *Group Andigena*, οι οποίες επιλέχθηκαν ως προς την ικανότητα τους για κονδυλοποίηση σε συνθήκες μακράς ημέρας.
- Έρευνες έδειξαν όμως ότι το κυτόπλασμα του Chilean *Tuberosum* (T) προέρχεται από το άγριο είδος *S. tarijense*. Έτσι η αρχική υπόθεση δεν είναι εύκολα αποδεκτή.

* Συνήθως *T-type chloroplast DNA* and *b-type mitochondrial DNA*, και επίδραση πυρηνικών γονιδίων που καταλήγουν σε αρρενοστεριότητα

Δημιουργία τετραπλοειδίας στην πατάτα

- Το πιο πιθανό σενάριο είναι να συνέβησαν διασταυρώσεις *Andigena* τετραπλοειδών με άγρια είδη κατά την εξάπλωση του γκρουπ προς τη νότια Χιλή, όπου η κονδυλοποίηση απαιτούσε προσαρμογή σε συνθήκες μακράς ημέρας.
- ❖ Οι πατάτες της ομάδας *Andigena* αποτελούν τους πλέον ευρέως καλλιεργούμενους τύπους πατάτας στη Νότια Αμερική.
- ❖ Οι πατάτες τύπου *Phureja* επιλέχθηκαν από την ομάδα *Stenotomum* για την έλλειψη ληθάργου, έτσι ώστε να μπορούν να αναπτύξουν έως τρεις καλλιέργειες ανά έτος στις χαμηλότερες σε υψόμετρο, θερμότερες, ανατολικές κοιλάδες των Άνδεων.

Καλλιεργούμενες τετραπλοειδείς πατάτες

Τετραπλοειδή Έναντι Διπλοειδών

- ✓ Έρευνες έδειξαν ότι η υπεροχή των τετραπλοειδών οφείλεται μάλλον στην ετεροζυγωτία που εμφανίζεται λόγω τετραπλοειδίας και όχι στην ύπαρξη πολυπλοειδίας *per se* (πολλά αντίγραφα ενός γονιδίου).
- ✓ Υπερέχουν των καλλιεργούμενων διπλοειδών γιατί έχουν καλύτερη και σταθερή απόδοση.
- ✓ Μεγαλύτερη προσαρμοστικότητα

Αυτοτετραπλοειδία

- ❖ Δύσκολη η μελέτη της κληρονομικότητας ορισμένων χαρακτηριστικών
- ❖ Τα χαρακτηριστικά που κληρονομούνται κατά τετρασωμικό τρόπο είναι πιο πολύπλοκα
- ❖ Μεγιστοποίηση της ετέρωσης για την παραγωγή υψηλοαποδοτικών ποικιλιών πατάτας

Τα Αυτοφυή Είδη στη Βελτίωση της Πατάτας

Διαθέτουν αξιόλογα γονίδια για μεταφορά στις καλλιεργούμενες ποικιλίες.

Χρειάζονται λιγότερες αναδιασταυρώσεις για την μεταφορά του γνωρίσματος

Κατά προτεραιότητα αναζήτηση χαρακτηριστικών από:

- ✓ *ssp. tuberosum*
- ✓ *ssp. andigena*
- ✓ Άλλα καλλιεργούμενα είδη
- ✓ Άγρια αυτοφυή είδη

Διασταυρώσεις

Τα δύο τετραπλοειδή υποείδη διασταυρώνονται αρκετά εύκολα.

Προσοχή για την μεταφορά και της ανάγκης για μεγάλη φωτοπερίοδο.

Το *Solanum phureja* από τα διπλοειδή χαρακτηρίζεται από:

- Έλλειψη ληθάργου
- Καλή συνδυαστική ικανότητα με το *ssp. tuberosum*
- Υπερέχει στο σχηματισμό μη μειωμένων γαμετών (FDR).
- Λόγω των 2n γαμετών μεταβιβάζει σχεδόν αθικτο το γονότυπό του εμφανίζοντας υψηλή ετέρωση (απομακρυσμένη διασταύρωση)
- Η γύρη του επάγει παρθενοκαρπία στα τετραπλοειδή (μη γονιμοποίηση)

Διασταυρώσεις

Άγρια και καλλιεργούμενα διπλοειδή είδη X τετραπλοειδή.

Παράγουν μερικούς τετραπλοειδείς απογόνους

Καλύτερα η βελτίωση να γίνεται σε διπλοειδές επίπεδο χρησιμοποιώντας διπλοειδή ως επαναλαμβανόμενους γονείς.

Χρήση του *Solanum demissum*

- Εξαπλοειδές είδος σχηματίζει δισθενή κατά τη μείωση
- Όταν διασταυρωθεί με διπλοειδή δίνει τετραπλοειδή υβρίδια που διασταυρώνονται εύκολα με το *ssp. tuberosum*

- Το *ssp. tuberosum* χρησιμοποιείται ως μητέρα σε διασταυρώσεις με άγρια ή καλλιεργούμενα διπλοειδή
- Τα υβρίδια είναι συνήθως στείρα όμως μερικές φορές παράγουν μερικώς γόνιμους τετραπλοειδείς απογόνους όταν διασταυρωθούν με το *ssp. Tuberosum*
- Μερικά διπλοειδή δεν διασταυρώνονται άμεσα με το *S. tuberosum* - Διασταυρώσεις γεφύρωσης

Γενικά :

- Πρέπει να γίνουν αρκετές αναδιασταυρώσεις (4-6)
 - για σταθεροποίηση του χρωμοσωμικού αριθμού
 - επαναφορά στα χαρακτηριστικά του καλλιεργούμενου είδους

Η πατάτα εξαίρεση μεταξύ των καλλιεργουμένων φυτών ως προε την ευκολία για ροή αγρίων γονιδίων από τα άγρια είδη στα καλλιεργούμενα

Γενετική της πατάτας - διαειδικοί φραγμοί

- Αυτοασυμβίβαστο (self incompatibility)
- Αρενοστεριότητα (male sterility)
- Μονόπλευρη ασυμβατότητα (unilateral incompatibility)
- Αριθμός ενδοσπερμικής ισορροπίας (EBN)
- Φραγμοί στο επίπεδο του στύλου (stylar barriers)
- Διαειδικά υβρίδια μεταξύ αγρίων συγγενών (dihaploid-wild species hybrids).
- Απομειωμένοι ($2n$) γαμέτες
- Τετραπλοειδία

Αυτοασυμβίβαστο (self-incompatibility)

- Αφορά κυρίως διπλοειδή είδη πατάτας.
- Γαμετοφυτικό ασυμβίβαστο ελέγχεται από ένα γενετικό τόπο *S* μια σειρά αλληλομόρφων *S1*, *S2*, ..και την αλληλεπίδραση μεταξύ γύρης και υπέρου
- Ο *S* τόπος αποτελείται από δυο στενά συνδεδεμένα γονίδια *S-RNase* και *S-Locus Fbox*.
- Στο σύστημα αυτό η γύρη απορρίπτεται όταν υπάρχει ταίριασμα μεταξύ του *S*-απλότυπου (*S* locus variants) στην απλοειδή γύρη και οποιωνδήποτε από τους δύο *S*-απλότυπους στο διπλοειδή ύπερο που εκφράζονται ως συγκυρίαρχοι.

Αυτοασυμβίβαστο (self-incompatibility)

- Σύμφωνα με αυτό ο στύλος παράγει S-Rnases οι οποίες παρεμποδίζουν την ανάπτυξη γενετικά συμβατών γυρεοσωλήνων, και παρεμποδίζουν την γονιμοποίηση λειτουργώντας σαν S ειδικές τοξίνες ή πρωτεΐνες αναγνώρισης.
- Ο S τόπος και τα γονίδια της S-Rnase εδράζονται στο 1^ο χρωμόσωμα
- Στο είδος *S. chacoense* η αυτοσυμβατότητα καθορίζεται από ένα κυρίαρχο αλληλόμορφο του *S-locus inhibitor gene (Sli)*. Πιθανά επιτρέπει τη δημιουργία διπλοειδών αυτογονιμοποιούμενων γονοτύπων.
- Σε αντίθεση με τις διπλοειδείς πατάτες, οι τετραπλοειδείς πατάτες (τόσο άγριες όσο και καλλιεργημένες) είναι αυτοσυμβατές.

Αυτοασυμβίβαστο (self-incompatibility)

- Οι Lindhout et al. (2011, 2018) και Stockem et al. (2020) απέδειξαν ότι το γονίδιο *Sli* μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία αυτογονιμοποιούμενων ομοζυγωτικών απογόνων με καλά χαρακτηριστικά.
- Στη συνέχεια διασταυρώθηκαν οι γονότυποί αυτοί για τη δημιουργία διπλοειδών F1 υβριδίων τα οποία ήταν ομοιόμορφα και έδειξαν καλή ποιότητα κονδύλων. Ως εκ τούτου, το τελικό προϊόν θα ήταν μια διπλοειδής ποικιλία.
- Δυνατότητα μετατροπής της πατάτας από αγενώς πολλαπλασιαζόμενη τετραπλοειδή καλλιέργεια σε ένα αυτογονιμοποιούμενο διπλοειδές που πολλαπλασιάζεται με σπόρους για πλήρη εκμετάλλευση των σύγχρονων μεθοδολογιών επιλογής και βελτίωσης.

Αρρενοστειρότητα

- Έξι διακριτοί τύποι κυτταροπλάσματος στην πατάτα M, P, A, W, T και D.
- Παρατηρείται γενετική στενωπός ως αναφορά στον κυτταροπλασματικό τύπο λόγω συνεχούς χρήσης αρρενόστειρων σειρών των *S. demissum* και *S. stoloniferum* που χρησιμοποιούνται ως γονείς σε διασταυρώσεις.
- Πολύπλοκο πρόβλημα καθώς πυρηνικά και κυτταροπλασματικά γενετικά συστήματα αλληλοεπιδρούν με τελική αδυναμία παραγωγής γύρης
- Οι ομάδες *Stenotomum* και *Phureja* έχουν κοινούς τους περισσότερους κυτταροπλασματικούς παράγοντες, πολλοί από τους οποίους διαφέρουν από αυτούς που βρίσκονται στην ομάδα *Tuberosum*.

Αρρενοστειρότητα

- Κατά συνέπεια παρατηρείται αρρενοστειρότητα σε διασταυρώσεις μεταξύ των διαφόρων ομάδων tuber-bearing *Solanum*.
- Διασταυρώσεις μεταξύ απλοειδών *Tuberosum* (θηλυκός γονέας) και *Phureja* ή *Stenotomum* (ως αρσενικός) καταλήγουν σε αρρενοστειρότητα ενώ η αμοιβαία διασταύρωση όχι
- Οι τετραπλοειδεις ποικιλίες διαθέτουν ένα επικρατές *male fertility restorer (Rt)* γονίδιο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διασταυρώσεις για την αποκατάσταση της στειρότητας

Μονόπλευρη ασυμβατότητα (unilateral incompatibility)

Η μονόπλευρη ασυμβατότητα: φαινόμενο στο οποίο αυτοσυμβατά (self-compatible) είδη μπορούν να διασταυρωθούν ως θηλυκοί γονείς με αυτοασυμβίβαστα (self-incompatible) είδη, αλλά όχι το αντίθετο δηλαδή ως αρσενικοί γονείς να διασταυρωθούν με self-incompatible θηλυκά.

- self-incompatible (θηλυκά) X self-compatible (αρσενικά) δεν γίνονται.
- self-compatible (θηλυκά) X self-incompatible (αρσενικά) γίνεται.

Οι γυρεοσωλήνες φτάνουν και γονιμοποιούν τα ωάρια σε μια διασταύρωση προς μία κατεύθυνση, αλλά η ανάπτυξή τους αναστέλλεται στο στίγμα, το στύλο ή την ωοθήκη στην αμοιβαία διασταύρωση.

Μονόπλευρη ασυμβατότητα (unilateral incompatibility)

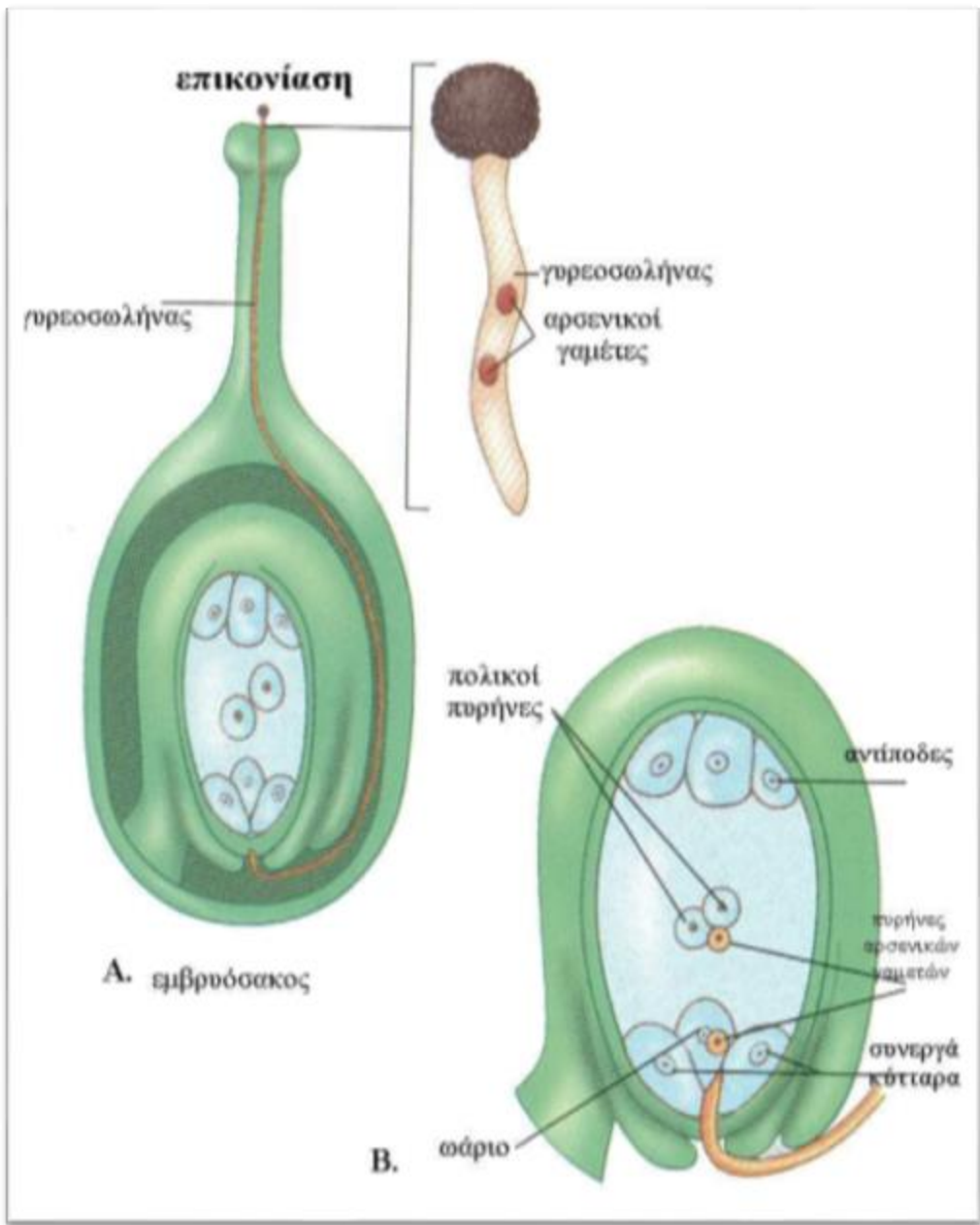
- ❖ Το μεξικάνικο είδος *S. verrucosum* είναι αυτοσυμβατό. Μπορεί να διασταυρωθεί ως θηλυκό, αλλά όχι ως αρσενικό, σε διασταυρώσεις με αυτοασυμβίβαστα είδη
- ❖ Ο στύλος του *S. verrucosum* δεν παράγει τις S-RNases που αναστέλλουν την ανάπτυξη του γυρεοσωλήνα σε διασταυρώσεις με αυτοασυμβίβαστα είδη και είναι πιθανόν ο λόγος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως θηλυκός γονέας σε διασταυρώσεις με είδη του section *Petota*

Ο ρόλος του ενδοσπερμίου και ο αριθμός ενδοσπερμιακής ισορροπίας EBN

Η επιτυχής ανάπτυξη εμβρύων και σπόρων απαιτεί κατάλληλη ανάπτυξη του ενδοσπερμίου.

- ✓ Έμβρυο ($2n$): Αποτέλεσμα γονιμοποίησης ενός ωαρίου ($1n$) με έναν αρσενικό πυρήνα ($1n$)
- ✓ Ενδοσπέρμιο ($3n$): Αποτέλεσμα της γονιμοποίησης πολικών πυρήνων ή κεντρικού πυρήνα ($2n$) με έναν αρσενικό πυρήνα ($1n$)

Ο EBN προβλέπει τη λειτουργία του ενδοσπερμίου σε intraspecific, interploidy, και interspecific διασταυρώσεις μεταξύ πατάτας και άγριων συγγενών.



Ανάπτυξη ενδοσπερμίου

Η φυσιολογική ανάπτυξη του ενδοσπερμίου συμβαίνει μόνο όταν υπάρχει αναλογία δύο πλήρεις ομάδες χρωμοσωμάτων (**γονιδιακές δόσεις**) να προέρχονται από τον θηλυκό γονέα και μια ομάδα από τον αρσενικό γονέα.

- Οι γαμέτες έχουν κατά το ήμισυ τον γονεϊκό EBN
- Τα θηλυκά συνεισφέρουν δύο πολικούς πυρήνες στο ενδοσπέρμιο - η συνεισφορά του μητρικού EBN είναι 2
- Η συνεισφορά του πατρικού EBN είναι 1
- Για τους μη μειωμένους γαμέτες η συνεισφορά των γονέων διπλασιάζεται

2EBN μητρικό: 1EBN πατρικό

Parental EBN

2x(2 EBN)

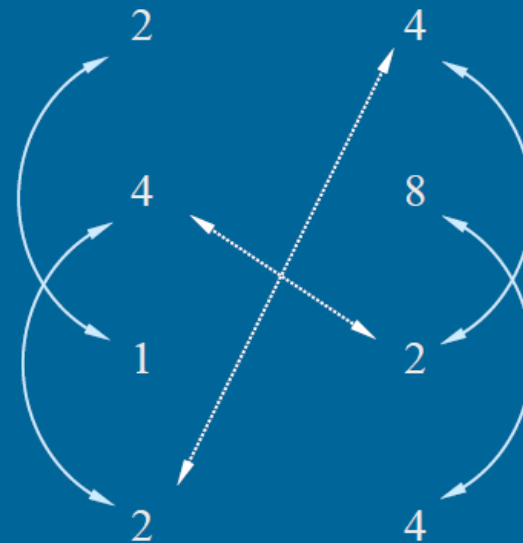
4x(4 EBN)

♀ Reduced

♀ Unreduced

♂ Reduced

♂ Unreduced



Αριθμός ενδοσπερμιακής ισορροπίας- EBN

Ο αριθμός προσδιορίζεται σε έναν γονότυπο με βάση τα αποτελέσματα διασταυρώσεων με καθιερωμένους γονότυπους γνωστού EBN

Το EBN είναι η φαινοτυπική έκφραση που προκύπτει από την συνδυασμένη αλληλεπίδραση ενός μικρού αριθμού γονιδίων (5 ως 7) που επηρεάζουν την επιτυχία ή όχι του ενδοσπερμίου.

Το EBN μπορεί να θεωρηθεί ως η αποτελεσματική παρά η πραγματική πλοειδία ενός είδους.

Triploid Block (αδυναμία διασταύρωσης $4n \times 2n$ για παραγωγή $3n$) λόγω αδυναμίας του ενδοσπερμίου εξαιτίας genetic imprinting)*.

**Διαφορική έκφραση γονιδίου σε ομόλογα χρωμοσώματα λόγω επιγενετικής δράσης (DNA methylation η histone acetylation)*

Πέντε ομάδες ειδών μπορούν να διακριθούν με βάση την πλοειδία και το EBN:

1. διπλοειδή EBN = 1,
2. διπλοειδή EBN = 2,
3. τετραπλοειδή EBN = 2,
4. τετραπλοειδή EBN = 4
5. εξαπλοειδή EBN = 4

22 species: diploid EBN = 1 e.g. *S. bulbocastanum* and *S. commersonii*

178 species: diploid EBN = 2 e.g. *S. chacoense*, *S. microdontum*, *S. spgazzinii* and *S. vernei*

S. tuberosum: diploid EBN = 2

11 species: tetraploid EBN = 2 e.g. *S. acaule* and *S. stoloniferum*

S. tuberosum: tetraploid EBN = 4

8 species: hexaploid EBN = 4 e.g. *S. albicans*, *S. demissum* and *S. hougasii*

Ο αριθμός ενδοσπερμιακής ισορροπίας είναι ένα σπουδαίο ζήτημα στην βελτίωση της πατάτας γιατί:

- ❑ είναι δυνατές οι διασταυρώσεις μεταξύ γονέων διαφορετικής πλοειδίας
- ❑ μη απομειωμένοι γαμέτες δημιουργούνται και σε αρσενικούς και θηλυκούς γονείς. Ο EBN μπορεί να διπλασιαστεί μέσω της δημιουργίας μη απομειωμένων 2n γαμετών.
- ❑ Ο EBN μπορεί επίσης να διπλασιαστεί μιτωτικά με χρήση κολχικίνης
- ❑ Μειώνεται κατά το ήμισυ είτε μέσω της δημιουργίας απλοειδών (in vitro ανδρογένεση) μέσω καλλιέργειας ανθήρων, είτε ειδικά στο *S. tuberosum* με παρθενογένεση με επικονίαση με κλώνους του διπλοειδούς *S. phureja*

Φραγμοί στο επίπεδο του στύλου (stylar barriers)

- Σε αντίθεση με τον EBN είναι προσυζευκτικός απομονωτικός μηχανισμός.
- Παρεμπόδιζεται η επιμήκυνση του γυρεοσωλήνα λόγω ασυμβατότητας με τον ιστό του στύλου.
- Έχει αναφερθεί σε πολλές ενδο- και δια- EBN διασταυρώσεις.
- Η ανάπτυξη του γυρεοσωλήνα μπορεί να παρεμποδιστεί είτε στο επάνω, είτε στο μεσαίο, είτε στο κάτω μέρος του στύλου.
- Εμφανίζει ατελή επίδραση καθώς υπάρχουν περιπτώσεις όπου παράγονται ορισμένοι σπόροι
- Αφορά μια αλληλεπίδραση γονίδιο προς γονίδιο του στύλου και της γύρης.

Διαειδικά υβρίδια μεταξύ αγρίων ειδών (dihaploid-wild species hybrids)

- ❑ Οι άγριοι συγγενείς της πατάτας χρησιμοποιούνται συνήθως σε προγράμματα βελτίωσης ως πηγές γονιδίων που δεν βρίσκεται στις καλλιεργούμενες πατάτες.
- ❑ Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται σε διασταυρώσεις με διαπλοειδή προερχόμενα από τετραπλοειδείς πατάτες.
- ❑ Τα υβρίδια αυτών των διασταυρώσεων επιτρέπουν διατηρούνται “αγρια” γονίδια σε μορφή κλώνων σε κονδύλους, ενώ παρουσιάζουν αξιοσημείωτη ετερωση.
- ❑ Επιπλέον φέρουν γονίδια ανθεκτικότητας σε ασθένειες και αβιοτικές καταπονήσεις.

Προέλευση των πολυπλοειδών

- Η **πλοειδία (ploidy)** αναφέρεται στον αριθμό των αντιγράφων της πλήρους σειράς των χρωμοσωμάτων στο κύτταρο ενός ατόμου.
- η βασική σειρά ή αλλιώς το σύνολο των **μοναδικών διακριτών** χρωμοσωμάτων σε ένα πολυπλοειδές γονιδίωμα ονομάζεται **μονοπλοειδής (monoploid)** σειρά και συμβολίζεται με “ x ”.
- Ο **απλοειδής αριθμός (haploid number) (n)** ο αριθμός των χρωμοσωμάτων στους γαμέτες. Αυτός αντιπροσωπεύει το ήμισυ του αριθμού των χρωμοσωμάτων στα σωματικά κύτταρα, ο οποίος ορίζεται ως $2n$.

Ένα αυτοτετραπλοειδές (τέσσερις βασικές σειρές χρωμοσωμάτων), διαθέτει σωματικά κύτταρα με $2n = 4x=48$ και γαμέτες με $n = 2x=24$.

Άνθρωπος $2n=2x=46$ και $n=x=23$

Διπλοειδή - Τετραπλοειδή

- Με μιτωτικό πολυπλοειδισμό
- Μέσω ενεργών μη μειωμένων γαμετών

- ❖ Η τριπλοειδής πατάτα είναι στείρα και σπάνια καλλιεργείται.
- ❖ Η παραγωγή τριπλοειδούς πατάτας με διασταύρωση $2n \times 4n$ σπάνια είναι επιτυχημένη εξαιτίας του αναπαραγωγικού φράγματος (ή απομόνωσης) που ονομάζεται τριπλοειδής φραγμός (triploid block)»

Η Γενετική της Πατάτας

- Αξιοποίηση της τετραπλοειδούς φύσης της πατάτας
- Αξιοποίηση της μη προσθετικής ή επιστατικής δράσης γονιδίων

Καλλιεργούμενες Τετραπλοειδείς

Solanum tuberosum ssp. *andigena*

Solanum tuberosum ssp. *tuberosum*

Προέλευση των πολυπλοειδών

- Οι στρατηγικές που χρησιμοποιούνται στη βελτίωση των πολυπλοειδών καθορίζονται κυρίως από την προέλευσή τους.
- Οι J.R. Harlan & J.M. de Wet συμπέραναν ότι σχεδόν όλα τα πολυπλοειδή προκύπτουν λόγω της αδυναμίας μείωσης στους γαμέτες.
- Ο πιο κοινός παράγοντας που οδηγεί σε πολυπλοειδία είναι η σύντηξη των $2n$ και n γαμετών για τον σχηματισμό ενός τριπλοειδούς, η οποία ακολουθείται είτε από αναδιασταύρωση είτε από αυτογονιμοποίηση για την παραγωγή ενός τετραπλοειδούς.
- Επιπλέον, παρατήρησαν ότι η εμφάνιση φυσιολογικών γαμετών είναι μεταβαλλόμενη και διαδεδομένη στο φυτικό βασίλειο.

Μη απομειωμένη γύρη - 2n γαμέτες

Γαμέτες με το σποροφυτικό αριθμό χρωμοσωμάτων (2n)

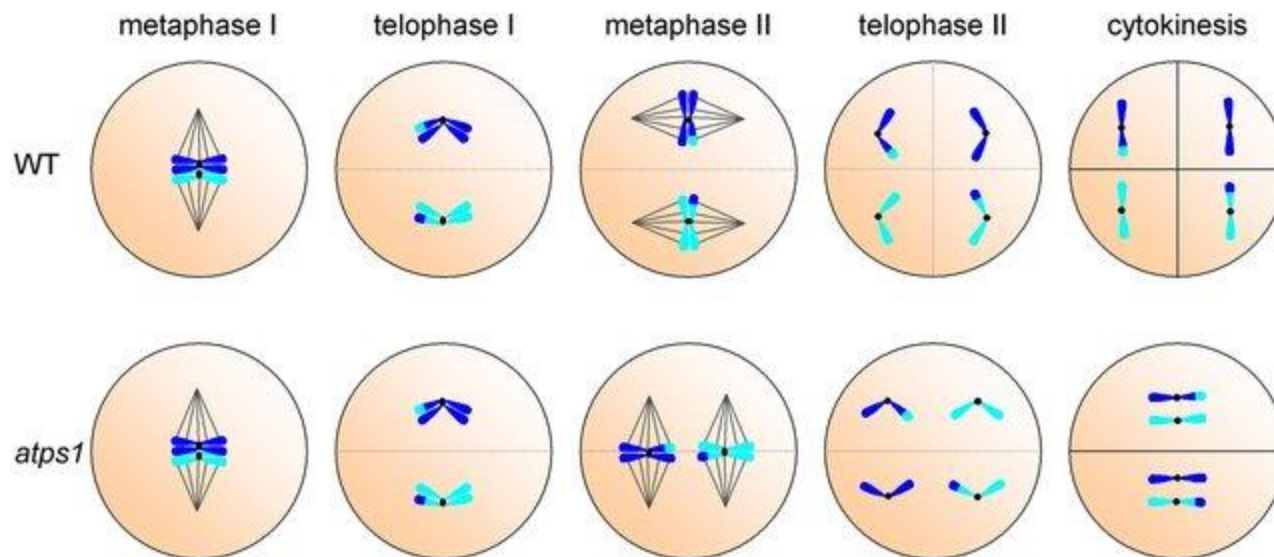
Ο σχηματισμός μη απομειωμένης γύρης δημιουργείται από προ-μειωτικές (pre-meiotic), μειωτικές ή μετα-μειωτικές (post-meiotic) ανωμαλίες.

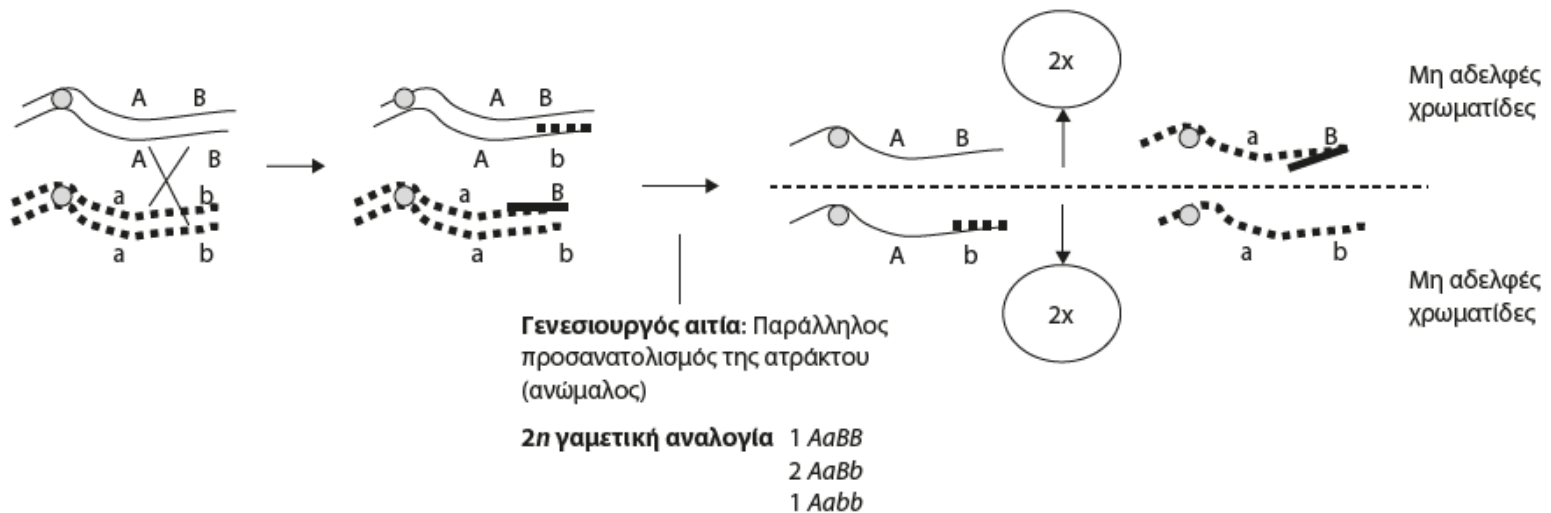
Οι πιο κοινοί μηχανισμοί που έχουν βρεθεί στην πατάτα είναι οι first division restitution (FDR) και second division restitution (SDR).

Αρκετές μειωτικές μεταλλάξεις έχουν βρεθεί που οδηγούν στον σχηματισμό 2n γύρης μέσω του FDR.

Η πιο χρήσιμη είναι το υπολειπόμενο γονίδιο parallel spindle (*ps*).

Σε κύτταρα *ps/ps* κατά την μικροσποριογένεση στη μετάφαση II και την ανάφαση II η άτρακτος οριοθετείται παράλληλα παρεμποδίζοντας την κυτταρική διαίρεση και οδηγώντας στη δημιουργία γύρης $2 \times 2n$ μετά την κυτταροκίνηση.



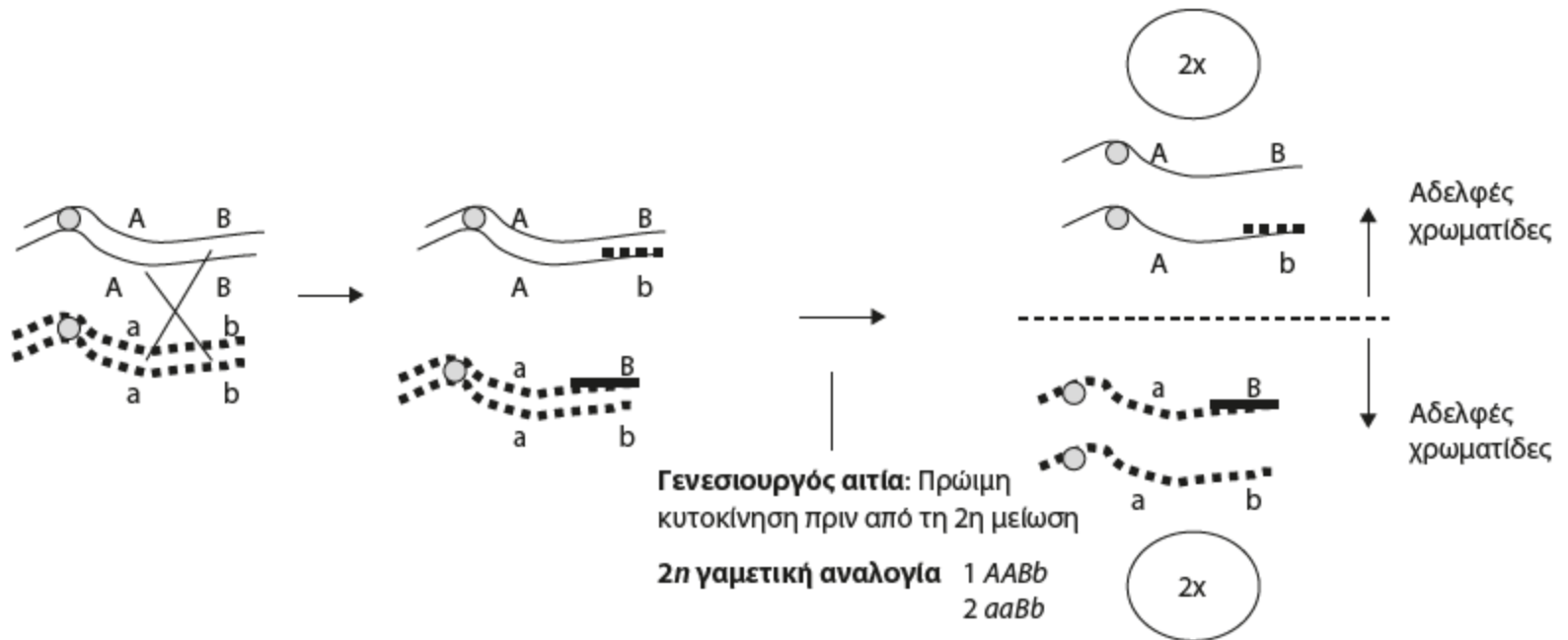


- ❑ FDR μπορεί επίσης να προκύψει από συγχώνευση ατράκτων κατά τη διάρκεια της δεύτερης μειωτικής διαίρεσης, αλλά οι γενετικές συνέπειες είναι οι ίδιες δηλαδή **δημιουργείται γύρη** $2 \times 2n$.
- ❑ Η γενετική επίπτωση του μηχανισμού αυτού είναι ότι **διατηρείται το μεγαλύτερο μέρος της ετεροζυγωτίας** του διπλοειδούς υβριδίου στους 2n γαμέτες.

- ❖ Η μη απομειωμένη γύρη ($2n$) είναι μεγαλύτερη σε μέγεθος σε σχέση με την $1n$.
- ❖ Ερευνητές έχουν προτείνει τη **σύντηξη δύο FDR $2n$ γαμετών** για την αξιοποίηση της ετέρωσης που οδηγεί στη βελτίωση της πατάτας. Αυτού του τύπου η ετέρωση μπορεί να σταθεροποιηθεί.
- ❖ Οι παραγόμενες εκλεκτές σειρές στη συνέχεια θα πολλαπλασιαστούν κλωνικά.
- ❖ Τα πολλαπλασιαζόμενα με σπόρους είδη (π.χ. μηδική) δεν μπορούν να επωφεληθούν από αυτή τη στρατηγική.

Second division restitution (SDR)

- SDR συμβαίνει όταν η πρώτη μειωτική διαίρεση ακολουθείται από μια πρόωρη κυτταροκίνηση, έτσι ώστε να μην συμβαίνει η δεύτερη μειωτική διαίρεση, αλλά οι χρωματίδες να διαχωρίζονται.
- Αυτό οδηγεί σε μια δυάδα με $2 \times 2n$ γαμέτες.



- Ωστόσο, από πλευράς γενετικών συνεπειών, η SDR οδηγεί σε **σημαντικά μειωμένη ετεροζυγωτία στους 2n γαμέτες.**

- Ελέγχεται από το υπολειπόμενο γονίδιο premature cytokinesis (*pc-1*, *pc-2*).

- Στο φαινόμενο εμπλέκονται και γονίδια που ελέγχουν την δυνατότητα δημιουργίας συνάψεων (*sy*) και επιχιασμών.

- Ο σχηματισμός μη 2n ωαρίων είναι πιο συχνά η παράλειψη της δεύτερης μειωτικής διαίρεσης SDR και ελέγχεται από το υπολειπόμενο γονίδιο *os*.

Αποτέλεσμα δράσης FDR και SDR

- Οι γενετικές διαφορές των $2n$ γαμετών που παράγονται με τους δυο μηχανισμούς FDR και SDR αφορούν στις συχνότητες των ετεροζυγωτών (Aa) και των δυο ομοζυγωτών (AA, aa συνεισφέρουν ισόποσα) και κατά πόσο αυτές επηρεάζονται με βάση την απόσταση του γονιδίου από το κεντρομέρος.

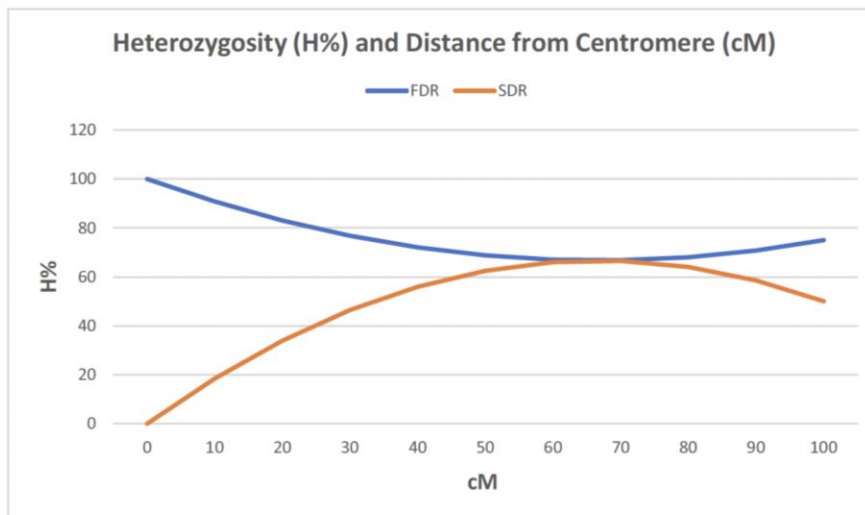
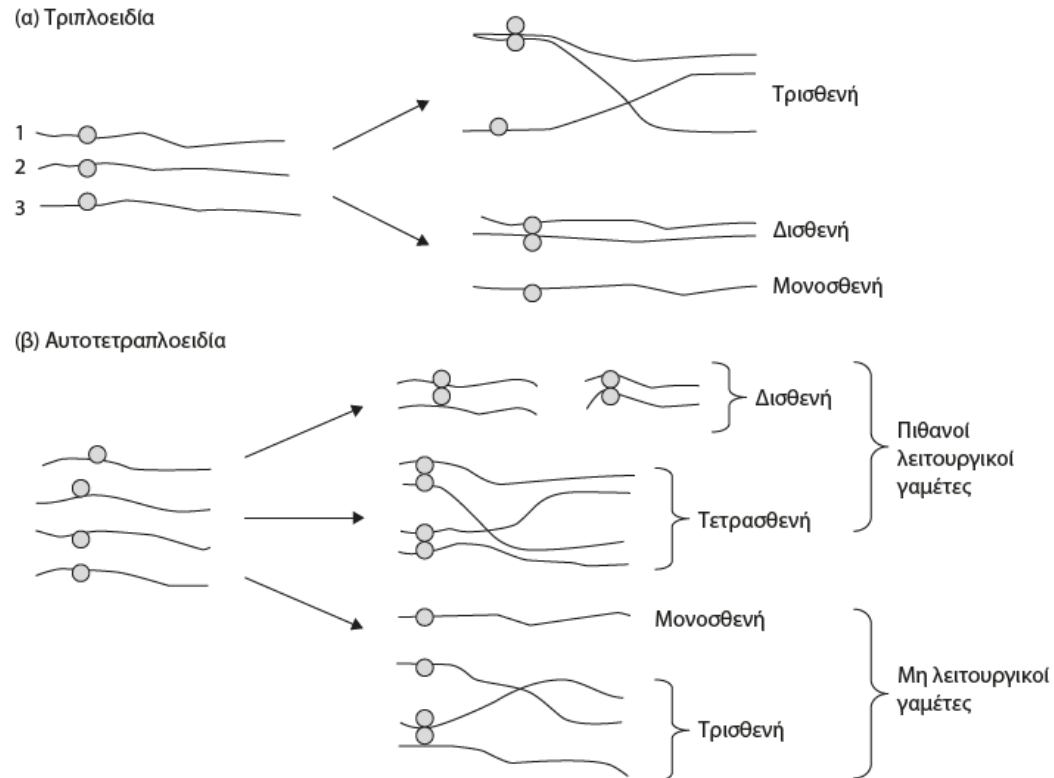


Fig. 2 Change in expected heterozygosity (H%) with distance from centromere in unreduced $2n$ gametes produced by First Division (FDR) and Second Division (SDR) Restitution assuming two chiasmata distributed at random along chromosome arm

- Εκτιμάται ότι η αποκατάσταση της πρώτης μειωτικής διαίρεσης μπορεί να μεταφέρει το 80% της ετεροζυγωτίας και μια σημαντική μερίδα επίστασης
- Αντίθετα η SDR μεταφέρει 40% ετεροζυγωτία
- Και οι δύο μηχανισμοί επιτρέπουν στον βελτιωτή να μεταφέρει επιθυμητές συνδεδεμένες ομάδες και αλληλεπιδράσεις γονιδίων άθικτες

Κυτταρολογία των αυτοπλοειδών

- Τα αυτοπολυπλοειδή περιέχουν περισσότερα από δύο ομόλογα χρωμοσώματα.
- Αντί να σχηματίζουν δισθενείς δομές κατά τη διάρκεια της μείωσης, όπως στην περίπτωση των διπλοειδών, σχηματίζουν και πολυσθενείς δομές.



Σημασία για τους γαμέτες

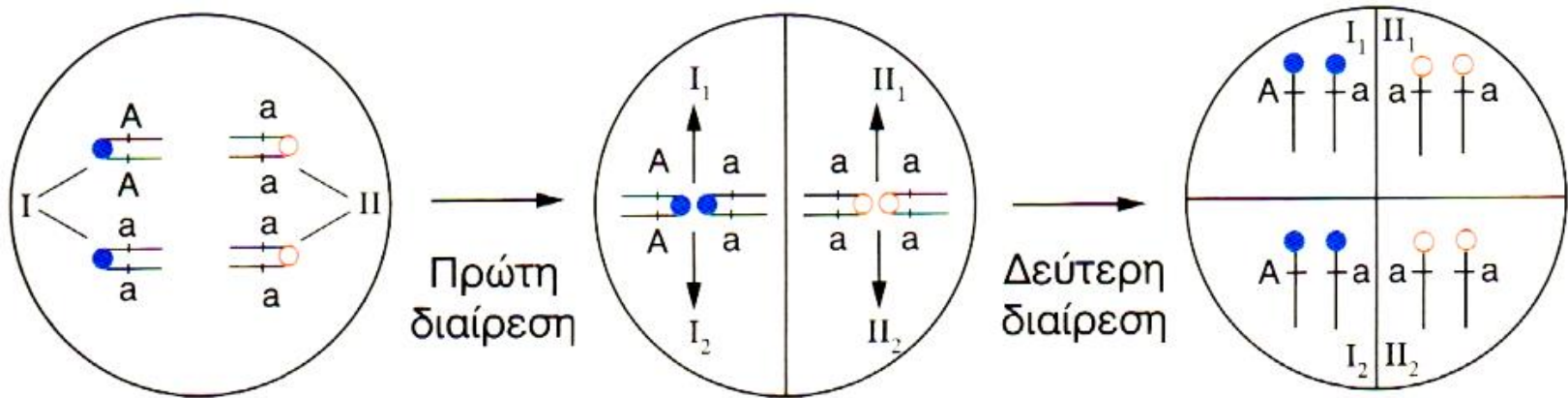
- Οι τετράδες και οι δυάδες εμφανίζουν ομαλό διαχωρισμό
- Δύο χρωμοσώματα οδεύουν προς τον ένα και δύο προς τον άλλο πόλο
- Οι συνδυασμοί δίνουν λειτουργικούς γαμέτες
- Μη λειτουργικοί (μη εξισσοροπημένοι) γαμέτες

Γενετική των αυτοπολυπλοειδών

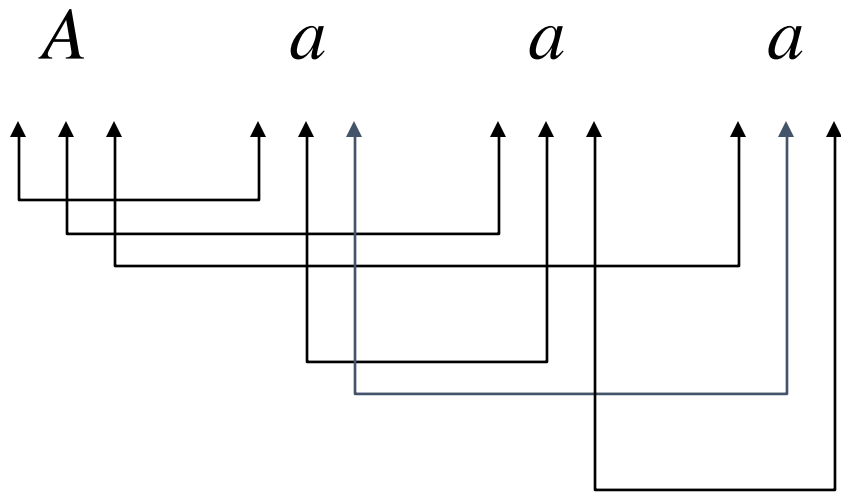
- Ένα διπλοειδές μπορεί να έχει δύο αλληλόμορφα ανά γενετικό τόπο, ενώ ένα αυτοτετραπλοειδές μπορεί να έχει τέσσερα διαφορετικά αλληλόμορφα.
- Η γενετική των αυτοπολυπλοειδών περιπλέκεται από τον πολλαπλό αλληλομορφισμό και την πολυσθενή συσχέτιση των χρωμοσωμάτων κατά τη διάρκεια της μείωσης.
- Σε ένα διπλοειδές είδος για ένα γενετικό τόπο με 2 αλληλόμορφα (A, a) θα υπάρχουν τρεις πιθανοί γονότυποι AA, Aa και aa, ενώ σε αυτοτετραπλοειδές οι γονότυποι είναι οι εξής:

aaaa μηδενικό/ Aaaa μονομερές/ AAaa διμερές/ AAAa τριμερές/ AAAA τετραμερές

- Αν το αλληλόμορφο βρίσκεται πολύ κοντά στο κεντρομέρος **ώστε δεν υπάρχει πιθανότητα c-o** οι αλληλόμορφοι που προέρχονται από αδελφές χρωματίδες οδεύουν κατά την πρώτη μειωτική διαίρεση στον ίδιο πόλο, ενώ κατά την δεύτερη διαχωρίζονται στους αντίθετους πόλους.
- Έτσι δεν μπορούν να καταλήξουν στον ίδιο γαμέτη δύο αλληλόμορφοι που προέρχονται από αδελφές χρωματίδες.

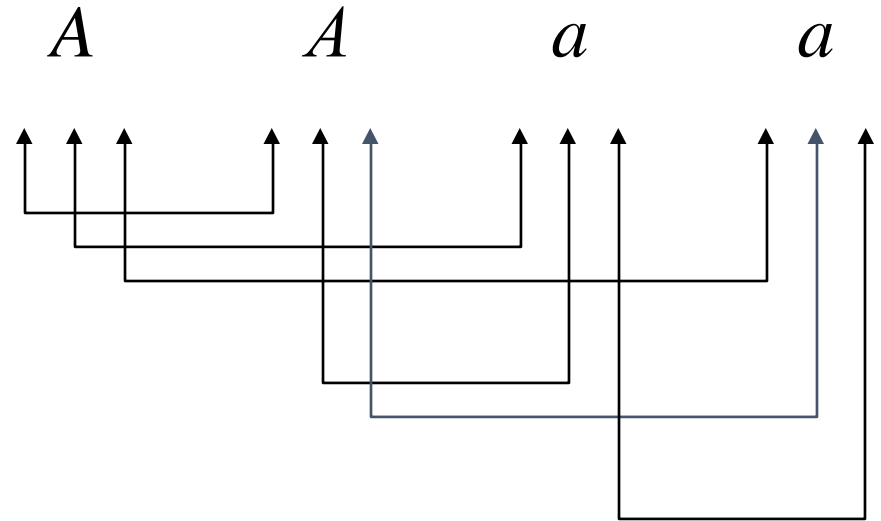


- Γονοτυπική αναλογία γαμετών μονομερούς ατόμου.

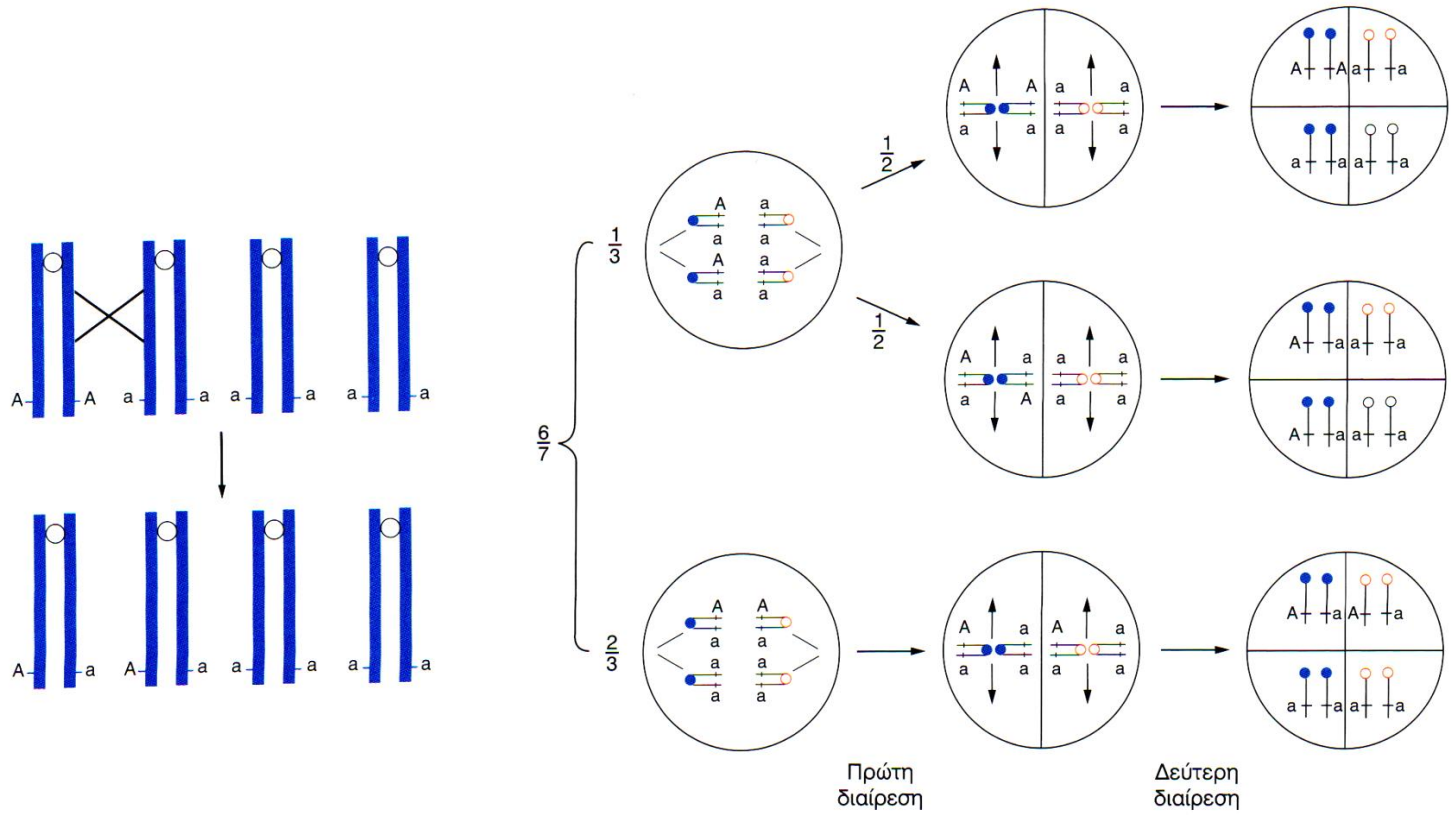


$1Aa : 1aa$

- Γονοτυπική αναλογία γαμετών διμερούς ατόμου.



$1AA : 4Aa : 1aa$



- Ο διαχωρισμός των χρωματίδων συμβαίνει λιγότερο συχνά σε σχέση με τον διαχωρισμό των χρωμοσωμάτων και παράγει εναλλακτικούς τύπους διαχωρισμού.

- Το μονομερές ($Aaaa$) μπορεί να παράγει γαμέτες που είναι ομόζυγοι (AA) με μία διαδικασία που ονομάζεται διπλή αναγωγική διαίρεση όπου αλληλόμορφα που προέρχονται από αδελφές χρωματίδες μπορούν να καταλήξουν στον ίδιο γαμέτη.
- Οι γαμέτες που παράγονται από ένα αυτοτετραπλοειδές με δύο αλληλόμορφα (A, a) φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Ο συντελεστής διπλής αναγωγικής διαίρεσης α προσδιορίζεται ως η πιθανότητα δύο αδελφών χρωματίδων να καταλήξουν στον ίδιο γαμέτη και λαμβάνει τιμή από 0-1/6. Αυξάνεται όσο περισσότερο μακρά βρίσκεται το αλληλόμορφο από το κεντρομέρος.

Table 1 The gametic output of an autotetraploid with two alleles A and a , where α is the coefficient of double reduction

Genotypes	Gametes			Divisor
	AA	Aa	aa	
$AAAA$	1	-	-	1
$AAAa$	$2+\alpha$	$2(1-\alpha)$	α	4
$AAaa$	$1+2\alpha$	$4(1-\alpha)$	$1+2\alpha$	6
$Aaaa$	α	$2(1-\alpha)$	$2+\alpha$	4
$aaaa$	-	-	1	1

Διασταυρώσεις αυτοπολυπλοειδών

**χρωμοσωμικός διαχωρισμός*

	1/6 AA	4/6 Aa	1/6 aa		
1/6 AA	1/36 AAAA	4/36 AAAa	1/36 AAaa		
4/6 Aa	4/36 AAAa	16/36 AAaa	4/36 Aaaa		
1/6 aa	1/36 AAaa	4/36 Aaaa	1/36 aaaa		
4n	1/36AA	8/36AAAa	18/36AAaa	8/36Aaaa	1/36aaaa
2n	1/4AA	1/2Aa	1/4aa		

- Ο αριθμός των παρατηρούμενων φαινοτύπων εξαρτάται από τη σχέση κυριαρχίας του A και του a.
- Εάν το αλληλόμορφο A παρουσιάζει πλήρη κυριαρχία έναντι του αλληλόμορφου a, θα υπάρχουν μόνο δύο φαινότυποι.
- Εάν η κυριαρχία είναι ατελής ή η επίδραση του αλληλόμορφου A είναι συσσωρευτική, μπορεί να υπάρχουν έως και πέντε φαινότυποι.
- Μετά από αυτογονιμοποίηση, ένας κυρίαρχος φαινότυπος ενός διπλοειδούς (A-) θα παράγει απογόνους που είναι όλοι κυρίαρχοι, ή θα διαχωριστούν σε αναλογία 3 : 1.

Η αυτογονιμοποίηση καθεμιάς από τις πέντε κατηγορίες θα παράγει πολύ διαφορετικά αποτελέσματα στα αυτοτετραπλοειδή, υπό την προϋπόθεση ότι έχουμε τυχαίο χρωμοσωμικό διαχωρισμό.

Εάν υποθέσουμε πλήρη κυριαρχία και χρωμοσωμικό διαχωρισμό παρατηρούνται οι ακόλουθες φαινοτυπικές αναλογίες. Οι συγκεκριμένες αναλογίες διαχωρισμού είναι ορισμένες φορές ενδεικτικές της φύσης της κληρονομικότητας του αυτοτετραπλοειδούς.

Διασταύρωση	Απόγονοι (επικρατή: υπολειπόμενα)
AAAA × AAAA	1 : 0
AAAa × AAAa	1 : 0
AAaa × AAaa	35 : 1
AAaa × Aaaa	11 : 1
AAaa × aaaa	5 : 1
Aaaa × Aaaa	3 : 1
Aaaa × aaaa	1 : 1

Με διαχωρισμό χρωματίδων και c-o μεταξύ αλληλομόρφων και κεντρομέρους

Διασταύρωση	Απόγονοι	
	Τυχαίος συνδυασμός χρωματοσωμάτων	Τυχαίος συνδυασμός χρωματίδων
<i>AAAA</i> αυτογον.	100% [<i>A</i>]	100% [<i>A</i>]
<i>AAAa</i> αυτογον.	100% [<i>A</i>]	783 [<i>A</i>] : 1 [<i>a</i>]
<i>AAaa</i> αυτογον.	35 [<i>A</i>] : 1 [<i>a</i>]	20,8 [<i>A</i>] : 1 [<i>a</i>]
<i>Aaaa</i> αυτογον.	3 [<i>A</i>] : 1 [<i>a</i>]	2,5 [<i>A</i>] : 1 [<i>a</i>]
<i>aaaa</i> αυτογον.	100% [<i>a</i>]	100% [<i>a</i>]
<i>AAAa</i> × <i>AAaa</i>	100% [<i>A</i>]	130 [<i>A</i>] : 1 [<i>a</i>]
<i>AAAa</i> × <i>Aaaa</i>	100% [<i>A</i>]	51,3 [<i>A</i>] : 1 [<i>a</i>]
<i>AAAa</i> × <i>aaaa</i>	100% [<i>A</i>]	27 [<i>A</i>] : 1 [<i>a</i>]
<i>AAaa</i> × <i>Aaaa</i>	11 [<i>A</i>] : 1 [<i>a</i>]	7,7 [<i>A</i>] : 1 [<i>a</i>]
<i>AAaa</i> × <i>aaaa</i>	5 [<i>A</i>] : 1 [<i>a</i>]	3,7 [<i>A</i>] : 1 [<i>a</i>]
<i>Aaaa</i> × <i>aaaa</i>	1 [<i>A</i>] : 1 [<i>a</i>]	0,87 [<i>A</i>] : 1 [<i>a</i>]

Όταν διασταυρωθούν με υπολειπόμενα άτομα δίνουν πολύ υψηλές αναλογίες κυριαρχικών ατόμων

Διμερείς μορφές

Είναι χρήσιμες στη βελτίωση:

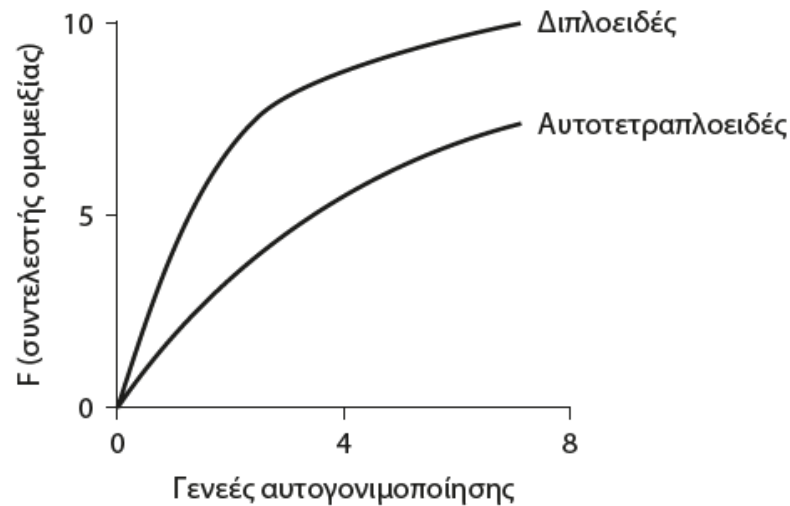
Όταν διασταυρωθούν με υπολειπόμενα άτομα δίνουν πολύ υψηλές αναλογίες κυριαρχικών ατόμων:

- 5:1 με χρωσωμικό διαχωρισμό
- 3,67:1 με χρωματιδικό διαχωρισμό

- Ένα αυτοπολυπλοειδές άτομο μπορεί να διαθέτει έως και τέσσερα αλληλόμορφα (a_1, a_2, a_3, a_4) ανά γενετικό τόπο.
- Ομοίως, είναι δυνατή η ύπαρξη έως και πέντε διαφορετικών κατηγοριών γονοτύπων, με τη διαφορά ότι μπορεί να υπάρχουν μόνο τέσσερις πολλαπλοί γονότυποι ($a_1 a_1 a_1 a_1, a_2 a_2 a_2 a_2, a_3 a_3 a_3 a_3, a_4 a_4 a_4 a_4$), μόνο ένας τετραγονιδιακός γονότυπος ($a_1 a_2 a_3 a_4$), αλλά πολυάριθμοι συνδυασμοί ενδιάμεσων γονοτύπων.

Τετρασωμική κατάσταση	
$a_1 a_1 a_1 a_1$	Όλα τα αλληλόμορφα είναι πανομοιότυπα, μονοαλληλικά, ισορροπημένα.
$a_1 a_1 a_1 a_2$	Δύο διαφορετικά αλληλόμορφα, διαλληλικά, μη ισορροπημένα.
$a_1 a_1 a_2 a_2$	Δύο διαφορετικά αλληλόμορφα, διαλληλικά, ισορροπημένα.
$a_1 a_1 a_2 a_3$	Τρία διαφορετικά αλληλόμορφα, τριαλληλικά.
$a_1 a_2 a_3 a_4$	Τέσσερα διαφορετικά αλληλόμορφα, τετραλληλικά.

Επειδή για την επίτευξη ομοζυγωτίας σε ένα αυτοτετραπλοειδές απαιτούνται τέσσερα πανομοιότυπα αλληλόμορφα σε σύγκριση με τα δύο μόνο που απαιτούνται σε ένα διπλοειδές, η ομοζυγωτία επιτυγχάνεται με λιγότερο ταχύ ρυθμό στα αυτοτετραπλοειδή.



Υπάρχει δυσκολία διάκρισης μεταξύ ενός τριμερούς και ενός τετραμερούς αυτοπολυπλοειδούς καθώς οι γονότυποι AAAA και AAAa αναπαράγονται αμιγώς για το κυρίαρχο άλληλόμορφο.

Η επίτευξη γενετικής καθαρότητας στα αποθέματα των αυτοτετραπλοειδών είναι δύσκολη καθώς:

- Είναι δύσκολο να προσδιοριστούν τα τριμερή φυτά,
- Τα επιβλαβή γονίδια να διατηρηθούν σε ένα αυτοτετραπλοειδές και να εκδηλώνονται μόνο σπάνια στα ομόζυγα άτομα.

Ο βελτιωτής θα χρειαστεί δύο πρόσθετες γενεές για να ταυτοποιήσει κατηγορηματικά τον ομόζυγο κυρίαρχο γονότυπο.

- Σε ένα αυτοτετραπλοειδές μπορούν να συμβούν αλληλεπιδράσεις μεταξύ διαφορετικών ή όμοιων αλληλομόρφων όταν υπάρχουν έως τέσσερα αλληλόμορφα ανά γενετικό τόπο.
- Ο βαθμός εκδήλωσης αλληλεπιδράσεων μεταξύ όμοιων αλληλομόρφων καθορίζει την έκφραση της ετέρωσης και του ομομεικτικού εκφυλισμού.

Ο βαθμός εκδήλωσης καθορίζεται από:

- ✓ Αλληλεπιδράσεις στον ίδιο γενετικό τόπο (ετεροζυγωτία).
- ✓ Αλληλεπιδράσεις σε διαφορετικούς γενετικούς τόπους (επίσταση).
- ✓ Πόσο διαφορετικοί είναι οι τέσσερις αλληλόμορφοι σε έναν γενετικό τόπο.

Ετεροζυγωτία και γονιδιακές επιδράσεις

- Πως μπορεί η ετεροζυγωτία να οδηγήσει σε περισσότερες γονιδιακές αλληλεπιδράσεις είτε μεταξύ αλληλομόρφων του ίδιου γενετικού τόπου ή αλληλομόρφων είτε διαφορετικών γενετικών τόπων (επιστατικές).
- Ο μεγαλύτερος αριθμός αλληλόμορφων ανά τόπο σε πολυπλοειδή μπορεί να διευκολύνει την εξέλιξη θετικών επιστατικών αλληλεπιδράσεων
- Απαραίτητη η αναγνώριση των αλληλικών καταστάσεων που είναι δυνατές σε ένα αυτοτετραπλοειδές
- Πέντε τετρασωμικές καταστάσεις είναι δυνατές σε ένα γενετικό τόπο σε ένα αυτοτετραπλοειδές

Τετρασωμική κατάσταση

- $\alpha_1\alpha_1\alpha_1\alpha_1$ μονοαλληλικός γενετικός τύπος όπου όλοι οι αλληλόμορφοι είναι ίδιοι
- $\alpha_1\alpha_1\alpha_1\alpha_2$ μη ισορροπημένος διαλληλικός γενετικός τύπος
- $\alpha_1\alpha_1\alpha_2\alpha_2$ ισορροπημένος διαλληλικός
- $\alpha_1\alpha_1\alpha_2\alpha_3$ τριαλληλικός
- $\alpha_1\alpha_2\alpha_3\alpha_4$ τετρααλληλικός

$a_1a_2a_3a_4$

Η τετραλληλική κατάσταση παρέχει την μέγιστη ετέρωση γιατί είναι δυνατές περισσότερες αλληλεπιδράσεις σε διαφορετικούς γενετικούς τύπους

Δυνατές Αλληλεπιδράσεις

- $a_1a_2, a_1a_3, a_1a_4, a_2a_3, a_2a_4, a_3a_4$ (πρώτου βαθμού)
- $a_1a_2a_3, a_1a_2a_4, a_1a_3a_4, a_2a_3a_4$ κλπ. (δευτέρου βαθμού)
- $a_1a_2a_3a_4$ (τρίτου βαθμού)

Αλληλεπιδράσεις γονιδίων

Αθροιστική:

Διαφορετικά γονιδίων ή αλληλόμορφα του ίδιου γονιδίου που ελέγχουν ένα γνώρισμα με τρόπο που κάθε ένα από αυτά βελτιώνει την έκφραση του γνωρίσματος: $aabb = 0$, $Aabb = 1$, $AAbb = 2$, $AABb = 3$, $AABB = 4$

Κυριαρχική:

Ο ετεροζυγώτης εμφανίζει παρόμοιο φαινότυπο με τον ένα ομοζυγώτη γονέα: $aa = 0$, $Aa = 2$, $AA = 2$

Αλληλεπιδράσεις γονιδίων

Επιστατική:

- Αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης γονιδίων διαφορετικών γενετικών τόπων. Δυο ξεχωριστά γονίδια μπορεί να μην έχουν καμία επίδραση, ο συνδυασμός τους όμως έχει: $AAbb = 0$, $aaBB = 0$, $A_B_ = 4$

Υπερκυριαρχίας:

- Κάθε αλληλόμορφος ξεχωριστά έχει κάποια επίδραση. Ο συνδυασμός έχει μεγαλύτερη επίδραση: $aa = 1$, $AA = 1$, $Aa = 2$

Αριθμός Αλληλικών Αλληλεπιδράσεων

Ο αριθμός των πιθανών αλληλεπιδράσεων είναι (α) πρώτης τάξης (π.χ. a_1a_2 , a_1a_3), (β) δεύτερης τάξης (π.χ. $a_1a_2a_3$, $a_1a_3a_4$) και (γ) τρίτης τάξης ($a_1a_2a_3a_4$) αλληλεπίδραση. Αυτό εξαρτάται από την τετρασωμική κατάσταση.

Τετρασωμική κατάσταση	1n	2n	3n	Σύνολο
$a_1a_2a_3a_4$	6	4	1	11
$a_1a_1a_2a_3$	3	1	0	4
$a_1a_1a_2a_2$	1	0	0	1
$a_1a_1a_1a_2$	1	0	0	1
$a_1a_1a_1a_1$	0	0	0	0

Συμπέρασμα

- ❖ Στην τετραλληλική κατάσταση 11 διαφορετικές αλληλεπιδράσεις
- ❖ Σε μονοαλληλική καμμία
- ❖ Το υψηλότερο επίπεδο ετέρωσης θα συμβεί καθώς αυξάνει η συχνότητα των τετραλληλικών γενετικών τόπων

Μείζονα γονίδια

Τα μεντελικά γονίδια ονομάζονται και κύρια ή μείζονα γονίδια (major genes) (ή ολιγογονίδια-oligogenes).

Οι επιδράσεις τους μπορούν να κατηγοριοποιηθούν εύκολα σε λίγες ή πολλές μη επικαλυπτόμενες ομάδες. Η παραλλακτικότητα θεωρείται διακριτή.

- Καθορίζουν την έκφραση ποιοτικών χαρακτηριστικών
- Διαχωρίζονται σαφώς στους απογόνους των διασταυρώσεων
- Βρίσκονται σε μονοκυριαρχική κατάσταση στο βελτιωτικό υλικό (Αααα)

Πολυγονίδια

- Ορισμένα γνωρίσματα ελέγχονται από λίγα ή πολλά γονίδια που έχουν επιδράσεις πολύ μικρές για να μπορούν να διακριθούν μεμονωμένα.
- Τα γονίδια αυτά χαρακτηρίζονται από μη διακριτή (ή συνεχή) παραλλακτικότητα.
- Ελέγχουν χαρακτηριστικά όπως η απόδοση
- Βελτίωση χαρακτηριστικών που δεν ελέγχονται από μείζονα γονίδια

Εκμετάλλευση της ετέρωσης

- Αποτελεί από τους κυριότερους σκοπούς της βελτίωσης της πατάτας
- Γονίδια που ευθύνονται για την ετέρωση συνεργάζονται είτε αθροιστικά είτε μη αθροιστικά
- Η εκμετάλλευση είναι δύσκολη λόγω της τετρασωμικής κληρονομικότητας

Η αναλογία των ετερωτικών φυταρίων σε έναν πληθυσμό έχει μεγαλύτερη τιμή όταν:

- ✓ Οι γονείς δεν έχουν αυτογονιμοποιηθεί επί πολλές γενεές
- ✓ Υπάρχει μεγάλος βαθμός ετεροαλληλισμού
- ✓ Οι γονείς ανήκουν σε διαφορετικές γενετικές ομάδες

Ετέρωση

- ✓ Αυξημένη ετεροζυγωτία οδηγεί σε ετέρωση.
- ✓ Προωθούνται οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ γονιδίων και επιλέγονται οι ευεργετικοί γονιδιακοί συνδυασμοί.
- ✓ Ετέρωση στην πατάτα συμβαίνει όταν οι απόγονοι ξεπερνούν τον καλύτερο γονέα ή την μέση τιμή των γονέων.
- ✓ Όσο περισσότερο διαφορετικοί είναι οι αλληλόμορφοι σε ένα γενετικό τόπο τόσο μεγαλύτερη είναι η ετεροζυγωτία και μεγαλύτερος ο αριθμός των επιστατικών αλληλεπιδράσεων.

Η βελτίωση της πατάτας και η ανάγκη για νέες ποικιλίες

Παρά τον μεγάλο αριθμό των σημερινών διαθέσιμων ποικιλιών υπάρχει μια συνεχής ανάγκη για νέες ποικιλίες

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση σημαντικά κριτήρια αποτελούν η οικονομικότητα και η περιβαλλοντική αειφορία:

- Οι νέες ποικιλίες πρέπει να αποφέρουν μεγαλύτερη απόδοση εμπορεύσιμου προϊόντος με μικρότερο κόστος παραγωγής.
- Πρέπει να διαθέτουν ενσωματωμένη ανθεκτικότητα σε εχθρούς και ασθένειες

Η βελτίωση της πατάτας και η ανάγκη για νέες ποικιλίες

- Επίσης αυξημένη αποτελεσματικότητα στη χρήση νερού και ανόργανων συστατικών στοιχεία που θα επιτρέπουν τη μειωμένη χρήση φυτοφαρμάκων και μυκητοκτόνων και την καλύτερη χρήση του νερού και των λιπασμάτων.
- Επιπλέον, θα πρέπει να διαθέτουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που απαιτούν οι μεταποιητές και η αγορά.
- Τέλος, οι νέες ποικιλίες θα πρέπει να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις των καταναλωτών για προπαρασκευασμένα τρόφιμα, αυξημένα οφέλη για τη διατροφή και την υγεία, βελτιωμένη γεύση και καινοτόμα προϊόντα.

Η βελτίωση της πατάτας και η ανάγκη για νέες ποικιλίες

Στην Ασία, την Αφρική και τη Λατινική Αμερική, υπάρχει ανάγκη για την κάλυψη της αυξανόμενης ζήτησης για τρόφιμα λόγω αύξησης του ανθρώπινου πληθυσμού.

Οι νέες ποικιλίες θα πρέπει να προσφέρουν υψηλότερες αποδόσεις

- κάτω από συνθήκες χαμηλών εισροών,
- επιθέσεις ασθενειών και επιβλαβών οργανισμών και περιβαλλοντικές καταπονήσεις ιδιαίτερα, με την υδατική καταπόνηση να επηρεάζει την παραγωγή πατάτας στις περισσότερες περιοχές του κόσμου.

Η βελτίωση της πατάτας και η ανάγκη για νέες ποικιλίες

- Οι νέες ποικιλίες πρέπει να διαθέτουν βελτιωμένες ιδιότητες που σχετίζονται με τη διατροφή και την υγεία, όπως υψηλότερα επίπεδα μικροθρεπτικών συστατικών (βιοενίσχυση).
- Η μεγαλύτερη ανάγκη είναι η αύξηση των αποδόσεων σε νωπό βάρος από έναν παγκόσμιο μέσο όρο 1,7 τόνοι/στρέμμα στα ευρωπαϊκά και βορειοαμερικανικά επίπεδα όπου επιτυγχάνεται απόδοση πάνω από 4,0 τόνους/στρέμμα.
- πιο σημαντική η ανάγκη για ποικιλίες που χρησιμοποιούν αποτελεσματικότερα το νερό, και είτε αποφεύγουν την ξηρασία (ταχύτερη παραγωγή κονδύλων) είτε είναι ανεκτικές στην ξηρασία

Χαρακτηριστικά καλών ποικιλιών

Μια καλή ποικιλία θα πρέπει να συγκεντρώνει πολλά χαρακτηριστικά όπως παρακάτω:

- Απόδοση (harvest index) –
- Προσαρμοστικότητα στις σύγχρονες καλλιεργητικές μεθόδους
- Συγκομιδή
- Αποθήκευση

- Ανθεκτικότητα σε βιοτικούς και αβιοτικούς παράγοντες
- Ποιότητα ανάλογα με την τελική χρήση

Προβλήματα στην παραγωγή σπόρου

- Αποτυχία άνθησης
- Οφθαλμόπτωση ή ανθόπτωση πριν ή μετά την γονιμοποίηση
- Μικρή παραγωγή γύρης ή μηδενική στις εμπορικές ποικιλίες
- Αποτυχία παραγωγής ζωντανής γύρης
- Αρρενοστεριότητα
- Αυτοασυμβίβαστο

Πλεονέκτημα Αγενούς Πολλαπλασιασμού

- ✓ Διαιώνιση επιθυμητών γονοτύπων χωρίς αλλαγές (ελάχιστες σωματικές μεταλλάξεις)

Μειονεκτήματα Αγενούς Πολλαπλασιασμού

- Έλεγχος απουσίας ιών σε όλα τα στάδια επιλογής και πολλαπλασιασμού
- Ύπαρξη ετεροζυγωτικών ποικιλιών - Μεταβίβαση καλών χαρακτηριστικών σε μικρή αναλογία των απογόνων τους
- Δεν γίνονται όλες οι διασταυρώσεις (δεν ανθίζουν ή εμφανίζεται αρρενοστεριότητα)

Μειονεκτήματα Αγενούς Πολλαπλασιασμού

- Οχι αποτελεσματική επιλογή φυταρίων που προέρχονται από βοτανικό σπόρο λόγω μεγέθους πληθυσμού στην πρώτη κλωνική γενιά αλλά και του διαφορετικού τρόπου πολλαπλασιασμού
- Χρειάζεται πολλαπλασιασμός κλώνων κάθε χρόνο [προκειμένου να διατηρηθεί το υλικό.
- Αναλογία πολλαπλασιασμού μικρή σε σχέση με τον πολλαπλασιασμό με σπόρο.
- Αποθήκευση κονδύλων – πρόβλημα χρειάζονται ειδικές εγκαταστάσεις για την αποθήκευση τους.
- Μεταφορά κονδύλων – δαπανηρή σε σχέση με σπόρους.

Επιλογή γονέων

- Γονείς που δεν συγγενεύουν γενετικά
- Ετέρωση
- Αξιολόγηση γονέων με διασταυρώσεις δοκιμασίας χρησιμοποιώντας 100-200 φυτάρια

Φυτάρια δοκιμασίας

- Διατήρηση περισσότερων φυταρίων από εκείνους τους γονείς που έχουν καλή συνδυαστική ικανότητα.
- Ανάλυση φυταρίων που προέρχονται από αυτογονιμοποίηση - Μεγάλη προσοχή λόγω των επιπλοκών της ομομειξίας

Επιλογή φυταρίων

- ❖ Την πρώτη χρονιά επιλέγουμε για χαρακτηριστικά που εκφράζονται σαφώς
- ❖ Μας ενδιαφέρει να ελέγχονται κυρίως από μείζονα γονίδια
- ❖ Χαρακτηριστικά που ελέγχονται από πολυγονίδια χρειάζονται εκτεταμένο πειραματισμό στο χωράφι

Κριτήρια επιλογής φυτών

- Απόδοση
- Μέγεθος-σχήμα κονδύλου
- Χρώμα σάρκας
- Πρωιμότητα
- Ευαισθησία στους ιούς
- Αποθηκευτική ικανότητα
- Μηχανική συλλογή και χρήση

Κλασσική βελτίωση υβριδισμού

Κύρια μέθοδος στην βελτίωση της πατάτας

- Επιλογή επιθυμητών γονέων

Διασταυρώσεις γίνονται ανάμεσα σε εμπορικές ποικιλίες ή με φυτά που αναπτύχθηκαν από βελτίωση πληθυσμών - Εμπορικές ποικιλίες ετεροζυγωτικές

- Διάσπαση χαρακτηριστικών στην F1
- Κλωνική επιλογή στην F1 και σπάνια στην F2

Κλασσική βελτίωση υβριδισμού

- Κόνδυλοι από το κάθε επιλεγμένο F1 φυτό μπορεί να καλλιεργηθούν σε F1 σειρές για αξιολόγηση και αύξηση της ποσότητας των κονδύλων
- Κάθε σειρά αντιπροσωπεύει την κλωνική αύξηση από ένα μοναδικό F1 φυτό
- Στην επόμενη γενιά οι κλώνοι μπορούν να καλλιεργηθούν σε πολλές τοποθεσίες και χρονιές και να δοκιμαστούν για ασθένειες, απόδοση κλπ.

Γενεαλογική Βελτίωση

- ✓ Διασταύρωση προσεκτικά επιλεγμένων γονέων
- ✓ Πρέπει να έχει προσδιοριστεί η κληρονομικότητα των χαρακτηριστικών των γονέων

Η μέθοδος επιτρέπει

- Την εκτίμηση της συνδυαστικής ικανότητας
- Τον σχεδιασμένο συνδυασμό χαρακτηριστικών
- Την πρόβλεψη της πιθανότητας συνδυασμού των χαρακτηριστικών στους απογόνους

Μειονεκτήματα

Πολλά εργατικά και χρονοβόρα

Πληθυσμιακή Βελτίωση

- Πλεονέκτημα δεν θέλει πολλά εργατικά.
- Μειονέκτημα δεν είναι γνωστή η πατρότητα των κλώνων
- Δεν μπορούν να προβλεφθούν οι αναλογίες διαχωρισμού

Άρχισε στο *ssp. Andigena* – *ssp. Tuberosum* και η βελτίωση ακολούθησε τα βήματα της εξέλιξης του είδους στην Ευρώπη

Βελτίωση Neo-tuberosum

- Για τη δημιουργία μορφών neo-tuberosum επιλέγονται κλώνοι του *ssp. Andigena*
- Μετά από πειράματα 3 χρόνων σε μεγάλη φωτοπερίοδο απορρίπτονται οι χαμηλοαποδοτικοί και όψιμοι κλώνοι.
- Συλλέγονται οι βοτανικοί σπόροι από ελεύθερη επικονίαση σπέρνονται και ακολουθεί οπτική επιλογή στους απογόνους
- Λόγω του μεγάλου ποσοστού του βοτανικού σπόρου που προέρχεται από αυτογονιμοποίηση, γίνεται τεχνητή επικονίαση.

Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να επιτευχθεί προσαρμοστικότητα στην μεγάλη φωτοπερίοδο

Πλεονεκτήματα Πληθυσμιακής Βελτίωσης

- Εύκολη μεταφορά γονιδίων από *ssp. andigena* σε *ssp. tuberosum*
- αύξηση ετεροζυγωτίας και όταν τα neo-tuberosum διασταυρώνονται με Tuberosum δίνουν μεγαλύτερες αποδόσεις σε σχέση με τις διασταυρώσεις Tuberosum μόνο.

Η μέθοδος ενδείκνυται για τις αναπτυσσόμενες χώρες που δεν έχουν υψηλοαποδοτικές ποικιλίες προσαρμοσμένες στις δικές τους συνθήκες.

Τυπικό Σχήμα Βελτίωσης (Scottish Crop Research Institute-SCRI)

Η διάρκεια του βελτιωτικού σχήματος ήταν 12 έτη:

- Έτος 1 – Επιλογή γονέων και διασταυρώσεις (200-300). Έλεγχος απογόνων σε 200 φυτάρια x 2 επαναλήψεις x 25 σποριόφυτα (οπτική αξιολόγηση των κονδύλων)
- Έτος 2 - οπτική αξιολόγηση των σποριόφυτων (100.000) σε θερμοκήπιο,
- Έτος 3 – οπτική αξιολόγηση των μεμονωμένων φυτών (50.000) στην περιοχή σποράς,
- Έτος 4 - οπτική αξιολόγηση των μικρών πειραματικών τεμαχίων που δεν διέθεταν επαναλήψεις (4000) στην περιοχή σποράς και περιορισμένη αξιολόγηση της ποιότητας και της ανθεκτικότητας στις ασθένειες μετά τη συγκομιδή.

Τυπικό Σχήμα Βελτίωσης (Scottish Crop Research Institute-SCRI)

- Έτη 5-7 - δοκιμές απόδοσης (1000, 500 και 200 κλώνοι) στον σταθμό βελτίωσης, παραγωγή σπόρων στην περιοχή σποράς και έλεγχος για ασθένειες και ποιότητα.
- Έτη 8-10 - δοκιμές σε πολλαπλές θέσεις (60, 10, και 5 κλώνοι) στη Βρετανία και στο εξωτερικό και παραγωγή σπόρων σε μεγαλύτερη κλίμακα στην περιοχή σποράς.
- Έτη 11 και 12 – δοκιμές για εγγραφή στον Εθνικό Κατάλογο. Αίτηση εγγραφής για τα Δικαιώματα των Βελτιωτών Φυτών και πολλαπλασιασμός από απόθεμα απαλλαγμένο από ασθένειες.
- Έτος 13 - εγγραφή της νέας ποικιλίας (ή ποικιλιών) στον Εθνικό Κατάλογο, 12 έτη μετά τη διασταύρωση.

Διεύρυνση της γενετικής βάσης με στόχο τη μελλοντική βελτίωση της πατάτας

- Χρήση της παγκόσμιας συλλογής των 3.527 καλλιεργούμενων ποικιλιών πατάτας που είναι ιθαγενείς στη Λατινική Αμερική, από το Διεθνές Κέντρο Πατάτας (CIP) στο Περού
- Χρήση των άγριων ειδών για βελτίωση στην ανθεκτικότητα σε αβιοτικές και βιοτικές καταπονήσεις.
- Με χειρισμό της πλοειδίας, βάση και του EBN, σχεδόν κάθε είδος πατάτας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρεμβολή των επιθυμητών γονιδίων στο *S. tuberosum*

Solanum etuberosum: η χρήση του στη γενετική βελτίωση της πατάτας

- Το *Solanum etuberosum* είναι ένα άγριο είδος πατάτας ενδημικό της Χιλής.
- Βρίσκεται μεταξύ βράχων σε πλαγιές με παρουσία νερού ή κατά μήκος ρεμάτων σε ανοικτές τοποθεσίες ή στη σκιά δένδρων και θάμνων.
- διαθέτει επιθυμητή γενετική ανθεκτικότητα έναντι ιών και εντόμων που προσβάλλουν την καλλιεργούμενη πατάτα.



Σωματικός υβριδισμός - Σύντηξη Πρωτοπλαστών

Το *S. etuberosum* ($2n = 2x = 24$), δεν διασταυρώνεται εύκολα ούτε με τετραπλοειδείς ($2n = 4x = 48$) ούτε με διπλοειδείς ($2n = 2x = 24$) μορφές καλλιεργούμενης πατάτας.

Είδη γέφυρας και χειρισμοί πλοειδίας χρησιμοποιήθηκαν από τους βελτιωτές στη δημιουργία υβριδίων *etuberosum-tuberosum* με περιορισμένη επιτυχία.

Σωματικός υβριδισμός μεταξύ ενός κλώνου *S. etuberosum* από την ανθεκτική σε ιούς καταχώρηση PI 245939 και ενός υβριδίου που είχε προέλθει από τη διασταύρωση ενός διαπλοειδούς subsp. *tuberosum* x *S. berthaultii* ($2n = 2x = 24$).

- ✓ Τα υβρίδια μεταξύ των τριών ειδών πέτυχαν ή βρίσκονταν κοντά στο αναμενόμενο $2n = 4x = 48$ και παρουσίαζαν πολύ έντονη αύξηση του φυλλώματος στον αγρό με περιορισμένη όμως κονδυλοποίηση.
- ✓ Για τη βελτίωση της κονδυλοποίησης και της απόδοσης πραγματοποιήθηκε αναδιασταύρωση των σωματικών υβριδίων με καλλιεργούμενες ποικιλίες πατάτας.
- ✓ 503 επικονιάσεις παρήγαγαν 99 καρπούς που περιείχαν 24 σπόρους. Πέντε από τους σπόρους φύτεψαν παράγοντας βιώσιμους BC1 απογόνους που βρίσκονταν στο τετραπλοειδές επίπεδο ή κοντά σε αυτό (48-49 χρωμοσώματα).
- ✓ Οι πέντε απόγονοι που προέκυψαν διέθεταν πολύ βελτιωμένη κονδυλοποίηση σε σχέση με τον γονέα σωματικό υβρίδιο και διατηρούσαν ακόμη τα 11-13 χρωμοσώματα του *S. etuberosum*

Χρησιμοποιήθηκαν σε διασταυρώσεις με καλλιεργούμενες ποικιλίες όπου ένας από τους πέντε απογόνους παρήγαγε κατά μέσο όρο έξι σπόρους ανά καρπό.

Οι σπόροι αυτοί έδωσαν BC2 φυτά με πολύ καλή κονδυλοποίηση που πλέον μοιάζουν με αυτούς της καλλιεργούμενης πατάτας.

Tubers of somatic hybrids
from the cell fusion of
S. etuberosum with a *S.*
tuberosum haploid \times *S.*
berthaultii hybrid



Κόνδυλοι τεσσάρων
BC₁ απογόνων



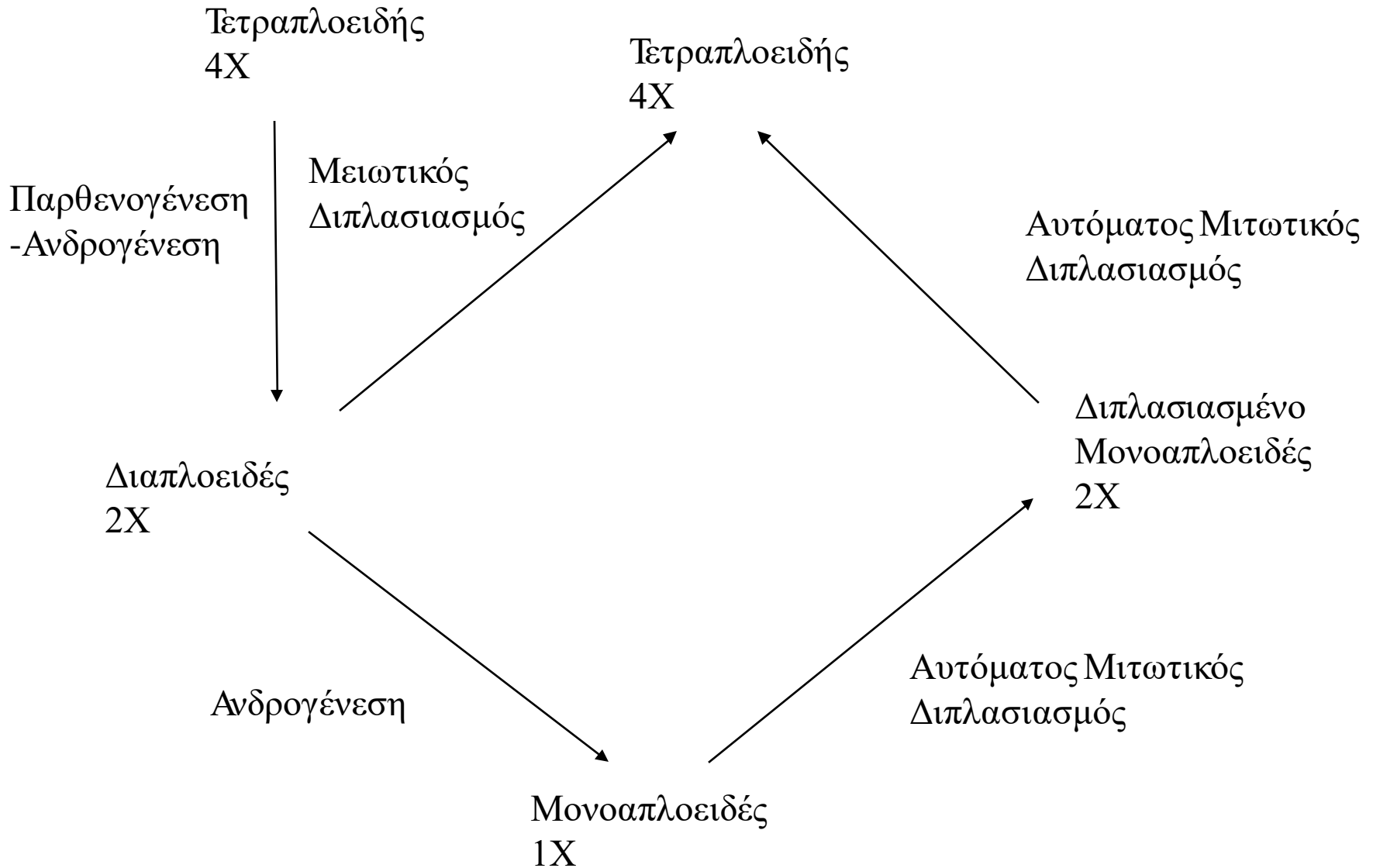
BC₂ κόνδυλοι
Δημιουργία



Νέες Βελτιωτικές Μέθοδοι

- Σχετίζονται με την αναγνώριση του τετραλληλισμού ως την κύρια αιτία της ετέρωσης
- την παραγωγή απλοειδών και διαπλοειδών για τη συστηματική δημιουργία τετραλληλικών γονοτύπων
- την αποφυγή της συνηθισμένης μειωτικής διαίρεσης ($2n$) γαμέτες

Αλλαγές στα επίπεδα πλοειδίας από 4X μέσω του 2X στο 1X και αντίστροφα



Αλλαγή πλοειδίας

- Η παραγωγή διαπλοειδών από τις τετραπλοειδείς ποικιλίες με ψευδογαμία αποτελεί πλέον υπόθεση ρουτίνας
- Ακολουθεί δεύτερη μείωση αριθμού χρωμοσωμάτων με ανδρογένεση. (καλλιέργεια ανθέρων)
- Συστηματική σύνθεση ετεροαλληλικών τετραπλοειδών μέσω σύντηξης πρωτοπλαστών

Παραγωγή νέων ανασυνδυασμών μέσω μείωσης

- Απαιτείται αξιολόγηση εκατοντάδων χιλιάδων φυταρίων για να βρεθεί ένα επιθυμητό άτομο

Παράκαμψη της μείωσης

- Επιλογή σωμακλώνων από ιστοκαλλιέργεια ή πρωτοπλάστες
- Μεταφορά γονιδίων άμεσα ή μέσω πλασμιδίων

Προϋπόθεση η ύπαρξη καλών σειρών που δημιουργούνται με τις μεθόδους της κλασικής βελτίωσης στο διπλοειδές και το τετραπλοειδές επίπεδο

Βελτίωση στο απλοειδές και το διπλοειδές επίπεδο

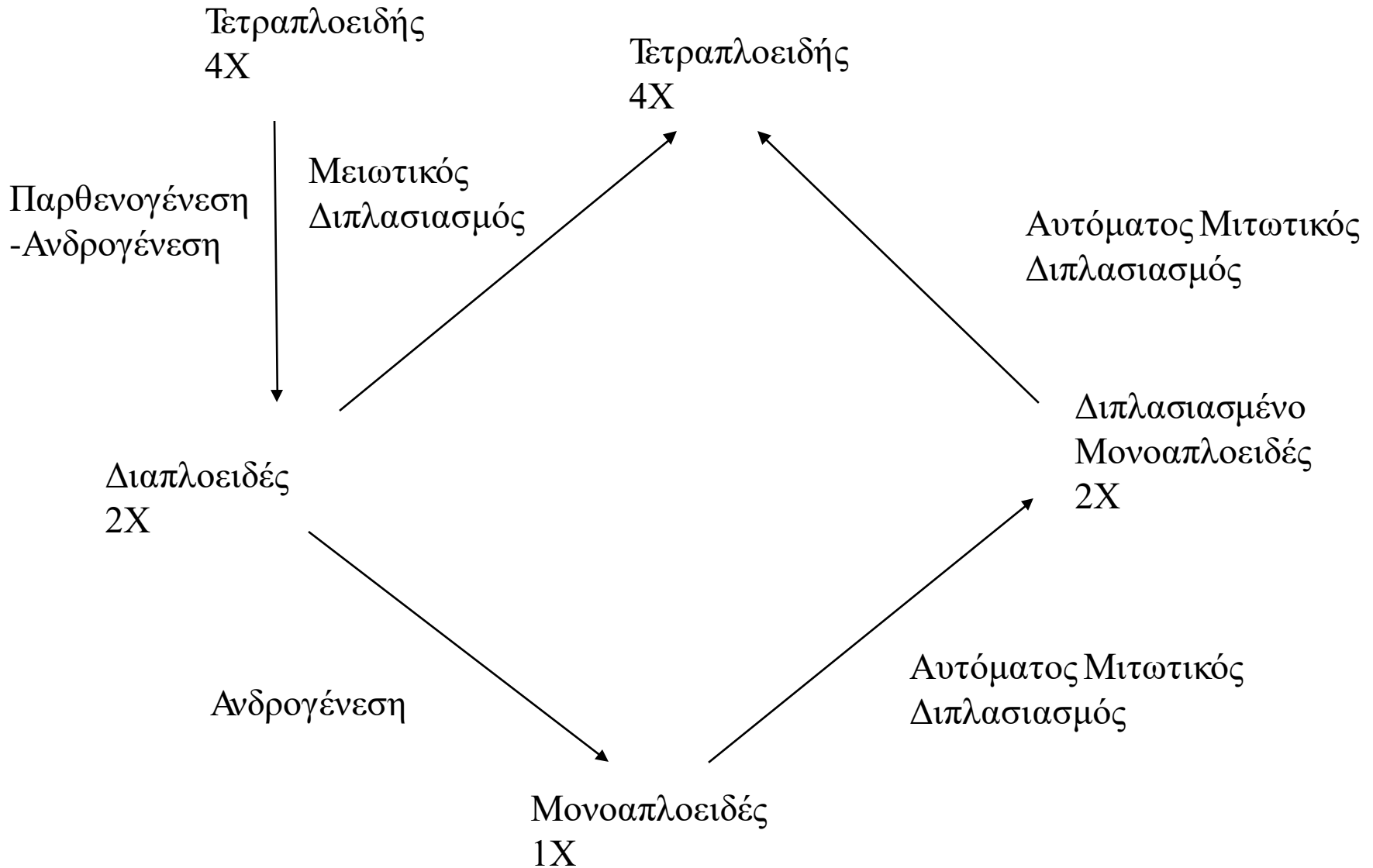
Πλεονεκτήματα βελτίωσης στο διπλοειδές επίπεδο

- ✓ Αξιολόγηση των τετραπλοειδών με βάση τις διπλοειδείς μορφές τους
- ✓ Ευκολότερη κατανόηση της κληρονομικότητας στο δισωμικό επίπεδο
- ✓ Εύκολη απομόνωση υπερεχόντων γονοτύπων στο διπλοειδές επίπεδο λόγω της μεγαλύτερης συχνότητάς τους
- ✓ Μείωση αριθμού φυταρίων που απαιτούνται για την δημιουργία του κατάλληλου συνδυασμού.
- ✓ Εντατικότερη ανταλλαγή γενετικού υλικού στο διπλοειδές επίπεδο κατά τη σύζευξη

Πλεονεκτήματα βελτίωσης στο διπλοειδές επίπεδο

- Ευκολότερη διασταύρωση με τα άγρια διπλοειδή είδη
- Τα διπλοειδή μέσω ανδρογένεσης δίνουν απλοειδή
- Κατά την επιστροφή στο 4-πλοειδές αρχίζουν να παίζουν ρόλο οι μη μειωμένοι γαμέτες
 - ❖ Μεταφέρεται στον ζυγώτη σχεδόν ακέραιος ο επιλεγμένος γονότυπος αφού σχεδόν δεν πραγματοποιείται ανασυνδυασμός και διατηρούνται όλες οι αλληλεπιδράσεις για την ετέρωση

Αλλαγές στα επίπεδα πλοειδίας από 4X μέσω του 2X στο 1X και αντίστροφα



Η Παραγωγή των Διαπλοειδών

- Διασταυρώσεις *S. tuberosum* X *S. phureja* (ειδικές μορφές) που προκαλούν ψευδογαμία
- Οι μορφές αυτές διαθέτουν μείζονα γονίδια για χρωστική για εύκολη αναγνώριση διαπλοειδών στο στάδιο του σπόρου
- Γονίδιο P παραγωγή δελφινιδίνης/Γονίδιο Bd κατανομή χρωστικής
- Γονότυπος *PPBdBd* συνδέεται με μεγάλη παραγωγή διαπλοειδών χρησιμεύει ως δείκτης στα κύτταρα του κάλου (παρουσία ανθοκυανίνης)

Επαγωγή Διαπλοειδών

- Η ικανότητα επαγωγής διαπλοειδών πολυγονιδιακό χαρακτηριστικό
- 20 διαπλοειδή / 100 επικονιασμένα άνθη
- Αύξηση των διαπλοειδών με αποκοπή βλαστών με άνθη και τοποθέτηση σε κατάλληλα διαλύματα και θερμοκρασία

Οι Ιδιότητες των Διαπλοειδών

- ❖ Ασθενικά εξαιτίας ομομεικτικού εκφυλισμού
- ❖ Μειωμένη άνθηση και γονιμότητα 3-5% (επανεμφάνιση ασυμβιβάστου)
- ❖ Δεν σχηματίζουν κονδύλους
- ❖ Η ομομειξία είναι παρόμοια με αυτή που ακολουθεί τρεις γενεές αυτογονιμοποίησης των τετραπλοειδών γονέων

Συμπεριφορά διπλοειδών

- Αντικατοπτρίζουν την γενετική σύσταση του μητρικού γονοτύπου
 - Μέσω αυτών είναι δυνατή η πρόβλεψη της απόδοσης
- Για μερικά χαρακτηριστικά υπερέχουν των αντίστοιχων μητρικών τετραπλοειδών

Προ-βελτίωση στο Διπλοειδές Επίπεδο

- Σκοπός η δημιουργία διαπλοειδών με μέγιστη ετεροζυγωτία
- Γίνονται διασταυρώσεις από διαφορετικές πηγές ώστε να μειωθεί η ομομειξία

Άρα

- Διασταύρωση διαπλοειδών με άγρια και καλλιεργούμενα διπλοειδή
- Διασταύρωση διαπλοειδών που προέρχονται από τετραπλοειδή στα οποία υπάρχουν γονίδια από διαφορετικά άγρια διπλοειδή.
- Στα τετραπλοειδή αυτά έχουν απαλειφθεί τα ανεπιθύμητα γονίδια λόγω αναδιασταυρώσεων

Η Ανασύνθεση των Τετραπλοειδών

- Μιτωτικός πολυπλοειδισμός
- Μειωτικός πολυπλοειδισμός
- Σωματικός υβριδισμός: Η καλύτερη μέθοδος γιατί τα φυτά που παράγονται έχουν όλα τα κυρίαρχα χαρακτηριστικά και των δύο γονέων

Μιτωτικός Πολυπλοειδισμός

- ❖ Επιτυγχάνεται με κολχικίνη

Επαγωγή αυτοπολυπλοειδών - μιτωτικός πολυπλοειδισμός

- Οι βελτιωτές φυτών είχαν αρχικά γοητευτεί με την ιδέα της επαγωγής πολυπλοειδίας κυρίως εξαιτίας των επιδράσεων του γιγαντισμού ο οποίος αύξανε το κυτταρικό μέγεθος (αλλά μείωνε και τη γονιμότητα).
- Η κύρια τεχνική για την επαγωγή αυτοπολυπλοειδών είναι η χρήση κολχικίνης ($C_{22}H_{25}O_6$), ενός αλκαλοειδούς που προέρχεται από τον φθινοπωρινό κρόκο (*Colchicum autumnale*).
- Αυτή η χημική ένωση λειτουργεί διαταράσσοντας τον μηχανισμό της ατράκτου στη μίτωση, αποτρέποντας έτσι τη μετανάστευση των διπλασιασμένων χρωμοσωμάτων στους αντίθετους πόλους κατά την ανάφαση.
- Συνεπώς, ο πυρήνας αναδημιουργείται με διπλάσιο από τον κανονικό αριθμό χρωμοσωμάτων, χωρίς καμία πυρηνική ή κυτταρική διαίρεση

Χρήση κολχικίνης

- **Σπόρο**

1. Υδατικό διάλυμα σε συγκέντρωση 0.25%
2. Διάρκεια εμφάνισης 1-2 εβδομάδες
3. 50% είναι διπλοειδή

- **Μεριστώματα**

1. Υπομασχαλιαία μεριστώματα κλάδων φυτών
2. Οι κλάδοι εμβολιάζονται σε φυτά τομάτας

Αναγέννηση από διαπλοειδή κάλλο in vitro

- Συνήθως δεν παρατηρείται χιμαιρισμός
- Δεν αντιδρούν όλοι οι γονότυποι
- Δίνουν τετραπλοειδή σε αναλογία 30-90%
- Υπάρχει τάση τετραπλοειδισμού στα διαπλοειδή

Τα τετραπλοειδή που προκύπτουν

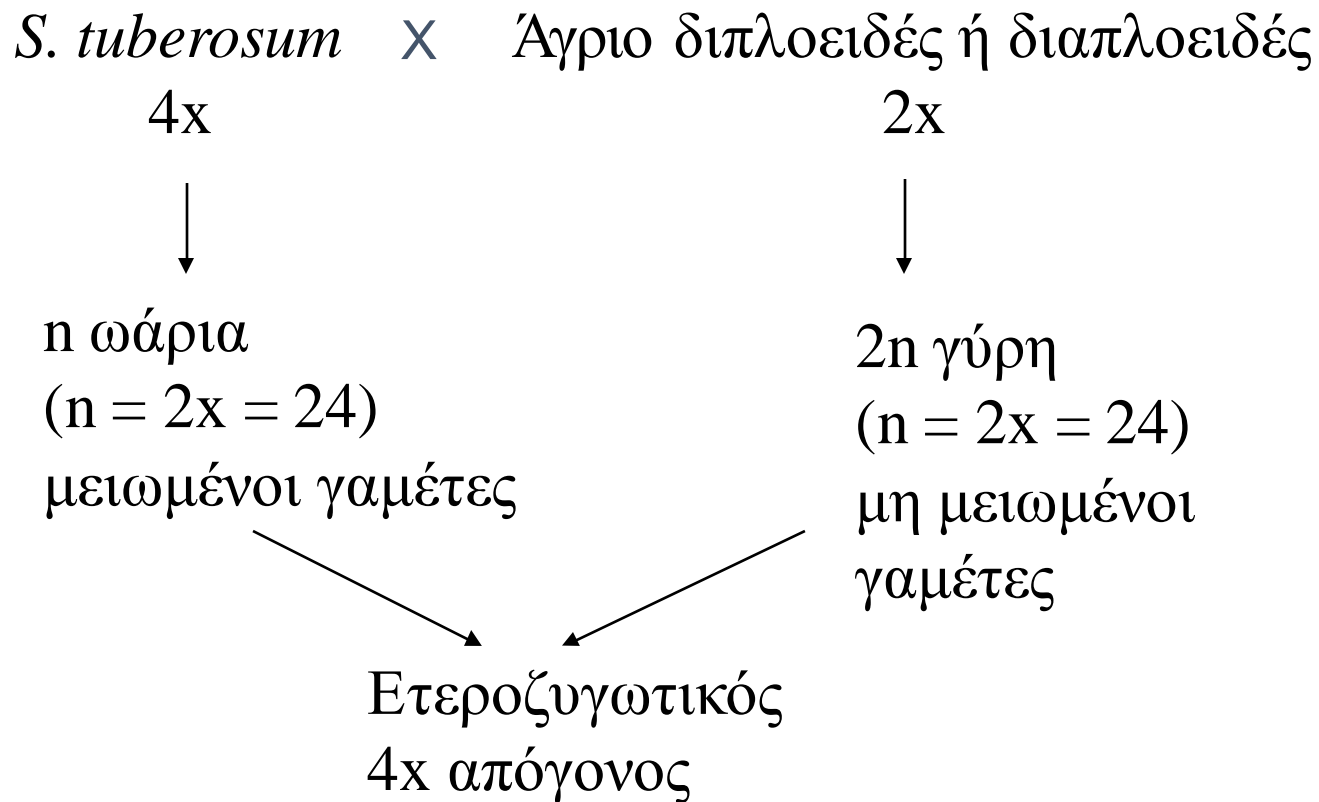
- Έχουν μειωμένη γονιμότητα γύρης, οψιμότερα, έχουν μειωμένη απόδοση και λιγότερους κονδύλους, μείωση ανθεκτικότητας στους νηματώδεις

Μειωτικός Πολυπλοειδισμός

- Επαγωγή διπλογαμετών
 - Υβρίδια διαπλοειδών με τις κατάλληλες μορφές *S. phureja*
- Τετραγαμετικά τετραπλοειδή
 - Σχηματισμός διπλογαμετών και στους δύο διαπλοειδείς γονείς
 - Είναι ετερωτικά και ξεχωρίζουν

Μονομερής Εγγενής Πολυπλοειδισμός

- Βελτιωτικές μέθοδοι που μπορούν να αυξάνουν την συχνότητα των τετρααλληλικών γενετικών τόπων



Σχηματισμός μη μειωμένων γαμετών ή από τον αρσενικό ή από τον θηλυκό γονέα (μονομερής εγγενής πολυπλοειδισμός)

Διμερής Εγγενής Πολυπλοειδισμός

Άγριο διπλοειδές
ή διαπλοειδές

$2x$



$2n$ ωάρια

Άγριο διπλοειδές
ή διαπλοειδές

$2x$



$2n$ γύρη



Ετεροζυγωτικός
 $4x$ απόγονος

Μη μειωμένοι
γαμέτες και στο
θηλυκό και στον
αρσενικό γονέα
(Διμερής εγγενής
πολυπλοειδισμός)

Σημασία των μη μειωμένων γαμετών

- Μεταβιβάζουν από τον γονέα στον απόγονο επιθυμητές επιστατικές επιδράσεις αμετάβλητες
- Η κανονική μείωση μεταβιβάζει μόνο προσθετικές επιδράσεις
- Μειωτικά μεταλλαγμένα οδηγούν σε παραγωγή μη μειωμένων γαμετών με ικανοποιητική συχνότητα

Η Βελτιωτική Αξία των Διπλογαμετών

- Εξαρτάται από το είδος του χαρακτηριστικού που πρόκειται να μεταφερθεί στο τετραπλοειδές επίπεδο

Πολυγονίδια

- Η χρήση των διαπλοειδών είναι ακόμα πιο πλεονεκτική
- Παράδειγμα-Χαρακτηριστικό ελέγχεται από δέκα γονίδια χωρίς γενετική σύνδεση
- Στο τετραπλοειδές η διασταύρωση θα δώσει μόνο 0.1% απογόνους με τα δέκα γονίδια
- Αντίστοιχο διαπλοειδές 24% απογόνους

Παραδοχές

- Η παραγωγή διαπλοειδών με τα επιθυμητά γονίδια είναι εύκολη. Ισχύει για μερικά μείζονα γονίδια
- Όχι για όλα τα πολυγονίδια
- Τα διαπλοειδή έχουν τα απαιτούμενα «εμπορικά» χαρακτηριστικά

Σύγκριση 4x.2x, 2x.4x και γονείς

- ❖ Οι απόγονοι από διπλογαμετική γύρη ξεπέρασαν κατά πολύ τη μέση τιμή των γονέων
- ❖ καλύτερο γονέα

Μονοαπλοειδή

- ❖ Παράγονται από διαπλοειδή με:
 - παρθενογένεση ή γυνογένεση (επαγωγή ανάπτυξης του μεγασπορίου)
 - αναγέννηση από μικροσπόρια

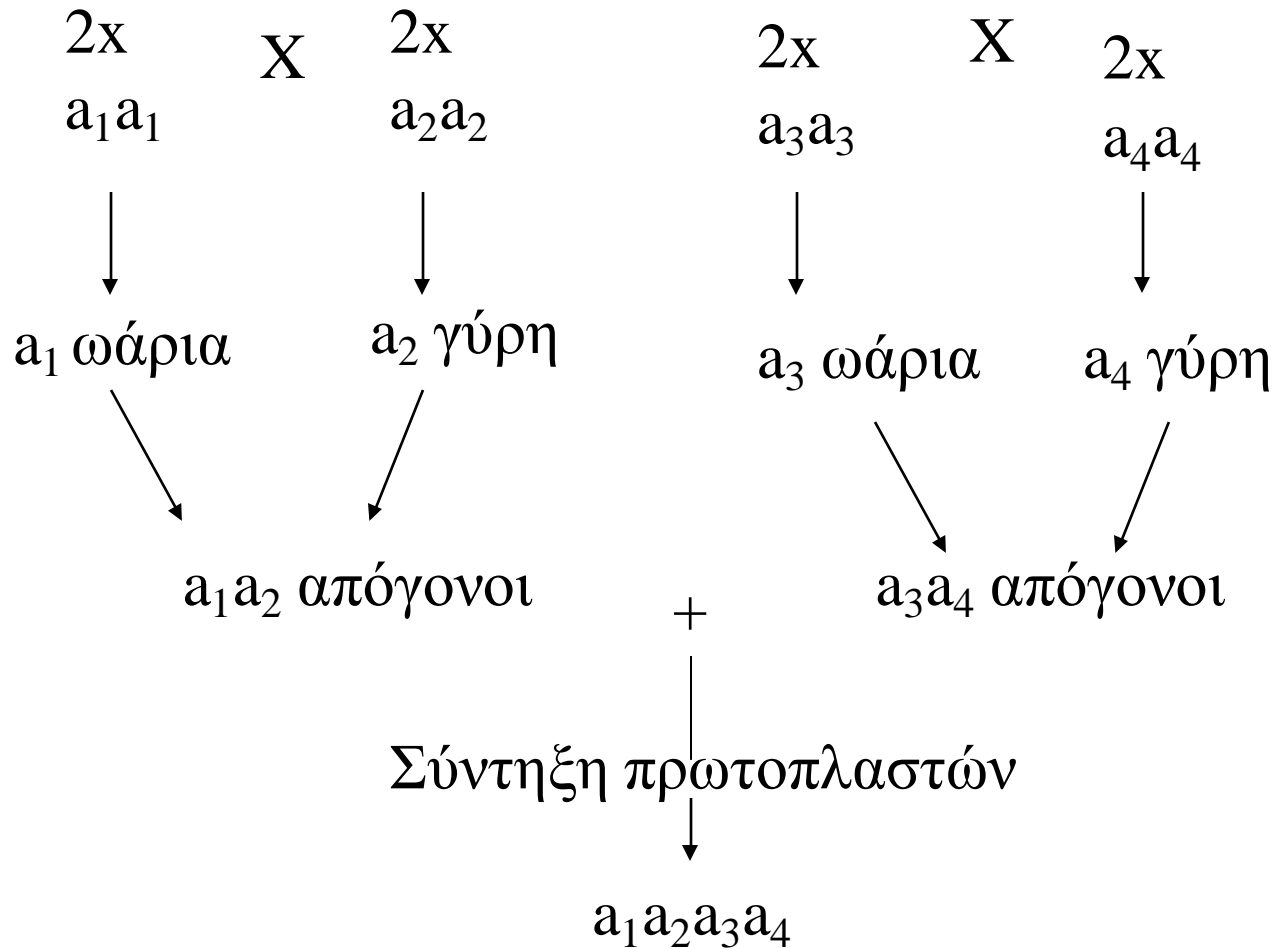
Χρήση των μονοαπλοειδών

- ❖ Τα μονοαπλοειδή χρησιμοποιούνται σε βελτίωση με μεταλλάξεις γιατί:
 - όλοι οι γενετικοί τόποι είναι σε ημιζυγωτική κατάσταση και οι επιθυμητοί υπολειπόμενοι αποκαλύπτονται
 - screening σε μονοαπλοειδές επίπεδο είναι σαν σε γαμετοφυτικό επίπεδο
 - το επιθυμητό μονοαπλοειδές μπορεί να προαχθεί σε διπλοειδές επίπεδο

Το CIP χρησιμοποιεί απλοειδή

- και μη μειωμένους γαμέτες για βελτίωση σε παθογόνα και εχθρούς
- Να αποκτηθούν 2xφυτά με όσον το δυνατόν περισσότερη ποικιλομορφία (διαφορετικούς αλληλομόρφους)
- Η ανθεκτικότητα αναγνωρίζεται σε διπλοειδές επίπεδο και μεταφέρεται στην τετραπλοειδή γονιδιακή δεξαμενή

Συνδυασμός γονιδίων



Αναγέννηση από οργανωμένο ιστό

- Φυτά για
 - την παραγωγή υγιούς πολλαπλασιαστικού υλικού
 - την διατήρηση του γενετικού υλικού
 - παραγωγή κονδύλων
 - μικροπολλαπλασιασμό

Αναγέννηση από κύτταρα και πρωτοπλάστες

- Αποστειρωμένα φύλλα τεμαχίζονται και απομακρύνεται το κυτταρικό τοίχωμα για δημιουργία πρωτοπλαστών.

Σωμακλωνική παραλλακτικότητα

- Ανθεκτικότητα σε παθογόνα ή ζιζανιοκτόνα

Παραφυλετικός Υβριδισμός

- Οι πρωτοπλάστες τοποθετούνται σε διάλυμα με υψηλό pH
- Πρόσθεση ιόντων ασβεστίου και πολυαιθυλενικής γλυκόλης
- Σύνηξη – Δικάρυα (δυο κυτταρικοί πυρήνες) - Συγκάρυα (συγχωνευμένος πυρήνας)
- Μόνο 3% θα συντηχθούν
- Οι περισσότεροι πρωτοπλάστες νεκρώνονται

Αποτελέσματα

Διπλοειδή, τετραπλοειδή, ανισοπλοειδή

Λίγα τετραπλοειδή πραγματικά υβρίδια

Τα υπόλοιπα προέρχονται

- ✓ από σύντηξη πρωτοπλαστών του ίδιου φυτού ή
- ✓ διπλασιασμό χρωμοσωμάτων των μητρικών πρωτοπλαστών

Ανισοπλοειδή

- ✓ από μη πλήρη μεταφορά χρωμοσωμάτων
- ✓ ή απάλειψή τους μετά την σύντηξη

Αναγνώριση πρωτοπλαστών-υβριδίων

- Ιδιαίτερα για συντήξεις που αποσκοπούν στην βελτίωση της πατάτας
- Επιβεβαίωση των υβριδίων με ηλεκτροφόρηση ενζύμων κλπ

Ασυμμετρικός υβριδισμός

- Αποτέλεσμα να λείπουν χρωμοσώματα σε έναν από τους γονείς
- Ιδιαίτερη σημασία στην βελτίωση της ανθεκτικότητας στα παθογόνα

Πλεονέκτημα σωματικών υβριδίων

- Υβριδισμός κυτταροπλασμάτων
- Παρουσία μιτοχονδρίων και από τους δύο γονείς
- Γενετικός ανασυνδυασμός χαρακτηριστικών που ελέγχονται από γονίδια των μιτοχονδρίων

Παράδειγμα σύντηξης

Σύντηξη διαπλοειδών με το *S. nigrum* και *S. tuberosum* με *S. chacoense*

Βοτανικός Σπόρος (true potato seed, TPS)

Πλεονεκτήματα

- Μικρότερο κόστος
- Μικρότερος κίνδυνος εξάπλωσης παθογόνων
- Παραγωγή υλικού απαλλαγμένου από ιούς
- Μείωση των προβλημάτων κατά την αποθήκευση γιατί δεν είναι απαραίτητη η ψύξη του βοτανικού σπόρου

Μειονεκτήματα

- Ανάγκη μεταφύτευσης σποροφύτων λόγω ζιζανίων
- Φυτείες από βοτανικό σπόρο χαμηλότερης απόδοσης σε σύγκριση με πατατόσπορο.
- Υψηλό κόστος καλλιέργειας σε θερμαινόμενα θερμοκήπια

Τρόποι καλλιέργειας βοτανικού σπόρου

- Απευθείας σπορά στο χωράφι (χαμηλότερη απόδοση σε σχέση με άλλους τρόπους)
- Σπορά σε σπορείο και μεταφύτευση στο χωράφι
- Σπορά κονδύλων από σπορείο στο χωράφι
- Επιλογή φυταρίων 1ου έτους και φύτευση επιλεγμένων κλώνων τον επόμενο χρόνο

Σκοπός βελτίωσης για βοτανικό σπόρο

- Η δημιουργία ομοιόμορφων απογόνων
- Διασταύρωση ομοζυγωτικών γονέων
- Παραγωγή τετραπλοειδών από διασταυρώσεις γονέων με διάφορα επίπεδα πλοειδίας.
- Απόμιξη

Αντικειμενικοί σκοποί της βελτίωσης της πατάτας

- Απόδοση σε κονδύλους
- Πρωιμότητα
- Ανθεκτικότητα στην ζέστη, παγετό και ξηρασία
- Ανθεκτικότητα στις ασθένειες
- Ανθεκτικότητα στα έντομα
- Ποιότητα

Προσαρμογή

- Η πατάτα είναι μια καλλιέργεια που ευδοκίμει σε ψυχρά κλίματα.
- Η βέλτιστη θερμοκρασία για την αύξηση και την ανάπτυξη του βλαστού είναι 22°C.
- Για τον ικανοποιητικό σχηματισμό των κονδύλων είναι επιθυμητή μια χαμηλότερη θερμοκρασία περίπου 18°C.
- Ο σχηματισμός και η ανάπτυξη των κονδύλων επιβραδύνονται όταν η θερμοκρασία του εδάφους έχει αυξηθεί πάνω από τους 20°C, ενώ παρεμποδίζεται σε θερμοκρασίες άνω των 29°C.
- Κονδυλοποίηση μπορεί να επάγεται σε νυκτερινή θερμοκρασία αέρα 12°C.
- Η απόδοση των κονδύλων μειώνεται κατά 4% για κάθε 0,6°C πάνω από τη βέλτιστη θερμοκρασία.

Προσαρμογή

- ❑ Η πατάτα είναι ευαίσθητη σε έντονους παγετούς που ενδέχεται να προκύψουν το φθινόπωρο, τον χειμώνα ή νωρίς την άνοιξη.
- ❑ Οι κόνδυλοι παγώνουν στους -2°C περίπου και χάνουν την ποιότητά τους μετά την απόψυξη.
- ❑ Η **κονδυλοποίηση ευνοείται** σε συνθήκες μικρής φωτοπεριόδου, χαμηλής θερμοκρασίας και χαμηλής περιεκτικότητας αζώτου
- ❑ Οι υψηλές θερμοκρασίες εδάφους έχουν ως αποτέλεσμα παραμορφωμένους κονδύλους με εξογκώματα.
- ❑ Η **ανάπτυξη του υπέργειου βλαστού ευνοείται** από τις μεγάλες ημέρες, την υψηλή θερμοκρασία, τη χαμηλή ένταση του φωτός και τις υψηλές ποσότητες αζώτου.

Τα συστατικά της απόδοσης

- Αριθμός των κονδύλων που παράγονται ανά φυτό
- Βάρος κάθε κονδύλου

Αριθμός των κονδύλων

- Σε κάθε φυτό κυμαίνεται από 3 έως 10
- Κάθε βλαστός παράγει 3 κονδύλους
- Ο αριθμός των κονδύλων έχει μεγάλη συσχέτιση με τον αριθμό των βλαστών
- Υπάρχει αρνητική συσχέτιση μεταξύ του αριθμού των βλαστών ανά φυτό και του αριθμού των κονδύλων ανά βλαστό

Αντίθετα

- Ο αριθμός των βλαστών και των κονδύλων ανά φυτό παρουσιάζουν θετική συσχέτιση.

Παράγοντες που επηρεάζουν την μεγιστοποίηση της απόδοσης

- Ρυθμός ανάπτυξης του φυλλικού ιστού
- Μέγεθος του πλήρως λειτουργικού φυλλικού ιστού
- Διάρκεια λειτουργίας του φυλλώματος
- Παραγωγικότητα του φυλλώματος
- Ρυθμός ανάπτυξης των κονδύλων

Το σχήμα του κονδύλου

- Επηρεάζεται από τη φωτοπερίοδο
- Μεγάλοι κόνδυλοι παράγονται σε μεγάλες ημέρες
- Λείοι και ομοιόμορφοι κόνδυλοι παράγονται σε μικρές ημέρες

Επίδραση της φωτοπεριόδου

- Μεγάλες ημέρες ευνοούν την βλαστική ανάπτυξη
- Μεγάλες ζεστές ημέρες ευνοούν την ανάπτυξη των στολόνων
- Η απόδοση ευνοείται από μεγάλες ημέρες για την ανάπτυξη των βλαστών, ακολουθούμενες από μικρές ημέρες για να ενεργοποιηθεί η δημιουργία κονδύλων

Η αντίδραση στην φωτοπερίοδο

- Οι ποικιλίες και τα είδη διαφέρουν ως προς την αντίδρασή τους
- Η αντίδραση στην φωτοπερίοδο κληρονομείται
- Είναι πολυγονιδιακό χαρακτηριστικό

Πρωιμότητα

Είναι επιθυμητή

- όπου η περίοδος ανάπτυξης είναι μικρή
- δύο ή περισσότερες καλλιέργειες πατάτας
- διαφυγή από έντομα όπως αφίδες
- αποφυγή παγετού ή ασθενειών

Ανεκτικότητα σε υψηλές θερμοκρασίες

- ❖ Η διακύμανση της θερμοκρασίας κρίσιμη για την παραγωγή της πατάτας
- ❖ Η φύτρωση και η αύξηση εννοούνται από υψηλές θερμοκρασίες η κονδυλοποίηση ευνοείται από χαμηλές
- ❖ Η κονδυλοποίηση εμποδίζεται σε θερμοκρασίες πάνω από 29 °C.
- ❖ Η ανεκτικότητα σε υψηλές θερμοκρασίες είναι επιθυμητή

Ανθεκτικότητα στον παγετό

- ❖ Επιθυμητό γνώρισμα για περιοχές όπου καλλιεργούνται φθινοπωρινές πατάτες

Ανθεκτικότητα στην ξηρασία

- ❖ Απαραίτητο γνώρισμα για καλλιέργεια σε περιοχές με λίγο νερό.

Βελτίωση της Ποιότητας

☐ Κατανάλωση

- νωπές
- βιομηχανία
 - ✓ fast foods
 - ✓ snacks
 - ✓ πηγή αμύλου
 - ✓ παρασκευή αλκοόλης

☐ Χρήση πατάτας

- ✓ 50% κατανάλωση από τον άνθρωπο
- ✓ 35% για ζωοτροφή
- ✓ 3.5% για παραγωγή αμύλου
- ✓ υπόλοιπο για σποροπαραγωγή

Καλλιέργεια με πολλαπλές εφαρμογές

- ❖ Χρησιμοποιείται για διατροφή και για βιομηχανικά προϊόντα.
- ❖ Οι βελτιωτές αναπτύσσουν διαφορετικές ποικιλίες για ψήσιμο, μαγείρεμα, τηγάνισμα (κατεψυγμένες πατάτες), παραγωγή τσιπς και αμύλου.
- ❖ Οι ποικιλίες αυτές διαφέρουν, μεταξύ άλλων, ως προς το μέγεθος, το ειδικό βάρος και την περιεκτικότητα σε σάκχαρα.
- ❖ Η υψηλή περιεκτικότητα σε σάκχαρα είναι ανεπιθύμητη για το τηγάνισμα ή την παραγωγή τσιπς διότι κάτω από συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας τα σάκχαρα καραμελώνονται δημιουργώντας έναν ανεπιθύμητο σκούρο χρωματισμό.

Χαρακτηριστικά καλής ποιότητας

❖ Καλή διατήρηση

- να μην βλαστάνουν
- να είναι ανθεκτικές στις ασθένειες

❖ Εξωτερικά χαρακτηριστικά

- ✓ Μέσο μέγεθος
- ✓ Καλή βαθμολογία
- ✓ Καλό σχήμα – όχι σπασίματα
- ✓ Κατάλληλο χρώμα
- ✓ Επίπεδα μάτια
- ✓ Κατάλληλη δομή της φλούδας

- ✓ Απουσία μπλε κηλίδων και μηχανικών βλαβών
- ✓ Να μην είναι σκασμένες
- ✓ Να μην έχουν πράσινες κηλίδες
- ✓ Να μην είναι κούφιες
- ✓ Να μπορούν να πλένονται εύκολα

Εσωτερική ποιότητα

- ✓ Υφή της σάρκας
- ✓ Αλευροποίηση
- ✓ Απουσία μαυρίσματος πριν ή μετά το μαγείρεμα
- ✓ Οι ποικιλίες διαφέρουν στις ιδιότητες για μαγείρεμα
- ✓ Οι άσπροι κόνδυλοι προτιμώνται έναντι των κόκκινων

Πατάτες για ζωοτροφή ή αλκοόλη

- Υψηλή περιεκτικότητα σε άμυλο
 - ✓ Ιξώδες
 - ✓ Περιεκτικότητα σε αμυλάσες
 - ✓ Μέγεθος των αμυλοκόκκων

Κόνδυλος: μέγεθος – σχήμα και κληρονόμηση

- 150 έως 200γρ
- Το σχήμα του κονδύλου της πατάτας μπορεί να κυμαίνεται από στρογγυλό έως ωοειδές ή μακρύ.
- Στρογγυλό, ωοειδές σχήμα - Μειώνει τις μηχανικές βλάβες των κονδύλων
- Ενας μεμονωμένος γενετικός τόπος στο χρωμόσωμα 10 εξηγεί το 75% της διακύμανσης του γνωρίσματος και υποδηλώνει μονογονιδιακή κληρονόμηση ενός ποσοτικού γνωρίσματος (Van Eck et al., 1994).
- Παρόμοιες καταστάσεις ισχύουν για το χρώμα της σάρκας του κονδύλου της πατάτας και την ωρίμαση του φυτού.

Ποικιλότητα

- Οι ποικιλίες διαφέρουν στις ιδιότητες για μαγείρεμα
- Οι άσπροι κόνδυλοι προτιμώνται έναντι των κόκκινων

Ανθεκτικότητα στις ασθένειες

- 22% της παραγωγής χάνεται από εχθρούς και ασθένειες
- Ευρώπη και Αμερική
 - Νηματώδεις, Ιοί PLRV, Υ, PVM, PSTV, περονόσπορος, ξηρά σήψη

Είδη ανθεκτικότητας

- Γενικευμένη ή ανθεκτικότητα στο χωράφι
- Εξειδικευμένη

Γενικευμένη ή ανθεκτικότητα στο χωράφι

- Είναι πολυγονιδιακή
- Πολλά ελάσσονα γονίδια
- Κάθε ένα με μικρή επίδραση
- Είναι πιο δύσκολο να συγκεντρωθούν γονίδια για γενικευμένη ανθεκτικότητα σε μια ποικιλία
- Διαρκεί περισσότερο
- Μειώνει το μόλυσμα

Εξειδικευμένη

- Η ανθεκτικότητα ενός γονοτύπου σε μια συγκεκριμένη φυλή του παθογόνου
- Μοναδικό κυρίαρχο γονίδιο

Ιοί

Φυσική μόλυνση

- Από τραύματα που προκαλούνται από τον αέρα, τον άνθρωπο, τα ζώα ή μηχανές, μύκητες εδάφους (PVX)
- Με τις αφίδες (PLRV)
- Και με τα δύο (PVY, PVA, PVM, PVS)
- Μέσω των τραυμάτων και των νηματωδών (TRV)

Η τεχνητή μόλυνση

- Χυμό μολυσμένου φυτού
- Εμβολιασμό στελεχών ή κονδύλων πάνω σε μολυσμένο υποκείμενο
- Με αφίδες

Τύποι ανθεκτικότητας ξενιστή

- Κατακόρυφη ανθεκτικότητα
 - ✓ Νεκρωτικές κηλίδες γύρω από το κύτταρο που μολύνθηκε
 - ✓ Εκφράζεται στον κόνδυλο και στους βλαστούς
 - ✓ Βασίζεται σε μείζονα γονίδια
- Ανθεκτικότητα στην μόλυνση ή οριζόντια ανθεκτικότητα
- Νεκρογενείς τύποι ανθεκτικότητας
 - Τοπική υπερευαισθησία
 - Ακραία ανθεκτικότητα
 - Υπερευαισθησία ή μη ανθεκτικότητα

Οριζόντια Ανθεκτικότητα Ανθεκτικότητα στην μόλυνση

- Κοινό χαρακτηριστικό αλλά διαφέρει ο βαθμός
- Η προστασία που παρέχει μικρή σε σχέση με τους νεκρογενείς τύπους ανθεκτικότητας
- Καθορίζεται από ελάσσονα γονίδια
- Και οι δύο γονείς που διασταυρώνονται να έχουν τουλάχιστον έναν ενδιάμεσο βαθμό ανθεκτικότητας

Αξιολόγηση της ανθεκτικότητας στην μόλυνση

- Στο χωράφι
 - Μετρώντας τον αριθμό των φυτών που μολύνθηκαν κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου
- Στο εργαστήριο
 - Επίπεδο κυττάρου
 - Ποσοτικές διαφορές στον αριθμό των μολυσμένων πρωτοπλαστών.
Μέθοδος ELISA

Νεκρογενείς τύποι ανθεκτικότητας

- Τοπική υπερευαισθησία
- Ακραία ανθεκτικότητα
- Υπερευαισθησία ή μη ανεκτικότητα

Τοπική υπερευαισθησία

- Παρέχει απόλυτη προστασία
- Στα φυτά που αναπτύσσονται στο χωράφι δεν παρατηρείται κανένα σύμπτωμα μόλυνσης
- Σε εμβολιασμό σε μολυσμένο υποκείμενο παρατηρείται νέκρωση στην κορυφή του εμβολίου (γονίδια *N_a*, *N_s*, *N_y*, *N_l*)

Ακραία Ανθεκτικότητα

- Παρέχει απόλυτη προστασία
- Πιό έντονη μορφή τοπικής υπερευαισθησίας
- Σε εμβολιασμό σε μολυσμένο υποκείμενο παρατηρούνται ή
 - καθόλου συμπτώματα (R_x, R_y)
 - λεπτά σημεία νέκρωσης στα πάνω φύλλα
 - παλιά εμβόλια νέκρωση στην περιφέρεια των κατώτερων φύλλων (R_y)

Υπερευαισθησία ή Μη Ανεκτικότητα

- Νέκρωση μεγάλων τμημάτων του φυτού όταν μολυνθούν στο χωράφι
- Όλο το φυτό μαζί με τους κονδύλους του και τα μάτια του νεκρώνεται

Γονίδια νεκρογενούς ανθεκτικότητας

- Τα μείζονα γονίδια σε μονοκυριαρχική μορφή
 - Όταν διασταυρωθούν δίνουν 50% ανθεκτικούς απογόνους
- Καθορίζουν κατακόρυφη ανθεκτικότητα ή παγωμένη ανθεκτικότητα

Ο Ιός του Τυλίγματος των Φύλλων

Ο ιός μεταδίδεται με το *Myzus persicae*

Ανθεκτικότητα στην μόλυνση

- Καθορίζεται από ελάσσονα γονίδια
- Η ανθεκτικότητα των απογόνων καθορίζεται από το επίπεδο της ανθεκτικότητας των γονέων
- Εάν ένας γονέας είναι ευαίσθητος μπορεί να μειώσει δραστικά την ανθεκτικότητα των απογόνων

Αξιολόγηση ανθεκτικότητας

- Απαιτούνται πειράματα στο χωράφι σε περιοχές όπου υπάρχει μέτρια αλλά τακτική παρουσία αφίδων
- Φυτεύονται δέκα ή περισσότερα φυτά από κάθε κλώνο σε μια γραμμή δίπλα σε γραμμή με ευαίσθητα φυτά
- Από κάθε φυτό κόνδυλοι αξιολογούνται ορολογικά για την παρουσία ιού

Ο Ιός X (PVX)

- Είναι ο πιο διαδεδομένος ιός της πατάτας
- Πολλά στελέχη του ιού
- Τρεις τύποι ανθεκτικότητας
 - Ανθεκτικότητα στην μόλυνση
 - Υπερευαισθησία
 - Ακραία ανθεκτικότητα ή ανοσία

Επιλογή για ανθεκτικότητα

- Νεαρά φυτάρια μετά από ψεκασμό με χυμό φυτών που περιέχει τον ιό
- Αποφυγή λανθάνουσας ευαισθησίας επανέλεγχος των φυτών
- Για την αξιολόγηση της παρουσίας γονιδίου μετά το πέρας της επιλογής
 - απαραίτητος ο εμβολιασμός σε κατάλληλο υποκείμενο ντομάτας

Τύποι ανθεκτικότητας στον ιό Χ

- Ανθεκτικότητα στην μόλυνση
- Τοπική υπερευαισθησία
 - Κυρίαρχο γονίδιο $Nx, Nb, Ne, Nr, Rx, Rx_{acl}, Rx_{adg}$
- Ακραία ανθεκτικότητα ή ανοσία

Έλεγχος για τον ιό Χ

- Τα φυτάρια μεγαλώνουν σε κιβώτια
- Ψεκάζονται με χυμό με τον ιό Χ που μεγαλώνει σε φύλλα καπνού
- Τα ευαίσθητα απορρίπτονται και τα υπόλοιπα φυλάσσονται σε γλάστρες

Επιλογή για υπερευαισθησία και ακραία ανθεκτικότητα

- Με ψεκασμό φυταρίων ακόμα και ξεχωριστών φύλλων

Επιλογή για ανθεκτικότητα στην μόλυνση

- Ψεκασμός των φυτών στο χωράφι με μολυσμένο χυμό
- Επιβεβαίωση με φυτά - δείκτες και ορολογικές μεθόδους

Ανθεκτικότητα στους Νηματώδεις

- *Meloidogyne incognita*
- *Globodera pallida* (λευκό ή ανοικτό κίτρινο χρώμα κύστης)
- *Globodera rostochiensis* (Χρυσόχρωμο)

Αξιολόγηση Ανθεκτικότητας στο Εργαστήριο

- Κόνδυλοι πατάτας βλαστάνουν σε μικρές γλάστρες με στείρο χώμα
- Μια βδομάδα μετά την φύτευση μέσα στις γλάστρες απελευθερώνονται μερικές εκατοντάδες λάρβες
- Οι γλάστρες διατηρούνται σε θερμοκρασία 25 °C
- Αξιολόγηση των ζημιών μετά από 75 μέρες

Επιλογή για ανθεκτικότητα

- Μικροί κόνδυλοι ή και οφθαλμοί σε γλάστρες διαμέτρου 6-8 εκ.
- Τοποθετείται το περιεχόμενο από τριάντα κύστεις (Pi) μέσα σε νάυλον σακούλες
- Μετά από ένα χρονικό διάστημα γίνεται καταμέτρηση των νεοσχηματισθεισών κύστεων (Pf)

Αξιολόγηση της Ανθεκτικότητας στο Χωράφι

- Καλλιέργεια των υπό αξιολόγηση φυτών σε κατακλυσμένα από νηματώδεις εδάφη
- Χρησιμοποίηση ευαίσθητων ποικιλιών ως μάρτυρες

Προσοχή

- Η ανθεκτικότητα στους νηματώδεις κυρίαρχο μέλημα των βελτιωτών της πατάτας
- Σε κάθε διασταύρωση ο ένας γονέας πρέπει να είναι ανθεκτικός

Αξιολόγηση της Ανθεκτικότητας στο Χωράφι

- Καλλιέργεια των υπό αξιολόγηση φυτών σε κατακλυσμένα από νηματώδεις εδάφη
- Χρησιμοποίηση ευαίσθητων ποικιλιών ως μάρτυρες

Περονόσπορος

- Παθογόνο (*Phytophthora infestans*)
- Η πιο σημαντική μυκητολογική ασθένεια
- Κατέστρεψε όλη την παραγωγή πατάτας και συνέβαλε σε μαζικό λοιμό στην αγγλοκρατούμενη Ιρλανδία το 1845 και τα επόμενα χρόνια.

1.000.000 άνθρωποι πέθαναν και 1.500.000 μετανάστευσαν στην Αμερική

Εικόνα 7.188: Τα γλυπτά της εικόνας, που είναι τοποθετημένα κοντά στην αποβάθρα του Δουβλίνου, παρουσιάζουν τραγικές μορφές Ιρλανδών να κατευθύνονται προς τα πλοία προκειμένου να μεταναστεύσουν.

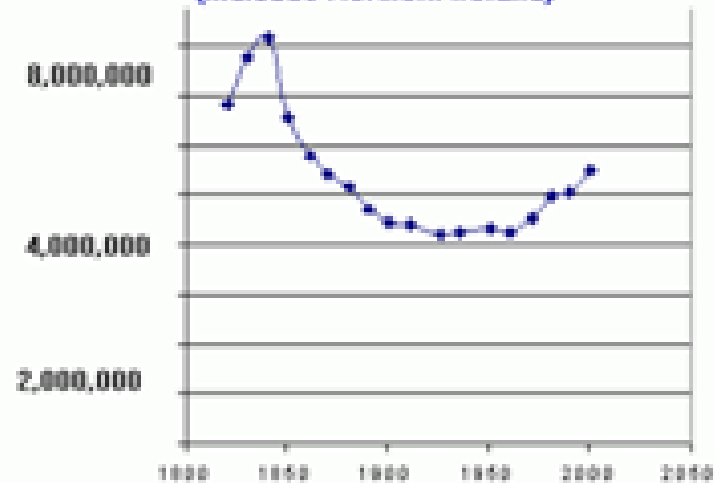


ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΣΘΕΝΕΙΩΝ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ (1)

- *Phytophthora infestans* (Great Irish Famine) :



Population of Ireland, 1821 - 2001
(Includes Northern Ireland)



Στη σκιά του όρους Κρόου Πάτρικ της Ιρλανδίας, στέκεται ένα μικρό ιστιοφόρο του 19ου αιώνα, και η πλώρη του βλέπει προς τον Ατλαντικό Ωκεανό. Ανάμεσα στα κατάρτια του, υπάρχουν εντυπωσιακές αναπαραστάσεις ανθρώπινων σκελετών. Το πλοίο είναι ένα μεγάλο μεταλλικό γλυπτό τα επίσημα αποκαλυπτήρια του οποίου έγιναν το 1997 σε ανάμνηση μιας από τις μεγαλύτερες τραγωδίες στην ιστορία της Ιρλανδίας, της Μεγάλης Πείνας (Great Irish Famine). Οι σκελετοί και το πλοίο είναι σύμβολα του θανάτου και της μαζικής μετανάστευσης που σημάδεψαν τα τραγικά χρόνια από το 1845 ως το 1850.

- Μαρασμός των φύλλων και των κονδύλων
- Διαδίδεται με μολυσμένους κονδύλους και με τον άνεμο
- Θερμός και υγρός καιρός ευνοεί την μόλυνση

Ανθεκτικότητα

- Η ανθεκτικότητα του φυλλώματος μπορεί να διαφέρει από την ανθεκτικότητα των κονδύλων στο ίδιο φυτό
- R_1 , R_2 , R_3 , R_4 μείζονα γονίδια έχουν αναγνωρισθεί

Οριζόντια ανθεκτικότητα

- Καθορίζεται από ελάσσονα γονίδια

Αξιολόγηση της Ανθεκτικότητας σε Φυτάρια Πατάτας

- Στο εργαστήριο
 - Μικροί δίσκοι από διηθητικό χαρτί εμβαπτίζονται σε αιωρήματα σπορίων και τοποθετούνται σε φυλλάκια και επωάζονται σε θαλάμους με υγρασία μέχρι να αναπτυχθούν σπόρια στο φύλλο
 - Επίδραση ορμονών στα φύλλα για να ριζοβολήσουν. Τα ριζοβολημένα φύλλα συνεχίζουν να αναπτύσσονται στο χώμα

Αξιολόγηση οριζόντιας ανθεκτικότητας

- Με βάση τα φύλλα
- Προδοκιμασία με μόλυνση των φυταρίων στο χωράφι τον Ιούλιο με ένα μείγμα ζωοσπορίων από διαφορετικούς παθότυπους
- Πότισμα με καταιωνισμό
- Κριτήριο ανθεκτικότητας Το εμβαδόν της φυλλικής επιφάνειας που έχει το σύμπτωμα

Αξιολόγηση ανθεκτικότητας των κονδύλων

- Η δοκιμασία γίνεται με βάση φέτες κονδύλων που μολύνονται με 50 ζωοσπόρια 24 ώρες μετά το κόψιμό τους
- Δύο μέρες αργότερα αξιολογείται η ανάπτυξη του εναέριου μυκηλίου
- Δεν υπάρχει στενή συσχέτιση της οριζόντιας ανθεκτικότητας των φύλλων και των κονδύλων

Καρκίνωση (*Syncytium endobioticum*)

- Προκαλεί όγκους στους κονδύλους που μοιάζουν με κουνουπίδι
- Υπάρχουν δύο μέθοδοι για αξιολόγηση της ανθεκτικότητας
- Η μία βασίζεται στη μόλυνση κομματιών κονδύλων με σάπιο ιστό από παλιούς όγκους. Η μέθοδος αυτή αξιολογεί κάποια μορφή οριζόντιας ανθεκτικότητας
- Η άλλη μέθοδος είναι για την κατακόρυφη ανθεκτικότητα και βασίζεται στην κάλυψη των ματιών των κονδύλων με απλοειδή σπόρια.
- Η αξιολόγηση γίνεται μετά από έξι εβδομάδες

Σποροπαραγωγή

- Σκοπός- Να δώσει στον παραγωγό κονδύλους απαλλαγμένους από παθογόνα