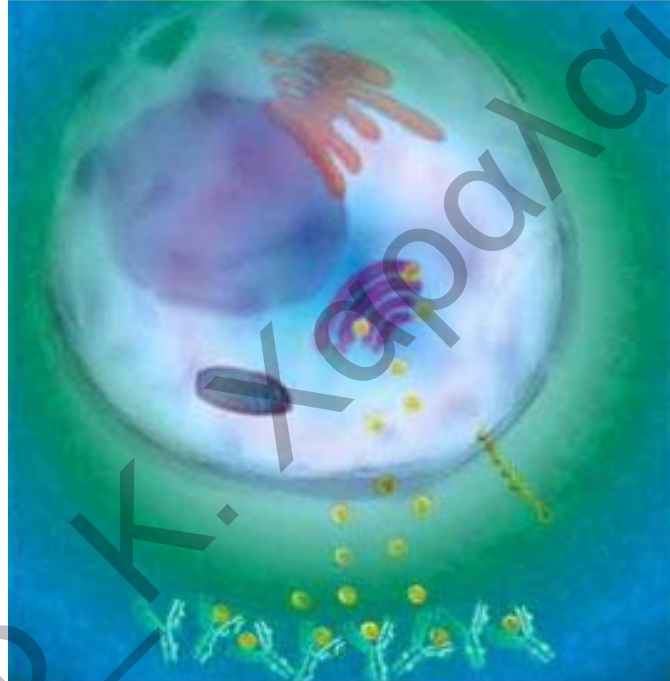


# ΕΝΔΟΓΕΝΗΣ ΚΑΙ ΕΞΩΓΕΝΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑ



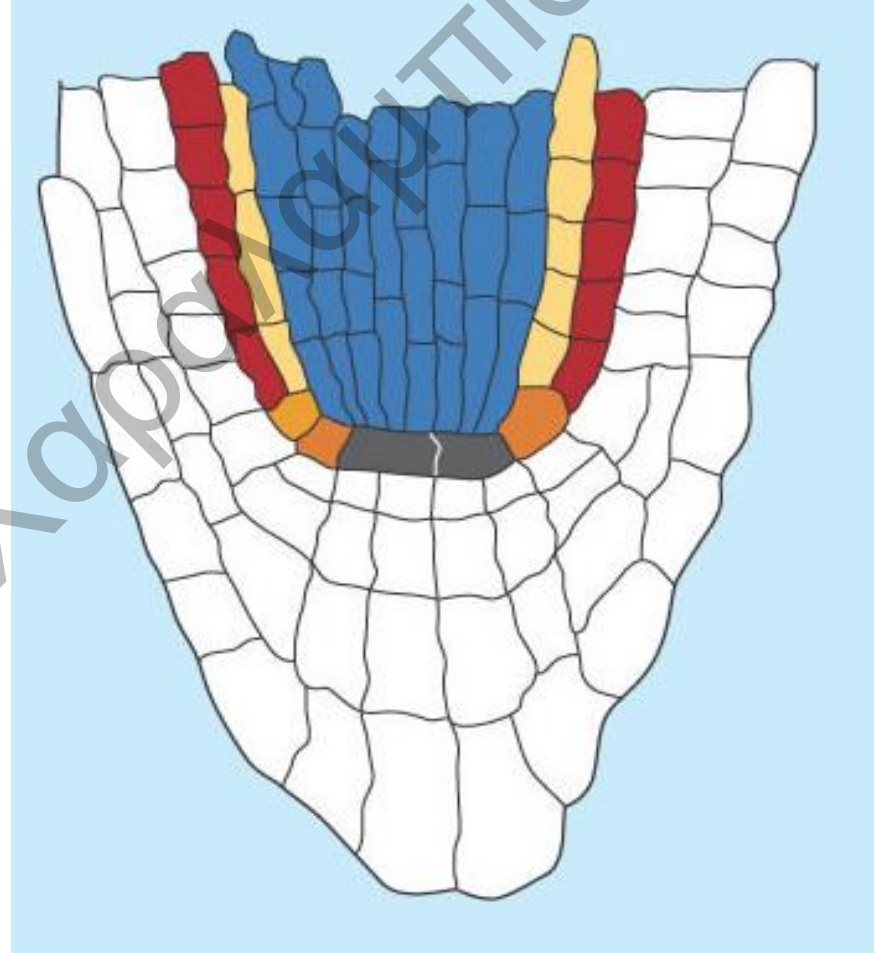
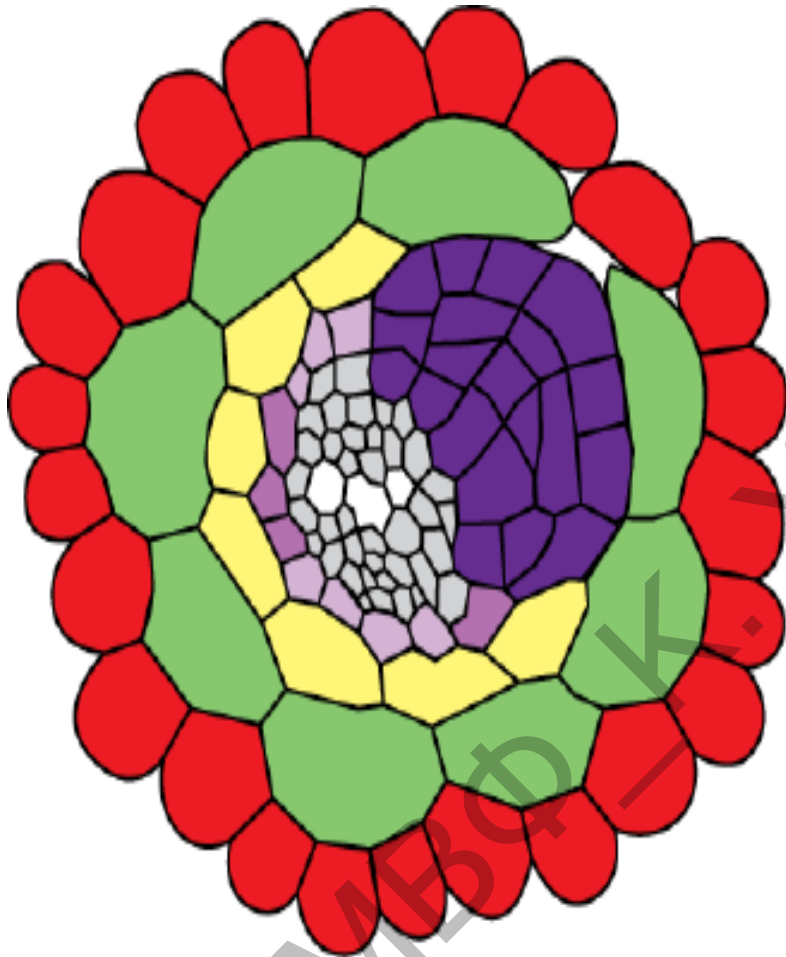
ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ



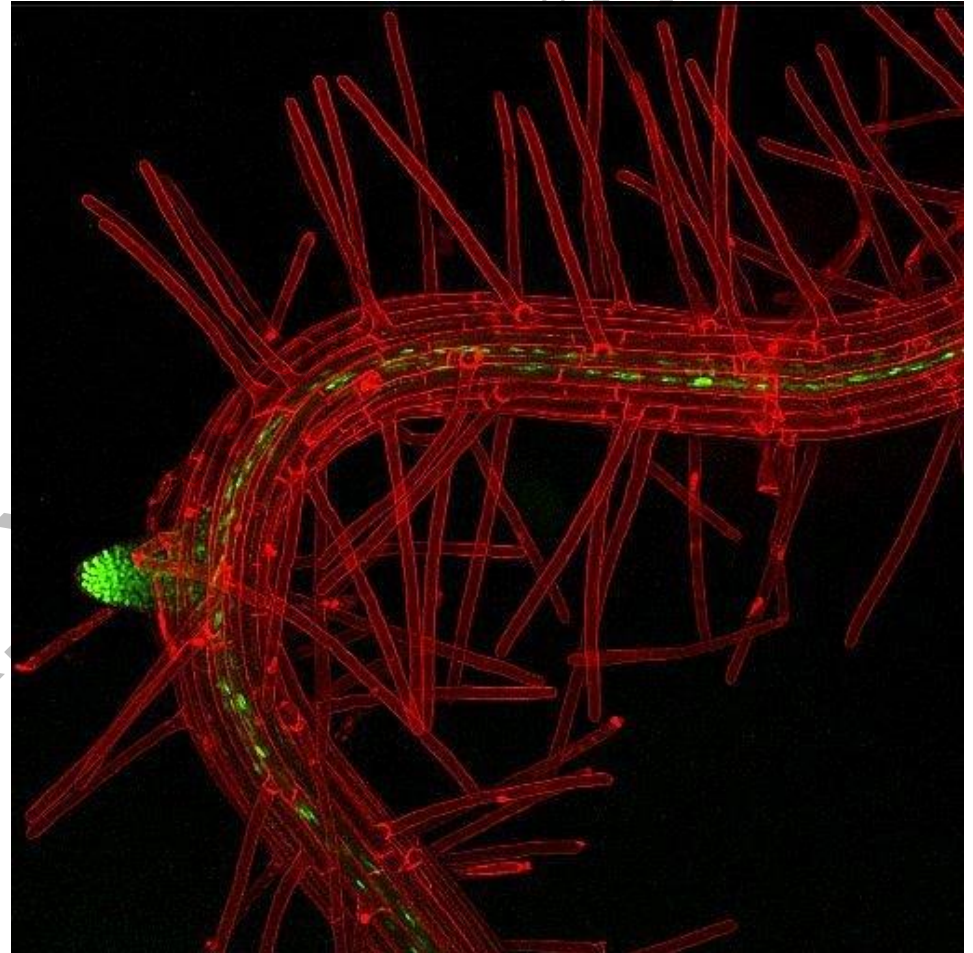
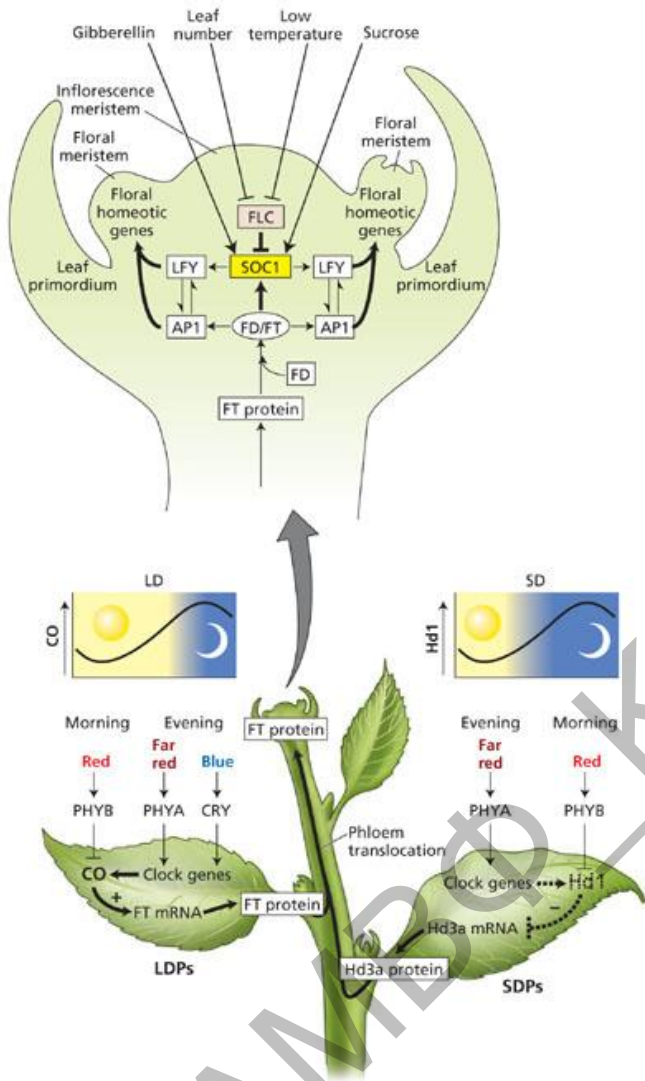
- Εισαγωγή στην ανάπτυξη των φυτών
- Ενδογενής και εξωγενής πληροφορία
- Μεθοδολογία στη μελέτη ανάπτυξης των φυτών
- Εμβρυογένεση
- Βλαστητική ανάπτυξη
- Αναπαραγωγική ανάπτυξη



# Κυτταρικές "σειρές" ή κυτταρικοί φάκελοι (cell files - cell lineage)



# Ενδογενής και εξωγενής πληροφορία



## Ενδογενής και εξωγενής πληροφορία

---

- Η ανάπτυξη τόσο στα ζώα όσο και στα φυτά είναι αποτέλεσμα των διαδοχικών κυτταρικών διαιρέσεων του ζυγωτού και της σταδιακής εξειδίκευσης των θυγατρικών κυττάρων σε συγκεκριμένα αναπτυξιακά μονοπάτια διαφοροποίησης.
- Στην πορεία διαφοροποίησης, η «τύχη» (fate) κάθε κυττάρου καθορίζεται τόσο από **ενδογενείς (κυτταρο-εξαρτώμενες)**, όσο και **εξωγενείς (κυτταρο-ανεξάρτητες) πληροφορίες** (cell intrinsic and extrinsic information).
- Κατ' αυτό τον τρόπο λοιπόν η «τύχη» ενός κυττάρου και ο ρόλος που αυτό θα υιοθετήσει, θα πρέπει να εξαρτάται τόσο από την «καταγωγή» (προέλευση) του, όσο και από τη «θέση» που κατέχει.



## Δύο κύρια ερωτήματα:



- Σε τι ποσοστό συμβάλει η «καταγωγή» (ενδογενής πληροφορία) και σε τι ποσοστό η «θέση» (εξωγενής πληροφορία) στην πορεία διαφοροποίησης («τύχη») ενός κυττάρου σε έναν οργανισμό;



- Μπορεί η «καταγωγή» ή η «θέση» ενός κυττάρου να χρησιμοποιηθεί για να προβλεφθεί η «τύχη» του κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης;



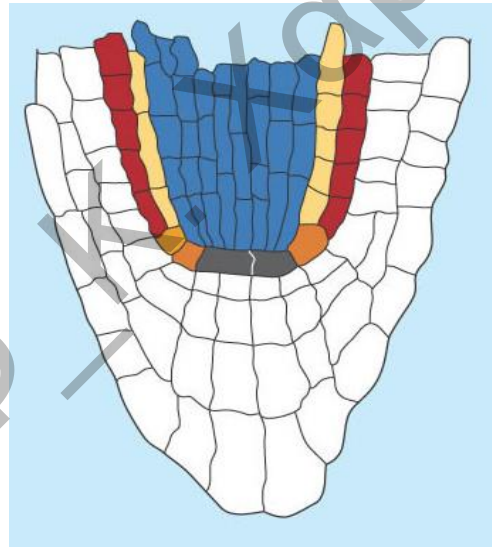
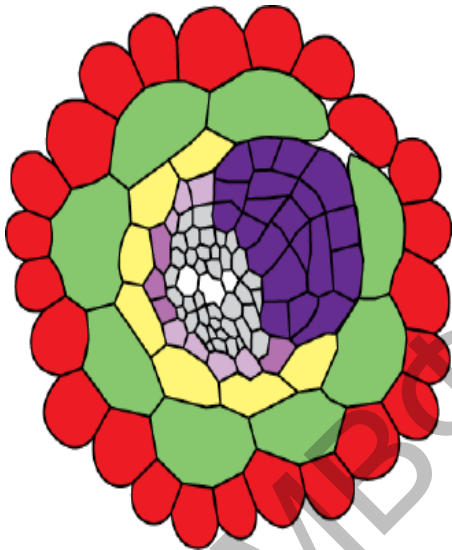
# Ενδογενής και εξωγενής πληροφορία στα ζώα

- Στα ζώα, η ύπαρξη εξαρτώμενων από την καταγωγή μηχανισμών που καθορίζουν την κάθε κυττάρου είναι πολύ πιο εμφανής.
- Αυτό φαίνεται από το γεγονός, ότι μόνο τα κύτταρα του αρχικού εμβρύου (μέχρι το στάδιο των 16 κυττάρων) είναι **ολοδυναμικά**.
- Θα μπορούσε να οφείλεται:
  - Στην ασύμμετρη διάσχιση των παραγόντων που καθορίζουν την κυτταρική «τύχη» στα θυγατρικά κύτταρα.
  - Σε εξωγενείς πληροφορίες οι οποίες μεταβιβάζονται μετά την διαίρεση στα θυγατρικά κύτταρα.
- ⊕ Η "τύχη" κάθε κυττάρου εξαρτάται κυρίως από την "καταγωγή" του.



## Ισχύει το ίδιο στα Φυτά ???

Στα φυτά το στερεότυπο πρότυπο των διαιρέσεων και η οργάνωση των κυττάρων της ρίζας στο *Arabidopsis thaliana* καθιστά εύκολη την παρακολούθηση του «αναπτυξιακού πρότυπου καταγωγής» (cell lineage pattern). Σύμφωνα με αυτό, τα κύτταρα φαίνεται να έχουν μία προκαθορισμένη «τύχη» και να ακολουθούν ένα συγκεκριμένο σχέδιο ανάπτυξης και διαφοροποίησης.





# Ενδογενής και εξωγενής πληροφορία

Στο κεφάλαιο αυτό αλλά και στα επόμενα που ακολουθούν θα συζητηθεί:

Ο ρόλος της κυτταρο-εξαρτώμενης (ενδογενής - "καταγωγής") και κυτταρο-ανεξάρτητης (εξωγενής - "θέσης") πληροφορίας στον καθορισμό της κυτταρικής «τύχης».

- 1) Το ρόλο της πληροφορίας που κάθε κύτταρο κληρονομεί από το μητρικό του κύτταρο. Η πληροφορία αυτή συνδέει άμεσα την «**τύχη**» κάθε κυττάρου με την «**καταγωγή**» (προέλευση) του (lineage).
- 2) Το ρόλο της πληροφορίας που κάθε κύτταρο δέχεται από τα γειτονικά του κύτταρα βάσει της «θέσης» στην οποία βρίσκεται.
- 3) Την εξαρτώμενη από την ηλικία κάθε κυττάρου πληροφορία και το ρόλο που αυτή διαδραματίζει στην ανάπτυξη των φυτών.



## Σχέση μεταξύ «καταγωγής», «θέσης» και «κυτταρικής τύχης»

---

Η σχέση μεταξύ «καταγωγής» και «κυτταρικής τύχης» μπορεί να μελετηθεί:

1. Με «ανάλυση κλώνων» (clonal analysis)
2. Με αδρανοποίηση κυττάρων με λέιζερ (laser ablation)
3. Με παρατηρήσεις απόκλισης του κανονικού «αναπτυξιακού πρότυπου καταγωγής» (περικλινείς και τμηματικές χίμαιρες)
4. Με τις πλοειδίες των φυτικών γονιδιωμάτων
5. Με μεταλλάξεις που επηρεάζουν το κανονικό πρότυπο των κυτταρικών διαιρέσεων (φαινότυποι μεταλλαγμένων στελεχών)



## Σχέση μεταξύ «καταγωγής», «θέσης» και «κυτταρικής τύχης»

---

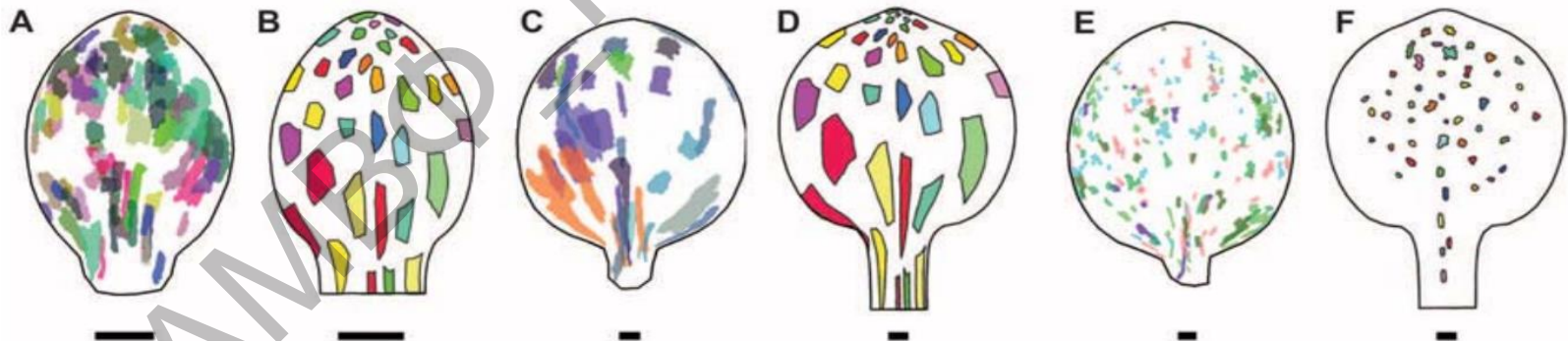
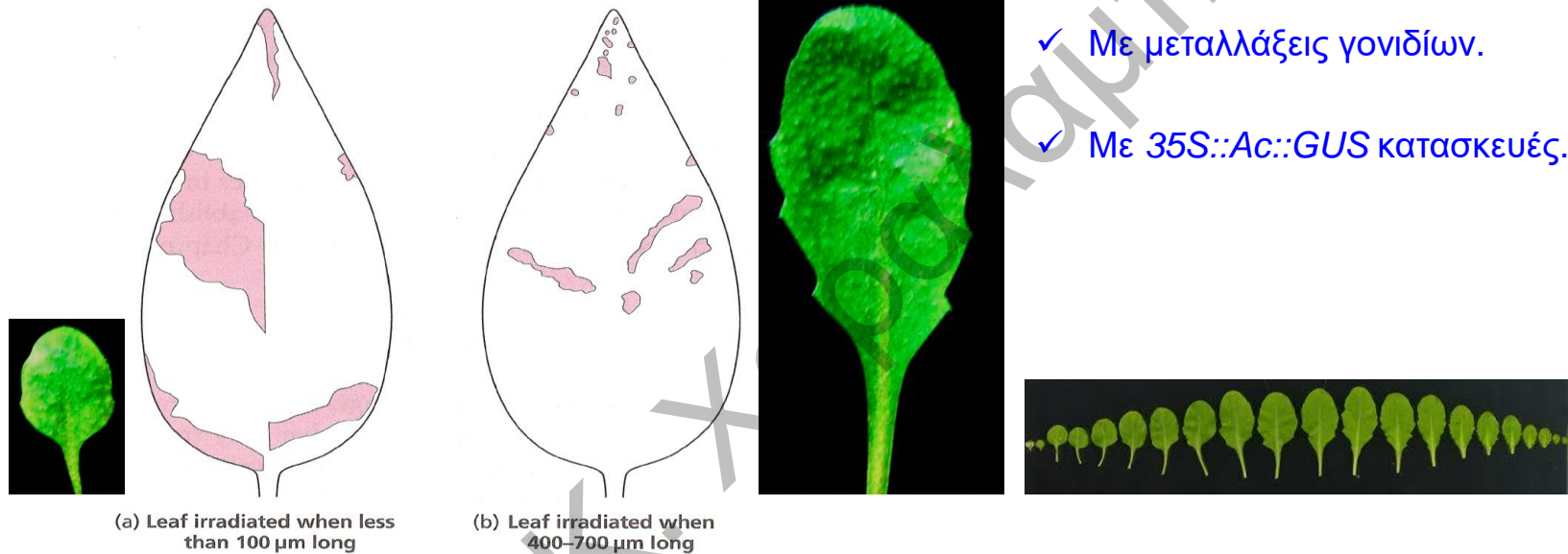
Η σχέση μεταξύ «καταγωγής» και «κυτταρικής τύχης» μπορεί να μελετηθεί:

1. Με «ανάλυση κλώνων» (clonal analysis)
2. Με αδρανοποίηση κυττάρων με λέιζερ (laser ablation)
3. Με παρατηρήσεις απόκλισης του κανονικού «αναπτυξιακού πρότυπου καταγωγής» (περικλινείς και τμηματικές χίμαιρες)
4. Με τις πλοειδίες των φυτικών γονιδιωμάτων
5. Με μεταλλάξεις που επηρεάζουν το κανονικό πρότυπο των κυτταρικών διαιρέσεων (φαινότυποι μεταλλαγμένων στελεχών)

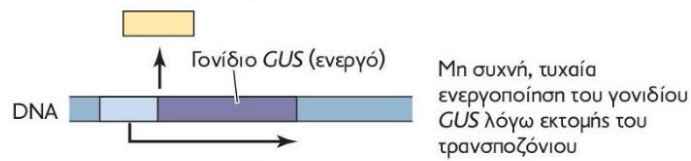
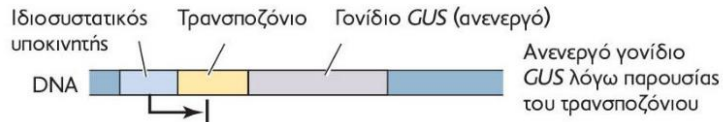


# Η τεχνική της «ανάλυσης κλώνων» (clonal analysis)

Τη σήμανση ενός κυττάρου με έναν επικρατή, ορατό δείκτη (γονίδιο) σε κάποιο αρχικό στάδιο της ανάπτυξης, και την παρακολούθηση της πορείας αυτού και των θυγατρικών του κυττάρων κατά τη διάρκεια μεταγενέστερων αναπτυξιακών σταδίων.

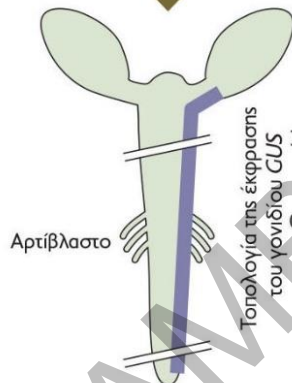


# Η τεχνική της «ανάλυσης κλώνων» (clonal analysis)

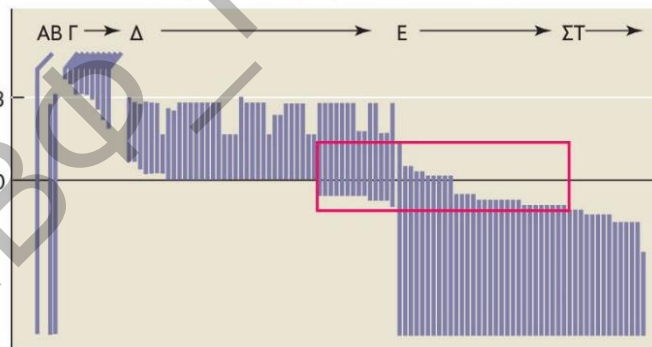


Μεταγραφή, μετάφραση

Έμβριο αρχικού σταδίου ανάπτυξης

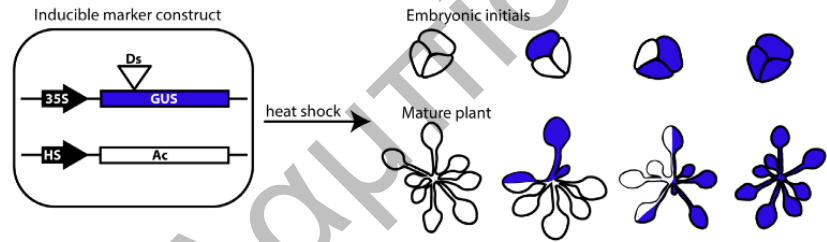


Τομείς που προέκυψαν από μεμονωμένα κύτταρα του εμβρύου σε πρώιμο στάδιο ανάπτυξης

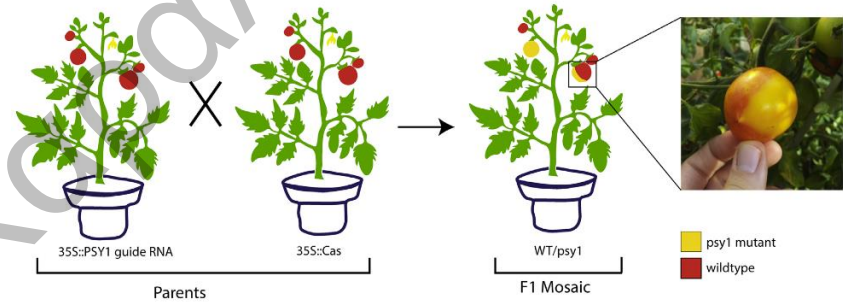


Διάφορα αρτίβλαστα Arabidopsis

## A - Single marker transgenic mosaics



## C - CRISPR-Cas genome editing mosaics



## Phytoene synthase genes in tomato



## Σχέση μεταξύ «καταγωγής», «θέσης» και «κυτταρικής τύχης»

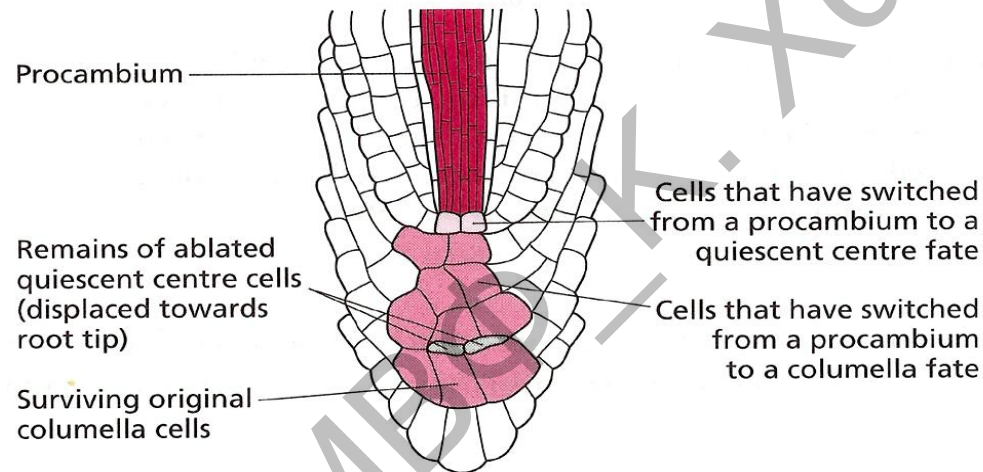
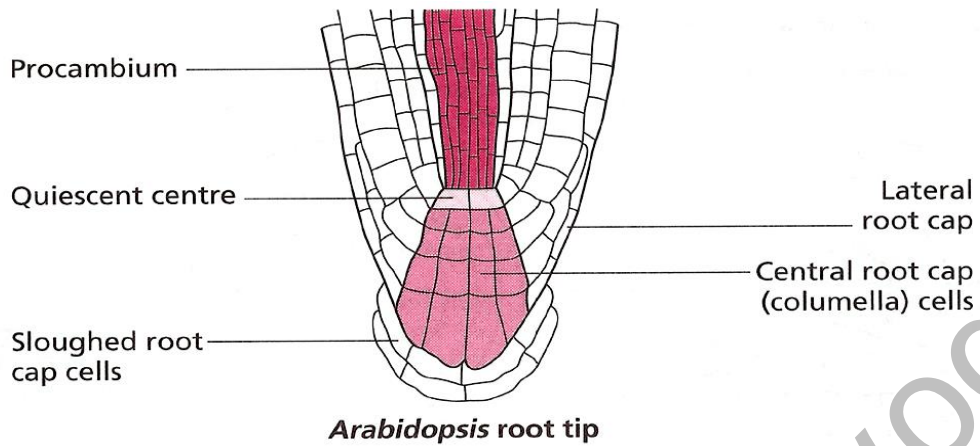
---

Η σχέση μεταξύ «καταγωγής» και «κυτταρικής τύχης» μπορεί να μελετηθεί:

1. Με «ανάλυση κλώνων» (clonal analysis)
2. Με αδρανοποίηση κυττάρων με λέιζερ (laser ablation)
3. Με παρατηρήσεις απόκλισης του κανονικού «αναπτυξιακού πρότυπου καταγωγής» (περικλινείς και τμηματικές χίμαιρες)
4. Με τις πλοειδίες των φυτικών γονιδιωμάτων
5. Με μεταλλάξεις που επηρεάζουν το κανονικό πρότυπο των κυτταρικών διαιρέσεων (φαινότυποι μεταλλαγμένων στελεχών)



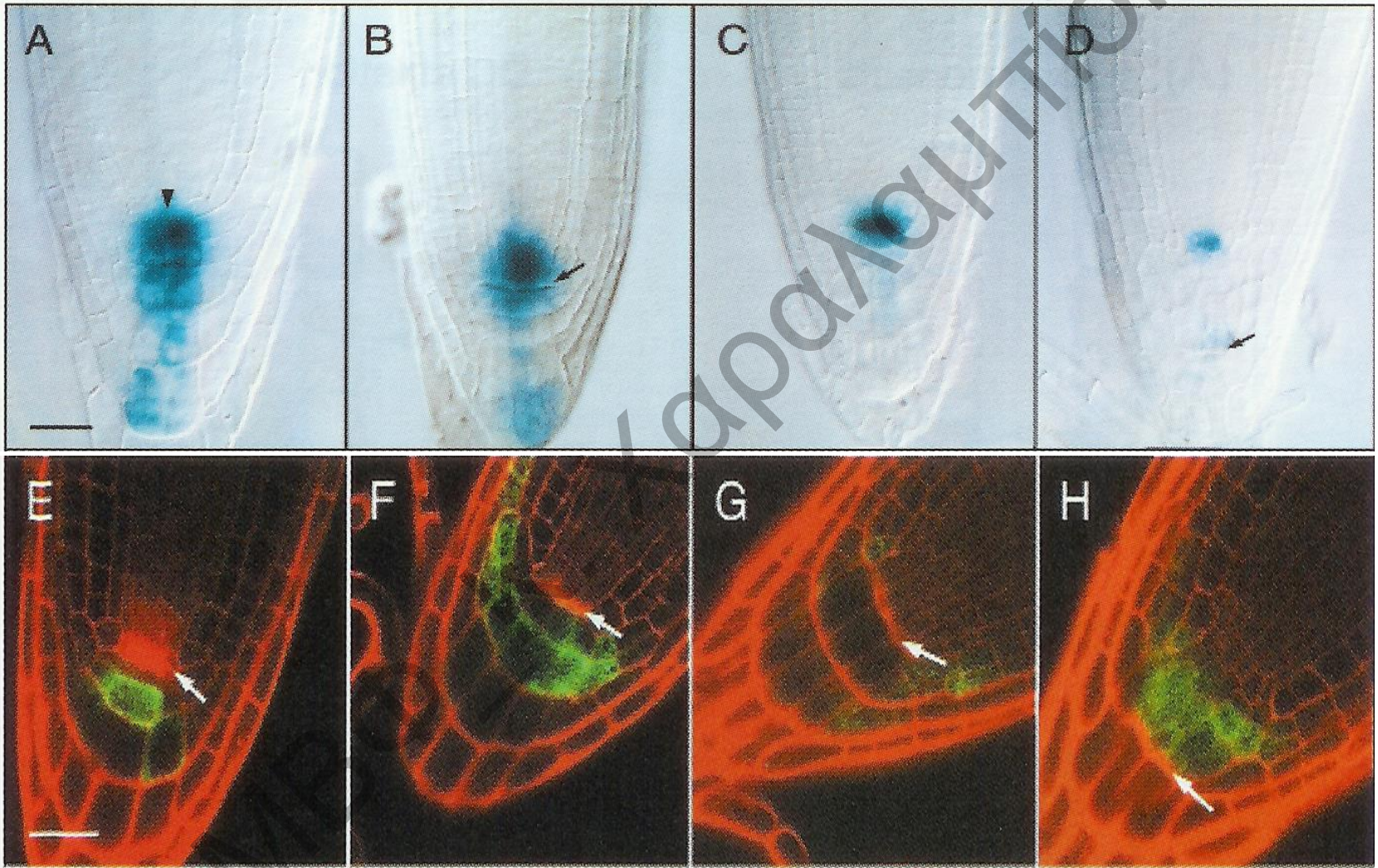
# Αδρανοποίηση κυττάρων με λέιζερ (laser ablation)



Η «πληροφορία θέσης» (positional information) μπορεί να αντικαταστήσει την «πληροφορία καταγωγής» (lineage information) στον καθορισμό της «τύχης» ενός κυττάρου

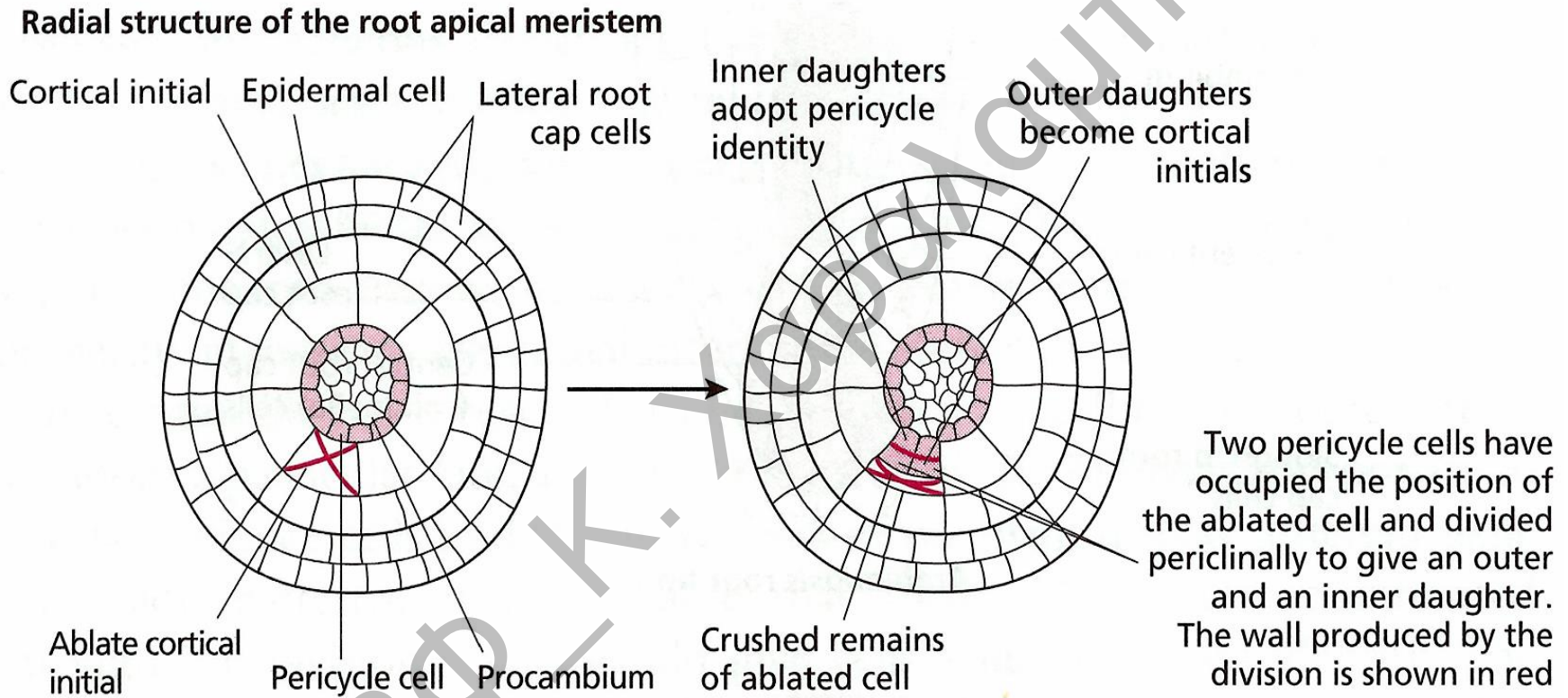


# Δημιουργία νέου κέντρου ηρεμίας (QC) από προκαμβιακά κύτταρα





# Αδρανοποίηση με λέιζερ ενός αρχικού κύτταρου φλοιού στο AMP



## Σχέση μεταξύ «καταγωγής», «θέσης» και «κυτταρικής τύχης»

---

Η σχέση μεταξύ «καταγωγής» και «κυτταρικής τύχης» μπορεί να μελετηθεί:

1. Με «ανάλυση κλώνων» (clonal analysis)
2. Με αδρανοποίηση κυττάρων με λέιζερ (laser ablation)
3. Με παρατηρήσεις απόκλισης του κανονικού «αναπτυξιακού πρότυπου καταγωγής» (περικλινείς και τμηματικές χίμαιρες)
4. Με τις πλοειδίες των φυτικών γονιδιωμάτων
5. Με μεταλλάξεις που επηρεάζουν το κανονικό πρότυπο των κυτταρικών διαιρέσεων (φαινότυποι μεταλλαγμένων στελεχών)



## Green-white-green (GWG) periclinal chimera - *Hedera helix*

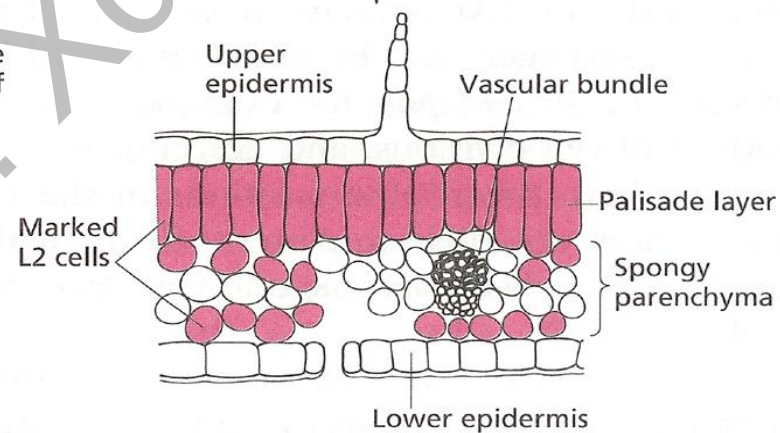
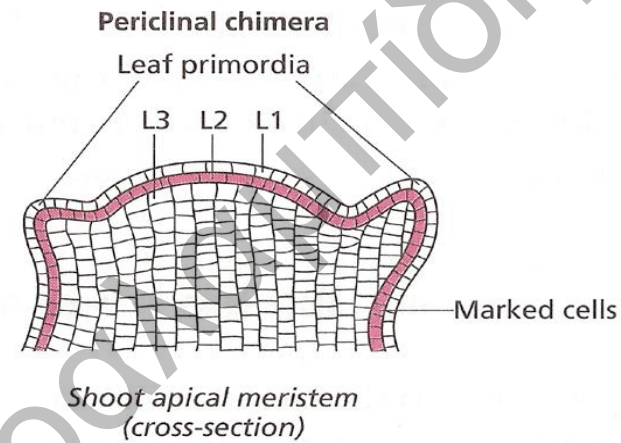
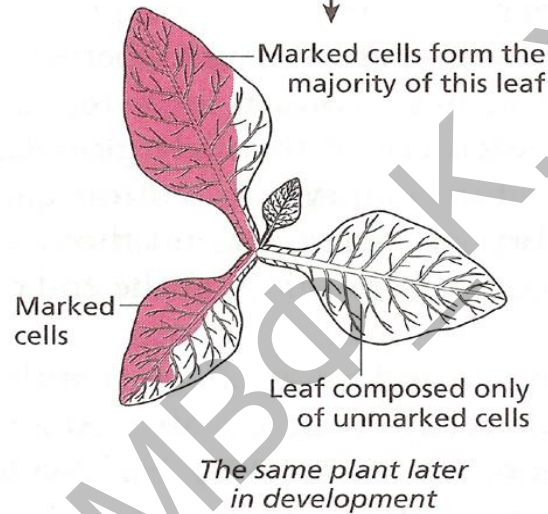
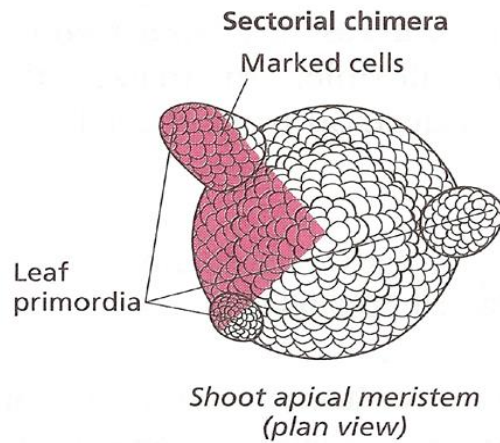
---



# Green-white-green (GWG) periclinal chimera - *Hedera helix*



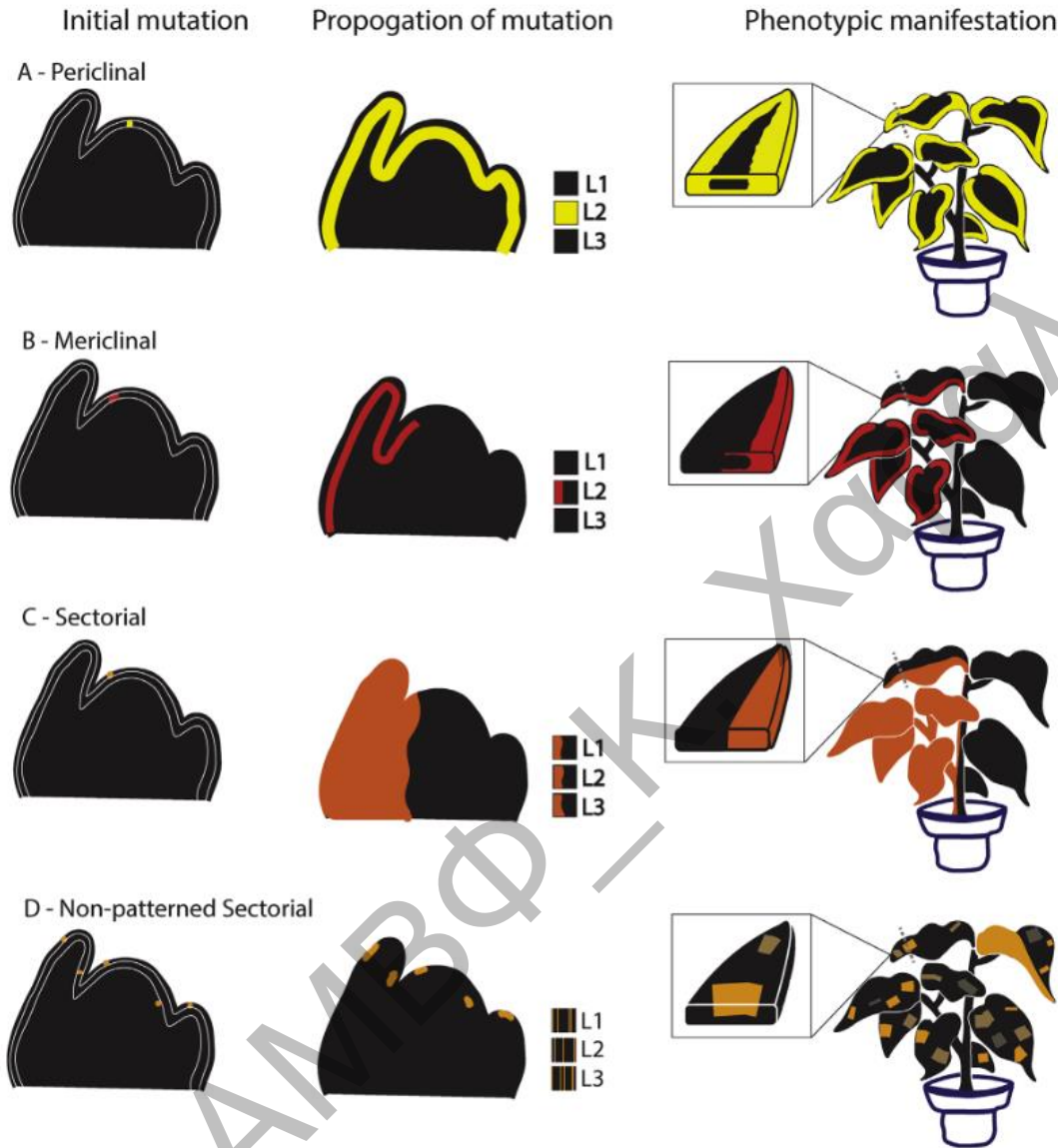
# Τμηματικές και περικλινείς χίμαιρες στο *Nicotiana benthamiana*



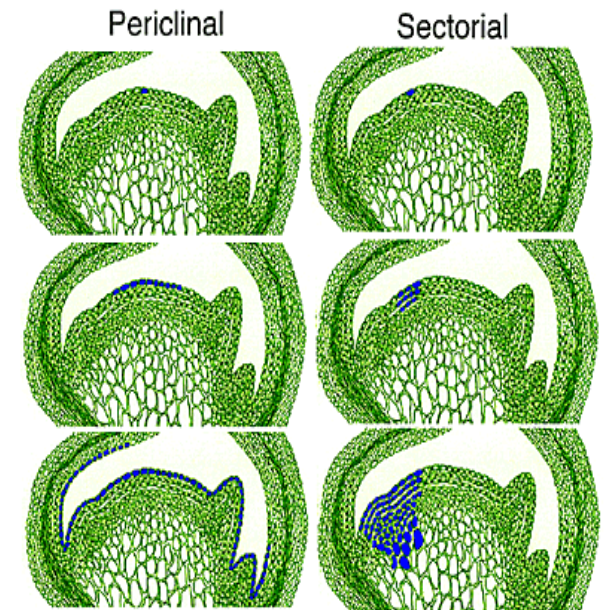
Cross-section of leaf on the same plant (taken from the middle of the blade)



# Περικλινείς και τμηματικές χίμαιρες



Η σχέση μεταξύ της θέσης ενός κυττάρου στο AMB και της «τύχης» των θυγατρικών του κυττάρων, μπορεί να αποκαλυφθεί σε φυτά στα οποία το AMB είναι **μωσαϊκό** (mosaic)



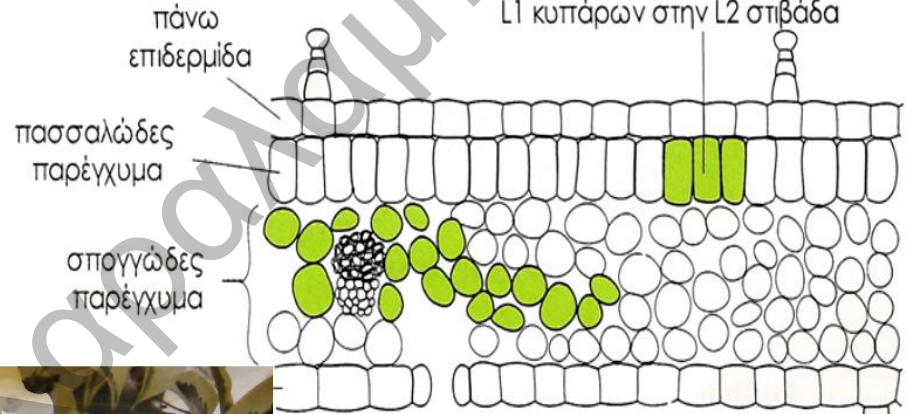
# Green-white-green (GWG) periclinal chimera

Σκούρο πράσινο έλασμα:  
Αλπινικά L2 κύτταρα  
περιορίζονται στην  
υποεπιδερμική στιβάδα

Ανοιχτές πράσινες περιοχές:  
μερική εισχώρηση αλπινικών  
L2 κυττάρων στην L3 στιβάδα

Άσπρες  
περιοχές:  
Ολική  
εκχώρηση  
αλπικών  
L2 κυττάρων  
στην L3 στιβάδα

Ανοιχτές πράσινες νησίδες:  
εισχώρηση άγριου τύπου  
L1 κυττάρων στην L2 στιβάδα  
του μεσόφυλλου



Ανοιχτές πράσινες νησίδες  
σχηματίζονται από τη μετακίνηση  
L1 κυττάρων στην L2 στιβάδα

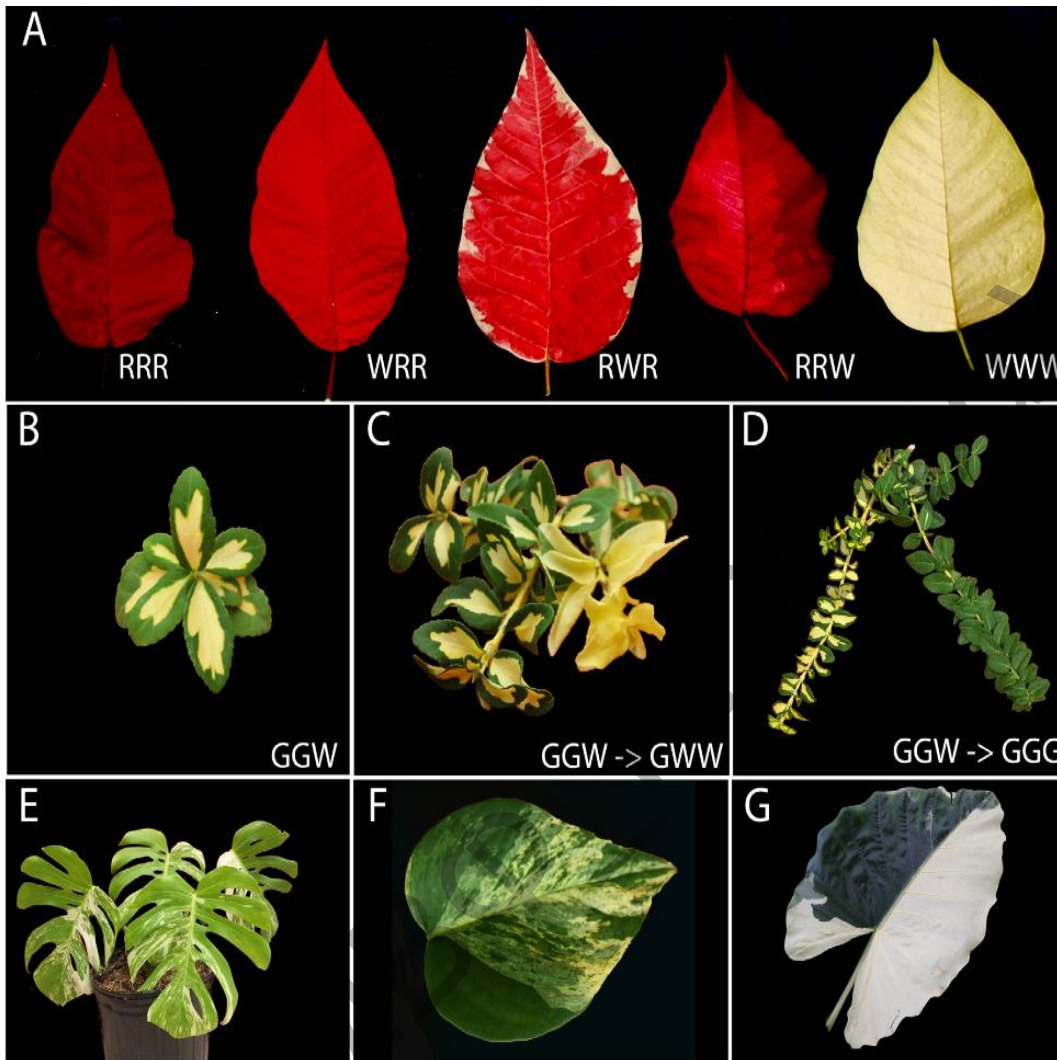
σκούρο  
πράσινο

ανοιχτό  
πράσινο

Άσπρες  
περιοχές εμφανίζονται  
όπου τα κύτταρα της L2  
στιβάδας έχουν εισχωρήσει  
πλήρως στην L3 στιβάδα



## Other examples of periclinal chimeras



Examples of sporting in variegated mosaics. A full spectrum of potential red (R) and white (W) periclinal arrangements in the showy foliage of *Euphorbia pulcherrima* 'Poinsettia' is shown in (A).

A periclinal green-L2 white-L3 *Euonymus fortune* (B) sports into an albino shoot when the L3 invades the L2 (C) and recovers into a uniform green shoot when the L2 invades the L3 (D).

Active transposons in non-patterned variegated varieties create frequent G/W sectoring in *Monstera deliciosa* (E), *Epipremnum aureum* (F) and *Alocasia macrorrhizos* (G).





## Σχέση μεταξύ «καταγωγής», «θέσης» και «κυτταρικής τύχης»

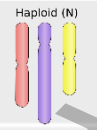
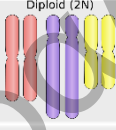


---

Η σχέση μεταξύ «καταγωγής» και «κυτταρικής τύχης» μπορεί να μελετηθεί:

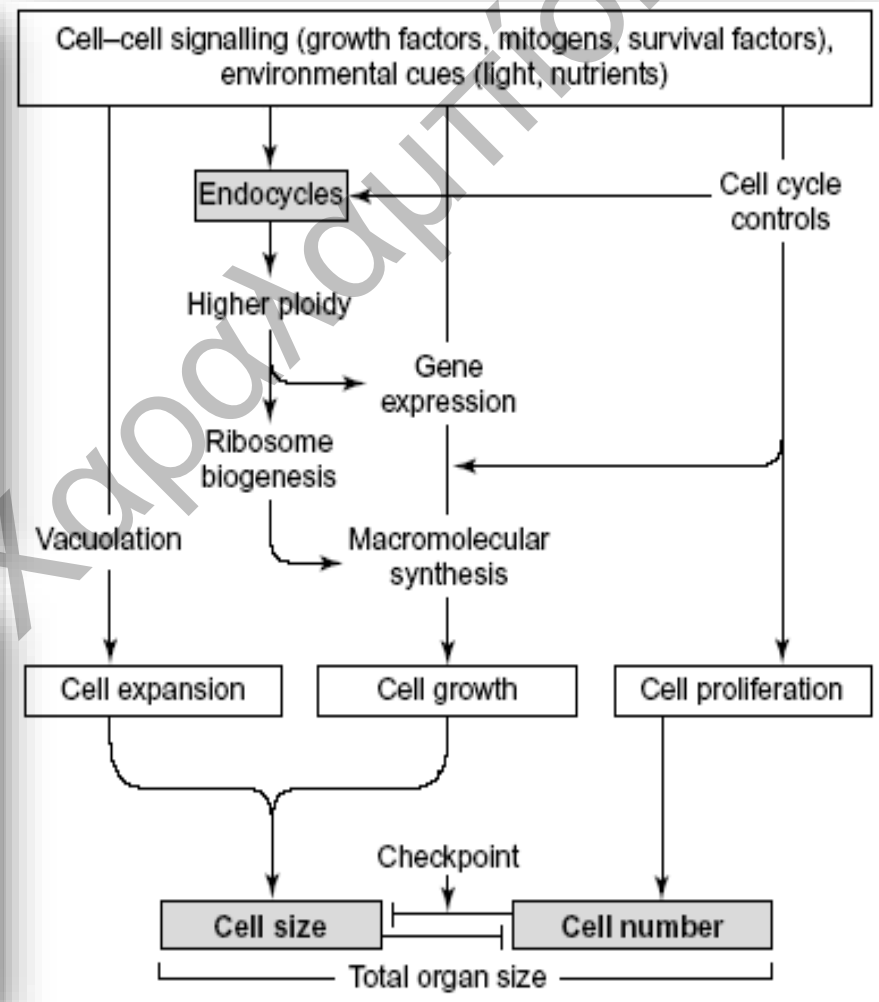
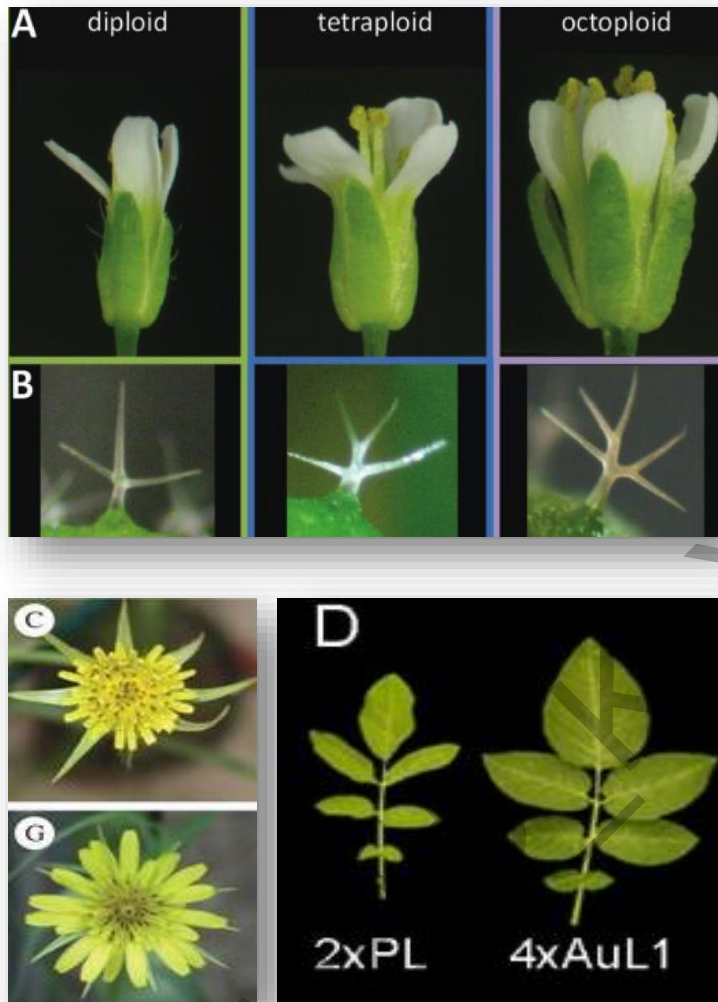
1. Με «ανάλυση κλώνων» (clonal analysis)
2. Με αδρανοποίηση κυττάρων με λέιζερ (laser ablation)
3. Με παρατηρήσεις απόκλισης του κανονικού «αναπτυξιακού πρότυπου καταγωγής» (περικλινείς και τμηματικές χίμαιρες)
4. Με τις πλοειδίες των φυτικών γονιδιωμάτων
5. Με μεταλλάξεις που επηρεάζουν το κανονικό πρότυπο των κυτταρικών διαιρέσεων (φαινότυποι μεταλλαγμένων στελεχών)



# Σχέση μεταξύ πλοειδίας και κυτταρικού μεγέθους

Euploids	Symbol	Somatic (2n)
monoploid/haploid	x	 (A)
diploid	2x	 (AA)
triploid	3x	 (AAA)
autotetraploid	4x	 (AAAA)
allotetraploid	2x+2x'	(AABB)
allohexaploid	4x+1x'+1x''	(AAABDD) <i>Triticum aestivum</i>

# Model of some of the key processes that regulate cell size

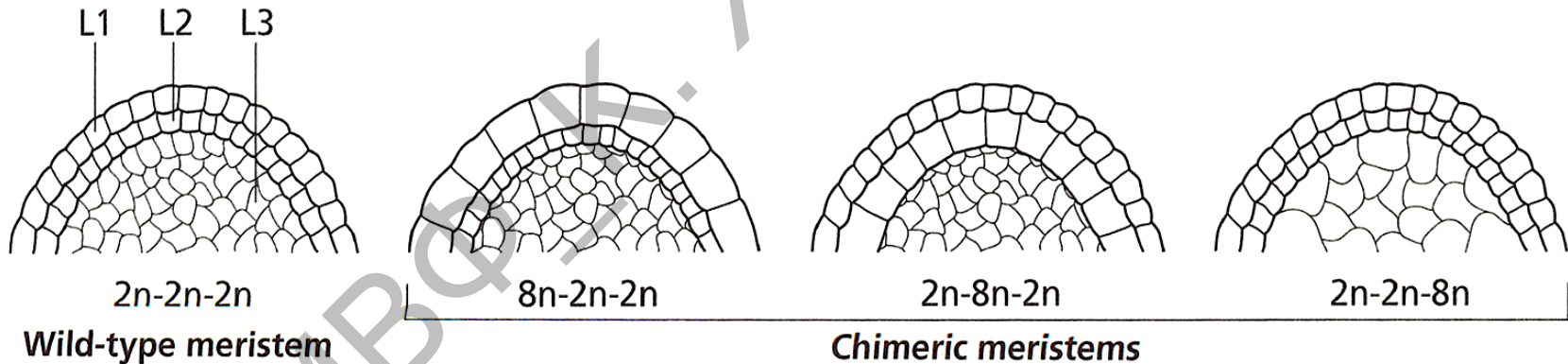


# Σχέση μεταξύ πλοειδίας και κυτταρικού μεγέθους

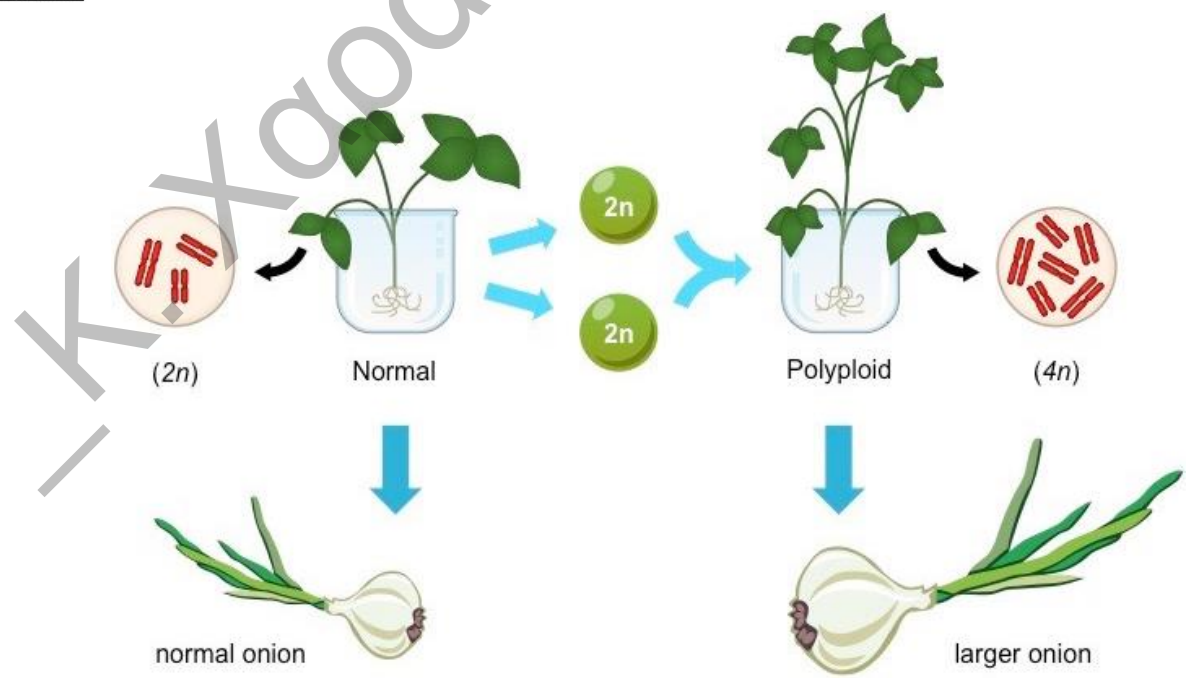
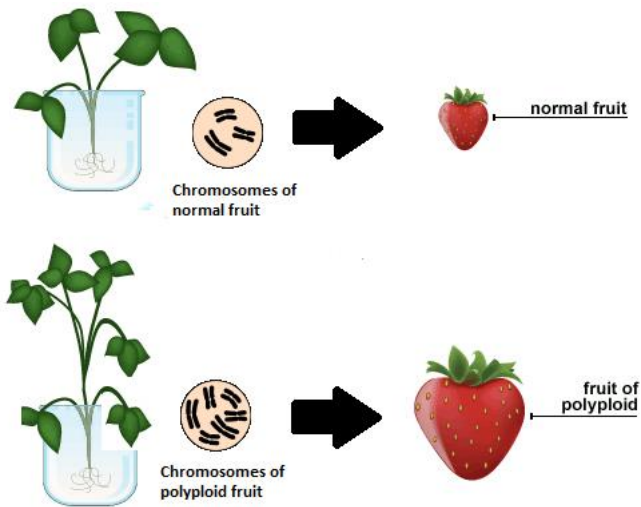
Διπλοειδείς/Πολυπλοειδείς χίμαιρες



*Datura stramonium* (Solanaceae)



# Σχέση μεταξύ πλοειδίας και κυτταρικού μεγέθους...και καρπού



# Examples of plants with various chromosome ploidy

## Common polyploid plants

Ploidy Level	Examples
XXX Triploid	Seedless watermelon, Banana
XXXX Tetraploid	Blackberries, Peanuts
XXXXXX Hexaploid	Sweet potato, Wheat
XXXXXXXX Octoploid	Strawberry

American Society of Agronomy

Crop Science  
SOCIETY OF AMERICA



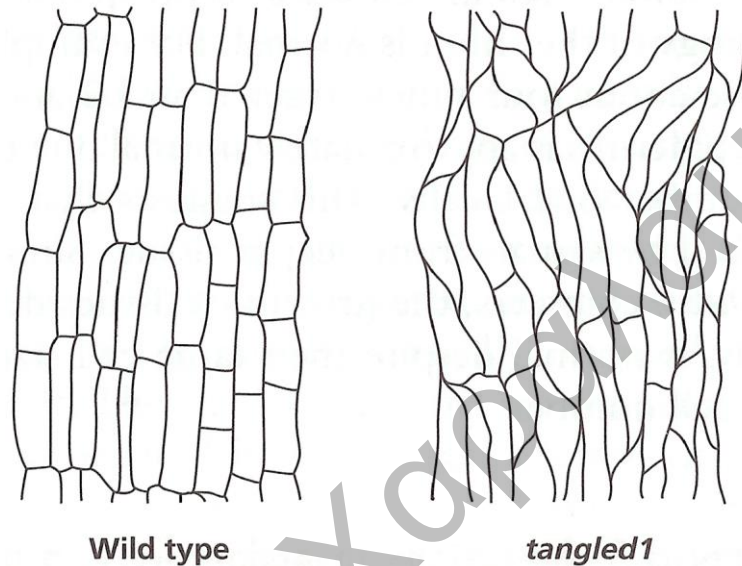
## Σχέση μεταξύ «καταγωγής», «θέσης» και «κυτταρικής τύχης»

---

Η σχέση μεταξύ «καταγωγής» και «κυτταρικής τύχης» μπορεί να μελετηθεί:

1. Με «ανάλυση κλώνων» (clonal analysis)
2. Με αδρανοποίηση κυττάρων με λέιζερ (laser ablation)
3. Με παρατηρήσεις απόκλισης του κανονικού «αναπτυξιακού πρότυπου καταγωγής» (περικλινείς και τμηματικές χίμαιρες)
4. Με τις πλοειδίες των φυτικών γονιδιωμάτων
5. Με μεταλλάξεις που επηρεάζουν το κανονικό πρότυπο των κυτταρικών διαιρέσεων (φαινότυποι μεταλλαγμένων στελεχών)

## Μεταλλάξεις που επηρεάζουν το κανονικό πρότυπο των διαιρέσεων



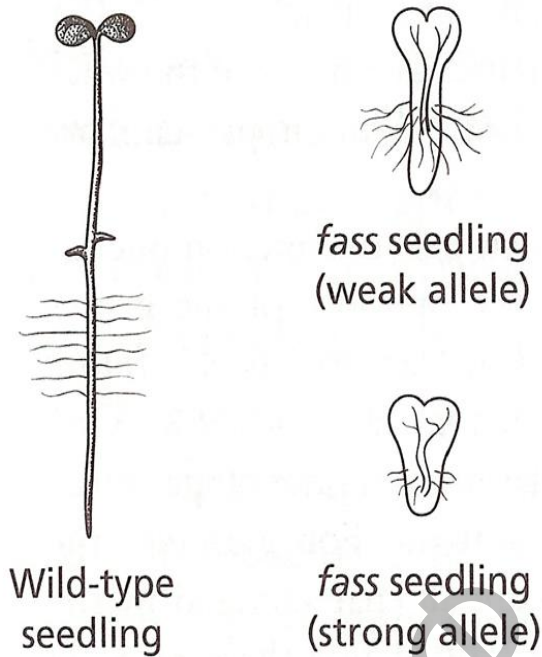
- Μεταλλάξεις στο γονίδιο *TANGLED1* (*TAN1*) του καλαμποκιού διαταράσσει τον προσανατολισμό του καινούριου κυτταρικού τοιχώματος μετά την κυτταρική διαίρεση
- Η ανώμαλη όμως διευθέτηση των κυττάρων οδηγεί στην ανάπτυξη φυτών με σχετικά κανονικό σχήμα και κανονική διάταξη των ιστών και οργάνων
- Τα κύτταρα, ενώ διευθετούνται σε λάθος θέσεις, αποβάλλουν την πληροφορία «καταγωγής» που αρχικά είχαν και υιοθετούν την «τύχη» των νέων τους θέσεων



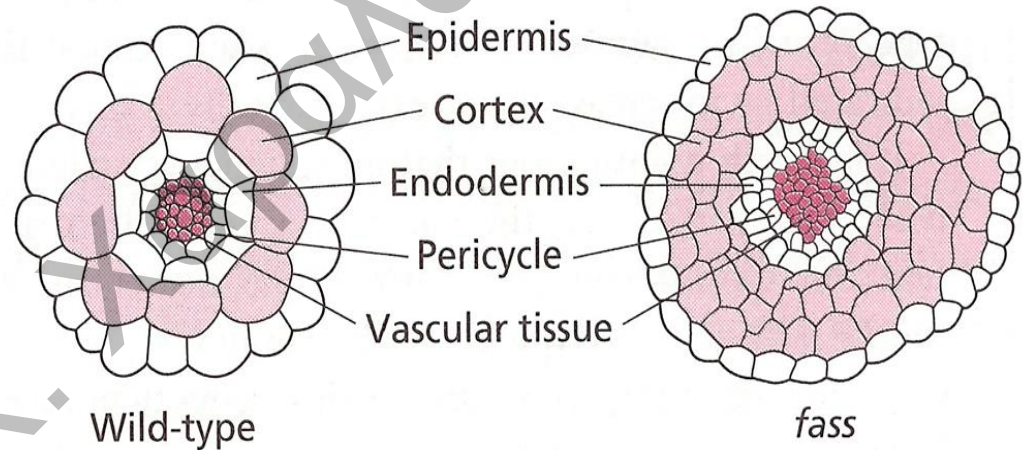


# Μεταλλάξεις που επηρεάζουν το κανονικό πρότυπο των διαρρέσεων

Wild-type and *fass* *Arabidopsis* seedlings

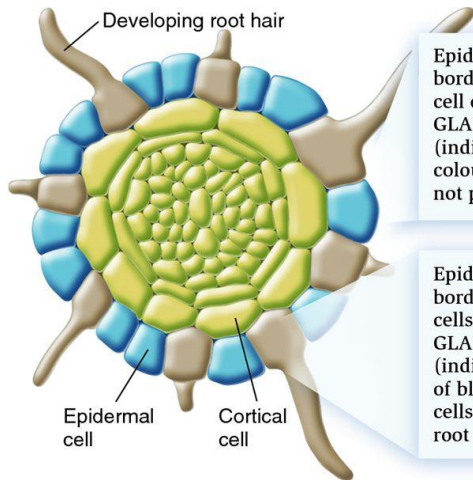


Wild-type and *fass* radicles



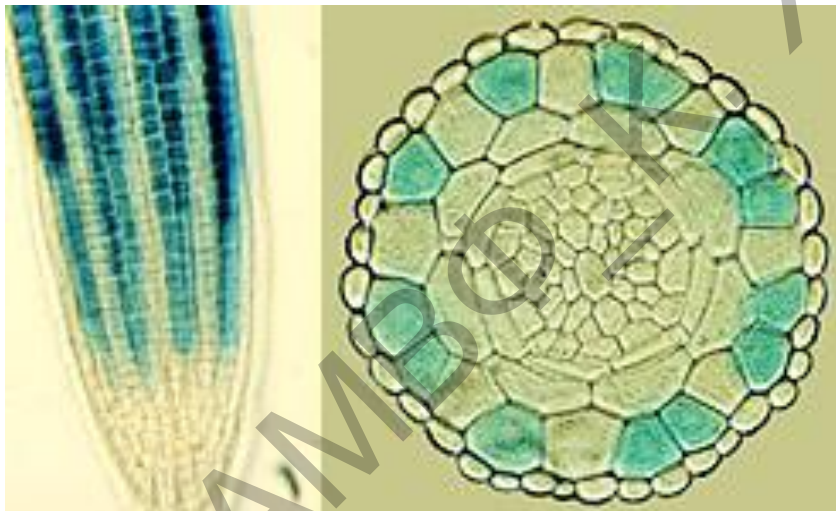
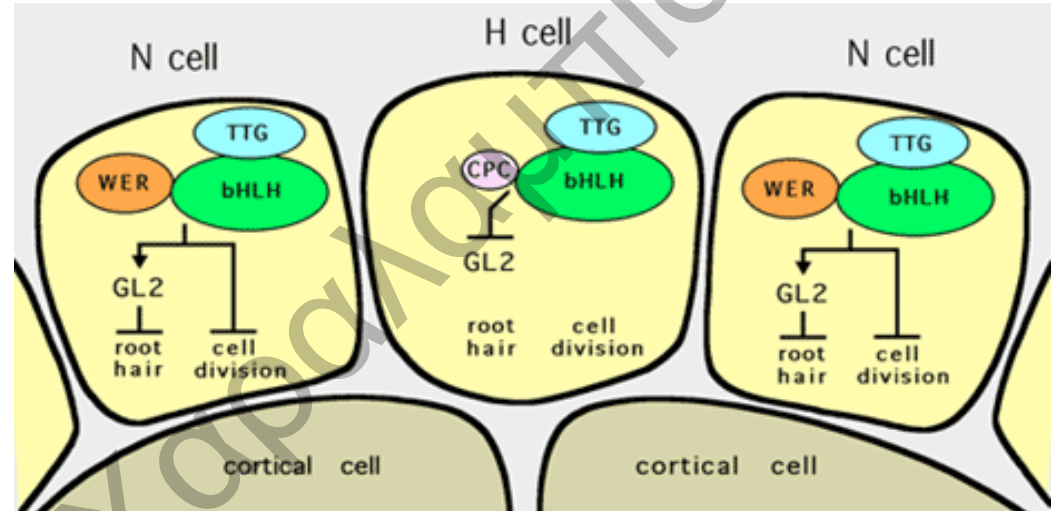
# Η πληροφορία «θέσης» στην ανάπτυξη επιδερμικών εξαρτημάτων

## Ρίζα



Epidermal cells that border a single cortical cell express the GLABRA-2 protein (indicated by blue colour). These cells will not produce root hairs.

Epidermal cells that border two cortical cells do not produce GLABRA-2 protein (indicated by absence of blue colour). These cells will produce root hairs.



*WER::GUS / GL2::GUS*



## Σχέση μεταξύ «ηλικίας» και «θέσης» στον καθορισμό της «τύχης»

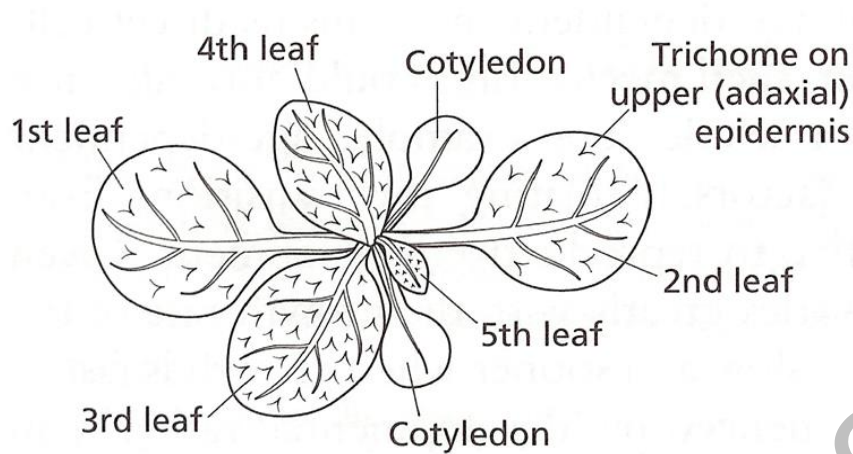
Μεταλλάξεις οι οποίες αλλάζουν την **τοπολογία υιοθέτησης μίας κυτταρικής «τύχης»** (position of cell fate acquisition) ονομάζονται **ομοιωτικές** (homeotic), ενώ αυτές που αλλάζουν την **χρονική στιγμή υιοθέτησης μίας κυτταρικής «τύχης»** (timing of cell fate acquisition) **ετεροχρονικές** (heterochronic).



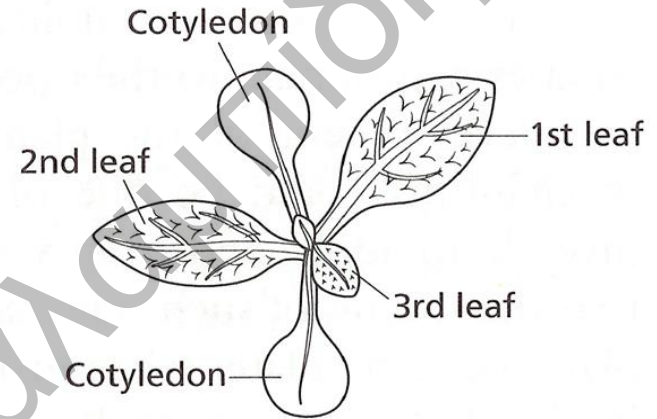
Πρώτη ένδειξη αποτέλεσαν οι ομοιωτικές-ετεροχρονικές μεταλλάξεις άνθους



# Σχέση μεταξύ «ηλικίας» και «θέσης» στον καθορισμό της «τύχης»

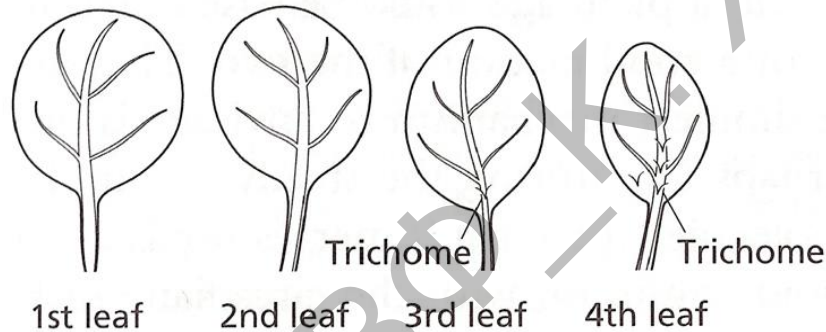


Wild-type plant (top view)

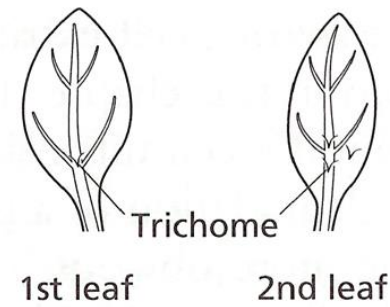


paused plant (top view)

Μεταλλαγμένα στελέχη *paused (psd)* και *altered meristem program (amp1)* στο *Arabidopsis thaliana*



Abaxial (lower) surface of wild-type leaves



Abaxial (lower) surface of *paused* leaves



## Συμπεράσματα

---

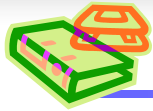
- Στα φυτά, οι ενδογενείς πληροφορίες (intrinsic information) σπάνια καθορίζουν την ακριβή «τύχη» των κυττάρων
- Οι μηχανισμοί «καταγωγής» δεν είναι αναγκαίοι για το σχηματισμό της θεμελιώδους ακτινωτής και επιμήκους διάταξης των ιστών και οργάνων σε ένα φυτό.
- Η ενδογενής πληροφορία ενός κυττάρου, όπως για παράδειγμα το κληρονομούμενο πρότυπο γονιδιακής έκφρασης, επηρεάζει ασφαλώς την «τύχη» του, αλλά αυτή η πληροφορία μπορεί να αντικατασταθεί πλήρως από εξωγενή σιγιάλα.
- Η διατάραξη της κανονικής σχέσης κυτταρικής «καταγωγής» και «θέσης» έχει σαν αποτέλεσμα οι εξωγενείς πληροφορίες να καθοδηγούν τα κύτταρα να υιοθετήσουν «τύχες» που σχετίζονται με τη νέα τους «θέση», συμβάλλοντας κατ' αυτό τον τρόπο στην δημιουργία κανονικών προτύπων ανάπτυξης.



... τα φυτικά κύτταρα δεν δεσμεύονται (λόγω καταγωγής) μη αντιστρεπτά σε ένα πρόγραμμα διαφοροποίησης (developmental program), αλλά μπορούν να υιοθετήσουν νέες αναπτυξιακές πορείες («τύχες») ανάλογα με το νέο περιβάλλον στο οποίο θα βρεθούν.

- ⊕ Η "τύχη" κάθε κυττάρου ρυθμίζεται βάσει μίας ισορροπίας πληροφοριών κυτταρικής «καταγωγής», «θέσης» και «ηλικίας»





Thanks for your attention

ΑΜΒΦ - Κ. Χαρολαμπτίδης

