

153 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ ΜΑΘΗΜΑ
ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΦΥΤΙΚΩΝ ΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 03
ΤΟ ΚΥΤΤΑΡΟ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ

Πλαστίδια: χλωροπλάστες, χρωμοπλάστες, λευκοπλάστες
Έγκλειστα: κρύσταλλοι, πρωτεϊνόκοκκοι, αμυλόκοκκοι



Δρ. Ελευθερία Φανουράκη

Types of Plant Cells

Meristematic Cells

(the cells plants use to grow)

Parenchyma Cells

(do most of the work for the plant)

Collenchyma Cells

(back-up system for the plant)

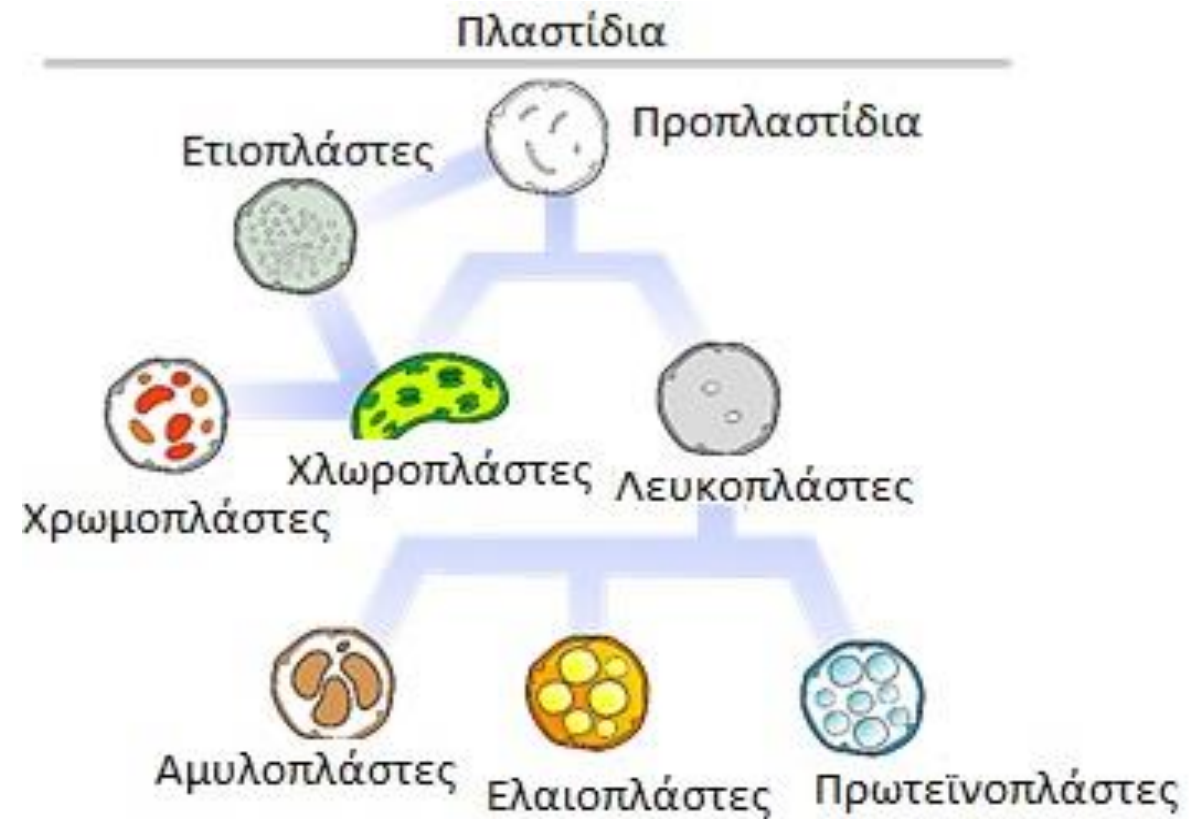
Sclerenchyma Cells

(dead cells in areas no longer growing)

Φωτοσύνθεση,
αποταμίευση κ.α.

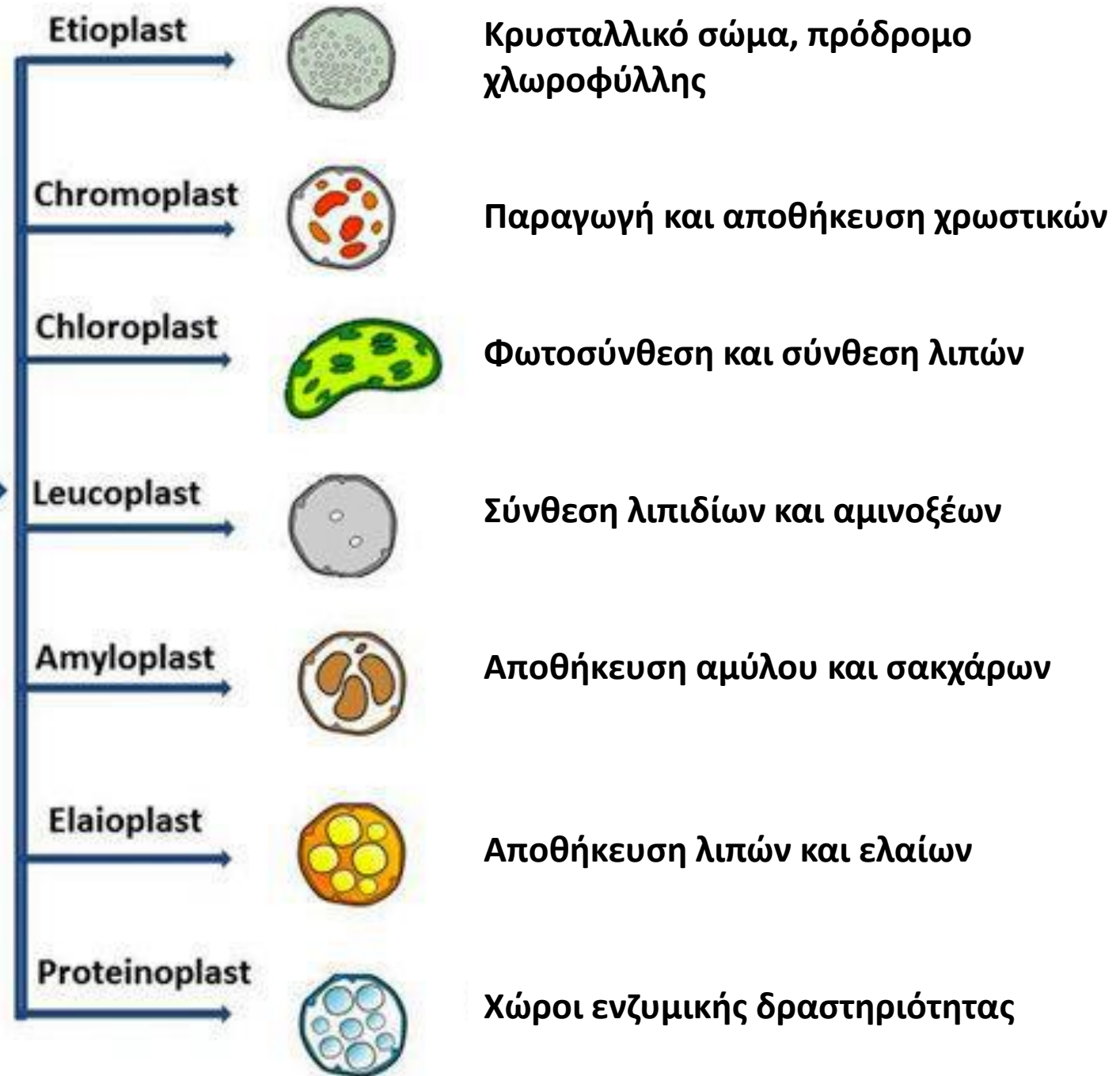
ΠΛΑΣΤΙΔΙΑ

- Οργανίδια με διπλή μεμβράνη
- τόπος παραγωγής και αποθήκευσης σημαντικών χημικών ενώσεων
- Συχνά περιέχουν χρωστικές που χρησιμοποιούνται στη φωτοσύνθεση και καθορίζουν το χρώμα του κυττάρου
- Κοινή εξελικτική προέλευση - έχουν κυκλικό δίκλωνο μόριο DNA, όπως αυτό των προκαρυωτικών κυττάρων.
- διάφορες μορφές, ανάλογα με τη λειτουργία τους
- Τα αδιαφοροποίητα πλαστίδια (προπλαστίδια) μπορεί να αναπτυχθούν σε οποιαδήποτε από τις παραλλαγές

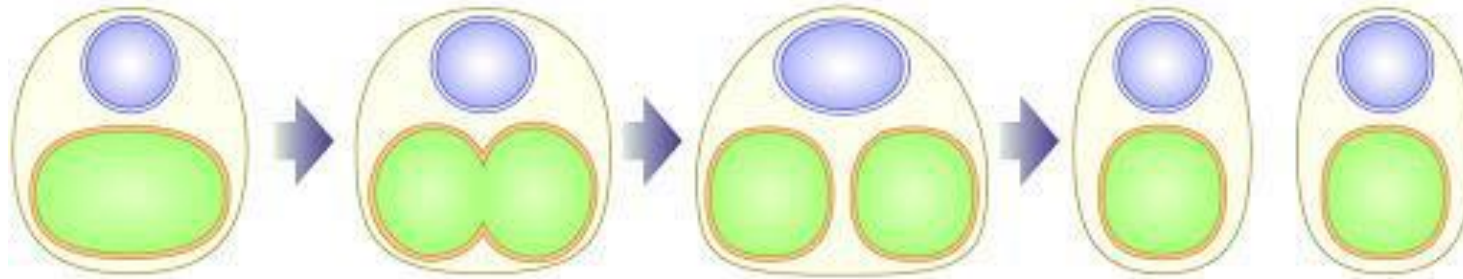


Σχήμα 1. Είδη πλαστιδίων και πιθανοί μετασχηματισμοί τους

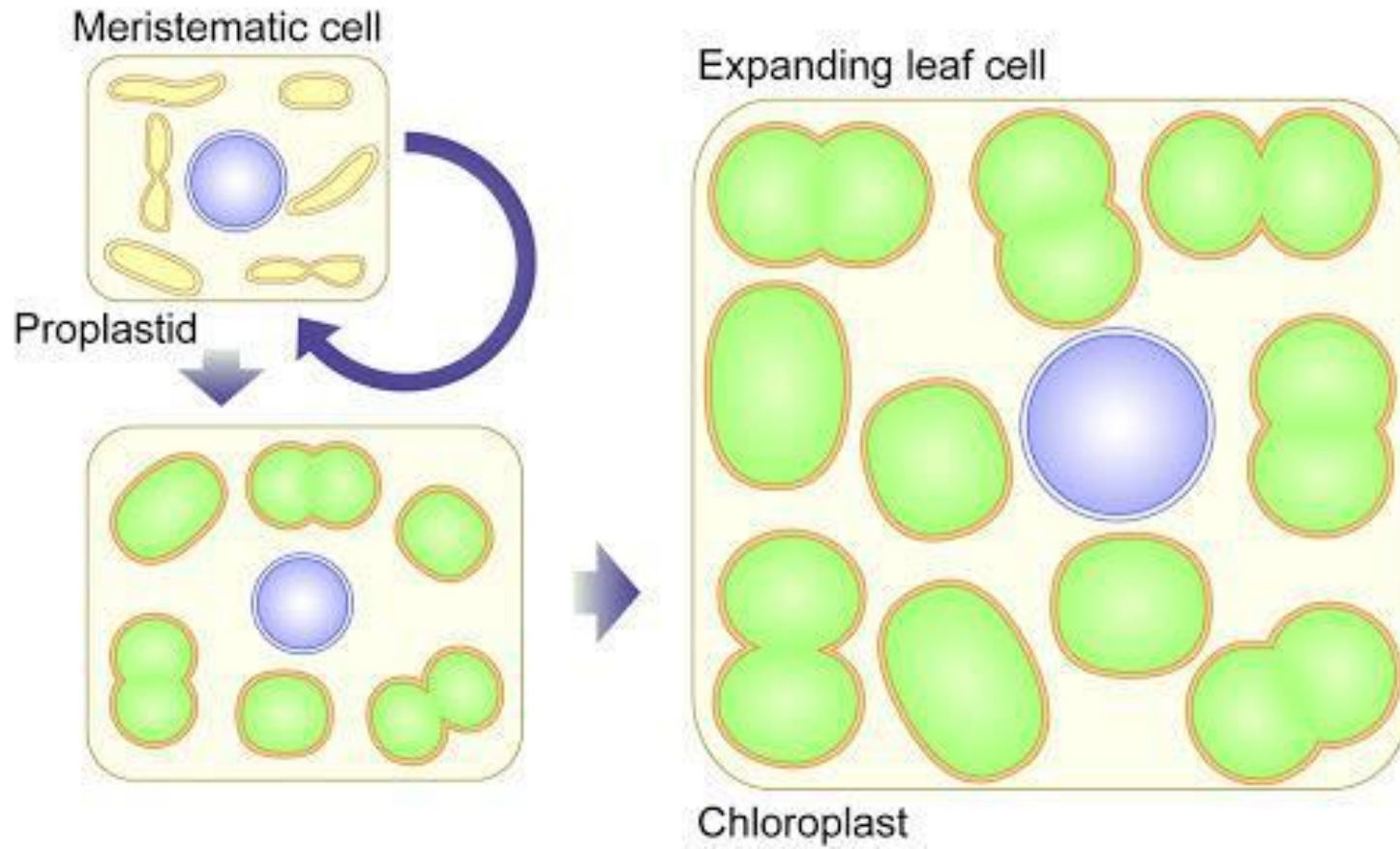
Plastid
types



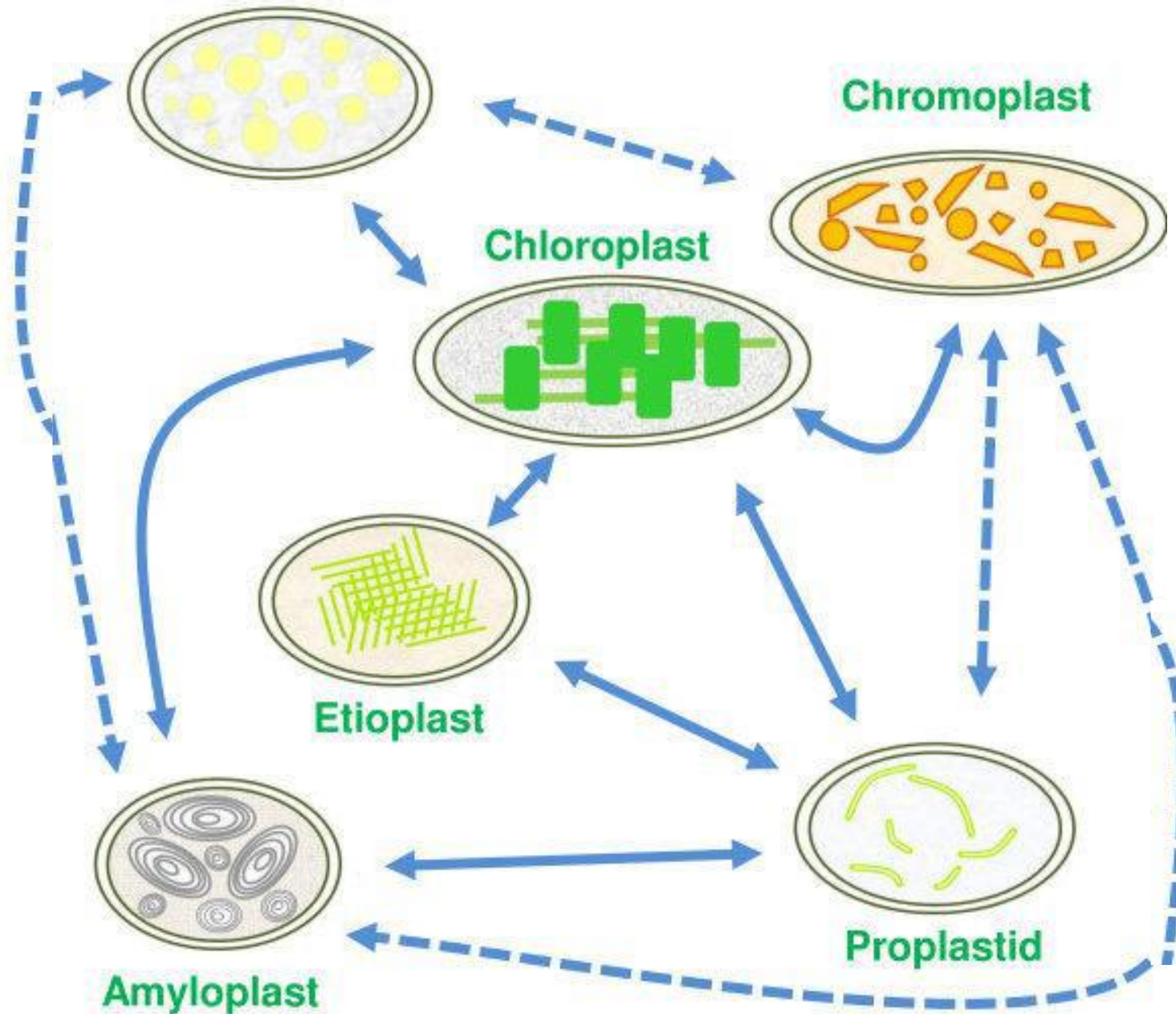
Algae

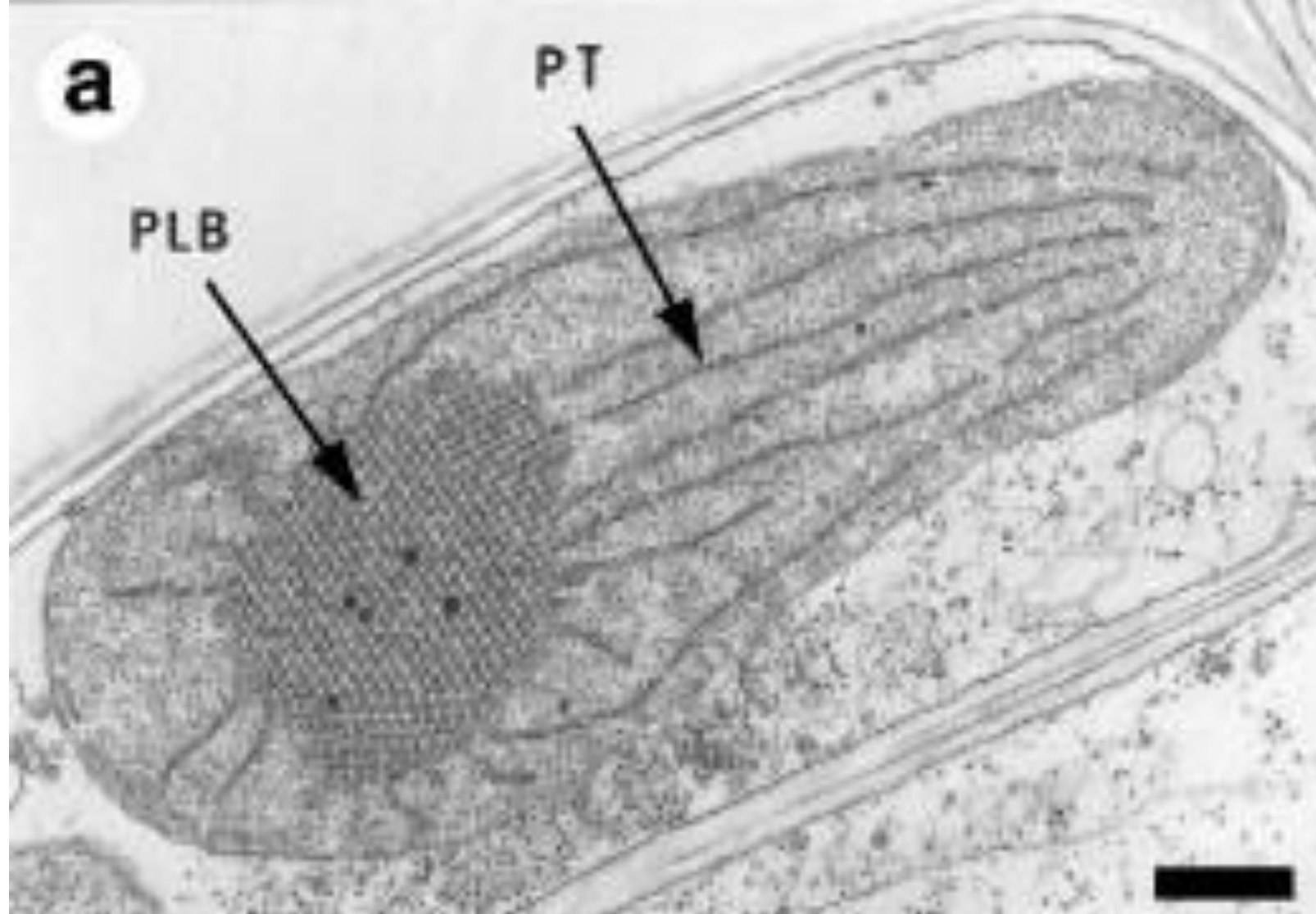


Vascular plants



Gerontoplast (αποσυναρμολόγηση της φωτοσυνθετικής συσκευής κατά τη γήρανση)

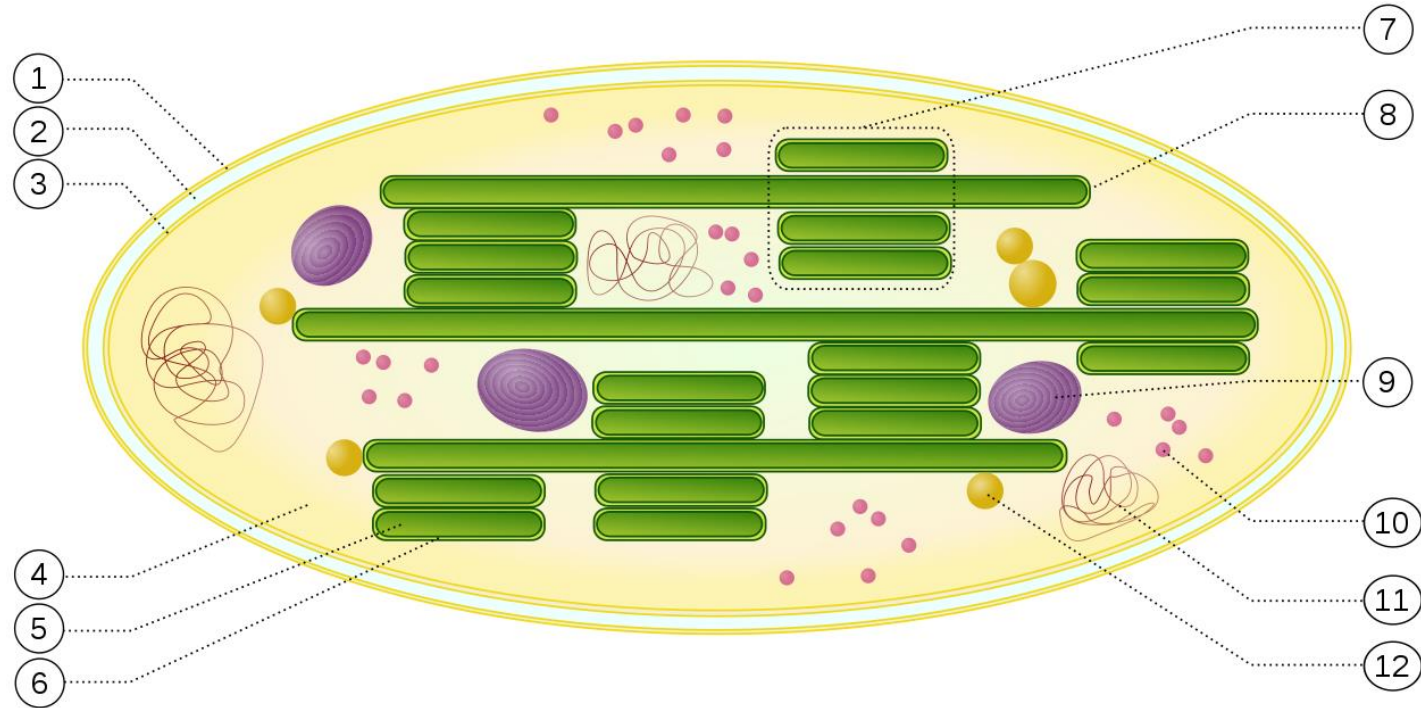




TEM micrographs. (a) Δίκτυο ετιοπλάστη, δομή προελασμάτων (prolamellar body, PLB) και προθυλακοειδή (prothylakoids, PT) from *Zea mays*. bars 500 nm. Selstam, et.al., 2017.

Χλωροπλάστες

- είδος πλαστιδίων που περιέχουν **χλωροφύλλη** και όλα τα **ένζυμα** που απαιτούνται για την φωτοσύνθεση.
- Οι χλωροπλάστες έχουν σχήμα αμφίκυρτο **φακοειδές** και έχουν διαστάσεις από 4 έως 6 μm .
- Περιβάλλονται από **διπλή μεμβράνη**.
- Το εσωτερικό των χλωροπλαστών διακρίνεται στην υδατώδη μήτρα που ονομάζεται **στρώμα** και σε ένα εκτεταμένο δίκτυο πεπλατυσμένων μεμβρανικών σάκων που ονομάζονται **θυλακοειδή**. Τα θυλακοειδή στιβάζονται προκειμένου να σχηματίσουν φωτοσυνθετικά συσσωματώματα (**grana**).

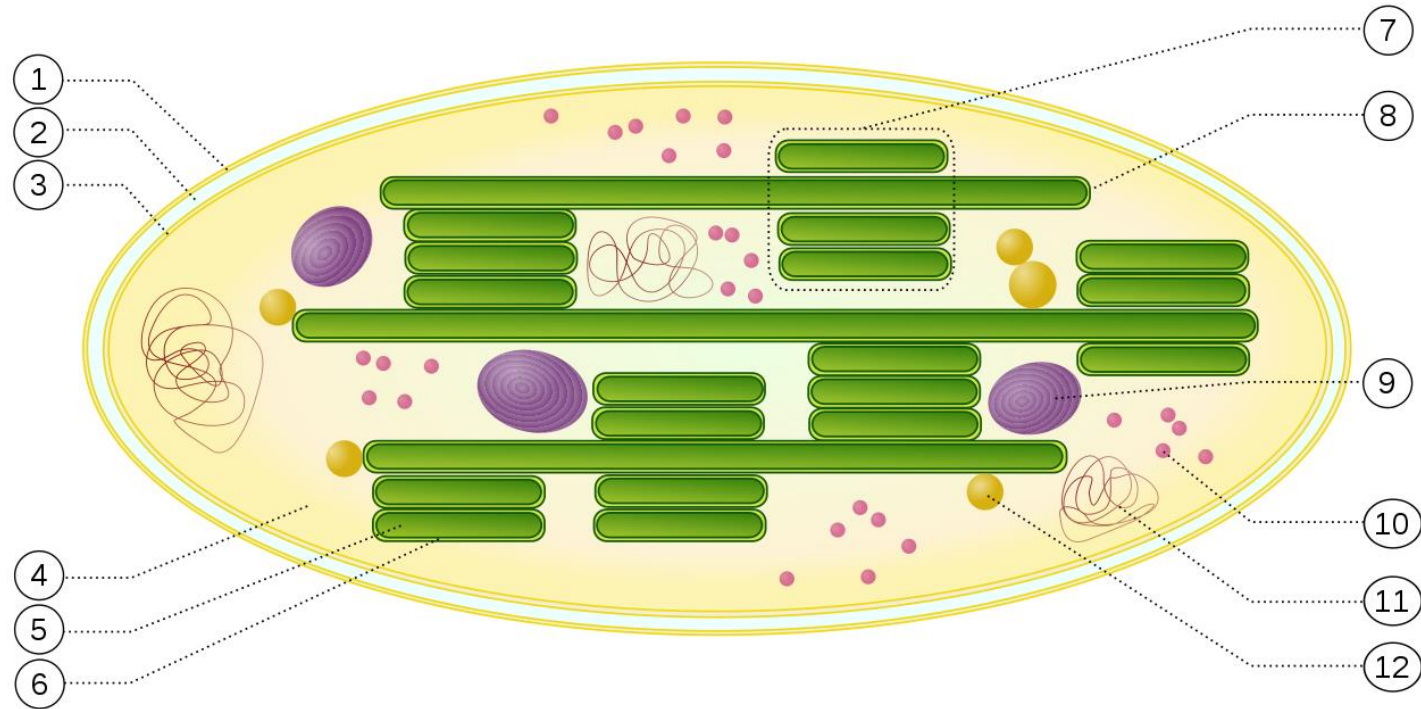


Δομή χλωροπλάστη:

1: Εξωτερική μεμβράνη
2: Διαμεμβρανικός χώρος
3: Εσωτερική μεμβράνη
4: Στρώμα
5: Εσωτερικό θυλακοειδούς
6: Θυλακοειδής μεμβράνη

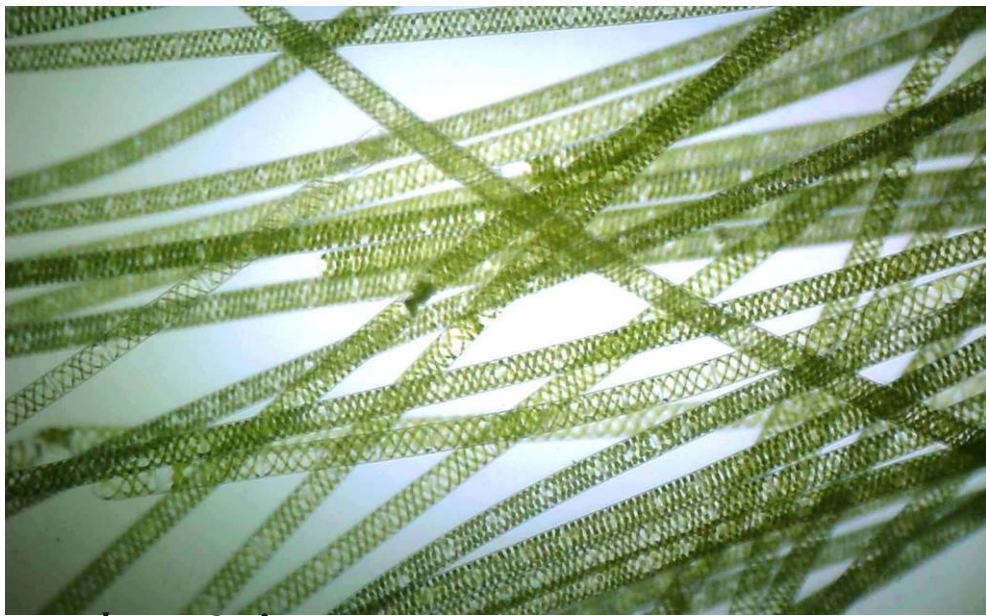
7: Granum
8: Θυλακοειδές
9: Συσσωμάτωμα αμύλου
10: Ριβόσωμα
11: DNA
12: Λιπιδοσφαιρίδιο

- Οι χλωροπλάστες περιέχουν δικό τους **DNA** (2-10 κυκλικά μόρια) και **ριβοσώματα**, όπως τα μιτοχόνδρια.
- Παρ'ότι οι χλωροπλάστες βρίσκονται μόνο στα **φωτοσυνθετικά κύτταρα**, η **γλυκόζη** και το **οξυγόνο** που παράγουν είναι απαραίτητα για την **κάλυψη των ενεργειακών αναγκών** και τη **διατήρηση της ζωής όλων των οργανισμών της Γης**.



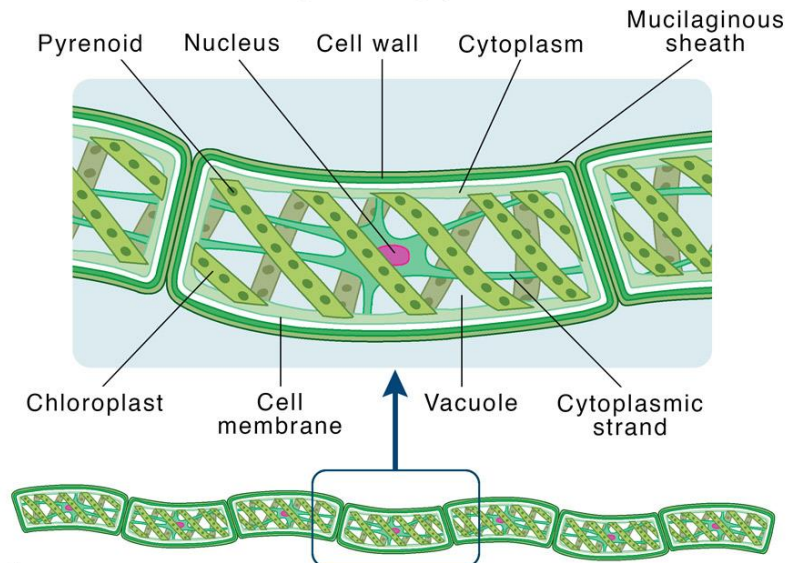
Δομή χλωροπλάστη:

- | | |
|---------------------------|-----------------------|
| 1: Εξωτερική μεμβράνη | 7: Granum |
| 2: Διαμεμβρανικός χώρος | 8: Θυλακοειδές |
| 3: Εσωτερική μεμβράνη | 9: Συσσωμάτωμα αμύλου |
| 4: Στρώμα | 10: Ριβόσωμα |
| 5: Εσωτερικό θυλακοειδούς | 11: DNA |
| 6: Θυλακοειδής μεμβράνη | 12: ΛιπιδΟΣφαιρίδιο |



Φύκος Spirogyra, [Encyclopaedia Britannica](#)

Spirogyra



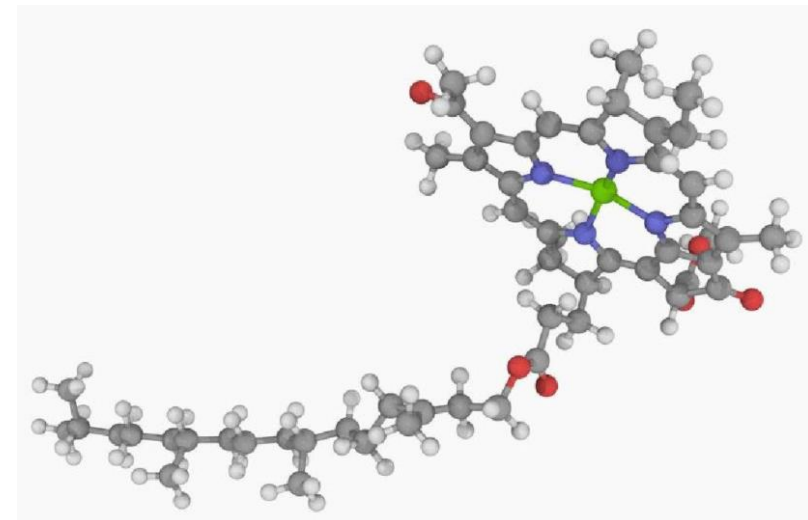
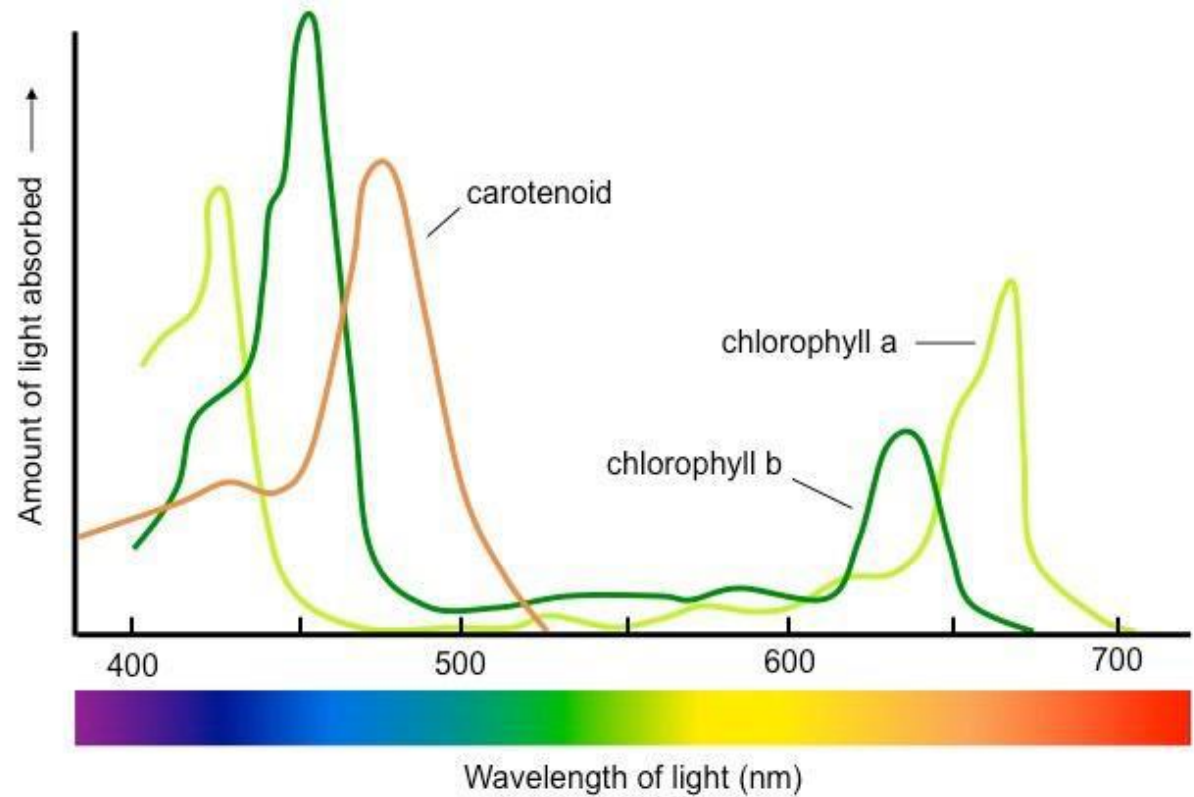
ScienceFacts.net

<https://www.sciencefacts.net/spirogyra.html>

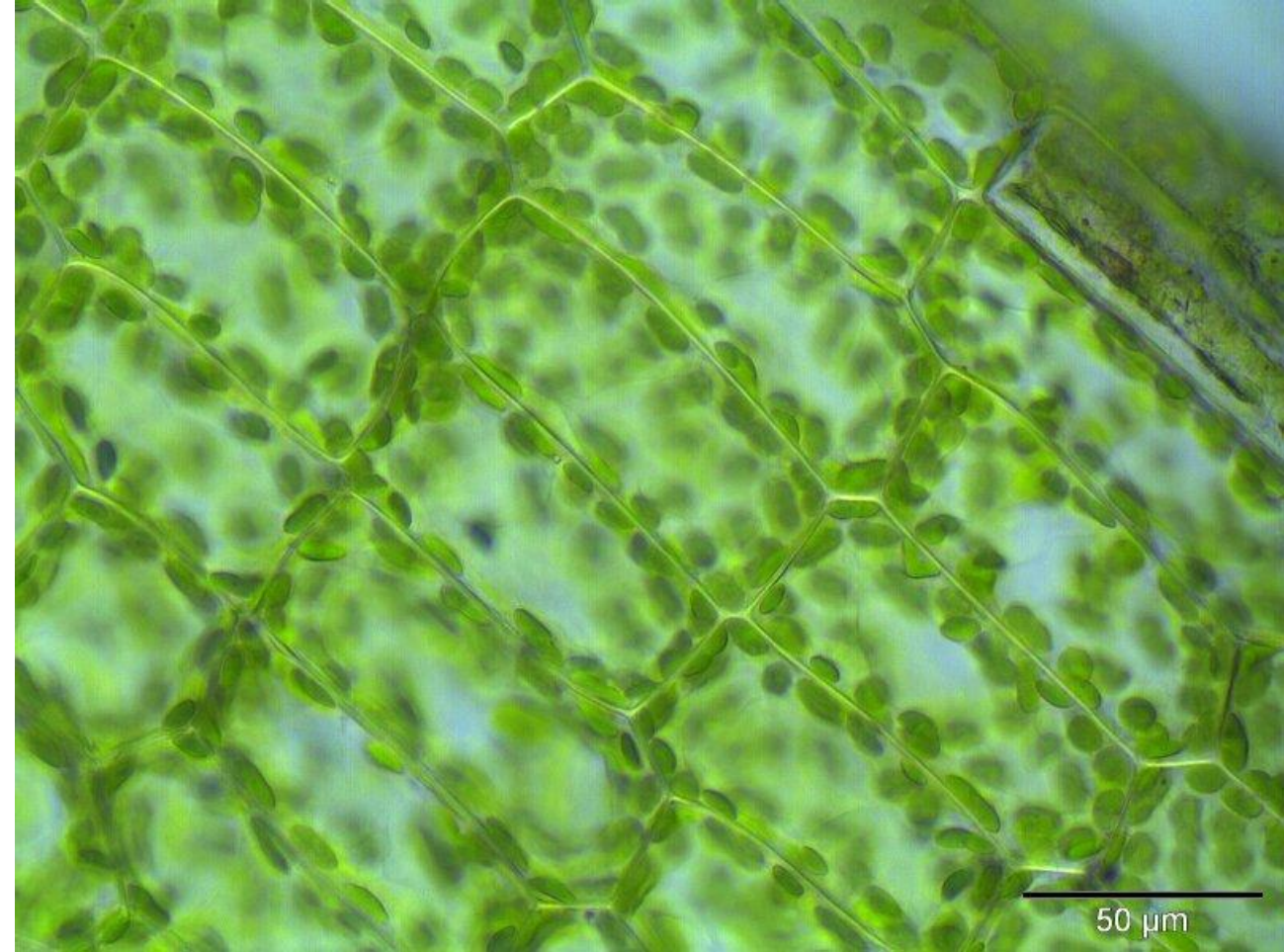


<https://study.com/learn/lesson/chloroplast-function-structure.html>

- Οι **χλωροπλάστες** αναγνωρίζονται από το πράσινο χρώμα της χλωροφύλλης που περιέχουν.
- Οι **χλωροφύλλες α και β** απορροφούν κυρίως στο κυανό και στο ερυθρό φάσμα (**430 και 660 nm**).
- Η χλωροφύλλη είναι μια χρωστική ουσία με **δακτύλιο πορφυρίνης**, η οποία είναι δομικά παρόμοια με την **αίμη**. Στο κέντρο του δακτυλίου βρίσκεται ένα ιόν **μαγνησίου**.



- Η **πυκνότητα των χλωροπλαστών** στα κύτταρα του φύλλου, **μειώνεται** όσο προχωράμε προς το **εσωτερικό** του φύλλου, λόγω μειωμένης ακτινοβολίας και CO_2 .
- Το εσωτερικό παρέγχυμα έχει ρόλο στηρικτικό, αποταμιευτικό κ.α.
- οι χλωροπλάστες κατανέμονται
 - α) σαν σε σειρά **περιμετρικά** του κυττάρου και σε στενή επαφή με την πλασματική μεμβράνη και
 - β) σχετικά ομοιόμορφα **διάσπαρτη** κατανομή στο εσωτερικό του κυττάρου.



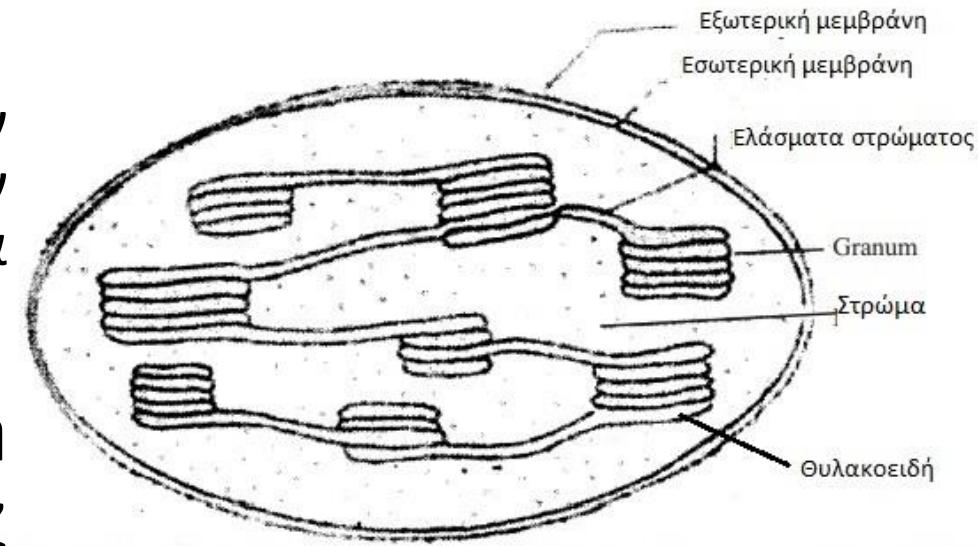
Ποιος είναι ο ρόλος του χλωροπλάστη;

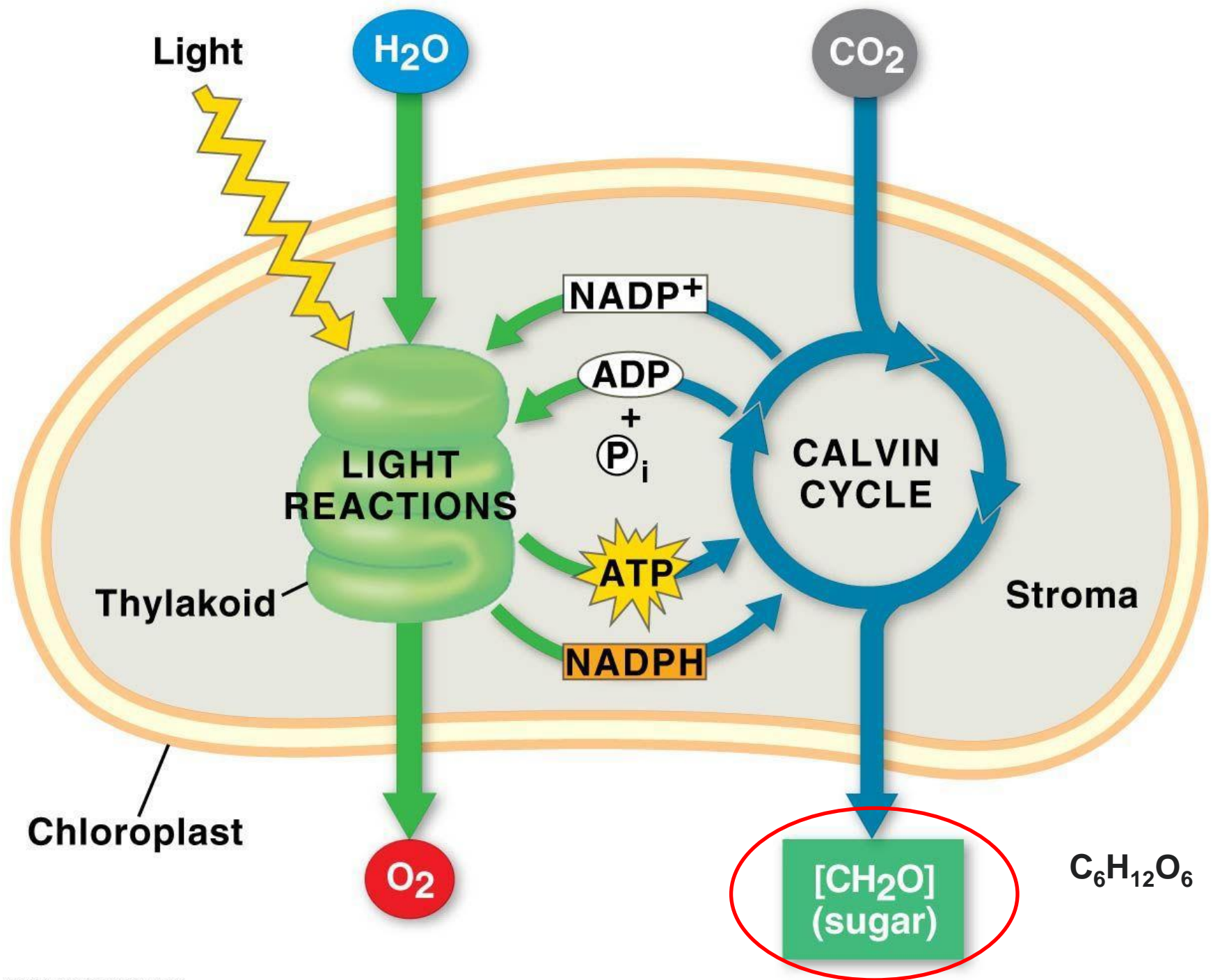
1. Στα φυτά όλα τα κύτταρα συμμετέχουν στην ανοσολογική αντίδραση. Οι χλωροπλάστες με τον πυρήνα, την κυτταρική μεμβράνη και το ER είναι τα βασικά οργανίδια της άμυνας έναντι των παθογόνων.

2. Η πιο σημαντική λειτουργία του χλωροπλάστη είναι η φωτοσύνθεση. Κατά τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, παράγονται γλυκόζη και οξυγόνο χρησιμοποιώντας φωτεινή ενέργεια, νερό και διοξείδιο του άνθρακα.

3. Οι λεγόμενες «**φωτεινές**» ή φωτοεξαρτώμενες αντιδράσεις της φωτοσύνθεσης (π.χ. οξείδωση του νερού και παραγωγή μοριακού οξυγόνου) γίνονται από ένζυμα πάνω στις μεμβράνες των θυλακοειδών.

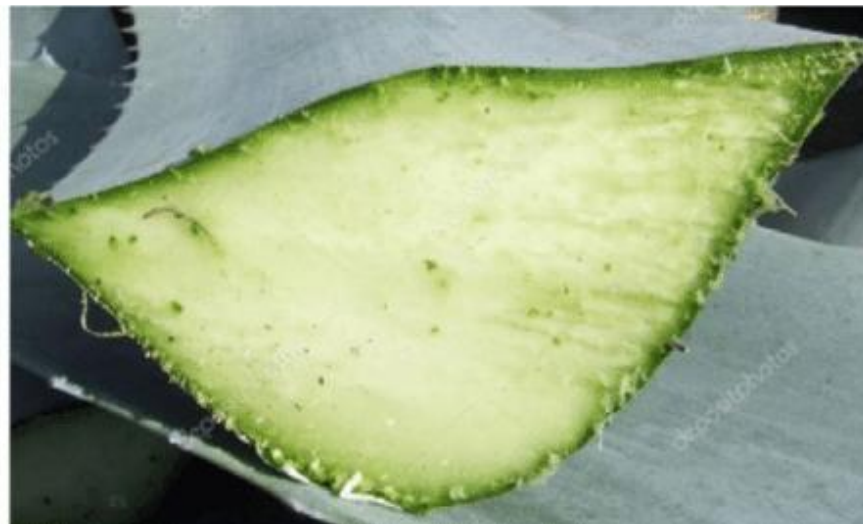
4. Οι λεγόμενες «**σκοτεινές**» ή φωτοανεξάρτητες αντιδράσεις της φωτοσύνθεσης γνωστές και ως κύκλος Calvin (δέσμευση του διοξειδίου του άνθρακα και σύνθεση γλυκόζης) γίνονται από ένζυμα τα οποία κινούνται ελεύθερα στο υδατώδες στρώμα.

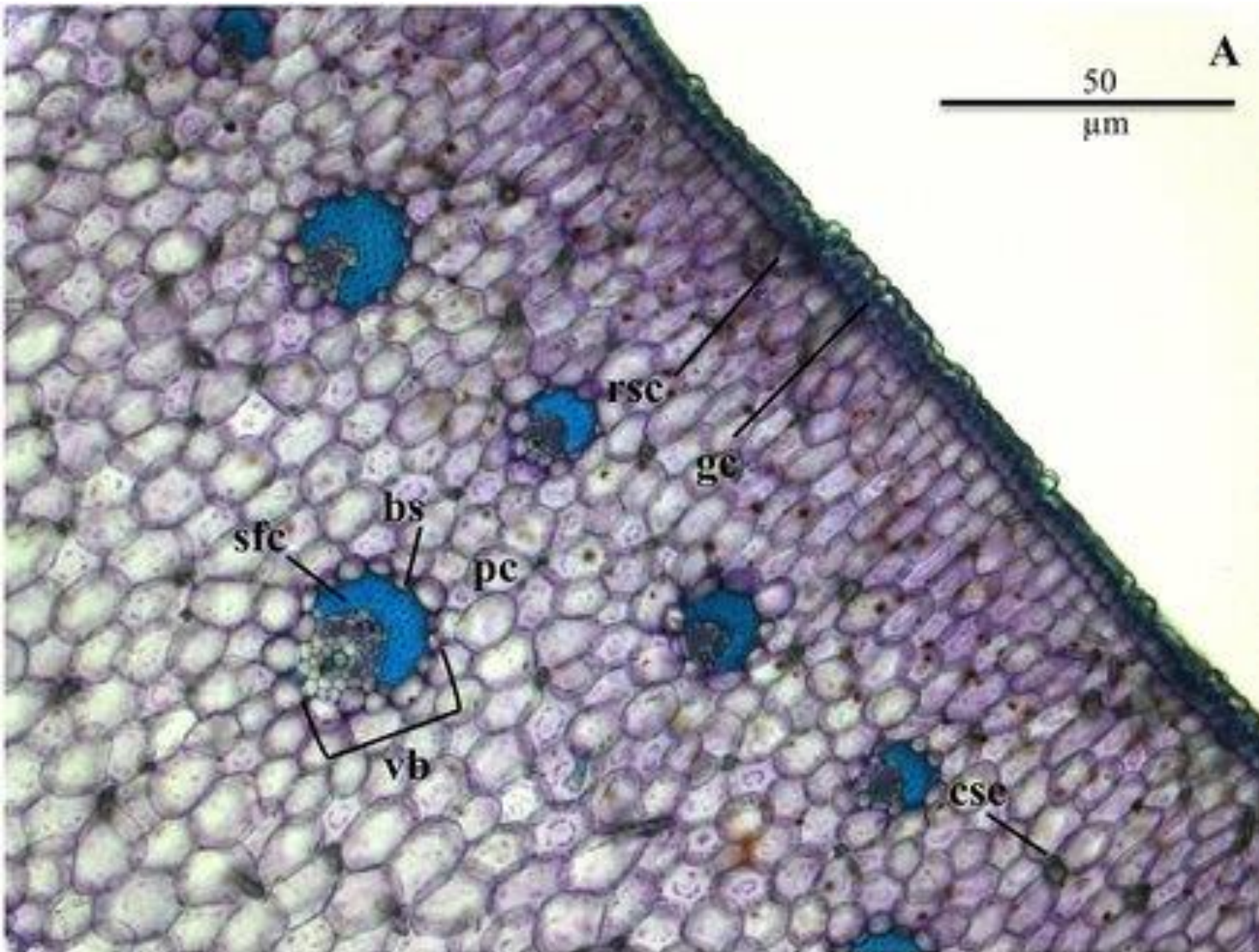




Δραστηριότητα 1α: Παρατήρηση Φύλλου αθάνατου, *Agave americana*

- Κατασκευάστε παρασκεύασμα εγκάρσιας τομής φύλλου αθάνατου
- Παρατηρήστε και σχεδιάστε την **επιδερμίδα** με την **εφυμενίδα** της, το **χλωρέγχυμα** και τους **χλωροπλάστες**
- Παρατηρήστε τη δομή (μέγεθος και σχήμα) των κυττάρων του χλωρεγχύματος και την πυκνότητα των χλωροπλαστών προχωρώντας προς στο εσωτερικό του φύλλου.





Παρατηρούμε **δίστοιβη επιδερμίδα** με παχιά κυτταρικά τοιχώματα εξωτερικά και την **εφυμενίδα**.

Παρατηρούμε επίσης ότι τα κύτταρα της επιδερμίδας είναι διάφανα

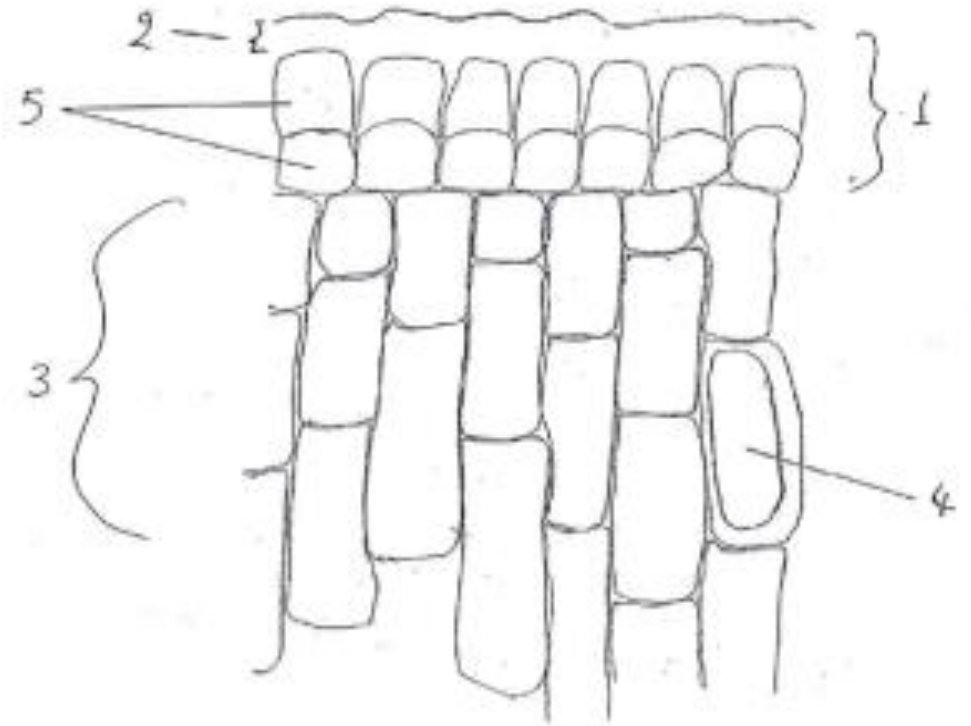
Στην επιδερμίδα δεν υπάρχουν **μεσοκυττάριοι χώροι**

παρατηρούμε το μεταβαλλόμενο μέγεθος και σχήμα των κυττάρων του **χλωρεγχύματος** προς το εσωτερικό του φύλλου

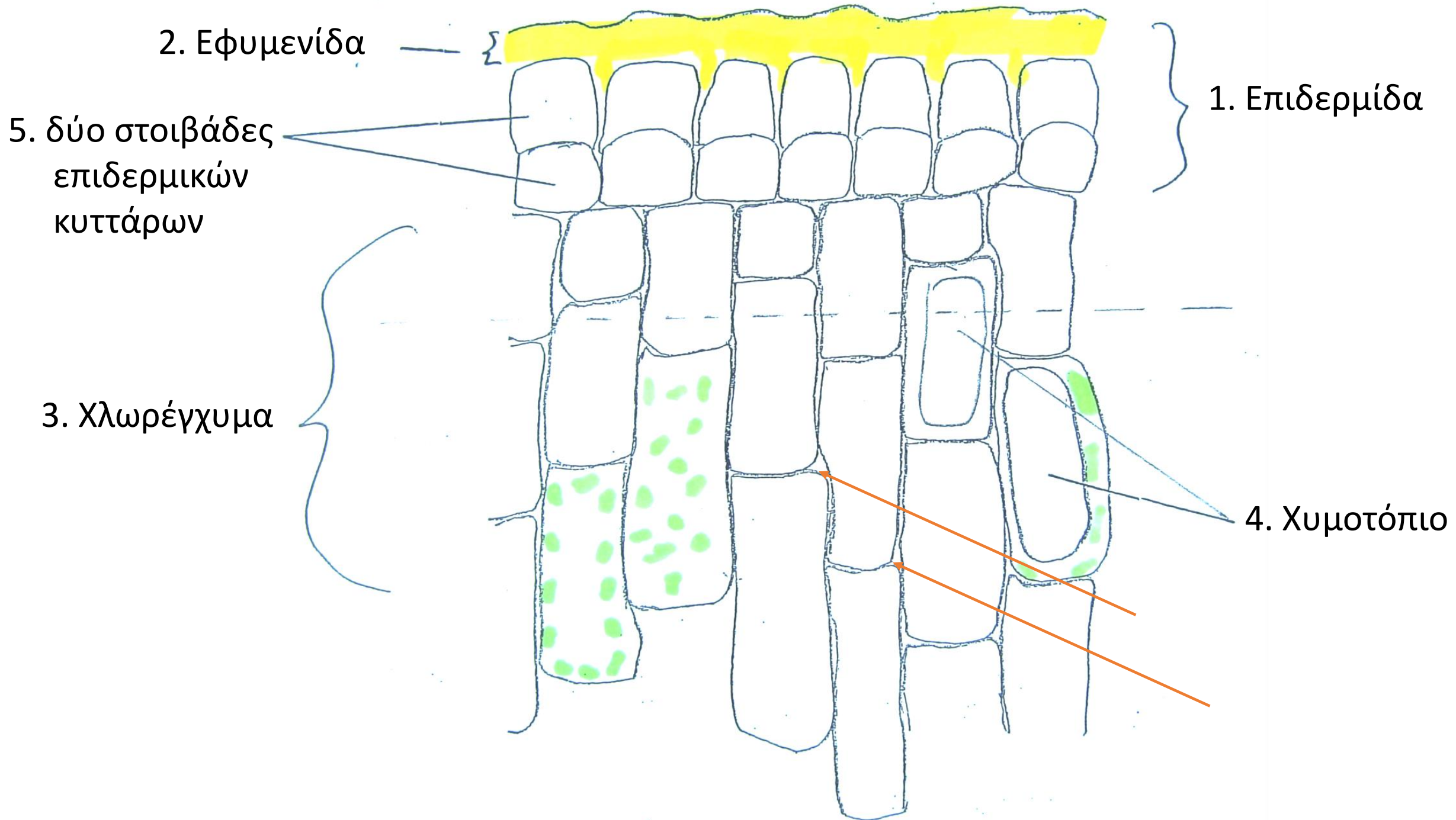
Εικόνα 1. Δομή φύλλου αθάνατου. Εγκάρσια τομή με χρώση μπλε της τολουιδίνης. Παρατηρούνται Ηθμαγγειώδεις δεσμίδες (vb). Corbin et al., 2015.

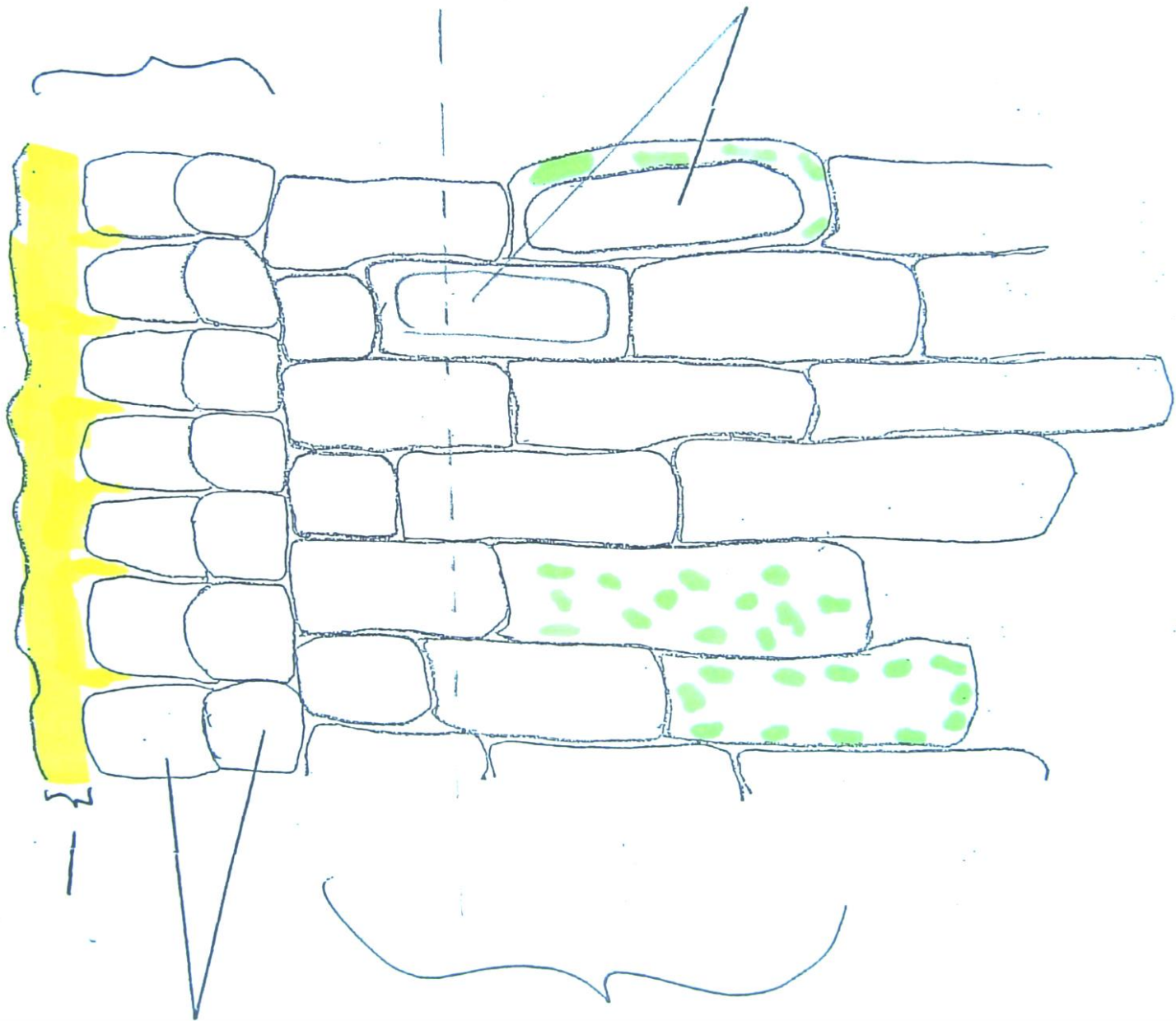
Δραστηριότητα 1β: Παρατήρηση σχηματικής δομής Φύλλου αθάνατου, *Agave americana* (σελ.4)

- Σημειώστε το όνομα των δομών που αντιστοιχούν οι αριθμοί στο σχήμα 1.
- Μεταβάλλοντας την μικροεστίαση του δείγματός σας, παρατηρείστε και σχεδιάστε την κατανομή των χλωροπλαστών στα κύτταρα του σχήματος.



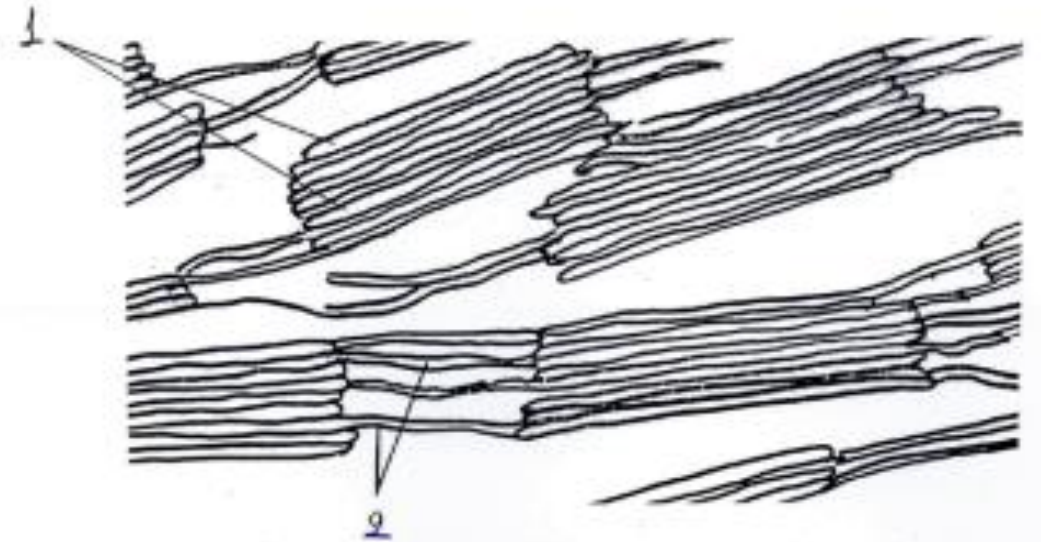
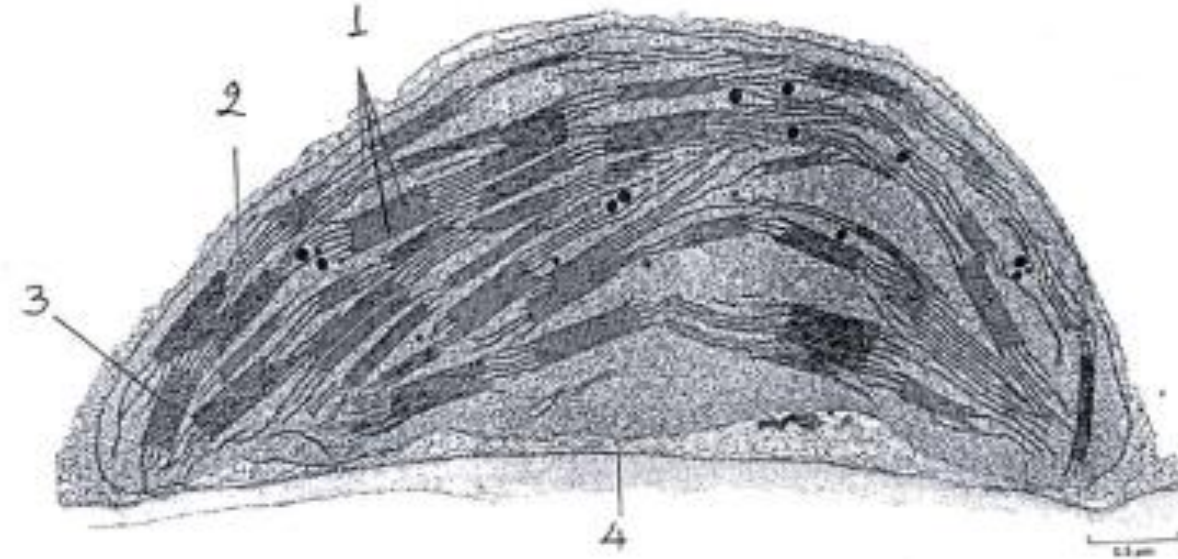
Σχήμα 1. Γκομπόιτσος, 2018



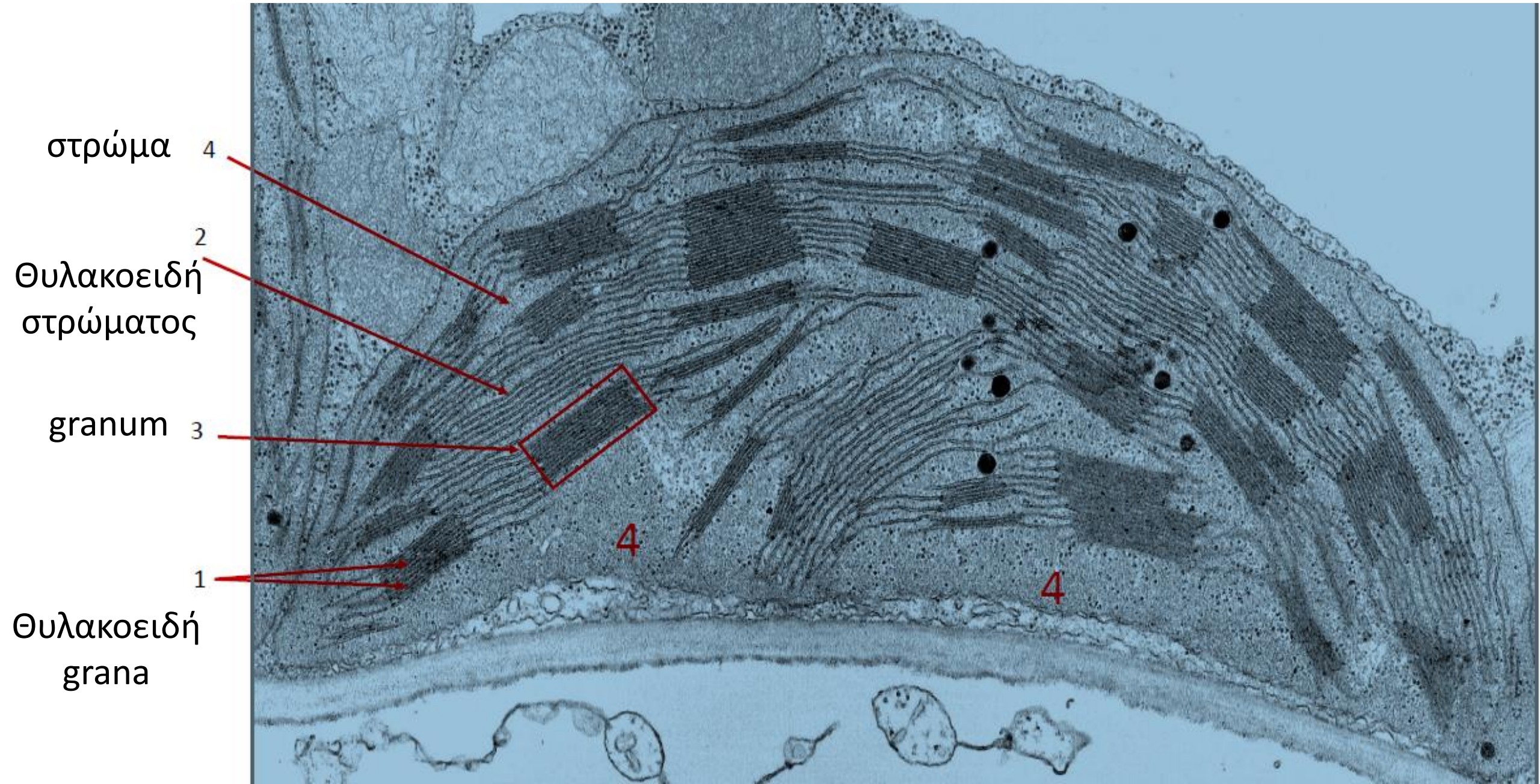


Δραστηριότητα 2: Παρατήρηση σχηματικής δομής χλωροπλάστη (σελ. 5)

- Χρωματίστε πράσινα τα θυλακοειδή του σχήματος 2. Σημειώστε το όνομα των δομών που αντιστοιχούν οι αριθμοί στο σχήμα 2.
- Σχεδιάστε **χλωροπλάστες** σε κύτταρα του χλωρεγχύματος.
- Πόσοι χλωροπλάστες περιέχονται σε ένα κύτταρο του χλωρεγχύματος;
- Υπολογίστε το μέγεθος του χλωροπλάστη.



Σχήμα 2. Γκομπόιτσος, 2018



στρώμα 4

2
Θυλακοειδή
στρώματος

granum 3

1
Θυλακοειδή
grana

4

4

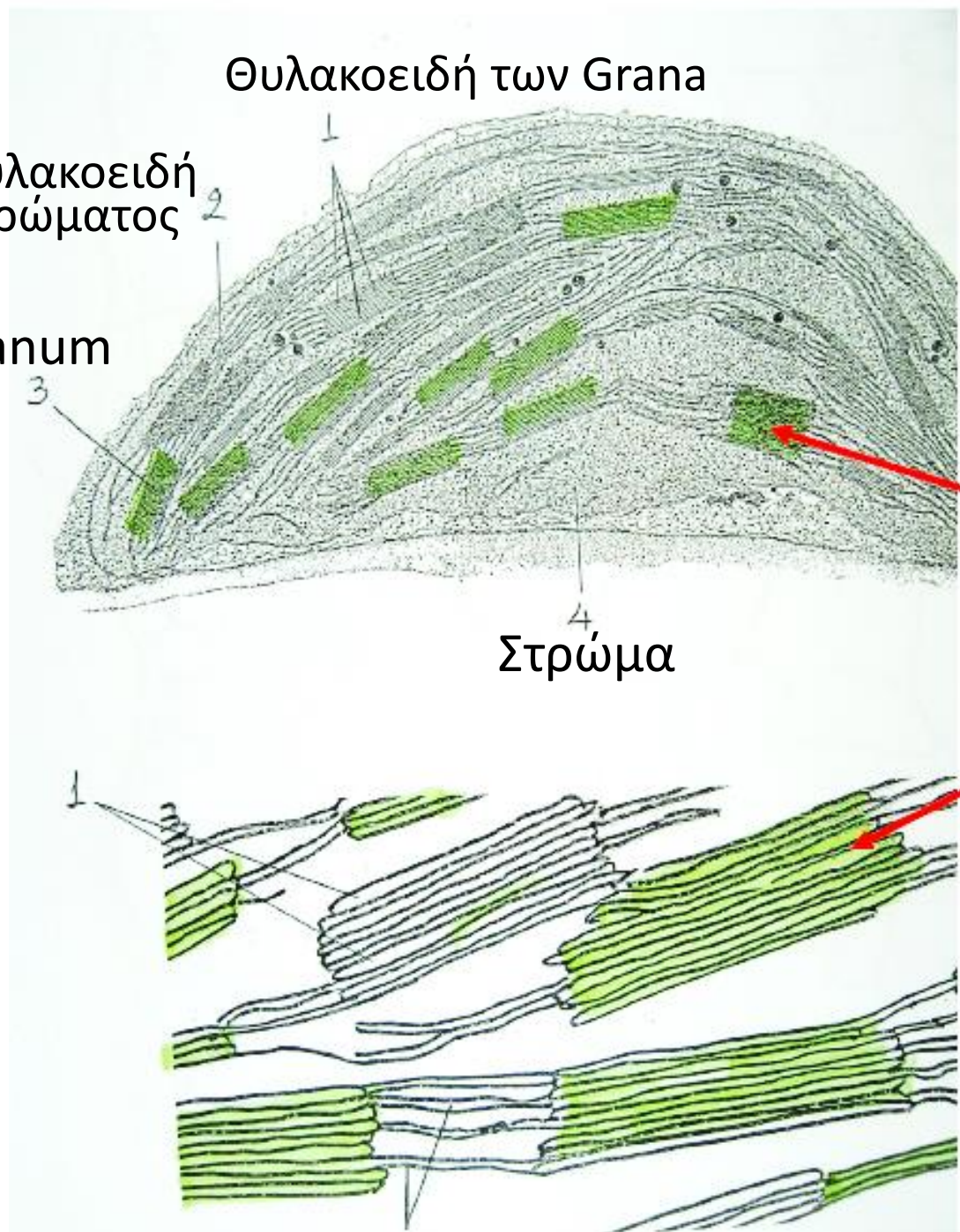
Θυλακοειδή των Grana

Θυλακοειδή
στρώματος

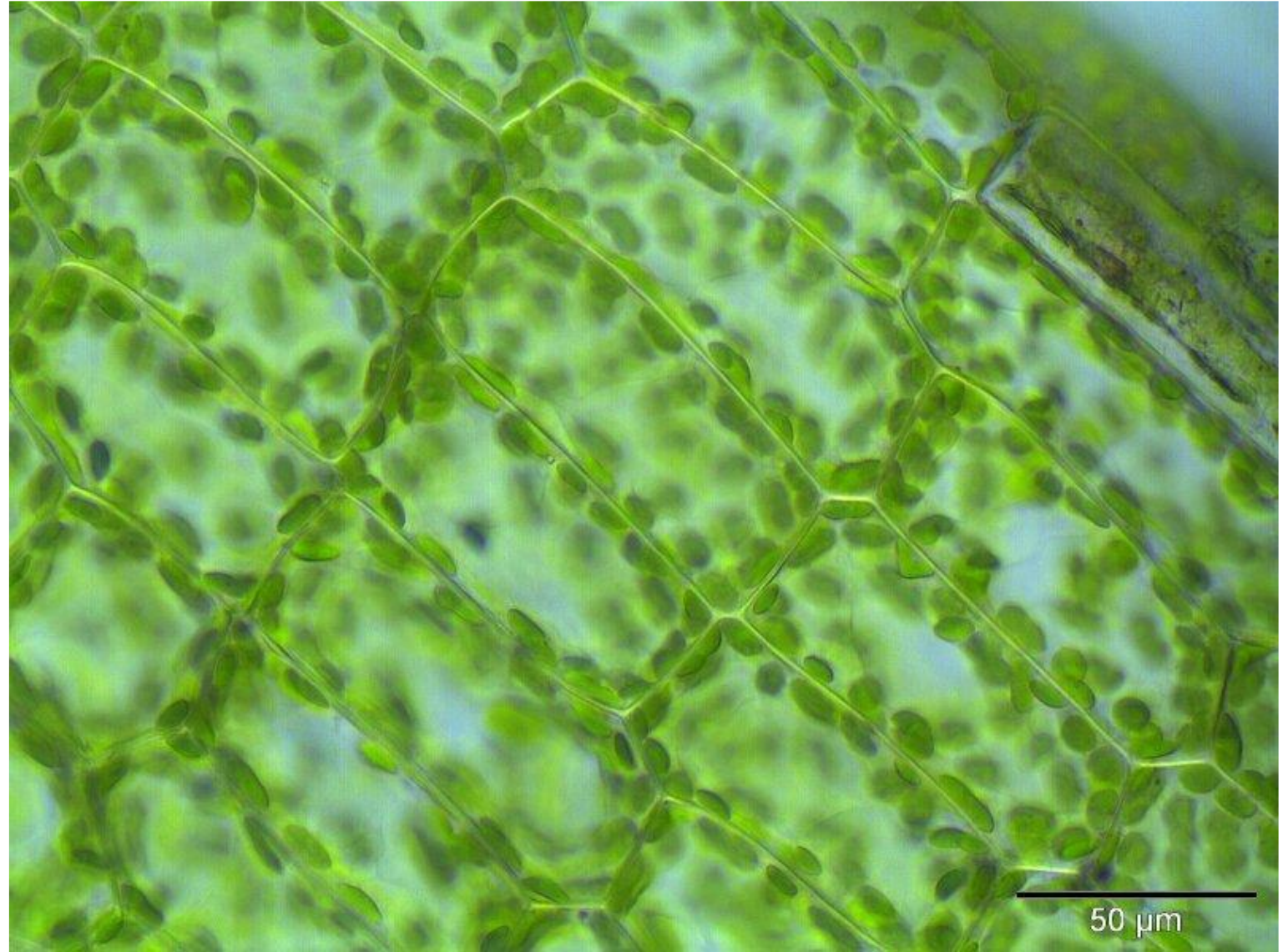
Granum

Στρώμα

Grana



Χλωρέγχυμα

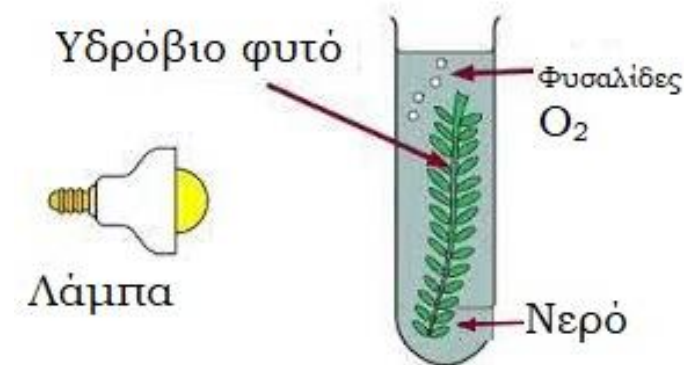


Δραστηριότητα 3: Μέτρηση ρυθμού απελευθέρωσης οξυγόνου από τη φωτοσύνθεση υδρόβιου φυτού, *Egeria densa*



- Μετρήστε και σημειώστε (σελ. 6) τον αριθμό των φυσαλίδων οξυγόνου που απελευθερώνονται από την τομή του βλαστού ανά λεπτό (φυσαλίδες O₂/min) (μέτρο φωτοσύνθεσης κατά προσέγγιση)

1. από τη διάταξη που είναι κάτω από το φωτιστικό
2. από τη διάταξη που είναι κάτω από το φωτιστικό και έχει προστεθεί NaHCO₃
3. από την διάταξη που στερείται φωτιστικού
4. από την διάταξη που στερείται φωτιστικού και έχει προστεθεί NaHCO₃

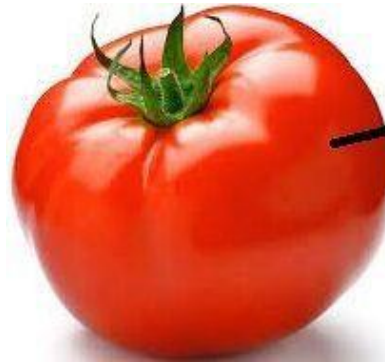


Δραστηριότητα 4α: Παρατήρηση Περικαρπίου πιπεριάς, *Capsicum annuum*

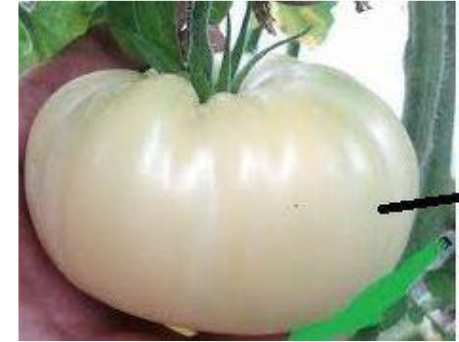
- Κατασκευάστε παρασκεύασμα εγκάρσιας τομής περικαρπίου πιπεριάς
- Παρατηρήστε και σχεδιάστε την **επιδερμίδα** με την **εφυμενίδα** της
- Συγκρίνατε τα παρεγχυματικά κύτταρα της πιπεριάς με εκείνα του χλωρεγχύματος στον αθάνατο (σχήμα, μέγεθος, χρώμα)



green colour due to chloroplast

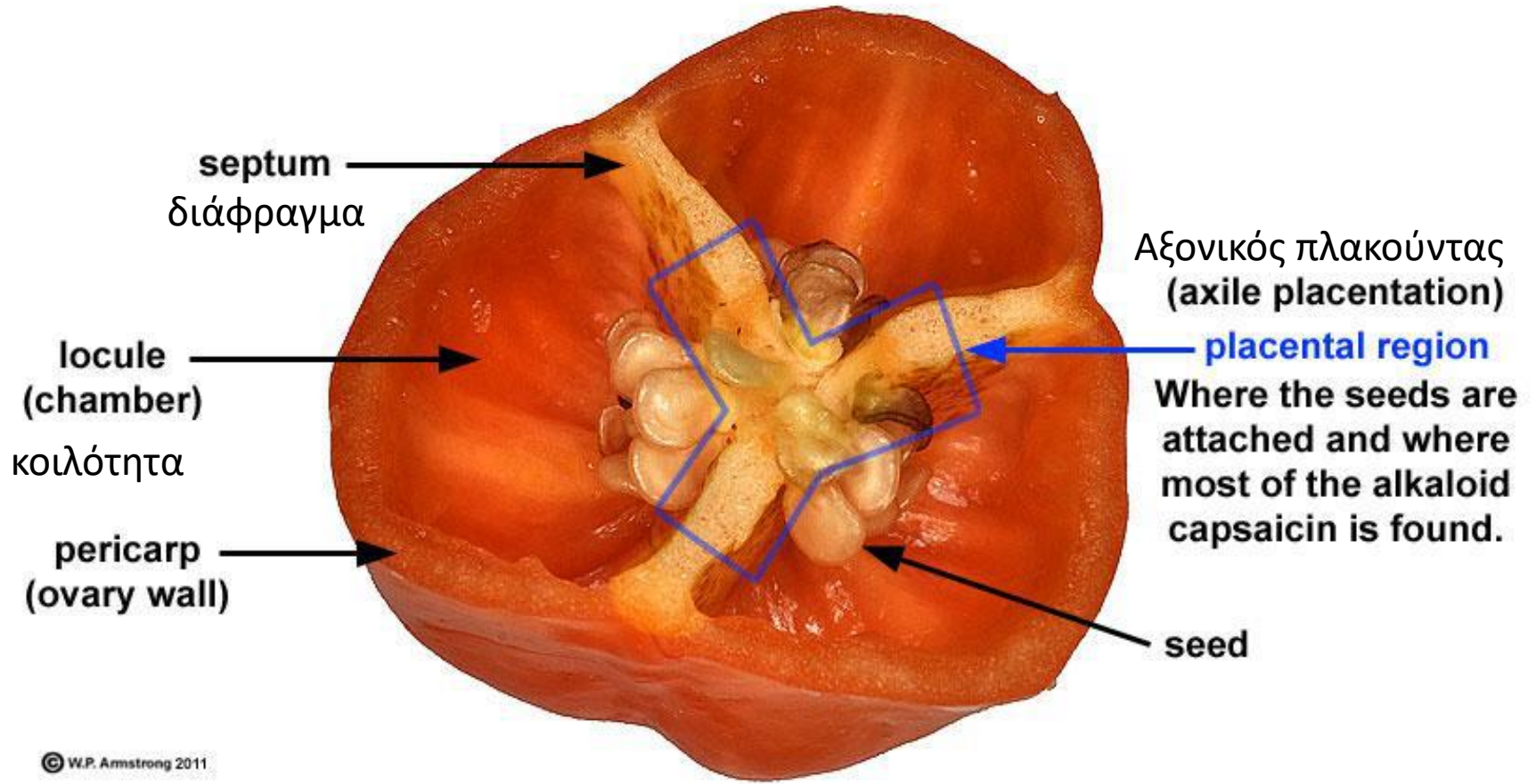


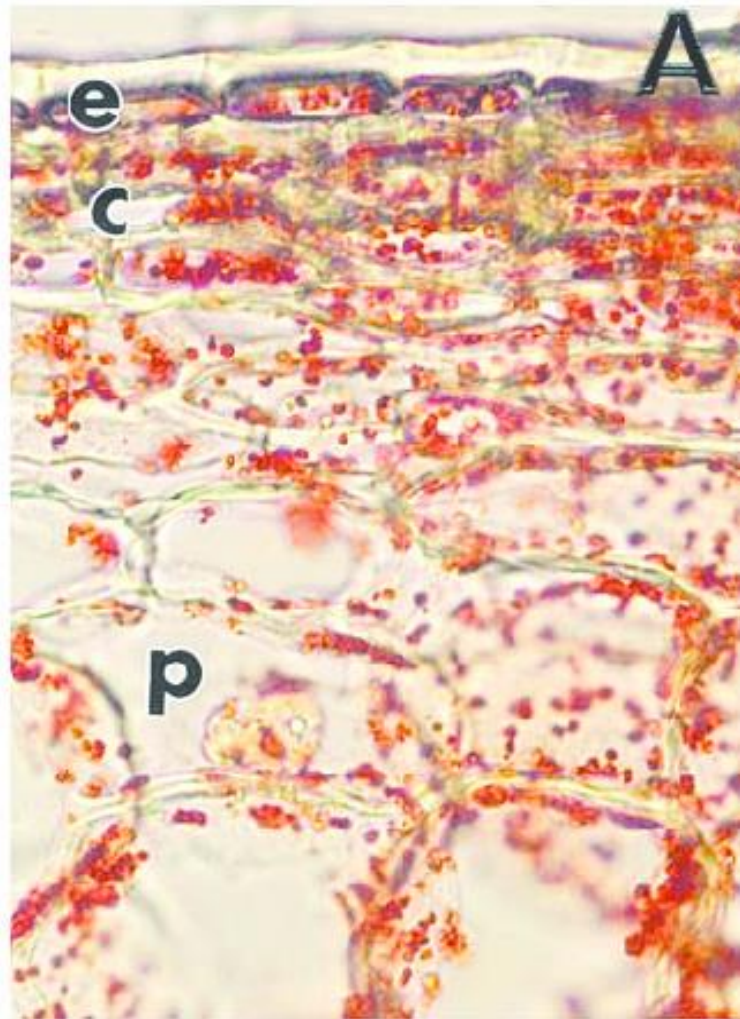
red colour due to chromoplast



white colour due to leucoplast







Εγκάρσια τομή κόκκινης πιπεριάς. Επιδερμίδα (e), κολλέγχυμα (c), και παρέγχυμα (p) με αρκετούς χρωμοπλάστες ×300 (Weryszko-Chmielewska and Michalojc, 2011).

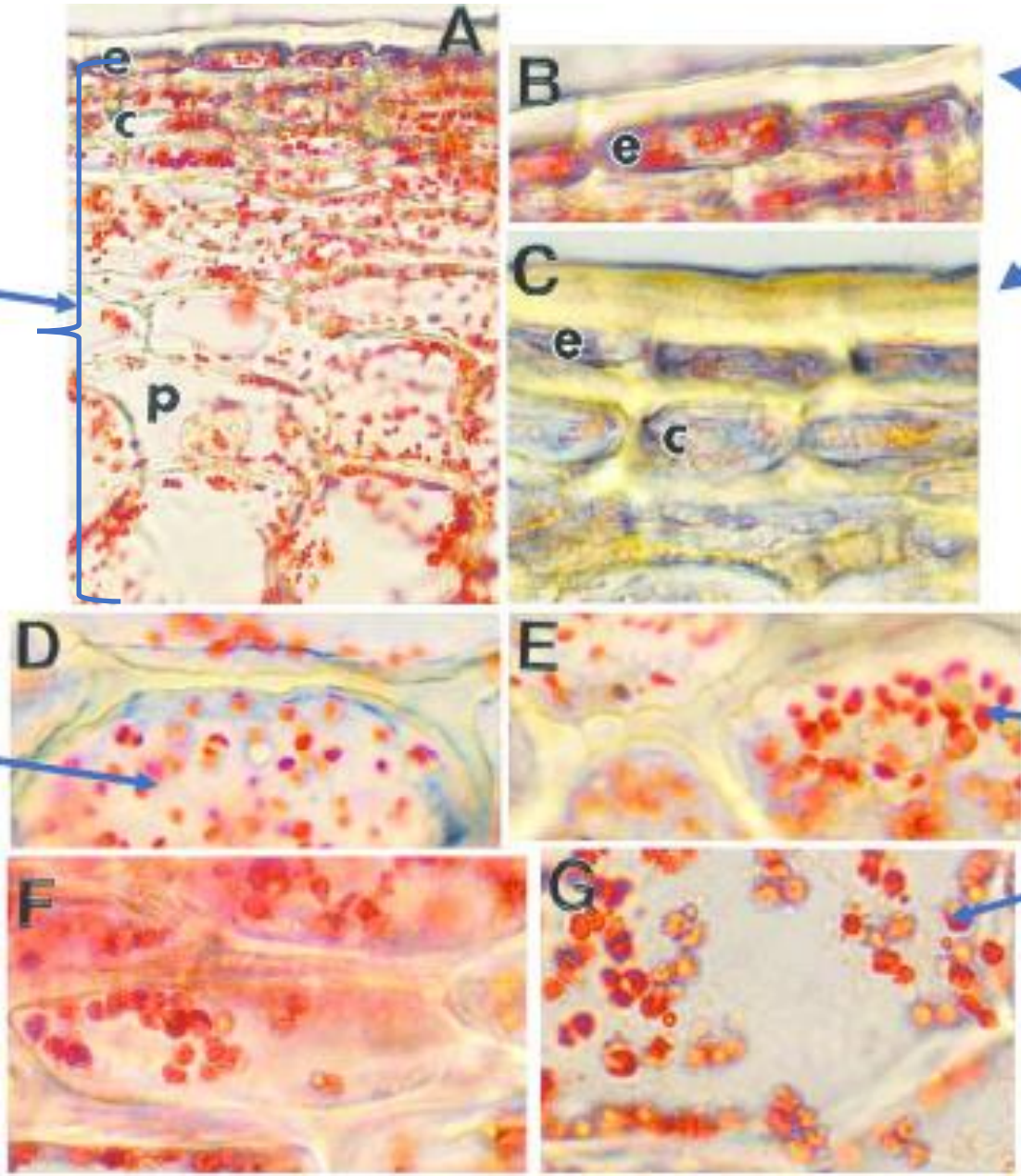
- Παρατηρούμε μονόστοιβη επιδερμίδα και λεπτή εφυμενίδα.
- κύτταρα παρεγχύματος με **χρωμοπλάστες**.
- χρωστικές (**καροτενοειδή - ξανθοφύλλες**) που δίνουν το χαρακτηριστικό **κίτρινο, πορτοκαλί χρώμα**.
- Καροτενοειδή: οργανικές χρωστικές που συντίθενται από όλους τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς και λίγους μη φωτοσυνθετικούς μύκητες και βακτήρια και οι αφίδες και τα ακάρεα (Τετρανουχίδες, Spider mite).
- Υπάρχουν πάνω από 600 καροτενοειδή: ξανθοφύλλες (που περιέχουν οξυγόνο) και καροτίνες (καθαρά υδρογονάνθρακες χωρίς οξυγόνο).

3
παρέγχυμα

4
κυτταρόπλασμα

1
επιδερμίδα

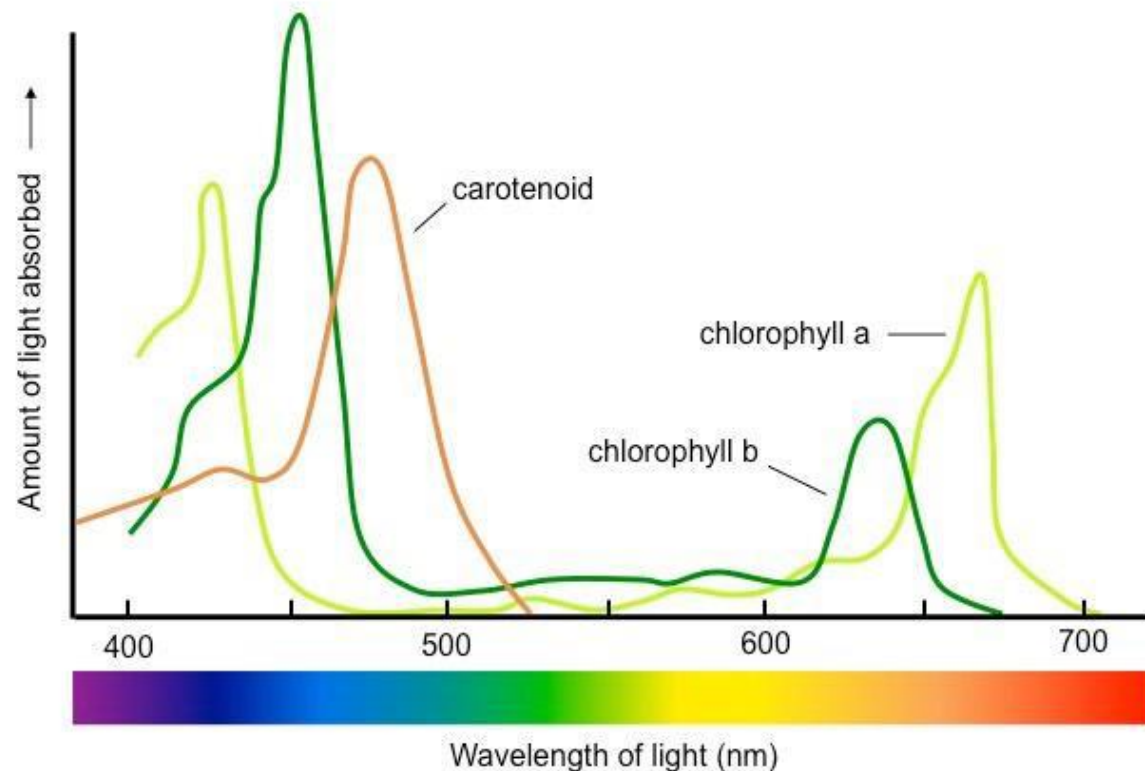
2
χρωμοπλάστες



Τα καροτενοειδή απορροφούν μήκη κύματος **400-550 nm** (ιώδες έως πράσινο φως) και χρωματίζονται βαθιά **κίτρινο, πορτοκαλί ή κόκκινο**.

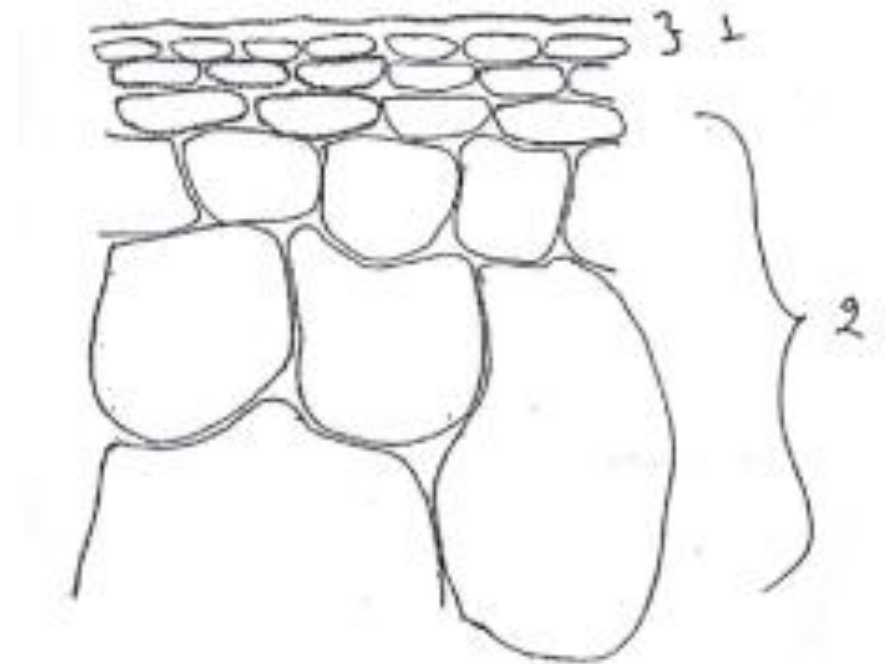
Το φθινόπωρο, όταν η χλωροφύλλη αποσυντίθεται, γίνεται ορατό το χρώμα τους.

Τα καροτενοειδή έχουν δύο βασικούς ρόλους στα φυτά και τα φύκη: απορροφούν ενέργεια φωτός για τη **φωτοσύνθεση** και σε έντονο φωτισμό **προστατεύουν τη χλωροφύλλη από τη φωτο-οξειδωση**.

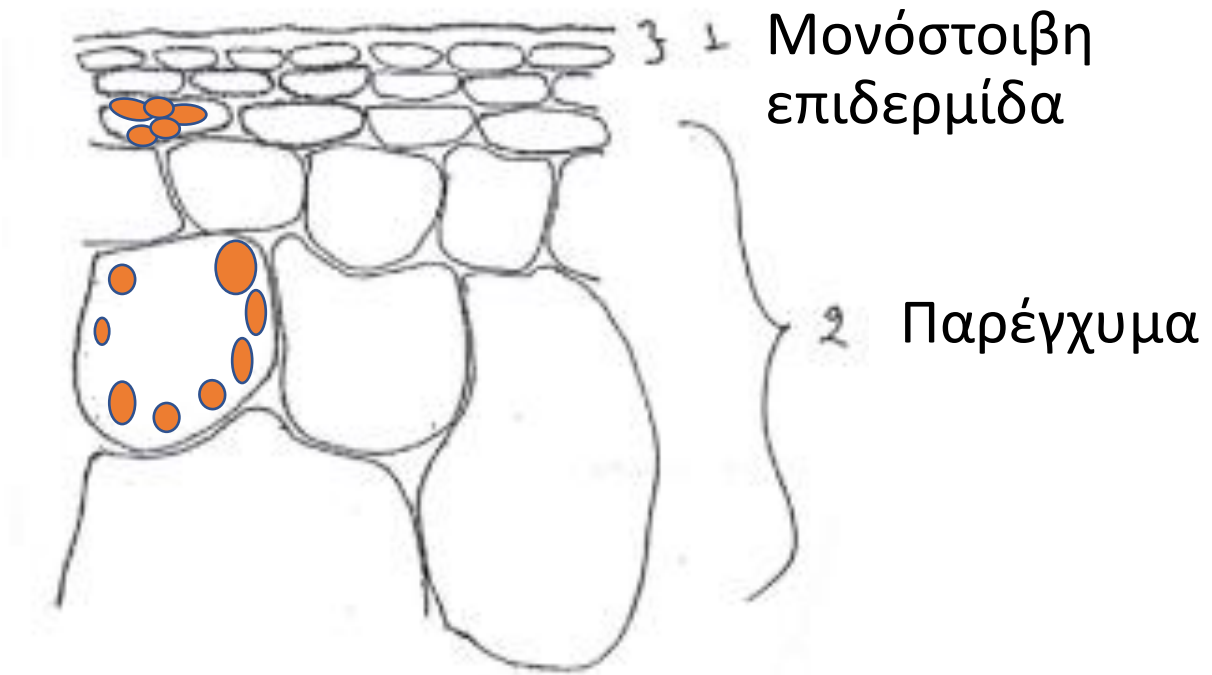


Δραστηριότητα 4β: Παρατήρηση σχηματικής δομής Περικαρπίου πιπεριάς, *Capsicum annuum* (σελ. 7)

- Σημειώστε το όνομα των δομών που αντιστοιχούν οι αριθμοί στο σχήμα 3.
- Σημειώστε και χρωματίστε τους **χρωμοπλάστες** σε κύτταρα του **περικαρπίου** πιπεριάς.
- Πού οφείλεται ο χρωματισμός των χρωμοπλαστών;



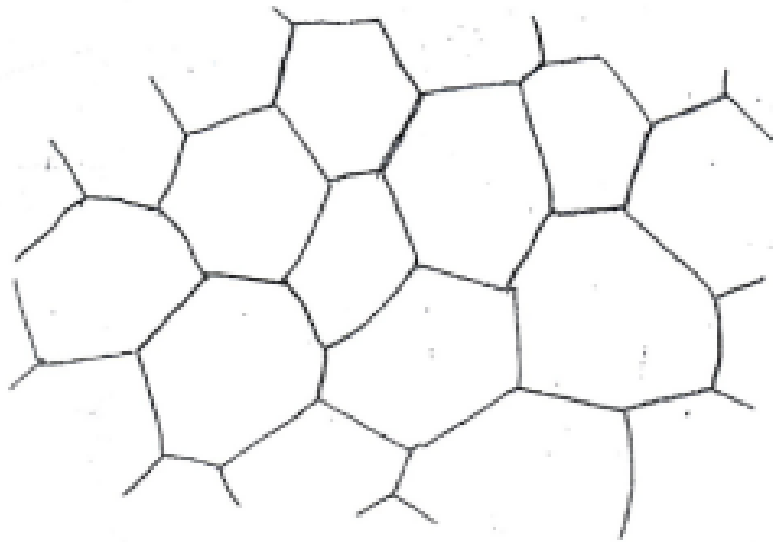
Σχήμα 3. Γκομπόιτσος, 2018



Σχήμα 3. Γκομπότσος, 2018

Δραστηριότητα 5: Παρατήρηση ρίζας καρότου, *Daucus carota*

- Κατασκευάστε παρασκεύασμα εγκάρσιας τομής ρίζας καρότου
- Σχεδιάστε, σημειώστε και χρωματίστε τους χρωμοπλάστες στο σχήμα 4.

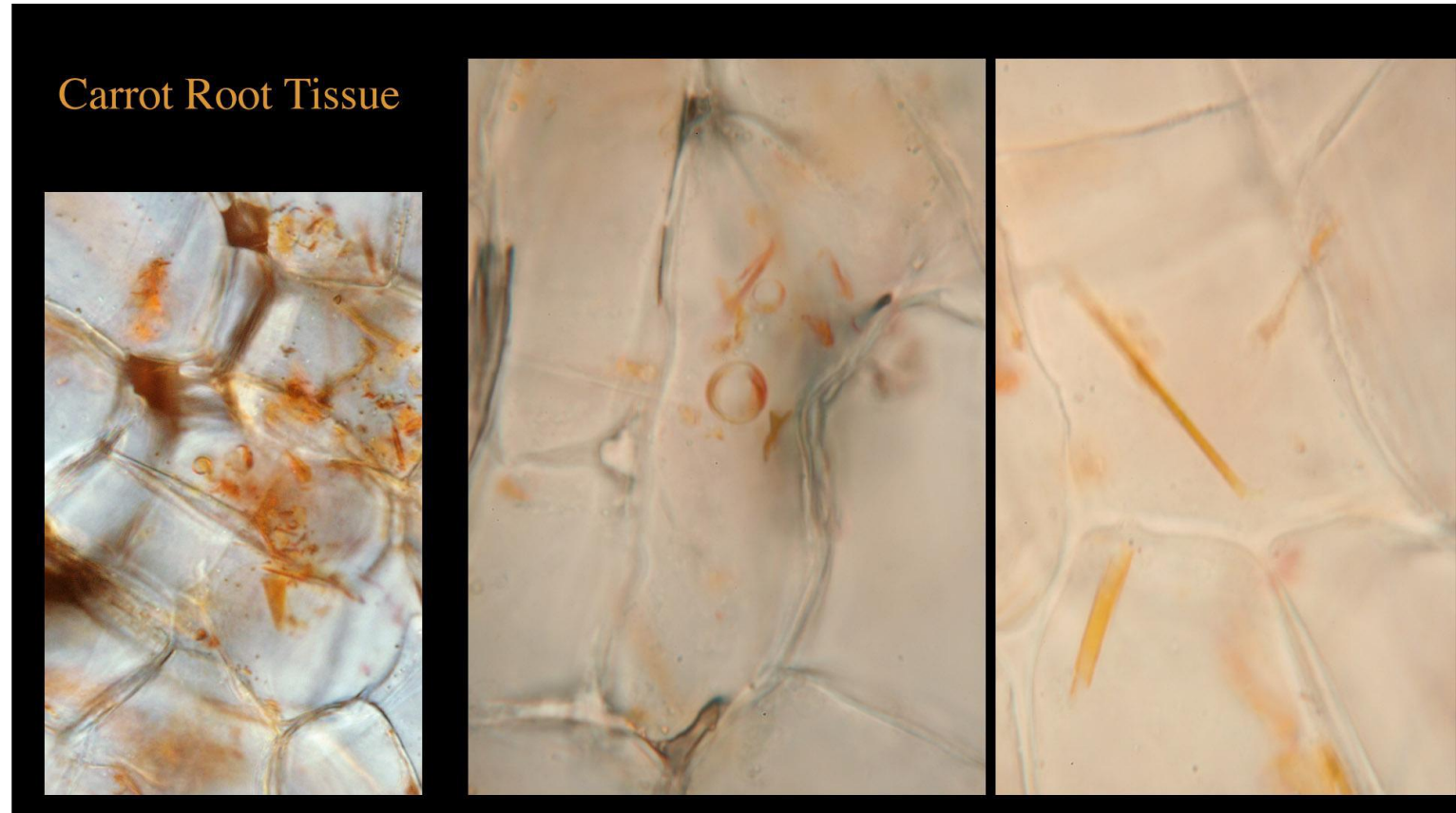


Σχήμα 4. Γκομπόιτσος, 2018

- Στην εγκάρσια τομή καρότου παρατηρούμε **κρυστάλλους καροτενοειδών**.
- Με τη χρήση του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου οι χρωμοπλάστες ταξινομήθηκαν σε πέντε (5) κύριες κατηγορίες:
 - 1) σφαιρικοί χρωμοπλάστες,
 - 2) κρυσταλλικοί χρωμοπλάστες,
 - 3) ινιδώδεις χρωμοπλάστες,
 - 4) κυλινδρικοί και
 - 5) μεμβρανώδεις χρωμοπλάστες.



© CanStockPhoto.com - csp17363186



- **Βιογένεση χρωμοπλαστών:** Η όλη διαδικασία δεν είναι ακόμη πλήρως κατανοητή.
- Ωστόσο, η ηλεκτρονική μικροσκοπία έχει αποκαλύψει μέρος του μετασχηματισμού από χλωροπλάστες σε χρωμοπλάστες.

- **Λύση των θυλακοειδών και των grana.**

- Νέα συστήματα μεμβρανών από κυστίδια της εσωτερικής μεμβράνης του πλαστιδίου σχηματίζονται σε οργανωμένα **μεμβρανικά σύμπλοκα** που ονομάζονται θυλακοειδή πλέγματα. Οι νέες μεμβράνες είναι η θέση **σχηματισμού κρυστάλλων καροτενοειδών**.

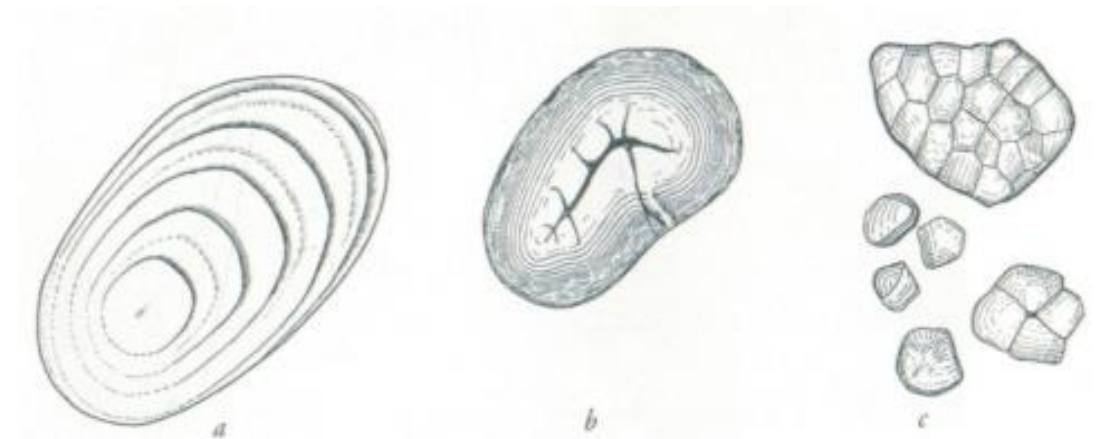
- μείωση της έκφρασης του φωτοσυνθετικού γονιδίου που οδηγεί στην **απώλεια χλωροφύλλης** και **σταματά τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα**.



Δραστηριότητα 6: Παρατήρηση αμυλόκοκκων στον Βλαστό πατάτας, *Solanum tuberosum*

- Κατασκευάστε ένα παρασκεύασμα με ξύσμα από το εσωτερικό της πατάτας
- Παρατηρείστε και σχεδιάστε αμυλόκοκκους σε νερό
- Στη συνέχεια προσθέστε ιωδιούχο διάλυμα (I_2+KI) στην ακμή της καλυπτρίδας και παρατηρήστε τη χρώση των αμυλόκοκκων
- Πως ερμηνεύεται η χρώση του αμύλου με το ιώδιο;

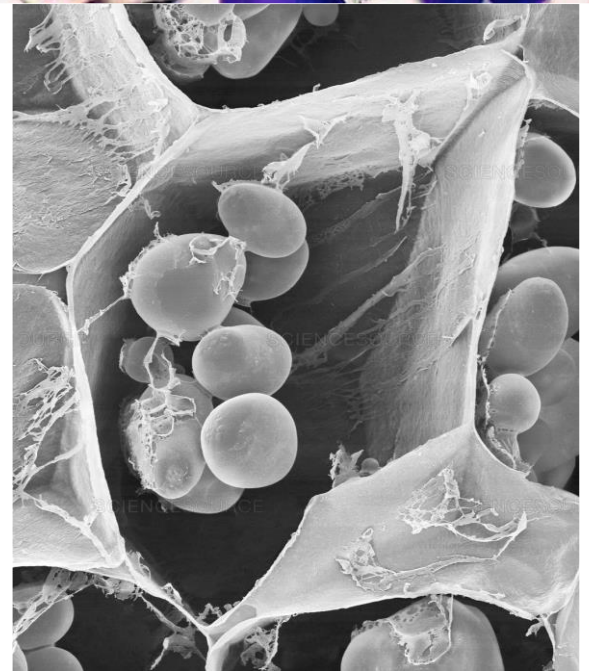
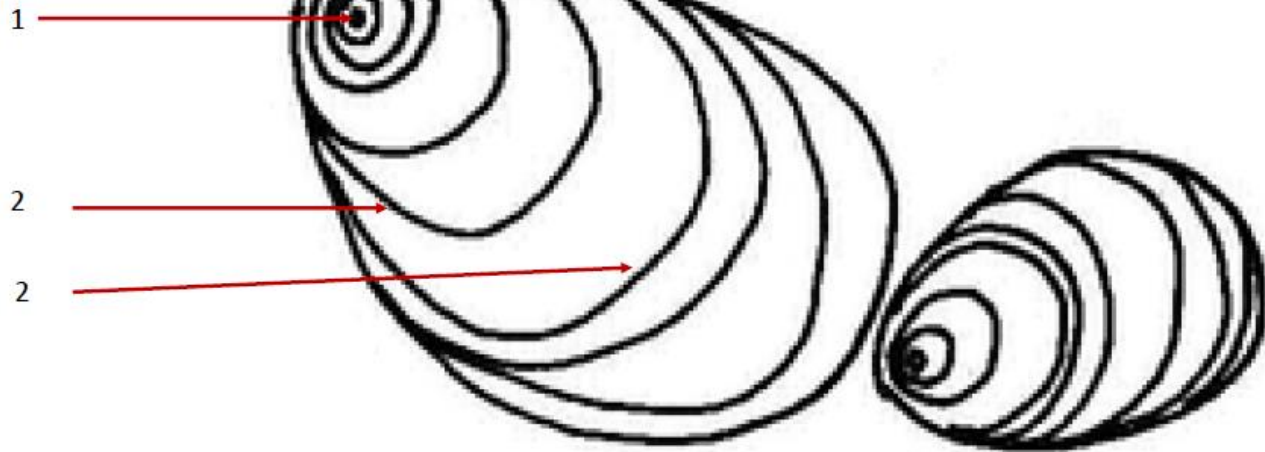
- Οι **αμυλοπλάστες** είναι μη χρωματισμένα οργανίδια (**λευκοπλάστες**)
- υπεύθυνοι για τη **σύνθεση και αποθήκευση των κόκκων αμύλου**, μέσω του πολυμερισμού της γλυκόζης.
- Οι αμυλοπλάστες επίσης μετατρέπουν αυτό το **άμυλο ξανά σε γλυκόζη** όταν το φυτό χρειάζεται ενέργεια.
- Οι αμυλόκοκκοι έχουν **στρωματική** διάταξη αμύλου με συγκεντρικούς κύκλους αποθέσεως.



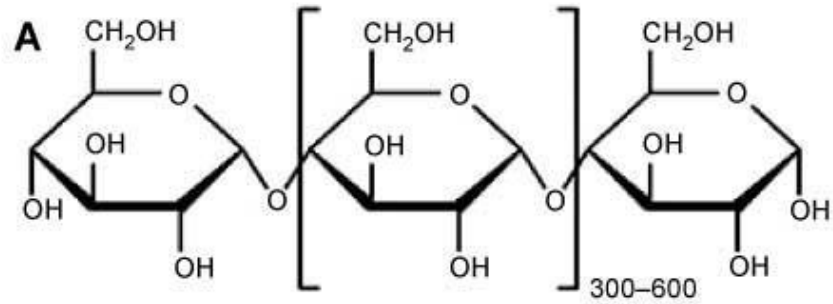
Αμυλόκοκκοι πατάτας, φασολιού και ρυζιού



έκκεντροι

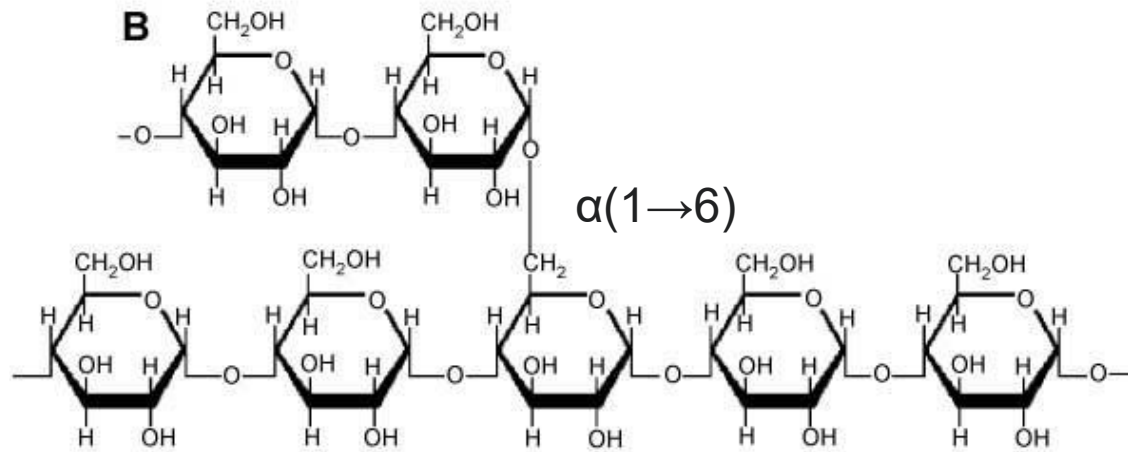


$\alpha(1\rightarrow4)$

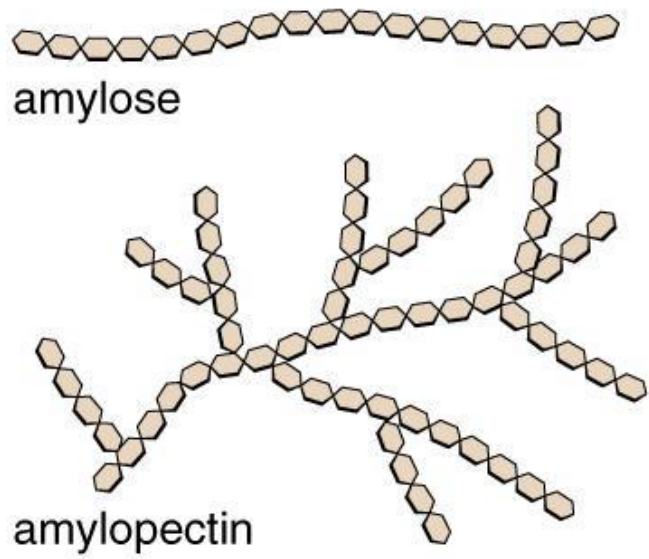


Amylose with a linear helical structure

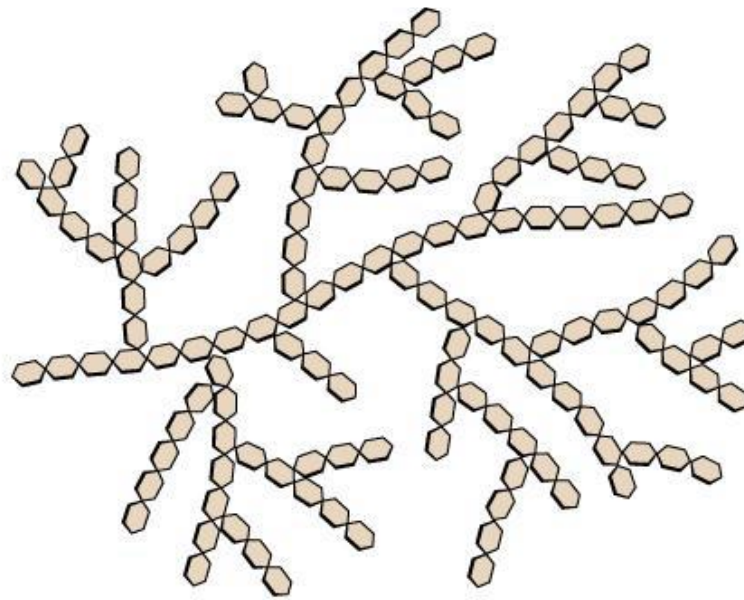
$\alpha(1\rightarrow4)$



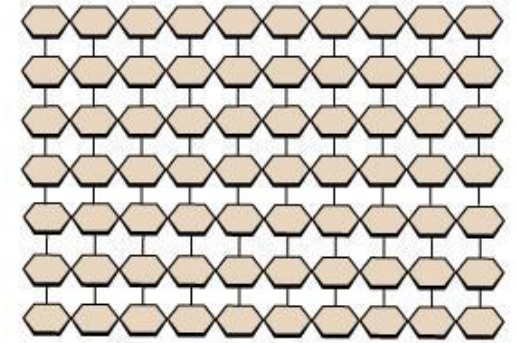
Amylopectin with a branched structure



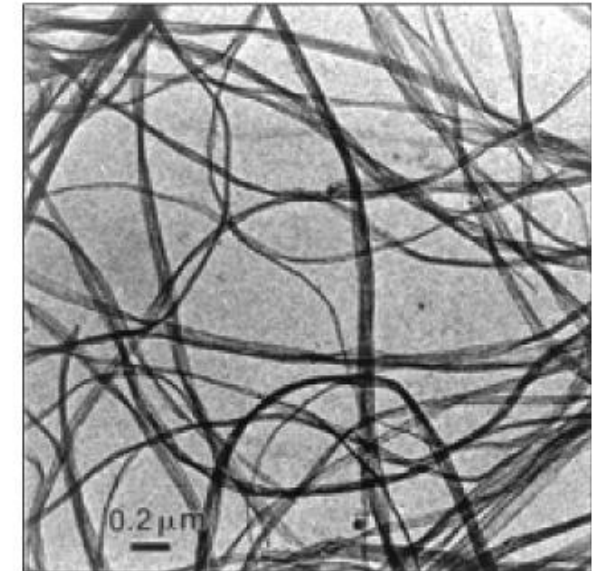
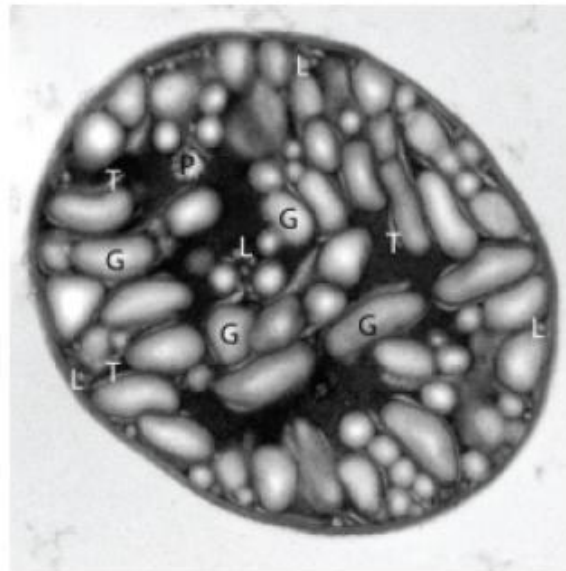
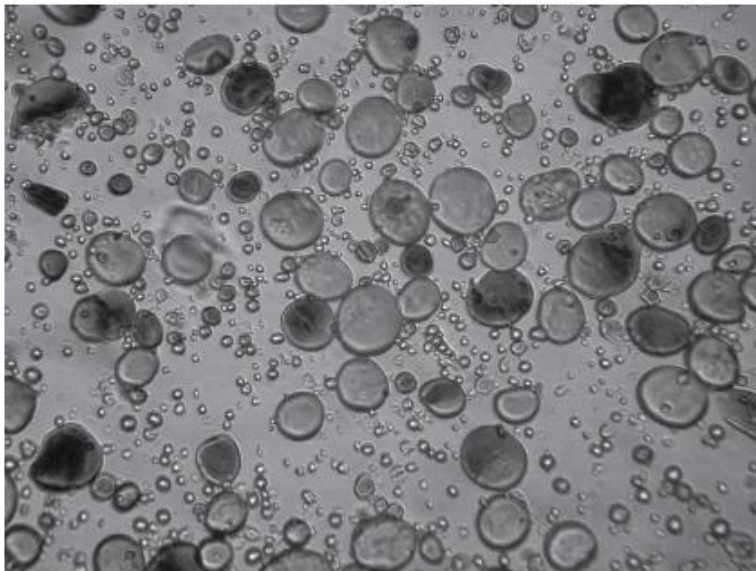
starch



glycogen

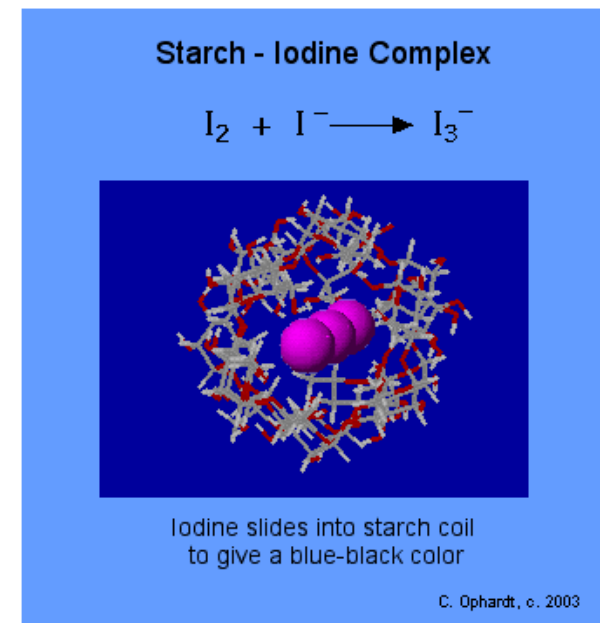


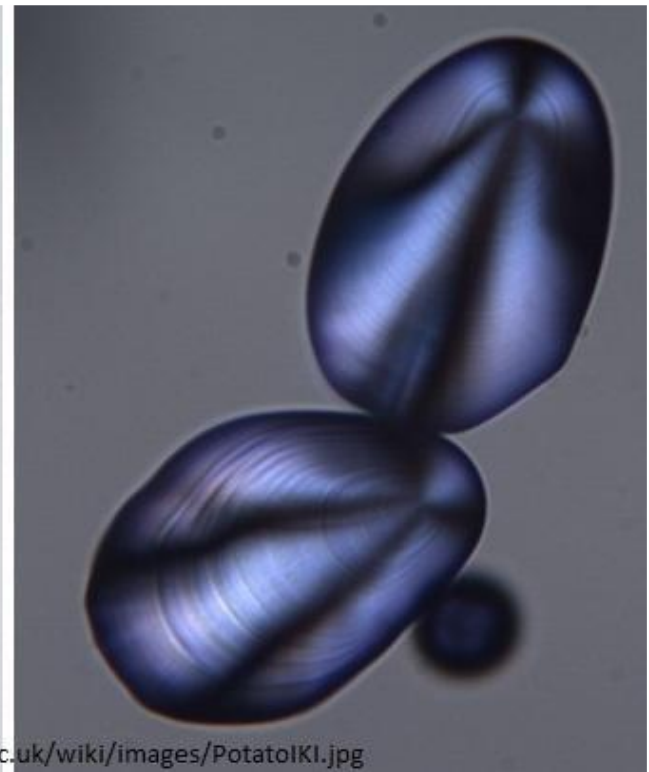
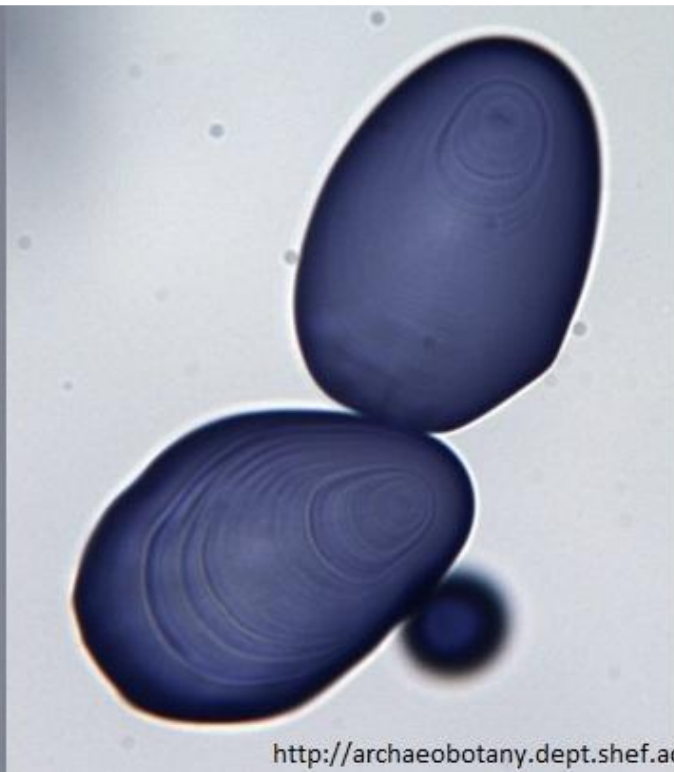
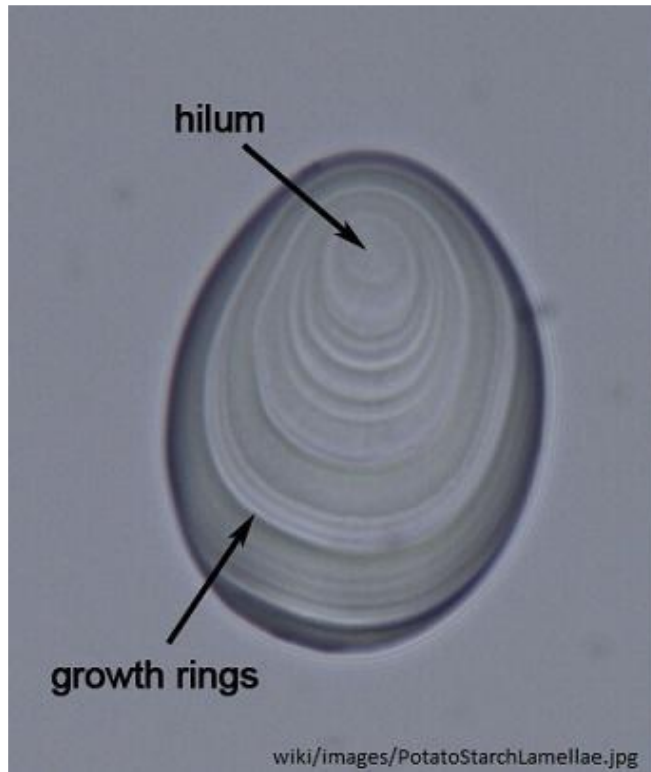
cellulose (fiber)



- Στην **καλύπτρα** της ρίζας υπάρχει ένα ειδικό υποσύνολο κυττάρων, που ονομάζονται **στατοκύτταρα**, όπου εξειδικευμένοι αμυλοπλάστες, **στατόλιθοι**, εμπλέκονται στην αντίληψη της βαρύτητας από το φυτό (**γεωτροπισμός**).
- Οι **στατόλιθοι** είναι πιο **πυκνοί** από το κυτταρόπλασμα και μπορούν να καθιζάνουν με τη βαρύτητα.

Το ιώδιο του ιωδιούχου διαλύματος δεσμεύεται στα μόρια του αμύλου και τα σύμπλοκα έχουν **ιώδες χρώμα**.





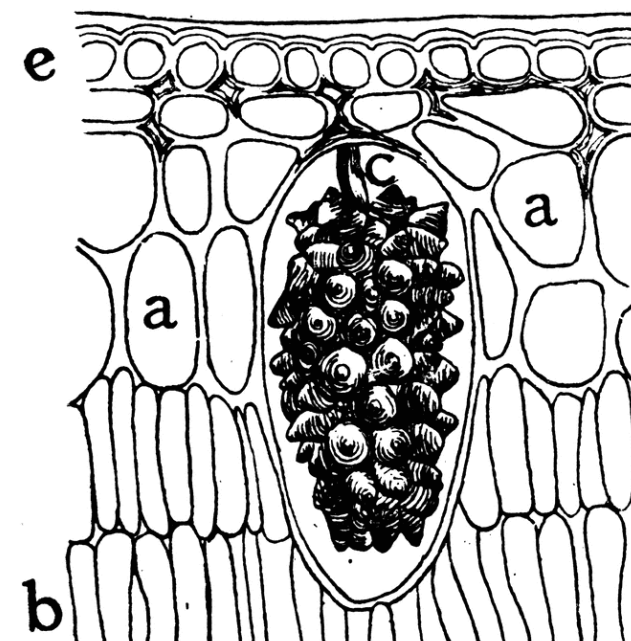
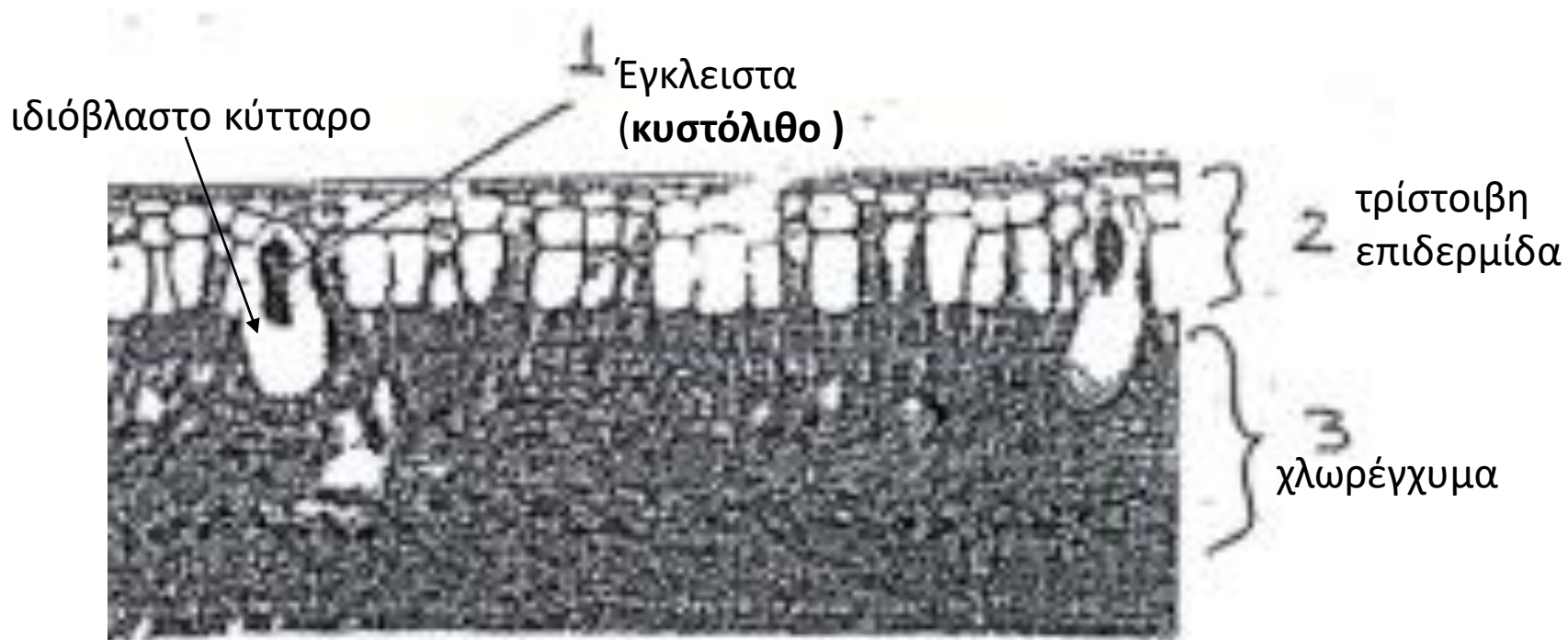
- Οι αμυλοπλάστες και οι χλωροπλάστες συνδέονται στενά και οι αμυλοπλάστες μπορούν να μετατραπούν σε χλωροπλάστες. Αυτό παρατηρείται για παράδειγμα όταν οι κόνδυλοι της πατάτας εκτίθενται στο φως και γίνονται πράσινοι.

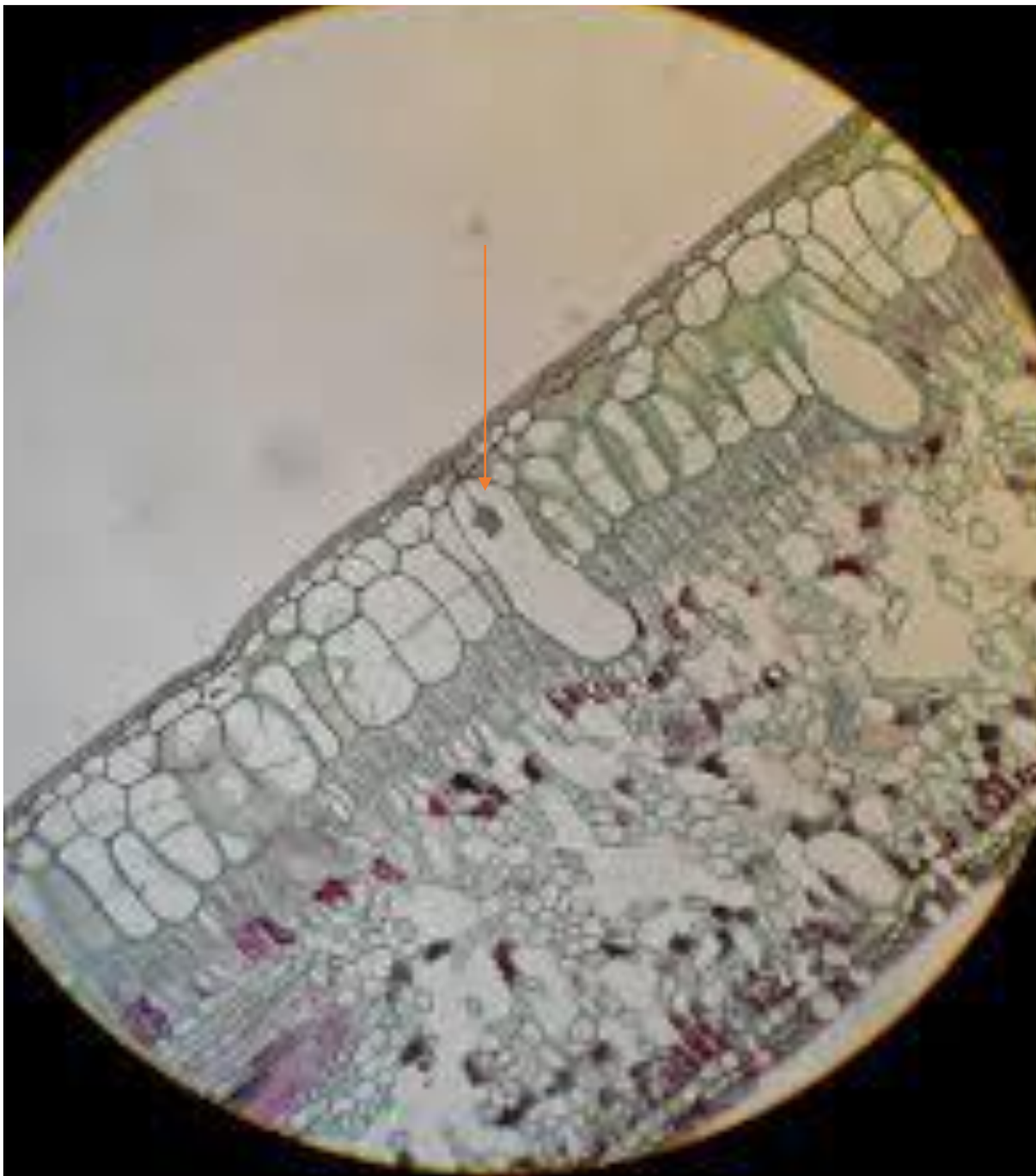


Δραστηριότητα 7: Παρατήρηση εγκάρσιας τομής φύλλου Φίκου, *Ficus elastica*

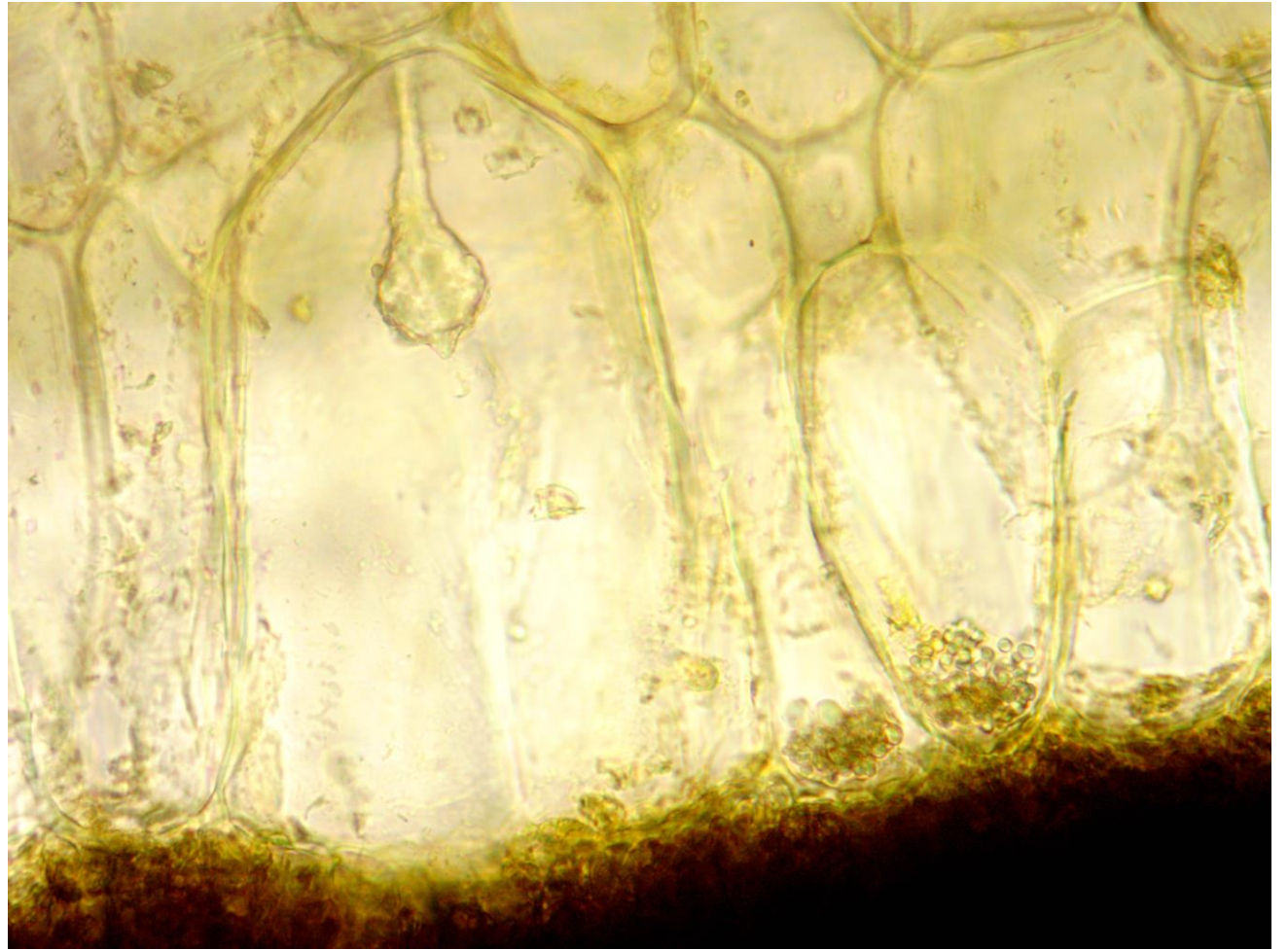
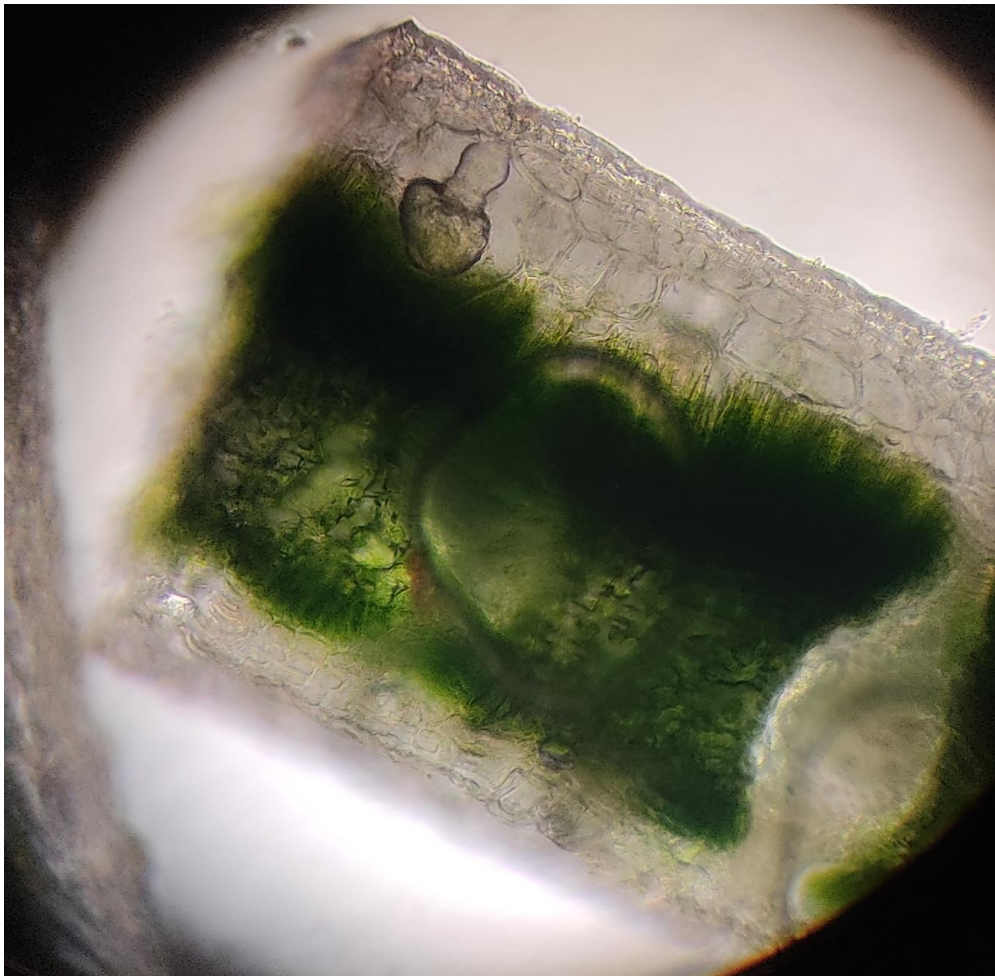


- Κατασκευάστε ένα παρασκεύασμα εγκάρσιας τομής φύλλου Φίκου
- Σημειώστε το όνομα των δομών που αντιστοιχούν οι αριθμοί στο σχήμα

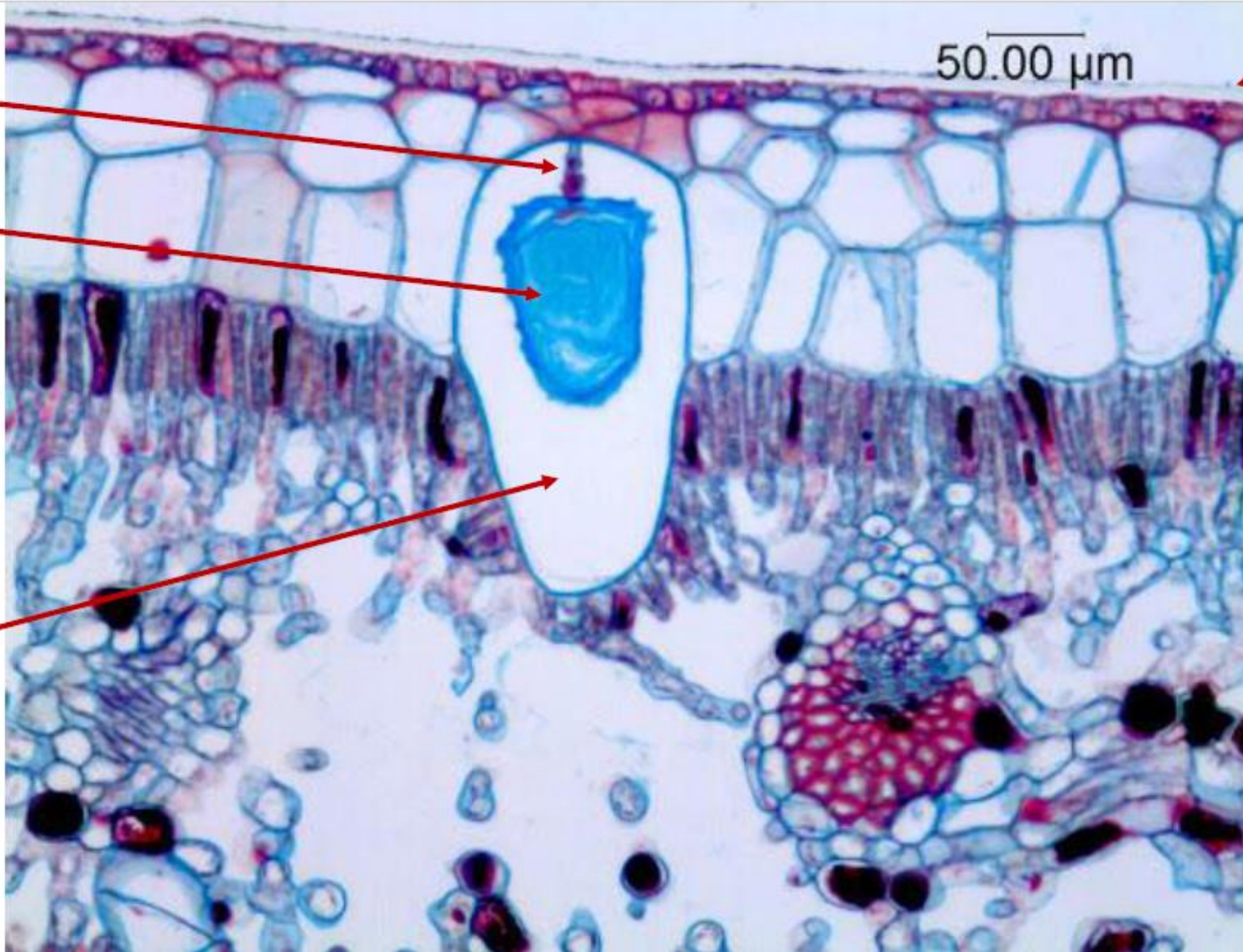




Γκομπότσος, 2017



Φανουράκη, 2022



50.00 μm

6
Μίσχος
κυστόλιθου

4
κυστόλιθος

7
χλωρέγχυμα

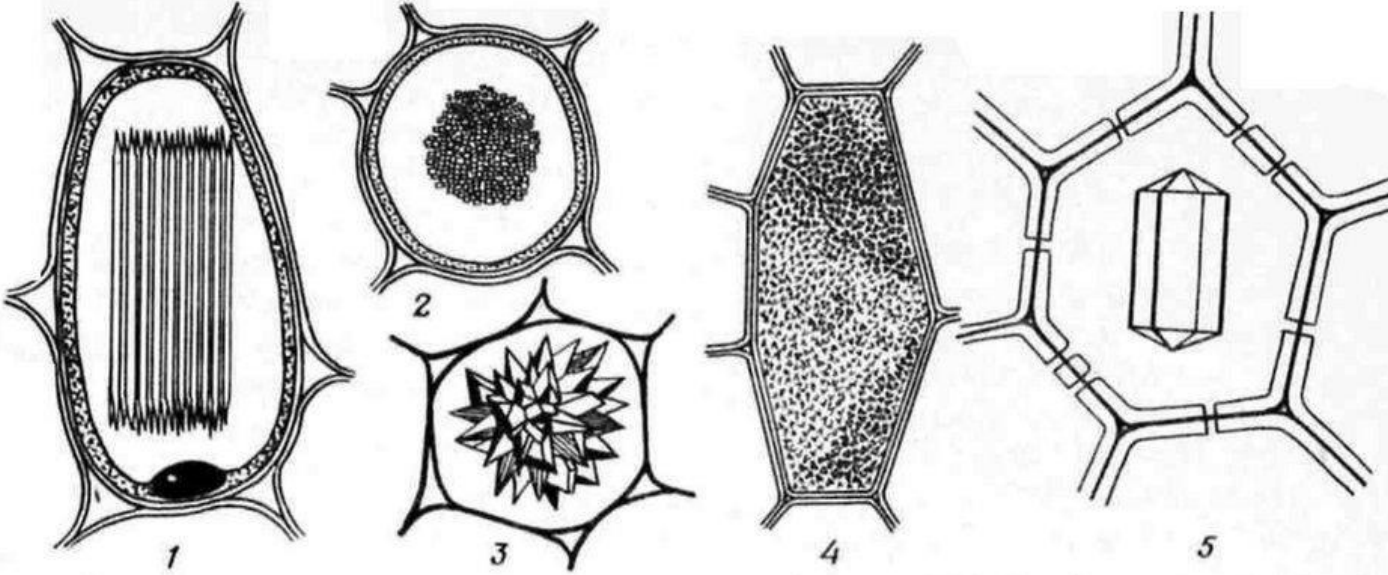
5
ιδιόβλαστο
κύτταρο

1
εφυμενίδα

2
επιδερμίδα

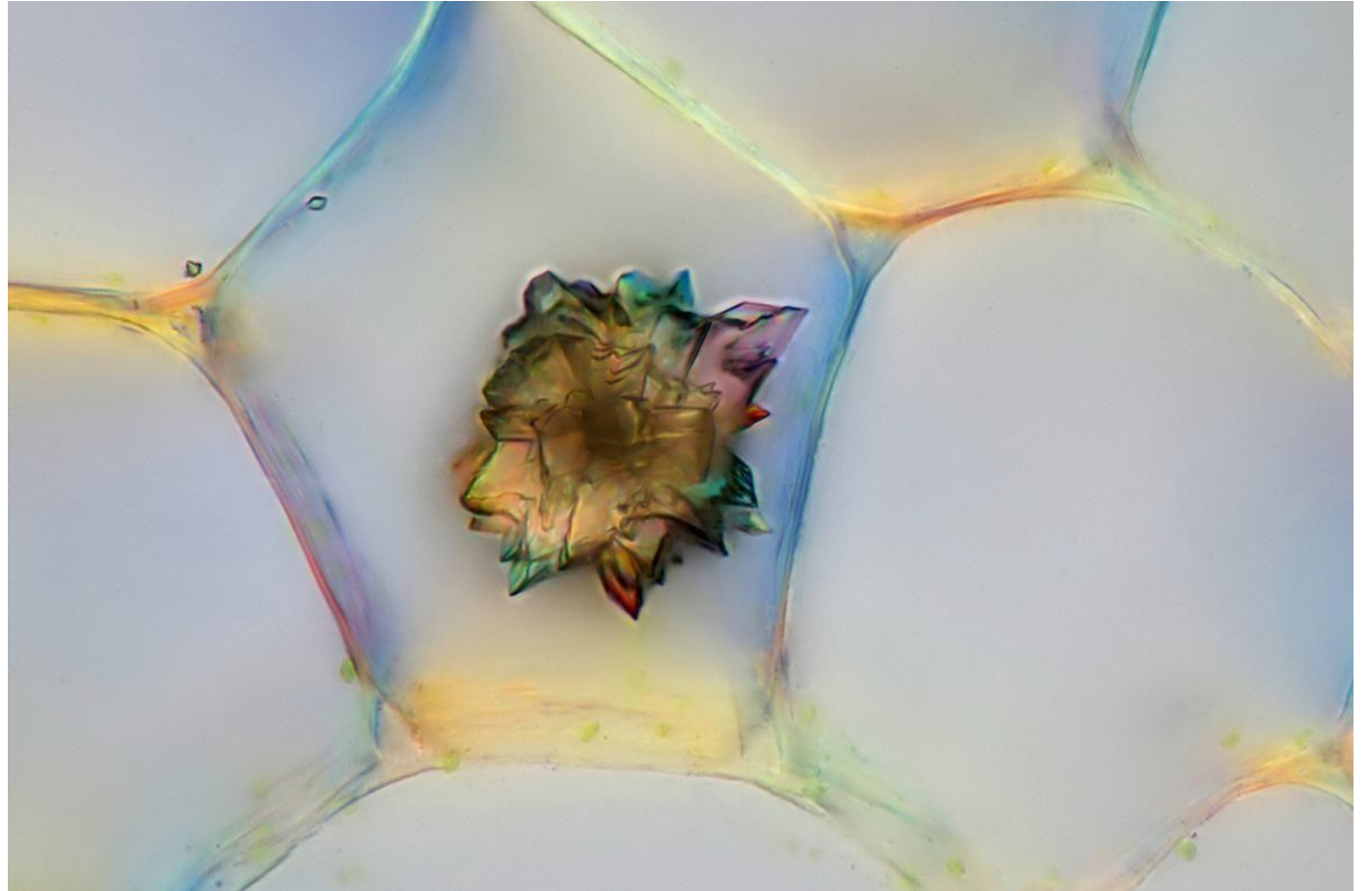
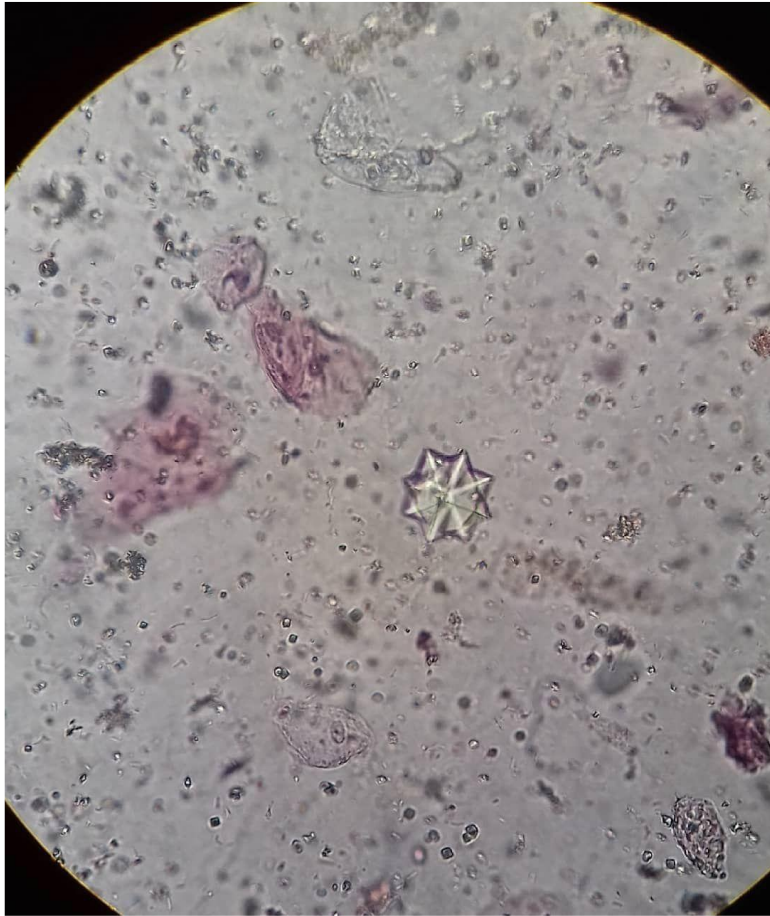
3
παρέγχυμα

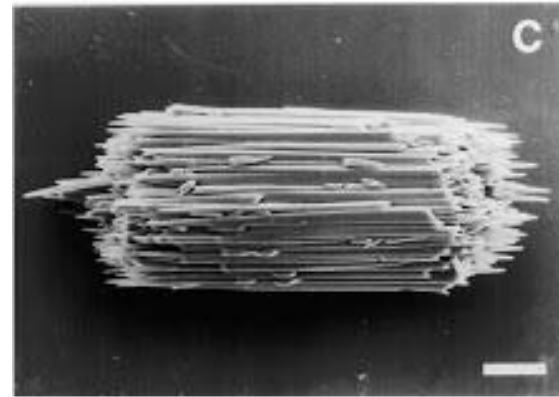
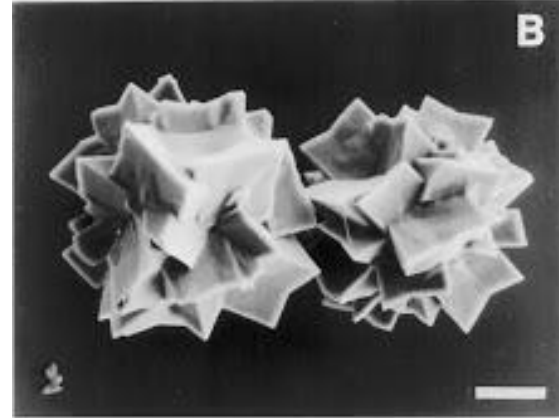
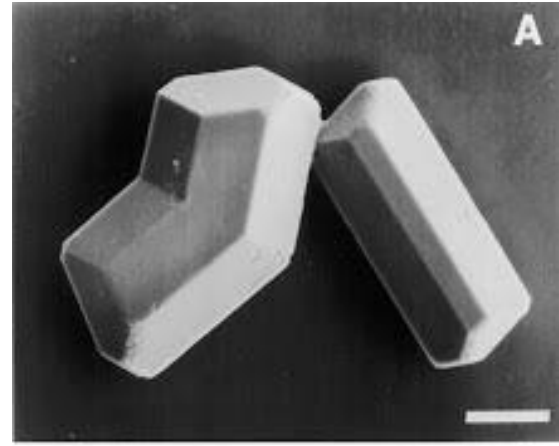
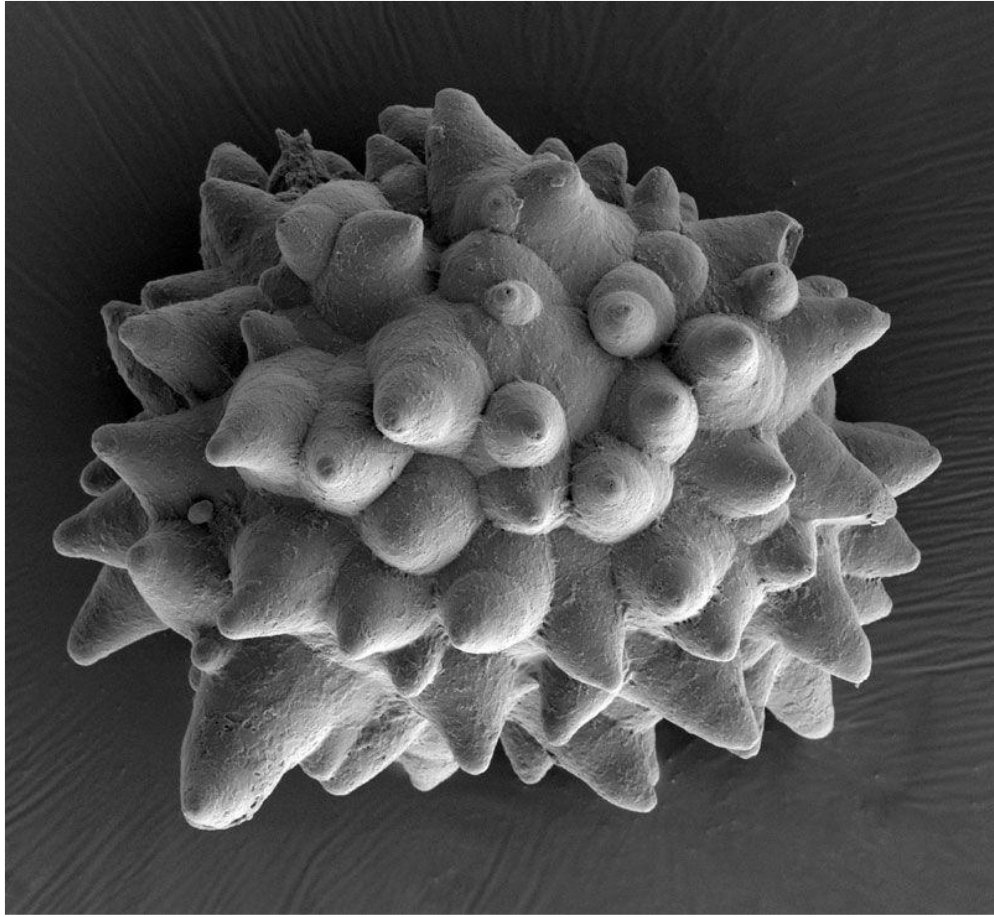
Forms of crystals of calcium oxalate



1,2 – raphides (1 – Lateral view, 2 – cross-section view); 3 – drusen; 4 – crystal sand; 5 – simple crystal

- **Ραφίδες:** επιμήκεις, λεπτοί και βελονοειδείς κρύσταλλοι.
- **Στηλοειδείς:** κρύσταλλοι με μυτερές απολήξεις και μήκος τουλάχιστον τέσσερις φορές μεγαλύτερο από το πλάτος.
- **Βοτρυόμορφοι-δρούσες:** σύνθετοι κρύσταλλοι από πολυάριθμους πρισματοειδείς ή πυραμιδοειδείς κρυστάλλους.
- **Πρισματικοί:** ρομβοεδρικοί ή οκταεδρικοί κρύσταλλοι που ποικίλουν σε μέγεθος.
- **Κρυσταλλική άμμος:** μάζα λεπτών συμπαγών μικρο-κρυστάλλων, διασκορπισμένοι δίνοντάς αμμώδη υφή.
- **Σφαιρίτες:** σφαιρικοί κρύσταλλοι, που συγκροτούν ομάδες και έχουν σχετικά λεία επιφάνεια.

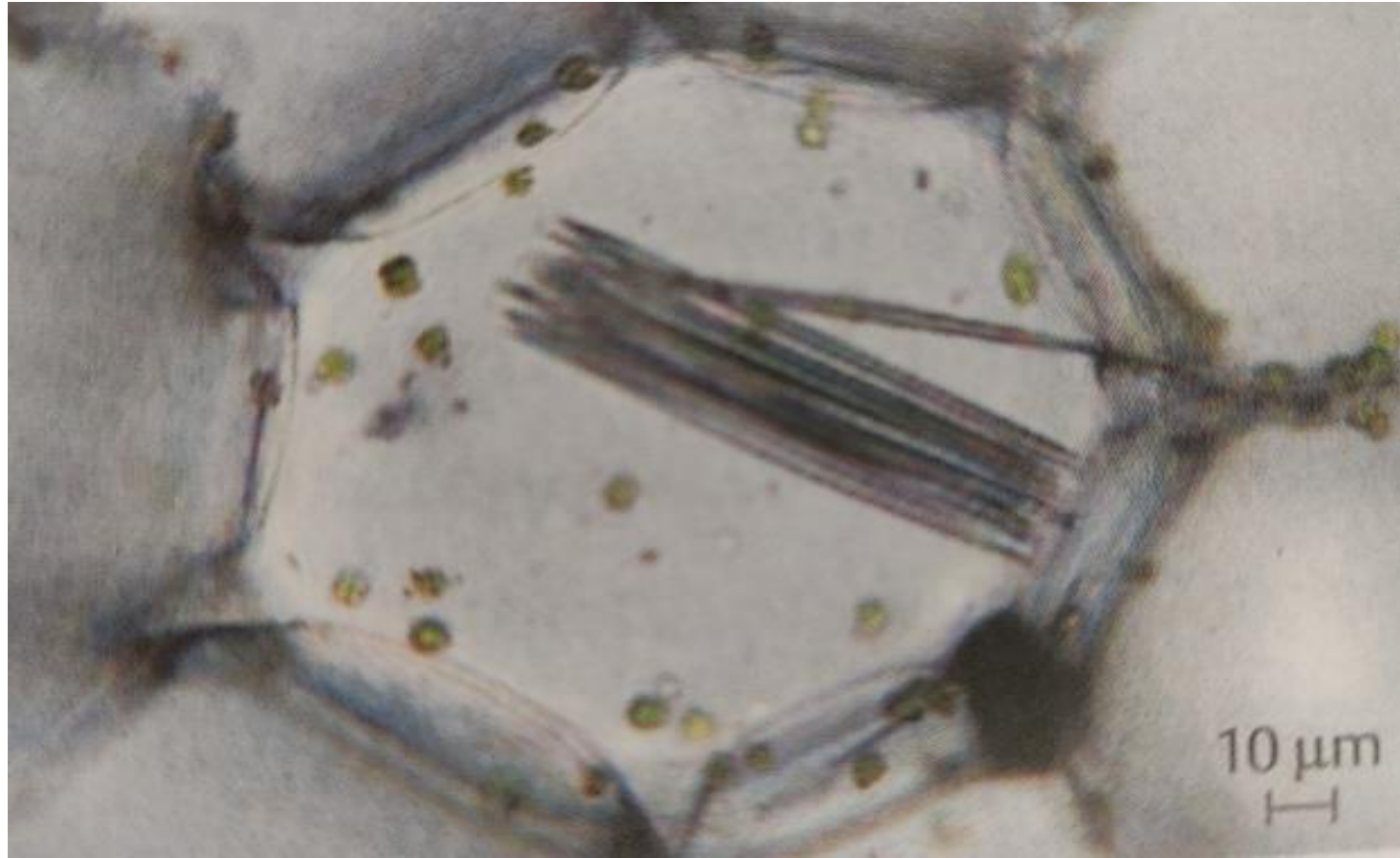




Δραστηριότητα 8: Παρατήρηση κατά μήκος τομής φύλλου δράκαινας, *Dracaena marginata*



- Κατασκευάστε ένα παρασκεύασμα κατά μήκους τομής φύλλου δράκαινας κοντά στο κεντρικό νεύρο. Η τομή θα γίνει με έγκλειση σε φελιζόλ.
- Παρατηρείστε και σχεδιάστε ραφίδες οξαλικού ασβεστίου (raphides), μεμονωμένες, διάσπαρτες ή σε ιδιόβλαστα παρεγχυματικά κύτταρα του μεσόφυλλου



Τσέκος, Κουκόλη, Μουστάκας, 2012.



Ανθρακικό και Οξαλικό ασβέστιο στα φυτά: σχηματισμός και λειτουργία

- Η βιομεταλλοποίηση (σχηματισμός κρυστάλλων) εξελίχθηκε πολλές φορές, ανεξάρτητα και είναι ευρέως διαδεδομένη στο φυτικό βασίλειο. Οι πιο συνηθισμένοι τύποι βιομετάλλων στα φυτά είναι οι κρύσταλλοι **οξαλικού ασβεστίου, ανθρακικού ασβεστίου και πυριτίου.**
- **Λειτουργίες** σχηματισμού κρυστάλλων ασβεστίου:
 - **ρύθμιση-αποθήκευση ασβεστίου (Ca),**
 - **αδρανοποίηση του οξαλικού οξέος (παραπροϊόν φωτοσύνθεσης) ή βαρέων μετάλλων,**
 - **προστασία από τα φυτοφάγα,**
 - **μπορεί να συμβάλλουν στη διάχυση και αποτελεσματικότερη διάδοση του φωτός.**
- Η διαδικασία της **βιομεταλλοποίησης** δεν είναι τυχαία. Αντίθετα, σχηματίζονται κρύσταλλοι σε **συγκεκριμένα σχήματα και μεγέθη.** Η γενετική ρύθμιση του σχηματισμού οξαλικού ασβεστίου υποδεικνύεται από
 - τη **σταθερότητα της κρυσταλλικής μορφολογίας εντός των ειδών,**
 - την εξειδίκευση όσον αφορά στο **είδος των κυττάρων** που σχηματίζονται και
 - τον **συντονισμό** της ανάπτυξης των κρυστάλλων και της **κυτταρικής επέκτασης.**

Τέλος