



# Δευτερογενείς μεταβολίτες: βιοσυνθετικές οδοί και βιολογικός ρόλος

Ενότητα 1: Δευτερογενείς μεταβολίτες των φυτών - Εισαγωγή

Αικατερίνη Καραμανώλη  
Τμήμα Γεωπονίας



# Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



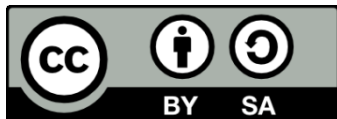
# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.





# Δευτερογενείς μεταβολίτες των φυτών - Εισαγωγή



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

# Περιεχόμενα ενότητας (1)

1. Η έννοια των δευτερογενών μεταβολιτών.
2. Ο ρόλος των δευτερογενών μεταβολιτών.
3. Πρωτογενείς vs Δευτερογενείς μεταβολίτες.
4. Η γνώση για τους δευτερογενείς μεταβολίτες συνεχώς διευρύνεται.
5. Κύριες κατηγορίες δευτερογενών μεταβολιτών.



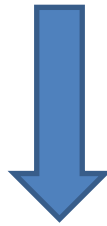
# Περιεχόμενα ενότητας (2)

6. Βιοσύνθεση δευτερογενών μεταβολιτών.
7. Αποθήκευση δευτερογενών μεταβολιτών.
8. Χημική άμυνα φυτών.
9. Προσέλκυση άλλων οργανισμών.
10. Μια περίπτωση συν-εξέλιξης.
11. Αποφυγή αυτοτοξικότητας από το φυτό.
12. Η ανθρώπινη διάσταση.
13. Εθνοβοτανική.



# Η έννοια των δευτερογενών μεταβολιτών (1)

- Δευτερογενείς μεταβολίτες ή δευτερογενή προϊόντα ή φυσικά προϊόντα



- Μεγάλος αριθμός **οργανικών ενώσεων** με ετερογενή χημική δομή και βιολογική δράση.
- **Προϊόντα** του δευτερογενούς μεταβολισμού.



# Η έννοια των δευτερογενών μεταβολιτών (2)

- Ουσίες του φυτού που **δεν έχουν άμεση συμμετοχή** σε ζωτικής σημασίας λειτουργίες του φυτού όπως φωτοσύνθεση, αναπνοή, αφομοίωση και μετακίνηση θρεπτικών ουσιών, σύνθεση σακχάρων, πρωτεϊνών, λιπιδίων, διαφοροποίηση.



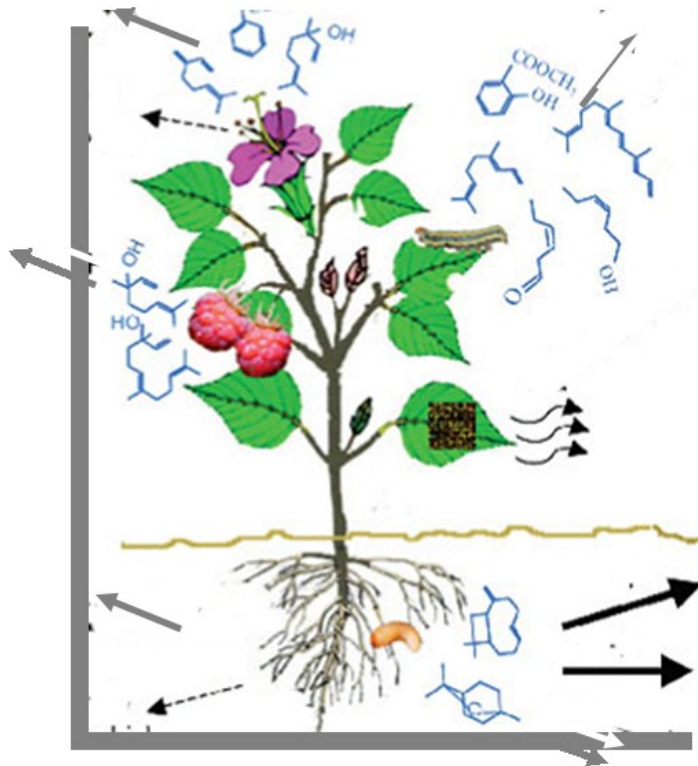


# Η έννοια των δευτερογενών μεταβολιτών (3)

- Σε αντίθεση με τους πρωτογενείς μεταβολίτες (σάκχαρα, πρωτεΐνες, λιπαρά οξέα, νουκλεοτίδια) έχουν **περιορισμένη εξάπλωση** στα διαφορετικά είδη φυτών.
- Συγκεκριμένες ουσίες μπορεί να εμφανίζονται μόνο σε ένα είδος φυτού ή/και σε συγγενικά είδη φυτών.



# Ρόλος των δευτερογενών μεταβολιτών



- Οι δευτερογενείς μεταβολίτες **συμμετέχουν** στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ φυτού και περιβάλλοντος.

Πηγή: Dudareva et al., 2006



# Πρωτογενείς μεταβολίτες

- **Ίδιοι** ή αντίστοιχοι σε όλους σχεδόν τους οργανισμούς.
- **Όμοιος** λειτουργικός ρόλος.
- Σάκχαρα, αμινοξέα, νουκλεϊκά οξέα, λιπαρά οξέα....



# Δευτερογενείς μεταβολίτες

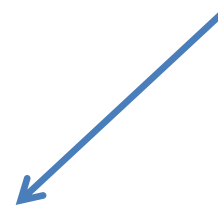
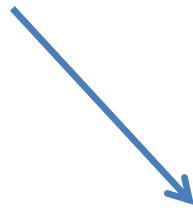
- **Διαφορετικοί** σε διαφορετικά φυτά, όργανα, ιστούς, στάδια ανάπτυξης.
- **Ποικίλος** βιολογικός ρόλος.



# Πρωτογενείς vs Δευτερογενείς μεταβολίτες

Πρωτογενείς  
μεταβολίτες

Δευτερογενείς  
μεταβολίτες



Η διάκριση ασαφής



# Αύξηση αριθμού δευτερογενών μεταβολιτών (1)

- **1985:** Περίπου 25000 δευτερογενείς μεταβολίτες ήταν γνωστοί.
- **1994:** Καταγραφή 100.000 διαφορετικών δευτερογενών μεταβολιτών (*Dictionary of natural products*).
- **2007:** Καταγραφή >190.000 διαφορετικών δευτερογενών μεταβολιτών (*Dictionary of natural products*).



# Αύξηση αριθμού δευτερογενών μεταβολιτών (2)

- Τουλάχιστον **1000** διαφορετικές ουσίες προσδιορίζονται **κάθε χρόνο**.
- Το **80%** των δευτερογενών μεταβολιτών είναι ουσίες **φυτικής προέλευσης**.



# Κύριες κατηγορίες δευτερογενών μεταβολιτών (1)

- **Τερπενοειδή:**
  - Μονοτερπένια.
  - Σεσκιτερπένια.
  - Διτερπένια.
  - Τριτερπένια, στεροειδή, σαπωνίνες.
  - Τετρατερπένια.





# Κύριες κατηγορίες δευτερογενών μεταβολιτών (2)

- **Φαινολικές ενώσεις.**
  - Φαινυλοπροπανοειδή.
  - Φλαβονοειδή.
  - Ταννίνες.
  - Λιγνίνη.

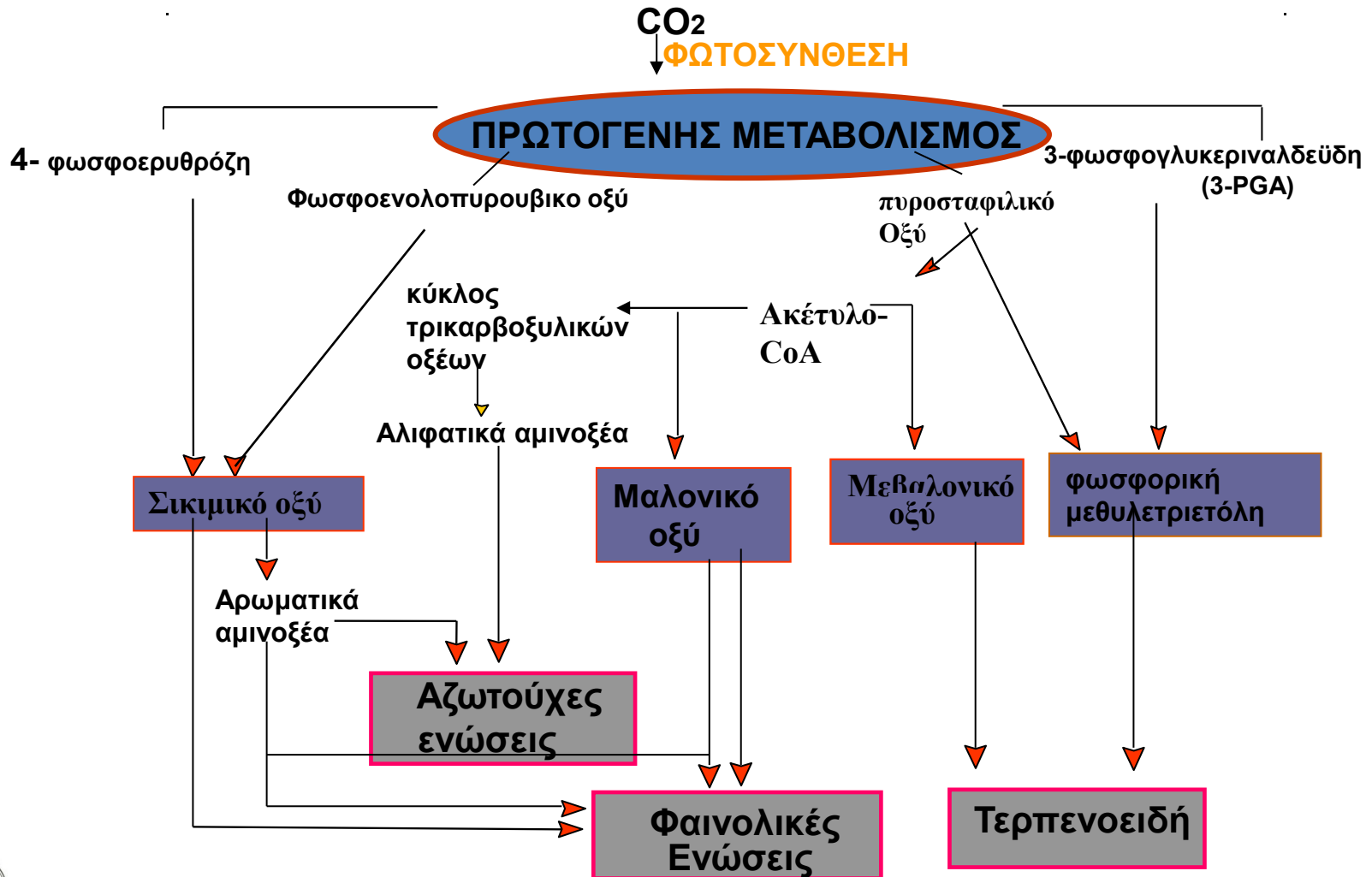


# Κύριες κατηγορίες δευτερογενών μεταβολιτών (3)

- **Αζωτούχες ενώσεις.**
  - Αλκαλοειδή.
  - Μπεταλαΐνες.
  - Κυανογόνα γλυκοσίδια.
  - Γλυκοσινολίδια (θειογλυκοσίδια).
  - Αμίνες.
  - Μη πρωτεϊνικά αμινοξέα.



# Σύνθεση δευτερογενών μεταβολιτών



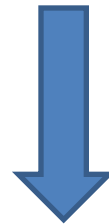
Δευτερογενείς μεταβολίτες: Βιοσυνθετικές οδοί και βιολογικός ρόλος

Τμήμα Γεωπονίας



# Βιοσύνθεση δευτερογενών μεταβολιτών (1)

- Πραγματοποιείται:
- Σε ειδικά όργανα ή/και ιστούς, ή/και κύτταρα, ή/και στάδιο ανάπτυξης.
- Από ειδικά ένζυμα.



**Τελικά προϊόντα** ειδικής στερεοχημικής δομής.



# Βιοσύνθεση δευτερογενών μεταβολιτών (2)

- Ρύθμιση από ειδικούς μεταγραφικούς παράγοντες που ελέγχουν τα βιοσυνθετικά γονίδια σε επίπεδο mRNA και (αντίστοιχων πρωτεϊνών).



# Βιοσύνθεση δευτερογενών μεταβολιτών (3)

- Ειδικό σήμα που ρυθμίζει:
  - Τα γονίδια που κωδικοποιούν τους παράγοντες μεταγραφής.
  - Τη λειτουργία των παραγόντων μεταγραφής.
  - Τη βιοσυνθετική διεργασία.



# Βιοσύνθεση δευτερογενών μεταβολιτών (4)

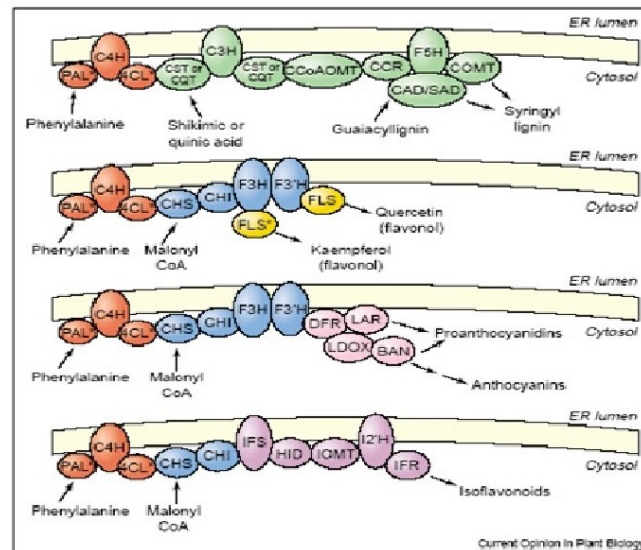
- **Metabolon:** ομάδες συνεχόμενων γονιδίων που κωδικοποιούν τη σύνθεση ενζύμων που καταλύουν σχετιζόμενες μεταβολικές αντιδράσεις που μπορεί να είναι μέρος της ίδιας μεταβολικής οδού.

Με αποτέλεσμα →



# Βιοσύνθεση δευτερογενών μεταβολιτών (5)

Η «καναλοποίηση» των γονιδίων που κωδικοποιούν τη σύνθεση ενζύμων της ίδιας μεταβολικής οδού διευκολύνει την αποτελεσματικότερη παραγωγή δευτερογενών μεταβολιτών. Παρατηρείστε στο παρακάτω σχήμα ότι στη βιοσύνθεση των φαινολικών ενώσεων η σειρά των ενζύμων διαφοροποιείται μόνο στα τελικά στάδια, τα οποία θα δώσουν και διαφορετικά τελικά προϊόντα.



Πηγή: Jørgensen et al, 2005



# Βιοσύνθεση δευτερογενών μεταβολιτών (6)

- Η σύνθεση του τεράστιου αριθμού δευτερογενών μεταβολιτών με διαφορετικές και υψηλής πολυπλοκότητας δομές βασίζεται σε ένα περιορισμένο αριθμό **γονιδίων-κλειδιών** που **κωδικοποιούν** τα απαραίτητα ένζυμα.
- Οι κύριες κατηγορίες ενζύμων είναι γλυκοσυλο- μεθυλο- ακυλο- τρανσφεράσες.



# Βιοσύνθεση δευτερογενών μεταβολιτών (7)

- Δεν υπάρχει άμεση συσχέτιση μεταξύ των μεταβολιτών και των γονιδίων, όπως υπάρχει μεταξύ γονιδίου, mRNA και πρωτεΐνης.
- Η ύπαρξη ή όχι του γονιδίου μας δίνει την πληροφορία για το αν ο μεταβολίτης έχει τη δυνατότητα να εμφανιστεί στο συγκεκριμένο κύτταρο.

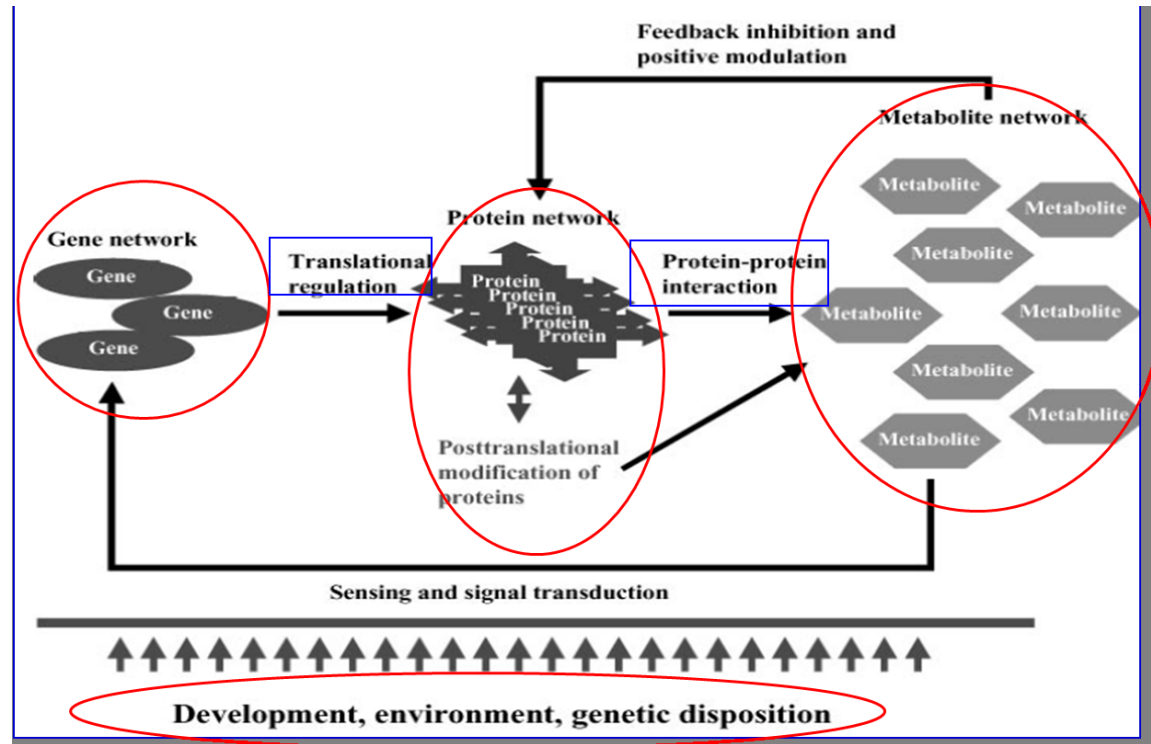


# Βιοσύνθεση δευτερογενών μεταβολιτών (8)

- Η δομή των μεταβολιτών μπορεί να μεταβληθεί πολύ γρήγορα με χρόνο ημίσειας ζωής ώρες, λεπτά ή δευτερόλεπτα · μακράν γρηγορότερα από το DNA και τις πρωτεΐνες.
- **Metabolomics:** αναφέρεται στην εκτεταμένη non-biased αναλυτική διαδικασία που οδηγεί στον προσδιορισμό των μεταβολιτών ενός συγκεκριμένου κύτταρου μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή.



# Βιοσύνθεση δευτερογενών μεταβολιτών (9)



Από λίγα γονίδια σε .... πολλούς μεταβολίτες.



# Βιοσύνθεση δευτερογενών μεταβολιτών (10)

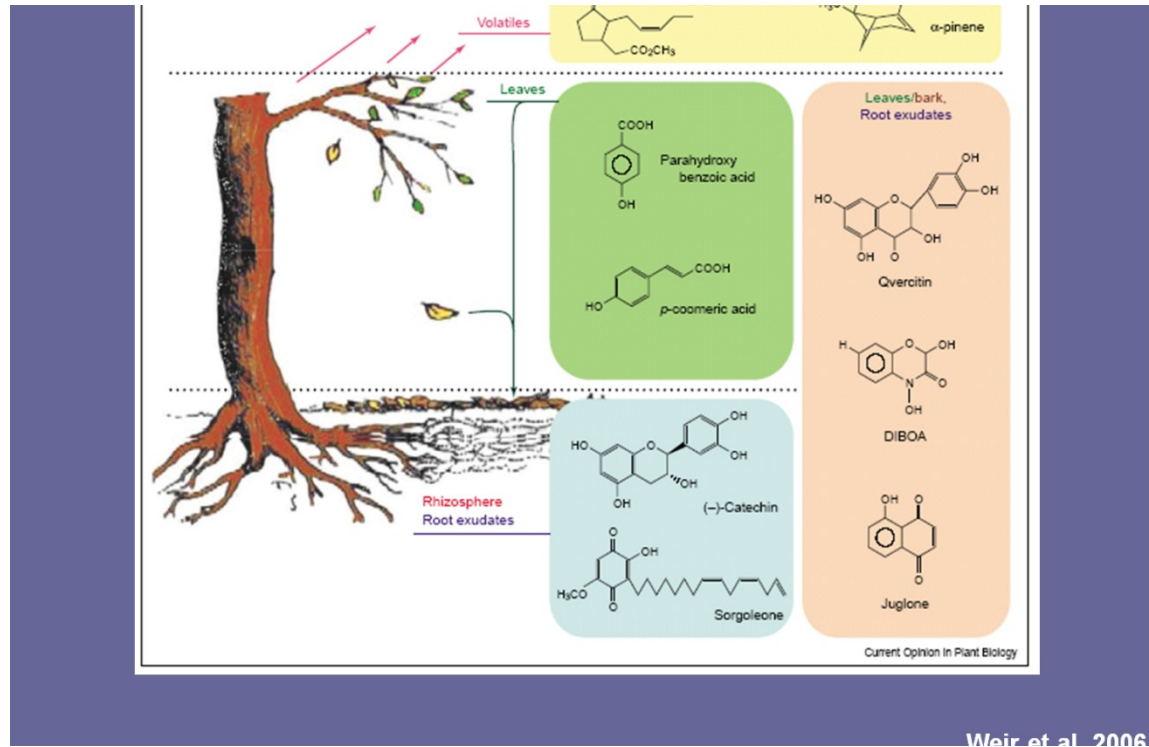
## Δευτερογενείς μεταβολίτες



- Ιδιοσύστατοι ή προϋπάρχοντες (constitutive).
- Υπάρχουν στο φυτό συνέχεια ή/και η σύνθεσή τους συμβαίνει σε κάποιο συγκεκριμένο στάδιο της ανάπτυξης.
- Λιγνίνη, τανίνες, συστατικά αιθερίων ελαίων.
- Επαγώγιμοι (inducible).
- Η σύνθεση τους γίνεται μόνο με την επίδραση κάποιου βιοτικού ή αβιοτικού παράγοντα – επαγωγέα.
- Φυτοαλεξίνες.



# Βιοσύνθεση δευτερογενών μεταβολιτών (11)

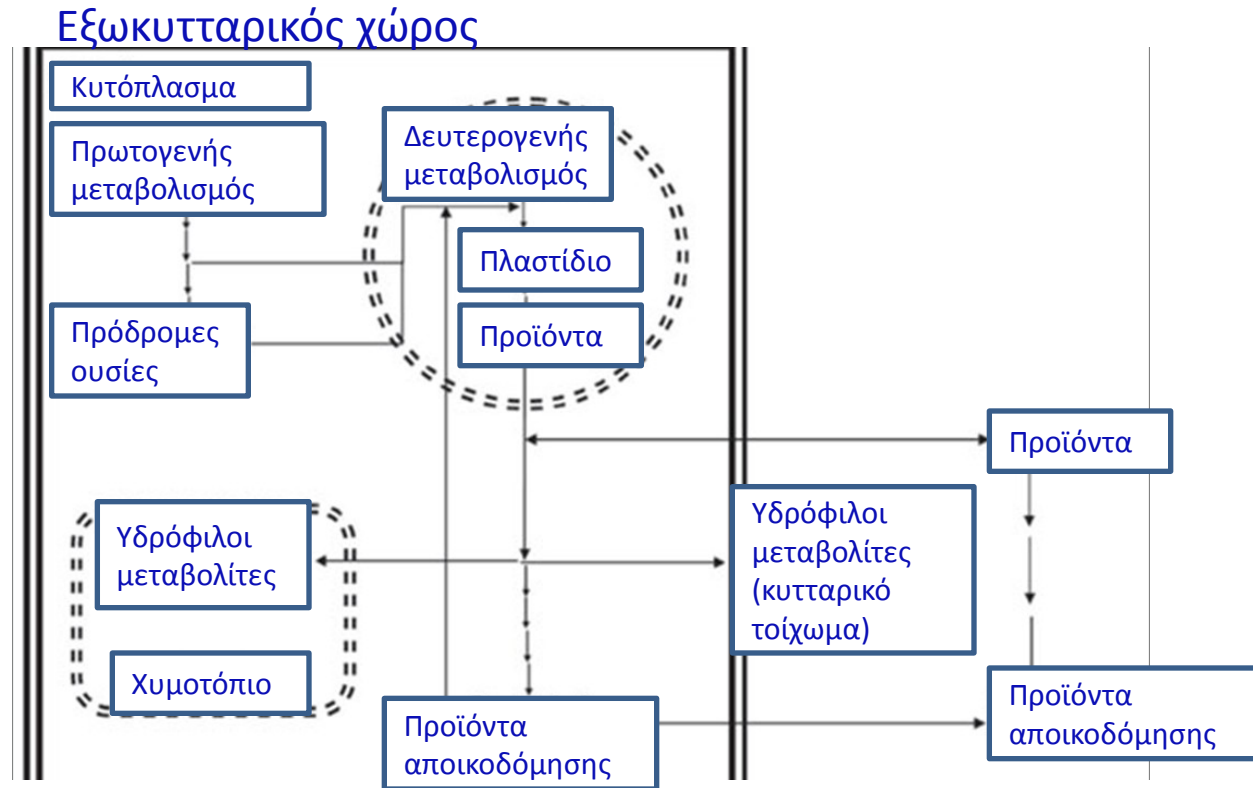


Συσώρευση και είδος ουσιών ποικίλουν στους διάφορους ιστούς του φυτού.

Πηγή: Weir et al., 2006



# Βιοσύνθεση-αποθήκευση δευτερογενών μεταβολιτών



Πηγή: Roberts, 2007



# Αποθήκευση δευτερογενών μεταβολιτών (1)

- **Υδρόφιλες ενώσεις:**
  - **Χυμοτόπιο** (αλκαλοειδή, ταννίνες, ανθοκυάνες, αμίνες, φλαβονοειδή, γλυκοσινολίδια, σαπωνίνες, κυανογενή, μη πρωτεϊνικά αμινοξέα).
  - **Γαλακτοφόροι σωλήνες** (αλκαλοειδή, κυανογενή, γλυκοζίτες).
  - **Αποπλάστης** (ταννίνες).





# Αποθήκευση δευτερογενών μεταβολιτών (2)

- **Λιπόφιλες ενώσεις:**
  - **Αδενικά** τριχώματα (μονοτερπένια, σεσκιτερπένια).
  - **Εφυμενίδα** (κηροί, λιπόφιλα φλαβονοειδή, τερπένια).
  - **Ρητινοφόροι** αγωγοί (τερπένια, λιπόφιλα, φλαβονοειδή).

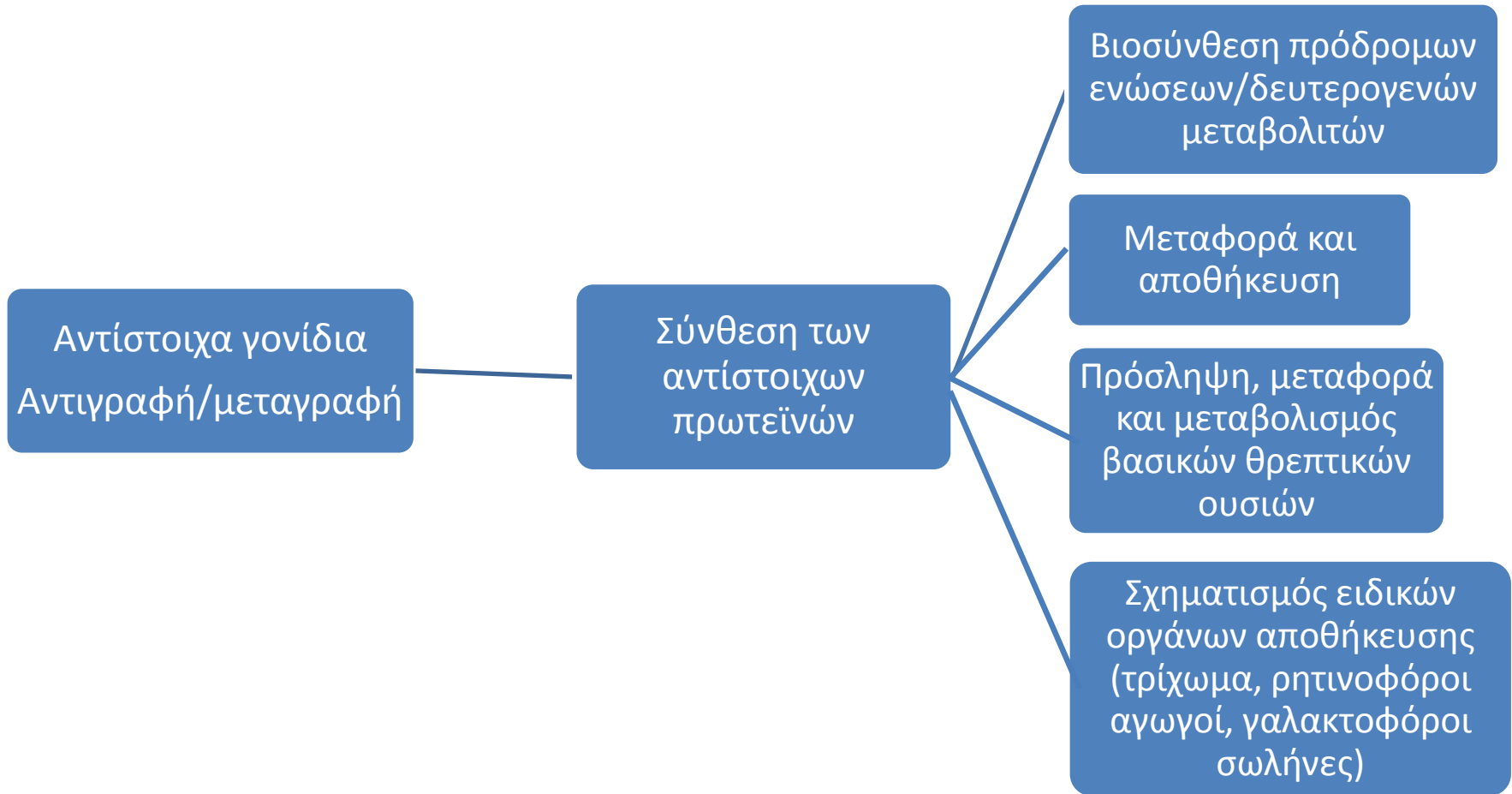


# Αποθήκευση δευτερογενών μεταβολιτών (3)

- **Γαλακτοφόροι** σωλήνες (πολυτερπένια, διτερπένια, κινόνες).
- **Ελαιοφόρα** κύτταρα (τερπένια, ανθρακινόνες).
- **Μεμβράνες** πλαστιδίων (τετρατερπένια, ουμπικινόνη).



# Κόστος (κατανάλωση ATP/NADPH<sub>2</sub>)



# Κόστος πρωτογενών μεταβολιτών

Πρωτογενείς μεταβολίτες	g γλυκόζης / g ουσίας
Υδρογονάνθρακες	1,07
Οργανικά οξέα	0,73
Λιπίδια	3,10
Νουκλεοτίδια	1,59
Αμινοξέα	2,09

Πηγή: Schnoonhoven et al. (1998)



# Κόστος δευτερογενών μεταβολιτών

Δευτερογενείς μεταβολίτες	g γλυκόζης / g ουσίας
Τερπένια	3,18
Φαινολικά συστατικά	2,11
Αλκαλοειδή	3,24
Άλλες αζωτούχες ενώσεις	2,27

Πηγή: Schnoonhoven et al. (1998)



# Οι δευτερογενείς μεταβολίτες είναι: (1)

- Άχρηστα προϊόντα του μεταβολισμού;
- Προϊόντα ενός μηχανισμού στη διαδικασία εξέλιξης για τη δημιουργία της απαραίτητης βιοχημικής καινοτομίας στη πορεία της εξέλιξης των ειδών;
- Τυχαία προϊόντα μεταβολισμού εφόσον το κόστος τους δεν ήταν απαγορευτικό για την εξέλιξη της συγκεκριμένης μεταβολικής οδού;



# Οι δευτερογενείς μεταβολίτες είναι: (2)

- Υπολείμματα χρήσιμων ενδιάμεσων προϊόντων μεταβολισμού προηγούμενου σταδίου ανάπτυξης;



...τίποτα από τα παραπάνω...



# Οι δευτερογενείς μεταβολίτες είναι: (3)

- Μέσο Χημικής Επικοινωνίας του Φυτού με το βιοτικό και αβιοτικό περιβάλλον,

με έντονη συμμετοχή των ουσιών αυτών στην Χημική Άμυνα έναντι των εχθρών του.





# Fraenkel, 1959 Science

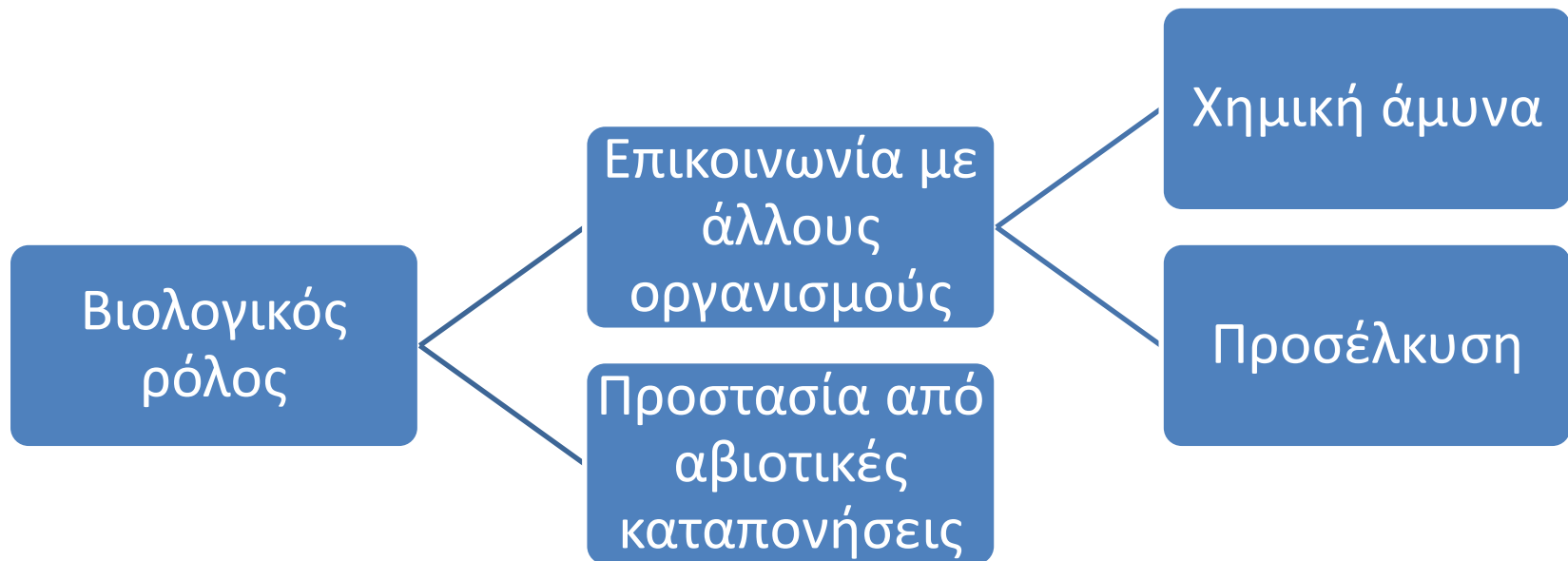
## “Raison d’Être of secondary Plant Substances”

Τα **ερωτήματα**, στα οποία γίνεται προσπάθεια να δοθούν απαντήσεις τα τελευταία πενήντα χρόνια αφορούν:

- Την **προέλευση** και τη **συντήρηση** αυτής της εκπληκτικής **ποικιλότητας** των δευτερογενών μεταβολιτών που χαρακτηρίζει το φυτικό κόσμο.
- Τη **συνθήκη** η οποία διαμορφώνει τη **διαφοροποίηση** στις **ποσότητες** δευτερογενών μεταβολιτών που προσδιορίζονται τόσο εντός όσο και ανάμεσα σε φυτά του ιδίου ή/και διαφορετικών ειδών.



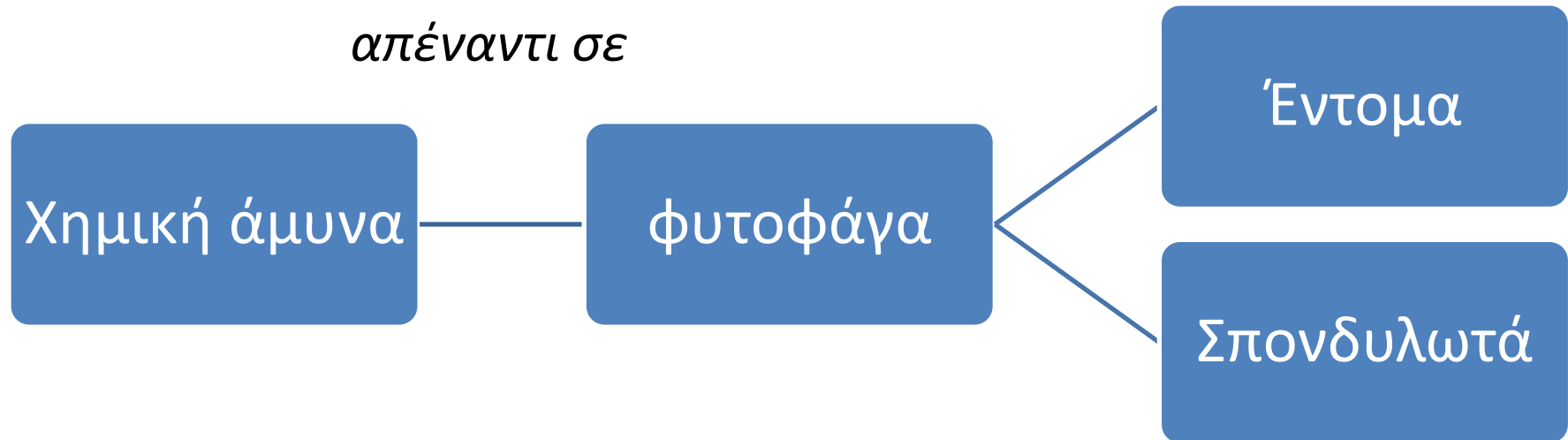
# Δευτερογενείς μεταβολίτες στα φυτά



Η σχετική έρευνα είναι σε εξέλιξη



# Χημική άμυνα (1)

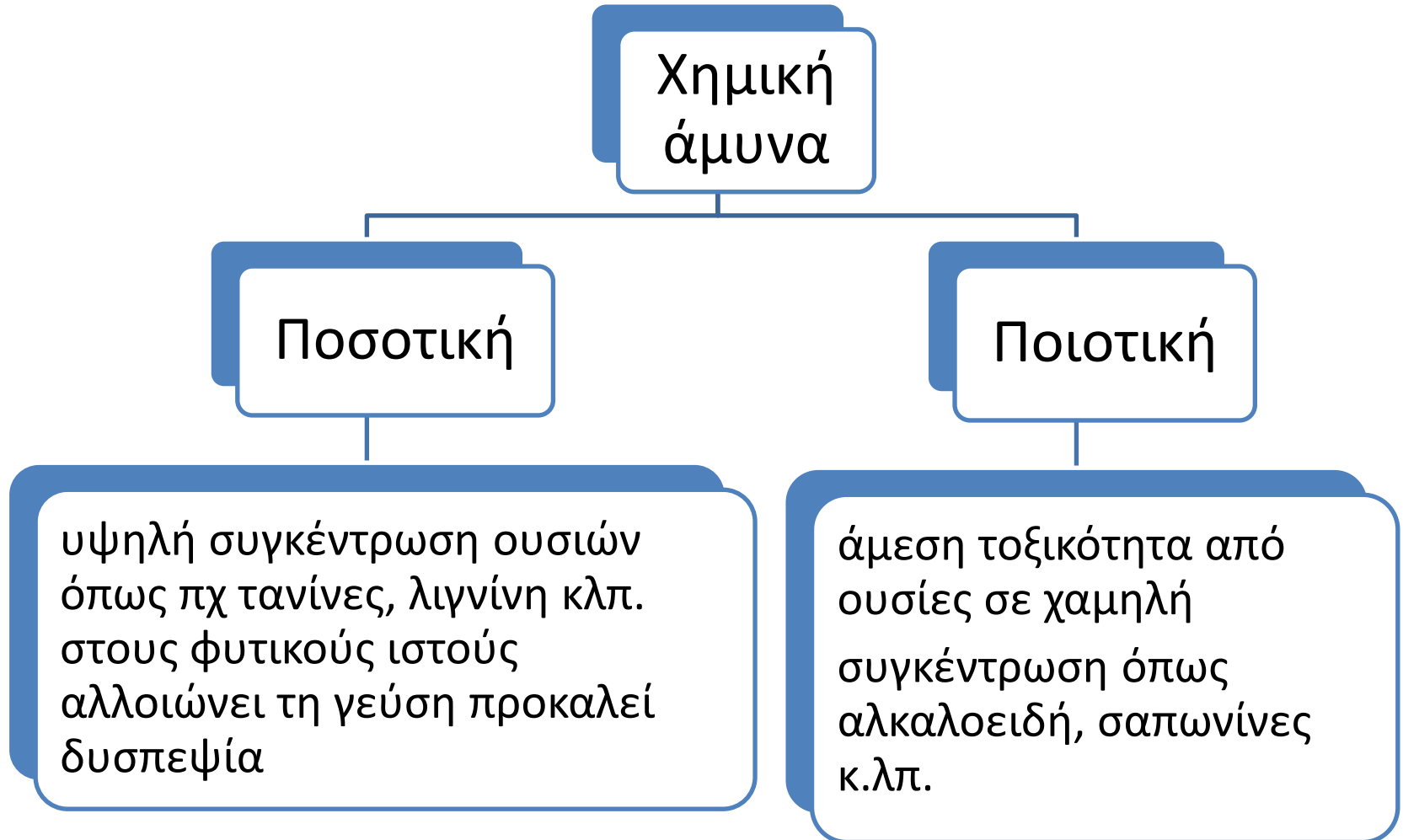


# Χημική άμυνα (2)

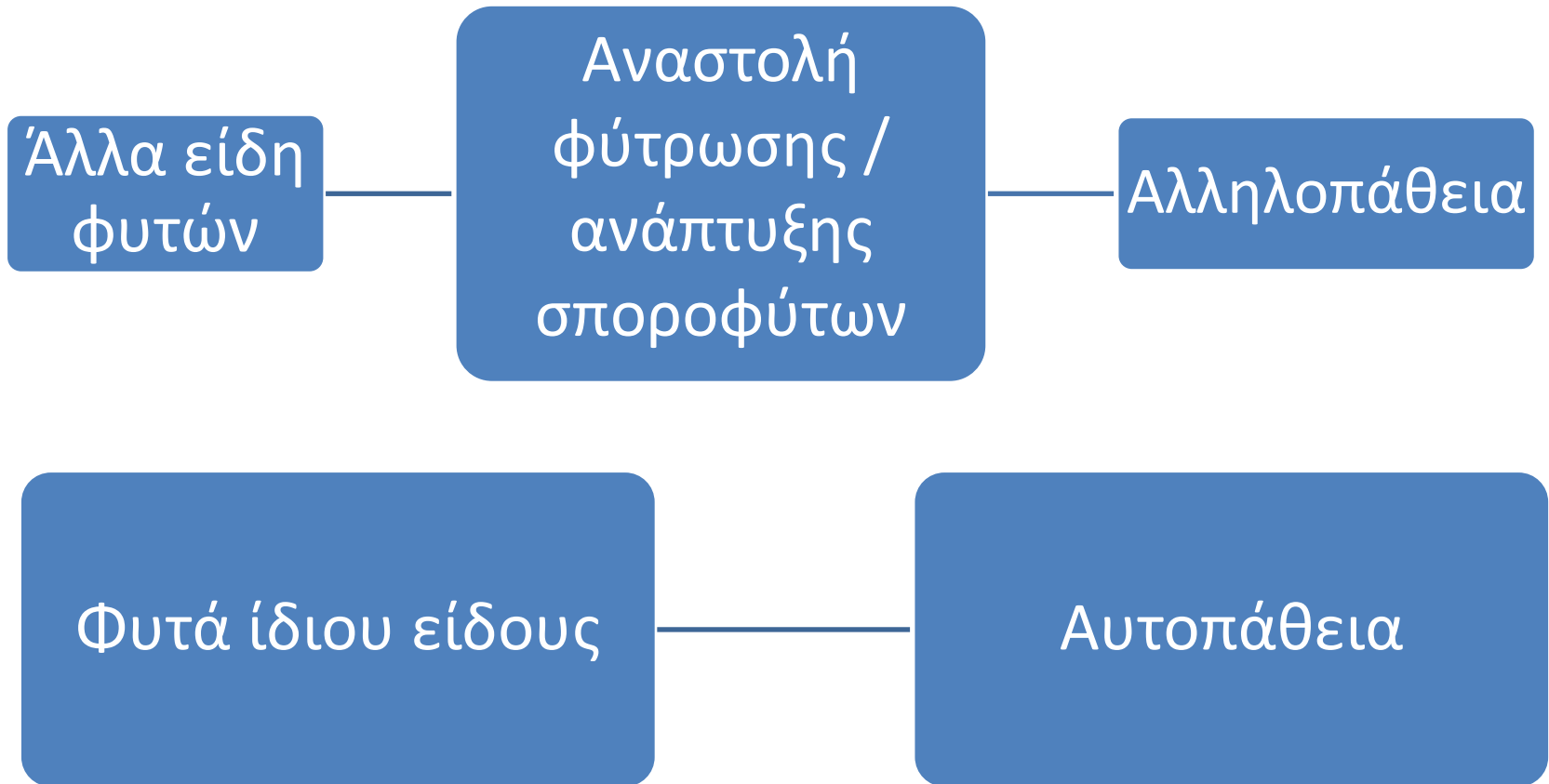
- **Ανάσχεση-Απώθηση:** πτητικά συστατικά συνήθως τερπενοειδή (repellents) αποτρέπουν τα φυτοφάγα πριν έρθουν σε επαφή με τους φυτικούς ιστούς.
- Προσέλκυση παρασίτων ή/και αρπακτικών των φυτοφάγων εντόμων.



# Χημική άμυνα (3)



# Χημική άμυνα (4)



# Χημική άμυνα (5)

Στους μικροοργανισμούς:

- Διάφοροι δευτερογενείς μεταβολίτες προκαλούν μόνο **αναστολή ανάπτυξης**, δηλαδή υπάρχει καθυστέρηση αύξησης του πληθυσμού.
- Άλλοι δευτερογενείς μεταβολίτες έχουν **άμεση τοξικότητα** και δεν επιτρέπουν την ανάπτυξη μικροβιακού πληθυσμού.



# Χημική άμυνα (6)

- Στις βιοδοκιμές δράσης γίνεται προσδιορισμός :
- \*της ελάχιστης συγκέντρωσης που προκαλεί αναστολή της ανάπτυξης του μικροοργανισμού (Minimum Inhibition Concentration, MIC).
- \*και της ελάχιστης συγκέντρωσης που έχει βιοκτόνο δράση (Minimum Bactericidal/Fugicidal Concentration, MBC/MFC).





# Προσέλκυση άλλων οργανισμών (1)

- Επικοινωνία με άλλα φυτά???
- Χημικό **σήμα συναγερμού** σε γειτονικά φυτά του ίδιου είδους όταν κάποιο έχει υποστεί βλάβη.
- Για παράδειγμα, έκλυση πτητικών ουσιών από φυτά που έχουν δεχτεί επίθεση από φυτοφάγο (φυτό-πομπός) μπορεί να προκαλέσει την ενεργοποίηση μηχανισμών άμυνας σε μη προσβεβλημένα φυτά (φυτό-δέκτης).



# Προέλκυση άλλων οργανισμών (2)

- *Ερωτήματα:*
- Γιατί το φυτό-πομπός να ειδοποιεί άλλα φυτά;
- Ποια φυτά αντιδρούν στο σήμα; Πως μπορούν να εμπιστευτούν ότι πρόκειται όντως για σήμα συναγερμού;
- Συγγενικά φυτά ευνοούνται περισσότερο από το σήμα συναγερμού;



# Προέλκυση ζωικών οργανισμών για εξυπηρέτηση αναγκών του φυτού (1)

- Η επικονίαση και διασπορά σπερμάτων:
  - Γίνεται μέσω:
    - των **χρωστικών** των **ανθέων** οι οποίες είναι είτε φλαβονοειδή (ανθοκυανίνες – ανθοκυανιδίνες) και ανήκουν στις φαινολικές ενώσεις ή καροτενοειδή και ανήκουν στα τερπένια,
- αλλά και
- των **οσμών** που προέρχονται από πτητικές ουσίες κυρίως μονοτερπένια.



# Προέλκυση ζωικών οργανισμών για εξυπηρέτηση αναγκών του φυτού (2)

- **Συμβιωτικών** βακτηρίων και **μυκορριζών** γίνεται με τη έκλυση από τις ρίζες φαινολικών και άλλων ουσιών που λειτουργούν ως σήμα για να αρχίσει η ανάπτυξη των μικροβιακών πληθυσμών και η εποίκιση.
- **Αρπακτικών** που τρέφονται από τα φυτοφάγα - εχθρούς των φυτών, τα οποία εκλύουν ουσίες συνήθως πτητικές για να προσελκύσουν ....τους εχθρούς των εχθρών τους.



# Προστασία από αβιοτικές καταπονήσεις (1)

- **Ακτινοβολία:**
- Με τη συσσώρευση φλαβονοειδών στα επιδερμικά κύτταρα των φυτικών ιστών, τα οποία απορροφούν ισχυρά στο μήκος κύματος UV-B ακτινοβολίας (280-320 nm) επιτρέποντας τη διέλευση ακτινοβολίας κυρίως ορατού φάσματος.



# Προστασία από αβιοτικές καταπονήσεις (2)

- **Οξειδωτικές συνθήκες:**  
Οι φαινολικές ενώσεις, οι πολυαμίνες και τα τερπενοειδή λειτουργούν ως εκκαθαριστές των ελευθέρων ριζών (ROS).
- Κατά τη διάρκεια της καταπόνησης έχει παρατηρηθεί προσωρινή αύξηση μεταγράφων, τα οποία κωδικοποιούν τη σύνθεση αμυντικών δευτερογενών μεταβολιτών π.χ. φυτοαλεξινών, μόρια οριοθέτησης κυττάρων π.χ. λιγνίνη, καλλόζη, PR πρωτεΐνες, ένζυμα ενεργοποίησης της οδού των φαινολικών π.χ. phenylalanine ammonia lyase (PAL).



# Προστασία από αβιοτικές καταπονήσεις (3)

- Ξηρασία:
- Σε περιορισμένης έκτασης έχουμε αύξηση παρουσίας δευτερογενών μεταβολιτών, τερπενίων, ταννινών κ.λπ. λόγω της μετατροπής των υδρογονανθράκων.
- Σε συνθήκες έντονης ξηρασίας έχουμε μείωση της συγκέντρωσής τους, γεγονός που τα καθιστά περισσότερο ευπρόσβλητα από εχθρούς και ασθένειες.



# Προστασία από αβιοτικές καταπονήσεις (4)

- **Αντιδιαπνευστική δράση:**
- Η σύνθεση αιθερίων ελαίων και η συσσώρευση τους στην επιφάνεια των φύλλων, ειδικά σε ξηρά περιβάλλοντα π.χ. μεσογειακά οικοσυστήματα έχει συνδεθεί με μείωση της φυλλικής διαπνοής.
- **Όξινα περιβάλλοντα:**
- Η συσσώρευση τανινών στις ρίζες σε εδάφη με όξινο pH έχει προστατευτική δράση.





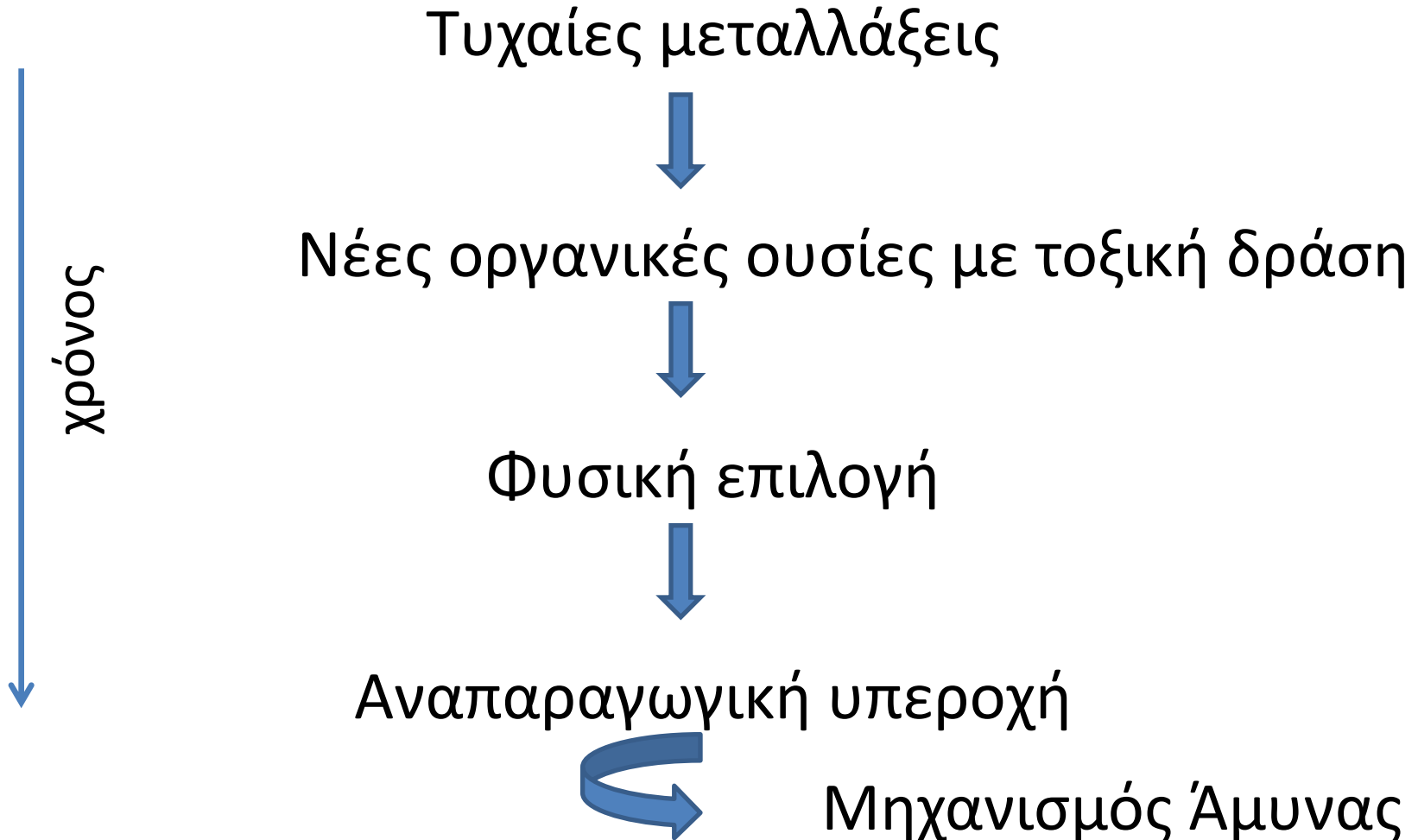
# Επιπλέον, οι μεταβολίτες

- Προσφέρουν μηχανική υποστήριξη:
  - Λιγνίνη, τανίνες.
- Αποτελούν ουσίες προσωρινής αποθήκευσης θρεπτικών στοιχείων.
  - Αλκαλοειδή.
  - Κυανογενή γλυκοσίδια.
- Έχουν ρυθμιστική δράση σε φυτορμόνες.
  - Φλαβονοειδή.

...Η έρευνα για τη βιολογική δράση είναι σε εξέλιξη...



# Εξέλιξη του δευτερογενούς μεταβολισμού στα φυτά



# Όμως...

Φυτοφάγα ζώα/έντομα → ανάπτυξη μηχανισμών ανθεκτικότητας ή/και αποτοξίνωσης της τοξικής ουσίας.

Το μοντέλο οδηγεί σε μια μεγάλη αύξηση του αριθμού δευτερογενών μεταβολιτών στο ίδιο ή σε διαφορετικά είδη φυτών και σε μια αντίστοιχη αύξηση της ποικιλότητας των ειδών φυτοφάγων οργανισμών, ειδικά εντόμων.

Κάποιες φορές δημιουργείται εξειδικευμένη σχέση μεταξύ φυτού ξενιστή – φυτοφάγου ζώου/εντόμου το οποίο έχει πλεονεκτήματα: όχι ανταγωνιστές για τον θηρευτή, όχι πολλούς εχθρούς για το θήραμα.



# Πορεία συν-εξέλιξης των ειδών

- Πρώτοι διδάξαντες:
- Erlich PR and Raven PH 1964 Butterflies and plants: a study in coevolution. Evolution 18: 586-608.
- >3.300 Παραπομπές σε άλλες εργασίες!



# Ehrlich, 1984 (1)

- “Our work began over a coffee table when I remarked to Peter Raven that it seems strange that the *Euphydryas* butterflies that were the subject of my ecological research fed on plants of the families Plantaginaceae and Scrophulariaceae. Peter thought that combination not strange at all, and we began to have daily discussion in which I would describe patterns of food-plant use in butterflies, and he would see what sort of botanical ‘sense’ they made ...
- ...From that point on, it was a matter of brainstorming between two close colleagues...



# Ehrlich, 1984 (2)

- ...Zoologists tended to view plants as part of the physical environment...
- ...it (the paper) provided for the first time a detailed discussion of the evolutionary relationships between two large, ecologically intimate groups of organisms. While various of the ideas can be found as far back as the writings of Darwin....
- ...our work was done entirely around the coffee table and in the library- neither of us looked at an organism, living or dead.....**Our advise to young scientists**, should they wish to publish a high cited paper, apparently ought to ‘study books and not nature’”



# Μια περίπτωση συν-εξέλιξης (1)

- Ένα φυτό που απέφυγε τον εχθρό του για περισσότερα από 250 χρόνια....



Το φυτό  
*Pastinaca sativa* παράγει  
τοξικές ουσίες  
που μπορεί να  
προκαλέσουν  
δερματικές  
βλάβες

*Depressaria partinacella*



# Μια περίπτωση συν-εξέλιξης (2)

- Το φυτό *Partinaca sativa* ήρθε στην Αμερική με τους Ευρωπαίους αποίκους και καλλιεργήθηκε ευρέως γύρω στο 1609.
- Οι άποικοι όμως δε μετέφεραν και τη κάμπια (*Depressaria partinacella*) που αποτελεί τον κύριο εχθρό του φυτού τουλάχιστον μέχρι το 1869, όταν η παρουσία του εντόμου καταγράφηκε για πρώτη φορά στο Οντάριο του Καναδά.





# Μια περίπτωση συν-εξέλιξης (3)

- Το φυτό επιβίωσε για περίπου 250 χρόνια χωρίς τον εχθρό του. Μετά το 1909 όμως άρχισαν να καταγράφονται πολλές προσβολές στα καλλιεργούμενα φυτά.



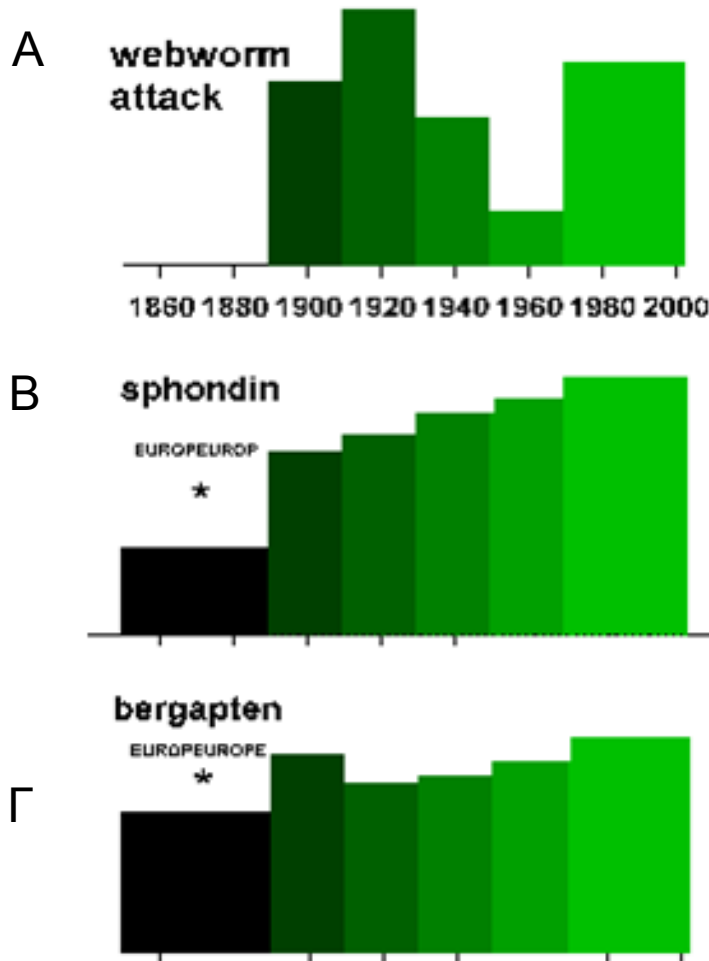
Προσβολές στο φυτό *Partinaca sativa* από το έντομο *Depressaria partinacella*

Πηγή:

<http://www.life.illinois.edu/berenbaum/>



# Μια περίπτωση συν-εξέλιξης (4)



- Δείγματα φυτών που συλλέχθηκαν την περίοδο 1889 - 1909 δε δείχνουν προσβολή από κάμπια. Τα επόμενα χρόνια οι προσβολές αυξάνονται (σχήμα A). Αντίστοιχα αυξάνεται και η συγκέντρωση δύο φουρανοκουμαρινών, στους ιστούς των φυτών που ελέγχθηκαν (σχήμα B, Γ), η παρουσία των οποίων συνδέεται με την χημική άμυνα του φυτού.



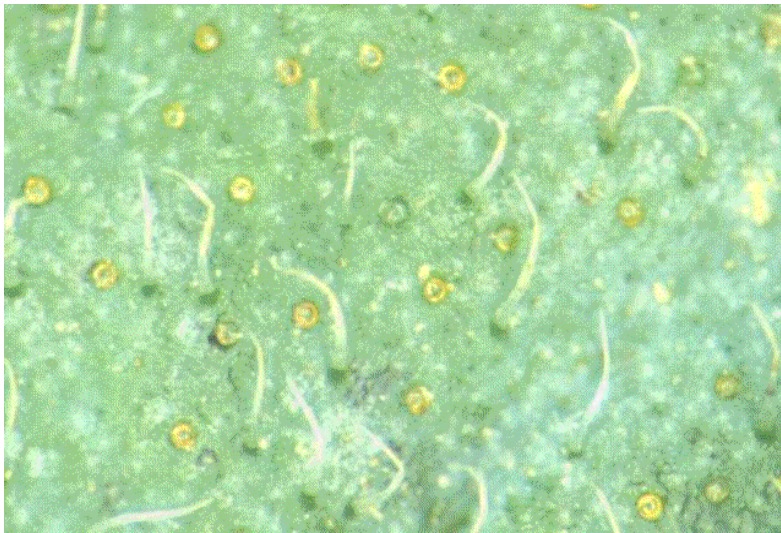
# Μια περίπτωση συν-εξέλιξης (5)

- Η συγκέντρωση των φουρανοκουμαρινών ήταν σταθερά χαμηλή όσο το φυτό δεν δέχονταν προσβολή από την κάμπια, αλλά άρχισε να αυξάνεται σταθερά μετά την εισβολή του εντόμου.
- Η απουσία της κάμπιας για τόσο μεγάλη χρονική περίοδο μείωσε τη μεταβολική δραστηριότητα για σύνθεση φουρανοκουμαρινών. Η επανεμφάνισή της, προκάλεσε εκ νέου την ανάπτυξη χημικής άμυνας με φουρανοκουμαρίνες από το φυτό.

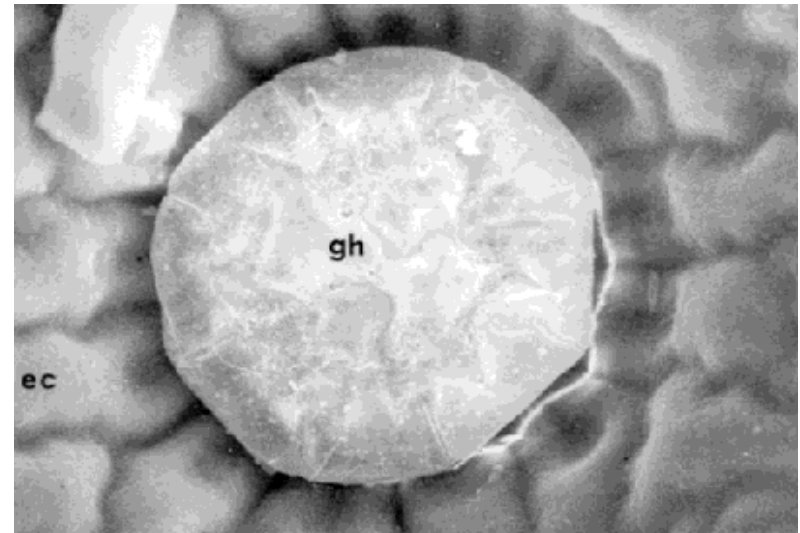


# Τοξική δράση στο φυτό- παραγωγό;

- Παρασκευή και αποθήκευση σε ειδικά απομονωμένα οργανίδια.
- Για παράδειγμα, αδενικά τριχίδια.



Πηγή: Φωτογραφικό αρχείο  
Α. Καραμανώλη



Πηγή: Φωτογραφικό αρχείο  
Α. Καραμανώλη



# Αποθήκευση δευτερογενών μεταβολιτών

- Αποθήκευση δευτερογενών μεταβολιτών σε ανενεργή μορφή και σύνθεση του τοξικού μορίου τη στιγμή της χρησιμοποίησής τους.
1. Διαμερισματοποίηση ανενεργού μεταβολίτη/ενζύμου.
  2. Διάρρηξη φυτικού ιστού από εισβολέα.
  3. Σύνδεση μεταβολίτη-ενζύμου.
  4. Μετατροπή μεταβολίτη σε ενεργή μορφή.



# Άλλες τεχνικές αποφυγής αυτοτοξικότητας (1)

- Ύπαρξη εφεδρικού συστήματος αποτοξίνωσης για τις περιπτώσεις όπου η τοξική ένωση έρχεται σε επαφή με ευαίσθητο ιστό.
- Φυτά που παράγουν συγκεκριμένα τοξικά προϊόντα μπορεί να είναι λιγότερο ευαίσθητα στην τοξική τους δράση από άλλα φυτά που δεν παράγουν.



# Άλλες τεχνικές αποφυγής αυτοτοξικότητας (2)

- Συμπερασματικά:
- Μια μικρής έκτασης τοξικότητα ή μακροπρόθεσμες επιπτώσεις π.χ. μείωση του χρόνου ζωής στο καφεόδενδρο από την παρουσία της καφεΐνης... μπορεί να υπερκαλύπτεται από το πλεονέκτημα της άμυνας που προσφέρει...



# Η ανθρώπινη διάσταση (1)

- Η χρησιμοποίηση των δευτερογενών μεταβολιτών/φυσικών προϊόντων συμβαδίζει με την ανθρώπινη επιβίωση στον πλανήτη.
- Οι πρώτες γραπτές αναφορές:
  1. 7ος αιώνας π.Χ.            Ασσύριοι.
  2. 2800 π.Χ.                    Κινέζοι.
  3. 1500 π.Χ.                    Αιγύπτιοι.
  4. 500 - 60 π.Χ.                Έλληνες (Ιπποκράτης, Θεόφραστος, Διοσκουρίδης, κ.ά.).





# Η ανθρώπινη διάσταση (2)

- Εισαγωγή της χημικής βιομηχανίας και η παραγωγή νέων προϊόντων τον 19ο αιώνα.
- Η εταιρεία Bayer εισάγει την:
- Ακετυλίωση της μορφίνης και την παραγωγή νέου προϊόντος που διαφημίστηκε ως μη εθιστικό. Το όνομα αυτού:

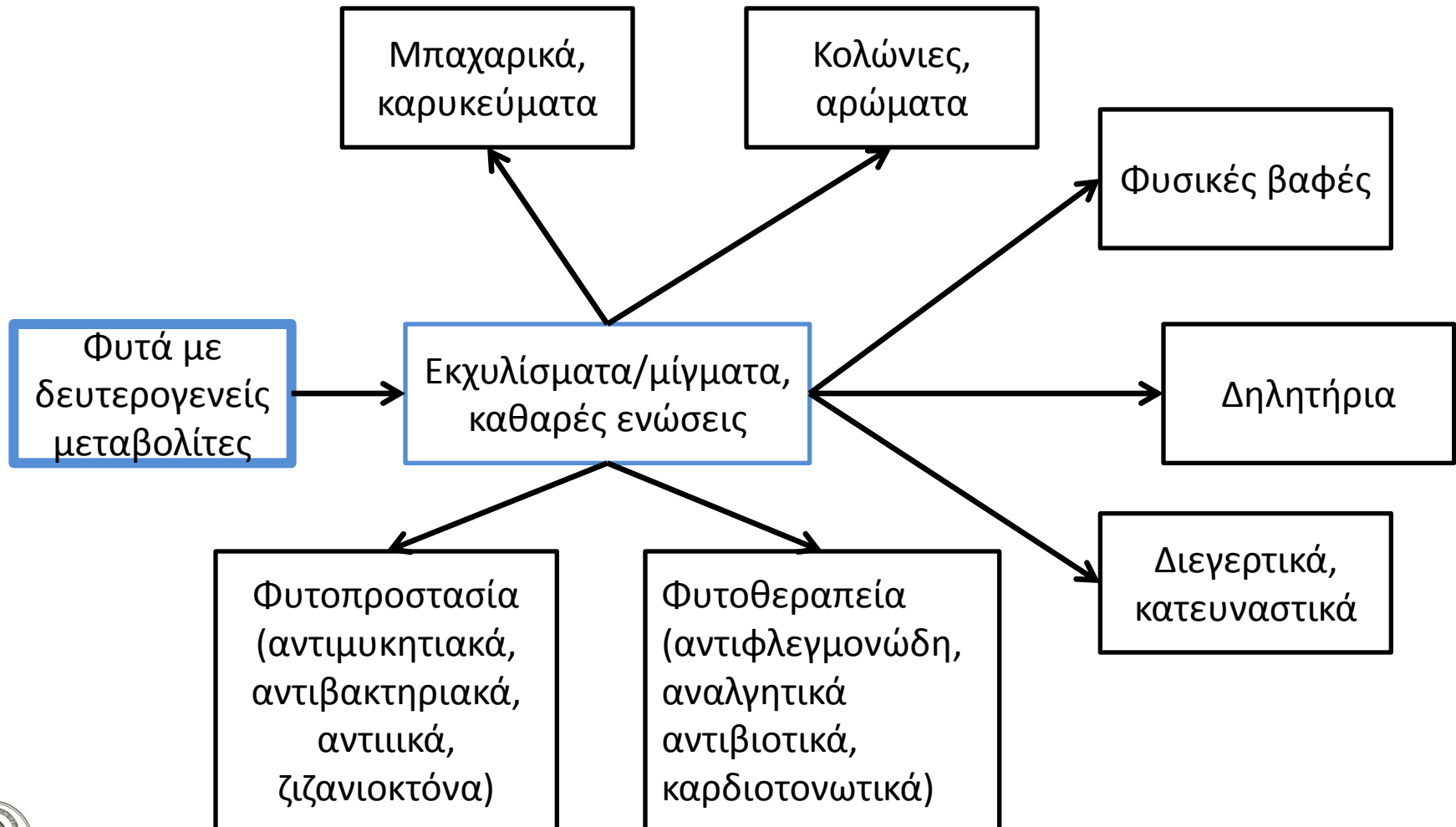
Ηρωίνη!!!

- Ακολούθησε η ακετυλίωση του σαλικιλικού οξέος και η παραγωγή νέου προϊόντος. Το όνομα αυτού:

Ασπιρίνη!



# Σημερινή χρήση δευτερογενών μεταβολιτών



Δευτερογενείς μεταβολίτες: Βιοσυνθετικές οδοί και βιολογικός ρόλος

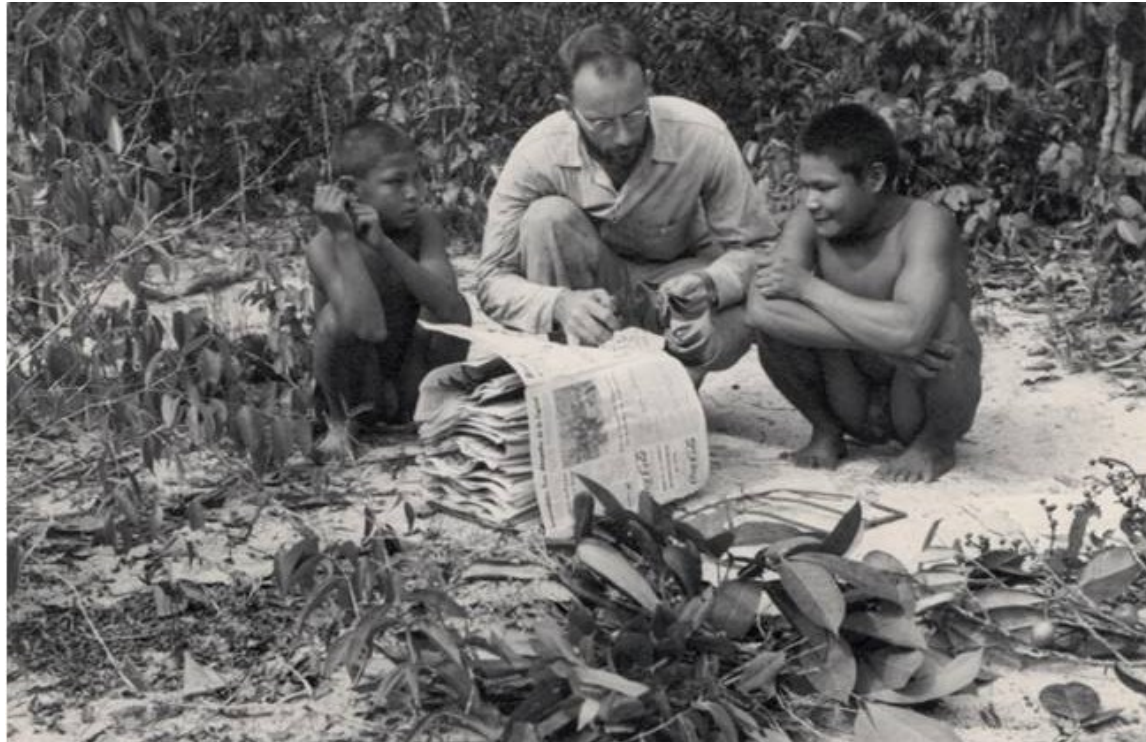


# Εθνοβοτανική

- Είναι η επιστήμη που ανακαλύπτει «καινούρια» φυτά και τις παραδοσιακές τους χρήσεις, δηλαδή πως οι άνθρωποι από διαφορετικά μέρη ή/και διαφορετικούς πολιτισμούς χρησιμοποιούν τα τοπικά/γηγενή φυτά.
- 61% από 877 φάρμακα που κυκλοφορούν παγκοσμίως προέρχονται από φυσικά προϊόντα.
- 11% από τα 252 φάρμακα τα οποία θεωρούνται βασικά για την ανθρώπινη υγεία από WHO προέρχονται αποκλειστικά από φυτά.



# Richard Evans Schultes, ο πατέρας της Εθνοβοτανικής



Ιούνιος 1953, R E Schultes και ιθαγενείς της φυλής Maku,  
Κολομβία – Αμαζόνιος

Πηγή:

<http://botlib.huh.harvard.edu/libraries/Nash/schultes.htm>



# Εν τέλει:

- Στο επιστημονικό πεδίο του δευτερογενούς μεταβολισμού των φυτών περιπλέκονται μοναδικά οι επιστήμες της βιολογίας φυττού της εξέλιξης και της οικολογίας με την οργανική χημεία με τις ανθρώπινες ανάγκες.



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/5)

- Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:
- Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες
- Εικόνα 1: Συμμετοχή των δευτερογενών μεταβολιτών στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ φυτού και περιβάλλοντος. Dudareva et al., 2006
- Εικόνα 2: Βιοσύνθεση δευτερογενών μεταβολιτών. Jørgensen et al, 2005
- Εικόνα 3: Συσσώρευση και είδος ουσιών ποικίλουν στους διάφορους ιστούς του φυτού. Weir et al., 2006.
- Εικόνα 4: *Partinaca sativa*.  
<http://www.life.illinois.edu/ib/453/453lec9herbivory.pdf>
- Εικόνα 5: *Depressaria partinacella*.  
<http://www.life.illinois.edu/ib/453/453lec9herbivory.pdf>
- Εικόνα 6: Προσβολές στο φυτό *Partinaca sativa* από το έντομο *Depressaria partinacella*. <http://www.life.illinois.edu/berenbaum>



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/5)

- Εικόνα 7: Συμμετοχή των δευτερογενών μεταβολιτών στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ φυτού και περιβάλλοντος. Dudareva et al., 2006
- Εικόνα 8: Μια περίπτωση συν-εξέλιξης.  
<http://www.life.illinois.edu/berenbaum/herbariu.htm>
- Εικόνα 9-10: Αδενικά τριχίδια. Φωτογραφικό αρχείο Α. Καραμανώλη.
- Εικόνα 11: Ιούνιος 1953, R E Schultes και ιθαγενείς της φυλής Maku, Κολομβία – Αμαζόνιος  
<http://botlib.huh.harvard.edu/libraries/Nash/schultes.htm>



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (3/5)

- Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:
- Σχήματα
- Σχήμα 1: Σύνθεση δευτερογενών μεταβολιτών. Α. Καραμανώλη.
- Σχήμα 2: Βιοσύνθεση-αποθήκευση δευτερογενών μεταβολιτών. Roberts, 2007.
- Σχήμα 3: Κόστος (κατανάλωση ATP/NADPH<sub>2</sub>). Α. Καραμανώλη.
- Σχήμα 4: Δευτερογενείς μεταβολίτες στα φυτά. Α. Καραμανώλη.
- Σχήμα 5: Χημική άμυνα. Α. Καραμανώλη.





# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (4/5)

- Σχήμα 6: Ποσοτική και ποιοτική χημική άμυνα. Α. Καραμανώλη.
- Σχήμα 7: Χημική άμυνα. Α. Καραμανώλη.
- Σχήμα 8: Σημερινή χρήση δευτερογενών μεταβολιτών. Α. Καραμανώλη.



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (5/5)

- Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:
- Πίνακες
- Πίνακας 1: Κόστος πρωτογενών μεταβολιτών. Schnooshoven et al. (1998).
- Πίνακας 2: Κόστος δευτερογενών μεταβολιτών. Schnooshoven et al. (1998).



# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Αικατερίνη Καραμανώλη. «Δευτερογενείς μεταβολίτες: βιοσυνθετικές οδοί και βιολογικός ρόλος. Δευτερογενείς μεταβολίτες των φυτών - Εισαγωγή». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://opencourses.auth.gr/courses/OCRS510/>



# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Παρόμοια Διανομή [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

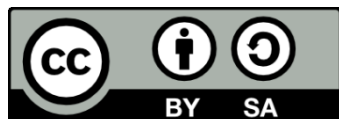
[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>





# Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Χρυσάνθη Χαρατσάρη  
Θεσσαλονίκη, Χειμερινό εξάμηνο 2014-15



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

---

# Σημειώματα

# Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

