



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

AGRICULTURAL UNIVERSITY OF ATHENS

Φυσιολογία Καταπονήσεων των Φυτών

Ενότητα 12:

Το Χημικό Οπλοστάσιο των Φυτών
Έναντι Βιοτικών Παραγόντων
Καταπόνησης (2/2), 2ΔΩ

Τμήμα: Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής

Διδάσκοντες: Γεώργιος Καραμπουρνιώτης

Γεώργιος Λιακόπουλος



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης





Μαθησιακοί Στόχοι

- Ποια είναι η σχέση μεταξύ σύνθεσης δευτερογενών μεταβολιτών και αντιμετώπισης των βιοτικών παραγόντων καταπόνησης από τα φυτά.
- Ποια είναι τα αμυντικά πρότυπα των φυτών και ποιες οικολογικές σχέσεις σχετίζονται με αυτά.
- Ποιες είναι οι τρεις μεγάλες ομάδες δευτερογενών μεταβολιτών.



Λέξεις Κλειδιά 1/3

- δευτερογενείς μεταβολίτες,
- πρωτογενής μεταβολισμός,
- δευτερογενής μεταβολισμός,
- κριτήρια διάκρισης μεταξύ πρωτογενών και δευτερογενών μεταβολιτών,
- φυτοχημικά πρότυπα,
- υπόθεση της βέλτιστης άμυνας,
- υπόθεση της διαθεσιμότητας των πόρων,
- υπόθεση της ισορροπίας άνθρακα-θρεπτικών στοιχείων,



Λέξεις Κλειδιά 2/3

- υπόθεση της ισορροπίας ανάπτυξης-διαφοροποίησης,
- μοντέλο ανταγωνισμού για την παραγωγή πρωτεϊνών-φαινολικών ενώσεων,
- φαινολικές ενώσεις,
- τερπένια,
- αζωτούχοι δευτερογενείς μεταβολίτες,
- αμμώνιο-λυάση της φαινυλαλανίνης,
- βιοσυνθετική οδός του σικιμικού οξέος,
- βιοσυνθετική οδός του μεβαλονικού οξέος,

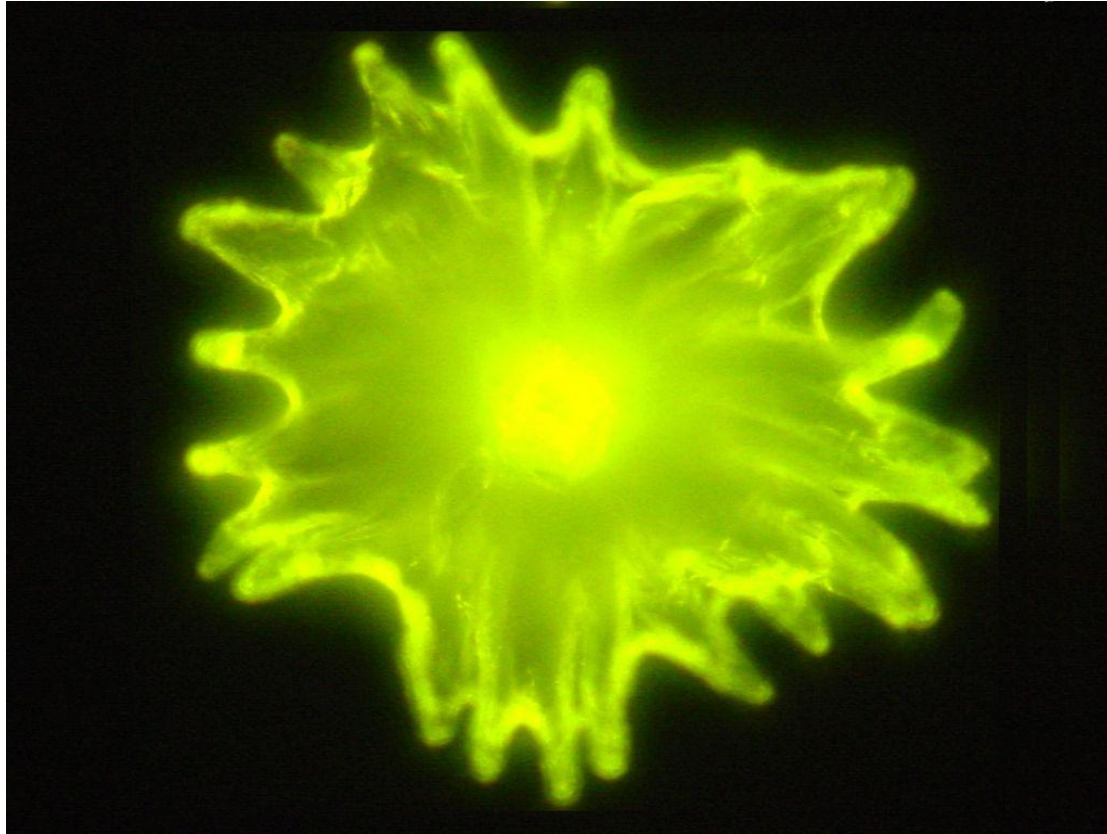


Λέξεις Κλειδιά 3/3

- βιοσυνθετική οδός μαλονικού οξέος,
- βιοσυνθετική οδός της 2-μεθυλο-4-φωσφορο-ερυθρυτόλης,
- υμενίνη,
- φελλίνη,
- κηροί,
- επιεφυμενιδικά συστατικά



Φυσιολογία Καταπονήσεων των Φυτών



**ΤΟ ΧΗΜΙΚΟ ΟΠΛΟΣΤΑΣΙΟ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΕΝΑΝΤΙ
ΒΙΟΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗΣ.**



Η Σύνθεση των Δευτερογενών Μεταβολιτών 1/3

- Η σύνθεση των δευτερογενών μεταβολιτών έχει άμεση σχέση με την αντιμετώπιση των βιοτικών παραγόντων καταπόνησης.
- Πρωτογενής μεταβολισμός: Η μεταβολική δραστηριότητα που έχει ως αποτέλεσμα τη σύνθεση των απαραίτητων συστατικών τα οποία συγκροτούν τη θεμελιώδη δομή των φυτικών κυττάρων (π.χ. αναπνοή, σύνθεση πρωτεϊνών κ.ά.).



Η Σύνθεση των Δευτερογενών Μεταβολιτών 2/3

- Οι βιοχημικοί μηχανισμοί οι οποίοι συνιστούν τον πρωτογενή μεταβολισμό και τα απαραίτητα συστατικά τα οποία παράγονται δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις σε επίπεδο κυττάρων, ιστών, οργάνων ή ακόμη και οργανισμών.



Η Σύνθεση των Δευτερογενών Μεταβολιτών 3/3

- Δευτερογενής μεταβολισμός: Η μεταβολική δραστηριότητα που έχει ως αποτέλεσμα τη σύνθεση μεταβολικών προϊόντων τα οποία παράγονται μόνο σε επιμέρους ιστούς ή όργανα ή/και σε συγκεκριμένα στάδια ανάπτυξης.



Κυριότερα Χαρακτηριστικά της Ομάδας των Δευτερογενών Μεταβολιτών 1/2

- Ο συνολικός αριθμός τους υπερβαίνει κατά πολύ εκείνο των πρωτογενών μεταβολιτών.
- Οι μεταβολίτες αυτοί προέρχονται από ενδιάμεσες ενώσεις του πρωτογενούς μεταβολισμού (π.χ. ακετυλοσυνένζυμο-Α, ορισμένα αμινοξέα, κ.ά.).



Κυριότερα Χαρακτηριστικά της Ομάδας των Δευτερογενών Μεταβολιτών 2/2

- Η σύνθεση και συσσώρευσή τους αποτελεί μια συντονισμένη και ολοκληρωμένη δραστηριότητα των φυτικών κυττάρων που συνδέεται στενά με την ικανότητα διαφοροποίησης.
- Πολυάριθμα παρακλάδια του δευτερογενούς μεταβολισμού λειτουργούν αποκλειστικά ή ενισχύονται μόνο σε ορισμένες οικογένειες φυτών.



Η Σημασία των Δευτερογενών Μεταβολιτών 1/2

- Στο παρελθόν είχε διαμορφωθεί η λανθασμένη αντίληψη ότι οι δευτερογενείς μεταβολίτες αντιπροσώπευαν απόβλητα ή παραπροϊόντα του πρωτογενούς μεταβολισμού. Σήμερα έχει πλέον επιβεβαιωθεί ότι η **παραγωγή των δευτερογενών μεταβολιτών συνδέεται στενά με την ύπαρξη και λειτουργία θεμελιωδών αμυντικών μηχανισμών**, αναγκαίων για την επιβίωση των φυτικών ειδών. Συνδέεται επίσης με πλειάδα οικολογικών ρόλων, όπως η εγκαθίδρυση συμβιωτικών σχέσεων, η επικοινωνία, ο ανταγωνισμός με άλλα είδη κ.ά.

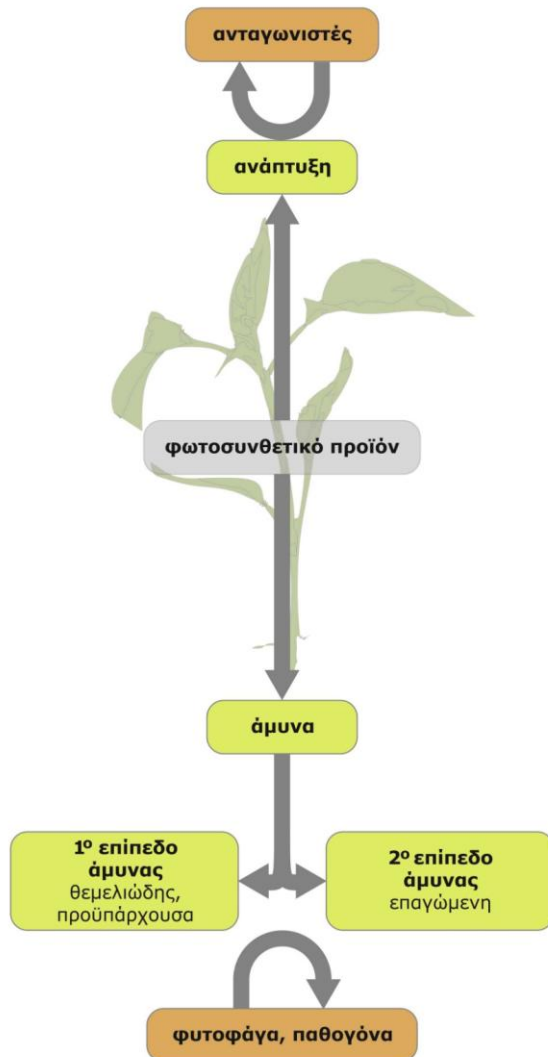


Η Σημασία των Δευτερογενών Μεταβολιτών 1/2

- Η παραγωγή των δευτερογενών μεταβολιτών αποτελεί μια συντονισμένη και ολοκληρωμένη δραστηριότητα των φυτικών οργανισμών η οποία συνδέεται στενά με την ικανότητα διαφοροποίησης, δηλ. τον μηχανισμό δημιουργίας εξειδικευμένων κυττάρων. **Η ικανότητα επομένως κάθε φυτού να παράγει τους μεταβολίτες αυτούς, ακολουθεί ένα ιδιαίτερο πρότυπο στο χώρο και στο χρόνο.**



Αμυντικά Πρότυπα Φυτών



- Μια πληθώρα οικολογικών υποθέσεων έχει διατυπωθεί σχετικά με τα αμυντικά πρότυπα των φυτών.



Κατάταξη Δευτερογενών Μεταβολιτών 1/2

- Με βάση τη βιοσυνθετική οδό μέσω της οποίας παράγονται και τα χαρακτηριστικά του μορίου, οι δευτερογενείς μεταβολίτες κατατάσσονται συνήθως σε τρεις μεγάλες ομάδες.
- Η ομάδα των **φαινολικών ουσιών** περιλαμβάνει μεταβολίτες οι οποίοι χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη ενός τουλάχιστον αρωματικού δακτυλίου στο μόριό τους και συντίθενται κυρίως μέσω των βιοσυνθετικών οδών του σικιμικού ή/και του μηλονικού οξέος.



Κατάταξη Δευτερογενών Μεταβολιτών 2/2

- Τα **τερπένια** παράγονται μέσω της βιοσυνθετικής οδού του μεβαλονικού και πρόδρομο μόριο το ακέτυλο-συνένζυμο Α.
- Η ομάδα των **αζωτούχων δευτερογενών μεταβολιτών** περιλαμβάνει ενώσεις οι οποίες προέρχονται κυρίως από αμινοξέα.
- Οι **κηροί, η κουτίνη και η σουβερίνη**, παρόλο που παραδοσιακά δεν θεωρούνται ως ενεργοί δευτερογενείς μεταβολίτες, θα αναφερθούν εν συντομία επειδή αποτελούν μια ενδιαφέρουσα ομάδα αμυντικών μορίων.



Φαινολικές Ενώσεις

- Πρόκειται για οργανικές ενώσεις των οποίων το μόριο περιλαμβάνει έναν τουλάχιστον αρωματικό δακτύλιο (C6) ο οποίος φέρει ένα ή περισσότερα υδροξύλια. Μέσω αντιδράσεων συμπύκνωσης, προσθήκης ή πολυμερισμού του βασικού αρωματικού δακτυλίου, προκύπτει ένας μεγάλος αριθμός παραγώγων.



Οι Κυριότερες Υποομάδες των Φαινολικών Ουσιών 1/2

Άτομα C	Τύπος σκελετού	Κατηγορία ενώσεων	Χαρακτηριστικοί εκπρόσωποι
6	C ₆	απλές φαινόλες	υδροκινόνη, κατεχόλη
7	C ₆ -C ₁	παράγωγα υδρόξυβενζοϊκού	4-υδρόξυβενζοϊκό
8	C ₆ -C ₂	ακετοφαινόλες παράγωγα οξικού φαινυλίου	4-υδρόξυακετοφαινόνη 4-υδροξυφαινυλοξικό
9	C ₆ -C ₃	παράγωγα υδρόξυκινναμικού φαινυλοπρωτανίου κουμαρίνες	καφεϊκό ευγενόλη εσκουλετίνη
10	C ₆ -C ₄	ναφθοκινόνες	γιουγκλόνη
13	C ₆ -C ₁ -C ₆	ξανθόνες	μαντζιφερίνη
14	C ₆ -C ₂ -C ₆	στιλβένια, ανθρακινόνες	ρεσβερατρόλη, εμοντίνη



Οι Κυριότερες Υποομάδες των Φαινολικών Ουσιών 2/2

Άτομα C	Τύπος σκελετού	Κατηγορία ενώσεων	Χαρακτηριστικοί εκπρόσωποι
15	$C_6-C_3-C_6$	φλαβονοειδή	κερκετίνη
18	$(C_6-C_3)_2$	λιγνάνες	πινορεσινόλη
30	$(C_6-C_3-C_6)_2$	διφλαβονοειδή	αμεντοφλαβόνη
n	$(C_6)_n$	μελανίνες της κατεχόλης	πολυμερή του ναφθαλενίου
n	$(C_6-C_1)_n:Glc$	υδρολύμενες ταννίνες	γαλλοταννίνες
n	$(C_6-C_3)_n$	λιγνίνες	πολυμερή της γουαϊακόλης και της συρινγκόλης
n	$(C_6-C_3-C_6)_n$	συμπυκνωμένες ταννίνες	πολυμερή της κατεχίνης

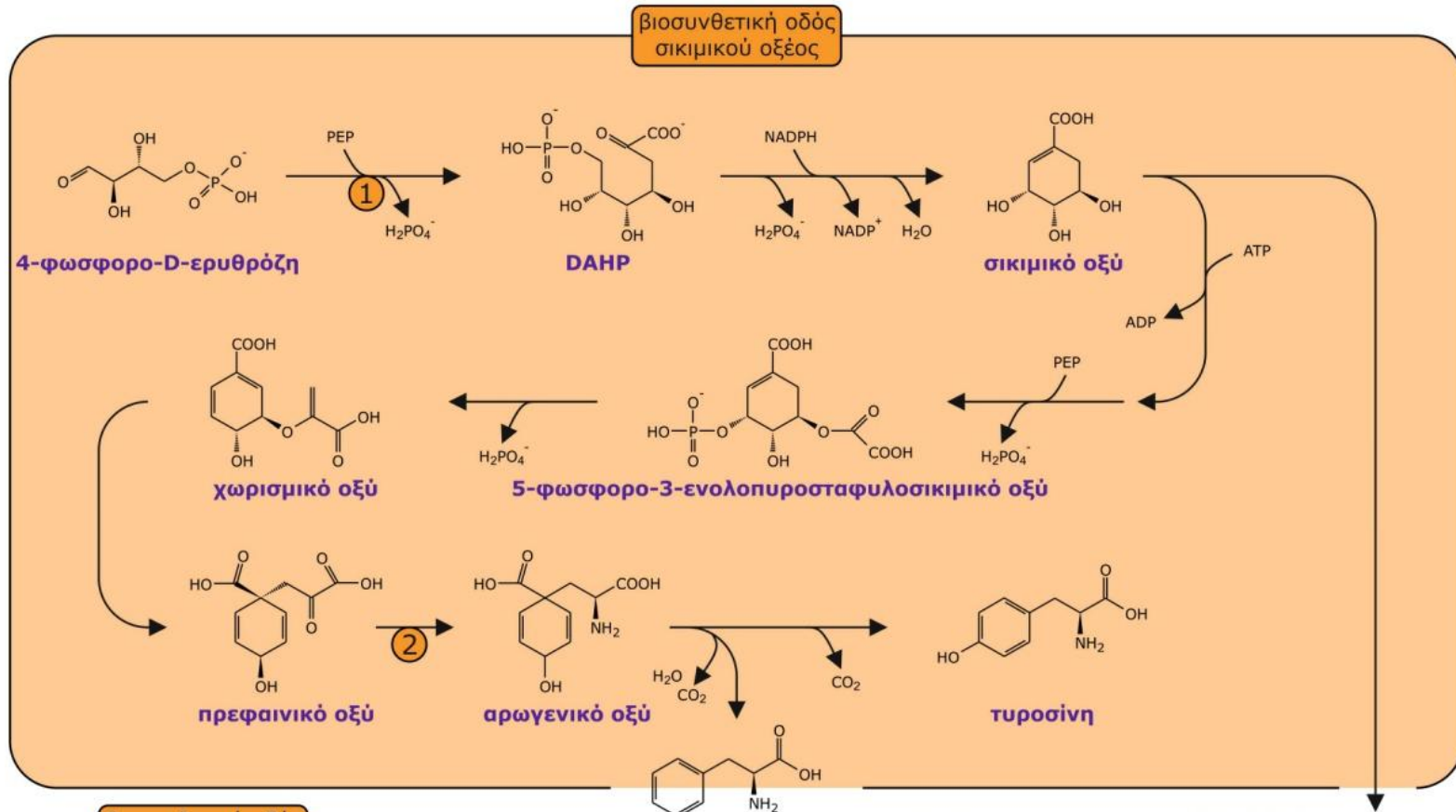


Οι Φαινολικές Ενώσεις Προέρχονται από την Φαινυλαλανίνη

- Οι περισσότερες φαινολικές ενώσεις έχουν ως πρόδρομο μόριο την φαινυλαλανίνη, η οποία συντίθεται μέσω της βιοσυνθετικής οδού του σικκιμικού οξέος.
- Σε ορισμένες περιπτώσεις ο σκελετός άνθρακα πολυπλοκότερων φαινολικών μορίων συναρμολογείται από απλούστερες δομικές μονάδες που προέρχονται από διαφορετικές βιοσυνθετικές οδούς του πρωτογενούς μεταβολισμού. Π.χ. στη βιοσύνθεση των φλαβονοειδών και όλων των συναφών ή παραγώγων μορίων, συνεργάζονται οι βιοσυνθετικές οδοί του σικκιμικού και του μαλονικού οξέος.

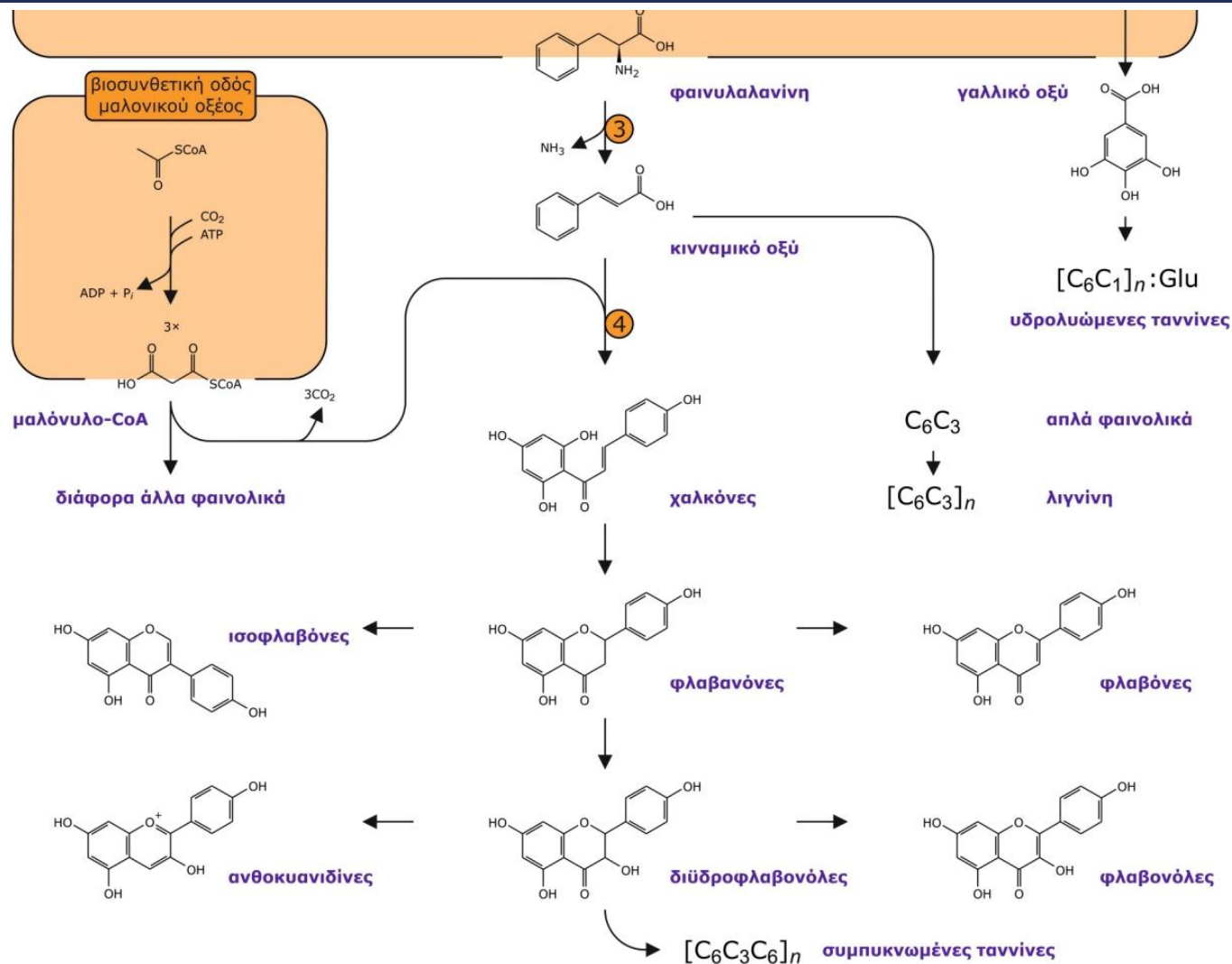


Βιοσύνθεση Φαινολικών Ενώσεων 1/2





Βιοσύνθεση Φαινολικών Ενώσεων 2/2





Βιβλιογραφία 1/4

- Barbehenn, R.V. and Constabel C.P. 2011. Tannins in plant-herbivore interactions. *Phytochemistry*, in press.
- Bennett, R. N. and Wallsgrave, R. M. 1994. Secondary metabolites in plant defence mechanisms. *New Phytol.* 127: 617-633.
- Bryant JP, Chapin FS III, Klein DR. 1983. Carbon/Nutrient balance of boreal plants in relation to vertebrate herbivory. *Oikos* 40: 357-368.
- Coley, P., Bryant, J. and Chapin III, F. 1985. Resource availability and plant antiherbivore defense. *Science* 230: 895–899.



Βιβλιογραφία 2/4

- Close DC, McArthur C. 2002. Rethinking the role of many plant phenolics -protection from photodamage not herbivores? *Oikos* 99: 166-172.
- Fahn, A. 1988. Secretory tissues in vascular plants. *New Phytol.* 108: 229-257.
- Haukioja E, Ossipov V, Koricheva J, Honkanen T, Larsson S, Lempa K (1998) Biosynthetic origin of carbon-based secondary compounds: cause of variable responses of woody plants to fertilization? *Chemoecology* 8:133-139.
- Herms, D. A. and Mattson, W. J. 1992. The dilemma of plants: To grow or defend. *Quart. Rev. Biol.* 67: 283-335.



Βιβλιογραφία 3/4

- Herrmann, K. M. 1995. The shikimate pathway as an entry to aromatic secondary metabolism. *Plant Physiol.* 107: 7-12.
- Huang T, Jander G, de Vos M. 2011. Non-protein amino acids in plant defense against insect herbivores: Representative cases and opportunities for further functional analysis. *Phytochemistry* 72: 1531-1537.
- Jones CG, Hartley SE. 1999. A protein competition model of phenolic allocation. *Oikos* 86:27-44.
- Kessler A., and Heil M. 2011. The multiple faces of indirect defences and their agents of natural selection. *Functional Ecology* 25: 348-357.



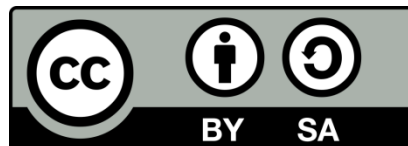
Βιβλιογραφία 4/4

- Kolattukudi, P. E. 1980. Biopolyester membranes of plants: cutin and suberin. *Science* 208: 990-999.
- McKey D. 1974. Adaptive patterns in alkaloid physiology. *American Naturalist* 108: 305-320.
- Salminen J-P., and Karonen M. 2011. Chemical ecology of tannins and other phenolics: we need a change in approach. *Functional Ecology* 25: 325- 338.
- Weaver, L. M. and Herrmann, K. M. 1997. Dynamics of the shikimate pathway in plants. *Trends Plant Sci.* 2: 346- 351.
- Vranova, V., Rejsek, K., Skene K.R. and Formanek P. 2011. Non-protein amino acids: plant, soil and ecosystem interactions. *Plant Soil* 342: 31-48.



Άδειες Χρήσης

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





Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την 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.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



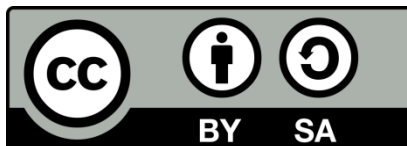
Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών 2014. Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής, Γεώργιος Καραμπουρνιώτης/ Γεώργιος Λιακόπουλος. «Φυσιολογία Καταπονήσεων των Φυτών». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://mediasrv.aua.gr/eclass/courses/OCDCS100/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Παρόμοια Διανομή 4.0 [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».



Η άδεια αυτή ανήκει στις άδειες που ακολουθούν τις προδιαγραφές του Ορισμού Ανοικτής Γνώσης [2], είναι ανοικτό πολιτιστικό έργο [3] και για το λόγο αυτό αποτελεί ανοικτό περιεχόμενο [4].

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

[2] <http://opendefinition.org/okd/ellinika/>

[3] <http://freedomdefined.org/Definition/EI>

[4] <http://opendefinition.org/buttons/>



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.