



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

AGRICULTURAL UNIVERSITY OF ATHENS

Φυσιολογία Καταπονήσεων των Φυτών

Ενότητα 12:

Το Χημικό Οπλοστάσιο των Φυτών
Έναντι Βιοτικών Παραγόντων
Καταπόνησης (1/2), 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 φαινυλαλάνης,
- 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



Τερπένια (Συνώνυμα: Τερπενοειδή, Ισοπρενοειδή)

- Όλες οι ενώσεις του τύπου αυτού προέρχονται από τη βασική μονάδα του ισοπεντανίου.
- Η ομάδα περιλαμβάνει πολυάριθμα μέλη, με εξαιρετική ποικιλότητα δομής. Ορισμένα μέλη αποτελούν αναπόσπαστα συστατικά θεμελιωδών λειτουργιών, όπως πχ τα καροτενοειδή, οι χλωροφύλλες, και οι φυτορμόνες γιββερελίνες και αμπσισικό οξύ. Με τη συνένωση βασικών μονάδων (2,4,6,8,...,n) δημιουργούνται μεγαλύτερα μόρια, διαφορετικά μεταξύ τους.

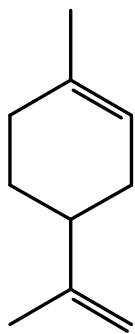


Χαρακτηριστικοί Εκπρόσωποι της Ομάδας των Τερπενίων 1/2

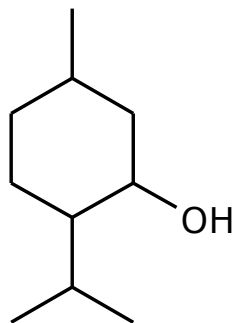
Άτομα C	Τύπος σκελετού	Κατηγορία ενώσεων	Χαρακτηριστικοί εκπρόσωποι
5	C_5H_8	ισοπρένιο (ημιτερπένια)	ισοπεντενυλοφωσφορικό
10	$C_{10}H_{16}$	μονοτερπένια	γερανιόλες (μενθόλη, καμφορά, πινένιο)
15	$C_{15}H_{24}$	σεσκιτερπένια	φαρνεζόλες (ουμπικινόνη, πλαστοκινόνη, αμπισισικό, ρισιίνη)
20	$C_{20}H_{32}$	διτερπένια	γερανυλγερανιόλες (φυτόλη, καουρένιο, γιββερελικό, φουσικοσίνη)
30	$C_{30}H_{48}$	τριτερπένια	σκουαλένια (στεροειδή, σαπωνίνες)
40	$C_{40}H_{64}$	τετρατερπένια	φυτοένιο, καροτενοειδή
n	$(C_5H_8)_n$	πολυτερπένια	κόμμεα, γουταπέρκα



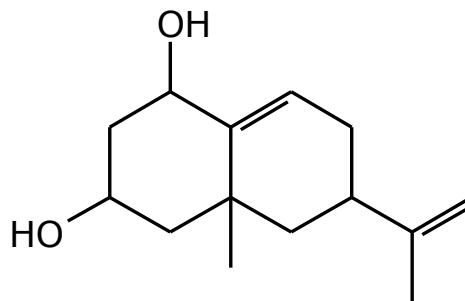
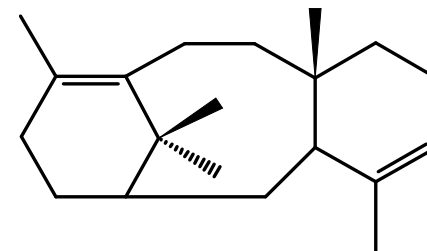
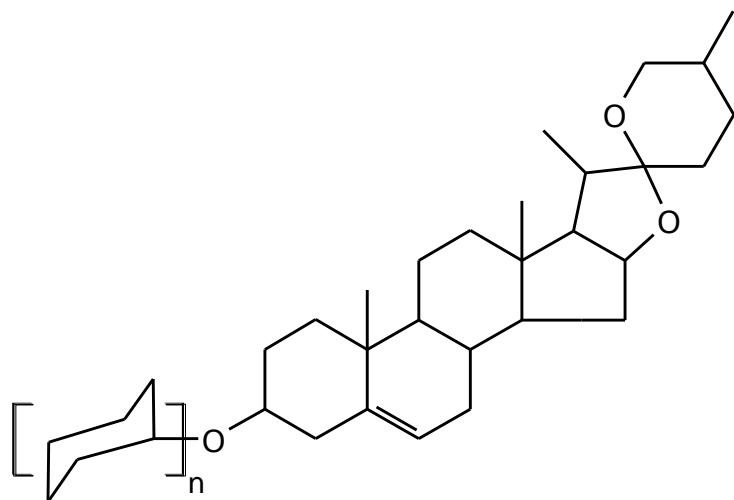
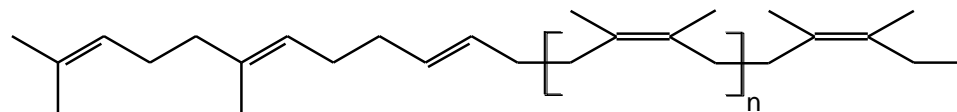
Χαρακτηριστικοί Εκπρόσωποι της Ομάδας των Τερπενίων 2/2



λιμονένιο



μενθόλη

Καψιδιόλη
(σεσκιτερπένιο)Ταξαδιένιο
(διτερπένιο)γιαμονίνη
(σαπωνίνη, τριτερπένιο)

καουτσούκ (πολυτερπένιο)



Η Βιοσύνθεση των Τερπενίων 1/5

- Η βιοσύνθεση των τερπενίων πραγματοποιείται μέσω δύο διακριτών μεταβολικών οδών.
- Η **βιοσυνθετική οδός του μεβαλονικού** (το οποίο αποτελεί ένα σημαντικό ενδιάμεσο μεταβολίτη) οδηγεί στη σύνθεση της βασικής μονάδας με τα πέντε άτομα άνθρακα μέσω της σταδιακής συμπύκνωσης τριών μορίων ακετυλοσυνενζύμου Α. Τα τελικά προϊόντα της οδού αυτής, το πυροφωσφορικό ισοπεντενύλιο και το ισομερές του πυροφωσφορικό διμεθυλαλλύλιο αποτελούν τις ενεργοποιημένες πρόδρομες μορφές μορίων οι οποίες συνδυαζόμενες παράγουν τα διάφορα μόρια των τερπενίων.

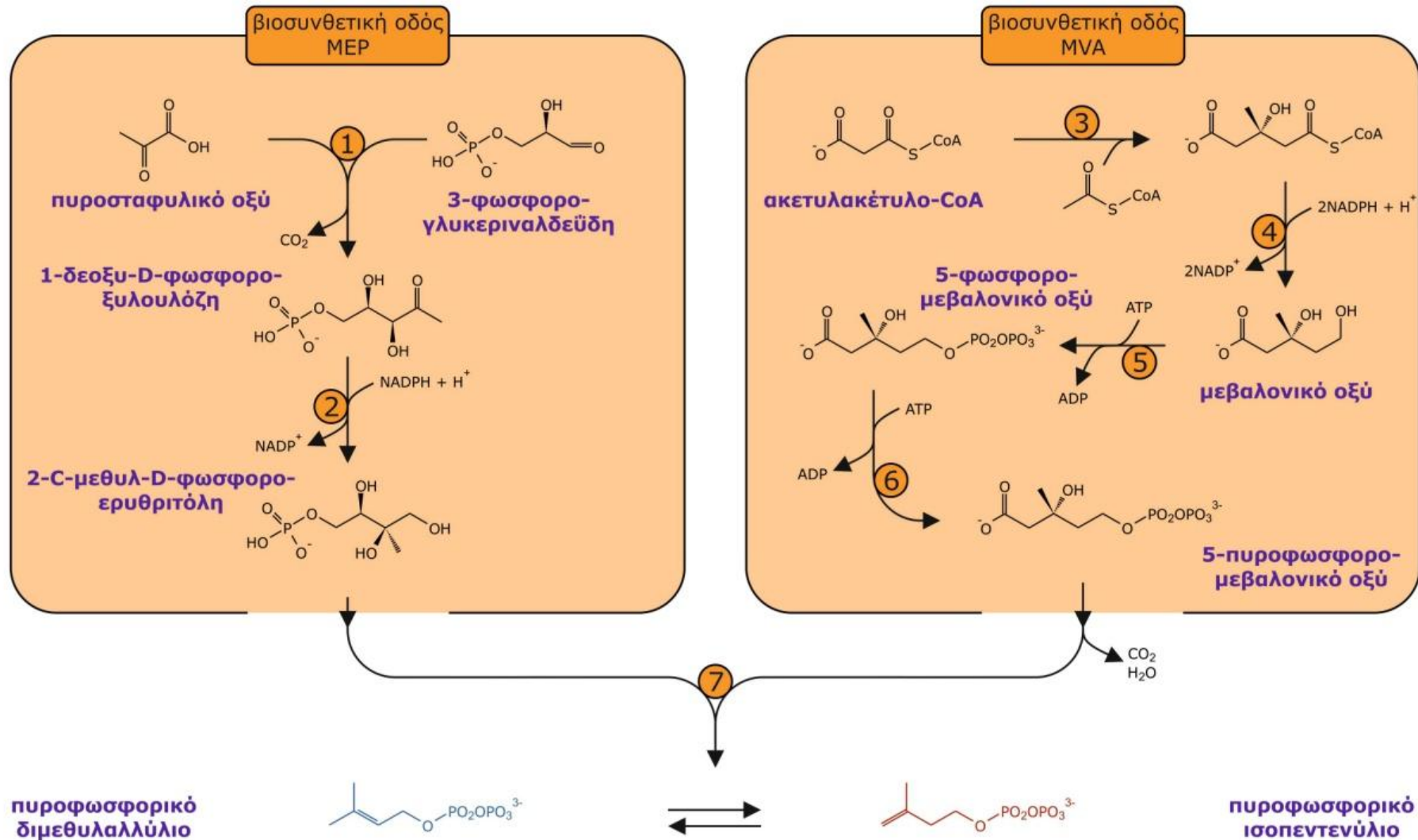


Η Βιοσύνθεση των Τερπενίων 2/5

- Η οδός φωσφογλυκεριναλδεύδης / πυροσταφυλικού οδηγεί στη παραγωγή ισοπρενίου, μονοτερπενίων, διτερπενίων και τετρατερπενίων.



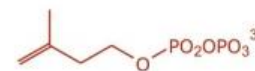
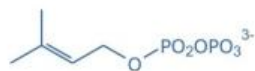
Η Βιοσύνθεση των Τερπενίων 3/5



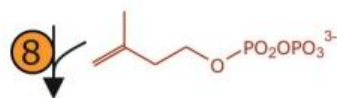


Η Βιοσύνθεση των Τερπενίων 4/5

πυροφωσφορικό
διμεθυλαλλύλιο



πυροφωσφορικό
ισοπεντενύλιο

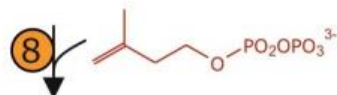


πυροφωσφορικό
γερανύλιο



μονοτερπένια

ημιτερπένια

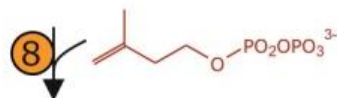


FPP



σεσκιτερπένια

τριτερπένια



GGPP

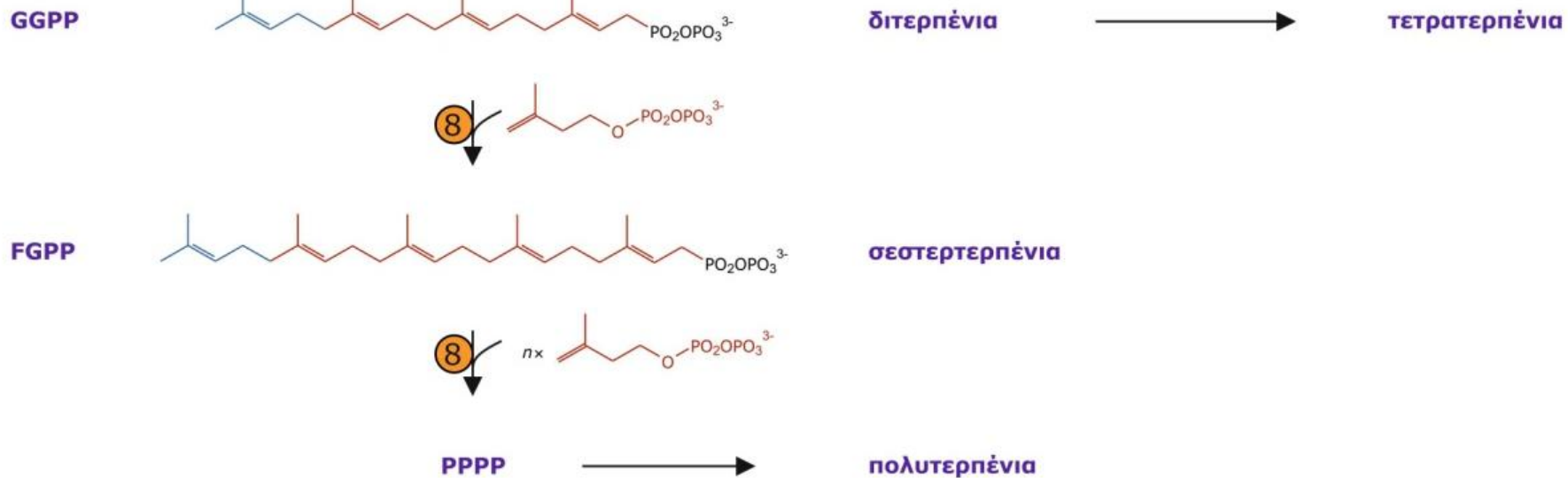


διτερπένια

τετρατερπένια



Η Βιοσύνθεση των Τερπενίων 5/5





Η Συνένωση των Βασικών Προδρόμων Μονάδων

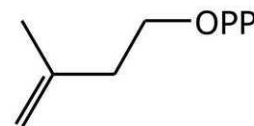
- Η συνένωση των βασικών προδρόμων μονάδων, ανεξάρτητα από την προέλευσή τους, μπορεί να πραγματοποιηθεί με τρεις διαφορετικούς τρόπους.



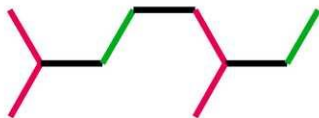
ισοπρένιο



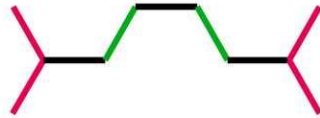
ισοπεντάνιο



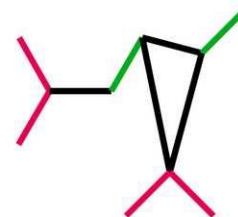
IPP



κεφαλή με ουρά



κεφαλή με κεφαλή



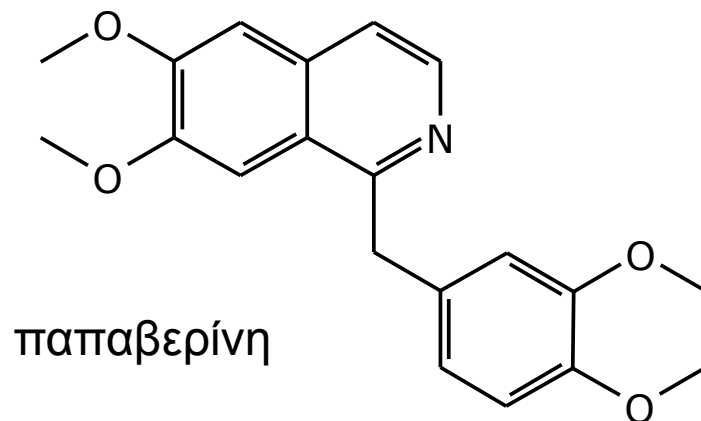
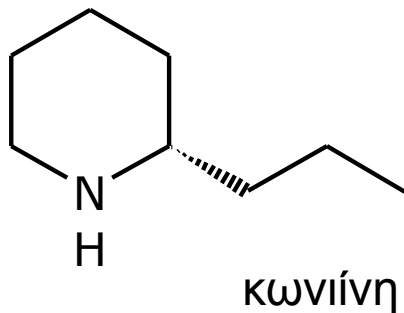
κεφαλή με μέσον



Αζωτούχες Ενώσεις 1/7

- Πρόκειται για μια ετερογενή ομάδα δευτερογενών μεταβολιτών, η οποία περιλαμβάνει

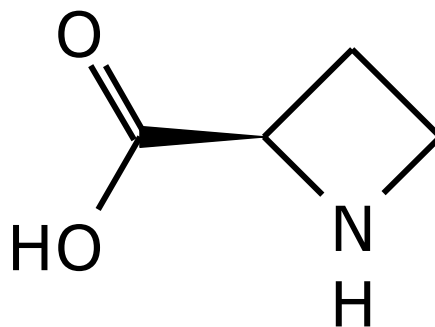
I. Αλκαλοειδή. Οι ενώσεις αυτές συνήθως περιλαμβάνουν άζωτο σε έναν ετεροκυκλικό δακτύλιο ποικίλων μορφών. Έχουν αλκαλικές ιδιότητες. Ευδιάλυτα στο νερό.





Αζωτούχες Ενώσεις 2/7

II. Μη πρωτεϊνικά αμινοξέα.

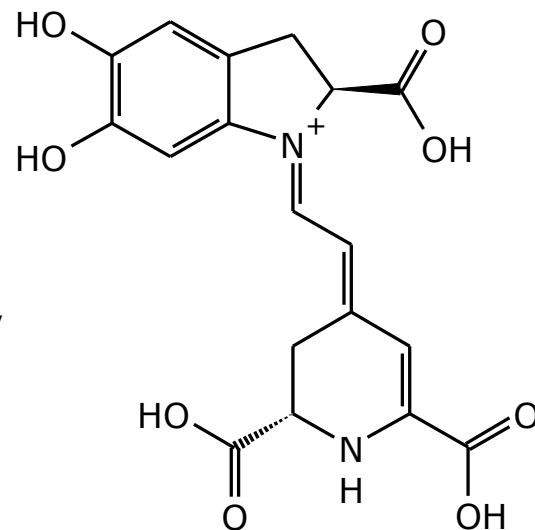


L-αζετιδίνο-2-καρβοξυλικό οξύ
(δομή παραπλήσια της προλίνης)



Αζωτούχες Ενώσεις 3/7

III. Μπεταλαΐνες. Πρόκειται για χρωστικές που δίδουν χαρακτηριστικούς χρωματισμούς σε όργανα και ιστούς οι οποίες έχουν περιορισμένη εξάπλωση, κυρίως σε οικογένειες της τάξης των Caryophyllales. Ο χαρακτηριστικότερος εκπρόσωπος είναι η μπετανίνη των κονδύλων των τεύτλων.

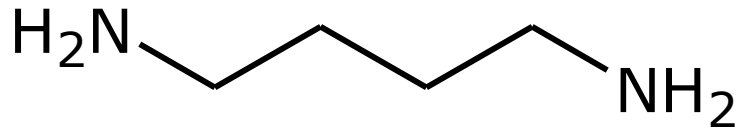


Μπετανίνη των τεύτλων

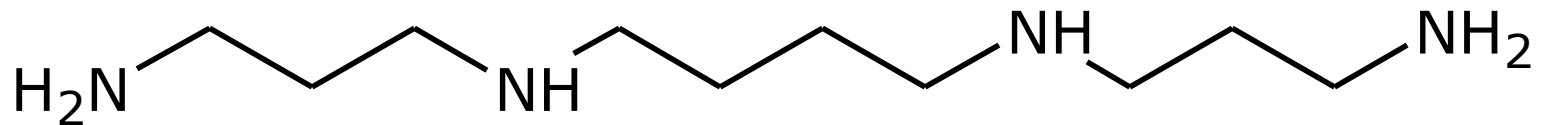


Αζωτούχες Ενώσεις 4/7

- IV. **Αμίνες**. Ουσίες οι οποίες περιλαμβάνουν μία τουλάχιστον αμινομάδα στο μόριό τους. Χαρακτηριστικοί εκπρόσωποι η ισταμίνη, η πουτρεσκίνη, κ.ά.



πουτρεσκίνη

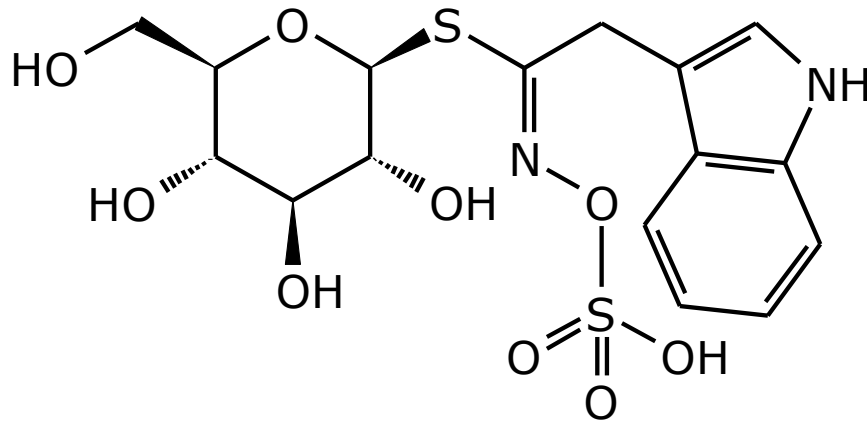


σπερμίνη



Αζωτούχες Ενώσεις 5/7

- V. Θειογλυκοζίτες (glucosinolates). Αζωτούχες ενώσεις που περιέχουν θείο στο μόριό τους, το οποίο κάτω από κατάλληλες συνθήκες μπορεί να απελευθερωθεί ως ισοθειοκυανικό ή θειοκυανικό ιόν.

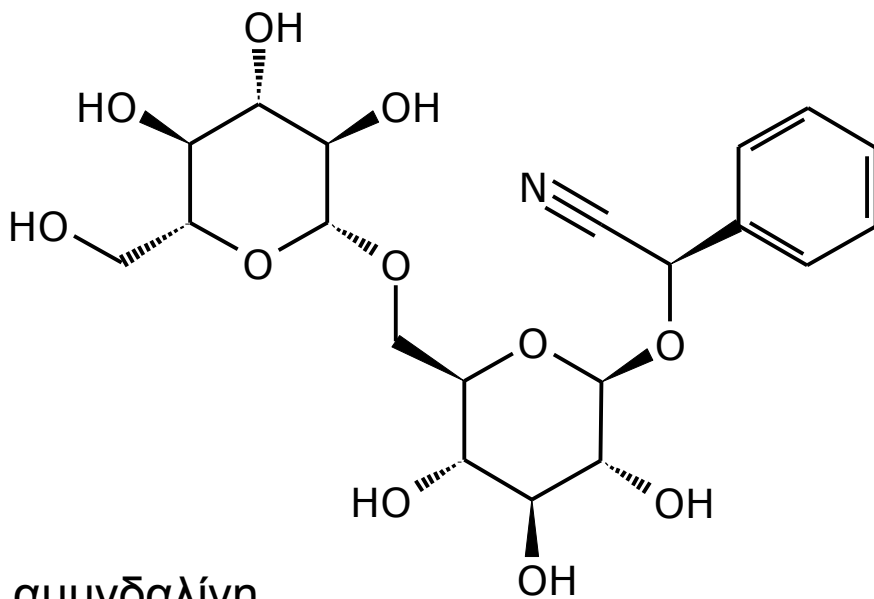


γλυκομπρασισίνη



Αζωτούχες Ενώσεις 6/7

VI. Κυανογόνα γλυκοσίδια. Αζωτούχες ενώσεις ενωμένες με ένα σάκχαρο. Υπό την επίδραση κατάλληλων ενζύμων απελευθερώνουν -CN.



αμυγδαλίνη



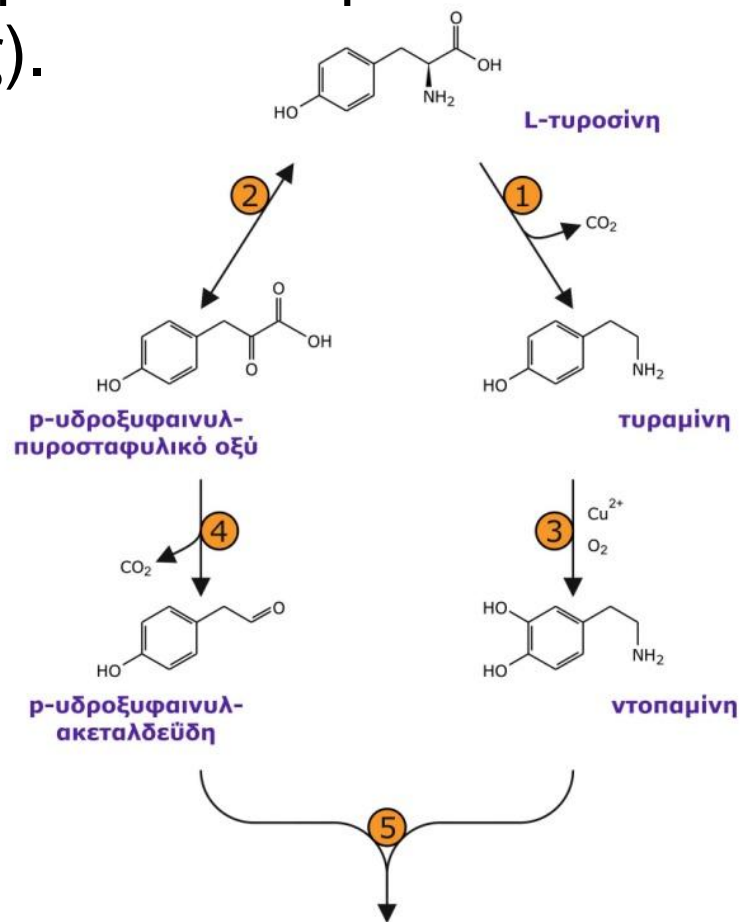
Αζωτούχες Ενώσεις 7/7

VII. Αμυντικές πρωτεΐνες. Πρόκειται για πολυπεπτίδια-εξειδικευμένους αναστολείς με αμυντικό προορισμό.



Βιοσύνθεση Αλκαλοειδών 1/4

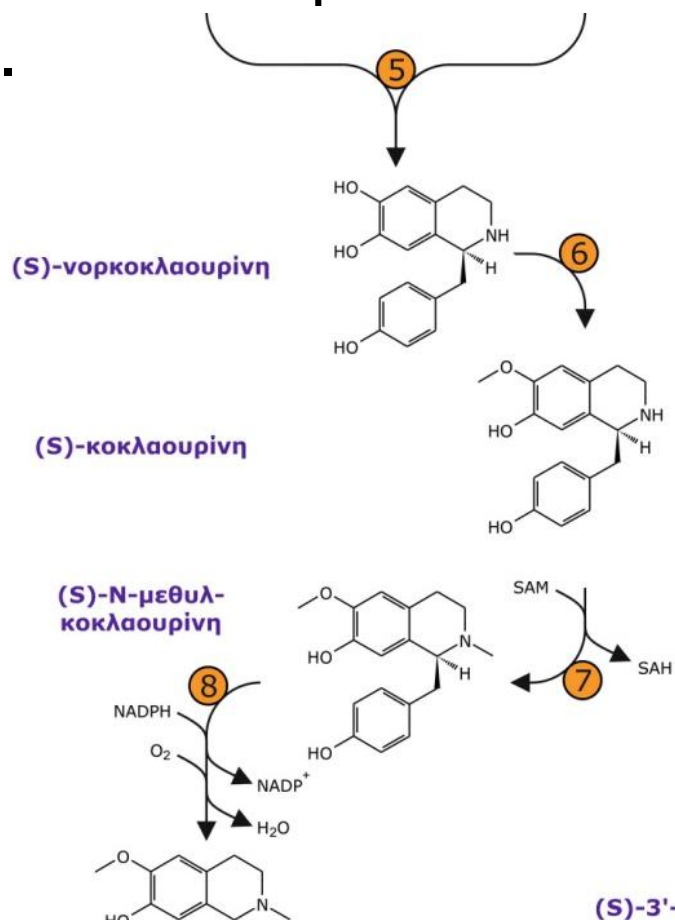
- Οι αζωτούχες ενώσεις προέρχονται κυρίως από αμινοξέα (η βιοσύνθεση του αλκαλοειδούς ρετικουλίνης).





Βιοσύνθεση Αλκαλοειδών 2/4

- Οι αζωτούχες ενώσεις προέρχονται κυρίως από αμινοξέα (η βιοσύνθεση του αλκαλοειδούς ρετικουλίνης).

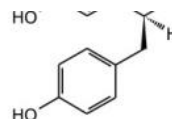




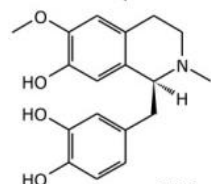
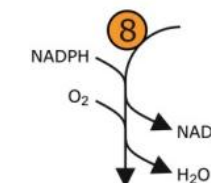
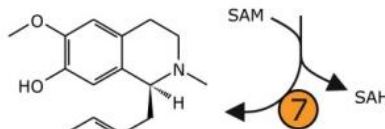
Βιοσύνθεση Αλκαλοειδών 3/4

- Οι αζωτούχες ενώσεις προέρχονται κυρίως από αμινοξέα (η βιοσύνθεση του αλκαλοειδούς ρετικουλίνης). **(S)-κοκλαουρίνη**

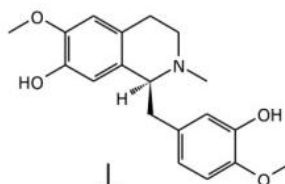
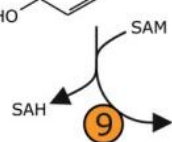
(S)-κοκλαουρίνη



(S)-N-μεθυλ-κοκλαουρίνη



**(S)-3'-υδροξυ-
N-μεθυλ-
κοκλαουρίνη**



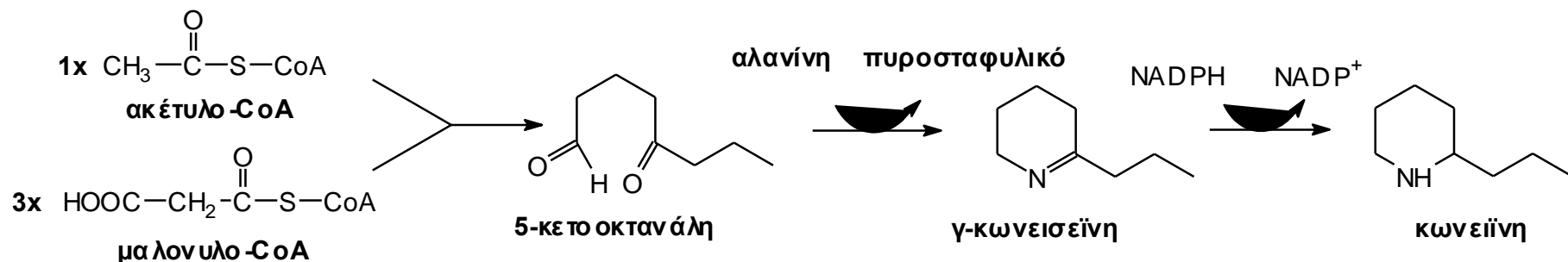
(S)-ρετικουλίνη

μορφίνη κωδεΐνη σαγκουιναρίνη βερβερίνη παπαβερίνη, κ.ά.



Βιοσύνθεση Αλκαλοειδών 4/4

- Οι αζωτούχες ενώσεις προέρχονται κυρίως από αμινοξέα (η βιοσύνθεση του αλκαλοειδούς ρετικουλίνης).





Κουτίνη- Κηροί –Σουβερίνη 1/3

- **Κουτίνη:** Ετερογενές πολυμερές το οποίο απαρτίζεται κυρίως από δύο ομάδες λιπαρών οξέων -με σκελετό 16 και 18 άτομα άνθρακα αντίστοιχα-, οι οποίες σχηματίζουν μίγματα διαφορετικών αναλογιών. Τα διαφορετικά αυτά λιπαρά οξέα πολυμερίζονται σχηματίζοντας εστερικούς δεσμούς μεταξύ τους, και δημιουργούν ένα τρισδιάστατο πλέγμα.



Κουτίνη- Κηροί –Σουβερίνη 2/3

- **Κηροί:** Μίγματα μη πολυμερισμένων υδρογονανθράκων των οποίων η αλυσίδα περιλαμβάνει μεγάλο αριθμό ατόμων άνθρακα. Το εξαιρετικά υδρόφοβο στρώμα των κηρών συνήθως περιλαμβάνει λιπόφιλα συστατικά με αμυντικό προορισμό, όπως στερόλες, μεθυλιωμένα φλαβονοειδή, κ.ά.



Κουτίνη- Κηροί –Σουβερίνη 3/3

- Η **σουβερίνη** παρουσιάζει παρόμοια χημική σύσταση με εκείνη της κουτίνης, ωστόσο εμφανίζει αυξημένη περιεκτικότητα σε συστατικά με μεγάλο αριθμό ατόμων άνθρακα στην αλυσίδα, σε δικαρβοξυλικά λιπαρά οξέα καθώς και σε φαινολικές ενώσεις.

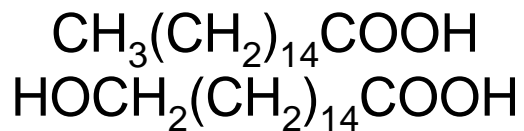


Ορισμένοι Τυπικοί Εκπρόσωποι των Δομικών Μονάδων 1/2

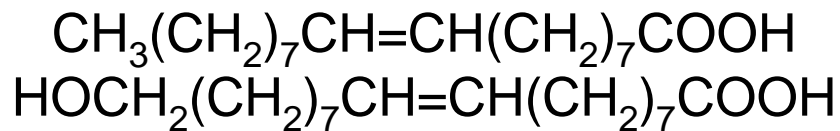
- οι οποίες πολυμερίζονται και δημιουργούν την κουτίνη και τη σουβερίνη καθώς και συστατικά των κηρών.

Υμενίνη (κουτίνη)

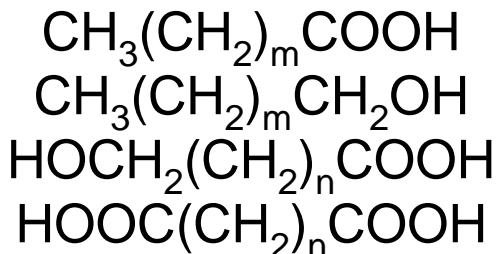
Ομάδα με 16 άτομα C



Ομάδα με 18 άτομα C



Φελλίνη (σουβερίνη)



Διάφορες φαινολικές ενώσεις
($m=18-30$, $n=14-20$)



Ορισμένοι Τυπικοί Εκπρόσωποι των Δομικών Μονάδων 2/2

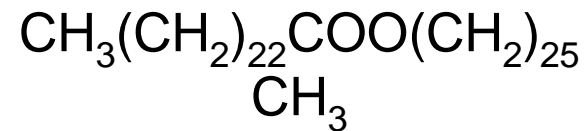
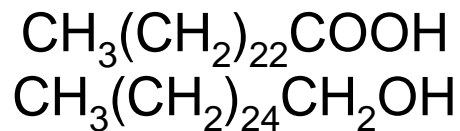
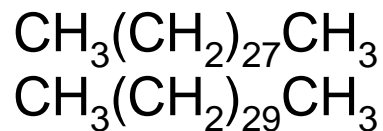
- οι οποίες πολυμερίζονται και δημιουργούν την κουτίνη και τη σουβερίνη καθώς και συστατικά των κηρών.

Κηροί

αλκάνια

λιπαρό οξύ, αλκοόλη

εστέρας





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.



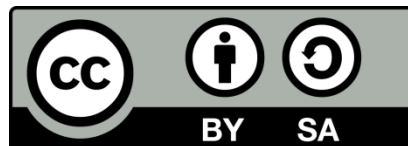
Βιβλιογραφία 4/4

- 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



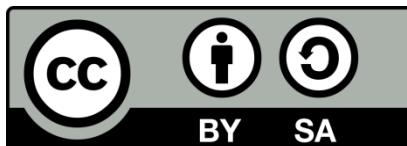
Σημείωμα Αναφοράς

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.