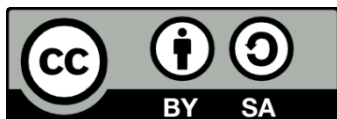




Δευτερογενείς μεταβολίτες: βιοσυνθετικές οδοί και βιολογικός ρόλος

Ενότητα 5: Πτητικοί δευτερογενείς μεταβολίτες στην επικοινωνία των φυτών.

Αικατερίνη Καραμανώλη
Τμήμα Γεωπονίας



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

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: Βιοσυνθετικές οδοί και βιολογικός ρόλος

Τμήμα Γεωπονίας



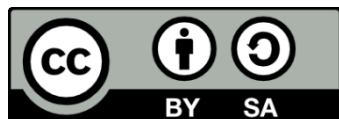


ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΑΝΟΙΚΤΑ
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΑ
ΜΑΘΗΜΑΤΑ



Πτητικοί δευτερογενείς μεταβολίτες στην επικοινωνία των φυτών



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

Περιεχόμενα ενότητας (1)

1. Πτητικά χημικά σήματα.
2. Πτητικά πράσινων φύλλων-Ιασμονικό οξύ.
3. Βιολογικός ρόλος πτητικών συστατικών.
4. Τα πτητικά συστατικά στην άμυνα.
5. Τρίτου επιπέδου τροφικές αλληλεπιδράσεις.
6. Προσρόφηση και αντίληψη του σήματος από το φυτό-δέκτη.
7. «Επικοινωνία» φυτού προς φυτό.



Περιεχόμενα ενότητας (2)

8. Το φαινόμενο της γόμωσης/ευαισθητοποίησης (priming).
9. Ισοπρένιο.
10. Έκλυση ισοπρενίου.



Πτητικά χημικά σήματα - Ορισμός

“Η μεταβίβαση του σήματος μέσω ενός αερίου που παράγεται από ένα κύτταρο, διαπερνά μεμβράνες και ρυθμίζει τη λειτουργία άλλου κυττάρου αποτελεί μια εντελώς νέα βάση στη μετάδοση σημάτων στα βιολογικά συστήματα”.

Nobel Assembly, 1998.



Πτητικά χημικά σήματα

Λιπόφιλες ενώσεις με υψηλή τάση ατμών, ελεύθερη διαπερατότητα στις μεμβράνες που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα ή στο έδαφος.

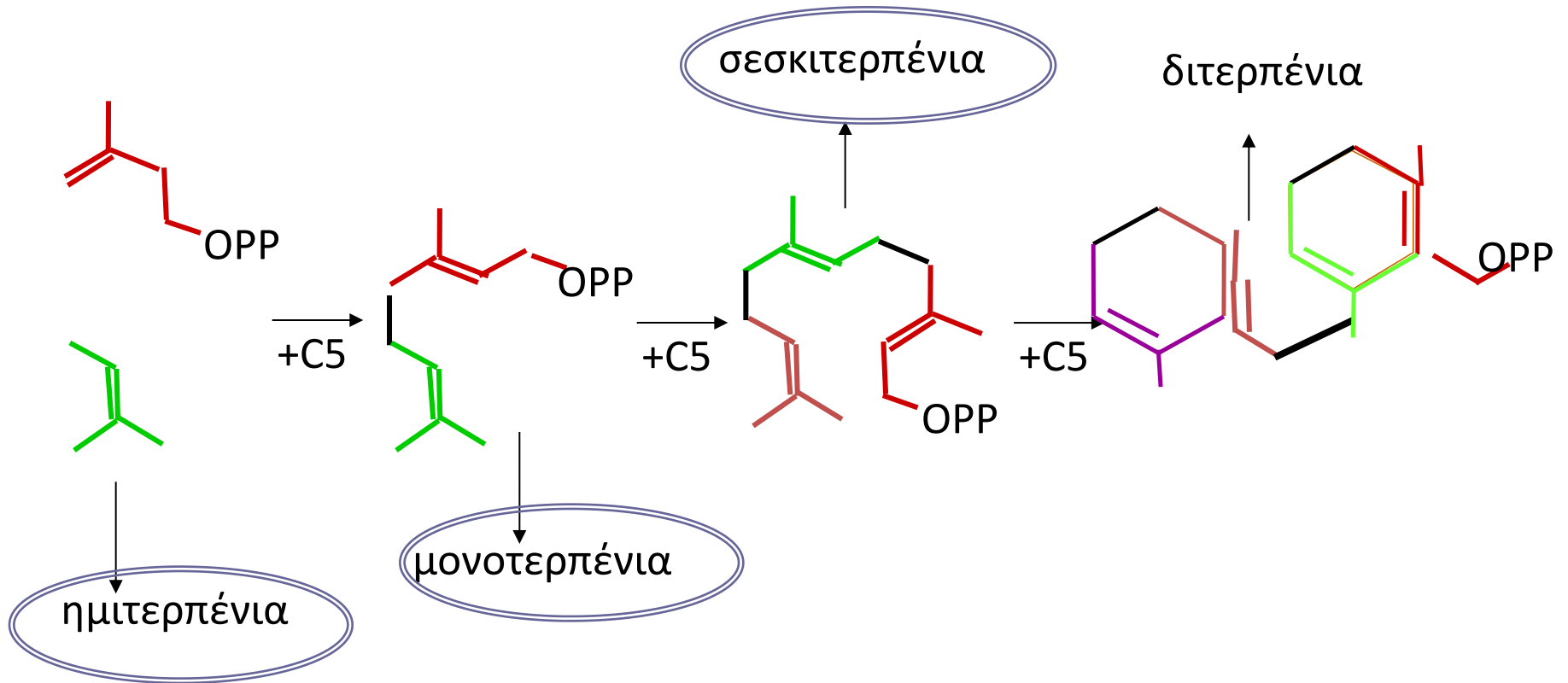
Ενώσεις χαμηλού ΜΒ (< 300Da) , σε τρεις κυρίως κατηγορίες:

- Τερπενοειδή (ημιτερπένια, μονοτερπένια, σесκιτερπένια, ομοτερπένια, διτερπένια).
- Φαινυλπροπανοειδή και βενζοϊκά παράγωγα.
- Πτητικά παράγωγα λιπαρών οξέων, αμινοξέων.
- Πτητικά πράσινων φύλλων (Green Leaf Volatiles -GLV).
- Ιασμονικό οξύ και ο μεθυλικός εστέρας του.

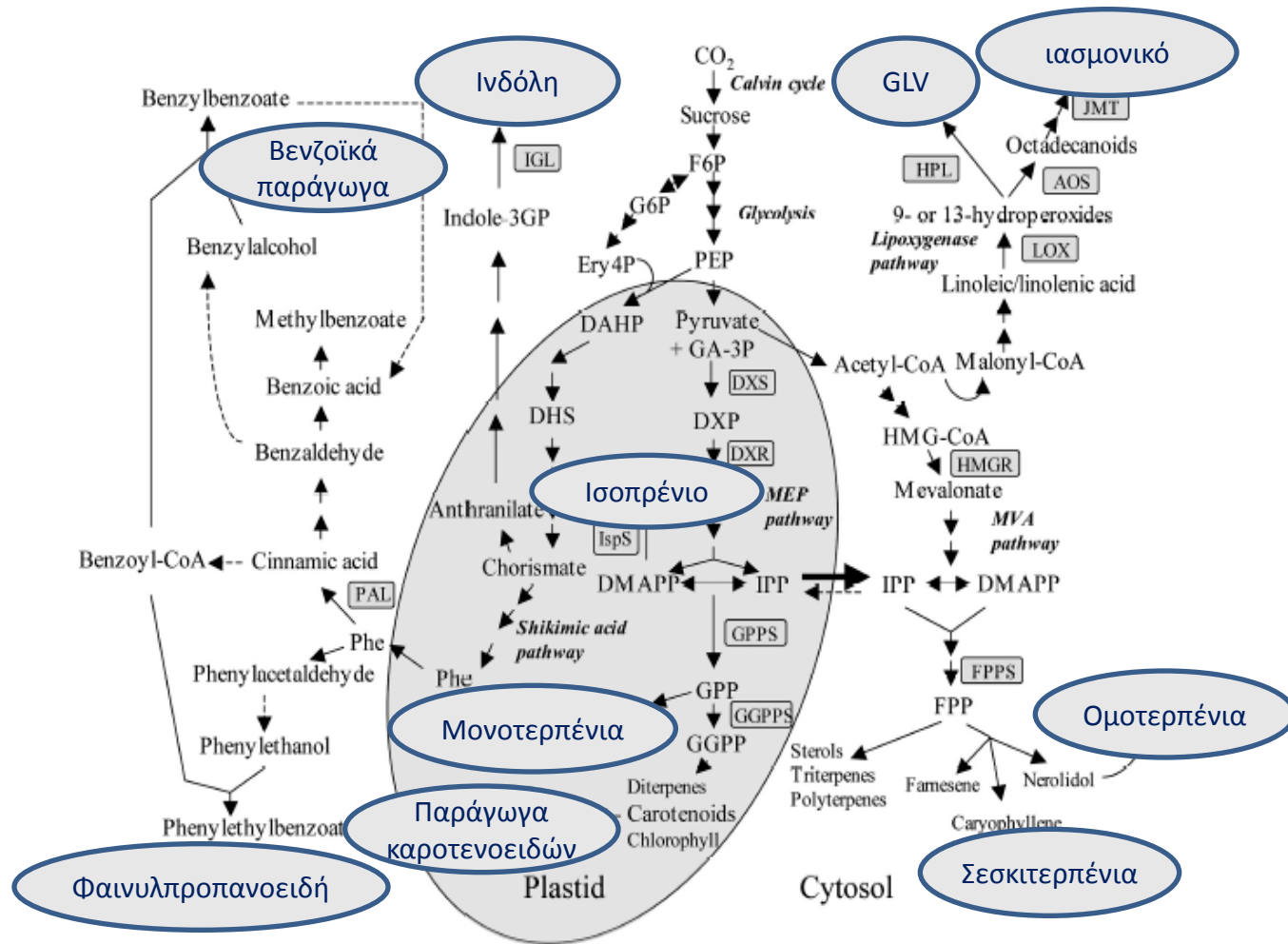
Έχουν χαρακτηριστεί 1700 πτητικά συστατικά από 90 οικογένειες φυτών.



Πτητικά τερπενοειδή



Μεταβολικές οδοί βιοσύνθεσης πτητικών ουσιών στα φυτά



Έκλυση πτητικών χημικών σημάτων από τα φυτά

0-100ug/g ξηράς ουσίας/h.

8-10 % του άνθρακα στα φυτά μετατρέπεται σε πτητικές ενώσεις (VCOs).

Έκλυση 10^{15} g πτητικών ουσιών από τα φυτά (VCOs) /έτος.

Γιατί τα φυτά εκλύουν τις ουσίες αυτές;

Ποια επίδραση των εκπομπών στη φυσικοχημεία της ατμόσφαιρας;



Παραλαβή πτητικών για χρωματογραφική ανάλυση



Τεταχ
αδρανές
υλικό

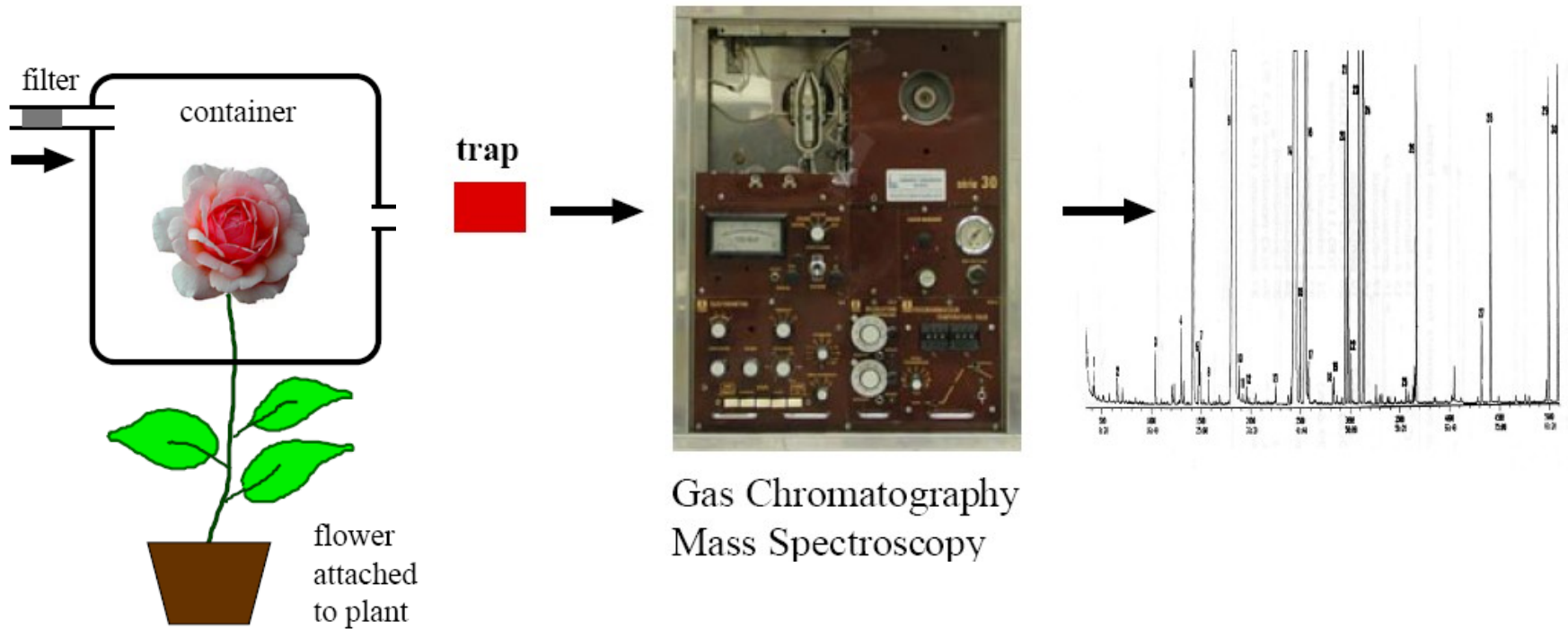
είσοδος

έξοδος

Δευτερογενείς μεταβολίτες: Βιοσυνθετικές οδοί και βιολογικός ρόλος

Τμήμα Γεωπονίας

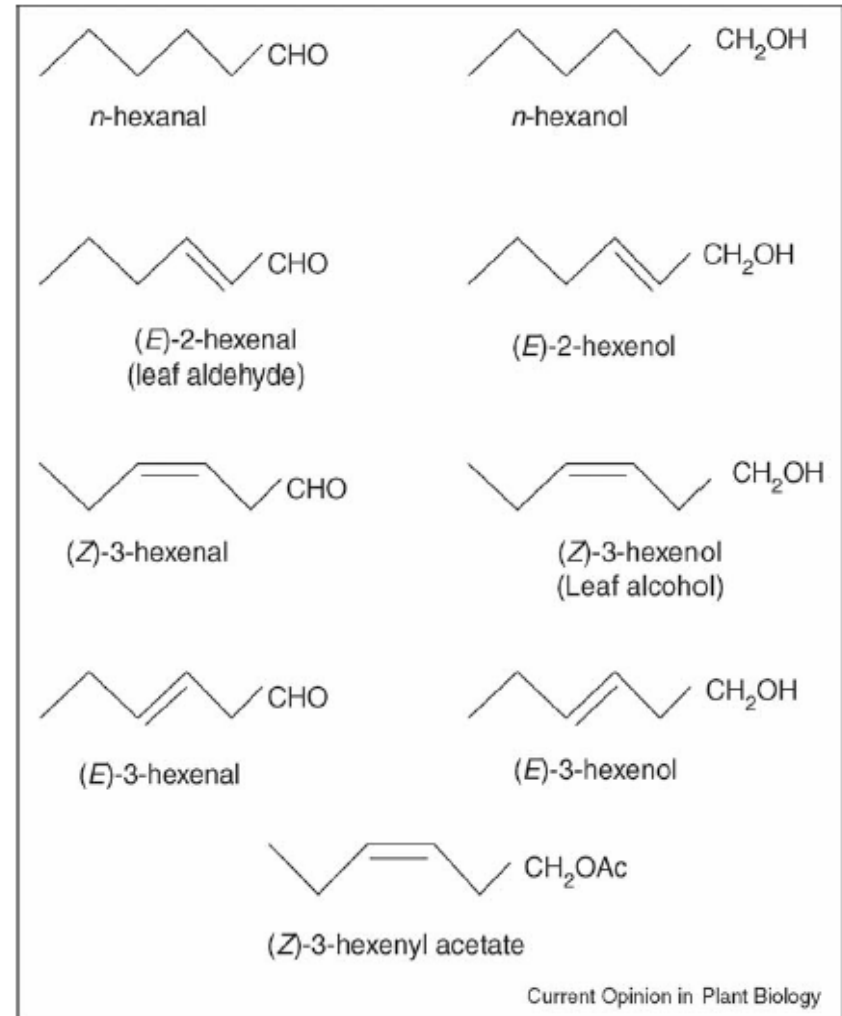
Σχηματική αναπαράσταση δέσμμευσης και χρωματογραφικής ανάλυσης πτητικών ουσιών (Headspace sampling and GC-MS analysis)



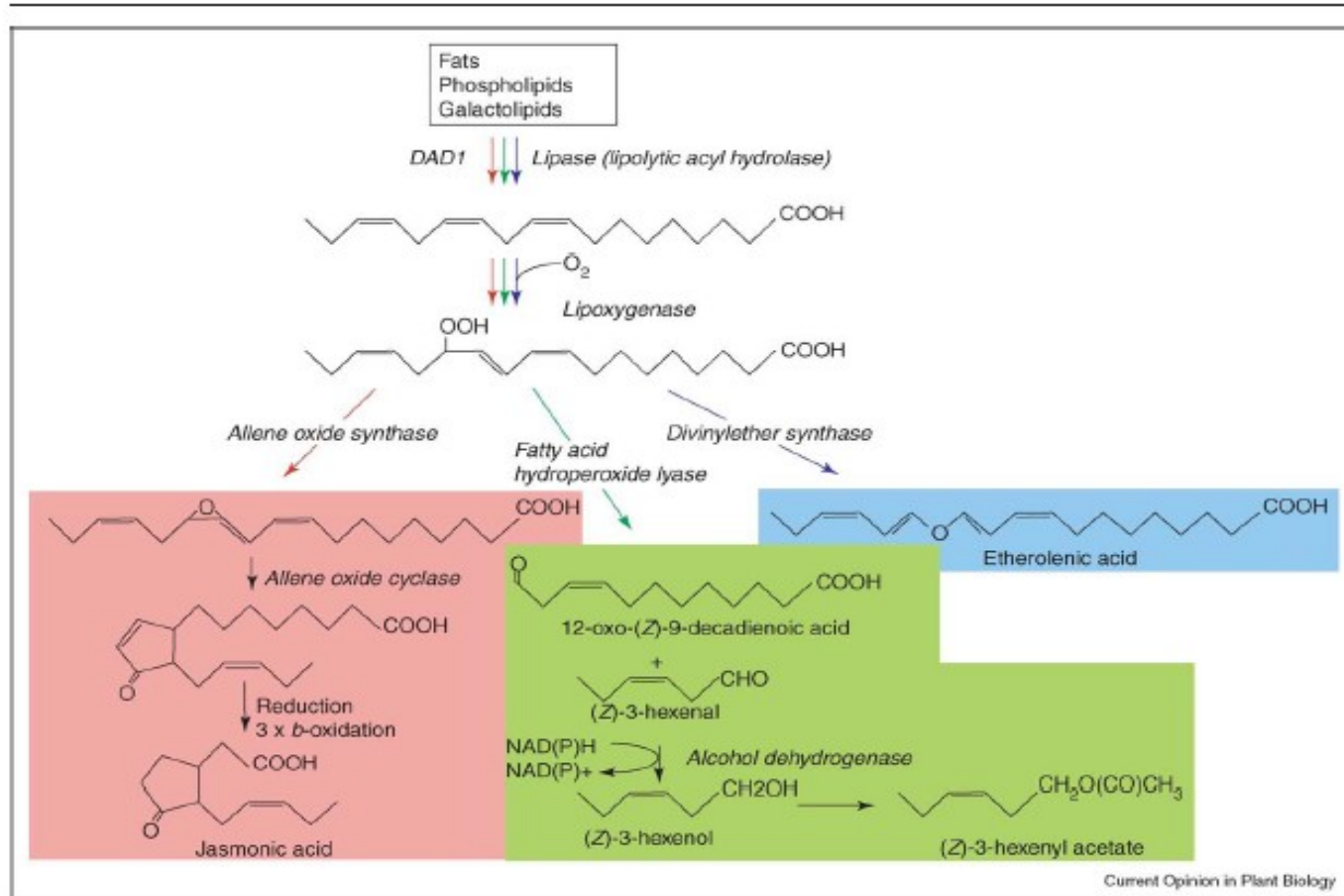
Πτητικά Πράσινων φύλλων (Green leaf volatiles- GLVs)

Είναι C6 αλδεΐδες, αλκοόλες και οι εστέρες τους, το όνομα τους οφείλεται στο ξεχωριστό άρωμα που παράγεται από τραυματισμένα φύλλα.

Πρόέρχονται από τη μεταβολική οδό των οξυλιπινών, η ρύθμιση της οποίας γίνεται με την υδρόλυση των λιπαρών οξέων και τη προσθήκη ενός ελεύθερου λιπαρού οξέος. Μπορεί να αποτελούν > 50% των πτητικών ουσιών που εκλύονται κατά τον τραυματισμό.



Βιοσυνθετικές οδοί των οξυλιπινών στα φυτά



Biosynthetic pathway for oxylipins in plants. Only a portion of the pathway is shown. Each metabolite stems out from linolenic acid hydroperoxide; however, recent studies indicate that specific lipases and lipoxygenases exist to form the hydroperoxides in each branch.

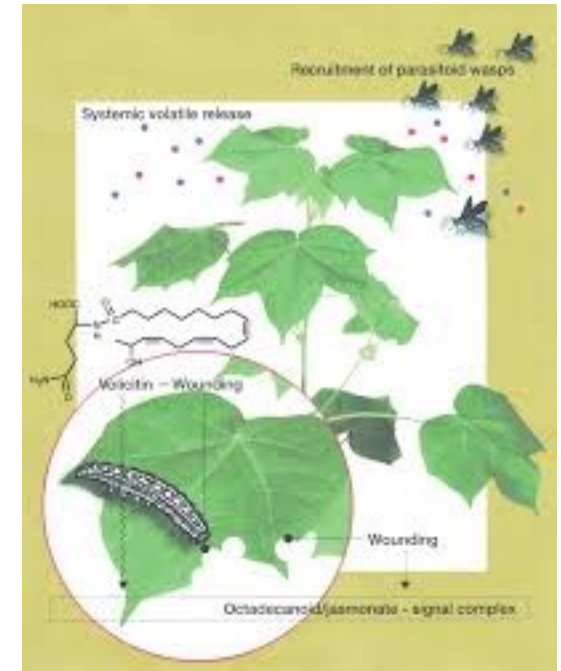


Πτητικά Πράσινων φύλλων - GLVs

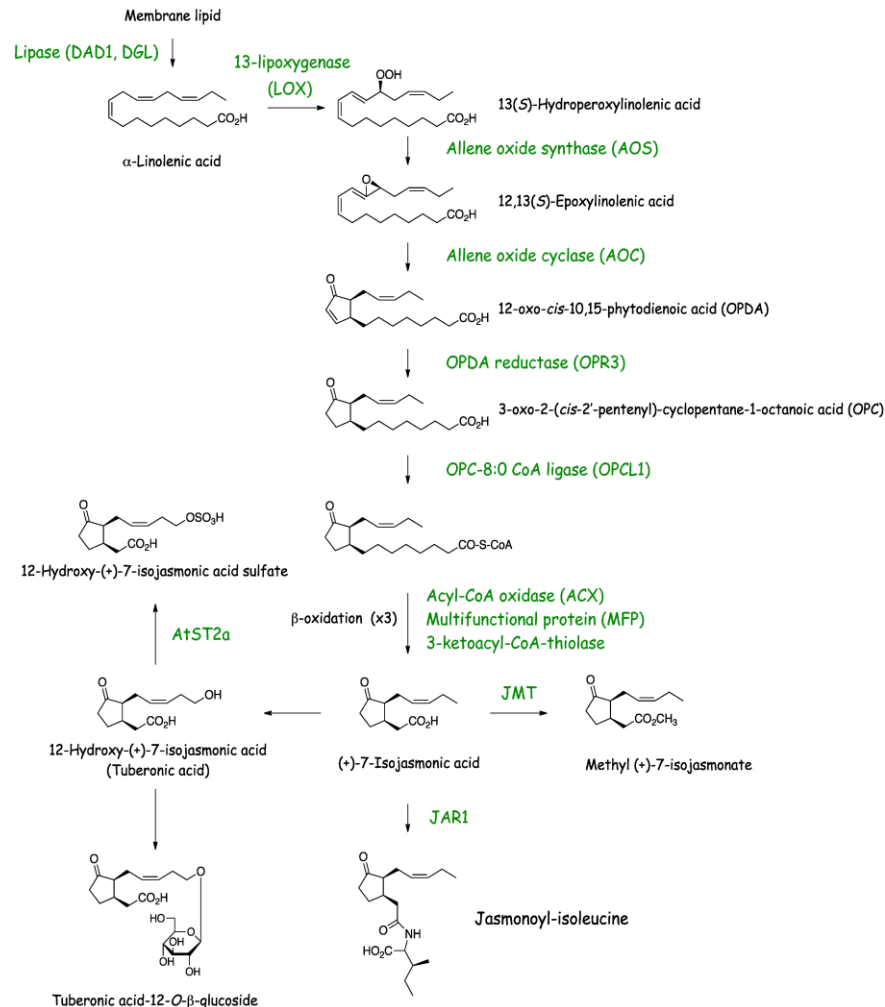
Εκλύονται από όλα τα πράσινα μέρη των φυτών.

Σε ολόκληρα και υγιή φυτά η συγκέντρωσή τους είναι μικρή, όμως η σύνθεσή τους αυξάνεται γρήγορα κατά τη διάρρηξη των ιστών (1-2sec).

Οι ουσίες αυτές αποτελούν τον οδηγό για τους φυτοφάγους οργανισμούς και τους επιτρέπουν να διακρίνουν τις περιοχές όπου βρίσκονται τα πράσινα φυτά από αυτές όπου δεν υπάρχουν.



Ιασμονικό οξύ (1)



Δευτερογενείς μεταβολίτες: Βιοσυνθετικές οδοί και βιολογικός ρόλος

Τμήμα Γεωπονίας



Ιασμονικό οξύ (2)

...και ο μεθυλικός του εστέρας

Έκφραση γονιδίων που σχετίζονται με:

- Σε επίπεδο κυττάρου:
- Σύνθεση φυτοαλεξινών.
 - Σύνθεση φαινολικών ουσιών.
 - Παρεμποδιστές πρωτεασών.
 - Καταστολή γονιδίων.
 - Βιοσύνθεση καροτενοειδών.
 - Παρεμπόδιση σύνθεσης λυκοπενίου.



Ιασμονικό οξύ (3)

Σε επίπεδο οργάνων και οργανισμών:

- Αντοχή σε παθογόνα.
- Αντοχή σε έντομα.
- Ανάπτυξη καρπών.
- Ανάπτυξη σπερμάτων.
- Ανάπτυξη ανθέων.
- Παραγωγή γύρης.
- Δημιουργία κονδύλων.
- Προώθηση εκβλάστησης σπερμάτων από λήθαργο.
- Παρεμπόδιση εκβλάστησης μη ληθαργικών σπερμάτων.
- Συστροφή ελίκων.

Χημικό σήμα εντός/εκτός φυτού.



Πτητικά συστατικά

Στα 1990's τέθηκε το ερώτημα αν οι πτητικές ουσίες που εκλύονται από τα φυτά έχουν κάποια χρησιμότητα ή είναι απλά παραπροϊόντα βασικών διεργασιών τα οποία διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα.

Διερεύνηση βιολογικού ρόλου



Μερικά δεδομένα:

Τα πτητικά παραμένουν στον υπερκείμενο αέρα (headspace) και μπορεί να είναι μόνο δέκα ή >εκατό γύρω από ένα φυτό.

Από τον αέρα γύρω από φύλλα καλαμποκιού έχουν απομονωθεί 24 διαφορετικές ενώσεις, το 75% της συνολικής ποσότητας αποτελούνταν μόνο από επτά διαφορετικά μόρια.

Οι πτητικές ενώσεις γύρω από το φυτό μπορεί να είναι διαφορετικές από αυτές που απομονώνονται από τους φυτικούς ιστούς:
πχ. στο βαμβάκι από **54** διαφορετικά μόρια στην ανάλυση του υπερκείμενου αέρα μόνο **6** εντοπίστηκαν στο αιθέριο έλαιο.



Βιολογικός ρόλος πτητικών συστατικών

- Αναπαραγωγή φυτών.
- Χημική άμυνα.
- Αλληλεπιδράσεις στο τρίτο τροφικό επίπεδο.
- Επικοινωνία μεταξύ φυτών.
- Αντοχή σε αβιοτικές καταπονήσεις: υψηλή T.



Αναπαραγωγή (1)

Ενώ τα άνθη ενός φυτού είναι όμοια ως προς τη μορφή και το χρώμα, διαφέρουν ως προς άρωμα → διαφορετική η σύσταση του μίγματος των πτητικών συστατικών.

Τα πτητικά συστατικά συνήθως είναι 20-60 (έως ...100 ή και μόνο ...1).

Η ρύθμιση σύνθεσης πτητικών γίνεται κυρίως κοντά στις θέσεις έκλυσης → πέταλα

Διαφορετικά πτητικά συστατικά εκλύονται από τα άνθη απ' ό,τι από τους βλαστικούς ιστούς και η σύνθεσή τους γίνεται *in situ* πχ. το γονίδιο που κωδικοποιεί το υπεύθυνο ένζυμο σύνθεσής του βενζοϊκού μεθυλίου απαντάται αποκλειστικά στα επιδερμικά κύτταρα των πετάλων του *Antirrhinum majus* και μάλιστα η συγκέντρωση του ενζύμου είναι μεγαλύτερη στο μονοπάτι που ακολουθεί η μέλισσα για να φτάσει στο ν έ κ τ α ρ.



Αναπαραγωγή (2)

Πτητικά συστατικά που εκλύονται από άνθη αυτογονιμοποιούμενων φυτών (π.χ. *Arabidopsis*) μπορεί να έχουν διαφορετικό ρόλο.

Πτητικά συστατικά εκλύονται και από τους καρπούς...



Τα πτητικά συστατικά στην άμυνα (1)

- Απωθούν τα φυτοφάγα και /ή έλκουν τα αρπακτικά αρθρόποδα.
- Χρησιμοποιούνται από τα φυτοφάγα για να εντοπίσουν τη λεία τους.
- Παραλαμβάνονται από διπλανά φυτά ακόμα ανέπαφα ώστε να ρυθμίσουν αναλόγως το φαινότυπο άμυνας;;;
Αντιφατικά αποτελέσματα:
 - Συνθήκες εργαστηρίου.
 - Μηχανικός τραυματισμός.
 - Χρήση πτητικών σε μεγάλες συγκεντρώσεις.



Τα πτητικά συστατικά στην άμυνα (2)

Τα πτητικά συστατικά που εκλύονται **πριν** την επίθεση του φυτοφάγου:

Λειτουργούν:

άμεσα απωθώντας τα φυτοφάγα

ή

έμμεσα «καλώντας σε βοήθεια»

Υπάρχει και η περίπτωση να έλκουν το φυτοφάγο.

Τα πτητικά συστατικά που εκλύονται **μετά** την επίθεση του φυτοφάγου:

Η επίθεση από φυτοφάγα προκαλεί τη παραγωγή μίγματος πτητικών συστατικών:

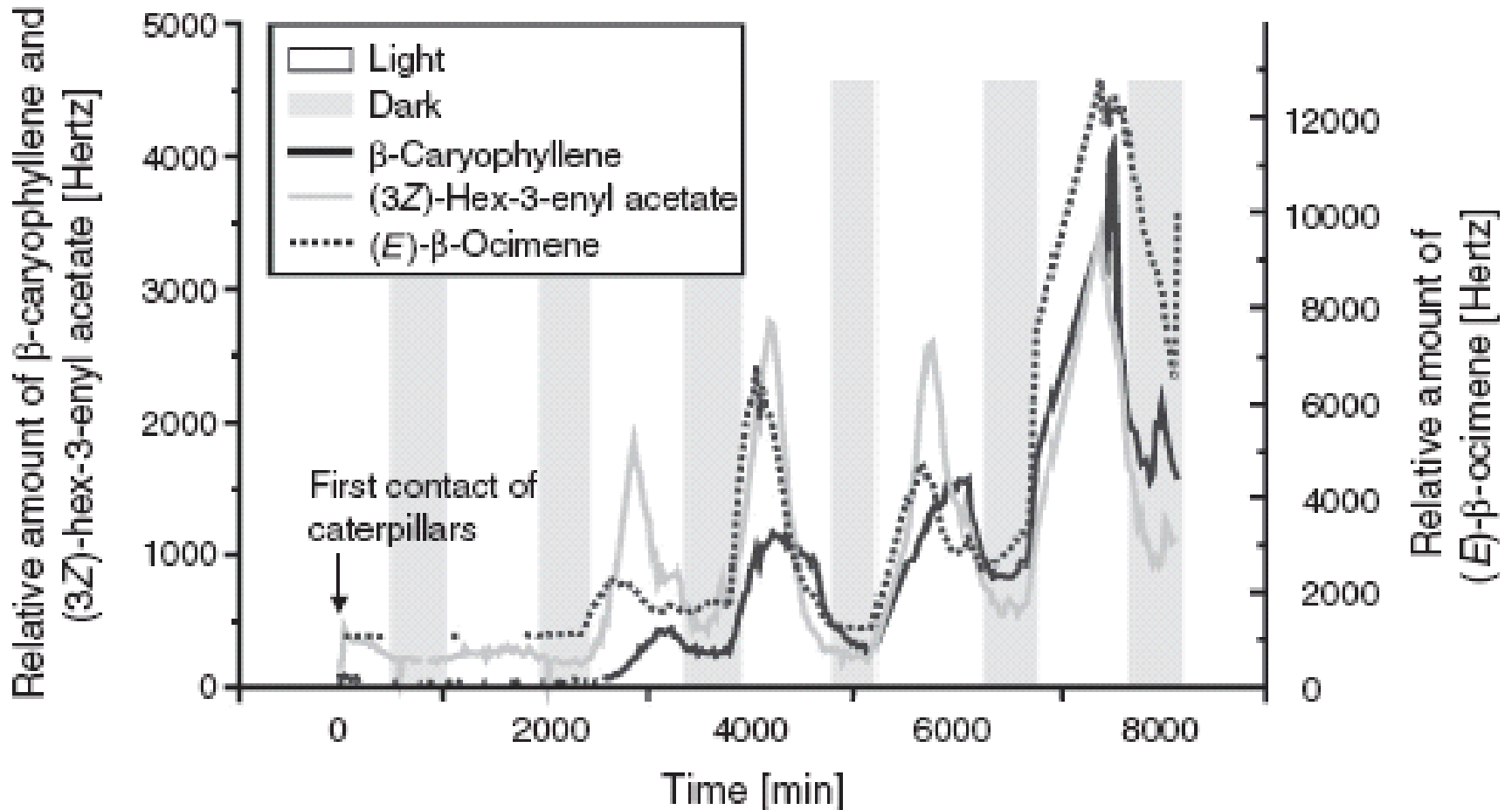
Μεταβολικές οδοί λιποξυγενάσης

σύνθεσης τερπενοειδών
σικιμικού οξέος.

Άμεσα εκλύονται τα GLVs

ενώ η έκλυση τερπένιων, ινδόλης, και μεθυλ-σαλικικλού απαιτεί μερικές ώρες.

HIPV emission by lima beans leaves during insect feeding



Τα πτητικά συστατικά στην άμυνα (4)

Τα πτητικά συστατικά θεωρούνται πιο δραστικά ως αμυντικός μηχανισμός σε πολυφάγους φυτοφάγους οργανισμούς.

Αντιθέτως οι μονόφαγοι οργανισμοί συχνά στηρίζονται στα ίδια πτητικά σήματα για να βρουν την τροφή τους.



Αντιθέτως οι μονόφαγοι οργανισμοί συχνά στηρίζονται στα ίδια πτητικά σήματα για να βρουν την τροφή τους...



Δευτερογενείς μεταβολίτες: Βιοσυνθετικές οδοί και βιολογικός ρόλος

Τμήμα Γεωπονίας



Τρίτου επιπέδου τροφικές αλληλεπιδράσεις

Τρίτου επιπέδου τροφικές αλληλεπιδράσεις έχουν καταγραφεί για 23 είδη φυτών (από μονοετή μικρά έως αιωνόβια δένδρα) με διάφορα φυτοφάγα και τους φυσικούς τους εχθρούς .

Φυτό – κάμπια – παράσιτο.

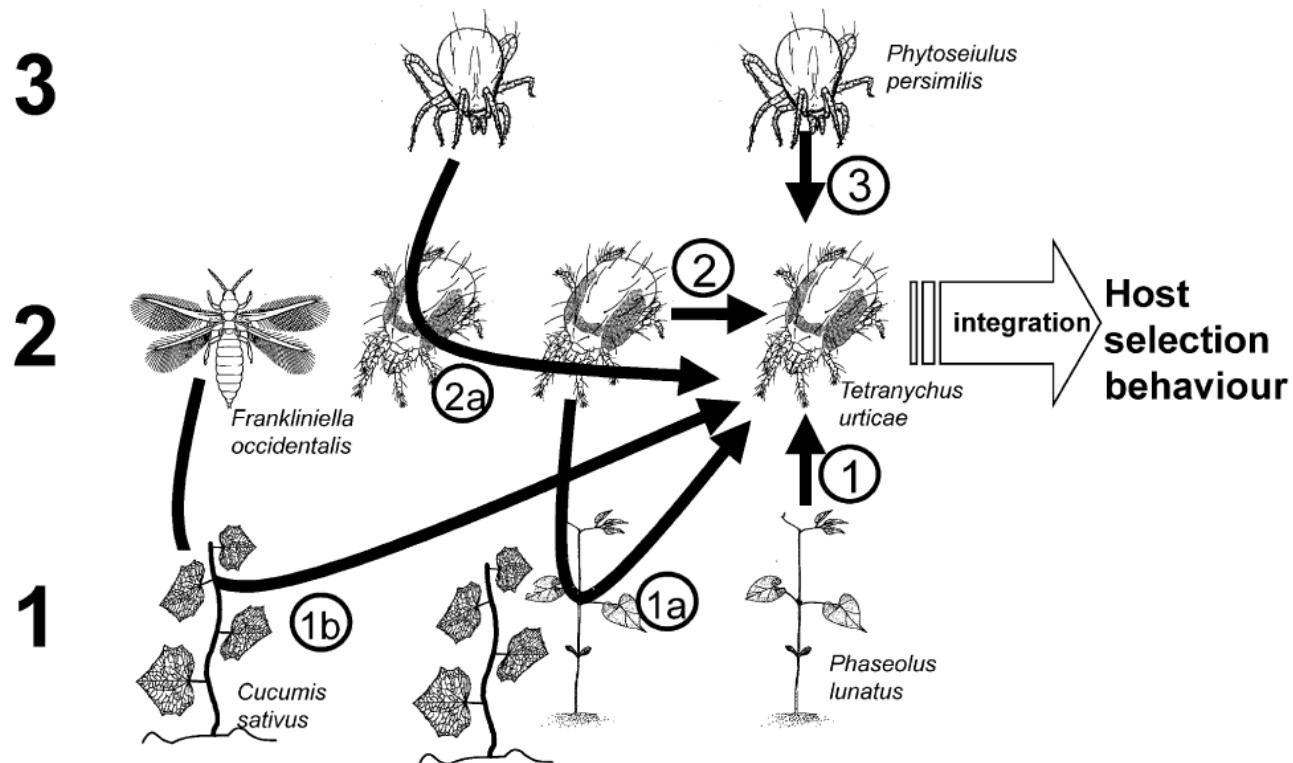
Φυτό – κάμπια – αρπακτικό.

Εκλύονται πτητικά συστατικά που έλκουν αρπακτικά ή/και διαφορετικά πτητικά που έλκουν ωοπαρασιτικά έντομα.



Ένα καλά μελετημένο παράδειγμα

Trophic level



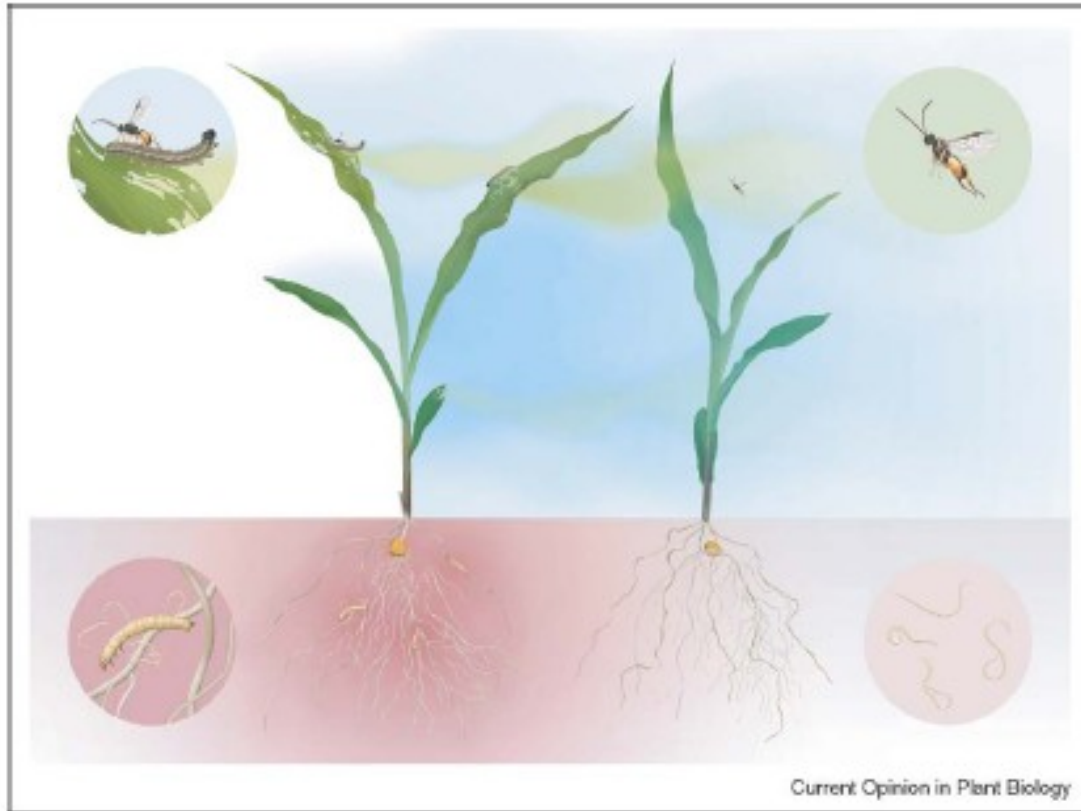
Πληροφορίες από διαφορετικά τροφικά επίπεδα διαμορφώνουν την επιλογή του κατάλληλου ξενιστή για το *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae).

Δευτερογενείς μεταβολίτες: Βιοσυνθετικές οδοί και βιολογικός ρόλος

Τμήμα Γεωπονίας



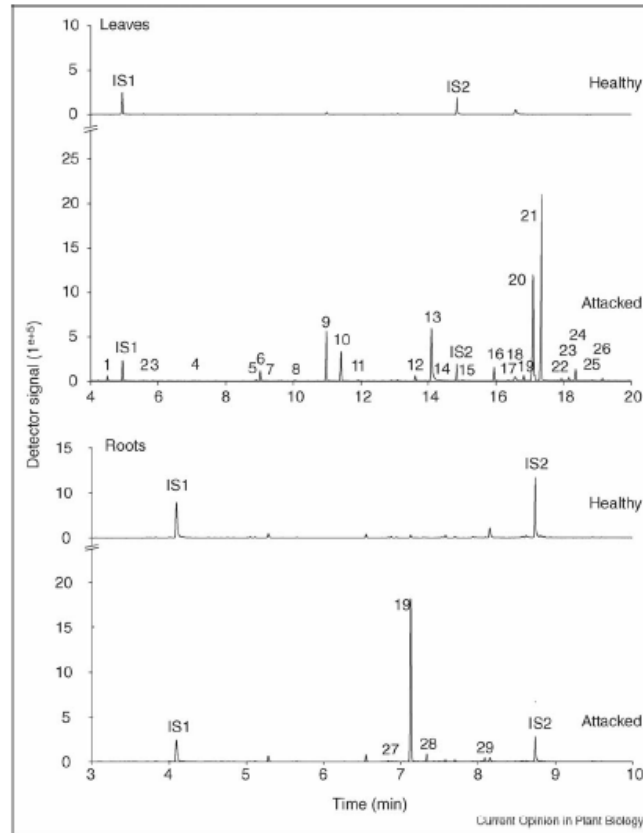
Έκλυση τερπενοειδών από φυτά καλαμποκιού



Νεαρά φυτά καλαμποκιού εκλύουν τερπενοειδή και φαινολικά συστατικά μετά την επίθεση του λεπιδόπτερου *Spodoptera littoralis* στα φύλλα, ενώ επιπλέον όταν δέχονται επίθεση από το *Diabrotica virgifera virgifera* στη ρίζα εκκρίνουν αντίστοιχης σύστασης ουσίες και κυρίως καρυοφυλένιο, το οποίο προσελκύει εντομοφάγους νηματώδεις (Ted CJ Turlings and Jurriaan Ton, 2006).



Τυπικά χρωματογραφήματα πτητικών σημάτων που προέρχονται από υγιή και προσβεβλημένα από έντομα φυτά καλαμποκιού



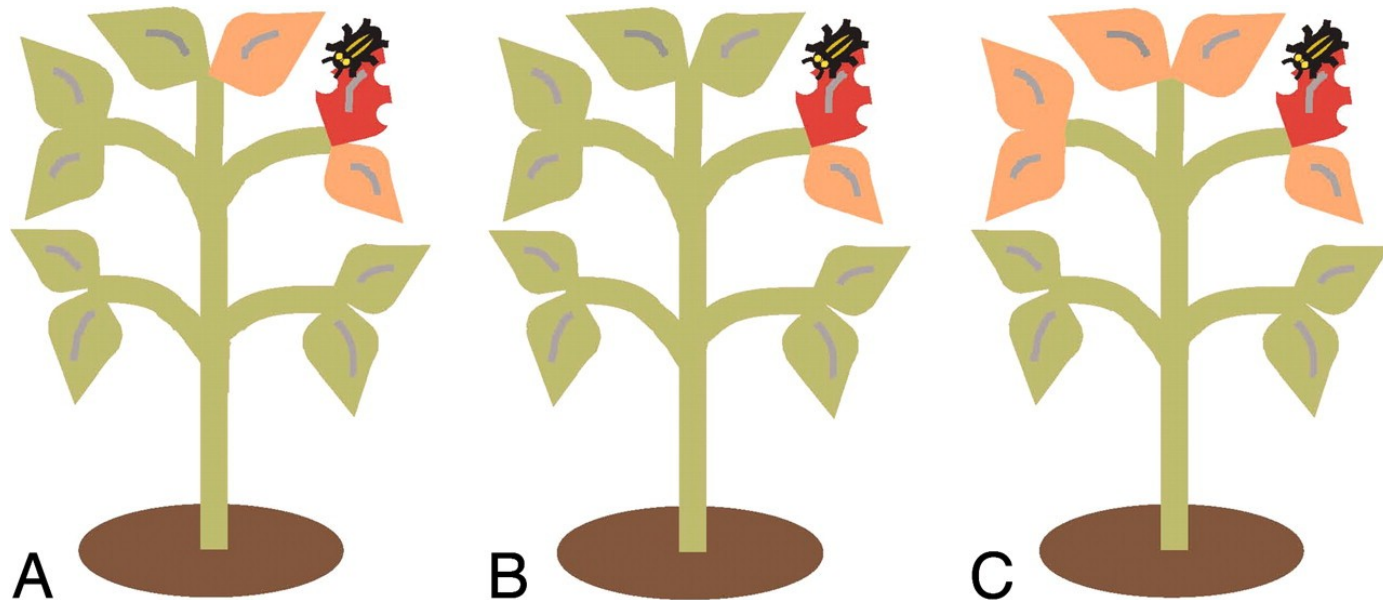
Typical chromatograms of volatiles collected from healthy and herbivore-damaged maize plants. The second chromatogram is from volatiles emitted by maize leaves that have been attacked by caterpillars and the fourth chromatogram is from roots attacked by beetle larvae. The labelled compounds are: 1) (Z)-3-hexenal, 2) (E)-2-hexenal, 3) (Z)-3-hexenol, 4) (Z)-2-penten-1-ol acetate^N, 5) β-myrcene, 6) (Z)-3-hexenyl-acetate, 7) (E)-2-hexenyl acetate, 8) (Z)-β-ocimene, 9) linalool, 10) (3E)-4,8-dimethyl-1,3,7-nonatriene, 11) benzyl acetate, 12) phenethyl acetate, 13) indole, 14) unknown, 15) methyl anthranilate, 16) geranyl acetate, 17) unknown, 18) unknown, 19) (E)-β-caryophyllene, 20) (E)-α-bergamotene, 21) (E)-β-farnesene, 22) unknown sesquiterpenoid, 23) unknown sesquiterpenoid, 24) β-sesquiphellandrene^N, 25) (E)-nerolidol, 26) (3E, 7E)-4,8,12-trimethyl-1,3,7,11-tridecatetraene, 27) (-)-α-copaene^N, 28) α-humulene^N, 29) caryophyllene-oxide^N. IS1 and IS2, internal standards (n-octane and nonyl-acetate). ^NTentative identification.

Δευτερογενείς μεταβολίτες: Βιοσυνθετικές οδοί και βιολογικός ρόλος

Τμήμα Γεωπονίας



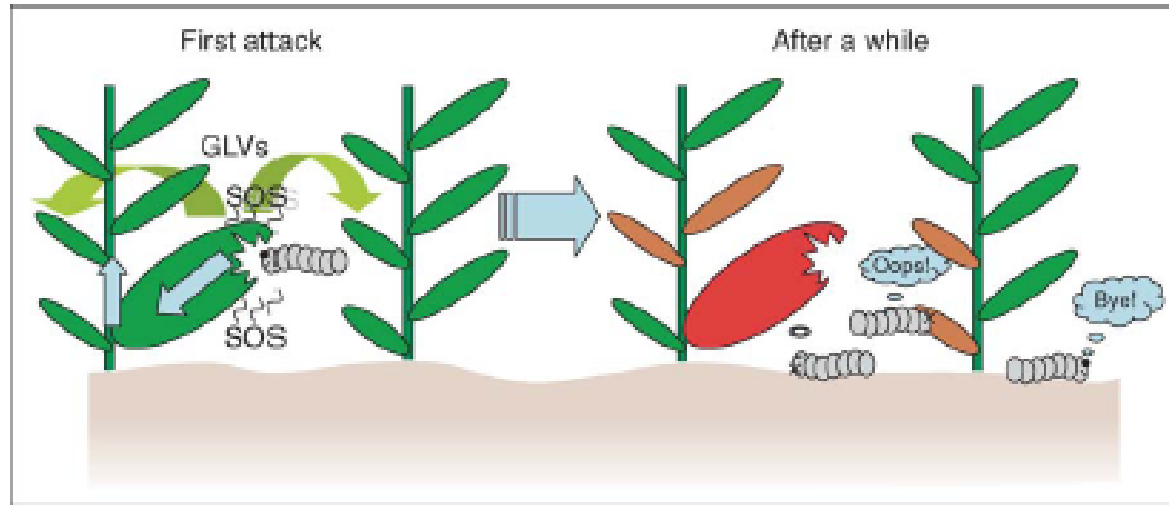
Σήμανση συναγερμού



Τα μέτρα άμυνας μπορεί να έχουν υψηλό κόστος γι' αυτό μόνο το μέρος του φυλλώματος που ενδέχεται να δεχθεί άμυνα πρέπει να είναι καλά εξοπλισμένο.



Τα πτητικά σήματα των πράσινων φύλλων μπορεί να λειτουργούν ως σήματα για το ίδιο το φυτό ή μεταξύ των φυτών



GLVs might function as intra- and interplant volatile signals. When leaves are damaged by herbivores, they begin to form GLVs. A portion of these GLVs diffuse into the leaves and induce defense responses (indicated in red). The others are vaporized and reach other leaves of the same or neighboring plants, where they might induce a defense response.



«Ομιλούντα Δένδρα»

4 βήματα για να λειτουργεί μια πτητική ουσία ως σήμα μεταξύ φυτών:

- Η απελευθέρωση από το φυτό πομπό.
- Η μεταφορά στην ατμόσφαιρα.
- Η απορρόφηση από το φυτό δέκτη.
- Η αντίληψη του σήματος από το φυτό δέκτη.

Priming plant defenses

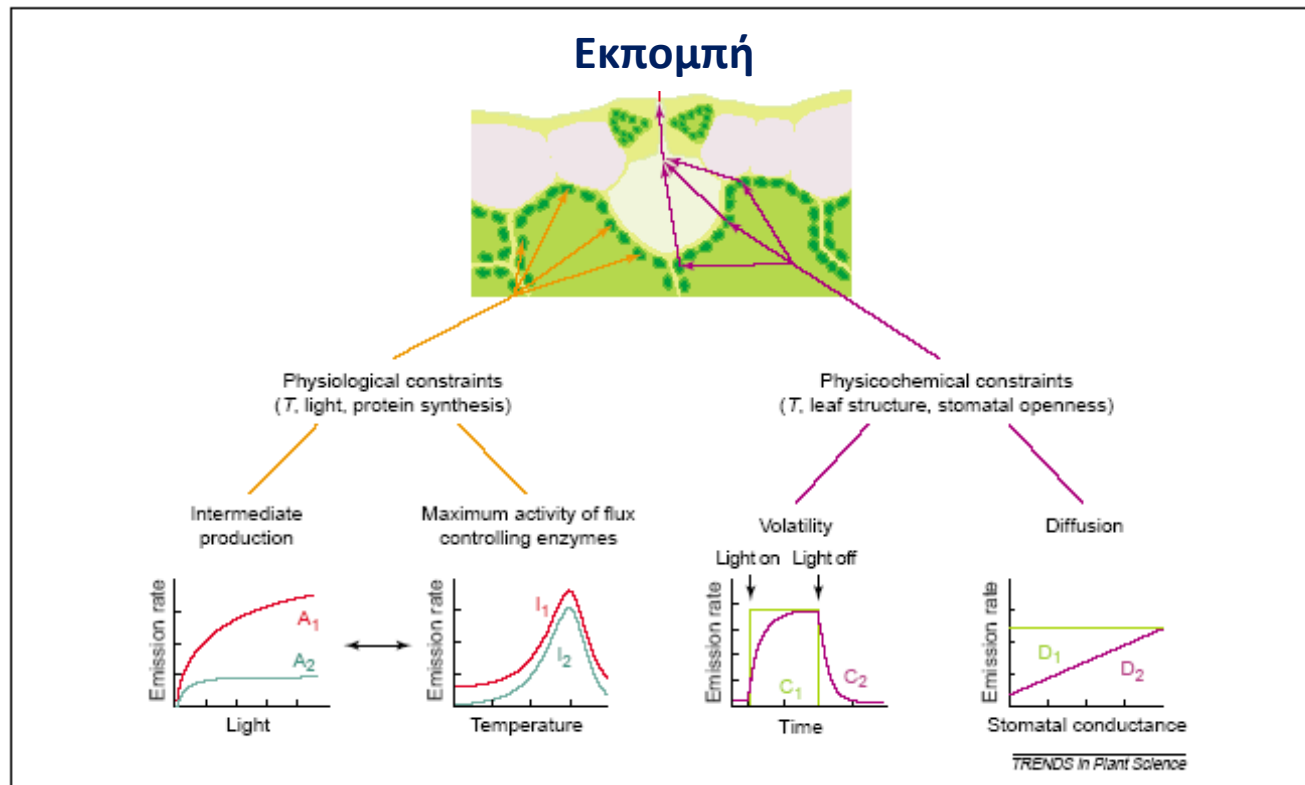


Απελευθέρωση από το φυτό πομπό

Η απελευθέρωση από το φυτό πομπό εξαρτάται από:

Φυσιολογικές παραμέτρους.

Φυσικοχημικούς περιορισμούς.



Δευτερογενείς μεταβολίτες: Βιοσυνθετικές οδοί και βιολογικός ρόλος

Τμήμα Γεωπονίας

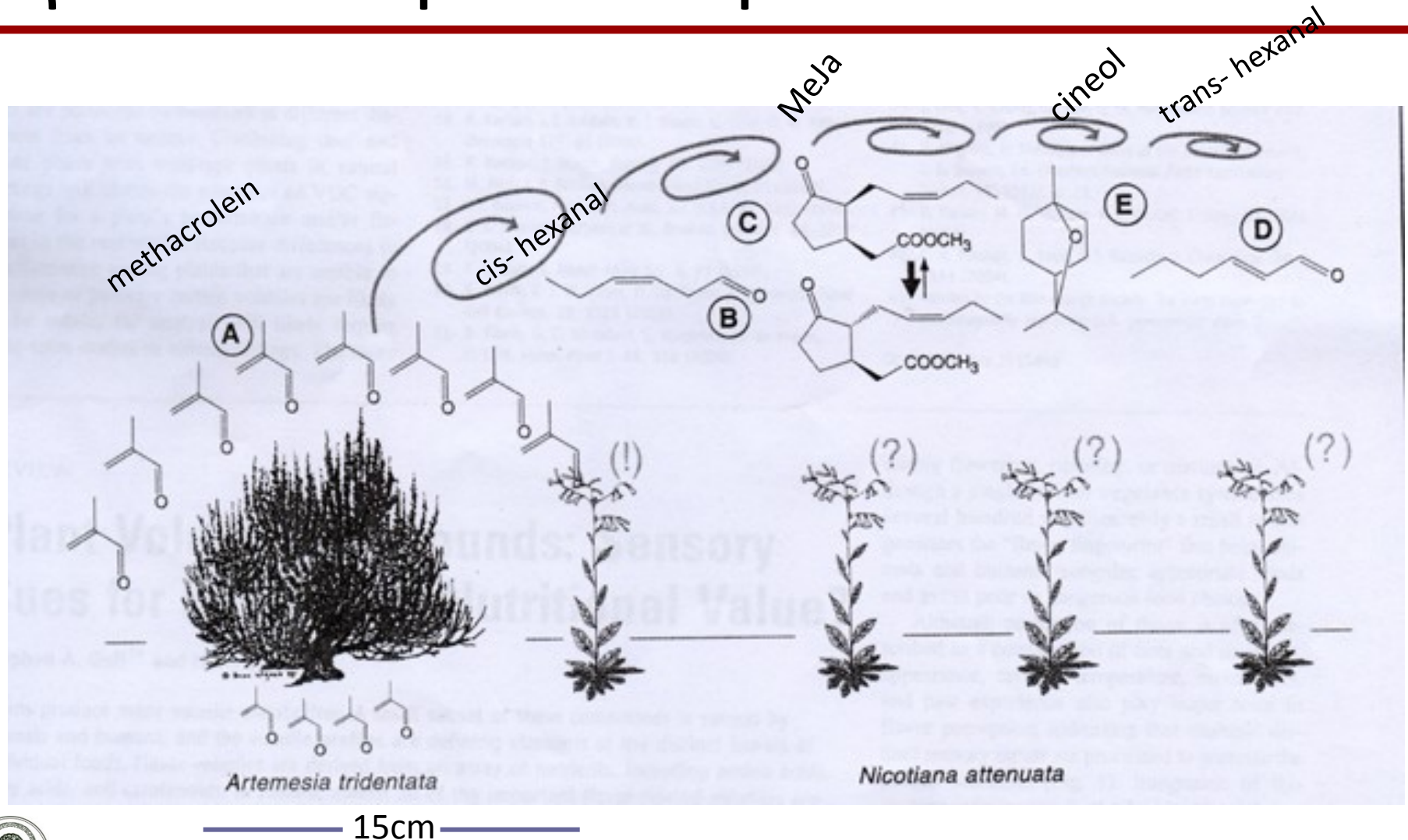
Μεταφορά στον αέρα

Η μεταφορά στον αέρα εξαρτάται από:

- Ατμοσφαιρικές συνθήκες:
 - Θερμοκρασία.
 - Άνεμος.
- Φυσικοχημικές ιδιότητες του πτητικού συστατικού
 - ΜΒ.
 - Οξείδωση ή διαλυτοποίηση.
- Απελευθερούμενη ποσότητα.



Το φυτό *Artemisia tridentata* εκλύει πτητικά σήματα που γίνονται αντιληπτά από το φυτό *Nicotiana attenuata*



Προσρόφηση και αντίληψη του σήματος από το φυτό-δέκτη

Η προσρόφηση από το φυτό δέκτη:

Πτητικότητα.

Ρυθμός διάχυσης.

Στοματική αγωγιμότητα.

Η αντίληψη του σήματος από το φυτό δέκτη:

υποδοχέας ???

Σήματα με ορμονική λειτουργία MeSA, MeJa, ethylene, GLVs...

Ποσότητα;

Ως σήμα μπορεί να λειτουργήσει και η απουσία κάποιας πτητικής ουσίας από το μίγμα εκπομπής του φυτού-πομπού.



Φυτό αυτοφυούς καπνού (*N. attenuata*) δίπλα σε φυτό *A. tridentata* στην έρημο Utah

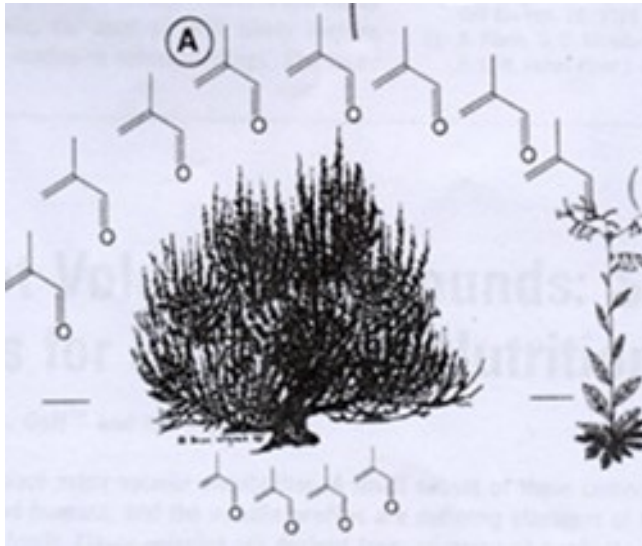


Δευτερογενείς μεταβολίτες: Βιοσυνθετικές οδοί και βιολογικός ρόλος

Τμήμα Γεωπονίας



Το μίγμα πτητικών ουσιών διαμορφώνεται από: (1)



Βιοτικές καταπονήσεις.

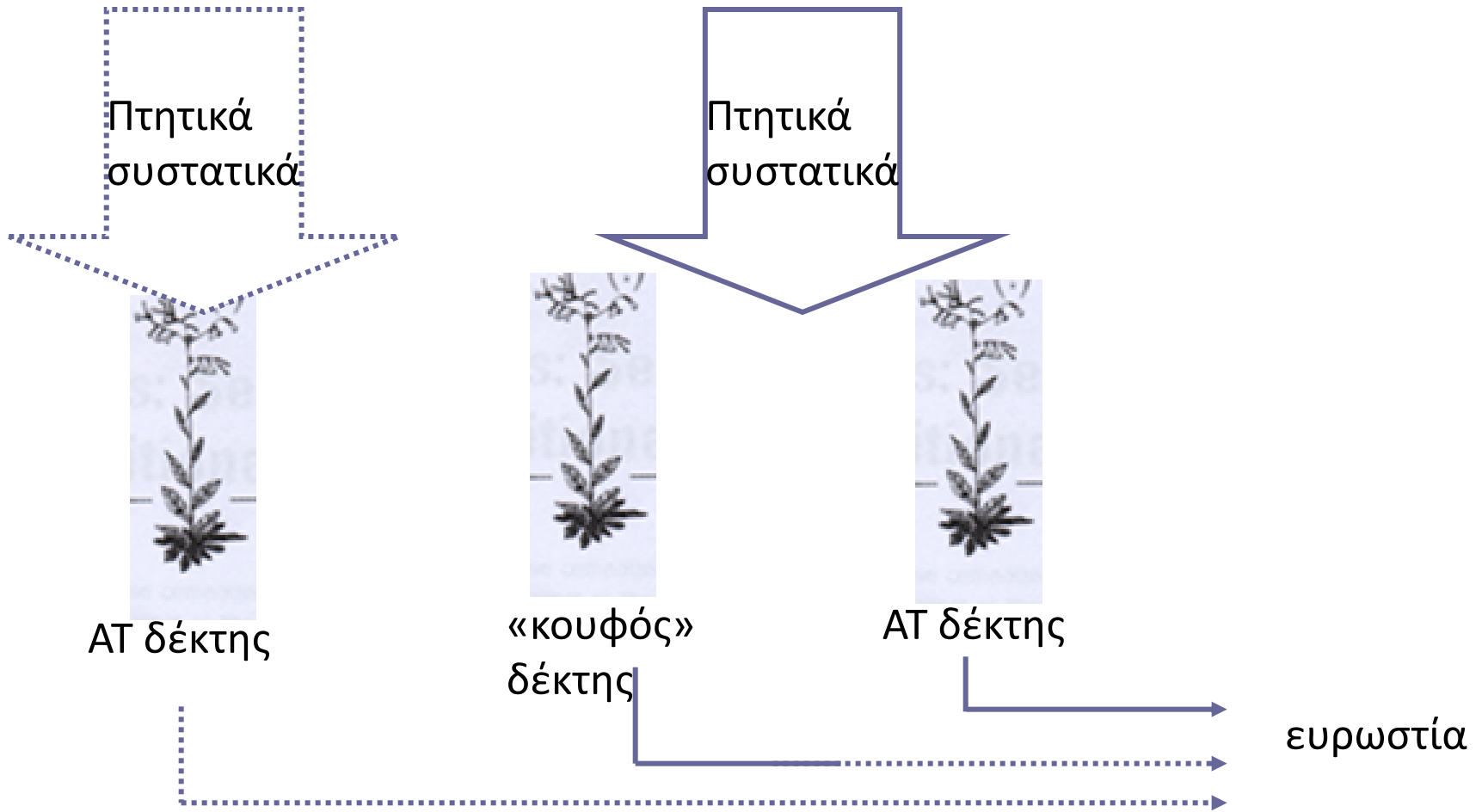
- Φυτοφάγοι εχθροί.
- Παθογόνα.
- Ανταγωνιστές.
- Επικονιαστές.

Αβιοτικές καταπονήσεις.

- Θερμοκρασία.
- Ακτινοβολία.
- Υγρασία.
- Όζον.
- Θρεπτικά στοιχεία.



Το μίγμα πτητικών ουσιών διαμορφώνεται από: (2)



«Επικοινωνία» φυτού προς φυτό (1)

Explaining evolution of plant communication by airborne signals

Martin Heil¹ and Richard Karban²

Ποιο είναι το όφελος της έκλυσης πτητικών για το φυτό-πομπό;;;

Σε επίπεδο πληθυσμού ίσως μειώνεται η πίεση από τα φυτοφάγα, σε επίπεδο φυτού –πομπού όμως δεν διαφαίνεται θετική επίδραση.

Πόσο διαδεδομένο είναι το φαινόμενο της εναέριας μεταφοράς σήματος;;;

Τα φυτά στο πεδίο είναι σε κατάσταση προετοιμασίας, διέγερσης ή μη. Ποια είδη φυτών ανταποκρίνονται;



«Επικοινωνία» φυτού προς φυτό (2)

Μπορεί η επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών ιστών του ίδιου φυτού να είναι ο λόγος ύπαρξης των VOC;;;

Ισχύει για πολύπλοκης ανατομίας φυτά ή σε φυτά άνυδρων περιοχών;;;

Η εναέρια επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών ειδών είναι ο κανόνας ή η εξαίρεση;;;

Δεν ανταποκρίνονται όλα τα γειτονικά φυτά και τα δεδομένα για διαφορετικά συστήματα όπου ισχύει είναι ακόμα περιορισμένα.

Πόσο μακριά μπορεί να ταξιδέψει ένα σήμα;;;

Η απόσταση είναι κρίσιμος παράγοντας δεδομένου ότι οι αβιοτικές συνθήκες μπορούν να είναι καθοριστικές.

Μπορούν τα φυτά να αποφύγουν την αυτό-επαγωγή ;;;



«Επικοινωνία» φυτού προς φυτό (3)

Πρόκειται για πραγματική επικοινωνία μεταξύ φυτών

ή απλώς

το φυτό-δέκτης «κρυφακούει»;;;;;;



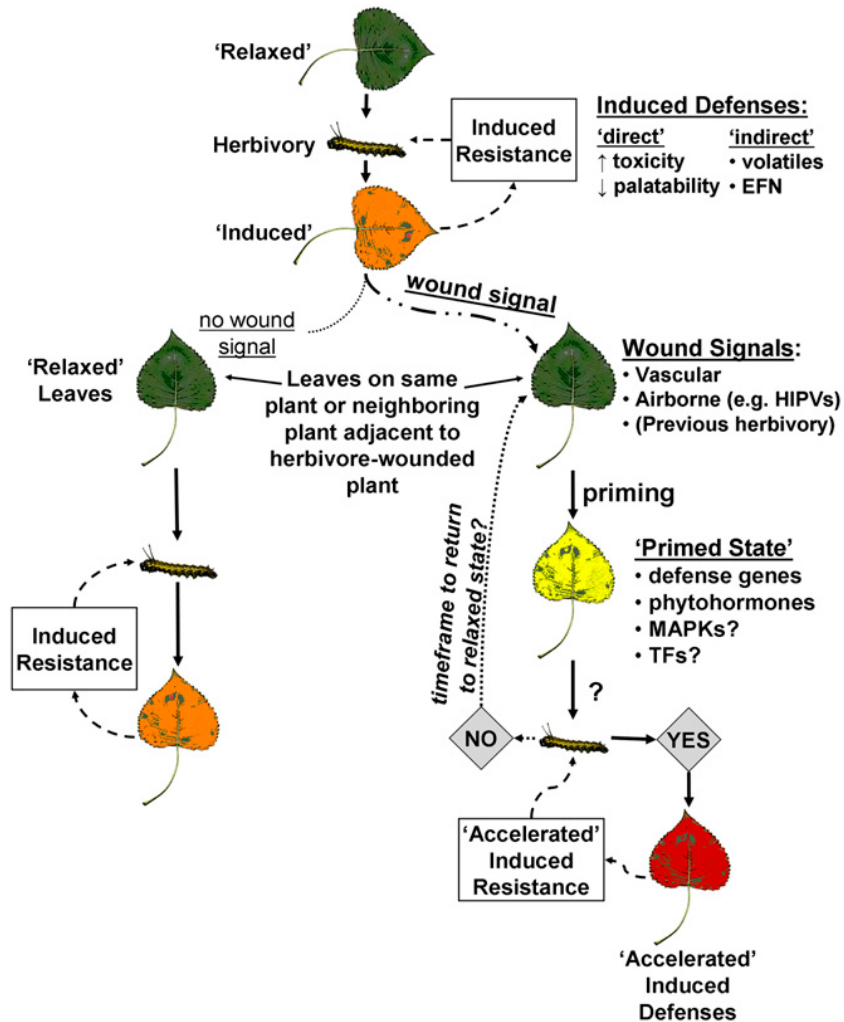
Το φαινόμενο της γόμωσης/ευαισθητοποίησης (priming)

- Φυτά του ίδιου είδους με το προσβεβλημένο φυτό αντιλαμβάνονται την ύπαρξη εχθρού της «οικογένειας» και μπορεί να παράγουν **ειδικούς δευτερογενείς μεταβολίτες** για τον συγκεκριμένο εχθρό (ειδική άμυνα).
- Ενώ φυτά διαφορετικής οικογένειας επάγουν μηχανισμό **γενικής άμυνας**.

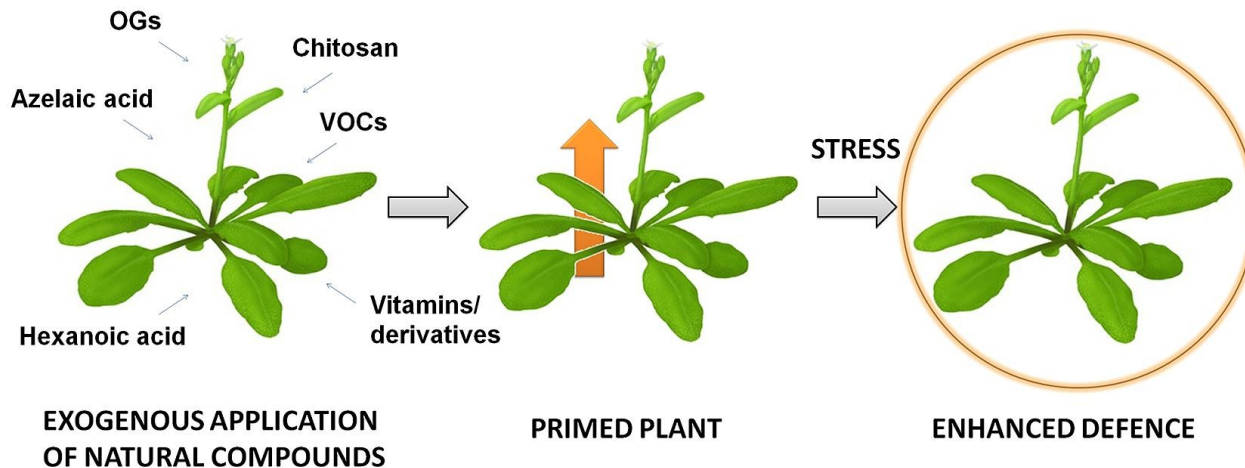
Ueda et al., 2012



Priming: Έσω έτοιμος!!!



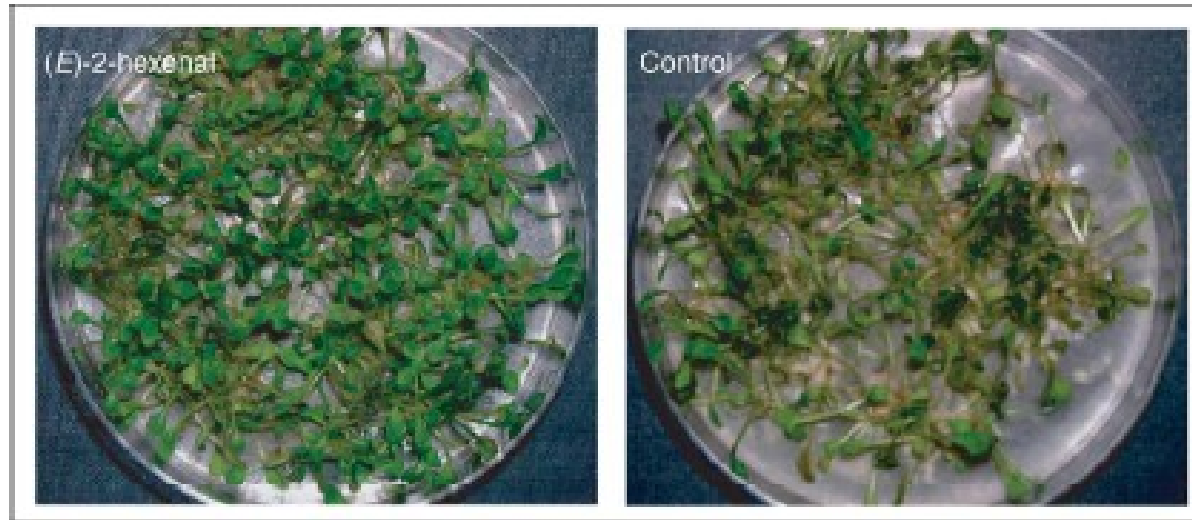
Ευαισθητοποίηση (priming) με ουσίες φυτικής προέλευσης



Wide-ranging ways of inducing priming are known: infection by pathogens, colonization of roots by beneficial microbes, treatment with natural or synthetic chemicals, primary metabolism alteration and perception of certain volatile organic compounds (VOCs; [Conrath et al., 2006](#)).



Τα πτητικά συστατικά ενισχύουν την άμυνα και έναντι παθογόνων

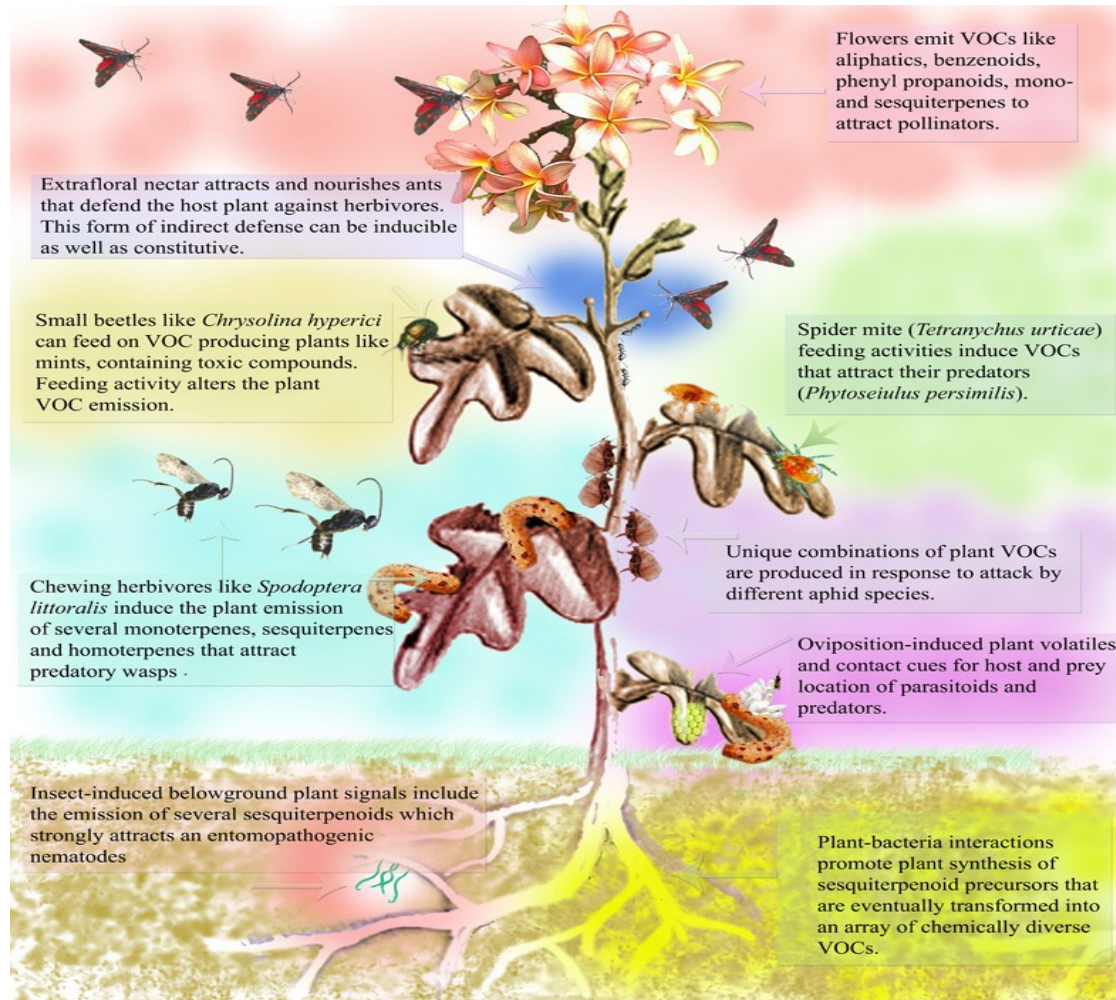


Effect of treatment with vaporized (*E*)-2-hexenal on the susceptibility of *Arabidopsis* seedlings to a necrotrophic fungal pathogen, *Botrytis cinerea*. Three-week old *Arabidopsis* seedlings were treated with 1 $\mu\text{mol/L}$ (*E*)-2-hexenal for 24 h then sprayed with conidia of *B. cinerea*. Photographs were taken 48 h later.



The plant volatilome

M. Maffei

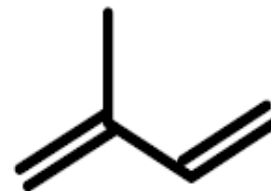


Τι συμβαίνει με τα πτητικά στην ατμόσφαιρα;

36% του άνθρακα που αφομοιώνεται μέσω της φωτοσύνθεσης επιστρέφει στην ατμόσφαιρα μέσω της έκλυσης πτητικών ουσιών.

Species	Estimated annual global emission [10 ¹² g C]	Reactivity (atmospheric lifetime) [h]	Atmospheric concentrations	Example
Isoprene	175–503	4.8	pmol mol ⁻¹ to several nmol mol ⁻¹	α-Pinene, β-pinene, limonene 2-Methyl-3-buten-2-ol, hexenal, acetaldehyde Methanol, ethanol, formic acid, acetic acid, acetone
Monoterpenes	127–480	2.4–4.8	pmol mol ⁻¹ to several nmol mol ⁻¹	
Other reactive BVOCs	~260	<24.0	1–3 nmol mol ⁻¹	
Other less reactive BVOCs	~260	>24.0	2–30 nmol mol ⁻¹	
Ethylene	1–20	45.6	pmol mol ⁻¹ to several nmol mol ⁻¹	

Το μεγαλύτερο ποσοστό υδρογονανθράκων που εκλύονται είναι σε μορφή



ισοπρενίου

Ισοπρένιο (1)

Εμπλέκεται σε αντίδραση θερμο-ανθεκτικότητας.

Δεν εκλύουν όλα τα φυτά ισοπρένιο.

Δένδρα και μάλιστα τα εξωτερικά και σε υψηλή θέση φύλλα τους εκλύουν.

Καλλιεργούμενα φυτά δεν εκλύουν διότι έχουν υψηλή στοματική αγωγιμότητα.

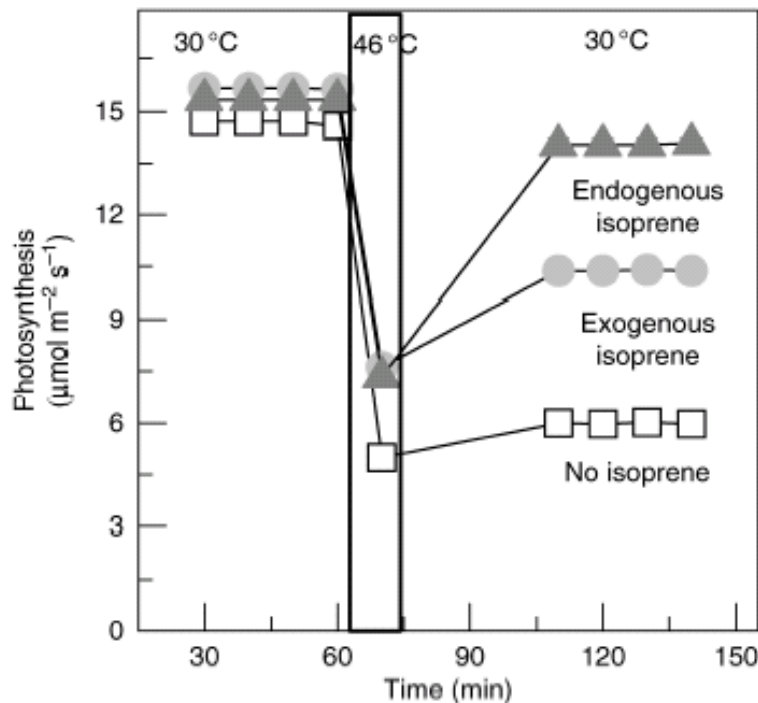
Τα φυτά στην καυτή έρημο δεν εκλύουν ισοπρένιο.



Ισοπρένιο (2)

Θερμο-ανθεκτικότητα:

Προστατεύει απέναντι στη θερμοπληξία που συνδέεται με την ακτινοβολία, ενώ ο άνθρακας (C) που χρησιμοποιείται για τη σύνθεση του προέρχεται κατευθείαν από το κύκλο του Calvin.



Απαιτούνται 20 ATP και 14 NADPH/μόριο.

Συμφέρει???

Μέχρι 16% επιπλέον στη φωτοσυνθετική λειτουργία καταγράφηκε όταν δεν είχε αδρανοποιηθεί η σύνθεση/έκλυση ισοπρενίου.



Ισοπρένιο (3)

Επιπλέον: προστασία από ενεργές ρίζες οξυγόνου ROS.

Ευρήματα ότι το ισοπρένιο:

- Εμποδίζει την εμφάνιση συμπτωμάτων που προκαλεί το όζον.
- Εμποδίζει τη μείωση της φωτοσυνθετικής λειτουργίας λόγω ROS.

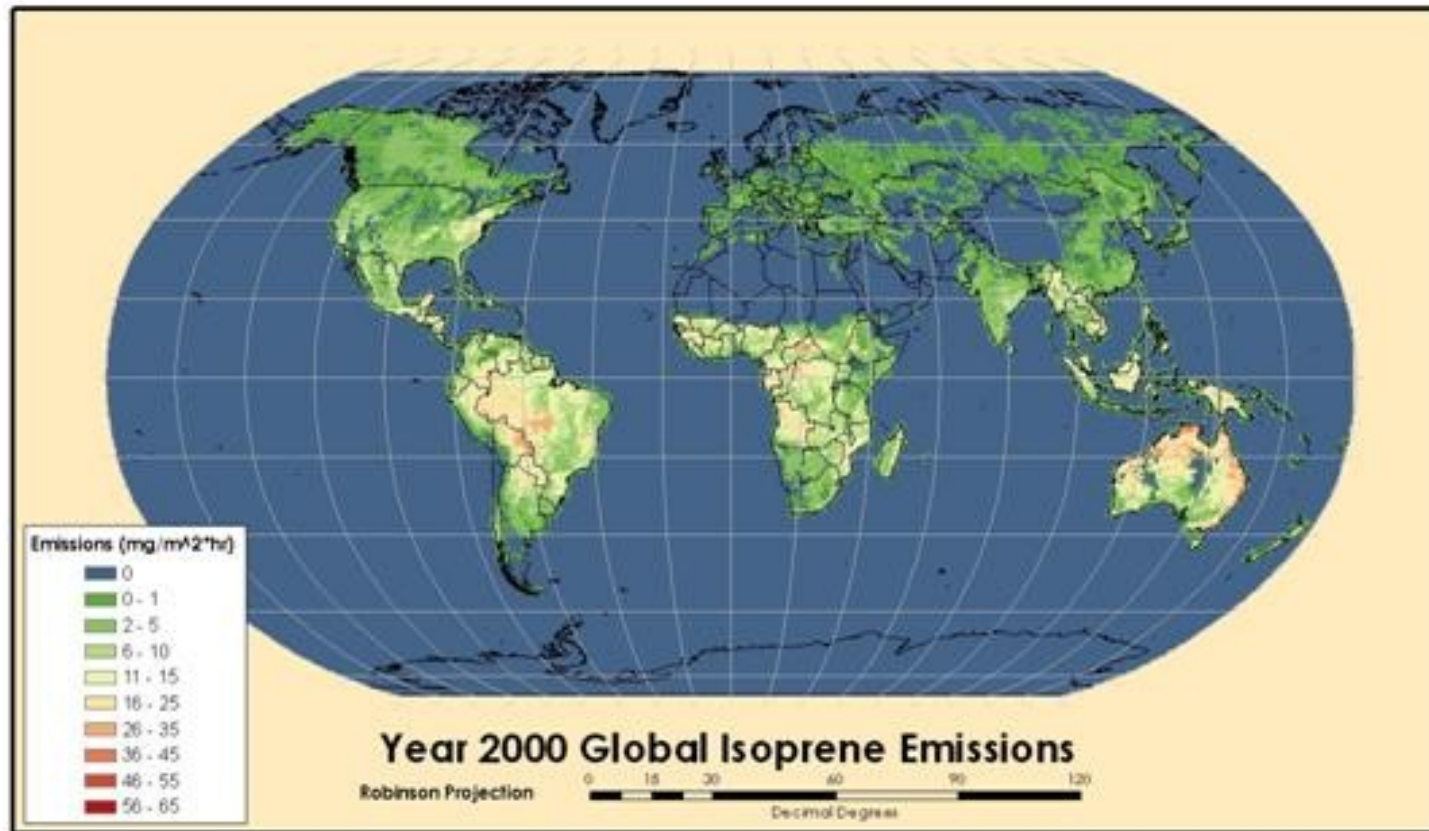
Παρόλα αυτά:

Η έκλυση ισοπρενίου επάγεται σε υψηλές T, όχι όμως και σε υψηλά επίπεδα όζοντος υποδεικνύοντας ότι η βασική λειτουργία είναι θερμοανθεκτικότητα και ότι εξελικτικά ακόμα δεν έχει γίνει επιλογή για ανταπόκριση από ισοπρένιο σε υψηλές [ROS].

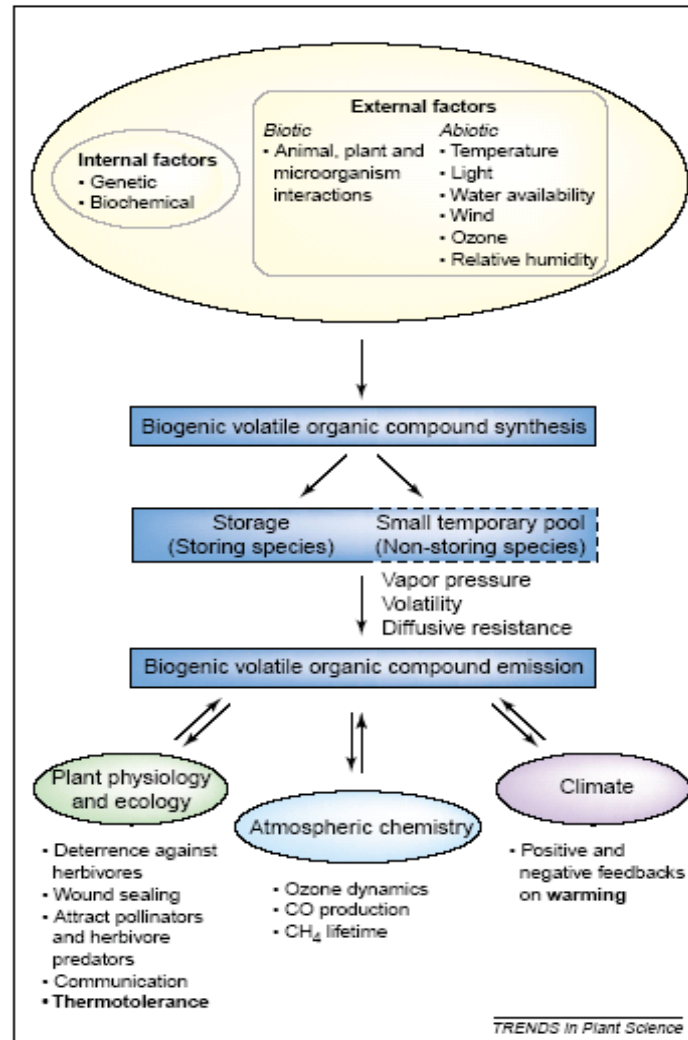
Ο τρόπος δράσης του ισοπρενίου είναι υπό διερεύνηση.



Παγκόσμια κατανομή των εκπομπών ισοπρενίου για το έτος 2000



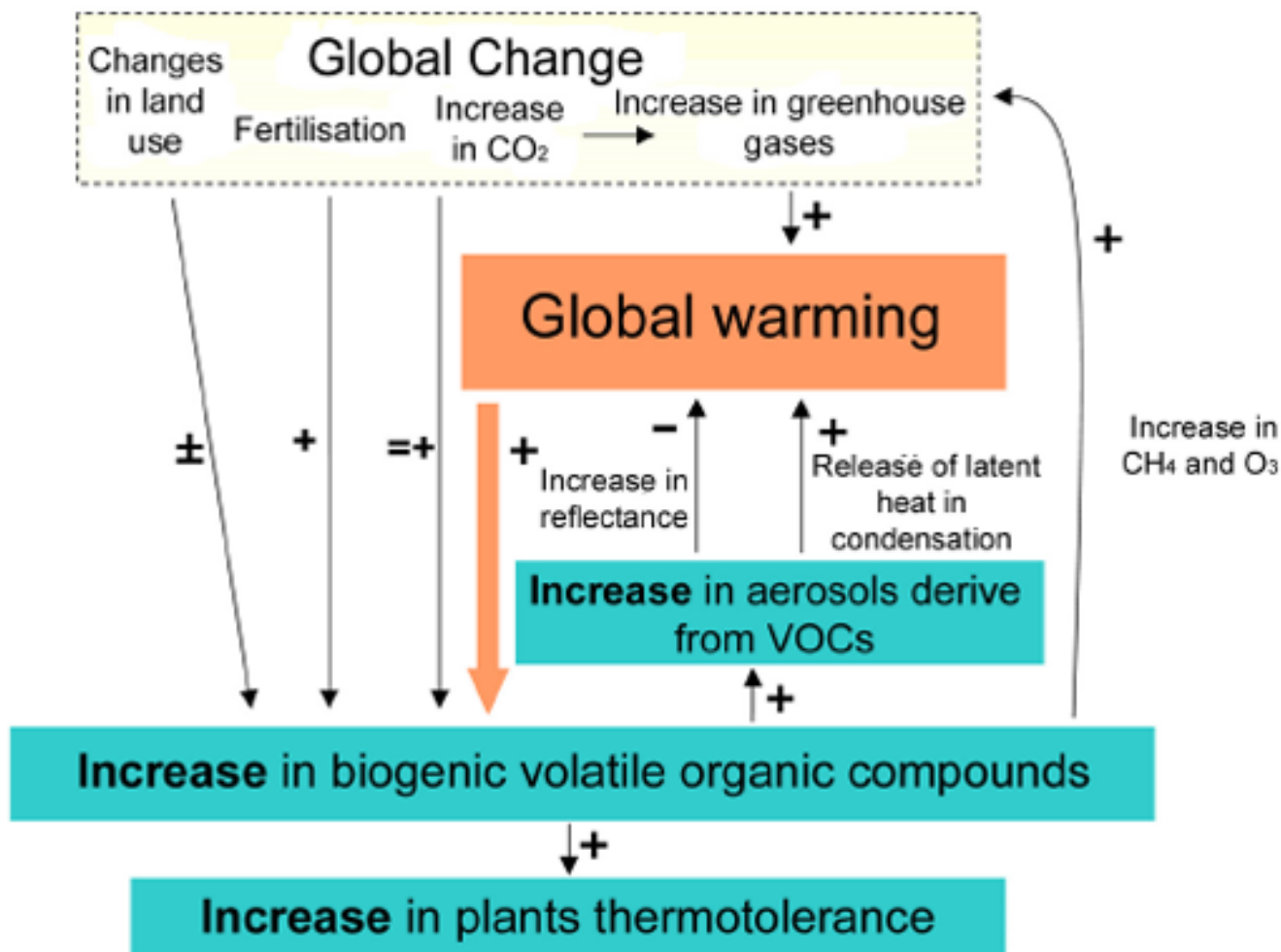
Παράγοντες που επιδρούν στη έκλυση πτητικών συστατικών και οι φυσικο-χημικές, βιολογικές μεταβολές που προκαλούνται από αυτές



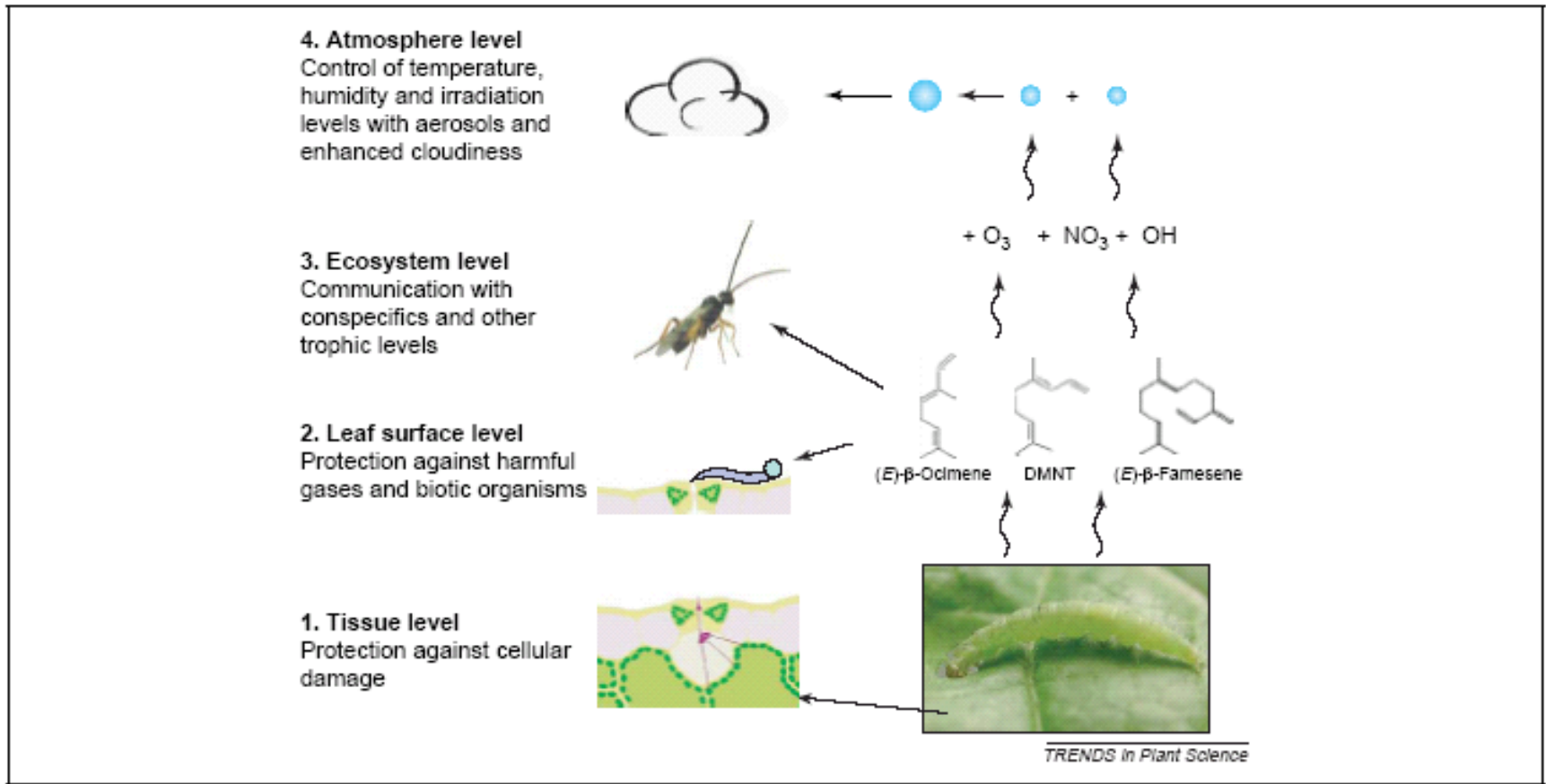
Δευτερογενείς μεταβολίτες: Βιοσυνθετικές οδοί και βιολογικός ρόλος

Τμήμα Γεωπονίας

Πτητικά συστατικά των φυτών πιθανόν προσφέρουν αντοχή στη θερμότητα στα φυτά, αλλά προκαλούν αύξηση ή μείωση της θερμοκρασίας στο περιβάλλον;;;



Τα πτητικά συστατικά από τους ιστούς των φυτών έως την ατμόσφαιρα



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/6)

- Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:
- Εικόνες/Φωτογραφίες
- Εικόνα 1: Βιοσυνθετικές οδοί πτητικών μεταβολιτών. Dudureva et al, 2007.
- Εικόνα 2: Headspace volatile sampling.
<http://www.plantcell.org/content/15/12/2866/F1.expansion>
- Εικόνα 3: Headspace sampling and GC-MS analysis.
<http://www.uts.edu.au/about/faculty-science/chemical-technologies>
- Εικόνα 4: Green leaf volatiles GLV. Current Opinion in Plant Biology.
- Εικόνα 5: Βιοσυνθετικές οδοί των οξυλιπινών στα φυτά. Matsui, 2006: Current Opinion Plant Biology, 274.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/6)

- Εικόνα 6: Green leaf volatiles GLV.
<http://www.plantphysiol.org/content/121/2/325.full.pdf>
- Εικόνα 7: Ιασμονικό οξύ.
http://hormones.psc.riken.jp/pathway_ja.shtml
- Εικόνα 8: Η ορχιδέα εκλύει πτητικά σήματα για να προσελκύσει έντομα. <http://www.swissinfo.ch/eng/sex--lies-and-orchids/8097816>
- Εικόνα 9: HIPV emission by lima beans leaves during insect feeding. Arimura et al, 2005 BBA.
- Εικόνα 10: GLVs από λάχανο έλκουν την πιερίδα. Στέλλα Γκουτίνα, 2013.
- Εικόνα 11: Πληροφορίες από διαφορετικά τροφικά επίπεδα διαμορφώνουν την επιλογή του κατάλληλου ξενιστή για το *Tetranychus urticae*. Dicke, 2000.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (3/6)

- Εικόνα 12: Έκλυση τερπενοειδών από φυτά καλαμποκιού. Ted C J Turlings and Jurriaan Ton, 2006.
- Εικόνα 13: Τυπικά χρωματογραφήματα πτητικών σημάτων που προέρχονται από υγιή και προσβεβλημένα από έντομα φυτά καλαμποκιού. Current Opinion in Plant Biology.
- Εικόνα 14: Σήμανση συναγερμού. <http://brc.boisestate.edu/dna-and-protein-isolation-and-characterization/>
- Εικόνα 15: Τα πτητικά σήματα των πράσινων φύλλων μπορεί να λειτουργούν ως σήματα για το ίδιο το φυτό ή μεταξύ των φυτών. Matsui, 2006: Current Opinion Plant Biology, 274.
- Εικόνα 16: Απελευθέρωση από το φυτό πομπό. Niinements et al, 2004.
- Εικόνα 17: Επικοινωνία με πτητικά σήματα. Baldwin et al, Science, 2006.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (4/6)

- Εικόνα 18: Φυτό αυτοφυούς καπνού (*Nicotiana attenuata*) δίπλα σε φυτό *Artemisia tridentata* στην έρημο Utah. [Cornell University](#)
- Εικόνα 19: Επίδραση των πτητικών συστατικών στην ευρωστία του φυτού. Baldwin et al. Science, 2006.
- Εικόνα 20,21: Plants suppress their emission of volatiles when growing with conspecifics. Kigathi et al, 2013.
- Εικόνα 22: Priming: Έσω έτοιμος!!! Frost et al, 2008.
- Εικόνα 23: Priming of plant resistance by natural compounds. Hexanoic acid as a model. Aranega-Bou et al, 2014.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (5/6)

- Εικόνα 24: Ευαισθητοποίηση σπορόφυτων *Arabidopsis* με hexanal.
<http://pcp.oxfordjournals.org/content/46/7/1093.full.pdf>
- Εικόνα 25: The plant volatilome. Plant Physiology 5th Taiz & Zeinger 2011.
- Εικόνα 26: Έκλυση ισοπρενίου. Thermoprotection of photosynthetic capacity in kudzu detached leaves (Sharkey et al, 2007).
- Εικόνα 27: Παγκόσμια κατανομή των εκπομπών ισοπρενίου για το έτος 2000.
<https://www.asr.ucar.edu/2004/ACD/Achievements.htm>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (6/6)

- Εικόνα 28: Παράγοντες που επιδρούν στη έκλυση πτητικών συστατικών και οι φυσικο-χημικές, βιολογικές μεταβολές που προκαλούνται από αυτές. Josep Penuelas and Joan Llusia, 2003: Trends in Plant Science.
- Εικόνα 29: Πτητικά συστατικά των φυτών πιθανόν προσφέρουν αντοχή στη θερμότητα στα φυτά, αλλά προκαλούν αύξηση ή μείωση της θερμοκρασίας στο περιβάλλον;;;;;
http://www.creaf.uab.es/Global-Ecology/English/Research/2003-2008_08-Global%20change%20and%20biogenic%20emissions.htm
- Εικόνα 30: Τα πτητικά συστατικά από τους ιστούς των φυτών έως την ατμόσφαιρα. Holopainen, 2004: Trends in Plant Science.



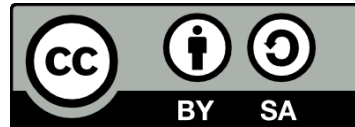
Σημείωμα Αναφοράς

- Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Αικατερίνη Καραμανώλη. «Δευτερογενείς μεταβολίτες: βιοσυνθετικές οδοί και βιολογικός ρόλος. Πτητικοί δευτερογενείς μεταβολίτες στην επικοινωνία των φυτών.». 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.

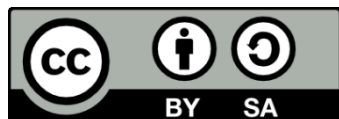
[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>





Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Χρυσάνθη Χαρατσάρη
Θεσσαλονίκη, Εαρινό εξάμηνο 2013-2014



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.

