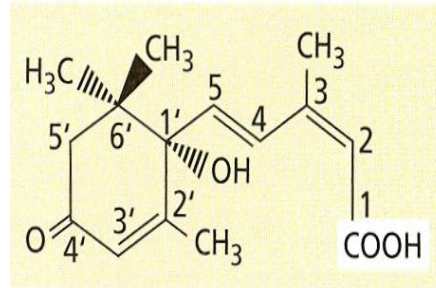
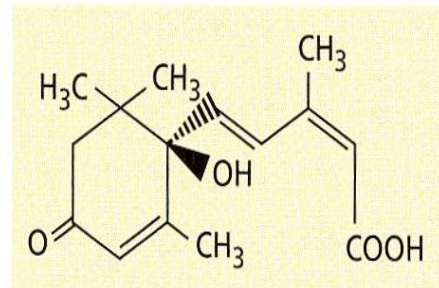


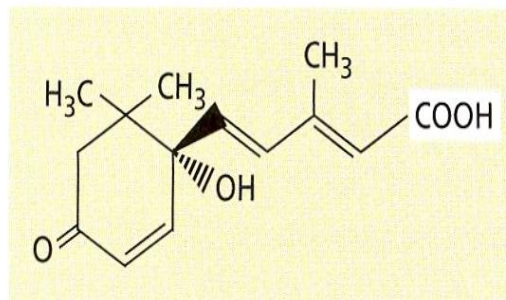
## Αμπισσικό ή αποκοπτικό οξύ (ABA)



**(S)-cis-ABA**  
(naturally occurring  
active form)



**(R)-cis-ABA**  
(inactive in stomatal closure)



**(S)-2-trans-ABA** (inactive, but  
interconvertible with active  
[cis] form)

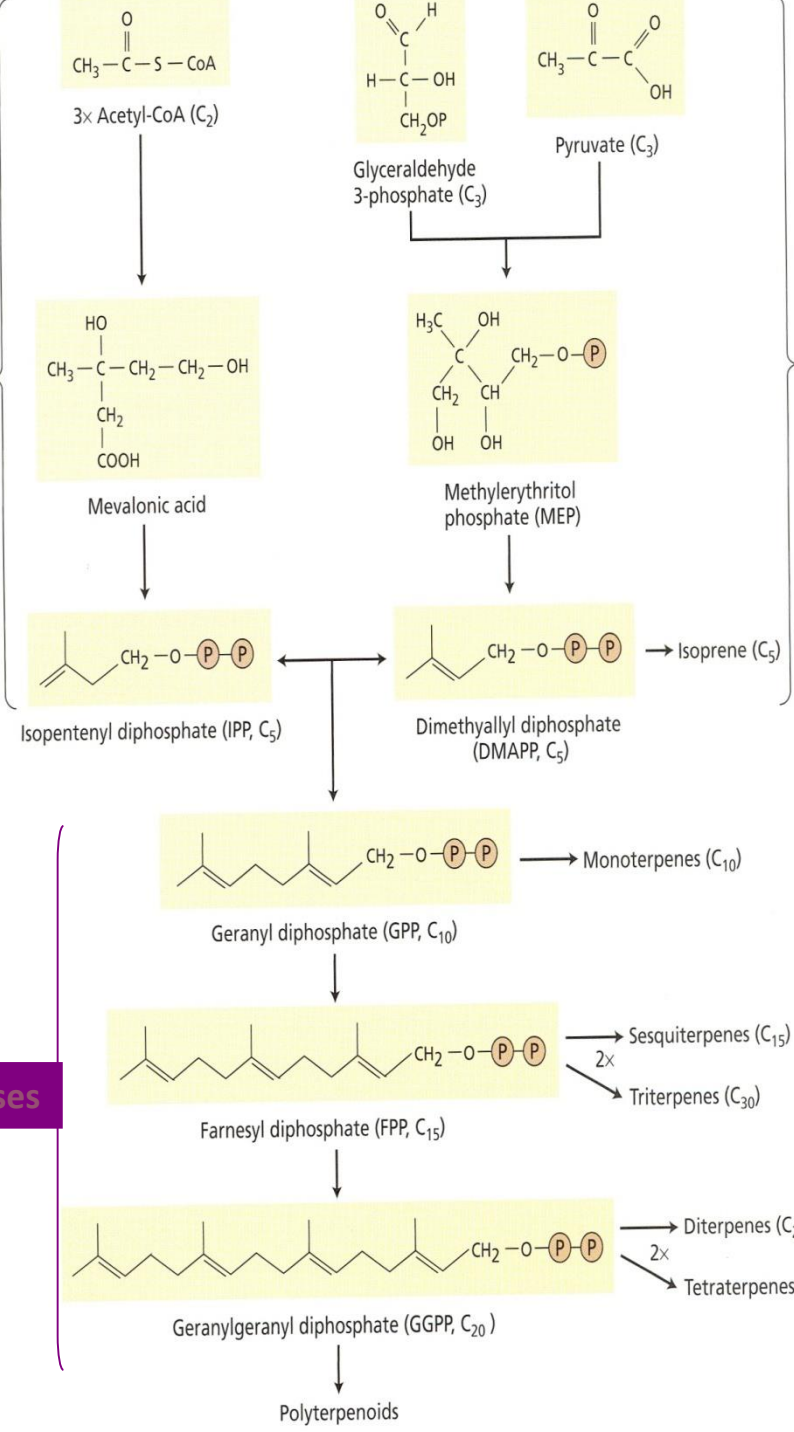
κυτοπλάσμα

πλαστίδια

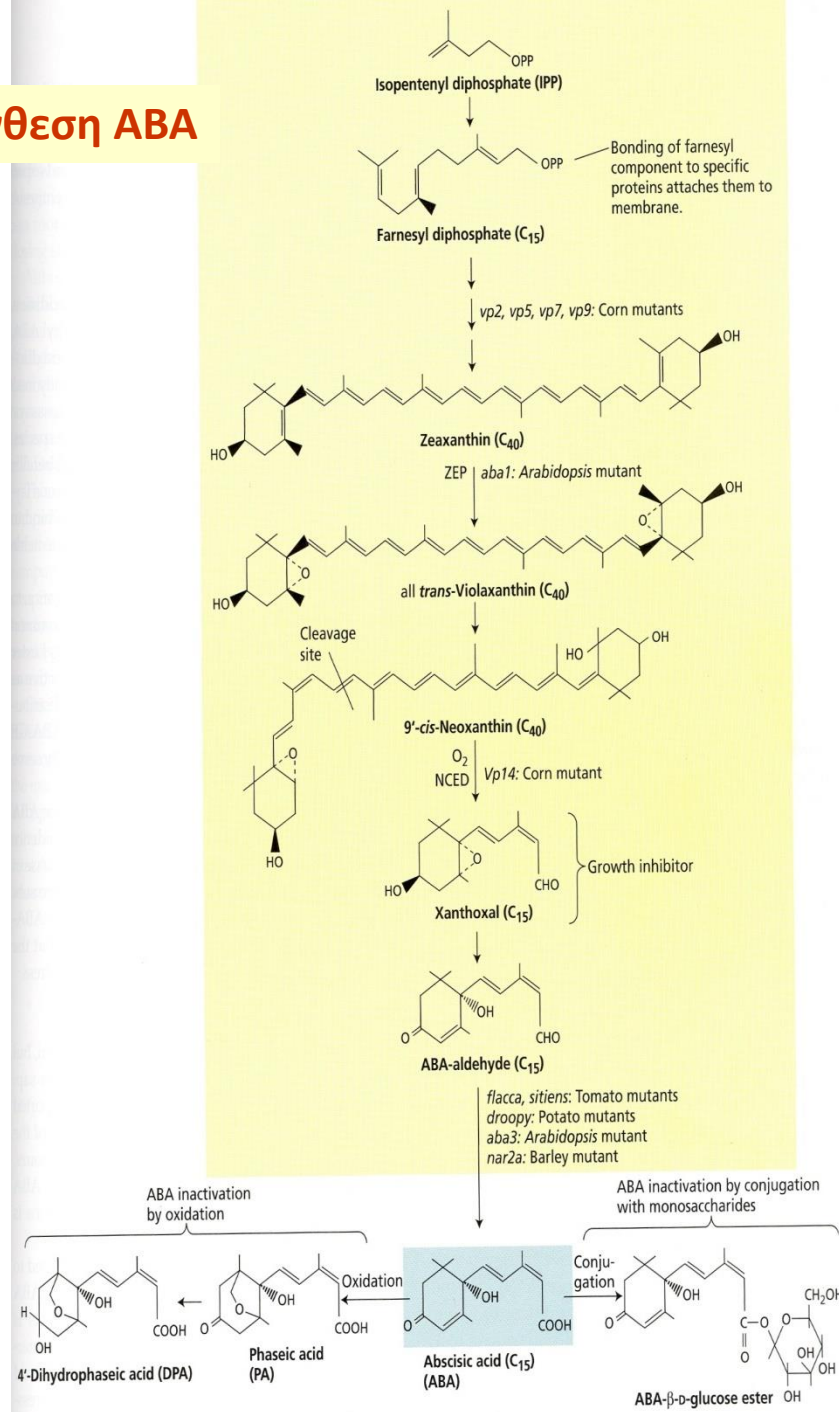
Mevalonate pathway

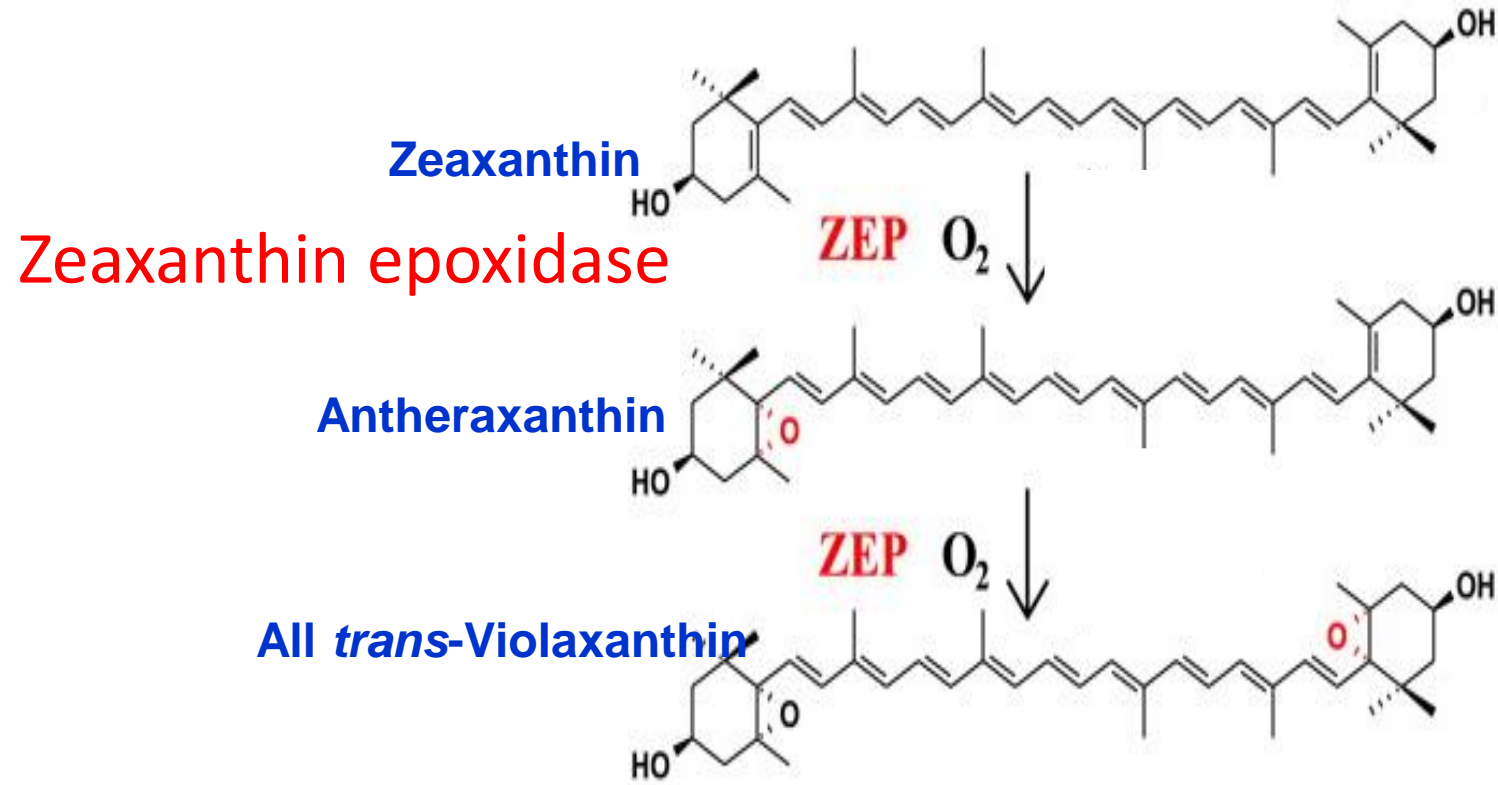
Methylerythritol phosphate pathway

prenyltransferases



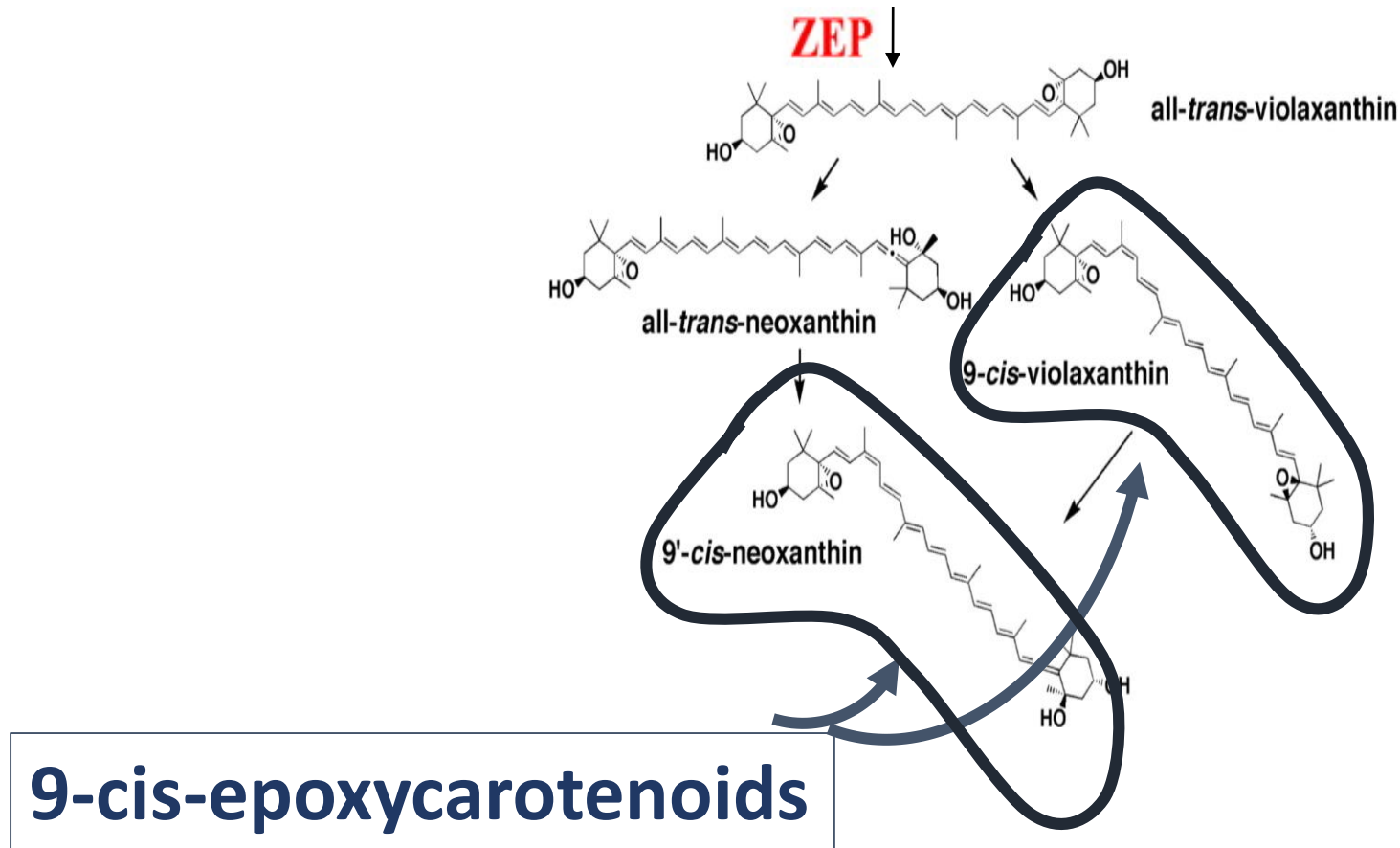
# Βιοσύνθεση ABA





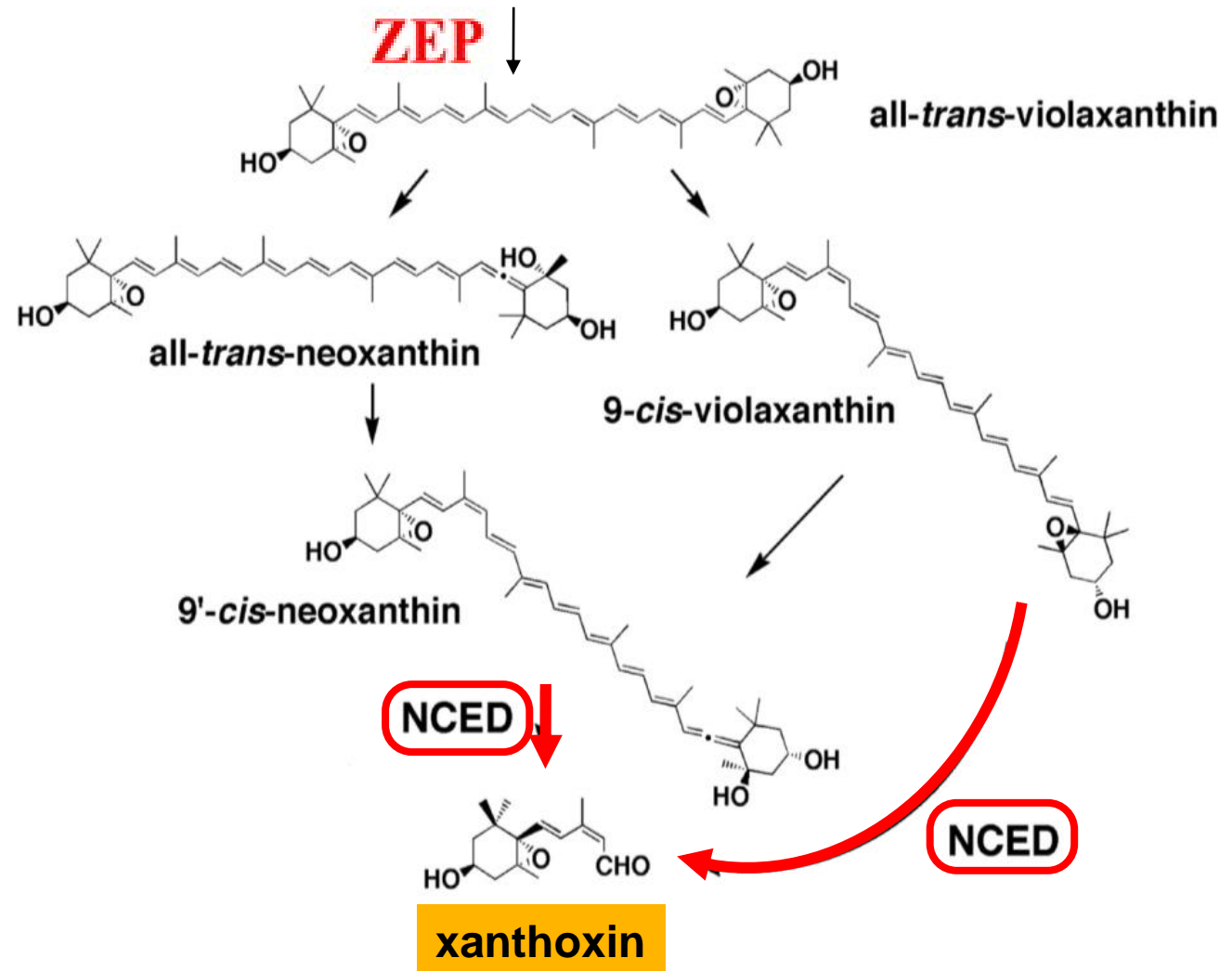
Schwartz, S.H., Qin, X., and Zeevaart, J.A.D. (2003). Elucidation of the indirect pathway of abscisic acid biosynthesis by mutants, genes, and enzymes. *Plant Physiol.* 131: [1591-1601](#).

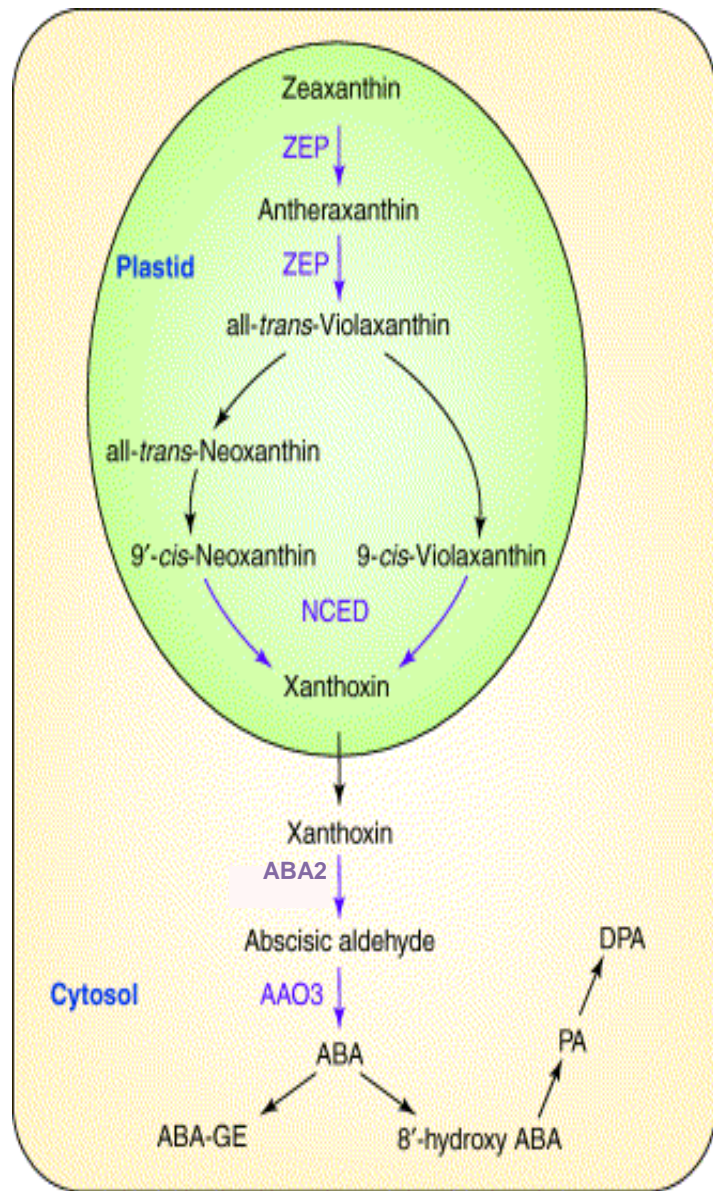
# Η *All-trans-violaxanthin* αναδιατάσσεται σε *9-cis-epoxycarotenoids*



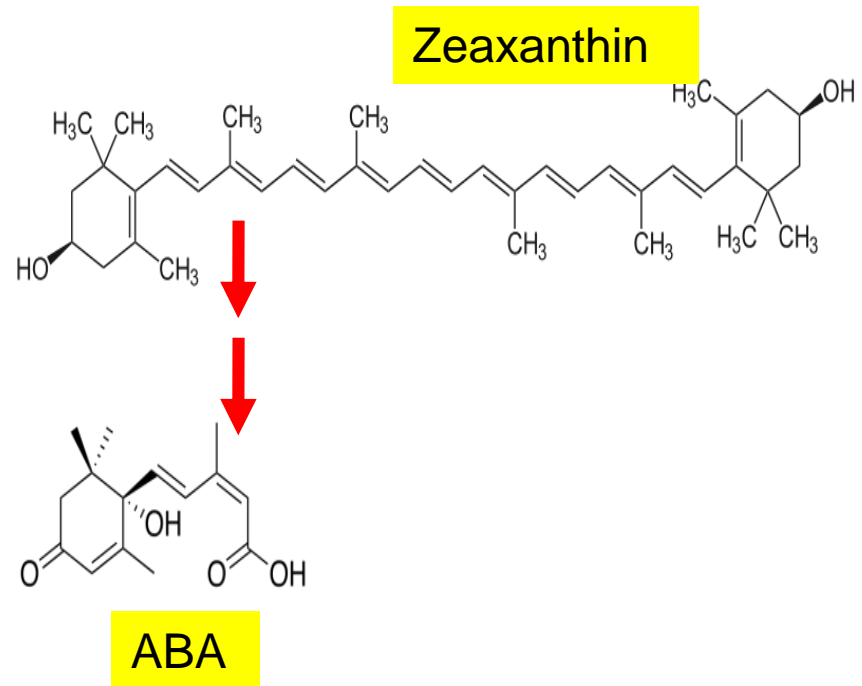
Han, S.-Y., Kitahata, N., Sekimata, K., Saito, T., Kobayashi, M., Nakashima, K., Yamaguchi-Shinozaki, K., Shinozaki, K., Yoshida, S., and Asami, T. (2004). A novel inhibitor of 9-cis-epoxycarotenoid dioxygenase in abscisic acid biosynthesis in higher plants. *Plant Physiol.* 135: [1574-1582](#).

NCED: 9-*cis*-  
epoxycarotenoid  
dioxygenase



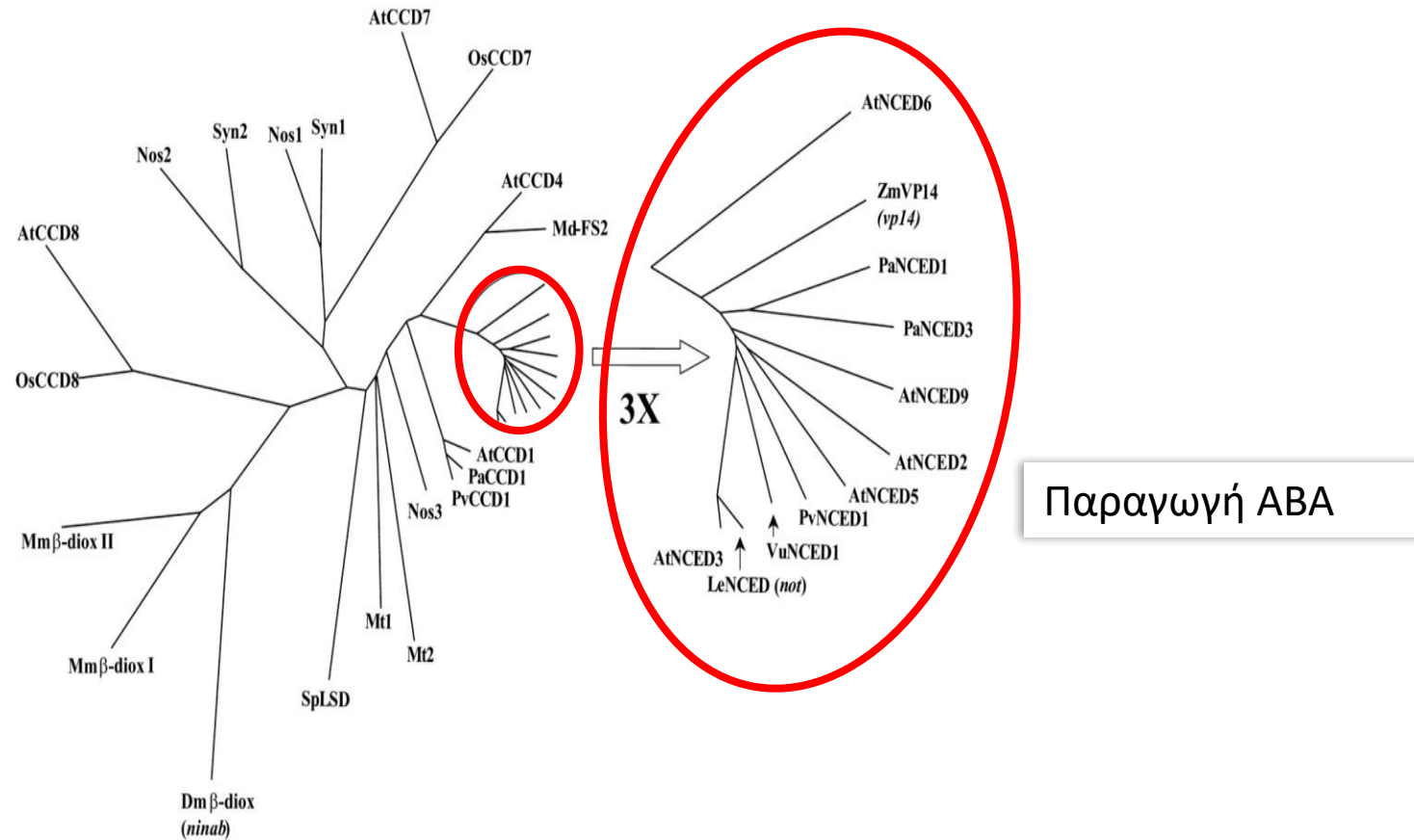


TRENDS in Plant Science



Reprinted from Nambara, E., and Marion-Pol, A. (2003) ABA action and interactions in seeds. Trends Plant Sci. 8: [213-217](#) with permission from Elsevier.

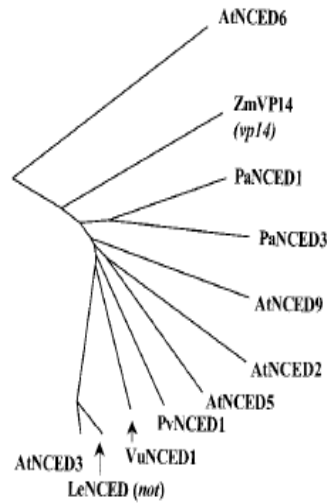
# Οικογένεια *NCED* γονιδίων



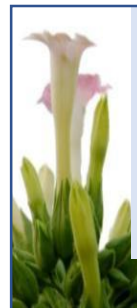
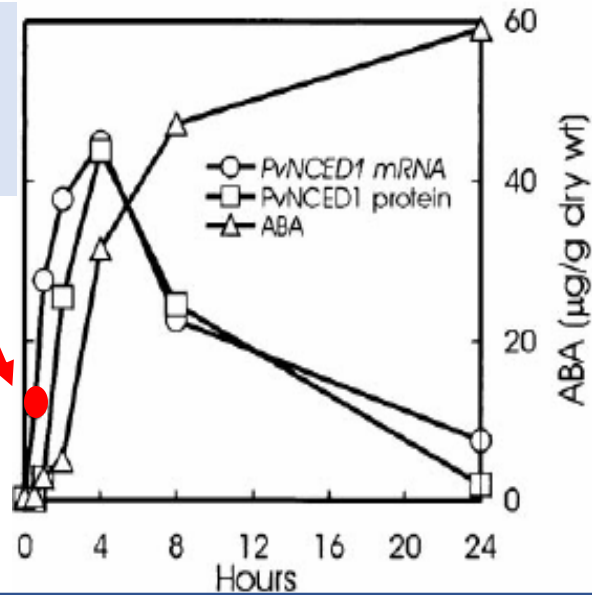
Schwartz, S.H., Qin, X., and Zeevaart, J.A.D. (2003). Elucidation of the indirect pathway of abscisic acid biosynthesis by mutants, genes, and enzymes. *Plant Physiol.* 131: [1591-1601](#).



# Τα *NCED* γονιδια επάγονται από ξηρασία και κατά την ωρίμανση των σπερμάτων



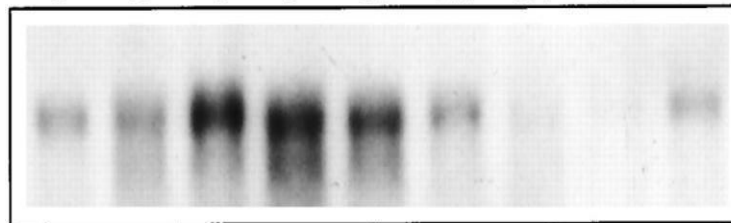
Αυξημένα επίπεδα mRNA



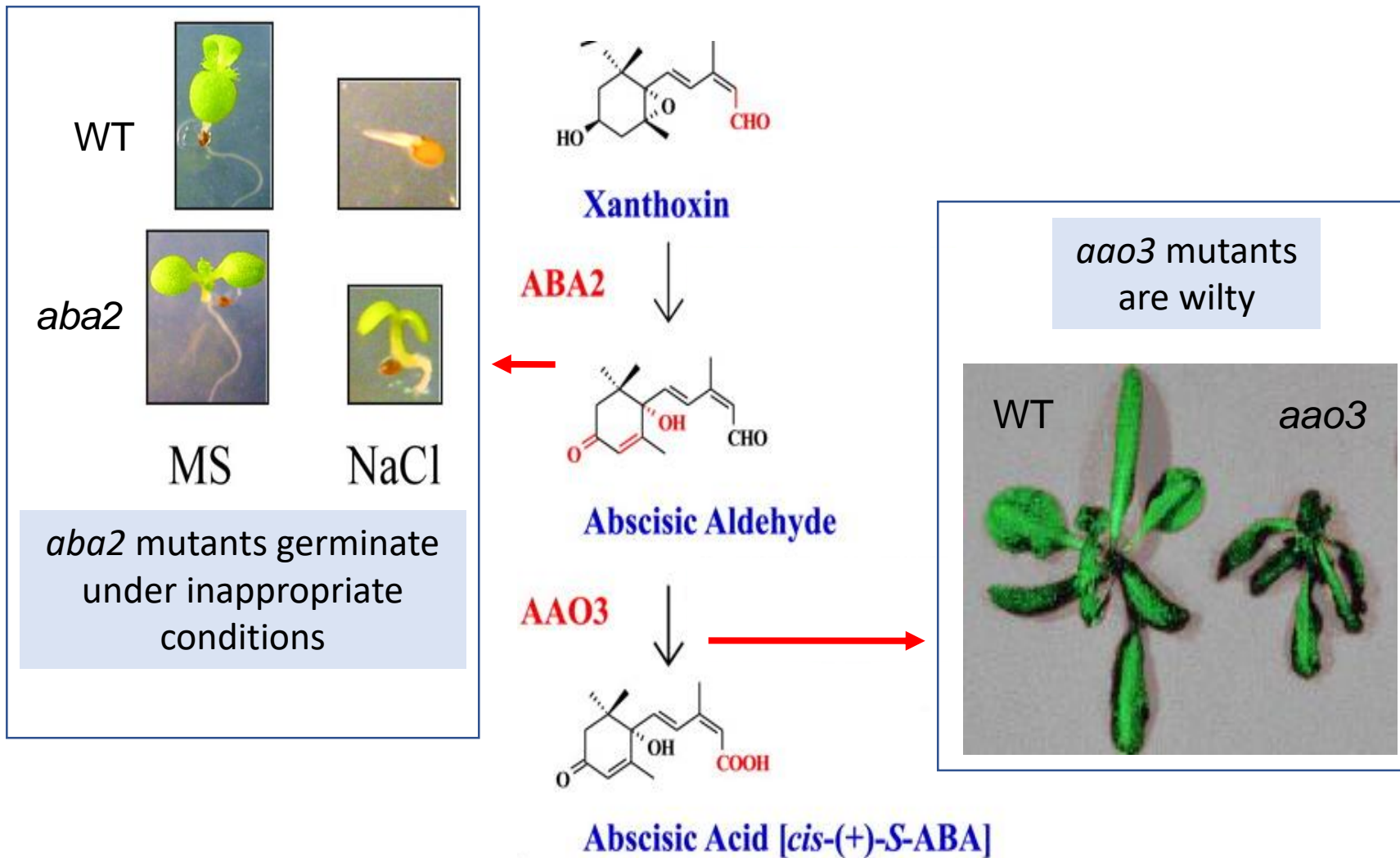
Κατά τη διάρκεια ωρίμανσης σπερμάτων

Days after pollination

3 5 7 9 10 11 14 18 22

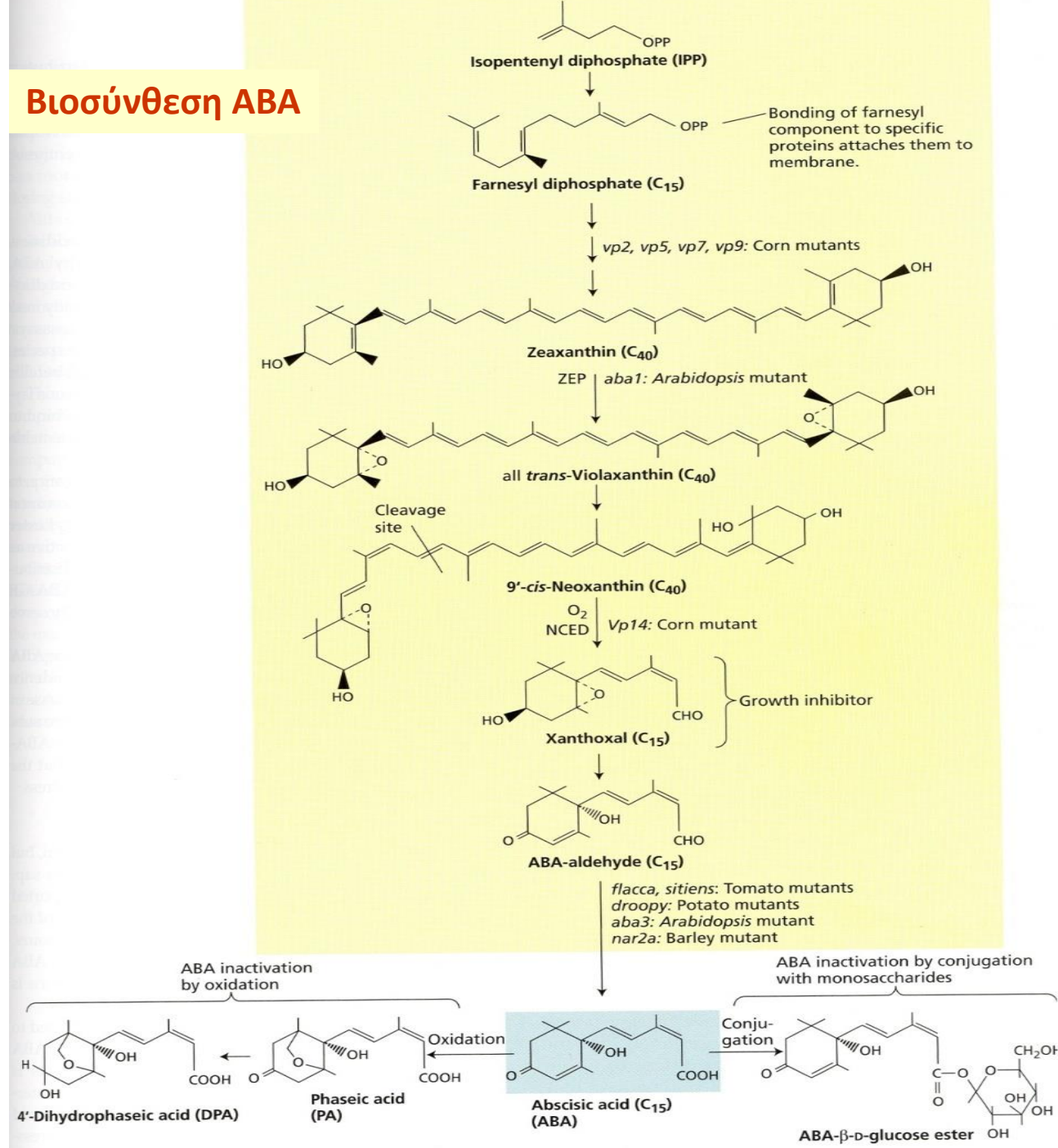


Audran, C., Borel, C., Frey, A., Sotta, B., Meyer, C., Simonneau, T., and Marion-Poll, A. (1998). Expression studies of the zeaxanthin epoxidase gene in *Nicotiana plumbaginifolia*. *Plant Physiol.* 118: [1021-1028](#); Qin, X., and Zeevaert, J.A.D. (1999). The 9-cis-epoxycarotenoid cleavage reaction is the key regulatory step of abscisic acid biosynthesis in water-stressed bean. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96: [15354-15361](#).

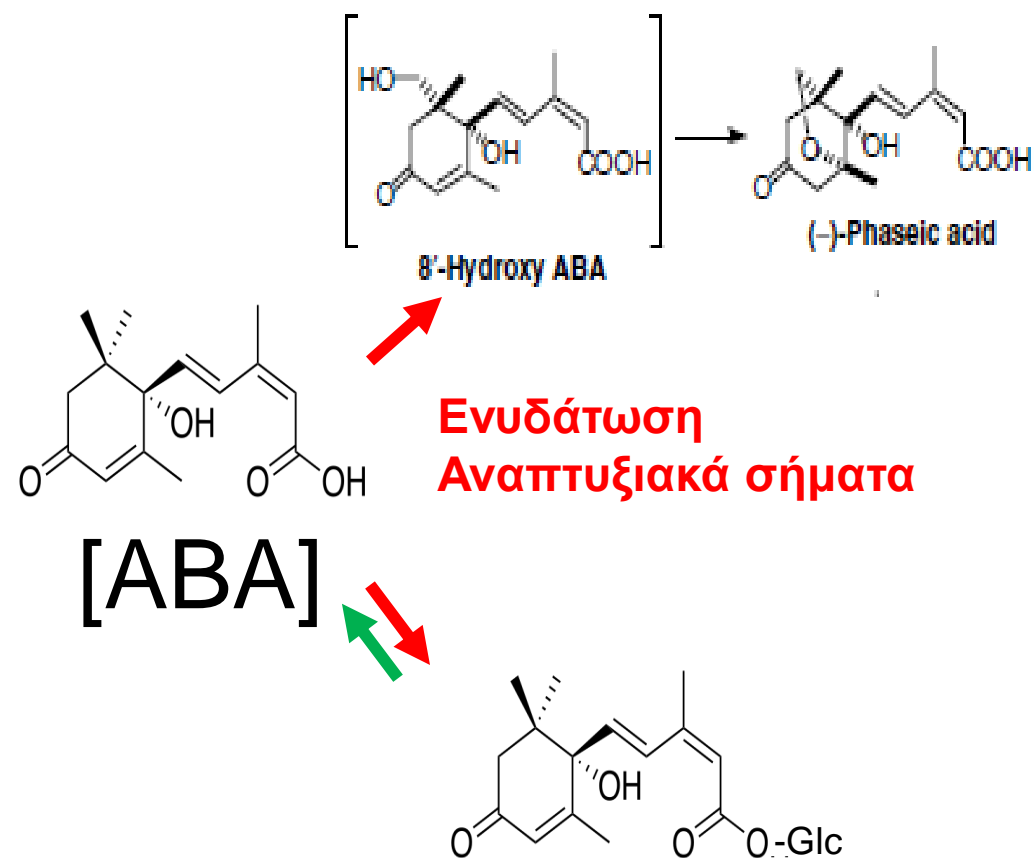


Gonzalez-Guzman, M., et al. (2002). The short-chain alcohol dehydrogenase ABA2 catalyzes the conversion of xanthoxin to abscisic aldehyde. *Plant Cell* 14: [1833-1846](#). Schwartz, S.H., Qin, X., and Zeevaert, J.A.D. (2003). Elucidation of the indirect pathway of abscisic acid biosynthesis by mutants, genes, and enzymes. *Plant Physiol.* 131: [1591-1601](#). Seo, M., et al. (2000). The Arabidopsis aldehyde oxidase 3 (AAO3) gene product catalyzes the final step in abscisic acid biosynthesis in leaves. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 97: [12908-12913](#).

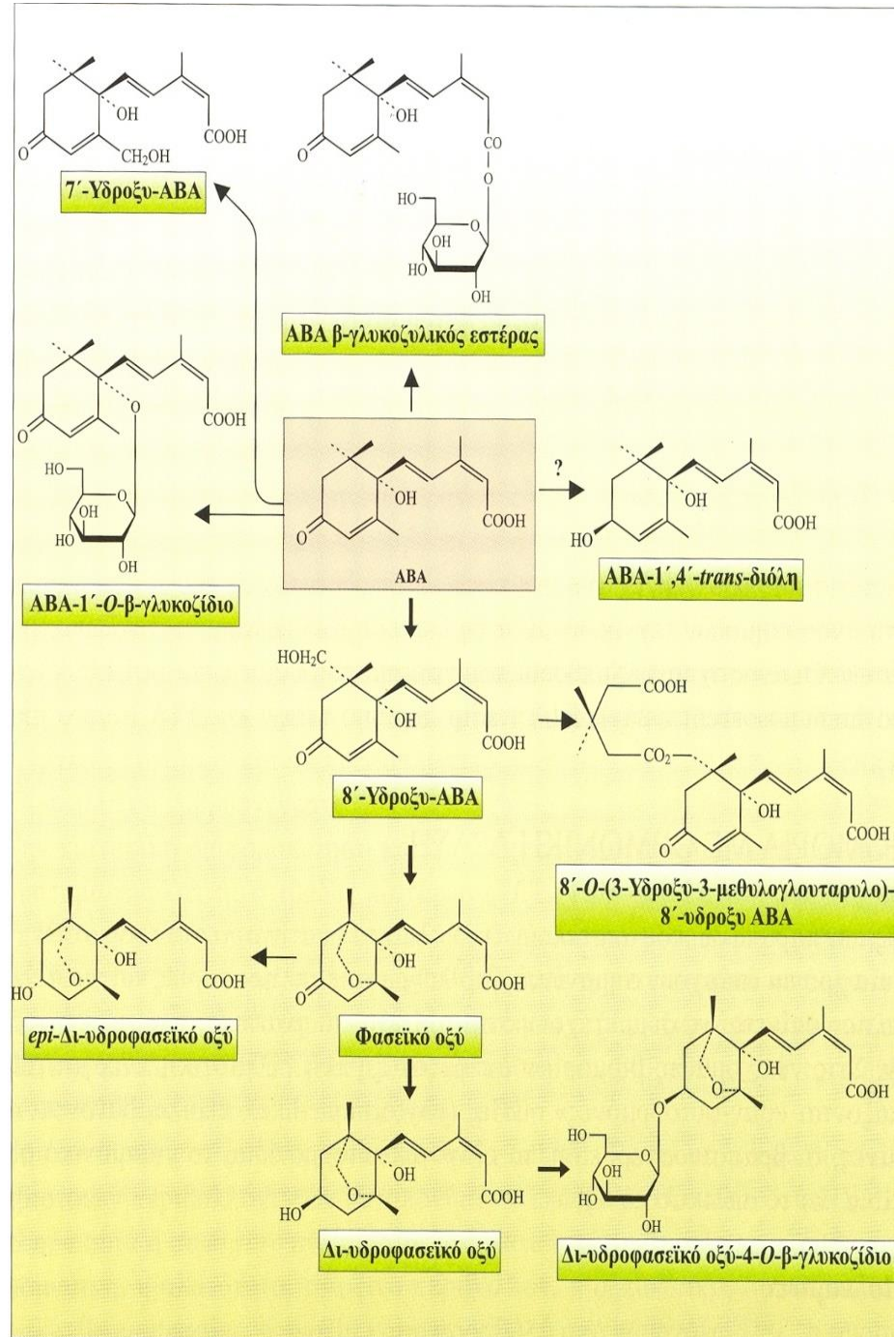
# Βιοσύνθεση ABA



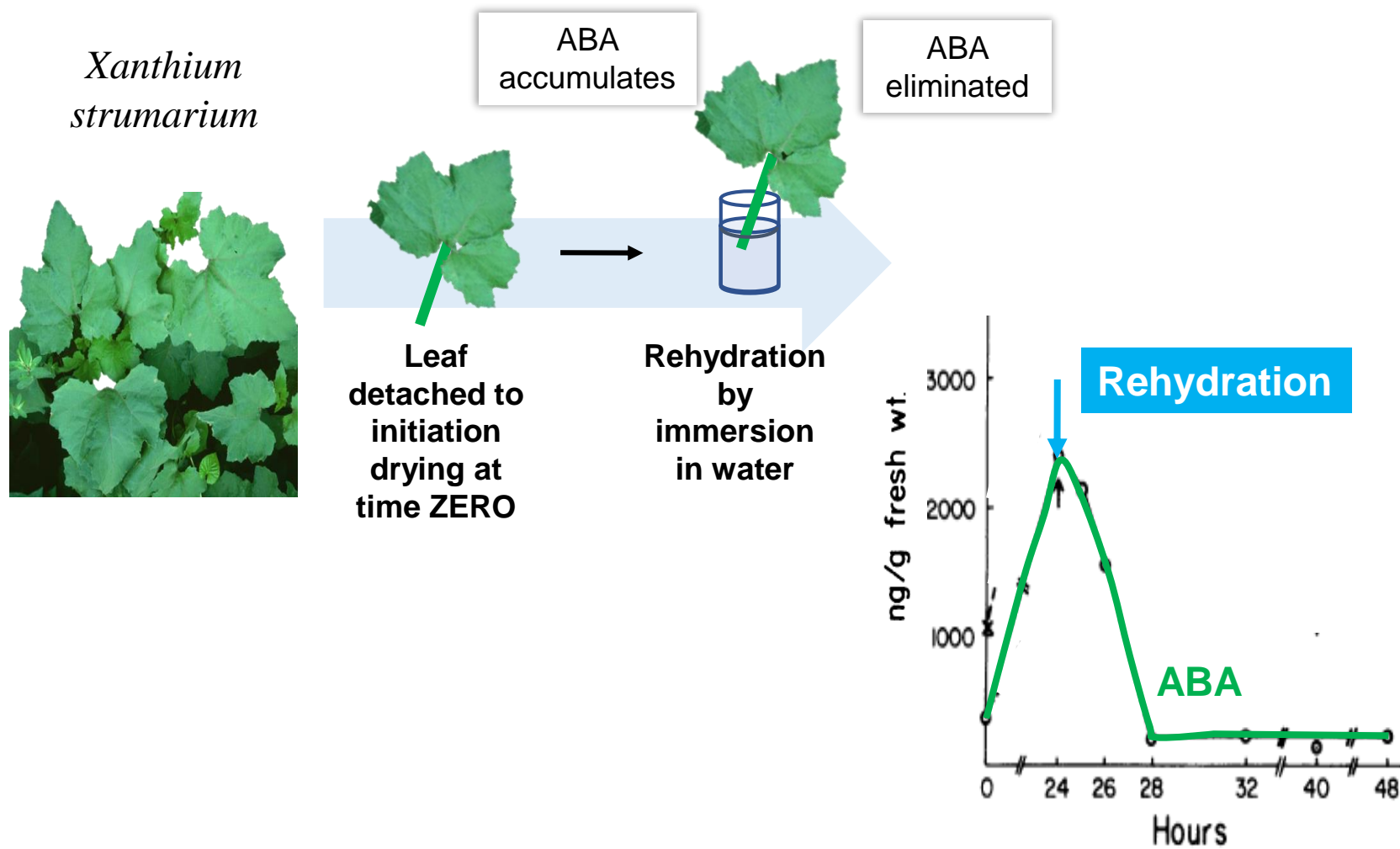
# Μονοπάτια ανενεργοποίησης ABA



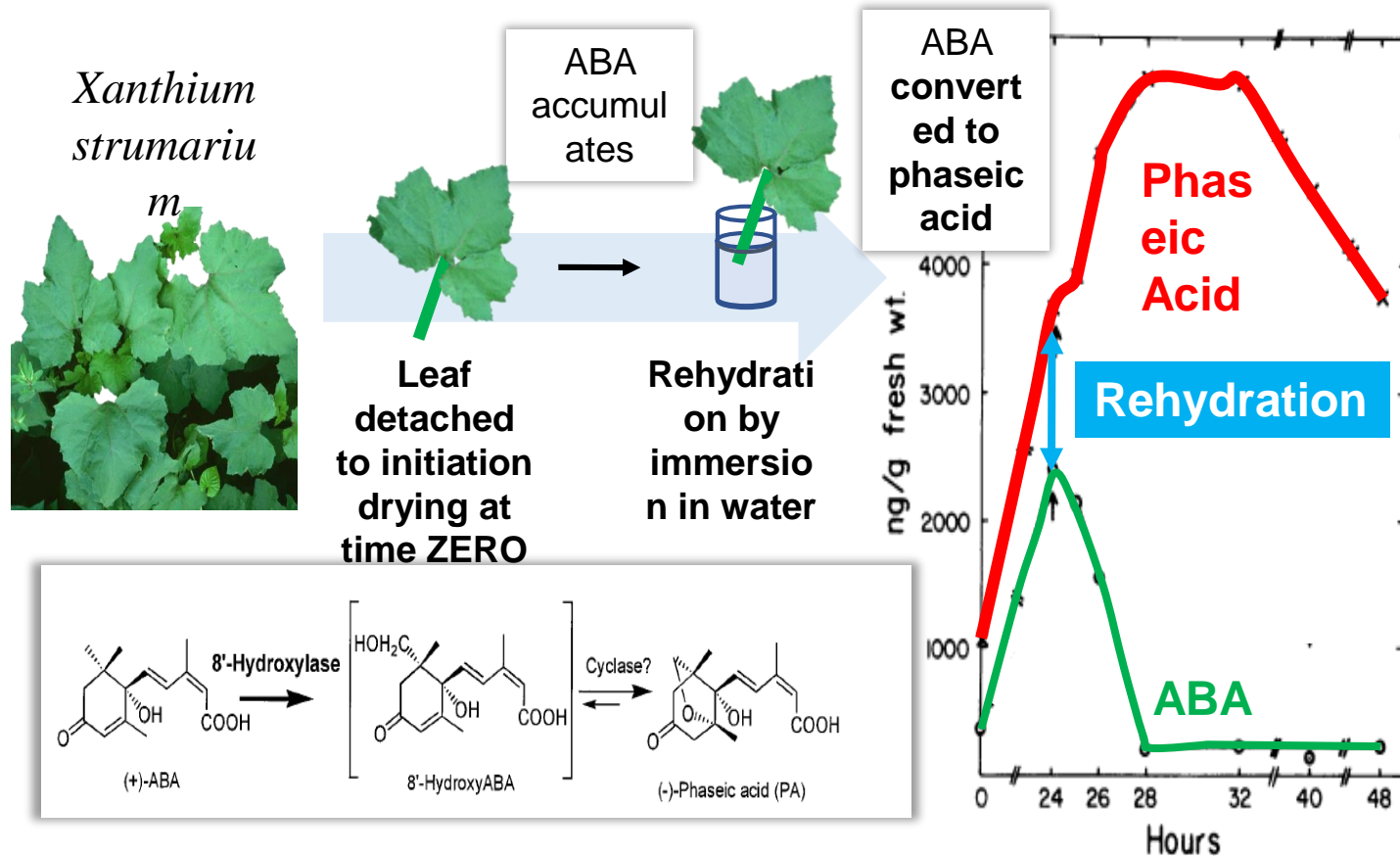
# Καταβολισμός και σύζευξη ABA



# Η ενυδάτωση μειώνει δραστικά τα επίπεδα ABA

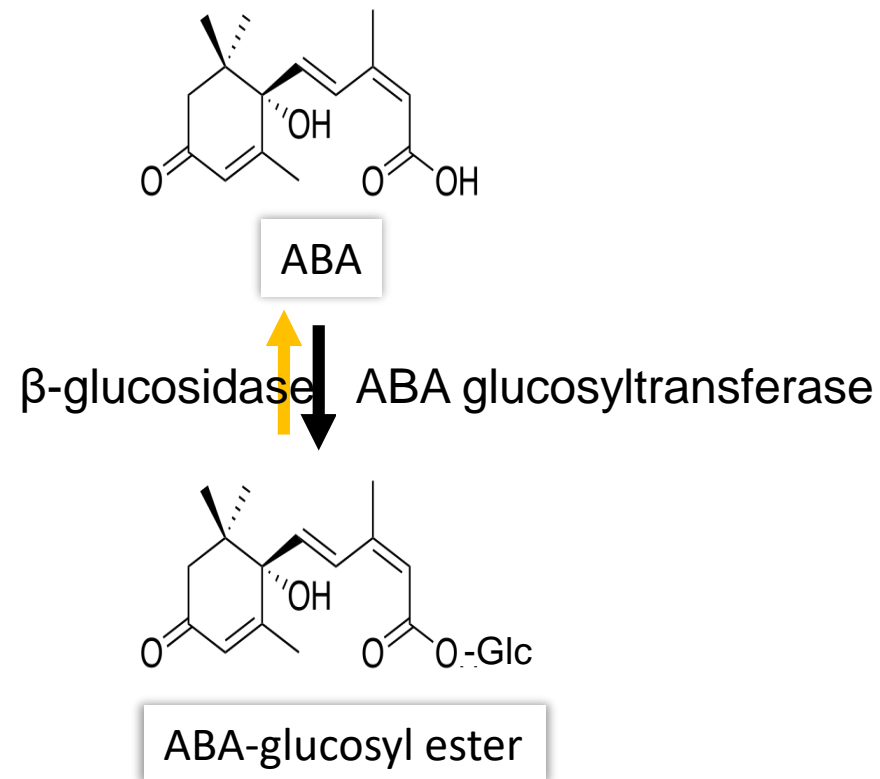


# Η ενυδάτωση μειώνει δραστικά τα επίπεδα ΑΒΑ



Krochko, J.E., Abrams, G.D., Loewen, M.K., Abrams, S.R., and Cutler, A.J. (1998). (+)-Abscisic Acid 8'-Hydroxylase Is a Cytochrome P450 Monooxygenase. *Plant Physiol.* 118: [849-860](#). Zeevaart, J.A.D. (1980). Changes in the levels of abscisic acid and its metabolites in excised leaf blades of *Xanthium strumarium* during and after water stress. *Plant Physiol.* 66: [672-678](#). [Charles T. Bryson](#), USDA Agricultural Research Service, Bugwood.org

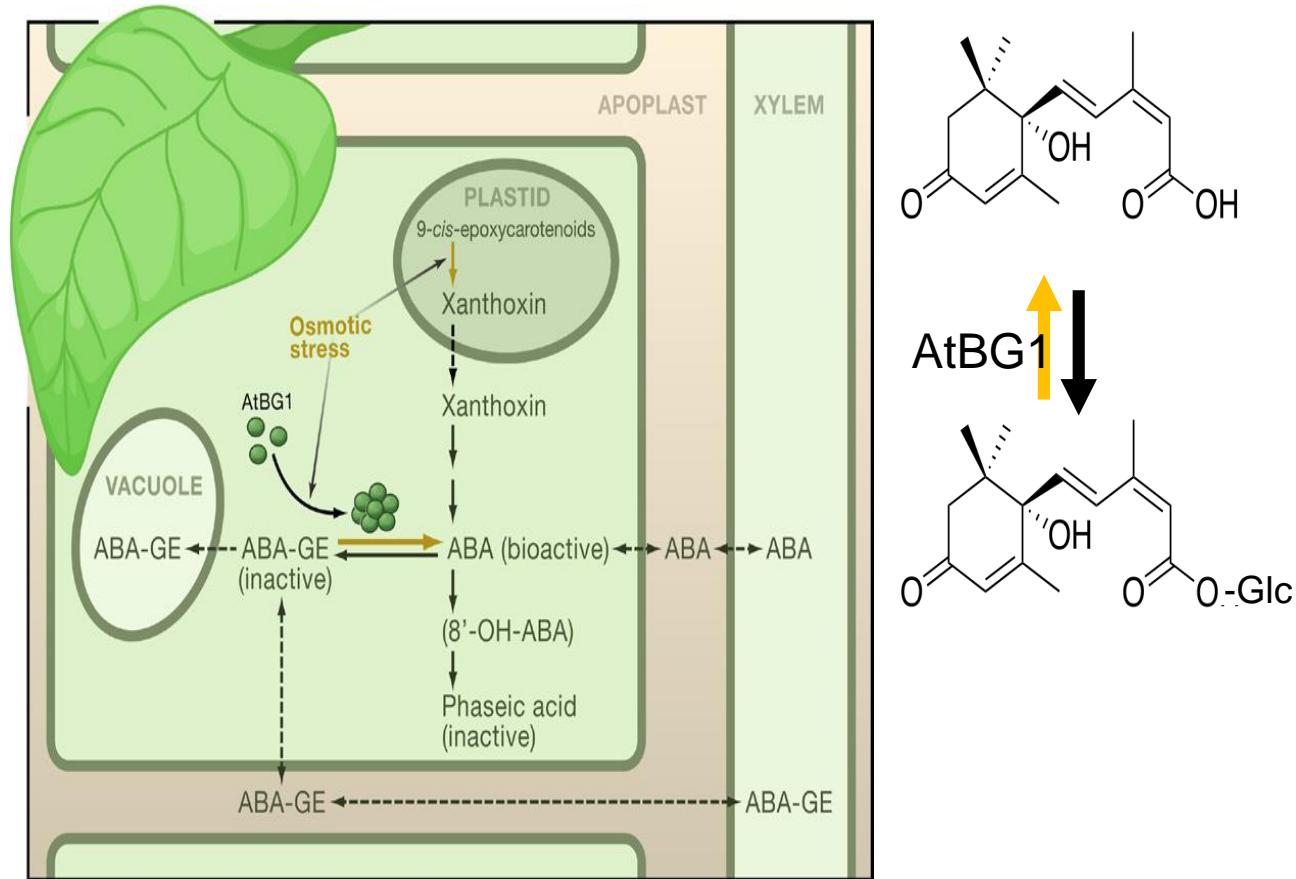
# Γλυκοσυλίωση ABA



Reprinted by permission from Macmillan Publishers Ltd: Kushiro, T., Okamoto, M., Nakabayashi, K., Yamagishi, K., Kitamura, S., Asami, T., Hirai, N., Koshiba, T., Kamiya, Y., and Nambara, E. (2004). The Arabidopsis cytochrome P450 CYP707A encodes ABA 8'-hydroxylases: key enzymes in ABA catabolism. *EMBO J* **23**: [1647-1656](#) copyright 2004.



# Μεταφορά ΑΒΑ-ΓΕ

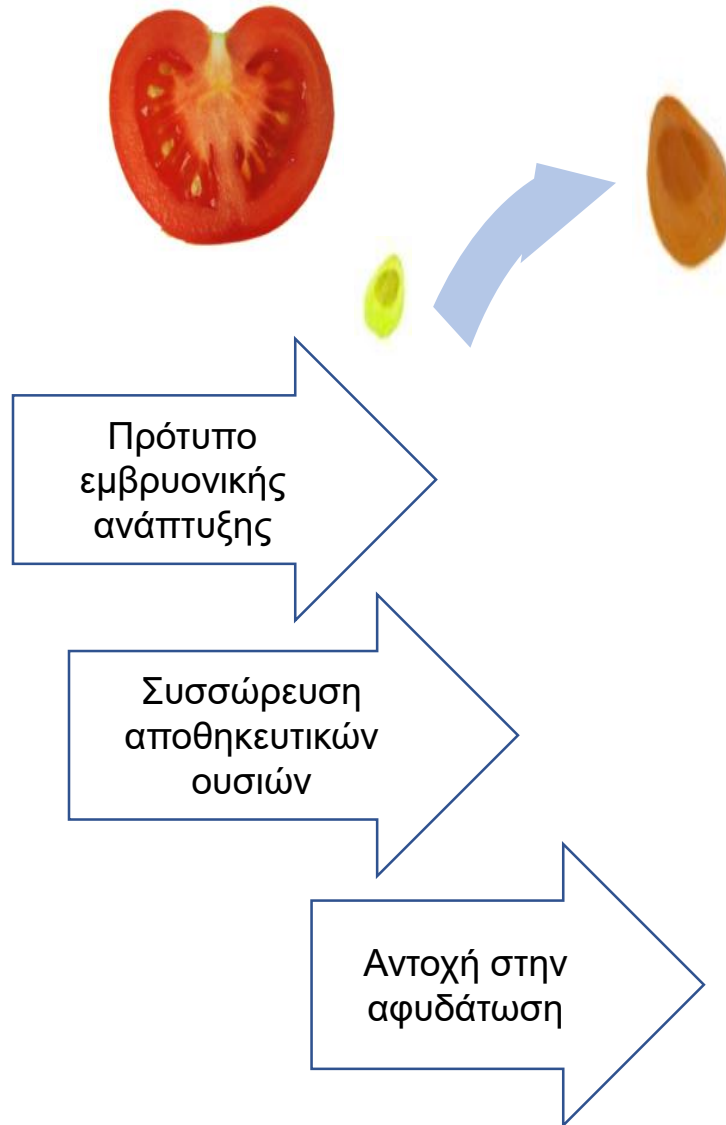


Reprinted from Schroeder, J.I., and Nambara, E. (2006). A quick release mechanism for abscisic acid. Cell 126: [1023-1025](#) with permission from Elsevier.

## Φυσιολογικές δράσεις ABA

- ✿ Ωρίμανση (αφυδάτωση) σπερμάτων (μέσω ενεργοποίησης γονιδίων π.χ. LEA –late embryogenesis abundant, συσσώρευσης αποθηκευτικών πρωτεϊνών)
- ✿ Λήθαργος σπερμάτων και οφθαλμών (αναστολή ενζύμων που επάγονται από GA, αναλογία ABA:GA)
- ✿ Σήμα σε καταπονήσεις (αβιοτικές)

# Το ABA συσσωρεύεται σε σπέρματα που ωριμάζουν



Η ωρίμανση των σπερμάτων απαιτεί βιοσύνθεση ABA και τη συσσώρευση συγκεκριμένων πρωτεϊνών που επιφέρουν αντοχή στην αφυδάτωση

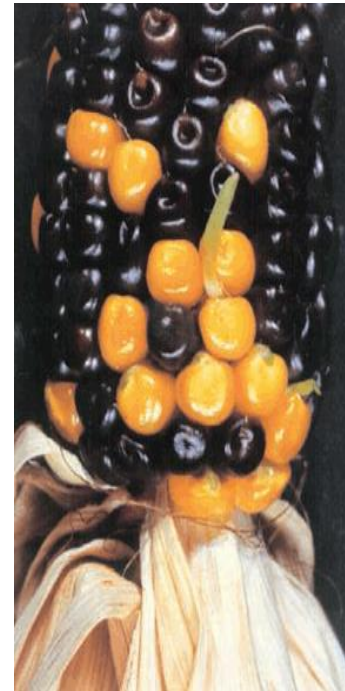
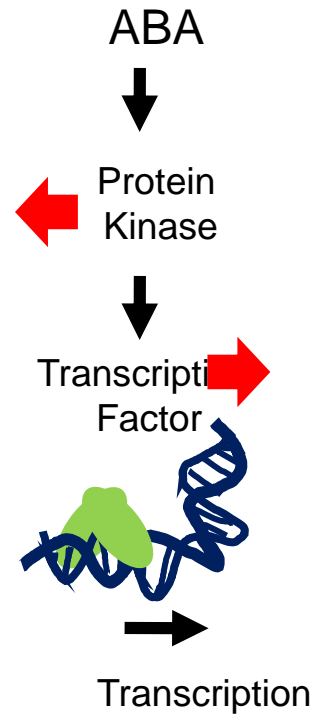


Date palm growing from  
2000 year old seed.



From Sallon, S., et al. (2008). Germination, genetics, and growth of an ancient date seed. *Science* 320: [1464](#), with permission from AAAS Lotus picture by [Peripitus](#)

# Η βιοσύνθεση και η σηματοδότηση του ABA απαιτείται για το ληθαργο των σπερμάτων



Μεταλλάγματα στο ABA: πρώιμη εκβλάστηση των σπερμάτων

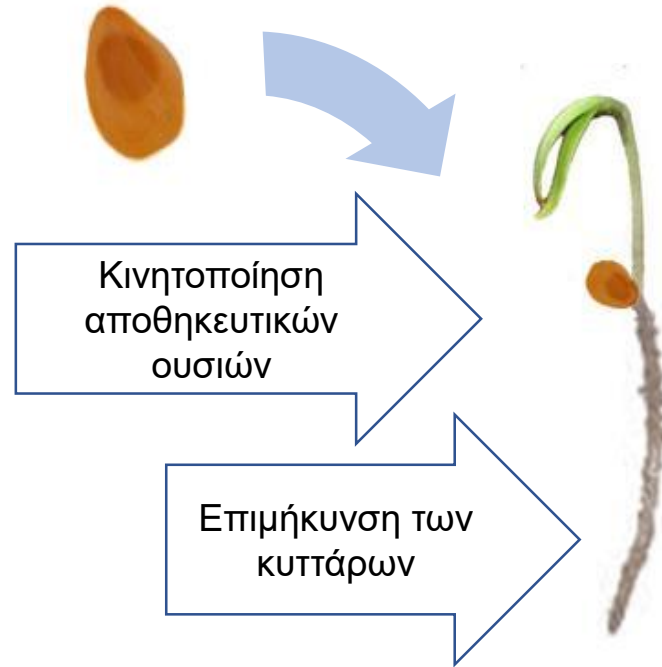


*vp14* (βιοσύνθεση ABA)

Nakashima, K., et al. (2009) Three Arabidopsis SnRK2 protein kinases, SRK2D/SnRK2.2, SRK2E/SnRK2.6/OST1 and SRK2I/SnRK2.3, involved in ABA signaling are essential for the control of seed development and Dormancy. *Plant Cell Physiol.* 50: [1345–1363](#). Copyright (c) 2009 by the the Japanese Society of Plant Physiologists with permission from Oxford University Press. McCarty, D.R., Carson, C.B., Stinard, P.S., and Robertson, D.S. (1989) Molecular analysis of viviparous-1: An abscisic acid-insensitive mutant of maize. *Plant Cell* 1: [523-532](#).

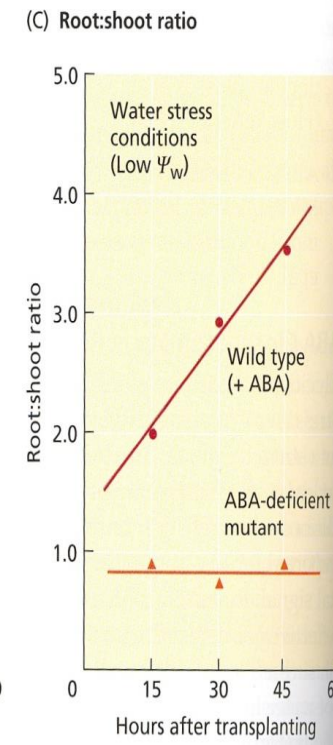
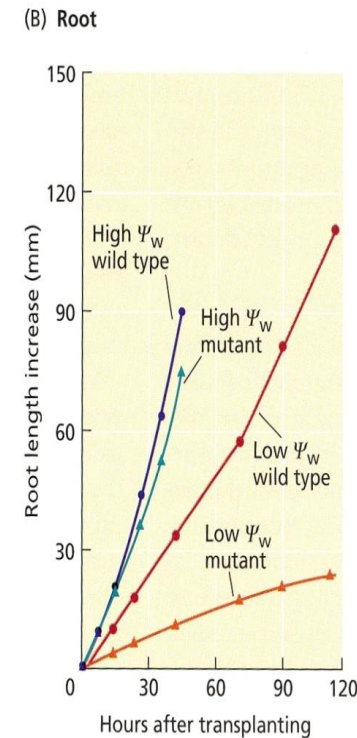
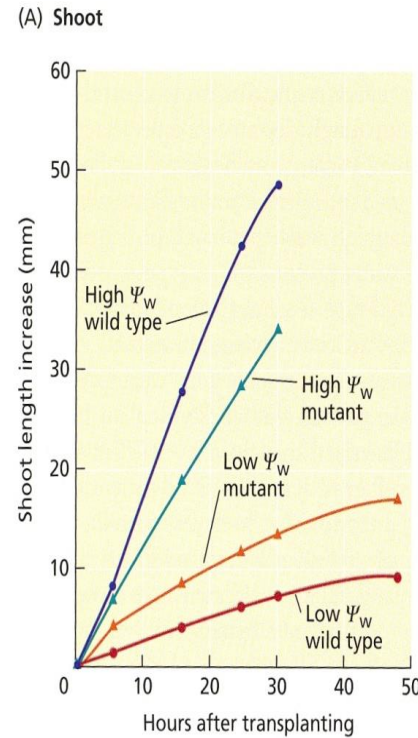
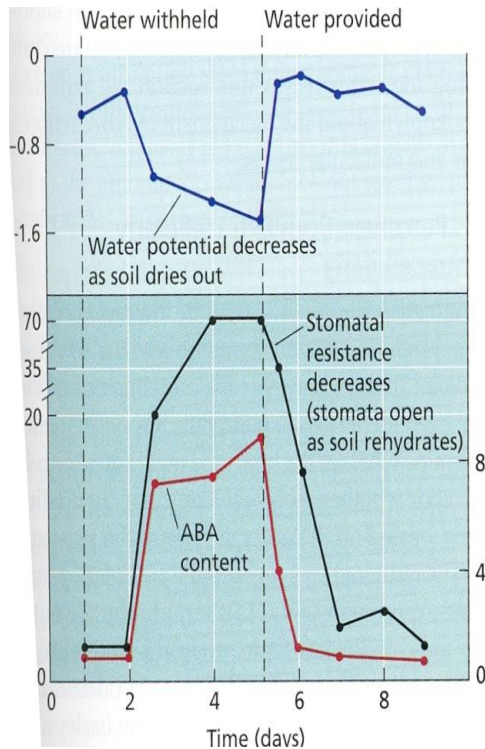
# Το GA απαιτείται για την εκβλάστηση των σπερμάτων

Η δράση του ABA και του GA στην εκβλάστηση των σπερμάτων είναι ανταγωνιστική.



# Φυσιολογικές δράσεις ABA

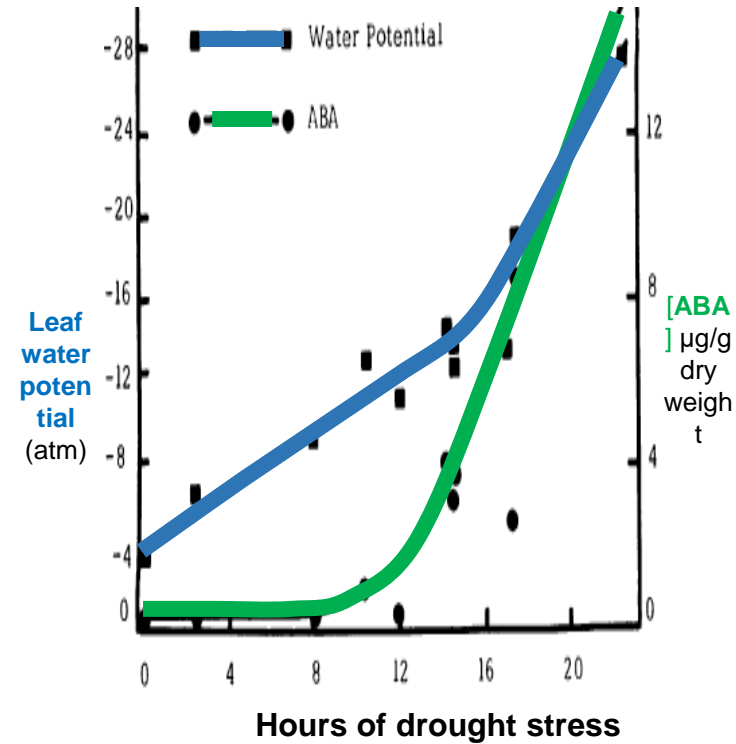
## ✿ Σήμα σε καταπονήσεις (αβιοτικές)



• Κλείσιμο στομάτων

• Επιμήκυνση ρίζας υπο συνθήκες έλλειψης νερού

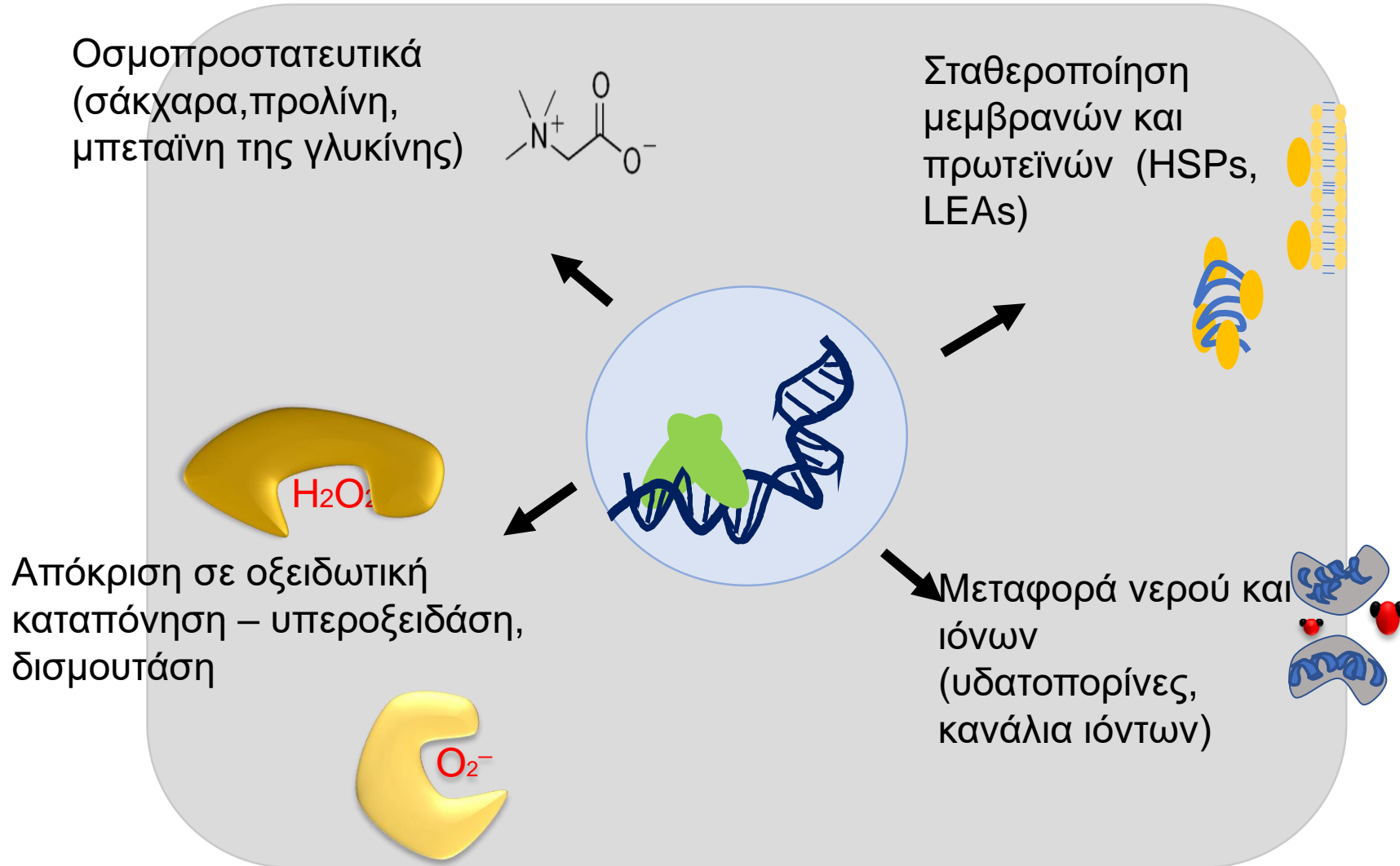
# Η βιοσύνθεση ABA αποκρίνεται άμεσα σε συνθήκες καταπόνησης



Τα επίπεδα του ABA αυξάνουν υπό συνθήκες ξηρασίας, εν μέρει εξαιτίας της αύξησης της βιοσύνθεσής του



# Το ABA επάγει την έκφραση γονιδίων απόκρισης σε καταπόνηση





Απώλεια >90% νερού



Rewatered

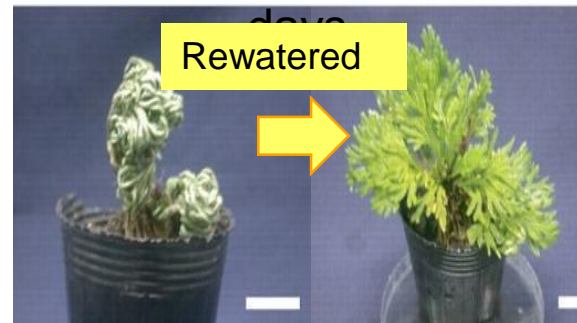


*Craterostigma plantagineum*

Watered control



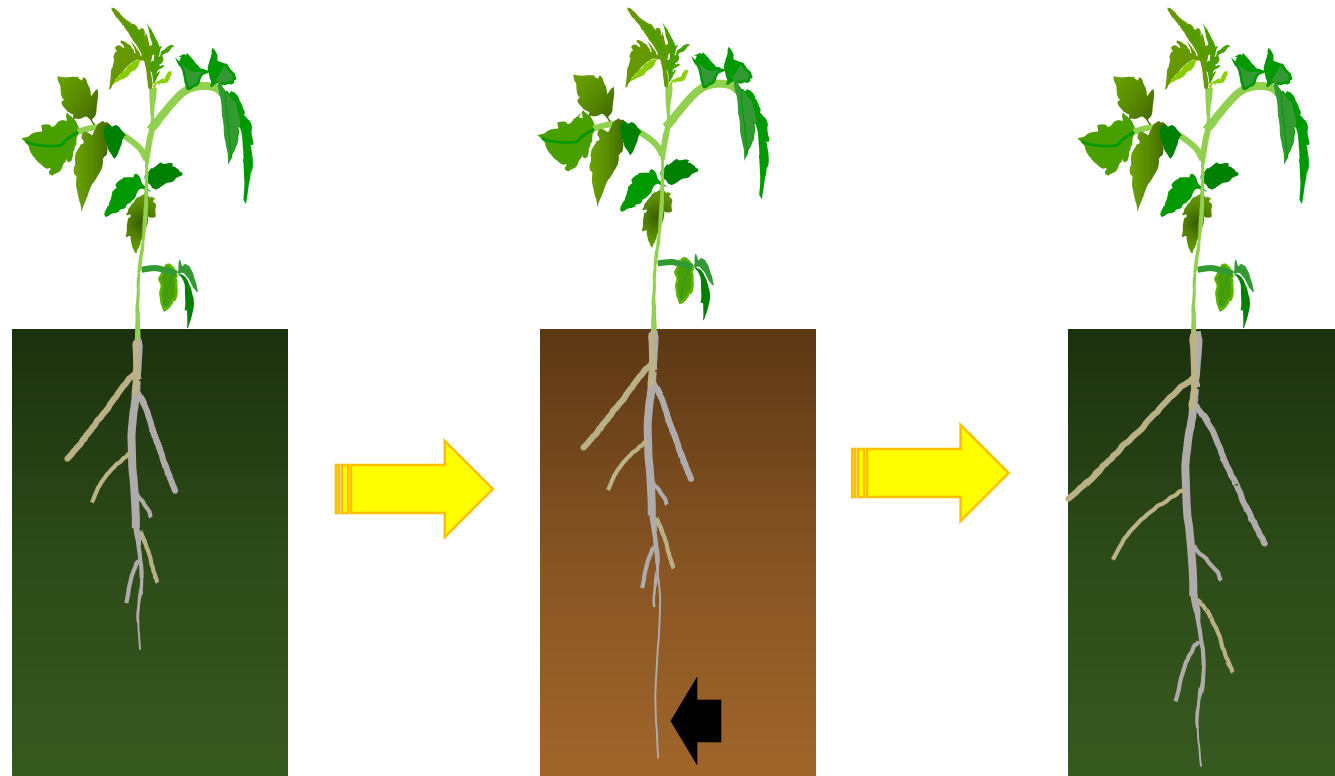
Water withheld 5 days



*Selaginella tamariscina*

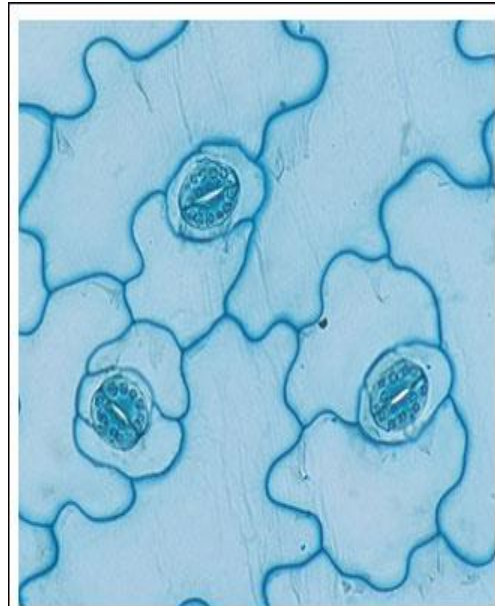
Liu, M.-S., Chien, C.-T., and Lin, T.-P. (2008). Constitutive Components and Induced Gene Expression are Involved in the Desiccation Tolerance of *Selaginella tamariscina*. *Plant and Cell Physiology* 49: [653-663](#), by permission of the Japanese Society of Plant Physiologists; Bohnert, H.J. (2000). What makes desiccation tolerable? *Genome Biology*, published by BioMed Central.

# Το ABA προάγει την αύξηση της ρίζας υπο συνθήκες καταπόνησης



Καταπόνηση ξηρασίας καταστέλλει την ανάπτυξη πλαγιων ριζών

# Το ABA ελέγχει τα στόματα τροποποιώντας τον όγκο των καταφρακτιών κυττάρων



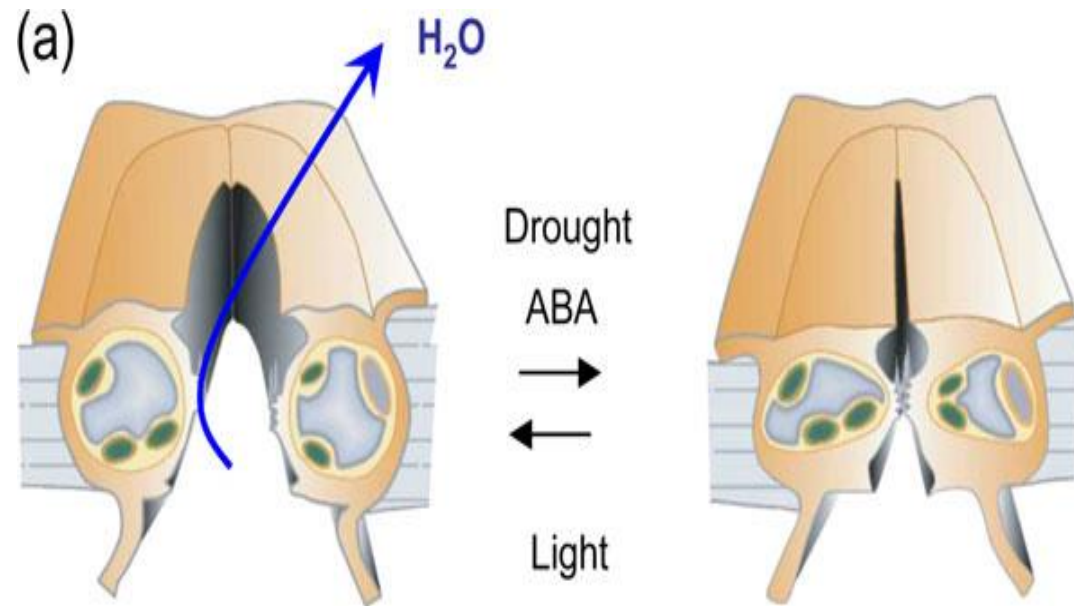
© Image by John Addis

Pairs of guard cells surround the openings of plant pores called stomata.



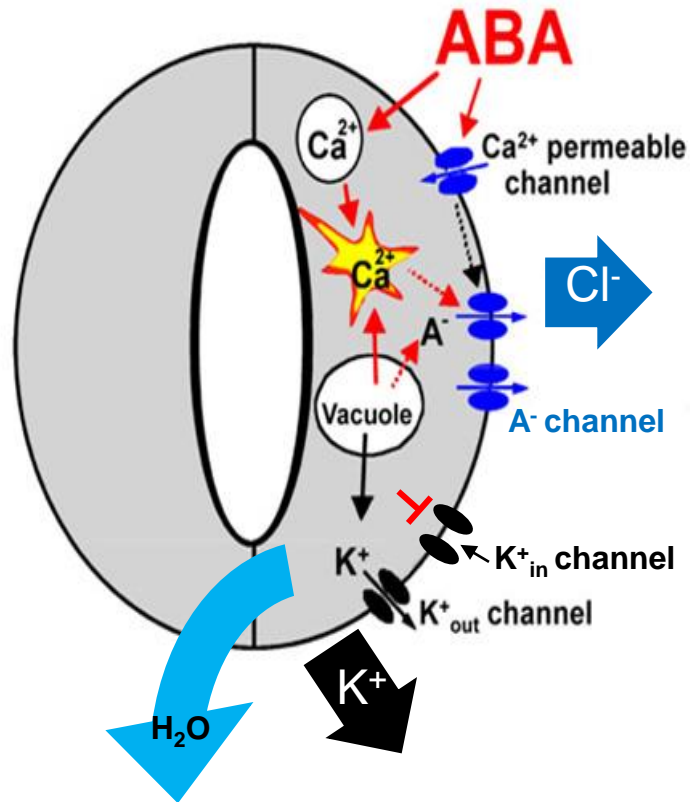
Image by Yizhou Wang, University of Glasgow

Guard cells control the opening and closing of stomata to regulate gas exchange: a fine balance is required to allow CO<sub>2</sub> in for photosynthesis and prevent excessive water loss.

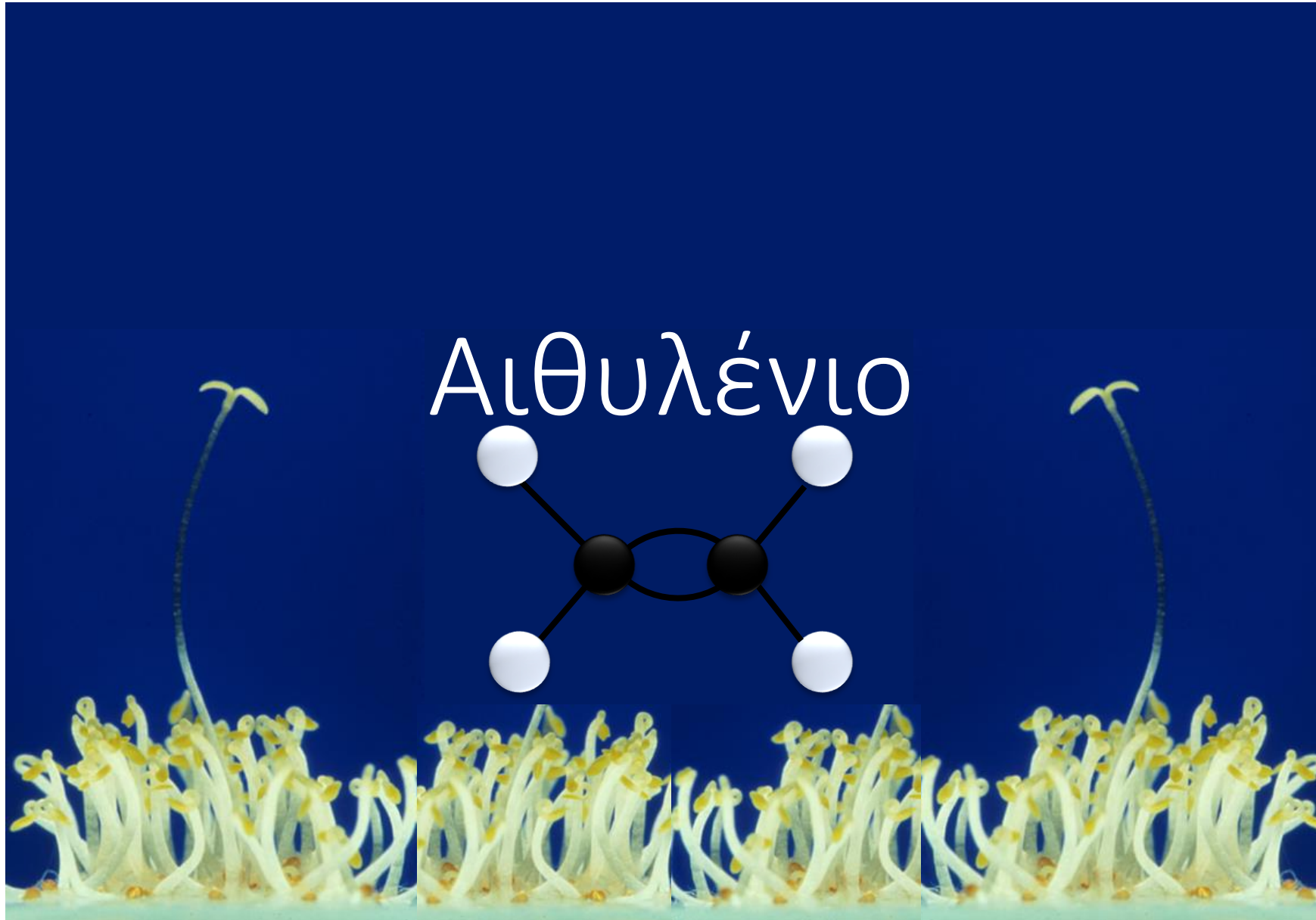


Sirichandra, C., Wasilewska, A., Vlad, F., Valon, C., and Leung, J. (2009) The guard cell as a single-cell model towards understanding drought tolerance and abscisic acid action. *Journal of Experimental Botany* 2009 60: [1439-1463](#). © The Author [2009]. Published by Oxford University Press on behalf of the Society for Experimental Biology.

Το κλείσιμο των στομάτων επάγεται από το ABA ταχύτατα και περιλαμβάνει αλλαγές στις λειτουργίες των διαύλων ιόντων



Το ABA προκαλεί αύξηση στο ενδοκυτταρικό ασβέστιο ( $\text{Ca}^{2+}$ ), το οποίο ενεργοποιεί διαύλους ανιόντων ( $\text{A}^-$ ) επιτρέποντας την έξοδο από το κύτταρο. Το ABA ενεργοποιεί διαύλους εξόδου καλίου ( $\text{K}^+_{\text{out}}$ ) και αναστέλλει τους διαύλους εισόδου καλίου ( $\text{K}^+_{\text{in}}$ ). Συνολικά, υπάρχει μια μεγάλη μεταφορά ιόντων εκτός του κυττάρου, η οποία αναγκαστικά συνοδεύεται από έξοδο νερού (οσμωση) με αποτέλεσμα να ελαττώνεται ο όγκος του κυττάρου και ο στοματικός πόρος να κλείνει.



Cover image from *Science* Vol. 241, no. 4869, 26 August 1988, reprinted with permission from AAAS; photo by Kurt Stepnitz, Michigan State University

# Πώς να μετρήσεις αιθυλενιο (circa 1943)

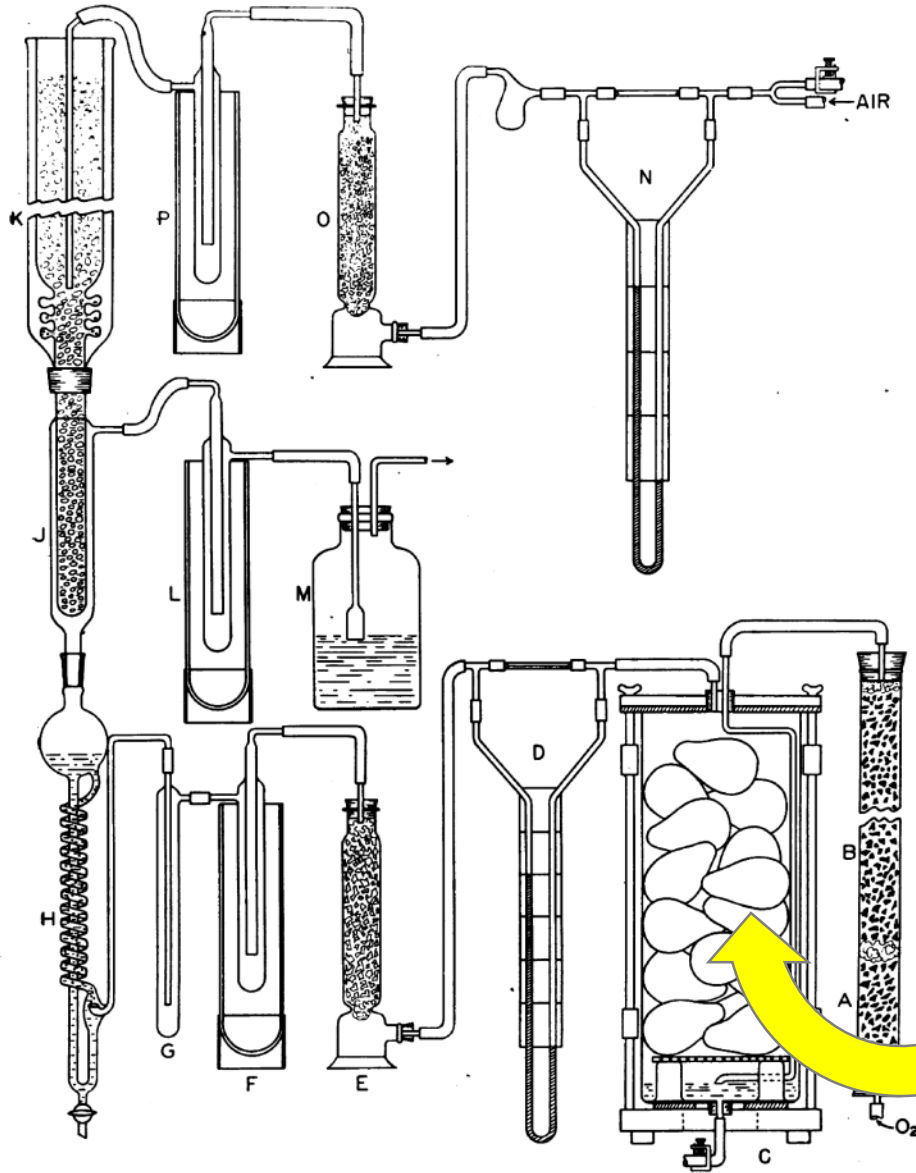


FIG. 1. Absorption train for the collection of ethylene from avocados.



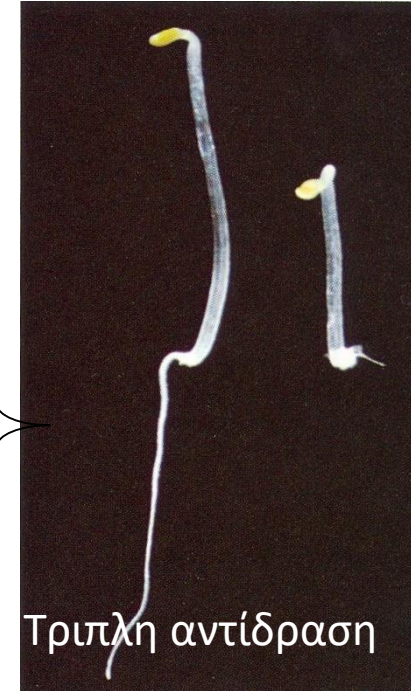
Αβοκados μοντέλο για την  
ωρίμανση φρούτων

Pratt, H.K., Young, R.E., and Biale, J.B. (1948). The identification of ethylene as a volatile product of ripening avocados. *Plant Physiol.* 23: [526-531](#).



## Φυσιολογικές δράσεις αιθυλενίου

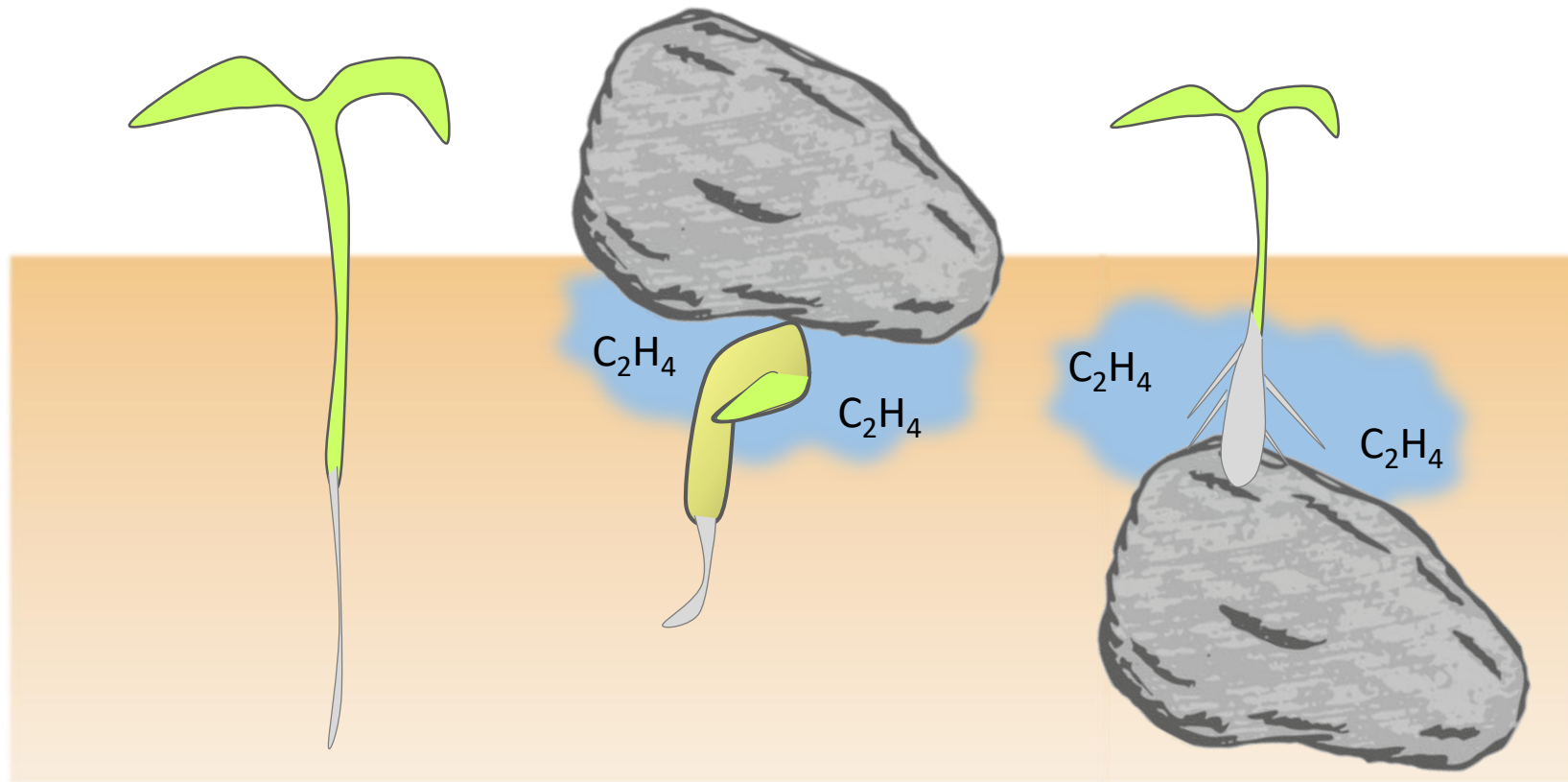
- Αναστολή της αύξησης του υποκοτυλίου και της επιμήκυνσης της ρίζας
- Μεγέθυνση της κορυφαίας συστροφής του βλαστού
- Πάχυνση υποκοτυλίου (*παρεμπόδιση κυτταρικής διαίρεσης και αλλαγή στον άξονα επιμήκυνσης των κυττάρων από κατακόρυφο σε ισοδιαμετρικό*)



- Επιναστία φύλλων (↑ παραγωγής αιθυλενίου από αυξίνη/καταπόνηση)
- Προώθηση ωρίμανσης καρπών και αύξηση αναπνευστικής δραστηριότητας
- Αναστολή ληθαργου σπερμάτων και οφθαλμών
- Έναρξη άνθισης

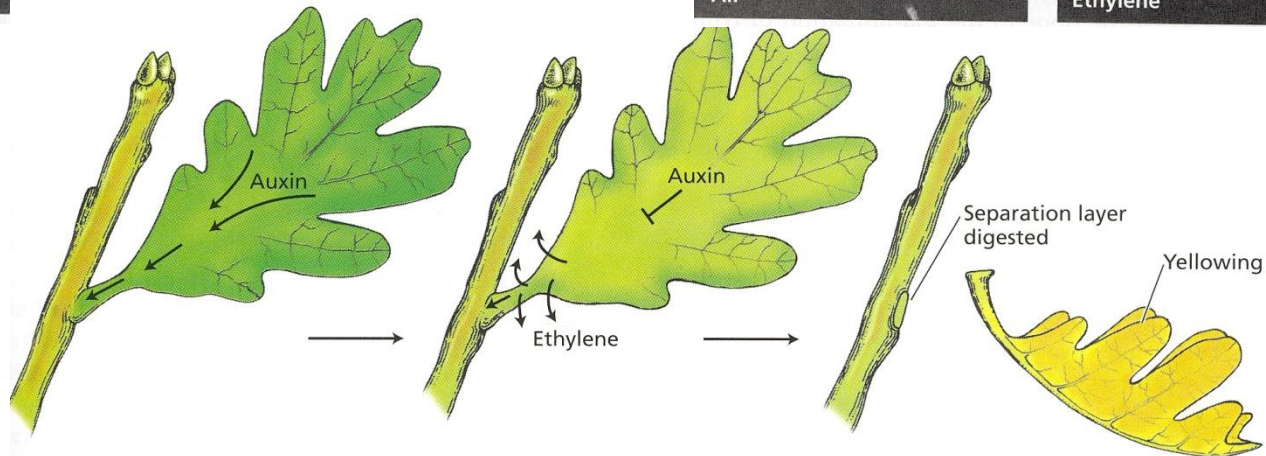
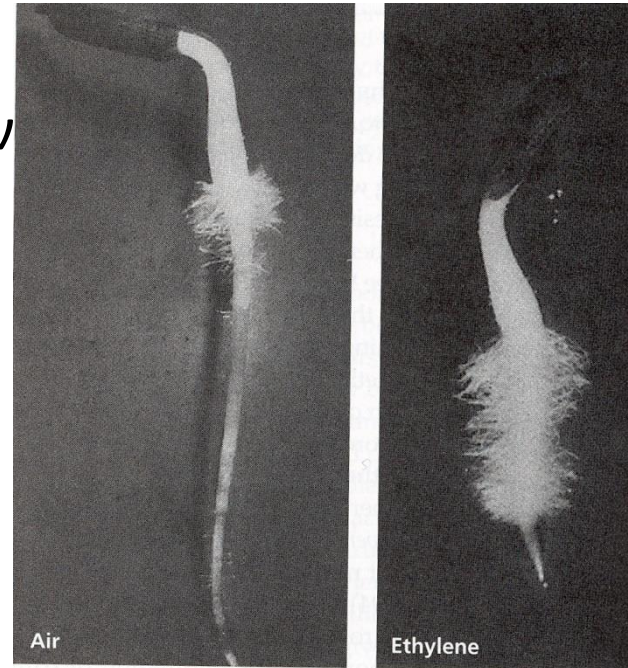
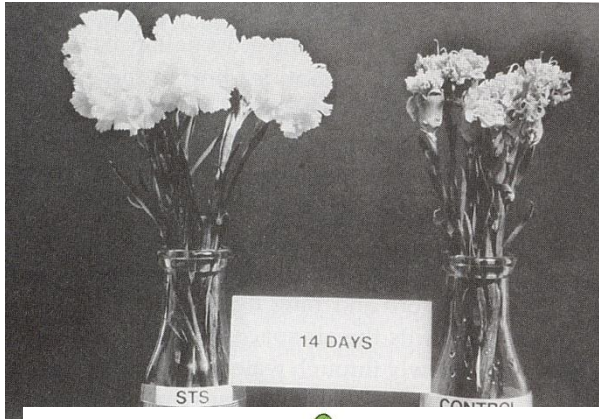


# Τριπλή αντίδραση: αναστολή αύξησης στο σκοτάδι



# Φυσιολογικές δράσεις αιθυλενίου

- Επαγωγή ριζογένεσης
- Απόπτωση φυτικών οργάνων
- Άμυνα των φυτών



**Leaf maintenance phase**  
High auxin from leaf reduces ethylene sensitivity of abscission zone and prevents leaf shedding.

**Shedding induction phase**  
A reduction in auxin from the leaf increases ethylene production and ethylene sensitivity in the abscission zone, which triggers the shedding phase.

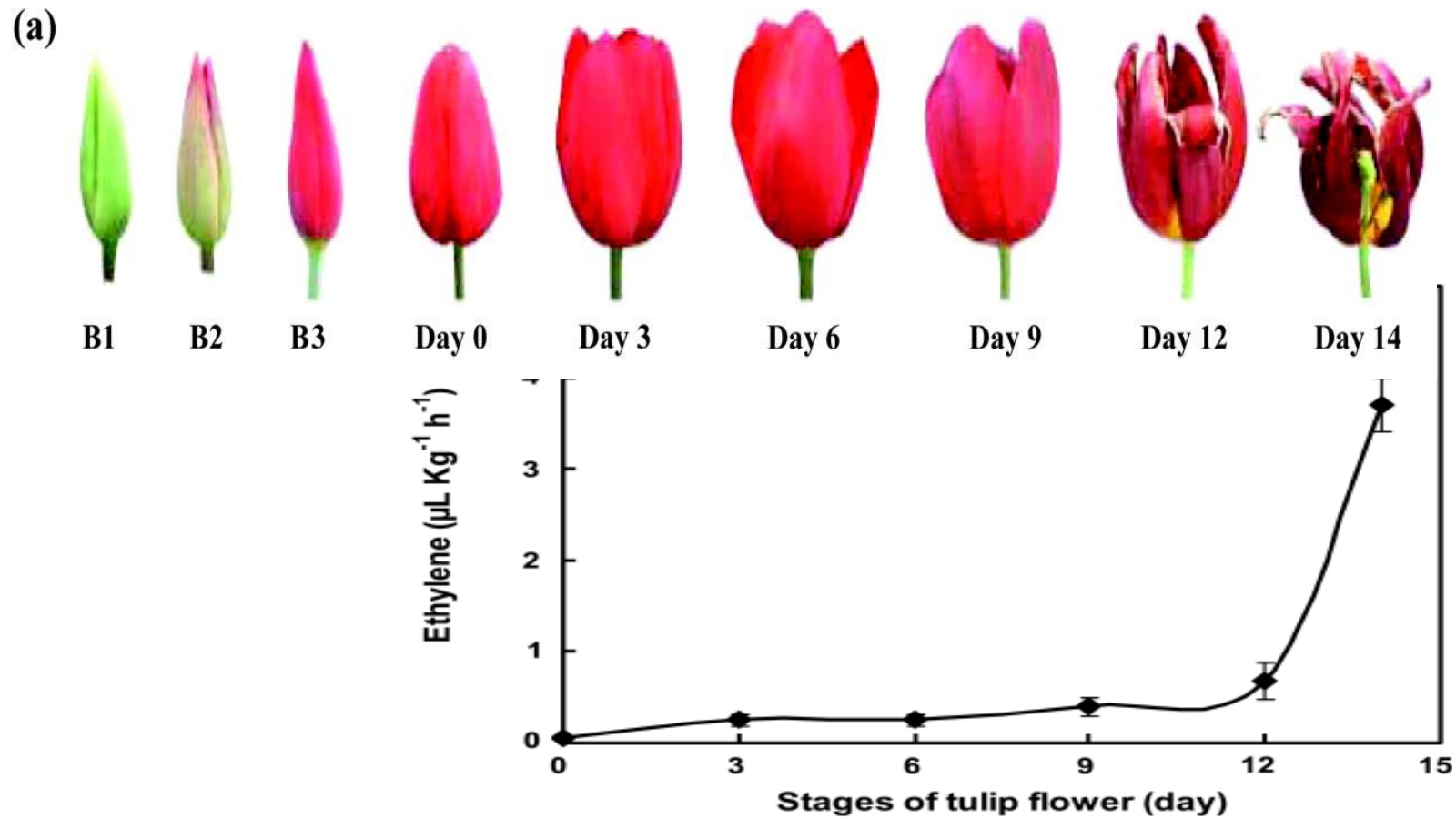
**Shedding phase**  
Synthesis of enzymes that hydrolyze the cell wall polysaccharides, resulting in cell separation and leaf abscission.

...αλλά και του χρόνου διατήρησης των κομμένων ανθων και φρούτων



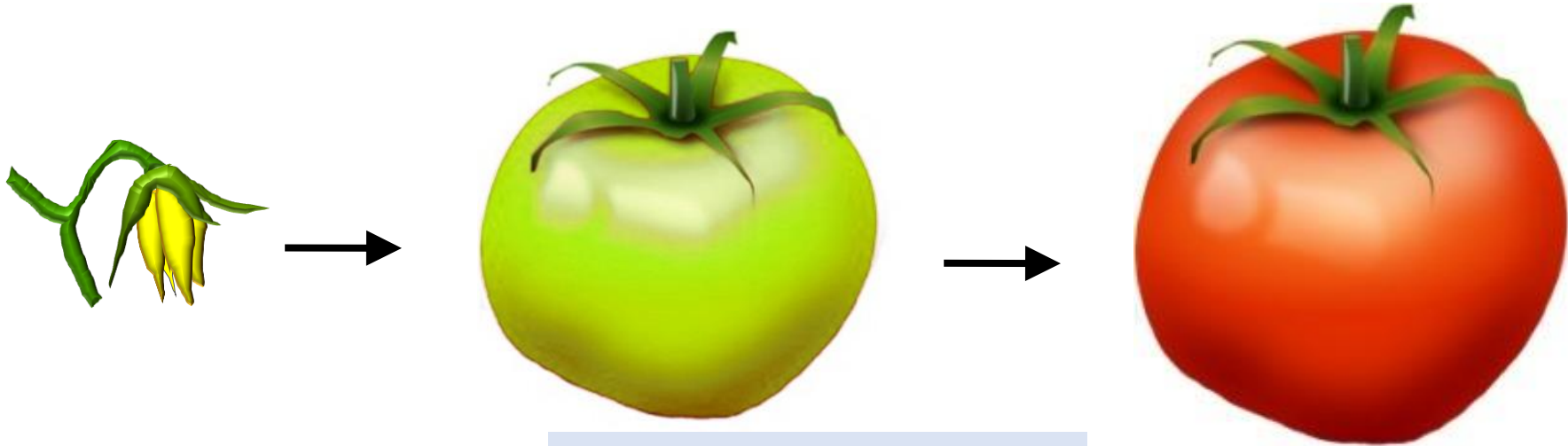
Reprinted from Serek, M., Woltering, E.J., Sisler, E.C., Frello, S., and Sriskandarajah, S. (2006) Controlling ethylene responses in flowers at the receptor level. *Biotech. Adv.* 24: [368-381](#) with permission from Elsevier.

# μάρανση πετάλων



Azad, A.K., Ishikawa, T., Ishikawa, T., Sawa, Y., and Shibata, H. (2008). Intracellular energy depletion triggers programmed cell death during petal senescence in tulip. *J. Exp. Bot.* 59: [2085-2095](#), by permission of Oxford University Press.

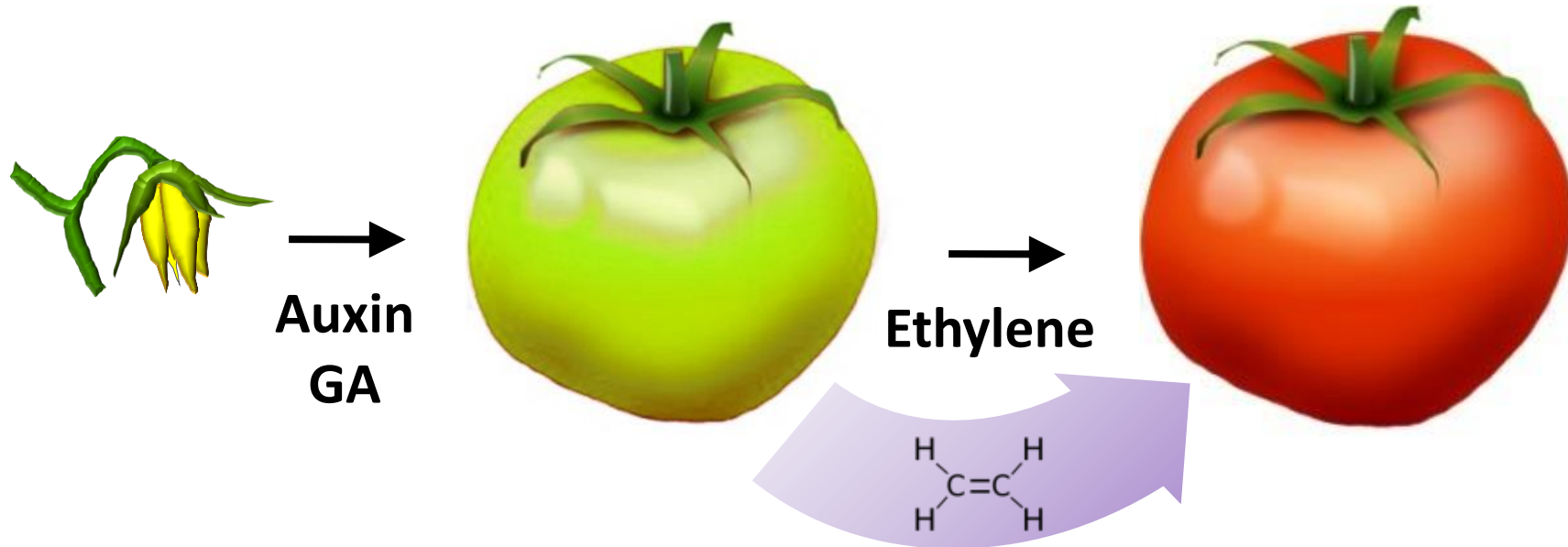
Η ανάπτυξη των φρούτων και η ωρίμανση βρίσκονται υπό ορμονικό έλεγχο



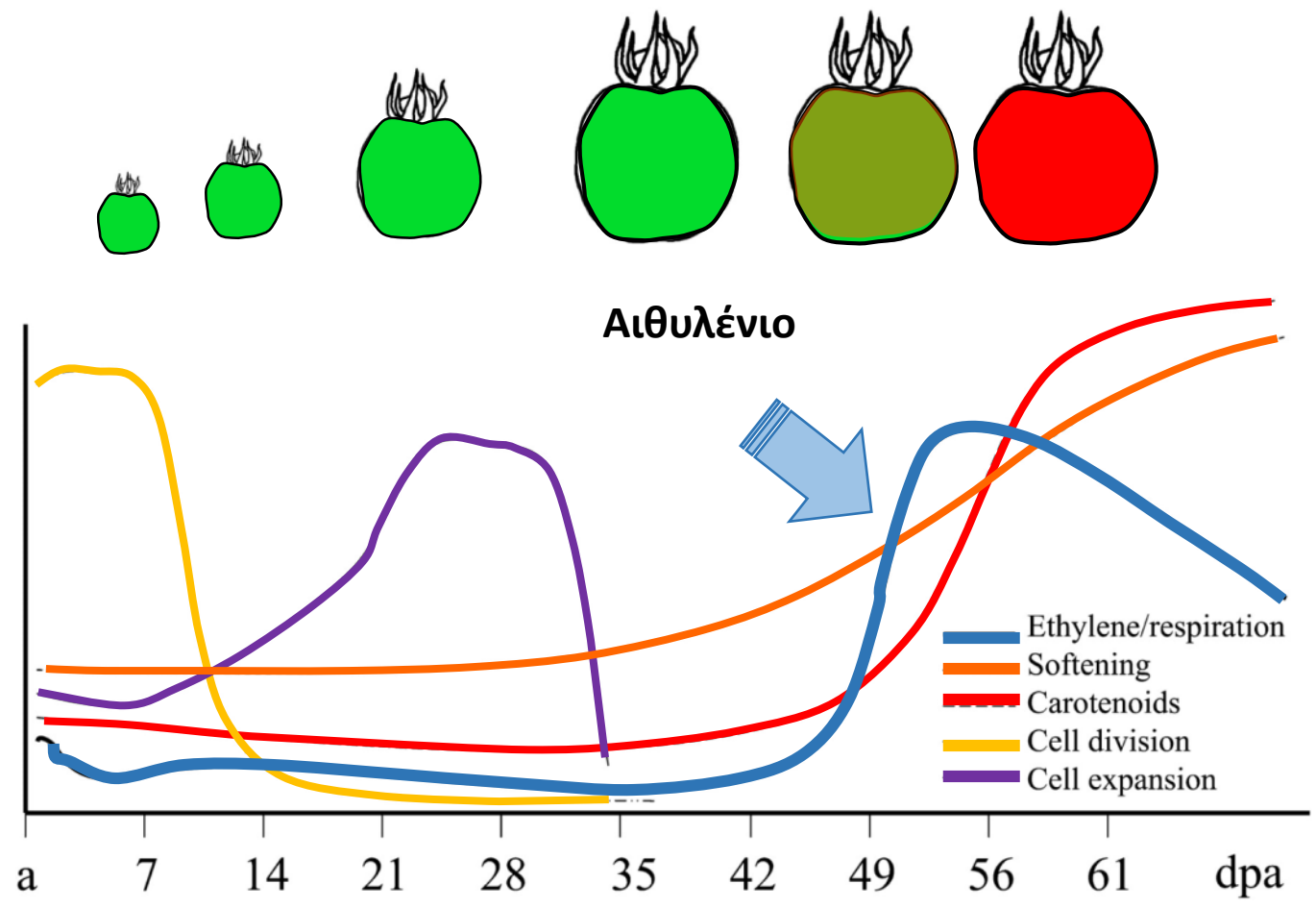
Η επικονίαση επιτρέπει την γήρανση των πετάλων, την κυτταρική διαίρεση και επιμήκυνση στην ωοθήκη για τη δημιουργία του καρπού και την ωρίμανσή του



# Η ωρίμανση των καρπών επάγεται από το αιθυλένιο



Το αιθυλένιο προάγει την ανάπτυξη του χρώματος και του αρώματος του φρούτου, αλλαγές στο κυτταρικό τοίχωμα και μετατροπή του αμύλου σε σάκχαρα



Giovannoni, J.J. (2004). Genetic regulation of fruit development and ripening. *Plant Cell* 16: [S170-180](#).



# Καθορισμός φύλου



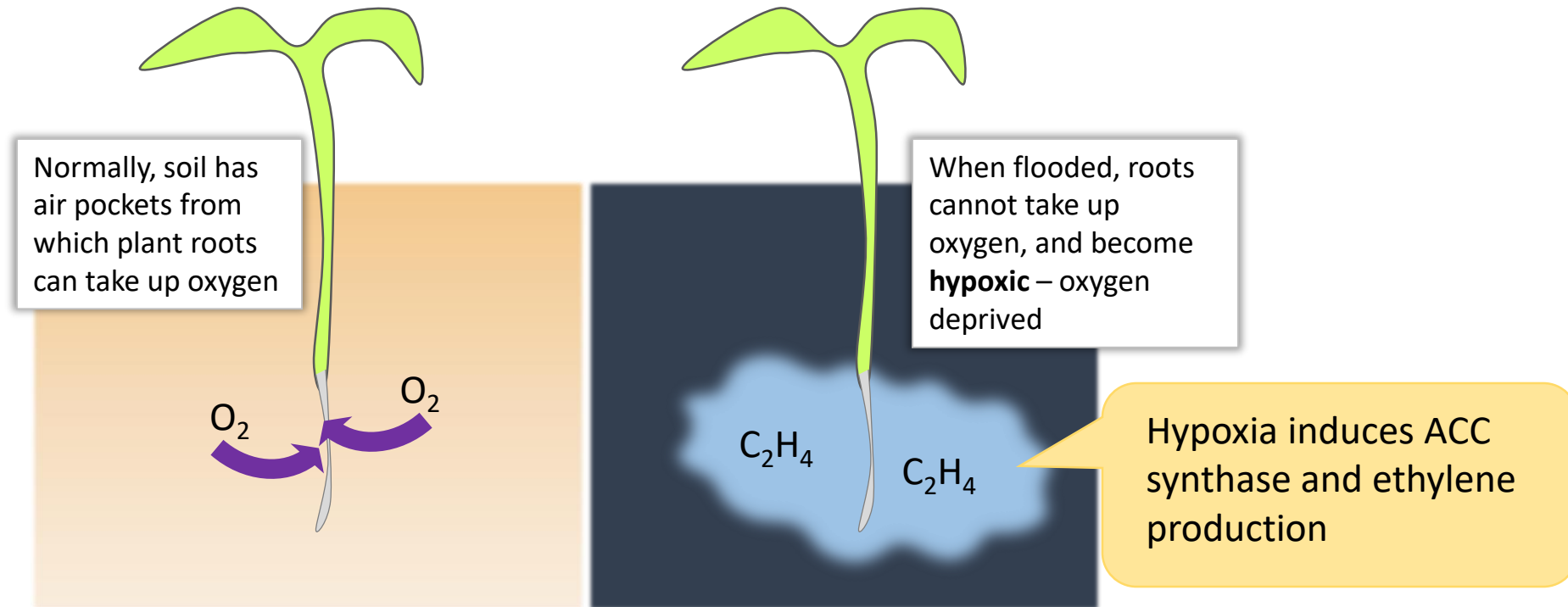
Hermaphrodite

Male

Female



# Βιοσύνθεση αιθυλενίου υπο συνθήκες υποξίας



# Δημιουργία αερεγχύματος υπο συνθήκες ανοξίας

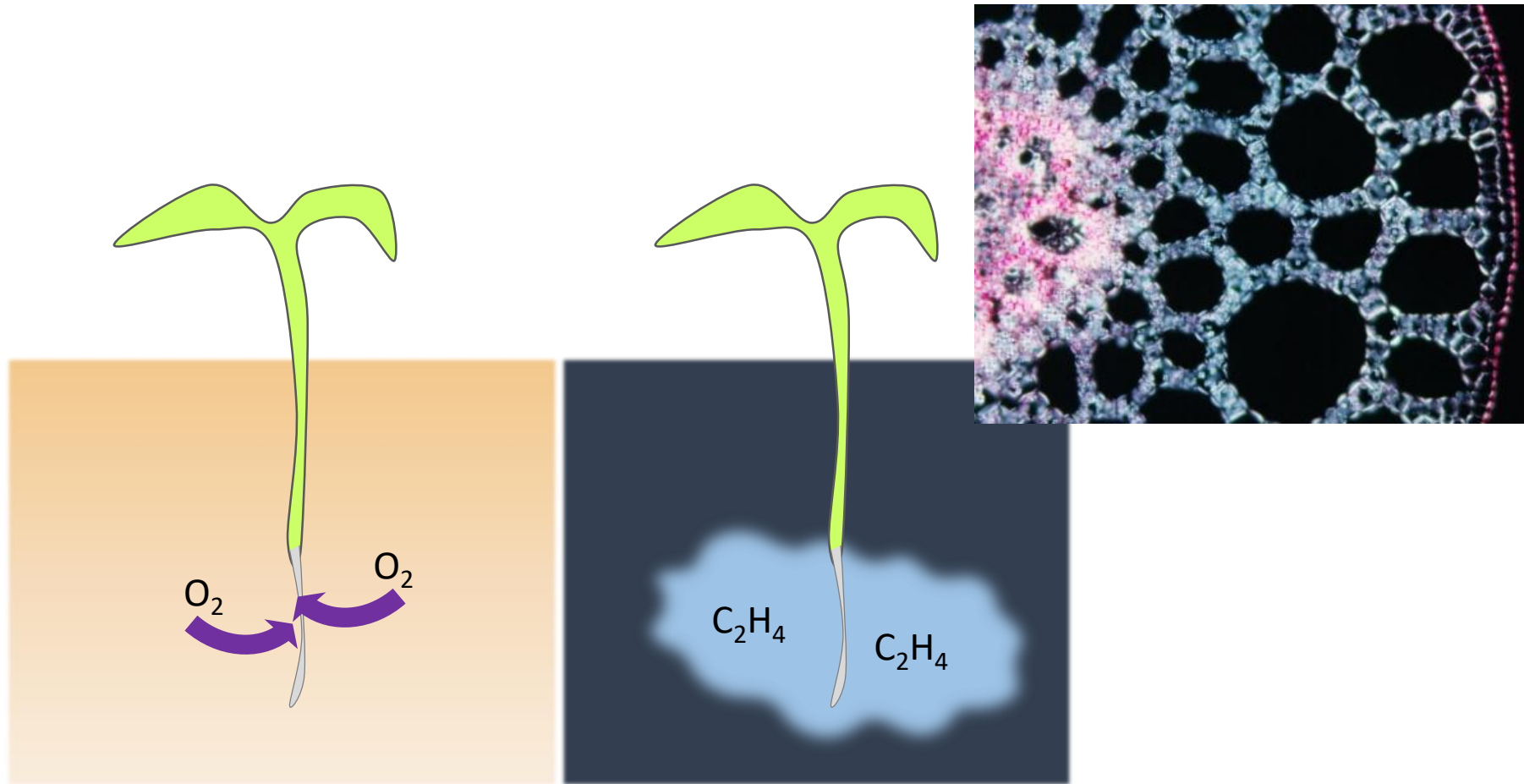
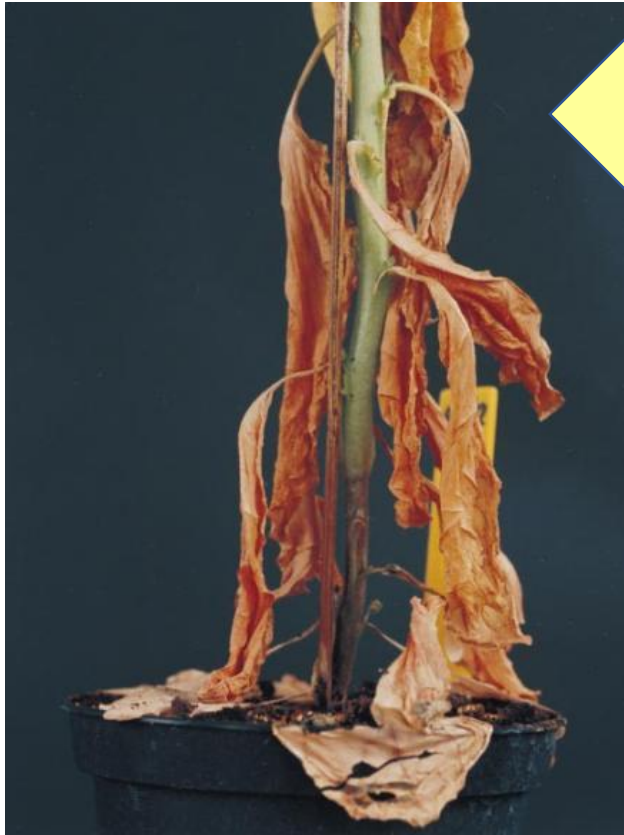


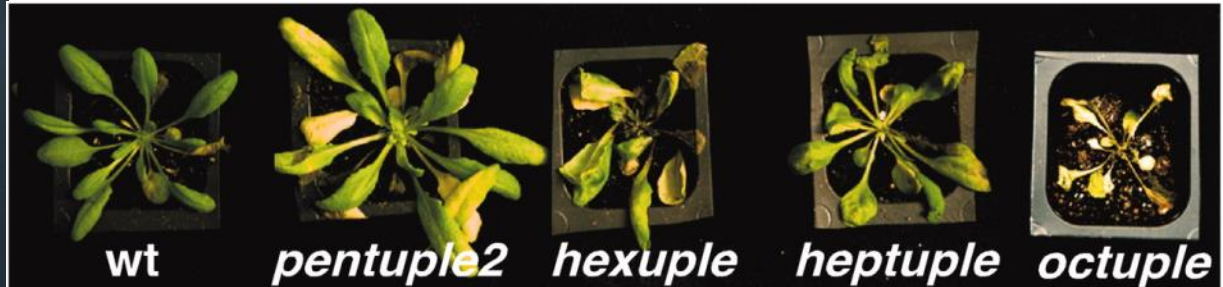
Photo Author: Gordon Beakes©University of Newcastle upon Tyne Image courtesy [LTSN Bioscience](#). A darkfield micrograph of a transverse section of a stem of *Hippuris* spp., showing aerenchyma.

# το αιθυλένιο έχει ρόλο στην απόκριση άμυνας των φυτών



Μεταλλαγμα απρόκρισης σε αιθυλένιο

Μεταλλάγματα βιοσύνθεσης αιθυλενίου

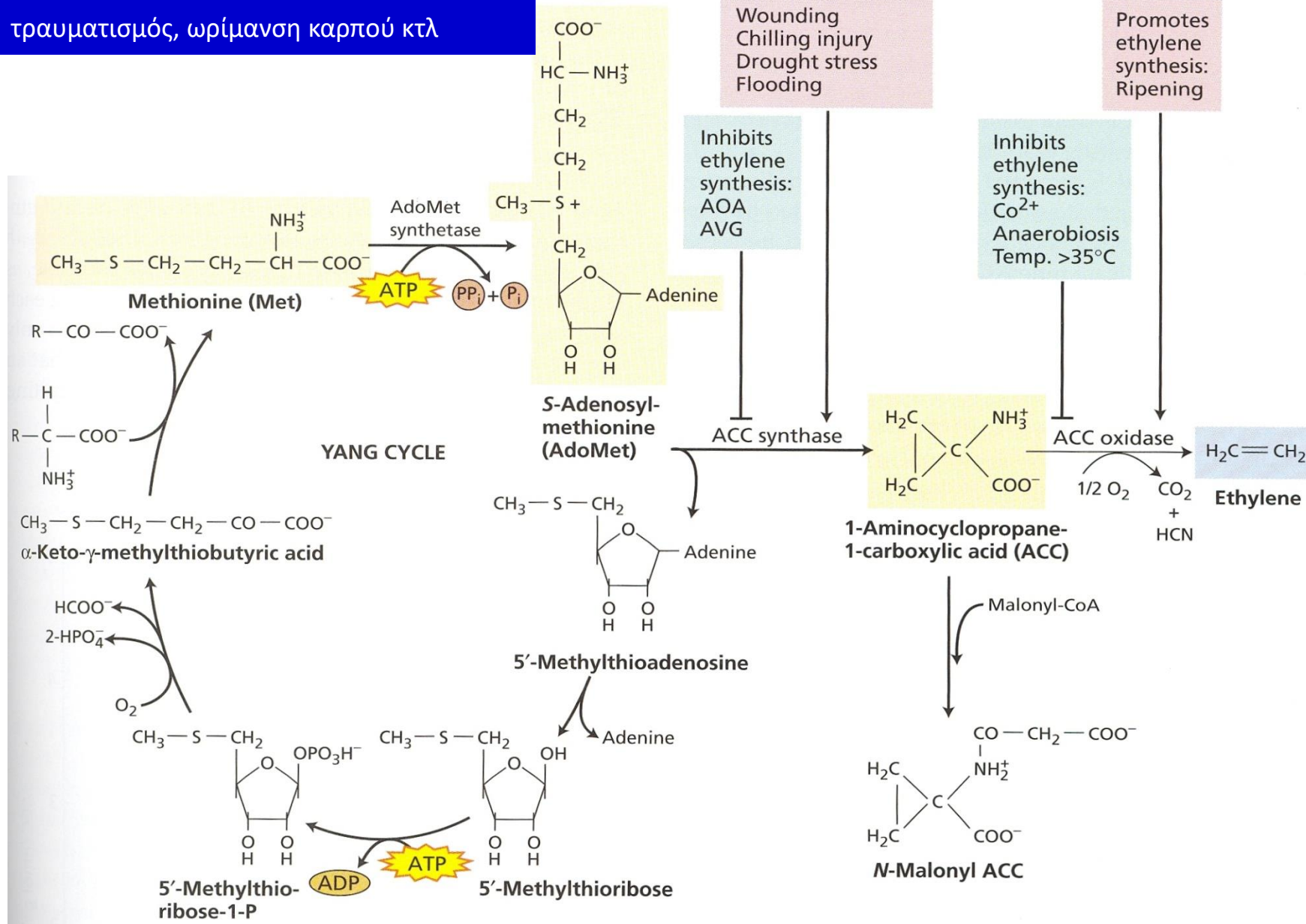


Knoester, M., van Loon, L.C., van den Heuvel, J., Hennig, J., Bol, J.F., and Linthorst, H.J.M. (1998). Ethylene-insensitive tobacco lacks nonhost resistance against soil-borne fungi. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 95: [1933–1937](#), copyright National Academy of Sciences USA.; Tsuchisaka, A., Yu, G., Jin, H., Alonso, J.M., Ecker, J.R., Zhang, X., Gao, S., and Theologis, A. (2009). A combinatorial interplay among the 1-aminocyclopropane-1-carboxylate isoforms regulates ethylene biosynthesis in *Arabidopsis thaliana*. *Genetics* 183: [979-1003](#).

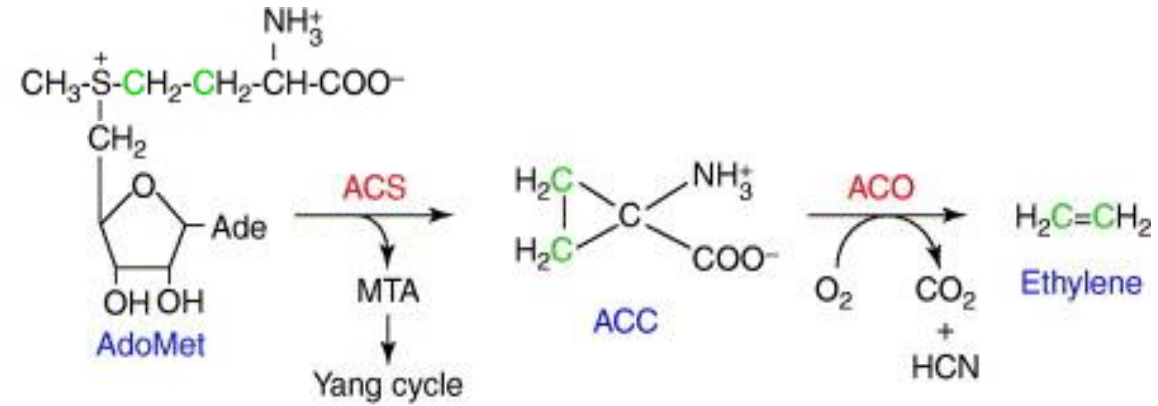
# ACC-συνθάση/ ACC - οξειδάση

- Πολυγονιδιακή οικογένεια
- Διαφορική έκφραση από αυξίνη, τραυματισμός, ωρίμανση καρπού κτλ

# Βιοσύνθεση αιθυλενίου



**ACS : ACC synthase**  
**ACO : ACC oxidase**



*TRENDS in Plant Science*

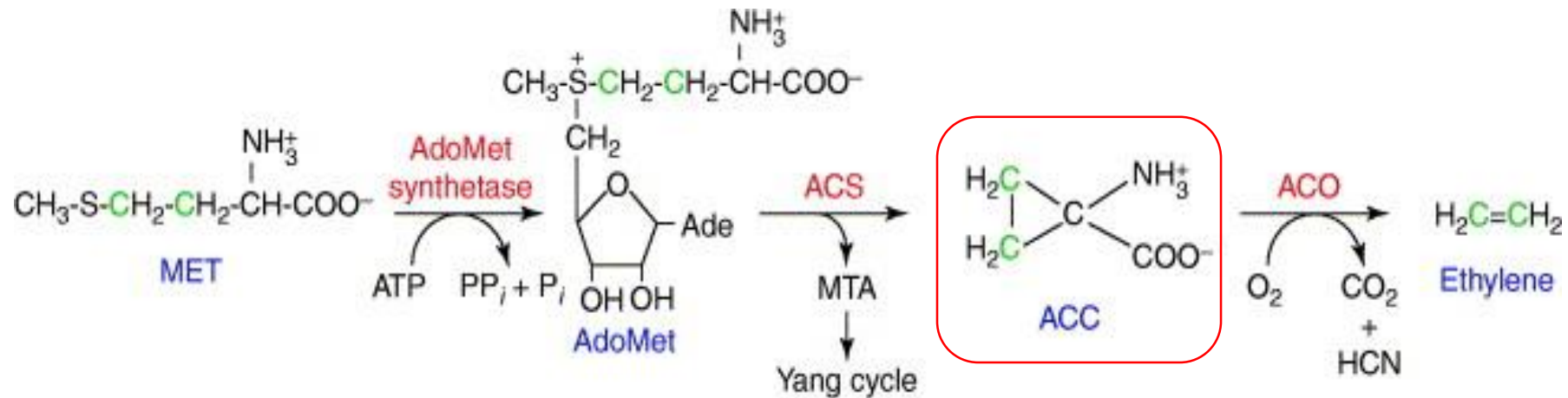


Tony Bleecker  
 (1950 – 2005)



Hans Kende (1937 -  
 2006)

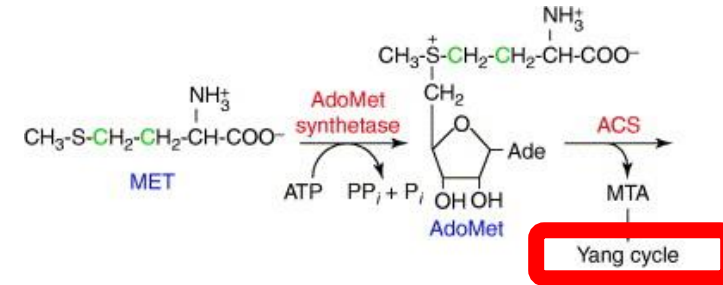
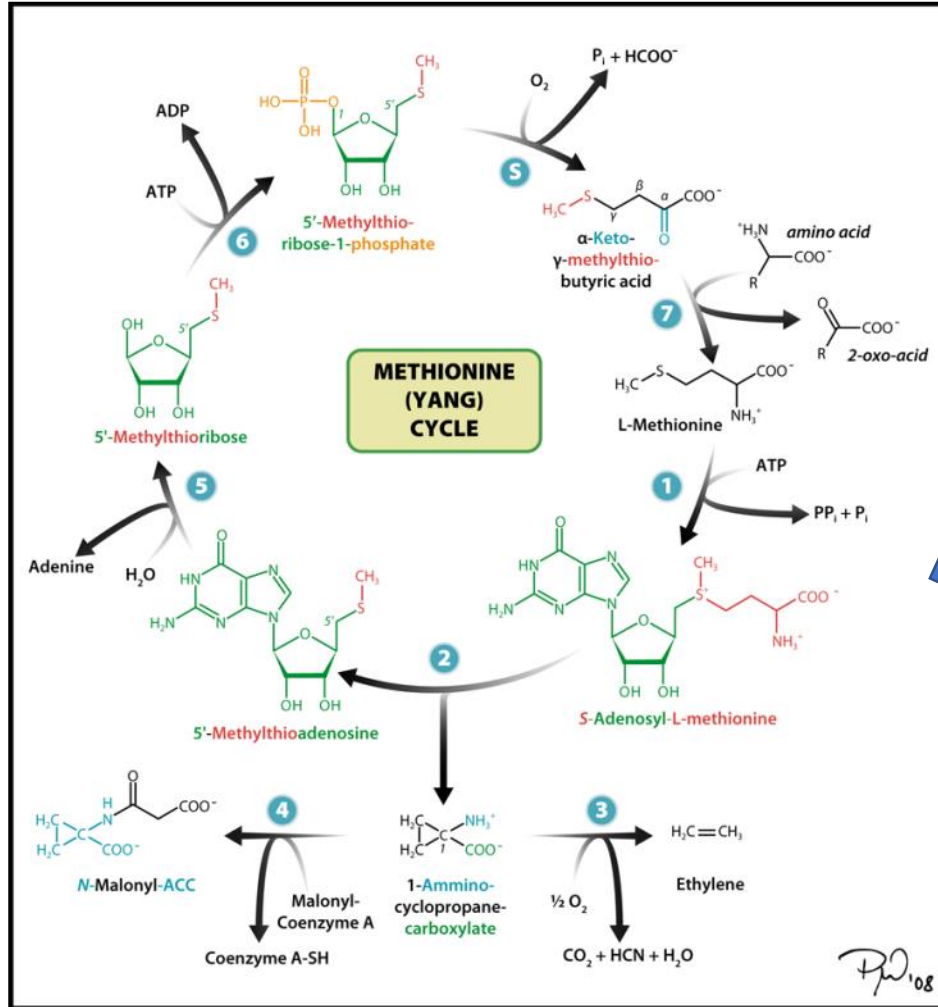
Reprinted from Chae, H.S., and Kieber, J.J. (2005). Eto Brute? Role of ACS turnover in regulating ethylene biosynthesis. Trends Plant Sci.10: 291-296 with permission from Elsevier.; Photos courtesy of Alan Jones (University of North Carolina) and Kurt Stepnitz (Michigan State University).



**ACC synthase (ACS)**  
**ACC oxidase (ACO)**

Καρβοξυ- αμινοκυκλοπροπανικό οξύ  
 (aminocyclopropane-carboxylic acid)

# Αναγέννηση μεθειονίνης μέσω του κύκλου Yang



Shang Fa Yang

1932 – 2007

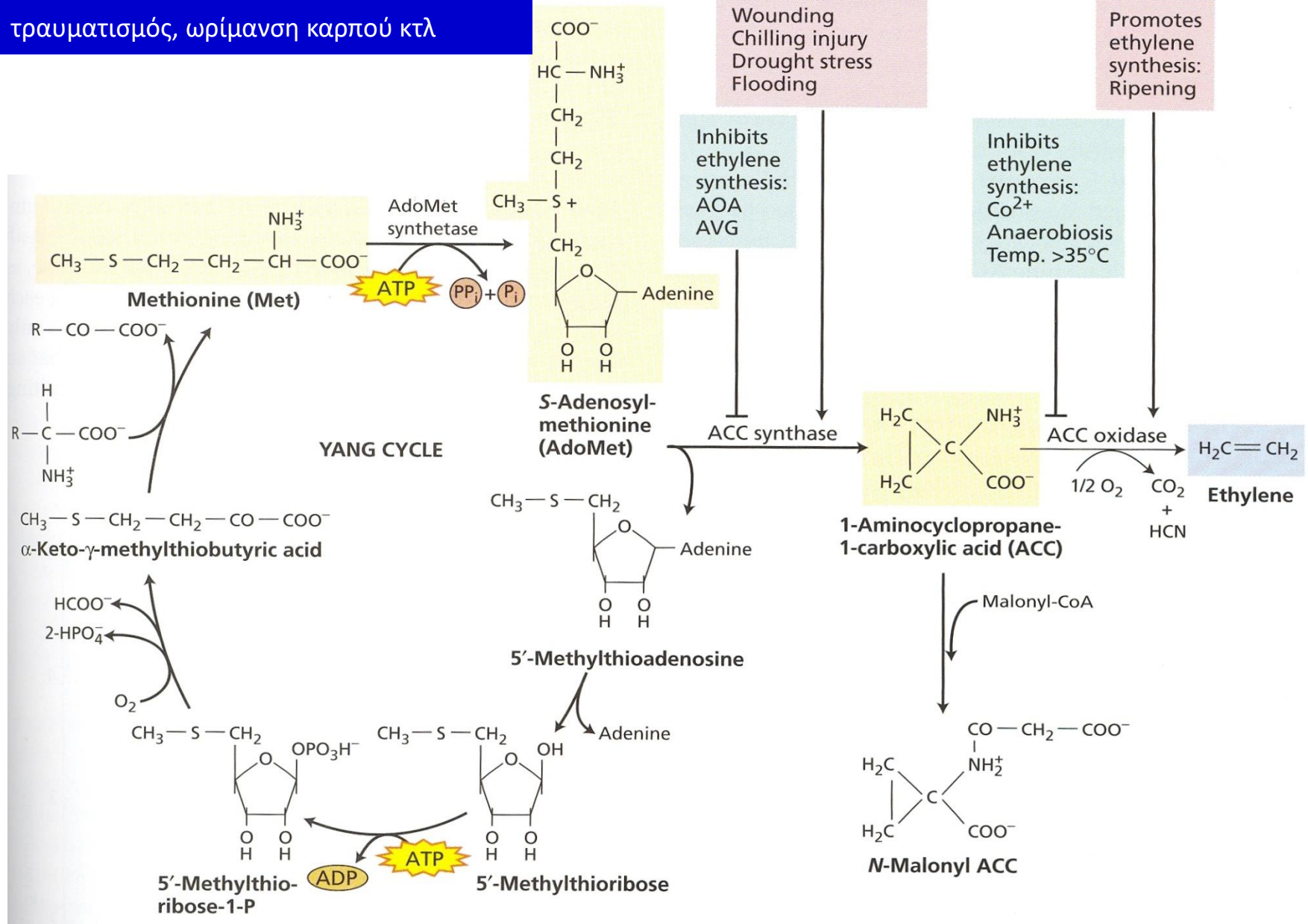
Reprinted from Chae, H.S., and Kieber, J.J. (2005). Eto Brute? Role of ACS turnover in regulating ethylene biosynthesis. Trends Plant Sci.10: 291-296 with permission from Elsevier.; Image sources: [University of California](#); [Crenim](#)



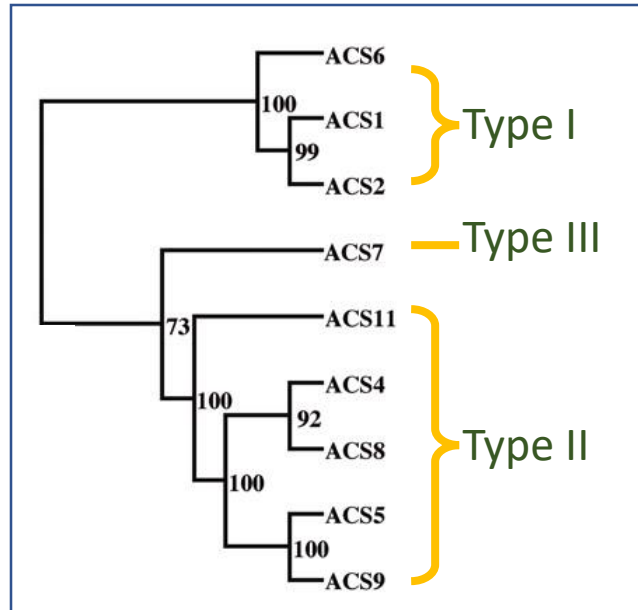
# ACC-συνθάση/ ACC - οξειδάση

- Πολυγονιδιακή οικογένεια
- Διαφορική έκφραση από αυξίνη, τραυματισμός, ωρίμανση καρπού κτλ

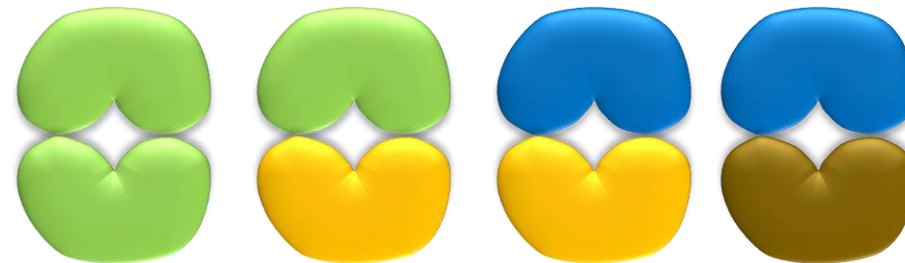
# Βιοσύνθεση αιθυλενίου



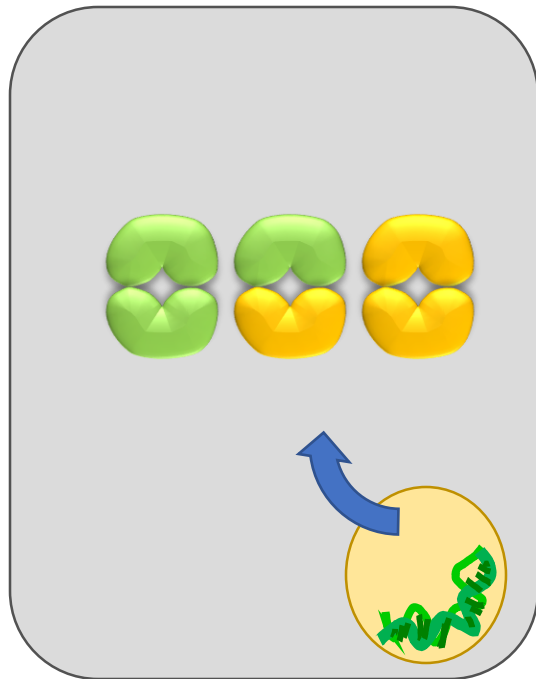
# Η ACS δρα ως διμερές



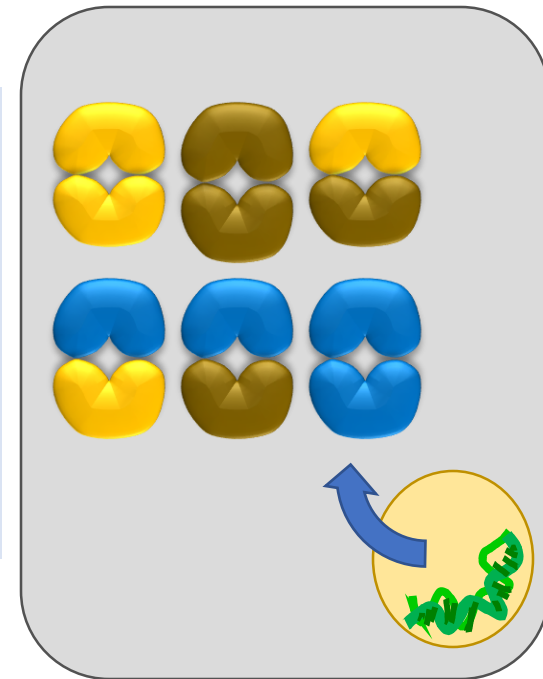
Δυνητικά σχηματίζονται 45 ομο- και ετερο-διμερή από τα οποία τα 25 είναι δραστικά



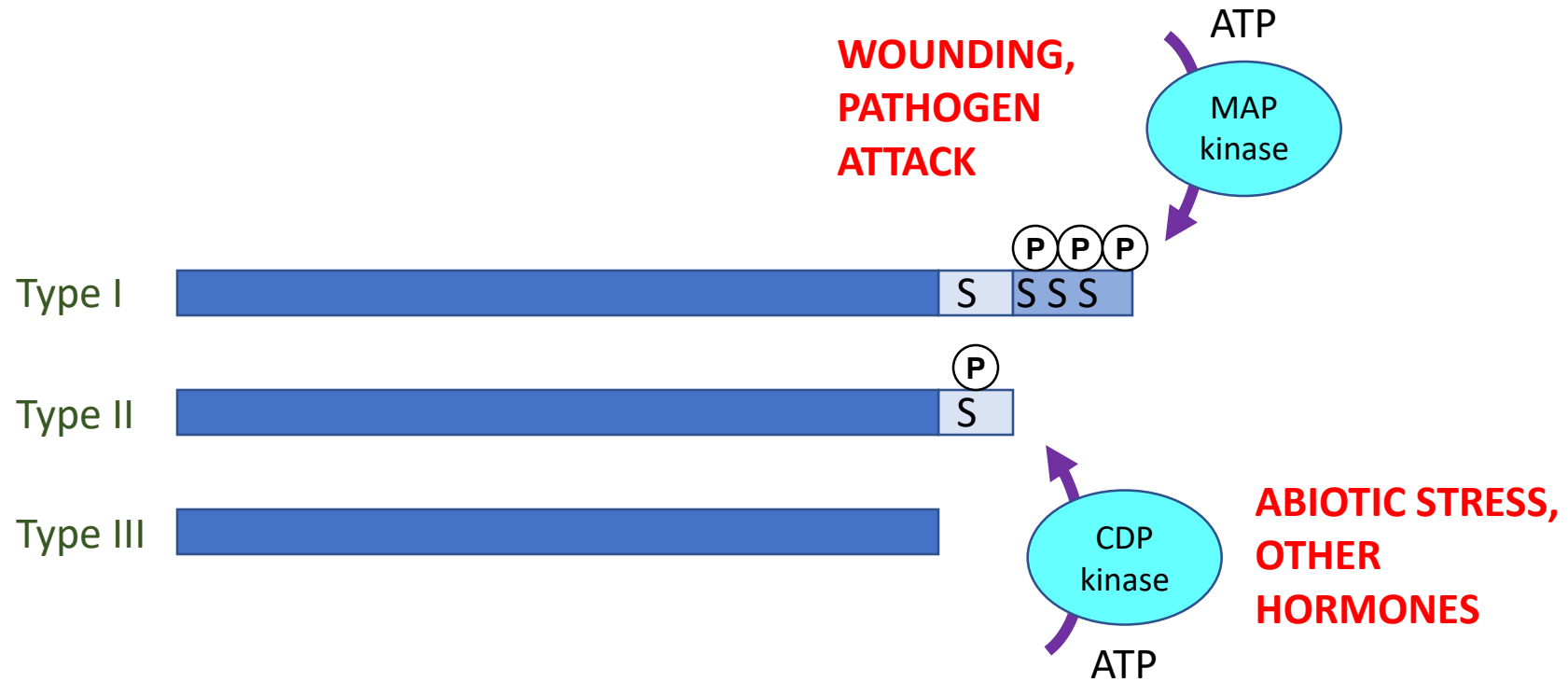
# Τα διαφορετικά διμερή έχουν διαφορετική καταλυτική δράση



Η υποδομάδα γονιδίων που εκφράζεται σε κάθε κύτταρο καθορίζει τον τυπο των διμερών που σχηματίζονται και επηρεάζουν τη σύνθεση αιθυλενίου



# Ο τραυματισμός και άλλες ορμόνες ελέγχουν τη φωσφορυλίωση των ACS



# Έλεγχος μέσω πρωτεόλυσης

