



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

AGRICULTURAL UNIVERSITY OF ATHENS

Βιοχημεία Τροφίμων I

Ενότητα 13^η

Η Αμαύρωση των Τροφίμων

Όνομα καθηγητή: Έφη Τσακαλίδου

Τμήμα: Επιστήμης Τροφίμων & Διατροφής του Ανθρώπου



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



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

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ





Στόχοι ενότητας

- Κατανόηση της δομής και της λειτουργικότητας των φαινολικών ενώσεων και των ταννινών
- Κατανόηση του μηχανισμού της ενζυμικής αμαύρωσης και του ρόλου των ενζύμων που εμπλέκονται
- Κατανόησης της παρασκευής του τσαγιού
- Κατανόηση της μη ενζυμικής αμαύρωσης



Λέξεις - κλειδιά

- Λέξεις κλειδιά: Ενζυμική Αμαύρωση, Φαινολικές Ενώσεις, Ταννίνες, Λακκάση, Πολυφαινολοξειδάση, Παρεμπόδιση, Τσάι, Αντίδραση Maillard, Καραμελοποίηση
- Key words: Enzymatic Browning, Phenolic Compounds, Tannins, Laccase, Polyphenoloxidase, Inhibition, Tea, Maillard Reaction, Caramelization



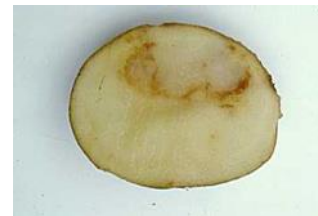
Αντιδράσεις αμαύρωσης

- Οι αντιδράσεις αμαύρωσης είναι από τα πιο σημαντικά φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα κατά την επεξεργασία και αποθήκευση των τροφίμων.
- Οι δύο σημαντικότερες κατηγορίες αντιδράσεων είναι:
 - η **ενζυμική αμαύρωση**, η οποία οφείλεται στην ενζυμική οξείδωση των φαινολικών ενώσεων των τροφίμων.
 - η **μη ενζυμική αμάυρωση**, η οποία οφείλεται στην αντίδραση Maillard μεταξύ αμινομάδων των πρωτεϊνών και αλδεϋδικών ομάδων των υδατανθράκων των τροφίμων.



Ενζυμική αμαύρωση (α)

- αλλαγές χρώματος σε φυτικούς ιστούς όταν καταπονηθούν, π.χ.
 - κοπούν,
 - ασθενήσουν,
 - παγώσουν.
- ανεπιθύμητη αντίδραση:
 - πατάτα, μήλο, μπανάνα,μανιτάρια.
- επιθυμητή αντίδραση:
 - τσάι, κακάο, χουρμάδες.





Ενζυμική αμαύρωση (β)

- τάση φυτικού ιστού προς αμαύρωση ποικίλει ανάλογα με:
 - συγκέντρωση ενζύμων.
 - συγκέντρωση φαινολικών ενώσεων.
 - παρουσία οξυγόνου.
 - παρουσία μεταλλικών ιόντων.
- υποστρώματα της αντίδρασης:
 - απλές φαινόλες.
 - παράγωγα κινναμικού οξέος.
 - φλαβονοειδή.



Φαινολικές ενώσεις (α)

Φαινολικές ενώσεις φυτικών ιστών:

- οργανικές ενώσεις με βασική δομική μονάδα:
 - υδροξυλιωμένο αρωματικό δακτύλιο.
π.χ. π-κρεσόλη, καφεϊκό, κουμαρικό, φερουλικό οξύ
- συχνά υπό μορφή εστέρων:
 - με σάκχαρα.
 - με άλλες φαινολικές ενώσεις (δεψίδια).



Φαινολικές ενώσεις (β)

Φαινολικές ενώσεις φυτικών ιστών: (συνέχεια)

- ευρύ φάσμα χημικών και λειτουργικών ιδιοτήτων:
 - διαμορφώνουν την γεύση και το χρώμα των τροφίμων.
 - ευεργετική επίδραση στην υγεία του ανθρώπου.
 - αντιμικροβιακή ή/και αντιοξειδωτική δράση.
- βιοσύνθεση:
 - μέσω του μονοπατιού του **σικιμικού οξέος**.



Φαινολικές ενώσεις (γ)

συνθήκες καταπόνησης:

- τραυματισμός ιστού.
- προσβολή από μύκητες/βακτήρια.
- χαμηλή ψύξη.

συγκέντρωση
φαινολικών ενώσεων



ωρίμανση φρούτων

είδος φυτού
συνθήκες συντήρησης



έκταση αλλαγών
μέγεθος αλλαγών



Ταννίνες (α)

- ταννίνες = πολυφαινόλες.
- ετερογενής ομάδα μορίων:
 - ΜΒ μέχρι και 3000 Da.
 - ακριβής δομή μεγαλομοριακών ταννινών άγνωστη.
 - σχηματίζονται από:
 - καρβοξυλικά οξέα.
 - φαινολικά οξέα.
 - σάκχαρα.
- προσδίδουν λειτουργικά χαρακτηριστικά στο τρόφιμο:
 - χρώμα.
 - στυπτικότητα.



Ταννίνες (β)

- συμβατική ομαδοποίηση:
 - συμπυκνωμένες.
 - υδρολυόμενες.
- συμπυκνωμένες ταννίνες:
 - προανθοκυανιδίνες.
 - παράγωγα φλαβανο-3,4-διολών.
- υδρολυόμενες ταννίνες:
 - γαλλοταννίνες.
 - ελλαγιταννίνες.

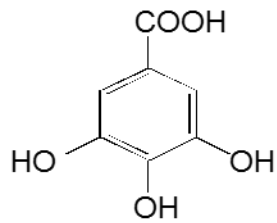


Ταννίνες (γ)

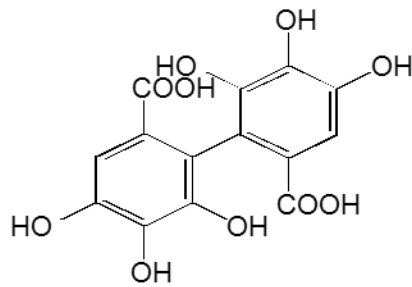
Υδρολυόμενες ταννίνες:

- γαλλοταννίνες.
- ελλαγιταννίνες.

Gallotannins ('hydrolyzable tannins')

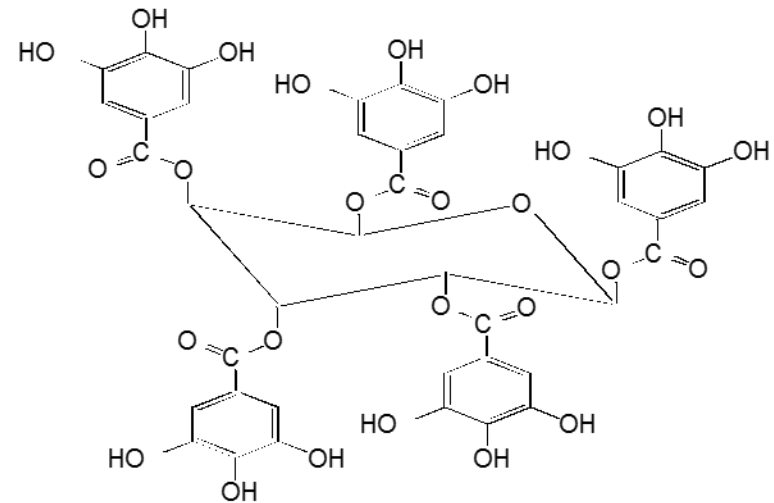


gallic acid



hexahydroxy-diphenic acid

Gallotannins ('hydrolyzable tannins')



β -pentagalloyl-glucose

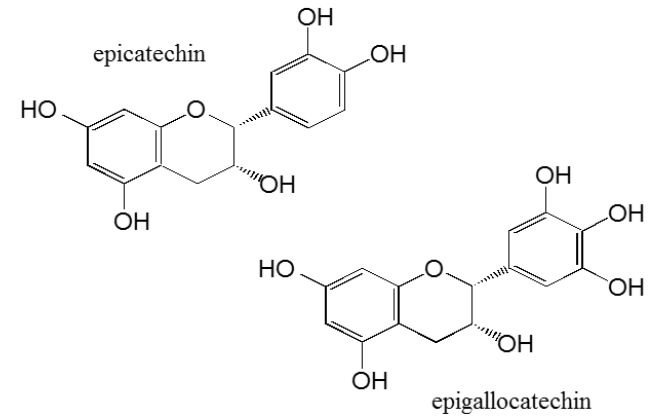


Ταννίνες (δ)

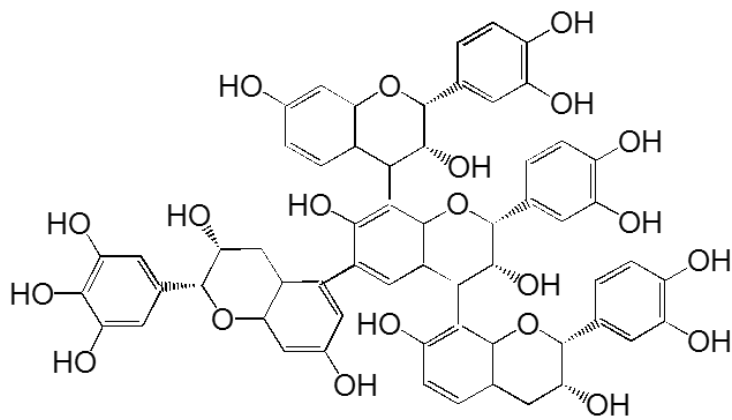
Συμπυκνωμένες ταννίνες:

- προανθοκυανιδίνες.
- παράγωγα φλαβανο-3,4-διολών.

Flavan-3,4-diol derived ('Condensed Tannins')

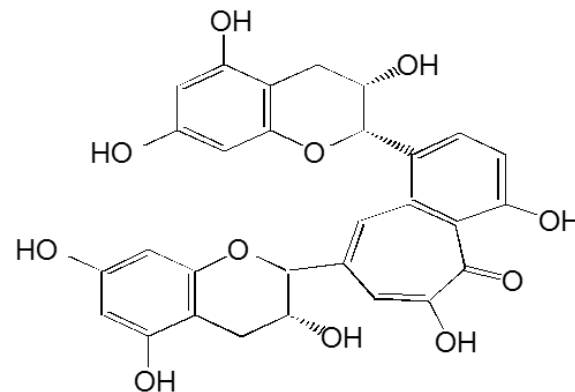


Flavan-3,4-diol derived ('Condensed Tannins')



a condensed tannin

Flavan-3,4-diol derived ('Condensed Tannins')



theaflavin

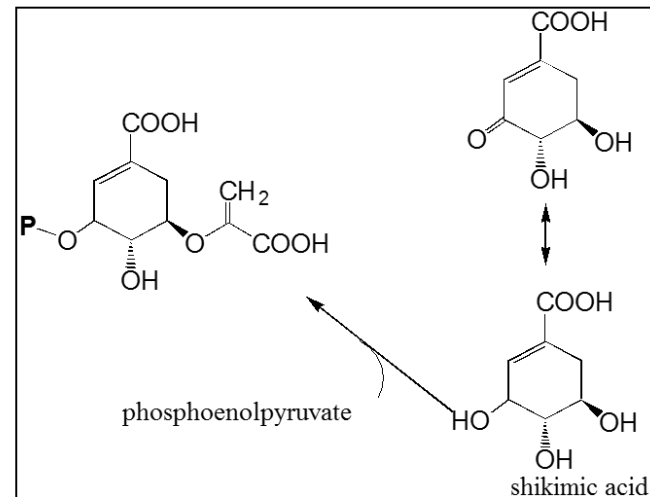
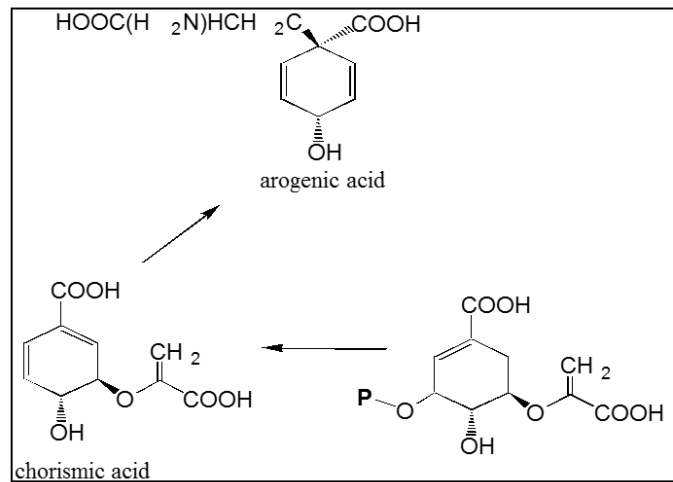
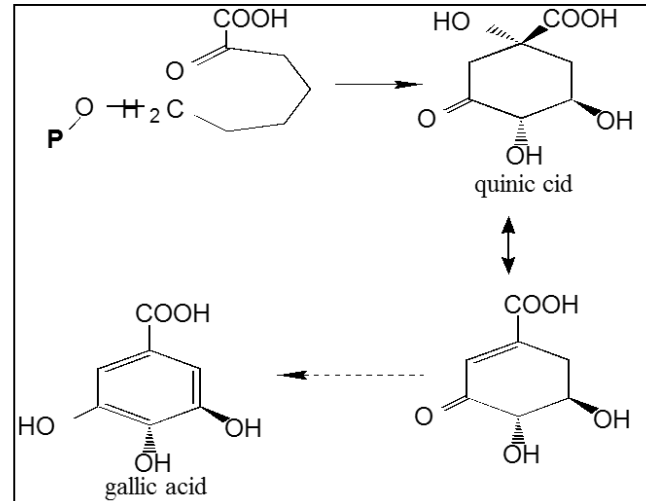
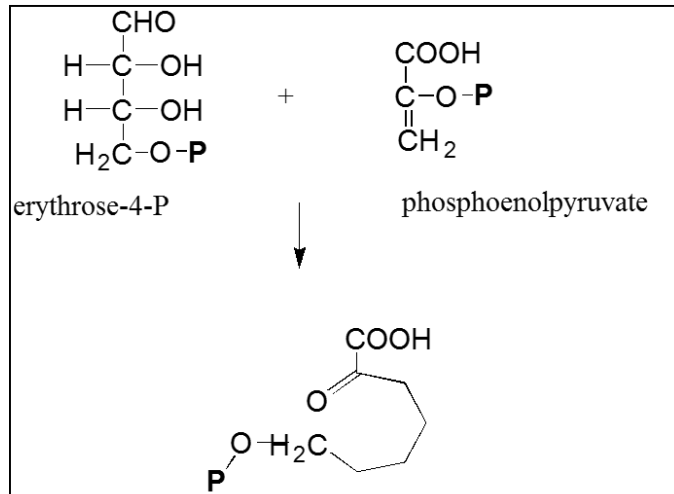


Ταννίνες (ε)

- ταννίνες αλληλοεπιδρούν με πρωτεΐνες:
 - μείωση διατροφικής αξίας πρωτεϊνών.
- πρωτεΐνες πλούσιες σε προλίνη (κολλαγόνο, καζεΐνες),
 - συμπλοκοποιούνται πιο εύκολα με τις ταννίνες.
- ζελατίνη:
 - συμπλοκοποίηση ταννινών κρασιού.
 - μείωση στυπτικότητας.
- συμπλοκοποίηση ταννινών λυκίσκου με πρωτεΐνες βύνης:
 - σχηματισμός θολώματος στη μπύρα.
- στυπτικότητα πολλών φρούτων από:
 - αλληλοεπίδραση των ταννινών των φρούτων με τις πρωτεΐνες του επιθηλίου της στοματικής κοιλότητας.

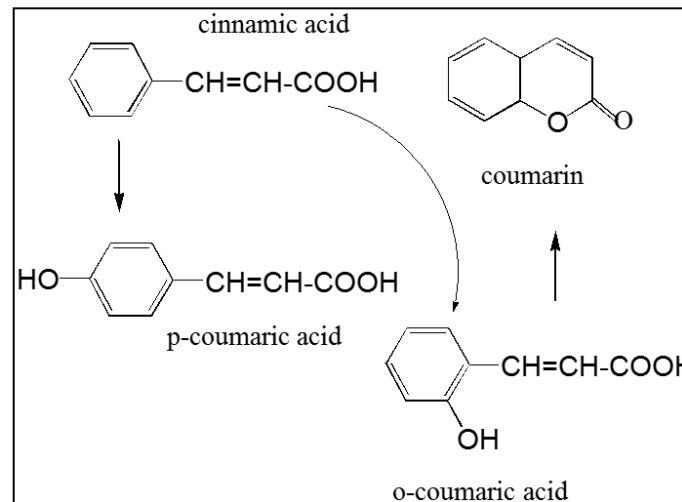
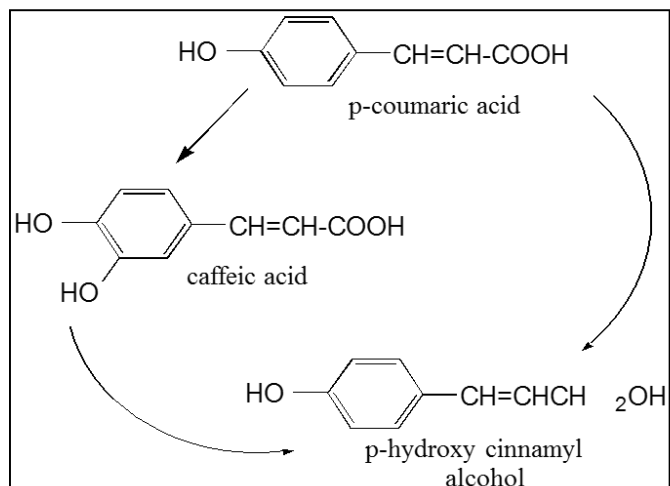
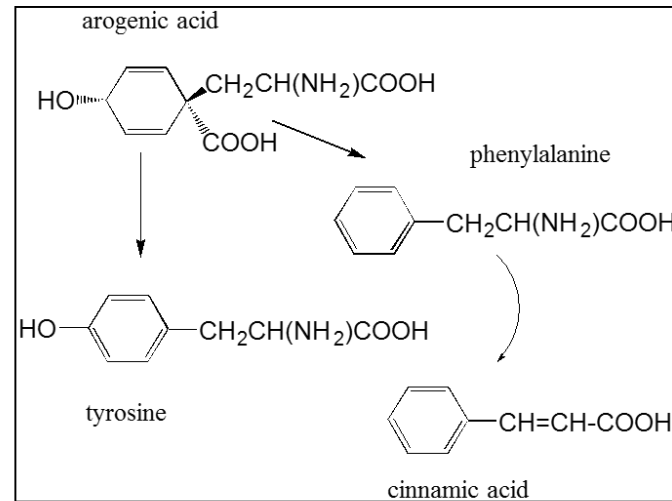
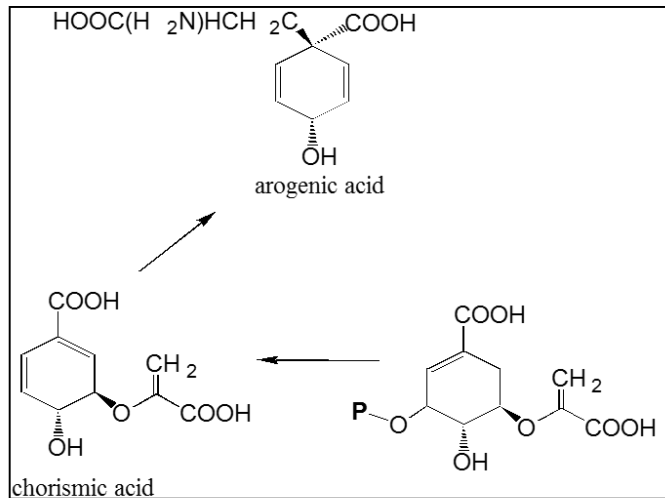


Φαινολικές ενώσεις - Βιοσύνθεση (α)



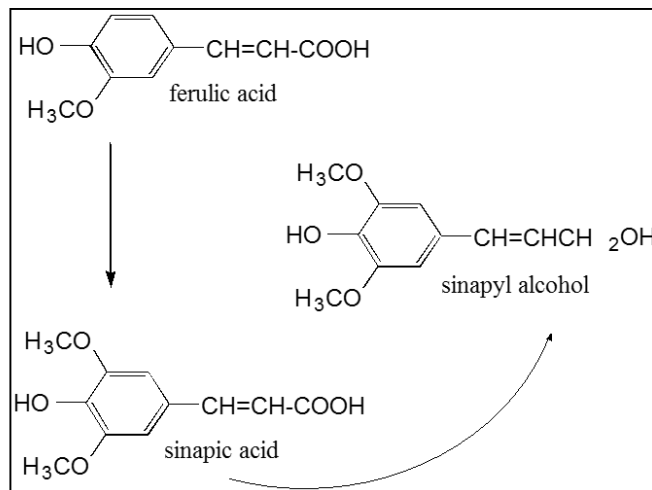
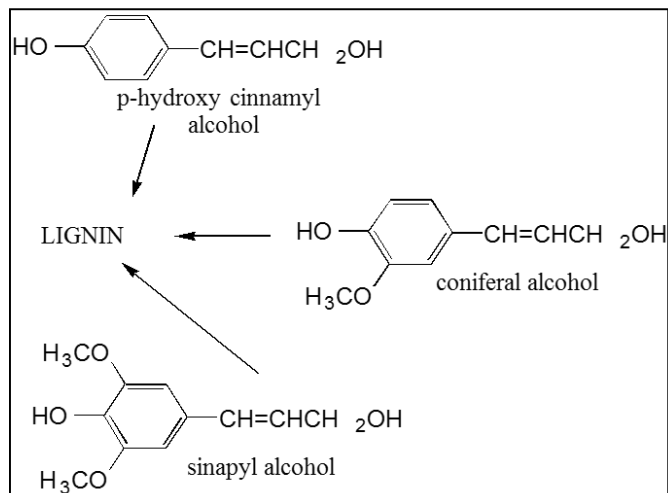
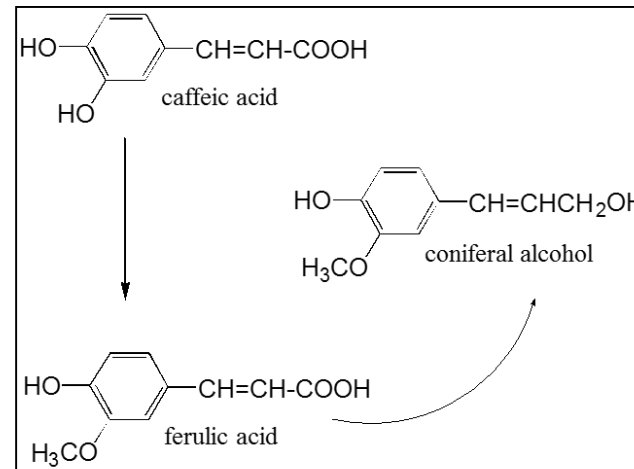
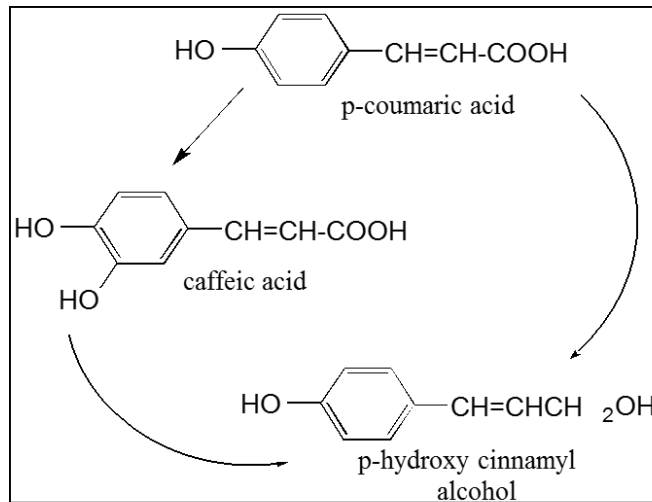


Φαινολικές ενώσεις - Βιοσύνθεση (β)





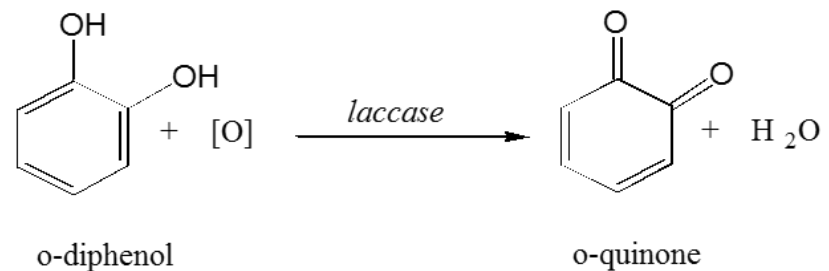
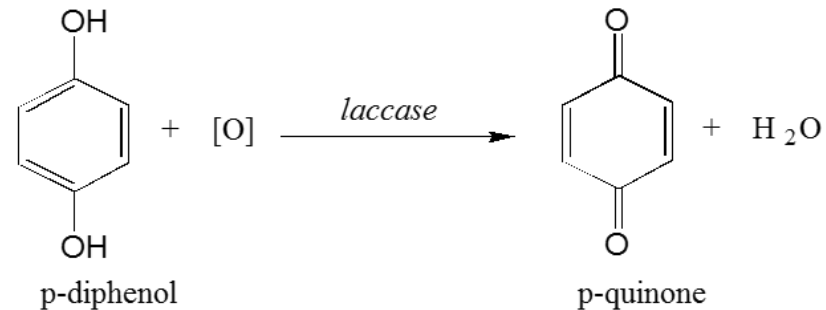
Φαινολικές ενώσεις - Βιοσύνθεση (γ)





Λακκάση

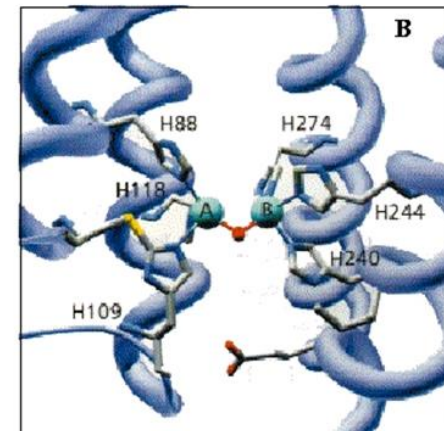
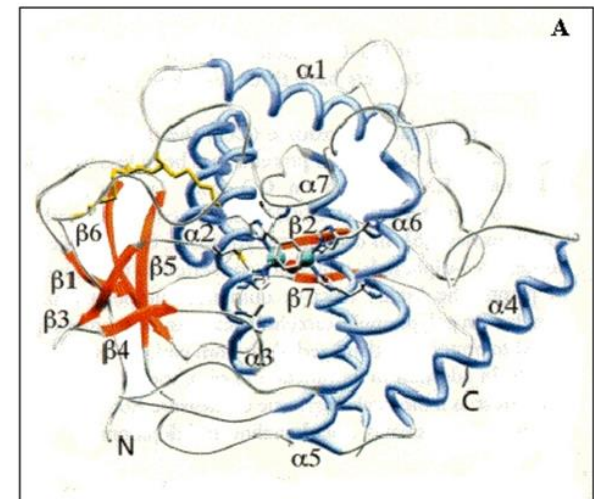
- στη λάκα (*Melanorrhea* sp.), σε μύκητες, άλλα δένδρα (ροδακινιά).
- διαλυτή γλυκοπρωτεΐνη κυτταροπλάσματος.
- περιέχει Cu.
- δεν παρεμποδίζεται από το CO.
- Μ.Β. και βέλτιστο pH (όξινο ή ουδέτερο) ποικίλουν ανάλογα με την προέλευση.





Πολυφαινολοξειδάση (α)

- 10 ισοένζυμα με διαφορετική εξειδίκευση.
- απαντάται:
 - ως διαλυτό ένζυμο.
 - ως μεμβρανικό ένζυμο.
- βέλτιστο pH: μεταξύ 4,0 και 7,0.
- ενεργό κέντρο:
 - 2 άτομα Cu,
 - συνδεδεμένα με 2 μόρια His.
- 3 μορφές:
 - οξυ- $\text{Cu (II)} - \text{O} - \text{Cu (II)}$.
 - δεοξυ- $\text{Cu (II)} - \text{CO} - \text{Cu (II)}$.
 - μετα- $\text{Cu (I)} - \text{Cu (I)}$.

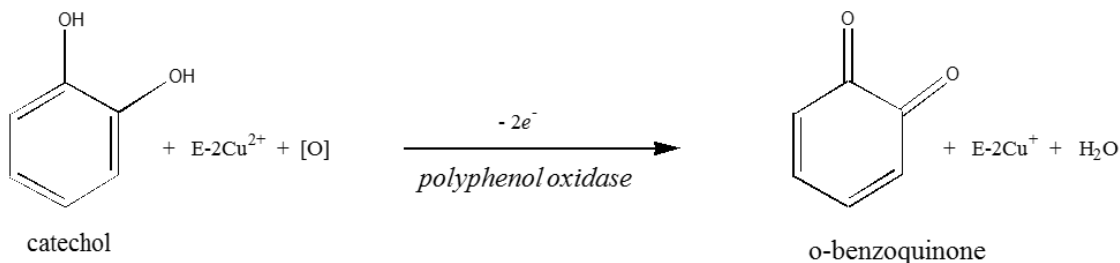
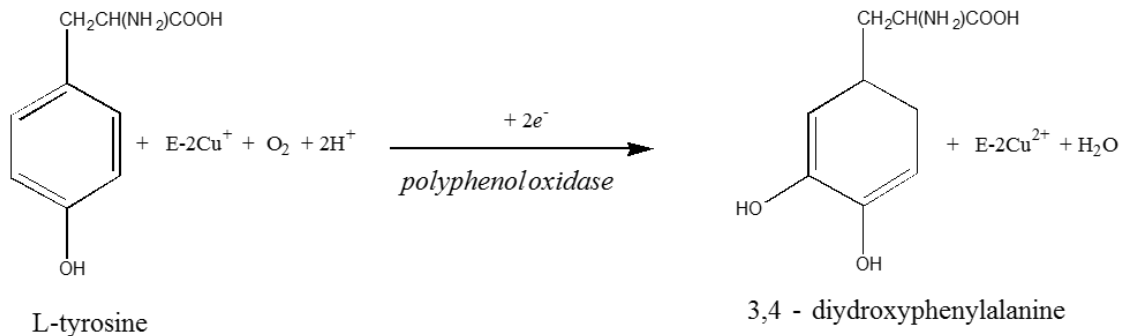




Πολυφαινολοξειδάση (β)

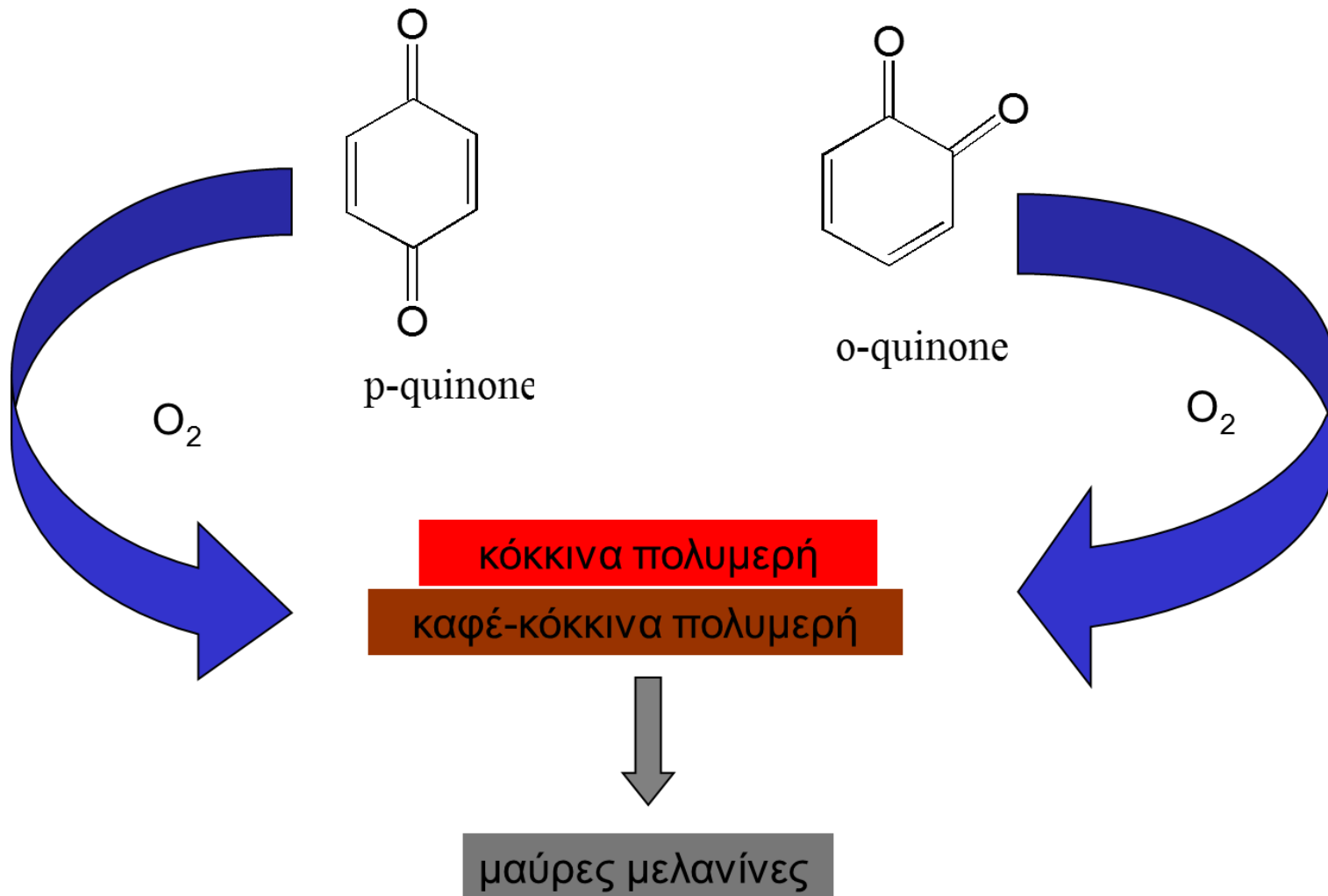
● καταλύει:

- υδροξυλίωση μονοφαινολών σε ο-διφαινόλες.
- οξείδωση ο-διφαινολών σε κινόνες.
- δεύτερη αντίδραση με πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα.





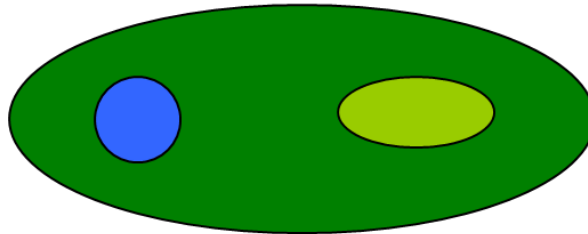
Κινόνες





Ρόλος πολυφαινολοξείδασης

ΚΕΝΟΤΌΠΙΑ,
φαινολικές ενώσεις

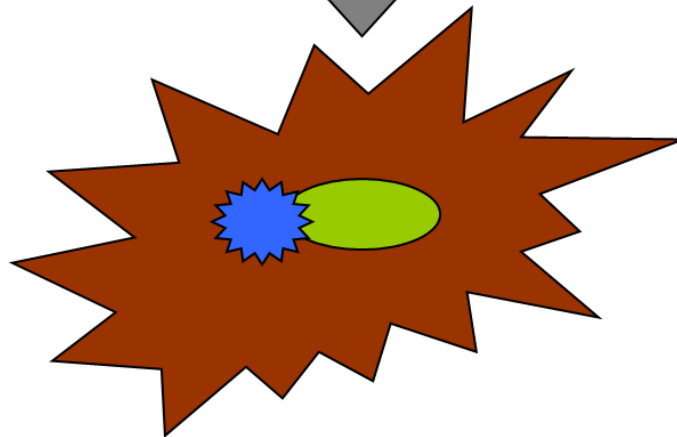


χλωροπλάστες
θυλακοειδής μεμβράνη
αδρανής
πολυφαινολοξείδαση

καταπόνηση



φαινολικές
ενώσεις



χλωροπλάστες
θυλακοειδής μεμβράνη
ενεργή
πολυφαινολοξείδαση

αδιάλυτο πολυμερές,
προστατεύει το φυτό από την εξάπλωση της προσβολής



Μέθοδοι ελέγχου ενζυμικής αμαύρωσης (α)

- ρύθμιση του pH.
- μετουσίωση της πολυφαινολοξειδάσης.
- αποκλεισμός οξυγόνου.
- συμπλοκοποίηση του χαλκού.
- χρήση αναστολέων πολυφαινολοξειδάσης.
- δέσμευση φαινολικών υποστρωμάτων ή κινονών.



Μέθοδοι ελέγχου ενζυμικής αμαύρωσης (β)

Ρύθμιση του pH

- το pH επηρεάζει:
 - την ενζυμική αντίδραση πολυφαινολοξειδάσης.
 - τον πολυμερισμό των κινονών.
- πολυφαινολοξειδάσες:
 - βέλτιστο pH μεταξύ 4 και 7.
 - πολύ μικρή ενεργότητα σε $\text{pH} < 3$.



Μέθοδοι ελέγχου ενζυμικής αμαύρωσης (γ)

Ρύθμιση του pH (συνέχεια)

- πολυμερισμός:
 - καθαρά χημική αντίδραση.
 - ταχύτερος σε τιμές pH 6-7.
 - με πολύ μικρή ταχύτητα σε pH < 5.
- ρύθμιση του pH:
 - κιτρικό οξύ.
 - ασκορβικό οξύ.
 - μηλικό οξύ.
 - φωσφορικό οξύ.



Μέθοδοι ελέγχου ενζυμικής αμαύρωσης (δ)

Μετουσίωση πολυφαινολοξειδάσης

- με θέρμανση, εφ' όσον δεν επηρεάζει το φρούτο/λαχανικό.
- εξαρτάται από τον χρόνο και το pH.

Ζεστό νερό



απώλειες σε υδατοδιαλυτά συστατικά,
αργή διαβίβαση θερμότητας.

μικροκύματα



γρήγορη απενεργοποίηση,
ανέπαφη δομή φυτού.



Μέθοδοι ελέγχου ενζυμικής αμαύρωσης (ε)

Αποκλεισμός οξυγόνου

- η πιο απλή μέθοδος.
- μειονέκτημα:
 - η αντίδραση ξεκινά και πάλι όταν το φυτό επανεκτεθεί στο O_2 .
- ασκορβικό οξύ:
 - δέσμευση οξυγόνου



Μέθοδοι ελέγχου ενζυμικής αμάυρωσης (στ)

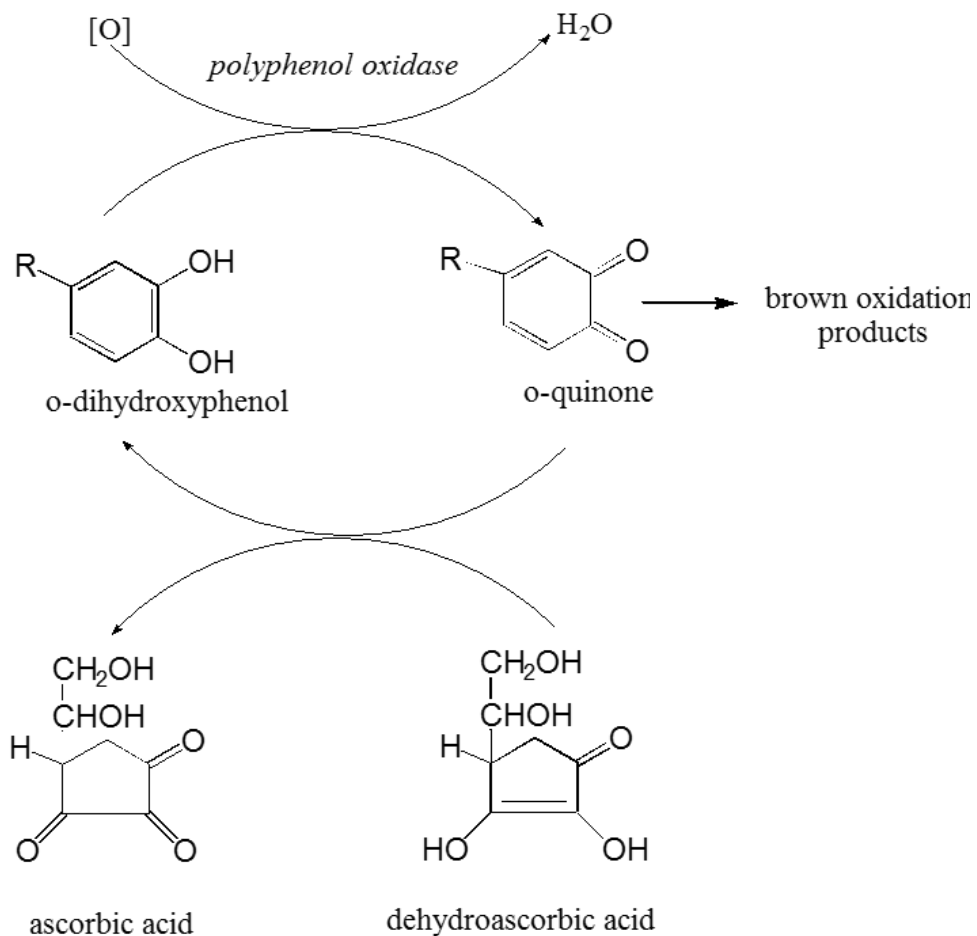
Ασκορβικό οξύ

- πολύ αποτελεσματικός αναστολέας ΡΡΟ.
- δραστικό σε χαμηλές συγκεντρώσεις.
- δεν επηρεάζει το άρωμα του φρούτου.
- δεν προσβάλλει την μεταλλική συσκευασία.
- τρόπος δράσης:
 - κινόνες μετατρέπονται στις μητρικές δι-υδροξυφαινόλες.
- μηχανισμός δράσης:
 - μάλλον ασαφής.
 - το προϊόν της αντίδρασης αντιδρά ομοιοπολικά με το ένζυμο;
 - η παρεμπόδιση οφείλεται στην αναγωγή του Cu



Μέθοδοι ελέγχου ενζυμικής αμαύρωσης (ζ)

Ασκορβικό οξύ (συνέχεια)





Μέθοδοι ελέγχου ενζυμικής αμαύρωσης (η)

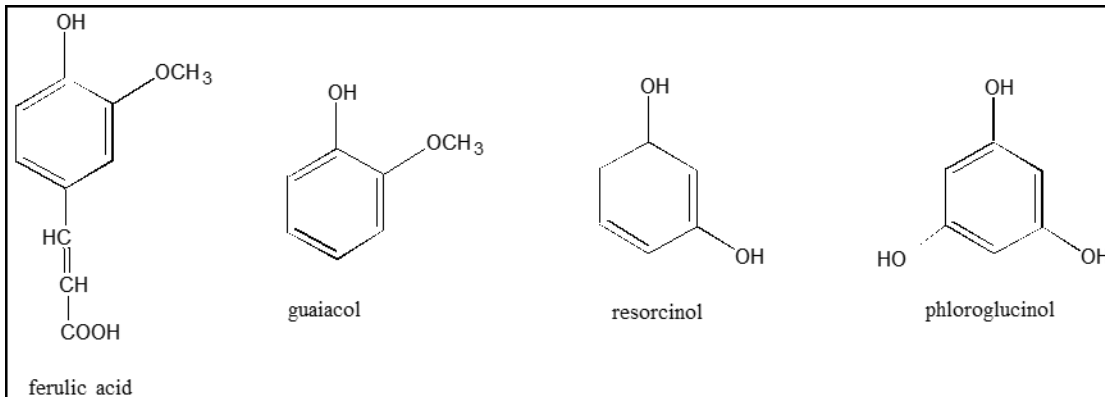
Αναστολείς της πολυφαινολοξειδάσης

- χημικά αντιδραστήρια (*συμπλοκοποίηση Cu, δέσμευση κινονών*)
 - διαιθυλο-διθειο-καρβαμικό νάτριο (DIECA).
 - αιθυλο-ξανθικό κάλιο.
 - αιθυλενο-διαμινο-τετραοξικό οξύ (EDTA).
 - αζίδιο του νατρίου.
- κυστεΐνη (*αναγωγική δράση, δέσμευση κινονών*)



Μέθοδοι ελέγχου ενζυμικής αμαύρωσης (θ)

Αναστολείς της πολυφαινολοξειδάσης (συνέχεια)

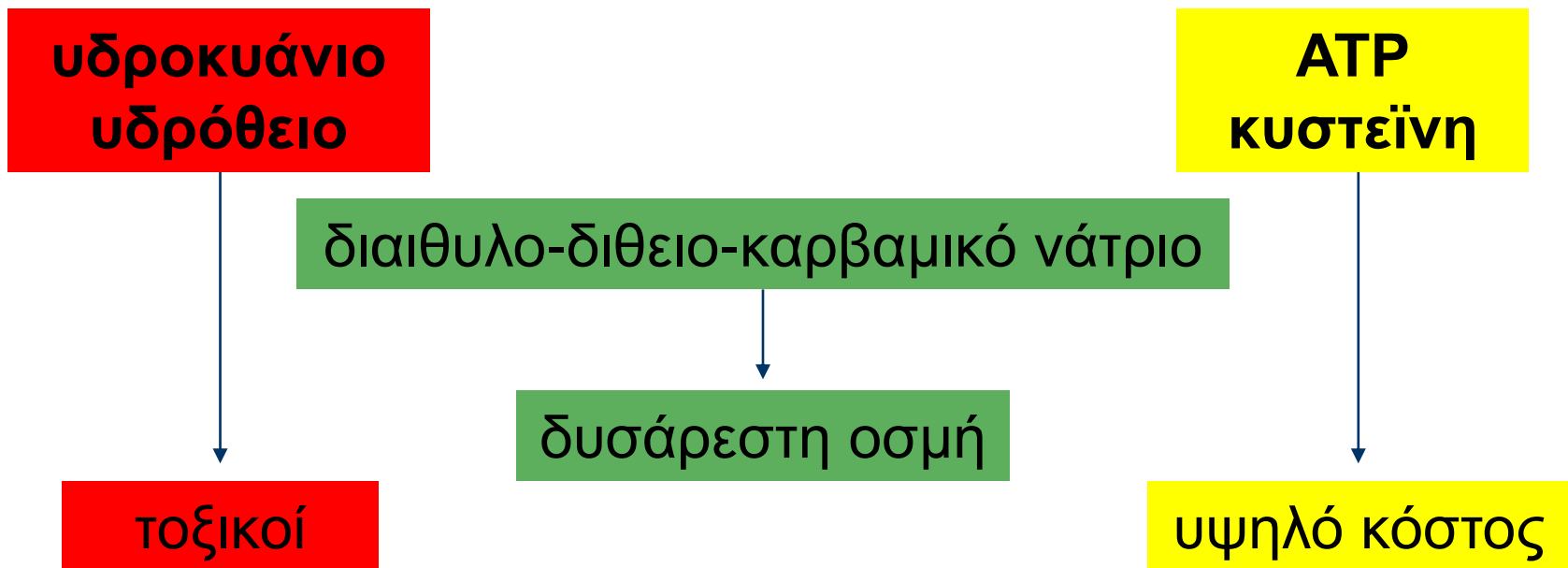


- ενώσεις με δομή όμοια των ο-διφαινολών (συναγωνιστικοί αναστολείς):
 - μεθυλιωμένα φαινολικά παράγωγα (π.χ. φερουλικό οξύ).
 - μ-διφαινόλες.



Μέθοδοι ελέγχου ενζυμικής αμάυρωσης (I)

Αναστολείς της πολυφαινολοξειδάσης (συνέχεια)





Μέθοδοι ελέγχου ενζυμικής αμάυρωσης (κ)

Αναστολείς πολυφαινολοξειδάσης (συνέχεια)

Ενώσεις του θείου (SO_2 , θειώδη άλατα)

- μηχανισμός δράσης:
 - αντιδρούν με τους S-S δεσμούς της πολυφαινολοξειδάσης.
 - αντιδρούν με τις κινόνες προς άχρωμα προϊόντα προσθήκης.
- πλεονεκτήματα:
 - χρήσιμοι όταν η θέρμανση επηρεάζει αρνητικά δομή / άρωμα.
 - έχουν αντισηπτικές ιδιότητες.
 - δεν καταστρέφουν τη βιταμίνη C.



Μέθοδοι ελέγχου ενζυμικής αμαύρωσης (λ)

Ενώσεις του θείου (SO_2 , θειώδη άλατα) (συνέχεια)

- μειονεκτήματα:
 - η οσμή τους.
 - η λεύκανση των φυσικών χρωστικών προϊόντος.
 - η διάβρωση της μεταλλικής συσκευασίας.
 - τοξικά σε συγκεντρώσεις > 0.01 M.
 - καταστρέφουν την βιταμίνη B1.
 - προκαλούν αλλεργικές αντιδράσεις.
- χρησιμοποιούνται ευρέως λόγω:
 - του χαμηλού κόστους.
 - της αποτελεσματικότητάς τους.




Τσάι (α)

- ρόφημα με την μεγαλύτερη κατανάλωση στον κόσμο.
- φρέσκα φύλλα φυτού:
 - πολυφαινόλες (ταννίνες), 40% επί του ξηρού βάρους.
- κυριότερες πολυφαινόλες:
 - κατεχίνη.
 - επιγαλλοκατεχίνη.
 - επικατεχίνη.
 - γαλλική επικατεχίνη.
 - γαλλοκατεχίνη.
 - γαλλική επιγαλλοκατεχίνη.





Τσάι (β)

ζύμωση  οξειδωτικές αλλαγές πολυφαινολών
(ταννινών)

οξείδωση ταννινών

φλαβίνες,
κοκκινωπό χρώμα

επιτεϊοφλαβικά οξέα,
μαύρο χρώμα

μείωση πικρής γεύσης

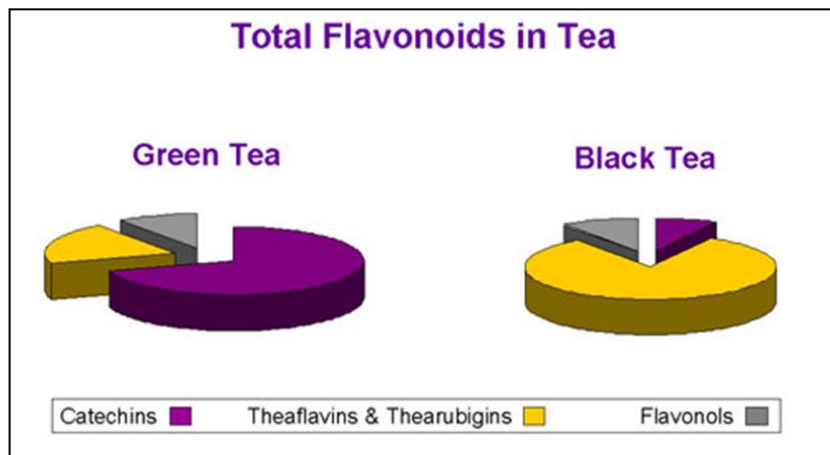
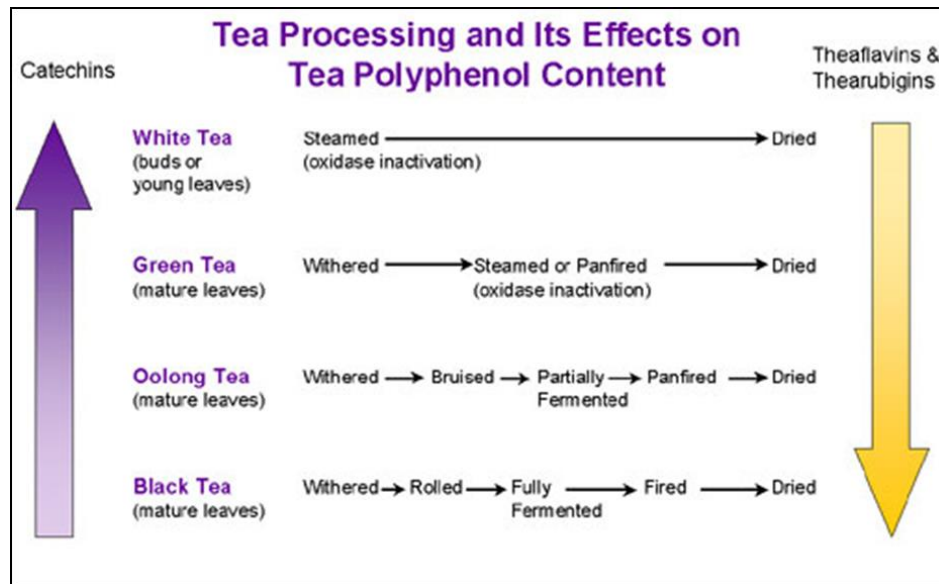


Παραγωγή του τσαγιού (α)

1. οι βλαστοί του φυτού αφήνονται να μαραθούν.
2. σπάει μηχανικά ο φυτικός ιστός:
 - καταστρέφεται η κυτταρική δομή.
 - κατάλληλες συνθήκες για οξειδωτικές διαδικασίες.
3. ζύμωση:
 - θερμοκρασία περιβάλλοντος.
 - υγρή ατμόσφαιρα.
 - παροχή O_2 .
 - δράση πολυφαινολοξειδάσης στις ταννίνες.
4. διακοπή ζύμωσης:
 - ξήρανση φύλλων στους $90-95^{\circ}C$.
 - μείωση υγρασίας στο 3-4%.



Παραγωγή του τσαγιού (β)



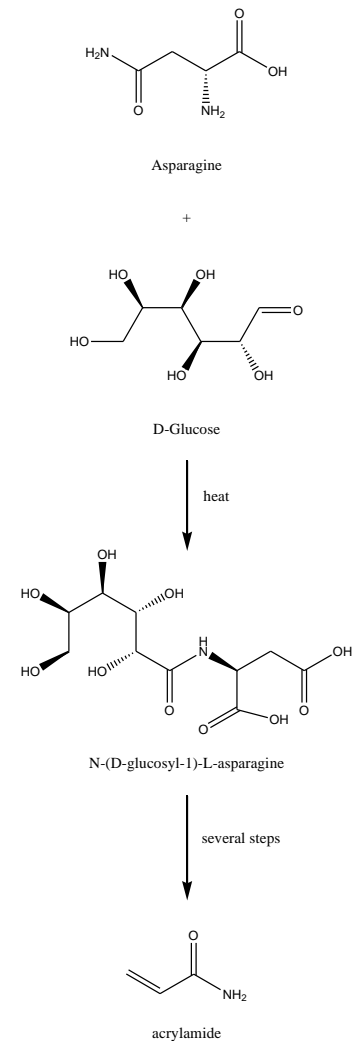
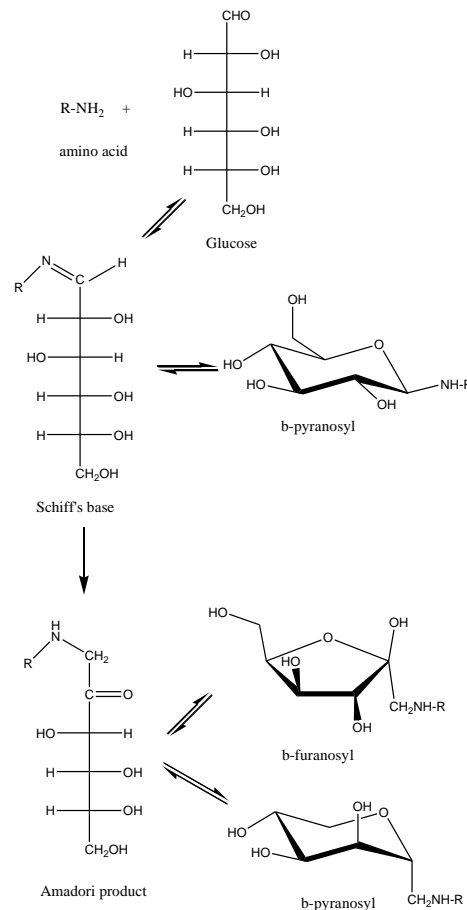


Μη ενζυμική αμαύρωση



Αντίδραση Maillard (α)

- μεγάλο εύρος πολύπλοκων μετατροπών.
- σχηματισμός μεγάλου αριθμού πτητικών και μη πτητικών ενώσεων.
- σε τρεις κύριες φάσεις.





Αντίδραση Maillard (β)

1^η φάση:

- συμπύκνωση πρωτοταγών αμινομάδων πρωτεϊνών, πεπτιδίων, αμινοξέων με καρβονυλικές ομάδες αναγόντων σακχάρων.
 - κατά τη συμπύκνωση χάνεται ένα μόριο νερού και,
 - μέσω σχηματισμού βάσεως του Schiff παράγεται το **προϊόν Amadori** (1-αμινο-1-δεοξυ-2-κετόζη).
- **Amadori** ονομάζεται το προϊόν όταν το αρχικό ανάγον σακχαρο είναι μια αλδόζη.
 - **Heyns** ονομάζεται το προϊόν όταν το αρχικό ανάγον σακχαρο είναι μια κετόζη.



Αντίδραση Maillard (γ)

- Σε πολλά τρόφιμα η πρωτοταγής αμινομάδα είναι κυρίως η **ε-αμινομάδα της λυσίνης** (απαραίτητο αμινοξύ), με αποτέλεσμα να μειώνεται:
 - η βιοδιαθεσιμότητα της και άρα,
 - η διατροφική αξία της πρωτεΐνης.
- Τα προϊόντα Amadori αποτελούν πρόδρομες ενώσεις για το σχηματισμό:
 - χαρακτηριστικού αρώματος, γεύσης.
 - καστανών πολυμερών.
- Τα προϊόντα Amadori σχηματίζονται:
 - πριν γίνουν αντιληπτές οι οργανοληπτικές μεταβολές στο τρόφιμο.
- Ο προσδιορισμός τους μπορεί να αποτελέσει
 - έναν ευαίσθητο δείκτη ανίχνευσης των επερχόμενων μεταβολών.



Αντίδραση Maillard (δ)

2^η φάση:

- τα προϊόντα Amadori αποικοδομούνται και σχηματίζονται ενεργές ενδιάμεσες ενώσεις, όπως:
 - η 3-δεοξυ-γλυκοζόνη.
 - πτητικές ενώσεις (σχηματισμός αρώματος).
- η 3-δεοξυ-γλυκοζόνη συμμετέχει:
 - στη διασταύρωση πρωτεϊνών με μεγαλύτερες ταχύτητες από τη γλυκόζη.
- περαιτέρω αποικοδόμηση της οδηγεί στο σχηματισμό ενώσεων όπως:
 - η 5-υδροξυμεθυλο-2-φουραλδεΐδη και η πυρραλίνη.



Αντίδραση Maillard (ε)

3^η φάση:

- σχηματισμός αζωτούχων καστανών πολυμερών (μελανοϊδίνες).
- δομή σε μεγάλο βαθμό αδιευκρίνιστη.
- πολυμερή που αποτελούνται από επαναλαμβανόμενες ομάδες:
 - φουρανίων ή πυρρολών,
 - σχηματίζονται στα τελευταία στάδια της αντίδρασης Maillard.



Αντίδραση Maillard (στ)

- Η ταχύτητα της αντίδρασης Maillard εξαρτάται από:
 - την χημική σύσταση του τροφίμου.
 - την ενεργότητα του νερού (a_w).
 - το pH.
 - την θερμοκρασία.
- Κινητικές μελέτες σε συστήματα-μοντέλα προσομοίωσης τροφίμων:
 - οι πεντόζες αντιδρούν ταχύτερα από τις εξόζες.
 - οι εξόζες ταχύτερα από τους δισακχαρίτες.
 - η ε-αμινομάδα της λυσίνης ταχύτερα από τις υπόλοιπες αμινομάδες.



Αντίδραση Maillard (ζ)

- η ταχύτητα μειώνεται:
 - αυξανομένης της ενεργότητας του νερού.
- η ταχύτητα αυξάνει:
 - με την αύξηση του pH ή της θερμοκρασίας.
- στην επεξεργασία τροφίμων η αντίδραση Maillard μπορεί να έχει επιθυμητά ή ανεπιθύμητα αποτελέσματα.
- στο ψήσιμο ή το τηγάνισμα, η αντίδραση Maillard βάση για την ανάπτυξη αρώματος, γεύσης και χρώματος.



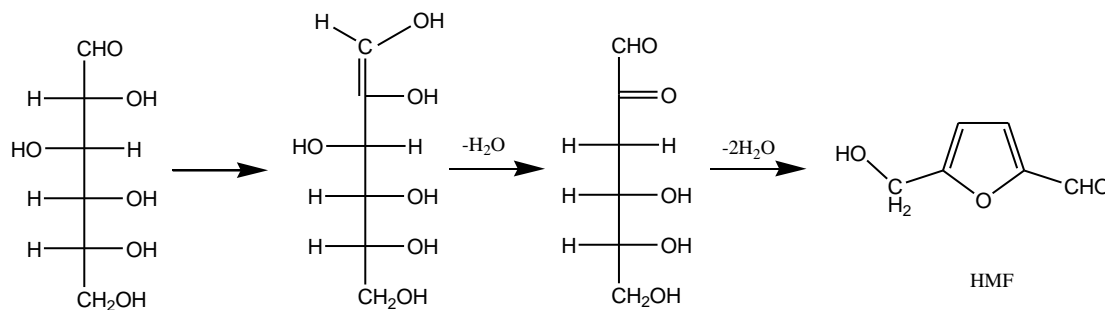
Αντίδραση Maillard (η)

- στην παστερίωση, αποστείρωση ή ξήρανση:
 - ανεπιθύμητες διατροφικές μεταβολές,
 - μείωση διατροφικής αξίας πρωτεϊνών,
 - σχηματισμός καρκινογόνων ετεροκυκλικών αμινών και ακρυλαμιδίου.
- σε κάποια προϊόντα της αντίδρασης Maillard αποδίδονται ευεργετικές δράσεις:
 - αντιοξειδωτικές,
 - αντικαρκινογόνες και,
 - αντιμικροβιακές.



Καραμελόποιηση (α)

- καραμελοποίηση των υδατανθράκων, χωρίς την συμμετοχή αμινομάδων,
 - σε θερμοκρασίες $> 120^{\circ}\text{C}$,
 - σε $\text{pH} > 9$ και < 3 .
- κάτω από όξινες ή αλκαλικές συνθήκες:
 - άνοιγμα του ημιακεταλικού δακτυλίου αναγόντων υδατανθράκων.
 - ενολοποίηση και σχηματισμός ισομερών υδατανθράκων.



Glucose

1,2-Enediol

HMF



Καραμελόποιηση (β)

- σε όξινο περιβάλλον:
 - ευνοείται η αφυδάτωση.
 - παραγωγή φουραλδεϋδών:
 - 5-υδροξυμεθυλο-2-φουραλδεϋδη (HMF) από εξόζες.
 - 2-φουραλδεϋδη από πεντόζες.
- σε αλκαλικό περιβάλλον:
 - αργές αντιδράσεις αφυδάτωσης.
 - αποικοδόμηση προς προϊόντα (ακετόνη, ακετοΐνη, διακετύλιο).
- παρουσία οξυγόνου:
 - οργανικά οξέα (φορμικό, οξικό).



Βιβλιογραφία

- B.K. Simpson (2012) Food Biochemistry and Food Processing, Wiley-Blackwell
- M.J. Berg, L.J. Tymoczko, G.J. Gato, L. Stryer (2015) Βιοχημεία, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης