



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

AGRICULTURAL UNIVERSITY OF ATHENS

# Βιοχημεία Τροφίμων I

## Ενότητα 8<sup>η</sup> Δημητριακά II

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 των βιοχημικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα κατά την παρασκευή της μπίρας



# Λέξεις - κλειδιά

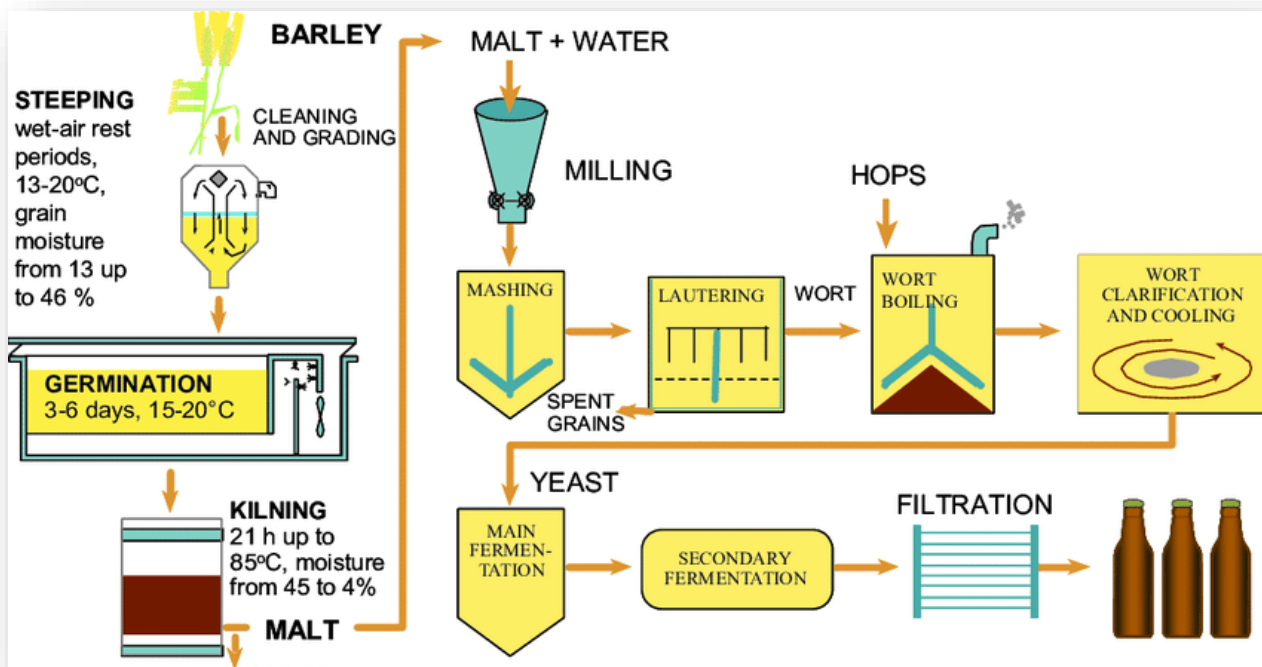
- Λέξεις κλειδιά: Μπύρα, Βυνοποίηση, Βρασμός, Λυκίσκος, Ζύμες, Αλκοολική Ζύμωση, Ωρίμανση, Διακετύλιο
- Key words: Beer, Malting, Brewing, Hop, Yeasts, Alcoholic Fermentation, Maturation, Diacetyl



# Παρασκευή της μπίρας

Κύρια στάδια:

- βυνοποίηση.
- βρασμός.
- ζύμωση.
- ωρίμανση.



[https://www.youtube.com/watch?v=ZL\\_HGOgy\\_Zo](https://www.youtube.com/watch?v=ZL_HGOgy_Zo)

<https://www.youtube.com/watch?v=2400h0qj2Tw>

<https://www.youtube.com/watch?v=h13uShnYfGc>

[https://www.youtube.com/watch?v=t5vWb6nkn\\_I](https://www.youtube.com/watch?v=t5vWb6nkn_I)

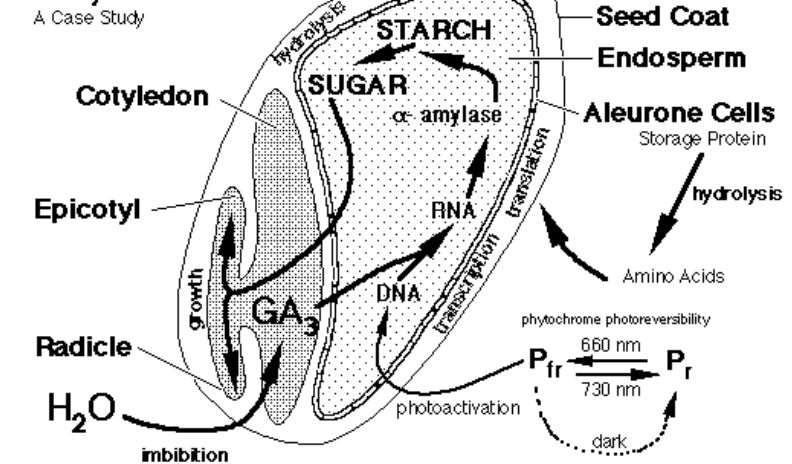


# Βυνοποίηση (α)

- το κριθάρι καθαρίζεται.
- αφήνεται για 2 έως 4 ημέρες σε ρηχή κλίνη με νερό στους 10-15°C.
- έκκριση του γιββεριλικού οξέος από το έμβryo του σπόρου.
- εκκίνηση της βλάστησης του σπόρου.



## Barley Germination: A Case Study

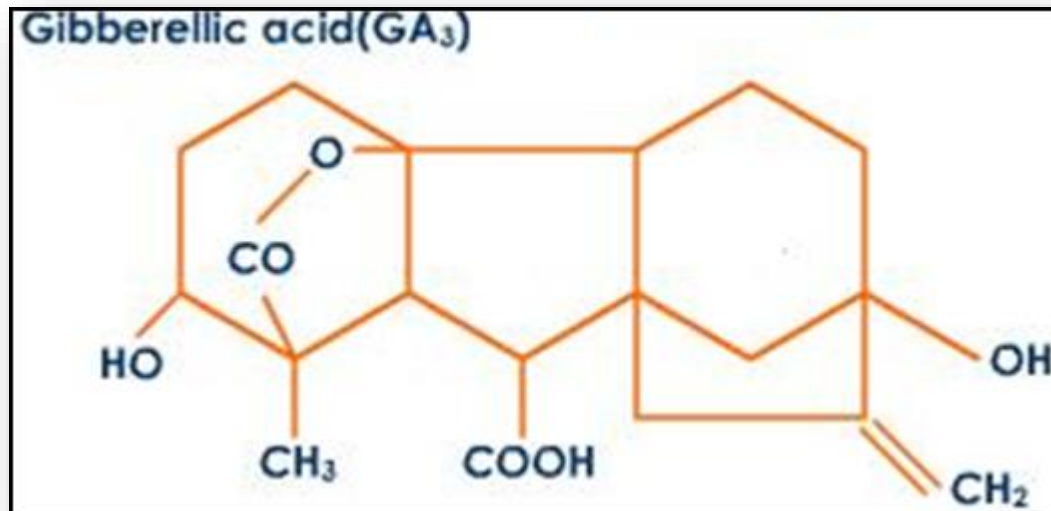




# Βυνοποίηση (β)

Γιββεριλικό οξύ = φυτική ορμόνη.

- ενεργοποιεί υδρολυτικά ένζυμα των κυττάρων της αλευρόνης:
  - β-γλυκανάσες
  - α-αμυλάση
  - μέρος των αποδιακλαδωτικών ενζύμων
  - πρωτεϊνάσες
  - α-γλυκοζιδάσες

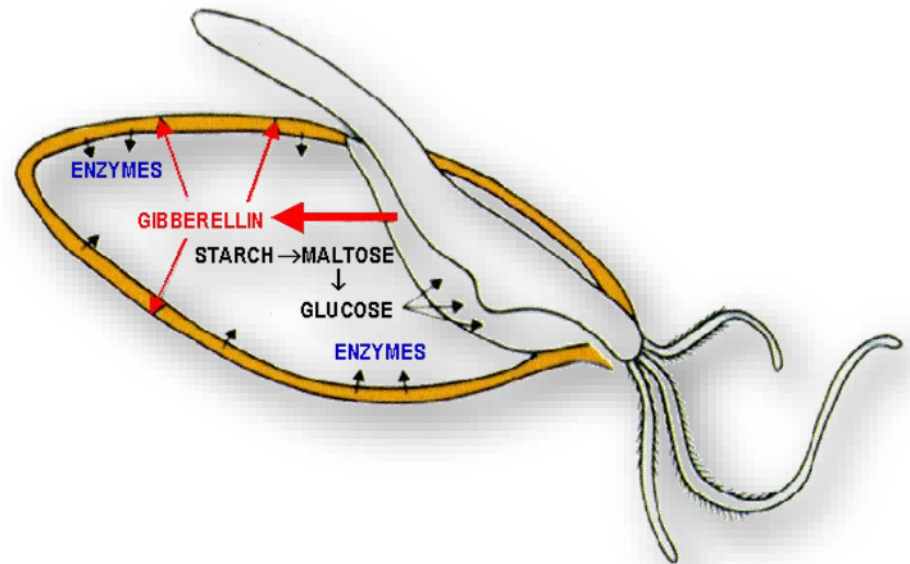
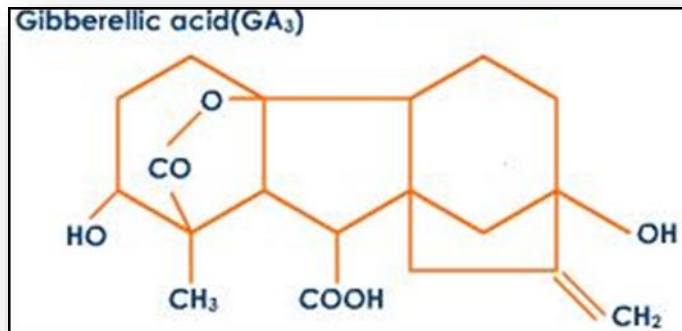




# Βυνοποίηση (γ)

Γιββεριλικό οξύ = φυτική ορμόνη (συνέχεια)

- ενεργοποιεί τα πρωτεολυτικά ένζυμα:
  - των κυττάρων του εμβρύου.
  - των κυττάρων του ενδοσπερμίου.





# Βυνοποίηση - γλυκανάσες (α)

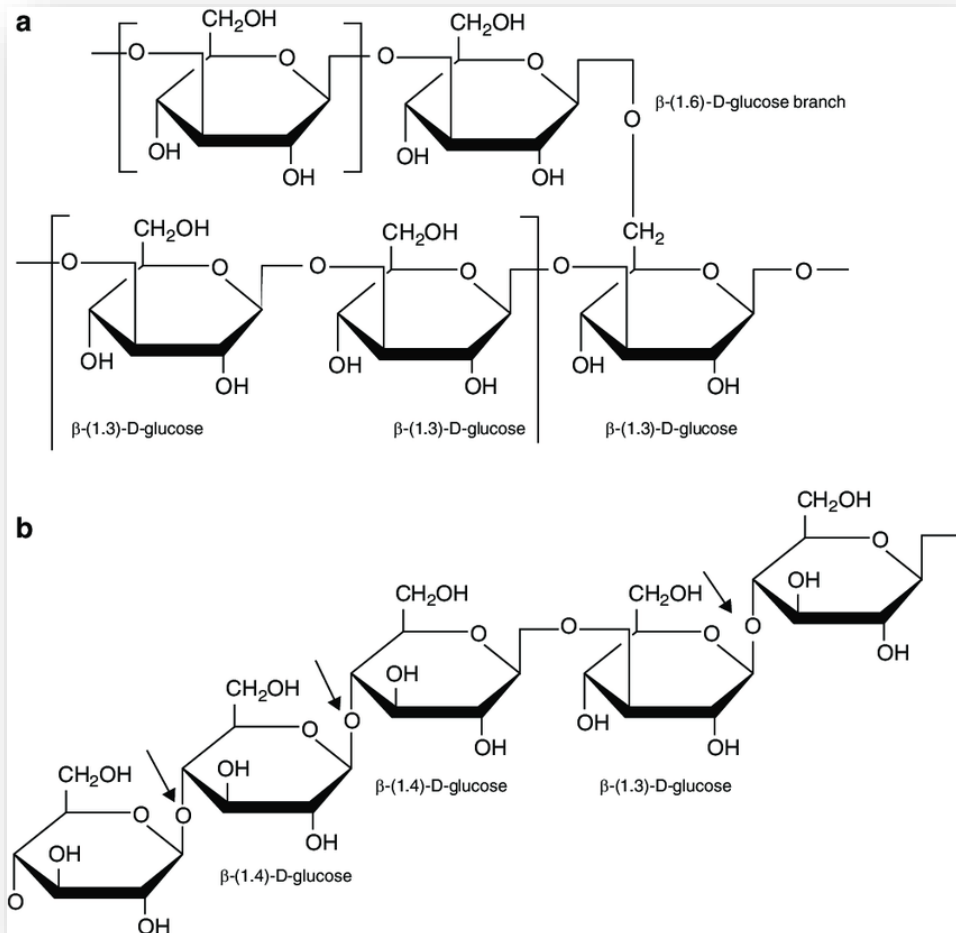
- δομικά συστατικά κυτταρικού τοιχώματος κυττάρων ενδοσπερμίου:

– β-γλυκάνια	70%
– αραβοξυλάνια	15%
– γλυκομανάνια	3%

- **β-γλυκάνια:**

- γραμμικά πολυμερή της γλυκόζης με β-1,3 ή/και β-1,4 δεσμούς.

- β-γλυκανάσες αποικοδομούν τα β-γλυκάνια.







# Βυνοποίηση - γλυκανάσες ( $\beta$ )

- ενδο-1,3- $\beta$ -D-γλυκανάση υδρολύει τα  $\beta$ -1,3-γλυκάνια,
  - και κάποιους  $\beta$ -1,3 δεσμούς στα  $\beta$ -1,3: 1,4-D-γλυκάνια.
- ενδο-1,3:1,4- $\beta$ -D-γλυκανάση υδρολύει στα  $\beta$ -1,3:1,4-D-γλυκάνια:
  - $\beta$ -1,3 δεσμούς.
  - $\beta$ -1,4 δεσμούς.
- η αποικοδόμηση ξεκινά από το σημείο επαφής του ενδοσπερμίου με το έμβρυο.
- αποικοδόμηση = τροποποίηση
  - κρίσιμη για την ανάπτυξη της καλής βύνης.



# Βυνοποίηση - πρωτεΐνες (α)

Ενεργοποιούνται παράλληλα με τις γλυκανάσες.

- 1η φάση:

όξιμες πρωτεΐνες,  
καρβοξυπεπτιδάσες,  
ουδέτερες πεπτιδάσες,  
αλκαλικές πεπτιδάσες.

υδρόλυση

πρωτεϊνών εμβρύου,  
πρωτεϊνών αλευρόνης.

αμινοξέα

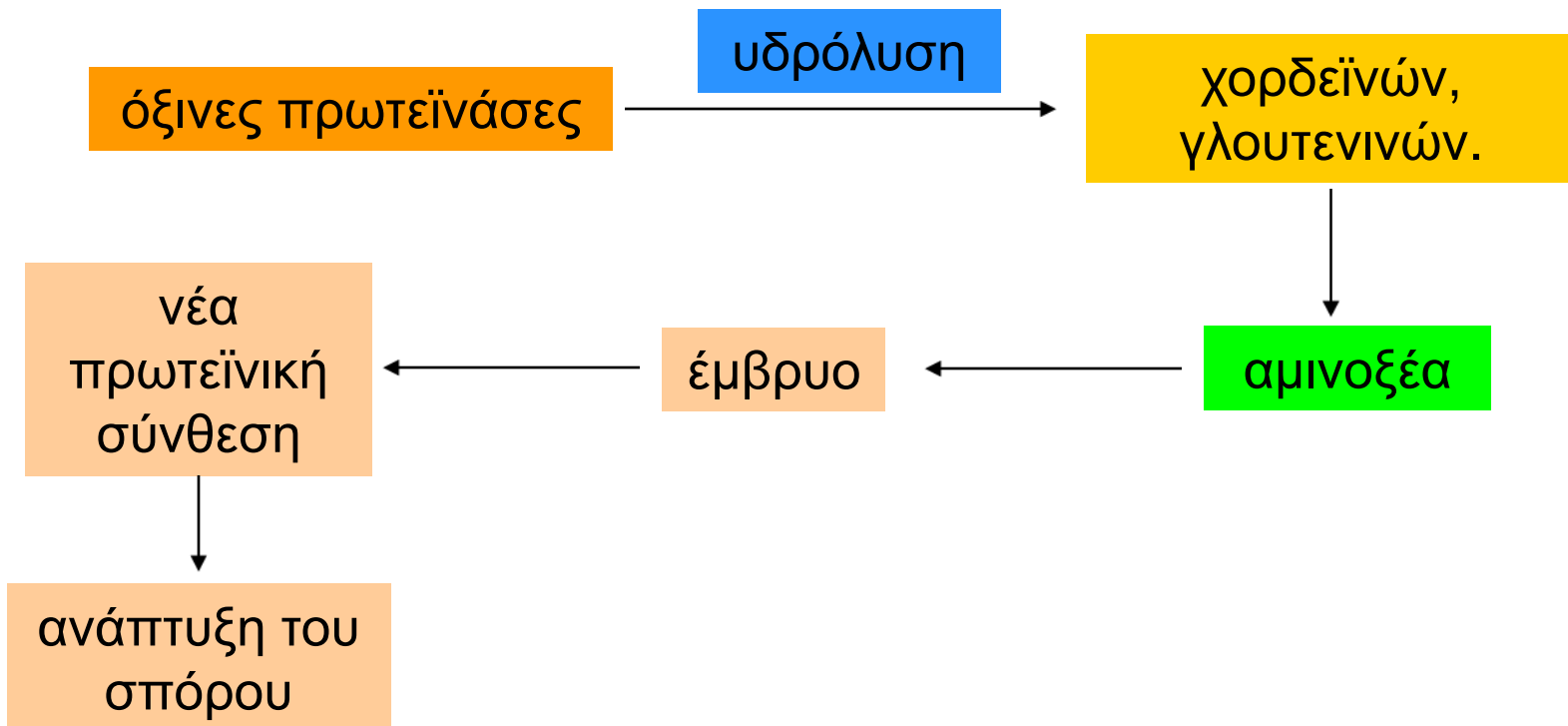
*de novo* σύνθεση: α-αμυλάσης,  
μέρους των αποδιακλαδωτικών  
ενζύμων



# Βυνοποίηση - πρωτεΐνες (β)

μετά την αποικοδόμηση κυτταρικού τοιχώματος ενδοσπερμίου από β-γλυκανάσες.

- 2η φάση:





# Βυνοποίηση - λιπάσες (α)

- δράση λιπασών στον αδρανή σπόρο περιορισμένη.
- στην βλάστηση μερική υδρόλυση αποθηκευτικών λιπιδίων.
- δυο διαφορετικές λιπάσες:
  - ίδιο περίπου ΜΒ (400 kDa),
  - διαφορετικό φορτίο,
  - λιπάση I (έμβρυο),
  - λιπάση II (ενδοσπέρμιο).





# Βυνοποίηση - λιπάσες (β)

- στα αρχικά στάδια της βλάστησης υδρόλυση αμύλου περιορισμένη,
- τότε η υδρόλυση του λίπους προσφέρει ενέργεια:
  - στα κύτταρα του εμβρύου.
  - στα κύτταρα του στρώματος της αλευρόνης.
- η περιεκτικότητα του κριθαριού σε λιπίδια ποικίλει (0.8 έως 4.8%). Οι διαφορές οφείλονται:
  - στις συνθήκες ανάπτυξης του κριθαριού.
  - στους διαφορετικούς τρόπους υπολογισμού του λίπους.



# Βυνοποίηση - αμυλάσες (α)

- η βλάστηση ολοκληρώνεται με την υδρόλυση του αμύλου.
- η υδρόλυση του αμύλου ξεκινά στο σημείο επαφής ενδοσπερμίου – εμβρύου.
- η υδρόλυση συνεχίζεται κατά μήκος του ενδοσπερμίου.
- η υδρόλυση του αμύλου προμηθεύει στον σπόρο ενέργεια για ανάπτυξη.



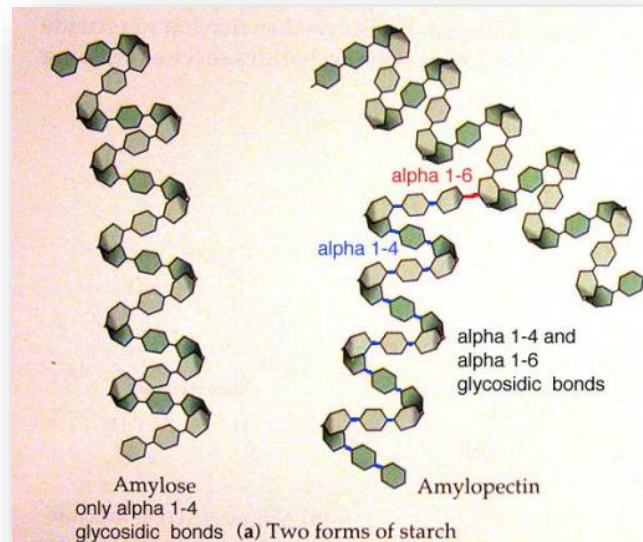
# Βυνοποίηση - αμυλάσες ( $\beta$ )

## ένζυμα

$\alpha$ -αμυλάση,  $\beta$ -αμυλάση,  
αποδιακλαδωτικά ένζυμα,  
 $\alpha$ -γλυκοζιδάσες.

## προϊόντα υδρόλυσης

$\alpha$ -δεξτρίνες,  
μαλτοτριόζη, μαλτόζη,  
γλυκόζη.





# Βυνοποίηση (δ)

- η βλάστηση τερματίζεται με ξήρανση των βυνοποιημένων σπόρων.
- η υγρασία μειώνεται σταδιακά από το 45 στο 5% με θερμό αέρα,
- για να διατηρηθούν ενεργά κάποια ένζυμα.

θερμοκρασία ξήρανσης,  
χρόνος ξήρανσης,  
τελική υγρασία.

επηρεάζουν



χρώμα βύνης,  
άρωμα βύνης,  
γεύση βύνης.

μπύρες τύπου lager  
υγρασία βύνης 4-5%

μπύρες τύπου ale  
υγρασία βύνης 2-3%





# Βρασμός (α)

Αποξηραμένη βύνη



άλεση ⇒

εκχύλιση υδατοδιαλυτών συστατικών  
(σάκχαρα και ενώσεις αζώτου).



βρασμός 45°C ⇒

ενυδάτωση ενδοσπερμίου  
επανεργοποίηση α- και β-αμυλάσης.



βρασμός 70-75 °C ⇐

ενίσχυση με μη βυνοποιημένα  
δημητριακά (ζελατινοποιημένο  
καλαμπόκι η ρύζι).



# Βρασμός (β)

διήθηση  $\Rightarrow$  αδιάλυτα συστατικά  $\Rightarrow$  ζωοτροφές.



διήθημα  $\Leftarrow$  λυκίσκος.



βρασμός 70 - 140°C:

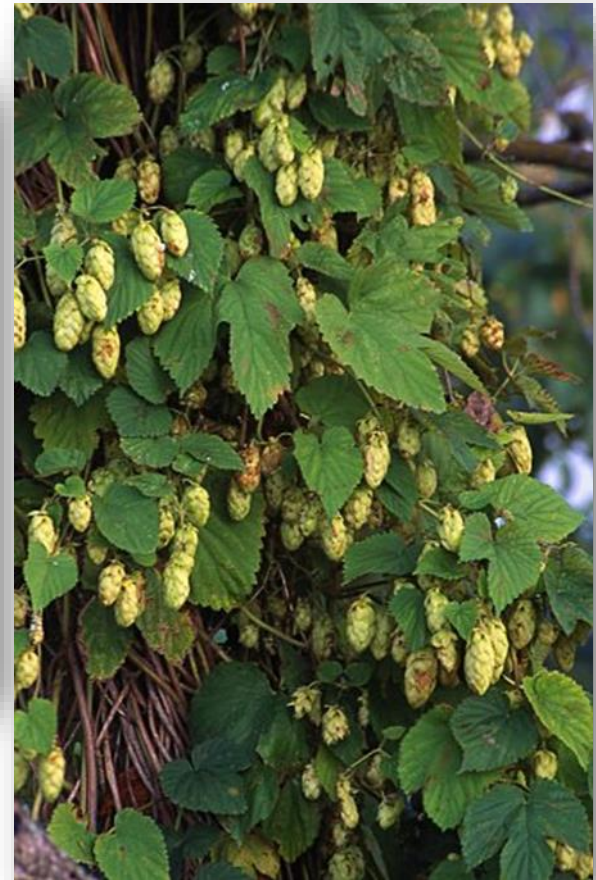
- $\Rightarrow$  αποστείρωση και συμπύκνωση ζωμού (wort).
- $\Rightarrow$  απενεργοποίηση αμυλολυτικών ενζύμων.
- $\Rightarrow$  εκχύλιση πικρών ουσιών λυκίσκου.
- $\Rightarrow$  ανάπτυξη επιθυμητών αρωματικών ουσιών.
- $\Rightarrow$  εξάτμιση ανεπιθύμητων αρωματικών ουσιών.
- $\Rightarrow$  κατακρήμνιση μεγαλομοριακών πρωτεϊνών.



# Βρασμός - λυκίσκος (α)

Λυκίσκος (*Humulus lupulus*):  
σε εύκρατα κλίματα.

φυτό που ευδοκιμεί κυρίως





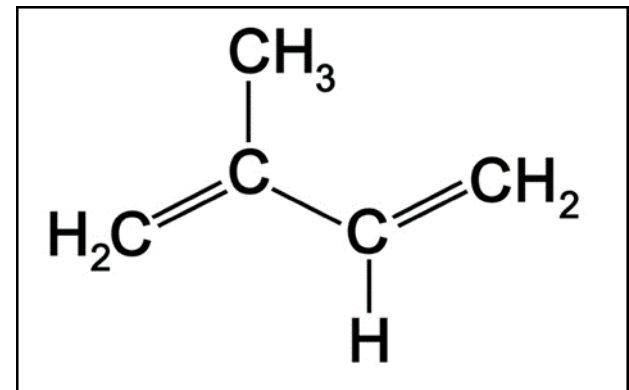
# Βρασμός - λυκίσκος (β)

- στην ζυθοποιία οι θηλυκοί κώνοι των λουλουδιών συλλέγονται και ξηραίνονται στους 70°C μέχρι 7 % υγρασία.
- κατατάσσονται ανάλογα με την εμφάνιση, το άρωμα και τις πικρές ρητίνες.
- Παλιότερα απ' ευθείας οι αποξηραμένοι κώνοι με κίνδυνο οξειδωσης κατά την συντήρηση.
- σήμερα οι κώνοι είτε κονιοποιούνται, είτε εκχυλίζονται με οργανικό διαλύτη ή υγρό CO<sub>2</sub>.
- η κυρίαρχη οικογένεια ενώσεων του λυκίσκου είναι οι **ρητίνες**.



# Βρασμός - λυκίσκος (δ)

- **Ρητίνες:** φυτικά εκκρίματα που περιέχουν:
  - σεσκιτερπένια (ενώσεις με 15 άτομα C) και,
  - πολυτερπενικές ενώσεις (ενώσεις με 20, 30 η 40 άτομα C).
- **Τερπενοειδή:**  
ισοπρενοειδείς ενώσεις, δηλαδή υδρογονάνθρακες (τερπένια) ή οξυγονωμένα παράγωγα (καμπορές), στα οποία επαναλαμβάνεται ο ανθρακικός σκελετός του ισοπρενίου  $[\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{CH}=\text{CH}_2]$ .
- κύριες **ρητίνες** λυκίσκου:
  - μαλακές ρητίνες.
  - διαλυτές σε πετρελαϊκό αιθέρα.
  - **α-οξέα** και **β-οξέα**.
  - υπεύθυνα για την πικρή γεύση.





# Βρασμός - λυκίσκος (ε)

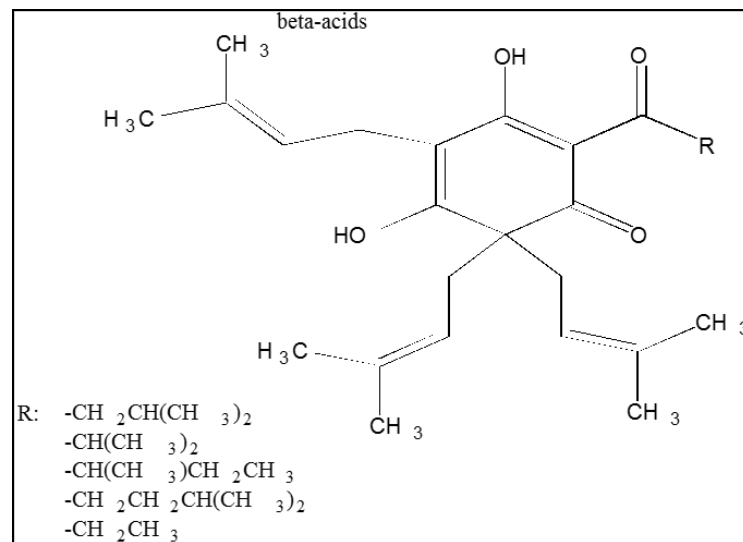
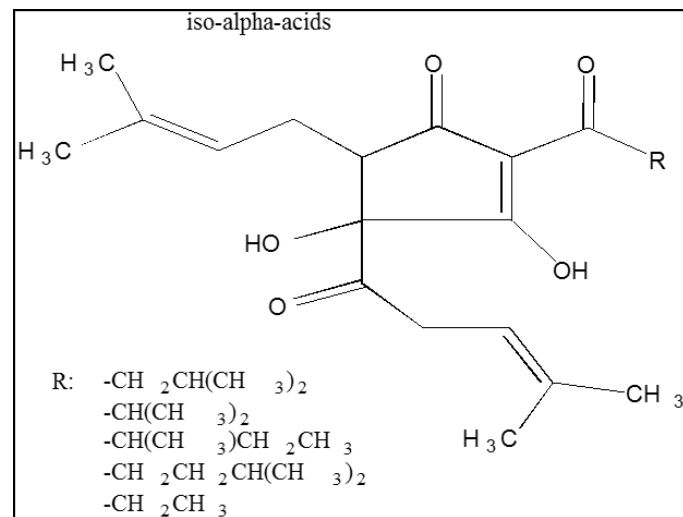
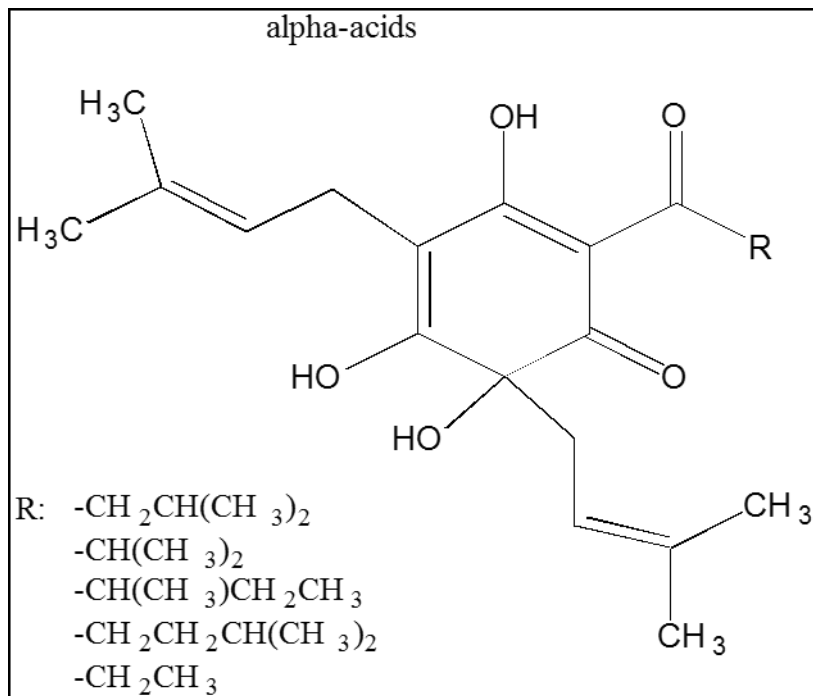
Η χημική σύσταση του αποξηραμένου λυκίσκου:

Συστατικό	%	Σημασία στη ζυθοποιία
α-οξέα	2-12	XXX
β-οξέα	1-10	XX
Αιθέρια έλαια	0.5-1.5	XX
Πολυφαινόλες	2-5	XX
Λιπίδια / ΕΛΟ	ίχνη-25	X
Πρωτεΐνες	15	
Κυτταρίνη	40-50	
Νερό	8-12	
Πηκτίνες	2	
Άλατα	10	



# Βρασμός - λυκίσκος (στ)

α-οξέα και β-οξέα.







# Βρασμός - λυκίσκος (ζ)

- **αιθέρια έλαια:**

- μυρκένιο, χουμουλένιο, γαρυφυλλένιο.
- τερπενοειδείς ενώσεις.
- σχετικά ασταθείς.
- επηρεάζουν το άρωμα της μπίρας και τον χρόνο ζωής

- **πολυφαινόλες:**

- συμμετέχουν στη διαμόρφωση γεύσης και χρώματος.
- ευθύνονται μερικά για την θολερότητα μετά την ζύμωση.

- **ελεύθερα λιπαρά οξέα:**

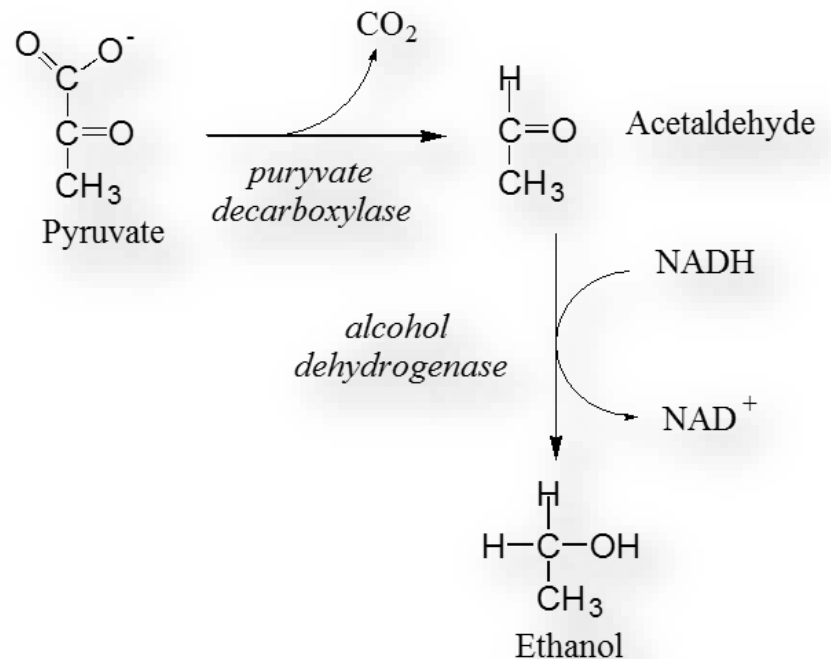
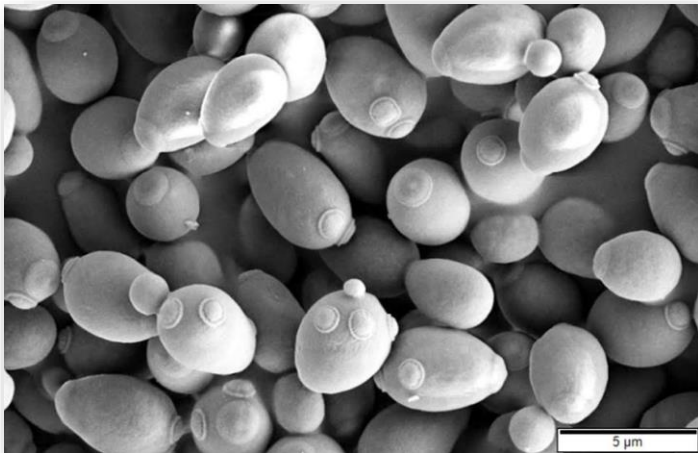
- 0.1%.
- λινολεϊκό (18:2),
- λινολενικό (18:3).





# Ζύμωση (α)

- ο ζυμός διαχωρίζεται από τα στέρεα υπολείμματα.
- μεταφέρεται στο δοχείο ζύμωσης.
- οι ζύμες καταβολίζουν τα παραχθέντα ελεύθερα σάκχαρα.
  - μονοπάτι της γλυκόλυσης.
  - αλκοολική ζύμωση.

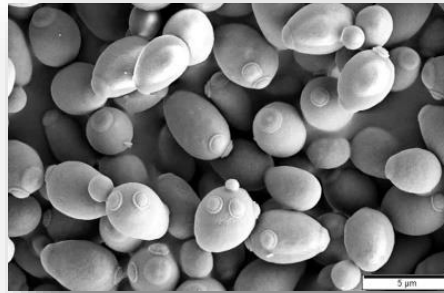




# Ζύμωση (β)

- μπύρες τύπου **lager**:

- ζύμες καθιζάνουν (*Saccharomyces uvarum*)
- 7 ημέρες στους 7-15 °C
- Ξανθές, λιγότερο πικρές



- μπύρες τύπου **ale**:

- ζύμες στην επιφάνεια (*Saccharomyces cerevisiae*).
- 2-3 ημέρες στους 18-22 °C
- πιο σκούρες στο χρώμα και πιο πικρές



# Ζύμωση (γ)

## Ζύμωση - δευτερογενείς μεταβολίτες

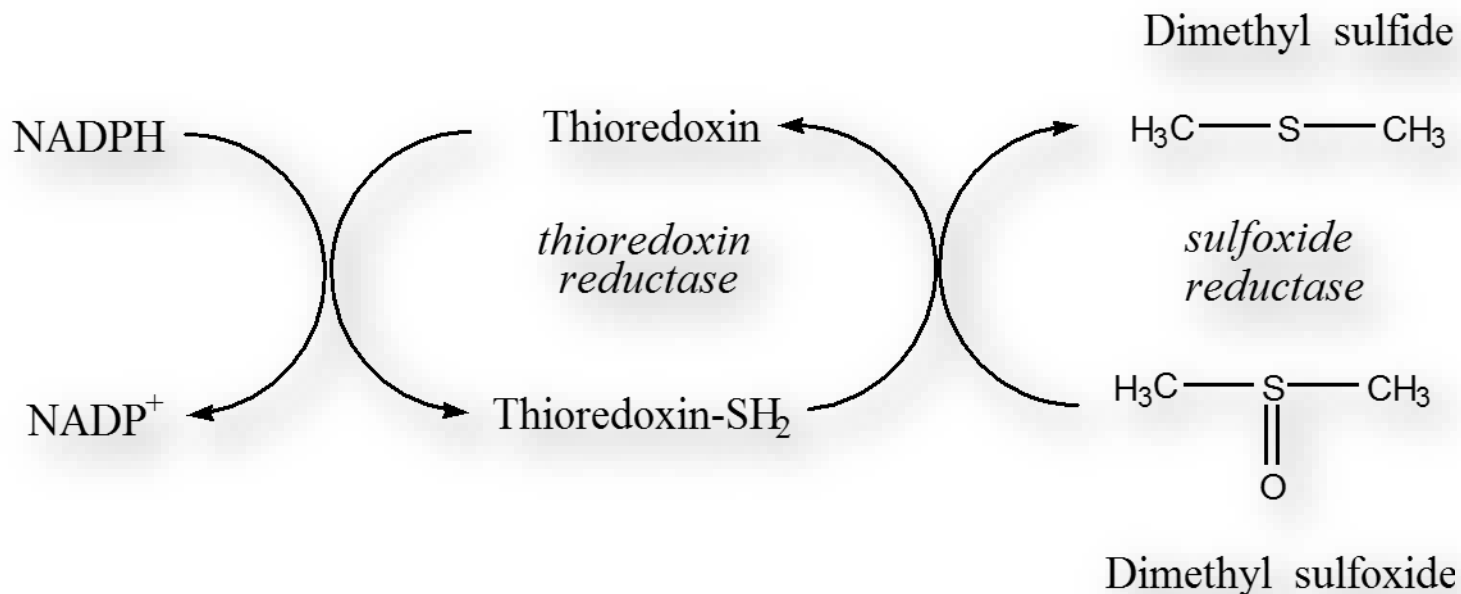
- δευτερογενείς μεταβολίτες
  - ⇒ διαμόρφωση γεύσης και αρώματος
- λιπαρά οξέα
  - ⇒ εστέρες (φρουτώδης γεύση)
- υδατάνθρακες (μέσω κετοξέων) & αμινοξέα (τρανσαμίνωση/απαμίνωση)
  - ⇒ αλκοόλες
    - (2-φαινυλο-αιθανόλη, βουτανόλη, προπανόλη, εξανόλη)



# Ζύμωση (δ)

## Ζύμωση - δευτερογενείς μεταβολίτες (συνέχεια)

- Συγκεντρώσεις διμεθυλο-σουλφιδίου μεταξύ 0.03 – 0.1 ppm προσδίδουν στις μπύρες τύπου lager ευχάριστο άρωμα και γεύση.
- Πάνω όμως από το 0.1 ppm το άρωμα που αναπτύσσεται θυμίζει βρασμένο καλαμπόκι ('cooked sweet corn') και είναι δυσάρεστο.





# Ωρίμανση (α)

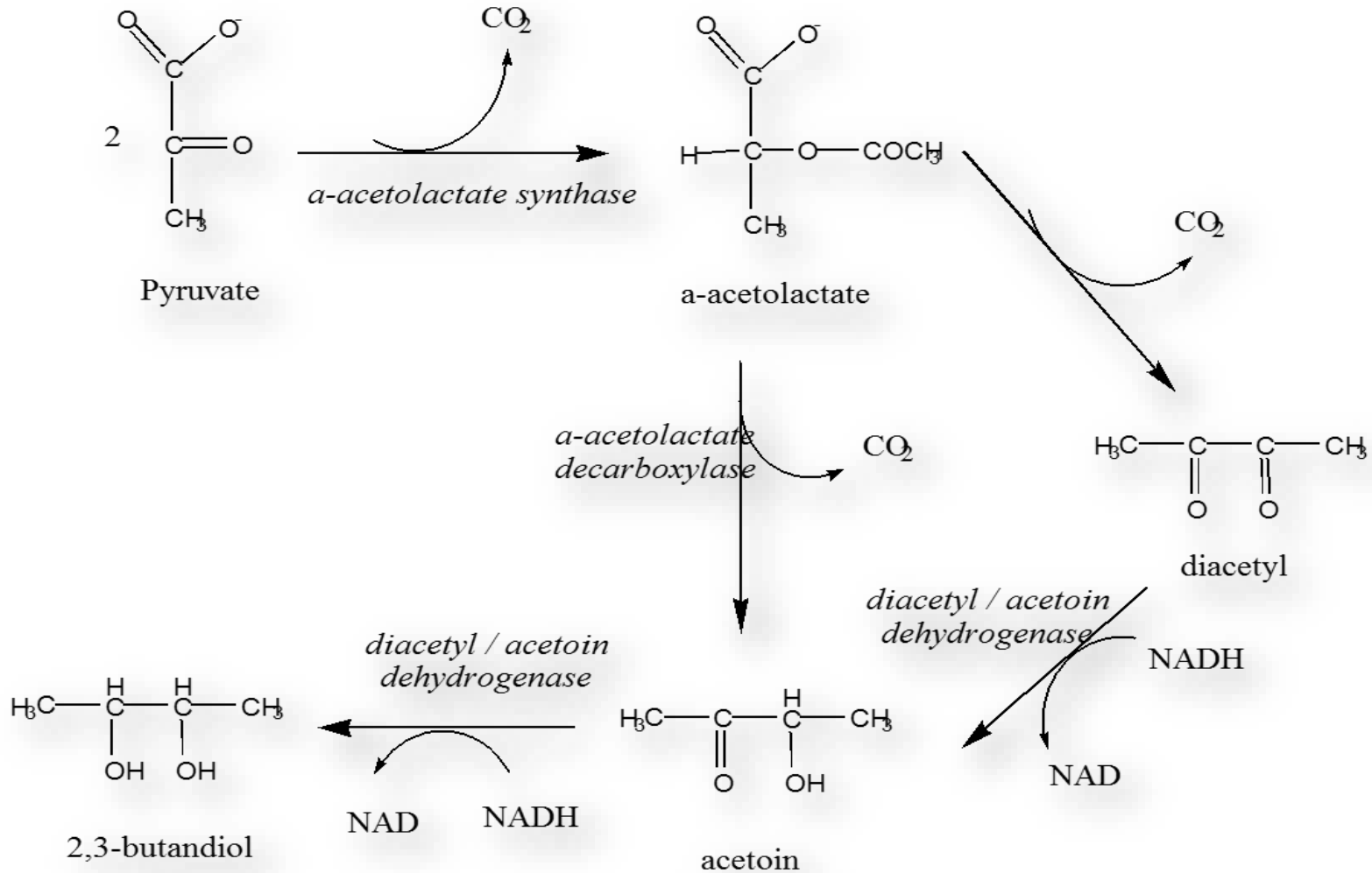
## Ωρίμανση

- συνεχίζεται ο καταβολισμός των σακχάρων μέχρι του επιθυμητού αλκοολικού βαθμού.
- μπύρες τύπου **lager** ωριμάζουν στους 2-6 °C για 2-4 εβδομάδες.
- μπύρες τύπου **ale** ωριμάζουν στους 12-20 °C για 1-2 εβδομάδες.



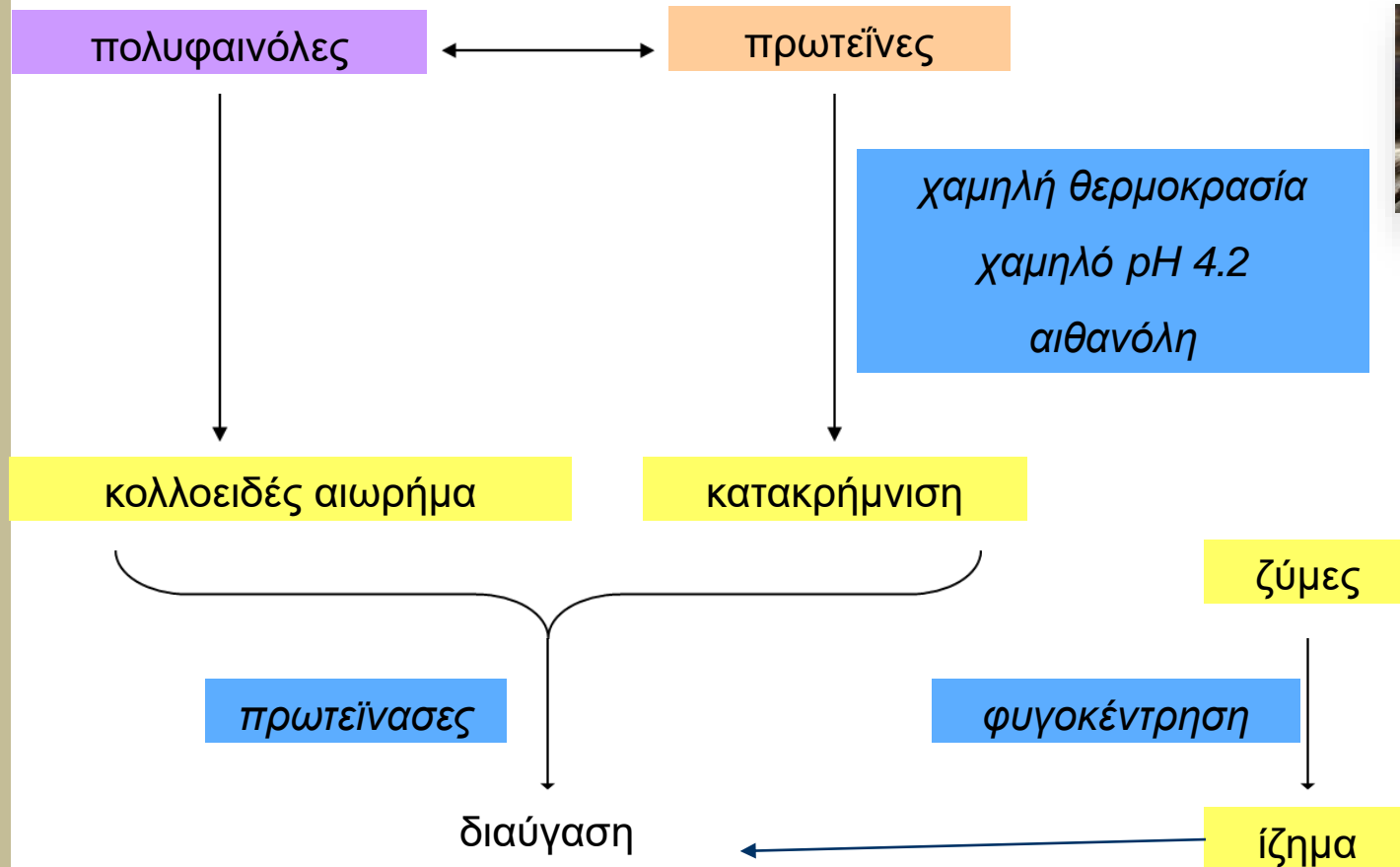


# Ωρίμανση (β)





# Θολερότητα της μπύρας





# 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