



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

AGRICULTURAL UNIVERSITY OF ATHENS

# Βιοχημεία Τροφίμων I

## Ενότητα 9<sup>η</sup> Δημητριακά III

Όνομα καθηγητή: Έφη Τσακαλίδου

Τμήμα: Επιστήμης Τροφίμων & Διατροφής του Ανθρώπου



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ





# Στόχοι ενότητας

- Κατανόηση των βιοχημικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα κατά την παρασκευή του ψωμιού



# Λέξεις - κλειδιά

- Λέξεις κλειδιά: Γλιαδίνες, Γλουτενίνες, Γλουτένη, Πεντοζάνες, Ζύμες, Προζύμι, Ζύμωση, Πρόσθετα, Διατροφική Αξία, Πρεβιοτικά
- Key words: Gliadins, Glutenins, Gluten, Pentozans, Yeasts, Sourdough, Fermentation, Additives, Nutritional Value, Prebiotics



# Ψωμί (α)

- Παρασκευή ζυμαριού από τους Σουμέριους στη Νότια Μεσοποταμία (6000 π.Χ.):
  - ψωμί από αποξηραμένους, θρυμματισμένους σπόρους δημητριακών,
  - ψήνονταν πάνω σε καυτές στρογγυλές πέτρες
- Η τεχνική της αρτοποιίας τελειοποιήθηκε στην αρχαία Αίγυπτο (3000-2000 π.Χ.):
  - το ψωμί ως βασικό τρόφιμο, δείκτης κοινωνικής στάθμης και μέσο αμοιβής της εργασίας.





# Ψωμί (β)

- Οι αρχαίοι Έλληνες βελτίωσαν την γεύση του ψωμιού προσθέτοντας συστατικά, όπως το σουσάμι, το μέλι και κομμάτια φρούτων.
- προσφορά ψωμιού στη διάρκεια ενός γεύματος ένδειξη φιλοξενίας.
- αποπυρίας (στα κάρβουνα), εσχαρίτης (σε ταψί), ζυμίτης ή άζυμος (με ή χωρίς μαγιά).
- βλωμιαίος (ψωμί σε κομμάτια), μυστρίλη (κοίλο ψωμί), πλακίτης (λεπτό, επίπεδο ψωμί).





# Ψωμί (γ)

- Στην **αρχαία Ρώμη** στα περισσότερα σπίτια μύλοι (νερόμυλοι) και φούρνοι.
  - πρώτη ένωση αρτοποιιών  
(College of Pistoris, 100 μ.Χ.).



- Οι ανεμόμυλοι στους μεσαιωνικούς χρόνους (τεχνική εξέλιξη - Leonardo Da Vinci).
- Οι πρώτοι μεταλλικοί κύλινδροι (από σίδηρο) για μύλους τον 19ο αιώνα.





# Παρασκευή του ψωμιού

αλεύρι  
νερό  
αλάτι  
ζύμες



ζυμάρι



ενυδάτωση αμύλου,  
ενυδάτωση πρωτεϊνών,  
ενσωμάτωση αέρα,  
μείωση ειδικού βάρους ζυμαριού,  
σχηματισμός κυψελίδων  $N_2$

ποσότητα πρωτεϊνών



χρόνος ανάμιξης

γλιαδίνες



ιξώδες & εκτατικότητα γλουτένης

γλουτενίνες



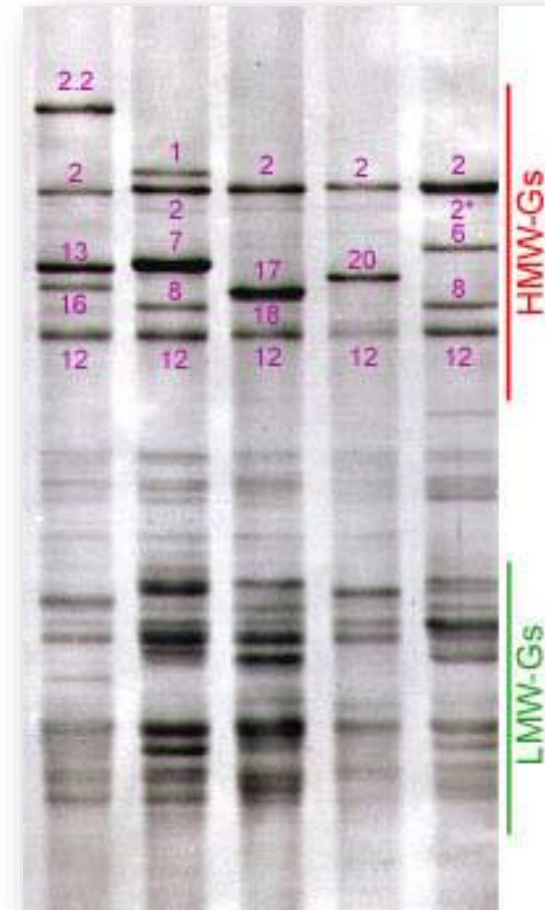
ελαστικότητα γλουτένης

<https://www.youtube.com/watch?v=EGbNI26PPYg>



# Πρωτεΐνες (α)

- όγκος ζυμαριού:
  - ευθέως ανάλογος συγκέντρωσης  
δυσδιάλυτων γλουτενινών  
(μεγαλομοριακά συσσωματώματα  
γλουτενινών)
  - αντιστρόφως ανάλογος συγκέντρωσης  
ευδιάλυτων γλουτενινών  
(μικρομοριακά συσσωματώματα  
γλουτενινών).







# Πρωτεΐνες (β)

μεγαλομοριακά  
συσσωματώματα  
γλουτενινών

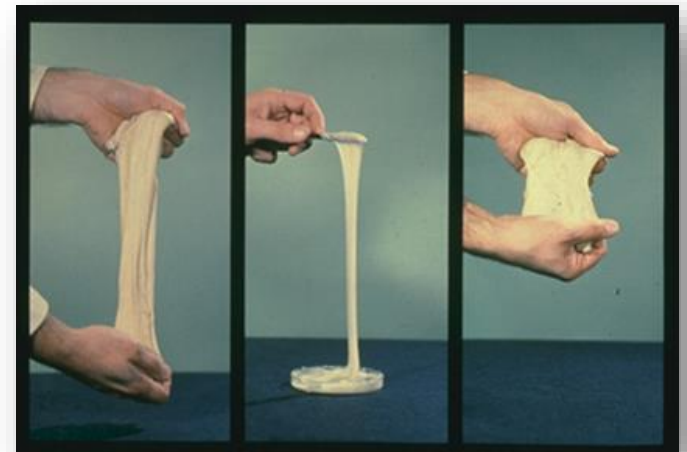


κριτήρια αρτοποιήσης  
χρόνος μάλαξης  
δείκτης αντοχής στη μάλαξη  
μέγιστη αντίσταση  
**ελατικότητα**

γλιαδίνες



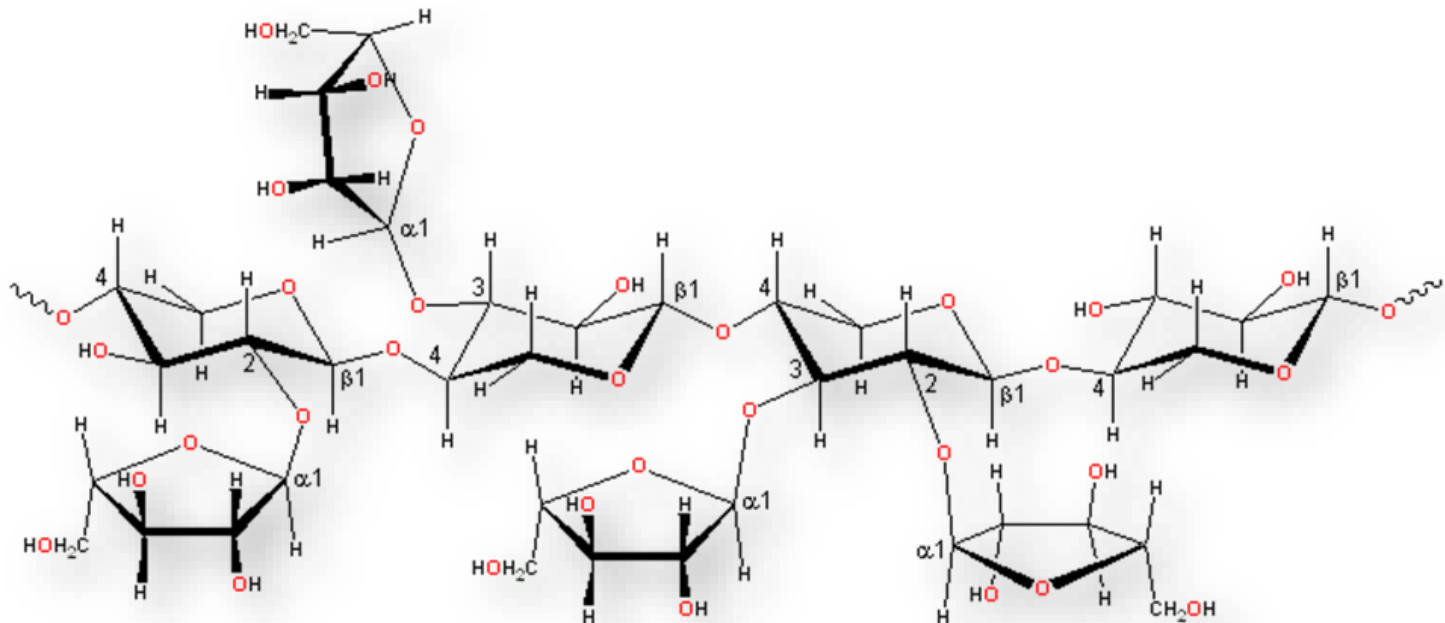
**Ιξώδες  
&  
εκτατικότητα**





# Πεντοζάνες (α)

- κυριότερη πεντοζάνη του αλεύρου:
  - γραμμικό πολυμερές της D-ξυλοζης με  $\beta,1-4$  δεσμούς.
  - παράπλευρες ομάδες D-αραβινόζης στις θέσεις 2- ή 3- της D-ξυλόζης.



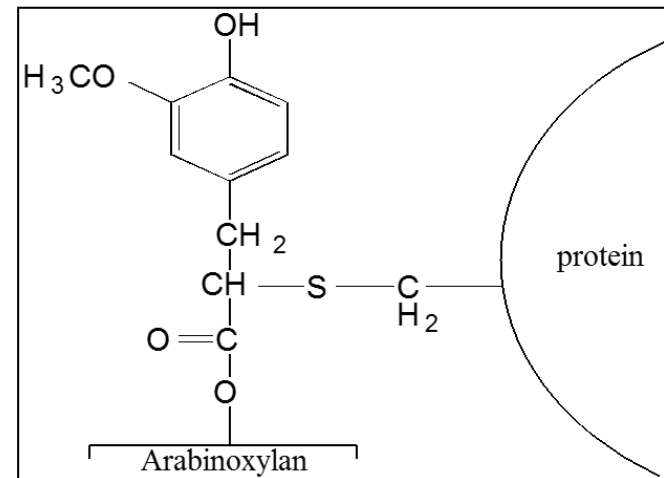
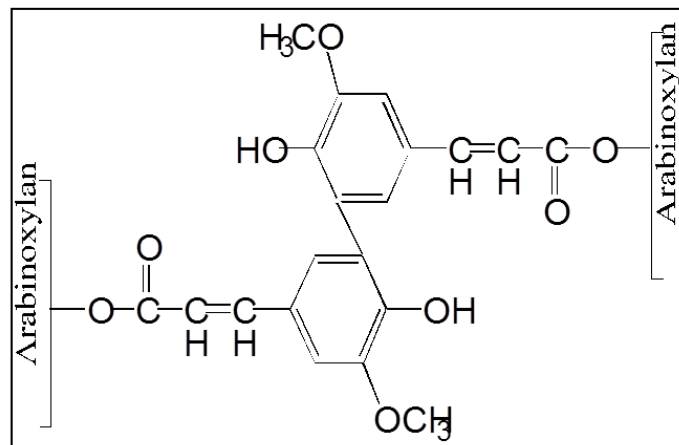
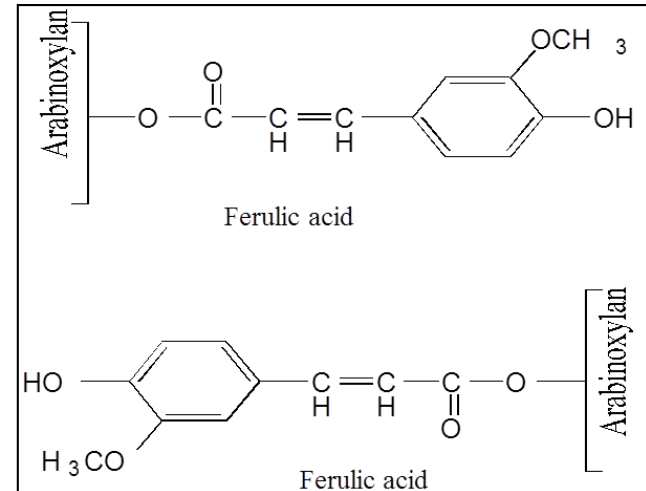
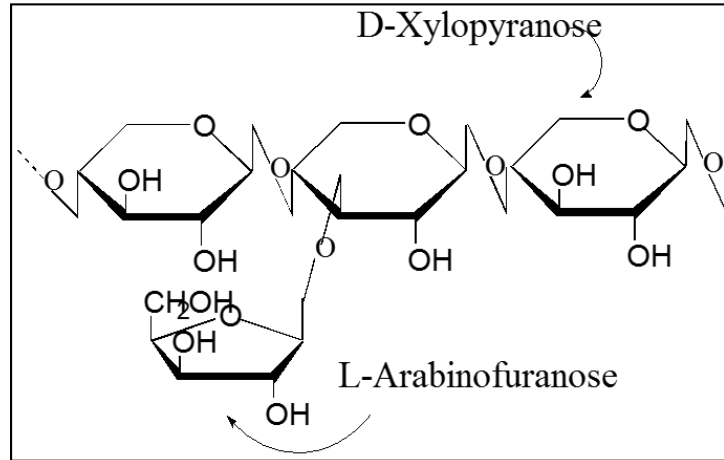


# Πεντοζάνες (β)

- ομαδοποίηση πεντοζανών:
  - με βάση την διαλυτότητα στο νερό.
  - αντιστρόφως ανάλογη παράπλευρων ομάδων της D-αραβινόζης.
- παρουσία οξειδωτικών αντιδραστηρίων,
  - οι υδατοδιαλυτές πεντοζάνες σχηματίζουν πηκτές.
- ρόλος:
  - Ενίσχυση δομής γλουτένης.
  - Ενίσχυση ικανότητας γλουτένης να συγκρατεί το CO<sub>2</sub>.



# Πεντοζάνες (γ)





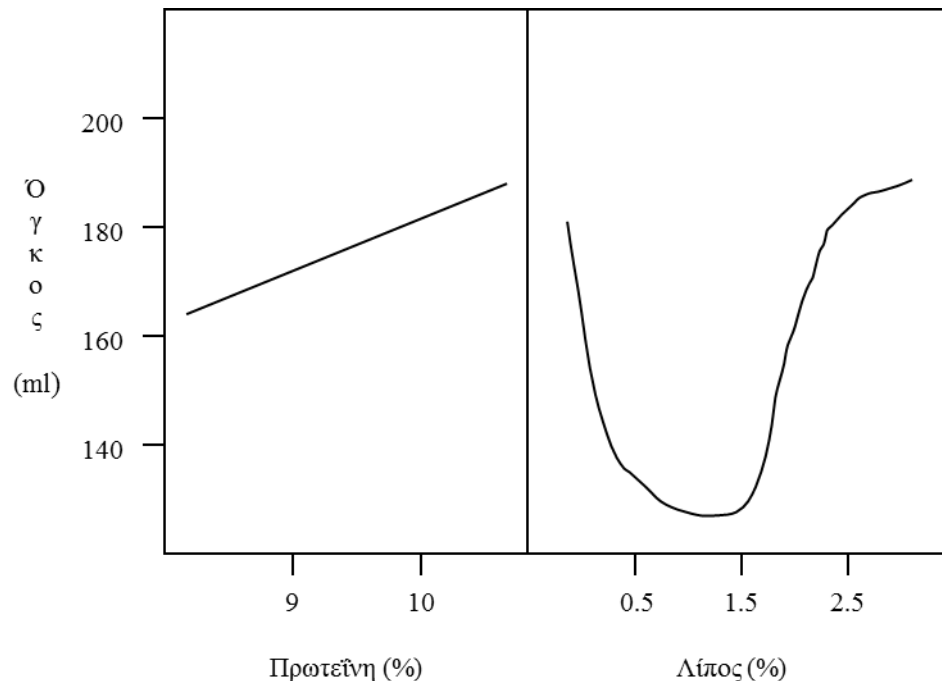
# Λιπίδια (α)

- χαμηλή συγκέντρωση (2%) αλλά σημαντικός ρόλος στην αρτοποιία.
- βελτιώνουν την αναμικτικότητα και τον όγκο του ζυμαριού.
- πιο σημαντικά τα πολικά λιπίδια (φωσφο- και γλυκολιπίδια).
- Μεγάλο ρόλο παίζουν οι αλληλοεπιδράσεις λιπιδίων και πρωτεϊνών



# Λιπίδια (β)

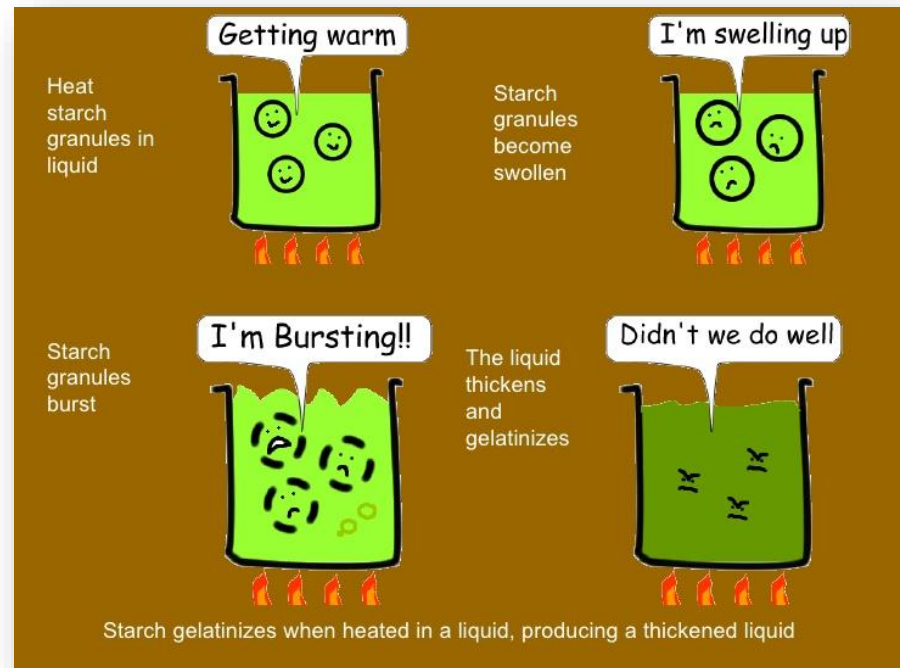
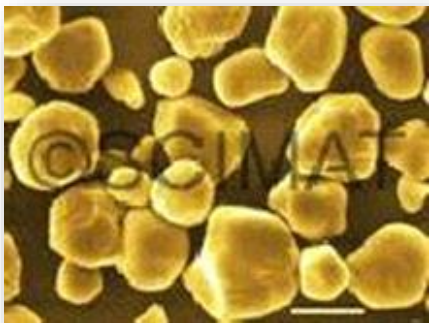
- ενυδάτωση του αλεύρου:
  - ελεύθερα λιπίδια προσδένονται στις πρωτεΐνες και σταθεροποιούν το πλέγμα της γλουτένης.
  - βελτιώνουν την ικανότητα κατακράτησης CO<sub>2</sub>.





# Άμυλο (α)

- άμυλο:
  - προσροφά νερό,
  - ζελατινοποιείται,
- κοκκία αμύλου:
  - δεν διαλύονται στο νερό,
  - προσροφούν νερό &
  - διογκώνονται.





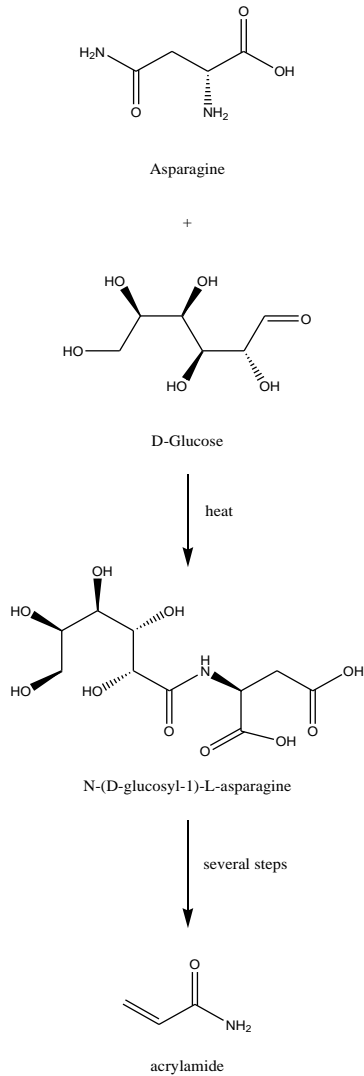
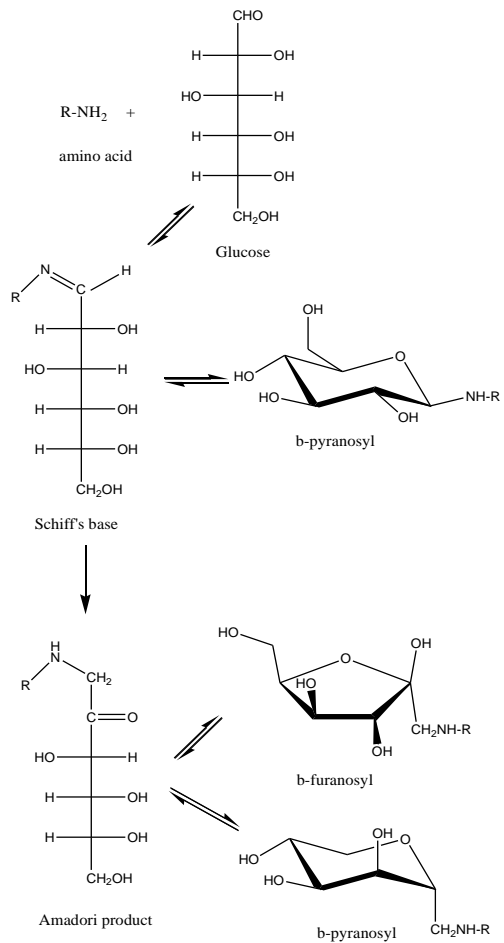
# Άμυλο (β)

- άθικτα κοκκία αμύλου:
  - απορροφούν μόνο το 1/2 του βάρους τους σε κρύο νερό.
- θρυμματισμένα κοκκία αμύλου:
  - απορροφούν μέχρι και 2 φορές το βάρος τους.
  - αύξηση της απόδοσης σε τελικό προϊόν.
- βαθμός θρυμματισμού κοκκίων αμύλου ελέγχεται κατά την άλεση του σίτου.





# Άμυλο (γ)

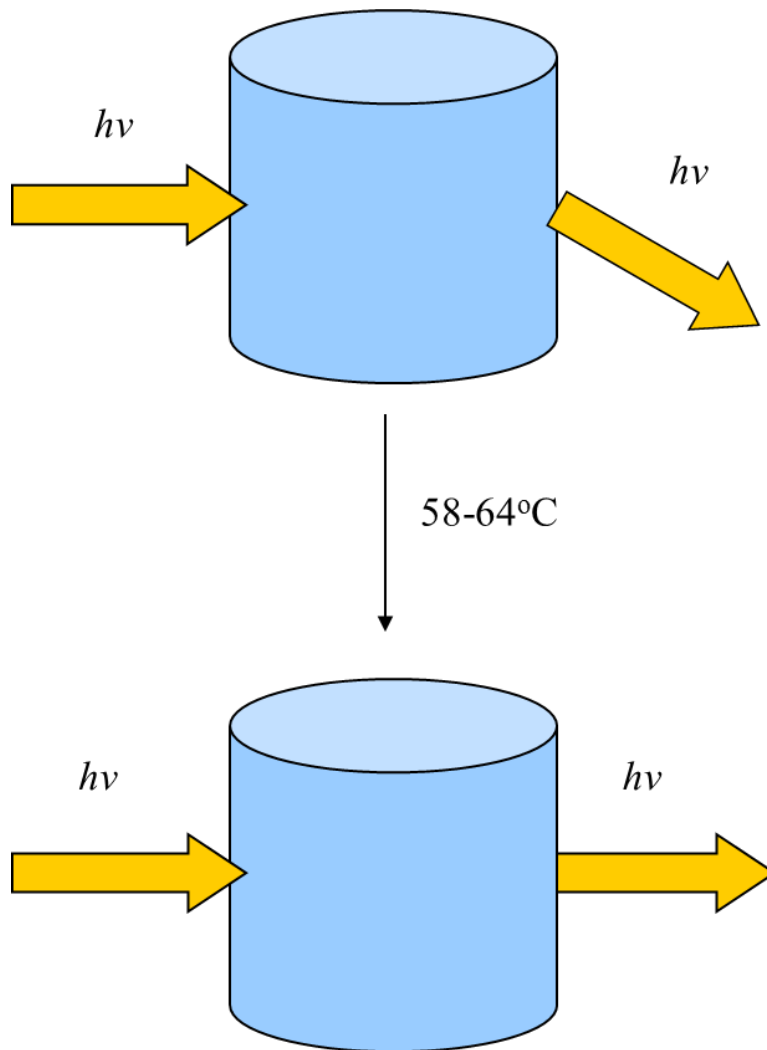


## Αντίδραση Maillard



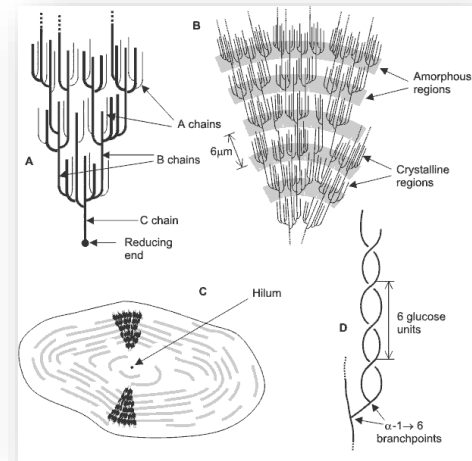


# Άμυλο (δ)



αιώρημα αμύλου σε  $H_2O$

«κρυσταλλική δομή»



- εξασθένιση δεσμών H,
- αποδιάταξη μοριακής οργάνωσης,
- αύξηση προσρόφησης  $H_2O$ ,
- ζελατινοποίηση,
- άμορφο άμυλο, μη κρυσταλλικό.



# Άμυλο (ε)

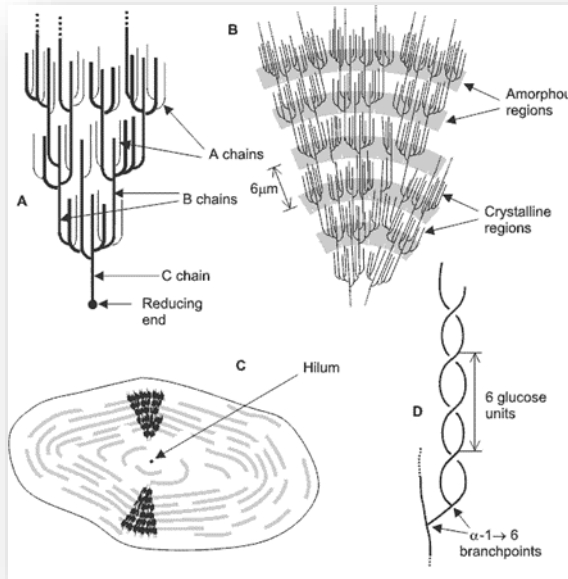
φρέσκο ψωμί

παλαίωση

σκληρό ψωμί

άμορφο άμυλο

ανακρυστάλωση



μείωση διαλυτότητας αμύλου

«κρυσταλλικό άμυλο»



# Πρόσθετα αρτοποιίας (α)

Πρόσθετα στην αρτοποιία βιομηχανικής κλίμακας.

- **κυστεΐνη, θειώδες ή μεταθειώδες νάτριο:**

- αναγωγικά αντιδραστήρια των δισουλφυδικών δεσμών στις πρωτεΐνες.
- συμβάλλουν στην καλύτερη ανάπτυξη του ζυμαριού (dough relaxer).

- **ασκορβικό οξύ:**

- οξειδωτικό αντιδραστήριο.
- δυναμώνει τη γλουτένη.
- βελτιώνει την κατακράτηση του διοξειδίου του άνθρακα.
- βελτιώνει τον όγκο του ψωμιού.



# Πρόσθετα αρτοποιίας (β)

Πρόσθετα στην αρτοποιία βιομηχανικής κλίμακας.

- **ιωδικό νάτριο** και **ασβέστιο** (ταχέως οξειδωτικά).
- **βρωμικό νάτριο** και **ασβέστιο** (βραδέως οξειδωτικά):
  - στην οξείδωση σουλφυδριλικών ομάδων σε δισουλφίδια,
  - και επομένως στην ενδυνάμωση της γλουτένης.
- **Γαλακτωματοποιητές**:
  - καλύτερη διασπορά του λίπους στο ζυμάρι,
  - αύξηση της εκτατικότητας του
  - αλληλοεπιδρούν με το σύμπλοκο γλουτένης-αμύλου.
  - συμβάλλουν στην καθυστέρηση της παλαίωσης του ψωμιού.



# Πρόσθετα αρτοποιίας (γ)

Πρόσθετα στην αρτοποιία βιομηχανικής κλίμακας.

- **Υδροκολλοειδή** (προϊόντα αμύλου από διάφορα φυτά):
  - ρυθμίζουν την κατακράτηση και την κατανομή του νερού.
  - αυξάνουν έτσι την απόδοση στο τελικό προϊόν,
  - ταυτόχρονα ενισχύουν τη δομή της κόρας και,
  - βελτιώνουν την πεπτικότητα του ψωμιού.
- **Κυτταρίνη** ή παράγωγα κυτταρίνης:
  - χρησιμοποιούνται ως πηγές διαιτητικών ινών.



# Πρόσθετα αρτοποιίας (δ)

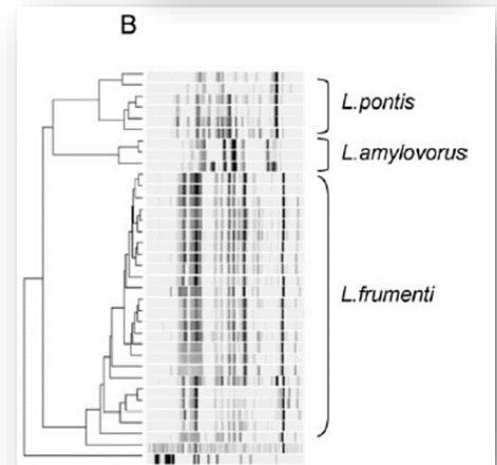
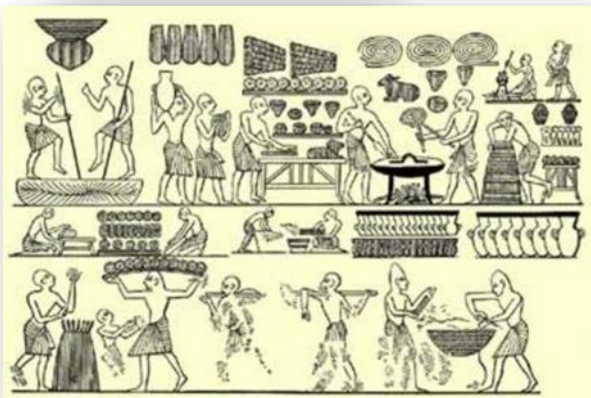
Πρόσθετα στην αρτοποιία βιομηχανικής κλίμακας.

- **Αλάτι** (περίπου 2% του βάρους του αλεύρου):
  - αύξηση του αρώματος.
  - μεταβάλλει το χρόνο ανάμιξης του ζυμαριού.
  - αυξάνει την σταθερότητα του ζυμαριού.
  - αυξάνει την κατακράτηση του διοξειδίου του άνθρακα.
  - αυξάνει την θερμοκρασία ζελατινοποίησης του αμύλου.



# Προζύμι (α)

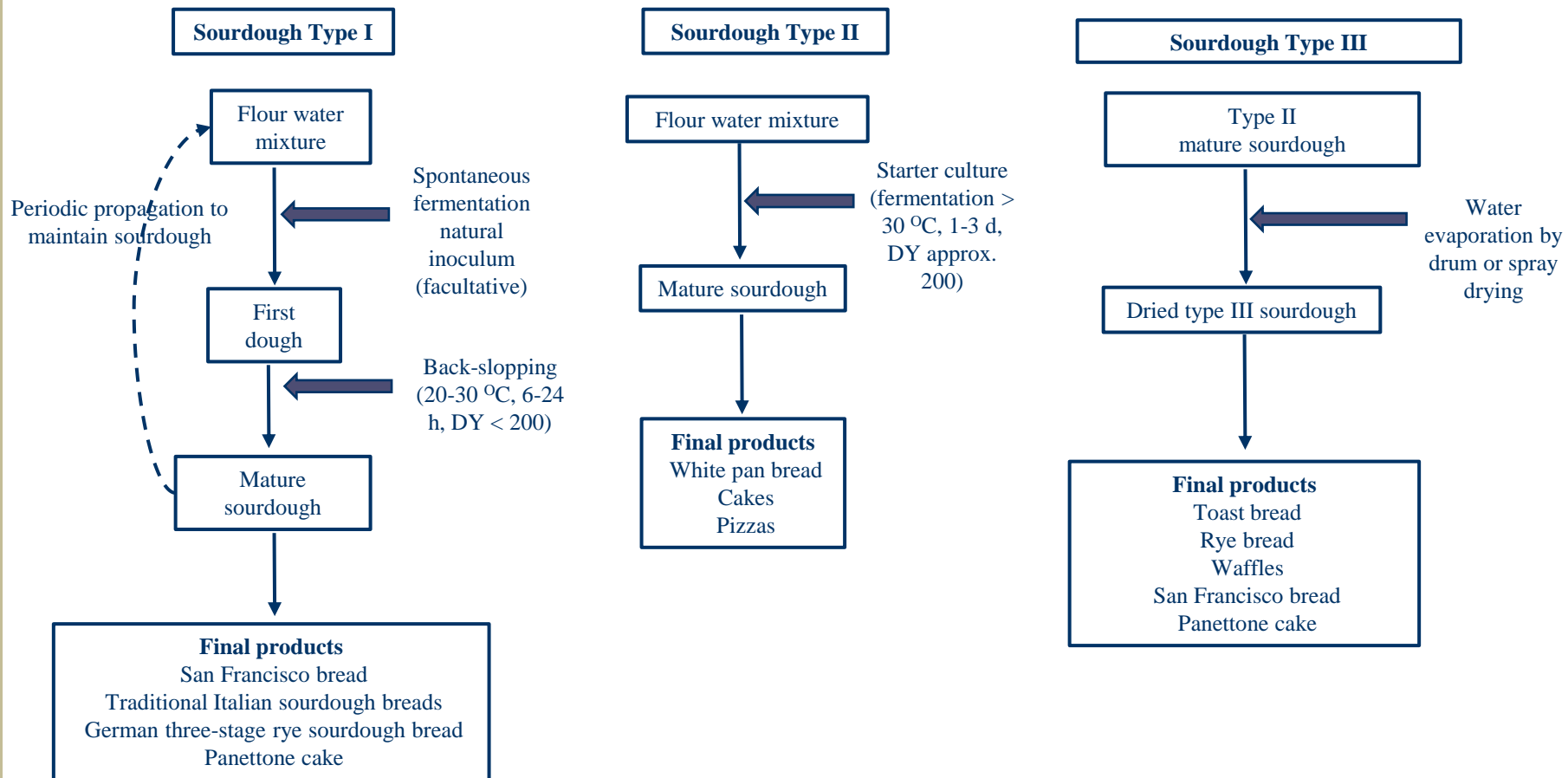
- Προζύμι: Anstellgut, Le chef, Masa madre, San Francisco







# Προζύμι (β)





# Προζύμι (Υ)

## Sourdough Type I

### Obligate heterofermentative

*Lactobacillus sanfranciscensis*  
*Lactobacillus brevis*  
*Lactobacillus fermentum*  
*Lactobacillus reuteri*  
*Lactobacillus pontis*  
*Lactobacillus rossiae*

### Facultative heterofermentative

*Lactobacillus alimentarius*  
*Lactobacillus paralimentarius*  
*Lactobacillus plantarum*

### Obligate homofermentative

*Lactobacillus amylovorus*  
*Lactobacillus delbrueckii*

*Saccharomyces cerevisiae*  
*Kazachstania exigua*  
*Candida humilis* (reclassified as *Kazachstania humilis*)  
*Pichia kudriavzevii*  
*Torulasporea delbrueckii*  
*Wickerhamomyces anomalus*

## Sourdough Type II

### Lactic acid bacteria

#### Obligate heterofermentative

*Lactobacillus sanfranciscensis*  
*Lactobacillus brevis*  
*Lactobacillus fermentum*  
*Lactobacillus reuteri*  
*Lactobacillus pontis*  
*Lactobacillus panis*  
*Lactobacillus frumenti*  
*Weissella spp.*

#### Obligate homofermentative

*Lactobacillus acidophilus*  
*Lactobacillus johnsonii*  
*Lactobacillus farciminis*  
*Lactobacillus delbrueckii*  
*Lactobacillus amylovorus* (rye)

### Yeasts

*Saccharomyces cerevisiae* is added

## Sourdough Type III

### Obligate heterofermentative

*Lactobacillus brevis*

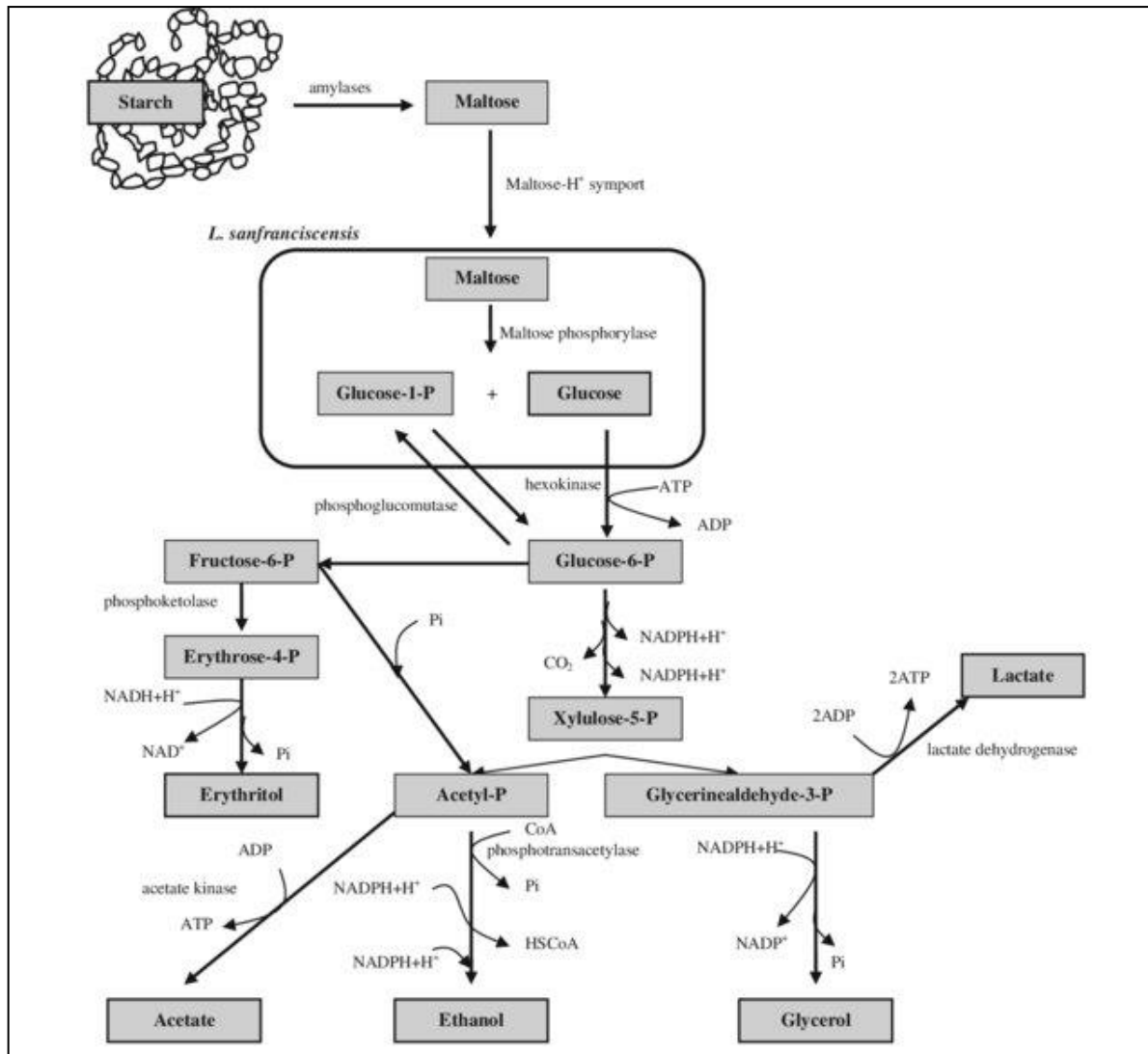
### Facultative heterofermentative

*Pediococcus pentosaceus*  
*Lactobacillus plantarum*

*Saccharomyces cerevisiae* is added



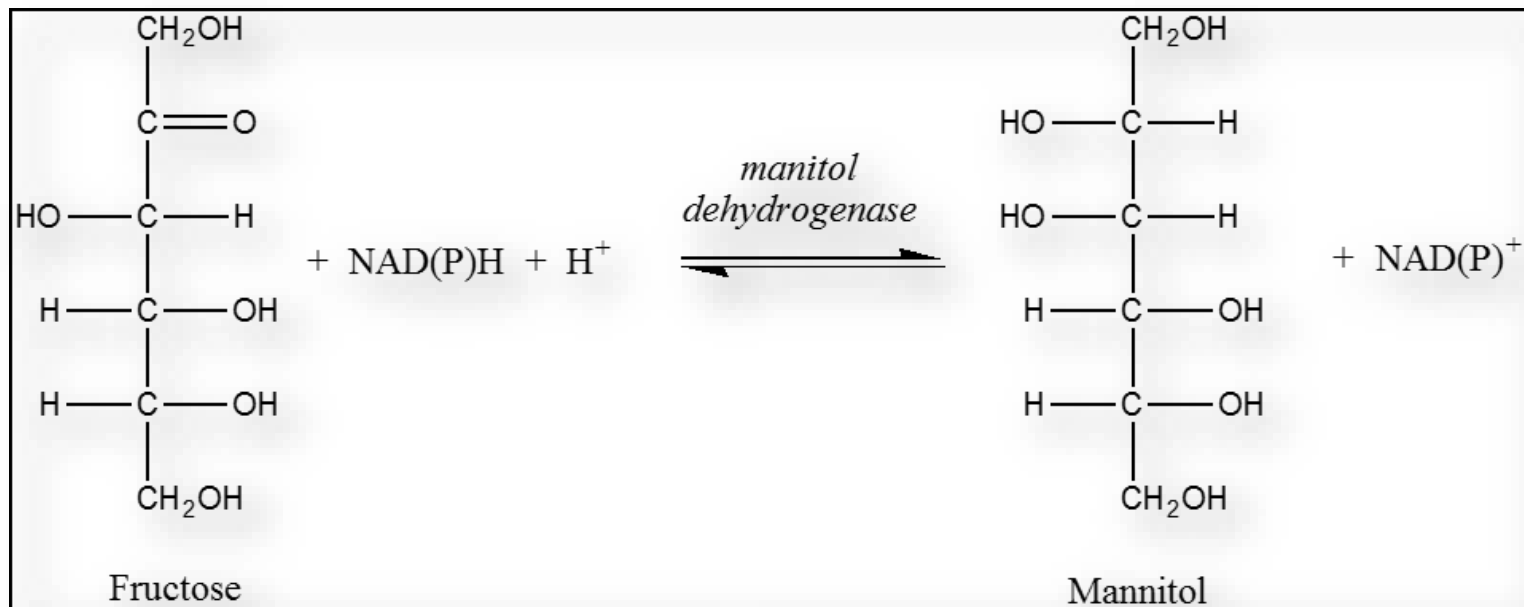
# Καταβολισμός σακχάρων (α)



Η συγκέντρωση των υδατοδιαλυτών υδατανθράκων στο αλεύρι (μαλτόζη, σακχαρόζη, γλυκόζη, φρουκτόζη) κυμαίνεται από 1.55 μέχρι 1.85%.



# Καταβολισμός σακχάρων (β)





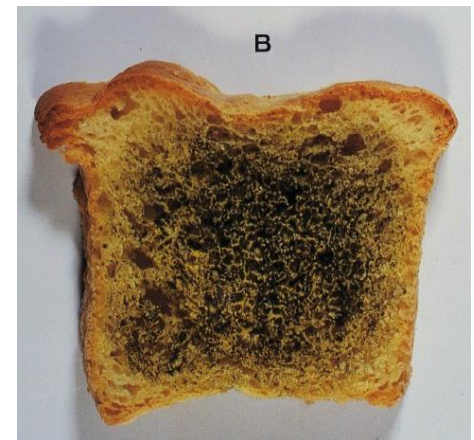
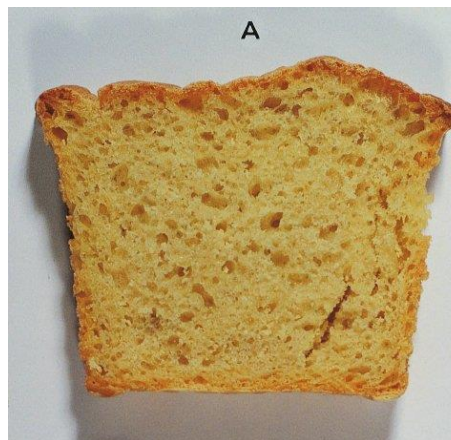
# Οξύνιση

- Τα **οργανικά οξέα** που παράγονται στο ψωμί με προζύμι βελτιώνουν τα οργανοληπτικά και φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του ψωμιού και **αυξάνουν** το **χρόνο ζωής** του.
- Το **οξικό οξύ** σε συγκεντρώσεις 100-200 ppm αυξάνει την ένταση των αρωματικών συστατικών του ψωμιού.
- Ένας **συντελεστής ζύμωσης** 2.0 - 2.7 (fermentation quotient, FQ = γραμμομοριακή αναλογία γαλακτικού προς οξικό) καθιστά την γεύση και το άρωμα του ψωμιού πολύ πιο έντονα.
- Ειδικότερα στο ψωμί από **σίκαλη** η οξύνιση ενδυναμώνει το **πλέγμα της γλουτένης** και βοηθά στη σωστή διόγκωση του ψωμιού.
- Η **οξίνιση** επίσης **καθυστερεί την ανακρυστάλλωση** του αμύλου και άρα την παλαίωση του ψωμιού, και **δρα συντηρητικά**



# Αλλοίωση του ψωμιού (α)

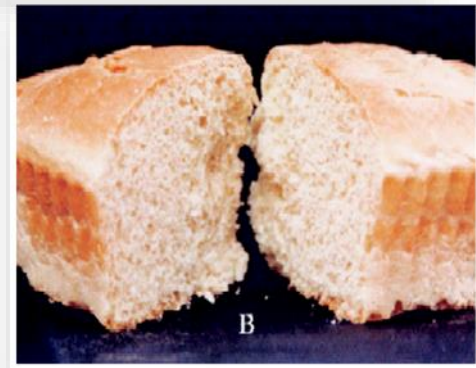
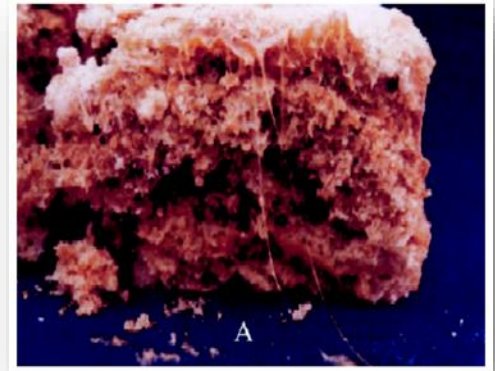
- **Η ανάπτυξη μυκήτων είναι η πιο συχνή αιτία αλλοίωσης**
  - χρόνος ζωής του ψωμιού 3-4 ημέρες
  - απωθητική όψη, δυσάρεστη οσμή, παραγωγή μυκοτοξινών
- **Τα είδη των μυκήτων που επικρατούν**
  - *P. commune*, *P. solium*, *P. corylophilum*, *A. flavis* (ψωμί από σιτάρι)
  - *P. roqueforti*, *P. corylophilum*, *Euroticum* (ψωμί από σίκαλη)
- **Οξικό και γαλακτικό οξύ στο ψωμί από προζύμι αντιμυκητιακή δράση**





# Αλλοίωση του ψωμιού (β)

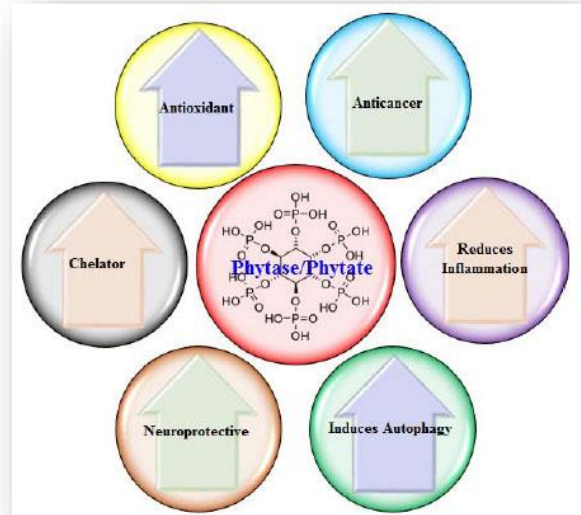
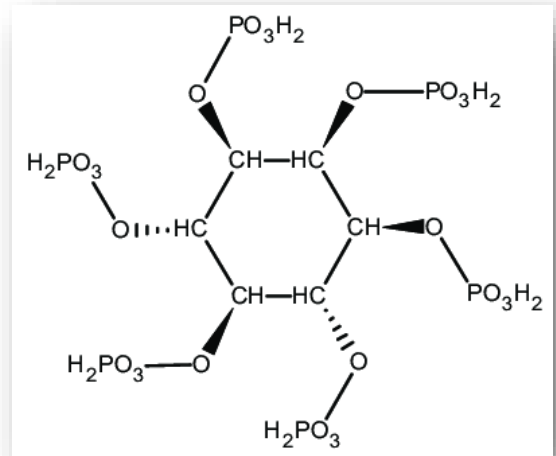
- **Κολλώδης υφή είναι η δεύτερη πιο σημαντική αλλοίωση του ψωμιού**
  - αρχικά εμφανίζεται δυσάρεστη οσμή,
  - ακολουθεί αποχρωματισμός και τέλος
  - το ψωμί γίνεται κολλώδες και μαλακό (αποικοδόμηση πρωτεϊνών και αμύλου και παραγωγή βλεννωδών εξωπολυσακχαριτών)
- **Υπεύθυνα βακτήρια του γένους *Bacillus***
  - *B. subtilis*, *B. licheniformis*, *B. cereus*
- **Παρεμπόδιση *Bacillus***
  - θερμική απενεργοποίηση σπορίων στο ψήσιμο
  - αντιβακτηριακή δράση οξικού & γαλακτικού οξέος
  - αντιβακτηριακή δράση βακτηριοσινών οξυγαλακτικών βακτηρίων





# Φυτικό οξύ

- Τα δημητριακά περιέχουν **φυτικό οξύ** (εξαφωσφορική μυο-ινοσιτόλη):
  - δεσμεύει πολύτιμα μεταλλικά στοιχεία (Zn, Fe και Ca).
  - μειώνει την βιοδιαθεσιμότητα τους.
  - μειώνει την διατροφική αξία των πρωτεϊνών.
- Στο ψωμί, το φυτικό οξύ διασπάται τόσο από:
  - την ενδογενή **φυτάση του αλεύρου**,
  - τις **φυτάσες των ζυμών και των βακτηρίων** της ζύμωσης.
- **Ευεργετικές ιδιότητες φυτικού οξέος:**
  - αντικαρκινογόνος δράση.
  - προστασία στις καρδιαγγειακές παθήσεις.

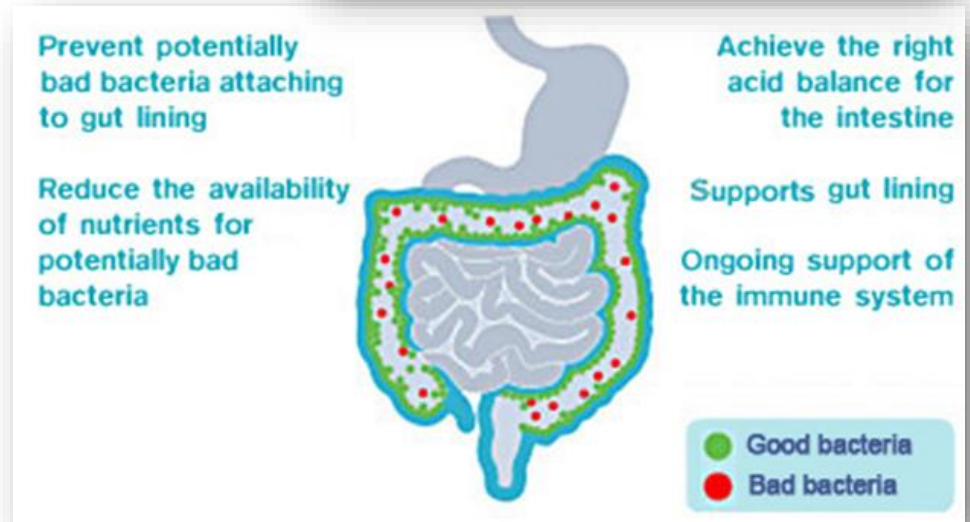
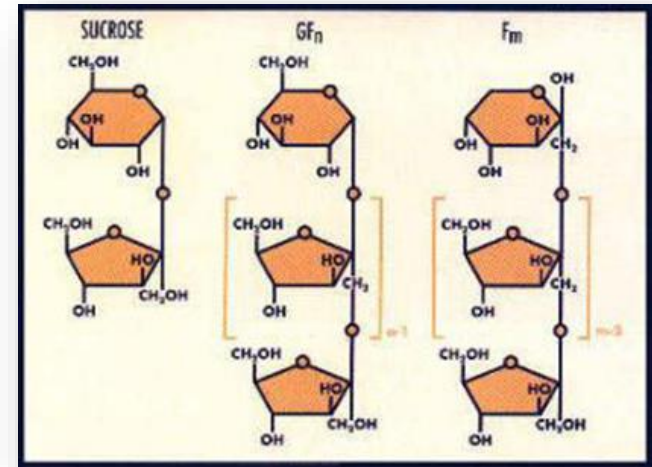






# Πρεβιοτικά (α)

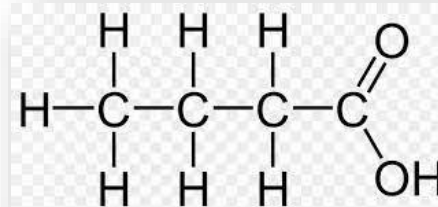
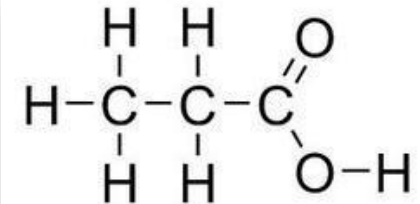
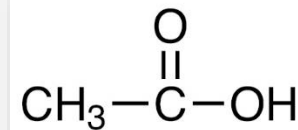
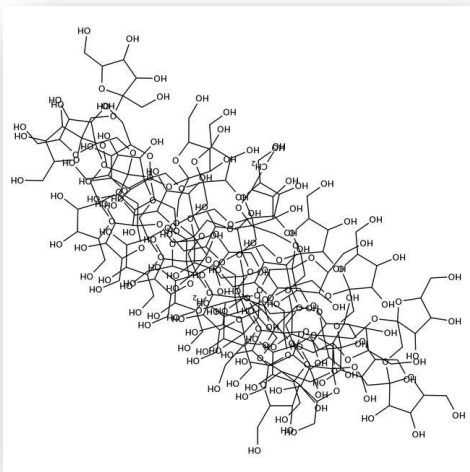
- Ολιγοσακχαρίτες/πολυσακχαρίτες με β-γλυκοζιτικούς δεσμούς.
- δεν υδρολύονται από τα ενδογενή ένζυμα του πεπτικού σωλήνα.
- καταβολίζονται από μικροοργανισμούς του εντέρου.
- Στα δημητριακά τέτοια μόρια είναι:
  - η κυτταρίνη,
  - οι ημικυτταρίνες,
  - το ανθεκτικό άμυλο,
  - τα αραβοξυλάνια,
  - οι πεντοζάνες,
  - τα γλυκάνια.





# Πρεβιοτικά (β)

- Προϊόντα της αποικοδόμησης των πρεβιοτικών:
  - Μικρού μοριακού βάρους λιπαρά οξέα (SCFA),
  - ιδιαίτερα το οξικό, το προπιονικό και το βουτυρικό οξύ.
- Βουτυρικό οξύ:
  - πηγή ενέργειας από τα κύτταρα του επιθηλίου του εντέρου.
- Οξικό και προπιονικό:
  - αφού εισέλθουν στη εντερο-ηπατική κυκλοφορία μειώνουν την ηπατική σύνθεση της χοληστερόλης.





# 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