

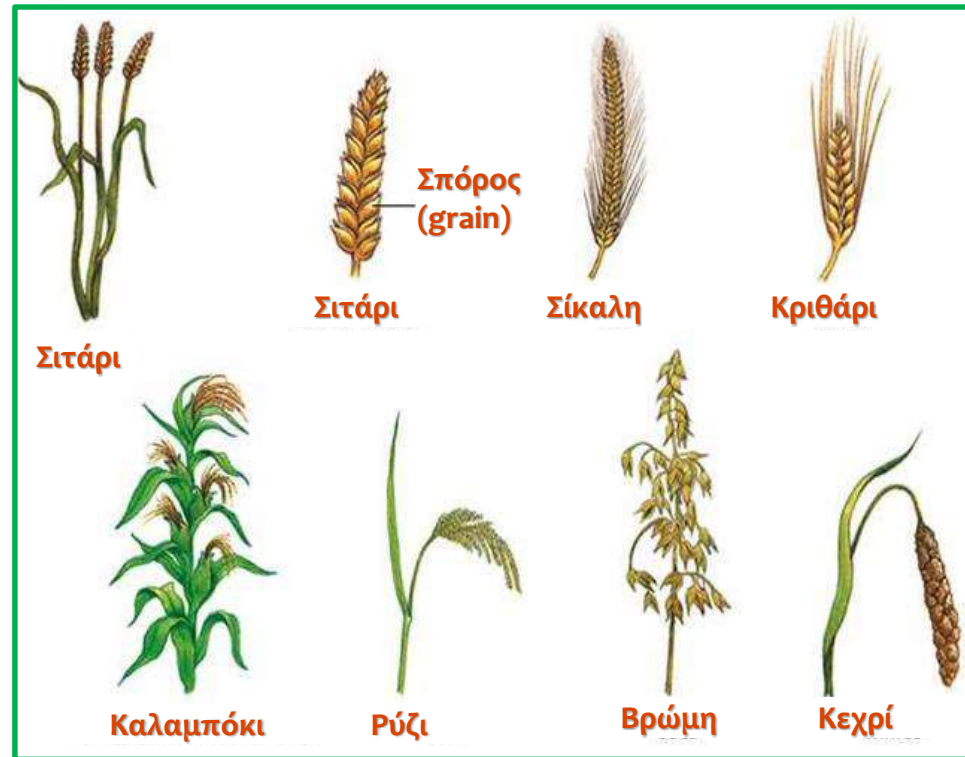
# ΣΙΤΗΡΑ & ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΟΥΣ



---

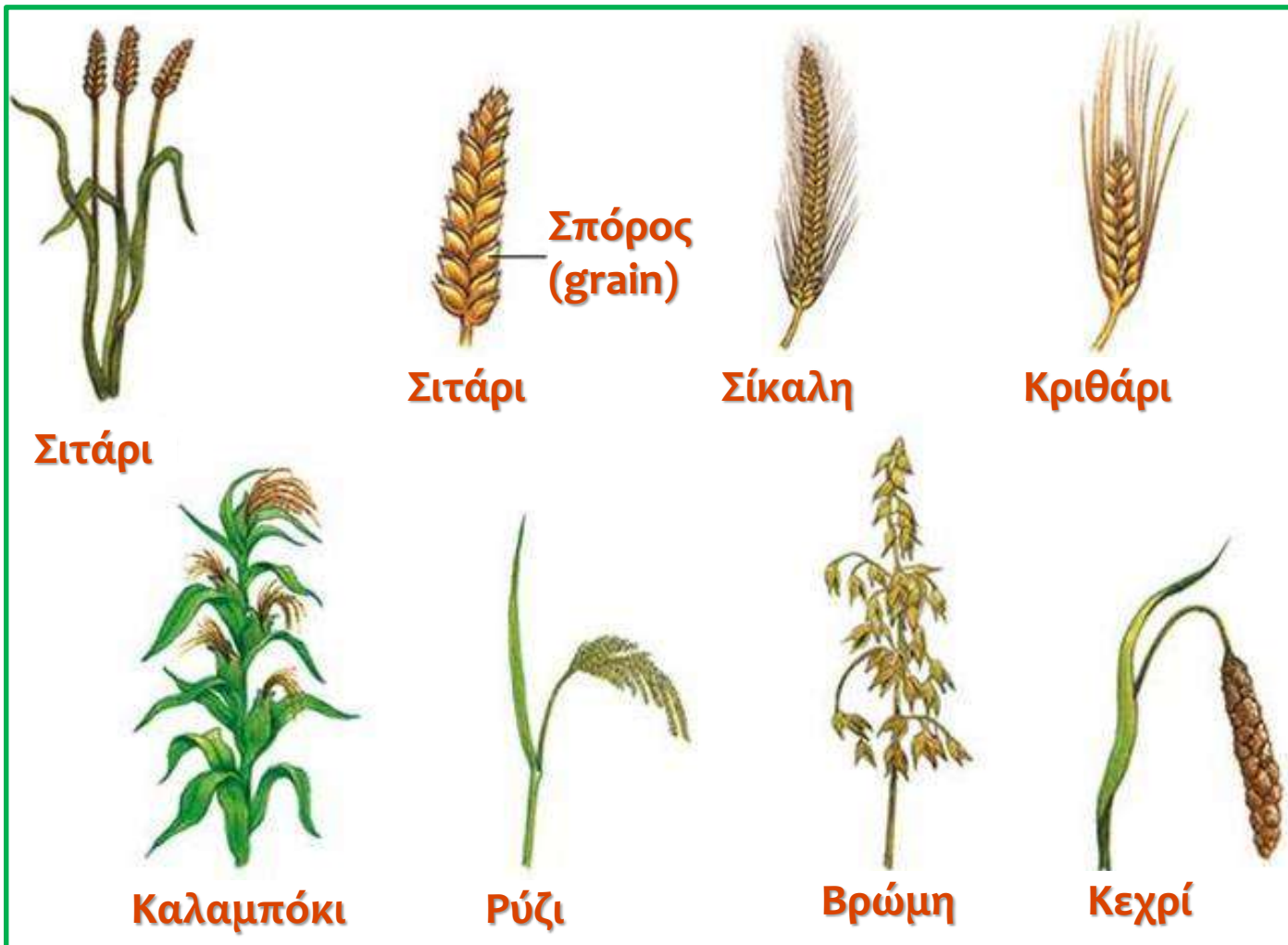
**Αργυρώ Μπεκατώρου**  
Καθηγήτρια Χημείας & Τεχνολογίας Τροφίμων  
Τμήμα Χημείας, Παν/μιο Πατρών  
Πάτρα 2023

- **Σιτηρά (δημητριακά):** από τα σημαντικότερα βασικά τρόφιμα της ανθρωπότητας
- Παρέχουν θρεπτικά συστατικά που μόνο από την κατανάλωση ψωμιού στις ανεπτυγμένες χώρες καλύπτουν **50%** της ημερήσιας ανάγκης σε υδατάνθρακες, το **1/3** σε πρωτεΐνες και το **50-60%** σε βιταμίνες B
- Είναι πηγή ανόργανων συστατικών & ιχνοστοιχείων



# Εισαγωγή

- Τα κυριότερα είναι το **σιτάρι**, η **σίκαλη**, το **ρύζι**, το **κριθάρι**, το **κεχρί** και η **βρώμη**



- **Μεγάλος καρπός (καρύοψη) που περιέχει σπόρους ισχυρά δεσμευμένους με το κέλυφός του**
- **Τα κυριότερα συστατικά των σιτηρών είναι ομοιοειδή με ποσοτικές διαφοροποιήσεις**

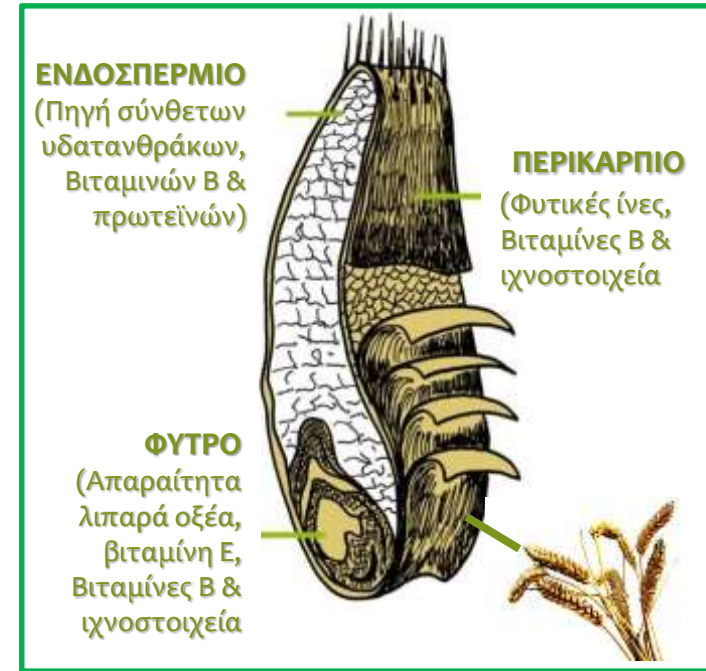


- Οι υδατάνθρακες αποτελούνται κυρίως από **άμυλο**, αλλά υπάρχουν και **μη αμυλώδεις πολύσακχαρίτες** (π.χ. στη βρώμη)

- Τα κύτταρα του ενδοσπέρμιου στοιβάζονται με **αμυλόκοκκους (70-80% του ενδοσπέρμιου αποτελείται από άμυλο)**

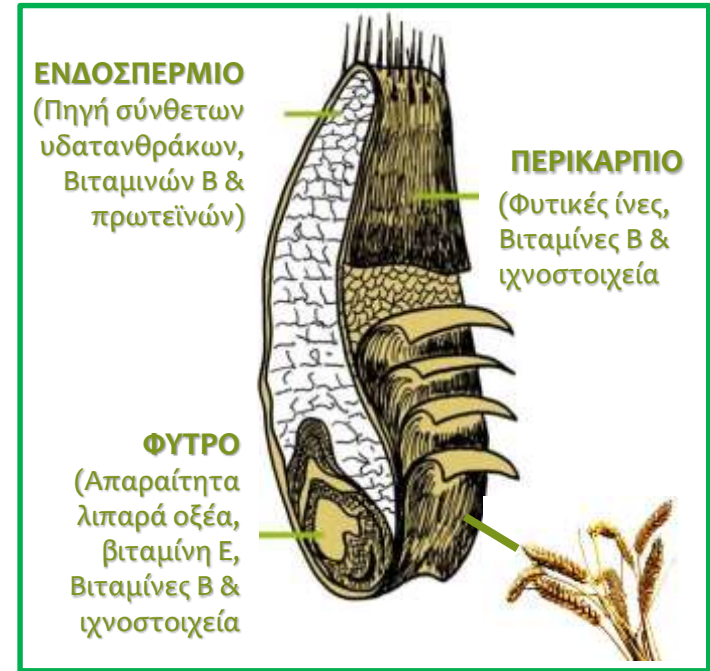


- Το ενδοσπέρμιο περιέχει μεγάλο ποσοστό **πρωτεϊνών** μέρος των οποίων αποτελεί τις πρωτεΐνες της **γλουτένης**, που είναι υπεύθυνες για την αρτοποιητική ικανότητα των αλεύρων



- Οι πρωτεΐνες και άλλα θρεπτικά συστατικά (βιταμίνες, ιχνοστοιχεία) ελαττώνονται από το εξωτερικό προς το εσωτερικό του ενδοσπερμίου

- Άλεση και διαχωρισμός από το φύτρο και το πίτυρο οδηγεί σε σημαντική απώλεια θρεπτικών συστατικών
- Ο ρόλος των επιμέρους συστατικών των σιτηρών είναι πολύ σημαντικός για την επεξεργασία για παραγωγή προϊόντων αρτοποιίας κυρίως από σίκαλη και σιτάρι



**ΜΑΘΗΜΑΤΑ (αφορά μόνο τους χημικούς)**

**Χημεία Τροφίμων**

**3<sup>ο</sup> ΕΤΟΣ (Υ)**

**Χημεία & Τεχνολογία Τροφίμων – Οινολογία Ι**

**4<sup>ο</sup> ΕΤΟΣ (Ε)**



# Προϊόντα αρτοποιίας – αντικείμενα και πεδία έρευνας

## Ψωμί

ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ

ΑΛΕΥΡΙ

▪ ΑΜΥΛΟ

✓ ΑΜΥΛΟΛΥΤΙΚΑ ΕΝΖΥΜΑ

✓ ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ

✓ ΓΛΟΥΤΕΝΗ

▪ ΔΙΟΓΚΩΣΗ

✓ ΖΥΜΕΣ

✓ ΓΑΛΑΚΤΙΚΑ ΒΑΚΤΗΡΙΑ

✓ ΑΛΚΟΟΛΙΚΗ & ΓΑΛΑΚΤΙΚΗ  
ΖΥΜΩΣΗ

ΑΡΤΟΠΟΙΗΤΙΚΗ  
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΑΛΕΥΡΟΥ

ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΨΩΜΙΟΥ

ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΨΩΜΙΟΥ

ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗ ΑΛΛΟΙΩΣΗ ΤΟΥ  
ΨΩΜΙΟΥ

«ΜΠΑΓΙΑΤΕΜΑ»  
ΤΟΥ ΨΩΜΙΟΥ

ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΑΣΕΙΣ  
ΣΤΗΝ ΑΡΤΟΠΟΙΙΑ

ΠΡΟΖΥΜΙ &  
ΝΕΕΣ  
ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ  
ΓΕΝΕΤΙΚΗΣ  
ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΕΝΖΥΜΑ &  
ΑΛΛΑ ΠΡΟΣΘΕΤΑ

ΝΕΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ  
ΑΡΤΟΠΟΙΙΑΣ

## Ψωμί - Πρώτες ύλες

- ΑΛΕΥΡΙ (ΣΙΤΟΥ κ.α.)
- ΔΙΟΓΚΩΤΙΚΟ ΜΕΣΟ (ΜΑΓΙΑ, ΠΡΟΖΥΜΙ ή ΧΗΜΙΚΑ ΜΕΣΑ)
- ΝΕΡΟ
- ΖΑΧΑΡΗ
- ΛΙΠΟΣ
- ΑΛΑΤΙ
- ΠΡΟΣΘΕΤΑ (ΣΥΝΤΗΡΗΤΙΚΑ, ΒΕΛΤΙΩΤΙΚΑ κ.α.)

**ΑΛΕΥΡΙ:** το απαλλαγμένο από φύτρα και φλοιούς, προϊόν της άλεσης των καρπών των δημητριακών. Σύσταση:

- ΝΕΡΟ (11-16%)
- ΑΜΥΛΟ (>50%)
- ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ (25-30%)
- ΟΞΕΑ
- ΛΙΠΟΣ
- ΕΝΖΥΜΑ
- ΒΙΤΑΜΙΝΕΣ (Α, Ε και Β1)
- ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ (κυρίως φωσφορικά άλατα)



## Αλεύρι - Αρτοποιητική ικανότητα

«Το σύνολο των ιδιοτήτων που πρέπει να έχει το αλεύρι για να παράγει ψωμί καλής ποιότητας»

### Αξιολογείται από:

- Απόδοση σε αρτομάζα & ψωμί
- Γεύση & άρωμα
- Όψη του προϊόντος (μορφή & μέγεθος των πόρων της ψίχας)

## Αλεύρι - Αρτοποιητική ικανότητα

«Το σύνολο των ιδιοτήτων που πρέπει να έχει το αλεύρι για να παράγει ψωμί καλής ποιότητας»

### Εξαρτάται από:

- Περιεκτικότητα & MB γλουτένης
- pH & θερμοκρασία κατεργασίας (ζυμώματος)
- Παρουσία οξειδωτικών (αύξηση διαμοριακών -S-S- δεσμών γλουτένης)
- Παρουσία ενζύμων (αμυλολυτικά & πρωτεολυτικά)
- Βαθμός άλεσης του αλεύρου
- Μηχανική επεξεργασία της αρτομάζας

## Αλεύρι - Άμυλο / λειτουργικές ιδιότητες

- Η παρουσία **αμυλολυτικών ενζύμων** & **προϊόντων υδρόλυσης** του αμύλου έχει τεράστια σημασία για την τεχνολογία παρασκευής και την ποιότητα του ψωμιού
- **Κατά το ψήσιμο:**



- ✓ Το **νερό μεταναστεύει** απ' το πλέγμα των πρωτεϊνών και απορροφάται από τους κόκκους του αμύλου
- ✓ Το άμυλο **ζελατινοποιείται**
- ✓ Τα **σάκχαρα καραμελοποιούνται** (αλληλεπιδρούν με αμινοξέα και πεπτίδια), παράγοντας το χαρακτηριστικό χρώμα, άρωμα και γεύση του ψωμιού

## Αλεύρι - Άμυλο / ζελατινοποίηση

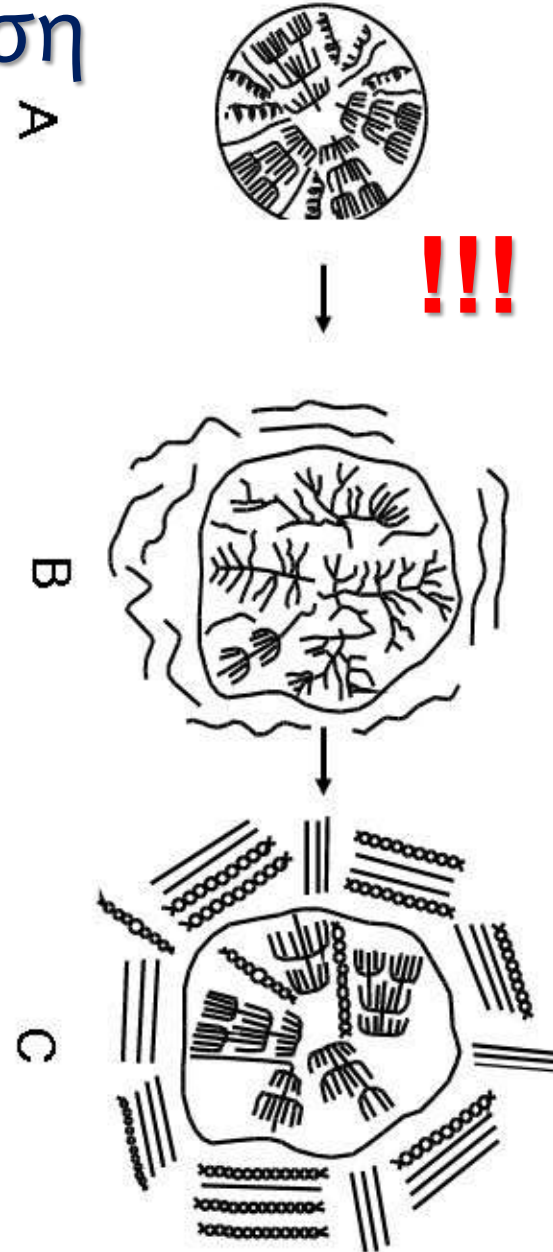
■ Οι κόκκοι του αμύλου παρουσία νερού:

✓ διογκώνονται αλλά διατηρούν τη δομή τους

✓ με αύξηση της θερμοκρασίας δημιουργούνται διαμοριακοί δεσμοί H ανάμεσα στα πολυμερή του αμύλου

✓ μειώνεται η ενεργότητα του νερού και το ιξώδες αυξάνει

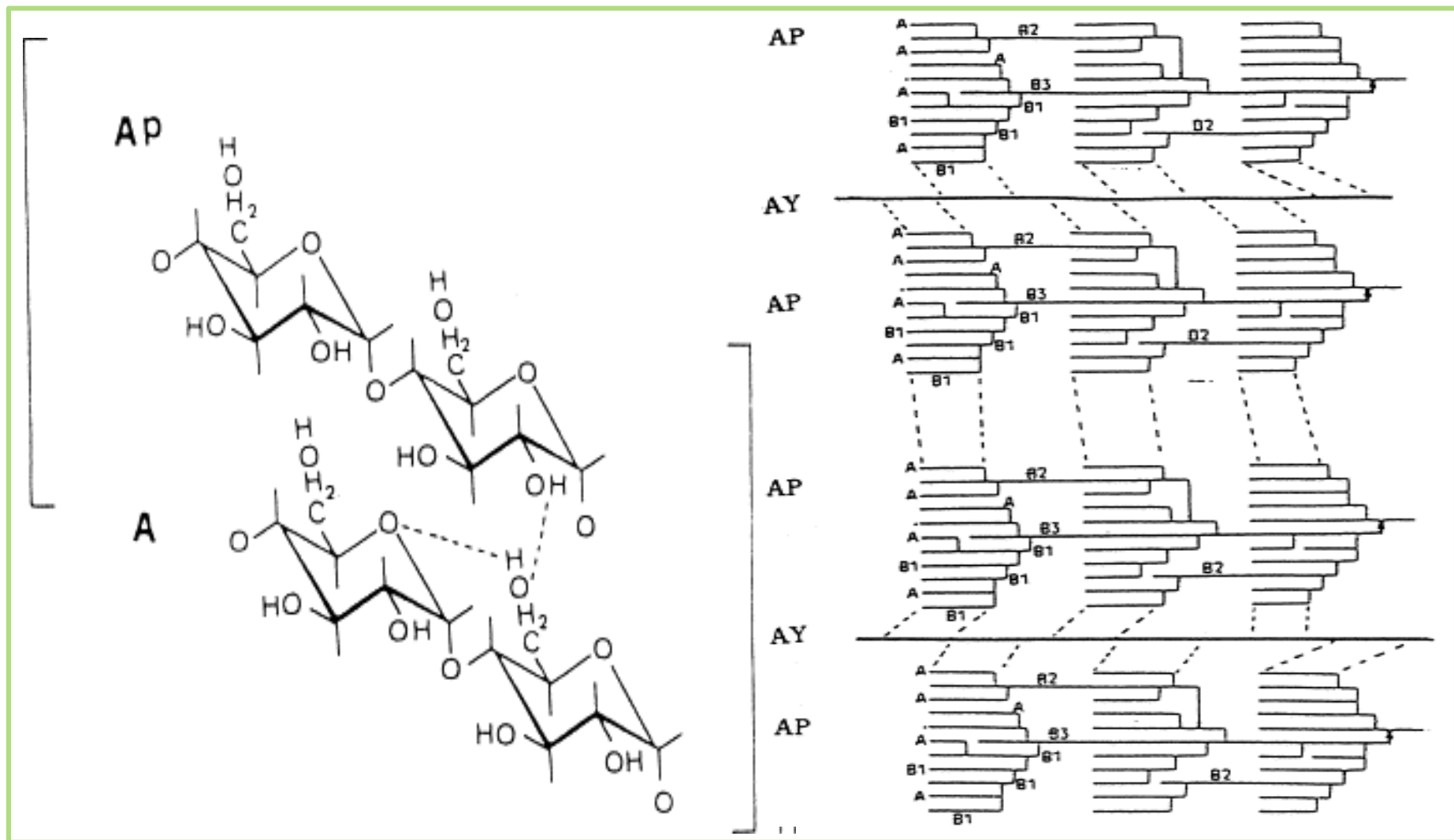
✓ χάνεται η κρυσταλλική δομή και το άμυλο «ζελατινοποιείται»





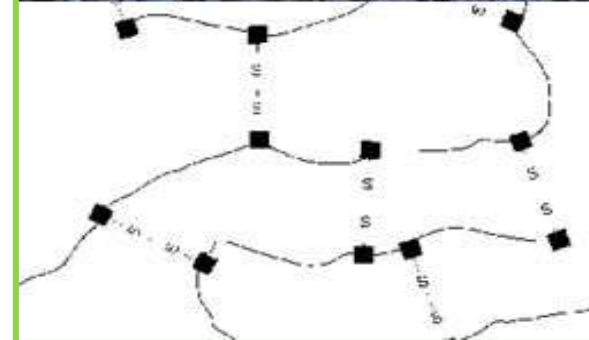
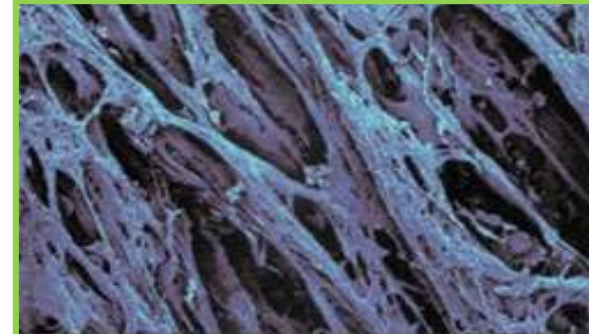
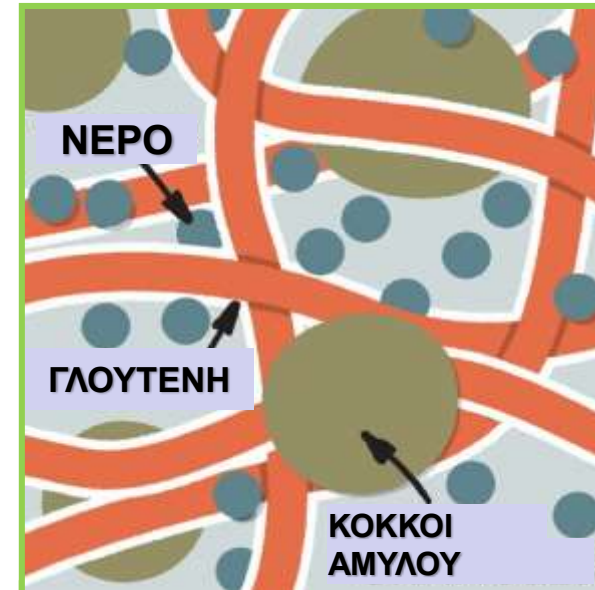
# Προϊόντα αρτοποιίας

## Αλεύρι - Άμυλο / ζελατινοποίηση



## Αλεύρι - Πρωτεΐνες / Γλουτένη

- Με προσθήκη νερού στο αλεύρι (σίτου) και κατεργασία (**ζύμωμα**) προκύπτει μια ιξωδοελαστική, συνεκτική μάζα, το **ζυμάρι**
- Αν το ζυμάρι πλυθεί με νερό για απομάκρυνση αμύλου και άλλων συστατικών, παραμένει η **γλουτένη**, η ελαστική μάζα που αποτελείται από το μίγμα των πρωτεϊνών του σιταριού



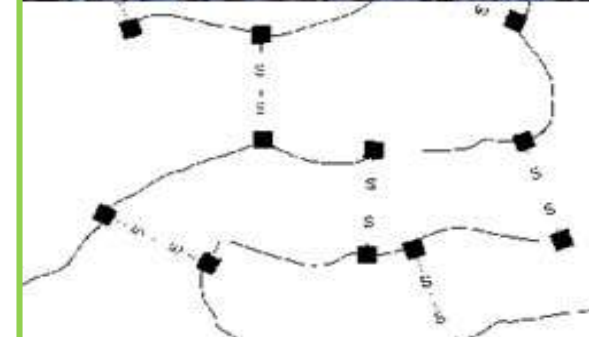
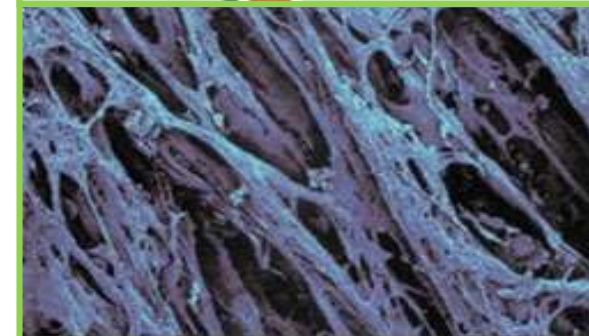
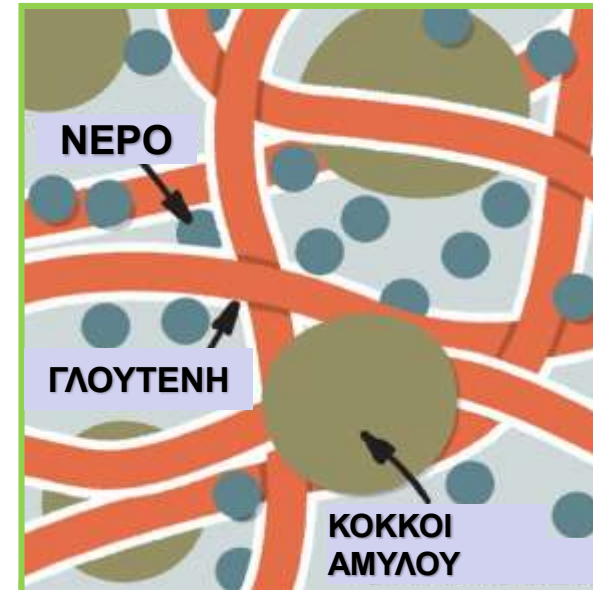


# Προϊόντα αρτοποιίας



## Αλεύρι - Πρωτεΐνες / Γλουτένη

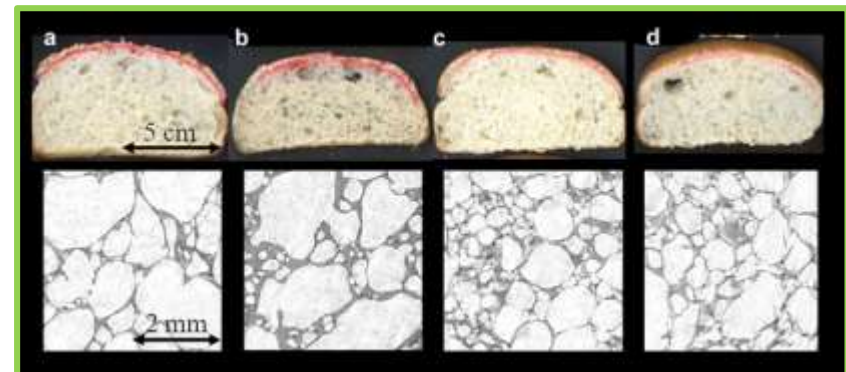
- Η γλουτένη περιέχει
  - ✓ 90% πρωτεΐνη
  - ✓ 8% λιπίδια (ως συμπλέγματα λιποπρωτεΐνης με διάφορες πρωτεΐνες της γλουτένης)
  - ✓ 2% υδατάνθρακες (κυρίως υδατοδιαλυτές πεντοζάνες)
  - ✓ ανιχνεύονται επίσης ένζυμα (πρωτεϊνάσες & λιποξυγενάσες)



## Αλεύρι - Πρωτεΐνες / Γλουτένη

■ Η γλουτένη είναι υπεύθυνη για την «αρτοποιητική ικανότητα» του αλεύρου που καθορίζεται από τις ιξωδοελαστικές ιδιότητες του ζυμαριού, δηλαδή:

- ✓ **Ικανότητα συγκράτησης αερίων & Διόγκωση (leavening)**
- ✓ **Συνεκτικότητα & Ελαστικότητα (αντοχή στη μηχανική κατεργασία & βαθμός κατανάλωσης ενέργειας)**
- ✓ **Πορώδες ψίχας**



## Αλεύρι - Πρωτεΐνες / Γλουτένη

- Η **σίκαλη** και τα άλλα σιτηρά δεν μπορούν να σχηματίσουν γλουτένη
- Η αρτοποιητική ικανότητα της σίκαλης αποδίδεται στις **πεντοζάνες & πρωτεΐνες** που διογκώνονται μετά από οξύνιση και μπορούν να συγκρατήσουν αέρια



Ψωμί  
σίκαλης

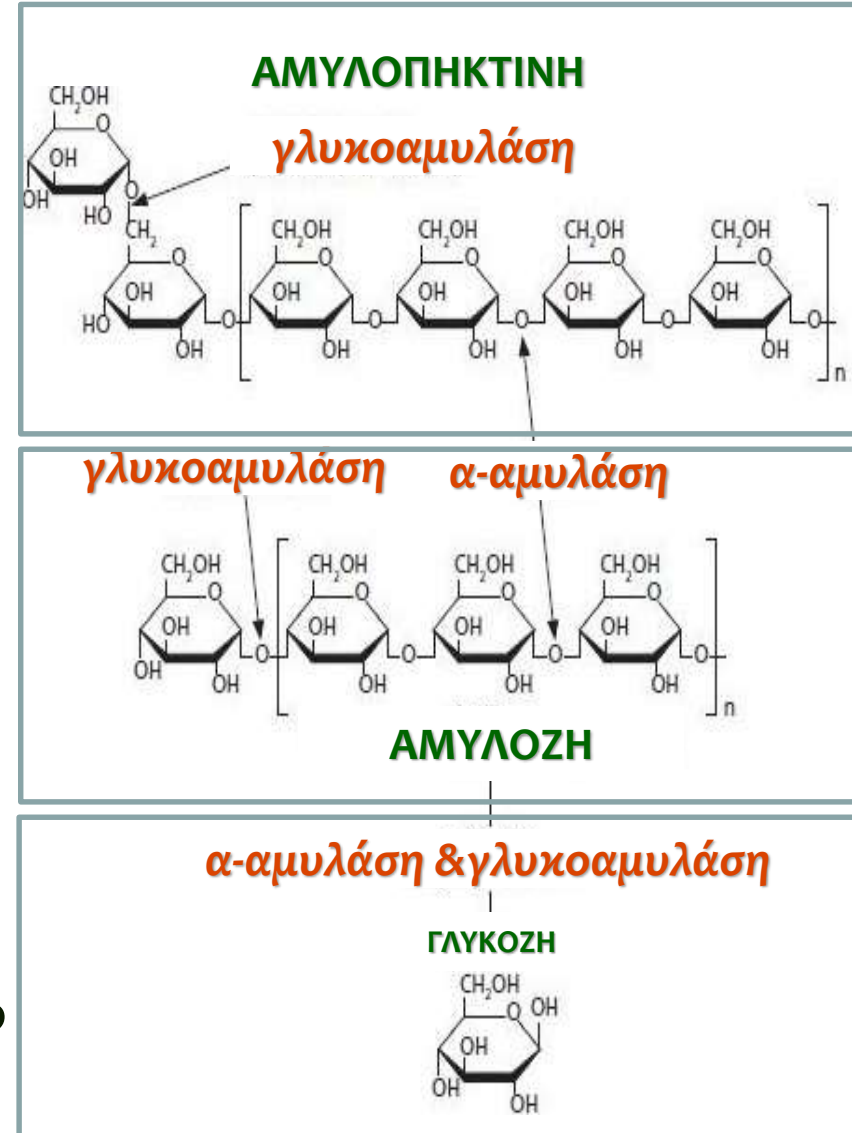
## Αλεύρι - Πρωτεΐνες / Γλουτένη

Οι ιξωδοελαστικές (ρεολογικές) ιδιότητες, που καθορίζουν την αρτοποιητική ικανότητα του ζυμαριού, **εξαρτώνται** από:

- **ΜΒ** των επιμέρους πρωτεϊνικών κλασμάτων της γλουτένης
- **Αριθμό των δισουλφιδικών δεσμών (-S-S-) δεσμών**
- **Αριθμό & ισχύ άλλων ασθενέστερων δεσμών** (ομοιοπολικών ή μη, δυνάμεων *van der Waals*, δεσμών-H, ηλεκτροστατικών και υδροφοβικών αλληλεπιδράσεων κ.α.) ανάμεσα στα μόρια των πρωτεϊνών
- **Παρουσία οξειδωτικών ουσιών** (π.χ. βρωμικά άλατα, ή φυσικά αντιοξειδωτικά όπως Βιτ. C & E)
- **Παρουσία πρωτεολυτικών ενζύμων**

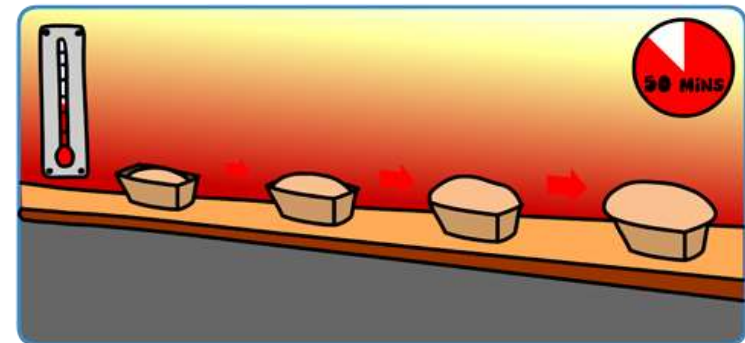
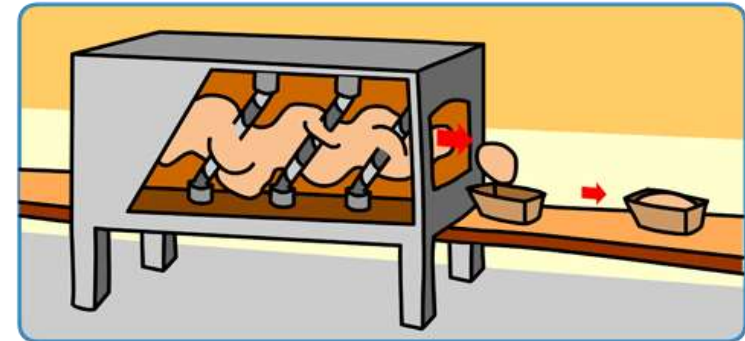
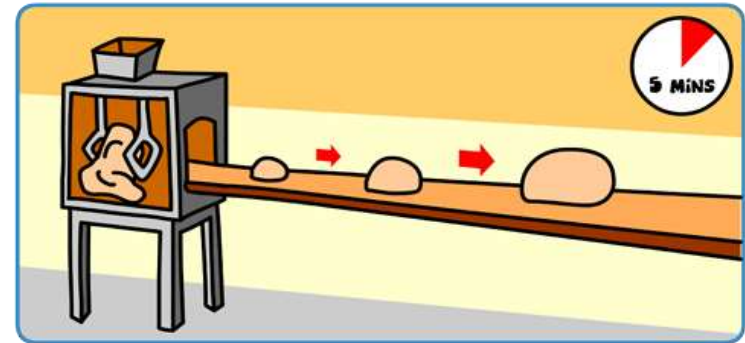
## Αλεύρι - Αμυλολυτικά ένζυμα (ενδογενή)

- **α-αμυλάση:**  
υδρολύει τυχαίους α, 1-4 δεσμούς → **δεξτρίνες + σάκχαρα**
- **β-αμυλάση:**  
υδρολύει ακραίους α, 1-4 δεσμούς → **μαλτόζη**
- **φωσφορυλάση:**  
υδρολύει ακραίους α, 1-4 δεσμούς → **1-φωσφορική-γλυκόζη**
- **α-γλυκοσιδάση (γλυκοαμυλάση):**  
υδρολύει ακραίους α, 1-4 ή α, 1-6 → **γλυκόζη**



## Ψωμί - Στάδια παρασκευής

- **Παρασκευή αρτομάζας**  
(ανάμιξη → διόγκωση αμύλου  
→ δημιουργία γλουτένης)
- **Διόγκωση αρτομάζας**  
(εγκλωβισμός αερίων)
  - ✓ **Φυσική ή αυτόματη:** προζύμι
  - ✓ **Με μαγιά (ζυμομύκητα):** νωπή (πιεστή) ή ξηρή (σε σκόνη) μαγιά αρτοποιίας
  - ✓ **Με χημικό τρόπο:** baking powders:  
όξινο τρυγικό κάλιο + σόδα →  
τρυγικό καλιονάτριο +  $\uparrow\text{CO}_2$  +  $\text{H}_2\text{O}$

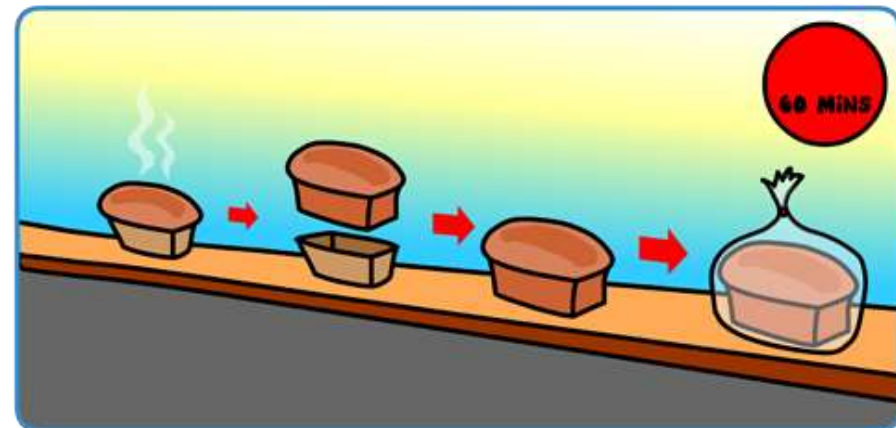
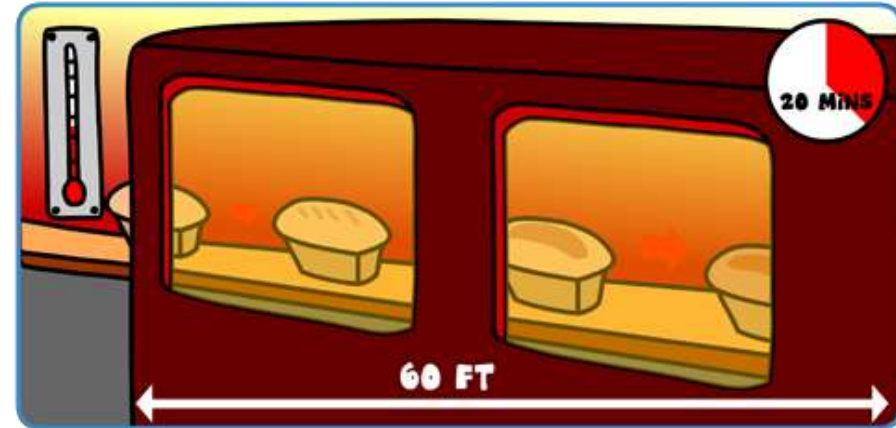


## Ψωμί - Στάδια παρασκευής

### ■ Ψήσιμο

- ✓ απενεργοποίηση ενζύμων & μαγιάς
- ✓ ζελατινοποίηση αμύλου
- ✓ ανάπτυξη επιθυμητού αρώματος & χρώματος από αντιδράσεις αμαύρωσης σακχάρων - πρωτεϊνών

### ■ Συσκευασία



## Ψωμί - Διόγκωση

**Μαγιά αρτοποιίας** (ή «ζύμη» από τη λέξη «ζυμομύκητας»):

***Saccharomyces cerevisiae***

Μορφές εμπορικών προϊόντων μαγιάς:

- **πιεστή μαγιά αρτοποιίας (27-30 % ξηρά συστατικά)**
- **ξηρή μαγιά αρτοποιίας: λυοφιλιωμένη (freeze-dried), στιγμής (active dry yeast, instant dry yeast), κ.α.**





## Ψωμί - Διόγκωση

### Προζύμι

(ζυμάρι προηγούμενης αρτοποιήσης με πλούσια μικροχλωρίδα ζυμομυκήτων & βακτηρίων):

### Γαλακτικά βακτήρια:

είδη *Lactobacillus* κ.α.



- Χρησιμοποιείται στην παραδοσιακή παραγωγή ψωμιού
- Δε συνεισφέρουν στη διόγκωση αλλά στην ανάπτυξη καλού αρώματος και καλύτερη συντήρηση του ψωμιού με την παραγωγή φυσικών αντιμικροβιακών ουσιών (οργανικά οξέα, βακτηριοσίνες,  $H_2O_2$  κ.α.)

## Ψωμί - Αλλοίωση από φυσικοχημικά αίτια (μπαγιάτεμα; *stalling*)

Το σύνολο των ανεπιθύμητων αλλαγών (φυσικοχημικών), **εκτός της μικροβιακής αλλοίωσης**, που συμβαίνουν από το ψήσιμο μέχρι την κατανάλωση

Τα **χαρακτηριστικά** που περιγράφουν το μπαγιάτεμα είναι:

- **Σκλήρυνση της ψίχας** (*crumb firming*)
- **Μεταβολές υγρασίας** (εξάτμιση ή μετανάστευση)
- **Μαλάκωμα της κόρας** (*crust softening*)
- **Απώλεια του αρώματος & γεύσης**

## Ψωμί - Αλλοίωση από φυσικοχημικά αίτια (μπαγιάτεμα) - Σκλήρυνση της ψίχας:

οφείλεται στα παρακάτω φαινόμενα:

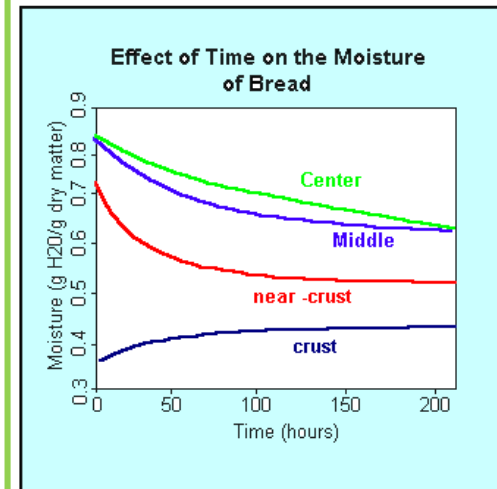
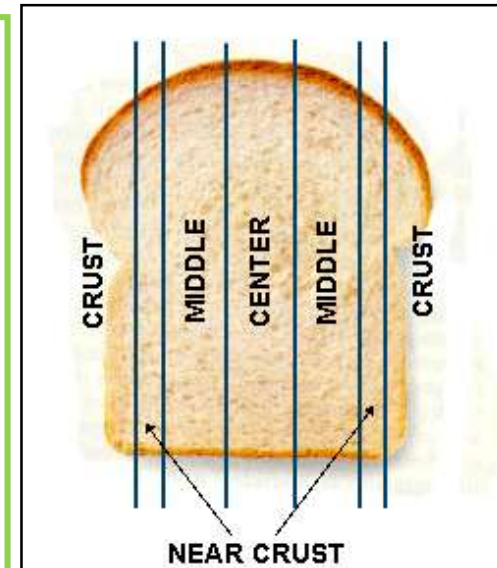
- κατά το ψήσιμο:

- ✓ διάχυση της αμυλόζης στο εξωτερικό των κόκκων του αμύλου

- με την ψύξη & παραμονή:

- ✓ γρήγορη «παλινδρόμηση» (retrogradation) των αλυσίδων αμυλόζης

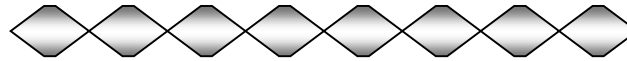
- ✓ αργή παλινδρόμηση των αλυσίδων της αμυλοπηκτίνης που παραμένουν σε ό,τι έχει απομείνει από τους κόκκους αμύλου



## Ψωμί - Αλλοίωση από φυσικοχημικά αίτια (μπαγιατέμα)

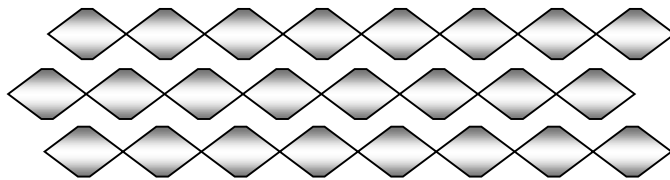
### Παλινδρόμηση αμυλόζης

Ζελατινοποιημένο  
άμυλο (άμορφο)



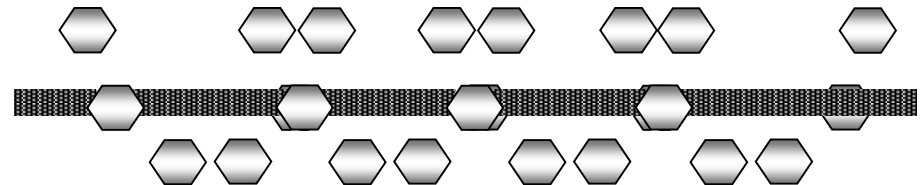
**Αμυλόζη**

Γρήγορη δημιουργία  
διαμορ. δεσμών -H,  
αύξηση κρυσταλλικότητας



Παλινδρομημένη  
(retrograded) αμυλόζη  
(σκληρή)

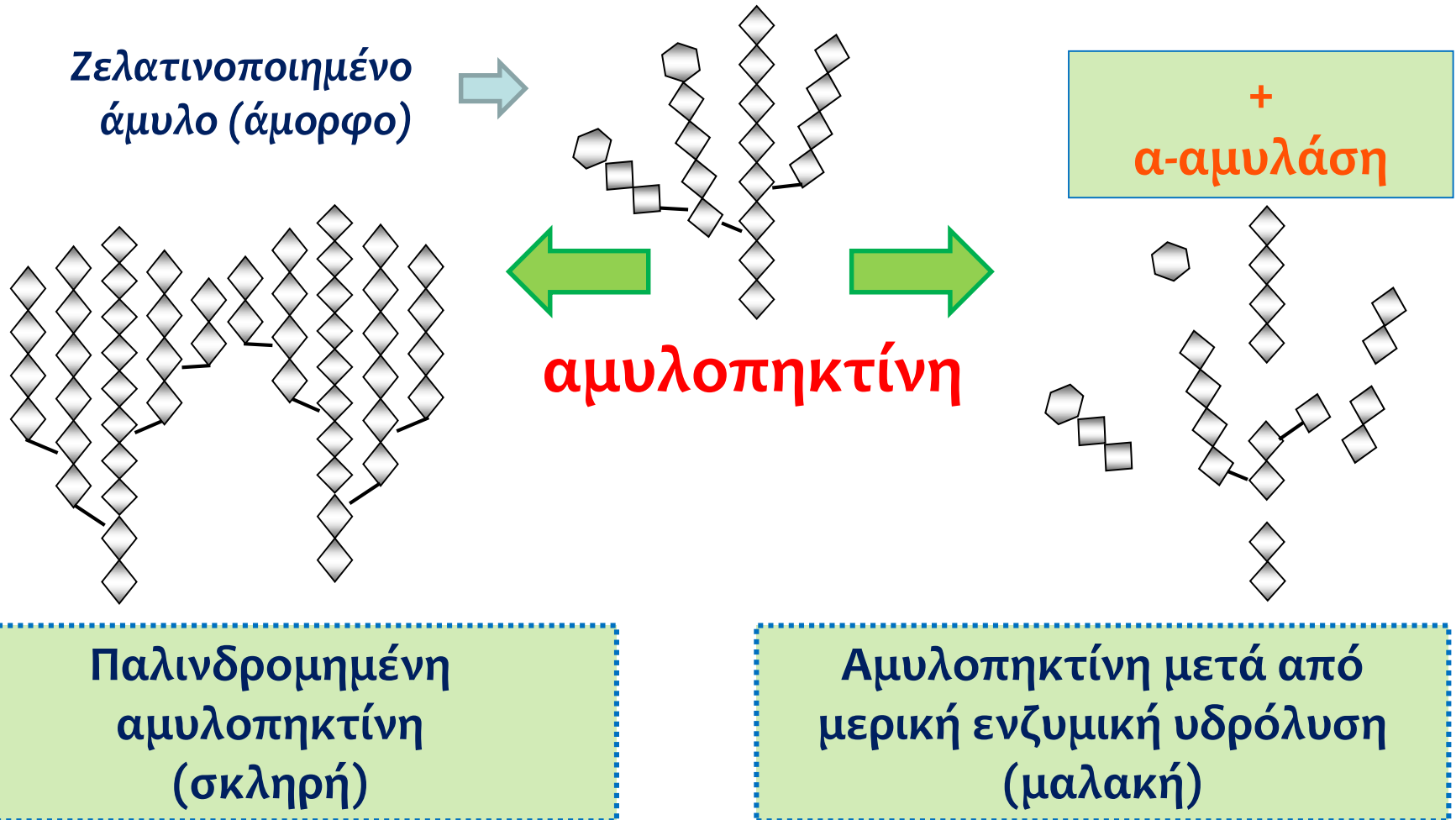
Γαλακτωματοποιητής



Σύμπλοκο αμυλόζης-  
γαλακτωματοποιητή  
(μαλακό)

## Ψωμί - Αλλοίωση από φυσικοχημικά αίτια (μπαγιάτεμα)

### Παλινδρόμηση αμυλοπηκτίνης



**Ψωμί** - Αλλοίωση από φυσικοχημικά αίτια (μπαγιάτεμα)

**Παράγοντες που επηρεάζουν το μπαγιάτεμα:**

■ **Γαλακτωματοποιητές (surfactants-emulsifiers)**

- ✓ συνδέονται με αμυλόζη εμποδίζοντας την παλινδρόμησή της
- ✓ δεν επηρεάζουν την αμυλοπηκτίνη
- ✓ δεν εμποδίζουν την μετανάστευση υγρασίας από την ψίχα στην κόρα

■ **Ένζυμα (αμυλάσες)**

- ✓ Υδρολύουν την αμυλοπηκτίνη εμποδίζοντας την παλινδρόμησή της

## Ψωμί - Αλλοίωση από φυσικοχημικά αίτια (μπαγιάτεμα)

### Παράγοντες που επηρεάζουν το μπαγιάτεμα:

#### ■ Συσκευασία (packaging)

- ✓ διατηρεί το άρωμα, την υφή & τη γεύση, αλλά κάνει την κόρα μαλακή

#### ■ Θερμοκρασία συντήρησης

- ✓ -7 με 10°C: (ψυγείο) γρήγορη σκλήρυνση της ψίχας
- ✓ >35°C: αλλοιώνεται το άρωμα & η γεύση
- ✓ 20 με 35°C: (περιβάλλοντος) βέλτιστη
- ✓ -30 με -18°C: (κατάψυξη) σταματά το μπαγιάτεμα

## Πιθανά θέματα

- Αρχή των μεθόδων ανάλυσης: (α) Ανίχνευση οξειδωτικών στο αλεύρι, (β) Προσδιορισμός γλουτένης.
- Τι είναι το άμυλο και ποια η σημασία του για την τεχνολογία τροφίμων;
- (α) Τί είναι το «αλεύρι»; (β) Τι σημαίνει «Αρτοποιητική ικανότητα» αλεύρου, από τι εξαρτάται και από τι αξιολογείται;
- Λειτουργικές ιδιότητες (α) γλουτένης, (β) αμύλου στην αρτοποιία.



## Πιθανά θέματα

- Γιατί στα τυποποιημένα προϊόντα αρτοποιίας μπορεί να προστίθενται (α) ένζυμα ή (β) γαλακτωματοποιητές ή (γ) οξειδωτικές ουσίες;
- Ποια αμυλολυτικά ένζυμα υπάρχουν στα δημητριακά και ποια η δράση τους;
- Τι είναι (α) «ζελατινοποίηση» και τι (β) «παλινδρόμηση» του αμύλου;

# ΣΙΤΗΡΑ & ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΟΥΣ



*Ευχαριστώ!*

**Αργυρώ Μπεκατώρου**

**Καθηγήτρια Χημείας & Τεχνολογίας Τροφίμων**

**Τμήμα Χημείας, Παν/μιο Πατρών**

**Πάτρα 2023**