

ΣΙΤΗΡΑ & ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΟΥΣ

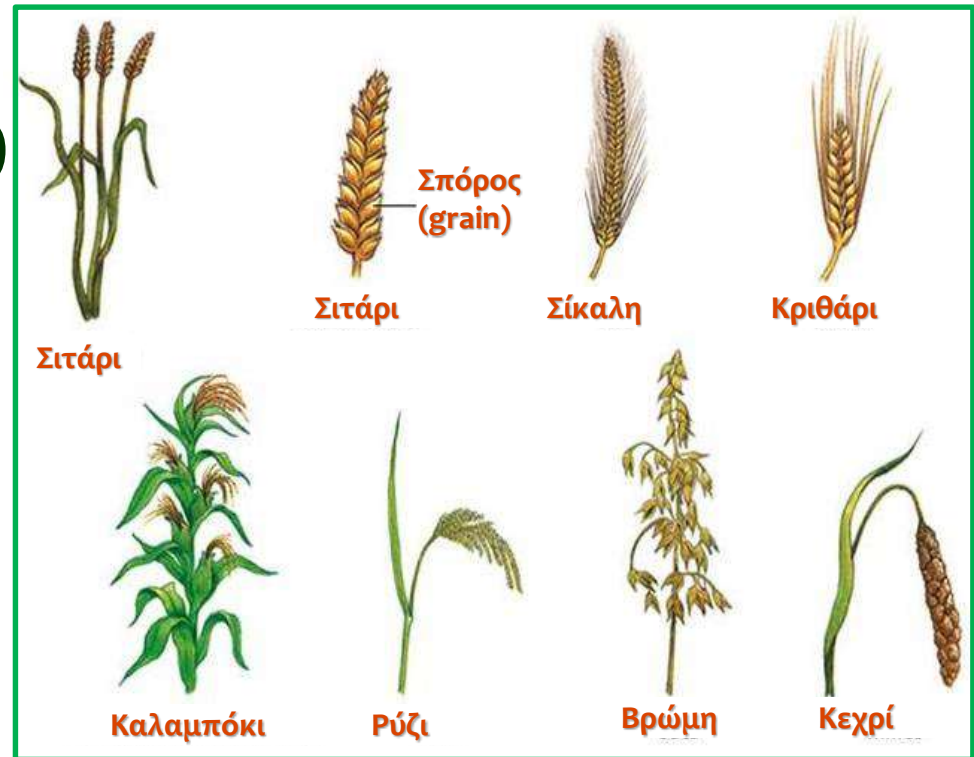


Αργυρώ Μπεκατώρου
Καθηγήτρια Χημείας & Τεχνολογίας Τροφίμων
Τμήμα Χημείας, Παν/μιο Πατρών
Πάτρα 2025

- **Σιτηρά (δημητριακά):** από τα σημαντικότερα βασικά τρόφιμα της ανθρωπότητας (*staple foods*)

- Παρέχουν θρεπτικά συστατικά, που μόνο από κατανάλωση ψωμιού στις ανεπτυγμένες χώρες καλύπτουν την ημερήσια ανάγκη σε:

- ✓ 50% σε υδατάνθρακες
- ✓ 1/3 σε πρωτεΐνες
- ✓ 50-60% σε βιταμίνες Β
- ✓ Είναι πηγή ανόργανων συστατικών & ιχνοστοιχείων



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

Επισκόπηση Ανατομίας & Χημικής σύστασης **Εισαγωγή**

- **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. σε μεγάλο βαθμό στη βρώμη)

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



Επισκόπηση Ανατομίας & Χημικής σύστασης **Εισαγωγή**

- 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 (βιτ., 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

Χημεία Τροφίμων

3^ο ΕΤΟΣ (Υ)

Χημεία & Τεχνολογία Τροφίμων – Οινολογία Ι

4^ο ΕΤΟΣ (Ε)

Προϊόντα αρτοποιίας – αντικείμενα και πεδία έρευνας

Ψωμί

ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ

ΑΛΕΥΡΙ

▪ ΆΜΥΛΟ

✓ 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

Προϊόντα αρτοποιίας

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 και όψη του προϊόντος (π.χ. πόροι ψίχας)

Εξαρτάται από:

- Περιεκτικότητα & MB πρωτεϊνών της γλουτένης
- pH & θερμοκρασία κατεργασίας (ζυμώματος)
- Οξειδωτικές ουσίες (αύξηση διαμ. -S-S- δεσμών στη γλουτένη)
- 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

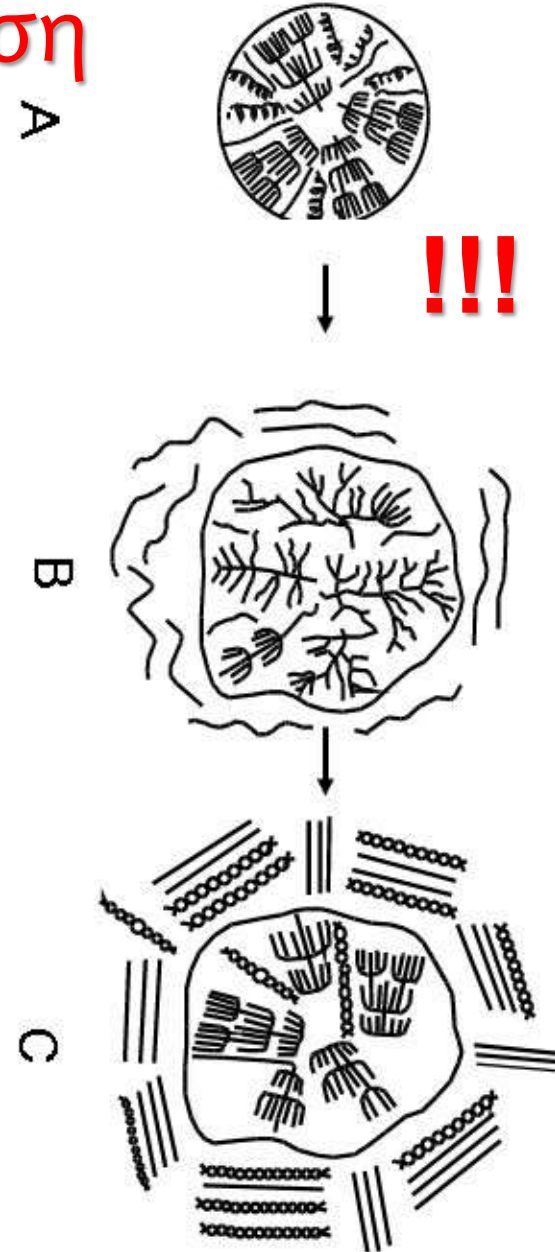
■ Οι κόκκοι του αμύλου παρουσία νερού:

✓ διογκώνονται αλλά διατηρούν τη δομή τους

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

✓ μειώνεται η ενεργότητα του νερού και το ιξώδες αυξάνει

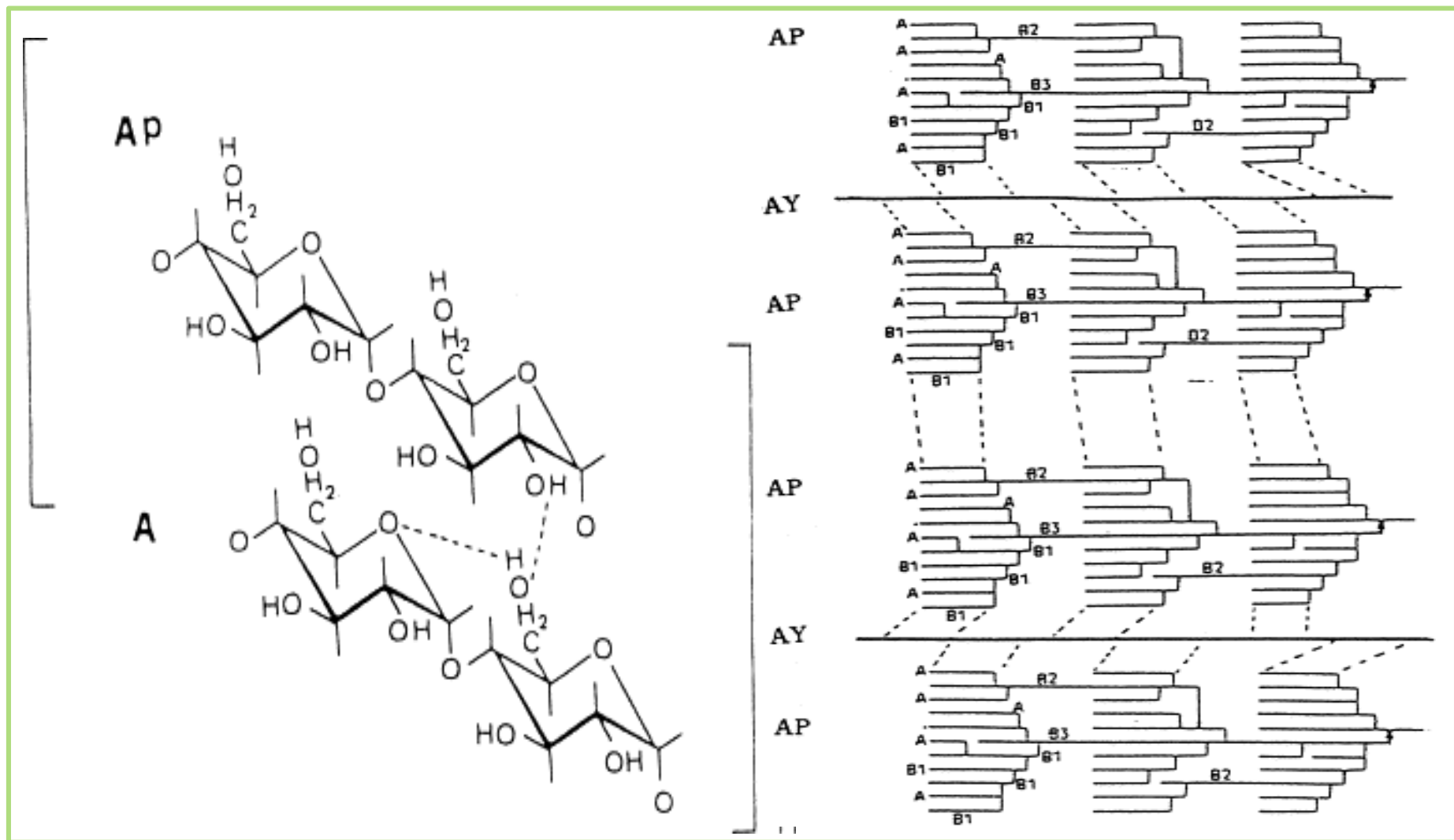
✓ χάνεται η κρυσταλλική δομή και το άμυλο «ζελατινοποιείται»





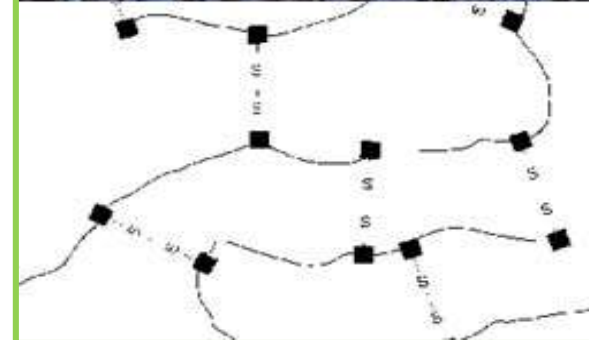
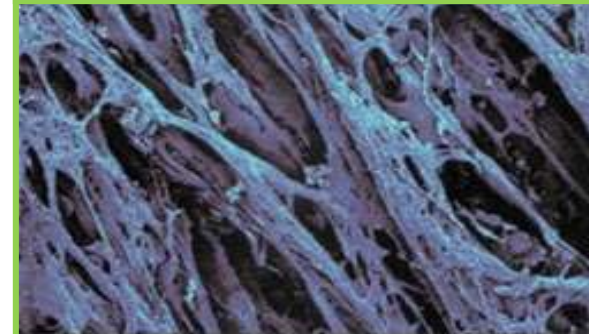
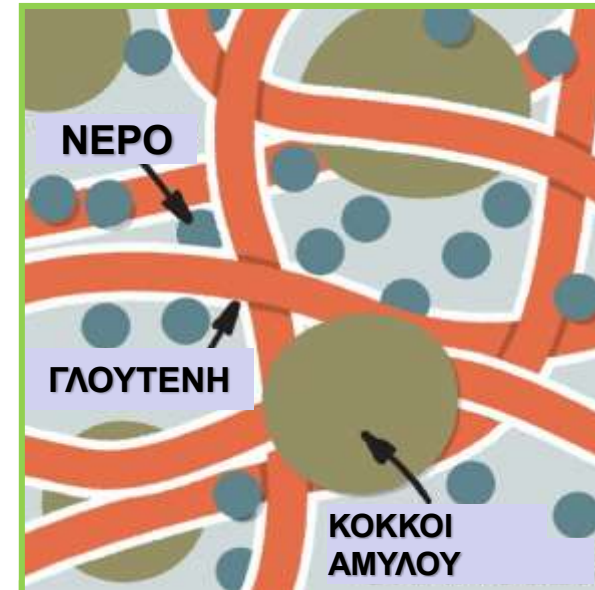
Προϊόντα αρτοποιίας

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

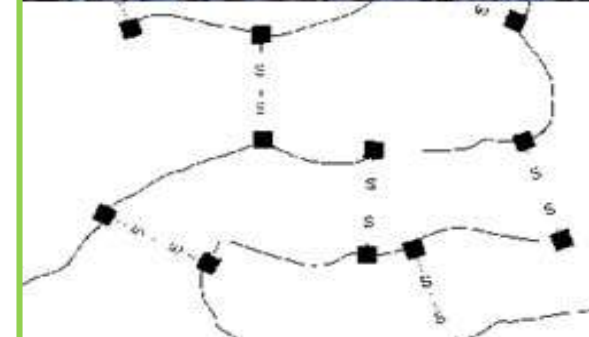
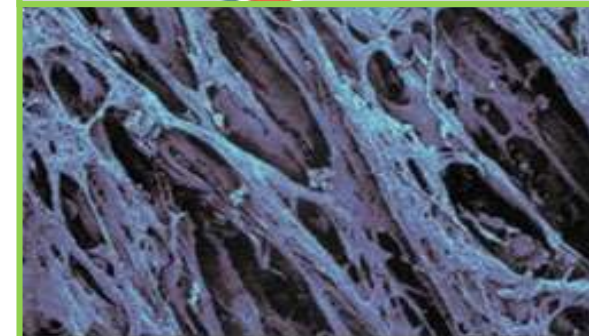
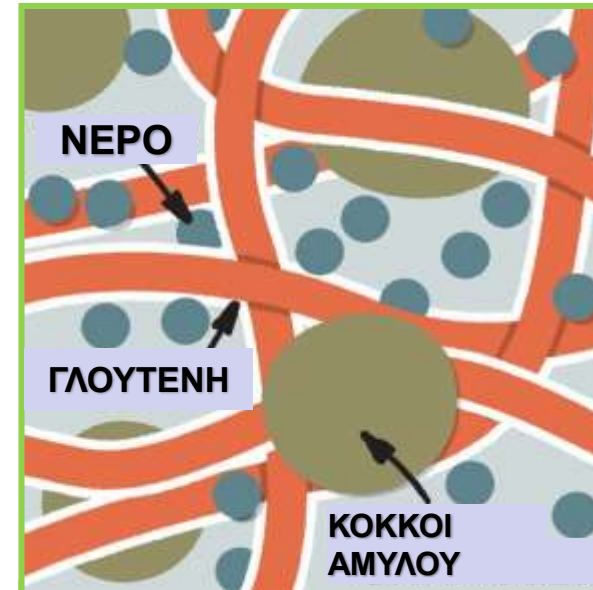


Προϊόντα αρτοποιίας



Αλεύρι - Πρωτεΐνες / Γλουτένη

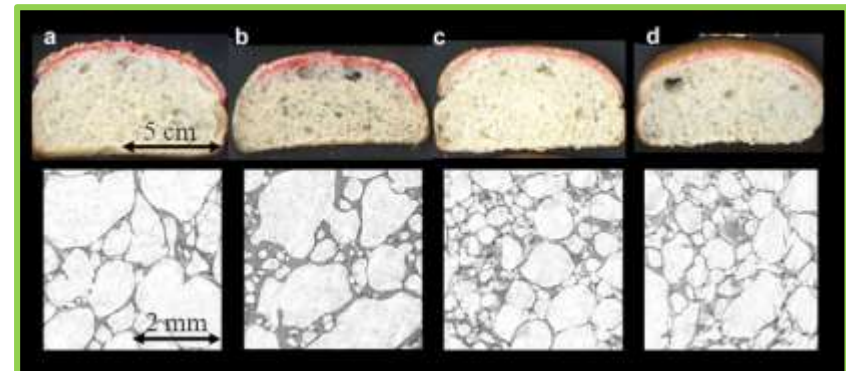
- Η γλουτένη περιέχει
 - ✓ 90% πρωτεΐνη
 - ✓ 8% λιπίδια (ως συμπλέγματα λιποπρωτεΐνης με διάφορες πρωτεΐνες της γλουτένης)
 - ✓ 2% υδατάνθρακες (κυρίως υδατοδιαλυτές πεντοζάνες)
 - ✓ ανιχνεύονται επίσης ένζυμα (πρωτεϊνάσες & λιποξυγενάσες)



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 αρτοποιητική ικανότητα της σίκαλης αποδίδεται στις **πεντοζάνες & πρωτεΐνες** που διογκώνονται μετά από οξίνιση και μπορούν να συγκρατήσουν αέρια
- Η αντίστοιχη πρωτεΐνη της γλουτένης στη σίκαλη ονομάζεται **σικαλίνη** (επηρεάζει ανθρώπους με κοιλιοκάκη όπως και η γλουτένη)



Ψωμί σίκαλης

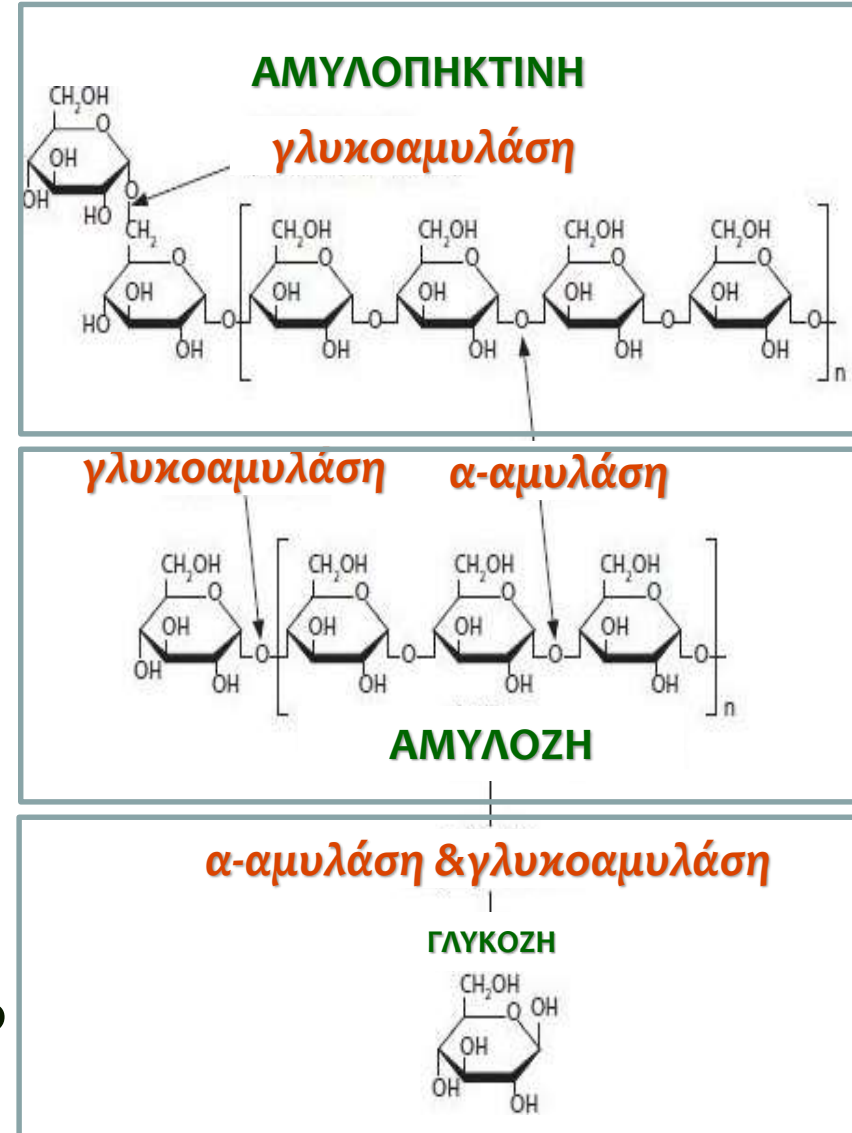
Αλεύρι - Πρωτεΐνες / Γλουτένη

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

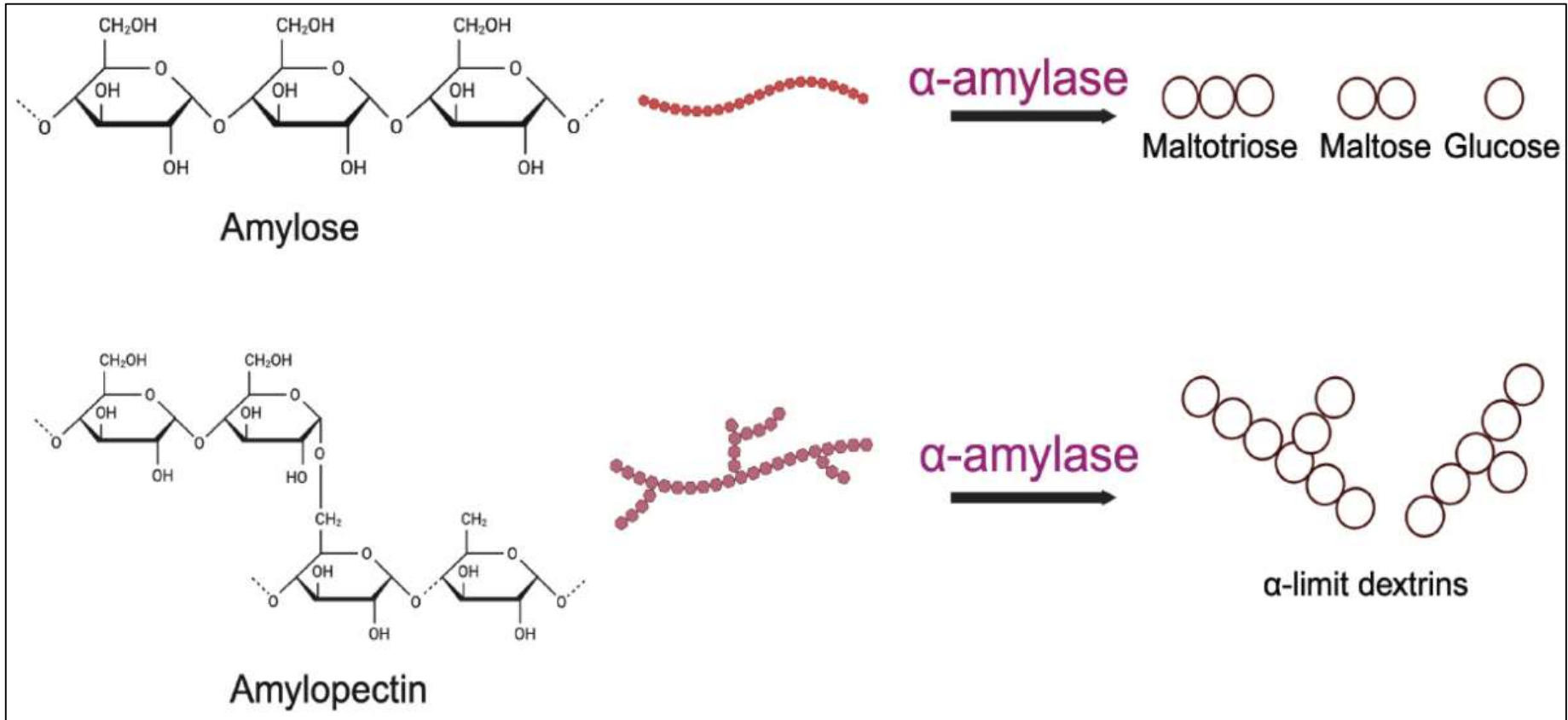
- **ΜΒ** των επιμέρους πρωτεϊνικών κλασμάτων της γλουτένης
- **Αριθμό των δισουλφιδικών δεσμών (-S-S-) δεσμών**
- **Αριθμό & ισχύ άλλων ασθενέστερων δεσμών**
(ομοιοπολικών ή μη, δυνάμεων *van der Waals*, δεσμών-H, ηλεκτροστατικών και υδροφοβικών αλληλεπιδράσεων κ.α.) ανάμεσα στα μόρια των πρωτεϊνών
-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

Αλεύρι - Αμυλολυτικά ένζυμα (ενδογενή)

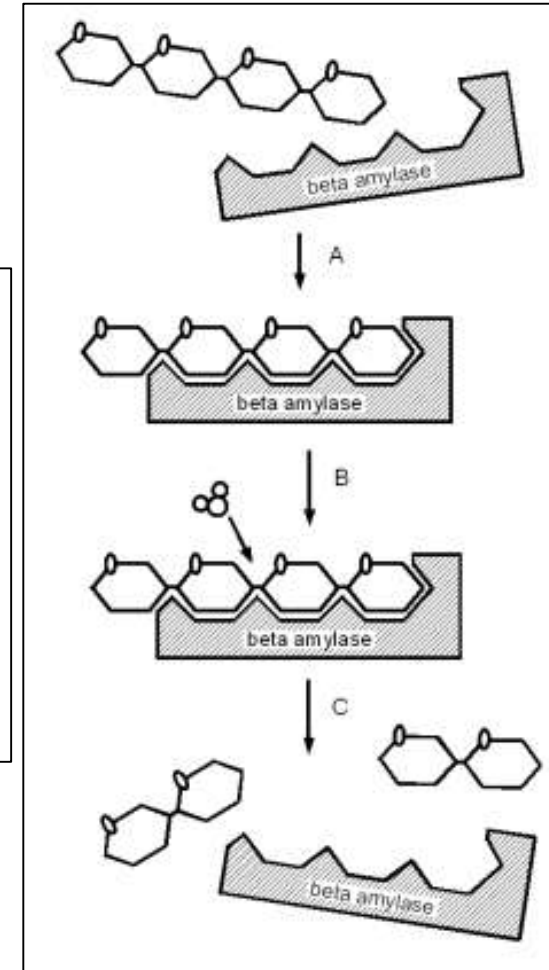
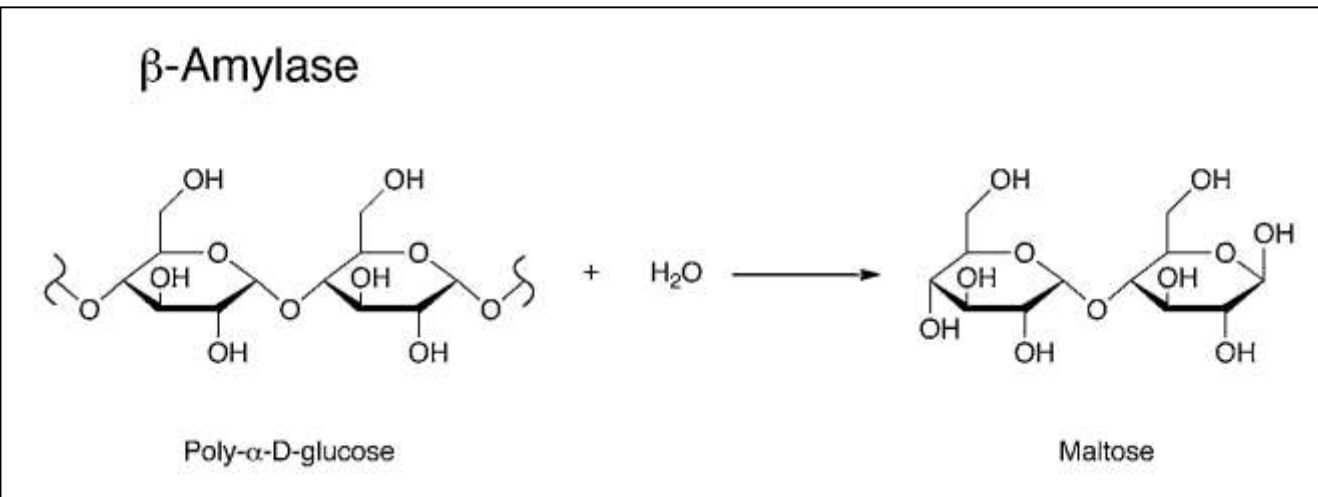
- **α-αμυλάση:**
υδρολύει τυχαίους α, 1-4 δεσμούς → **δεξτρίνες + σάκχαρα**
- **β-αμυλάση:**
υδρολύει ακραίους α, 1-4 δεσμούς → **μαλτόζη**
- **φωσφορυλάση:**
υδρολύει ακραίους α, 1-4 δεσμούς → **1-φωσφορική-γλυκόζη**
- **α-γλυκοσιδάση (γλυκοαμυλάση):**
υδρολύει ακραίους α, 1-4 ή α, 1-6 → **γλυκόζη**



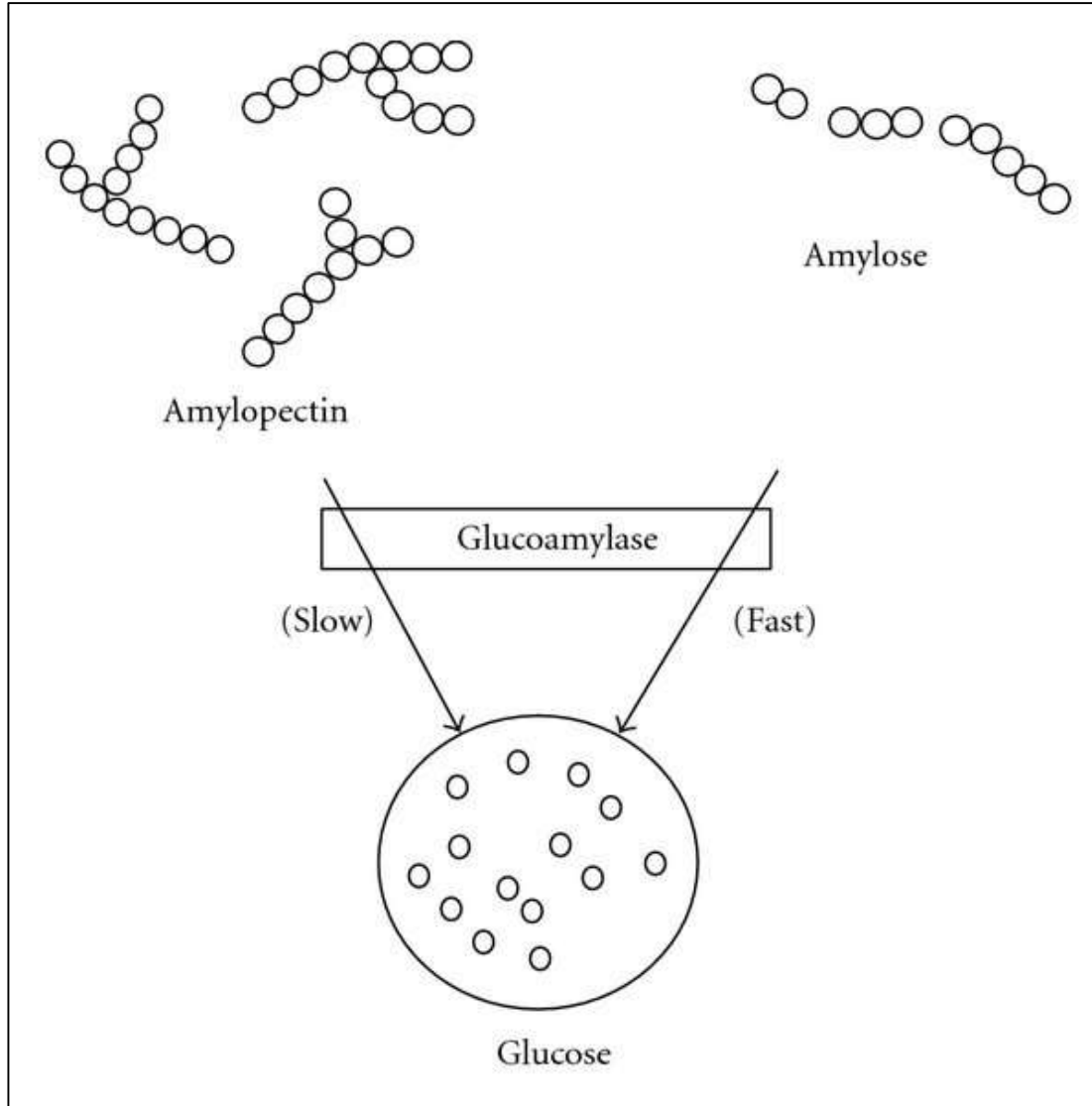
Αλεύρι - Αμυλολυτικά ένζυμα (ενδογενή)



Αλεύρι - Αμυλολυτικά ένζυμα (ενδογενή)



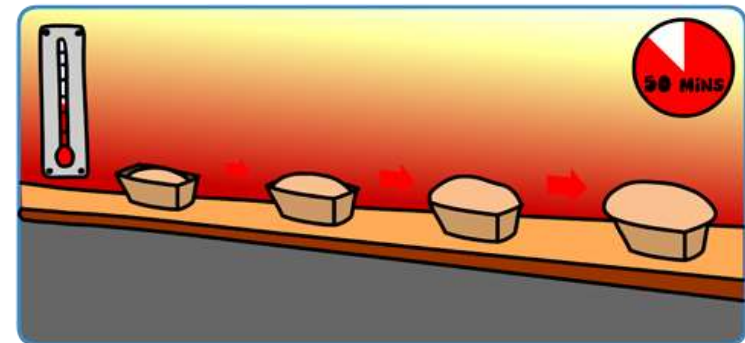
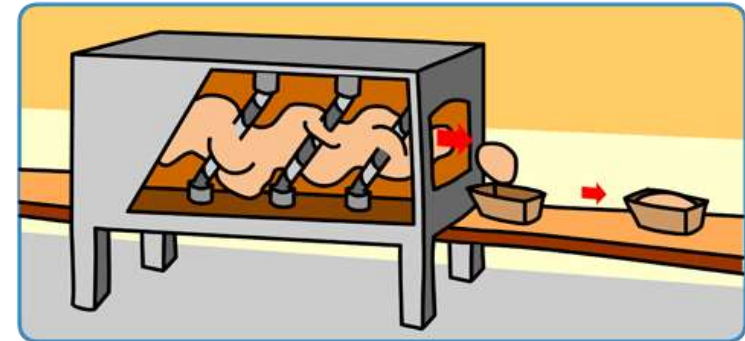
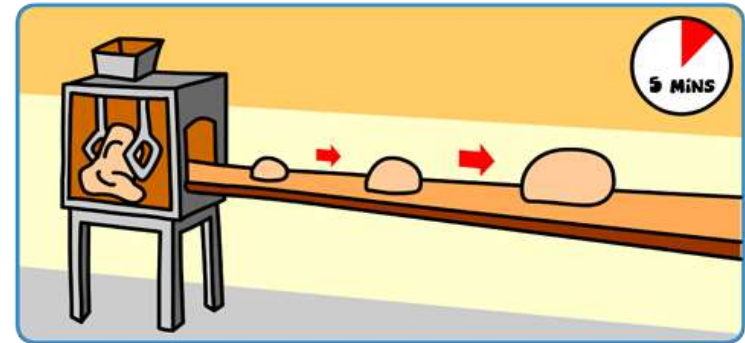
Αλεύρι - Αμυλολυτικά ένζυμα (ενδογενή)



https://www.researchgate.net/publication/230880689_Pullulanase_Role_in_Starch_Hydrolysis_and_Potential_Industrial_Applications/figures?lo=1

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 + $\uparrow\text{CO}_2$ + H_2O

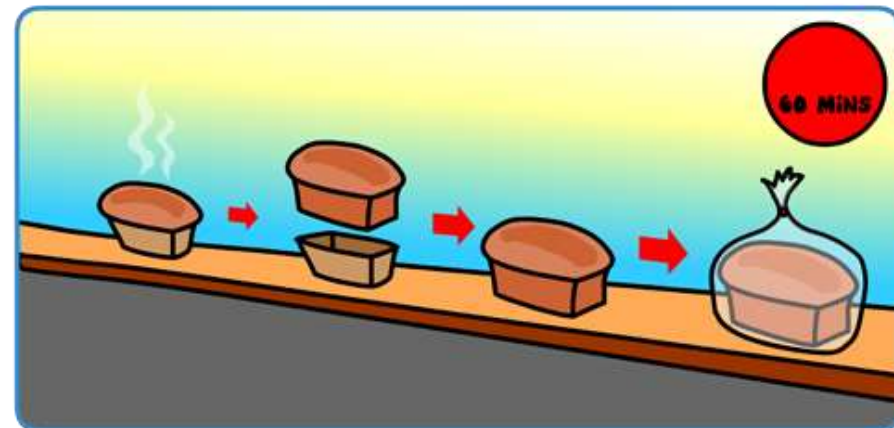
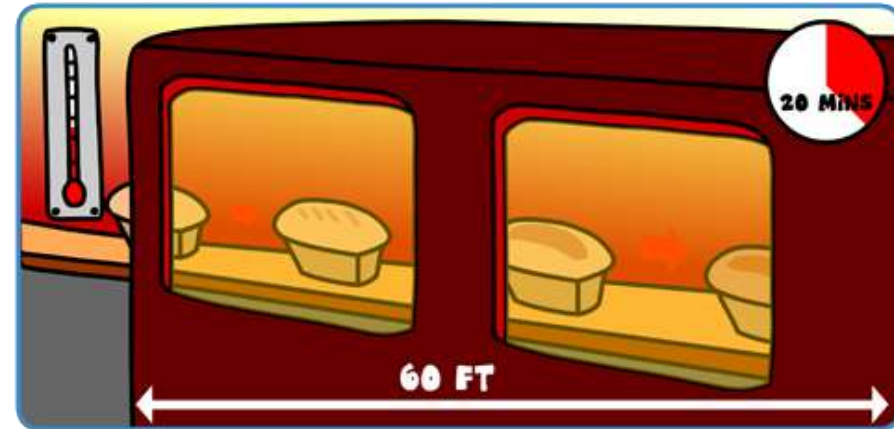


Ψωμί - Στάδια παρασκευής

■ 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):

κυρίως **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:

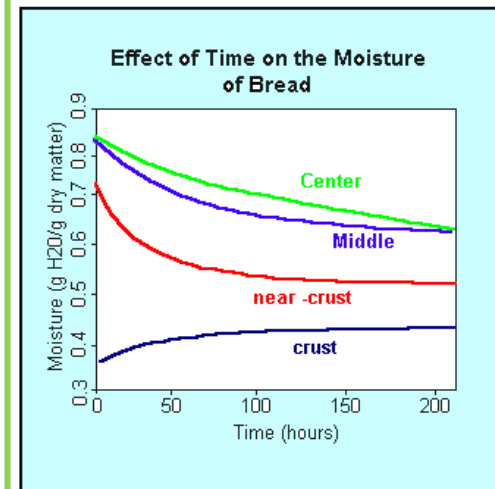
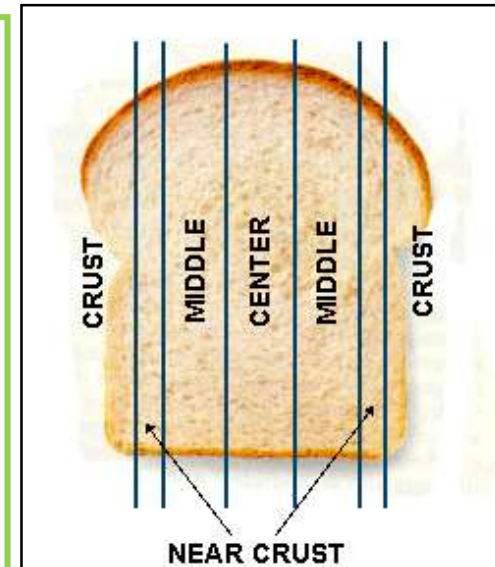
- κατά το ψήσιμο:

- ✓ διάχυση της αμυλόζης στο εξωτερικό των κόκκων του αμύλου

- με την ψύξη & παραμονή:

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

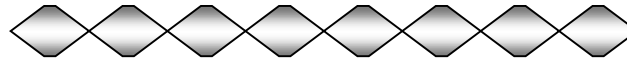
- ✓ αργή παλινδρόμηση των αλυσίδων της αμυλοπηκτίνης που παραμένουν σε ότι έχει απομείνει από τους κόκκους αμύλου



Ψωμί - Αλλοίωση από φυσικοχημικά αίτια (μπαγιάτεμα)

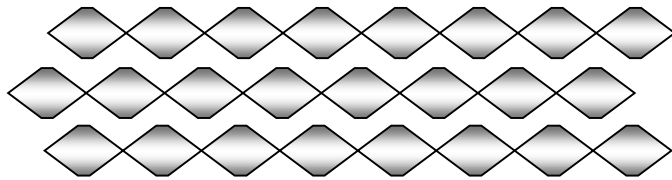
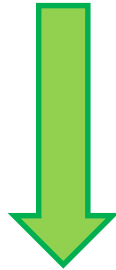
Παλινδρόμηση αμυλόζης

Ζελατινοποιημένο
άμυλο (άμορφο)



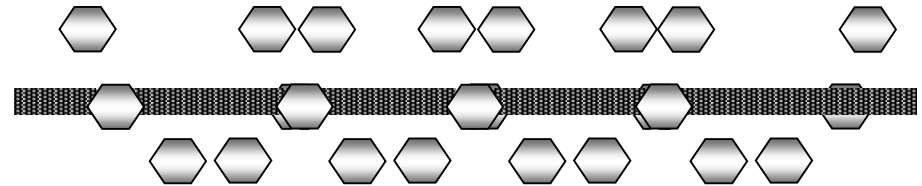
Αμυλόζη

Γρήγορη δημιουργία
διαμορ. δεσμών -H,
αύξηση κρυσταλλικότητας



Παλινδρομημένη
(retrograded) αμυλόζη
(σκληρή)

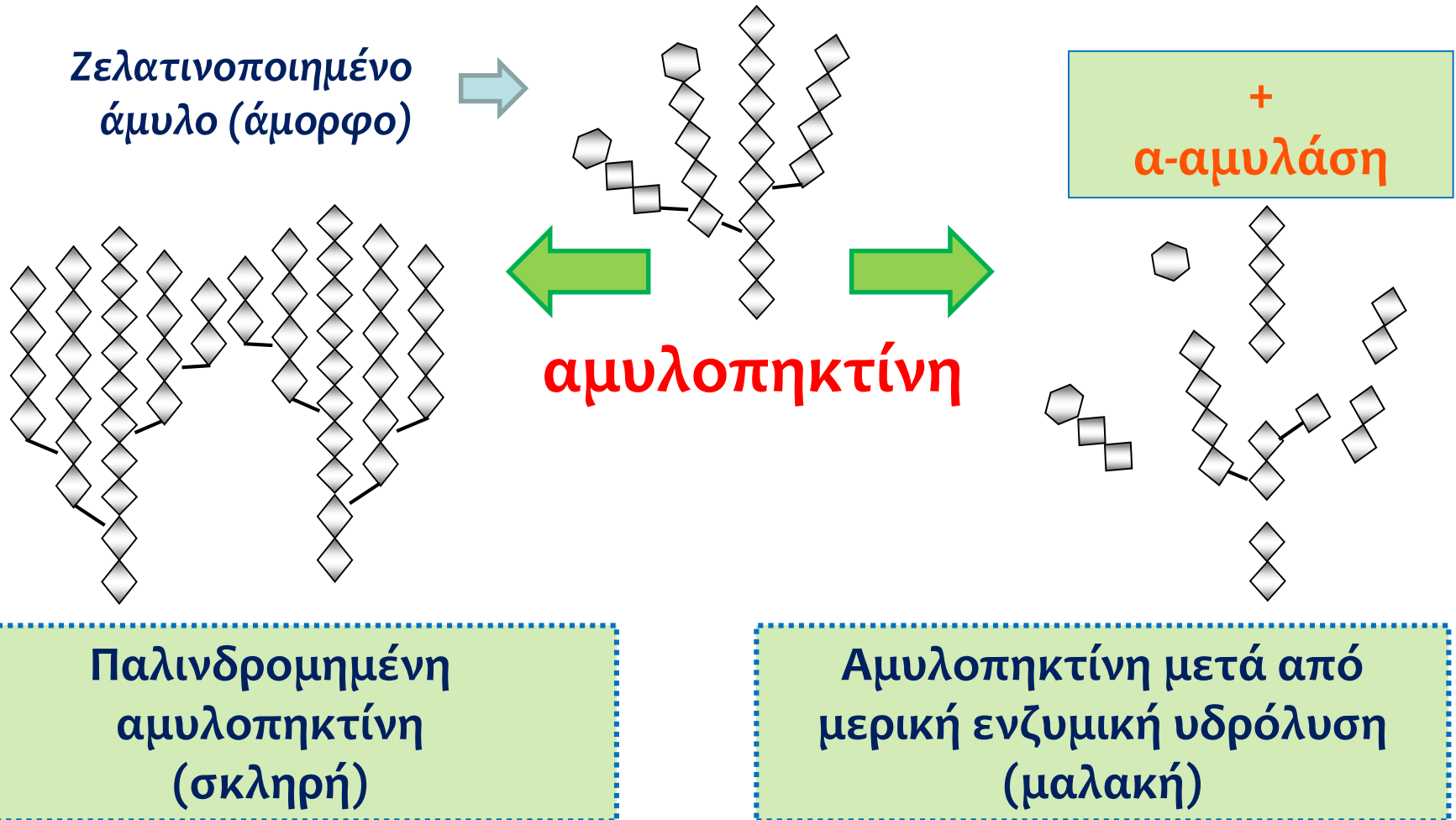
Γαλακτωματοποιητής



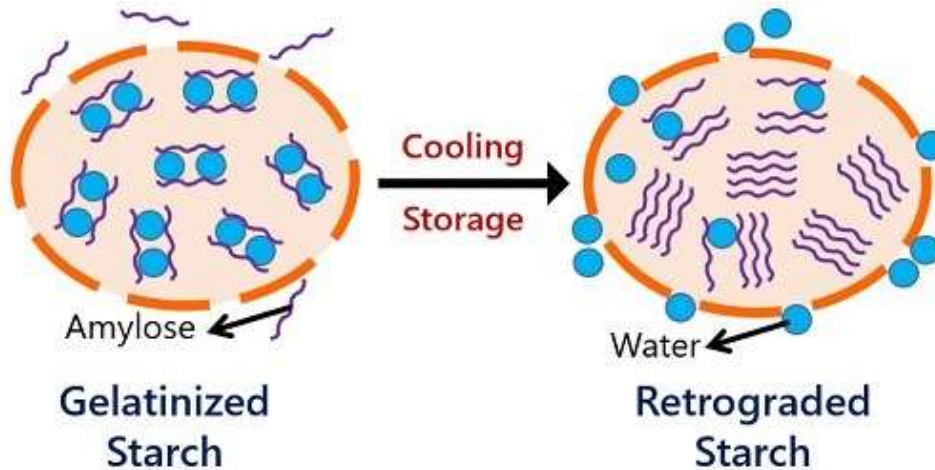
Σύμπλοκο αμυλόζης-
γαλακτωματοποιητή
(μαλακό)

Ψωμί - Αλλοίωση από φυσικοχημικά αίτια (μπαγιάτεμα)

Παλινδρόμηση αμυλοπηκτίνης



Ψωμί - Αλλοίωση από φυσικοχημικά αίτια (μπαγιατέμα)



**Παλινδρόμηση
αμύλου**

Ρύζι

Raw rice



Starch molecule:
Crystalline structure

Cooked rice



Gelatinized starch:
Amorphous structure

Cooked rice + Cooled



Retrograded starch:
Recrystallized structure

Ψωμί

Dough Stage



Starch molecule:
Crystalline structure

Fresh Bread



Gelatinized starch:
Amorphous structure

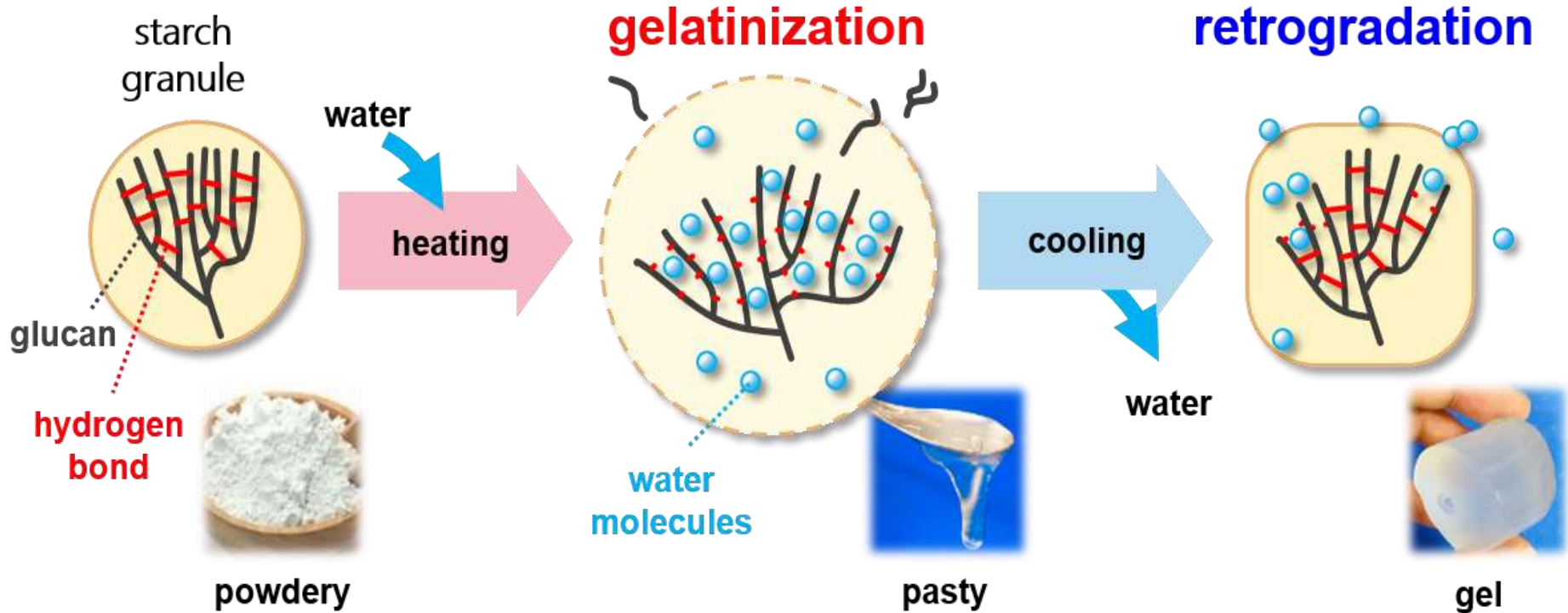
Stale Bread



Retrograded starch:
Recrystallized structure

Ψωμί - Αλλοίωση από φυσικοχημικά αίτια (μπαγιάτεμα)

Παλινδρόμηση αμύλου



Ψωμί - Αλλοίωση από φυσικοχημικά αίτια (μπαγιάτεμα)

Άρα, 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)

Άρα, 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 2025