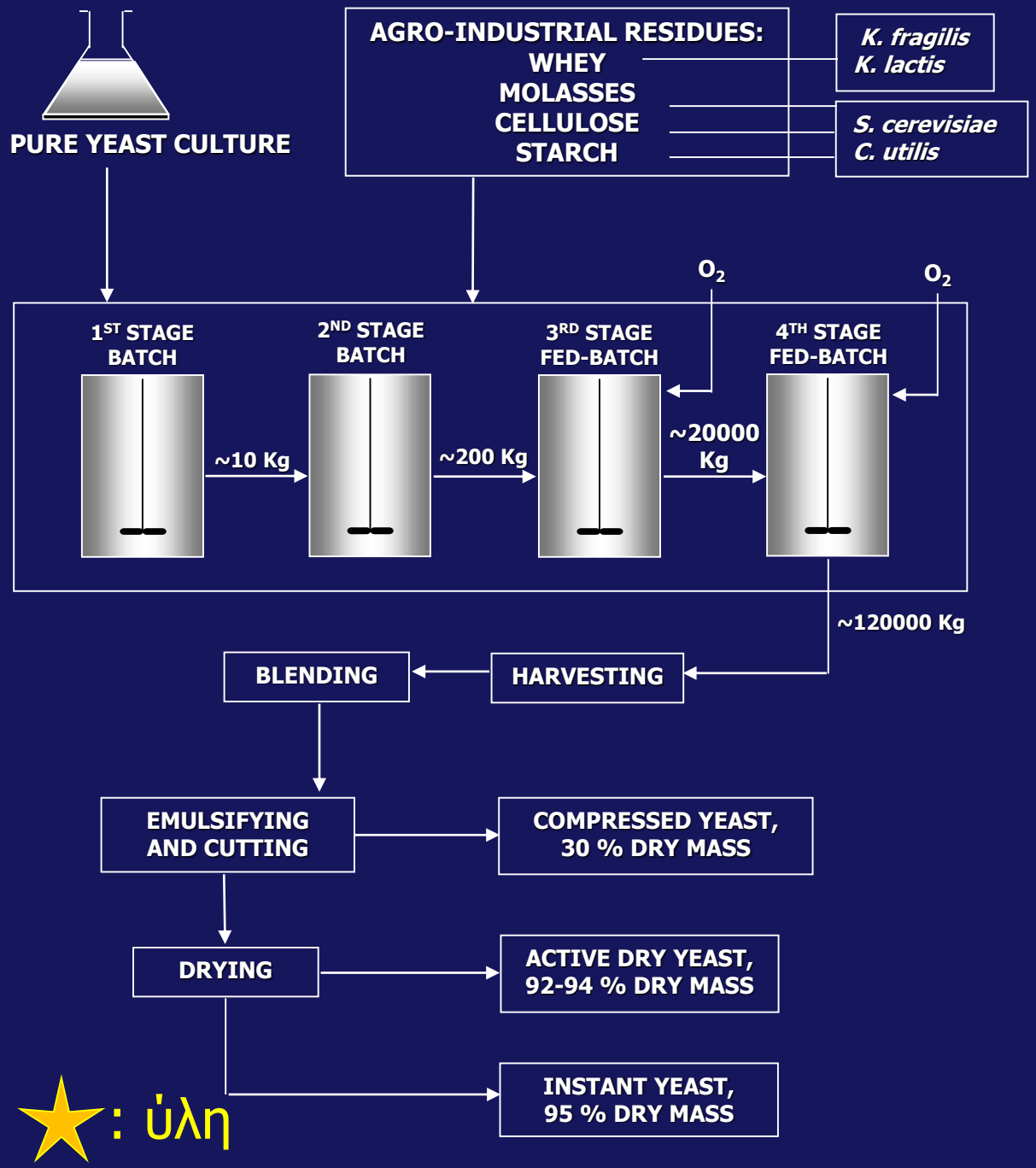
Αρτοποιία και νέες τάσεις

Αργυρώ Μπεκατώρου
Χημικός

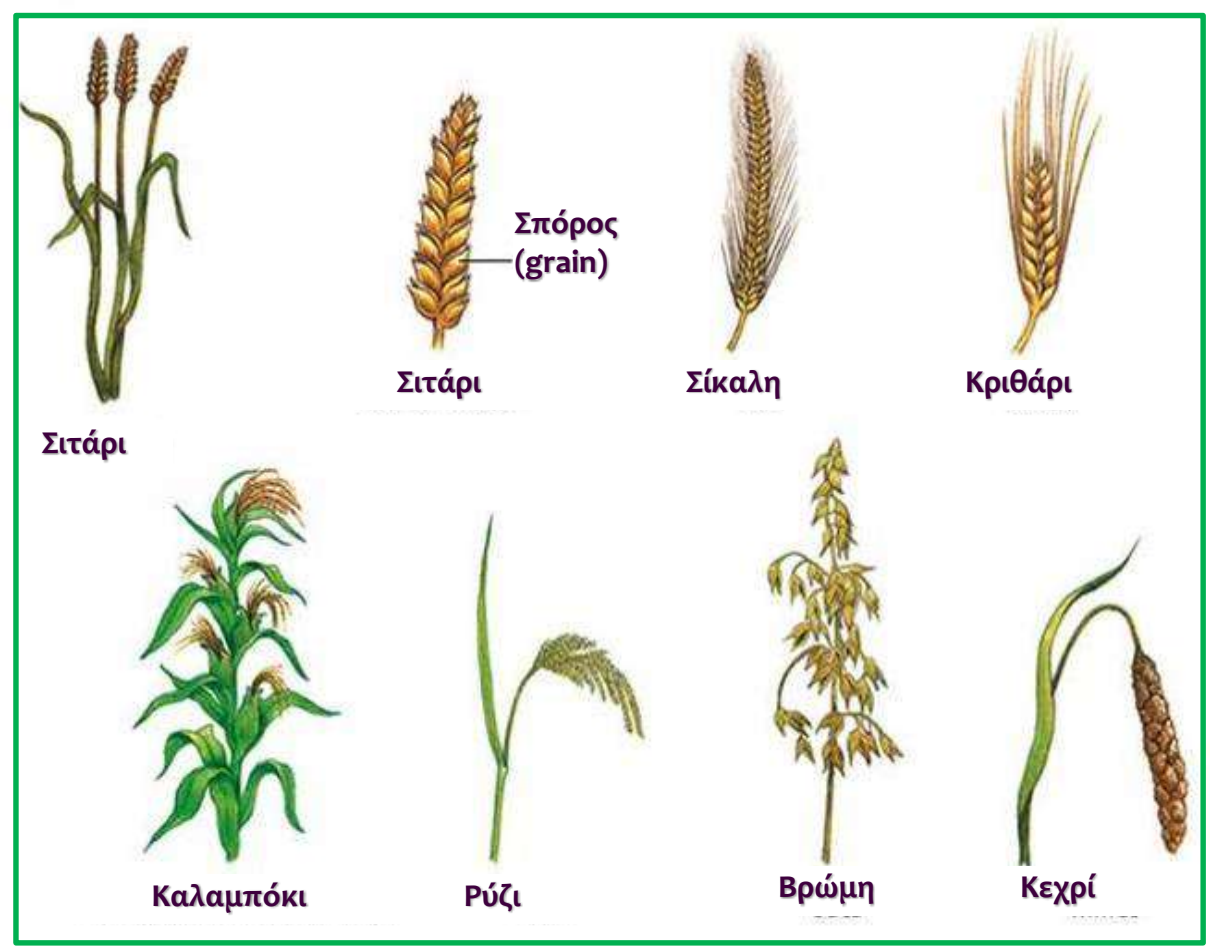
Καθηγήτρια Τμήματος Χημείας Πανεπιστημίου Πατρών

Πάτρα 2025



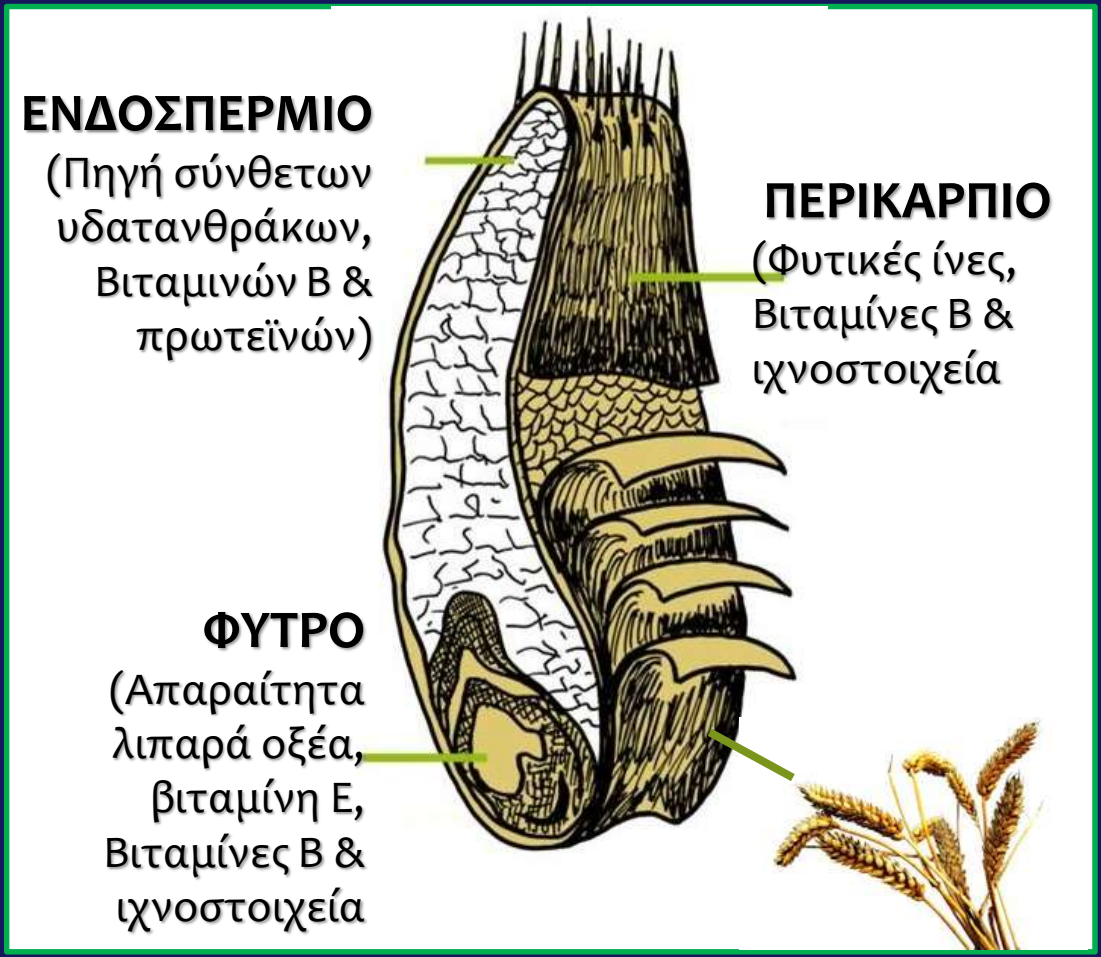
Σιτηρά

- Βασικά τρόφιμα της ανθρωπότητας
- Καλύπτουν **50%** της ημερήσιας ανάγκης σε **υδατάνθρακες,** το **1/3** σε **πρωτεΐνες** και το **50-60%** σε **βιταμίνες Β**
- Πηγές ανόργανων συστατικών & ιχνοστοιχείων



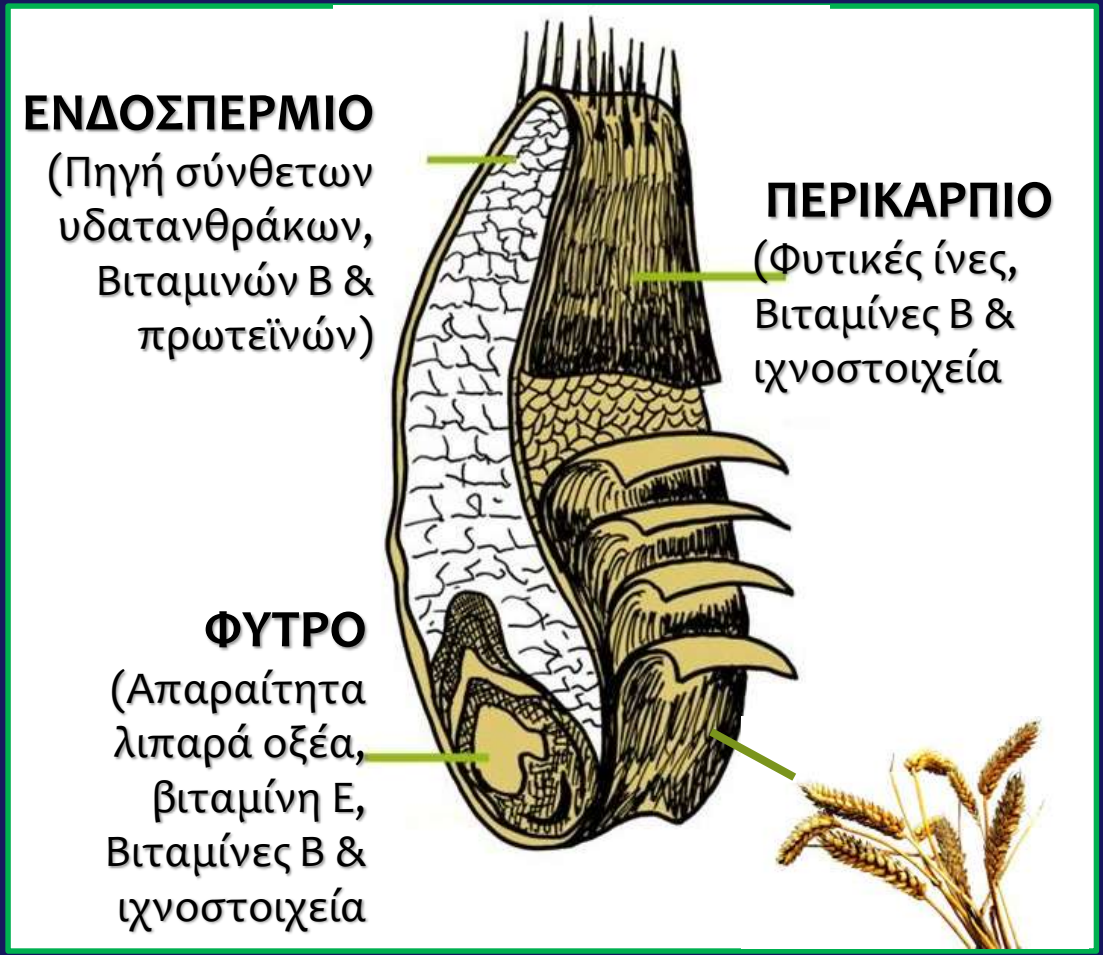
Σιτηρά

- Οι υδατάνθρακες αποτελούνται κυρίως από **άμυλο**
- Υπάρχουν και πολλοί **μη αμυλώδεις πολυσακχαρίτες** (π.χ. στη βρώμη)
- Τα κύτταρα του ενδοσπέρμιου περιέχουν **αμυλό-κοκκους** σε ποσοστό **70-80%**



Σιτηρά

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



Αρτοποιία - Σύγχρονες Τάσεις

ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ

ΑΛΕΥΡΙ
- Άμυλο
  - ✓ Αμυλολυτικά ένζυμα
- Πρωτεΐνες
  - ✓ Γλουτένη

ΔΙΟΓΚΩΣΗ
- Μαγιές-γαλακτικά βακτήρια
  - ✓ Αλκοολική-γαλακτική ζύμωση

ΑΡΤΟΠΟΙΗΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΑΛΕΥΡΟΥ

ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΨΩΜΙΟΥ

ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΨΩΜΙΟΥ

ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗ ΑΛΛΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΨΩΜΙΟΥ-ΜΟΥΧΛΕΣ

«ΜΠΑΓΙΑΤΕΜΑ» ΤΟΥ ΨΩΜΙΟΥ

ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΡΤΟΠΟΙΙΑ

- ΠΡΟΖΥΜΙ, ΝΕΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ
- ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΓΕΝΕΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
- ΕΝΖΥΜΑ, ΑΛΛΑ ΠΡΟΣΘΕΤΑ
- ΝΕΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΑΡΤΟΠΟΙΙΑΣ

Αρτοποιία - Σύγχρονες Τάσεις

ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ

- 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)

Εξαρτάται από:

- Περιεκτικότητα & MB γλουτένης
- pH & θερμοκρασία κατεργασίας
- Παρουσία οξειδωτικών (αύξηση –S-S- δεσμών γλουτένης)
- Παρουσία ενζύμων (αμυλολυτικά & πρωτεολυτικά)
- Βαθμό άλεσης
- Μηχανική επεξεργασία της αρτομάζας

Αλεύρι - Αρτοποιητική ικανότητα

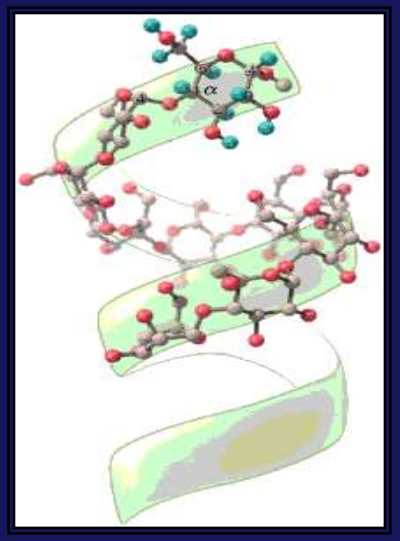
ΑΜΥΛΟ

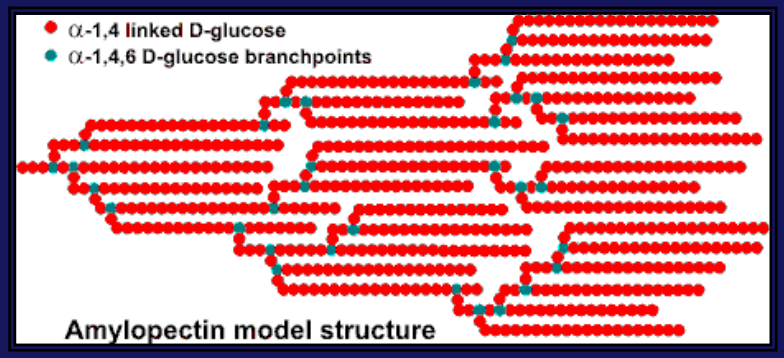
Το άμυλο αποτελείται από:

- ✓ **αμυλόζη** (25%): γραμμικό πολυμερές, 500-20 000 μονάδες D-γλυκόζης ενωμένες με α-1,4 δεσμούς
- ✓ **αμυλοπηκτίνη** (75%): πολυμερές, ~10^6 μονάδες D-γλυκόζης ενωμένες με α-1,4 δεσμούς & διακλαδώσεις με α-1,6 δεσμούς ανά 20-30 μόρια
- ✓ **προϊόντα υδρόλυσης**: δεξτρίνες, μαλτόζη, γλυκόζη

αμυλόζη - αμυλοπηκτίνη

α, 1-4 δεσμός





✓ Οι α-1,4 δεσμοί είναι πιο ευέλικτοι και έχουν την τάση να δημιουργούν ελικοειδής δομές

✓ Οι α-1,6 δεσμοί σχηματίζουν παράλληλες επίπεδες δομές συγκρατημένες με δεσμούς-Η

ΑΜΥΛΟ: οι κόκκοι

Μόρια αμυλόζης & αμυλοπηκτίνης σχηματίζουν δεσμούς-Η με τρόπο ώστε να σχηματίζουν ακτινικά κρυσταλλικά συσσωματώματα (μικκύλια) που συγκρατούν τον κόκκο σφιχτά επιτρέποντας διόγκωση σε ζεστό νερό αλλά όχι διάλυση του αμύλου

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

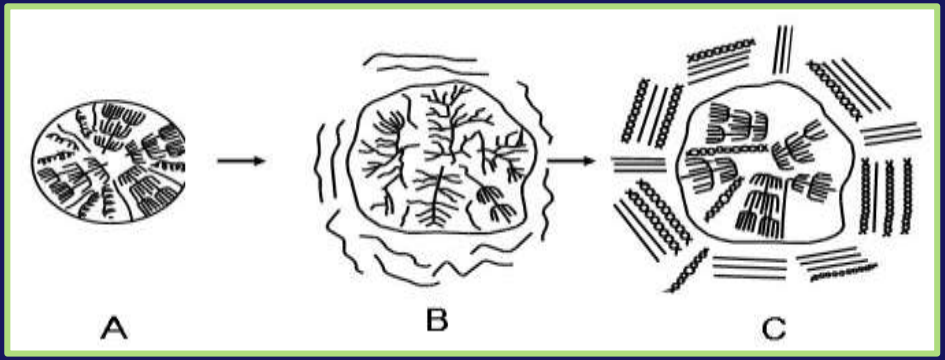
- Οι κόκκοι του αμύλου παρουσία νερού:

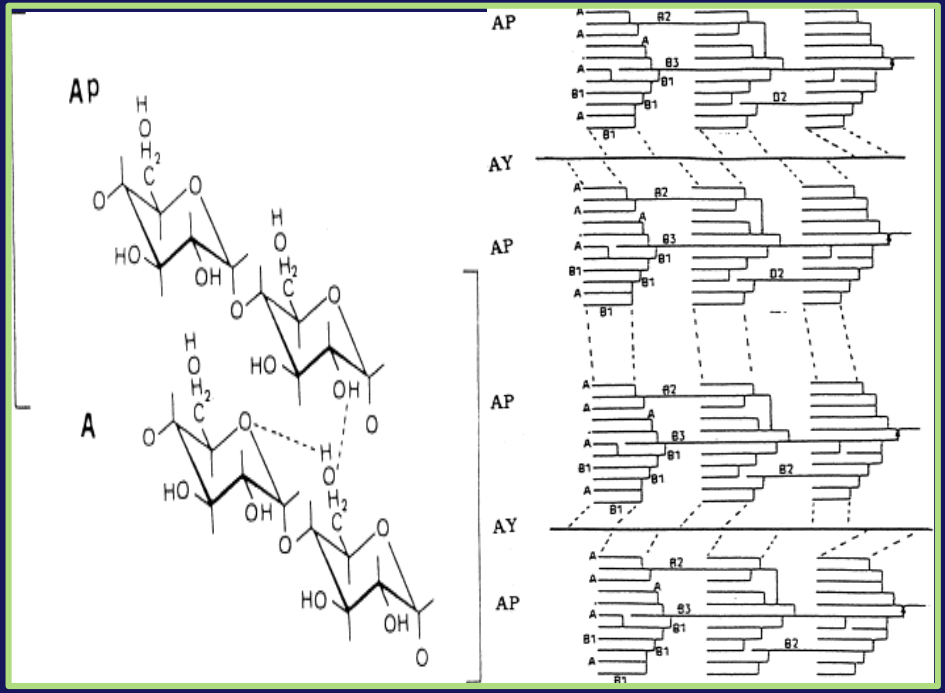
✓ διογκώνονται ελαφρά αλλά διατηρούν τη δομή τους

✓ καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία δημιουργούνται διαμοριακοί δεσμοί Η ανάμεσα στα πολυμερή του αμύλου

✓ μειώνεται η ενεργότητα του νερού σημαντικά και το ιξώδες αυξάνει

✓ χάνεται η κρυσταλλική δομή και το άμυλο «ζελατινοποιείται»

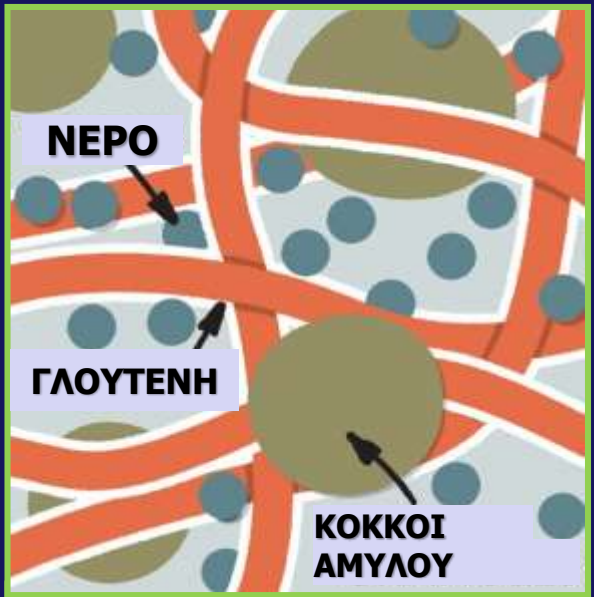


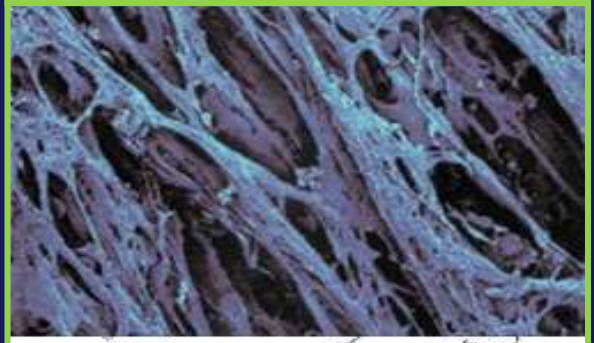


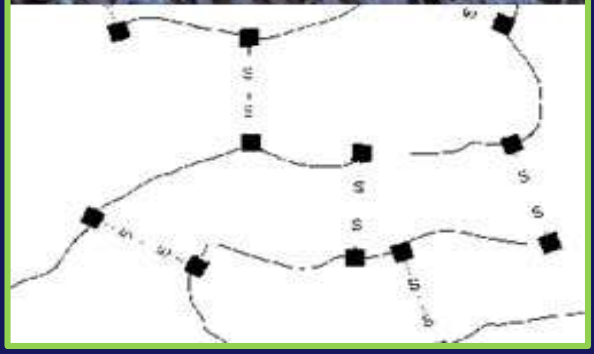
Αλεύρι - Πρωτεΐνες / Γλουτένη

- 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

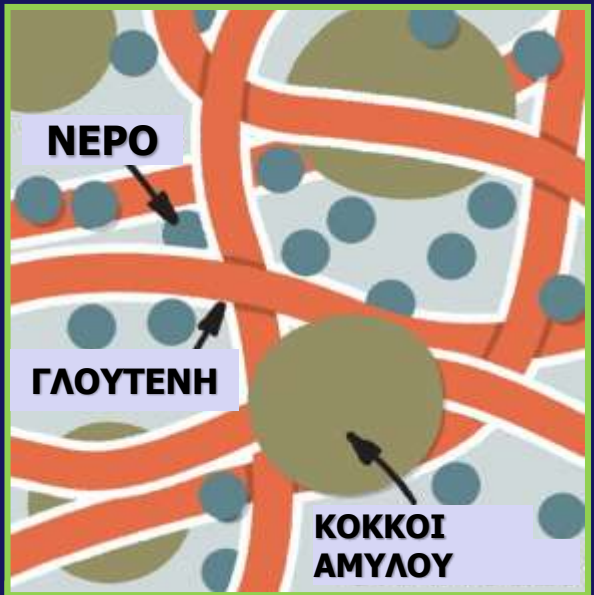


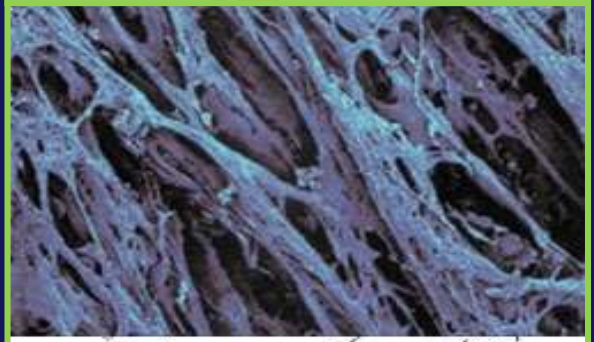


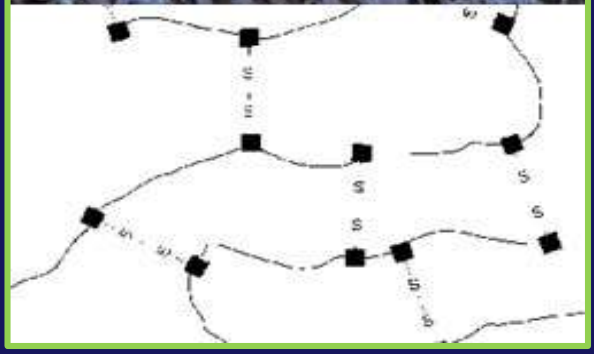


Αλεύρι - Πρωτεΐνες / Γλουτένη

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







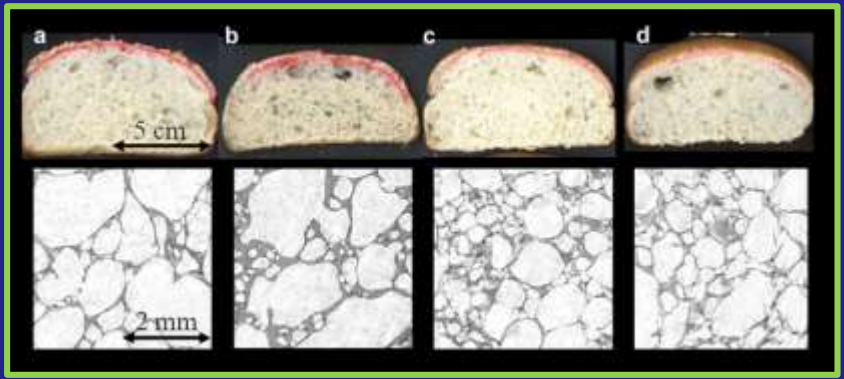
Αλεύρι - Πρωτεΐνες / Γλουτένη

- 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** (σπογγώδες) 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 οξίνιση και μπορούν να συγκρατήσουν αέρια

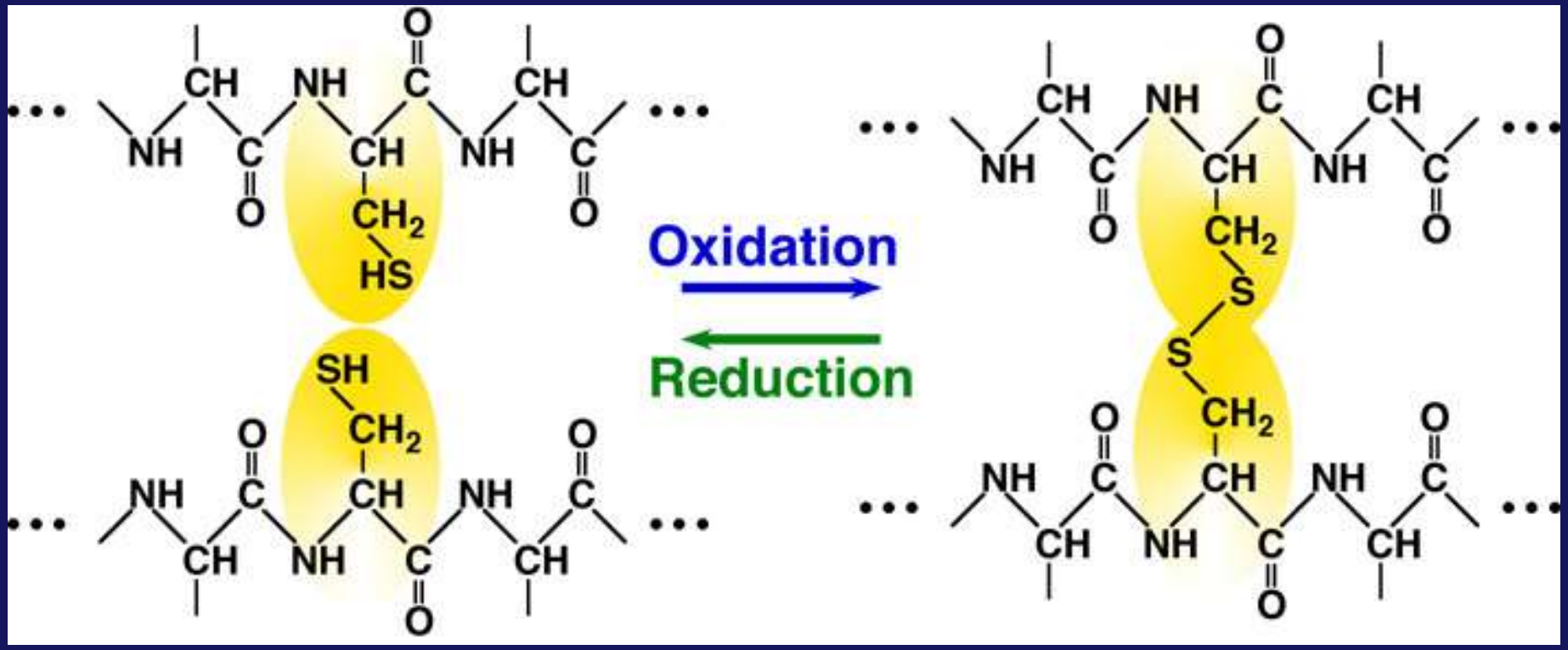
Ψωμί σίκαλης

Αλεύρι - Πρωτεΐνες / Γλουτένη

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

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

Αλεύρι - Πρωτεΐνες / Γλουτένη



Αλεύρι - Πρωτεΐνες / Γλουτένη

ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ ΣΙΤΑΡΙΟΥ

ΓΛΟΥΤΕΝΗ 85%

ΛΟΙΠΕΣ 15%

Αλβουμίνες 60%

Γλοβουλίνες 40%

Πεπτίδια

Αμινοξέα

Μικρό ΜΒ

25-100 000

Μικρής ελαστικότητας

Μεγάλο ΜΒ

>100 000

Μεγάλης ελαστικότητας Δημιουργούν σύμπλοκα με λιπίδια

Ένζυμα αλεύρου, διαλυτές πρωτεΐνες που δημιουργούν αφρισμό και πρωτεΐνες που συσσωματώνονται

Αλεύρι - Πρωτεΐνες / Γλουτένη

Διαχωρισμός πρωτεϊνών γλουτένης σιταριού κατά *Osborne* (1907):

- **Αλβουμίνες**
  διαλυτές στο νερό & σε αραιά διαλύματα αλάτων (π.χ. 0.4 M NaCl) / δημιουργούν συσσωματώματα με θέρμανση

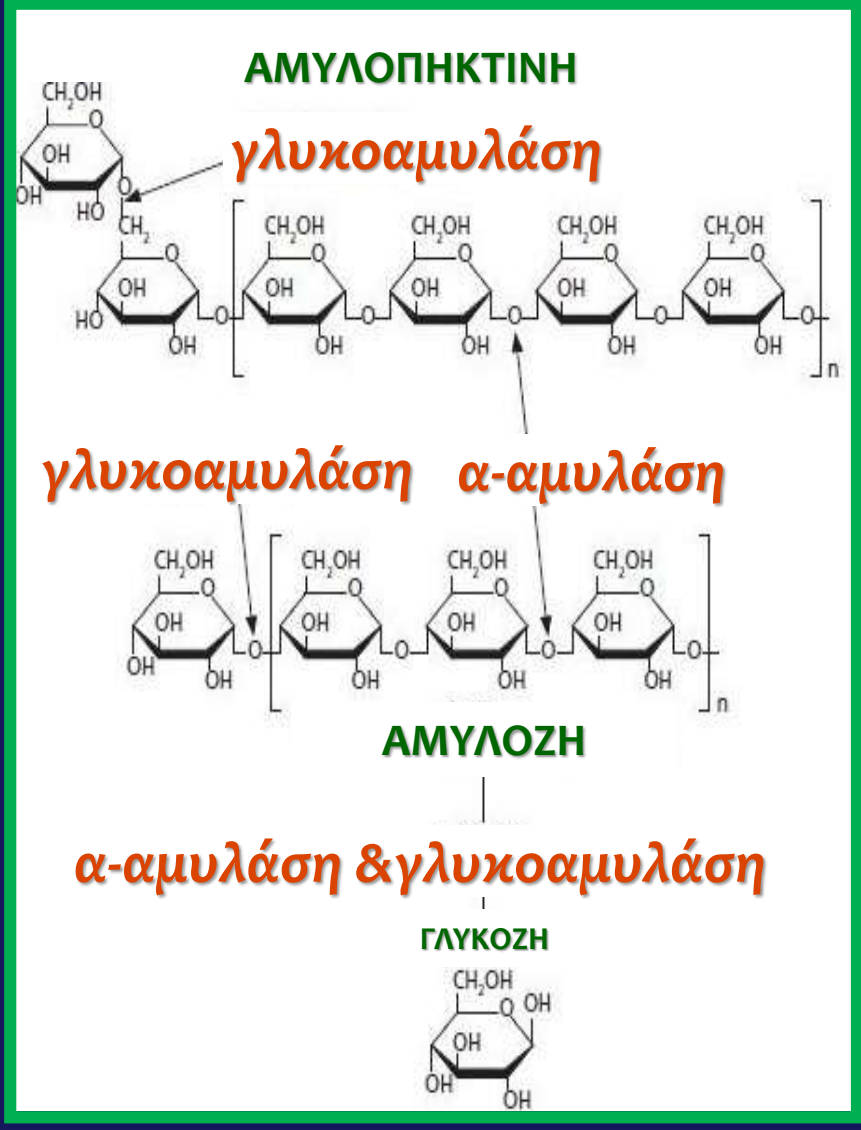
- **Γλοβουλίνες**
  αδιάλυτες σε νερό & πυκνά διαλύματα αλάτων / διαλυτές σε αραιά διαλύματα αλάτων

- **Προλαμίνες** (Γλοιαδίνες στο σιτάρι)
  αδιάλυτες στο νερό / διαλυτές σε πυκνό διάλυμα αλκοόλης (70%)

- **Γλουτελίνες** (Γλουτενίνες στο σιτάρι)
  ότι απομένει στο υπόλειμμα του αλεύρου από το διαχωρισμό των παραπάνω / αδιάλυτες στο νερό / διαλυτές σε αραιά οξέα, αλκάλια, μετουσιωτικά (π.χ. ουρία) & αναγωγικά αντιδραστήρια

Αλεύρι - Αμυλολυτικά ένζυμα

- **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

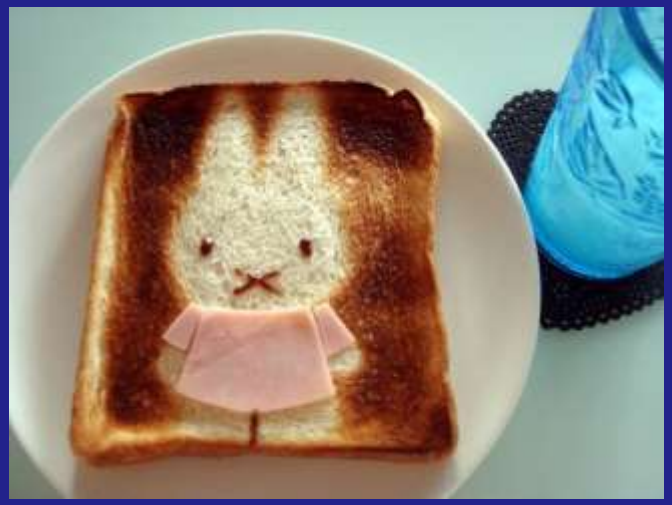
Οι αμυλάσες του σιταριού και της σίκαλης έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την αρτοποίηση:

- ✓ Βέλτιστη ενεργοποίηση & δράση κατά το θερισμό ευνοεί τη σωστή διόγκωση του ζυμαριού από τη μαγιά παρέχοντας ζυμώσιμα σάκχαρα (γλυκόζη, μαλτόζη)
- ✓ Δυσμενείς συνθήκες κατά το θερισμό (π.χ. υψηλή θερμοκρασία/υγρασία) ευνοούν την ενεργοποίηση αμυλασών και την εκτεταμένη υδρόλυση του αμύλου που οδηγεί σε ατέλειες στο ψωμί

Αλεύρι - Αμυλολυτικά ένζυμα

✓ Σε **άλευρα με πολύ χαμηλή δράση α-αμυλάσης** προστίθεται το ένζυμο υπό μορφή **βυνάλευρου** ή **μικροβιακού παρασκευάσματος** (ελεύθερο πρωτεασών) για παραγωγή ζυμώσιμων σακχάρων:

- **καλή διόγκωση** του ψωμιού
  (αλκοολική ζύμωση των σακχάρων)
- **ανάπτυξη επιθυμητού αρώματος & χρώματος**
  (αντιδράσεις αμαύρωσης σακχάρων)
- **διατήρηση της φρεσκάδας** του προϊόντος
  (παρεμπόδιση παλινδρόμησης αμύλου)

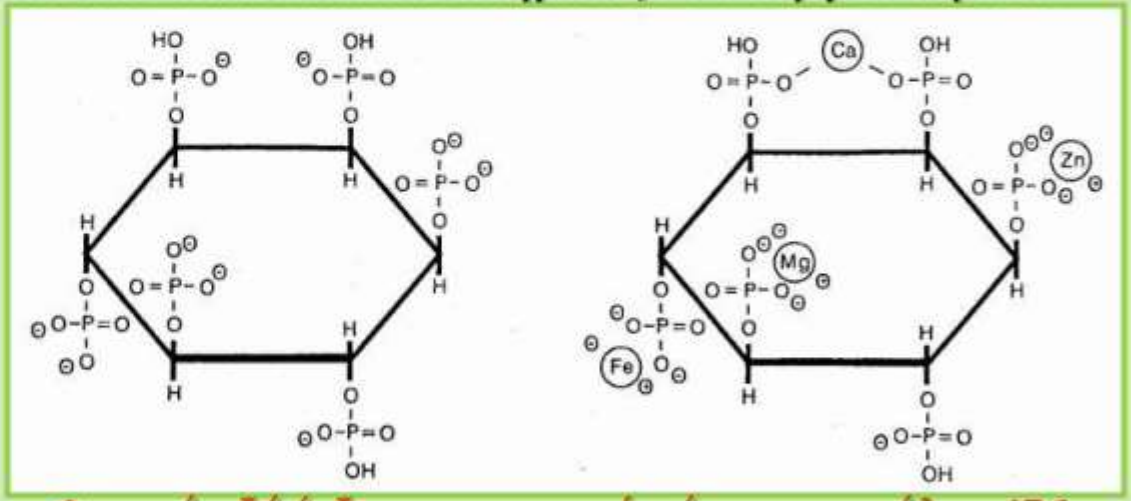


Αλεύρι - Άλλα ένζυμα

- **πρωτάσες:**
  όξινες πρωτεάσες με βέλτιστο pH 4-5 & επηρεάζουν τη δημιουργία γλουτένης & τις ρεολογικές ιδιότητες του ζυμαριού

- **λιπάσες:**
  απελευθερώνουν λιπαρά οξέα από λιπίδια και επηρεάζουν τη γεύση και το άρωμα των ζυμαριών

- **φυτάση:**
  αποικοδομεί το **φυτικό οξύ** που δεσμεύει 70% του φωσφόρου στο σιτάρι – η περιεκτικότητα στο αλεύρι εξαρτάται από το βαθμό άλεσης - μερική υδρόλυση σε λιγότερο φωσφοριλιωμένα προϊόντα είναι επιθυμητή από διατροφική άποψη γιατί δεν παρεμποδίζουν την απορρόφηση ιόντων Fe, Zn, Ca, Mg



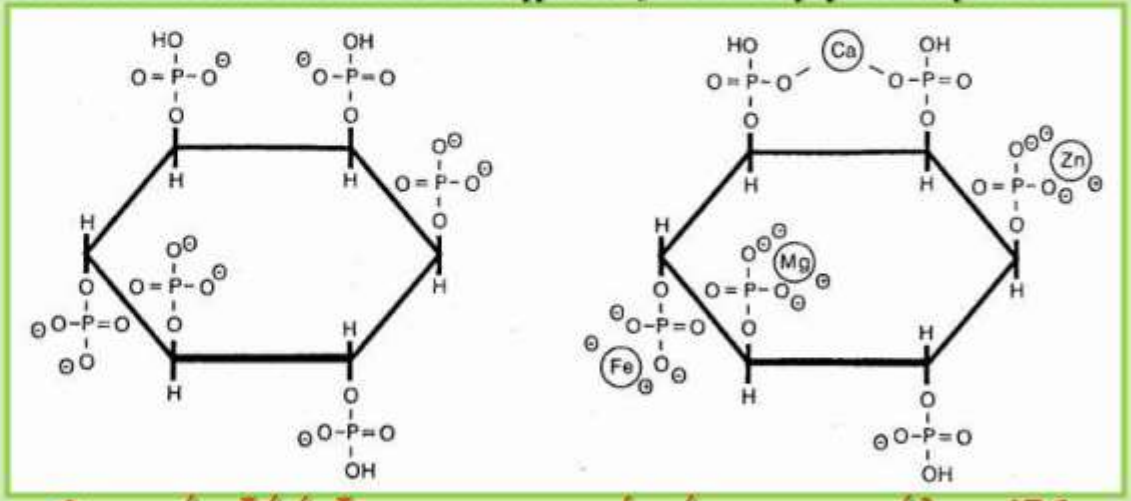
Φυτικό οξύ (εξαφωσφορική μέσο-ινοσιτόλη – IP6 και σύμπλοκο με κατιόντα μετάλλων)

Αλεύρι - Άλλα ένζυμα

- **πρωτάσες:**
  όξινες πρωτεάσες με βέλτιστο pH 4-5 & επηρεάζουν τη δημιουργία γλουτένης & τις ρεολογικές ιδιότητες του ζυμαριού

- **λιπάσες:**
  απελευθερώνουν λιπαρά οξέα από λιπίδια και επηρεάζουν τη γεύση και το άρωμα των ζυμαριών

- **φυτάση:**
  αποικοδομεί το **φυτικό οξύ** που δεσμεύει 70% του φωσφόρου στο σιτάρι – η περιεκτικότητα στο αλεύρι εξαρτάται από το βαθμό άλεσης - μερική υδρόλυση σε λιγότερο φωσφοριλιωμένα προϊόντα είναι επιθυμητή από διατροφική άποψη γιατί δεν παρεμποδίζουν την απορρόφηση ιόντων Fe, Zn, Ca, Mg

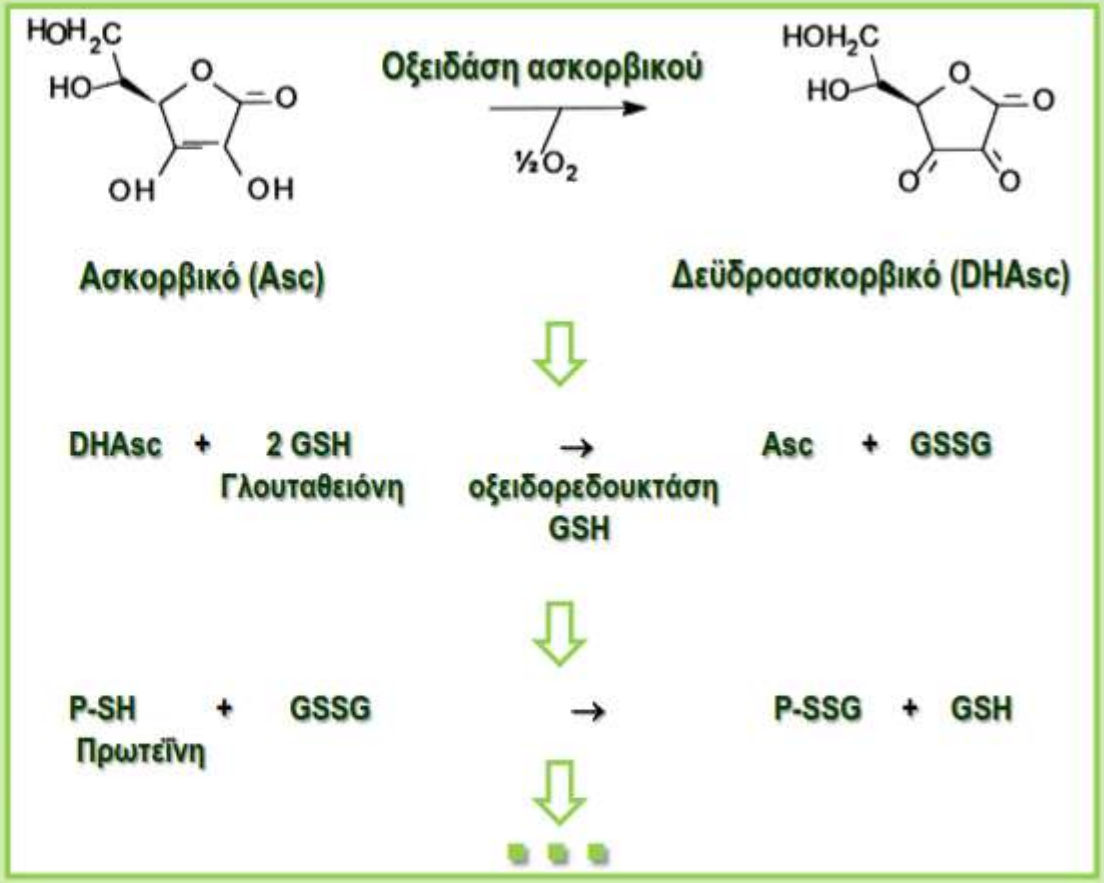


Φυτικό οξύ (εξαφωσφορική μέσο-ινοσιτόλη – IP6 και σύμπλοκο με κατιόντα μετάλλων)

Αλεύρι - Δευτερεύοντα συστατικά-πρόσθετα

Ασκορβικό οξύ

- Μικρές συγκεντρώσεις **ασκορβικού** (Asc) (μέχρι 40 mg/Kg) αλλά & **δεϋδρο-ασκορβικού** (DHAsc), έχουν βελτιωτική δράση στο αλεύρι (δημιουργία –SS- δεσμών στις πρωτεΐνες)
- Η ζύμη γίνεται πιο στεγνή & ανθεκτική και αυξάνεται ο όγκος του ψωμιού
- Μεγαλύτερες συγκεντρώσεις δεν αυξάνουν την επίδραση



- Από τα διαστερεοισομερή του Asc, το ***L- threo-Asc*** έχει τη μεγαλύτερη επίδραση

Αλεύρι - Δευτερεύοντα συστατικά-πρόσθετα

Ref.: Zhang et al. 2020. Revisiting phytate-element interactions: implications for iron, zinc and calcium bioavailability, with emphasis on legumes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *62*(6), 1696–1712. https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1846014

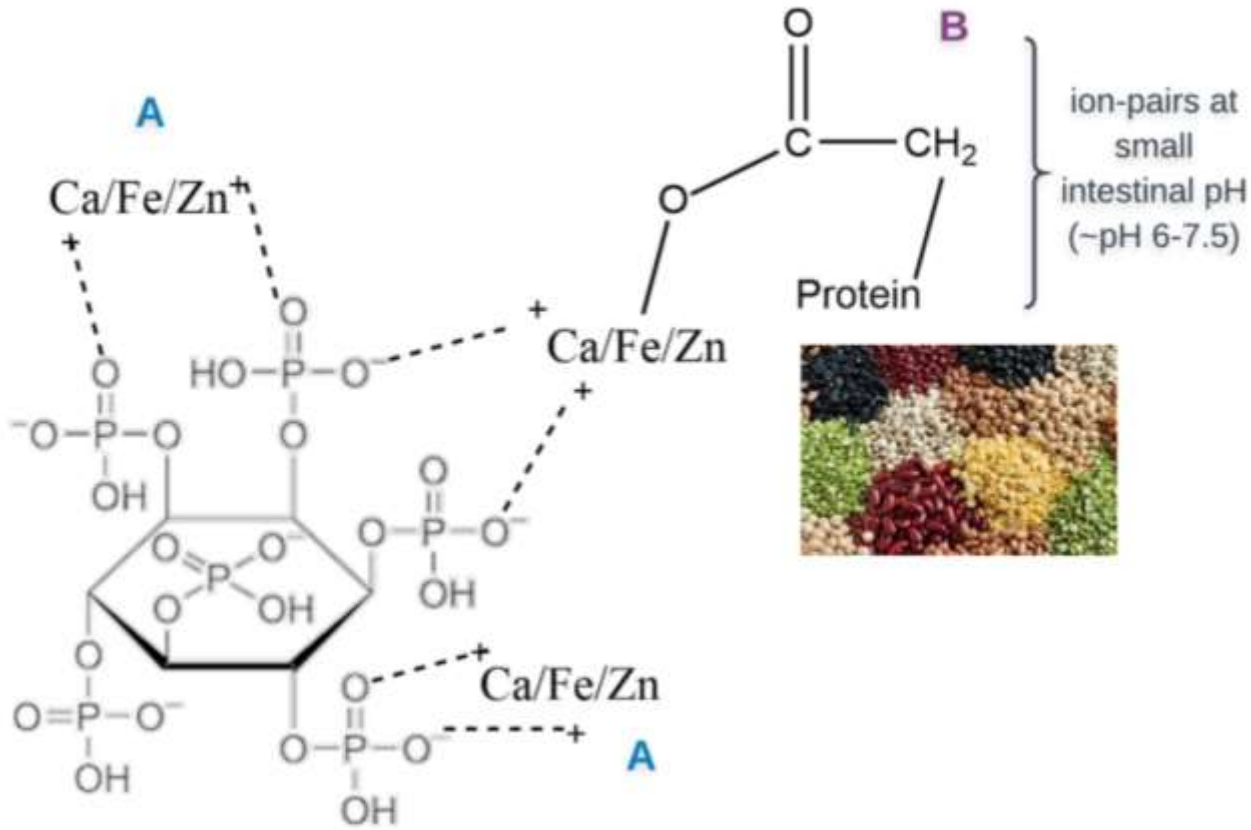
A: Binary complexation

Solubility: pH and molar ratio-dependent

Affinity order (pH 7): Zn(II) > Fe(II) > Fe(III) > Ca(II)

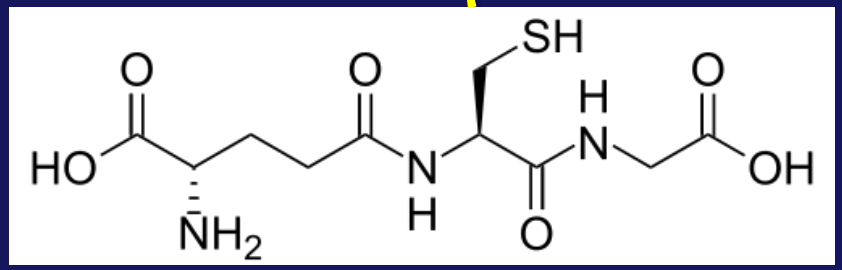
B: Ternary complexation

Protein salt-bridge: when pH > isoelectric point (~pH 4.5 - 5)



Αλεύρι - Δευτερεύοντα συστατικά-πρόσθετα

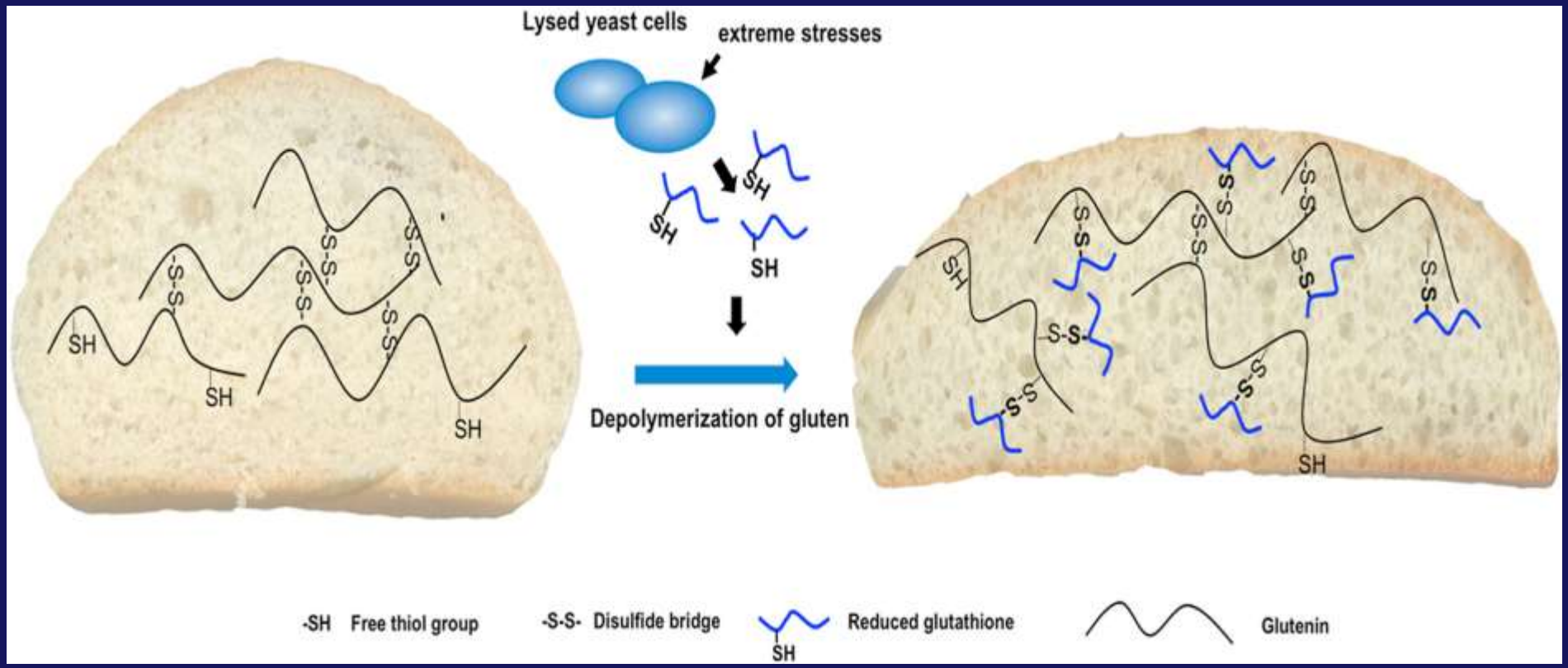
**Γλουταθειόνη GSH:



- Οργανική χημική ένωση με σημαντική αντιοξειδωτική δράση στους ζωντανούς οργανισμούς
- Τριπεπτίδιο γλουταμινικού οξέος, κυστεΐνης και γλυκίνης
- Παίρνει μέρος στα φαινόμενα οξειδοαναγωγής των ιστών, διαδραματίζοντας ρόλο μεταφορέα Η και αποτελεί έναν από τους κύριους παράγοντες σταθερότητας του δυναμικού οξειδοαναγωγής των κυττάρων
- Η ανηγμένη γλουταθειόνη (GSH) είναι το πιο σημαντικό αντιοξειδωτικό τριπεπτίδιο θειόλης στο αλεύρι και μπορεί να διαρρέει και από αυτολυμένα κύτταρα της μαγιάς. Κατά την ανάμειξη του ζυμαριού, η GSH θεωρείται ότι εμπλέκεται σε αντιδράσεις ανταλλαγής σουλφιδρυλίου –SH/ δισουλφιδίου -SS- και διάσπασης δισουλφιδικών δεσμών στη γλουτένη, προκαλώντας μειωμένη ελαστικότητα και εξασθενημένη δομή και ικανότητα συγκράτησης αερίων.

Αλεύρι - Δευτερεύοντα συστατικά-πρόσθετα

**Γλουταθειόνη GSH:



Guo et al., 2020

Ψωμί - Διόγκωση / σακχαρομύκητες

Μαγιά αρτοποιίας («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

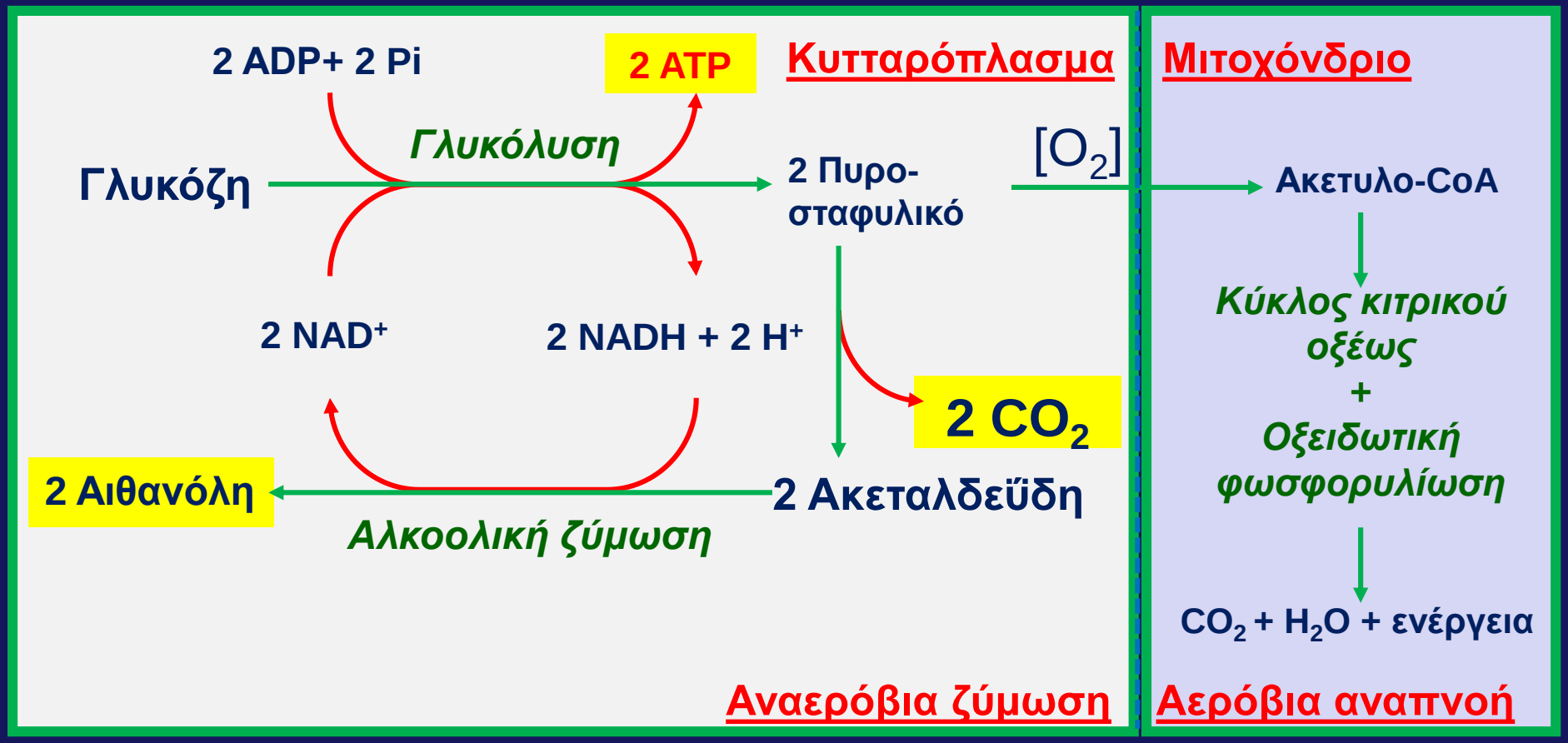
Γαλακτικά βακτήρια:

είδη *Lactobacillus* κ.α.

- 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 - Διόγκωση / σακχαρομύκητες

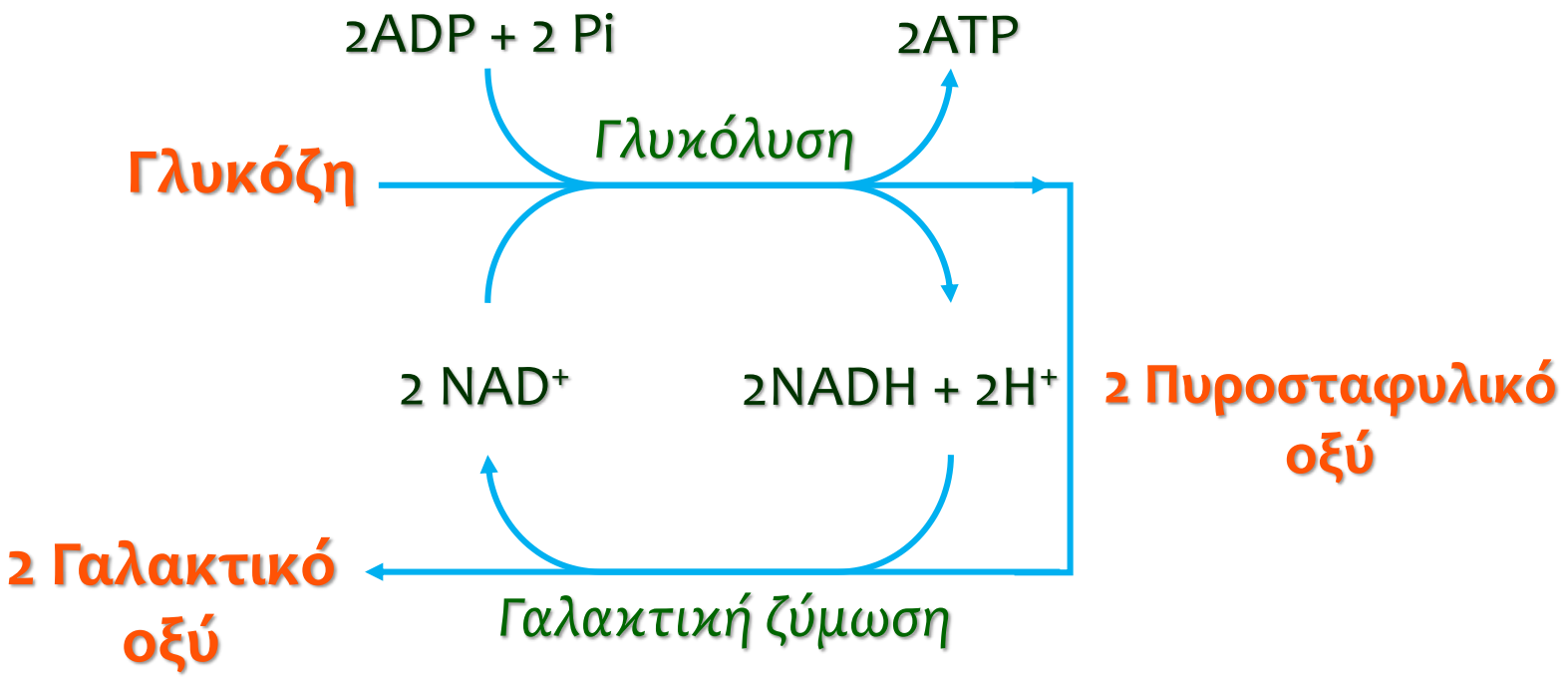
Αλκοολική ζύμωση



Σύνοψη της αλκοολικής ζύμωσης

Ψωμί - Διόγκωση / γαλακτικά βακτήρια

Γαλακτική ζύμωση



Σύνοψη της γαλακτικής ζύμωσης

Ψωμί - Στάδια παρασκευής

- **Παρασκευή αρτομάζας**
  (ανάμιξη → διόγκωση αμύλου → δημιουργία γλουτένης)

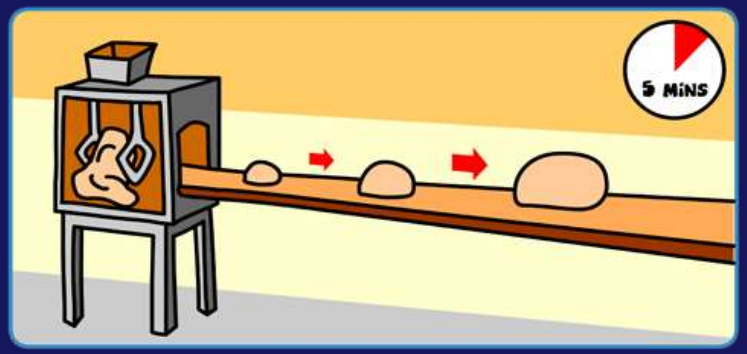
- **Διόγκωση αρτομάζας**
  (εγκλωβισμός αερίων)

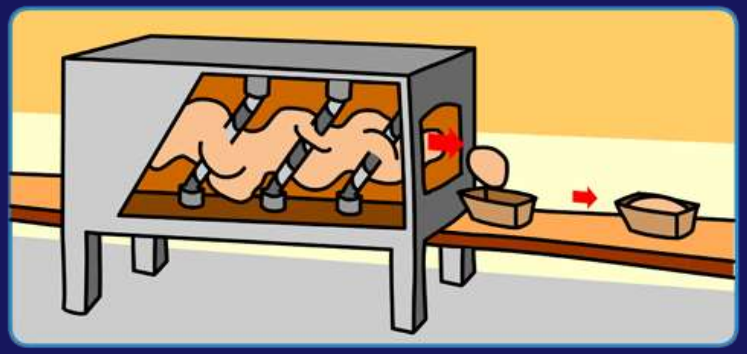
  ✓ **Φυσική ή αυτόματη:** προζύμι

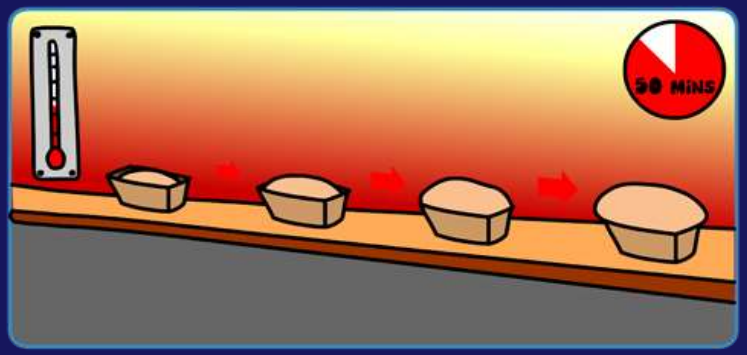
  ✓ **Με μαγιές:** νωπή (πιεστή) ή ξηρή (σε σκόνη) μαγιά αρτοποιίας

  ✓ **Με χημικό τρόπο:** baking powders, όπως

όξινο τρυγικό κάλιο + σόδα → τρυγικό καλιονάτριο + ↑CO_2 + H_2O

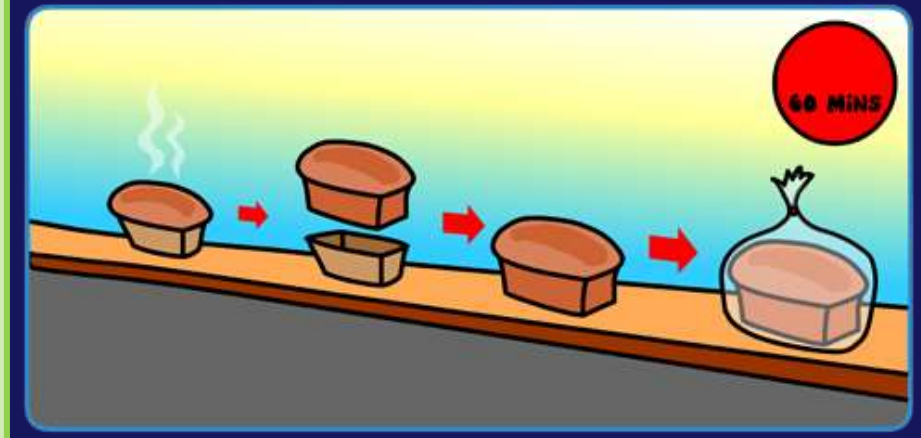






Ψωμί - Στάδια παρασκευής

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



Ψωμί - Σύσταση

- Νερό (35-45%)
- Υδατάνθρακες:
  ανάγοντα σάκχαρα (γλυκόζη 2%)
  πολυσακχαρίτες (άμυλο, δεξτρίνες 56%)
- Λίπος (0,5%)
- Ένζυμα (θερμοανθεκτικά)
- Οργανικά οξέα
- Ανόργανα συστατικά

«Μπαγιάτεμα» του ψωμιού (*staling*)

Το σύνολο των ανεπιθύμητων αλλαγών, εκτός της μικροβιακής αλλοίωσης, που συμβαίνουν από το ψήσιμο μέχρι την κατανάλωση:

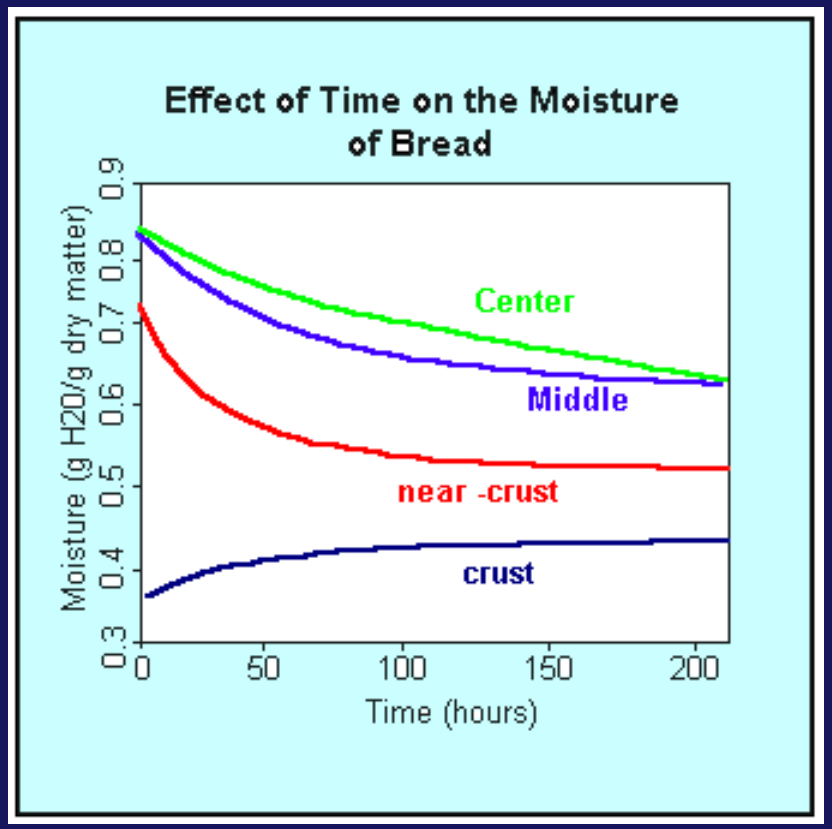
- Σκλήρυνση της ψίχας (crumb firming)
- Μεταβολές υγρασίας
- Μαλάκωμα της κόρας (crust softening)
- Απώλεια του αρώματος

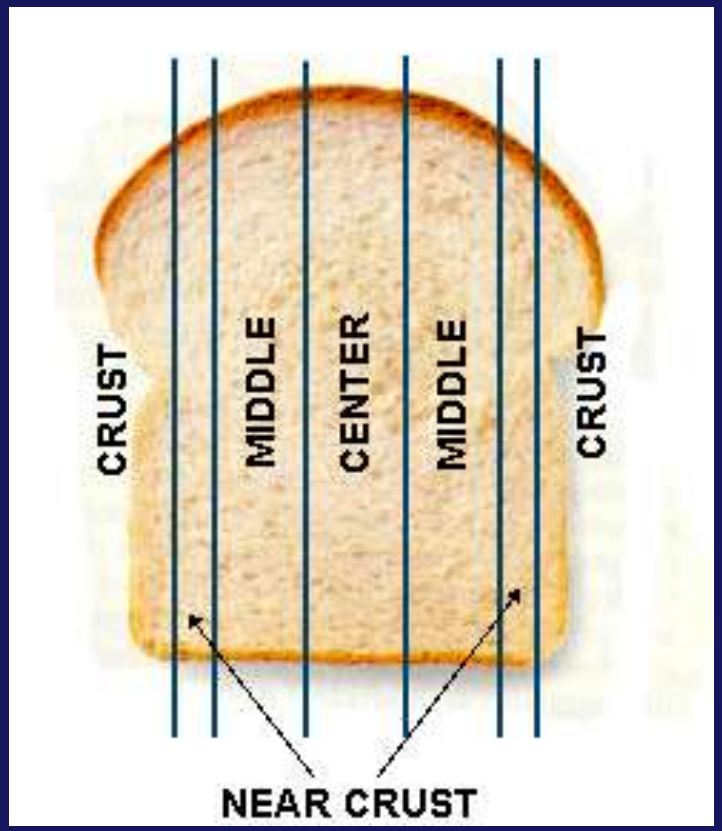
«Μπαγιάτεμα» του ψωμιού (*staling*)

η σκλήρυνση της ψίχας (crumb firming) οφείλεται σε:

- κατά το ψήσιμο: διάχυση της αμυλόζης στο εξωτερικό των κόκκων του αμύλου
- με την ψύξη & παραμονή: γρήγορη «παλινδρόμηση» (retrogradation) των αλυσίδων της αμυλόζης
- αργή παλινδρόμηση των αλυσίδων της αμυλοπηκτίνης που παραμένουν στους κόκκους

Μεταβολές υγρασίας με το χρόνο





Ψωμί - Αλλοίωση από φυσικοχημικά αίτια (μπαγιάτεμα)

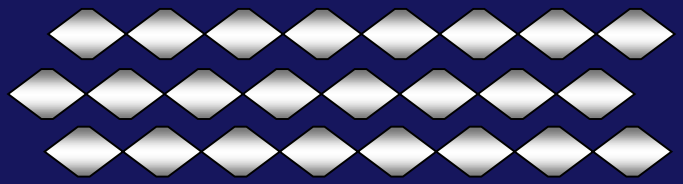
Παλινδρόμηση αμυλόζης

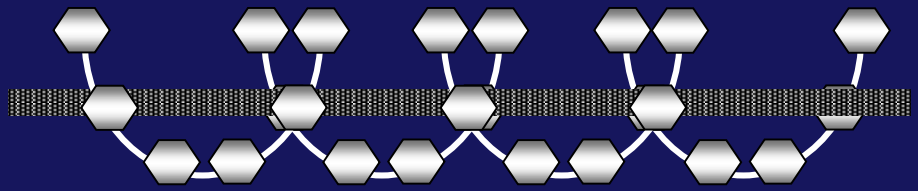
Ζελατινοποιημένο άμυλο (άμορφο)

Αμυλόζη

Γρήγορη δημιουργία διαμορ. δεσμών –Η, αύξηση κρυσταλλικότητας

+ γαλακτωματοποιητής





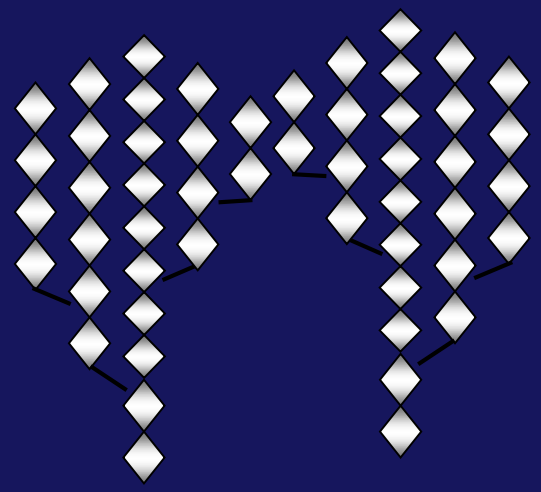
Παλινδρομημένη (*retrograded*) αμυλόζη (σκληρή)

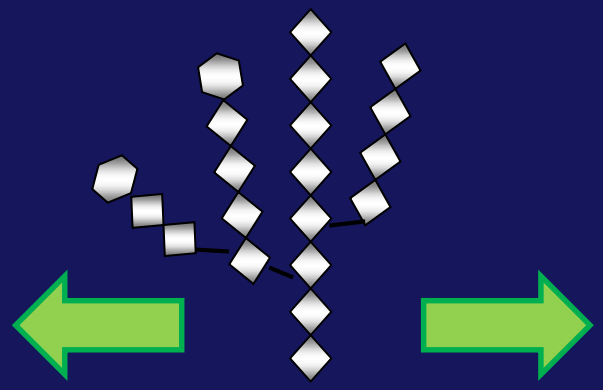
Σύμπλοκο αμυλόζης-γαλακτωματοποιητή (μαλακό)

Ψωμί - Αλλοίωση από φυσικοχημικά αίτια (μπαγιάτεμα)

Παλινδρόμηση αμυλοπηκτίνης

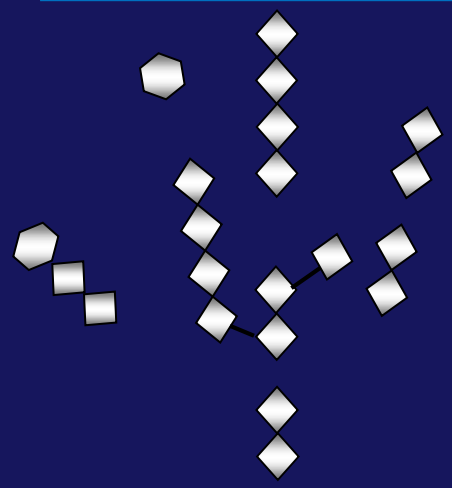
Ζελατινοποιημένο άμυλο (άμορφο)





αμυλοπηκτίνη

+
α-αμυλάση



Παλινδρομημένη αμυλοπηκτίνη (σκληρή)

Αμυλοπηκτίνη μετά από μερική ενζυμική υδρόλυση (μαλακή)

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

!

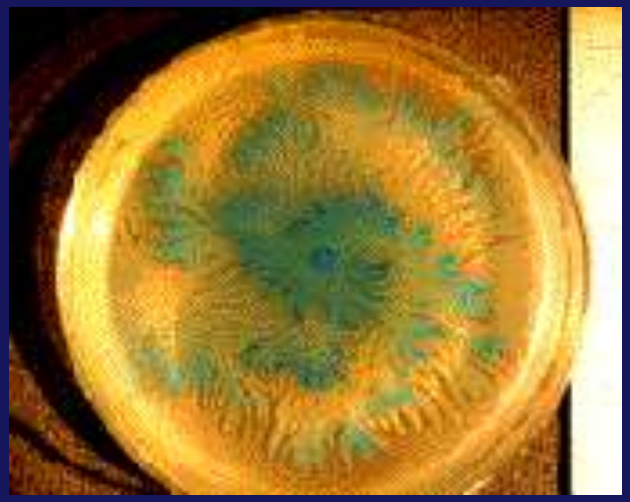
- **Θερμοκρασία συντήρησης**
  - ✓ **-7 με 10°C:** (ψυγείο) γρήγορη σκλήρυνση της ψίχας
  - ✓ **>35°C:** αλλοιώνεται το άρωμα & η γεύση
  - ✓ **20 με 35°C:** (περιβάλλοντος) βέλτιστη
  - ✓ **-30 με -18°C:** (κατάψυξη) σταματά το μπαγιάτεμα

Ψωμί - Μικροβιακή αλλοίωση

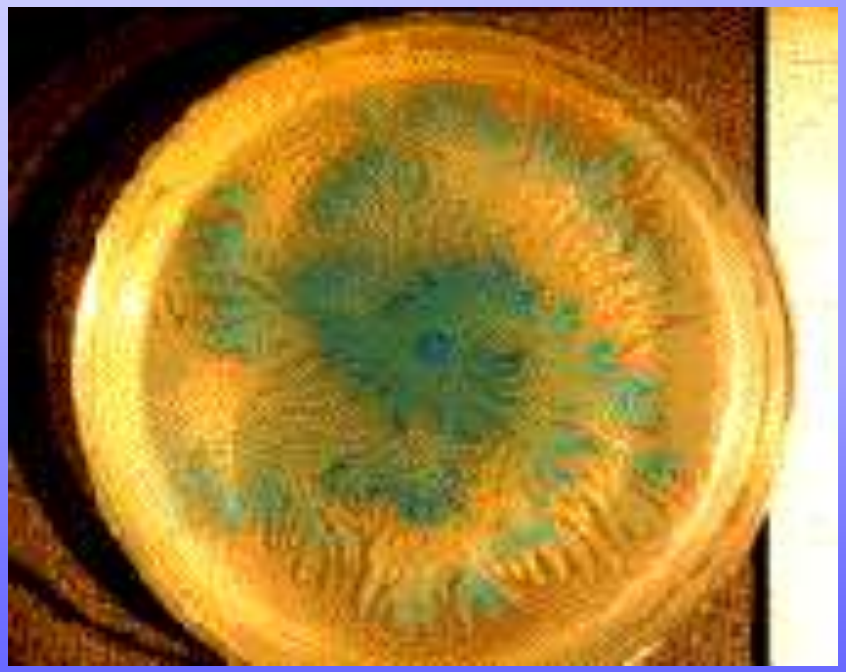
Εξαρτάται από:

- ✓ Υγρασία του προϊόντος
- ✓ Θερμοκρασία συντήρησης του προϊόντος
- ✓ Διαθέσιμα ζυμώσιμα σάκχαρα στο προϊόν (γλυκόζη, σακχαρόζη, μαλτόζη)

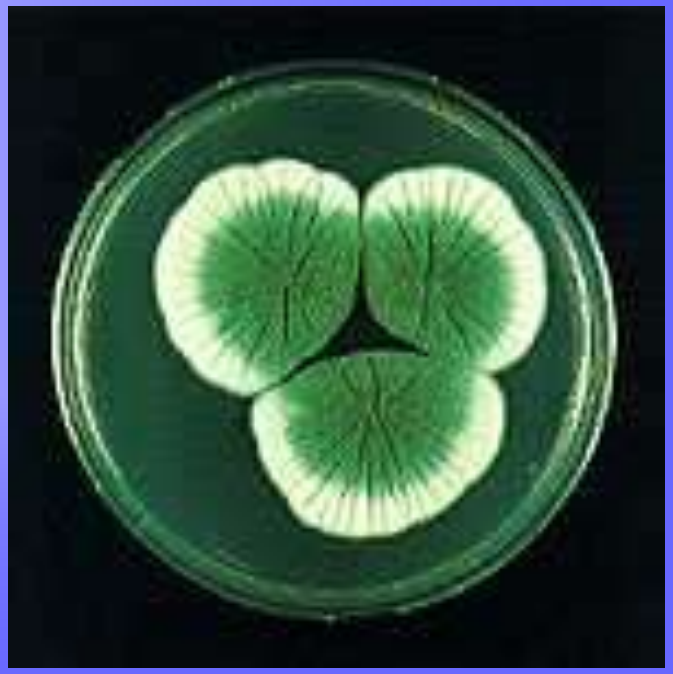
- *Rhizopus stolonifer* - "Μούχλα του ψωμιού"
- *Neurospora sitophila* - "Κόκκινη μούχλα"
- *Bacillus subtilis* - "Ropiness"



Ψωμί - Μικροβιακή αλλοίωση



Bacillus subtilis
"ropiness"



Penicillin
expansum

Σύγχρονες τάσεις

Ο σκοπός της έρευνας και της χρήσης νέων τεχνολογιών στην παραγωγή ψωμιού & προϊόντων αρτοποιίας είναι:

- **αύξηση του χρόνου συντήρησης:**
  - ✓ χρήση αμυλολυτικών ενζύμων
  - ✓ χρήση γαλακτωματοποιητών
  - ✓ in situ παραγωγή φυσικών συντηρητικών (αλκοόλη, γαλακτικό, προπιονικό οξύ)
  - ✓ την παραγωγή ψωμιού ελεγχόμενης σύστασης (π.χ. σε ζυμώσιμα σάκχαρα)
- **βελτίωση της διατροφικής αξίας:**
  - ✓ με εμπλουτισμό σε βιταμίνες, βασικά αμινοξέα, ιχνοστοιχεία, αντιοξειδωτικά, κ.α.

Σύγχρονες τάσεις

Ο σκοπός της έρευνας και της χρήσης νέων τεχνολογιών στην παραγωγή ψωμιού & προϊόντων αρτοποιίας είναι:

- **βελτίωση του οργανοληπτικού χαρακτήρα**
  - ✓ με τη χρήση λιπολυτικών ενζύμων
  - ✓ η πρόδρομων "αρωματικών" ενώσεων
- **βελτίωση υφής & μηχανικών ιδιοτήτων της αρτομάζας**
  - ✓ με την τροποποίηση των πρωτεϊνών (με προσθήκη βελτιωτικών οξειδωτικών αντιδραστηρίων ή γενετική μηχανική)
  - ✓ με την in situ παραγωγή φυσικών βελτιωτικών ουσιών (π.χ. πολυσακχαριτών)
- **δημιουργία νέων εμπορικών προϊόντων**
- **μείωση ενεργειακού και οικονομικού κόστους**

Σύγχρονες τάσεις

Οι παραπάνω σκοποί επιτυγχάνονται με:

- **Ανάπτυξη & βελτιστοποίηση χρήσης νέων καλλιεργειών**
  - ✓ Ενός είδους μικροβίου
  - ✓ Μικτές
  - ✓ Εμπνευσμένες από παραδοσιακό προζύμι ή όχι
- **Χρήση νέων ενζύμων & γαλακτωματοποιητών** (παράγοντες που εμποδίζουν το μπαγιάτεμα – *anti-stalling agents*)

Σύγχρονες τάσεις

Οι παραπάνω σκοποί επιτυγχάνονται με:

- Εφαρμογές γενετικής μηχανικής
  - ✓ τροποποίηση σιταριού (π.χ. για μεγαλύτερη παραγωγή βιταμινών)
  - ✓ τροποποίηση μαγιάς αρτοποιίας & άλλων καλλιεργειών (π.χ. για δυνατότητα ζύμωσης διαφόρων σακχάρων, χρήση σε διάφορα είδη ζυμαριών, παραγωγή φυσικών συντηρητικών ή βελτιωτικών υφής κλπ.)
  - ✓ τροποποίηση μικροοργανισμών για την παραγωγή ενζύμων χαμηλού κόστους για χρήση στην αρτοποιία

Διόγκωση ψωμιού: προζύμι & νέες καλλιέργειες

«Προζύμι είναι ζυμάρι προηγούμενης αρτοποίησης που περιέχει ενεργές μικτές καλλιέργειες από ζυμομύκητες & γαλακτικά βακτήρια και χρησιμοποιείται για την διόγκωση επόμενης παρτίδας ψωμιού»

- **Ζυμομύκητες (μαγιά αρτοποιίας):**
  - ✓ Αλκοολική ζύμωση & διόγκωση ψωμιού
  - ✓ Είδη *Saccharomyces, Candida, Pichia, Hansenula*
- **Γαλακτικά βακτήρια (προζύμι):**
  - ✓ Παραγωγή οξέων & μείωση του pH
  - ✓ Συνεισφέρουν στην δημιουργία αρώματος, τη συγκράτηση υγρασίας & την καλύτερη συντήρηση του ψωμιού
  - ✓ Κυρίως είδη *Lactobacillus* sp.

ΠΡΟΪΟΝ	ΧΛΩΡΙΔΑ
Ψωμί κ.α. προϊόντα αρτοποιίας	*Saccharomyces cerevisiae* Παγκοσμίως
Idli	*Leuconostoc mesenteroides* Νότιες Ινδίες
San Fransisco sourdough bread	*S. exiguus, L. sanfransisco* Βόρεια Καλιφόρνια
Sour pumpernickel	*Leuconostoc mesenteroides* Ελβετία

Άλλα παραδείγματα:

- Χρήση μικτής καλλιέργειας προζυμιού με προπιονικά βακτήρια-*in situ* σχηματισμός προπιονικού οξέως: φυσική συντήρηση του ψωμιού

(*Javanainen 1994*)

- Χρήση του ζυμομύκητα *Kluyveromyces marxianus* μετά από παραγωγή του σε τυρόγαλο: αξιοποίηση του ρυπογόνου αυτού αποβλήτου – περιβαλλοντικό / οικονομικό όφελος

(*Caballero et al., 1995*)

- Χρήση της μικτής καλλιέργειας κεφίρ (ζυμομύκητες & γαλακτικά βακτήρια σε συμβίωση) μετά από παραγωγή της σε τυρόγαλο ως άνω

(*Ομάδα Βιοτεχνολογίας Τροφίμων του Τμήματος*)

- Ανάπτυξη επιθυμητού αρώματος σε νέου τύπου προϊόντα με προσθήκη πρόδρομων ενώσεων – στροφή του καταναλωτή στο ψωμί κι όχι σε λιπαρές –*fast food* – τροφές:

Άλλα παραδείγματα:

Προσθήκη στο αλεύρι ουσιών που μεταβολίζονται από τη μαγιά σε ενώσεις με χαρακτηριστικό άρωμα π.χ. ποπ-κορν (!):

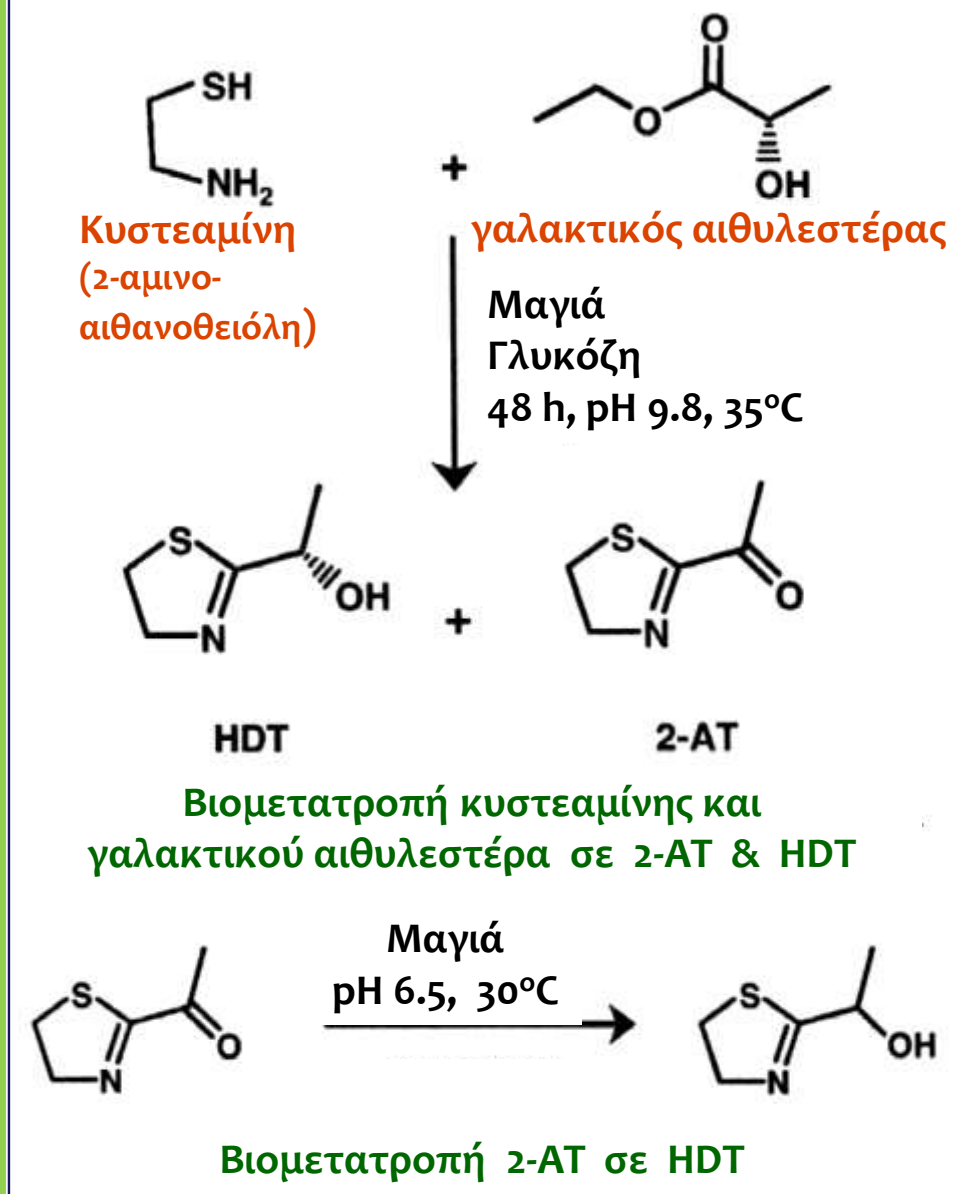
Σχηματισμός 2-ακετυλο-2-θειαζολίνης

(2-AT)

και 2(1-υδροξυαιθυλο)-4,5-διυδρο-θειαζόλιου

(HDT)

από κυστεαμίνη και γαλακτικό αιθυλεστέρα



Γενικά οι παράγοντες που επηρεάζουν το άρωμα/γεύση των προϊόντων αρτοποιίας:

- **Σύσταση** (αλεύρι, μικροχλωρίδα, λίπος πρόσθετα)
- **Κατεργασία αρτομάζας**
- **Αλκοολική ζύμωση** (θερμοκρασία, σάκχαρα, ένζυμα, μικροοργανισμοί αλλοίωσης)
- **Ψήσιμο** (θερμοκρασία, χρόνος, συγκέντρωση σακχάρων, αλάτι, αμινοξέα)

Ανακεφαλαίωση

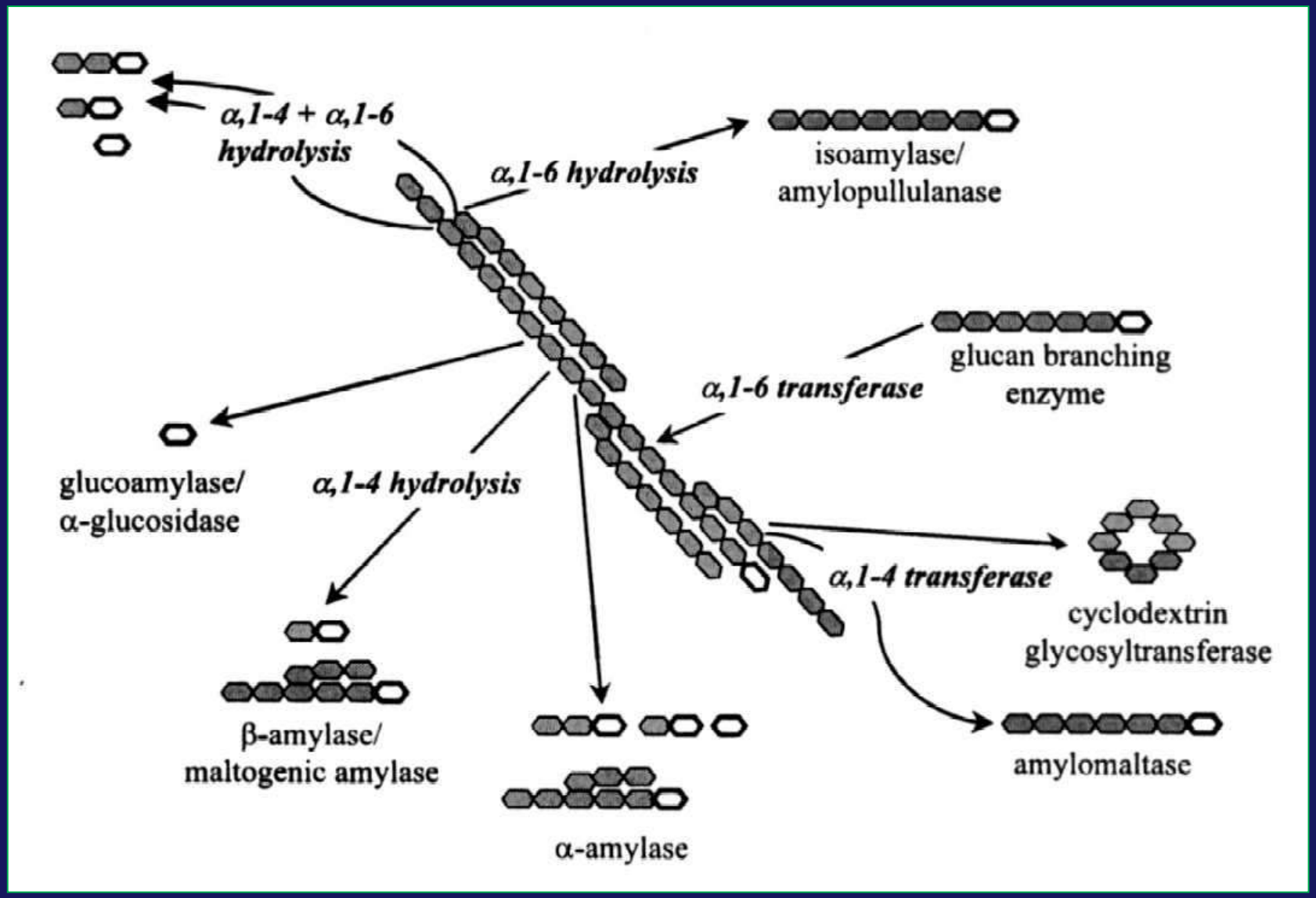
Οι σκοποί της έρευνας στην αρτοποίηση επιτυγχάνονται με:

- **Προζύμι – νέες καλλιέργειες**
- **Χρήση ενζύμων**
- **Χρήση γαλακτωματοποιητών**
- **Εφαρμογές γενετικής μηχανικής & τεχνολογίας ανασυνδυασμένου DNA:**
  - ✓ **τροποποίηση σιταριού**
  - ✓ **τροποποίηση μαγιάς αρτοποιίας και άλλων καλλιεργειών**
  - ✓ **τροποποίηση μικροοργανισμών για τη παραγωγή ενζύμων χαμηλού κόστους**

Πρόσθετα ένζυμα στην αρτοποίηση

- α-αμυλάσες
- β-αμυλάσες
- μαλτογενείς αμυλάσες
- γλυκοαμυλάσες
- διακλαδίζοντα ένζυμα
- οξειδάσες των εξοζών
- ημικυτταρινάσες
- πρωτεάσες
- λιπάσες

Δράσεις αμυλολυτικών ενζύμων



α-αμυλάσες (anti-staling agents)

- Υδρόλυση αμύλου σε ζυμώσιμα σάκχαρα & διευκόλυνση της διόγκωσης με αλκοολική ζύμωση
- Καθυστέρηση του μπαγιατέματος με επίδραση στη δομή της αμυλοπηκτίνης
- Έλεγχος της περιεκτικότητας του τελικού προϊόντος σε ζυμώσιμα σάκχαρα (π.χ. στο ψωμί για τοστ: διαθέσιμα σάκχαρα για καραμελοποίηση κατά το ψήσιμο και δημιουργία χαρακτηριστικού χρώματος)
  - ⌦ Μεγάλες δόσεις μπορούν να προκαλέσουν κολλώδη υφή στο ψωμί λόγω σχηματισμού διακλαδισμένων μαλτοδεξτρινών

Πρωτεάσες

- Χρήση:
  - τροποποίηση ζυμαριού με μεγάλη ποσοστό γλουτένης
  - παραγωγή μπισκότων και κράκερς

- Προέλευση:
  - είδη *Bacillus, Rhizomucor & Mucor*
  - κοινή πρακτική στη βιομηχανία των ενζύμων είναι η κλωνοποίηση γονιδίων των ενζύμων από τα είδη αυτά σε είδη *Aspergillus* (ο κύριος μύκητας που χρησιμοποιείται για παραγωγή ενζύμων)

Πρωτεάσες

- Πλεονεκτήματα:
  - Μείωση του χρόνου μίξης του ζυμαριού επομένως μικρότερη κατανάλωση ενέργειας
  - Βελτίωση ποιότητας του προϊόντος
  - Αντικατάσταση των χημικών προσθέτων που χρησιμοποιούνται για μείωση των –S-S- δεσμών της γλουτένης
  - Αύξηση του χρόνου συντήρησης

Λιπάσες

Καταλύουν κυρίως αντιδράσεις εστεροποίησης και μετεστεροποίησης των λιπαρών υλών

- Χρήση:
  - ✓ βελτίωση του αρώματος του προϊόντος
- Προέλευση:
  - ✓ *Aspergillus, Pseudomonas, Achromobacter, Candida, Rhizopus, Mucor* κ.α.
  - ✓ κλωνοποιηένα είδη *Aspergillus oryzae*

Γαλακτωματοποιητές

Χρησιμοποιούνται ευρέως ως

- ✓ βελτιωτικά της υφής
- ✓ αύξηση του χρόνου συντήρησης
- ✓ αύξηση της διόγκωσης

Συνήθως είναι:

- ✓ **μόνο- & διγλυκερίδια λιπαρών οξέων**, π.χ. μονοστεατικό (E471)
- ✓ **πολυσορβικό-60**
- ✓ **λεκιθίνες** (συνήθως σόγιας, E322)
- ✓ **μίγματα φωσφολιπιδίων**, π.χ. φωσφατιδυλοχολίνη & φωσφατιδυλοαιθανολαμινη)
- ✓ **εστέρες μονογλυκεριδίων** λιπαρών οξεων (E472a-f)

Αρτοποιία - Σύγχρονες Τάσεις

- Η πρώτη γενετικά τροποποιημένη μαγιά εγκρίθηκε για παραγωγή το 1990 και τα πρώτα μεταλλαγμένα φυτά το 1992.

- Οι αλλαγές αυτές άνοιξαν το δρόμο στην χρήση της γενετικής και της μοριακής βιολογίας για το όφελος των καταναλωτών, όσον αφορά τις προτιμήσεις και το οικονομικό όφελος.

- Το ενδιαφέρον των καταναλωτών για την χρήση καθαρών τεχνολογιών οδήγησε στην στροφή της βιομηχανίας στην παραγωγή ψωμιού με την χρήση προζυμιού

Αρτοποιία - Σύγχρονες Τάσεις

- Η τεράστια επίπτωση των σύγχρονων τεχνολογιών (χημείας και βιοτεχνολογίας) στην παραγωγή ψωμιού & προϊόντων αρτοποιίας θα φανεί με τη χρήση ενζύμων για τη βελτίωση της ποιότητας του ψωμιού

- Με τις ραγδαίες εξελίξεις στην τεχνολογία του r-DNA και των βιοδιεργασιών θα πέσει το κόστος παραγωγής των ενζύμων

- Υπολογίζεται ότι η αγορά των ενζύμων αρτοποιίας θα αναπτυχθεί με ρυθμούς πιο μεγάλους σε σχέση με την αγορά των ενζύμων όλης της βιομηχανίας τροφίμων.

Αρτοποιία - Σύγχρονες Τάσεις

- Περίπου 85 εκατομμύρια τόνοι αλεύρι σίτου χρησιμοποιούνται καθημερινά για την παραγωγή ψωμιού

- 10-15% του ψωμιού πετιέται, αλλά αν αυτό μπορούσε να διατηρηθεί φρέσκο για 5-7 ημέρες ακόμη, θα πετούσαμε 7 εκατ. τόνους αλεύρι τον χρόνο λιγότερο

- Η ποσότητα αυτή αντιστοιχεί στο 40% του ψωμιού που καταναλώνεται σε μια χώρα όπως οι ΗΠΑ