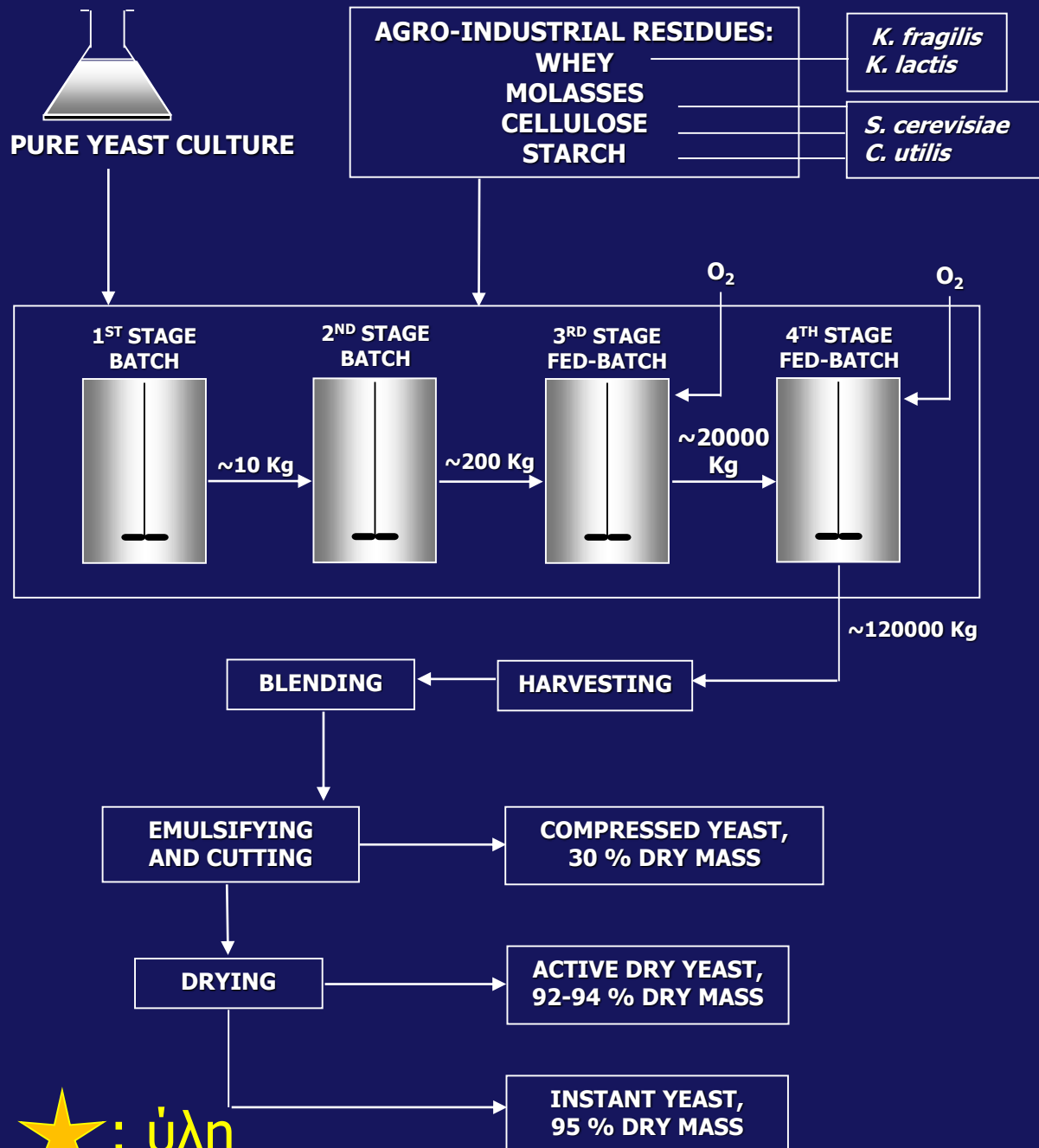


Αρτοποιία και νέες τάσεις

Αργυρώ Μπεκατώρου
Χημικός

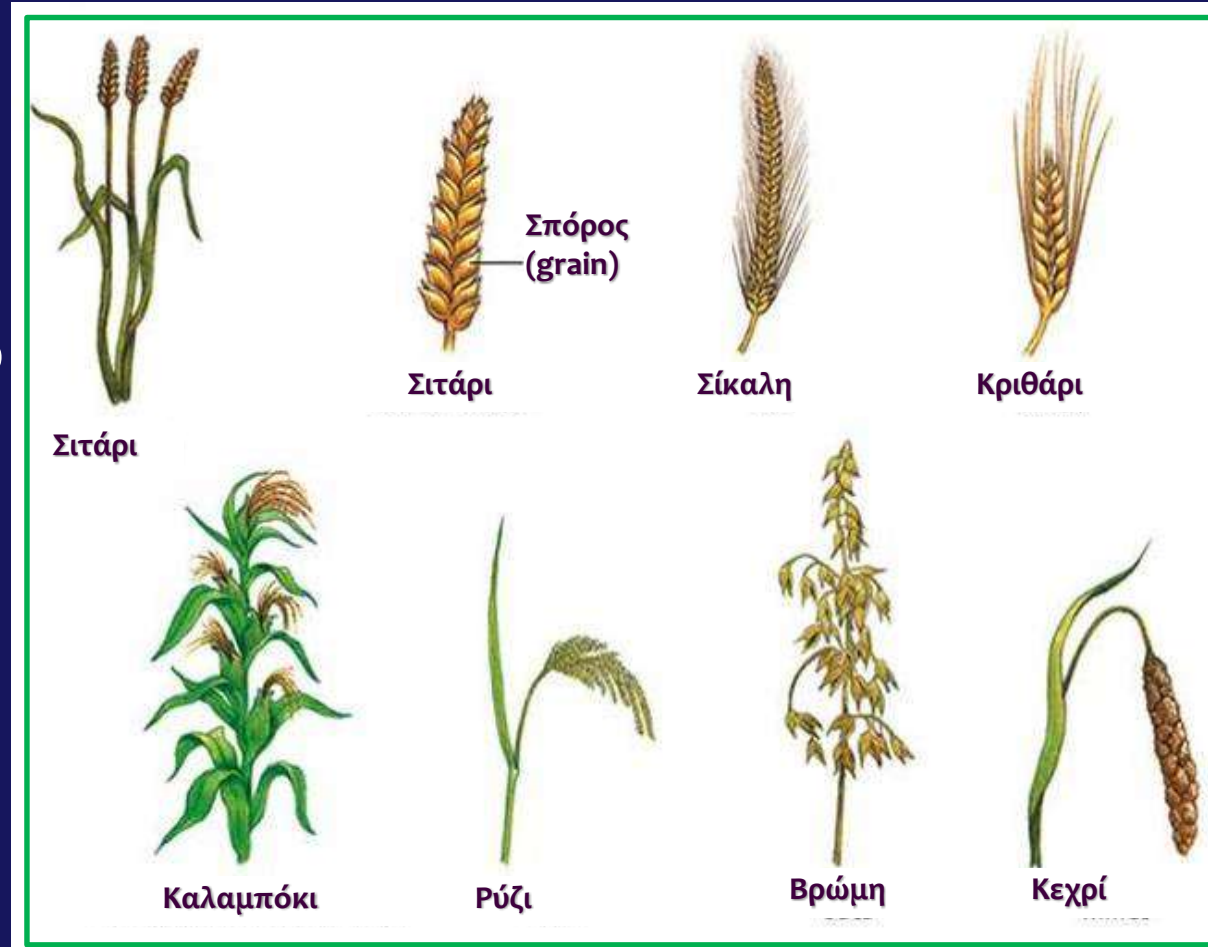
Καθηγήτρια Τμήματος
Χημείας Πανεπιστημίου
Πατρών

Πάτρα 2024



★ : ύλη

- 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



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

ΕΝΔΟΣΠΕΡΜΙΟ

(Πηγή σύνθετων υδατανθράκων, Βιταμινών B & πρωτεϊνών)

ΠΕΡΙΚΑΡΠΙΟ

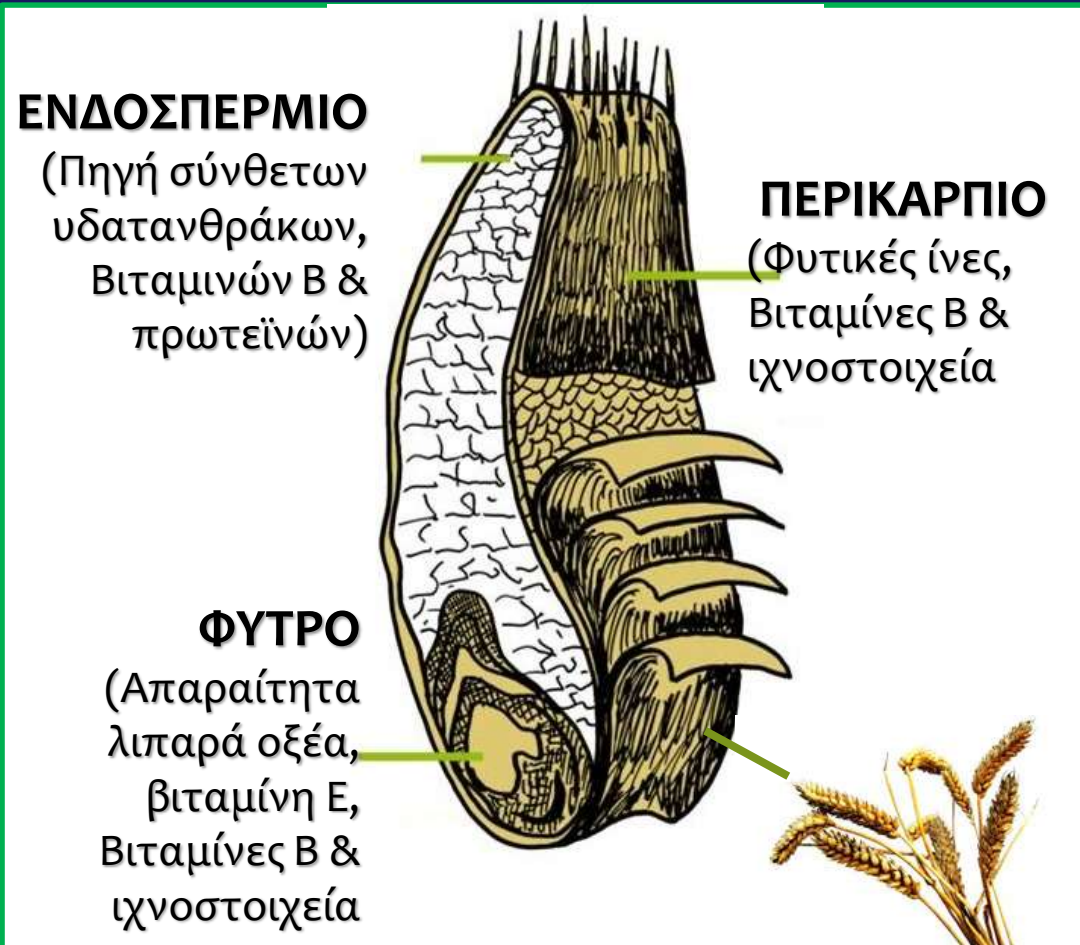
(Φυτικές ίνες, Βιταμίνες B & ιχνοστοιχεία)

ΦΥΤΡΟ

(Απαραίτητα λιπαρά οξέα, βιταμίνη E, Βιταμίνες B & ιχνοστοιχεία)



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





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
ΚΑΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ
ΓΕΝΕΤΙΚΗΣ
ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΕΝΖΥΜΑ,
ΑΛΛΑ ΠΡΟΣΘΕΤΑ

ΝΕΑ ΠΡΟΤΟΝΤΑ
ΑΡΤΟΠΟΙΙΑΣ

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

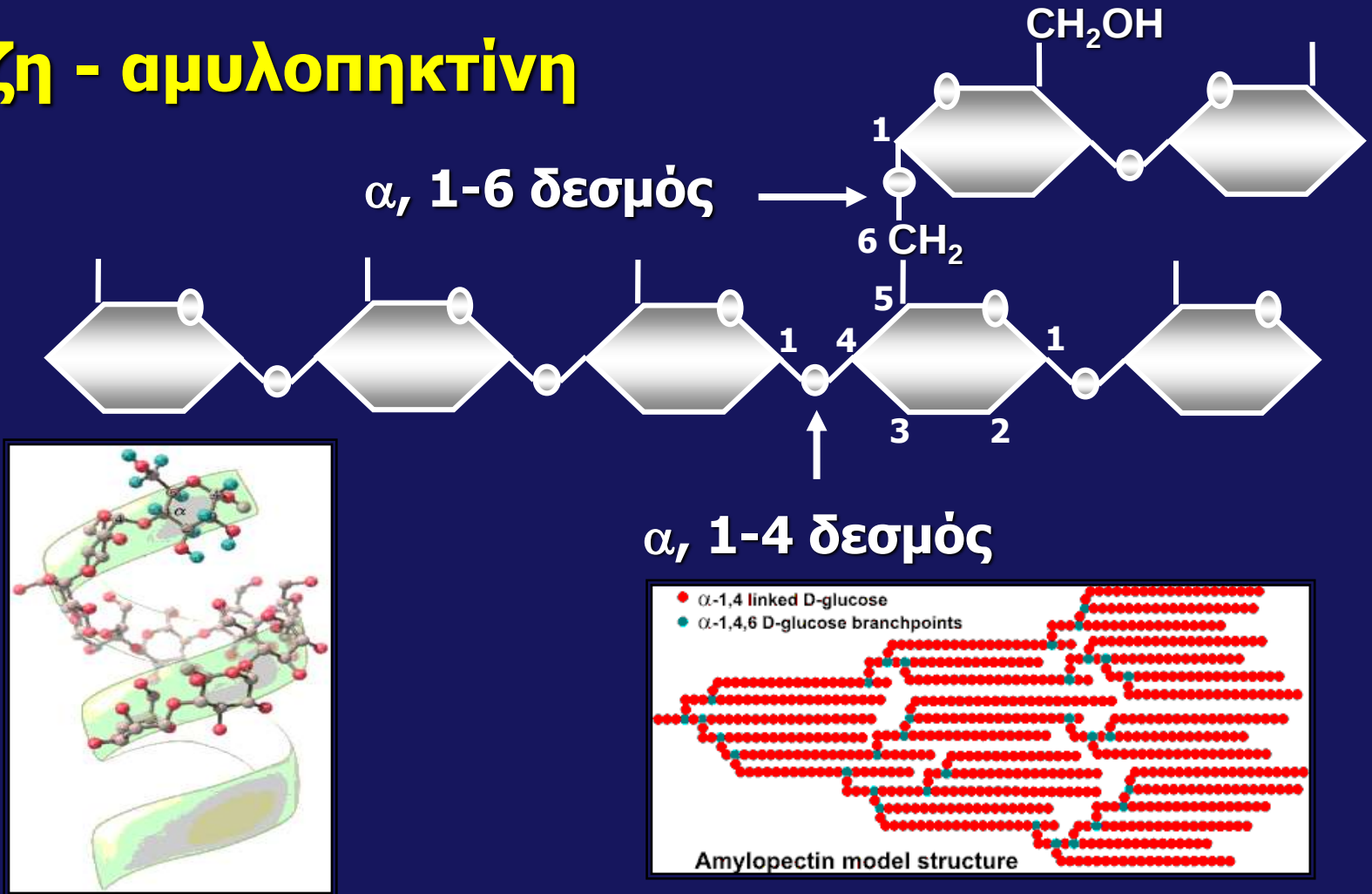
Αλεύρι - Αρτοποιητική ικανότητα

ΑΜΥΛΟ

Το άμυλο αποτελείται από:

- ✓ **αμυλόζη** (25%): γραμμικό πολυμερές, 500-20 000 μονάδες D-γλυκόζης ενωμένες με α -1,4 δεσμούς
- ✓ **αμυλοπηκτίνη** (75%): πολυμερές, $\sim 10^6$ 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

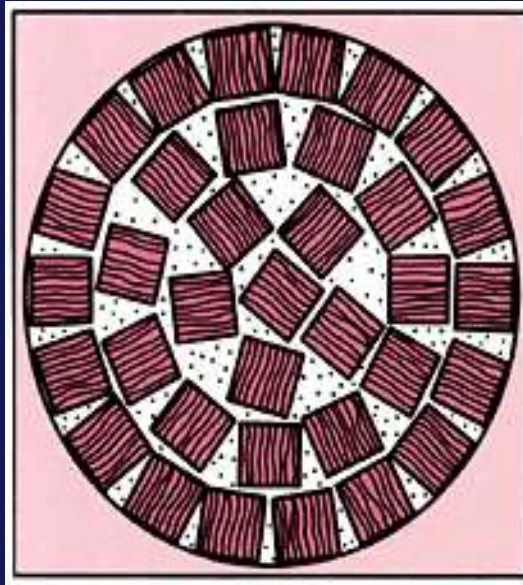


✓ Οι α -1,4 δεσμοί είναι πιο ευέλικτοι και έχουν την τάση να δημιουργούν ελικοειδής δομές

✓ 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



**Δομή των
κόκκων του
αμύλου**



Μικκύλιο



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:



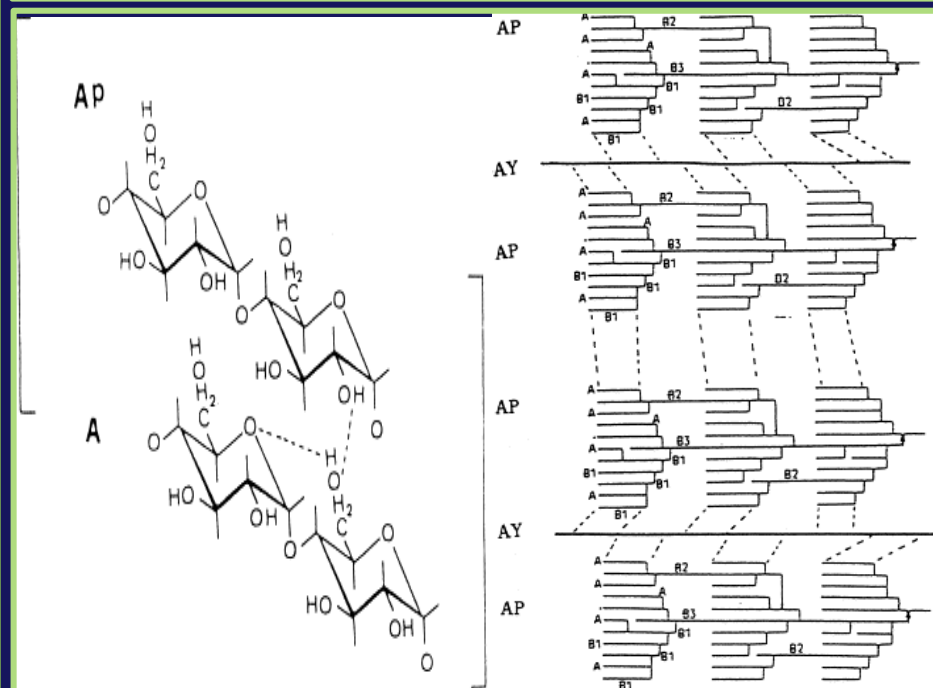
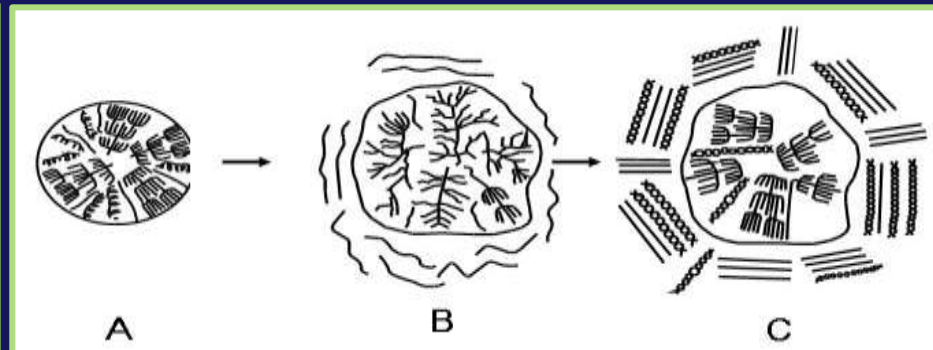
- ✓ Το **νερό μεταναστεύει** απ' το πλέγμα των πρωτεϊνών και απορροφάται από τους κόκκους του αμύλου
- ✓ Το άμυλο **ζελατινοποιείται**
- ✓ Τα σάκχαρα **καραμελοποιούνται** (αλληλεπιδρούν με αμινοξέα και πεπτίδια), παράγοντας το χαρακτηριστικό χρώμα, άρωμα και γεύση του ψωμιού



Αλεύρι - Άμυλο / ζελατινοποίηση

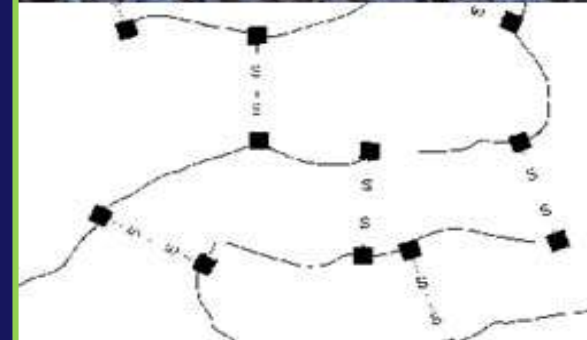
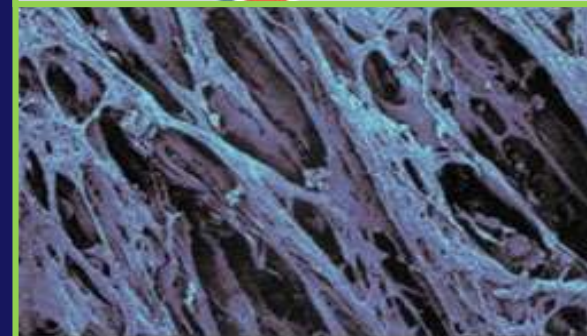
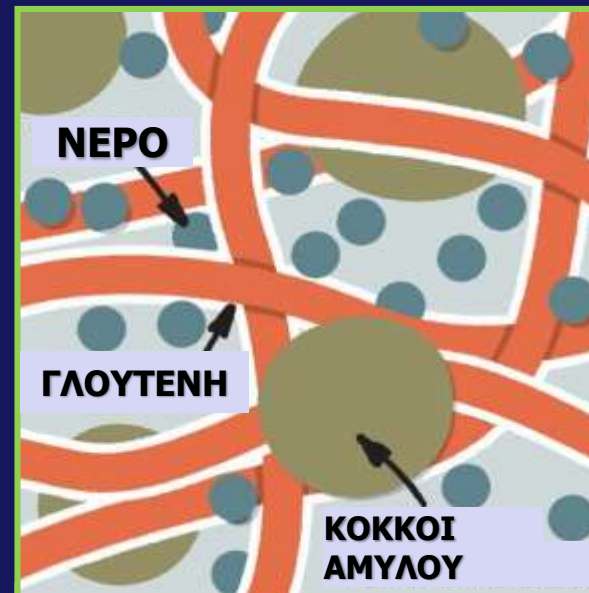
■ Οι κόκκοι του αμύλου παρουσία νερού:

- ✓ **διογκώνονται** ελαφρά αλλά διατηρούν τη δομή τους
- ✓ καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία δημιουργούνται **διαμοριακοί δεσμοί H** ανάμεσα στα πολυμερή του αμύλου
- ✓ **μειώνεται η ενεργότητα** του νερού σημαντικά και το ιξώδες αυξάνει
- ✓ **χάνεται η κρυσταλλική δομή** και το άμυλο «ζελατινοποιείται»



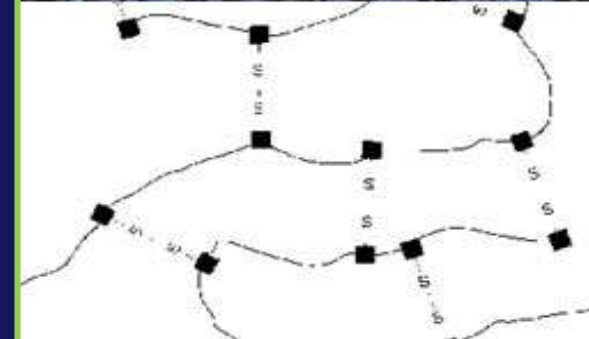
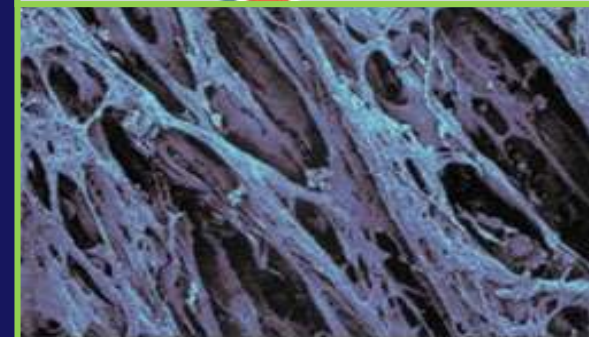
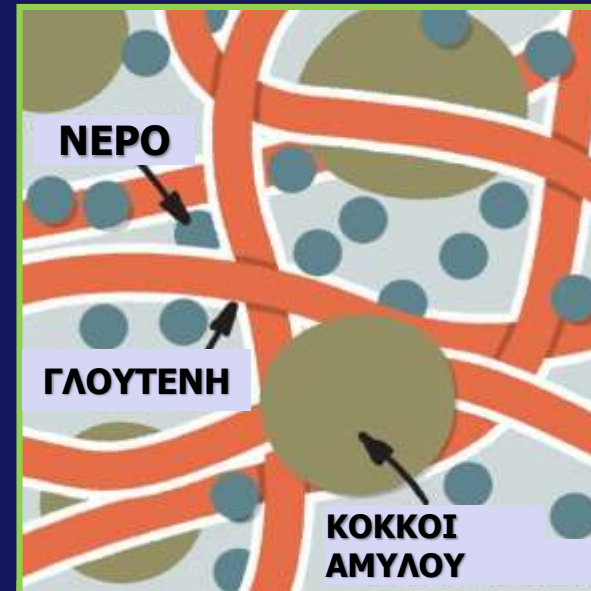
Αλεύρι - Πρωτεΐνες / Γλουτένη

- 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)

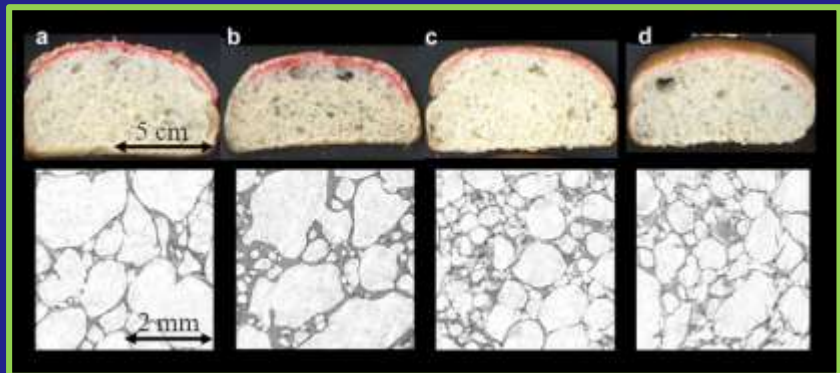




Αλεύρι - Πρωτεΐνες / Γλουτένη

- 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

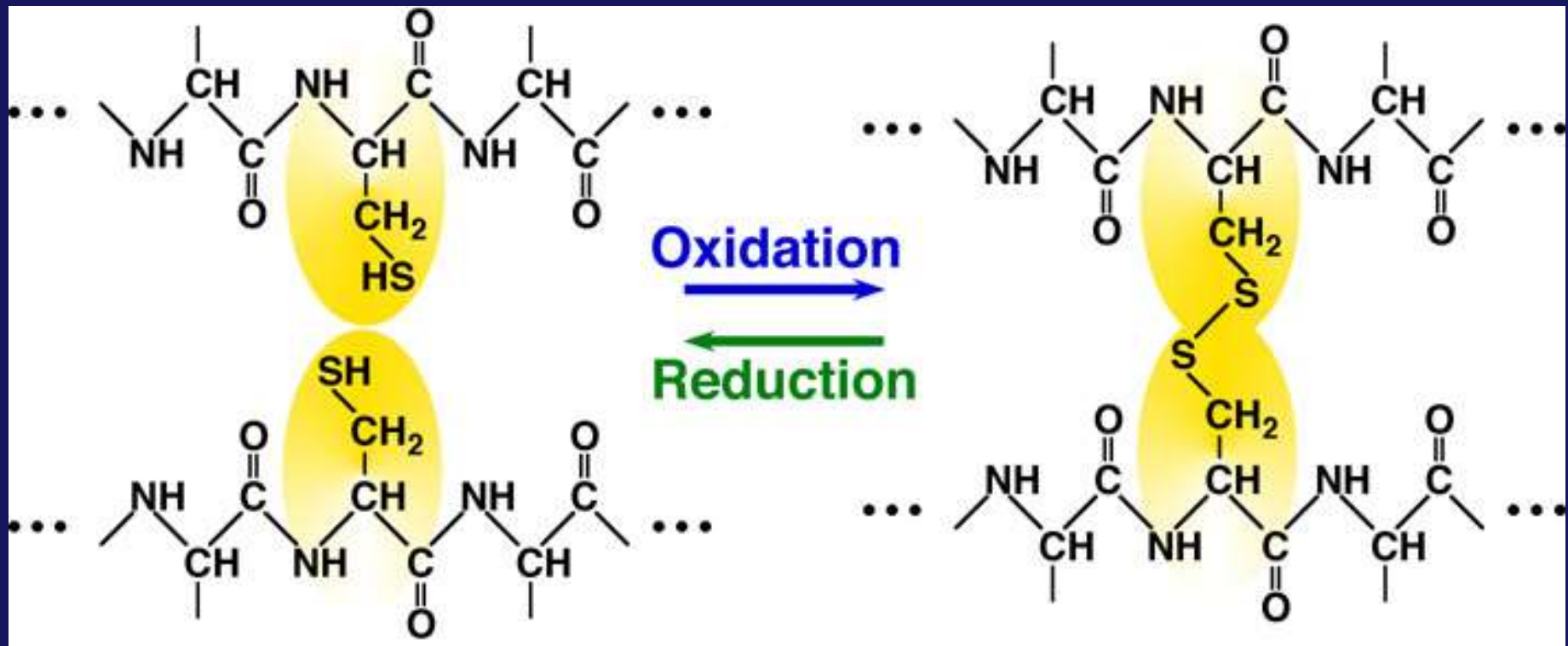


Αλεύρι - Πρωτεΐνες / Γλουτένη

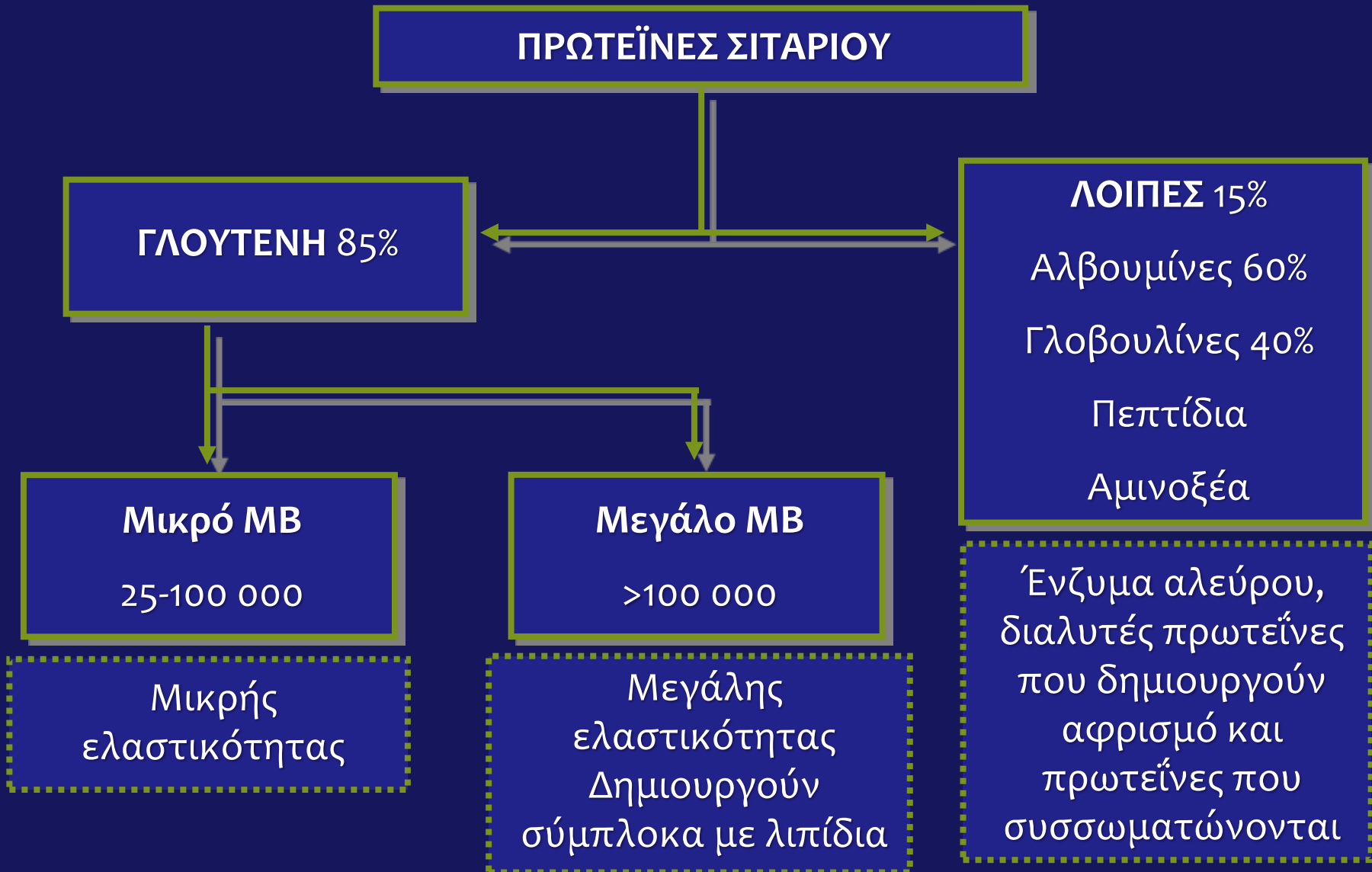
Συγκεκριμένα **οι ιξωδοελαστικές (ρεολογικές)** ιδιότητες, που καθορίζουν την αρτοποιητική ικανότητα του ζυμαριού, εξαρτώνται από:

- **MB** επιμέρους πρωτεϊνικών κλασμάτων της γλουτένης
- Αριθμό **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 **φυσικών αντιοξειδωτικών** (π.χ. Βιτ. C & E)
- Παρουσία **πρωτεολυτικών ενζύμων**

Αλεύρι - Πρωτεΐνες / Γλουτένη



Αλεύρι - Πρωτεΐνες / Γλουτένη





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 αρτοποιία:

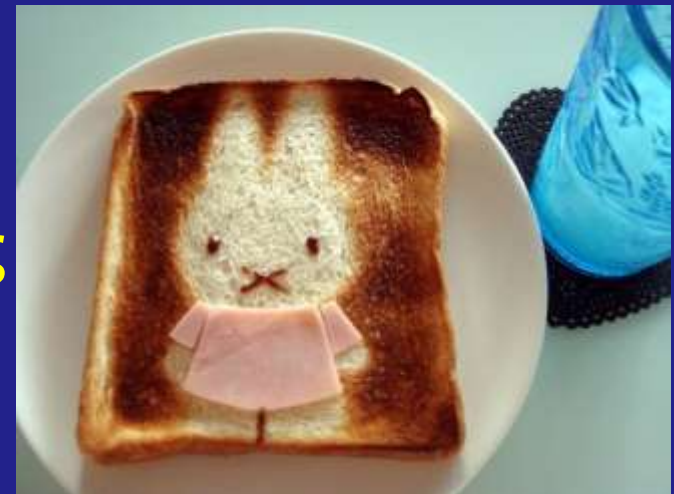
- ✓ **Βέλτιστη ενεργοποίηση & δράση κατά το θερισμό** ευνοεί τη **σωστή διόγκωση** του ζυμαριού από τη μαγιά παρέχοντας ζυμώσιμα σάκχαρα (**γλυκόζη, μαλτόζη**)
- ✓ **Δυσμενείς συνθήκες κατά το θερισμό** (π.χ. υψηλή θερμοκρασία/υγρασία) ευνοούν την ενεργοποίηση αμυλασών και την **εκτεταμένη υδρόλυση του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

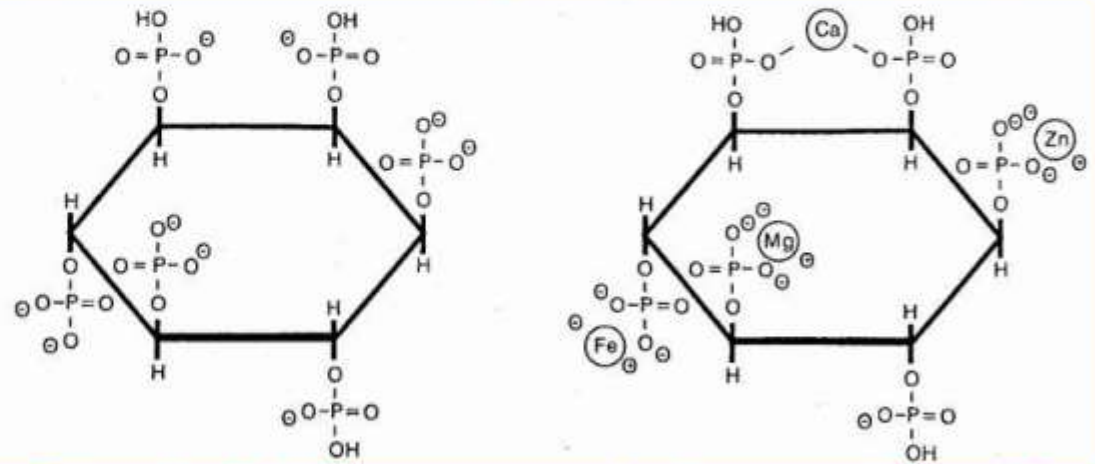
όξινες πρωτεάσες με βέλτιστο pH 4-5 & επηρεάζουν τη δημιουργία γλουτένης & τις ρεολογικές ιδιότητες του ζυμαριού

■ 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:

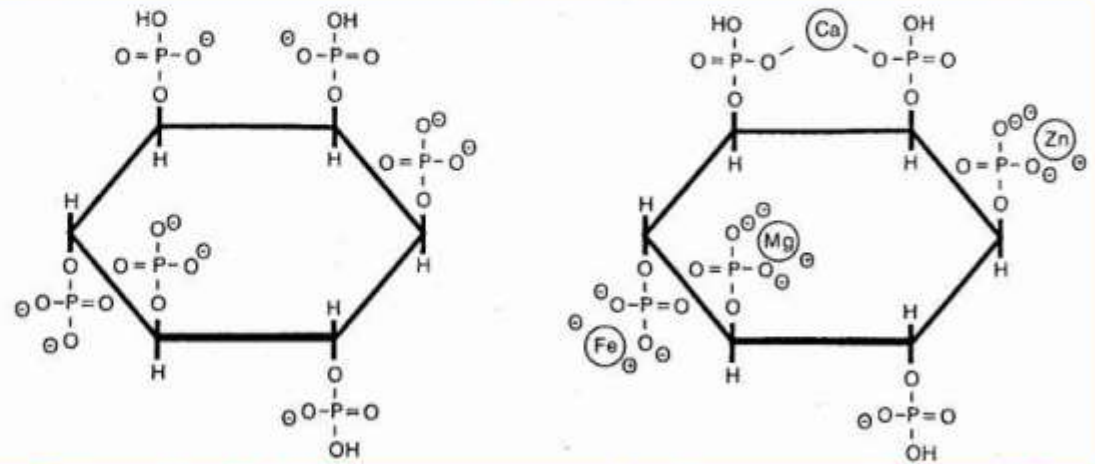
όξινες πρωτεάσες με βέλτιστο pH 4-5 & επηρεάζουν τη δημιουργία γλουτένης & τις ρεολογικές ιδιότητες του ζυμαριού

■ 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



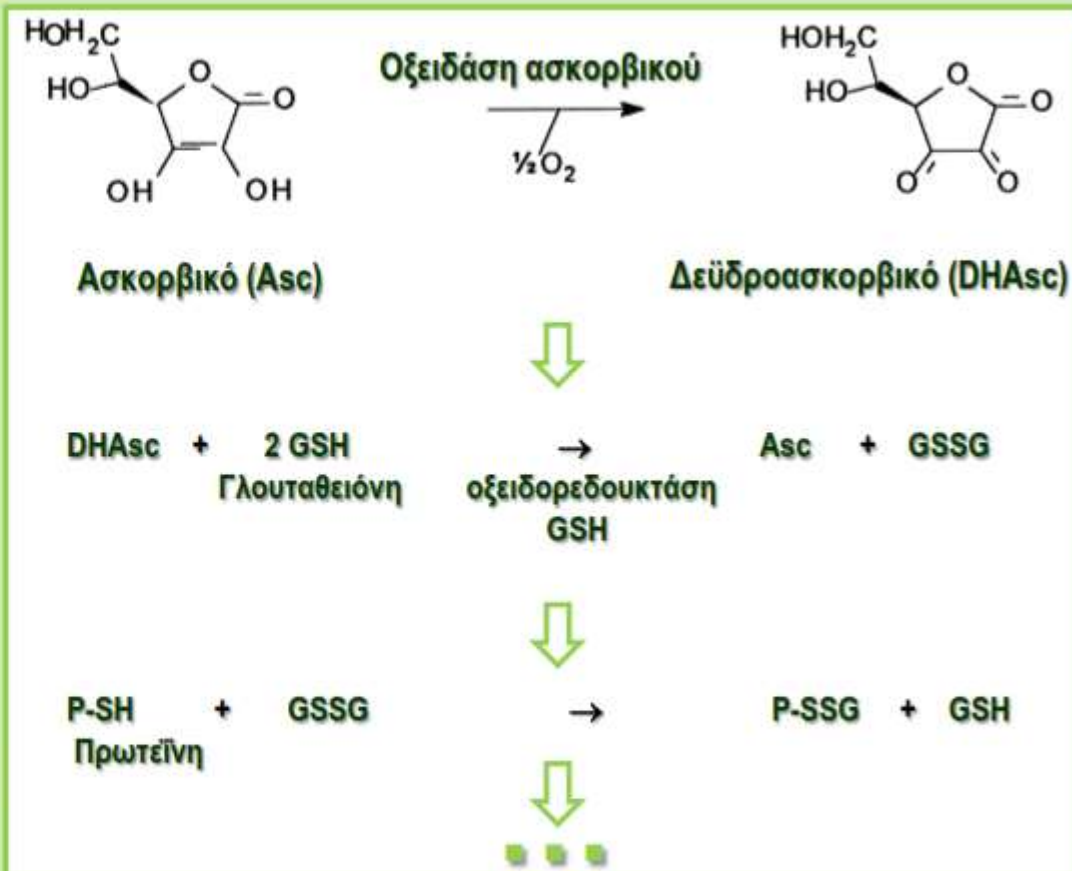
Φυτικό οξύ (εξαφωσφορική μέσο-ινοσιτόλη – IP6 και σύμπλοκο με κατιόντα μετάλλων)



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 διαστερεοϊσομερή 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>

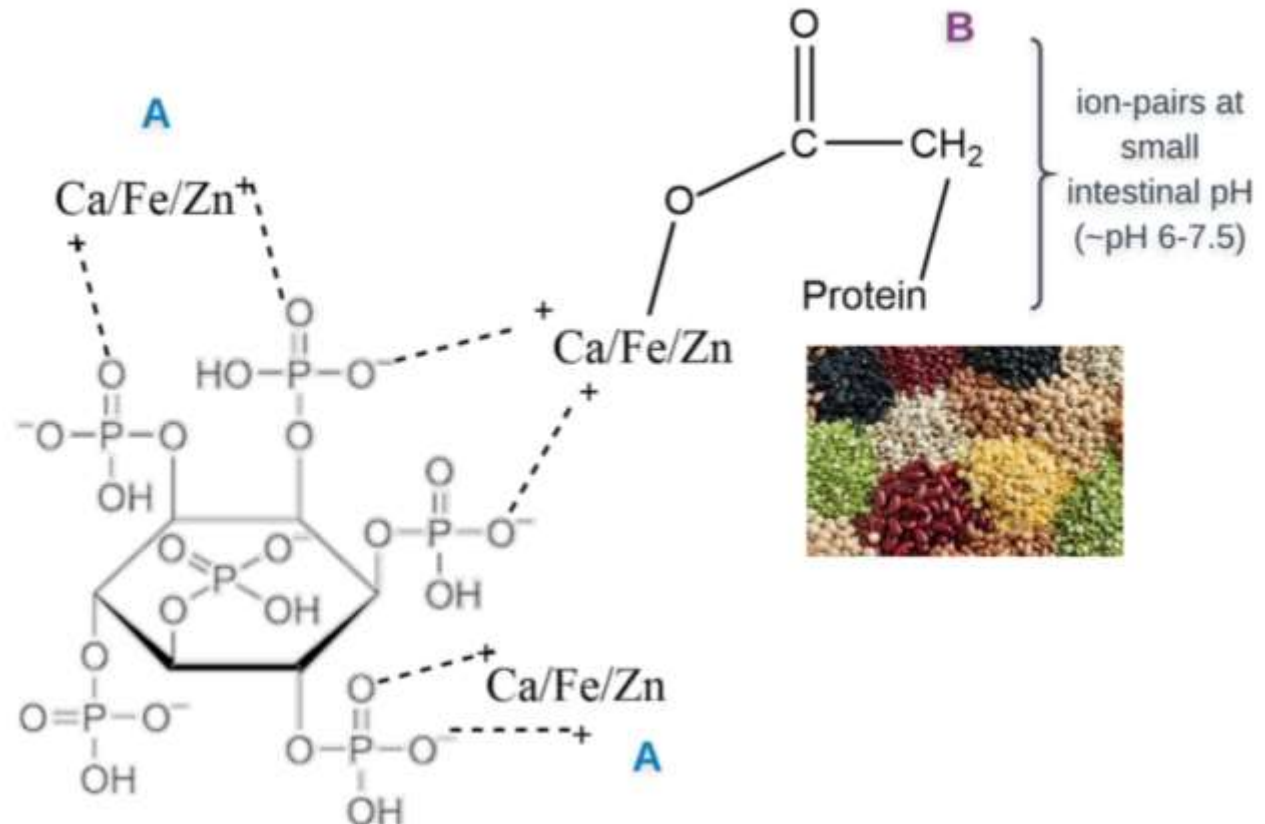
A: Binary complexation

Solubility: pH and molar ratio-dependent

Affinity order (pH 7):
 $\text{Zn(II)} > \text{Fe(II)} > \text{Fe(III)} > \text{Ca(II)}$

B: Ternary complexation

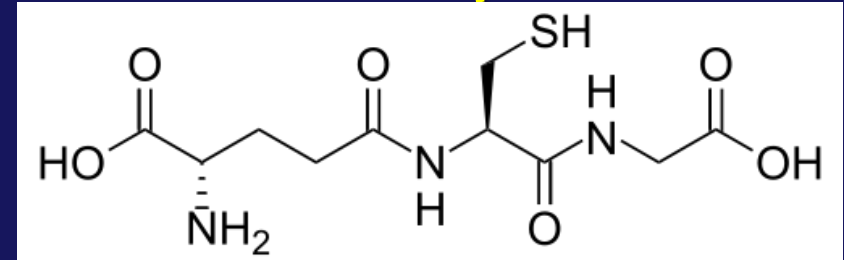
Protein salt-bridge: when
 $\text{pH} > \text{isoelectric point} (\sim \text{pH } 4.5 - 5)$





Αλεύρι - Δευτερεύοντα συστατικά-πρόσθετα

**Γλουταθειόνη GSH:

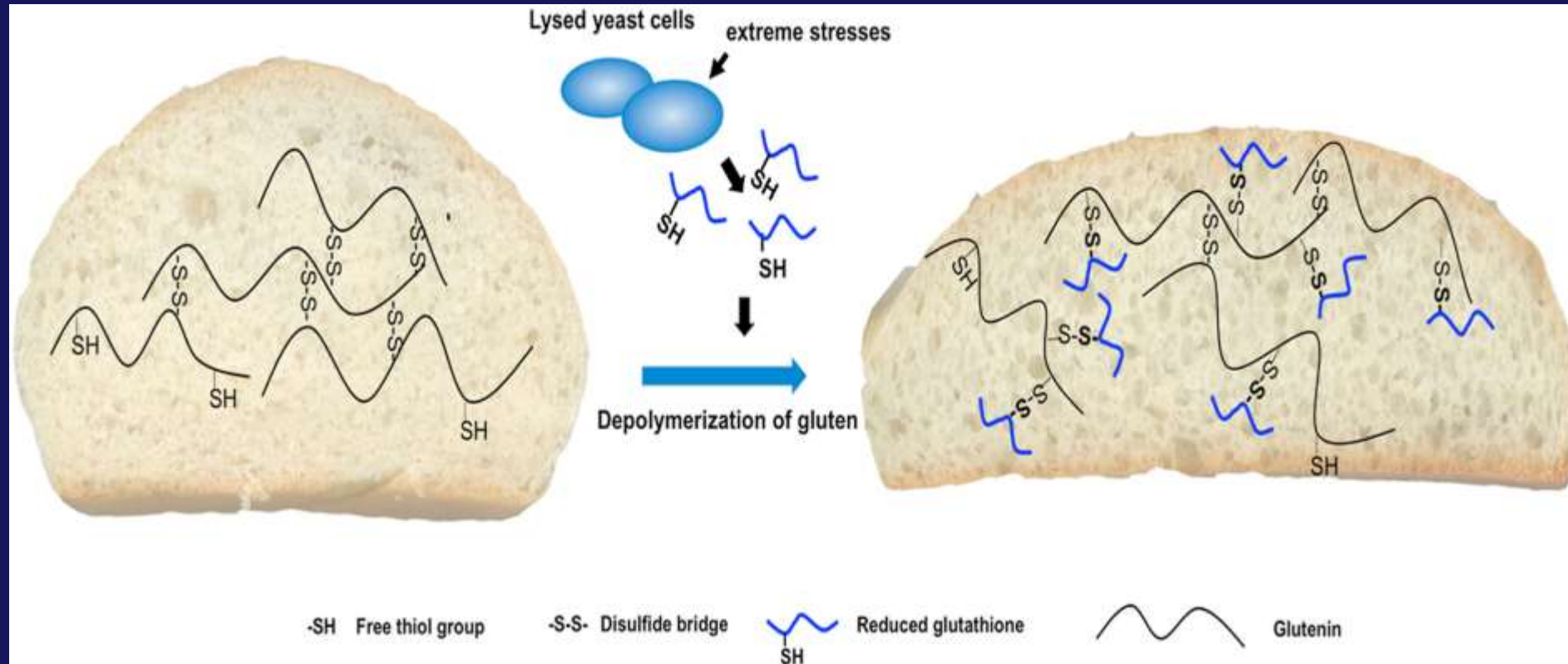


- Οργανική χημική ένωση με σημαντική αντιοξειδωτική δράση στους ζωντανούς οργανισμούς
- Τριπεπτίδιο γλουταμινικού οξέος, κυστεΐνης και γλυκίνης
- Παίρνει μέρος στα φαινόμενα οξειδοαναγωγής των ιστών, διαδραματίζοντας ρόλο μεταφορέα H και αποτελεί έναν από τους κύριους παράγοντες σταθερότητας του δυναμικού 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

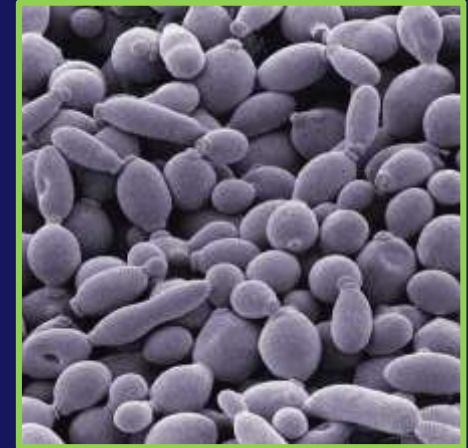
Ψωμί - Διόγκωση / σακχαρομύκητες

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:

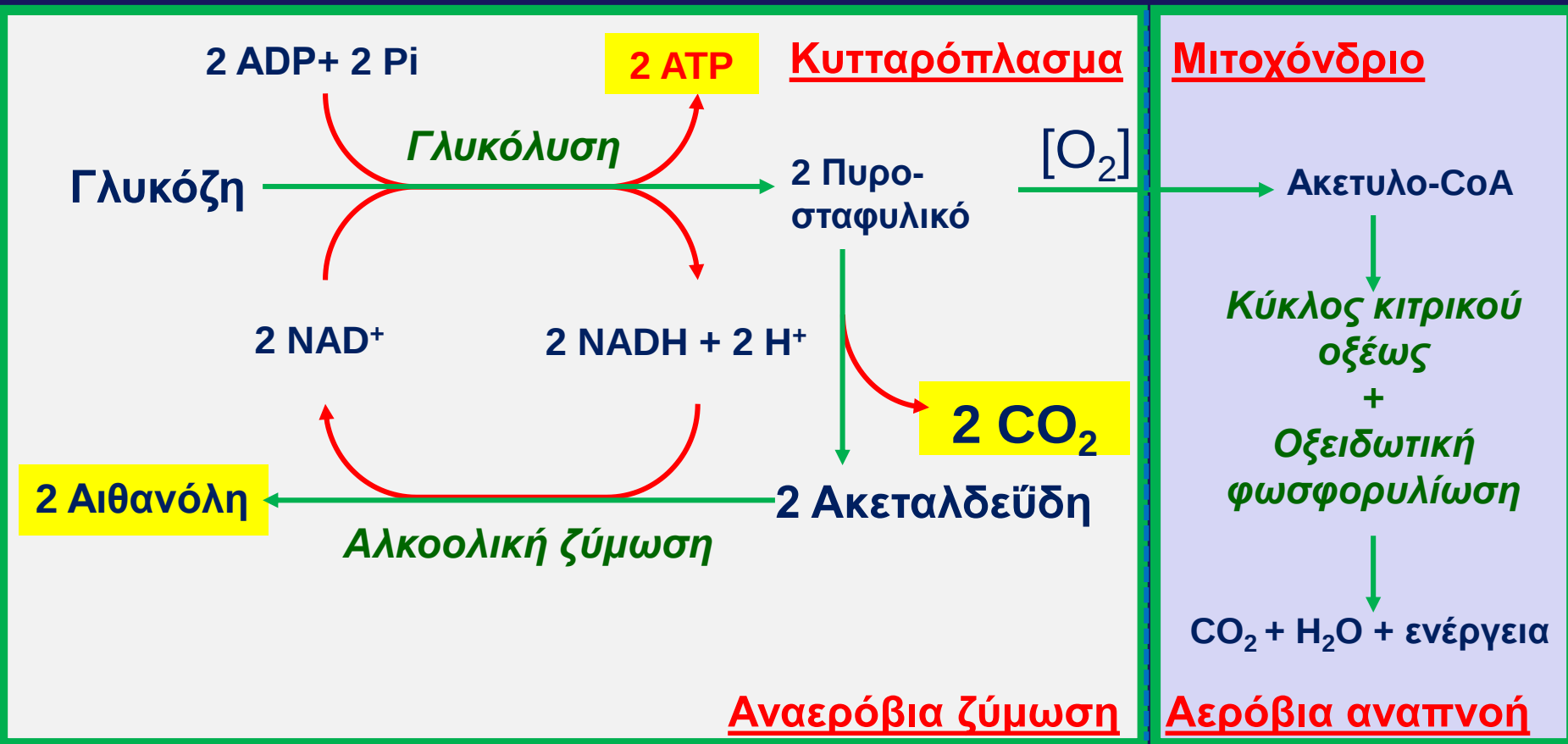
είδη *Lactobacillus* κ.α.



- 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

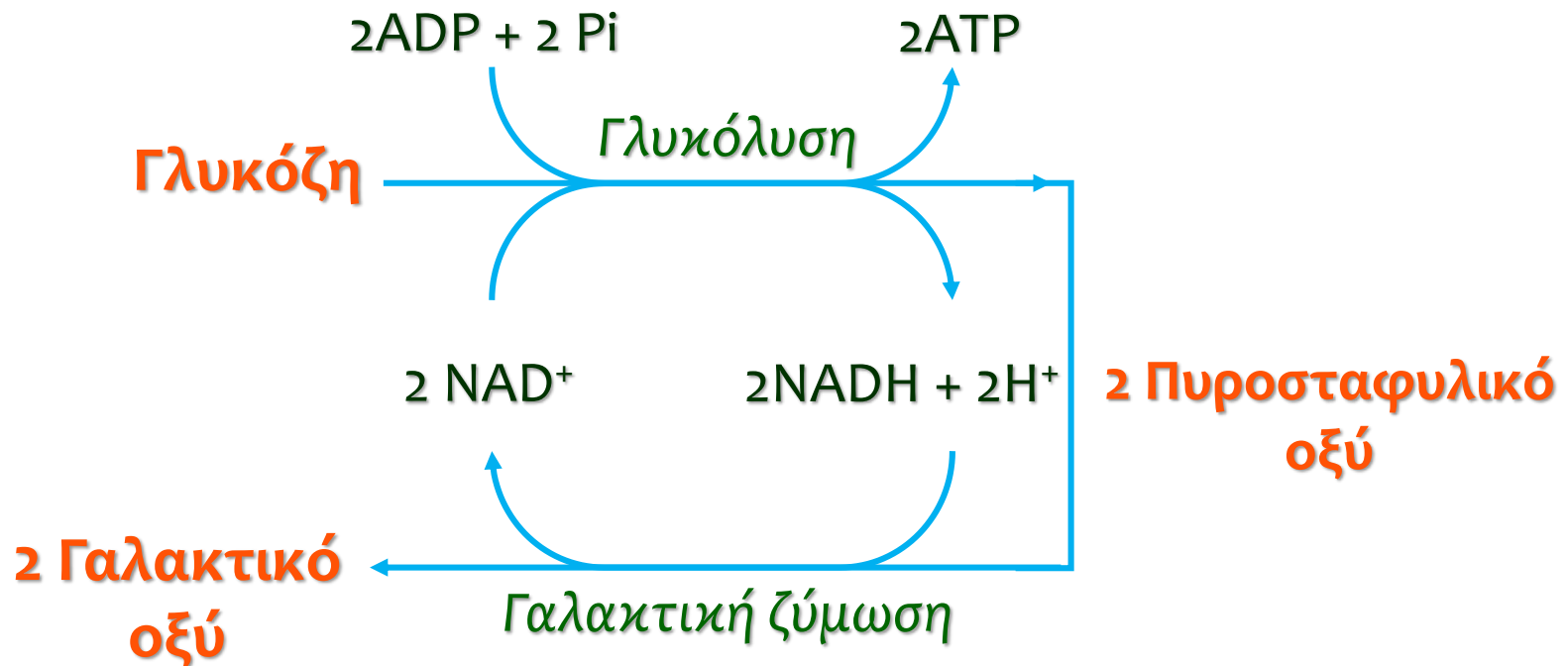
Αλκοολική ζύμωση



Σύνοψη της αλκοολικής ζύμωσης

Ψωμί - Διόγκωση / γαλακτικά βακτήρια

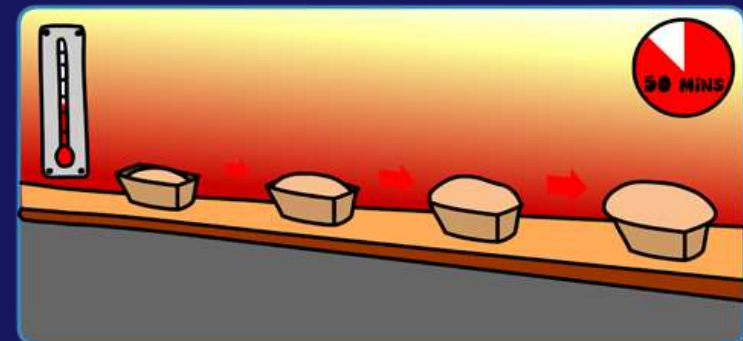
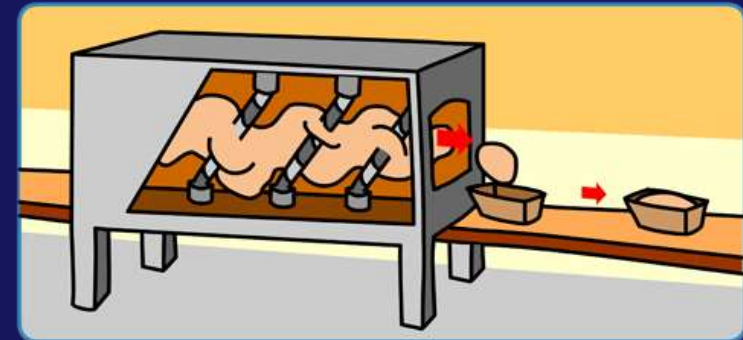
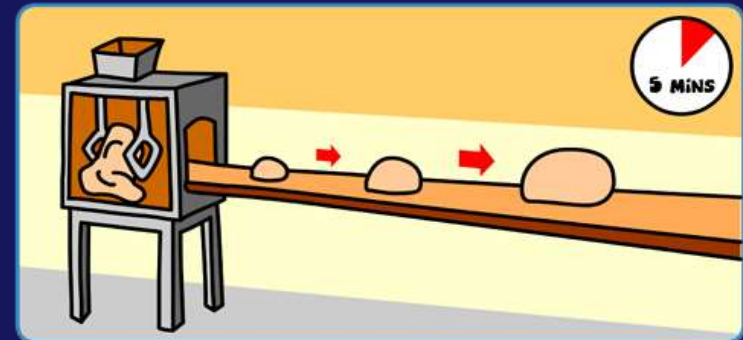
Γαλακτική ζύμωση



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

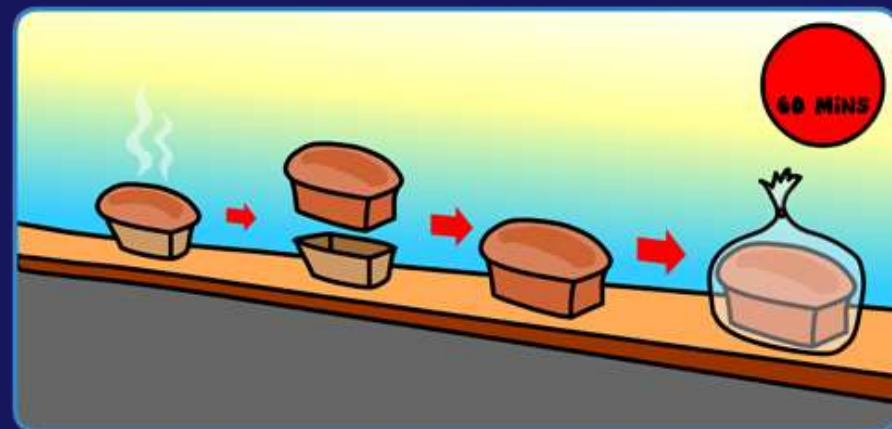


Ψωμί - Στάδια παρασκευής

■ Ψήσιμο

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

■ Συσκευασία



Ψωμί - 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

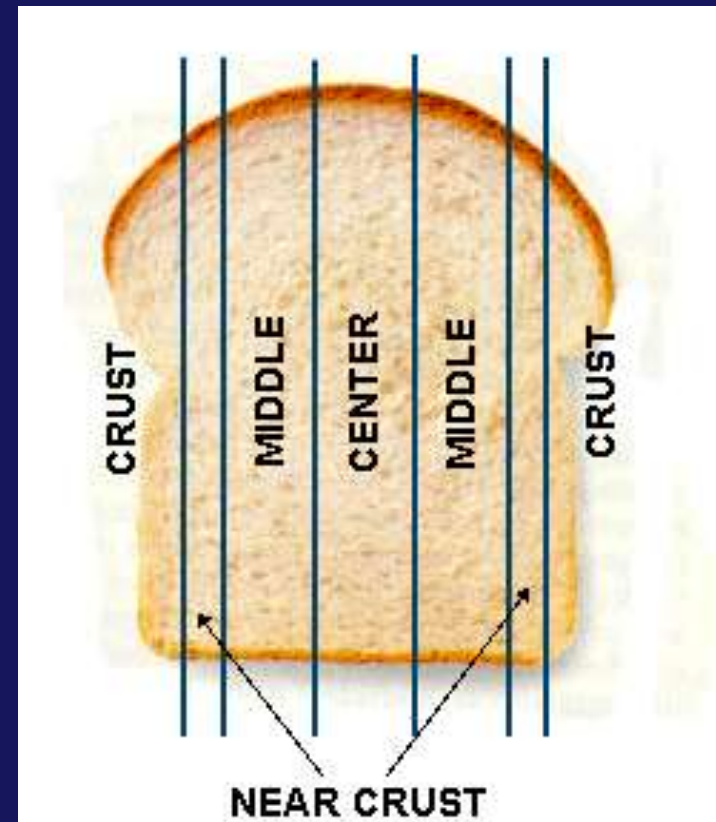
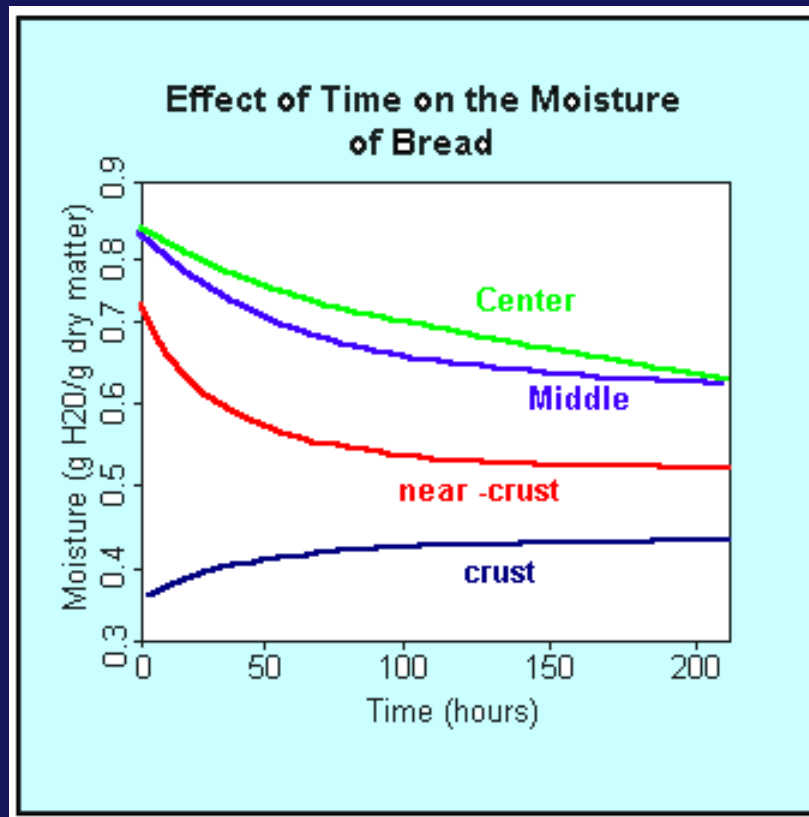


«Μπαγιάτεμα» του ψωμιού (*staling*)

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)



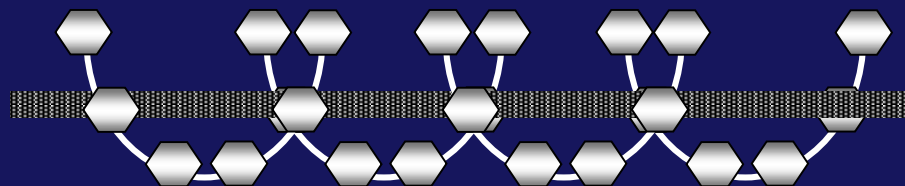
Αμυλόζη

Γρήγορη δημιουργία
διαμορ. δεσμών -H,
αύξηση
κρυσταλλικότητας



Παλινδρομημένη
(retrograded) αμυλόζη
(σκληρή)

+
γαλακτωματοποιητής

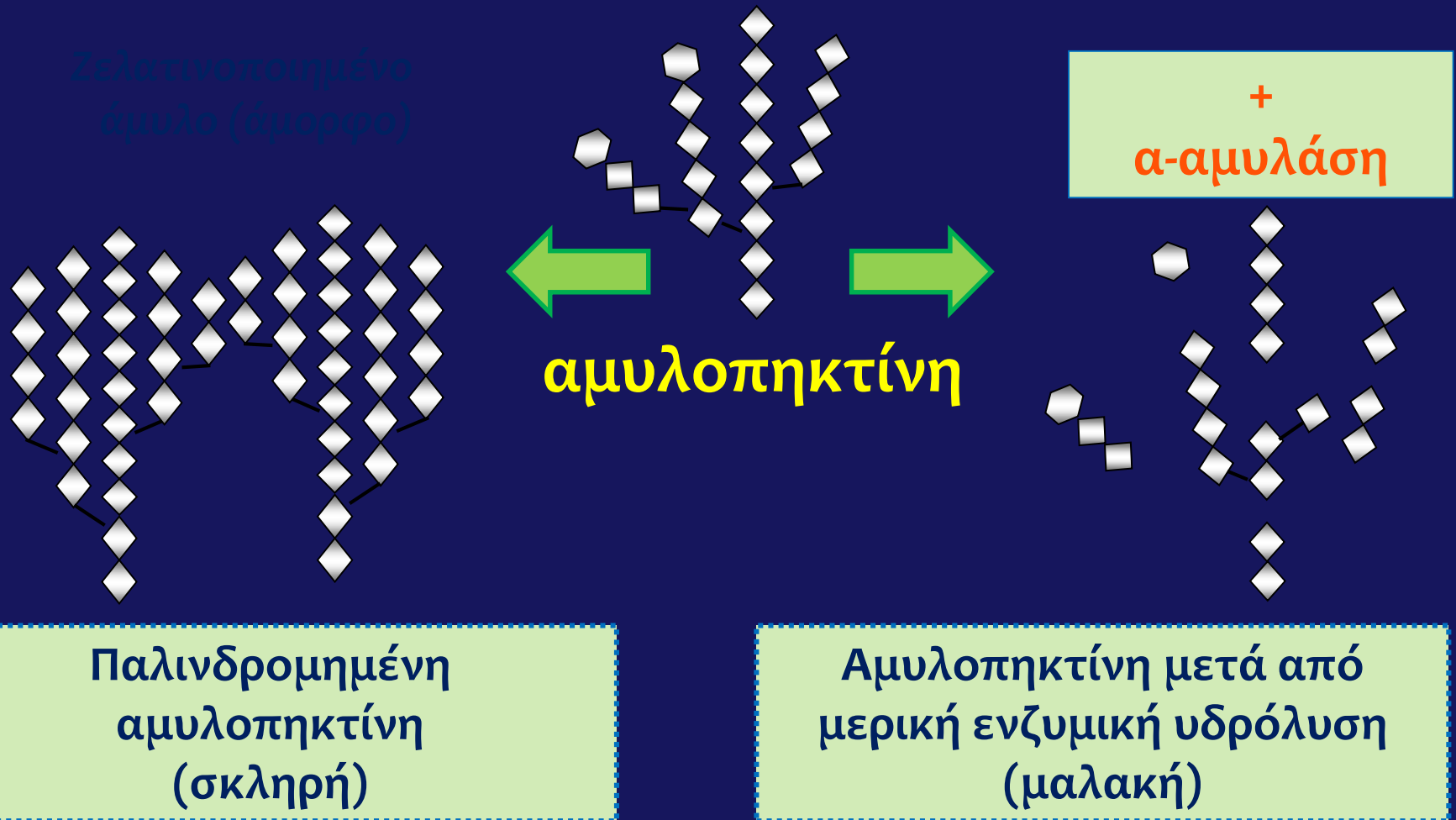


Σύμπλοκο αμυλόζης-
γαλακτωματοποιητή
(μαλακό)



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



Ψωμί - Μικροβιακή αλλοίωση

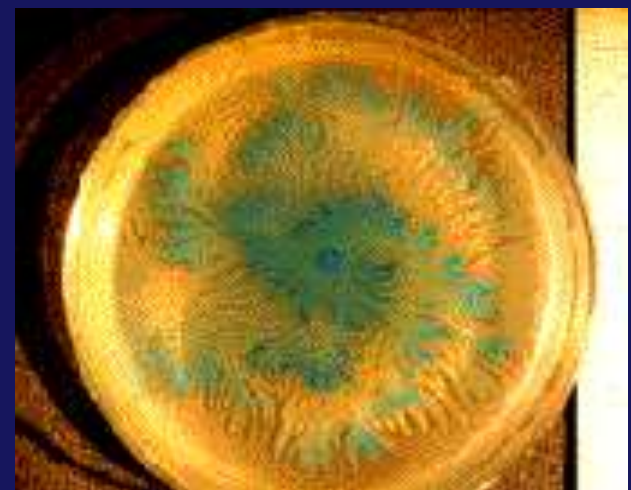
Εξαρτάται από:

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

■ *Rhizopus stolonifer* - “Μούχλα του ψωμιού”

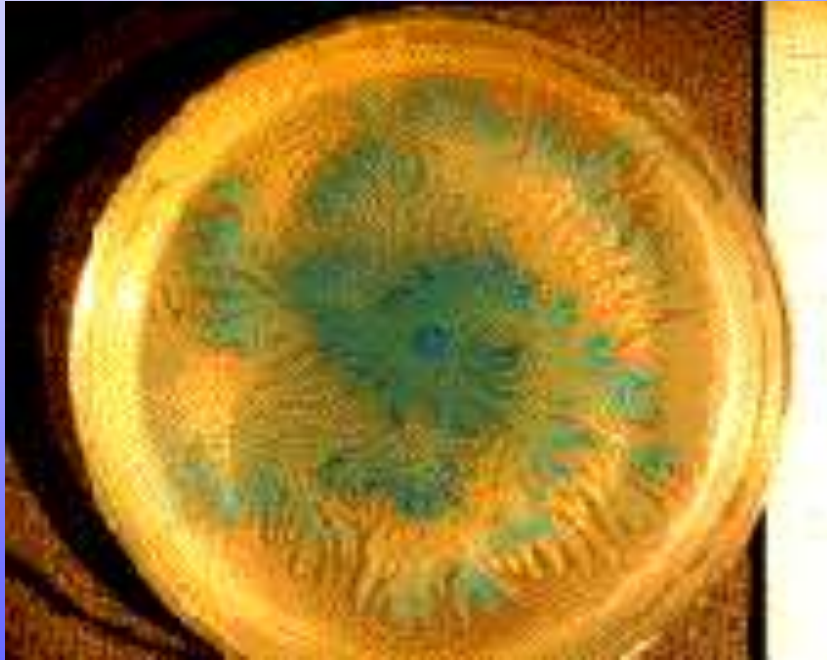
■ *Neurospora sitophila* - “Κόκκινη μούχλα”

■ *Bacillus subtilis* - “Ropiness”

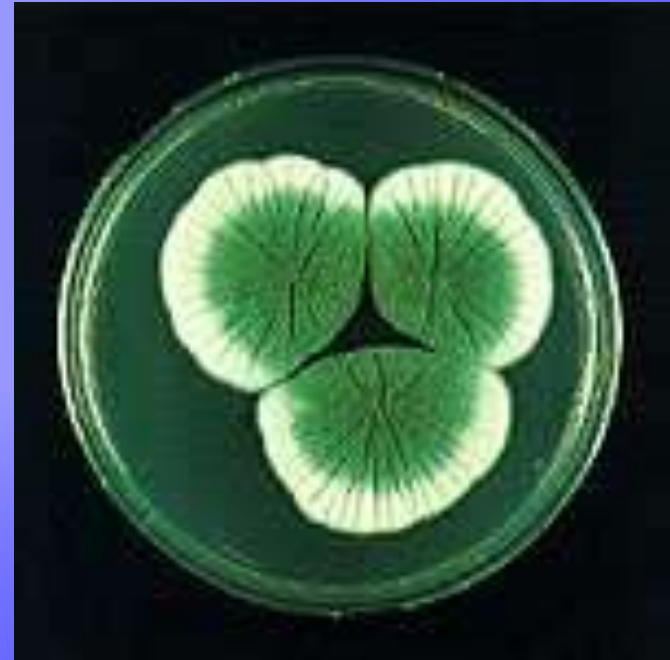




Ψωμί - Μικροβιακή αλλοίωση



Bacillus subtilis
"ropiness"



Penicillium
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 αρτοποιήσης 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	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> Παγκοσμίως
Idli	<i>Leuconostoc mesenteroides</i> Νότιες Ινδίες
San Fransisco sourdough bread	<i>S. exiguus</i> , <i>L. sanfransisco</i> Βόρεια Καλιφόρνια
Sour pumpernickel	<i>Leuconostoc mesenteroides</i> 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 (!):

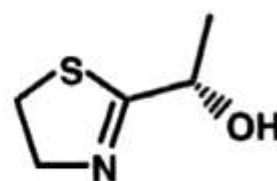
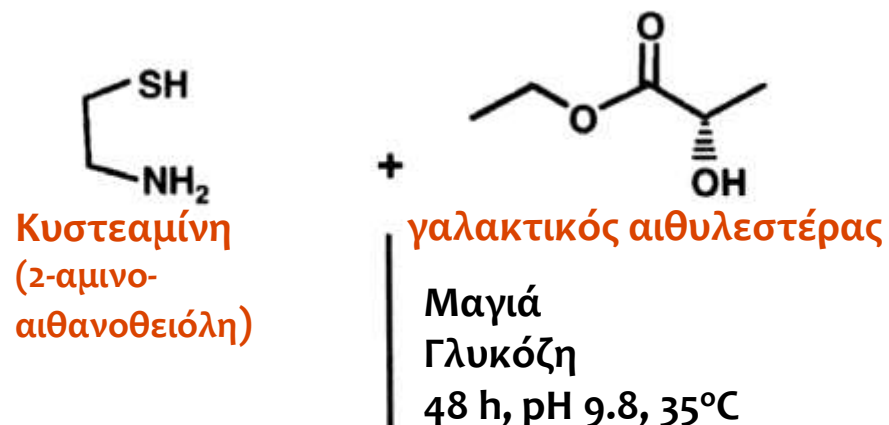
Σχηματισμός 2-ακετυλο-2-θειαζολίνης

(2-AT)

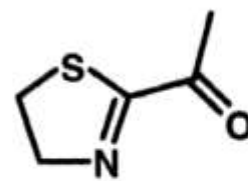
και 2(1-υδροξυαιθυλο)-4,5-διυδρο-θειαζόλιου

(HDT)

από **κυσταμίνη** και **γαλακτικό αιθυλεστέρα**



HDT



2-AT

Βιομετατροπή κυσταμίνης και γαλακτικού αιθυλεστέρα σε 2-AT & HDT



Βιομετατροπή 2-AT σε HDT



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 αρτοποιία επιτυγχάνονται με:

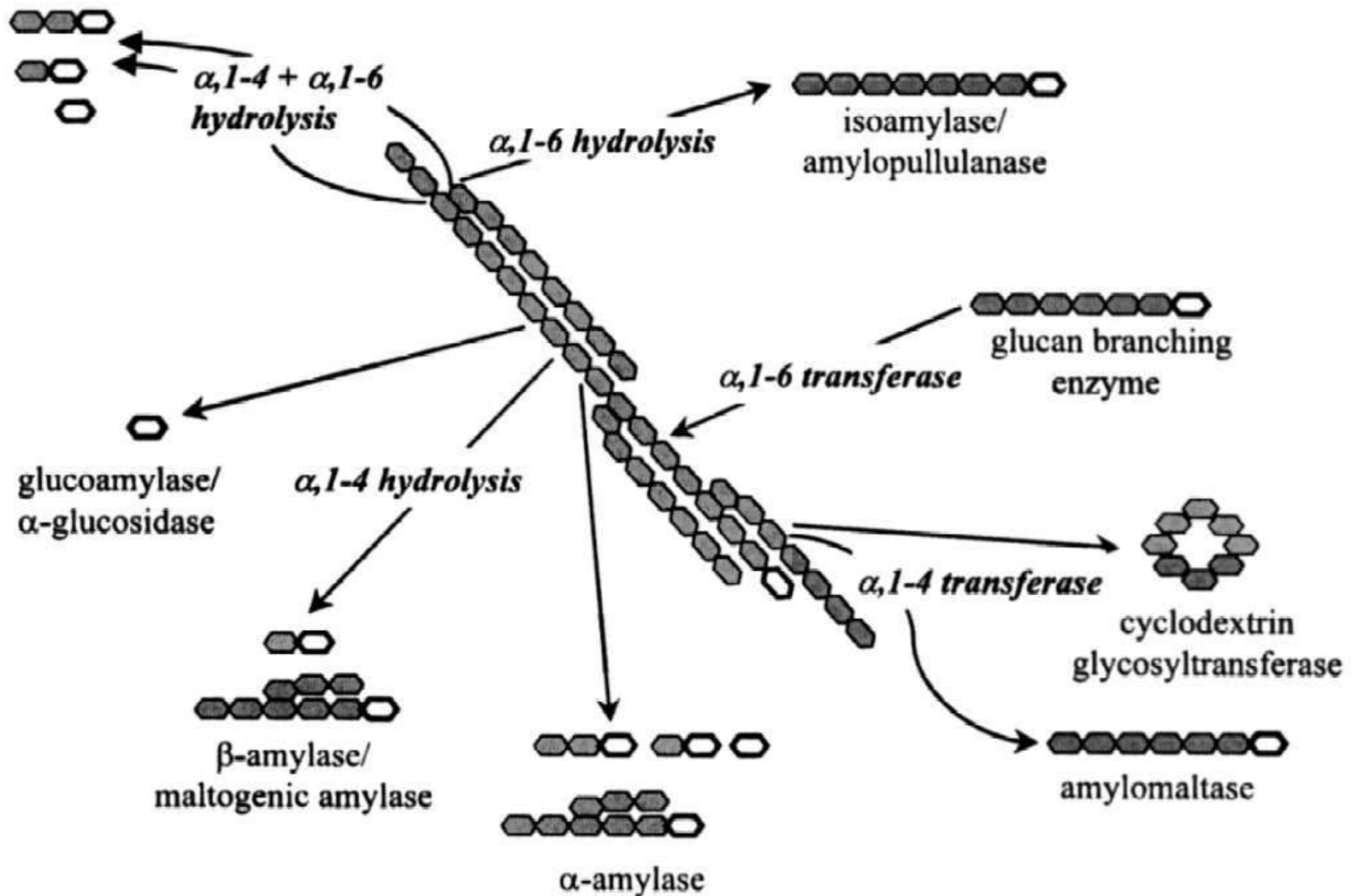
- ▣ Προζύμι – νέες καλλιέργειες
- ▣ Χρήση ενζύμων
- ▣ Χρήση γαλακτωματοποιητών
- ▣ Εφαρμογές γενετικής μηχανικής & τεχνολογίας ανασυνδυασμένου DNA:
 - ✓ τροποποίηση σιταριού
 - ✓ τροποποίηση μαγιάς αρτοποιίας και άλλων καλλιεργειών
 - ✓ τροποποίηση μικροοργανισμών για τη παραγωγή ενζύμων χαμηλού κόστους



Πρόσθετα ένζυμα στην αρτοποιία

- ❖ 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.
- ✓ κλωνοποιημένα 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 & φωσφατιδυλοαιθανολαμίνη)
- ✓ εστέρες μονογλυκεριδίων λιπαρών οξέων (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

- ❖ 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.

- œ Περίπου **85 εκατομμύρια τόνοι** αλεύρι σίτου χρησιμοποιούνται καθημερινά για την παραγωγή ψωμιού
- œ **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
- œ Η ποσότητα αυτή αντιστοιχεί στο **40%** του ψωμιού που καταναλώνεται σε μια χώρα όπως οι ΗΠΑ