

ΒΙΟΧΗΜΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Τμήμα Επιστήμης
Τροφίμων & Διατροφής
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



Ενότητα 11^η: Βιοχημεία Ζυθοποίησης

Δημήτρης Π. Μακρής *PhD DIC*
Αναπληρωτής Καθηγητής

1. Εισαγωγή

Η μύρα (ο ζύθος) είναι το αλκοολούχο ποτό που καταναλώνεται περισσότερο σε παγκόσμια κλίμακα και το τρίτο σε κατανάλωση ποτό γενικά, μετά το νερό και το τσάι. Είναι πιθανώς το αρχαιότερο αλκοολούχο ποτό, η παρασκευή του οποίου χρονολογείται από το 8000 π.Χ. Η αρχαιότερη χημική ένδειξη ζύθου χρονολογείται από το 3500 π.Χ., στην τοποθεσία Godin Tere του όρους Zagros, στο Ιράν.

Το 2009, παράχθηκαν παγκοσμίως 1800 εκατομμύρια hl ζύθου. Η μεγαλύτερη παραγωγός χώρα ήταν η Κίνα (418 εκατ. hl), ακολουθούμενη από τις Η.Π.Α. (234 εκατ. hl), την Ρωσία (110 εκατ. hl), την Βραζιλία (107 εκατ. hl), και την Γερμανία (98 εκατ. hl).

Ο ζύθος παράγεται από την ζύμωση αμύλου (κατόπιν υδρόλυσης) και σακχάρων (ζαχαρόζης), που προέρχονται κυρίως από σπόρους δημητριακών, που βυνοποιούνται μαζί με σιτάρι, αραβόσιτο, ρύζι, σόργο και κριθάρι.

Οι περισσότεροι ζύθοι αρωματίζονται με λυκίσκο (hops), που προσδίδει πικρίλα και άρωμα, και δρα ως συντηρητικό, αν και μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλα μέσα αρωματισμού, όπως βότανα ή φρούτα.

Ο σκοπός της **ζυθοποίησης** (brewing) είναι η υδρόλυση του αμύλου της βύνης κριθαριού (και άλλων βυνοποιημένων και μη σπόρων) για την παραγωγή ενός ζυμώσιμου υγρού που περιέχει σάκχαρα και αζωτούχες ουσίες, και ονομάζεται **ζυθογλεύκος** (wort), και την μετατροπή του σε ένα αλκοολούχο και ανθρακούχο ποτό, με χρήση ζύμης.

1. Εισαγωγή

Η ζυθοποίηση είναι ουσιαστικά μια βιοχημική διεργασία, και στάδια όπως η βυνοποίηση, η πολτοποίηση και η ζύμωση είναι εν πολλοίς ενζυμικές διεργασίες. Η κύρια πρώτη ύλη, η βύνη, περιέχει ουσίες όπως π.χ. το άμυλο και οι πρωτεΐνες, και ένζυμα, όπως π.χ. οι αμυλάσες και οι πρωτεάσες.

Η παραγωγή ζύθου είναι μια μοναδιαία διεργασία, που διαχωρίζεται σε 5 διακριτά αλλά σχετιζόμενα και αλληλοσυνδεόμενα στάδια:

1. Βυνοποίηση: είναι η βλάστηση του κριθαριού ή άλλου δημητριακού και η ξήρανση (drying ή kilning) του βλαστήσαντος σπόρου. Η βύνη παράγεται σε μονάδες βυνοποίησης, οι οποίες συνήθως αποτελούν διακριτό τμήμα από της ζυθοποιείες. Οι πρώτες ύλες είναι ειδικά επιλεγμένες ποικιλίες κριθαριού, κατάλληλες για βυνοποίηση.

Ο σκοπός της βυνοποίησης σε σχέση με την ζυθοποίηση (και την παραγωγή αποσταγμάτων) είναι η βιοσύνθεση ενζύμων που θα υδρολύσουν το άμυλο κατά τα τελευταία στάδια της βλάστησης, και αργότερα κατά την πολτοποίηση.

1. Εισαγωγή

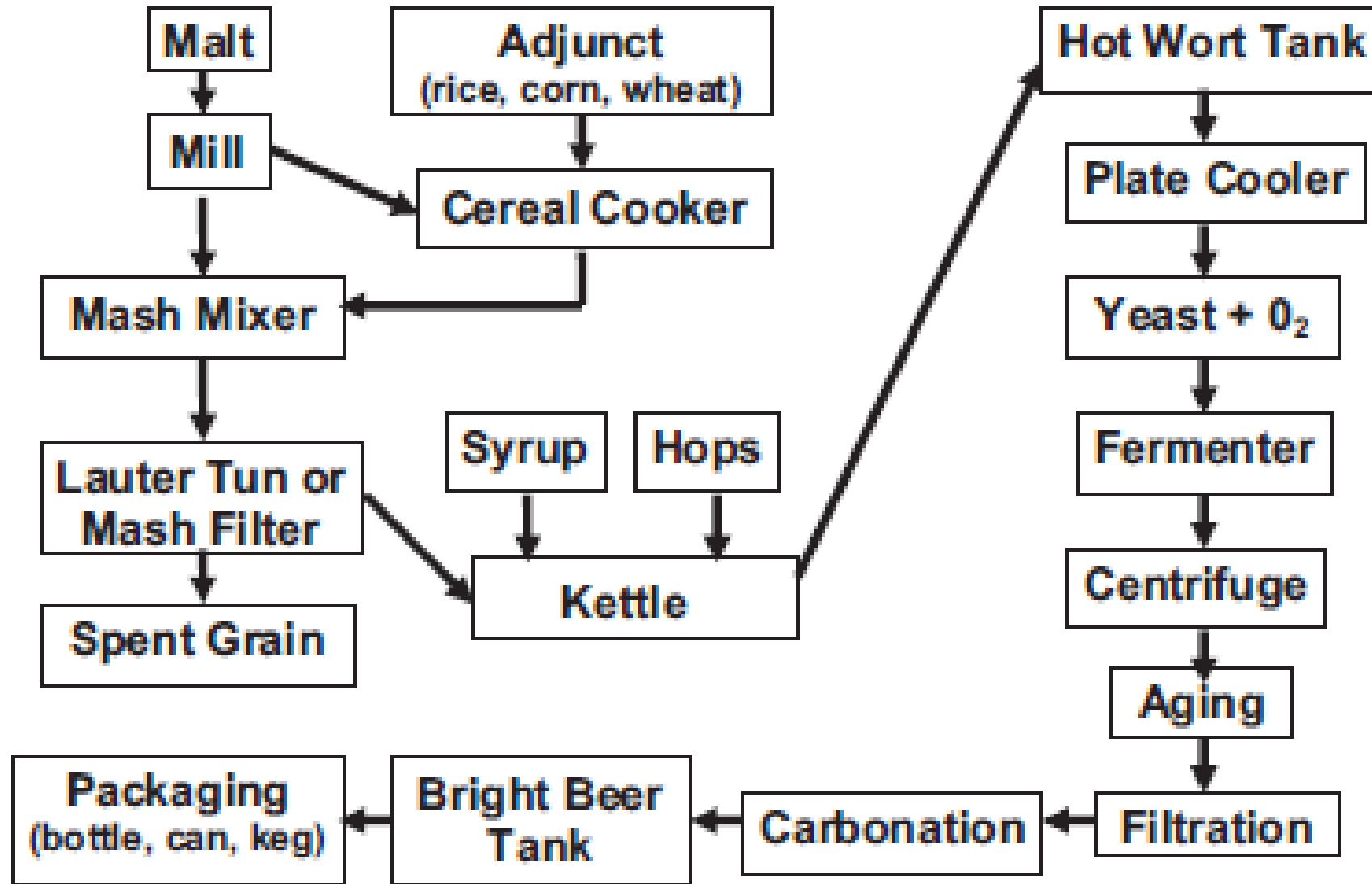
2. **Πολτοποίηση** (mashing): Περιλαμβάνει κυρίως την υδρόλυση των πρωτεϊνών/πεπτιδίων και του αμύλου από την κονιορτοποιημένη βύνη και άλλα δημητριακά (βυνοποιημένα και μη) από ένα φάσμα ενζύμων, για την παραγωγή ενός υδατικού, ζυμώσιμου εκχυλίσματος, το οποίο μπορεί να διαχωριστεί από τα αδιάλυτα υλικά (spent grains). Αυτό το υγρό που δεν έχει υποστεί βρασμό ή προσθήκη λυκίσκου, και είναι μη-αποστειρωμένο, ονομάζεται ζυθογλεύκος (wort).
3. **Βρασμός ζυθογλεύκους** (wort boiling): γίνεται με την προσθήκη λυκίσκου ή εκχυλισμάτων λυκίσκου, και μερικές φορές ζάχαρης ή σιροπιών. Μ' αυτόν τον τρόπο παράγεται ένα αποστειρωμένο ζυθογλεύκος.
4. **Ζύμωση**: Πραγματοποιείται με ζύμες, και ακολουθεί η ωρίμανση και η διήθηση.
5. **Συσκευασία**: εννοείται η τοποθέτηση σε μεταλλικά μικρά βαρέλια (kegging), η εμφιάλωση και η συσκευασία σε κουτιά αλουμινίου

1. Εισαγωγή

Οι περισσότερες διεργασίες κατά την ζυθοποίηση εμπλέκουν την δράση ενός ευρέως φάσματος ενζύμων. Εντούτοις, κατά την διάρκεια της ζυθοποίησης συμβαίνουν και πολλές χημικές αντιδράσεις, οι οποίες δεν απαιτούν την παρουσία βιοκαταλύτη.

Αυτές οι αντιδράσεις είναι κυρίως το ισομερισμός ορισμένων συστατικών του λυκίσκου κατά την διάρκεια του βρασμού του ζυθογλεύκους, ο σχηματισμός χρωστικών (μελανοϊδίνες) κατά την ξήρανση της βύνης και του βρασμού του ζυθογλεύκους, η ανάπτυξη ανεπιθύμητων οσμών όταν η μπίρα εκτίθεται στο φως, ο σχηματισμός θολερότητας και οι ανεπιθύμητες οσμές (μπαγιατίλα) που αναπτύσσονται όταν η μπίρα αποθηκευτεί για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Οι κύριες πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται στην ζυθοποίηση είναι τα βυνοποιημένα δημητριακά (συνήθως κριθάρι, αλλά και σιτάρι ή σόργο) μη-βυνοποιημένα δημητριακά (αραβόσιτος, σιτάρι, ρύζι, σόργο, βρώμη, κριθάρι) ζάχαρη και σιρόπια (adjuncts), λυκίσκος, νερό και ζύμη.



2. Βύνη και βυνοποίηση (malting)

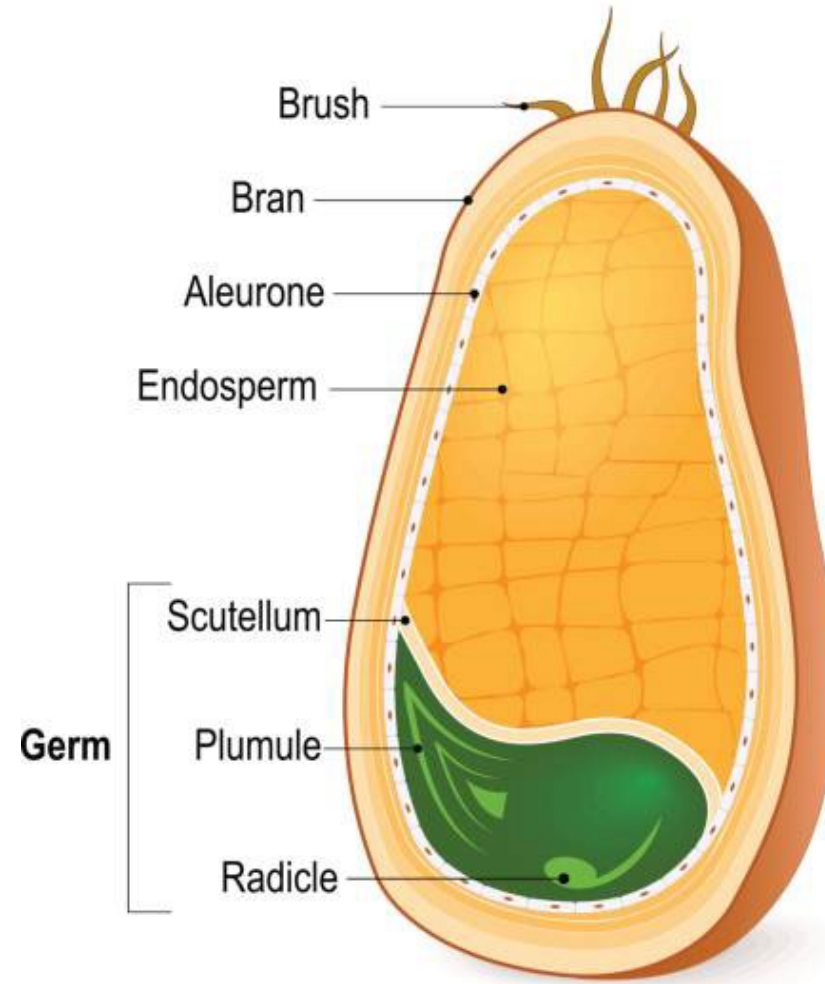
Ο σκοπός της βυνοποίησης είναι η ανάπτυξη ενός φάσματος ενζύμων, τα οποία υδρολύουν ορισμένα συστατικά της βύνης, προς δημιουργία ενός ζυμώσιμου εκχυλίσματος (ζυθογλεύκος). Το ζυθογλεύκος αποτελεί ένα υπόστρωμα που υποστηρίζει την ανάπτυξη ζυμών και την ζύμωση, για την παραγωγή ζύθου.

Η βύνη συνεισφέρει πολλά συστατικά στο ζυθογλεύκος. Τα κυριότερα από αυτά είναι το ελεύθερο αμινο άζωτο (free amino nitrogen - FAN) και τα ζυμώσιμα σάκχαρα.

Το FAN είναι το σύνολο των αμινοξέων, των αμμωνιακών ιόντων και των μικρών πεπτιδίων (δι- και τρι- πεπτίδια). Το FAN είναι ένα σημαντικό γενικό μέτρο των θρεπτικών συστατικών των ζυμών, που αποτελούν το αφομοιώσιμο άζωτο κατά την ζύμωση.

Κατά την βυνοποίηση του κριθαριού, ενώσεις υψηλού μοριακού βάρους από τα κυτταρικά τοιχώματα του ενδοσπερμίου, πρωτεΐνες, και μικροί και μεγάλοι κόκκοι αμύλου στο ενδοσπέρμιο υδρολύονται ενζυμικώς από ένζυμα όπως αμυλάσες, πρωτεάσες, γλυκανάσες κτλ., δημιουργώντας ουσίες υδατοδιαλυτές σε θερμό νερό, που χρησιμοποιείται κατά την πολτοποίηση.

ANATOMY OF A GRAIN



2. Βύνη και βυνοποίηση (malting)

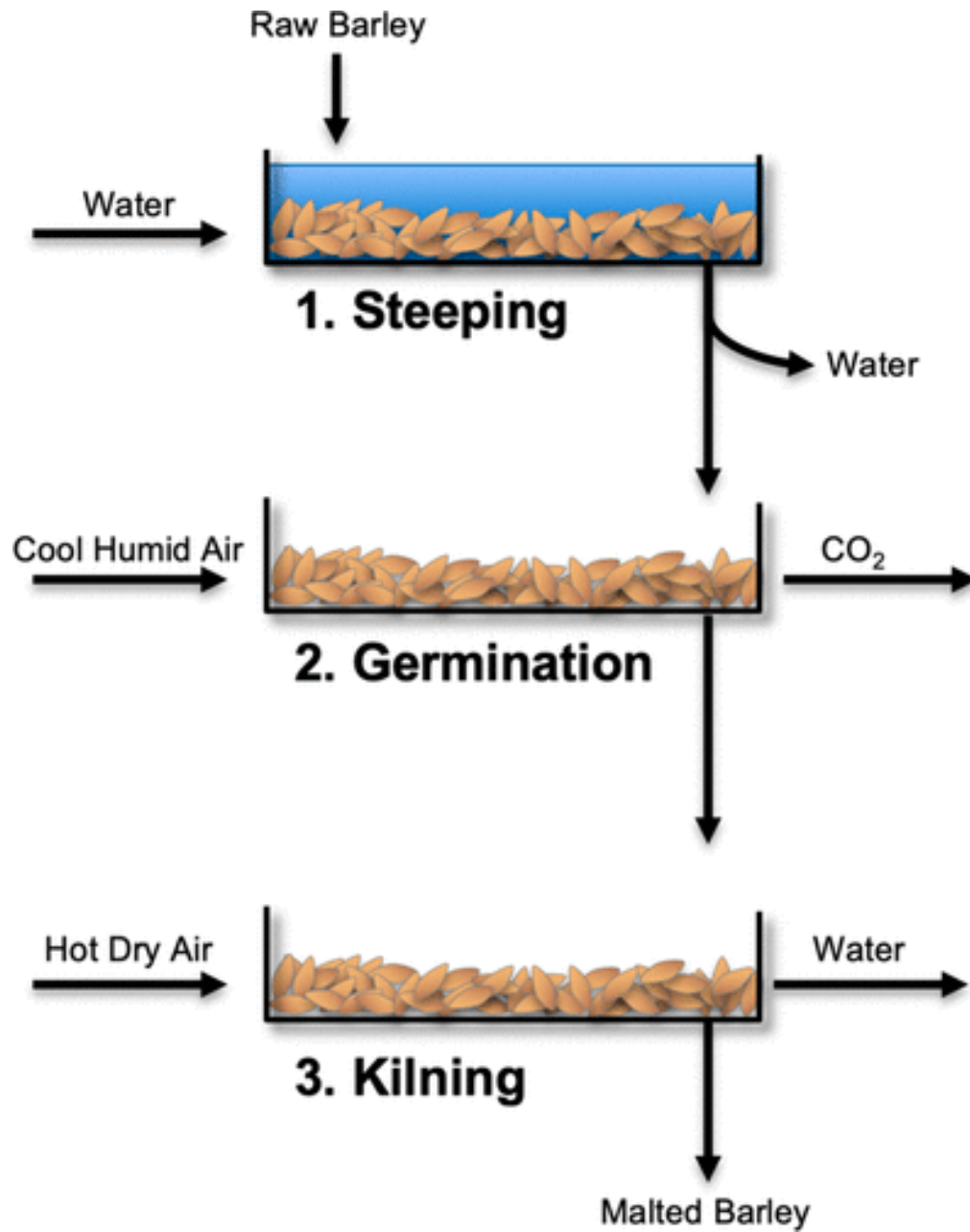
Η βυνοποίηση είναι η περιορισμένη βλάστηση σπόρων δημητριακών, κυρίως κριθαριού. Μερικές φορές η βύνη χρησιμοποιείται «πράσινη», δηλαδή χωρίς να υποστεί ξήρανση.

Ο τερματισμός της βλάστησης επιτυγχάνεται με εφαρμογή θερμότητας, για να ξηραθούν οι σπόροι. Πιο έντονη ξήρανση (κλιβανισμός) πραγματοποιείται για την ανάπτυξη ιδιαίτερου αρώματος και χρώματος.

Τα στάδια της βυνοποίησης συνήθως διαιρούνται σε μούλιασμα (steeping), βλάστηση (germination), και ξήρανση (kilning). Στην πραγματικότητα, η βυνοποίηση εμπλέκει περισσότερα στάδια και ο διαχωρισμός των βασικών αυτών σταδίων δεν είναι πάντα ευκρινής.

Μετά την ξήρανση, η βύνη πρέπει να καθαριστεί και ν' αποθηκευτεί για μια ελάχιστη περίοδο πριν ξεκινήσει η ζυθοποίηση.

Τα βασικά στάδια της βυνοποίησης δίνονται στην επόμενη διαφάνεια.



2. Βύνη και βυνοποίηση (malting)

Οι βιοχημικές μεταβολές που συμβαίνουν κατά την βυνοποίηση είναι το αποτέλεσμα αποικοδόμησης αποθησαυριστικών ουσιών (άμυλο, πρωτεΐνες), μετατροπής ουσιών στο έμβρυο και την αλευρώνη, την σύνθεση νέων ουσιών, κα την μεταφορά τους στου νέους ιστούς (βλαστίδιο και ριζίδιο).

Κατά την βυνοποίηση, παρατηρούνται κάποιες απώλειες ξηρής μάζας. Αυτές οι απώλειες οφείλονται σε:

- Έκπλυση ουσιών από τον σπόρο κατά το μούλιασμα.
- Αναπνευστική οξείδωση ουσιών και παραγωγή CO₂ και νερού.
- Αφαίρεση των ριζιδίων.

Οι συνολικές απώλειες κατά την βυνοποίηση είναι περίπου 6 - 12% του αρχικού ξηρού βάρους των σπόρων. Οι απώλειες διαφέρουν ανάλογα με το είδος του σπόρου (σιτάρι, σόργο κτλ.).

2. Βύνη και βυνοποίηση (malting)

Κατά την διάρκεια του μούλιασματος, οι σπόροι απορροφούν νερό και το επίπεδο υγρασίας αυξάνει από 12 - 14% σε 42 - 48%. Αυτό γίνεται με εμβάπτιση των σπόρων σε νερό ή ψεκασμό, ή συνδυασμό αυτών. Κατά το μούλιασμα, οι σπόροι διογκώνονται και μαλακώνουν, ενώ γίνεται έναρξη μεταβολισμού μέσα στους ιστούς.

Όταν οι σπόροι αποκτήσουν το απαραίτητο επίπεδο υγρασίας, το νερό αφαιρείται. Ακολούθως οι σπόροι μεταφέρονται σε δοχεία βλάστησης, όπου οι σπόροι βλαστάνουν και ξεκινούν οι βιοχημικές διεργασίες μετατροπής των συστατικών των σπόρων. Οι μεταβολικές διεργασίες συνεχίζονται μέχρι τα αρχικά στάδια της ξήρανσης.

Οι κυριότερες μεταβολές που παρατηρούνται είναι:

- Συσσώρευση υδρολυτικών ενζύμων
- Ποικιλία βιοχημικών αντιδράσεων
- Φυσικές μεταβολές, όπως π.χ. μαλάκωμα των σπόρων

Οι ορατές μεταβολές της βλάστησης περιλαμβάνουν την εμφάνιση ριζιδίου και βλαστίδιου. Κατόπιν, οι σπόροι που έχουν βλαστήσει μεταφέρονται νωποί προς ξήρανση. Η περιεκτικότητα υγρασίας της αποξηραμένης βύνης μειώνεται σε 4 - 4.5%, από 42 - 48%.

3. Πολτοποίηση (mashing) και βρασμός

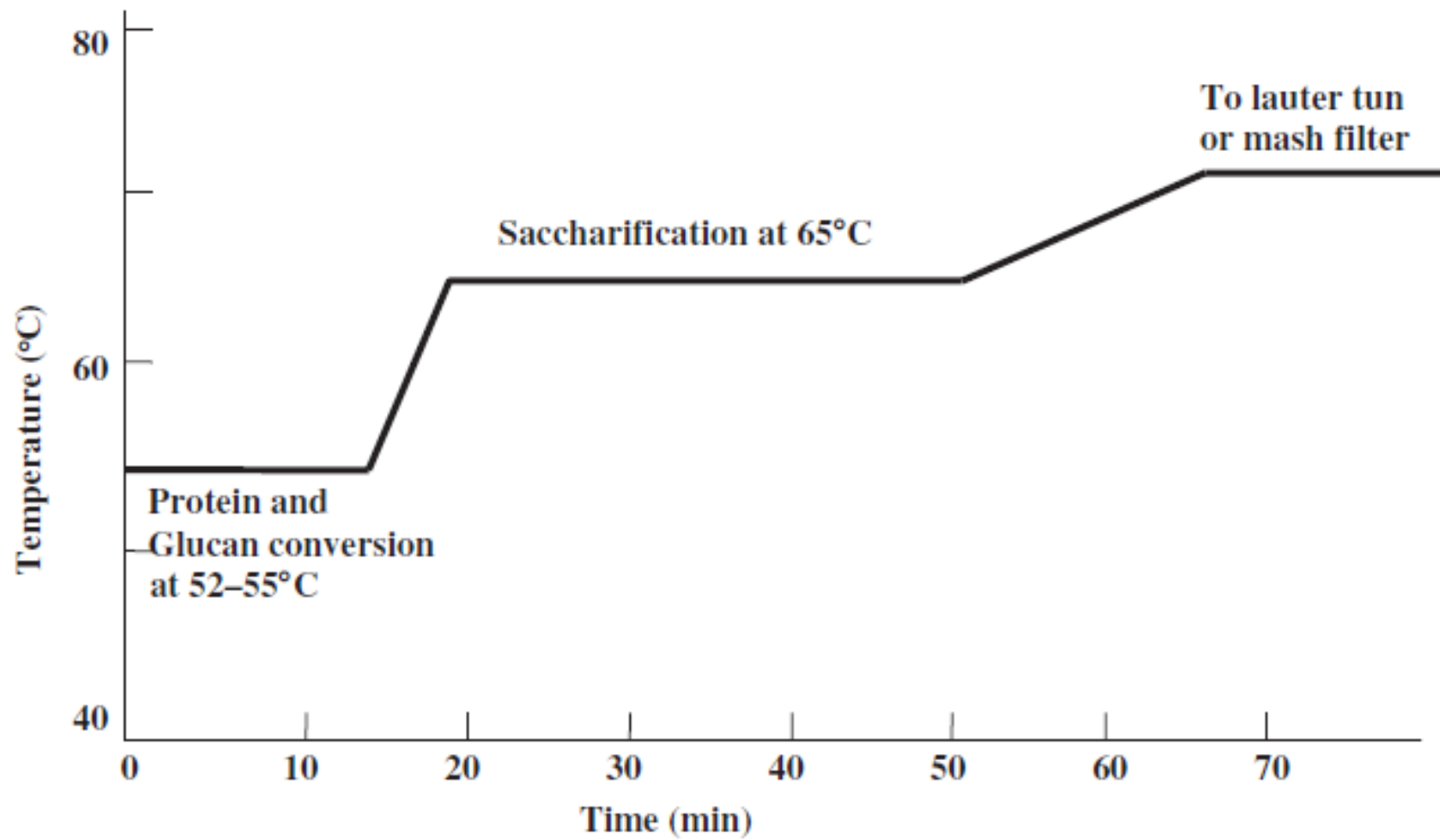
Οι στόχοι της πολτοποίησης είναι οι εξής:

- Η εκχύλιση αμύλου, πρωτεϊνών, πεπτιδίων και άλλων ουσιών από την βύνη.
- Η μετατροπή του εκχυλίσματος σε ένα ζυμώσιμο υπόστρωμα, μέσω της ενζυμικής υδρόλυσης σε σάκχαρα, αμινοξέα και μικρά πεπτίδια.

Πριν την πολτοποίηση, η βύνη αλέθεται. Η αλεσμένη βύνη διαβρέχεται για να γίνει επαγωγή της ενζυμικής δραστηριότητας, έτσι ώστε να γίνει υδρόλυση αμύλου σε σάκχαρα, των πρωτεϊνών σε αμινοξέα και μικρά πεπτίδια, και των λιπιδίων σε ελεύθερα λιπαρά οξέα και στερόλες.

Με σκοπό την επίτευξη αυτών των διεργασιών, ο πολτός υπόκειται σε μια σειρά από περιόδους θέρμανσης και ανάπαυλας, σε καθορισμένες θερμοκρασίες. Αυτό εξασφαλίζει την βελτιστοποίηση της δράσης των ενζύμων, ανάλογα με το είδος του ζύθου που πρόκειται να παραχθεί.

Ένα πρόγραμμα πολτοποίησης φαίνεται στην επόμενη διαφάνεια.



3. Πολτοποίηση (mashing) και βρασμός

Η αρχική θερμοκρασία των 52 °C χρησιμοποιείται για να διεγείρει τις δραστηρότητες των πρωτεασών και των γλυκανασών. Μετά από 15 - 20 λεπτά, η θερμοκρασία αυξάνεται σταδιακά στους 65 °C.

Αυτή η θερμοκρασία ευνοεί την σακχαροποίηση και είναι βέλτιστη για τις α- και β-αμυλάσες. Η α-αμυλάση είναι μια ενδοαμυλάση που υδρολύει τους α-1,4-γλυκοζιτικούς δεσμούς στην αμυλόζη και την αμυλοπηκτίνη.

Αυτό το ένζυμο είναι ουσιαστικά απών στους σπόρους κριθαριού, αλλά σημαντικές ποσότητες βιοσυντίθενται στο έμβρυο και στο στρώμα της αλευρώνης, ενώ μεγάλες ποσότητες δημιουργούνται και στο αμυλούχο ενδοσπέρμιο.

Η β-αμυλάση είναι ένα εξωένζυμο που καταλύει την υδρόλυση των α-1,4-γλυκοζιτικών δεσμών από τα μη-αναγωγικά άκρα των αλυσίδων του αμύλου, απελευθερώνοντας τον δισακχαρίτη μαλτόζη και έναν ολιγοσακχαρίτη (δεξτρίνη). Αντίθετα με την α-αμυλάση, η β-αμυλάση είναι παρούσα στον μη-βυνοποιημένο σπόρο.

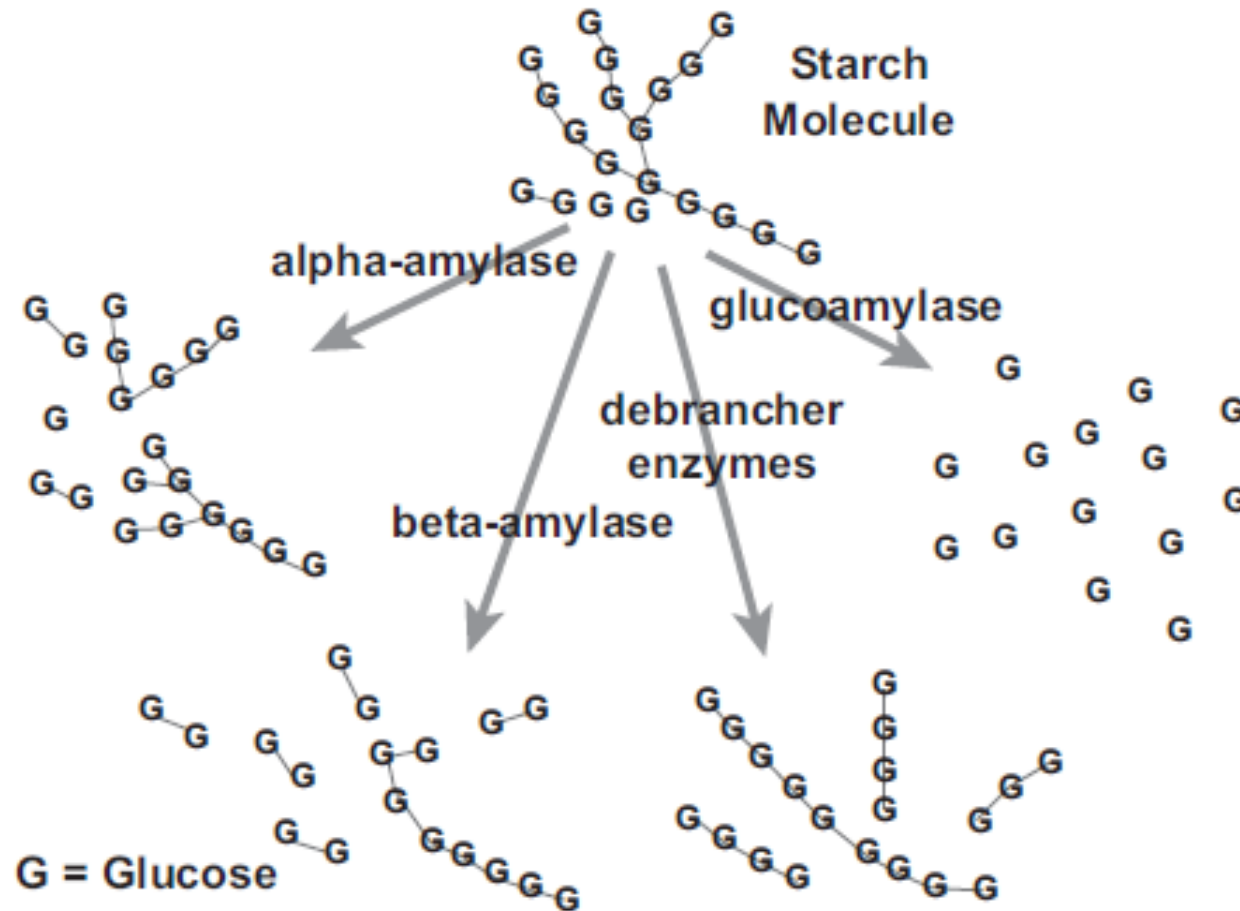
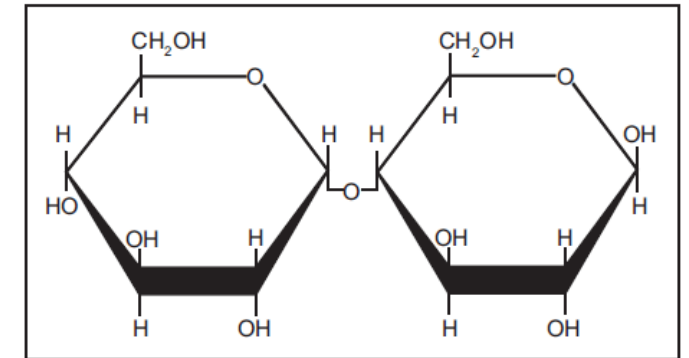
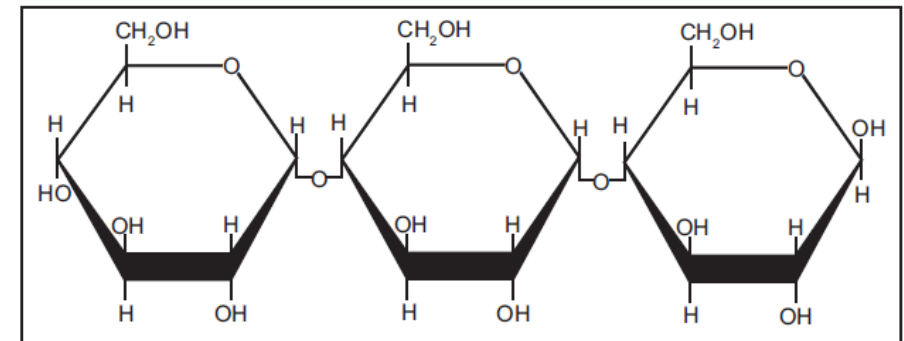


FIGURE 7.7 The enzymatic hydrolysis of starch.



Maltose,
Molecular weight = 342



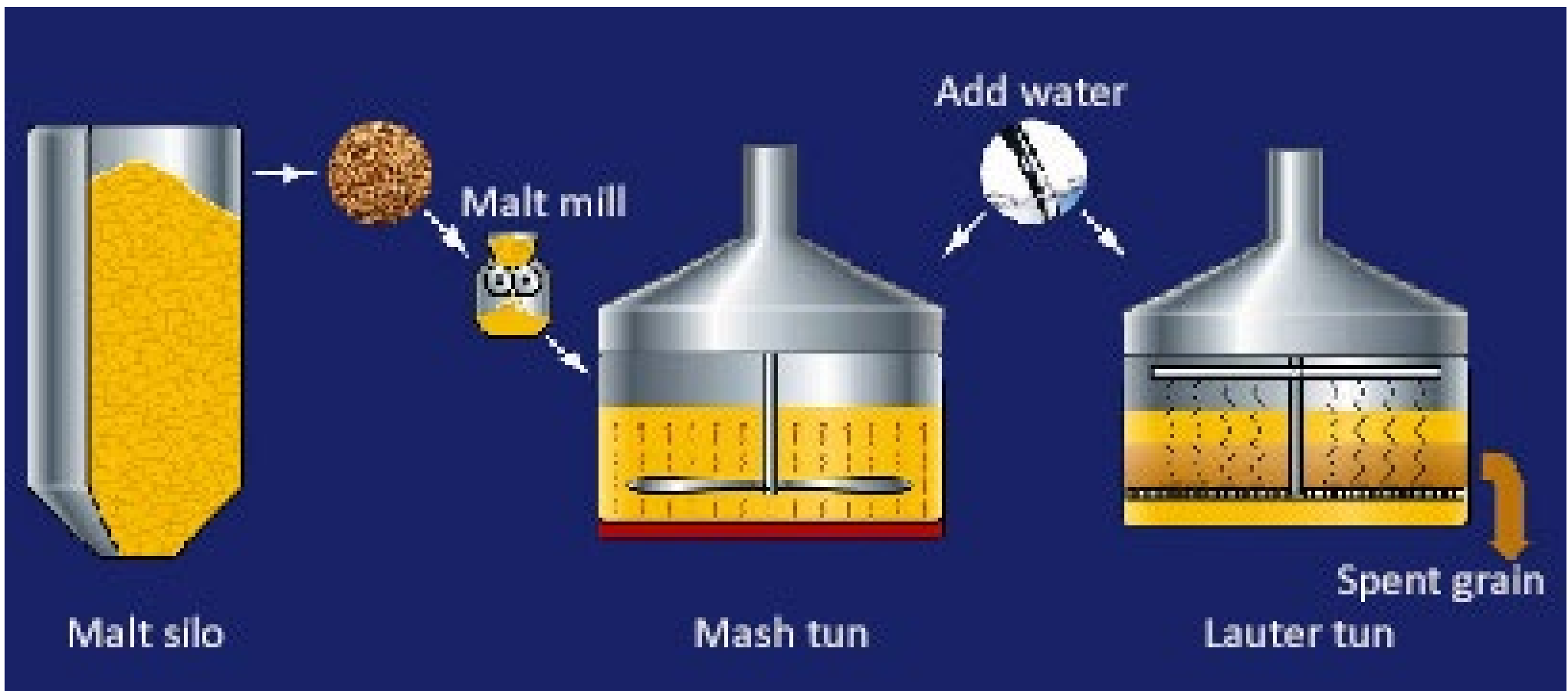
Maltotriose,
Molecular weight = 504

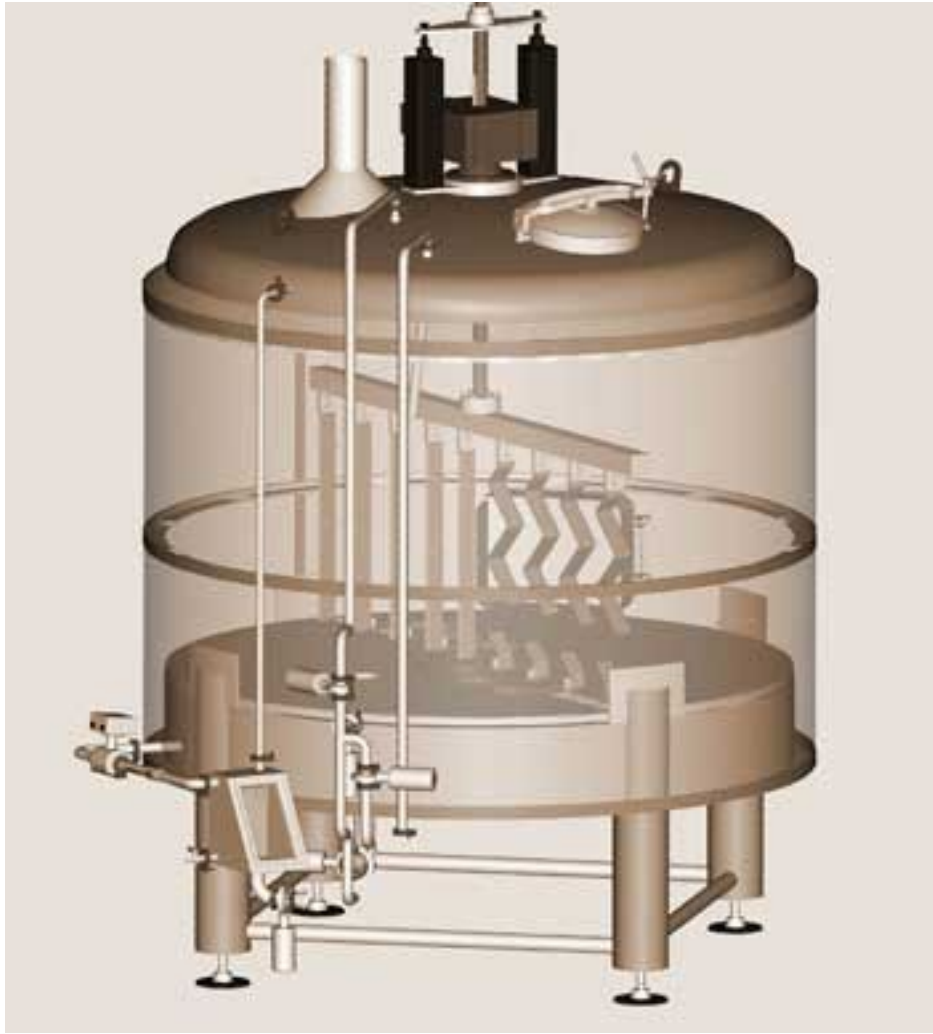
3. Πολτοποίηση (mashing) και βρασμός

Μια ακόμα σημαντική ενζυμική δραστηριότητα κατά την πολτοποίηση είναι η υδρόλυση των $\alpha 1 \rightarrow 6$ γλυκοζιτικών δεσμών στην αμυλοπηκτίνη, στις δεξτρίνες και άλλους ολιγοσακχαρίτες. Αυτό το ένζυμο είναι η 6-α-γλυκανοϋδρολάση, γνωστό ως limit dextrinase. Υπάρχουν ενδείξεις ότι αυτό το ένζυμο συντίθεται εκ νέου στο στρώμα της αλευρώνης του κριθαριού κατά την βλάστηση.

Μετά από περίπου 30 λεπτά στους 65 °C (saccharification rest), η θερμοκρασία ρυθμίζεται στους 78 °C (mash-off). Ο κύριος λόγος αυτής της αύξησης είναι η απενεργοποίηση των περισσότερων ενζύμων του πολτού. Επιπλέον, λαμβάνει χώρα και μερική α-αμυλόλυση, ενώ η β-αμυλάση απενεργοποιείται γρήγορα.

Επίσης, σ' αυτήν την θερμοκρασία οι περισσότεροι, αν και όχι όλοι, οι μικροοργανισμοί που επιμολύνουν το ζυθογλεύκος θ' απενεργοποιηθούν. Αυτό το εμπλουτισμένο σε σάκχαρα ζυθογλεύκος (sweet wort) κατόπιν διαχωρίζεται από τα στερεά υπολείμματα (spent grains) μέσω lautering ή διήθησης.





3. Πολτοποίηση (mashing) και βρασμός

Το γλυκό ζυθογλεύκος βράζει σε ειδικά δοχεία, συνήθως για 30 - 60 λεπτά, με 4 - 6% εξάτμιση. Ο βρασμός είναι αναγκαίος για τον ισομερισμό των α-οξέων του λυκίσκου (τα ισομερισμένα είναι πικρά ενώ τα μη-ισομερισμένα α-οξέα δεν είναι).

Επίσης, απομακρύνονται ανεπιθύμητες πτητικές ουσίες της βύνης και του λυκίσκου (π.χ. διμεθυλοσουλφίδιο), μετουσιώνονται πρωτεΐνες, συσσωματώνονται πρωτεΐνες/πολυφαινόλες, και τερματίζει κάθε ενζυμική και μικροβιακή δραστηριότητα που έχει απομείνει από την πολτοποίηση.

Άλλη μια συνέπεια είναι και η ανάπτυξη χρώματος αλλά και η αύξηση ιξώδους (λόγω εξάτμισης), η οποία είναι απαραίτητα, ανάλογα με τον τύπο του ζύθου που θα παραχθεί.

4. Σύσταση ζυθογλεύκους (wort)

Σάκχαρα

Το ζυθογλεύκος περιέχει σακχαρόζη, φρουκτόζη, γλυκόζη, μαλτόζη, μαλτοτριόζη και διάφορες δεξτρίνες. Μια τυπική σύσταση φαίνεται στον σχετικό πίνακα (επόμενη διαφάνεια). Οι ζύμες ζυθοποιίας είναι ικανές να χρησιμοποιήσουν σακχαρόζη, γλυκόζη, φρουκτόζη, μαλτόζη και μαλτοτριόζη (συνήθως μ' αυτήν την σειρά προτεραιότητας), ενώ η μαλτοτετραόζη και οι μεγαλύτερες δεξτρίνες δεν ζυμώνονται (εικόνα στην επόμενη διαφάνεια).

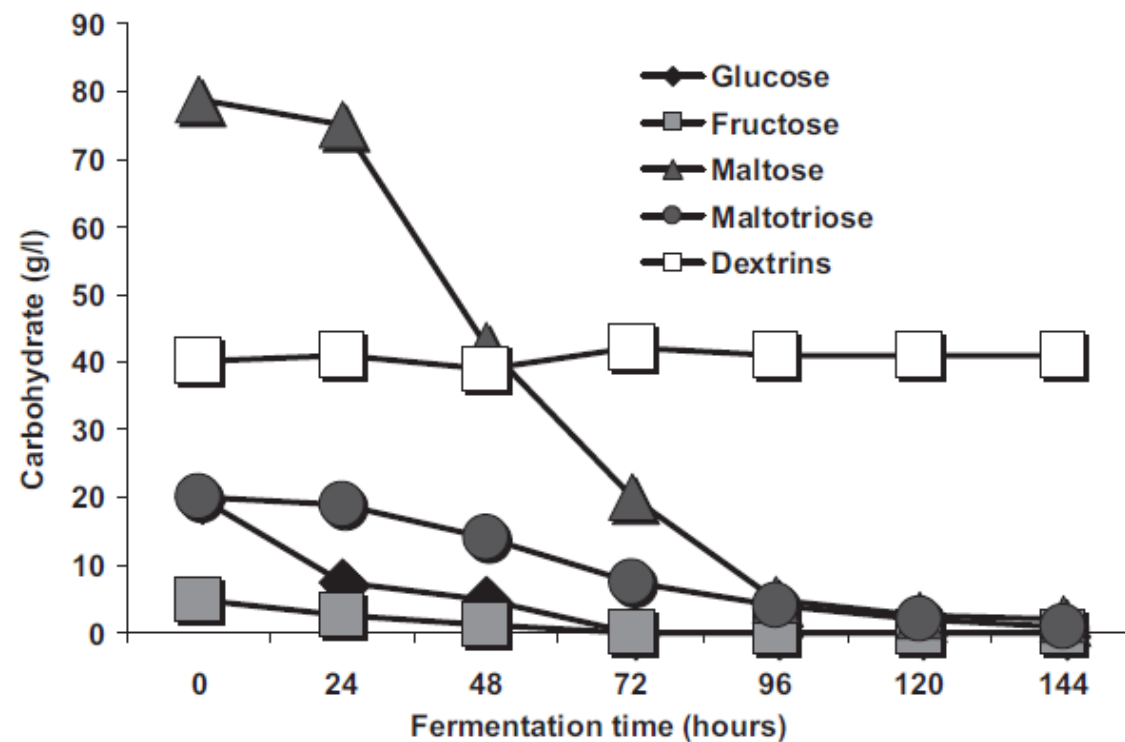
Οι στόχοι της ζύμωσης του ζυθογλεύκους είναι ο μεταβολισμός των συστατικών σε αιθανόλη, CO_2 , και άλλα προϊόντα ζύμωσης, με σκοπό την παραγωγή ζύθου, με ικανοποιητική ποιότητα και σταθερότητα. Άλλος ένας στόχος είναι η παραγωγή ζυμών που θα χρησιμοποιηθούν σε ακόλουθες ζυθοποιήσεις.

Οι απαιτήσεις για τις ζύμες ζυθοποίησης είναι: α) κατάλληλη κατανάλωση θρεπτικών του ζυθογλεύκους, β) αντοχή στις συνθήκες (π.χ. αντοχή στην αιθανόλη), γ) παραγωγή επιθυμητών πτητικών ενώσεων, δ) επαρκής απομάκρυνση μέσω συσσωμάτωσης ή/και φυγοκέντρισης/διήθησης.

TABLE 7.2 Typical Sugar Spectrum of Wort

Sugar	Composition (%)
Glucose	10–15
Fructose	1–2
Sucrose	1–2
Maltose	50–60
Maltotriose	15–20
Dextrins	20–30

From Stewart (2006).



4. Σύσταση ζυθογλεύκους (wort)

Σάκχαρα

Τα συνήθη στελέχη (strains) των ζυμομυκήτων ζυθοποίησης έχουν την ικανότητα αφομοίωσης και ζύμωσης ενός μεγάλου εύρους σακχάρων, όπως η σακχαρόζη, η γλυκόζη, η φρουκτόζη, η γαλακτόζη, η μαννόζη, η μαλτόζη και η μαλτοτριόζη. Επιπλέον, ο *Saccharomyces diastaticus* (ένα υποείδος του *S. cerevisiae*) μπορεί να χρησιμοποιεί δεξτρίνες, λόγω της έκκρισης γλυκοαμυλάσης.

Το αρχικό βήμα για την χρησιμοποίηση οποιουδήποτε σακχάρου είναι είτε η απευθείας μεταφορά του μέσω της κυτταρικής μεμβράνης (π.χ. μαλτόζη, μαλτοτριόζη), είτε η υδρόλυσή του από εξωκυτταρικά ένζυμα και κατόπιν η μεταφορά (π.χ. σακχαρόζη).

Μια σημαντική μεταβολική διαφορά μεταξύ της αφομοίωσης των μονοσακχαριτών (γλυκόζη, φρουκτόζη) και των δισακχαριτών (μαλτόζη) είναι η κατανάλωση ενέργειας (μετατροπή του ATP σε ADP). Οι μονοσακχαρίτες μεταφέρονται ενδοκυτταρικά παθητικά, χωρίς κατανάλωση ενέργειας.

4. Σύσταση ζυθογλεύκους (wort)

Σάκχαρα

Καθώς η μαλτόζη και η μαλτοτριόζη είναι τα κύρια σάκχαρα στο ζυθογλεύκος, η ικανότητα μιας ζύμης ζυθοποίησης να χρησιμοποιεί αυτά τα σάκχαρα είναι υψίστης σημασίας.

Οι ζύμες έχουν ανεξάρτητους μηχανισμούς αφομοίωσης αυτών των σακχάρων και μεταφοράς τους μέσω της κυτταρικής μεμβράνης, εντός του κυττάρου.

Όταν αυτά τα σάκχαρα εισέλθουν στο κύτταρο, υδρολύονται σε γλυκόζη μέσω της α-γλυκοζιδάσης.

4. Σύσταση ζυθογλεύκους (wort)

Ελεύθερο αμινο άζωτο

Το ελεύθερο αμινο άζωτο (free amino N - FAN) του ζυθογλεύκους αποτελείται από τρεις κατηγορίες ουσιών: τα αμινοξέα, τα μικρά πεπτίδια και τα αμμωνιακά ιόντα. Το FAN είναι ένα γενικό μέτρο του αφομοιώσιμου από τις ζύμες αζώτου. Είναι ένας καλός δείκτης για την ανάπτυξη των ζυμών, και επομένως για την ζυμωτική επάρκεια και την αφομοίωση των σακχάρων.

Το FAN του ζυθογλεύκους είναι απαραίτητα για την δημιουργία νέων αμινοξέων από τις ζύμες, την σύνθεση πρωτεϊνών, τον κυτταρικό πολλαπλασιασμό, και την κυτταρική βιωσιμότητα. Επίσης, τα επίπεδα του FAN έχουν ευθεία επίδραση στις αρωματικές ενώσεις των ζύθων (π.χ. βιοσύνθεση ανώτερων αλκοολών, εστέρων κτλ.).

Για όλες τις ζύμες, ανεξαρτήτως στελέχους, το συγκέντρωση του FAN στο ζυθογλεύκος είναι ευθέως ανάλογη της ανάπτυξης των ζυμών.

4. Σύσταση ζυθογλεύκους (wort)

Ελεύθερο αμινο άζωτο

Η ελάχιστη συγκέντρωση FAN που απαιτείται για ικανοποιητική ανάπτυξη ζυμών και απόδοση ζύμωσης, υπό φυσιολογικές συνθήκες, θεωρείται ότι είναι 130 mg L^{-1} . Εντούτοις, τα βέλτιστα επίπεδα FAN στο ζυθογλεύκος διαφέρουν ανάλογα με τις συνθήκες ζύμωσης και το στέλεχος ζύμης.

Επιπλέον, οι βέλτιστες τιμές FAN μπορεί να κυμαίνονται ανάλογα με την σακχαροπεριεκτικότητα του ζυθογλεύκους. Η απορρόφηση και χρησιμοποίηση των αζωτούχων ενώσεων του ζυθογλεύκους, καθώς και η ενδοκυτταρική σύνθεση αζωτούχων ενώσεων, εξαρτάται κυρίως από:

- (1) Τη συγκέντρωση του ολικού αφομοιώσιμου αζώτου του ζυθογλεύκους.
- (2) Τη συγκέντρωση των διαφόρων αζωτούχων ενώσεων και τις σχετικές αναλογίες τους.
- (3) Την ανταγωνιστική αναστολή αφομοίωσης αυτών των ουσιών (κυρίως των αμινοξέων).

4. Σύσταση ζυθογλεύκους (wort)

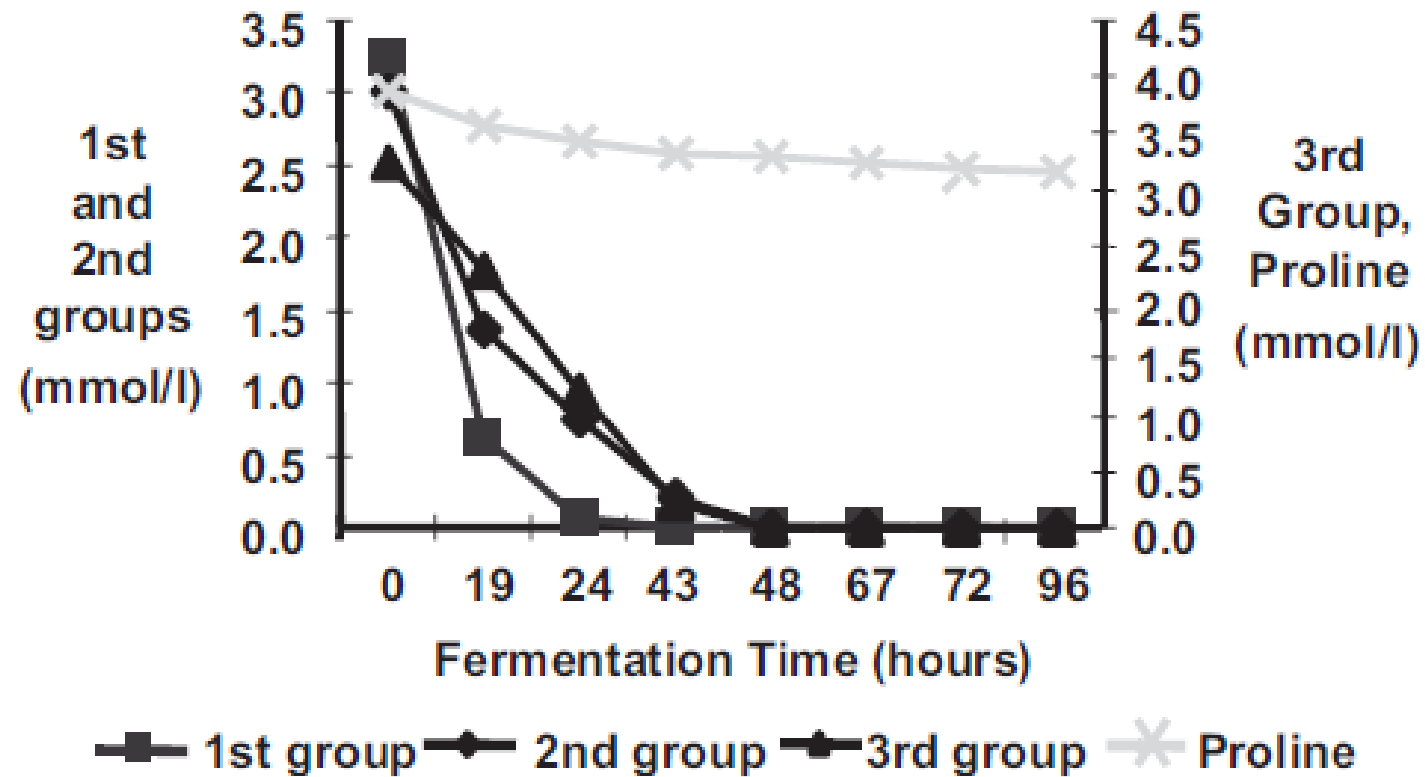
Ελεύθερο αμινο άζωτο

Υπάρχουν 4 ομάδες αμινοξέων. Τρεις ομάδες αφομοιώνονται σε διαφορετικά στάδια της ζύμωσης, και το τέταρτο αποτελείται μόνο από την προλίνη (το πιο άφθονο αμινοξύ στο ζυθογλεύκος), που δεν αφομοιώνεται κατά την ζύμωση, λόγω των αναερόβιων συνθηκών που επικρατούν κατά το τέλος της ζύμωσης.

Τα περισσότερα στελέχη ζυμών ζυθοποίησης μεταφέρουν ενδοκυτταρικά πεπτίδια που δεν έχουν περισσότερα από 3 αμινοξέα. Εντούτοις τα μικρά πεπτίδια του ζυθογλεύκους είναι σημαντική πηγή αφομοιώσιμου αζώτου, και το 20 - 40% των ολιγοπεπτιδίων καταναλώνεται κατά την ζύμωση.

Κατά την ζύμωση, οι ζύμες εκκρίνουν στο ζυθογλεύκος διάφορες πρωτεΐνάσες (κυρίως πρωτεΐνάση Α). Επομένως, η υδρόλυση των πεπτιδίων μεσαίου μεγέθους δημιουργεί μικρότερα πεπτίδια, τα οποία μπορούν ν' αφομοιωθούν από τις ζύμες. Αυτό συμβαίνει καθ' όλη την διάρκεια της ζύμωσης.

Τα πεπτίδια αφομοιώνονται με σειρά που εξαρτάται από την σύσταση των αμινοξέων. Ομοίως με τα αμινοξέα, τα πεπτίδια συνεισφέρουν στον χαρακτήρα και το άρωμα του ζύθου.



Amino acid absorption pattern during wort fermentation. (From Lekk

5. Ζύμωση ζυθογλεύκους

Στην αρχή της ζύμωσης, η σύνθεση των ακόρεστων λιπαρών οξέων (unsaturated fatty acids – UFAs) και των στερολών, που είναι απαραίτητα για τις κυτταρικές μεμβράνες των ζυμών, γίνεται εις βάρος του γλυκογόνου (ενδοκυτταρικός αποθησαυριστικός υδατάνθρακας των ζυμών).

Αυτό πρέπει να γίνει για να εξασφαλιστεί μια ομαλή πορεία ανάπτυξης του πληθυσμού των ζυμών κατά την ζύμωση.

Τα κύτταρα των ζυμών δεν είναι ικανά να βιοσυνθέσουν UFAs και στερόλες υπό αυστηρών αναερόβιες συνθήκες. Επομένως, υπάρχει ανάγκη εφοδιασμού του ζυθογλεύκους με οξυγόνο, μέσω αερισμού κατά τα αρχικά στάδια της ζύμωσης.

6. Διαχωρισμός βυθογλεύκους και διήθηση ζύθου

Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τον ρυθμό διήθησης είναι το ιξώδες του ζυθογλεύκους. Μια επαρκής διάσπαση των β-γλυκανών κατά την πολτοποίηση είναι μια μέθοδος που οδηγεί σε ταχύ διαχωρισμό του ζυθογλεύκους.

Οι διαλυμένες β-γλυκάνες που δεν έχουν διασπαστεί αυξάνουν το ιξώδες του ζυθογλεύκους, με αποτέλεσμα την χαμηλή διάχυση μέσω των υπολειμμάτων των σπόρων και μη επαρκή εκχύλιση των ζυμώσιμων σακχάρων.

Επίσης, οι β-γλυκάνες που δεν έχουν διασπαστεί θα επηρεάσουν αρνητικά την διήθηση του ζύθου που θα παραχθεί, θα μειώσουν την ικανότητα των ηθμών και θ' αυξήσουν την ποσότητα των βοηθητικών ουσιών διήθησης (π.χ. γη διατόμων). Η λύση σε όλα αυτά είναι η επαρκής πολτοποίηση.

6. Διαχωρισμός βυνογλεύκους και διήθηση ζύθου

Η διαθεσιμότητα των εμπορικών αμυλασών παρέχει ένα μέσο ελέγχου του βαθμού ζύμωσης. Ένα ζυθογλεύκος που παράγεται υπό συνήθεις συνθήκες ζυθοποίησης θα δώσει κατανάλωση σακχάρων (apparent attenuation) περίπου 80 - 85% και περίπου 25% του υπολειμματικού εκχυλίσματος θα είναι παρόν στον ζύθο.

Αυτό το υπολειμματικό εκχύλισμα, που αποτελείται κυρίως από μικρού μεγέθους μη-ζυμώσιμες δεξτρίνες, συνεισφέρει στο σώμα του ζύθου και το θερμιδικό του επίπεδο.

Μερικές φορές, οι προδιαγραφές για υπολειμματικό εκχύλισμα δεν ικανοποιούνται, εξ' αιτίας της χαμηλής ποιότητας βύνης ή/και προβλήματα στην πολτοποίηση. Συνεπώς, πρέπει να γίνουν διορθώσεις.

Σ' αυτές τις περιπτώσεις, υπάρχει η ανάγκη χρήσης εξωγενώς προστιθέμενων αμυλασών, έτσι ώστε να επιτευχθεί ο επιθυμητός βαθμός ζύμωσης.

6. Διαχωρισμός βυνογλεύκους και διήθηση ζύθου

Η σταθερότητα του ζύθου μπορεί επίσης να ενισχυθεί από την προσθήκη ενζύμων. Αυτό σχετίζεται κυρίως με την δημιουργία θολώματος, μιας και οι καταναλωτές προτιμούν συνήθως διαυγείς ζύθους. Οι αποθηκευμένοι ζύθοι, κυρίως σε θερμοκρασία δωματίου, ενδέχεται να εμφανίσουν θόλωμα και ν' αλλοιωθεί η διαύγειά τους.

Το θόλωμα σχηματίζεται από τον συνδυασμό πολυμερισμένων πολυφαινολών (φλαβανολών) και πολυπεπτιδίων, πλούσιων σε προλίνη. Το θόλωμα είναι μόνιμο και δεν διαλύεται ούτε όταν ο ζύθος θερμανθεί στους 30 °C ή υψηλότερη θερμοκρασία.

Συνεπώς, η ισορροπία μεταξύ των διαφόρων φλαβανολών και των υδρόφιλων πρωτεϊνών πλούσιων σε προλίνη, διαμορφώνει εν πολλοίς την κολλοειδή σταθερότητα των ζύθων.

Το θόλωμα δεν θα δημιουργηθεί, ή ο σχηματισμός του θα καθυστερήσει, αν κάποιες από αυτές τις ουσίες αφαιρεθούν ή αποκλειστούν παράγοντες που προωθούν τις σχετικές αλληλοεπιδράσεις.

6. Διαχωρισμός βυνογλεύκους και διήθηση ζύθου

Για να καθυστερήσει ή να προληφθεί η δημιουργία θολώματος, μπορούν να εφαρμοστούν τα εξής:

- Αποφυγή δημιουργίας μεγάλων ποσοτήτων υδρολυμένων πρωτεϊνών (κυρίως κατά την πολτοποίηση).
- Αφαίρεση πολυφαινολών (ή πρωτεϊνών) με ειδικά προσροφητικά (π.χ. PVPP).
- Αποθήκευση των ζύθων που ωριμάζουν σε θερμοκρασίες 0 °C (η και χαμηλότερες) για να καταβυθιστούν πρόδρομα σύμπλοκα δημιουργίας θολώματος.
- Αποθήκευση συσκευασμένου ζύθου σε θερμοκρασία 2 – 4 °C, για να καθυστερήσει η δημιουργία θολώματος.
- Εκτενέστερη υδρόλυση, με εξωγενώς προστιθέμενα ένζυμα, πρωτεϊνών που σχετίζονται με την ανάπτυξη θολώματος.

Βιβλιογραφία

Steward G.G., **2013**. Biochemistry of brewing. In “**Biochemistry of Foods**”. Eskin N.A.M and F. Shahidi ed., Elsevier. ISBN : 978-0-12-242352-9.