

Διαφάνειες Παραδόσεων Οινολογίας 2015-16

8. Βακτήρια γλεύκους και οίνου. Μηλογαλακτική ζύμωση.

Πρόλογος

Οι διαφάνειες παραδόσεων – σημειώσεις είναι υπό επεξεργασία.

Υπάρχουν οι παρακάτω ενότητες

- 1. Οίνος και Ελληνικός πολιτισμός**
- 2. Κατηγορίες και τύποι κρασιών. Οίνοι στον κόσμο**
- 3. Το σταφύλι. Σύσταση γλεύκους**
- 4. Επισκόπηση οινοποιήσεων**
- 5. Επισκόπηση κατεργασιών οίνου**
- 6. Ο θειώδης ανυδρίτης**
- 7. Ζυμομύκητες γλεύκους και οίνου. Αλκοολική ζύμωση**
- 8. Βακτήρια γλεύκους και οίνου. Μηλογαλακτική ζύμωση**
- 9. Μικροβιακές αλλοιώσεις οίνου**
- 10. Ένζυμα στην οινοποίηση**
 - 11. Σύσταση οίνου**
 - 12. Οξείδωση οίνου**
 - 13. Ανάλυση οίνου**
- 14. Οργανοληπτική εξέταση οίνου**
 - 15. Οίνος και υγεία**

Ιωάννης Ρούσσης

ΒΑΚΤΗΡΙΑ ΓΛΕΥΚΟΥΣ ΚΑΙ ΟΙΝΟΥ- ΜΗΛΟΓΑΛΑΚΤΙΚΗ ΖΥΜΩΣΗ



Τα βακτήρια είναι μονοκύτταροι προκαρυωτικοί μικροοργανισμοί. Πολλαπλασιάζονται με κυτταρική διχοτόμηση. Τα κοινά βακτήρια είναι οι ελεύθερα διαβιούσες μορφές.

Σ'αυτά περιλαμβάνονται οι σφαιρικές μορφές (κόκκοι), οι ραβδοειδείς μορφές (ραβδία, βάκιλοι), και οι ελικοειδείς μορφές (σπειρύλλια και δονάκια).

Η πορεία οينوποίησης είναι μια σύνθετη μικροβιακή διαδικασία στην οποία συμμετέχουν ζυμομόκητες και βακτήρια.

Οι δύο κατηγορίες μικροοργανισμών υπάρχουν στα σταφύλια, όπως και στον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται στην οينوποίηση.

Από τα βακτήρια σημαντικά είναι τα γαλακτικά βακτήρια και τα οξικά βακτήρια.

Τα γαλακτικά βακτήρια επιτελούν τη μηλογαλακτική ζύμωση, και επιφέρουν διάφορες αλλαγές στον οίνο. Επίσης, προξενούν διάφορες αλλοιώσεις.

Τα οξικά βακτήρια έχουν αρνητική επίδραση στον οίνο, με σχηματισμό οξικού οξέος και οξικού αιθυλεστέρα. Πάντως, η φυσιολογική πορεία είναι γλεύκος-οίνος-ξύδι, και τη μετατροπή του οίνου σε ξύδι επιτελούν τα οξικά βακτήρια.

Γαλακτικά Βακτήρια

Τα γαλακτικά βακτήρια είναι μία ετερογενής ομάδα Gram θετικών βακτηρίων που έχουν ως χαρακτηριστικό την παραγωγή γαλακτικού οξέος ως κύριου προϊόντος με την ζύμωση σακχάρων είτε άλλων υποστρωμάτων.

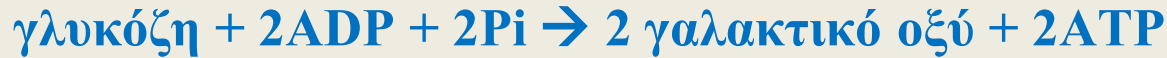
Τα γαλακτικά βακτήρια θεωρείται ότι είναι ασφαλή (GRAS, Generally Regarded as Safe), και επιπλέον έχουν θετική επίδραση στην υγεία του ανθρώπου.

Τα γαλακτικά βακτήρια ανάλογα με την κύρια οδό που χρησιμοποιούν για την ζύμωση της γλυκόζης διακρίνονται σε ομοζυμωτικά και ετεροζυμωτικά. Τα ομοζυμωτικά ακολουθούν την οδό Embden-Meyerhof και παράγουν σχεδόν αποκλειστικά γαλακτικό οξύ, ενώ τα ετεροζυμωτικά την οδό των φωσφορικών πεντοζών και την οδό φωσφοκετολάσης και παράγουν εκτός από το γαλακτικό οξύ –που είναι το κύριο προϊόν- και άλλες ενώσεις όπως αιθανόλη και CO₂.

Σύμφωνα με την τρέχουσα κατάταξη στα γαλακτικά βακτήρια ανήκουν τα γένη *Streptococcus*, *Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Enterococcus*, *Pediococcus* και *Oenococcus*. Επίσης τα *Carnobacterium*, *Tetragenococcus*, *Vagococcus* και *Weissella*.

Η γαλακτική ζύμωση διακρίνεται σε ομογαλακτική και ετερογαλακτική.

Κατά την ομογαλακτική ζύμωση, που χρησιμοποιείται η γλυκολυτική οδός Embden-Meyerhof, παράγεται σχεδόν αποκλειστικά γαλακτικό οξύ.



Εκτός από το γαλακτικό παράγονται σε ελάχιστες ποσότητες οξικό οξύ, μυρμηκικό οξύ και αιθανόλη.

Η ομογαλακτική ζύμωση επιτελείται κυρίως από τα γένη *Streptococcus*, *Lactococcus*, *Pediococcus* και είδη του γένους *Lactobacillus*.

Κατά την ετερογαλακτική ζύμωση χρησιμοποιείται η οδός των φωσφορικών πεντοζών και παράγονται γαλακτικό οξύ, αιθανόλη και CO₂



Επίσης, σχηματίζονται γλυκερόλη, οξικό οξύ.

Η ετερογαλακτική ζύμωση επιτελείται από τα γένη *Leuconostoc*, *Oenococcus* και είδη του γένους *Lactobacillus*.

Τα γαλακτικά βακτήρια σταφυλιών, γλεύκους και οίνου ανήκουν στα γένη *Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Oenococcus* και *Leuconostoc*.

Οι λακτοβάκιλλοι είναι μικροαερόφιλοι/προαιρετικά αναερόβιοι. Για ανάπτυξη χρειάζονται πλούσιο μέσο με ζυμώσιμα ζάχαρα.

Από τους λακτοβάκιλλους κύρια είναι τα *L. casei*, *L. plantarum* (προαιρετικά ετεροζυμωτικά) και τα *L. brevis*, *L. hilgardii* (αυστηρά ετεροζυμωτικά).

Οι πεδιόκοκοι είναι προαιρετικά αναερόβιοι. Για ανάπτυξη χρειάζονται πλούσιο μέσο με παράγοντες ανάπτυξης και ζυμώσιμα ζάχαρα. Έχουν άριστη θερμοκρασία ανάπτυξης 25-30 °C με pH 6,0. Είναι ομοζυμωτικοί. Μεταξύ αυτών βρίσκονται κυρίως τα *P. damnosus*, *P. pentosaceus*.

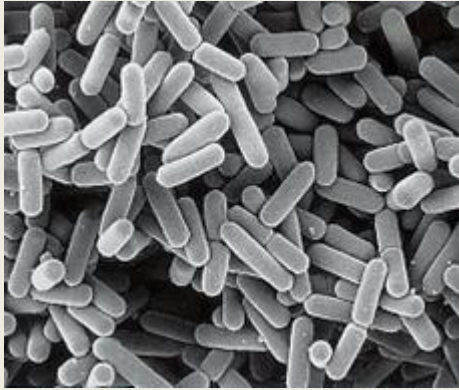
Το *Oenococcus* είναι οξεόφιλο προαιρετικά αναερόβιο. Αναπτύσσεται σε pH 4,8 σε θερμοκρασίες 18-30 °C. Για ανάπτυξη χρειάζεται πλούσιο μέσο με γλεύκος.

Είναι σχετικά ανθεκτικό στην αιθανόλη. Είναι ετεροζυμωτικό.

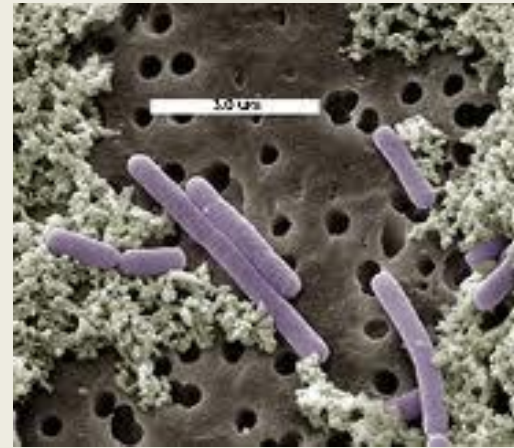
Παλαιότερα το *Oenococcus* ανήκε στο γένος *Leuconostoc*, το *Leuconostoc oenos*.

Αργότερα (1995) το οξεόφιλο αυτό βακτήριο διαχωρίστηκε σε νέο γένος, το *Oenococcus*.

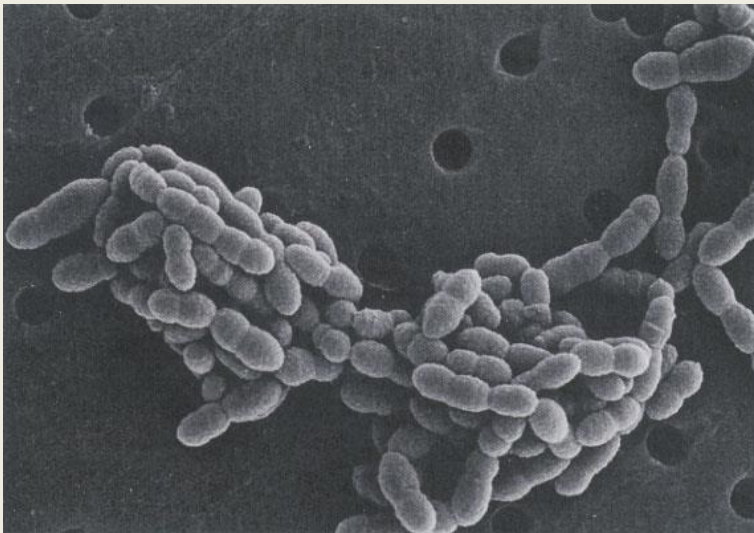
Από τα *leuconostocs*, που βέβαια έχουν παρόμοιες ιδιότητες, βρίσκεται το *Leuconostoc mesenteroides* (subsp. *mesenteroides*).



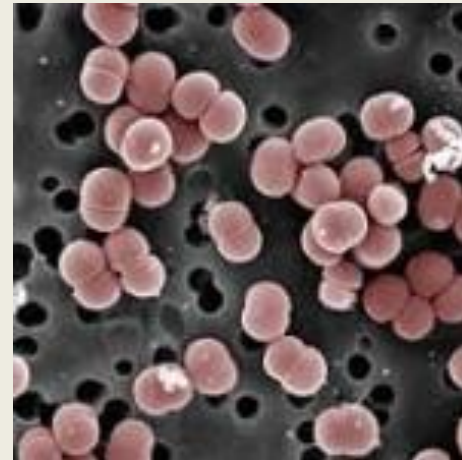
Lactobacillus brevis



Lactobacillus casei



Oenococcus oeni



Pediococcus

Μεταβολισμός γαλακτικών βακτηρίων στον οίνο

Από τις μεταβολικές δραστηριότητες των ΜΓΒ στον οίνο η πιο σημαντική είναι η αναγωγή του μηλικού οξέος σε γαλακτικό οξύ.

Επίσης, σημαντική είναι και η αποικοδόμηση του κιτρικού οξέος.

Όμως, γαλακτικά βακτήρια μεταβολίζουν και άλλες ενώσεις για τον πολλαπλασιασμό τους, όπως ζάχαρα, γλυκερόλη, τρυγικό οξύ, και ορισμένα αμινοξέα.

Οργανικά οξέα :

Ο οίνος περιέχει αρκετά g/L μηλικό οξύ. Το μηλικό οξύ αποικοδομείται από το μηλογαλακτικό ένζυμο γαλακτικών βακτηρίων.

Με τη μετατροπή αυξάνει το pH και μαλακώνει η γεύση. Το μηλικό οξύ έχει όξινη και στυφή γεύση και το γαλακτικό πιο μαλακό flavour.

Ο οίνος περιέχει 200-300 mg/L κιτρικό οξύ. Γαλακτικά βακτήρια μπορεί να μεταβολίσουν το κιτρικό οξύ με παραγωγή οξικού οξέος. Όμως, σημαντική είναι η παραγωγή διακετυλίου με ζύμωση του κιτρικού οξέος. Το διακετύλιο σε χαμηλά επίπεδα, 5 mg/L, θεωρείται ότι συνεισφέρει στο σύνθετο του αρώματος του οίνου. Αντίθετα, σε υψηλές συγκεντρώσεις επιφέρει αλλοίωση του οίνου. Βέβαια, με ζύμωση του κιτρικού οξέος παράγεται και οξικό οξύ.

Τα γαλακτικά βακτήρια μεταβολίζουν το τρυγικό οξύ, και αναπτύσσεται αρνητικό flavour που οφείλεται στο οξικό οξύ, στον οξικό αιθυλεστέρα και στο ακεταμίδιο (ασθένεια εκτροπής).

Ζάχαρα : τα ζάχαρα που απομένουν μετά την αλκοολική ζύμωση είναι επαρκή για παροχή ενέργειας και την ανάπτυξη των γαλακτικών βακτηρίων. Με ετερογαλακτική πορεία από τα ζάχαρα μπορεί να παραχθεί ποσότητα οξικού οξέος. Επίσης, έχει αναφερθεί αποικοδόμηση πολυζαχαριτών.

Γλυκερόλη : Επίσης τα γαλακτικά βακτήρια μεταβολίζουν την γλυκερόλη (ασθένεια πίκρασης). Η πικρή γεύση που αποκτούν τα κρασιά οφείλεται στην ένωση της σχηματιζομένης ακρολείνης με φαινολικά συστατικά του κρασιού.

Φαινολικά συστατικά : γαλακτικά βακτήρια μεταβολίζουν υδροξυκινναμωμικά οξέα με παραγωγή πτητικών φαινολών, 4-αιθυλογουαϊκόλη και 4-αιθυλοφαινόλη. Αυτές έχουν αρνητική επίδραση στο άρωμα του οίνου. Πάντως, τα επίπεδα των ενώσεων αυτών είναι συνήθως χαμηλά.

Υδρόλυση γλυκοζιτών : σε γαλακτικά βακτήρια έχει βρεθεί δραστηριότητα β-γλυκοσιδάσης. Το ένζυμο αυτό απελευθερώνει ενώσεις αρώματος που είναι γλυκοζιτικά συδεδμένα, όπως τερπενικές αλκοόλες. Πιθανόν με τον τρόπο αυτό γαλακτικά βακτήρια μπορεί να αυξάνουν το άρωμα του οίνου.

Αμινοξέα και πεπτίδια : με μεταβολισμό θειούχων αμινοξέων μπορεί να παραχθεί υδρόθειο και άλλες θειούχες ενώσεις. Γαλακτικά βακτήρια μπορεί να υδρολύουν πεπτίδια.

Ανάπτυξη κατά την οινοποίηση

Γαλακτικά βακτήρια βρίσκονται στην επιφάνεια των σταφυλιών και στο γλεύκος σε πολύ μικρούς πληθυσμούς.

Βρίσκονται τα *Lb. plantarum*, *Lb. casei*, *Lc. mesenteroides* και *O. oeni*.

Τις αρχικές ημέρες της αλκοολικής ζύμωσης πολλαπλασιάζονται, αλλά οι πληθυσμοί τους είναι μικροί, περίπου 10^4 κύτταρα/mL.

Με την εξέλιξη της ζύμωσης οι πληθυσμοί τους μειώνονται σε 10^2 κύτταρα/mL.

Αυτό αποδίδεται στην τοξικότητα της αλκοόλης που παράγεται, στο χαμηλό pH, και στην ανάπτυξη των ζυμών.

Στη συνέχεια τα κύτταρα που επιζούν αρχίζουν να πολλαπλασιάζονται και μπορεί να φτάσουν σε πληθυσμούς $10^6 - 10^8$ κύτταρα/mL.

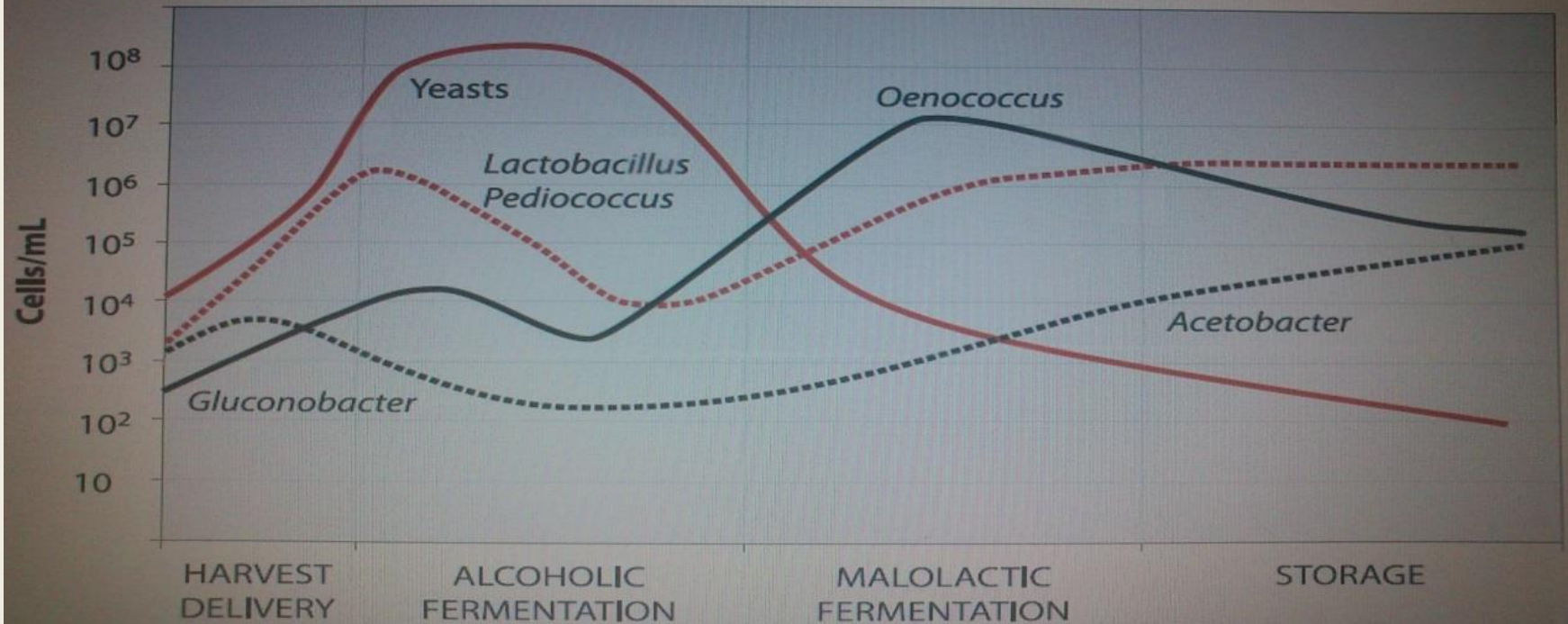
Η μηλογαλακτική ζύμωση συμβαίνει στο στάδιο αυτό και ολοκληρώνεται στη στατική φάση.

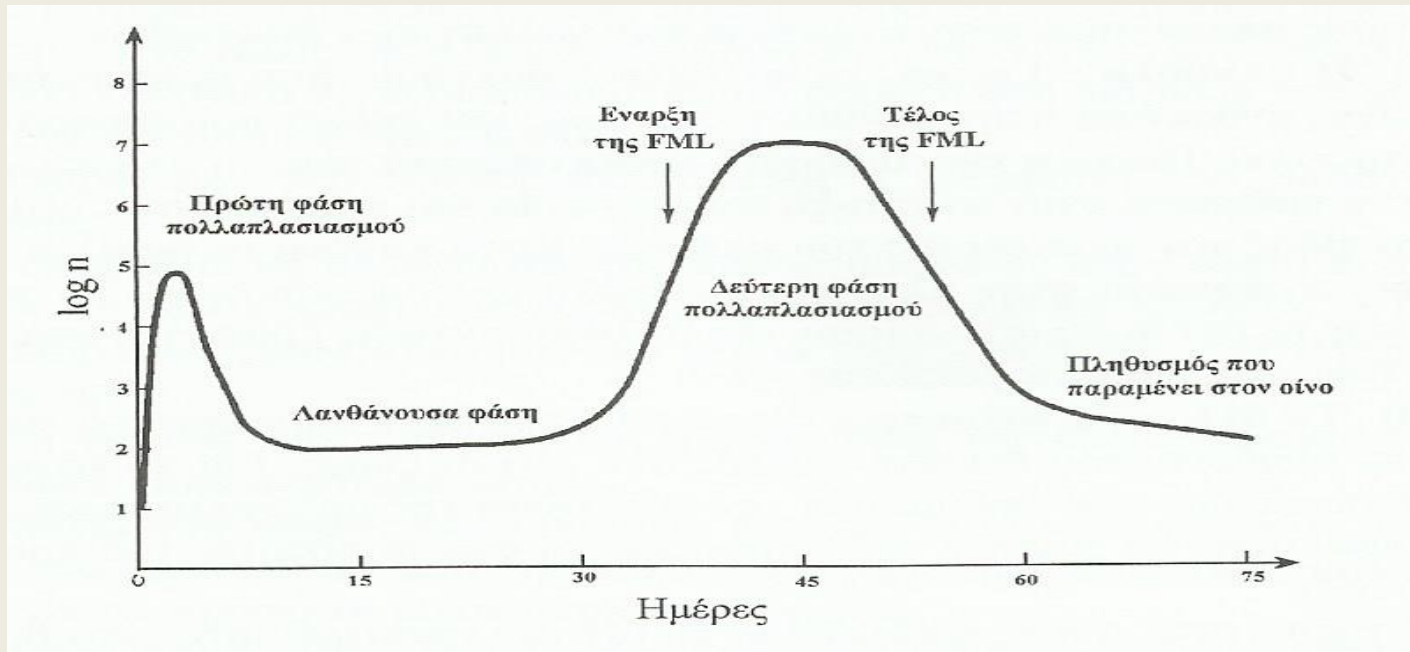
Το *O. oeni* είναι το κύριο είδος που έχει βρεθεί μετά την αλκοολική ζύμωση και κατά τη μηλογαλακτική ζύμωση.

Η ανάπτυξή του συμβαίνει, και μπορεί να ευνοηθεί με αύξηση της θερμοκρασίας του οίνου στους 20-25 °C και σε συνθήκες χαμηλού θειώδη ανυδρίτη (λιγότερο από 15-20 mg/L ελεύθερο θειώδη ανυδρίτη).

Μετά την ολοκλήρωση της ΜΓΖ, μπορεί να ακολουθεί ανάπτυξη άλλων γαλακτικών βακτηρίων, όπως *Lactobacillus* και *Pediococcus*.

Figure 1. Growth cycle of lactic acid bacteria in wine during vinification and storage





Φάση επιτέλεσης της μηλογαλακτικής ζύμωσης (FML).

Υπό τυπικές συνθήκες, τα γαλακτικά βακτήρια παραμένουν ζωντανά στον οίνο κατά την αποθήκευση. Παρατηρείται μόνο προοδευτική μείωση του πληθυσμού, παράδειγμα από 10^7 σε 10^5 κύτταρα/mL μετά 6 μήνες διατήρησης.

Ακόμη και εάν δεν πολλαπλασιάζονται μπορεί με μεταβολισμό κάποιων υποστρωμάτων να παράγουν ανεπιθύμητες ενώσεις και να αλλοιώσουν τον οίνο, ιδιαίτερα *Lactobacillus* και *Pediococcus*.

Οι συνθήκες στον οίνο για ανάπτυξη μηλογαλακτικών βακτηρίων και επιτέλεση της ΜΓΖ δεν είναι ευνοϊκές.

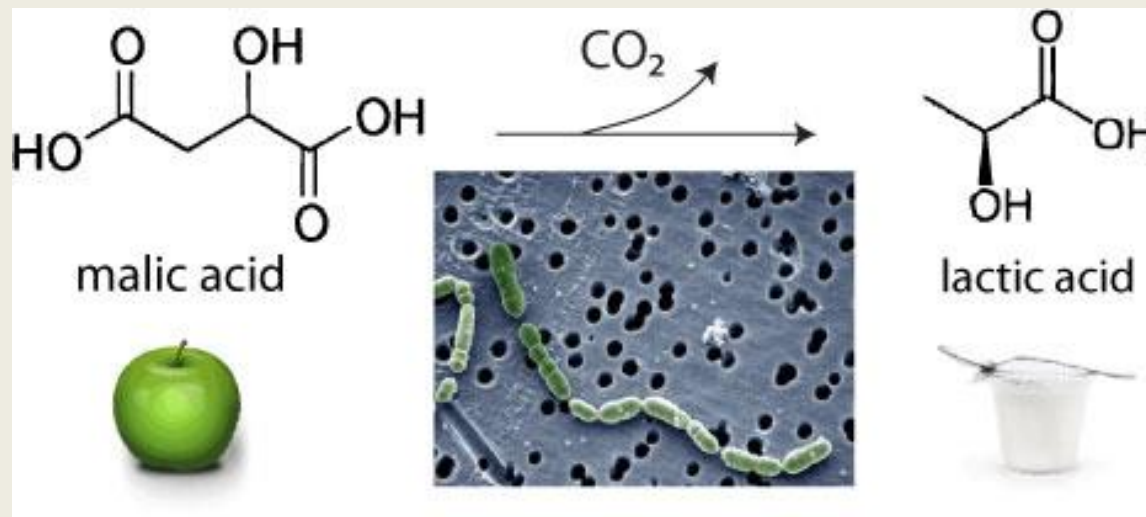
Η θερμοκρασία, το pH, η αλκοόλη, ο θειώδης ανυδρίτης και η έλλειψη θρεπτικών δεν επιτρέπουν την ανάπτυξη γαλακτικών βακτηρίων. Μάλιστα υψηλά επίπεδα αλκοόλης και θειώδη ανυδρίτη μπορεί ακόμη τα θανατώσουν. Έτσι, μπορεί οι πληθυσμοί των μηλογαλακτικών βακτηρίων να μη φτάνουν στα υψηλά επίπεδα για την ζύμωση, ενώ μπορεί να συμβαίνει αργή ζύμωση ή διακοπή της ζύμωσης. Μερικές φορές αρκετές εβδομάδες ή ακόμη και μήνες χρειάζονται για την ανάπτυξη και τη ΜΓΖ.

Στις ημέρες μας, είναι κοινή πρακτική η άμεση προσθήκη στον οίνο καθαρής καλλιέργειας (starter) στελέχους μηλογαλακτικού βακτηρίου.

Μηλογαλακτική ζύμωση (ΜΓΖ) στον οίνο καλείται η ενζυμική μετατροπή του μηλικού οξέος σε γαλακτικό οξύ.

Συμβαίνει συνήθως μετά την αλκοολική ζύμωση, αλλά μπορεί να συμβούν και ταυτόχρονα. Η αναγωγή του μηλικού οξέος σε γαλακτικό οξύ δεν είναι πραγματική ζύμωση αλλά μάλλον μία ενζυμική αντίδραση που συμβαίνει από γαλακτικά βακτήρια, μετά την εκθετική φάση ανάπτυξης τους.

Η ΜΓΖ επιτελείται από το *Oenococcus oeni*, είδος που μπορεί να αναπτύσσεται σε χαμηλό pH (< 3,5), υψηλά επίπεδα αλκοόλης (>10 % vol.) και υψηλά επίπεδα θειώδη ανυδρίτη (όπως 50 mg/L). Επίσης, ανθεκτικά στελέχη *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus* μπορεί να αναπτύσσονται και να συμμετέχουν στη ΜΓΖ ζύμωση, ιδιαίτερα σε pH > 3,5.



Το μηλογαλακτικό ένζυμο είναι διμερές αποτελούμενο από όμοιες υπομονάδες 60 kDa, και έχει ως συνένζυμα το NAD και μαγγάνιο.

Το μηλογαλακτικό ένζυμο έχει χαρακτηριστεί βιοχημικά σε *O. oeni*, *Lb. casei*, *Lb. plantarum*, *Lc. mesenteroides*.

Επίσης, έχει χαρακτηριστεί γενετικά σε *O. oeni*.

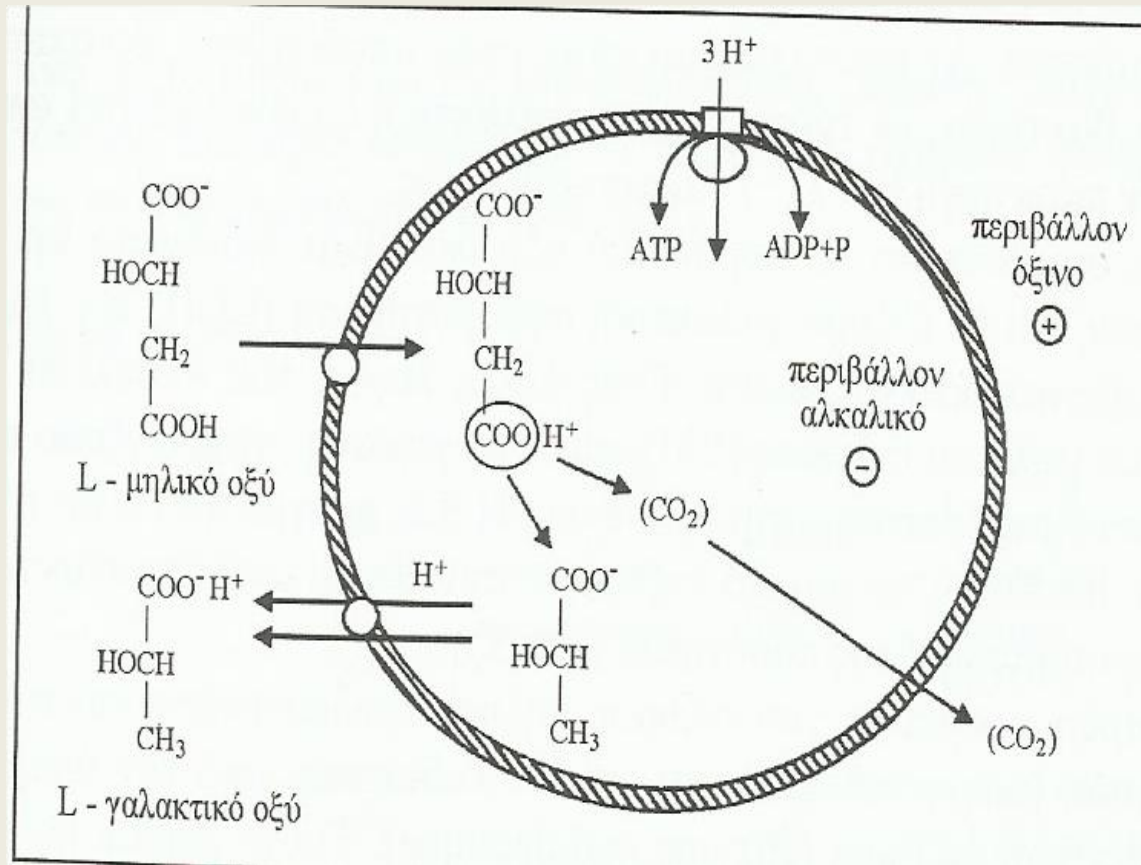
Με τη ΜΓΖ συμβαίνει μείωση της οξύτητας (κυρίως σε οίνους που παράγονται σε ψυχρές περιοχές). Αυτό συμβαίνει καθόσον με τη μετατροπή του μηλικού οξέος σε γαλακτικό παράγεται CO₂ και ένα δι-καρβοξυλικό οξύ μετατρέπεται σε μονο-καρβοξυλικό.

Επίσης, με τη δράση των μηλογαλακτικών βακτηρίων παράγονται ενώσεις αρώματος, και έτσι υπάρχει θετική επίδραση στο άρωμα του οίνου.

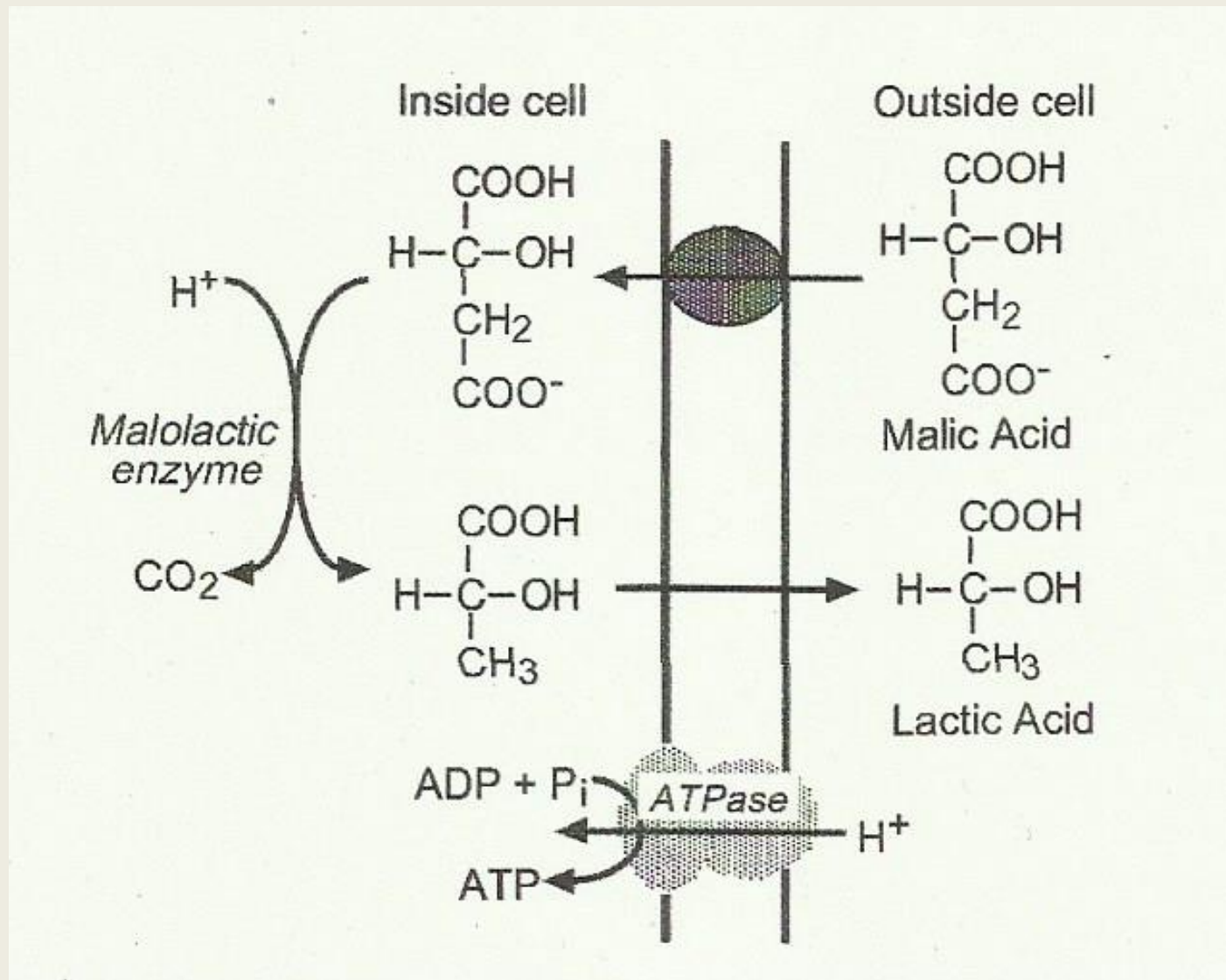
Πάντως, μη ελεγχόμενη μηλογαλακτική ζύμωση μπορεί να οδηγήσει σε ανεπιθύμητα αποτελέσματα. Αυτό μπορεί να συμβεί με παραγωγή ενώσεων με αρνητική επίδραση στο flavour όπως το οξικό οξύ, και ακόμη με παραγωγή βιογενών αμινών.

Οι κύριοι παράγοντες επηρεάζουν την πορεία της μηλογαλακτικής ζύμωσης είναι το pH, η θερμοκρασία, το SO₂ και η αλκοόλη.

Ιδανικές συνθήκες για την επίτευξη της μηλογαλακτικής ζύμωσης είναι
pH > 3,2 (3,2-3,6),
θερμοκρασία 15-20 °C (λευκοί οίνοι 15 °C, ερυθροί οίνοι 20 °C),
αλκοόλη < 12,5 % vol.,
ολικός θειώδης ανυδρίτης < 20 mg/L
και ελεύθερος θειώδης ανυδρίτης < 10 mg/L



Μετατροπή του μηλικού οξέος σε γαλακτικό οξύ.



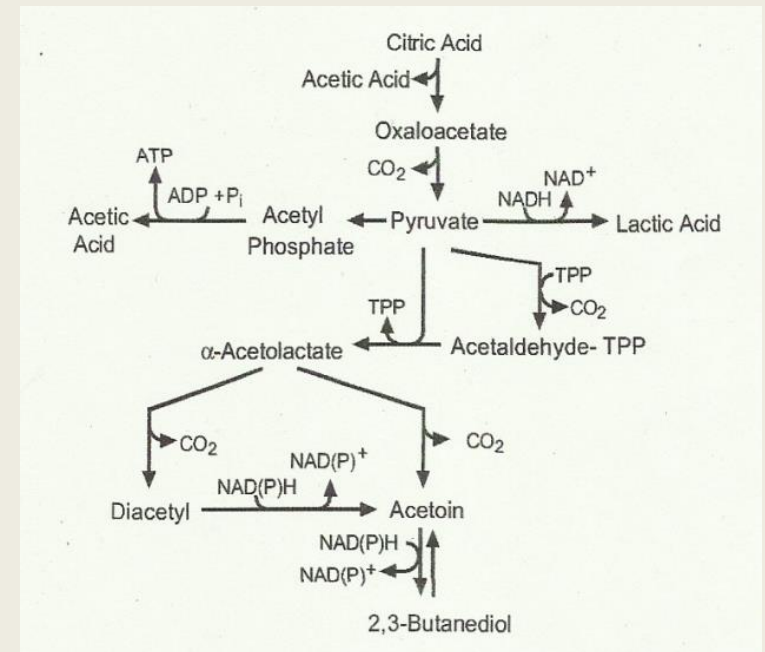
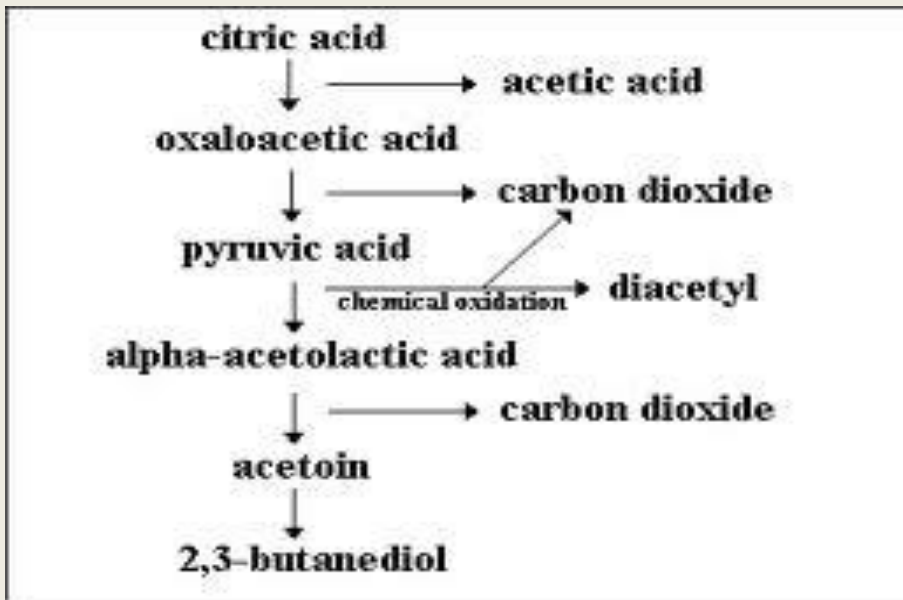
Μετατροπή του μηλικού οξέος σε γαλακτικό οξύ.

Παραγωγή διακετυλίου

Κατά τη ζύμωση του κιτρικού οξέος, αρχικά το κιτρικό οξύ διασπάται σε οξικό και οξαλοξικό οξύ.

Στη συνέχεια το οξαλοξικό οξύ αποκαρβοξυλιώνεται προς πυροσταφυλλικό οξύ.

Ακολούθως, παράγεται α-ακετογαλακτικό οξύ, που με αποκαρβοξυλίωση δίνει ακετοΐνη, μέρος της οποίας μετατρέπεται σε 2,3 βουτανοδιόλη. Το διακετύλιο παράγεται με οξείδωση της ακετοΐνης ή με οξειδωτική αποκαρβοξυλίωση του α-ακετογαλακτικού οξέος.



Το διακετύλιο σε επίπεδα 2-3 mg/L στους λευκούς οίνους και 4-5 mg/L στους ερυθρούς οίνους προσδίδει ιδιαίτερο άρωμα. Σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις προσδίδει έντονο άρωμα βουτύρου.

Επίδραση της ΜΓΖ στην ποιότητα και σύσταση του οίνου.

Πτώση οξύτητας

Η συνολική πτώση της οξύτητας κυμαίνεται από 0,1-0,3 % και η αύξηση του pH από 0,1-0,3.

Γενικότερα κρασιά που παράγονται σε περιοχές ψυχρού κλίματος έχουν μια φυσική υψηλή οξύτητα και επωφελούνται από την πτώση της λόγω της ΜΓΖ.

Αντίθετα, κρασιά περιοχών ζεστών κλιμάτων, έχουν μικρότερη οξύτητα οπότε επιπλέον μείωσή της επιφέρει αρνητικά αποτελέσματα στην ποιότητα του κρασιού, δίνοντάς του μία στυφή γεύση και δημιουργώντας ένα φιλικό προς τα επιβλαβή βακτήρια περιβάλλον.

Μεταβολές οσμής- γεύσης (flavour)

Η μεταβολική δραστηριότητα των γαλακτικών βακτηρίων σχετίζεται με αλλαγές που συμβαίνουν στον οίνο και αφορούν τη γεύση και το άρωμά του.

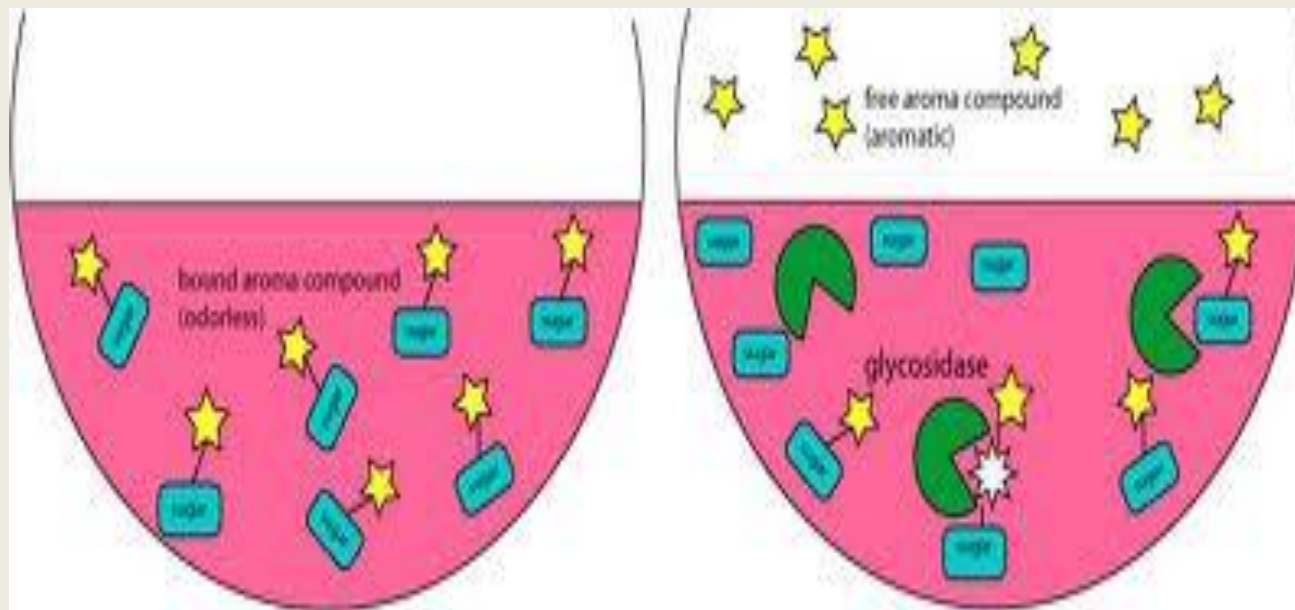
Η ΜΓΖ προσδίδει γεύση και άρωμα όπως βουτύρου και καρυδιού, ενώ παρατηρείται εξασθένηση του πρωτογενούς αρώματος.

Μείωση έντασης χρώματος

Επίσης, συμβαίνει μείωση της έντασης του χρώματος με απώλεια μπλε τόνων.

Αυτό κυρίως οφείλεται σε απορρόφηση ανθοκυανών στα τοιχώματα των βακτηρίων ,

ενώ επίσης βοηθούν η αύξηση του pH και τα χαμηλά επίπεδα θειώδη ανυδρίτη.



Τρέχουσες χρήσεις

Η χρήση starters είναι σήμερα συνήθης. Συνήθως χρησιμοποιείται 1 ή 2-3 στελέχη *O. oenos*. Έτσι, ελέγχεται η έναρξη της ζύμωσης.

Επίσης παρεμποδίζεται η ανάπτυξη ανεπιθύμητων γαλακτικών βακτηρίων (*Lactobacillus*, *Pediococcus*) που μπορεί παράγουν οξικό οξύ και ακόμη βιογενείς αμίνες.

Χρησιμοποιούνται λυοφιλοποιημένα παρασκευάσματα, αν και ελέγχεται η μείωση της βιωσιμότητά τους. Η φάση ενυδάτωσης είναι σημαντική για την βιωσιμότητά τους. Υπάρχουν και φρέσκα και καταψυγμένα παρασκευάσματα.

Ο έλεγχος για πιθανή ευαισθησία σε βακτηριοφάγους είναι σημαντικός. Ο ενοφθαλμισμός συνήθως γίνεται μετά την αλκοολική ζύμωση, για αποφυγή ανάπτυξης ανεπιθύμητων γαλακτικών βακτηρίων.

Επίσης, ελέγχεται ο συν-ενοφθαλμισμός ζύμης και βακτηρίου. Έτσι, το γαλακτικό βακτήριο προσαρμόζεται στο περιβάλλον του οίνου (ιδιαίτερα την αιθανόλη).

Η μικροοξυγόνωση σχετίζεται με την προσθήκη starter και τη μηλογαλακτική ζύμωση.

Είναι τεχνική προσθήκης μικρών και ελεγχόμενων ποσοτήτων οξυγόνου στον οίνο, κυρίως για σταθεροποίηση του χρώματος των ερυθρών οίνων.

**Το οξυγόνο σε χαμηλά επίπεδα ευνοεί αντιδράσεις ανθοκυανών και ταννινών προς έγχρωμα προϊόντα με σταθερό χρώμα.
Έτσι, δεν συμβαίνει μείωση των ανθοκυανών.**

**Η μικροοξυγόνωση καθυστερεί την έναρξη της ΜΓΖ.
Έτσι, πρέπει να έχει ολοκληρωθεί πριν τον ενοφθαλμισμό του starter.**

Οξικά Βακτήρια

Τα οξικά βακτήρια είναι Gram αρνητικά ή Gram μεταβλητά, ελλειψοειδή /ραβδία. Είναι υποχρεωτικά αερόβιοι μικροοργανισμοί.

Η πιο γνωστή εφαρμογή τους είναι η οξείδωση της αιθανόλης σε οξικό οξύ, στην παραγωγή ξυδιού.

Μεταβολισμός οξικών βακτηρίων

Τα οξικά βακτήρια ως πηγή άνθρακα χρησιμοποιούν ζάχαρα, την αιθανόλη, τη γλυκερόλη, το γαλακτικό οξύ.

Ως πηγή αζώτου χρησιμοποιούν ανόργανες (άλατα αμμωνίου) και οργανικές πηγές.

Επίσης, για την ανάπτυξή τους απαραίτητα είναι διάφορα αμινοξέα και βιταμίνες του συμπλέγματος Β.

Είναι γνωστή η ικανότητά τους να οξειδώνουν ζάχαρα και αλκοόλες με τελικά προϊόντα οργανικά οξέα . Οξειδώνουν ζάχαρα προς κετονοξέα, αλκοόλες σε ζάχαρα όπως μαννιτόλη σε φρουκτόζη.

Επίσης, οξειδώνουν τη γλυκερόλη σε δι-υδροξυ-ακετόνη.

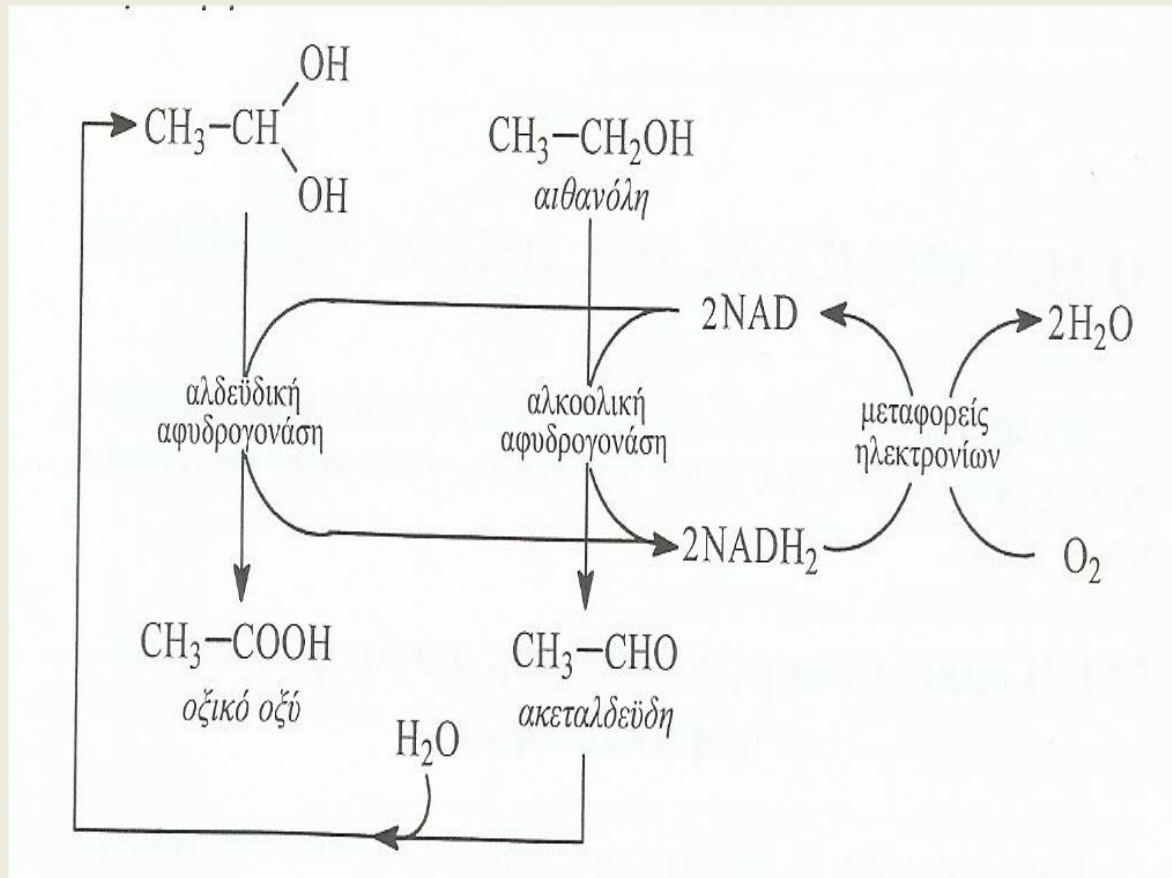
Τα οξικά βακτήρια του γένους *Acetobacter* μπορεί να οξειδώσουν το γαλακτικό οξύ. Σχηματίζεται, ως ενδιάμεσο το πυροσταφυλλικό, που αποκαρβοξυλιώνεται προς ακεταλδεύδη που οξειδώνεται προς οξικό.

Οξική ζύμωση ή οξείδωση της αιθανόλης

Η πιο σημαντική δραστηριότητα των οξικών βακτηρίων είναι η οξείδωση της αιθανόλης σε οξικό οξύ. Αυτή είναι στα πλαίσια αερόβιου μεταβολισμού. Είναι δύο σταδίων. Η αιθανόλη μετατρέπεται σε ακεταλδεύδη, και στη συνέχεια αυτή σε οξικό οξύ. Ορισμένα βακτήρια μπορούν να οξειδώσουν μέρος του οξικού οξέος σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό, αλλά αυτό δεν συμβαίνει στον οίνο.

Επίσης, ορισμένα βακτήρια προκαλούν μερική εστεροποίηση του οξικού οξέος με την αιθανόλη. Ο οξικός αιθυλεστέρας που σχηματίζεται συμμετέχει θετικά ή αρνητικά στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των οίνων.

Γενικά η εστεροποίηση των οξέων γίνεται μέσα στα κύτταρα (τα οξέα που δεν εισέρχονται στο κύτταρο δεν εστεροποιούνται) Οι εστέρες αυτοί αποτελούν το 95% των εστέρων που δημιουργούνται με βιολογική οδό.



Σχήμα. Οξείδωση της αιθανόλης από τα οξικά βακτήρια

Τα οξικά βακτήρια είναι πολύ διαδεδομένα στη φύση, και βρίσκονται και πάνω στα σταφύλια. Υπάρχουν σε όλα τα σαπισμένα σταφύλια, όπως και σε ορισμένα υγιή.

Τα οξικά βακτήρια έχουν αρνητικό ρόλο στην οινοποίηση. Επιζούν στις διάφορες φάσεις της αλκοολικής ζύμωσης, και ο έλεγχός τους είναι σημαντικός για παραγωγή οίνου καλής ποιότητας.

Αυτά που βρίσκονται συχνά στην πορεία της οινοποίησης είναι τα *Gluconobacter oxydans*, *Acetobacter aceti* και *Acetobacter pasteurianus*. Επίσης, σε μικρότερο βαθμό, βρίσκονται τα *Gluconoacetobacter liquefasciens* και *Gluconoacetobacter hansenii*.

Στην αρχή, γλεύκος-αρχή ζύμωσης, έχουν αναφερθεί πληθυσμοί 10^6 - 10^7 , 10^4 – 10^5 , και 10^2 – 10^3 , χαμηλότεροι σε $\text{pH} < 3,6$. Στο στάδιο αυτό κύριο είναι το *Gluconobacter oxydans*. Στη συνέχεια οι αναερόβιες συνθήκες είναι αρνητικές για την ανάπτυξη των οξικών βακτηρίων. Αυτά που βρίσκονται είναι *Acetobacter*, κυρίως *Acetobacter aceti*.

Η μεταφορά του οίνου σε δεξαμενές αποθήκευσης, με τον κάποιο αερισμό, βοηθάει τα οξικά βακτήρια να επιζήσουν.

Κατά την παραμονή σε βαρέλια , ο αερισμός ευνοεί την ανάπτυξη οξικών βακτηρίων. Στη φάση αυτή, εάν οι συνθήκες αερισμού και θερμοκρασίας το επιτρέψουν, μπορεί να παραχθούν ικανές ποσότητες οξικού οξέος και οξικού αιθυλεστέρα. Πάντως, χαμηλές θερμοκρασίες (< 15 °C) δρούν ανασταλτικά.

Στους εμφιαλωμένους οίνους η παρουσία/αλλοίωση από οξικά βακτήρια γίνεται αντιληπτή κυρίως ως μεμβράνη στην επιφάνεια.

Γενικά, οι παράγοντες που επιδρούν στην ανάπτυξη των οξικών βακτηρίων κατά την οινοποίηση είναι το οξυγόνο (και το διαλυμένο οξυγόνο), η θερμοκρασία, το pH του γλεύκους και οίνου, ο θειώδης ανυδρίτης, τα επίπεδα της αιθανόλης.

**Είναι υποχρεωτικά αερόβια. Έτσι, το διαθέσιμο οξυγόνο καθορίζει σε σημαντικό βαθμό την ανάπτυξή τους.
Για έλεγχο τους πρέπει να ελέγχεται το οξυγόνο.**

Η άριστη θερμοκρασία ανάπτυξης των οξικών βακτηρίων είναι 25-30 °C, ενώ αναπτύσσονται στην περιοχή 5-42 °C.

Πάντως, σε θερμοκρασίες < 15 °C η ανάπτυξη είναι μικρή.
Έτσι, η οξίνιση των οίνων ευνοείται τις θερμότερες εποχές του έτους.

Τα οξικά βακτήρια έχουν άριστο pH 5-6,5, αλλά αναπτύσσονται σε pH 3-4. Η ανάπτυξή τους σε pH 3,2-3,8 είναι μικρή, ενώ δεν αναπτύσσονται σε pH < 3,0.

Επίσης, τα οξικά βακτήρια είναι ευαίσθητα στον θειώδη ανυδρίτη, που σε επίπεδα 30 mg/L εμποδίζει την ανάπτυξή τους. Σημειώνεται ότι στην επιφάνεια του οίνου που συνήθως αναπτύσσονται τα οξικά βακτήρια, ο θειώδης ανυδρίτης οξειδώνεται με απώλεια της αντιμικροβιακής του δράσης.

Η οξική ζύμωση είναι πιο σπάνια σε οίνους με υψηλά επίπεδα αλκοόλης, καθόσον είναι ευαίσθητα στην αλκοόλη.

Το φιλτράρισμα του οίνου είναι, επίσης, σημαντικό, όπως και η χρήση αερίου όπως CO₂ και επακόλουθη αποφυγή οξυγόνου.

Η πτητική οξύτητα των κρασιών

Η πτητική οξύτητα των κρασιών οφείλεται σχεδόν αποκλειστικά στο οξικό οξύ. Το οξικό οξύ μπορεί να προέρχεται από δράση οξικών βακτηρίων, αλλά επίσης και γαλακτικών βακτηρίων και ζυμομυκήτων. Πάντως, είναι κυρίως βακτηριακής προέλευσης.

Τα οξικά βακτήρια μετατρέπουν την αιθανόλη σε οξικό οξύ και άλλα προϊόντα. Τα γαλακτικά βακτήρια μετατρέπουν την γλυκόζη με ετερογαλακτική ζύμωση σε οξικό οξύ και άλλα προϊόντα.

Πιο σπάνια μετατρέπουν το τρυγικό οξύ σε CO₂ γαλακτικό οξύ, οξικό οξύ, ακετοϊνικές ενώσεις.

Ακόμη, τη γλυκερόλη σε γαλακτικό οξύ, οξικό οξύ και ακρολείνη.

Οι ζυμομύκητες παράγουν οξικό οξύ, ως υποπροϊόν της γλυκεροπυροσταφυλλικής ζύμωσης.