



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
UNIVERSITY OF WEST ATTICA

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ,  
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΟΙΝΟΥ, ΑΜΠΕΛΟΥ ΚΑΙ ΠΟΤΩΝ

**Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών  
στην Επιστήμη Οίνου και Ζύθου  
Κατεύθυνση: Οίνος**

**Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία**

**ΟΞΕΙΔΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΟΙΝΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ  
ΤΗΝ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ**

**ΣΤΑΜΑΤΙΟΥ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ  
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΣΕΧΑΝΤΕ ΑΝΤΝΑΝ**

**ΑΘΗΝΑ 2023**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
UNIVERSITY OF WEST ATTICA

SCHOOL OF FOOD SCIENCES,  
DEPARTMENT OF WINE, VINE AND BEVERAGE SCIENCES

**Master of Science in  
Wine and Beer Science  
Option: Wine**

**Master Thesis**

**OXIDATION OF WINE AND THE FACTORS THAT AFFECT  
IT**

**STAMATIOU ANASTASIA  
SUPERVISOR: ADNAN SHEHADEH**

**ATHENS 2023**

## Διασαφήσεις

Οι υπογράφωντες δηλώνουμε ότι έχουμε εξετάσει τη μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία με τίτλο «Οξειδωσιμότητα των οίνων και παράγοντες που την επηρεάζουν » που παρουσιάστηκε από την Σταματίου Αναστασία και βεβαιώνουμε ότι γίνεται δεκτή.

The signatories declare that we have examined the postgraduate diploma thesis titled “OXIDATION OF WINE AND THE FACTORS THAT AFFECT IT ”presented by STAMATIOU ANASTASIA and we affirm that it is accepted.

**Όνοματεπώνυμο & Υπογραφή 1ου Μέλους Επιτροπής  
(Name and Signature of 1<sup>st</sup> Commission Member):**

.....

**Όνοματεπώνυμο & Υπογραφή 2<sup>ου</sup> Μέλους Επιτροπής  
(Name and Signature of 2<sup>nd</sup> Commission Member):**

.....

**Όνοματεπώνυμο & Υπογραφή 3<sup>ου</sup> Μέλους Επιτροπής  
(Name and Signature of 3<sup>rd</sup> Commission Member):**

.....

Με την υποβολή αυτής της διατριβής, δηλώνω ότι το σύνολο των εργασιών που περιέχονται σε αυτή είναι το δικό μου, πρωτότυπο έργο, ότι εγώ είμαι η μοναδική δημιουργός τους (εκτός αν αναφέρεται διαφορετικά), ότι η αναπαραγωγή και η δημοσίευσή της από το Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής δεν θα παραβιάζει οποιαδήποτε δικαιώματα τρίτων και ότι δεν έχω υποβάλει στο παρελθόν το σύνολο ή μέρος αυτής για την απόκτηση οποιουδήποτε τίτλου.

By submitting this thesis, I declare that the entirety of the work contained therein is my own, original work, that I am the sole author thereof (save to the extent explicitly otherwise stated), that reproduction and publication thereof by University of West Attica will not infringe any third party rights and that I have not previously in its entirety or in part submitted it for obtaining any qualification.

**Σταματίου Αναστασία**



.....

Πνευματική ιδιοκτησία © **ΕΤΟΣ** Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής  
Όλα τα δικαιώματα διατηρούνται  
Copyright © **YEAR** University of West Attica  
All rights reserved

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την στήριξη που μου παρείχαν κατά την διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών καθώς και τον καθηγητή κ. Σεχάντε Αντνάν για τον χρόνο που αφιέρωσε για την διπλωματική μου εργασία.

## Περίληψη

Ο οίνος, ένα σύνθετο και αγαπημένο ποτό, είναι ευαίσθητο στην οξείδωση, μια διαδικασία που μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την ποιότητα και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του. Η εργασία αυτή εμβαθύνει στο πολύπλευρο πεδίο της οξείδωσης του οίνου, εξετάζοντας τους υποκείμενους μηχανισμούς, τους παράγοντες που την επηρεάζουν, τις συνέπειες στην ποιότητα και τις στρατηγικές μετριασμού και ελέγχου. Η εισαγωγική ενότητα θέτει τις βάσεις διευκρινίζοντας τη σύνθεση του οίνου και την πολιτιστική του σημασία. Υπογραμμίζεται η περίπλοκη σχέση μεταξύ της σύνθεσης του οίνου και της ευαισθησίας στην οξείδωση, υπογραμμίζοντας έτσι την ανάγκη για μια ολοκληρωμένη κατανόηση του φαινομένου αυτού. Η οξείδωση του οίνου διερευνάται λεπτομερώς, περιλαμβάνοντας τόσο τις χημικές αντιδράσεις όσο και την αλληλεπίδραση των αντιοξειδωτικών. Ο περίπλοκος ιστός των αντιδράσεων, που περιλαμβάνει την πρόσληψη οξυγόνου, τις οξειδωτικές αντιδράσεις και τον καθοριστικό ρόλο των πολυφαινολών, αναλύεται σχολαστικά. Διευκρινίζεται επίσης ο ρόλος της αντίδρασης Maillard στο πλαίσιο της οινοποίησης. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την οξείδωση του οίνου εξετάζονται αυστηρά, περιλαμβάνοντας τις οδούς έκθεσης στο οξυγόνο κατά την παραγωγή και την εμφιάλωση, την επίδραση των κλεισιμάτων στην οξείδωση, τις συνθήκες αποθήκευσης και τη σχέση μεταξύ της σύνθεσης του οίνου και της ευαισθησίας στην οξείδωση. Συζητείται επίσης η σημασία του ασκορβικού οξέος σε αυτό το πλαίσιο. Οι επιπτώσεις της οξείδωσης στην ποιότητα του οίνου αναλύονται, δίνοντας έμφαση στις οργανοληπτικές αλλαγές και στην υποβάθμιση βασικών ποιοτικών χαρακτηριστικών. Διερευνώνται οι επιπτώσεις στη σταθερότητα του οίνου, στη δυνατότητα παλαίωσης και στη διάρκεια ζωής στο ράφι, προσφέροντας πληροφορίες για τις βαθιές επιπτώσεις της οξείδωσης. Οι στρατηγικές μετριασμού και ελέγχου βρίσκονται στο επίκεντρο, περιλαμβάνοντας προληπτικά μέτρα για την ελαχιστοποίηση της έκθεσης σε οξυγόνο κατά την οινοποίηση, τον ρόλο της προστασίας με αδρανή αέρια και τις κατάλληλες τεχνικές εμφιάλωσης. Εξετάζονται οι δυνατότητες των αντιοξειδωτικών και των βελτιωτικών στην αντιμετώπιση της οξείδωσης. Μελέτες περιπτώσεων παρουσιάζουν πρακτικές εφαρμογές των συζητούμενων εννοιών. Συγκριτικές αναλύσεις των τάσεων οξείδωσης σε διαφορετικά στυλ οίνου και η επίδραση των τύπων κλεισίματος στην οξείδωση του οίνου παρέχουν απτές γνώσεις σε πραγματικές περιπτώσεις.

## Abstract

Wine, a complex and cherished beverage, is susceptible to oxidation, a process that can significantly impact its quality and sensory characteristics. This assignment delves into the multifaceted realm of wine oxidation, examining its underlying mechanisms, influencing factors, consequences on quality, and strategies for mitigation and control. The introductory section sets the stage by elucidating the composition of wine and its cultural significance. It underscores the intricate relationship between wine composition and oxidation susceptibility, thus highlighting the need for a comprehensive understanding of this phenomenon. The oxidation of wine is explored in detail, encompassing both chemical reactions and the interplay of antioxidants. The intricate web of reactions, involving oxygen uptake, oxidative reactions, and the pivotal role of polyphenols, is meticulously analyzed. The Maillard reaction's role in the context of winemaking is also elucidated. Factors influencing wine oxidation are rigorously examined, encompassing pathways of oxygen exposure during production and bottling, the impact of closures on oxidation, storage conditions, and the relationship between wine composition and susceptibility to oxidation. Ascorbic acid's significance in this context is also discussed. The repercussions of oxidation on wine quality are expounded upon, emphasizing sensory changes and the degradation of key quality attributes. Effects on wine stability, aging potential, and shelf life are explored, offering insights into the profound implications of oxidation. Mitigation and control strategies take center stage, encompassing preventive measures to minimize oxygen exposure during vinification, the role of inert gas protection, and suitable bottling techniques. The potential of antioxidants and improvers in addressing oxidation is explored. Case studies present practical applications of the discussed concepts. Comparative analyses of oxidation trends in different wine styles and the influence of closure types on wine oxidation provide tangible insights into real-world scenarios.

## Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη .....	5
Abstract.....	6
1. Εισαγωγή.....	9
1.1 Σύσταση Οίνου .....	9
1.2 Η σημασία του οίνου .....	14
1.2.1 Ενισχυμένος οίνος.....	15
1.2.2 Η δράση τη Γλουταθειόνης.....	16
2. Οξείδωση Οίνου.....	18
2.1 Μέθοδοι που βασίζονται σε χημικές αντιδράσεις.....	21
2.2 Μέθοδοι που βασίζονται στις χημικές-φυσικές ιδιότητες των αντιοξειδωτικών .....	23
2.3 Χημικές αντιδράσεις στην οξείδωση του οίνου.....	25
2.3.1 Πρόσληψη και διάλυση οξυγόνου .....	25
2.3.2 Οξειδωτικές αντιδράσεις.....	27
2.4 Πολυφαινόλες .....	29
2.4.1 Η περίπλοκη σχέση μεταξύ των πολυφαινολών και του κρασιού .....	30
3. Παράγοντες που επηρεάζουν την οξείδωση του οίνου .....	33
3.1 Διαδρομές έκθεσης σε οξυγόνο.....	33
3.1.1 Ανάλυση των οδών οξυγόνου κατά την οινοποίηση και την εμφιάλωση .....	33
3.1.2 Επίδραση των πόματων (φελλοί, βιδωτά καπάκια) στην οξείδωση του οίνου .....	35
3.2 Συνθήκες αποθήκευσης.....	36
3.2.1 Επιδράσεις της θερμοκρασίας, της υγρασίας και του φωτός στην οξείδωση.....	36
3.2.2 Συγκριτικοί ρυθμοί οξείδωσης υπό διαφορετικά σενάρια αποθήκευσης.....	38
3.3 Σύνθεση κρασιού .....	39
3.3.1 Σχέση μεταξύ της σύνθεσης του οίνου και της ευαισθησίας στην οξείδωση .....	39
3.4 Ασκορβικό οξύ.....	41
4. Αντίδραση Maillard.....	42
4.1 Η αντίδραση Maillard στο πλαίσιο της οινοποίησης.....	43
5. Επίδραση της οξείδωσης στην ποιότητα του οίνου .....	45
5.1 Αισθητηριακές αλλαγές .....	45
5.2 Υποβάθμιση της ποιότητας.....	47
5.2.1 Επιπτώσεις της οξείδωσης στη σταθερότητα του οίνου, τη δυνατότητα παλαίωσης και τη διάρκεια ζωής στο ράφι.....	47
6. Μετριασμός και έλεγχος της οξείδωσης.....	49
6.1 Προληπτικά μέτρα .....	49
6.1.1 Στρατηγικές για την ελαχιστοποίηση της έκθεσης σε οξυγόνο κατά την οινοποίηση..	49
6.1.2 Σημασία της προστασίας από αδρανή αέρια και των κατάλληλων τεχνικών εμφιάλωσης..	51

6.2 Αντιοξειδωτικές πρακτικές: Αντιμετώπιση της οξείδωσης με αντιοξειδωτικά και βελτιωτικά μέσα .....	52
7. Μελέτες περιπτώσεων και πρακτικές εφαρμογές .....	55
7.1 Μελέτη περίπτωσης 1: Συγκριτική ανάλυση της οξείδωσης σε διαφορετικά στυλ κρασιού.....	55
7.1.1 Διερεύνηση των τάσεων οξείδωσης σε ερυθρούς, λευκούς και ροζέ οίνους .....	55
7.2 Μελέτη περίπτωσης 2: Επίδραση των τύπων κλεισίματος στην οξείδωση του οίνου .....	56
Συμπεράσματα .....	58



# 1. Εισαγωγή

Σύμφωνα με μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί η ιστορία του οίνου ξεκινάει πριν από την εποχή των παγετώνων καθώς ο οίνος ευδοκίμησε στην πολική ζώνη σε περιοχές όπως η Ισλανδία, η βόρεια Ευρώπη και η Αλάσκα. Αυτά τα στοιχεία μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι ο οίνος αποτελεί βασικό στοιχείο του ανθρώπινου πολιτισμού εδώ και 6000 χρόνια. Ακραίες καιρικές συνθήκες όπως οι παγετώνες οδήγησαν στην σταδιακή απομόνωση των διαφόρων ποικιλιών με αποτέλεσμα τη δημιουργία πολλών και διαφορετικών ειδών αμπέλου.

Η τέχνη της αμπελοκαλλιέργειας ξεκίνησε με τους αρχαίους Πέρσες και τους Ασσύριους και στη συνέχεια ακολούθησαν οι Αιγύπτιοι και οι αρχαίοι Έλληνες. Αναφορές δείχνουν ότι οι κάτοικοι του ελλαδικού χώρου ασχολούνται με την οινοποιία πριν το 1700 π.Χ. με γνώσεις που προήλθαν από τους Αιγύπτιους και τους Φοίνικες. Διάφορες μελέτες παρουσιάζουν στοιχεία για την ιδιαίτερη αφοσίωση των Ελλήνων στην εκμάθηση της αμπελοκαλλιέργειας όπως φαίνεται άλλωστε μέσα από ιστορικές και λογοτεχνικές αναφορές.

Αξιοσημείωτο επίτευγμα στην επιστήμη της οιнологίας αποτελεί η βιολογική κατανόηση των διαδικασιών της ζύμωσης, με το έργο του Παστέρ (1866) όπου μελετήθηκε η παρουσία του οξυγόνου για την παραγωγή και την παλαίωση του οίνου. Η εξέλιξη της επιστήμης αυτής συνεχίστηκε με τον προσδιορισμό συστηματικών ενώσεων του κρασιού και πιο συγκεκριμένα των φαινολικών ενώσεων. Με τον τρόπο αυτόν παρατηρήθηκαν οι μηχανισμοί οξειδωσης που εμφανίζονται στον οίνο και πιο συγκεκριμένα διαδικασίες όπως η συγκομιδή ή η παλαίωση του οίνου.

## 1.1 Σύσταση του Οίνου

Ο οίνος αποτελείται από πολλές χημικές ενώσεις οι οποίες παίζουν σημαντικό ρόλο στην ποιότητα του. Σύμφωνα με έρευνες παρατηρούνται ομοιότητες στην ποιοτική σύσταση του γλεύκους και του οίνου με τη διαφορά όμως ότι ποσοτικά πραγματοποιούνται διάφορες μεταβολές οι οποίες είναι αποτέλεσμα της αλκοολικής ζύμωσης που υφίσταται το γλεύκος κατά τη διαδικασία της οινοποίησης. Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα και τη σύνθεση του οίνου και μερικοί από αυτούς είναι η περιεκτικότητα των σταφυλιών σε οξέα, σάκχαρα, ανθοκυάνες, τανίνες και διάφορες άλλες αρωματικές ενώσεις. Οι αλληλεπιδράσεις των παραπάνω στοιχείων είναι καθοριστικής σημασίας για την ποιότητα και τη σύνθεση του οίνου.

Οι τρεις βασικές ομάδες που κατατάσσονται ως επιμέρους συστατικά είναι το νερό, τα ανόργανα και τα οργανικά συστατικά. Το 60-80% του γλεύκους αποτελείται από νερό και υπάρχουν διάφορες συνθήκες που είναι δυνατό να μεταβάλλουν το παραπάνω ποσοστό όπως για παράδειγμα η ωρίμανση, οι κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής κ.α. Όσον αφορά τα ανόργανα συστατικά που περιλαμβάνονται στον οίνο ανήκουν τα ανόργανα ιόντα που παρατηρούνται κυρίως στο στέρεο μέρος του σταφυλιού. Αξίζει επίσης να σημειωθεί η απουσία ανόργανων οξέων τόσο στο γλεύκος όσο και στον οίνο καθώς εξουδετερώνονται από την ύπαρξη των ισχυρών βάσεων. Τέλος, οι αρωματικές και φαινολικές ενώσεις, τα σάκχαρα και οι πολυσακχαρίτες, τα οργανικά οξέα, οι βιταμίνες και τα διάφορα ένζυμα κατατάσσονται στα οργανικά συστατικά του γλεύκους και του οίνου και είναι υπεύθυνα για τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του παραγόμενου οίνου.

Πιο συγκεκριμένα:

- Νερό:

Το νερό είναι από τα βασικότερα συστατικά του οίνου καθώς καλύπτει το 80-85% της περιεκτικότητάς του. Το νερό σε συνύπαρξη με την αλκοόλη, η οποία ισοσταθμίζει άλλα συστατικά, είναι υπεύθυνο για την πυκνότητα του οίνου. Η υψηλή περιεκτικότητα του νερού στους οίνους είναι αυτή που προσδίδει ανάλογη αίσθηση με το νερό.

- Ανόργανα Συστατικά:

Τα ανόργανα συστατικά στους οίνους βρίσκονται σε περιεκτικότητα 2-4g/L, προέρχονται από το σταφύλι και μεταβάλλονται ποσοτικά κυρίως ανάλογα με την ποικιλία του σταφυλιού.

Οργανικά Συστατικά:

I. Αλκοόλη

Οι αλκοόλες στους οίνους κατατάσσονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες, τις απλές μονό-αλκοόλες, τις ανώτερες μονό-αλκοόλες και τις πολύ-αλκοόλες.

Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει την αιθανόλη και τη μεθανόλη η οποία δεν προέρχεται από την αλκοολική ζύμωση αλλά από την υδρόλυση των πηκτινών των σταφυλιών. Η μεθανόλη εμπεριέχεται σε όλους τους οίνους και η περιεκτικότητά της εξαρτάται από την παραμονή του γλεύκους με τα στέμφυλα και ως εκ τούτου οι ερυθροί οίνοι τείνουν να έχουν μεγαλύτερα ποσοστά μεθανόλης συγκριτικά με τους ερυθρωπούς και το υς λευκούς. Η

αιθανόλη είναι ίσως το πιο σημαντικό συστατικό των οίνων μετά το νερό. Προέρχεται κυρίως από την αλκοολική ζύμωση του γλεύκους, με εξαίρεση ορισμένους οίνους όπου μπορεί να γίνει επιπλέον προσθήκη αιθανόλης (πχ ενισχυμένοι οίνοι). Η περιεκτικότητά της συνήθως δεν ξεπερνά το 16% με φυσικό τρόπο καθώς το περιβάλλον για τους ζυμομύκητες σε μεγαλύτερη περιεκτικότητα μεταβάλλεται σε τοξικό και οι ζυμομύκητες πεθαίνουν.

Οι ανώτερες μονό-αλκοόλες είναι δευτερεύοντα προϊόντα της αλκοολικής ζύμωσης και στον οίνο τις συναντάμε σε ποσοστό περίπου των 500mg/L. Οι αλκοόλες αυτές συμβάλλουν μόνες τους ή με τους εστέρες του οίνου, στο αρωματικό και γευστικό μπουκέτο του οίνου.

Τέλος, οι πολύ-αλκοόλες παράγονται από την αλκοολική ζύμωση, σε μεγαλύτερα ποσοστά από τις μονό-αλκοόλες και επηρεάζουν τον οργανοληπτικό χαρακτήρα των οίνων. Η γλυκερόλη αποτελεί μια από τις σημαντικότερες πολύ-αλκοόλες καθώς συναντάται σε αρκετά υψηλά ποσοστά και προσδίδει έναν γλυκό χαρακτήρα στο κρασί. Άλλες πολύ-αλκοόλες είναι 2,3-βουτυλενογλυκόλη, η μαννιτόλη, η σορβιτόλη και η ινοσιτόλη.

## II. Υδατάνθρακες – Σάκχαρα

Η γλυκόζη και η φρουκτόζη αποτελούν τα δύο πιο σημαντικά σάκχαρα που περιέχονται στον οίνο και περιλαμβάνουν 6 άνθρακες. Η γλυκόζη είναι ο κυριότερος μονοσακχαρίτης που συναντάται στα φυτά σε συνδυασμό με την φρουκτόζη η οποία αποτελεί ένα φυσικό σάκχαρο που βρίσκεται στα φρούτα.

## III. Αρωματικές Ενώσεις

Τα αρώματα στους οίνους προέρχονται από διάφορα συστατικά όπως για παράδειγμα οι αλκοόλες οι οποίες επηρεάζουν το αρωματικό τους προφίλ. Άλλες ενώσεις οι οποίες συμβάλλουν στον αρωματικό χαρακτήρα του οίνου είναι οι εστέρες, οι καρβονυλικές ενώσεις καθώς και οι τερπενικές ενώσεις.

## IV. Οξέα

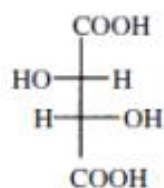
Τα οξέα αποτελούν μια από τις σημαντικότερες ομάδες των οργανικών συστατικών καθώς εκτός από τα γευστικά χαρακτηρίστηκα που προσδίδουν στον οίνο, λειτουργούν και ως αμυντικοί μηχανισμοί στις μικροβιολογικές και χημικές προσβολές ενώ παράλληλα κατέχουν σημαντικό ρόλο στη διατήρηση του χρώματος. Τα οξέα του οίνου προέρχονται είτε από το σταφύλι είτε από ζυμώσεις και προσβολές. Κάποια από τα σημαντικότερα οξέα του οίνου που προέρχονται από το σταφύλι είναι:

- Το τρυγικό • Το μηλικό • Το κιτρικό • Το μυρμηκικό

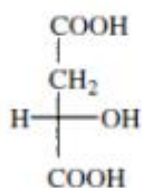
Τα σημαντικότερα οξέα που προέρχονται από ζυμώσεις ή προσβολές του οίνου είναι τα εξής:

- Το ηλεκτρικό • Το γαλακτικό • Το κιτρομηλικό • Το οξικό

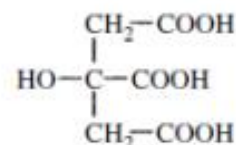
Τέλος, ορισμένα οργανικά οξέα, π.χ. προπιονικό, βουτυρικό, γλυκονικό, μυρμηκικό, παρατηρούνται μόνο στους αλλοιωμένους οίνους.



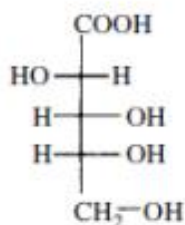
L(+)-Tartaric acid



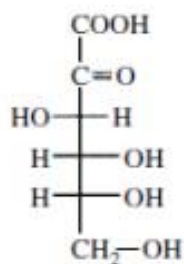
L(-)-Malic acid



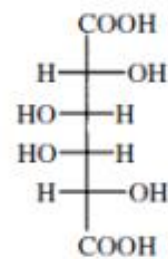
Citric acid



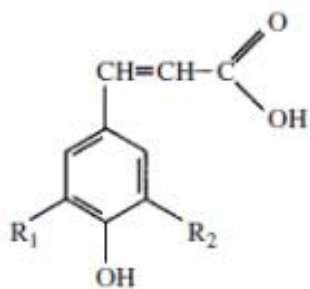
D-Gluconic acid



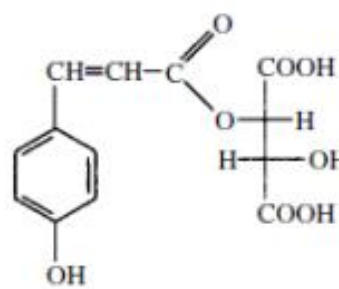
2-keto D-Gluconic acid



Mucic acid



Coumaric acid  
( $\text{R}_1 = \text{R}_2 = \text{H}$ )  
Caffeic acid  
( $\text{R}_1 = \text{OH}; \text{R}_2 = \text{H}$ )



Coumaryl tartaric acid

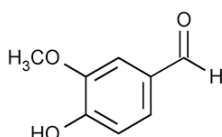
Εικόνα 1.1: Τα κυριότερα οργανικά οξέα στο κρασί (τρυγικό, μηλικό, κιτρικό, οξικό, ηλεκτρικό, γαλακτικό)

## V. Φαινολικές Ενώσεις

Οι φαινολικές ενώσεις ή φαινόλες είναι ουσίες που βρίσκονται στο κρασί και προέρχονται ως επί των πλείστων από το σταφύλι. Οι ενώσεις αυτές παίζουν σημαντικό ρόλο στην όψη του οίνου, στα αρώματα, στη γεύση αλλά και στην υφή του οίνου. Μπορούν να διαχωριστούν σε

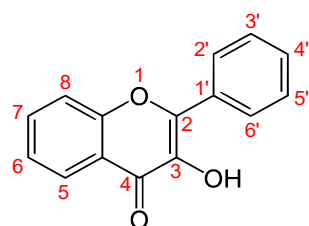
τέσσερις μεγάλες κατηγορίες, τα φαινολικά οξέα, τις φλαβονόλες, τις ανθοκυάνες και τις ταννίνες.

- Φαινολικά οξέα → χρησιμοποιούνται ως φυσικά συντηρητικά του οίνου καθώς κατέχουν σημαντικές αντιβιοτικές και αντισηπτικές ιδιότητες. Επιπλέον, μερικά από αυτά έχουν την τάση να οξειδώνονται εύκολα με αποτέλεσμα να αλλάζουν το χρώμα των λευκών κυρίως οίνων.



Εικόνα 1.2: Σκελετός Φαινολικού οξέος

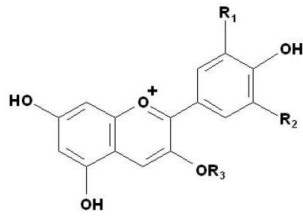
- Φλαβονόλες → βρίσκονται κυρίως στον φλοιό των ραγών και είναι αυτές που προσδίδουν μεταξύ άλλων το κιτρινωπό χρώμα στους οίνους. Αξίζει να σημειωθεί



πως οι φλαβονόλες βρίσκονται σε πολύ μικρές ποσότητες στους λευκούς οίνους με αποτέλεσμα να μην αποτελούν τις βασικές ουσίες που προσδίδουν το χρώμα στους συγκεκριμένους οίνους. Στους ερυθρούς οίνους βρίσκονται σε μεγαλύτερες ποσότητες.

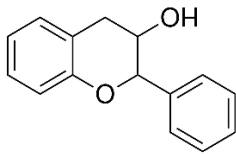
Εικόνα 1.3: Σκελετός Φλαβονόλης

- Ανθοκυάνες → είναι οι ερυθρές χρωστικές του σταφυλιού που βρίσκονται μόνο στο φλοιό των ραγών και είναι παράγωγα του φαίνυλο-2 βενζοπυριλίου από το οποίο προκύπτουν οι ανθοκυανιδίνες του σταφυλιού. Οι χρωστικές που βρίσκονται στη φύση είναι ενώσεις με ένα ή δύο μόρια κάποιου σακχάρου και ονομάζονται ανθοκυανίνες (ή ανθοκυάνες). Στις ανθοκυάνες των σταφυλιών το σάκχαρο που συμμετέχει στο σχηματισμό των μορίων τους, είναι η γλυκόζη. Ανάλογα με τη θέση στην οποία προσκολλάται η γλυκόζη στο μόριο της ανθοκυανιδίνης σχηματίζονται μονογλυκοζίτες ή διγλυκοζίτες.



Εικόνα 1.4: Σκελετός Ανθοκυανίνων

- Ταννίνες → είναι ουσίες που βρίσκονται μέσα στον οίνο και προέρχονται είτε από τον φλοιό είτε από χημικές διαδικασίες κατά την διάρκεια της παραγωγής του οίνου. Οι ουσίες αυτές δεν παρουσιάζουν ομοιομορφία μεταξύ τους και είναι δύσκολο να εντοπιστούν και να κατηγοριοποιηθούν. Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες κατηγορίες φαινολικών ενώσεων οι ταννίνες πολυμερίζονται σε μεγάλο βαθμό κατά την διάρκεια της ωρίμανσης και της παλαίωσης των οίνων δημιουργώντας μεγάλα σύμπλοκα. Ταυτόχρονα λειτουργούν ως αποτρεπτικοί παράγοντες οξειδωσης και οξειδωτικής αλλοίωσης του χρώματος του οίνου.



Εικόνα 1.5: Σκελετός ταννίνης

## VI. Αζωτούχες Ενώσεις

Οι αζωτούχες ενώσεις στους οίνους προέρχονται κυρίως από το σταφύλι. Οι κυριότερες κατηγορίες που εμπεριέχονται στο κρασί είναι τα αμινοξέα, τα πολυπεπίδια, οι πρωτεΐνες και τα αμίδια. Τα αμινοξέα βρίσκονται σε μεγάλη ποσότητα στους οίνους καθώς καλύπτουν περίπου το 40% του συνολικού αζώτου των οίνων. Οι πρωτεΐνες αποτελούν περίπου το 10% αυτού και είναι συνήθως υπεύθυνες για τον θόλωμα του οίνου και την δημιουργία ιζήματος.

### 1.2 Η σημασία του οίνου

Ο οίνος, ως προϊόν αιώνων ζύμωσης και αμπελουργικών πρακτικών, έχει εξελιχθεί σε ποτό με πολιτιστική και οικονομική σημασία. Η ποιότητα, η γεύση και η μακροζωία του οίνου είναι υψίστης σημασίας για την ελκυστικότητα και την εμπορευσιμότητά του. Ωστόσο, μία από τις βασικές προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι οινοποιοί είναι η

διαδικασία της οξείδωσης, η οποία μπορεί να μεταβάλει σημαντικά τα χαρακτηριστικά του οίνου και τελικά να μειώσει την ποιότητα του (Corduas, Cinquanta, & Ievoli, 2013).

Η οξείδωση στον οίνο συμβαίνει όταν το οξυγόνο αντιδρά με τα συστατικά του, οδηγώντας σε χημικές αντιδράσεις που επηρεάζουν το χρώμα, το άρωμα, τη γεύση και τη σταθερότητα του. Ενώ κάποιος βαθμός ελεγχόμενης οξείδωσης μπορεί να είναι επιθυμητός, η υπερβολική οξείδωση μπορεί να οδηγήσει σε ανεπιθύμητες αισθητηριακές αλλαγές και να υποβαθμίσει τη συνολική ποιότητα του οίνου. Οι πιθανές συνέπειες της οξείδωσης υπογραμμίζουν τη σημασία της κατανόησης των μηχανισμών της και του προσδιορισμού των παραγόντων που συμβάλλουν σε αυτήν (Tsai, Araujo, & Tian, 2022).

Η παρούσα μελέτη επιδιώκει να διερευνήσει την περίπλοκη διαδικασία της οξείδωσης του οίνου και να εμβαθύνει στους διάφορους παράγοντες που επηρεάζουν την εμφάνισή της. Με την αποκάλυψη της υποκείμενης χημείας και την εξέταση της αλληλεπίδρασης μεταξύ αυτών των παραγόντων, οι οινοποιοί μπορούν να αποκτήσουν πολύτιμες γνώσεις για την αποτελεσματική διαχείριση και τον έλεγχο της οξείδωσης. Τελικά, η έρευνα αυτή αποσκοπεί στο να ενδυναμώσει την οινική βιομηχανία με γνώσεις που μπορούν να συμβάλουν στην παραγωγή κρασιών σταθερής και εξαιρετικής ποιότητας, ικανοποιώντας τις προσδοκίες των καταναλωτών και διατηρώντας τη φήμη των οινοποιών παγκοσμίως.

### 1.2.1 Ενισχυμένος οίνος

Ο εμπλουτισμός του οίνου, ο οποίος περιλαμβάνει την προσθήκη αποσταγμένων αλκοολούχων ποτών, συνήθως αλκοολούχων ποτών σταφυλιών ή μπράντι, για την αύξηση της περιεκτικότητας σε αλκοόλ, ρυθμίζεται από διάφορες χώρες και περιοχές. Το επιτρεπτό και οι κανονισμοί που περιβάλλουν την παραγωγή εμπλουτισμένου οίνου ποικίλλουν παγκοσμίως. Ακολουθούν ορισμένα βασικά σημεία σχετικά με την εμπλουτισμό του οίνου σε διάφορες χώρες:

Πορτογαλία και Ισπανία:

Οίνος Port: Η εμπλουτισμός του κρασιού είναι γνωστή στην Πορτογαλία, ιδίως στην παραγωγή του κρασιού Port. Το Port είναι ένα εμπλουτισμένο κρασί που παράγεται στην κοιλάδα Douro στη βόρεια Πορτογαλία.

Sherry: Στην Ισπανία, το Sherry είναι ένας εμπλουτισμένος οίνος που παράγεται στο τρίγωνο Sherry, κυρίως στην περιοχή της Ανδαλουσίας.

Γαλλία:

Εμπλουτισμένα κρασιά: Η Γαλλία φημίζεται για την παραγωγή κρασιού και ορισμένες περιοχές παράγουν ενισχυμένα κρασιά. Για παράδειγμα, η παραγωγή του "Vin Doux Naturel" σε περιοχές όπως η Rivesaltes και η Banyuls περιλαμβάνει οχύρωση.

Ιταλία:

Marsala: Η Ιταλία παράγει εμπλουτισμένα κρασιά, με την Marsala να αποτελεί ένα αξιοσημείωτο παράδειγμα. Το Marsala, που παράγεται στη Σικελία, είναι ένας ενισχυμένος οίνος με προστατευόμενη ονομασία προέλευσης (ΠΟΠ).

Ηνωμένες Πολιτείες:

Οίνοι τύπου πορτ-μπεμπέ: Στις ΗΠΑ, ορισμένοι οινοποιοί παράγουν ενισχυμένα κρασιά που θυμίζουν Port, αν και δεν μπορούν να χαρακτηριστούν ως "Port" λόγω γεωγραφικών ενδείξεων. Οι κανονισμοί για τα εμπλουτισμένα κρασιά μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με την πολιτεία.

Αυστραλία:

Ενισχυμένοι οίνοι: Η Αυστραλία έχει ιστορία στην παραγωγή ενισχυμένων οίνων, με παραδείγματα όπως το "Australian Tawny" και το "Muscat". Το Rutherglen στη Βικτώρια είναι γνωστό για τα εμπλουτισμένα κρασιά του.

Νότια Αφρική:

Οίνοι τύπου πορτ-μπεμπέ: Οίνοι τύπου πορτ-μπεμπέ: Η Νότια Αφρική παράγει εμπλουτισμένα κρασιά που συχνά αναφέρονται ως "Cape Ports" ή "Port-style" κρασιά.

Ελλάδα: Οίνοι κρασιού με βάση το κρασί, όπως είναι τα κρασιά που παράγονται από την Μαυροδάφνη της Πάτρας: Ένα παράδειγμα είναι η "Μαυροδάφνη της Πάτρας", ένα γλυκό ενισχυμένο κόκκινο κρασί.

Καναδάς:

Icewine: Αν και δεν είναι ακριβώς ενισχυμένος οίνος, ο Καναδάς, ιδίως σε περιοχές όπως η χερσόνησος του Νιαγάρα, είναι γνωστός για την παραγωγή Icewine, ενός γλυκού οίνου που παρασκευάζεται από παγωμένα σταφύλια (Liang et al., 2021).

### 1.2.2 Η δράση της Γλουταθειόνης

Η γλουταθειόνη (GSH) διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στον οίνο, κυρίως λόγω της ικανότητάς της να εξουδετερώνει τις ορθοκινόνες, οι οποίες συμβάλλουν σημαντικά στο μαύρισμα του χρώματος και στην απώλεια αρώματος μέσω μηχανισμών οξειδωσης. Με χαμηλό δυναμικό οξειδοαναγωγής, η GSH δρα ως ισχυρός ρυθμιστής στις κυτταρικές αντιδράσεις οξειδοαναγωγής. Ξεπερνά το ασκορβικό οξύ σε αντιοξειδωτική ισχύ.



Συγκεκριμένα, η GSH αποτρέπει την οξείδωση των φαινολών του γλεύκους αντιδρώντας με το καφταρικό οξύ, μια εξαιρετικά ευαίσθητη φαινόλη, σχηματίζοντας το προϊόν αντίδρασης σταφυλιού (GRP), μια σταθερή και άχρωμη ένωση (Kritzinger, Bauer, & Du Toit, 2013).

Αυτός ο προστατευτικός μηχανισμός είναι μοναδικός για την GSH και τη διακρίνει από άλλες ενώσεις με SH-ομάδες. Η GSH ανταγωνίζεται διάφορες θειόλες, όπως η 3-μερκαπτο-εξανόλη και η 4-μεθυλο-μερκαπτο-πεντανόνη, που βρίσκονται στους οίνους, προστατεύοντας συγκεκριμένα αρώματα οίνου. Ο ρόλος της ως φυσικό αντιοξειδωτικό στη διατήρηση του αρώματος και του χρώματος των οίνων είναι καλά τεκμηριωμένος (Margalef-Català et al., 2016).

Η διατήρηση υψηλών επιπέδων γλουταθειόνης είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση του αρώματος και του χρώματος, η οποία επηρεάζεται από τις ποικιλίες σταφυλιών, τις αμπελουργικές πρακτικές και τις μεθόδους οινοποίησης. Δεδομένου ότι η GSH δεν μπορεί να προστεθεί απευθείας στους οίνους, η χρήση ειδικών αδρανοποιημένων ζυμών πλούσιων σε γλουταθειόνη, όπως οι OptiWhite, OptiMUM White και Booster Blanc, παρέχει μια φυσική εναλλακτική λύση. Αυτές οι παραλλαγές μαγιάς επιλέγονται προσεκτικά και υποβάλλονται σε επεξεργασία ώστε να αποδίδουν υψηλές ποσότητες διαλυτής ανηγμένης γλουταθειόνης, της ενεργής αντιοξειδωτικής μορφής. Η ικανότητα των αδρανοποιημένων ζυμών να απελευθερώνουν γρήγορα GSH στο μέσο αποτελεί ζωτικό κριτήριο για την αποτελεσματικότητά τους (Kritzinger, Bauer, & Du Toit, 2013).

Συμπερασματικά, ο επηρεασμός των επιπέδων γλουταθειόνης στο γλεύκος και τον οίνο περιλαμβάνει την επιλογή ζυμών με υψηλή περιεκτικότητα σε "True GSH", την εξασφάλιση γρήγορης απελευθέρωσης στο μέσο και τη διατήρηση της GSH στη διαλυτή και ανηγμένη μορφή της - τη μόνη ενεργή και αποτελεσματική κατάσταση έναντι των μηχανισμών οξείδωσης. Αυτή η προσέγγιση προσφέρει στους οινοποιούς ένα φυσικό και αποτελεσματικό μέσο για τη βελτιστοποίηση της ποιότητας του κρασιού.

## 2. Οξείδωση του Οίνου

Η οξείδωση των οίνων χωρίζεται σε ενζυμική και μη ενζυμική οξείδωση. Η ενζυμική οξείδωση λαμβάνει χώρα σχεδόν εξ ολοκλήρου στο γλεύκος σταφυλιών και σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με την περιεκτικότητα σε υδροξυκινναμάτες, όπως το καφεοϊλταρταρικό οξύ, το παρακουμαροϊλταρτικό οξύ, καθώς και τις φλαβαν-3-όλες. Η μη ενζυμική οξείδωση, που ονομάζεται επίσης χημική οξείδωση του οίνου, πραγματοποιείται στον οίνο που έχει υποστεί ζύμωση και αρχίζει με την οξείδωση των πολυφαινολών. Αυτές οι φαινολικές αντιδράσεις, τόσο οι ενζυματικές όσο και οι μη ενζυματικές, καταλήγουν σε παραπροϊόντα που ονομάζονται κινόνες. Ωστόσο, στη μη ενζυμική οξείδωση, το οξυγόνο δεν αντιδρά άμεσα με τις φαινολικές ενώσεις.

Ο περιορισμός στην δραστικότητα του τριπλού οξυγόνου ξεπερνιέται με τη σταδιακή προσθήκη ενός μόνο ηλεκτρονίου, το οποίο μπορεί να παρασχεθεί από ιόντα στοιχείων μετάπτωσης, κυρίως σιδήρου(II) και χαλκού(I). Η διαδοχική μεταφορά ηλεκτρονίων οδηγεί στο σχηματισμό ρίζας υδροϋπεροξειδίου ( $\text{HOO}\cdot$ ), υπεροξειδίου του υδρογόνου ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) και ρίζας υδροξυλίου ( $\text{HO}\cdot$ ). Η τελευταία ρίζα οξειδώνει σχεδόν κάθε οργανικό μόριο που βρίσκεται στον οίνο και αντιδρά με τα πρώτα είδη που συναντά, ανάλογα με τη συγκέντρωσή τους.

Το διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ) και το ασκορβικό οξύ, όταν προστίθενται στον οίνο, είναι σε θέση να μειώσουν τις κινόνες. Υπάρχουν εναλλακτικές επιλογές για την πρόληψη της οξείδωσης κατά την αποθήκευση του οίνου- ωστόσο, αυτές δεν είναι πλήρως κατανοητές ή κοινώς αποδεκτές. Κατά τη διάρκεια της παλαίωσης, οι αλδεϋδες είναι σημαντικά ενδιάμεσα προϊόντα των χημικών μετασχηματισμών που συμβαίνουν στους οίνους, οδηγώντας σε αλλαγές στο χρώμα και τη γεύση. Με τον ίδιο τρόπο, μια σειρά από μη φυσιολογικές γεύσεις μπορούν να σχηματιστούν από την οξείδωση των οίνων.

Η προσθήκη διοξειδίου του θείου ( $\text{SO}_2$ ) και ασκορβικού οξέος στον οίνο ακολουθεί συγκεκριμένη σειρά, με το διοξείδιο του θείου να προστίθεται συνήθως πριν από το ασκορβικό οξύ. Ακολουθεί η λογική πίσω από αυτή τη σειρά:

Διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ):

Χρήση: Το  $\text{SO}_2$  χρησιμοποιείται συνήθως ως συντηρητικό στην οινοποίηση. Βοηθά στην πρόληψη της οξείδωσης, της μικροβιακής αλλοίωσης και της ανάπτυξης ανεπιθύμητων γεύσεων και αρωμάτων.

Σειρά προσθήκης:

Κατά τη διάρκεια της σύνθλιψης/πίεσης: Ορισμένοι οινοποιοί προσθέτουν μια μικρή ποσότητα SO<sub>2</sub> στο αρχικό στάδιο της έκθλιψης ή της συμπίεσης για να εμποδίσουν τις ενζυματικές αντιδράσεις μαυρίσματος και να προστατεύσουν τον χυμό από την οξείδωση.

Μετά την αλκοολική ζύμωση: Το SO<sub>2</sub> προστίθεται συχνά μετά την ολοκλήρωση της αλκοολικής ζύμωσης για την προστασία του οίνου κατά τις επόμενες διαδικασίες οινοποίησης και παλαίωσης.

Ασκορβικό οξύ:

Χρήση: Το ασκορβικό οξύ, επίσης γνωστό ως βιταμίνη C, είναι ένα αντιοξειδωτικό. Η προσθήκη του στον οίνο αποσκοπεί στη μείωση και την πρόληψη της οξείδωσης.

Σειρά προσθήκης:

Μετά το διοξείδιο του θείου: Το ασκορβικό οξύ προστίθεται συνήθως μετά το διοξείδιο του θείου, επειδή το SO<sub>2</sub> και το ασκορβικό οξύ μπορούν να αντιδράσουν μεταξύ τους. Εάν προστεθούν ταυτόχρονα, ενδέχεται να σχηματίσουν ένα σύμπλοκο που μειώνει την ατομική τους αποτελεσματικότητα. Προσθέτοντας πρώτα το SO<sub>2</sub> και αφήνοντάς το να αντιδράσει με τυχόν υπάρχον οξυγόνο, το περιβάλλον γίνεται πιο ευνοϊκό για την επακόλουθη προσθήκη ασκορβικού οξέος.

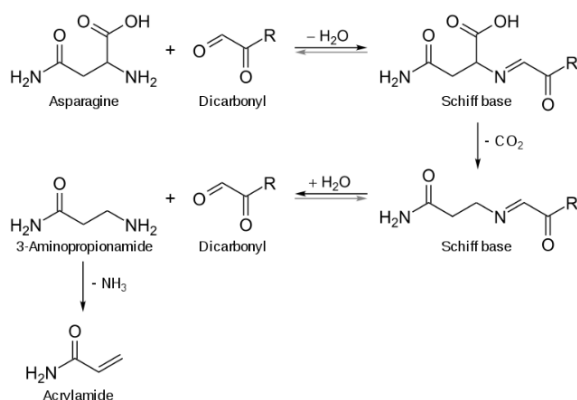
Πρόσθετες εκτιμήσεις:

Χρονισμός: Το ασκορβικό οξύ προστίθεται συχνά πιο κοντά στην εμφιάλωση για να διασφαλιστεί ότι οι αντιοξειδωτικές του ιδιότητες είναι ενεργές κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης και της παλαίωσης του κρασιού στη φιάλη.

Παρακολούθηση: Οι οινοποιοί παρακολουθούν προσεκτικά τα επίπεδα τόσο του SO<sub>2</sub> όσο και του ασκορβικού οξέος για να διατηρήσουν την επιθυμητή ισορροπία μεταξύ της πρόληψης της οξείδωσης και των συνολικών οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του κρασιού.

Συνοψίζοντας, η σειρά προσθήκης, με το διοξείδιο του θείου να προηγείται του ασκορβικού οξέος, είναι μια στρατηγική προσέγγιση για τη μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας και των δύο προσθέτων στη διατήρηση του οίνου και την ελαχιστοποίηση τυχόν αρνητικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ τους.

Σε χαμηλές συγκεντρώσεις, είναι δυνατό αυτές οι γεύσεις να προσθέτουν στην πολυπλοκότητα ενός κρασιού, με τη διαφορά όμως ότι όταν αυτές αυξάνονται αρχίζει η υποβάθμιση της ποιότητας του κρασιού. Εκτός από το μείζον χημικό μαύρισμα που αφορά τις φαινόλες του οίνου, οι κύριες αντιδράσεις οξείδωσης που πραγματοποιούνται κατά τη θέρμανση ή την αποθήκευση του μούστου είναι η καραμελοποίηση και η αντίδραση Maillard, οι οποίες εξαρτώνται από τη θερμοκρασία.



Εικόνα 1.6: Αντίδραση Maillard

Στη βιβλιογραφία έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι, οι οποίες αντιμετωπίζουν την πολυπλοκότητα που σχετίζονται με τη διαδικασία οξείδωσης, για να επιχειρήσουν την ποσοτικοποίηση της αντιοξειδωτικής δραστηριότητας στους οίνους. Οι μέθοδοι αυτές μπορούν να χωριστούν σε γενικές γραμμές σε: i) μεθόδους που βασίζονται σε χημικές αντιδράσεις και ii) μεθόδους που βασίζονται στις χημικές-φυσικές ιδιότητες των αντιοξειδωτικών.

Type of Wine	Code	Variety	Vintage	Fe	Valine	Isoleucine	Lucine	Methionine	Phenylalanine	pH	TPI <sup>7</sup>	Free SO <sub>2</sub>	Total SO <sub>2</sub>
Red wines	CV-A <sup>1</sup>	G/T/Cr <sup>5</sup>	2008	1.3	44.6	33.9	95.3	16.8	58.8	3.49	53.0	4.8	62.8
	DM-A	Tempranillo	2012	1.2	38.7	31.4	41.1	10.1	34.1	3.82	55.5	3.2	20.0
	CL-A	Tempranillo	2013	1.9	68.9	48.4	105.0	21.5	69.0	3.66	46.3	11.2	81.0
	VF-A	Garnacha	2015	1.2	48.5	36.0	68.8	19.7	59.9	3.48	54.7	11.2	124.0
	MT-Y <sup>2</sup>	Tempranillo	2018	0.9	30.2	22.8	33.1	11.0	33.3	3.80	61.7	8.8	57.0
	FP-Y	Tempranillo	2018	1.8	42.2	29.5	52.0	15.7	46.7	3.60	46.7	12.8	52.0
	BG-Y	Garnacha	2018	2.2	52.3	33.7	70.9	20.8	63.1	3.46	50.5	11.2	37.0
	RB-Y	Garnacha	2018	1.2	41.6	29.7	59.2	18.0	60.9	3.43	44.1	3.2	96.0
Rosé wines	VMG-R <sup>3</sup>	Garnacha	2018	0.4	60.6	51.2	108.0	26.4	70.4	3.26	11.7	3.84	86.0
	GF-R	G/T/M/C/Sy <sup>6</sup>	2018	2.1	30.6	25.1	64.1	16.2	47.4	3.15	13.3	5.6	78.0
White wines	VT-W <sup>4</sup>	Viura	2018	0.6	52.7	33.1	87.2	21.4	64.9	3.23	10.7	14.4	115.0
	VM-W	Viura	2018	0.2	41.3	28.0	65.0	16.7	41.6	3.33	7.41	10.4	97.0

Πίνακας 1.1: Χαρακτηριστικά των δειγμάτων και ορισμένες αρχικές παράμετροι σύνθεσης. Ο Fe, τα αμινοξέα Strecker, το ελεύθερο SO<sub>2</sub> και το ολικό SO<sub>2</sub> εκφράζονται σε mg/L.

Το 1 A αντιπροσωπεύει παλαιωμένους ερυθρούς οίνους και το 2 Y σημαίνει νέους ερυθρούς οίνους. 3 R σημαίνει ροζέ οίνο. 4 W σημαίνει λευκό κρασί. 5 G/T/Cr: Grenache-Tempranillo-Cariñena 6 G/T/M/C/Sy: 11 Grenache-Tempranillo-Merlot-Cabernet Sauvignon-Syrah. 7 TPI (δείκτης ολικής πολυφαινόλης).

## 2.1 Μέθοδοι που βασίζονται σε χημικές αντιδράσεις

Μέθοδοι που βασίζονται σε χημικές αντιδράσεις χρησιμοποιούνται συνήθως για την αξιολόγηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας των οίνων. Οι μέθοδοι αυτές αποσκοπούν στη μέτρηση της ικανότητας των συστατικών του οίνου να εξουδετερώνουν ή να αναστέλλουν αντιδράσεις που προκαλούν οξείδωση. Ακολουθούν ορισμένες καθιερωμένες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την ποσοτικοποίηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας στους οίνους:

### 1. Δοκιμές ολικής αντιοξειδωτικής ικανότητας (TAC):

- Αντιοξειδωτική δύναμη αναγωγής με σίδηρο (FRAP): Αυτή η δοκιμασία μετρά την ικανότητα των αντιοξειδωτικών στο κρασί να ανάγουν τα ιόντα σιδήρου (Fe<sup>3+</sup>) σε ιόντα σιδήρου (Fe<sup>2+</sup>). Η αναγωγή ποσοτικοποιείται φασματοφωτομετρικά μέσω της μεταβολής της έντασης του χρώματος σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος. Η δοκιμασία FRAP παρέχει μια γενική εκτίμηση της αναγωγικής δύναμης των αντιοξειδωτικών στο δείγμα οίνου (Müller, Fröhlich, & Böhm, 2011).

- Δοκιμή 2,2-διφαινυλο-1-πικρυλ-υδραζύλιο (DPPH): Η δοκιμασία DPPH μετρά την ικανότητα των αντιοξειδωτικών να απομακρύνουν μια σταθερή ρίζα, το 2,2-διφαινυλο-1-πικρυλ-υδραζύλιο. Η αναγωγή του DPPH συνοδεύεται από μια χρωματική αλλαγή, η οποία ποσοτικοποιείται φασματοφωτομετρικά. Η δοκιμασία αυτή παρέχει πληροφορίες σχετικά με την ικανότητα απορρόφησης ριζών των αντιοξειδωτικών (Xie, & Schaich, 2014).
- Ισοδύναμη αντιοξειδωτική ικανότητα Trolox (TEAC): Η δοκιμασία TEAC μετρά την ικανότητα των αντιοξειδωτικών να αναστέλλουν την οξείδωση ενός είδους ρίζας που παράγεται από το ABTS (2,2'-αζινο-δις(3-αιθυλοβενζοθειαζολίνη-6-σουλφονικό οξύ)). Η μείωση της έντασης του χρώματος χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ισοδύναμης αντιοξειδωτικής ικανότητας Trolox του δείγματος κρασιού (van den Berg et al., 1999).

## **2. Δοκιμή ικανότητας απορρόφησης ριζών οξυγόνου (ORAC):**

Η δοκιμασία ORAC ποσοτικοποιεί την ικανότητα των αντιοξειδωτικών να αναστέλλουν την οξείδωση ενός φθορίζοντος μορίου από τις ρίζες υπεροξυλίου. Η μείωση της έντασης του φθορισμού με την πάροδο του χρόνου παρέχει ένα μέτρο της αντιοξειδωτικής ικανότητας του δείγματος οίνου (Bisby, Brooke, & Navaratnam, 2008).

## **3. Δοκιμές ολικού φαινολικού περιεχομένου (TPC):**

- Δοκιμή Folin-Ciocalteu: Αυτή η χρωματομετρική δοκιμασία ποσοτικοποιεί το ολικό φαινολικό περιεχόμενο με τη μέτρηση της αναγωγής του αντιδραστηρίου Folin-Ciocalteu από τις φαινολικές ενώσεις. Το μπλε χρώμα που προκύπτει είναι ανάλογο με την περιεκτικότητα σε φαινόλες (Sánchez-Rangel et al., 2013).
- Δοκιμασία μπλε Πρωσίας: Σε αυτή τη δοκιμασία, τα αντιοξειδωτικά στο κρασί μειώνουν τα ιόντα σιδήρου, τα οποία στη συνέχεια αντιδρούν με σιδηροκυανιούχο κάλιο για να σχηματίσουν μπλε της Πρωσίας. Η ένταση του μπλε χρώματος χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της συνολικής αναγωγικής ικανότητας του δείγματος (Işıl Berker et al., 2013).

## **4. Ηλεκτροχημικές μέθοδοι:**

- Κυκλική βολταμετρία: Αυτή η ηλεκτροχημική τεχνική μετρά το ρεύμα που παράγεται σε συνάρτηση με την εφαρμοζόμενη τάση. Παρέχει πληροφορίες σχετικά με το δυναμικό οξειδοαναγωγής και την κινητική της μεταφοράς

ηλεκτρονίων των συστατικών του οίνου, βοηθώντας στην αξιολόγηση της αντιοξειδωτικής τους δράσης (Marken, Neudeck, & Bond, 2010).

- Αμπερομετρικές μέθοδοι: Η αμπερομετρία μετρά το ρεύμα που προκύπτει από την αναγωγή των οξειδωμένων συστατικών του οίνου σε σταθερό δυναμικό. Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας δειγμάτων οίνου (Milardović, Iveković, & Grabarić, 2006).

#### **5. Χρωματογραφικές τεχνικές:**

- Υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης (HPLC): Η HPLC διαχωρίζει τα συστατικά του οίνου με βάση τις χημικές ιδιότητές τους, όπως το μέγεθος ή το φορτίο. Με την ανίχνευση και τον ποσοτικό προσδιορισμό συγκεκριμένων ενώσεων, όπως οι πολυφαινόλες, η HPLC μπορεί να παράσχει πληροφορίες σχετικά με τη σύνθεση και τη δυναμική αντιοξειδωτική δράση του οίνου (Belanger, Paré, & Sigouin, 1997).
- Αέρια Χρωματογραφία (GC): Η GC χρησιμοποιείται για την ανάλυση πτητικών ενώσεων, συμπεριλαμβανομένων των αντιοξειδωτικών και των υποπροϊόντων οξείδωσης. Μπορεί να εφαρμοστεί για την αξιολόγηση της παρουσίας πτητικών αντιοξειδωτικών στον οίνο (Lehotay, & Hajšlová, 2002).

#### **6. Αναστολή της οξείδωσης των λιπιδίων:**

Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει την έκθεση των λιπιδίων σε οξειδωτικές συνθήκες και την αξιολόγηση της ικανότητας των συστατικών του οίνου να αναστέλλουν την οξείδωση των λιπιδίων. Οι μετρήσεις μπορεί να περιλαμβάνουν αλλαγές στα προϊόντα υπεροξείδωσης των λιπιδίων ή το σχηματισμό δεικτών οξείδωσης (Yassa, Beni, & Hadjiakhoondi, 2008).

#### **7. Ενζυμικές μέθοδοι:**

Οι ενζυμικές δοκιμασίες μετρούν τη αντιοξειδωτική ικανότητα ενζύμων που υπάρχουν στον οίνο, όπως η υπεροξειδική δισμουτάση (SOD) ή η καταλάση. Τα ένζυμα αυτά συμβάλλουν στη συνολική αντιοξειδωτική ικανότητα του οίνου (Brooks et al., 2012).

#### **2.2 Μέθοδοι που βασίζονται στις χημικές-φυσικές ιδιότητες των αντιοξειδωτικών**

Οι μέθοδοι που βασίζονται στις χημικές-φυσικές ιδιότητες των αντιοξειδωτικών ουσιών στο κρασί προσφέρουν πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο οι ενώσεις αυτές

αλληλεπιδρούν και συμβάλλουν στη συνολική αντιοξειδωτική ικανότητα του ποτού. Οι τεχνικές αυτές βοηθούν να γίνουν κατανοητοί οι μηχανισμοί μέσω των οποίων τα αντιοξειδωτικά μετριάζουν τις οξειδωτικές αντιδράσεις. Ακολουθούν μέθοδοι που χρησιμοποιούνται συνήθως για την αξιολόγηση των χημικών-φυσικών ιδιοτήτων των αντιοξειδωτικών στο κρασί:

### **1. Διαλυτότητα και συντελεστής κατανομής:**

Η μέτρηση της διαλυτότητας και των συντελεστών κατανομής των αντιοξειδωτικών βοηθά στον προσδιορισμό της κατανομής τους μεταξύ της υδατικής και της λιπιδικής φάσης του οίνου. Οι πληροφορίες αυτές συμβάλλουν στην κατανόηση του τρόπου αλληλεπίδρασης των αντιοξειδωτικών με τα διάφορα συστατικά της μήτρας του οίνου (Oliveira et al., 2011).

### **2. Δυναμικό οξειδοαναγωγής:**

Η αξιολόγηση του δυναμικού οξειδοαναγωγής (Eh) των αντιοξειδωτικών στον οίνο παρέχει πληροφορίες σχετικά με τις ικανότητές τους να δίνουν ή να δέχονται ηλεκτρόνια. Αυτή η ιδιότητα επηρεάζει την ικανότητά τους να απομακρύνουν τις ελεύθερες ρίζες και να οξειδώνουν τον οίνο (Del Álamo, Nevares, & Cárcel, 2006).

### **3. Φασματοσκοπία απορρόφησης υπεριώδους-ορατού:**

Η φασματοσκοπία υπεριώδους-ορατού μπορεί να αποκαλύψει τις ηλεκτρονικές μεταβάσεις των αντιοξειδωτικών στο κρασί. Αυτή η τεχνική βοηθά στην ανάλυση της αντιδραστικότητάς τους, της σταθερότητάς τους και των πιθανών αλληλεπιδράσεών τους με άλλα συστατικά του οίνου (Schmid, 2001).

### **4. Σταθερές διάστασης (pKa) και ισορροπία οξέων-βάσεων:**

Ο προσδιορισμός των τιμών pKa των αντιοξειδωτικών διαφωτίζει τις ικανότητές τους να δίνουν ή να δέχονται πρωτόνια. Η κατανόηση της ισορροπίας οξέος-βάσης βοηθά στην πρόβλεψη του τρόπου με τον οποίο τα αντιοξειδωτικά μπορεί να συμπεριφέρονται σε διαφορετικές συνθήκες pH στον οίνο (Bunton, & Shiner Jr, 1961).

### **5. Κινητική της αντίδρασης:**

Η μελέτη της κινητικής των αντιοξειδωτικών αντιδράσεων παρέχει πληροφορίες σχετικά με τους ρυθμούς αλληλεπίδρασής τους με δραστικά είδη. Αυτή η γνώση βοηθά στην



κατανόηση των χρονικών πτυχών της αντιοξειδωτικής προστασίας στον οίνο (Setford et al., 2017).

### **6. Μελέτες σταθερότητας:**

Η ανάλυση της σταθερότητας των αντιοξειδωτικών σε διάφορες συνθήκες (π.χ. θερμοκρασία, pH) βοηθά στην πρόβλεψη της αποτελεσματικότητάς τους στη διατήρηση της ποιότητας του οίνου με την πάροδο του χρόνου (Oliveira et al., 2011).

### **7. Υπολογιστική μοντελοποίηση:**

Οι υπολογιστικές τεχνικές μπορούν να προσομοιώσουν τη συμπεριφορά των αντιοξειδωτικών στον οίνο βάσει των χημικών-φυσικών ιδιοτήτων τους. Αυτές οι προσομοιώσεις προσφέρουν προγνωστικές γνώσεις σχετικά με τις αλληλεπιδράσεις και τους μηχανισμούς αντιοξειδωτικών-οξειδωτικών (Oliveira et al., 2011).

## **2.3 Χημικές αντιδράσεις κατά την οξείδωση του οίνου**

### **2.3.1 Πρόσληψη και διάλυση οξυγόνου**

Το οξυγόνο κατέχει σημαντικό ρόλο στην οξείδωση των οίνων και η κατανόηση των διαδικασιών πρόσληψης και διάλυσής του είναι ζωτικής σημασίας για την αξιολόγηση του δυναμικού οξειδωτικών αντιδράσεων στους οίνους. Η ποσότητα του οξυγόνου που διαλύεται στον οίνο επηρεάζει άμεσα την ευαισθησία του στην οξείδωση και τις επακόλουθες αλλαγές στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και τη χημική σύνθεση (Renner, Richling, & Durner, 2022).

#### **Πρόσληψη οξυγόνου:**

Η πρόσληψη οξυγόνου αναφέρεται στη διαδικασία με την οποία μόρια οξυγόνου από το περιβάλλον διαλύονται στον οίνο. Η πρόσληψη αυτή μπορεί να συμβεί κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης διαφόρων σταδίων της οινοποίησης, όπως η συγκομιδή των σταφυλιών, η ζύμωση, η παλαίωση και η εμφιάλωση. Το οξυγόνο μπορεί να διεισδύσει μέσω του πορώδους πώματος, ξύλου βαρελιού και άλλων σημείων εισόδου. Επιπλέον, η ανάδευση του κρασιού κατά τη μεταφορά και το χειρισμό μπορεί να εισάγει οξυγόνο. Ο ρυθμός πρόσληψης οξυγόνου επηρεάζεται από παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η ανάδευση, η έκθεση της επιφάνειας και η παρουσία οξυγονοαπορροφητών (del Barrio-Galán, Nevares, & del Alamo-Sanza, 2023).

### **Διάλυση οξυγόνου:**

Η διάλυση οξυγόνου περιλαμβάνει τη φυσική ενσωμάτωση μορίων οξυγόνου στην υγρή φάση του οίνου. Η διαλυτότητα του οξυγόνου στον οίνο επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, η πίεση και η συγκέντρωση των διαλυμένων αερίων. Καθώς ο οίνος έρχεται σε επαφή με το οξυγόνο, ορισμένα από τα μόρια του οξυγόνου διαλύονται στο υγρό, ενώ άλλα μπορεί να αντιδράσουν με τα συστατικά του οίνου (Fornairon-Bonnefond et al., 1999).

### **Επιπτώσεις στον οίνο:**

Η πρόσληψη και η διάλυση οξυγόνου μπορεί να ξεκινήσει έναν καταρράκτη οξειδωτικών αντιδράσεων. Το οξυγόνο αντιδρά με συστατικά του οίνου, όπως οι φαινολικές ενώσεις, οι αλδεΐδες και τα οργανικά οξέα, οδηγώντας στο σχηματισμό νέων ενώσεων και στην αποικοδόμηση άλλων. Οι χρωματικές αλλαγές, η απώλεια φρουτώδους αρώματος και η ανάπτυξη ανεπιθύμητων αρωμάτων είναι ορισμένες συνέπειες των οξειδωτικών αντιδράσεων. Επιπλέον, το οξυγόνο μπορεί να προάγει τον πολυμερισμό των φαινολικών ενώσεων, οδηγώντας σε αλλαγές στη δομή του κρασιού και στη γεύση του στόματος (del Barrio-Galán, Nevares, & del Alamo-Sanza, 2023).

### **Έλεγχος της έκθεσης σε οξυγόνο:**

Οι οινοποιοί προσπαθούν να διαχειριστούν την έκθεση σε οξυγόνο για να διατηρήσουν την ποιότητα του οίνου. Τεχνικές όπως η διαβίβαση αδρανούς αερίου, και η εμφιάλωση υπό κενό ή με διαβίβαση αδρανούς αερίου μπορούν να ελαχιστοποιήσουν την πρόσληψη οξυγόνου κατά τα διάφορα στάδια της παραγωγής. Η επιλογή των κατάλληλων κλεισιμάτων, όπως τα βιδωτά καπάκια που δεν τα διαπερνάει το οξυγόνο ή οι φελλοί που εκπλένονται με αδρανές αέριο, μπορεί να βοηθήσει στην αποφυγή υπερβολικής εισόδου οξυγόνου κατά την παλαίωση και την αποθήκευση (Moenne et al., 2014).

Η κατανόηση της δυναμικής της πρόσληψης και της διάλυσης του οξυγόνου είναι ζωτικής σημασίας για τους οινοποιούς που επιδιώκουν να ελαχιστοποιήσουν την οξείδωση και να διατηρήσουν τα οργανοληπτικά και χημικά χαρακτηριστικά των οίνων. Διαχειριζόμενοι προσεκτικά αυτές τις διαδικασίες, οι οινοποιοί μπορούν να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής των κρασιών τους, διασφαλίζοντας ότι οι καταναλωτές απολαμβάνουν τις προβλεπόμενες γεύσεις και αρώματα, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τις αρνητικές επιπτώσεις της οξείδωσης.

### 2.3.2 Οξειδωτικές αντιδράσεις

Οι οξειδωτικές αντιδράσεις έχουν μεγάλη σημασία για την παλαίωση και την εξέλιξη του κρασιού, επηρεάζοντας το χρώμα, το άρωμα, τη γεύση και τη συνολική ποιότητά του. Οι αντιδράσεις αυτές περιλαμβάνουν την αλληλεπίδραση των συστατικών του οίνου με το οξυγόνο και άλλα δραστικά είδη, οδηγώντας στο σχηματισμό νέων ενώσεων και στη διάσπαση των υπαρχόντων. Η κατανόηση των οξειδωτικών αντιδράσεων είναι απαραίτητη για τους οινοποιούς προκειμένου να διαχειριστούν την οξείδωση του οίνου και να επιτύχουν το επιθυμητό οργανοληπτικό προφίλ (Danilewicz, 2012).

#### **Οξείδωση των φαινολικών ενώσεων:**

Οι φαινολικές ενώσεις, όπως οι ανθοκυανίνες και οι τανίνες, είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στην οξείδωση. Το οξυγόνο μπορεί να ξεκινήσει την οξείδωση των ανθοκυανών, προκαλώντας απώλεια χρώματος και οδηγώντας στην ανάπτυξη καφέ αποχρώσεων στους ερυθρούς οίνους. Οι τανίνες μπορούν επίσης να υποστούν οξειδωτικό πολυμερισμό, ο οποίος επηρεάζει την αίσθηση του στόματος και τη στυπτικότητα. Η διαδικασία αυτή μπορεί να οδηγήσει στο σχηματισμό μεγαλύτερων συμπλόκων ταννινών που συμβάλλουν στη δομή και τη σταθερότητα του οίνου (Waterhouse, & Laurie, 2006).

#### **Σχηματισμός αλδεϋδών:**

Οι οξειδωτικές αντιδράσεις μπορούν να δημιουργήσουν αλδεϋδες, όπως η ακεταλδεϋδη. Η ακεταλδεϋδη παράγεται μέσω της οξείδωσης της αιθανόλης και μπορεί να συμβάλει σε δυσάρεστες γεύσεις και σε μια αντιληπτή απώλεια φρεσκάδας στους οίνους. Η διαχείριση του σχηματισμού αλδεϋδών είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση των επιθυμητών οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του οίνου (Li, Guo, & Wang, 2008).

#### **Ενώσεις θείου και πτητική οξύτητα:**

Η οξείδωση μπορεί να οδηγήσει στη διάσπαση ενώσεων που περιέχουν θείο, παράγοντας πτητικές ενώσεις θείου (VSC) που συμβάλλουν σε ανεπιθύμητα αρώματα, τα οποία συχνά περιγράφονται ως "αναγωγικά" ή "θειούχα". Επιπλέον, η υπερβολική οξείδωση μπορεί να οδηγήσει στη συσσώρευση πτητικής οξύτητας, με αποτέλεσμα ένα άρωμα και μια γεύση που μοιάζουν με ξύδι (Danilewicz, 2012).

### **Αλλαγές στο άρωμα και τη γεύση:**

Η οξείδωση μπορεί να αλλάξει το αρωματικό και το γευστικό προφίλ των οίνων. Η φρουτώδης γεύση μπορεί να μειωθεί και οι οξειδωτικές αντιδράσεις μπορούν να συμβάλουν στην ανάπτυξη αρωμάτων που μοιάζουν με καρύδια, καραμέλες και σέρι. Αυτές οι αλλαγές μπορεί να είναι επιθυμητές σε ορισμένα στυλ οίνων, όπως οι παλαιωμένοι ενισχυμένοι οίνοι, αλλά είναι γενικά ανεπιθύμητες σε νέους, φρέσκους οίνους (Waterhouse, & Laurie, 2006).

### **Δυναμικό πολυμερισμού και παλαίωσης:**

Ενώ η υπερβολική οξείδωση μπορεί να οδηγήσει σε ανεπιθύμητα αποτελέσματα, οι ελεγχόμενες οξειδωτικές αντιδράσεις είναι επίσης ζωτικής σημασίας για το δυναμικό παλαίωσης ορισμένων οίνων. Ο πολυμερισμός των φαινολικών ενώσεων με τη μεσολάβηση του οξυγόνου συμβάλλει στην ανάπτυξη σύνθετων αρωμάτων και γεύσεων με την πάροδο του χρόνου. Μια λεπτή ισορροπία μεταξύ ελεγχόμενης οξείδωσης και συντήρησης είναι απαραίτητη για την επίτευξη του βέλτιστου δυναμικού παλαίωσης ενός κρασιού (Li, Guo, & Wang, 2008)

### **Ο αντιοξειδωτικός ρόλος του SO<sub>2</sub>:**

Το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) χρησιμοποιείται συνήθως ως αντιοξειδωτικό και συντηρητικό στην οινοποίηση. Συμβάλλει στον μετριασμό των οξειδωτικών αντιδράσεων με τη δέσμευση οξυγόνου και την αναστολή του ενζυμικού και μη ενζυμικού μαυρίσματος. Η σωστή διαχείριση των επιπέδων SO<sub>2</sub> είναι ζωτικής σημασίας για τον έλεγχο των οξειδωτικών διεργασιών και τη διατήρηση της σταθερότητας του οίνου (Carrascón et al., 2018).

Η κατανόηση των οξειδωτικών αντιδράσεων που συμβαίνουν στον οίνο επιτρέπει στους οινοποιούς να προσαρμόζουν τις πρακτικές τους ώστε να επιτυγχάνουν συγκεκριμένα προφίλ γεύσης και χαρακτηριστικά παλαίωσης. Η προσεκτική διαχείριση της έκθεσης σε οξυγόνο, η χρήση αντιοξειδωτικών και η διατήρηση των κατάλληλων επιπέδων διοξειδίου του θείου αποτελούν βασικές στρατηγικές για τον έλεγχο των οξειδωτικών αντιδράσεων και τη διατήρηση της ποιότητας των οίνων καθ' όλη τη διάρκεια της ωρίμανσης και της αποθήκευσής τους.

## 2.4 Πολυφαινόλες

Οι πολυφαινόλες είναι μια ποικιλόμορφη και πολύπλοκη ομάδα φυσικών ενώσεων που βρίσκονται σε αφθονία σε διάφορες φυτικές πηγές, συμπεριλαμβανομένων των φρούτων, των λαχανικών, των δημητριακών, του τσαγιού, του καφέ, του κακάο και του οίνου. Οι ενώσεις αυτές πήραν το όνομά τους από τη δομική τους σύνθεση, η οποία περιλαμβάνει πολλαπλές φαινολικές (αρωματικός δακτύλιος με ομάδες υδροξυλίου) μονάδες. Οι πολυφαινόλες περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα χημικών δομών και μπορούν να ταξινομηθούν σε διάφορες υποκατηγορίες, με τα φλαβονοειδή, τα φαινολικά οξέα και τις ταννίνες να είναι από τις πιο γνωστές και μελετημένες (Rasouli, Farzaei, & Khodarahmi, R. (2017).

**Φλαβονοειδή:** Τα φλαβονοειδή αποτελούν μια σημαντική υποκατηγορία των πολυφαινολών και περιλαμβάνουν ενώσεις όπως η κερκετίνη, οι κατεχίνες, οι ανθοκυανίνες και οι φλαβονόλες. Αυτές οι ενώσεις είναι υπεύθυνες για τα ζωντανά χρώματα που παρατηρούνται σε πολλά φρούτα και λαχανικά και συμβάλλουν στις μοναδικές γεύσεις και αρώματα που βρίσκονται στα τρόφιμα και τα ποτά. Τα φλαβονοειδή αναγνωρίζονται για τις αντιοξειδωτικές τους ιδιότητες και έχουν συσχετιστεί με πιθανά οφέλη για την υγεία, συμπεριλαμβανομένων των αντιφλεγμονωδών, καρδιαγγειακών και νευροπροστατευτικών επιδράσεων (González et al., 2011).

**Φαινολικά οξέα:** Τα φαινολικά οξέα, μια άλλη υποκατηγορία των πολυφαινολών, βρίσκονται συνήθως σε τρόφιμα όπως τα φρούτα, τα λαχανικά, τα δημητριακά ολικής αλέσεως και οι ξηροί καρποί. Παραδείγματα φαινολικών οξέων περιλαμβάνουν το καφεϊκό οξύ, το φερουλικό οξύ και το γαλλικό οξύ. Αυτές οι ενώσεις συμβάλλουν στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των τροφίμων, όπως η πικράδα, η στυφή γεύση και η πολυπλοκότητα της γεύσης. Τα φαινολικά οξέα έχουν επίσης μελετηθεί για τις πιθανές ιδιότητες που προάγουν την υγεία, συμπεριλαμβανομένου του ρόλου τους ως αντιοξειδωτικά και της ικανότητάς τους να ρυθμίζουν τις μεταβολικές διεργασίες (Robbins, 2003).

**Ταννίνες:** Οι ταννίνες είναι πολυφαινολικές ενώσεις γνωστές για τη στυπτική τους γεύση και την ικανότητά τους να δεσμεύουν τις πρωτεΐνες. Βρίσκονται συχνά σε τρόφιμα φυτικής προέλευσης, όπως το τσάι, το κρασί και ορισμένα φρούτα. Οι ταννίνες μπορούν

να συμβάλουν στη δομή και την αίσθηση του στόματος των τροφίμων και των ποτών και είναι σημαντικές για τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, ιδίως στην περίπτωση των κόκκινων οίνων (Crozier, Jaganath, & Clifford, 2006).

Οι ποικίλες λειτουργίες των πολυφαινολών επεκτείνονται πέρα από τα αισθητηριακά και μαγειρικά χαρακτηριστικά τους. Η έρευνα έχει αναδείξει τα πιθανά οφέλη τους για την υγεία, τα οποία προέρχονται κυρίως από τις αντιοξειδωτικές και αντιφλεγμονώδεις ιδιότητές τους. Οι πολυφαινόλες πιστεύεται ότι απομακρύνουν τις ελεύθερες ρίζες και τα αντιδραστικά είδη οξυγόνου, συμβάλλοντας στη μείωση του οξειδωτικού στρες και ενδεχομένως στον μετριασμό του κινδύνου χρόνιων ασθενειών όπως οι καρδιαγγειακές παθήσεις, ο διαβήτης και ορισμένοι τύποι καρκίνου (Rasouli, Farzaei, & Khodarahmi, 2017).

#### 2.4.1 Η περίπλοκη σχέση μεταξύ των πολυφαινολών και του οίνου

Η περίπλοκη σχέση μεταξύ των πολυφαινολών και του οίνου έχει τις ρίζες της στον συναρπαστικό κόσμο της χημείας, όπου οι μοριακές αλληλεπιδράσεις και οι μετασχηματισμοί δημιουργούν το ξεχωριστό του χρώματος, του αρώματος, της γεύσης και των δομικών χαρακτηριστικών αυτού του αγαπημένου ποτού. Οι πολυφαινόλες, μια κατηγορία ενώσεων που υπάρχουν άφθονα στις φλούδες, τους σπόρους και τα στελέχη των σταφυλιών, ασκούν την επιρροή τους μέσω πολύπλοκων χημικών αντιδράσεων που εκτυλίσσονται κατά τη διάρκεια της οινοποίησης και της παλαίωσης.

##### **Ανθοκυανίνες και σχηματισμός χρώματος:**

Οι ανθοκυανίνες, μια υποομάδα των φλαβονοειδών, είναι υπεύθυνες για τα σαγηνευτικά χρώματα των κόκκινων κρασιών. Αυτές οι υδατοδιαλυτές χρωστικές ουσίες είναι ευαίσθητες στο pH και υπάρχουν σε διαφορετικές μορφές ανάλογα με την οξύτητα του κρασιού. Σε όξινες συνθήκες, οι ανθοκυανίνες εμφανίζονται πιο κόκκινες, ενώ η στροφή προς αλκαλικά περιβάλλοντα προκαλεί μια μπλε απόχρωση. Αυτή η μεταμόρφωση του χρώματος είναι κεντρική για την εξέλιξη ενός ερυθρού κρασιού από τη νεανική ένταση σε αποχρώσεις κατά τη διάρκεια της παλαίωσης (Gao et al., 1997).

##### **Πολυφαινόλες και άρωμα:**

Η αρωματική γοητεία του κρασιού οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στη χημεία των πολυφαινολών. Τα φλαβονοειδή συμβάλλουν στην τεράστια ποικιλία αρωμάτων στους

οίνους, σχηματίζοντας περίπλοκους δεσμούς με άλλες ενώσεις. Οι γλυκοζίτες, που είναι ενώσεις συνδεδεμένες με σάκχαρα, είναι ένας τρόπος με τον οποίο τα αρώματα διατηρούνται μέχρι να απελευθερωθούν μέσω ενζυμικών ή χημικών αντιδράσεων κατά τη ζύμωση ή την παλαίωση. Αυτή η χημεία ευθύνεται για το μπουκέτο με τις λουλουδάτες, φρουτώδεις και βοτανικές νότες που βασανίζουν τη μύτη (Dufour, & Bayonove, 1999).

### **Τανίνες και δομική ισορροπία:**

Οι ταννίνες, οι φαινολικές ενώσεις που είναι υπεύθυνες για την στυπτικότητα και την αίσθηση του στόματος ενός οίνου, προκύπτουν από την αλληλεπίδραση των πολυφαινολών με τους ιστούς της φλούδας, των σπόρων και των στελεχών των σταφυλιών. Οι ταννίνες είναι πολύπλοκα μόρια που σχηματίζονται μέσω αντιδράσεων συμπύκνωσης και διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη δυνατότητα παλαίωσης ενός κρασιού. Με την πάροδο του χρόνου, οι ταννίνες μπορούν να πολυμεριστούν και να συνδεθούν με πρωτεΐνες, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται πιο μαλακές, πιο ολοκληρωμένες υφές που συμβάλλουν στη συνολική ισορροπία και δομή ενός οίνου (Crozier, Jaganath, & Clifford, 2006).

### **Οξειδωτικές αντιδράσεις και γήρανση:**

Η χημεία των πολυφαινολών επεκτείνεται στις οξειδωτικές αντιδράσεις που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της παλαίωσης. Η ελεγχόμενη οξείδωση, που επηρεάζεται από τις πολυφαινόλες, συμβάλλει στην ανάπτυξη δευτερογενών και τριτογενών γεύσεων. Το οξυγόνο αλληλεπιδρά με τις πολυφαινόλες, μεταβάλλοντας τις δομές τους και δημιουργώντας νέες ενώσεις που επηρεάζουν το γευστικό και αρωματικό προφίλ ενός οίνου. Αυτές οι οξειδωτικές αντιδράσεις είναι υπεύθυνες για την εξέλιξη των αρωμάτων από την πρωτογενή φρουτώδη γεύση σε πιο σύνθετες νότες όπως αποξηραμένα φρούτα, ξηροί καρποί και μπαχαρικά (Queen, & Tollefsbol, 2010).

### **Οφέλη για την υγεία και η ρεσβερατρόλη:**

Η ρεσβερατρόλη, μια πολυφαινόλη που βρίσκεται στις φλούδες των σταφυλιών, έχει συγκεντρώσει την προσοχή για τα πιθανά οφέλη της για την υγεία. Η χημεία της περιλαμβάνει αντιοξειδωτικές ιδιότητες που απομακρύνουν τις ελεύθερες ρίζες, μειώνοντας δυνητικά το οξειδωτικό στρες. Επιπλέον, η ρεσβερατρόλη έχει μελετηθεί για την αλληλεπίδρασή της με ένζυμα που εμπλέκονται σε κυτταρικές διεργασίες,

παρουσιάζοντας ενδιαφέρουσες οδούς για την κατανόηση των πιθανών επιπτώσεών της στην ανθρώπινη υγεία (Singh et al., 2019).

Συνοψίζοντας, από τις ανθοκυανίνες που αλλάζουν το χρώμα μέχρι τους αρωματικούς γλυκοζίτες, τον πολύπλοκο πολυμερισμό των τανινών και τις οξειδωτικές αντιδράσεις, η χημεία των πολυφαινόλων διαμορφώνει τις αισθητηριακές και δομικές διαστάσεις του οίνου.



## 3. Παράγοντες που επηρεάζουν την οξείδωση του οίνου

### 3.1 Διαδρομές έκθεσης σε οξυγόνο

#### 3.1.1 Ανάλυση των οδών εισαγωγής οξυγόνου κατά την οινοποίηση και την εμφιάλωση

Η κατανόηση των διαφόρων οδών μέσω των οποίων το οξυγόνο αλληλεπιδρά με τον οίνο είναι ζωτικής σημασίας για τη διαχείριση και τον έλεγχο της έκτασης των οξειδωτικών αντιδράσεων που μπορεί να υποστούν οι οίνοι κατά την παραγωγή, την παλαίωση και την αποθήκευση. Η παρούσα ενότητα εξετάζει διεξοδικά τις βασικές οδούς μέσω των οποίων το οξυγόνο μπορεί να εισέλθει στον οίνο και συζητά τις επιπτώσεις κάθε οδού:

#### **1. Χειρισμός και σύνθλιψη των σταφυλιών:**

Κατά τον τρύγο και τη σύνθλιψη των σταφυλιών, οι μηχανικές διεργασίες της απομάκρυνσης των στέμφυλων και της σύνθλιψης μπορούν να εκθέσουν τους χυμούς των σταφυλιών στον αέρα, ξεκινώντας την πρόσληψη οξυγόνου. Ενώ τα σταφύλια περιέχουν εγγενή αντιοξειδωτικά που παρέχουν κάποια προστασία από την οξείδωση, η πιθανότητα εισόδου οξυγόνου είναι αυξημένη κατά τη διάρκεια αυτών των αρχικών σταδίων της οινοποίησης (Deretic, Powell, & Hetherington, 2001).

#### **2. Αλκοολική ζύμωση:**

Η έκθεση σε οξυγόνο κατά τη διάρκεια της ζύμωσης μπορεί να επηρεάσει βαθιά τον μεταβολισμό της ζύμης και να τροποποιήσει τον σχηματισμό πτητικών ενώσεων στον οίνο. Ενώ γενικά ευνοείται η ελαχιστοποίηση της επαφής με το οξυγόνο κατά τη διάρκεια αυτού του σταδίου, η ελεγχόμενη έκθεση σε οξυγόνο στην παραγωγή λευκών οίνων μπορεί να ενισχύσει ορισμένα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και να συμβάλει στο επιθυμητό γευστικό προφίλ (Sablayrolles, 2009).

#### **3. Διαδικασίες μετά τη ζύμωση:**

Διαδικασίες όπως οι ραφινάρισματα, οι μεταφορές και οι διηθήσεις, οι οποίες είναι αναπόσπαστες διεργασίες για τη διαύγαση των οίνων και τη ρύθμιση της σύνθεσής τους, μπορούν να εισάγουν στον οίνο αέρα και να οδηγήσουν σε πρόσληψη οξυγόνου. Η σωστή διαχείριση αυτών των διεργασιών είναι απαραίτητη για την αποφυγή υπερβολικής έκθεσης σε οξυγόνο (Fukami et al., 2016).

#### **4. Παλαίωση σε βαρέλι:**

Η χρήση δρύινων βαρελιών για την παλαίωση των οίνων επιτρέπει την ελεγχόμενη ανταλλαγή οξυγόνου μέσω του ξύλου. Αυτή η σταδιακή είσοδος οξυγόνου μπορεί να επηρεάσει τις οξειδωτικές αντιδράσεις, οδηγώντας στην ανάπτυξη επιθυμητών γευστικών ενώσεων, στην αποδυνάμωση των τανινών και στην ενίσχυση της πολυπλοκότητας του οίνου (Nevares et al., 2014).

#### **5. Εμφιάλωση:**

Η εμφιάλωση σηματοδοτεί μια κρίσιμη συγκυρία για την πιθανή έκθεση σε οξυγόνο. Η ίδια η διαδικασία εμφιάλωσης, η επιλογή του πώματος (π.χ. φελλός, βιδωτό πώμα) και το επίπεδο του διαλυμένου οξυγόνου στο κενό κεφαλής επηρεάζουν το βαθμό εισόδου οξυγόνου. Τα αποτελεσματικά μέτρα κατά την εμφιάλωση μπορούν να συμβάλουν στον μετριασμό του κινδύνου πρόωρης οξείδωσης (Silva et al., 2011).

#### **6. Διάχυση οξυγόνου μέσω του κλεισίματος:**

Με την πάροδο του χρόνου, το οξυγόνο μπορεί να μεταναστεύσει μέσω των κλεισιμάτων, ιδίως των φυσικών φελλών. Αυτή η σταδιακή και αργή είσοδος οξυγόνου μπορεί να συμβάλει στη διαδικασία παλαίωσης των οίνων, αν και η υπερβολική διάχυση μπορεί να οδηγήσει σε ακούσια οξείδωση (Silva et al., 2011).

#### **7. Αποθήκευση και μεταφορά κρασιού:**

Οι συνθήκες αποθήκευσης, που περιλαμβάνουν παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η υγρασία και η έκθεση στο φως, διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στον καθορισμό του ρυθμού πρόσληψης οξυγόνου και της εξέλιξης των οξειδωτικών αντιδράσεων εντός των εμφιαλωμένων οίνων. Η μεταφορά εμφιαλωμένων οίνων ενέχει επίσης τον κίνδυνο διακυμάνσεων της θερμοκρασίας που μπορεί να επηρεάσουν τη σταθερότητα του οίνου (Butzke, Vogt, & Chacón-Rodríguez, 2012).

#### **8. Σερβίρισμα και κατανάλωση:**

Κατά το άνοιγμα μιας φιάλης, το οξυγόνο εισάγεται με επιταχυνόμενο ρυθμό, διευκολύνοντας την ταχεία οξείδωση. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο οι οίνοι είναι καλύτερο να καταναλώνονται αμέσως μετά το άνοιγμα, ώστε να διατηρούν την προβλεπόμενη φρεσκάδα και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τους (Hersleth et al., 2013).

Η ανάλυση των διαδρομών έκθεσης στο οξυγόνο παρέχει στους οινοποιούς μια ολοκληρωμένη κατανόηση του τρόπου και του χρόνου αλληλεπίδρασης του οξυγόνου με τα συστατικά του οίνου. Διαχειριζόμενοι στρατηγικά αυτές τις διαδρομές, οι οινοποιοί μπορούν να περιορίσουν προληπτικά την ανεπιθύμητη οξείδωση, αξιοποιώντας παράλληλα τις ελεγχόμενες οξειδωτικές αντιδράσεις για να ενισχύσουν την πολυπλοκότητα και τη δυνατότητα παλαίωσης των οίνων. Η επιλογή του τύπου κλεισίματος, η εφαρμογή προστασίας με αδρανή αέρια, ο σχολαστικός χρονισμός των σταδίων επεξεργασίας και η βελτιστοποίηση των συνθηκών αποθήκευσης συμβάλλουν στη διαμόρφωση της επίδρασης του οξυγόνου στην ποιότητα του οίνου καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του.

### 3.1.2 Επίδραση των πωμάτων (φελλοί, βιδωτά καπάκια) στην οξείδωση του οίνου

Τα πώματα παίζουν καθοριστικό ρόλο στην προστασία του οίνου από οξειδωτικές διεργασίες κατά την αποθήκευση και την παλαίωση. Ο τύπος του κλεισίματος που επιλέγεται μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τον βαθμό εισόδου οξυγόνου και, κατά συνέπεια, τον ρυθμό των οξειδωτικών αντιδράσεων (Silva et al., 2011). Η παρούσα ενότητα εξετάζει την επίδραση δύο βασικών τύπων κλεισίματος, των φελλών και των βιδωτών καπακιών, στην οξείδωση του οίνου:

#### **Φελλοί:**

Οι φυσικοί φελλοί αποτελούν παραδοσιακή επιλογή για το σφράγισμα των φιαλών οίνου λόγω της ικανότητάς τους να επιτρέπουν την αργή διάχυση του οξυγόνου. Ενώ η ελεγχόμενη είσοδος οξυγόνου μέσω των φελλών μπορεί να συμβάλει στην ανάπτυξη επιθυμητών χαρακτηριστικών παλαίωσης, η υπερβολική έκθεση σε οξυγόνο μπορεί να οδηγήσει σε επιταχυνόμενη οξείδωση, θέτοντας σε κίνδυνο την ποιότητα του οίνου. Η μεταβλητότητα των ιδιοτήτων των φελλών, όπως το πορώδες και η αποτελεσματικότητα της σφράγισης, υπογραμμίζει περαιτέρω την ανάγκη επαγρύπνησης για τη διαχείριση της εισόδου οξυγόνου.

#### **Βιδωτά καπάκια:**

Τα βιδωτά καπάκια προσφέρουν μια εναλλακτική επιλογή κλεισίματος με σαφή πλεονεκτήματα στην ελαχιστοποίηση της εισόδου οξυγόνου. Η ερμητική τους σφράγιση μειώνει σημαντικά την πιθανότητα οξείδωσης, διασφαλίζοντας ότι οι οίνοι διατηρούν την προβλεπόμενη φρεσκάδα και τον ποικιλιακό τους χαρακτήρα με την πάροδο του χρόνου.

Τα βιδωτά καπάκια είναι ιδιαίτερα κατάλληλα για τη διατήρηση των λεπτών αρωματικών ενώσεων στους λευκούς οίνους και την πρόληψη της πρόωρης γήρανσης (Silva et al., 2011).

### **Επιλογή κλεισίματος και στυλ οίνου:**

Η επιλογή μεταξύ φελλού και βιδωτού πώματος εξαρτάται συχνά από την επιθυμητή πορεία παλαίωσης και το οργανοληπτικό προφίλ του κρασιού. Οι οίνοι που προορίζονται για παρατεταμένη παλαίωση μπορεί να επωφεληθούν από την ελεγχόμενη ανταλλαγή οξυγόνου που προσφέρουν οι φυσικοί φελλοί. Αντίθετα, τα βιδωτά καπάκια προτιμώνται για τους οίνους που προορίζονται να καταναλωθούν σε νεανική κατάσταση, καθώς παρέχουν ένα αξιόπιστο φράγμα κατά της οξείδωσης (Chamorro, García-Gallego, & Trindade-Carlos, 2021).

### **Διαχείριση της οξείδωσης με την επιλογή κλεισίματος:**

Οι οινοποιοί εξετάζουν προσεκτικά την επιλογή του πώματος ως μέρος της στρατηγικής τους για τη διαχείριση της οξείδωσης των οίνων. Είτε στοχεύουν στην αξιοποίηση ελεγχόμενων οξειδωτικών αντιδράσεων είτε στην ελαχιστοποίηση της έκθεσης στο οξυγόνο, η επιλογή του πώματος παίζει καθοριστικό ρόλο στην επίτευξη του επιδιωκόμενου δυναμικού παλαίωσης και στη διατήρηση της ποιότητας των οίνων (Hersleth et al., 2013).

Συμπερασματικά, η επίδραση των κλεισιμάτων στην οξείδωση των οίνων είναι μια κρίσιμη πτυχή της οινοποίησης που επηρεάζει άμεσα την οξειδωτική πορεία και την ποιότητα των οίνων. Η προσεκτική επιλογή των πωμάτων, με βάση το επιθυμητό στυλ οίνου και το δυναμικό παλαίωσης, δίνει τη δυνατότητα στους οινοποιούς να επιτύχουν μια λεπτή ισορροπία μεταξύ ελεγχόμενης οξείδωσης και συντήρησης, διαμορφώνοντας τελικά την αισθητηριακή εμπειρία των οινοφίλων.

## **3.2 Συνθήκες αποθήκευσης**

### **3.21 Επιδράσεις της θερμοκρασίας, της υγρασίας και του φωτός στην οξείδωση**

Το περιβάλλον αποθήκευσης παίζει καθοριστικό ρόλο στον καθορισμό του ρυθμού και της έκτασης των οξειδωτικών αντιδράσεων που υφίστανται οι οίνοι με την πάροδο του χρόνου. Παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η υγρασία και η έκθεση στο φως επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την εξέλιξη της οξείδωσης και τις συνακόλουθες οργανοληπτικές και

χημικές αλλαγές στους οίνους. Η παρούσα ενότητα διερευνά την επίδραση των συνθηκών αποθήκευσης στην οξείδωση των οίνων και εξετάζει πώς οι διακυμάνσεις στη θερμοκρασία, την υγρασία και το φως μπορούν να οδηγήσουν σε διαφορετικούς ρυθμούς οξειδωτικών αντιδράσεων:

#### **Επιδράσεις της θερμοκρασίας:**

Η θερμοκρασία ασκεί σημαντική επίδραση στον ρυθμό των χημικών αντιδράσεων, συμπεριλαμβανομένης της οξείδωσης. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες αποθήκευσης επιταχύνουν τις οξειδωτικές διεργασίες, εντείνοντας την υποβάθμιση των συστατικών του οίνου. Οι αυξημένες θερμοκρασίες προωθούν τη διάσπαση των φαινολικών ενώσεων, την απώλεια χρώματος και τον σχηματισμό ανεπιθύμητων αρωματικών ενώσεων. Αντίθετα, οι χαμηλότερες θερμοκρασίες μπορούν να επιβραδύνουν την οξείδωση, συμβάλλοντας στη διατήρηση της ποιότητας του οίνου. Ως αποτέλεσμα, οι οίνοι που αποθηκεύονται σε υψηλές θερμοκρασίες διατρέχουν αυξημένο κίνδυνο πρόωρης γήρανσης και οργανοληπτικής υποβάθμισης (Hannah et al., 2013).

#### **Επιδράσεις της υγρασίας:**

Τα επίπεδα υγρασίας στο περιβάλλον αποθήκευσης επηρεάζουν τον ρυθμό ξήρανσης του φελλού και την επακόλουθη είσοδο οξυγόνου. Σε υπερβολικά ξηρές συνθήκες, οι φυσικοί φελλοί μπορεί να συρρικνωθούν και να χάσουν την ελαστικότητά τους, οδηγώντας ενδεχομένως σε αυξημένη διαπερατότητα από οξυγόνο και επιταχυνόμενη οξείδωση. Η επαρκής υγρασία συμβάλλει στη διατήρηση της ακεραιότητας του φελλού, ελαχιστοποιώντας τον κίνδυνο υπερβολικής έκθεσης σε οξυγόνο. Ωστόσο, η υπερβολική υγρασία μπορεί να δημιουργήσει ένα ευνοϊκό περιβάλλον για την ανάπτυξη μούχλας, καθιστώντας αναγκαία την προσεκτική ισορροπία στον έλεγχο της υγρασίας (Hannah et al., 2013).

#### **Επιδράσεις του φωτός:**

Η έκθεση στο φως, ιδιαίτερα στο υπεριώδες (UV) φως, μπορεί να ξεκινήσει φωτοχημικές αντιδράσεις που προάγουν την οξείδωση στο κρασί. Το υπεριώδες φως μπορεί να αλληλοεπιδράσει με συστατικά του οίνου, όπως η ριβοφλαβίνη και η τρυπτοφάνη, οδηγώντας στη δημιουργία δραστικών μορφών οξυγόνου. Αυτό μπορεί να επιταχύνει την οξείδωση και να συμβάλει στην υποβάθμιση του χρώματος και των αρωματικών ενώσεων του οίνου. Η σκοτεινή αποθήκευση ή η χρήση συσκευασίας που προστατεύει

από την υπεριώδη ακτινοβολία είναι απαραίτητη για τον μετριασμό των επιπτώσεων της οξείδωσης που προκαλείται από το φως (Pilard et al., 2016).

### 3.2.2 Συγκριτικοί ρυθμοί οξείδωσης υπό διαφορετικά σενάρια αποθήκευσης

Συγκριτικές μελέτες έχουν καταδείξει τους διαφορετικούς ρυθμούς οξείδωσης υπό διαφορετικά σενάρια αποθήκευσης. Οι οίνοι που αποθηκεύονται σε υψηλότερες θερμοκρασίες ή υπό συνθήκες κυμαινόμενης θερμοκρασίας παρουσιάζουν ταχύτερη οξείδωση σε σύγκριση με εκείνα που αποθηκεύονται σε ψυχρότερες και σταθερές θερμοκρασίες. Ομοίως, οι οίνοι που εκτίθενται σε υπερβολική υγρασία ή σε κυμαινόμενα επίπεδα υγρασίας τείνουν να παρουσιάζουν υψηλότερους ρυθμούς οξείδωσης λόγω της αυξημένης διαπερατότητας του φελλού. Επιπλέον, οι οίνοι που αποθηκεύονται σε συνθήκες έκθεσης στο φως υφίστανται ταχύτερες οξειδωτικές αντιδράσεις σε σύγκριση με εκείνους που αποθηκεύονται στο σκοτάδι (Waterhouse et al., 2016).

#### **Βελτιστοποίηση των συνθηκών αποθήκευσης:**

Για τον μετριασμό των οξειδωτικών αντιδράσεων, οι οινοποιοί και οι λάτρεις του οίνου πρέπει να θέτουν ως προτεραιότητα τις βέλτιστες συνθήκες αποθήκευσης. Τα κελάρια ή οι αποθηκευτικοί χώροι με σταθερές και δροσερές θερμοκρασίες, ελεγχόμενα επίπεδα υγρασίας και ελάχιστη έκθεση στο φως είναι απαραίτητα για τη διατήρηση της ποιότητας του κρασιού. Η επένδυση σε συστήματα ελέγχου της θερμοκρασίας και της υγρασίας, η χρήση συσκευασιών με προστασία από την υπεριώδη ακτινοβολία και η οριζόντια αποθήκευση των οίνων για να διατηρούνται οι φελλοί υγροί είναι αποτελεσματικές στρατηγικές για την προστασία από την επιταχυνόμενη οξείδωση (Reihl, 2017).

Συμπερασματικά, οι συνθήκες αποθήκευσης επηρεάζουν σημαντικά την οξειδωτική πορεία των οίνων, διαμορφώνοντας την οργανοληπτική τους εξέλιξη και τις δυνατότητες παλαίωσης. Η προσεκτική διαχείριση της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της έκθεσης στο φως είναι θεμελιώδους σημασίας για τη διατήρηση της λεπτής ισορροπίας των γεύσεων, των αρωμάτων και της δομής που καθορίζουν τους οίνους υψηλής ποιότητας. Με την κατανόηση των επιπτώσεων των διαφορετικών συνθηκών αποθήκευσης στην οξείδωση, οι οινοποιοί και οι λάτρεις του οίνου μπορούν να κάνουν τεκμηριωμένες επιλογές για να εξασφαλίσουν τη μακροζωία και την υπεροχή των οίνων που φροντίζουν.

### 3.3 Σύνθεση του οίνου

#### 3.3.1 Σχέση μεταξύ της σύνθεσης του οίνου και της ευαισθησίας στην οξείδωση

Η σύνθεση του οίνου, που περιλαμβάνει τα εγγενή χημικά συστατικά του και τις προστιθέμενες ενώσεις, παίζει καθοριστικό ρόλο στην επιρροή της ευαισθησίας του στην οξείδωση. Η κατανόηση της περίπλοκης αλληλεπίδρασης μεταξύ της σύνθεσης του οίνου και των οξειδωτικών αντιδράσεων είναι απαραίτητη για τους οινοποιούς ώστε να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις που διατηρούν και βελτιώνουν την ποιότητα του οίνου. Αυτή η ενότητα εμβαθύνει στη σχέση μεταξύ της σύνθεσης του οίνου και της ευαισθησίας στην οξείδωση, υπογραμμίζοντας τη σημασία του pH, του διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>) και άλλων πρόσθετων ουσιών:

##### **pH και ευαισθησία στην οξείδωση:**

Το pH του οίνου επηρεάζει σημαντικά την ευαισθησία του στην οξείδωση. Οι οίνοι με υψηλότερα επίπεδα pH, ενδεικτικά χαμηλότερης οξύτητας, είναι γενικά πιο επιρρεπείς στην οξείδωση. Το αυξημένο pH μπορεί να διευκολύνει το σχηματισμό κινόνων και άλλων οξειδωτικών ενώσεων, οδηγώντας σε υποβάθμιση του χρώματος και αλλαγές στο άρωμα. Αντίθετα, οι οίνοι με χαμηλότερες τιμές pH, υψηλότερη οξύτητα και πιο σταθερή μοριακή δομή είναι καλύτερα εξοπλισμένοι για να αντισταθούν στην οξείδωση. Η διατήρηση των κατάλληλων επιπέδων pH μέσω ρυθμίσεων της οξύτητας μπορεί να συμβάλει στον μετριασμό του κινδύνου οξείδωσης (Kilmartin, Zou, & Waterhouse, 2002).

##### **Διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) και αντιοξειδωτική ικανότητα:**

Το διοξείδιο του θείου είναι ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο αντιοξειδωτικό και συντηρητικό στην οινοποίηση. Ο ρόλος του στη μείωση των οξειδωτικών αντιδράσεων είναι πολύπλευρος. Το SO<sub>2</sub> δρα ως καθαριστής, δεσμεύοντας αποτελεσματικά και εξουδετερώνοντας τις ελεύθερες ρίζες και άλλα δραστικά είδη οξυγόνου. Αναστέλλει επίσης το ενζυμικό μαύρισμα και την οξείδωση των φαινολικών ενώσεων. Η σωστή δοσολογία του SO<sub>2</sub> είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση της σταθερότητας του οίνου, ενώ παράλληλα αποτρέπεται η αρνητική επίδρασή του στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του οίνου (Simpson, 1982).

### **Άλλα πρόσθετα και τεχνικές σταθεροποίησης:**

Διάφορα πρόσθετα και τεχνικές σταθεροποίησης χρησιμοποιούνται για τον μετριασμό του κινδύνου οξείδωσης και τη διατήρηση της ποιότητας του οίνου. Τα αντιοξειδωτικά, όπως το ασκορβικό οξύ, η α-τοκοφερόλη και το ελλαγικό οξύ, μπορούν να συμβάλουν στην οξειδωτική προστασία με την απομάκρυνση των ελεύθερων ριζών. Η μηλογαλακτική ζύμωση, όταν είναι ελεγχόμενη, μπορεί να προωθήσει αντιοξειδωτικά αποτελέσματα με την παραγωγή ενώσεων που μειώνουν την οξείδωση. Η μικρο-οξυγόνωση, μια τεχνική που περιλαμβάνει ελεγχόμενη έκθεση σε οξυγόνο, μπορεί επίσης να ενισχύσει τη δομή και τη σταθερότητα του οίνου, όταν εφαρμόζεται με σύνεση (Kilmartin, Zou, & Waterhouse, 2002).

### **Φαινολικές ενώσεις και αντιοξειδωτική ικανότητα:**

Οι φαινολικές ενώσεις, συμπεριλαμβανομένων των ανθοκυανών και των τανινών, έχουν εγγενείς αντιοξειδωτικές ιδιότητες που συμβάλλουν στη σταθερότητα του οίνου. Οι ενώσεις αυτές απομακρύνουν τις ελεύθερες ρίζες και προστατεύουν από την οξείδωση. Ωστόσο, η ευαισθησία τους στην οξείδωση μπορεί να οδηγήσει σε μαυρίλα και αλλαγές στο χρώμα του οίνου. Η αποτελεσματική διαχείριση της εκχύλισης των φαινολικών κατά την οινοποίηση και ο προσεκτικός χειρισμός αυτών των ενώσεων είναι ουσιαστικής σημασίας για την επίτευξη ισορροπίας μεταξύ της προστασίας από την οξείδωση και της πιθανής υποβάθμισης (Waterhouse, & Laurie, 2006).

### **Μέταλλα και κατάλυση οξειδωτικών αντιδράσεων:**

Ορισμένα μέταλλα, όπως ο σίδηρος και ο χαλκός, μπορούν να καταλύσουν οξειδωτικές αντιδράσεις στον οίνο. Αυτά τα μέταλλα επιταχύνουν το σχηματισμό δραστικών ειδών οξυγόνου και συμβάλλουν στην οξειδωτική υποβάθμιση. Η χηλική σύνδεση, μια διαδικασία δέσμευσης μετάλλων σε σταθεροποιητικούς παράγοντες, μπορεί να μειώσει την καταλυτική επίδραση και να ελαχιστοποιήσει τον κίνδυνο οξείδωσης (Zhang et al., 2020).

### **Η λεπτή ισορροπία:**

Η σχέση μεταξύ της σύνθεσης του οίνου και της ευαισθησίας στην οξείδωση υπογραμμίζει την πολύπλοκη ισορροπία που πρέπει να ακολουθούν οι οινοποιοί. Ενώ τα αντιοξειδωτικά και οι τεχνικές σταθεροποίησης μπορούν να ενισχύσουν την οξειδωτική προστασία, η υπερβολική χρήση ή η ακατάλληλη εφαρμογή μπορεί να οδηγήσει σε



ακούσιες οργανοληπτικές αλλαγές. Η επίτευξη της σωστής ισορροπίας μεταξύ των αντιοξειδωτικών μέτρων, της ρύθμισης του pH και της χρήσης προσθέτων είναι απαραίτητη για τη διατήρηση των επιθυμητών οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του οίνου, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τους κινδύνους οξείδωσης.

Συμπερασματικά, η σύνθεση του οίνου χρησιμεύει ως θεμελιώδης καθοριστικός παράγοντας της ευαισθησίας του σε οξειδωτικές αντιδράσεις. Οι περίπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ του pH, του διοξειδίου του θείου, των αντιοξειδωτικών, των φαινολικών ενώσεων και άλλων προσθέτων καθορίζουν τη λεπτή ισορροπία μεταξύ της προστασίας από την οξείδωση και της οργανοληπτικής διατήρησης. Με την κατανόηση της επίδρασης της σύνθεσης του οίνου στην οξείδωση, οι οινοποιοί μπορούν να κάνουν τεκμηριωμένες επιλογές για να δημιουργήσουν οίνους που παρουσιάζουν τόσο σταθερότητα όσο και υπεροχή καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους.

### 3.4 Ασκορβικό οξύ

Το ασκορβικό οξύ, κοινώς γνωστό ως βιταμίνη C, είναι μια υδατοδιαλυτή οργανική ένωση που χαρακτηρίζεται από έναν εξαμελή δακτύλιο λακτόνης με μια κετόνη και μια λειτουργική ομάδα ενδιόλης. Η χημική του δομή στηρίζει τον κρίσιμο ρόλο του ως αντιοξειδωτικό και ως απαραίτητο θρεπτικό συστατικό, επηρεάζοντας διάφορες βιολογικές διεργασίες στον άνθρωπο και σε άλλα ζώα. Στον τομέα της οινοποίησης, η παρουσία του ασκορβικού οξέος έχει πολύπλευρη σημασία, συμβάλλοντας στη διατήρηση, την ποιότητα και την οργανοληπτική γοητεία των οίνων. Οι ποικίλες λειτουργίες του διαπλέκονται με την περίπλοκη χημεία του κρασιού, διαμορφώνοντας την πορεία του από τον αμπελώνα στο ποτήρι (Foyer, 2017).

#### **Αντιοξειδωτικός φύλακας:**

Το ασκορβικό οξύ αναδεικνύεται σε σθεναρό φύλακα κατά της μάστιγας της οξείδωσης, ενός φαινομένου που μπορεί να θέσει σε κίνδυνο το χρώμα, το άρωμα και τη γεύση των οίνων. Ως αντιοξειδωτικό, χρησιμεύει ως ισχυρός αποδέκτης των ελεύθερων ριζών και των δραστικών ειδών οξυγόνου, αναχαιτίζοντας τη δυνατότητά τους να πυροδοτήσουν επιβλαβείς χημικές αντιδράσεις. Αυτή η ασπίδα προστασίας διασφαλίζει ότι οι ζωηρές αποχρώσεις των κόκκινων κρασιών παραμένουν ζωντανές και τα λεπτά αρώματα των λευκών κρασιών διατηρούν τη γοητευτική γοητεία τους (Arrigoni, & De Tullio, 2002).

### **Διατήρηση των αρωμάτων και της ζωντάνιας:**

Η ικανότητα του ασκορβικού οξέος να διατηρεί τα λεπτά αρώματα και χρώματα των οίνων υπογραμμίζει την επιρροή του στην αισθητηριακή αντίληψη. Αναστέλλοντας την οξείδωση των αρωματικών ενώσεων, η ένωση αυτή διαφυλάσσει τις φρουτώδεις και λουλουδένιες νότες που χορεύουν στον ουρανό. Επιπλέον, ο ρόλος της στην πρόληψη της αποικοδόμησης των ανθοκυανινών μια κατηγορία χρωστικών εξασφαλίζει ότι οι κόκκινοι οίνοι παρουσιάζουν τον εντυπωσιακό χρωματισμό που καλεί τους γνώστες να εξερευνηθούν περαιτέρω (Johnston, Steinberg, & Rucker, 2007).

### **Εναρμόνιση με το διοξείδιο του θείου:**

Στη συμφωνία της χημείας της οινοποίησης, το ασκορβικό οξύ συμπληρώνει αρμονικά το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>), έναν ακρογωνιαίο λίθο της συντήρησης του κρασιού. Ενισχύοντας συνεργιστικά τις αντιοξειδωτικές επιδράσεις του SO<sub>2</sub>, το ασκορβικό οξύ προσφέρει στους οινοποιούς την ευκαιρία να ρυθμίσουν λεπτότατα τα μέτρα προστασίας που εφαρμόζονται στο κρασί, μειώνοντας ενδεχομένως τη συνολική χρήση διοξειδίου του θείου, διατηρώντας παράλληλα τη σταθερότητα (Englard, & Seifert, 1986).

### **Διευθυντής ορχήστρας pH:**

Η επιρροή του ασκορβικού οξέος εκτείνεται πέρα από την αντιοξειδωτική του ικανότητα, καθώς η ασθενής οξύτητά του προσφέρεται για το ρόλο του μαέστρου ορχήστρας για τη διαμόρφωση του pH. Οι οινοποιοί χειρίζονται επιδέξια τις ικανότητες ρύθμισης του pH του, κατευθύνοντας τη χημική σύνθεση του οίνου για να ενορχηστρώσουν αντιδράσεις και παράγοντες σταθερότητας που συμβάλλουν στην τελική οργανοληπτική συμφωνία (Foyer, 2017).

Συνοψίζοντας, η περίπλοκη χημεία του ασκορβικού οξέος συνυφαίνεται με την τέχνη της οινοποίησης, προστατεύοντας από την οξείδωση και ενισχύοντας παράλληλα τις αισθητηριακές διαστάσεις που κοσμούν κάθε ποτήρι.

## **4. Αντίδραση Maillard**

Η αντίδραση Maillard, που πήρε το όνομά της από τον Γάλλο χημικό Louis-Camille Maillard, ο οποίος την περιέγραψε για πρώτη φορά στις αρχές του 20ου αιώνα, είναι μια πολύπλοκη σειρά χημικών αντιδράσεων που συμβαίνουν μεταξύ αμινοξέων (τα δομικά στοιχεία των πρωτεϊνών) και αναγωγικών σακχάρων υπό την επίδραση θερμότητας. Η

αντίδραση αυτή είναι υπεύθυνη για το μαύρισμα, τη γεύση και τις αλλαγές στο άρωμα που παρατηρούνται σε διάφορα τρόφιμα κατά τη διάρκεια του μαγειρέματος, του ψησίματος, του ψησίματος και άλλων μαγειρικών διεργασιών (Nursten, 2005).

Με απλά λόγια, η αντίδραση Maillard περιλαμβάνει την αλληλεπίδραση μεταξύ αμινοξέων και σακχάρων σε υψηλές θερμοκρασίες, που οδηγεί στο σχηματισμό νέων ενώσεων που συμβάλλουν στην ανάπτυξη χρώματος και γεύσης στα μαγειρεμένα ή επεξεργασμένα τρόφιμα. Αυτές οι ενώσεις, γνωστές ως προϊόντα της αντίδρασης Maillard, είναι υπεύθυνες για την επιθυμητή γεύση, το άρωμα και την εμφάνιση τροφίμων όπως η κρούστα ψωμιού, το ψητό κρέας, ο καβουρδισμένος καφές και τα ψημένα αρτοσκευάσματα (Van Boekel, 2006).

Η αντίδραση Maillard είναι μια κρίσιμη πτυχή τόσο της μαγειρικής τέχνης όσο και της επιστήμης των τροφίμων, καθώς επηρεάζει σημαντικά τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και τη συνολική ποιότητα ενός ευρέος φάσματος τροφίμων. Πραγματοποιείται με μια πολύπλοκη σειρά βημάτων, που περιλαμβάνει την αρχική συμπύκνωση αμινοξέων και αναγωγικών σακχάρων, ακολουθούμενη από διάφορες αναδιατάξεις και περαιτέρω αντιδράσεις που οδηγούν στη δημιουργία ποικίλων γευστικών ενώσεων (Fayle, & Gerrard, 2002).

Η αντίδραση αυτή δεν είναι υπεύθυνη μόνο για τα νόστιμα αρώματα και τα ελκυστικά χρώματα των μαγειρεμένων τροφίμων, αλλά παίζει επίσης ρόλο στην ανάπτυξη της υφής και της συνολικής γευστικότητας. Η αντίδραση Maillard επηρεάζεται από παράγοντες όπως η θερμοκρασία, ο χρόνος, το pH και τα συγκεκριμένα αμινοξέα και σάκχαρα που υπάρχουν στη μήτρα του τροφίμου (Nursten, 2005).

#### 4.1 Η αντίδραση Maillard στο πλαίσιο της οινοποίησης

Στο πλαίσιο της οινοποίησης, η αντίδραση Maillard μπορεί να συμβεί κατά την παλαίωση των κρασιών, συμβάλλοντας στην ανάπτυξη δευτερογενών και τριτογενών αρωμάτων και γεύσεων που ενισχύουν την πολυπλοκότητα και το βάθος του προφίλ του κρασιού με την πάροδο του χρόνου. Ακολουθεί ο τρόπος με τον οποίο σχετίζεται με το κρασί:

Παλαίωση σε βαρέλι: Πολλά κρασιά, ιδίως οι κόκκινοι οίνοι, παλαιώνουν σε δρύινα βαρέλια. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας παλαίωσης, ο οίνος μπορεί να έρθει σε επαφή με καβουρδισμένη δρυ, η οποία περιέχει λιγνίνες και άλλες ενώσεις που μπορούν να υποστούν την αντίδραση Maillard. Καθώς ο οίνος αλληλοεπιδρά με τη δρυ, ορισμένες

από τις ενώσεις της δρυός μπορούν να διαρρεύσουν στο κρασί και να συμβάλουν στα χαρακτηριστικά της γεύσης και του αρώματός του. Αυτό μπορεί να προσθέσει πολυπλοκότητα και βάθος στο προφίλ του οίνου.

Παλαίωση και ανάπτυξη στη φιάλη: Με την πάροδο του χρόνου, οι οίνοι μπορούν να υποστούν χημικές αντιδράσεις εντός της φιάλης, συμπεριλαμβανομένης της αντίδρασης Maillard. Καθώς οι οίνοι παλαιώνουν, η αλληλεπίδραση μεταξύ αμινοξέων και σακχάρων μπορεί να οδηγήσει στο σχηματισμό νέων ενώσεων που συμβάλλουν στο μπουκέτο και το συνολικό γευστικό προφίλ του οίνου (Oliveira et al., 2011).

Ανάπτυξη αρώματος και γεύσης: Η αντίδραση Maillard μπορεί να παράγει ένα ευρύ φάσμα αρωματικών ενώσεων, συμπεριλαμβανομένων εκείνων με χαρακτηριστικά καραμέλας, καρυδιού, φρυγανιάς και καβουρδίσματος. Αυτές οι ενώσεις μπορούν να συμβάλουν στην πολυπλοκότητα του αρώματος και της γεύσης των οίνων, ιδίως σε εκείνους που έχουν υποστεί κάποιο επίπεδο θερμότητας κατά την παραγωγή ή την παλαίωση (Perestrelo, Silva, & Câmara, 2019).

Συνδυασμός οίνου και φαγητού: Η αντίδραση Maillard παίζει σημαντικό ρόλο στο συνδυασμό των τροφίμων με τον οίνο. Πολλά μαγειρεμένα φαγητά, όπως κρέατα στη σχάρα, ψητά λαχανικά και καραμελωμένα επιδόρπια, περιλαμβάνουν την αντίδραση Maillard, η οποία μπορεί να δημιουργήσει γεύσεις που εναρμονίζονται και συμπληρώνουν ορισμένα στυλ οίνου. Η κατανόηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ των προϊόντων της αντίδρασης Maillard στο φαγητό και των γευστικών συστατικών στον οίνο μπορεί να βελτιώσει την γευστική εμπειρία (Charnock, Pickering, & Kemp, 2022).

## 5. Επίδραση της οξείδωσης στην ποιότητα του οίνου

### 5.1 Αισθητηριακές αλλαγές

Η οξείδωση είναι μια δυναμική διαδικασία που μπορεί να αλλάξει δραματικά το αισθητηριακό προφίλ των οίνων, επηρεάζοντας βασικά χαρακτηριστικά όπως το χρώμα, το άρωμα και η γεύση. Η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο η οξείδωση εκδηλώνεται σε οργανοληπτικές αλλαγές είναι ζωτικής σημασίας τόσο για τους οινοποιούς όσο και για τους καταναλωτές ώστε να εκτιμήσουν τις επιπτώσεις των οξειδωτικών αντιδράσεων στην ποιότητα των οίνων. Η παρούσα ενότητα παρέχει μια σε βάθος διερεύνηση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών που επηρεάζονται από την οξείδωση και εμβαθύνει στις αντιληπτικές αποχρώσεις του οξειδωμένου κρασιού μεταξύ των καταναλωτών:

#### **Αλλαγές στο χρώμα:**

Η οξείδωση μπορεί να οδηγήσει σε αξιοσημείωτες αλλαγές στο χρώμα του οίνου. Στους ερυθρούς οίνους, η ζωντάνια των νεανικών πορφυρών και κόκκινων αποχρώσεων μπορεί να εξασθενίσει, δίνοντας τη θέση της σε καφετί και πορτοκαλί αποχρώσεις. Οι λευκοί οίνοι μπορεί να χάσουν το λαμπερό, αχυρένιο χρώμα τους και να πάρουν βαθύτερες, κεκριμπαρένιες αποχρώσεις. Αυτές οι αλλαγές είναι αποτέλεσμα της αποικοδόμησης των ανθοκυανών και άλλων χρωστικών ουσιών λόγω οξειδωτικών αντιδράσεων (Reynolds, 2021).

#### **Αρωματικές αλλοιώσεις:**

Οι αρωματικές ενώσεις είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στην οξείδωση. Καθώς η οξείδωση εξελίσσεται, τα φρουτώδη και ζωηρά αρώματα που συνήθως συνδέονται με τους νεαρούς οίνους μπορούν να εξελιχθούν σε καρυδάτες νότες που μοιάζουν με κεράσι. Ο χαρακτήρας των φρέσκων φρούτων μπορεί να μειωθεί και να αντικατασταθεί από οξειδωτικά αρώματα όπως αποξηραμένα φρούτα, καραμέλα και καβουρδισμένοι ξηροί καρποί (Millar, 2021).

#### **Μετασχηματισμοί της γεύσης:**

Η οξείδωση μπορεί να επηρεάσει σημαντικά το γευστικό προφίλ των οίνων. Οι πρωτογενείς γεύσεις, που προέρχονται από τις ποικιλίες σταφυλιών, μπορούν να εξελιχθούν προς δευτερογενείς και τριτογενείς γεύσεις που σχετίζονται με την παλαίωση.

Ωστόσο, η υπερβολική οξείδωση μπορεί να οδηγήσει σε έντονες εκτός γεύσης γεύσεις, συμπεριλαμβανομένης της απώλειας της φρουτώδους γεύσης, της αυξημένης πικράδας και της εμφάνισης στυπτικότητας (Reynolds, 2021).

#### **Υφή και αίσθηση του στόματος:**

Οι οξειδωτικές αντιδράσεις μπορούν να επηρεάσουν την υφή και την αίσθηση του στόματος του οίνου. Οι ταννίνες, οι οποίες συμβάλλουν στη δομή του οίνου και στη στυπτικότητα, μπορεί να υποστούν πολυμερισμό, μεταβάλλοντας τις απτικές αισθήσεις του κρασιού. Οι οίνοι που είναι υπερβολικά οξειδωμένοι μπορεί να παρουσιάζουν πλαδαρό ή επίπεδο στόμα λόγω της διάσπασης των φαινολικών ενώσεων (Spence, 2020).

#### **Αντίληψη των οξειδωμένων οίνων από τους καταναλωτές:**

Η αντίληψη του οξειδωμένου οίνου ποικίλλει μεταξύ των καταναλωτών με βάση τις ατομικές προτιμήσεις και εμπειρίες. Ορισμένοι καταναλωτές μπορεί να εκτιμήσουν την πολυπλοκότητα που μπορεί να προσδώσει η ελεγχόμενη οξείδωση σε ορισμένα στυλ οίνων, ιδίως σε παλαιωμένους οίνους όπως τα sherries. Ωστόσο, η υπερβολική οξείδωση είναι γενικά δυσμενής, οδηγώντας σε αρνητικές οργανοληπτικές αντιλήψεις. Οι οξειδωμένοι οίνοι μπορεί να χαρακτηριστούν ως επίπεδα, θαμπά, χωρίς ζωντάνια και με μη ισορροπημένες γεύσεις. Η απώλεια της ποικιλιακής τυπικότητας και η εμφάνιση ανεπιθύμητων αρωμάτων μπορεί να μειώσουν τη συνολική απόλαυση του οίνου (Spence, 2020).

#### **Εκτιμήσεις ποιότητας:**

Ενώ η ελεγχόμενη οξείδωση μπορεί να συμβάλει στην ανάπτυξη επιθυμητών χαρακτηριστικών σε συγκεκριμένα στυλ οίνων, η υπερβολική οξείδωση θεωρείται συχνά σφάλμα. Ο αντίκτυπος της οξείδωσης στην ποιότητα του οίνου είναι μια λεπτή ισορροπία, με τους οινοποιούς να επιδιώκουν την αρμονική ενσωμάτωση των οξειδωτικών σημείων στο ευρύτερο αισθητηριακό προφίλ. Η προσεκτική διαχείριση της οξείδωσης καθ' όλη τη διάρκεια της οινοποίησης και της παλαίωσης είναι απαραίτητη για την επίτευξη οίνων εξαιρετικής ποιότητας και χαρακτήρα (Reynolds, 2021).

Συνοψίζοντας, οι αισθητηριακές αλλαγές που προκαλούνται από την οξείδωση έχουν βαθύτατο αντίκτυπο στην ποιότητα των οίνων και στην αντίληψη των καταναλωτών. Από τις μεταβολές στο χρώμα και το άρωμα έως τις αλλαγές στη γεύση και την αίσθηση του στόματος, η οξείδωση μπορεί να διαμορφώσει τη συνολική αισθητηριακή εμπειρία ενός

οίνου. Κατανοώντας τις περιπλοκές των αισθητηριακών αλλαγών που επιφέρει η οξείδωση, τόσο οι οινοποιοί όσο και οι καταναλωτές μπορούν να συμμετάσχουν σε μια λεπτή εξερεύνηση της εξέλιξης του οίνου και να εκτιμήσουν την τέχνη της ισορροπημένης οξειδωτικής επίδρασης.

## 5.2 Υποβάθμιση της ποιότητας

### 5.2.1 Επιπτώσεις της οξείδωσης στη σταθερότητα του οίνου, τη δυνατότητα παλαίωσης και τη διάρκεια ζωής στο ράφι

Η οξείδωση επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα του κρασιού, υπονομεύοντας τη σταθερότητά του, τη δυνατότητα παλαίωσης και τη διάρκεια ζωής του. Οι οξειδωτικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στον οίνο μπορούν να οδηγήσουν σε έναν καταρράκτη επιζήμιων επιπτώσεων, μειώνοντας τελικά τα συνολικά οργανοληπτικά και χημικά χαρακτηριστικά του ποτού. Καθώς η οξείδωση εξελίσσεται, οι χρωματικές αλλαγές, τα αλλοιωμένα αρώματα και η υποβάθμιση της γεύσης γίνονται εμφανή, διαβρώνοντας την αρχική γοητεία του κρασιού.

Η οξείδωση θέτει σε κίνδυνο τη σταθερότητα του οίνου, προωθώντας τη διάσπαση ενώσεων που συμβάλλουν στο χρώμα, το άρωμα και τη γεύση. Οι φαινολικές ενώσεις, που είναι υπεύθυνες για το χρώμα και την αίσθηση του στόματος, υφίστανται πολυμερισμό, οδηγώντας σε μειωμένη ζωντάνια του χρώματος και πλαδαρή αίσθηση του στόματος. Τα αρώματα μετατοπίζονται από φρουτώδη και ζωηρά σε καρυδάτα και οξειδωμένα, προκαλώντας απώλεια της ποικιλιακής τυπικότητας. Οι πρωτογενείς γεύσεις δίνουν τη θέση τους σε δευτερογενή και τριτογενή χαρακτηριστικά, που συχνά συνοδεύονται από ανεπιθύμητη πικράδα και στυπτικότητα (Nikolantonaki et al., 2019).

Η δυνατότητα παλαίωσης του οίνου, χαρακτηριστικό γνώρισμα των εκλεκτών εσοδειών, διακυβεύεται από την οξείδωση. Οι ελεγχόμενες οξειδωτικές αντιδράσεις μπορούν να ενισχύσουν την πολυπλοκότητα και το βάθος, συμβάλλοντας στην ανάπτυξη επιθυμητών χαρακτηριστικών σε ορισμένα στυλ οίνου. Ωστόσο, η υπερβολική οξείδωση επιταχύνει τη διαδικασία παλαίωσης, οδηγώντας σε πρόωρη ωρίμανση και μειώνοντας την ικανότητα του οίνου να εξελίσσεται με χάρη με την πάροδο του χρόνου. Η λεπτή αλληλεπίδραση των γεύσεων και των αρωμάτων που χαρακτηρίζουν τους καλά

παλαιωμένους οίνους διαταράσσεται, υπονομεύοντας την αναμενόμενη μεταμόρφωση (Jackson, 2016).

Η διάρκεια ζωής στο ράφι, ένα κρίσιμο στοιχείο για τους εμπορικούς οίνους, επηρεάζεται άμεσα από την οξείδωση. Οι οίνοι με ανεπαρκή προστασία από την οξείδωση μπορεί να έχουν μικρότερη διάρκεια ζωής λόγω επιταχυνόμενης φθοράς. Οι μεταβολές που προκαλούνται από την οξείδωση είναι σωρευτικές, με κάθε βήμα να συμβάλλει στη σταδιακή μείωση της ποιότητας του οίνου. Οι καταναλωτές που αναζητούν οίνους με σταθερά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και ευχάριστη δυνατότητα παλαίωσης είναι ιδιαίτερα ευαίσθητοι στις επιπτώσεις της οξείδωσης (Jackson, 2016).

Συμπερασματικά, οι επιπτώσεις της οξείδωσης στη σταθερότητα του οίνου, στο δυναμικό παλαίωσης και στη διάρκεια ζωής στο ράφι είναι πολύπλευρες και αλληλένδετες. Καθώς η οξείδωση διαταράσσει τη λεπτή ισορροπία της σύνθεσης του οίνου, υπογραμμίζει την επιτακτική ανάγκη για σχολαστικές πρακτικές οινοποίησης και συνθήκες αποθήκευσης. Διαχειριζόμενοι ενεργά την οξείδωση, οι οινοποιοί μπορούν να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής ενός οίνου, να ενισχύσουν τις δυνατότητες παλαίωσης και να διατηρήσουν την εγγενή ποιότητά του, επιτρέποντας στους λάτρεις του οίνου να απολαύσουν το προβλεπόμενο αισθητηριακό ταξίδι με την πάροδο του χρόνου.



## 6. Μετριάσμός και έλεγχος της οξείδωσης

### 6.1 Προληπτικά μέτρα

#### 6.1.1 Στρατηγικές για την ελαχιστοποίηση της έκθεσης σε οξυγόνο κατά την οινοποίηση

Η αποτελεσματική διαχείριση της οξείδωσης είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της ποιότητας του οίνου και την αποφυγή ανεπιθύμητων οργανοληπτικών αλλαγών. Τα προληπτικά μέτρα κατά την οινοποίηση είναι ζωτικής σημασίας για την ελαχιστοποίηση της έκθεσης σε οξυγόνο και τον μετριάσμό του κινδύνου οξείδωσης. Η παρούσα ενότητα διερευνά τις βασικές στρατηγικές που χρησιμοποιούν οι οινοποιοί για τον έλεγχο της εισόδου οξυγόνου και τη διασφάλιση της βέλτιστης διατήρησης του οίνου:

#### **Προστασία με αδρανή αέρια:**

Η χρήση αδρανών αερίων, όπως το άζωτο ή το αργό, είναι μια θεμελιώδης προσέγγιση για την αντιμετώπιση της έκθεσης σε οξυγόνο. Η κάλυψη των δοχείων οίνου με αδρανές αέριο δημιουργεί ένα φράγμα που εκτοπίζει το οξυγόνο, μειώνοντας τη δυνατότητα οξειδωτικών αντιδράσεων. Η προστασία με αδρανή αέρια εφαρμόζεται κατά τη διάρκεια διαφόρων σταδίων της οινοποίησης, συμπεριλαμβανομένων των ραφιών, της μεταφοράς και της εμφιάλωσης, για να ελαχιστοποιηθεί η επαφή μεταξύ οίνου και αέρα (Robinson, Harding, & Vouillamoz, 2013).

#### **Ήπιος χειρισμός και ελαχιστοποιημένη ανάδευση:**

Οι μηχανικές ενέργειες, όπως η άντληση και η ανάδευση, μπορούν να εισάγουν οξυγόνο στον οίνο. Οι πρακτικές ήπιου χειρισμού και οι τεχνικές ελάχιστης ανάδευσης συμβάλλουν στη μείωση της πρόσληψης οξυγόνου κατά τη διάρκεια διεργασιών όπως η έκθλιψη σταφυλιών, η ζύμωση και η μεταφορά οίνου. Με την ελαχιστοποίηση της φυσικής επαφής με τον αέρα, οι οινοποιοί μπορούν να αποτρέψουν την αρχική ενσωμάτωση οξυγόνου (Goode, & Harrop, 2011).

#### **Μειωμένη έκθεση σε διοξείδιο του θείου:**

Ενώ το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) είναι ένα πολύτιμο αντιοξειδωτικό, η υπερβολική έκθεση κατά τη διάρκεια της οινοποίησης μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Η βελτιστοποίηση των επιπέδων SO<sub>2</sub> με παράλληλη

διατήρηση επαρκούς προστασίας από την οξείδωση είναι ζωτικής σημασίας. Η μέτρηση και η προσαρμογή των συγκεντρώσεων SO<sub>2</sub> για την επίτευξη της σωστής ισορροπίας μεταξύ των αντιοξειδωτικών οφελών και της οργανοληπτικής διατήρησης αποτελεί βασικό στοιχείο (Robinson, Harding, & Vouillamoz, 2013).

#### **Ελεγχόμενη θερμοκρασία και υγρασία:**

Η διατήρηση σταθερών συνθηκών θερμοκρασίας και υγρασίας κατά τη διάρκεια της οινοποίησης και της αποθήκευσης είναι ζωτικής σημασίας. Οι διακυμάνσεις αυτών των παραγόντων μπορούν να επιδεινώσουν την οξείδωση επιταχύνοντας τις χημικές αντιδράσεις. Η επαρκής υγρασία συμβάλλει στη διατήρηση της ακεραιότητας του φελλού, μειώνοντας τον κίνδυνο υπερβολικής εισόδου οξυγόνου μέσω των πωμάτων (Boulton et al, 2013).

#### **Σωστές τεχνικές εμφιάλωσης:**

Η εμφιάλωση είναι ένα κομβικό στάδιο όπου η έκθεση σε οξυγόνο πρέπει να γίνεται με προσεκτική διαχείριση. Τεχνικές όπως η εμφιάλωση με αδρανές αέριο, η πλήρωση υπό κενό και η ελαχιστοποίηση του κενού χώρου βοηθούν στη μείωση της πρόσληψης οξυγόνου κατά την εμφιάλωση. Η επιλογή του πώματος, είτε πρόκειται για φελλό είτε για βιδωτό πώμα, επηρεάζει επίσης την έκταση της εισόδου οξυγόνου μετά την εμφιάλωση (Robinson, Harding, & Vouillamoz, 2013).

#### **Συνεπής παρακολούθηση και ανάλυση:**

Η τακτική παρακολούθηση της σύνθεσης του οίνου, συμπεριλαμβανομένων των επιπέδων διαλυμένου οξυγόνου, βοηθά τους οινοποιούς να εντοπίζουν τυχόν αποκλίσεις από τις επιθυμητές παραμέτρους. Η έγκαιρη ανάλυση επιτρέπει τη λήψη προσαρμογών και διορθωτικών ενεργειών για την ελαχιστοποίηση των πιθανών προβλημάτων που σχετίζονται με την οξείδωση (Goode, & Harrop, 2011).

#### **Προσοχή στη χημεία του οίνου:**

Η κατανόηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των συστατικών του οίνου και της ευαισθησίας τους στην οξείδωση καθοδηγεί τους οινοποιούς στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων. Η προσαρμογή των πρακτικών οινοποίησης για τη διατήρηση των αντιοξειδωτικών, τη διαχείριση των επιπέδων pH και τη βελτιστοποίηση της φαινολικής

εκχύλισης συμβάλλει στην ελαχιστοποίηση των κινδύνων οξείδωσης (Boulton et al, 2013).

Συλλογικά, αυτά τα προληπτικά μέτρα αποτελούν μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για τον μετριασμό της οξείδωσης κατά την οινοποίηση. Με την εφαρμογή αυτών των στρατηγικών, οι οινοποιοί μπορούν να διαφυλάξουν την ποιότητα του οίνου, να διασφαλίσουν την αισθητηριακή ακεραιότητα και να επεκτείνουν τις δυνατότητες για χαριτωμένη παλαίωση. Συμπερασματικά, τα προληπτικά μέτρα αντιπροσωπεύουν μια προληπτική στάση κατά της οξείδωσης, αντανακλώντας τη δέσμευση των οινοποιών να διατηρήσουν τον εγγενή χαρακτήρα και τα επιδιωκόμενα αισθητηριακά χαρακτηριστικά των οίνων τους. Χρησιμοποιώντας στρατηγικές που ελαχιστοποιούν την έκθεση σε οξυγόνο, οι οινοποιοί λαμβάνουν ουσιαστικά μέτρα για τη διατήρηση της ποιότητας των οίνων και τη βελτίωση της συνολικής εμπειρίας των καταναλωτών.

### **6.1.2 Σημασία της προστασίας από αδρανή αέρια και των κατάλληλων τεχνικών εμφιάλωσης**

Στην ευαίσθητη τέχνη της οινοποίησης, οι δύο πυλώνες της προστασίας από αδρανή αέρια και οι κατάλληλες τεχνικές εμφιάλωσης αποτελούν ζωτικούς φρουρούς ενάντια στην ύπουλη απειλή της οξείδωσης. Τα μέτρα αυτά είναι υψίστης σημασίας για τη διατήρηση της ακεραιότητας, του χαρακτήρα και της μακροζωίας των οίνων, διασφαλίζοντας ότι φτάνουν στους καταναλωτές στην καλύτερη δυνατή κατάσταση.

#### **Προστασία με αδρανή αέρια:**

Τα αδρανή αέρια, όπως το άζωτο και το αργό, λειτουργούν ως αόρατοι φρουροί, προστατεύοντας τους οίνους από τις ολέθριες επιδράσεις του οξυγόνου. Δημιουργώντας ένα προστατευτικό φράγμα που εκτοπίζει το οξυγόνο, η προστασία με αδρανή αέρια περιορίζει σημαντικά τις οξειδωτικές αντιδράσεις, οι οποίες μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο το χρώμα, το άρωμα και τη γεύση των οίνων. Η τεχνική αυτή βρίσκει εφαρμογή σε κρίσιμα σημεία, όπως τα ράφια, οι μεταφορές και η εμφιάλωση. Ελαχιστοποιώντας την επαφή με το οξυγόνο κατά τη διάρκεια αυτών των σταδίων, οι οινοποιοί διασφαλίζουν ότι οι εξαιρετικές αποχρώσεις που καλλιεργούνται με επιμέλεια καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας οινοποίησης παραμένουν αδιατάρακτες (del Barrio-Galán, Nevares, & del Alamo-Sanza, 2023).

### **Σωστές τεχνικές εμφιάλωσης:**

Η πράξη της εμφιάλωσης, όπου το κρασί μεταβαίνει από το άδυτο του κελαριού στο ποτήρι που περιμένει, απαιτεί σχολαστική προσοχή στη λεπτομέρεια. Οι σωστές τεχνικές εμφιάλωσης παίζουν καθοριστικό ρόλο στην ελαχιστοποίηση της εισροής οξυγόνου και στη διαφύλαξη του τελικού προϊόντος. Τεχνικές όπως η εμφιάλωση με αδρανή αέρια και η πλήρωση υπό κενό δημιουργούν ένα περιβάλλον αφιλόξενο για το οξυγόνο, μειώνοντας τη διεύδυσή του στο κρασί. Η ελαχιστοποίηση του κεφαλοχώρου εντός της φιάλης περιορίζει περαιτέρω την έκθεση στο οξυγόνο. Επιπλέον, η επιλογή του πώματος, είτε πρόκειται για φυσικό φελλό είτε για σύγχρονο βιδωτό πώμα, επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ανταλλαγή οξυγόνου μετά την εμφιάλωση (Reynolds et al., 2018).

Μαζί, αυτές οι τεχνικές αποτελούν μια τρομερή άμυνα ενάντια στην εισβολή της οξείδωσης, εξασφαλίζοντας ότι οι οίνοι διατηρούν τα προβλεπόμενα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τους και παλαιώνουν με χάρη. Η προστασία με αδρανή αέρια και οι κατάλληλες τεχνικές εμφιάλωσης προσφέρουν στους οινοποιούς έναν καμβά πάνω στον οποίο μπορούν να δημιουργήσουν με τέχνη οίνους που αφηγούνται την ιστορία του terroir και της ποικιλιακής τους έκφρασης. Επιπλέον, παρέχουν στους καταναλωτές το προνόμιο να βιώνουν οι οίνοι όπως τα σχεδίασε ο αμπελουργός - μια αρμονική συμφωνία γεύσεων και αρωμάτων, χωρίς να αμαυρώνονται από τη φθορά της οξείδωσης.

Εν κατακλείδι, η σημασία της προστασίας από αδρανή αέρια και των κατάλληλων τεχνικών εμφιάλωσης δεν μπορεί να υπερεκτιμηθεί στη σφαίρα της οινοποίησης. Αυτοί οι φύλακες της ποιότητας στέκονται ως αταλάντευτοι προστάτες, διατηρώντας την ουσία των οίνων και διασφαλίζοντας ότι κάθε γουλιά περικλείει την τέχνη, το πάθος και την παράδοση που συμβάλλουν στη δημιουργία κάθε φιάλης.

### **6.2 Αντιοξειδωτικές πρακτικές: Αντιμετώπιση της οξείδωσης με αντιοξειδωτικά και βελτιωτικά μέσα**

Στην μάχη κατά της οξείδωσης, οι οινοποιοί χρησιμοποιούν ένα στρατηγικό οπλοστάσιο αντιοξειδωτικών πρακτικών, αξιοποιώντας τη δύναμη των αντιοξειδωτικών και των παραγόντων φινιρίσματος για να διαφυλάξουν τον παρθένο χαρακτήρα των οίνων. Οι πρακτικές αυτές διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη διατήρηση της ποιότητας των οίνων και στην αποτροπή της ανεπιθύμητης πορείας των επιπτώσεων της οξείδωσης. Η παρούσα ενότητα εξετάζει την εφαρμογή των αντιοξειδωτικών και των βελτιωτικών

παραγόντων και αξιολογεί την αποτελεσματικότητά τους στη διατήρηση της ποιότητας των οίνων:

### **Χρήση αντιοξειδωτικών:**

Τα αντιοξειδωτικά, που χαρακτηρίζονται ως οι υπερασπιστές της φύσης κατά των οξειδωτικών αντιδράσεων, ενσωματώνονται στις διαδικασίες οινοποίησης για την αναχαίτιση και εξουδετέρωση των ελεύθερων ριζών και των δραστικών ειδών οξυγόνου. Ενώσεις όπως το ασκορβικό οξύ, η α-τοκοφερόλη και το ελλαγικό οξύ χρησιμεύουν ως γενναίοι φύλακες, αναχαιτίζοντας την οξειδωτική επίθεση. Αυτά τα αντιοξειδωτικά όχι μόνο προστατεύουν την ευαίσθητη ισορροπία των συστατικών του οίνου, αλλά συμβάλλουν επίσης στην ενίσχυση της σταθερότητας του χρώματος, της διατήρησης του αρώματος και της διατήρησης της γεύσης (Louli, Ragoussis, & Magoulas, 2004).

### **Παράγοντες σταθεροποίησης ως ασπίδες:**

Οι παράγοντες σταθεροποίησης, που χρησιμοποιούνται παραδοσιακά για τη διαύγαση και τη σταθεροποίηση, διαθέτουν επίσης αντιοξειδωτικές ιδιότητες. Ουσίες όπως ο μπεντονίτης, η καζεΐνη και το isinglass διαθέτουν την ικανότητα να δεσμεύουν μέταλλα που καταλύουν οξειδωτικές αντιδράσεις. Ακίνητοποιώντας αυτά τα μέταλλα, τα βελτιωτικά δρουν ως ασπίδες, εμποδίζοντας την πρόοδο της οξείδωσης και αποτρέποντας την έναρξη επιζήμιων χημικών καταρρακτών (Canuti et al., 2009).

### **Αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας:**

Η αποτελεσματικότητα των αντιοξειδωτικών πρακτικών αποτελεί αντικείμενο προσεκτικής εξέτασης και αξιολόγησης. Οι πειραματικές μελέτες και οι οργανοληπτικές αξιολογήσεις διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη μέτρηση της επίδρασης των αντιοξειδωτικών και των παραγόντων αραίωσης στην ποιότητα του οίνου. Οι ποσοτικές μετρήσεις παραμέτρων, όπως τα επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου, η περιεκτικότητα σε φαινολικά και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, παρέχουν πληροφορίες σχετικά με το βαθμό στον οποίο εμποδίζεται η οξείδωση. Οι επιτροπές γευσιγνωσίας, οπλισμένες με οξεία οργανοληπτική ικανότητα, αποφαινόμενες κατά πόσον η εισαγωγή αντιοξειδωτικών και λεπτουργικών μέσων διατηρεί το επιδιωκόμενο προφίλ του οίνου ή εισάγει ανεπιθύμητες αλλοιώσεις. Η αξιολόγηση των αντιοξειδωτικών πρακτικών ξεπερνά το πεδίο των ελεγχόμενων πειραμάτων και συντονίζεται βαθιά με τη διαίσθηση και την εμπειρία των οινοποιών. Η εξισορρόπηση των προστατευτικών πλεονεκτημάτων των

αντιοξειδωτικών και των παραγόντων τελμάτωσης με τη δυνατότητά τους να επηρεάσουν το αισθητηριακό πανόραμα απαιτεί λεπτότητα και ακρίβεια. Οι υπερβολικά ενθουσιώδεις εφαρμογές μπορούν να απομακρύνουν τους οίνους από την προβλεπόμενη πορεία τους, ενώ η συνετή χρήση μπορεί να ενισχύσει τη σταθερότητα και τη μακροζωία χωρίς να θυσιάσει τον εκλεκτό χαρακτήρα (Reynolds, 2021).

Εν κατακλείδι, οι αντιοξειδωτικές πρακτικές αντιπροσωπεύουν μια εξελιγμένη συμφωνία επιστήμης, τέχνης και διαίσθησης στο ρεπερτόριο του οινοποιού. Αξιοποιώντας την ισχύ των αντιοξειδωτικών και των παραγόντων φινιρίσματος, οι οινοποιοί προσπαθούν να αντισταθμίσουν την αδυσώπητη προέλαση της οξείδωσης, διασφαλίζοντας ότι κάθε φιάλη αφηγείται μια ιστορία διατηρημένης καθαρότητας και διατηρήσιμης ποιότητας. Η λεπτή ισορροπία μεταξύ της οξειδωτικής προστασίας και της οργανοληπτικής διατήρησης είναι το σήμα κατατεθέν του αριστοτέχνη οινοποιού, ενορχηστρώνοντας μια αρμονική σύνθεση που βρίσκει ανταπόκριση σε κάθε απαιτητικό ουρανίσκο.

## 7. Μελέτες περιπτώσεων και πρακτικές εφαρμογές

### 7.1 Μελέτη περίπτωσης 1: Συγκριτική ανάλυση της οξείδωσης σε διαφορετικά στυλ κρασιού

#### 7.1.1 Διερεύνηση των τάσεων οξείδωσης σε ερυθρούς, λευκούς και ροζέ οίνους

Διερεύνηση των τάσεων οξείδωσης:

Οι ερυθροί, λευκοί και ροζέ οίνοι, καθένας από τους οποίους φέρει ξεχωριστή ταυτότητα και αισθητηριακό προφίλ, παρουσιάζουν ποικίλες αντιδράσεις στις οξειδωτικές επιδράσεις. Αυτή η μελέτη περίπτωσης εμβαθύνει στις περίπλοκες λεπτομέρειες, επιδιώκοντας να αποκαλύψει τον τρόπο με τον οποίο αυτά τα διαφορετικά στυλ πλοηγούνται στις προκλήσεις που θέτει η οξείδωση.

#### **Ερυθροί οίνοι:**

Η στιβαρή, πλούσια σε τανίνες φύση των ερυθρών οίνων χρησιμεύει τόσο ως πανοπλία όσο και ως τρωτό σημείο απέναντι στην οξείδωση. Ενώ οι φαινολικές ενώσεις που συμβάλλουν στο χρώμα και τη δομή των κόκκινων οίνων προσδίδουν επίσης έναν βαθμό οξειδωτικής αντοχής, η παρατεταμένη έκθεση μπορεί να οδηγήσει σε ανεπιθύμητη πικράδα και υποβάθμιση του χρώματος.

#### **Λευκοί οίνοι:**

Τα λεπτά αρώματα και οι ζωντανές γεύσεις των λευκών οίνων τα καθιστούν ιδιαίτερα ευαίσθητα στην οξείδωση. Η μελέτη περίπτωσης αναλύει τον τρόπο με τον οποίο οι οξειδωτικές αντιδράσεις μεταβάλλουν τις αρωματικές ενώσεις και τις γευστικές αποχρώσεις των λευκών οίνων, οδηγώντας τα συχνά σε καρυδάτες, sherry-like νότες.

#### **Ροζέ οίνοι:**

Οι ροζέ οίνοι, που φημίζονται για τη δροσερή και φρουτώδη γοητεία τους, κινούνται σε μια λεπτή γραμμή μεταξύ της οξειδωτικής ενίσχυσης και της διατήρησης των αισθήσεων (Bueno et al., 2010).

## 7.2 Μελέτη περίπτωσης 2: Επίδραση των τύπων κλεισίματος στην οξείδωση του οίνου

Η επιλογή του κλεισίματος είναι ένας κρίσιμος παράγοντας στη μάχη κατά της οξείδωσης, καθώς έχει τη δύναμη είτε να προστατεύει είτε να εκθέτει τους οίνους στην αδυσώπητη πορεία του οξυγόνου. Οι τύποι κλεισίματος, που κυμαίνονται από τους παραδοσιακούς φελλούς έως τα σύγχρονα βιδωτά καπάκια, επηρεάζουν σημαντικά τον βαθμό εισόδου οξυγόνου και τις επακόλουθες οξειδωτικές αντιδράσεις.

### **Φελλοί και διαπερατότητα οξυγόνου:**

Οι φυσικοί φελλοί, σεβαστοί για την κλασική τους γοητεία, διαθέτουν διαφορετικούς βαθμούς διαπερατότητας του οξυγόνου. Καθώς οι φελλοί αλληλεπιδρούν με τον οίνο, εμφανίζονται ελάχιστες ποσότητες εισόδου οξυγόνου. Αυτή η ελεγχόμενη ανταλλαγή οξυγόνου μπορεί να διευκολύνει τις επιθυμητές διαδικασίες παλαίωσης, μεταμορφώνοντας τους οίνους με την πάροδο του χρόνου. Ωστόσο, η δυναμική ισορροπία μεταξύ της εισόδου οξυγόνου και της διατήρησης του οίνου απαιτεί ακριβή διαχείριση για την αποφυγή υπερβολικής οξείδωσης (Silva et al., 2011).

### **Βιδωτά καπάκια και ερμητική σφράγιση:**

Τα βιδωτά καπάκια, που είναι γνωστά για τις ιδιότητες ερμητικής σφράγισης, προσφέρουν ισχυρή προστασία από την είσοδο οξυγόνου. Η αεροστεγής σφράγιση τους αποτρέπει τις οξειδωτικές αντιδράσεις και διατηρεί τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του οίνου, διατηρώντας τη φρεσκάδα και τη ζωτικότητα. Η απουσία ανταλλαγής οξυγόνου μπορεί να παρεμποδίσει ορισμένες διαδικασίες παλαίωσης, εγείροντας ερωτήματα σχετικά με τις πιθανές επιπτώσεις στη μακροπρόθεσμη ανάπτυξη των οίνων (Goode, 2010).

### **Συνθετικά κλεισίματα και έλεγχος του οξυγόνου:**

Τα συνθετικά κλεισίματα, σχεδιασμένα για να εξισορροπούν τη διαπερατότητα του οξυγόνου και τη συνοχή, αποτελούν ένα ενδιάμεσο μεταξύ φελλών και βιδωτών πώματων. Αυτά τα κλεισίματα στοχεύουν να συνδυάσουν τα πλεονεκτήματα της φυσικής παράδοσης του φελλού με την ελεγχόμενη είσοδο οξυγόνου των βιδωτών πωμάτων. Η μελέτη περίπτωσης διερευνά τον τρόπο με τον οποίο τα συνθετικά πώματα επηρεάζουν



την οξείδωση του κρασιού και κατά πόσον επιτυγχάνουν τη βέλτιστη ισορροπία (Silva et al., 2011).

#### **Αντίληψη των καταναλωτών και δυναμικό παλαίωσης:**

Η αντίληψη του καταναλωτή αποτελεί επίσης παράγοντα στην εξίσωση. Ορισμένοι λάτρεις του οίνου απολαμβάνουν την ίντριγκα των οίνων που μεταμορφώνονται μέσω ελεγχόμενης οξείδωσης κάτω από φυσικούς φελλούς, ενώ άλλοι αναζητούν τη διαρκή ζωντάνια που καλλιεργούν τα αεροστεγή βιδωτά καπάκια. Η δυνατότητα παλαίωσης των οίνων υπό διαφορετικούς τύπους πώματος παίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της προτιμώμενης ισορροπίας μεταξύ της πολυπλοκότητας που οφείλεται στην οξείδωση και της νεανικής ζωτικότητας (Chamorro et al., 2021).

## Συμπεράσματα

Η εξέταση της οξείδωσης του οίνου αποκαλύπτει τον κρίσιμο αντίκτυπό της στην ποιότητα του οίνου, περιλαμβάνοντας τη σύνθεσή του, τους μηχανισμούς οξείδωσης, τους παράγοντες επιρροής, τις επιπτώσεις στην ποιότητα και τις προσεγγίσεις μετριασμού. Μέσω της συστηματικής ανάλυσης, προκύπτει μια σαφέστερη κατανόηση της περίπλοκης δυναμικής που διαμορφώνει τον κόσμο της οινοποίησης. Ο ρόλος του οξυγόνου στην ανάπτυξη του οίνου γίνεται εμφανής, με χημικές αντιδράσεις όπως η πρόσληψη οξυγόνου, οι οξειδωτικές διεργασίες και οι αλληλεπιδράσεις πολυφαινόλων να καθορίζουν τη λεπτή ισορροπία μεταξύ μετασχηματισμού και διατήρησης. Η αντίδραση Maillard συμβάλλει περαιτέρω στην πολυπλοκότητα της οινοποίησης, τονίζοντας τον ρόλο των αλληλεπιδράσεων των ενώσεων στις αισθητηριακές εμπειρίες. Η διεύθυνση του οξυγόνου σε διάφορα στάδια, από την παραγωγή έως την εμφιάλωση, υπογραμμίζει τη σημασία της επιμέλειας σε όλη τη διαδικασία οινοποίησης. Η επίδραση των τύπων κλεισίματος στους ρυθμούς οξείδωσης υπογραμμίζει τις αποφάσεις συσκευασίας, ενώ οι συνθήκες αποθήκευσης υπογραμμίζουν την ανάγκη για κατάλληλο περιβάλλον. Η σύνδεση μεταξύ της σύνθεσης του οίνου και της ευαισθησίας στην οξείδωση ενισχύει τις προσαρμοσμένες προσεγγίσεις για διαφορετικές ποικιλίες και στυλ. Οι απτές συνέπειες της οξείδωσης είναι αξιοσημείωτες σε αισθητηριακές αλλοιώσεις και υποβάθμιση της ποιότητας, επηρεάζοντας τη δυνατότητα παλαίωσης και τη διάρκεια ζωής στο ράφι. Οι επιπτώσεις αυτές υπογραμμίζουν την αναγκαιότητα προληπτικών μέτρων κατά της οξείδωσης. Οι στρατηγικές μετριασμού προσφέρουν πρακτικές λύσεις, συμπεριλαμβανομένης της ελαχιστοποίησης της έκθεσης σε οξυγόνο κατά την οινοποίηση, της χρήσης προστασίας με αδρανή αέρια και της εφαρμογής κατάλληλων τεχνικών εμφιάλωσης. Τα αντιοξειδωτικά και τα βελτιωτικά παρουσιάζουν επιλογές για την ενίσχυση της σταθερότητας και της μακροζωίας του οίνου. Μελέτες περιπτώσεων παρέχουν γνώσεις σχετικά με τις πρακτικές επιπτώσεις. Συγκριτικές αναλύσεις των τάσεων οξείδωσης σε ποικίλα στυλ οίνων αναδεικνύουν την αλληλεπίδραση μεταξύ των οξειδωτικών διεργασιών και των ποικιλιακών χαρακτηριστικών. Η επίδραση των τύπων κλεισίματος στην οξείδωση προσθέτει προβληματισμούς σχετικά με τη συσκευασία με διαρκή αντίκτυπο. Συνοπτικά, η οξείδωση του οίνου γεφυρώνει την επιστήμη, τη φύση και την ανθρώπινη εμπειρία. Η κατανόηση των αποχρώσεων της οξείδωσης δίνει τη δυνατότητα στους παραγωγούς και τους λάτρεις να ξεκλειδώσουν το πλήρες δυναμικό

του οίνου. Αυτή η γνώση εξασφαλίζει τη διαρκή εξέλιξη της κληρονομιάς του οίνου, γοητεύοντας τους ουρανίσκους όλων των γενεών.

## Βιβλιογραφία

- Arrigoni, O., & De Tullio, M. C. (2002). Ascorbic acid: much more than just an antioxidant. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, 1569(1-3), 1-9.
- Belanger, J. M., Paré, J. J., & Sigouin, M. (1997). High performance liquid chromatography (HPLC): principles and applications. In *Techniques and instrumentation in analytical chemistry* (Vol. 18, pp. 37-59). Elsevier.
- Bisby, R. H., Brooke, R., & Navaratnam, S. (2008). Effect of antioxidant oxidation potential in the oxygen radical absorption capacity (ORAC) assay. *Food Chemistry*, 108(3), 1002-1007.
- Boulton, R. B., Singleton, V. L., Bisson, L. F., & Kunkee, R. E. (2013). *Principles and practices of winemaking*. Springer Science & Business Media.
- Brooks, H. B., Geeganage, S., Kahl, S. D., Montrose, C., Sittampalam, S., Smith, M. C., & Weidner, J. R. (2012). Basics of enzymatic assays for HTS. *Assay Guidance Manual [Internet]*.
- Bueno, M., Culleré, L., Cacho, J., & Ferreira, V. (2010). Chemical and sensory characterization of oxidative behavior in different wines. *Food Research International*, 43(5), 1423-1428.
- Butzke, C. E., Vogt, E. E., & Chacón-Rodríguez, L. (2012). Effects of heat exposure on wine quality during transport and storage. *Journal of wine research*, 23(1), 15-25.
- Bunton, C. A., & Shiner Jr, V. J. (1961). Isotope effects in deuterium oxide solution. I. Acid-base equilibria. *Journal of the American Chemical Society*, 83(1), 42-47.
- Canuti, V., Conversano, M., Calzi, M. L., Heymann, H., Matthews, M. A., & Ebeler, S. E. (2009). Headspace solid-phase microextraction–gas chromatography–mass spectrometry for profiling free volatile compounds in Cabernet Sauvignon grapes and wines. *Journal of Chromatography A*, 1216(15), 3012-3022.
- Carrascón, V., Vallverdú-Queralt, A., Meudec, E., Sommerer, N., Fernandez-Zurbano, P., & Ferreira, V. (2018). The kinetics of oxygen and SO<sub>2</sub> consumption by red wines. What do they tell about oxidation mechanisms and about changes in wine composition?. *Food chemistry*, 241, 206-214.
- Chamorro, A., García-Gallego, J. M., & Trindade-Carlos, H. D. C. (2021). Study on the importance of wine bottle design on consumer choices. *British Food Journal*, 123(2), 577-593.
- Charnock, H. M., Pickering, G. J., & Kemp, B. S. (2022). The Maillard reaction in traditional method sparkling wine. *Frontiers in Microbiology*, 13, 979866.
- Crozier, A., Jaganath, I. B., & Clifford, M. N. (2006). Phenols, polyphenols and tannins: an overview. *Plant secondary metabolites: Occurrence, structure and role in the human diet*, 1, 1-25.

- Corduas, M., Cinquanta, L., & Ievoli, C. (2013). The importance of wine attributes for purchase decisions: A study of Italian consumers' perception. *Food Quality and Preference*, 28(2), 407-418.
- Danilewicz, J. C. (2012). Review of oxidative processes in wine and value of reduction potentials in enology. *American Journal of Enology and Viticulture*, 63(1), 1-10.
- Del Álamo, M., Nevares, I., & Cárcel, L. M. (2006). Redox potential evolution during red wine aging in alternative systems. *Analytica chimica acta*, 563(1-2), 223-228.
- del Barrio-Galán, R., Nevares, I., & del Alamo-Sanza, M. (2023). Characterization and Control of Oxygen Uptake in the Blanketing and Purging of Tanks with Inert Gases in the Winery. *Beverages*, 9(1), 19.
- Deretic, J., Powell, K., & Hetherington, S. (2001). Assessing the risk of phylloxera transfer during post-harvest handling of wine grapes. In *Workshop on Rootstocks Performance in Phylloxera Infested Vineyards 617* (pp. 61-66).
- Dufour, C., & Bayonove, C. L. (1999). Interactions between wine polyphenols and aroma substances. An insight at the molecular level. *Journal of agricultural and food chemistry*, 47(2), 678-684.
- Englard, S., & Seifter, S. (1986). The biochemical functions of ascorbic acid. *Annual review of nutrition*, 6(1), 365-406.
- Fayle, S. E., & Gerrard, J. A. (2002). *The maillard reaction* (Vol. 5). Royal Society of Chemistry.
- Fornairon-Bonnefond, C., Mazauric, J. P., Salmon, J. M., & Moutounet, M. (1999). Observations on the oxygen consumption during maturation of wines on lees. *OENO One*, 33(2), 79-86.
- Foyer, C. H. (2017). Ascorbic acid. In *Antioxidants in higher plants* (pp. 31-58). CRC press.
- Fukami, T., Tahara, S., Yasuda, C., & Nakasone, K. (2016). Structural refinements and thermal properties of L (+)-tartaric, D (-)-tartaric, and monohydrate racemic tartaric acid. *Int. J. Chem*, 8(9).
- Gao, L., Girard, B., Mazza, G., & Reynolds, A. G. (1997). Changes in anthocyanins and color characteristics of Pinot Noir wines during different vinification processes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(6), 2003-2008.
- González, R., Ballester, I., López-Posadas, R., Suárez, M. D., Zarzuelo, A., Martínez-Augustín, O., & Medina, F. S. D. (2011). Effects of flavonoids and other polyphenols on inflammation. *Critical reviews in food science and nutrition*, 51(4), 331-362.
- Goode, J. (2010). Alternatives to cork in wine bottle closures. In *Managing Wine Quality* (pp. 331-345). Woodhead Publishing.
- Goode, J., & Harrop, S. (2011). *Authentic wine: toward natural and sustainable winemaking*. Univ of California Press.

- Hannah, L., Roehrdanz, P. R., Ikegami, M., Shepard, A. V., Shaw, M. R., Tabor, G., ... & Hijmans, R. J. (2013). Climate change, wine, and conservation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *110*(17), 6907-6912.
- Hersleth, M., Mevik, B. H., Næs, T., & Guinard, J. X. (2003). Effect of contextual factors on liking for wine—Use of robust design methodology. *Food Quality and Preference*, *14*(7), 615-622.
- Işıl Berker, K., Güçlü, K., Tor, İ., Demirata, B., & Apak, R. (2010). Total antioxidant capacity assay using optimized ferricyanide/prussian blue method. *Food Analytical Methods*, *3*, 154-168.
- Jackson, R. (2016). Shelf life of wine. In *The Stability and Shelf Life of Food* (pp. 311-346). Woodhead Publishing.
- Johnston, C. S., Steinberg, F. M., & Rucker, R. B. (2007). Ascorbic acid. *Handbook of vitamins*, *4*, 489-520.
- Kilmartin, P. A., Zou, H., & Waterhouse, A. L. (2002). Correlation of wine phenolic composition versus cyclic voltammetry response. *American Journal of Enology and Viticulture*, *53*(4), 294-302.
- Kritzinger, E. C., Bauer, F. F., & Du Toit, W. J. (2013). Role of glutathione in winemaking: a review. *Journal of agricultural and food chemistry*, *61*(2), 269-277.
- Lehotay, S. J., & Hajšlová, J. (2002). Application of gas chromatography in food analysis. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, *21*(9-10), 686-697.
- Li, H., Guo, A., & Wang, H. (2008). Mechanisms of oxidative browning of wine. *Food chemistry*, *108*(1), 1-13.
- Liang, Z., Zhang, P., Zeng, X. A., & Fang, Z. (2021). The art of flavored wine: Tradition and future. *Trends in Food Science & Technology*, *116*, 130-145.
- Louli, V., Ragoussis, N., & Magoulas, K. (2004). Recovery of phenolic antioxidants from wine industry by-products. *Bioresource technology*, *92*(2), 201-208.
- Margalef-Català, M., Araque, I., Weidmann, S., Guzzo, J., Bordons, A., & Reguant, C. (2016). Protective role of glutathione addition against wine-related stress in *Oenococcus oeni*. *Food Research International*, *90*, 8-15.
- Marken, F., Neudeck, A., & Bond, A. M. (2010). Cyclic voltammetry. *Electroanalytical Methods: Guide to Experiments and Applications*, 57-106.
- Milardović, S., Iveković, D., & Grabarić, B. S. (2006). A novel amperometric method for antioxidant activity determination using DPPH free radical. *Bioelectrochemistry*, *68*(2), 175-180.
- Millar, B. (2021). Towards a sensorimotor approach to flavour and smell. *Mind & Language*, *36*(2), 221-240.

- Moenne, M. I., Saa, P., Laurie, V. F., Pérez-Correa, J. R., & Agosin, E. (2014). Oxygen incorporation and dissolution during industrial-scale red wine fermentations. *Food and bioprocess technology*, 7, 2627-2636.
- Müller, L., Fröhlich, K., & Böhm, V. (2011). Comparative antioxidant activities of carotenoids measured by ferric reducing antioxidant power (FRAP), ABTS bleaching assay ( $\alpha$ TEAC), DPPH assay and peroxy radical scavenging assay. *Food Chemistry*, 129(1), 139-148.
- Nevarés, I., Crespo, R., Gonzalez, C., & del Alamo-Sanza, M. (2014). Imaging of oxygen transmission in the oak wood of wine barrels using optical sensors and a colour camera. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 20(3), 353-360.
- Nikolantonaki, M., Romanet, R., Lucio, M., Schmitt-Kopplin, P., & Gougeon, R. (2022). Sulfonation Reactions behind the Fate of White Wine's Shelf-Life. *Metabolites*, 12(4), 323.
- Nursten, H. E. (2005). *The Maillard reaction: chemistry, biochemistry and implications*. Royal Society of Chemistry.
- Oliveira, C. M., Ferreira, A. C. S., De Freitas, V., & Silva, A. M. (2011). Oxidation mechanisms occurring in wines. *Food Research International*, 44(5), 1115-1126.
- Perestrelo, R., Silva, C., & Câmara, J. S. (2019). Madeira wine volatile profile. A platform to establish madeira wine aroma descriptors. *Molecules*, 24(17), 3028.
- Pilard, E., Harrouard, J., Miot-Sertier, C., Marullo, P., Albertin, W., & Ghidossi, R. (2021). Wine yeast species show strong inter-and intra-specific variability in their sensitivity to ultraviolet radiation. *Food Microbiology*, 100, 103864.
- Queen, B. L., & Tollefsbol, T. O. (2010). Polyphenols and aging. *Current aging science*, 3(1), 34-42.
- Rasouli, H., Farzaei, M. H., & Khodarahmi, R. (2017). Polyphenols and their benefits: A review. *International Journal of Food Properties*, 20(sup2), 1700-1741.
- Reihl, D. (2017). *Best Practice for Wine by the Glass Programs: An Investigation of the Interaction Between Storage Methods and Temperature* (Doctoral dissertation).
- Renner, H., Richling, E., & Durner, D. (2022). Influence of Vibration on the Consumption of Oxygen and Sulfur Dioxide in Wine Bottles Considering Bottle Position and Headspace Volume. *American Journal of Enology and Viticulture*, 73(1), 48-55.
- Reynolds, A. G. (Ed.). (2021). *Managing wine quality: Volume 1: Viticulture and wine quality*. Woodhead Publishing.
- Reynolds, D., Rahman, I., Bernard, S., & Holbrook, A. (2018). What effect does wine bottle closure type have on perceptions of wine attributes?. *International Journal of Hospitality Management*, 75, 171-178.
- Robinson, J., Harding, J., & Vouillamoz, J. (2013). *Wine grapes: a complete guide to 1,368 vine varieties, including their origins and flavours*. Penguin UK.

- Robbins, R. J. (2003). Phenolic acids in foods: an overview of analytical methodology. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(10), 2866-2887.
- Sablayrolles, J. M. (2009). Control of alcoholic fermentation in winemaking: Current situation and prospect. *Food Research International*, 42(4), 418-424.
- Sánchez-Rangel, J. C., Benavides, J., Heredia, J. B., Cisneros-Zevallos, L., & Jacobo-Velázquez, D. A. (2013). The Folin–Ciocalteu assay revisited: improvement of its specificity for total phenolic content determination. *Analytical methods*, 5(21), 5990-5999.
- Schmid, F. X. (2001). Biological macromolecules: UV-visible spectrophotometry. *e LS*.
- Setford, P. C., Jeffery, D. W., Grbin, P. R., & Muhlack, R. A. (2017). Factors affecting extraction and evolution of phenolic compounds during red wine maceration and the role of process modelling. *Trends in Food Science & Technology*, 69, 106-117.
- Singh, A. P., Singh, R., Verma, S. S., Rai, V., Kaschula, C. H., Maiti, P., & Gupta, S. C. (2019). Health benefits of resveratrol: Evidence from clinical studies. *Medicinal Research Reviews*, 39(5), 1851-1891.
- Silva, M. A., Julien, M., Jourdes, M., & Teissedre, P. L. (2011). Impact of closures on wine post-bottling development: A review. *European Food Research and Technology*, 233, 905-914.
- Simpson, R. F. (1982). Factors affecting oxidative browning of white wine. *Vitis*, 21(3), 233-239.
- Spence, C. (2020). Wine psychology: basic & applied. *Cognitive research: principles and implications*, 5(1), 1-18.
- Tsai, P. C., Araujo, L. D., & Tian, B. (2022). Varietal aromas of sauvignon blanc: impact of oxidation and antioxidants used in winemaking. *Fermentation*, 8(12), 686.
- Van Boekel, M. A. J. S. (2006). Formation of flavour compounds in the Maillard reaction. *Biotechnology advances*, 24(2), 230-233.
- van den Berg, R., Haenen, G. R., van den Berg, H., & Bast, A. A. L. T. (1999). Applicability of an improved Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) assay for evaluation of antioxidant capacity measurements of mixtures. *Food chemistry*, 66(4), 511-517.
- Xie, J., & Schaich, K. M. (2014). Re-evaluation of the 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl free radical (DPPH) assay for antioxidant activity. *Journal of agricultural and food chemistry*, 62(19), 4251-4260.
- Yassa, N., Beni, H. R., & Hadjiakhoondi, A. (2008). Free radical scavenging and lipid peroxidation activity of the Shahani black grape. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 11(21), 2513.
- Waterhouse, A. L., & Laurie, V. F. (2006). Oxidation of wine phenolics: A critical evaluation and hypotheses. *American Journal of Enology and Viticulture*, 57(3), 306-313.
- Zhang, X., Kontoudakis, N., Suklje, K., Antalick, G., Blackman, J. W., Rutledge, D. N., ... & Clark, A. C. (2020). Changes in red wine composition during bottle aging: Impacts of grape



variety, vineyard location, maturity, and oxygen availability during aging. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(47), 13331-13343.