



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Πτυχιακή Εργασία

**« ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΝΟΘΕΙΑΣ ΣΤΑ ΑΛΚΟΟΛΟΥΧΑ ΠΟΤΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ
ΥΓΡΗΣ ΧΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑΣ-ΦΑΣΜΑΤΟΜΕΤΡΙΑΣ ΜΑΖΑΣ ΚΑΙ
ΜΕΤΑΒΟΛΟΜΙΚΗΣ»**



ΒΛΑΧΟΥΛΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

A.M.: 18684001

Επιβλέπουσα καθηγήτρια:

ΤΣΙΑΚΑ ΘΑΛΕΙΑ

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2023



UNIVERSITY OF WEST ATTICA

SCHOOL OF FOOD SCIENCES

DEPARTMENT OF FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY

Diploma Thesis

**«DETECTION OF ADULTERATION IN ALCOHOLIC BEVERAGES USING
LC-MS METABOLOMICS»**

VLACHOULIS KONSTANTINOS

RN.: 18684001

Supervisor:

TSIAKA THALIA

Athens, September 2023

Η πτυχιακή εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι εξεταστική επιτροπή:

Αθήνα 2024,

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Επιβλέπουσα Καθηγήτρια

Τσιάκα Θάλεια

Έκτακτο Διδακτικό Προσωπικό ΕΣΠΑ, Σχολή Επιστημών Τροφίμων, Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων.

2. Μέλος επιτροπής

Στρατή Ειρήνη

Επίκουρος Καθηγήτρια, Σχολή Επιστημών Τροφίμων, Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων.

3. Μέλος επιτροπής

Μπρατάκος Σωτήρης

Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό (ΕΔΙΠ), Σχολή Επιστημών Τροφίμων, Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων.

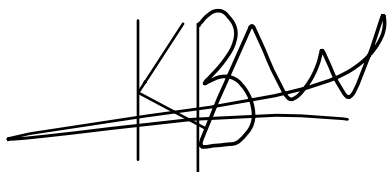
ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Βλαχούλης Κωνσταντίνος του Θεμιστοκλή, με αριθμό μητρώου 18684001, φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από εμένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δική μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μας ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου.»

Ο Δηλών



Περίληψη

Η ελεγχόμενη κατανάλωση αλκοολούχων ποτών είναι ευεργετική για την υγεία. Ορισμένα οφέλη προέρχονται άμεσα από την περιεκτικότητα σε αλκοόλ και άλλα από την υψηλή περιεκτικότητα των αλκοολούχων ποτών σε διάφορες πολυφαινολικές ενώσεις που εμφανίζουν ισχυρές αντιοξειδωτικές δράσεις. Το αλκοόλ καταναλώνεται ευρέως σε όλο τον κόσμο και ποικίλλει ως προς την πρώτη ύλη από την οποία προέρχεται, τις μεθόδους παραγωγής του, τη σύνθεση και τη συσκευασία του. Στο αλκοόλ, πολλές φορές, υπάρχουν χημικές προσμίξεις, οι οποίες μπορεί και να μην αναφέρονται στα εγκεκριμένα συστατικά τροφίμων και των οποίων η παρουσία να είναι επιβλαβείς τόσο για την ανθρώπινη υγεία, όσο και για το περιβάλλον, ενώ, το υψηλό ποσοστό αιθανόλης σε ορισμένα αλκοολούχα προϊόντα μπορεί να αυξήσει την πιθανότητα επιπλοκών στον ανθρώπινο οργανισμό. Η νοθεία, λοιπόν, των αλκοολούχων ποτών αποτελεί πρόκληση για τους καταναλωτές και τους ερευνητές. Είναι δύσκολο να προσδιοριστεί ένας καθολικός δείκτης για όλες τις ουσίες νόθευσης που μπορεί να υπάρχουν σε δείγματα ποτών. Η παρούσα εργασία εστιάζει στον εντοπισμό νοθείας σε αλκοολούχα ποτά χρησιμοποιώντας την τεχνική της υγρής χρωματογραφίας-φασματομετρίας μάζας (liquid chromatography-mass spectrometry, LC-MS) σε συνδυασμό με μεταβολομική ανάλυση. Η τεχνική LC-MS αποτελεί αποτελεσματική μέθοδο για τον εντοπισμό ενώσεων, ενώ η μεταβολομική ανάλυση επιτρέπει την ευρεία ανίχνευση μεταβολιτών, καθιστώντας την ιδανική για το σκοπό της παρούσας εργασίας. Στη νοθεία των ποτών, η ανίχνευση ακόμη και των πιο μικρών ποσοτήτων αλλοιωτικών ουσιών είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της ποιότητας και της ασφάλειας τους για τους καταναλωτές. Η LC-MS είναι μια καθιερωμένη μεθοδολογία ανάλυσης που χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλούς τομείς. Ωστόσο, σε συνδυασμό με τη μεταβολομική ανάλυση, προσφέρει ουσιαστικά πλεονεκτήματα στον τομέα της νοθείας των αλκοολούχων ποτών. Αυτή η συνδυασμένη προσέγγιση επιτρέπει την ανίχνευση μεγάλου εύρους ουσιών, συμπεριλαμβανομένων και των πιο προηγμένων νοθειών, σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις. Η τεχνική LC-MS παρέχει υψηλή ευαισθησία και εξαιρετική ακρίβεια στον προσδιορισμό οργανικών ενώσεων, ενώ η μεταβολομική ανάλυση επιτρέπει τον ευρύ και αντιπροσωπευτικό χαρακτηρισμό των μεταβολιτών. Με αυτόν τον τρόπο, η

συνδυασμένη χρήση αυτών των μεθόδων ενισχύει την ακρίβεια και την αξιοπιστία του εντοπισμού νοθειών στα αλκοολούχα ποτά.

Λέξεις – κλειδιά: νοθεία, τρόφιμα, αλκοολούχα ποτά, υγρή χρωματογραφία, φασματομετρία μάζας, μεταβολομική

Abstract

Controlled consumption of alcoholic beverages is beneficial for health. Some benefits derive directly from the alcohol content, while others come from the high content of polyphenolic compounds in alcoholic beverages, which exhibit strong antioxidant properties. Alcohol is widely consumed worldwide and varies in terms of its source material, production methods, composition, and packaging. Often, alcoholic beverages contain chemical additives, which may not be listed in the approved food ingredients and whose presence can be harmful both to human health and the environment. Moreover, the high ethanol content in some alcoholic products may increase the likelihood of complications in the human body. Therefore, the adulteration of alcoholic beverages poses a challenge for consumers and researchers. It is difficult to identify a universal indicator for all adulterants that may exist in beverage samples. This study focuses on detecting adulteration in alcoholic beverages using the technique of liquid chromatography-mass spectrometry (LC-MS) in combination with metabolomic analysis. LC-MS is an effective method for detecting various compounds, while metabolomic analysis allows for the broad detection of metabolites, making it ideal for this study's purpose. In the adulteration of beverages, the detection of even trace amounts of adulterating substances is crucial to ensure their quality and safety for consumers. LC-MS is a well-established analytical method widely used in many fields. However, when combined with metabolomic analysis, it offers substantial advantages in the field of alcoholic beverage adulteration. This combined approach allows for the detection of a wide range of substances, including advanced adulterants, at very low concentrations. Thus, the combined use of these methods enhances the accuracy and reliability of detecting adulterations in alcoholic beverages.

Keywords: adulteration, food, alcoholic beverages, liquid chromatography, mass spectrometry, metabolomics

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	iii
Abstract	v
Πίνακας περιεχομένων.....	vii
Κατάλογος Εικόνων	x
Κατάλογος Πινάκων	xi
Εισαγωγή	1
1.Αλκοολούχα ποτά και νοθεία	4
1.1. Αλκοολούχα ποτά	4
1.1.1. Τι είναι τα αλκοολούχα ποτά.....	4
1.1.2. Περιεχόμενο αλκοολούχων ποτών.....	5
1.1.3. Τύποι και κατηγορίες αλκοολούχων ποτών.....	6
1.1.4. Αγορά αλκοολούχων ποτών και επιπτώσεις στην υγεία.....	10
1.2. Κρασί	13
1.2.1. Στοιχεία αγοράς	13
1.2.2. Επιδράσεις της κατανάλωσης κρασιού στην υγεία.....	15
1.3. Μπύρα.....	21

1.3.1.	Στοιχεία αγοράς	21
1.3.2.	Επιδράσεις της κατανάλωσης μύρας στην υγεία	22
2.	Νοθεία και αυθεντικότητα στα αλκοολούχα ποτά	26
2.1.	Τι είναι, πως και γιατί γίνεται η νοθεία στα αλκοολούχα ποτά	26
2.1.1.	Τι είναι η νοθεία στα αλκοολούχα ποτά	26
2.1.2.	Πως και γιατί γίνεται η νοθεία στα αλκοολούχα ποτά	27
2.1.3.	Αυθεντικότητα στα αλκοολούχα ποτά	29
2.1.4.	Παραδείγματα νοθείας στα αλκοολούχα ποτά	31
2.2.	Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία από τη νοθεία στα αλκοολούχα ποτά ...	32
2.3.	Νομοθεσία Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) και Αμερικής σχετική με τη νοθεία των αλκοολούχων ποτών	33
3.	Μεταβολομική και νοθεία τροφίμων	39
3.1.	Εισαγωγή στη μεταβολομική	39
3.1.1.	Τι είναι η μεταβολομική	39
3.1.2.	Αναλυτικές τεχνικές για τη μεταβολομική	40
3.2.	Μέθοδοι εντοπισμού νοθείας στα αλκοολούχα ποτά	49
3.2.1.	Μέθοδοι εντοπισμού νοθείας στο κρασί	49
3.2.2.	Μέθοδοι εντοπισμού νοθείας στη μύρα	53

3.2.3. Μέθοδοι εντοπισμού νοθείας στα ποτά	54
3.3. Υγρή χρωματογραφία-φασματομετρία μάζας και μεταβολομική ανάλυση στα τρόφιμα	55
3.4. Υγρή χρωματογραφία-φασματομετρία μάζας και μεταβολομική στη νοθεία τροφίμων.....	59
4.Εντοπισμός νοθείας στα ποτά με υγρή χρωματογραφία-φασματομετρία μάζας & μεταβολομική.....	62
4.1. Υγρη χρωματογραφία-φασματομετρία μάζας LC-. MS/MS και μεταβολομική στη νοθεία αλκοολούχων ποτών. Χαρακτηριστικά παραδείγματα..	62
4.2. Αποτελέσματα της εφαρμογή της στη νοθεία των ποτών	65
4.3. Μελλοντικές προοπτικές της χρήσης της μεταβολομικής για τη επικύρωση δεικτών νοθείας στα ποτά και τα τρόφιμα γενικά.	67
Συμπεράσματα	70
Βιβλιογραφία	73

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 Γονιδιωματική, μεταγραφομική, πρωτεομική και μεταβολομική (Πηγή: EMBL-EBI, 2023)	39
Εικόνα 2 Φάσμα NMR πρωτονίων με καταστολή οκτώ ζωνών ενός δείγματος οίνου με αντιστοίχιση ενώσεων - Στοχευμένη και μη στοχευμένη ανάλυση οίνου με φασματοσκοπία ^1H NMR σε συνδυασμό με πολυμεταβλητή στατιστική ανάλυση. Διαφοροποίηση σημαντικών παραμέτρων: ποικιλία σταφυλιών, γεωγραφική προέλευση, έτος εσοδείας. (Πηγή: Godelmann et al., 2013).....	52
Εικόνα 3 Ανάλυση συνιστωσών (PCA) για την αρωματική περιοχή (7,6-6,7 ppm) των φασμάτων ^1H NMR. (Πηγή: Lachenmeier & Rehm, 2012).....	54
Εικόνα 4 Τυπική ροή εργασίας της μεταβολομικής με βάση το LC-MS (Qin et al., 2024)	56

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 Επιδράσεις της κατανάλωσης κρασιού	18
Πίνακας 2 Επιδράσεις της κατανάλωσης μπίρας.....	24
Πίνακας 3 Νομοθεσία Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα αλκοολούχα ποτά.....	34
Πίνακας 4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των τεχνικών ανάλυσης για τη μεταβολική.....	46
Πίνακας 5 Τύποι νοθείας κρασιού	50
Πίνακας 6 Εργασίες που βασίζονται στη φασματομετρία μάζας υψηλής ανάλυσης για μελέτες μεταβολικής των τροφίμων, με έμφαση μήτρα, σκοπός της ανάλυσης, αναλυτική τεχνική και πολυμεταβλητή ανάλυση δεδομένων.....	57
Πίνακας 7 Εφαρμογή της τεχνικής HPLC/LC σε πρόσφατες μεταβολομικές μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε κρασιά	64

Εισαγωγή

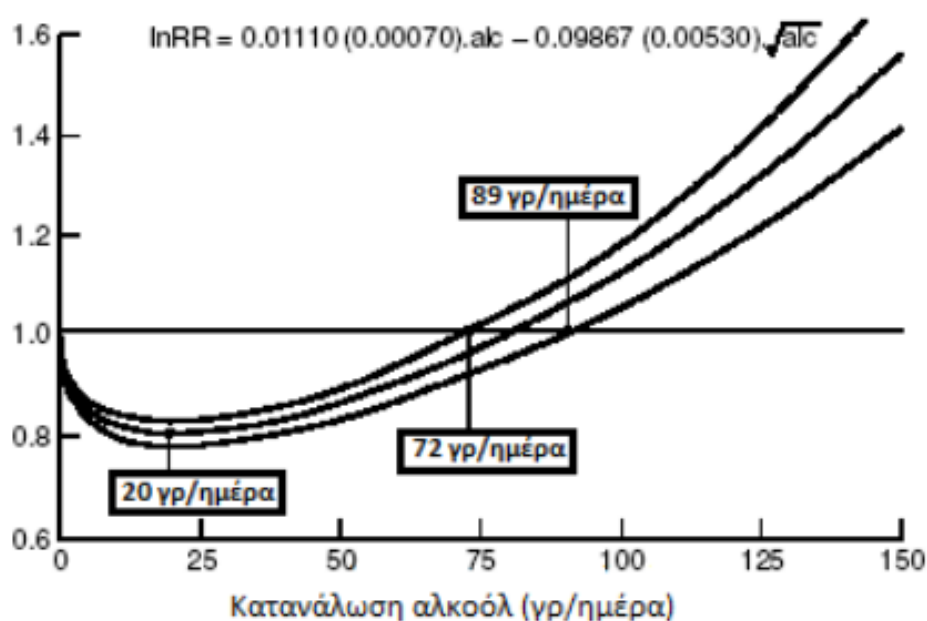
Η ιστορία της χρήσης αλκοόλ από την ανθρωπότητα φαίνεται να ξεκινάει από το 10.000 π.Χ., αλλά η προέλευση της κατανάλωσης αλκοόλ μπορεί να αναχθεί στους προγόνους των πιθήκων πριν από 40 εκατομμύρια χρόνια. Η υπόθεση των μεθυσμένων πιθήκων, που προτάθηκε αρχικά από τον καθηγητή Ρόμπερτ Ντάντλεϊ του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνιας στο Μπέρκλεϊ, υποθέτει ότι η ανθρώπινη προτίμηση προς το αλκοόλ μπορεί να έχει γενετική βάση λόγω της μεγάλης εξάρτησης των προγόνων των πρωτεύοντων επί εκατομμύρια χρόνια από τα φρούτα ως κύρια διατροφή. Οι ζύμες στη φλούδα των φρούτων και μέσα στα φρούτα μετατρέπουν τα σάκχαρα σε αιθανόλη, η οποία διαχέεται έξω από το φρούτο και η μυρωδιά των παραγόμενων αλκοολών δείχνει ότι το φρούτο είναι ώριμο και έτοιμο για κατανάλωση (Dudley, 2004).

Στα τροπικά δάση όπου ζούσαν οι πίθηκοι, ο ανταγωνισμός για τα ώριμα φρούτα ήταν έντονος και οι πεινασμένοι πίθηκοι που ήταν ικανοί να ακολουθούν τη μυρωδιά του οινοπνεύματος για να εντοπίζουν τις ώριμες τροφές και να τις καταναλώνουν γρήγορα επιβίωναν καλύτερα από τους άλλους. Τελικά, η "φυσική επιλογή" ευνόησε τους πιθήκους με έντονη εκτίμηση της οσμής και της γεύσης του αλκοόλ, και είναι πιθανό ότι η ανθρώπινη γεύση του αλκοόλ προήλθε από κοινή καταγωγή των ανθρώπων με τα πρωτεύοντα θηλαστικά (Dudley, 2004).

Τα αλκοολούχα ποτά μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες: μύρα, κρασί και αποσταγμένα ποτά (οινοπνευματώδη ποτά). Η μύρα και το κρασί είναι ποτά που έχουν υποστεί ζύμωση και παράγονται από φυτικές ύλες που περιέχουν ζάχαρη ή άμυλο. Η κανονική διαδικασία ζύμωσης, η οποία χρησιμοποιεί μαγιά, δεν μπορεί να παράγει αλκοολούχα ποτά με περιεκτικότητα σε αλκοόλ μεγαλύτερη από 14%. Τα σκληρά ποτά ή οινοπνευματώδη ποτά παράγονται με ζύμωση που ακολουθείται από απόσταξη και δίνουν 40 – 50% περιεκτικότητα σε αλκοόλ (Dasgupta & Klein, 2014).

Τα αλκοολούχα ποτά αποτελούνται κυρίως από νερό, αλκοόλη και μεταβλητές ποσότητες σακχάρων και υδατανθράκων, όπως υπολείμματα ζάχαρης και αμύλου που

παραμένουν μετά τη ζύμωση, αλλά τα αποσταγμένα αλκοολούχα ποτά, όπως τα οινοπνευματώδη ποτά, δεν έχουν καθόλου υπολείμματα ζάχαρης. Υπάρχουν πολλά οφέλη από την κατανάλωση αλκοόλ με μέτρο, αλλά αυτά τα οφέλη εξαφανίζονται με την υπερβολική κατανάλωση. Υπάρχει μια καμπύλη σχήματος "J" (Γράφημα 1) για την κατανάλωση αλκοόλ και τις επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό. Αυτή η καμπύλη δείχνει πως η κατανάλωση αλκοόλ με μέτρο έχει ευεργετικά αποτελέσματα στην υγεία ενώ η υπερβολική κατανάλωση αλκοόλ παρουσιάζει επιβλαβή αποτελέσματα (Dasgupta & Klein, 2014).



Γράφημα 1 Καμπύλη σχήματος - J. Δείχνει πως μεταβάλλεται ο κίνδυνος καρδιαγγειακού θανάτου σε σχέση με την κατανάλωση αλκοόλ (γρ/ημέρα)
(Πηγή: Corrao et al., 2000)

Τα αλκοολούχα ποτά περιλαμβάνουν μια μεγάλη ομάδα ποτών που περιέχουν διάφορες ποσότητες αλκοόλης (αιθανόλης). Στα αλκοολούχα ποτά που παράγονται σε βιομηχανική κλίμακα περιλαμβάνονται η μύρα, το κρασί και το κρασί από ρύζι της Κίνας, καθώς και τα αποσταγμένα οινοπνευματώδη ποτά όπως το μπράντι, το ουίσκι, το ρούμι, το τζιν, το κονιάκ, η βότκα, η τεκίλα, το πίσκο και το αποσταγμένο απόσταγμα της Κίνας. Τα συστατικά των αλκοολούχων ποτών είναι εξαιρετικά πολύπλοκα και έχουν εντοπιστεί πάνω από 1300 ενώσεις σε διάφορα ποτά (Cacho & Lopez, 2005).

Τα συστατικά κάθε αλκοολούχου ποτού μπορούν να χωριστούν σε κύρια, δευτερεύοντα ή ιχνοστοιχεία. Τα κύρια συστατικά αποτελούνται συνήθως από αιθανόλη και νερό. Τα δευτερεύοντα ή ιχνοστοιχεία είναι οι αλκοόλες, τα οργανικά οξέα, οι καρβονυλικές ενώσεις, οι εστέρες, οι αλδεΐδες, οι λακτόνες, οι θειούχες ενώσεις, τα σάκχαρα, τα συντηρητικά και οι χρωστικές ουσίες (Cacho & Lopez, 2005).

Υπάρχουν δύο γενικές προσεγγίσεις για την ανάλυση των συστατικών των αλκοολούχων ποτών. Η πρώτη, και πιο συνηθισμένη, είναι με τη χρήση χημικής και φυσικοχημικής ανάλυσης. Η άλλη είναι η χρήση της οργανοληπτικής αξιολόγησης. Τα τελευταία χρόνια, οι ενόργανες αναλυτικές μέθοδοι έχουν καταστεί σημαντικό εργαλείο για την ανάλυση δευτερευόντων και ιχνοστοιχείων των αλκοολούχων ποτών. Οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες μέθοδοι είναι η φασματοφωτομετρία υπεριώδους (UV)-ορατού (vis), η αέρια χρωματογραφία (GC), η υγρή χρωματογραφία (LC), η φασματομετρία μάζας (MS) και η χρωματογραφία χαρτιού και η χρωματογραφία λεπτής στιβάδας (Cacho & Lopez, 2005).

Στη παρούσα εργασία θα γίνει μία ανασκόπηση των μεθόδων που εφαρμόζονται για τον εντοπισμό της νοθείας στα αλκοολούχα ποτά με χρήση υγρής χρωματογραφίας-φασματομετρίας μάζας και μεταβολομικής. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία αναφορά στα αλκοολούχα ποτά, τους τύπους και τις κατηγορίες τους. Στη συνέχεια, γίνεται αναφορά στα στοιχεία αγοράς της μπίρας και κρασιού, καθώς και οι επιδράσεις της κατανάλωσης τους στην υγεία. Στο δεύτερο κεφάλαιο, συζητείται η νοθεία και αυθεντικότητα στα αλκοολούχα ποτά.

Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιείται μία ανάλυση για το τι είναι, πως και γιατί γίνεται η νοθεία στα αλκοολούχα ποτά, καθώς και τις επιπτώσεις έχει η νοθεία στα αλκοολούχα ποτά τόσο σε εμπορικό επίπεδο όσο και σε επίπεδο υγείας καταναλωτών. Στο τρίτο κεφάλαιο, αναλύεται η μεταβολομική και η νοθεία των τροφίμων. Συζητούνται ποιες είναι οι έως τώρα χρησιμοποιούμενες μέθοδοι εντοπισμού νοθείας για τα αλκοολούχα ποτά. Στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο παρατίθεται μία ανάλυση σχετικά με τον εντοπισμό νοθείας στα ποτά με υγρή χρωματογραφία-φασματομετρία μάζας & μεταβολομική.

1. Αλκοολούχα ποτά και νοθεία

1.1. Αλκοολούχα ποτά

1.1.1. Τι είναι τα αλκοολούχα ποτά

Το αλκοολούχο ποτό, είναι κάθε ποτό που έχει υποστεί ζύμωση, όπως το κρασί, η μπύρα ή το αλκοόλ, το οποίο περιέχει αιθυλική αλκοόλη ή αιθανόλη ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) ως μεθυστικό παράγοντα. Τα αλκοολούχα ποτά ζυμώνονται από τα σάκχαρα των φρούτων, των μούρων, των δημητριακών και άλλων συστατικών, όπως οι χυμοί των φυτών, οι κόνδυλοι, το μέλι και το γάλα, και μπορούν να αποσταχθούν για να μειώσουν το αρχικό υδαρές υγρό σε ένα υγρό με πολύ μεγαλύτερο αλκοολικό τίτλο (Cacho & Lopez, 2005).

Οι άνθρωποι καταναλώνουν αλκοόλ εδώ και χιλιάδες χρόνια. Το αλκοόλ είναι τόσο χημικό όσο και ψυχοδραστικό ναρκωτικό. Στη χημεία, μια αλκοόλη σχηματίζεται όταν μια ομάδα υδροξυλίου, ένα ζεύγος ατόμων οξυγόνου και υδρογόνου, αντικαθιστά το άτομο υδρογόνου σε έναν υδρογονάνθρακα. Οι τρεις πιο κοινές αλκοόλες είναι η μεθανόλη, ισοπροπανόλη και αιθανόλη (Cacho & Lopez, 2005).

Η μπύρα είναι το πιο γνωστό μέλος της οικογένειας των αλκοολούχων ποτών βύνης, η οποία περιλαμβάνει επίσης την ale, το stout, το porter και το λικέρ βύνης. Παρασκευάζεται από βύνη, καλαμπόκι, ρύζι και λυκίσκο. Οι μπίρες κυμαίνονται σε περιεκτικότητα σε αλκοόλ από περίπου 2 έως 8 % v/v (Kerr et al., 2005).

Το κρασί παρασκευάζεται με ζύμωση των χυμών σταφυλιών ή άλλων φρούτων, όπως μήλα (μηλίτης), κεράσια, μούρα ή δαμάσκηνα. Η οينوποίηση αρχίζει με τη συγκομιδή των φρούτων, ο χυμός των οποίων ζυμώνεται σε μεγάλες δεξαμενές υπό αυστηρό έλεγχο της θερμοκρασίας. Όταν ολοκληρωθεί η ζύμωση, το μείγμα φιλτράρεται, παλαιώνεται και εμφιαλώνεται. Τα φυσικά ή μη ενισχυμένα κρασιά από σταφύλια περιέχουν γενικά από 8 έως 14% v/v αλκοόλ- σε αυτά περιλαμβάνονται κρασιά όπως το Μπορντό, της Βουργουνδίας, το Κιάντι και το Sauterne. Τα εμπλουτισμένα κρασιά, στα οποία έχει προστεθεί αλκοόλ ή μπράντι, περιέχουν 18 έως

21% v/v αλκοόλ. Στα κρασιά αυτά περιλαμβάνονται το σέρι, το πόρτο και το μοσχάτο (Kerr et al., 2005).

Η παρασκευή αποσταγμένων αλκοολούχων ποτών ξεκινά με την πολτοποίηση σπόρων, φρούτων ή άλλων συστατικών. Το προκύπτον ζυμωμένο υγρό θερμαίνεται μέχρι να εξατμιστεί η αλκοόλη και τα αρωματικά και να μπορέσει να αποσυρθεί, να ψυχθεί και να συμπυκνωθεί και πάλι σε υγρό. Το νερό παραμένει ως απόβλητο και απορρίπτεται. Το συμπυκνωμένο υγρό, που ονομάζεται αποσταγμένο ποτό, περιλαμβάνει ποτά όπως το ουίσκι, το τζιν, η βότκα, το ρούμι, το κονιάκ και τα λικέρ ή τα cordials. Η περιεκτικότητά τους σε αλκοόλ κυμαίνεται συνήθως από 40 έως 50 τοις εκατό, αν και συναντώνται υψηλότερες ή χαμηλότερες συγκεντρώσεις σε αυτά τα αποστάγματα (Cacho & Lopez, 2005).

Κατά την κατάποση ενός αλκοολούχου ποτού, το αλκοόλ απορροφάται γρήγορα από το γαστρεντερικό σωλήνα (στομάχι και έντερα) επειδή δεν υφίσταται καμία διαδικασία πέψης. Έτσι, το αλκοόλ ανεβαίνει σε υψηλά επίπεδα στο αίμα σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα. Από το αίμα το αλκοόλ διανέμεται σε όλα τα μέρη του σώματος και έχει ιδιαίτερα έντονη επίδραση στον εγκέφαλο, στον οποίο ασκεί κατασταλτική δράση. Πιο αναλυτικά, το αλκοόλ επηρεάζει τις λειτουργίες του εγκεφάλου και δεν μπορεί να δράσει με την ίδια ταχύτητα και ευκολία που δρα όταν δεν έχει καταναλωθεί αλκοόλ (Kerr et al., 2005).

Οι πιο σύνθετες ενέργειες του εγκεφάλου όπως η κρίση, αναστέλλεται και η απώλεια αυτού του ελέγχου έχει ως αποτέλεσμα την αίσθηση ενθουσιασμού στα πρώτα στάδια. Για το λόγο αυτό, το αλκοόλ θεωρείται μερικές φορές, λανθασμένα, ως διεγερτικό. Υπό την επίδραση αυξανόμενων ποσοτήτων αλκοόλ, ο πότης σταδιακά γίνεται λιγότερο προσεκτικός, η αντίληψη του περιβάλλοντός του γίνεται θολή, ο μυϊκός συντονισμός επιδεινώνεται και ο ύπνος διευκολύνεται. (Kerr et al., 2005).

1.1.2. Περιεχόμενο αλκοολούχων ποτών

Η περιεκτικότητα των διαφόρων αλκοολούχων ποτών σε αλκοόλ ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό. Η μπύρα και το κρασί, που παρασκευάζονται με ζύμωση, περιέχουν πολύ λιγότερο αλκοόλ ανά όγκο από τα αποσταγμένα ποτά, όπως το ουίσκι και η

βότκα. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, ένα τυπικό ποτό ορίζεται ως: ένα μπουκάλι μύρα (0.35 λίτρα) με περίπου 5% αλκοόλ – 0.24 λίτρα βυνοποτό με περίπου 7% αλκοόλ- ένα ποτήρι κρασί 0.15 λίτρα με περίπου 12% αλκοόλ – 0.12 λίτρα εμπλουτισμένο κρασί, όπως sherry ή port με περίπου 17% αλκοόλ- ή ένα ποτήρι αποσταγμένο αλκοόλ, όπως τζιν, ρούμι, βότκα ή ούισκι (0.06 λίτρα) με περίπου 40 – 50% αλκοόλ (Kerr et al., 2005).

Αν και η περιεκτικότητα σε αλκοόλ που καταναλώνει ο χρήστης ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό μεταξύ των αλκοολούχων ποτών, λόγω των διαφορών στο μέγεθος της μερίδας (όσο υψηλότερη είναι η περιεκτικότητα σε αλκοόλ, τόσο μικρότερο είναι το μέγεθος της μερίδας), ένα τυπικό ποτό περιέχει περίπου 18 ml καθαρής αλκοόλης, που ισοδυναμεί με 14 γραμμάρια καθαρής αλκοόλης, επειδή το ειδικό βάρος της αλκοόλης είναι 0,78 (Kerr et al., 2005). Σε ένα ανάμεικτο ποτό ή κοκτέιλ, εάν χρησιμοποιείται ένα σφηνάκι αποσταγμένου οινοπνεύματος, η περιεκτικότητα σε αλκοόλ θα πρέπει να είναι 17 γραμμάρια. Όσον αφορά το επίπεδο αλκοόλ στο αίμα, η κατανάλωση ενός τέτοιου ποτού ισοδυναμεί με την κατανάλωση ενός μπουκαλιού μύρας (Dasgupta & Klein, 2014).

Ιστορικά, η περιεκτικότητα των διαφόρων ποτών σε αλκοόλ εκφραζόταν ως "proof". Ο όρος προέκυψε τον 18^ο αιώνα, όταν οι Βρετανοί ναυτικοί πληρώνονταν με χρήματα καθώς και με ρούμι. Για να διασφαλιστεί ότι το ρούμι δεν είχε αραιωθεί με νερό, το "proofed" το έβαζαν με μπαρούτι και του έβαζαν φωτιά. Εάν η πυρίτιδα δεν αναφλεγόταν, αυτό υποδήλωνε ότι το ρούμι είχε πολύ νερό και θεωρούνταν "under proof". Ένα δείγμα ρουμιού που ήταν 100 proof περιείχε περίπου 57% αλκοόλ κατ' όγκο (43% νερό). Στις Ηνωμένες Πολιτείες, το proof προς το αλκοόλ κατ' όγκο ορίζεται ως αναλογία 1:2. Ως εκ τούτου, μια μύρα που έχει 5% αλκοόλ κατ' όγκο ορίζεται ως 10 proof. Από την άλλη πλευρά, το ρούμι που περιέχει 50% αλκοόλ κατ' όγκο είναι 100 proof (Dasgupta & Klein, 2014).

1.1.3. Τύποι και κατηγορίες αλκοολούχων ποτών

Ο μόνος τύπος αλκοόλης που μπορεί να πει ο άνθρωπος με ασφάλεια είναι η αιθανόλη. Οι άνθρωποι χρησιμοποιούν τους άλλους δύο τύπους αιθανόλης (απολυμαντικό και διαλύτης) για τον καθαρισμό και την κατασκευή, όχι για την

παρασκευή ποτών. Για παράδειγμα, η μεθανόλη (ή μεθυλική αλκοόλη) είναι συστατικό των καυσίμων για αυτοκίνητα και σκάφη. Χρησιμοποιείται επίσης για την παρασκευή αντιψυκτικού, αφαίρεσης χρωμάτων, υγρού υαλοκαθαριστήρων παρμπρίζ και πολλών άλλων προϊόντων.

Η ισοπροπανόλη (ή ισοπροπυλική αλκοόλη) είναι η χημική ονομασία μίας αλκοόλης που χρησιμοποιείται για το τρίψιμο, τον καθαρισμό και την απολύμανση. Τόσο η μεθανόλη όσο και η ισοπροπανόλη είναι δηλητηριώδεις για τον άνθρωπο, επειδή το ανθρώπινο σώμα τις μεταβολίζει ως τοξικές ουσίες που προκαλούν ηπατική ανεπάρκεια. Η κατανάλωση ακόμη και μικρής ποσότητας μεθανόλης ή οινοπνεύματος για τρίψιμο μπορεί να αποβεί μοιραία (Huang et al., 2016).

Η αιθανόλη (ή αιθυλική αλκοόλη) είναι ένας τύπος αλκοόλης που καταναλώνεται καθημερινά από τους ανθρώπους στα ποτά. Αυτός ο τύπος αλκοόλης παράγεται από τη ζύμωση μαγιάς, σακχάρων και αμύλου. Εδώ και αιώνες, οι άνθρωποι καταναλώνουν ποτά με βάση την αιθανόλη, όπως η μύρα και το κρασί, για να αλλάξουν τον τρόπο που αισθάνονται. Ωστόσο, η αιθανόλη έχει επίσης βλαβερές επιπτώσεις στον οργανισμό. Το ανθρώπινο συκώτι μπορεί να μεταβολίσει την αιθανόλη, αλλά μόνο σε περιορισμένες ποσότητες (Huang et al., 2016).

Η αιθανόλη είναι τοξική, οπότε με την πάροδο του χρόνου βλάπτει το συκώτι, τον εγκέφαλο και άλλα όργανα. Η αιθανόλη αναστέλλει επίσης το κεντρικό νευρικό σύστημα, επηρεάζοντας έτσι τον συντονισμό και την κρίση. Επιπλέον η κατάχρηση αλκοόλ μπορεί να προκαλέσουν σε ένα άτομο εθισμό (Huang et al., 2016).

Υπάρχουν δύο κατηγορίες αλκοολούχων ποτών: το αποσταγμένο και το μη αποσταγμένο. Τα μη αποσταγμένα ποτά ονομάζονται επίσης ποτά που έχουν υποστεί ζύμωση. Η ζύμωση είναι η διαδικασία κατά την οποία βακτήρια ή μαγιά μετατρέπουν χημικά τη ζάχαρη σε αιθανόλη. Το κρασί και η μύρα είναι αμφότερα ζυμωμένα, μη αποσταγμένα αλκοολούχα ποτά. Τα οινοποιεία ζυμώνουν σταφύλια για να φτιάξουν κρασί και τα ζυθοποιεία ζυμώνουν κριθάρι, σιτάρι και άλλα δημητριακά για να φτιάξουν μύρα (Nakamura et al., 2014).

Η απόσταξη είναι μια διαδικασία που ακολουθεί τη ζύμωση. Η διαδικασία μετατρέπει μια ζυμωμένη ουσία σε μια ουσία με ακόμη μεγαλύτερη συγκέντρωση αλκοόλης. Η απόσταξη συμπυκνώνει την αλκοόλη διαχωρίζοντάς την από το νερό και άλλα συστατικά μιας ζυμωμένης ουσίας. Τα λικέρ και τα οινοπνευματώδη ποτά είναι αποσταγμένα αλκοολούχα ποτά. Περιέχουν περισσότερη αλκοόλη κατ' όγκο από τα μη αποσταγμένα ποτά. Σε γενικές γραμμές, ένα αποσταγμένο αλκοολούχο ποτό θα έχει υψηλότερο αλκοολικό τίτλο (Nakamura et al., 2014).

Ο αλκοολικός τίτλος κατ' όγκο (ABV) και το αλκοολικό αποδεικτικό είναι δύο μέτρα της περιεκτικότητας σε αλκοόλ ή της συγκέντρωσης αλκοόλ σε ένα ποτό. Το αλκοόλ κατ' όγκο είναι ο αριθμός των χιλιοστόλιτρων αιθανόλης ανά 100 χιλιοστόλιτρα (ή 3,4 fl.oz.) σε ένα διάλυμα, ενώ το alcohol proof είναι το διπλάσιο του ποσοστού αλκοόλ κατ' όγκο. Για παράδειγμα, ένα ποτό που έχει 50% ABV θα είναι 100 proof (Nakamura et al., 2014).

Παρακάτω αναλύονται οι τύποι αλκοολούχων ποτών με βάση την περιεκτικότητα σε αλκοόλ, σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τα απεσταγμένα και μη (Nakamura et al., 2014):

- **Απεσταγμένα ποτά**

- **Μπύρα:** Η μπύρα είναι το πιο δημοφιλές αλκοολούχο ποτό παγκοσμίως. Στην πραγματικότητα, μετά το νερό και το τσάι, η μπύρα είναι το πιο συχνά καταναλισκόμενο ποτό στον κόσμο. Η μπύρα είναι επίσης πιθανότατα το αρχαιότερο αλκοολούχο ποτό στην ιστορία. Μια τυπική μπύρα, είτε πρόκειται για lager είτε για ale, έχει 4% έως 6% ABV, αν και ορισμένες μπύρες έχουν υψηλότερες ή χαμηλότερες συγκεντρώσεις αλκοόλ. Για παράδειγμα, οι "ελαφριές μπύρες" έχουν μόνο από 2% έως 4% ABV, ενώ τα "λικέρ βύνης" έχουν από 6% έως 8%.
- **Κρασί:** Το κρασί είναι ένα άλλο δημοφιλές αλκοολούχο ποτό, που έχει τις ρίζες του στην αρχαιότητα. Το τυπικό κρασί έχει λιγότερο από 14% ABV. Η σαμπάνια, το πιο γνωστό αφρώδες κρασί, έχει συγκέντρωση αλκοόλ περίπου 10% έως 12%. Ορισμένα κρασιά "εμπλουτίζονται" με αποσταγμένο αλκοόλ. Το πόρτο, η μαδέρα, η μαρσάλα, το βερμούτ και το σέρι είναι παραδείγματα εμπλουτισμένων κρασιών. Συνήθως έχουν περίπου 20% ABV.

- **Σκληρός μηλίτης:** Ο σκληρός μηλίτης είναι χυμός μήλου που έχει υποστεί ζύμωση. Συνήθως έχει περίπου 5% ABV.
 - **Μελάνι:** Το μελάνι (Mead), ένα μείγμα νερού και ζυμωμένου μελιού, έχει από 10% έως 14% ABV.
 - **Saké:** Το Saké, ένα γνωστό ιαπωνικό ποτό που παρασκευάζεται από ζυμωμένο ρύζι, έχει συγκέντρωση αλκοόλ περίπου 16% ABV.
- **Μη απεσταγμένα οινοπνευματώδη ποτά**
 - **Τζιν:** Το τζιν είναι ένα απόσταγμα που παρασκευάζεται συνήθως από μια βάση από σιτάρι, όπως το σιτάρι ή το κριθάρι, το οποίο πρώτα ζυμώνεται και στη συνέχεια αποστάζεται. Για να χαρακτηριστεί ως τζιν, ωστόσο, η κυρίαρχη γεύση πρέπει να είναι τα μούρα αρκεύθου, διαφορετικά το ποτό δεν μπορεί να ονομάζεται τζιν, σύμφωνα με το νόμο. Τα περισσότερα τζιν έχουν 35% έως 55% ABV.
 - **Brandy:** Το κονιάκ είναι αποσταγμένο κρασί. Η συγκέντρωση αλκοόλ στο κονιάκ κυμαίνεται από 35% έως 60%. Για παράδειγμα, ένα διάσημο κονιάκ, το κονιάκ, έχει 40% ABV.
 - **Ουίσκι:** Το ουίσκι είναι ένα απόσταγμα που παρασκευάζεται από ζυμωμένα σιτηρά. Η περιεκτικότητα σε αλκοόλ του ουίσκι κυμαίνεται από 40% έως 50%.
 - **Ρούμι:** Το ρούμι, ένα αποσταγμένο ποτό που παρασκευάζεται από ζυμωμένο ζαχαροκάλαμο ή μελάσα, έχει τυπική συγκέντρωση αλκοόλ 40% ABV. Ορισμένα ρούμια είναι "overproof", που σημαίνει ότι έχουν συγκέντρωση αλκοόλ τουλάχιστον 57,5% ABV. Τα περισσότερα overproof ρούμι υπερβαίνουν αυτό το ελάχιστο όριο, φτάνοντας συνήθως το 75,5% ABV, το οποίο ισοδυναμεί με 151 proof.
 - **Τεκίλα:** Η τεκίλα είναι ένα είδος λικέρ. Το κύριο συστατικό της τεκίλας είναι το μεξικανικό φυτό αγαύη. Η συγκέντρωση αλκοόλ της τεκίλας είναι συνήθως περίπου 40% ABV.
 - **Βότκα:** Η βότκα, ένα ποτό που συνήθως παρασκευάζεται από ζυμωμένα δημητριακά και πατάτες, έχει τυπική συγκέντρωση αλκοόλ 40% ABV στις Ηνωμένες Πολιτείες.
 - **Αψέντι:** Το αψέντι είναι ένα απόσταγμα που παρασκευάζεται από μια ποικιλία φύλλων και βοτάνων. Δεν υπάρχουν τεκμηριωμένες αποδείξεις ότι το αψέντι

είναι παραισθησιογόνο, αλλά έχει υψηλή συγκέντρωση αλκοόλ. Ορισμένες μορφές αφέντι έχουν περίπου 40% ABV, ενώ άλλες έχουν έως και 90% ABV.

- **Everclear:** Το Everclear, ένα απόσταγμα με βάση τα σιτηρά, είναι ένα άλλο ποτό με μεγάλη συγκέντρωση αλκοόλ. Το ελάχιστο ABV του Everclear είναι 60%, αλλά το Everclear μπορεί επίσης να έχει 75,5% και 95% ABV.

1.1.4. Αγορά αλκοολούχων ποτών και επιπτώσεις στην υγεία

Το 2021, η Gallup, Inc. ανέφερε ότι το 60% των ενηλίκων στην Αμερική κατανάλωναν αλκοολούχα ποτά, ποσοστό που μειώθηκε από το 65% που είχε αναφερθεί το 2019. Ο κατά μέσος αριθμός των ποτών που καταναλώνονταν τις επτά ημέρες της εβδομάδας μειώθηκε επίσης. Το 2019, οι καταναλωτές ηλικίας 18 ετών και άνω έπιναν, κατά μέσο όρο, 4,0 ποτά σε διάστημα επτά ημερών, αλλά το 2021 ο μέσος όρος αυτός ήταν 3,6 ποτά (Brenan, 2021). Οι ακόλουθες διαφορές εντοπίστηκαν όταν τα δεδομένα τμηματοποιήθηκαν με βάση συγκεκριμένα δημογραφικά χαρακτηριστικά (Kelley, 2022):

- Το 63% των ανδρών έπιναν αλκοολούχα ποτά σε σύγκριση με το 57% των γυναικών,
- το 70% των ατόμων ηλικίας 35 έως 54 ετών κατανάλωνε αλκοόλ σε σύγκριση τόσο με τους νεότερους (60%) όσο και με τους μεγαλύτερους σε ηλικία καταναλωτές (52%),
- Περισσότεροι καταναλωτές με πανεπιστημιακή μόρφωση και όσοι "σπάνια/ποτέ" παρακολουθούσαν θρησκευτικές λειτουργίες κατανάλωναν κρασί σε σύγκριση με άτομα με λιγότερη μόρφωση και όσους παρακολουθούσαν θρησκευτικές λειτουργίες τουλάχιστον "σχεδόν εβδομαδιαία/μηνιαία", και
- Το ποσοστό των συμμετεχόντων που απάντησαν ότι κατανάλωναν αλκοόλ αυξήθηκε όσο αυξανόταν το ετήσιο εισόδημα του νοικοκυριού.

Σύμφωνα με την Numerator, το 90% των Millennials (γεννήθηκαν από το 1981 έως το 1996) αγόρασαν αλκοόλ κατά τη διάρκεια της περιόδου 52 εβδομάδων που έληξε τον Μάιο του 2021, σε σύγκριση με το 84% των αγοραστών της Gen Z

(γεννήθηκαν από το 1996 έως το 2012) ηλικίας 21 ετών και άνω (Carswell et al., 2021). Οι λόγοι για τους οποίους η Gen Z δεν αγόραζε περιλάμβανε "τον αντίκτυπο του αλκοόλ στη διάθεσή τους, το επίπεδο εγρήγορσης, ακόμη και την εικόνα τους στα μέσα κοινωνικής δικτύωσης". Επιπλέον, σε σύγκριση με τους Millennials, η Gen Z (Kelley, 2022):

- Ξόδεψε 40% λιγότερο για αλκοόλ,
- Έκανε πέντε λιγότερα ταξίδια ετησίως για να αγοράσει αλκοόλ, και
- Είχε λιγότερες πιθανότητες να καταναλώνει τακτικά κρασί και μπύρα.

Σχεδόν οι μισοί και από τις δύο γενιές, 47% Gen Z και 48% Millennial, καταναλώναν αλκοόλ για να χαλαρώσουν. Ελαφρώς περισσότεροι πότες της Gen Z δήλωσαν ότι το αλκοόλ "με βοηθάει να περνάω καλά", 49%, και "μου δίνει μια έξαψη", 45%, σε σύγκριση με τους Millennial πότες, 38 και 37%, αντίστοιχα (Kelley, 2022).

Αν και η μέτρια κατανάλωση αλκοόλ, δηλαδή μία μερίδα την ημέρα για τις γυναίκες και έως δύο για τους άνδρες, έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνει την υγεία, ιδίως την υγεία της καρδιάς, δεν έχει άλλα οφέλη και μπορεί να έχει σημαντικές μακροπρόθεσμες συνέπειες για την υγεία. Μια πρόσφατη παγκόσμια μελέτη αποκαλύπτει ότι η κατανάλωση αλκοόλ, ανεξαρτήτως ποσότητας, συνδέεται με μια σειρά προβλημάτων υγείας, συμπεριλαμβανομένων διαφόρων τύπων καρκίνου, εγκεφαλικών επεισοδίων, μολυσματικών λοιμώξεων (π.χ. φυματίωση), αυτοτραυματισμού και τροχαίων ατυχημάτων. Οι δέκα σοβαρότεροι κίνδυνοι που συνδέονται με την τακτική κατανάλωση αλκοόλ είναι οι εξής (Cacho & Lopez, 2005):

- **Κατάθλιψη:** Το αλκοόλ παράγει πρώτα συναισθήματα ευφορίας. Το αλκοόλ είναι ευεργετικό για τον οργανισμό. Αυτό προκαλεί μια αλλαγή στη διάθεση βραχυπρόθεσμα, αλλά μακροπρόθεσμα μειώνει τα εγκεφαλικά κύτταρα, αυξάνοντας την πιθανότητα κατάθλιψης.
- **Παχυσαρκία:** Η χρήση αλκοόλ αποτελεί παράγοντα κινδύνου για την παχυσαρκία, σύμφωνα με μελέτες. Το αλκοόλ έχει πολλές θερμίδες και οι περισσότεροι άνθρωποι δεν μειώνουν την πρόσληψη τροφής όταν πίνουν αλκοόλ, αλλά αντίθετα, σε περιπτώσεις, την αυξάνουν.

- **Απώλεια μνήμης και άνοια:** Όταν διακόπτεται η δραστηριότητα των νευροδιαβιβαστών, αυτό δεν επηρεάζει μόνο τη διάθεση, αλλά προκαλεί επίσης βραχυπρόθεσμη απώλεια μνήμης και μακροπρόθεσμα γνωστικά προβλήματα, συμπεριλαμβανομένης της άνοιας. Μια έρευνα σε πάνω από ένα εκατομμύριο ενήλικες ανακάλυψε ότι η επίμονη υπερβολική χρήση αλκοόλ συνδέεται με το 60% των 57.000 περιστατικών πρόωμης άνοιας (Scott & Barrett, 2007).
- **Λίπος στο συκώτι:** Τα θρεπτικά συστατικά των υγρών και των τροφίμων μεταβολίζονται από το συκώτι. Το λίπος συσσωρεύεται όταν η λειτουργία του παρεμποδίζεται από την υπερβολική κατανάλωση αλκοόλ. Το περιττό λίπος συσσωρεύεται στα ηπατικά κύτταρα, με αποτέλεσμα τη λιπώδη διήθηση. Αυτό αυξάνει την πιθανότητα ανάπτυξης αλκοολικής ηπατοπάθειας και κίρρωσης.
- **Εγκεφαλικό επεισόδιο:** Ακόμα και αν η καρδιά είναι σε καλή κατάσταση, η υπερβολική κατανάλωση αλκοόλ αυξάνει τις πιθανότητες να πάθει κανείς εγκεφαλικό επεισόδιο. Σύμφωνα με μια μελέτη, η κατανάλωση έξι ή περισσότερων ποτών αυξάνει τον κίνδυνο εγκεφαλικού επεισοδίου κατά 40%.
- **Υπέρταση:** Η κυκλοφορία του αλκοόλ στο αίμα προκαλεί την απελευθέρωση ορμονών του στρες, με αποτέλεσμα τα αιμοφόρα αγγεία να σφίγγουν και η αρτηριακή πίεση να αυξάνεται. Οι αρτηρίες του αίματος χάνουν σταδιακά την ευελιξία τους, με αποτέλεσμα την υπέρταση.
- **Καρδιομυοπάθεια:** Η χρόνια πρόσληψη αλκοόλ προκαλεί αποδυνάμωση και χαλάρωση του καρδιακού μυός. Η διαταραχή, γνωστή και ως μυοκαρδιοπάθεια, κάνει την άντληση του αίματος πιο δύσκολη και προκαλεί συμπτώματα όπως εξάντληση, δυσκολία στην αναπνοή, οίδημα χεριών και ποδιών και αρρυθμίες. Η φθορά, καθώς και η καρδιακή ανεπάρκεια, αρχίζουν σταδιακά.
- **Παγκρεατίτιδα:** Η παγκρεατίτιδα είναι μια επώδυνη φλεγμονώδης λοίμωξη που μπορεί να εξελιχθεί σε διαβήτη και καρκίνο του παγκρέατος, έναν από τους πιο θανατηφόρους τύπους καρκίνου. Η υπερβολική κατανάλωση αλκοόλ αποτελεί μεγάλο παράγοντα κινδύνου, επειδή παρεμβαίνει στην ομαλή λειτουργία του παγκρέατος, το οποίο εκκρίνει πεπτικά ένζυμα εσωτερικά αντί να τα στέλνει στο λεπτό έντερο, όπως κάνει κανονικά.
- **Πνευμονία και φυματίωση:** Το αλκοόλ αναστέλλει το ανοσοποιητικό σύστημα, μειώνοντας την παραγωγή λευκών αιμοσφαιρίων που καταπολεμούν τις ασθένειες. Αυτό κάνει τους ανθρώπους πιο επιρρεπείς στα κρυολογήματα

σε βραχυπρόθεσμο επίπεδο. Οι επαναλαμβανόμενες λοιμώξεις τελικά αποδυναμώνουν το ανοσοποιητικό σύστημα, καθιστώντας τον οργανισμό ευάλωτο σε δυνητικά θανατηφόρες μολυσματικές ασθένειες όπως η πνευμονία και η φυματίωση.

- **HIV:** Η κατανάλωση αλκοόλ καταστέλλει το ανοσοποιητικό σύστημα και καθιστά τους ανθρώπους πιο επιρρεπείς σε λοιμώξεις. Το αλκοόλ καθιστά τους ανθρώπους πιο επιρρεπείς σε ιογενή λοίμωξη όταν επιδίδονται σε μη ασφαλή σεξουαλική συμπεριφορά (σεξουαλική επαφή χωρίς προφυλάξεις, συχνή εναλλαγή σεξουαλικών συντρόφων) ή κάνουν χρήση ενδοφλέβιων ναρκωτικών. Έχει επίσης παρατηρηθεί ότι όσοι κολλάνε τον ιό HIV έχουν ταχύτερη πορεία της νόσου σε σχέση με όσους δεν πίνουν αλκοόλ.

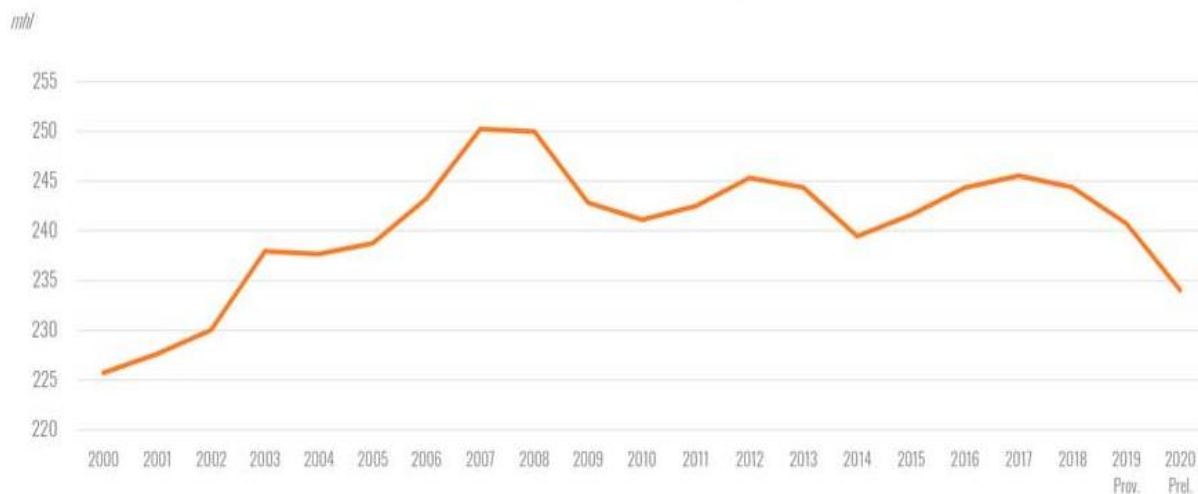
1.2. Κρασί

1.2.1. Στοιχεία αγοράς

Τα τελευταία χρόνια η κατανάλωση αλκοόλ μειώνεται σταδιακά. Οι κύριοι λόγοι για τη μείωση αυτή είναι η προφύλαξη της υγείας, η μη επιθυμία για κατανάλωση αλκοόλ, η ανησυχία για τις συνέπειες, η προσπάθεια ελέγχου του βάρους και η μείωση των κοινωνικών εκδηλώσεων όπου καταναλώνεται αλκοόλ (Britton & Bell, 2015). Η παγκόσμια κατανάλωση κρασιού το 2020 ήταν 234 εκατομμύρια εκατόλιτρα (Mhl), σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του Διεθνούς Οργανισμού Οίνου και Αμπέλου (International Organization of Wine and Vine, OIV). Αυτό δείχνει ότι υπήρχε μείωση κατά 3% (7 Mhl) σε σύγκριση με το 2019. Το 2019 είναι το τρίτο συνεχόμενο έτος που η κατανάλωση μειώνεται και αυτό πρόκειται για το χαμηλότερο επίπεδο από το 2002.

Οι τρεις μεγαλύτερες χώρες που καταναλώνουν κρασί, ή με άλλα λόγια, οι μεγαλύτερες αγορές κρασιού, είναι οι ΗΠΑ, η Γαλλία και η Ιταλία. Όμως το 2020 δεν είναι μια τυπική χρονιά, οπότε μπορεί να χρειάζεται κάποια προσοχή κατά την εξέταση των στοιχείων. Το 2020 σημαδεύτηκε από την παγκόσμια κρίση που προκλήθηκε από τον ιό covid-19, τη χειρότερη παγκόσμια κρίση εδώ και περισσότερο από μια γενιά.

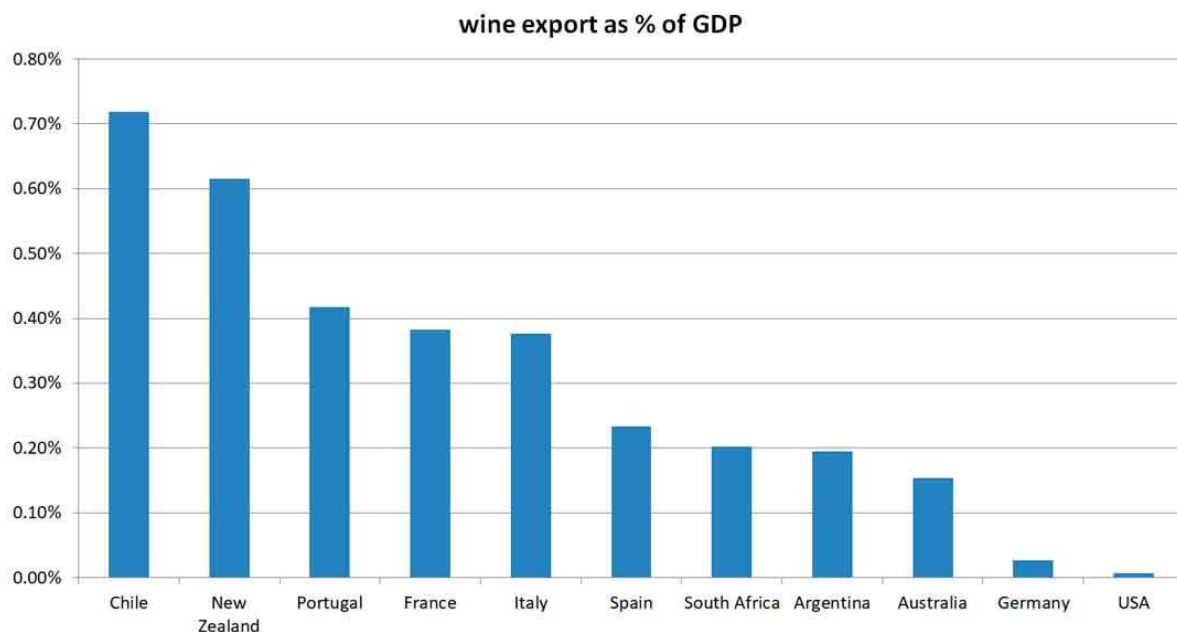
Ο OIV σημειώνει ότι η πτώση που παρατηρείται τώρα είναι παρόμοια με εκείνη που παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια της χρηματοπιστωτικής κρίσης του 2008-2009.



Διάγραμμα 1 Παγκόσμια κατανάλωση κρασιού 2000-2020, εκατομμύρια εκατόλιτρα, γραφική παράσταση: ΟΙΥ (Πηγή: Karlsson, 2022a)

Σε παγκόσμιο επίπεδο, οι εξαγωγές κρασιού αντιστοιχούν στο 0,04% του παγκόσμιου ΑΕΠ. Οι εξαγωγές οίνου φτάνουν λίγο λιγότερο από το ήμισυ της συνολικής παγκόσμιας παραγωγής οίνου. Η χώρα της οποίας οι εξαγωγές κρασιού είναι μεγαλύτερες σε σύγκριση με το ΑΕΠ της είναι η Χιλή, όπου αποτελούν το 0,72% αυτού. Επιπλέον, η Χιλή είναι μία από τις χώρες που εξάγουν το μεγαλύτερο μέρος του κρασιού της, όπου περίπου το 88% της συνολικής παραγωγής αφορά σε εξαγωγές. Έτσι, συμπεραίνεται ότι το κρασί είναι ένας σημαντικός κλάδος για τη Χιλή.

Στη δεύτερη θέση βρίσκεται η Νέα Ζηλανδία, όπου οι εξαγωγές κρασιού αγγίζουν το 0,62% του ΑΕΠ. Η Νέα Ζηλανδία είναι επίσης η χώρα που εξάγει το μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής παραγωγής κρασιού της. Στη συνέχεια ακολουθούν η Πορτογαλία, η Γαλλία και η Ιταλία, στις οποίες οι εξαγωγές κρασιού αγγίζουν το 0,4% του ΑΕΠ τους. Στις τελευταίες θέσεις βρίσκονται η ΗΠΑ και η Γερμανία, οι οποίες εξάγουν κρασί αλλά σε πολύ μικρό ποσοστό καθώς το μεγαλύτερο μέρος καταναλώνεται στο εσωτερικό της χώρας.



Διάγραμμα 2 Εξαγωγές οίνου ως ποσοστό του ΑΕΠ, ανά χώρα, 2020
(Πηγή: Karlsson, 2022)

1.2.2. Επιδράσεις της κατανάλωσης κρασιού στην υγεία

Παρόλο που είναι σαφώς αποδεδειγμένο ότι η κατάχρηση αλκοόλ είναι σοβαρά επιβλαβής για την υγεία, πολλά επιδημιολογικά και κλινικά στοιχεία φαίνεται να υπογραμμίζουν τον προστατευτικό ρόλο των μέτριων ποσοτήτων αλκοόλ και ιδίως του κρασιού στην υγεία. Τα κρασιά παρασκευάζονται από σταφύλια, τα οποία είναι πλούσια σε αντιοξειδωτικές πολυφαινολικές ενώσεις. Μετά τη συγκομιδή, τα σταφύλια συνθλίβονται και αφήνονται να ζυμωθούν. Το κόκκινο κρασί παρασκευάζεται από το γλεύκος (πολτό) των κόκκινων ή μαύρων σταφυλιών μαζί με τη φλούδα των σταφυλιών. Το λευκό κρασί παρασκευάζεται συνήθως με τη ζύμωση χυμού που πιέζεται από λευκά σταφύλια, αλλά μπορεί επίσης να παρασκευαστεί από γλεύκος που εξάγεται από κόκκινα σταφύλια που περιέχουν πολύ λίγη ή καθόλου φλούδα σταφυλιών.

Η φλούδα του σταφυλιού είναι γεμάτη από πολυφαινολικές ενώσεις και ανθοκυανίνες, οι οποίες είναι ικανές να δεσμεύουν τις ελεύθερες ρίζες. Οι συγκεντρώσεις αυτών των ενώσεων στα σταφύλια εξαρτώνται από τη γεωγραφική τοποθεσία όπου καλλιεργούνται τα σταφύλια, τον τύπο του εδάφους, το κλίμα, την πρακτική καλλιέργειας της αμπέλου, τον χρόνο συγκομιδής, τη διαδικασία παραγωγής

και την παλαιώση του κρασιού. Οι σπόροι σταφυλιών, η φλούδα σταφυλιών και το γλεύκος περιέχουν πολλές φαινολικές ενώσεις, όπως κατεχίνη, επικατεχίνη, διμερή, τριμερή και πολυμερή προανθοκυανιδινών, φαινολικά οξέα και ανθοκυανίνες (Dasgupta & Klein, 2014).

Ορισμένη ποσότητα καθημερινής κατανάλωσης κρασιού μπορεί να αποτρέψει διάφορες χρόνιες ασθένειες. Αυτό οφείλεται, εν μέρει, στην παρουσία και την ποσότητα σημαντικών αντιοξειδωτικών στο κόκκινο κρασί και, ως εκ τούτου, η έρευνα έχει επικεντρωθεί σε αυτά. Οι πολυφαινόλες του κρασιού, ιδίως η ρεσβερατρόλη, οι ανθοκυανίνες και οι κατεχίνες, είναι τα πιο αποτελεσματικά αντιοξειδωτικά του κρασιού. Η ρεσβερατρόλη είναι δραστική στην πρόληψη των καρδιαγγειακών παθήσεων εξουδετερώνοντας τις ελεύθερες ρίζες οξυγόνου και τις δραστικές αζωτούχες ρίζες. Αυτή διεισδύει στον αιματοεγκεφαλικό φραγμό και, ως εκ τούτου, προστατεύει τον εγκέφαλο και τα νευρικά κύτταρα. Επίσης, μειώνει τη συσσώρευση αιμοπεταλίων και έτσι εξουδετερώνει το σχηματισμό θρόμβων ή θρόμβων αίματος (Πίνακας 1).

Οι Elmadhun et al. (2015) διεξήγαγαν πειραματική μελέτη σε χοίρους. Τα ευρήματά τους έδειξαν ότι, σε μέτριες δόσεις, η αιθανόλη προάγει άμεσα την ανάπτυξη νέων αγγείων στο μη ισχαιμικό μυοκάρδιο. Δεκατέσσερις αρσενικοί χοίροι Yorkshire υποβλήθηκαν σε τοποθέτηση αμεροειδούς συσφιγκτήρα για την πρόκληση χρόνιας ισχαιμίας του μυοκαρδίου. Μετεγχειρητικά, τα ζώα έλαβαν καθημερινά είτε 90 ml αιθανόλης (ΕΤΟΗ) είτε 80 g σακχαρόζης (SUC) ίσης θερμιδικής αξίας. Επτά εβδομάδες μετά την τοποθέτηση αμεροειδούς, συλλέχθηκε μυοκαρδιακός ιστός από μια περιοχή απομακρυσμένη από την ισχαιμία για ανάλυση. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως η συμπληρωματική χορήγηση ΕΤΟΗ αύξησε την πυκνότητα των τριχοειδών και των αρτηριολίων, ανέβασε την έκφραση των πρωτεϊνών προ-αγγειογένεσης και προ-επιβίωσης και μείωσε την έκφραση των πρωτεϊνών αντι-αγγειογένεσης. Τα ευρήματα αυτά υποδηλώνουν ότι σε μέτριες δόσεις, το ΕΤΟΗ προάγει άμεσα την ανάπτυξη νέων αγγείων στο μη ισχαιμικό μυοκάρδιο απομακρυσμένο από τη χρόνια ισχαιμία.

Στόχος της μελέτης των Diaz-Cruz et al., (2017) ήταν αξιολογηθεί η συσχέτιση μεταξύ της κατανάλωσης αλκοόλ και κόκκινου κρασιού και της πορείας της πολλαπλής σκλήρυνσης. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως η υψηλότερη συνολική πρόσληψη αλκοόλ

και κόκκινου κρασιού συσχετίστηκε με χαμηλότερο διατομικό επίπεδο νευρολογικής αναπηρίας σε ασθενείς με σκλήρυνση κατά πλάκας, αλλά με αυξημένη συσσώρευση T2LV. Η συσσώρευση T2LV αποτελεί έναν δείκτη της εκτίμησης της εκτεταμένης βλάβης στο λευκό μυελό του εγκεφάλου, που συνήθως προκαλείται από φλεγμονώδη νοσήματα όπως η πολλαπλή σκλήρυνση. Ουσιαστικά, η αύξηση της T2LV στην εικόνα της μαγνητικής τομογραφίας υποδηλώνει μεγαλύτερη περιοχή εγκεφαλικής βλάβης.

Η μελέτη των Cosmi et al., (2015) αξιολογεί τις σχέσεις μεταξύ της κατανάλωσης κρασιού, της κατάστασης υγείας, των κυκλοφορούντων βιοδεικτών και των κλινικών αποτελεσμάτων σε έναν μεγάλο ιταλικό πληθυσμό ασθενών με χρόνια καρδιακή ανεπάρκεια που συμμετείχαν σε πολυκεντρική κλινική δοκιμή. Τα αποτελέσματα έδειξαν σε μια μεγάλη ομάδα ασθενών με χρόνια καρδιακή ανεπάρκεια ότι η μέτρια κατανάλωση κρασιού σχετίζεται με καλύτερη αντιληπτή και αντικειμενική κατάσταση υγείας, χαμηλότερο επιπολασμό κατάθλιψης και λιγότερη αγγειακή φλεγμονή, αλλά δεν μεταφράζεται σε ευνοϊκότερες κλινικές εκβάσεις 4 ετών.

Στη μελέτη των Martin et al., (2017) μελετάται η πρόληψη του διαβήτη μέσω της διατροφής. Οι φλαβανόλες, που περιέχονται στο κόκκινο κρασί, έχουν καταστεί σημαντικοί δυνητικοί χημειοπροληπτικοί φυσικοί παράγοντες λόγω των αποδεδειγμένων πλεονεκτημάτων τους στην υγεία, με χαμηλή τοξικότητα και κόστος. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι υπάρχουν ευνοϊκές επιδράσεις στους παράγοντες κινδύνου διαβήτη για την κατανάλωση κόκκινου κρασιού, ενώ έχουν αποσαφηνιστεί διάφοροι πιθανοί μηχανισμοί σε μελέτες σε ανθρώπους.

Τέλος, η μελέτη των Golan et al., (2018) μελέτησαν ασθενείς με διαβήτη τύπου 2 να καταναλώνουν 150 ml είτε κόκκινου κρασιού, είτε λευκού κρασιού, είτε νερού και παρακολούθησαν τις 2ετείς μεταβολές στον ολικό όγκο της καρωτίδας (carotid-TPV) και στον όγκο του τοιχώματος των καρωτιδικών αγγείων (carotid-VWV), χρησιμοποιώντας τρισδιάστατο υπερηχογράφημα. Στα αποτελέσματα δεν παρατηρήθηκε καμία εξέλιξη στην καρωτιδική-TPV. Σε αναλύσεις υποομάδων, εκείνοι με το μεγαλύτερο βάρος πλάκας στους οποίους ανατέθηκε να πίνουν κρασί μπορεί να είχαν μια μικρή παλινδρόμηση του βάρους της πλάκας. Στον παρακάτω Πίνακα 1 συνοψίζονται οι επιδράσεις της κατανάλωσης κρασιού στην υγεία.

Πίνακας 1 Επιδράσεις της κατανάλωσης κρασιού στην υγεία

Ενώσεις του κρασιού που μελετήθηκαν	Παθολογία που μελετήθηκε	Αριθμός ανθρώπων ή ζώων που έλαβαν μέρος στο πείραμα	Ποσότητα αλκοόλ που καταναλώθηκε	Αποτελέσματα	Αναφορά
EtOH Σακχαρόζη (SUC)	Ισχαιμία του μυοκαρδίου	14 αρσενικοί χοίροι Yorkshire	90 ml αιθανόλης (EtOH) είτε 80 g σακχαρόζης (SUC)	Σε μέτριες δόσεις, το EtOH προάγει άμεσα την ανάπτυξη νέων αγγείων στο μη ισχαιμικό μυοκάρδιο απομακρυσμένο από τη χρόνια ισχαιμία	(Elmadhun et al., 2015)
ρεσβερατρόλη	Σκλήρυνση κατά πλάκας	923 ασθενείς	Μη πότες 1-3 ποτήρια κόκκινο κρασί 4 ποτά την εβδομάδα	Η υψηλότερη συνολική πρόσληψη αλκοόλ και κόκκινου κρασιού συσχετίστηκε με χαμηλότερο διατομικό επίπεδο νευρολογικής αναπηρίας σε ασθενείς με σκλήρυνση κατά πλάκας, αλλά με αυξημένη συσσώρευση T2LV (Όγκος υπερεντατικής βλάβης T2)	(Diaz-Cruz et al., 2017)

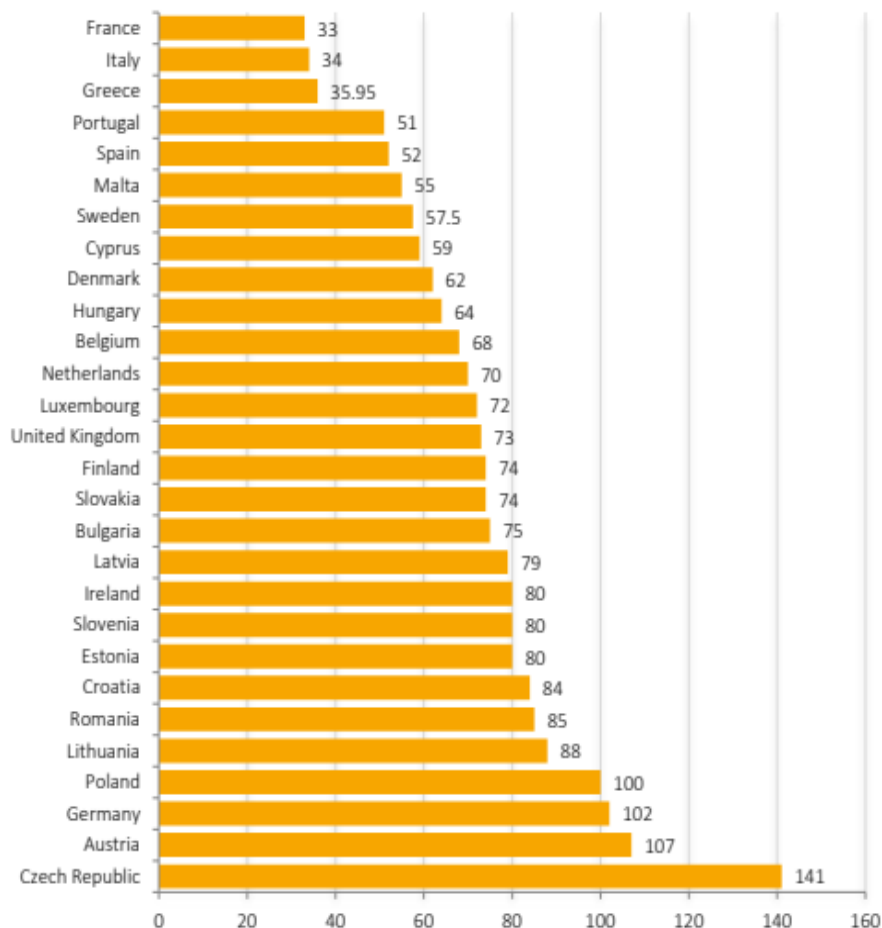
αιθανόλη	Χρόνια καρδιακή ανεπάρκεια	6973 ασθενείς	Τουλάχιστον 1 ποτήρι κρασί την ημέρα	Καλύτερη αντιληπτή και αντικειμενική κατάσταση υγείας, χαμηλότερο επιπολασμό κατάθλιψης και λιγότερη αγγειακή φλεγμονή, αλλά δεν μεταφράζεται σε ευνοϊκότερες κλινικές εκβάσεις 4 ετών	(Cosmi et al., 2015)
Φλαβανόλες	Διαβήτης	-	Κόκκινο κρασί	Ευνοϊκές επιδράσεις στους παράγοντες κινδύνου διαβήτη για την κατανάλωση τσαγιού, κόκκινου κρασιού και κακάο, ενώ έχουν αποσαφηνιστεί διάφοροι πιθανοί μηχανισμοί σε μελέτες σε ανθρώπους	(Martin et al., 2017)
-	Διαβήτης - μεταβολές στον ολικό όγκο της καρωτίδας (carotid-TPV) και στον όγκο του τοιχώματος των	224 ασθενείς με διαβήτη τύπου 2	150 ml είτε κόκκινου κρασιού, είτε λευκού κρασιού, είτε νερο	Δεν παρατηρήθηκε καμία εξέλιξη στην καρωτιδική-TPV. Σε αναλύσεις υποομάδων, εκείνοι με το μεγαλύτερο βάρος πλάκας στους οποίους ανατέθηκε να πίνουν κρασί μπορεί να είχαν μια μικρή	(Golan et al., 2018)

	καρωτιδικών αγγείων (carotid- VWV)			παλινδρόμηση του βάρους της πλάκας	
--	---	--	--	---------------------------------------	--

1.3. Μπύρα

1.3.1. Στοιχεία αγοράς

Η κατά κεφαλήν κατανάλωση μπίρας στην Ευρώπη ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό από χώρα σε χώρα και επηρεάζεται από το αν οι χώρες έχουν συνήθως παράδοση στην κατανάλωση μπίρας ή κρασιού. Παραδοσιακά, οι χώρες που πίνουν μπίρα είναι η Πολωνία, η Γερμανία, η Αυστρία και η Τσεχία, οι οποίες έχουν υψηλότερη κατά κεφαλήν κατανάλωση μπίρας. Στις μεσογειακές χώρες, όπως η Γαλλία και η Ιταλία με ισχυρή παράδοση στην παραγωγή και κατανάλωση κρασιού, τα στοιχεία κατά κεφαλήν κατανάλωσης είναι χαμηλότερα. Οι περισσότερες χώρες έχουν μέση κατά κεφαλήν κατανάλωση μεταξύ 50 και 80 λίτρων.



Διάγραμμα 3 Κατανάλωση μπίρας, σε λίτρα ανά κάτοικο (2018)

Η πρώτη παγκόσμια έκθεση για την αξιολόγηση του παγκόσμιου οικονομικού αντίκτυπου της βιομηχανίας μπίρας κατέληξε ότι 1 στις 110 θέσεις εργασίας στον κόσμο συνδέεται με τον κλάδο της μπίρας. Ακόμη, ανέφερε πως ο κλάδος υποστήριξε 555 δισεκατομμύρια δολάρια ακαθάριστης προστιθέμενης αξίας (ΑΠΑ) στο παγκόσμιο ΑΕΠ το 2019. Δεδομένης της κλίμακάς του και του αντίκτυπού του κατά μήκος μιας αλυσίδας αξίας, ο ακμάζων τομέας της μπίρας αποτελεί βασικό συστατικό για την παγκόσμια οικονομική ανάκαμψη.

Η Παγκόσμια Συμμαχία Ζυθοποιίας (World Beer Academy – WBA), σε έκθεση της αναφέρει ότι ο κλάδος της μπίρας συνέλαβε στην απόκτηση 262 δισεκατομμυρίων USD μέσω φόρων σε 70 χώρες, οι οποίες αντιπροσωπεύουν το 89% της μπίρας που πωλείται παγκοσμίως. Επίσης, υποστήριξε πως δημιουργήθηκαν περίπου 23,1 εκατομμύρια θέσεις εργασίας. Στην έκθεση αξιολογήθηκε ο παγκόσμιος οικονομικός αντίκτυπος της βιομηχανίας μπίρας μεταξύ 2015 και 2019, συμπεριλαμβανομένης της συμβολής της, άμεσης και έμμεσης, στο παγκόσμιο ΑΕΠ, τις θέσεις εργασίας και τους φόρους (Frederiksen, 2022).

1.3.2. Επιδράσεις της κατανάλωσης μπίρας στην υγεία

Τα αλκοολούχα ποτά που έχουν υποστεί ζύμωση, όπως η μπίρα και το κρασί, είναι γεμάτα από ευεργετικές πολυφαινολικές ενώσεις που είναι ισχυρά αντιοξειδωτικά. Επειδή οι πολυφαινολικές ενώσεις δεν είναι πτητικές, ουσιαστικά απουσιάζουν από τα αποσταγμένα ποτά, όπως το ρούμι και το ουίσκι. Περισσότερες από 2000 ενώσεις έχουν εντοπιστεί σε διάφορες μπίρες, συμπεριλαμβανομένων περισσότερων από 50 πολυφαινολικών ενώσεων, επειδή το κριθάρι και ο λυκίσκος είναι πλούσια σε πολλές οργανικές ενώσεις, συμπεριλαμβανομένων αντιοξειδωτικών πολυφαινολικών ενώσεων.

Η μπίρα είναι επίσης πλούσια σε θρεπτικά συστατικά, όπως υδατάνθρακες, αμινοξέα, μέταλλα και βιταμίνες, καθώς και σε πολυφαινολικά αντιοξειδωτικά. Επίσης, αποτελεί καλή πηγή διαιτητικών αντιοξειδωτικών, διότι 1 λίτρο μπίρας περιέχει 366875 mg πολυφαινολικών ενώσεων (Piazzon et al., 2010). Επομένως, ένα μπουκάλι μπίρας (355 ml) περιέχει περίπου 130311 mg πολυφαινολικών ενώσεων. Η συνολική ποσότητα των πολυφαινολικών ενώσεων ποικίλλει ευρέως μεταξύ των

διαφόρων τύπων μύρας, αλλά μια σημαντική ποσότητα αυτών των πολυφαινολικών ενώσεων υπάρχει επίσης στη μη αλκοολούχα μύρα, καθιστώντας έτσι τη μύρα οποιασδήποτε προέλευσης, καλή πηγή αντιοξειδωτικών.

Τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί το ενδιαφέρον για τις πιθανές επιπτώσεις της μέτριας κατανάλωσης αλκοόλ στην υγεία. Παρόλο που οι βλαβερές συνέπειες της υπερβολικής χρήσης αλκοόλ είναι καλά τεκμηριωμένες, παρουσιάζει ενδιαφέρον η συσχέτιση της χαμηλής έως μέτριας κατανάλωσης αλκοόλ με οφέλη που σχετίζονται με την υγεία.

Η μελέτη των Toma et al., (2017) και η μελέτη των Bell et al., (2017) ανέφεραν ότι η μέτρια κατανάλωση, έως 55 g αλκοόλ/ημέρα, είχε ευεργετική επίδραση στα μη θανατηφόρα καρδιαγγειακά επεισόδια. Και οι δύο ανασκοπήσεις διαπίστωσαν ότι η υψηλότερη ευεργετική επίδραση αυτή, σχετίζεται με τη μέτρια κατανάλωση μύρας ή κρασιού, γεγονός που υποδηλώνει ότι η πολυφαινολική περιεκτικότητα αυτών πιθανώς συμβάλλει στα παρατηρούμενα οφέλη.

Η μελέτη των Polsky & Akturk, (2017) εξέτασε, τον κίνδυνο ανάπτυξης διαβήτη και τις καρδιαγγειακές επιδράσεις στα άτομα με διαβήτη από διαφορετικά επίπεδα κατανάλωσης αλκοόλ. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως η ελαφριά έως μέτρια κατανάλωση αλκοόλ μειώνει τη συχνότητα εμφάνισης διαβήτη στην πλειονότητα των μελετών, ενώ οι καταναλωτές μεγάλης κατανάλωσης αλκοόλ διατρέχουν αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης διαβήτη.

Οι Fresán et al., (2016) σε μελέτη της είχαν στόχο ήταν να αξιολογηθεί η συσχέτιση μεταξύ της αντικατάστασης μιας μερίδας νερού ανά ημέρα με κάποιο άλλο ρόφημα (ή ομάδα αυτών), όπως η μύρα, με την εμφάνιση παχυσαρκίας και της μεταβολής του βάρους, χρησιμοποιώντας μαθηματικά μοντέλα. Τα αποτελέσματα ήταν η μέση μεταβολή του σωματικού βάρους σε μια περίοδο τεσσάρων ετών και η νεοεμφανιζόμενη παχυσαρκία. Έτσι, η αντικατάσταση ενός ζαχαρούχου αναψυκτικού ή μπίρας με μία μερίδα νερού ανά ημέρα κατά την έναρξη της μελέτης σχετίζεται με χαμηλότερη συχνότητα εμφάνισης παχυσαρκίας και με υψηλότερη απώλεια βάρους σε διάστημα τεσσάρων ετών στην περίπτωση της μύρας. Όλα τα παραπάνω συνοψίζονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2 Επιδράσεις της κατανάλωσης μύρας στην υγεία

Ενώσεις του κρασιού που μελετήθηκαν	Παθολογία που μελετήθηκε	Αριθμός ανθρώπων ή ζώων που έλαβαν μέρος στο πείραμα	Ποσότητα αλκοόλ που καταναλώθηκε	Αποτελέσματα	Αναφορά
Πολυφαινόλες	Καρδιαγγειακή λειτουργία	-	έως 55 g αλκοόλ/ημέρα	Υψηλότερη επίδραση σχετίζεται με τη μέτρια κατανάλωση μύρας	(Toma et al., 2017)
Πολυφαινόλες	Καρδιαγγειακή λειτουργία	-	έως 55 g αλκοόλ/ημέρα	Υψηλότερη επίδραση σχετίζεται με τη μέτρια κατανάλωση μύρας	(Bell et al., 2017)
-	Διαβήτης	Άνδρες και γυναίκες	-	Η ελαφριά έως μέτρια κατανάλωση αλκοόλ μειώνει τη συχνότητα εμφάνισης διαβήτη στην πλειονότητα των μελετών, ενώ οι βαρείς πότες και οι καταναλωτές μεγάλης κατανάλωσης αλκοόλ διατρέχουν αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης διαβήτη	(Polsky & Akturk, 2017)

	Παχυσαρκία	15.765 ενήλικες		Μέση μεταβολή του σωματικού βάρους σε μια περίοδο τεσσάρων ετών και η νεοεμφανιζόμενη παχυσαρκία	(Fresán et al., 2016)
--	------------	--------------------	--	---	--------------------------

2. Νοθεία και αυθεντικότητα στα αλκοολούχα ποτά

2.1. Τι είναι, πως και γιατί γίνεται η νοθεία στα αλκοολούχα ποτά

2.1.1. Τι είναι η νοθεία στα αλκοολούχα ποτά

Η νοθεία στα ποτά είναι η αραίωση με νερό, η προσθήκη συστατικών και η λανθασμένη επισήμανση. Τα αποσταγμένα ποτά είναι συνήθως τα πιο ακριβά αλκοολούχα ποτά και μπορούν να νοθευτούν με νερό, αιθανόλη που δεν προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση ή με τη δυνητικά τοξική μεθανόλη. Ομοίως, το κρασί μπορεί να νοθευτεί με νερό, τεχνητά γλυκαντικά ή άλλα πρόσθετα. Η ψευδής παρουσίαση του τύπου ή της εσοδείας αποτελεί επίσης νοθεία στα αλκοολούχα ποτά (Lin & Salcido-Keamo, 2021).

Πέρα από το ζήτημα των προσμείξεων στα αλκοολούχα ποτά, δηλαδή των ανεπιθύμητων ουσιών χωρίς λειτουργικό σκοπό που εισάγονται ή παράγονται κατά λάθος, υπάρχει επίσης το ζήτημα των νοθευτικών ουσιών που εμπεριέχονται στα αλκοολούχα ποτά. Οι παραγωγοί μπορεί να επιδίδονται σε απάτη στα ποτά, προσθέτοντας νοθευτικές ουσίες ή ουσίες σε διαφορετική ποσότητα από ότι αναγράφεται και είναι επιτρεπτό, με στόχο την αύξηση της ποσότητας ή της φαινομενικής ποιότητας του προϊόντος και τελικά το κέρδος και το οικονομικό όφελος.

Η εξαπάτηση αυτή δεν αποτελεί μόνο αθέμιτη επιχειρηματική πρακτική, αλλά μπορεί να έχει καταστροφικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Αυτό είναι μία μεγάλη ανησυχία στον τομέα της ανάλυσης των ποτών για τον έλεγχο της ποιότητας και της ασφάλειας, καθώς οι παραγωγοί αποκτούν γνώση των αναλυτικών τεχνικών ρουτίνας και υιοθετούν πιο εξελιγμένες μεθόδους για να αποφύγουν την ανίχνευση (Ellis et al., 2012).

Οι προσμίξεις αυτές, συνήθως, δεν μπορούν να γίνουν αντιληπτές από τους καταναλωτές και αυτό αποτελεί σημαντικό ζήτημα. Η παγκοσμιοποίηση και η εντατικοποίηση των αγορών ποτών όχι μόνο αυξάνει τον κίνδυνο μόλυνσης μέσω της τροφικής αλυσίδας, αλλά αυξάνει επίσης την πιθανότητα απάτης στα τρόφιμα λόγω του έντονου ανταγωνισμού και της έλλειψης ιχνηλασιμότητας (Kunzelmann et al., 2018).

2.1.2. Πως και γιατί γίνεται η νοθεία στα αλκοολούχα ποτά

Η νοθεία στα αλκοολούχα ποτά μπορεί να γίνει με την προσθήκη φθηνότερων πηγών ζάχαρης ή αμύλου, την αραίωση του προϊόντος για την αύξηση του όγκου ή την προσθήκη ουσιών για τη βελτίωση της ποιότητας. Έχουν υπάρξει αμέτρητες περιπτώσεις εξαπάτησης στην παραγωγή αλκοόλ, συμπεριλαμβανομένης της προσθήκης τεχνητών χρωστικών ουσιών, μολύβδου για γλυκύτητα, αντικατάστασης φθηνότερου αμύλου στην παρασκευή μπίρας και προσθήκης δηλητηριωδών φυτών ή χημικών ουσιών για να προσδώσουν πικρή γεύση. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ένα σκάνδαλο που έλαβε χώρα στην Αυστρία το 1985, όπου ανακαλύφθηκε ότι η διαιθυλενογλυκόλη, μια ένωση που δεν αναγνωρίστηκε από τις τυποποιημένες διαδικασίες ελέγχου και έτσι είχε διαφύγει της ανίχνευσης και προστέθηκε στο κρασί για να αυξήσει τη γλυκύτητά του (Lachenmeier, 2016).

Παρά το γεγονός ότι τα ζητήματα αυτά ξεκινούν από την αρχαιότητα, το πρόβλημα εξακολουθεί να υφίσταται και σήμερα. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ανέφερε ευρήματα μονοαιθυλενογλυκόλης στο κόκκινο κρασί, ενώ πρόσφατη μελέτη ανέδειξε συνθετικές χρωστικές σε μπίρες. Επίσης έχουν υπάρξει ανησυχίες σχετικά με πρόσθετα που προορίζονται να ενισχύσουν τις επιδράσεις του αλκοόλ, όπως αναφορές για αναλγητικά φάρμακα και ηρεμιστικά στο ουίσκι, και τετραϋδροκανναβινόλη (THC) στο αλκοόλ (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2020), και η ορμόνη ωκυτοκίνη στα ινδικά λικέρ, η οποία δεν είναι ένα κοινό ψυχαγωγικό φάρμακο αν και μπορεί να έχει ορισμένες νευροδιαμορφωτικές ιδιότητες (More, Doundkar, & Toche, 2014).

Ένας σημαντικός κίνδυνος με άμεσες επιπτώσεις στη δημόσια υγεία είναι η νοθεία των αλκοολούχων ποτών με μεθανόλη, ενέργεια που γίνεται είτε από άγνοια είτε από πλήρη αδιαφορία για την ανθρώπινη ασφάλεια, με σκοπό την αύξηση της περιεκτικότητας σε αλκοόλ και το κέρδος, καθώς η μεθανόλη είναι φθηνότερη πρώτη ύλη από την αιθανόλη. Διάφορα περιστατικά έχουν δείξει πως η νοθεία ενός αλκοολούχου προϊόντος οδηγεί σε σοβαρή ασθένεια ή θάνατο κατά την κατανάλωση ή τη δηλητηρίαση. Η προσθήκη φθηνής μεθανόλης σε παράνομα παραγόμενα ποτά μελετάται όλο και περισσότερο ως ζήτημα ασφάλειας τροφίμων και νοθείας τροφίμων.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι μία περίπτωση στο Βιετνάμ, επτά άτομα νοσηλεύτηκαν με δηλητηρίαση από αλκοόλ από τον Οκτώβριο έως τον Νοέμβριο του 2020. Δύο από αυτά τα θύματα υπέστησαν δηλητηρίαση από μεθανόλη, ένα άτομο πέθανε και τέσσερα άλλα υπέστησαν βλάβες στα μάτια και στον εγκέφαλο. Όλες οι περιπτώσεις προήλθαν από την κατανάλωση του ίδιου εμπορικού ποτού που παρήγαγε μια τοπική εταιρεία στο Βιετνάμ (Vuong, 2022).

Ένα θύμα ανέφερε ότι κατανάλωσε αλκοόλ που αγόρασε από ένα παντοπωλείο, και την επόμενη ημέρα, υπέφερε από πονοκέφαλο, θολή όραση και κόπωση. Μεταφέρθηκε στο νοσοκομείο και νοσηλεύτηκε για δηλητηρίαση από αλκοόλ και λίγο αργότερα, το θύμα έπεσε σε κώμα. Το αποτέλεσμα των εξετάσεων έδειξαν το επίπεδο του οινοπνεύματος στον οργανισμό του θύματος είχε περιεκτικότητα σε μεθανόλη 20,21%, με πρόσθετο επίπεδο αιθανόλης 11,42%. Οι άλλοι τρεις που ήπιαν το ίδιο ποτό νοσηλεύτηκαν στο νοσοκομείο και διαγνώστηκαν με δηλητηρίαση από μεθανόλη, αλλά δεν πέθανε κανείς (Vuong, 2022).

Ένας από τους άλλους τρεις ασθενείς, ένας 22χρονος άνδρας, κατέγραψε πολύ υψηλά επίπεδα μεθανόλης στο αίμα του μετά την κατανάλωση του ίδιου ποτού επί τρεις συνεχόμενες ημέρες. Παρόλο που ο ασθενής αυτός είχε τοξικό επίπεδο μεθανόλης στον οργανισμό του, οι γιατροί κατάφεραν να τον αποτοξινώσουν. Ένας άλλος ασθενής, ένας άνδρας 32 ετών, διαγνώστηκε με δηλητηρίαση από βιομηχανική μεθανόλη σε χαμηλότερο επίπεδο. Ο ασθενής εισήχθη στο νοσοκομείο σε κατάσταση βαθύ κώματος, με διεσταλμένες κόρες και χαμηλή αρτηριακή πίεση. Τα αποτελέσματα των εξετάσεων έδειξαν επίπεδο μεθανόλης στο αίμα 141 mg/dL (Vuong, 2022).

Επιπλέον, τα ποτά μπορεί να νοθεύονται με άλλες μη αναφερόμενες ουσίες που κανονικά δεν θεωρούνται επικίνδυνες, αλλά μπορεί να ενέχουν σοβαρούς κινδύνους αλλεργιογένεσης για ορισμένα άτομα, οι οποίες θα μπορούσαν να έχουν ολέθριες συνέπειες εάν η παρουσία τους στο προϊόν είναι άγνωστη. Ορισμένα μη δηλωμένα αλλεργιογόνα που αναφέρθηκαν σε αλκοολούχα ποτά από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή περιλαμβάνουν λακτόζη, καζεΐνη και πρωτεΐνες γάλακτος στη μύρα, υψηλά επίπεδα σουλφιδίων στο κρασί και γλουτένη στη μύρα. Η αποτυχία ανίχνευσης τέτοιων ουσιών και ανάλογης επικοινωνίας θα μπορούσε να θέσει σε σοβαρό κίνδυνο την υγεία των καταναλωτών, αναδεικνύοντας και πάλι την ανάγκη για αποτελεσματικές τεχνικές

παρακολούθησης ευρείας εμβέλειας και μεθόδους δυνητικά ικανές να ανιχνεύουν μη αναφερόμενες ενώσεις (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2020).

2.1.3. Αυθεντικότητα στα αλκοολούχα ποτά

Η λέξη αυθεντικότητα στα ποτά ορίζεται ως "η αίσθηση της πραγματικότητας και η έλλειψη ψεύδους ή παραποίησης. Η αυθεντικότητα αποτελεί την έγκυρη πιστοποίηση ότι ένα αντικείμενο είναι αυτό που ισχυρίζεται ότι είναι. Ουσιαστικά, η αυθεντικότητα στα ποτά αναφέρεται στην ποιότητα και την αυθεντική προέλευση του ποτού. Αυτό σημαίνει ότι το ποτό παράγεται με τη χρήση αυθεντικών συστατικών και διαδικασιών που αντιστοιχούν στην παραδοσιακή ή αυθεντική μέθοδο παραγωγής του. Συνήθως, η αυθεντικότητα συνδέεται με την τοπική παράδοση, την ιστορία και την ποιότητα των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται. Για παράδειγμα, σε ορισμένα αποστάγματα, όπως το κρασί, το ούισκι και η τεκίλα, η αυθεντικότητα συνδέεται με τον τρόπο παραγωγής και τις παραδοσιακές μεθόδους που προέρχονται από συγκεκριμένες περιοχές (Kamiloglu, 2019).

Τα μη αυθεντικά ποτά προέρχονται ως αποτέλεσμα νοθείας μέσω πρακτικών που περιλαμβάνουν, την εσφαλμένη επισήμανση ή παραποίηση, τη συμπλήρωση με γεύσεις ή αρώματα για την ενίσχυση ενός προϊόντος σε χαμηλότερη τιμή και την προσθήκη μη καθορισμένων προσθέτων για την αύξηση του όγκου. Τα μη αυθεντικά προϊόντα προκαλούν οικονομικό πρόβλημα και μπορεί να ενέχουν κινδύνους για την υγεία (Van Leeuwen, Prenzler, Ryan, & Camin, 2018).

Στην Ευρώπη, η γεωγραφική προέλευση είναι ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα αυθεντικότητας για τα ποτά, αλλά και τα τρόφιμα. Η νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) επιφυλάσσει ειδικές ονομασίες για τρόφιμα και ποτά συγκεκριμένης ποιότητας ή φήμης είναι άφθονη. Οι νομοθεσίες αυτές αναφέρονται σε συστήματα ποιότητας για τρόφιμα και ποτά, όπως η Προστατευόμενη Ονομασία Προέλευσης (ΠΟΠ) που συνδέει τα προϊόντα με την καθορισμένη γεωγραφική περιοχή στην οποία παράγονται, η Προστατευόμενη Γεωγραφική Ένδειξη (ΠΓΕ) που συνδέει τα προϊόντα με μια γεωγραφική περιοχή στην οποία πραγματοποιήθηκε τουλάχιστον ένα στάδιο παραγωγής και τα Εγγυημένα Παραδοσιακά Ιδιότυπα Προϊόντα (ΕΠΙΠ) που προστατεύουν τις παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής. Στόχος αυτών των

συστημάτων της ΕΕ είναι η διατήρηση της φήμης των τοπικών τροφίμων και ποτών και η υποστήριξη ορθών πρακτικών στην αγροτική και γεωργική δραστηριότητα.

Επιπλέον, ο κανονισμός ΕΚ 1169/2011 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, σχετικά με την παροχή πληροφοριών για τα τρόφιμα στους καταναλωτές, αναφέρει ότι οι υπεύθυνοι επιχειρήσεων τροφίμων είναι υπεύθυνοι για την πληρότητα και την αλήθεια των πληροφοριών που παρέχονται στην ετικέτα του προϊόντος, γεγονός που αποτελεί πλέον ένα χρήσιμο εργαλείο για την πρόληψη των ψευδών δηλώσεων στην ετικέτα των τροφίμων και δίνει τη δυνατότητα στους καταναλωτές να κάνουν συνειδητές επιλογές (Danezis, Tsagkaris, Camin, Brusica, & Georgiou, 2016). Η μη αυθεντικότητα στα ποτά μπορεί να προκύψει από διάφορους λόγους κι ανάμεσα σε αυτούς είναι οι εξής:

- **Παραποίηση και Απομίμηση:** Ορισμένα ποτά μπορεί να παραποιηθούν ή να απομιμηθούν με φθηνότερα υλικά ή με συνθετικές ουσίες που δεν ανήκουν στην αυθεντική συνταγή τους. Για παράδειγμα, μπορεί να προστεθούν χημικά αρώματα για να αποδοθεί η γεύση ενός αλκοολούχου ποτού, αντί να χρησιμοποιηθούν φυσικά συστατικά.
- **Παραγωγή με παραβίαση πνευματικών δικαιωμάτων:** Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι παραγωγοί ποτών μπορεί να παραβιάσουν πνευματικά δικαιώματα και να παράγουν ποτά που αντιγράφουν σε όνομα, ετικέτα ή γεύση τα προϊόντα γνωστών εταιρειών.
- **Κορεσμός της Αγοράς:** Μερικές φορές, ποτά που παραδοσιακά παράγονταν σε συγκεκριμένες περιοχές με συγκεκριμένες μεθόδους, τώρα παράγονται σε μεγάλη κλίμακα και από μεγάλες εταιρείες, με αποτέλεσμα να χάνουν τον αυθεντικό τους χαρακτήρα.
- **Παραγωγή σε Διαφορετικές Γεωγραφικές Περιοχές:** Ορισμένα ποτά μπορεί να παράγονται σε περιοχές που δεν είναι η παραδοσιακή τους προέλευση, χρησιμοποιώντας διαφορετικές μεθόδους και συνταγές από αυτές που χρησιμοποιούνται στην πατρίδα τους.

Αυτά είναι μερικά παραδείγματα των τρόπων μη αυθεντικότητας στα ποτά. Σε κάθε περίπτωση, η αυθεντικότητα είναι σημαντική για τη διατήρηση της ποιότητας και της παράδοσης ενός ποτού.

Για τον προσδιορισμό της γνησιότητας του ποτού, εφαρμόζονται συνήθως, τρεις αναλυτικές προσεγγίσεις: i) χημική προσέγγιση, δηλαδή περιεκτικότητα σε χημικά είδη, προφίλ συστατικών, αποτυπώματα οργάνων, ii) βιομοριακή προσέγγιση, δηλαδή, σύνθεση DNA ή πρωτεϊνών, και (iii) ισοτοπική προσέγγιση, δηλαδή, σταθερή ισοτοπική σύνθεση ορισμένων ατόμων (Cuadros-Rodríguez, Ruiz-Samblás, Valverde-Som, Pérez-Castaño, & González-Casado, 2016).

2.1.4. Παραδείγματα νοθείας στα αλκοολούχα ποτά

Η νοθεία στο κρασί μπορεί να γίνει με λανθασμένη αναγραφή της ποικιλίας, της γεωγραφικής προέλευσης ή της χρονιάς εσοδείας, με προσθήκη αιθανόλης, ζάχαρης και χρωστικών ουσιών. Η ποιότητα του κρασιού καθορίζεται από διάφορους παράγοντες, όπως ο τύπος των ποικιλιών αμπέλου, το έδαφος, οι αμπελουργικές πρακτικές, οι τεχνικές οινοποίησης και οι συνθήκες παλαίωσης. Η ποικιλία των σταφυλιών αποτελεί βασικό παράγοντα για τον καθορισμό της γεύσης του κρασιού, ιδίως κατά την παραγωγή οίνων υψηλής ποιότητας. Έτσι, η νοθεία αυτών των τύπων οίνων με φθηνότερες ποικιλίες σταφυλιών είναι συχνή (Merkytė et al., 2020). Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι πως η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Καταπολέμησης της Απάτης ανακάλυψε πάνω από ένα εκατομμύριο λίτρα παραποιημένου κρασιού (OLAF, 2020).

Το *terroir* είναι ένας γαλλικός όρος που ορίζει τον πολύ συγκεκριμένο συνδυασμό γεωγραφικών, κλιματικών και εδαφολογικών παραγόντων, που χαρακτηρίζει την ανάπτυξη και την ποιότητα των σταφυλιών. Το *terroir* επηρεάζεται κυρίως από τις κλιματικές και εδαφικές συνθήκες και συνδέεται στενά με τις αμπελουργικές πρακτικές και το έτος εσοδείας. Μία από τις πτυχές που σχετίζονται με την αυθεντικότητα του κρασιού βασίζεται στις ποικιλίες αμπέλου, δηλαδή το μείγμα, που χρησιμοποιούνται στην οινοποίηση, στη γεωγραφική τους προέλευση και στον τρύγο (Pisano et al., 2015). Η γνησιότητα που σχετίζεται με το *terroir* διασφαλίζεται από αυστηρές κατευθυντήριες γραμμές που έχουν εγκριθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση και βασίζονται επίσης σε εθνικούς κανόνες και στις ενδείξεις του Διεθνούς Οργανισμού Αμπέλου και Οίνου (OIV, 2015).

2.2. Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία από τη νοθεία στα αλκοολούχα ποτά

Η κατανάλωση νοθευμένων ποτών έχει μακροχρόνιες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Από τις ενώσεις που χρησιμοποιούνται για την νοθεία στο αλκοόλ, πολλές από αυτές έχουν επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, με μείζονες ανησυχίες, όπως η καρκινογένεση, η νευροτοξικότητα και η βλάβη οργάνων, καθώς και οι ενδοκρινικές διαταραχές, συμπεριλαμβανομένης της αναπτυξιακής και αναπαραγωγικής τοξικότητας (Muncke et al., 2014).

Το κύριο συστατικό της νοθείας είναι η πρόσθετη εμπορική αιθανόλη και ο μεταβολίτης της ακεταλδεΐδη και είναι πιθανότατα οι κύριοι παράγοντες που συμβάλλουν στην καρκινογένεση και τις χρόνιες ασθένειες. Πάνω από το ένα τέταρτο του συνολικού αλκοόλ που καταναλώνεται παγκοσμίως είναι μη καταγεγραμμένο, παράνομο (πρόσθετο) ή χαρακτηρίζεται με άλλο τρόπο ως μη αναφερόμενο. Η νόθευση της αλκοόλης περιλαμβάνει τη μη δηλούμενη χρήση αιθυλενογλυκόλης και μεθανόλης για τον εμπλουτισμό (αύξηση του αλκοολικού επιπέδου) ή/και τη βελτίωση της γεύσης (Neufeld et al., 2016).

Τα παράνομα παραγόμενα αλκοολούχα ποτά είναι ως επί το πλείστον ποτά που έχουν υποστεί ζύμωση και παρασκευάζονται από σόργο, κεχρί, αραβόσιτο, ρύζι, σιτάρι ή φρούτα. Η μεθανόλη μπορεί να παραχθεί κατά τη διαδικασία της ζύμωσης και η παρουσία της μαζί με την αιθανόλη στα αποσταγμένα οινοπνευματώδη ποτά μπορεί να αποτελέσει κίνδυνο για την υγεία. Η κατανάλωση μεθανόλης προκαλεί όχι μόνο θάνατο, αλλά και τύφλωση, αν και τα προβλήματα προέρχονται συνήθως από την παράνομη προσθήκη μεθανόλης στα αλκοολούχα ποτά (Neufeld et al., 2016).

Ακόμη, πρέπει να ληφθεί υπόψη η επίδραση άλλων ενώσεων που υπάρχουν στα νοθευμένα ποτά. Ο IARC (International Agency for Research on Cancer – Διεθνής Οργανισμός Ερευνών για τον Καρκίνο) έχει εντοπίσει διάφορες προσμίξεις εντός της αλκοόλης που είναι γνωστές ή ύποπτες για καρκινογένεση. Επίσης, εντοπίζονται συστατικά που εξυπηρετούν συγκεκριμένες λειτουργίες στα αλκοολούχα προϊόντα, όπως η γεύση ή το άρωμα, τα οποία δε θεωρούνται νοθεία (Manning & Kowalska, 2021).

2.3. Νομοθεσία Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) και Αμερικής σχετική με τη νοθεία των αλκοολούχων ποτών

Η έκθεση του ανθρώπου σε συνθετικές χημικές ουσίες είναι ένα αυξανόμενο ζήτημα στον εκσυγχρονισμένο κόσμο, το οποίο επιδεινώνεται με την εκβιομηχάνιση. Στον Πίνακα 4 παρατίθενται διάφοροι διεθνείς ρυθμιστικοί φορείς και σχετικά έγγραφα που περιέχουν πληροφορίες σχετικά με τους μολυσματικούς παράγοντες και την ασφάλεια των τροφίμων. Παρόλο που πολλές από τις διαπιστωμένες προσμείξεις στα αλκοολούχα προϊόντα διέπονται από ρυθμιστικά όρια, όπως ανώτατα όρια υπολειμμάτων, ανώτατα επίπεδα ή ειδικά όρια μετανάστευσης που έχουν θεσπιστεί από διάφορες αρχές, τα συγκεκριμένα όρια δεν είναι αυστηρά καθορισμένα για κάθε μία ουσία. Αυτό δεν προκαλεί έκπληξη, καθώς τα ρυθμιστικά όρια είναι προφανώς πιο κρίσιμα για τις προσμείξεις με οξείες ή σοβαρές επιπτώσεις και για εκείνες που αντιπροσωπεύουν χρόνια προβλήματα σε ένα συγκεκριμένο προϊόν ή κλάδο, και επιπλέον τα ακριβή επίπεδα των κινδύνων που ενέχουν πολλές ενώσεις δεν έχουν ακόμη κατανοηθεί πλήρως.

Πίνακας 3 Νομοθεσία Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα αλκοολούχα ποτά

Είδος / Αρ. Πράξης	Τίτλος	Δημοσίευση στην επίσημη εφημερίδα
I. ΕΙΔΙΚΗ (ΚΑΘΕΤΗ) ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ		
<p>Κανονισμός (ΕΕ) 2019/787 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 17ης Απριλίου 2019,</p>	<p>για τον ορισμό, την περιγραφή, την παρουσίαση και την επισήμανση των αλκοολούχων ποτών, τη χρήση των ονομασιών των αλκοολούχων ποτών στην παρουσίαση και επισήμανση άλλων τροφίμων, την προστασία των γεωγραφικών ενδείξεων για τα αλκοολούχα ποτά, τη χρήση της αιθυλικής αλκοόλης και των προϊόντων απόσταξης γεωργικής προέλευσης σε ποτά με αλκοόλη, και για την κατάργηση του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 110/2008</p>	<p>ΕΕ L 130 της 17/5/2019 σ. 1 έως 54</p>
<p>Κανονισμός (ΕΚ) 110/2008 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 15ης Ιανουαρίου 2008,</p>	<p>σχετικά με τον ορισμό, την περιγραφή, την παρουσίαση, την επισήμανση και την προστασία των γεωγραφικών ενδείξεων των αλκοολούχων ποτών και την κατάργηση του κανονισμού (ΕΟΚ) αριθ.1576/89 του Συμβουλίου</p>	<p>ΕΕ L 39 της 13/2/2008, σ. 16-54</p>
<p>Εκτελεστικός Κανονισμός (ΕΕ) 716/2013 της Επιτροπής, της 25ης Ιουλίου 2013</p>	<p>για τη θέσπιση των κανόνων εφαρμογής του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 110/2008 σχετικά με τον ορισμό, την περιγραφή την παρουσίαση, την επισήμανση και την προστασία των γεωγραφικών ενδείξεων των αλκοολούχων ποτών</p>	<p>ΕΕ L201 της 26/7/2013 σ. 21-30</p>

Κανονισμός (ΕΚ) 936/2009 της Επιτροπής, της 7ης Οκτωβρίου 2009	για την εφαρμογή των συμφωνιών μεταξύ της Ευρωπαϊκής Ένωσης και των τρίτων χωρών όσον αφορά την αμοιβαία αναγνώριση ορισμένων αλκοολούχων ποτών	EE L 265 της 08/10/2009, σ. 5-6
Κανονισμός 2870/2000 της Επιτροπής, της 19ης Δεκεμβρίου 2000,	για τον καθορισμό των κοινοτικών μεθόδων αναφοράς που εφαρμόζονται στις αναλύσεις στον τομέα των αλκοολούχων ποτών	EE L 333 της 29/12/2000, σ. 20-46
II. ΓΕΝΙΚΗ (ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ) ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ		
Κανονισμός 178/2002 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 28ης Ιανουαρίου 2002,	για τον καθορισμό των γενικών αρχών και απαιτήσεων της νομοθεσίας για τα τρόφιμα ,για την ίδρυση της Ευρωπαϊκής Αρχής για την Ασφάλεια των Τροφίμων και τον καθορισμό των διαδικασιών σε θέματα ασφαλείας των τροφίμων	EEL 31 της 01/02/2002, σ. 1-24
Κανονισμός 852/2004 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 29ης Απριλίου 2004,	για την υγιεινή των τροφίμων	EEL 226 της 25/6/2004, σ. 1-54
Κανονισμός (ΕΕ) 2017/625 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του	για τους επίσημους ελέγχους και τις άλλες επίσημες δραστηριότητες που διενεργούνται με σκοπό την εξασφάλιση της εφαρμογής της νομοθεσίας για τα τρόφιμα και τις ζωοτροφές και των κανόνων για την υγεία και την καλή	EE L 95 της 7/4/2017 σ. 1 έως 142

<p>Συμβουλίου της 15ης Μαρτίου 2017</p>	<p>μεταχείριση των ζώων, την υγεία των φυτών και τα φυτοπροστατευτικά προϊόντα, για την τροποποίηση των κανονισμών του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου (ΕΚ) αριθ. 999/2001, (ΕΚ) αριθ. 396/2005, (ΕΚ) αριθ. 1069/2009, (ΕΚ) αριθ. 1107/2009, (ΕΕ) αριθ. 1151/2012, (ΕΕ) αριθ. 652/2014, (ΕΕ) 2016/429 και (ΕΕ) 2016/2031, των κανονισμών του Συμβουλίου (ΕΚ) αριθ. 1/2005 και (ΕΚ) αριθ. 1099/2009 και των οδηγιών του Συμβουλίου 98/58/ΕΚ, 1999/74/ΕΚ, 2007/43/ΕΚ, 2008/119/ΕΚ και 2008/120/ΕΚ και για την κατάργηση των κανονισμών του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου (ΕΚ) αριθ. 854/2004 και (ΕΚ) αριθ. 882/2004, των οδηγιών του Συμβουλίου 89/608/ΕΟΚ, 89/662/ΕΟΚ, 90/425/ΕΟΚ, 91/496/ΕΟΚ, 96/23/ΕΚ, 96/93/ΕΚ και 97/78/ΕΚ και της απόφασης 92/438/ΕΟΚ του Συμβουλίου</p>	
<p>Κανονισμός (ΕΕ) 1169/2011 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 25ης Οκτωβρίου 2011</p>	<p>σχετικά με την παροχή πληροφοριών για τα τρόφιμα στους καταναλωτές, την τροποποίηση των κανονισμών του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου (ΕΚ) αριθ. 1924/2006 και (ΕΚ) αριθ. 1925/2006 και την κατάργηση της οδηγίας 87/250/ΕΟΚ της Επιτροπής, της οδηγίας 90/496/ΕΟΚ του Συμβουλίου, της οδηγίας 1999/10/ΕΚ της Επιτροπής, της οδηγίας 2000/13/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, των οδηγιών της Επιτροπής 2002/67/ΕΚ και 2008/5/ΕΚ και του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 608/2004 της Επιτροπής</p>	<p>EEL 304 της 22/11/2011, σ. 18-63</p>

<p>Κανονισμός (ΕΚ) 1935/2004 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 27ης Οκτωβρίου 2004</p>	<p>σχετικά με τα υλικά και αντικείμενα που προορίζονται να έρθουν σε επαφή με τρόφιμα και με την κατάργηση των οδηγιών 80/590/ΕΟΚ και 89/109/ΕΟΚ</p>	<p>ΕΕ L 338 της 13/11/2004, < σ. 4 έως 17</p>
<p>Κανονισμός (ΕΚ) 1333/2008 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 16ης Δεκεμβρίου 2008</p>	<p>που αφορά στα πρόσθετα τροφίμων</p>	<p>ΕΕ L 354 της 16/12/2008, σ. 16 έως 33</p>
<p>Κανονισμός (ΕΚ) 1334/2008 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 16ης Δεκεμβρίου 2008</p>	<p>για αρωματικές ύλες και ορισμένα συστατικά τροφίμων με αρωματικές ιδιότητες που χρησιμοποιούνται εντός και επί των τροφίμων και για την τροποποίηση του κανονισμού (ΕΟΚ) αριθ. 1601/91 του Συμβουλίου, του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 2232/96, του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 110/2008 και της οδηγίας 2000/13/ΕΚ</p>	<p>ΕΕ L 354 της 16/12/2008, σ. 34-50</p>
<p>Οδηγία 2007/45/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 5ης Σεπτεμβρίου 2007,</p>	<p>για την θέσπιση κανόνων σχετικά με τις ονομαστικές ποσότητες για προσυσκευασμένα προϊόντα για την κατάργηση των οδηγιών 75/106/ΕΟΚ και 80/232/ΕΟΚ και για την τροποποίηση της οδηγίας 76/211/ΕΟΚ του Συμβουλίου</p>	<p>ΕΕ L 247 της 5/09/2007 σ.17</p>

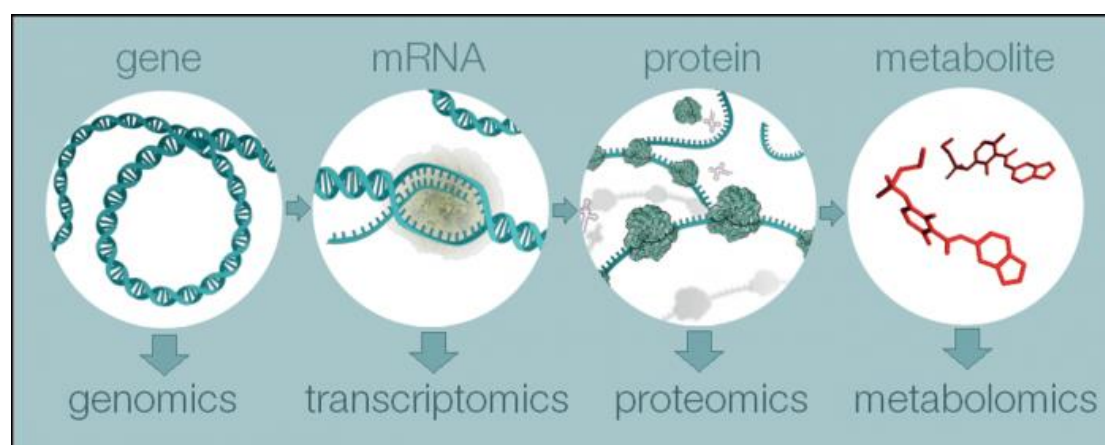
Ένα από τα πιο γνωστά σκάνδαλα στην νοθεία ποτών έγινε γνωστό από την OLAF που συμμετείχε στην επιχείρηση και ηγήθηκε μιας στοχευμένης δράσης που επικεντρώθηκε ειδικά στα παράνομα αλκοολούχα ποτά. Η OLAF συντόνισε τις δραστηριότητες 24 χωρών: Αυστρία, Βέλγιο, Βουλγαρία, Γαλλία, Γερμανία, Δανία, Εσθονία, Ελλάδα, Ιρλανδία, Ισπανία, Ιταλία, Κροατία, Λετονία, Λιθουανία, Λουξεμβούργο, Μάλτα, Ολλανδία, Ουγγαρία, Πολωνία, Πορτογαλία, Ρουμανία, Νορβηγία, Φινλανδία και Τσεχία. Οι τελωνειακές και αστυνομικές αρχές στην Ευρώπη κατάσχισαν περίπου 6 εκατομμύρια λίτρα παραποιημένων, υποβαθμισμένων ή λαθραίων αλκοολούχων ποτών, κρασιού και μπύρας (europa, 2023). Άλλο παράδειγμα είναι το σκάνδαλο του κρασιού Brunello, το οποίο συνέβη τη δεκαετία του 2000, όταν αποκαλύφθηκε ότι ορισμένοι παραγωγοί Brunello di Montalcino, ένα κρασί που πρέπει να παράγεται αποκλειστικά από την ποικιλία σταφυλιού Sangiovese, πρόσθεταν άλλες ποικιλίες σταφυλιών στο μείγμα τους (Cavicchi and Santini, 2011).

3. Μεταβολομική και νοθεία τροφίμων

3.1. Εισαγωγή στη μεταβολομική

3.1.1. Τι είναι η μεταβολομική

Η μεταβολομική είναι η μεγάλης κλίμακας μελέτη μικρών μορίων, κοινώς γνωστών ως μεταβολιτών, εντός κυττάρων, βιορευστών, ιστών ή οργανισμών. Συλλογικά, αυτά τα μικρά μόρια και οι αλληλεπιδράσεις τους εντός ενός βιολογικού συστήματος είναι γνωστά ως μεταβολόγραμμα. Όπως η γονιδιωματική είναι η μελέτη του DNA και των γενετικών πληροφοριών εντός ενός κυττάρου και η μεταγραφομική είναι η μελέτη του RNA και των διαφορών στην έκφραση του mRNA, έτσι και η μεταβολομική είναι η μελέτη των υποστρωμάτων και των προϊόντων του μεταβολισμού, τα οποία επηρεάζονται τόσο από γενετικούς όσο και από περιβαλλοντικούς παράγοντες (Εικόνα 1).



Εικόνα 1 Γονιδιωματική, μεταγραφομική, πρωτεομική και μεταβολομική
(Πηγή: EMBL-EBI, 2023)

Η μεταβολομική είναι μια ισχυρή προσέγγιση επειδή οι μεταβολίτες και οι συγκεντρώσεις τους, σε αντίθεση με άλλες ωμικές μετρήσεις, αντικατοπτρίζουν άμεσα την υποκείμενη βιοχημική δραστηριότητα και την κατάσταση των κυττάρων και των ιστών. Συνεπώς, η μεταβολομική αντιπροσωπεύει καλύτερα τον μοριακό φαινότυπο (Clish, 2015).

Στην πράξη, η μεταβολομική, σε αντίθεση με τις γονιδιωματικές και πρωτεωμικές μεθόδους, στοχεύει στη μέτρηση μορίων που έχουν διαφορετικές φυσικές ιδιότητες π.χ., που κυμαίνονται σε πολικότητα από πολύ υδατοδιαλυτά οργανικά οξέα έως πολύ μη πολικά λιπίδια. Κατά συνέπεια, οι ολοκληρωμένες πλατφόρμες μεταβολομικής τεχνολογίας ακολουθούν συνήθως τη στρατηγική της διαίρεσης του μεταβολώματος σε υποσύνολα μεταβολιτών.

Παρόλο που αυτή η ποικιλομορφία τεχνικών συνδέεται με την καινοτομία στον τομέα, δημιουργεί πιθανές προκλήσεις κατά τη σύγκριση δεδομένων μεταξύ εργαστηρίων λόγω θεμάτων όπως οι διαφορές στην ακρίβεια των μετρήσεων για επιλεγμένες κατηγορίες μεταβολιτών ή η μη επικαλυπτόμενη κάλυψη μεταβολιτών. Επιπλέον, ο βαθμός βεβαιότητας στην ταυτοποίηση μεταβολιτών μπορεί να ποικίλλει μεταξύ των μεθόδων, κυμαινόμενος από ταυτότητες μεταβολιτών που επιβεβαιώνονται αυστηρά με τη χρήση αυθεντικών προτύπων αναφοράς έως υποθετικές ταυτοποιήσεις που γίνονται με τη χρήση βάσεων δεδομένων αναφοράς έως σήματα που παραμένουν ως άγνωστα (Kuehnbaum & Britz-McKibbin 2013).

3.1.2. Αναλυτικές τεχνικές για τη μεταβολομική

Η ανίχνευση, η ανάλυση και η ταυτοποίηση των μεταβολιτών αποτελούν τον πυρήνα της μεταβολομικής. Ο πυρηνικός μαγνητικός συντονισμός (NMR – Nuclear magnetic resonance) και η φασματομετρία μάζας (MS – mass spectrometry) είναι οι δύο κύριες τεχνικές μέτρησης της μεταβολομικής. Το NMR μπορεί να παρέχει εξαιρετική αναπαραγωγιμότητα και ποσοτική ακρίβεια, καθώς και δεδομένα για τη διαλεύκανση των δομών των ενώσεων μέσω μη καταστροφικής μέτρησης (Tsugawa, 2018).

Η MS και η MSn (φασματοσκοπία μάζας σε σειρά) μπορούν να παρέχουν κατατοπιστικό και ακριβή προσδιορισμό μάζας, δομική ταυτοποίηση και μπορούν να εκτιμήσουν τα περιεχόμενα με υψηλή ευαισθησία. Επιπλέον, τα όργανα MS μπορούν επίσης να είναι προσιτά στο επίπεδο της αναλυτικής ανάλυσης σε χαμηλή τιμή. Για τους λόγους αυτούς, η MS έχει γίνει η πιο διαδεδομένη τεχνική μεταβολομικής. Γενικά, τα συστήματα MS ή NMR συνδέονται με οργανολογίες διαχωρισμού. Οι τεχνικές διαχωρισμού, όπως η υγρή χρωματογραφία (LC – liquid chromatography), η

αέρια χρωματογραφία (GC – gas chromatography) και η τριχοειδής ηλεκτροφόρηση (CE – capillary electrophoresis), βελτιώνουν την ταυτοποίηση και τον ποσοτικό προσδιορισμό των μεταβολιτών μειώνοντας την πολυπλοκότητα των δειγμάτων (Tsugawa, 2018).

Με τις μελέτες που έχουν γίνει, έχουν σημειωθεί σημαντικές πρόοδοι στις διεπαφές ολοκλήρωσης συστημάτων διαχωρισμού και MS, στη χρωματογραφική απόδοση διαχωρισμού, στην ανάλυση MS, στην ευαισθησία του ανιχνευτή και στην απόκτηση δεδομένων. Παρακάτω, αναφέρονται διάφορες κοινές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στη μεταβολομική και καταγράφονται τα πλεονεκτήματα, τα μειονεκτήματα και η εφαρμοσιμότητά τους (Tsugawa, 2018).

3.1.2.1. Αέρια χρωματογραφία -φασματομετρία μάζας (GC-MS)

Η αέρια χρωματογραφία -φασματομετρία μάζας (GC-MS) είναι μια πρόιμη και συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος στις μετρήσεις της μεταβολομικής. Η τεχνική GC-MS έχει τα πλεονεκτήματα της καλής απόδοσης διαχωρισμού, της εύκολης λειτουργίας και της μεγαλύτερης οικονομίας. Ακόμη, μπορεί να αναλύσει ταυτόχρονα εκατοντάδες ενώσεις και είναι εξοπλισμένη με μια τυποποιημένη βιβλιοθήκη φάσματος μεταβολιτών, η οποία μπορεί να αναλύσει γρήγορα και με ακρίβεια ποιοτικά τους μεταβολίτες (Stettin et al., 2020).

Παρόλα αυτά, η τεχνική αυτή έχει μερικά μειονεκτήματα. Παρόλο που είναι κατάλληλη για πτητικές και μη θερμοευαίσθητες ενώσεις, η τεχνική GC-MS δεν είναι κατάλληλη για λιγότερο πτητικές ενώσεις και μπορεί να αλλάξει σε ορισμένες ενώσεις λόγω της προσπάθειας που απαιτείται για τα παράγωγα. Επιπλέον, παρόλο που τα δεδομένα υψηλής ανάλυσης βελτιώνουν μόνο ελαφρώς την αντιστοίχιση της συμβατικής βιβλιοθήκης, με τα σαφή πλεονεκτήματά της όσον αφορά την ευαισθησία και τη μεταβολική κάλυψη, η αέρια χρωματογραφία υψηλής ανάλυσης (HRGC – high resolution gas chromatography) εξακολουθεί να είναι η καταλληλότερη τεχνική για την ανάλυση πτητικών ενώσεων. Συνεπώς, η τεχνική GC-MS χρησιμοποιείται κυρίως σε στοχευμένες μελέτες μεταβολομικής ή ως συμπλήρωμα της μη στοχευμένης LC-MS μεταβολομικής ανάλυσης (Stettin et al., 2020).

Η GC×GC έχει τα χαρακτηριστικά της υψηλής ανάλυσης, της υψηλής ευαισθησίας και του σύντομου χρόνου ανάλυσης. Επομένως, σε σειρά με TOF, το GC×GC-TOF-MS μπορεί όχι μόνο να διαχωρίσει με ακρίβεια τους μεταβολίτες από τα δείγματα, αλλά και να προσδιορίσει με ακρίβεια το σχετικό μοριακό βάρος των μεταβολιτών. Σε σύγκριση με τη μονοδιάστατη GC, η σύζευξη ολοκληρωμένης δισδιάστατης αέριας χρωματογραφίας (GC × GC) και φασματομετρίας μάζας υψηλής ανάλυσης (HRMS) παρέχει υψηλότερη ευαισθησία κατά της ταυτοποίηση κορυφών για την ανάλυση ενώσεων-στόχων (Beckstrom et al., 2012).

3.1.2.2. Υγρή χρωματογραφία-φασματομετρία μάζας (LC-MS)

Η υγρή χρωματογραφία-φασματομετρία μάζας (LC-MS – Liquid chromatography-mass spectrometry) εφαρμόζεται στη μεταβολομική για την ανάλυση και την ανίχνευση ενώσεων, και αναπληρώνει τις ελλείψεις του GC-MS. Η τεχνική LC-MS είναι κατάλληλη για μεταβολίτες με χαμηλή πτητικότητα και κακή θερμική σταθερότητα και αποτελεί άλλη μια σημαντική πλατφόρμα στην έρευνα της μεταβολομικής.

Έτσι, μια μέθοδος ανάλυσης που βασίζεται στην LC-MS είναι κατάλληλη για δείγματα ανάλυσης μεταβολομικής, ιδίως με την μέθοδο διαχωρισμού αντίστροφης φάσης (RP). Τα μέρη των δειγμάτων μπορούν να εγχυθούν απευθείας στη χρωματογραφική στήλη χωρίς καμία προεπεξεργασία. Αυτός ο διαχωρισμός με διαβάθμιση έκλουσης αντίστροφης φάσης είναι κατάλληλος για την ανάλυση μεσαίων και χαμηλών πολικών ενώσεων, ενώ οι πιο πολικές ενώσεις (όπως τα αμινοξέα και τα σάκχαρα) μπορούν να χαρακτηριστούν με χρωματογραφία υδρόφιλης ανταλλαγής (HILIC) (Theodoridis et al., 2008).

Τα κύρια προβλήματα που αντιμετωπίζονται είναι ο μεγάλος όγκος δοκιμαστικών δειγμάτων, ο δύσκολος διαχωρισμός, η μεγάλη ποσότητα συστατικών παρεμβολής του υποστρώματος (matrix effect) και η χαμηλή περιεκτικότητα των υπό ταυτοποίηση ουσιών στα δείγματα. Λόγω των πλεονεκτημάτων της υψηλής ευαισθησίας, της υψηλής εκλεκτικότητας, της υψηλής απόδοσης και της ανιχνευσιμότητας των υπολειμματικών ενώσεων, η υγρή χρωματογραφία-ταυτόχρονη φασματομετρία μάζας (LC-MS/MS) μπορεί να αποφύγει τις πολύπλοκες, κουραστικές

και χρονοβόρες μεθόδους επεξεργασίας δειγμάτων. Ακόμη, μπορεί να διαχωρίσει και να ταυτοποιήσει τους μεταβολίτες ιχθών φαρμάκων που είναι δύσκολο να ταυτοποιηθούν. Επιπλέον, μπορεί να βελτιώσει την ειδικότητα της ανάλυσης. Τέλος μπορεί να βελτιώσει τον λόγο σήματος προς θόρυβο και την ευαισθησία μέσω της ανίχνευσης πολλαπλών αντιδράσεων, ώστε να επιλύσει τα παραπάνω προβλήματα γρήγορα και εύκολα (Theodoridis et al., 2008).

Λόγω της μεγάλης ποσότητας συστατικών του υποστρώματος (πχ. βιολογικού δείγματος) που παρεμποδίζουν, οι ουσίες που συνυπάρχουν επηρεάζουν τον ιονισμό του αναλυτή και αυξάνουν ή μειώνουν την απόκριση του φάσματος μάζας του αναλυτή. Αυτό επηρεάζει την ακρίβεια και την ακρίβεια της μεθόδου ανάλυσης LC-MS/MS. Η επίδραση της μήτρας (matrix effect) αποτελεί ειδικό πρόβλημα στην ανάλυση LC-MS/MS, επομένως είναι πολύ σημαντικό να ξεπεραστεί ή να μειωθεί αυτό το φαινόμενο (Theodoridis et al., 2008).

3.1.2.3. Ηλεκτροφόρηση με τριχοειδή ηλεκτροφόρηση-φασματομετρία μάζας (CE-MS)

Η τριχοειδής ηλεκτροφόρηση-φασματομετρία μάζας (CE-MS – Capillary electrophoresis-mass spectrometry) είναι μια καλή ενσωμάτωση των σύγχρονων τεχνικών διαχωρισμού με μικρο-στήλη και ηλεκτροφόρησης για την επίτευξη αποτελεσματικού, μικρο- και γρήγορου διαχωρισμού ουσιών. Η CE-MS έχει αναπτυχθεί ραγδαία τα τελευταία χρόνια. Έχει τα χαρακτηριστικά της μη ειδικής επεξεργασίας των δειγμάτων, της χαμηλής δοσολογίας, του χαμηλού κόστους αντιδραστηρίων, της γρήγορης ταχύτητας ανάλυσης, της υψηλής ευαισθησίας, της υψηλής απόδοσης και του σύντομου χρόνου εξέτασης.

Για ισχυρούς πολικούς μεταβολίτες που ιονίζονται εύκολα, το CE-MS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίτευξη καλύτερων αναλυτικών αποτελεσμάτων σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες. Ωστόσο, η CE-MS έχει δύο κύριους περιορισμούς: την ευαισθησία και την αναπαραγωγιμότητα. Η μικρή ποσότητα δείγματος που εγχέεται αποτελεί μειονέκτημα όσον αφορά την ευαισθησία και, στη συνέχεια, η χρονική μετατόπιση είναι ένα κοινό πρόβλημα στη μεταβολική φαινοτυποποίηση (Rowena & Soga, 2007).

3.1.2.4. Απεικόνιση φασματομετρίας μάζας (MSI)

Η απεικόνιση με φασματομετρία μάζας (MSI – mass spectrometry imaging) είναι μία τεχνική για την παθολογική ανάλυση και τη διερεύνηση των μηχανισμών, λόγω της ικανότητάς της να συνδέει άμεσα τις μοριακές αλλαγές και την ιστολογία. Η επεξεργασία των δειγμάτων για το MSI είναι εύκολη, και δεν απαιτεί φθορισμό ή ραδιοϊσότοπη σήμανση και διαθέτει ευρύ φάσμα μαζών, επιτρέποντας την ανάλυση στοιχείων, μεταβολιτών, πεπτιδίων και πρωτεϊνών. Η MSI ταξινομείται κυρίως ανάλογα με τον τρόπο ιονισμού (probe), ο οποίος επί του παρόντος περιλαμβάνει κυρίως τους ακόλουθους τρεις τύπους (Wiseman et al., 2008):

- Φασματομετρία μάζας δευτερογενών ιόντων (SIMS – Secondary ion mass spectrometry), η οποία πρέπει να διεξάγεται σε συνθήκες κενού
- Ιονισμός εκρόφησης με λέιζερ υποβοηθούμενο από μήτρα (MALDI - Laser-assisted matrix-assisted ionization by laser desorption) και
- Ιονισμός με ηλεκτροψεκασμό εκρόφησης (DESI - Ionization by electrospray desorption)

Αν και η MSI είναι μια νέα εξαιρετική τεχνολογία που μας επιτρέπει να προσδιορίσουμε την κατανομή ενδογενών ή εξωγενών μορίων που υπάρχουν στον ιστό, υπάρχουν μειονεκτήματα στην κατασκευή μιας αναλυτικής πλατφόρμας για την MSI: Στην MALDI-MSI απαιτείται η ανάπτυξη μιας νέας μήτρας και η εφαρμογή της. Αντίθετα, η DESI-MSI έχει χωρική ανάλυση και η τιμή της είναι περίπου 200 μm, σε σύγκριση με 20 μm με τη χρήση MALDI.

3.1.2.5. Πυρηνικός μαγνητικός συντονισμός (NMR)

Ο πυρηνικός μαγνητικός συντονισμός (NMR – Nuclear Magnetic Resonance) είναι μια μη καταστροφική, αμερόληπτη τεχνική ανάλυσης που παρέχει ακριβείς πληροφορίες για τη μοριακή δομή των ενώσεων. Το NMR έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στην ποιοτική και ποσοτική ανάλυση των μεταβολιτών. Το NMR πρωτονίων (^1H -NMR) εφαρμόζεται εκτενώς στην έρευνα της μεταβολομικής για τα άτομα ^1H , τα οποία είναι παρόντα στους περισσότερους οργανικούς μεταβολίτες [33,34]. Εκτός από την παρουσία τους παντού, τα άτομα ^1H παρουσιάζουν την μεγαλύτερη ένταση

σήματος NMR με πολύ υψηλή (~99%) φυσική αφθονία ισοτόπων και παρουσιάζουν εξαιρετικά στενά πλάτη γραμμών (Bharti & Roy, 2012).

Παρά τα πολλά πλεονεκτήματα των φασμάτων $^1\text{H-NMR}$, υπάρχουν αρκετοί περιορισμοί στη χρήση των τεχνικών NMR. Για ένα σχετικά στενό εύρος χημικής μετατόπισης (~10 ppm), υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα επικαλυπτόμενων κορυφών στα φάσματα $^1\text{H-NMR}$, γεγονός που οδηγεί σε αβεβαιότητα στην ταυτοποίηση και τον ποσοτικό προσδιορισμό ενώσεων. Επιπλέον, η φασματοσκοπία $^{13}\text{C-NMR}$ έχει ένα μάλλον ευρύ (~200 ppm) εύρος χημικής μετατόπισης, αλλά η εφαρμογή του πειράματος $^{13}\text{C-NMR}$ είναι περιορισμένη στη μεταβολομική, λόγω του γεγονότος ότι η φυσική αφθονία του ^{13}C (~1,1%) και η ευαισθησία του πυρήνα ^{13}C είναι χαμηλή (Bharti & Roy, 2012).

Η φασματική επικάλυψη μπορεί να μειωθεί αποτελεσματικά με την αύξηση της φασματικής διάστασης και, συνεπώς, την τελευταία δεκαετία έχει εκδηλωθεί αυξημένο ενδιαφέρον για τη χρήση του δισδιάστατου (2D) NMR για ποσοτική ανάλυση. Υπάρχουν διάφορα ομόπυκνα και ετερόπυκνα πειράματα 2D-NMR, συμπεριλαμβανομένων των πειραμάτων φασματοσκοπίας συσχέτισης $^1\text{H-}^1\text{H}$ (COSY) και φασματοσκοπίας πυρηνικού φαινομένου overhauser (NOESY) μαζί με ^1H , ^{13}C -ετεροπυρηνική απλή κβαντική συσχέτιση (HSQC) και ετεροπυρηνική συσχέτιση πολλαπλών δεσμών (HMBC). Η χρήση του 2D-NMR για τη μεταβολομική έχει προσελκύσει την προσοχή τα τελευταία χρόνια και οι ενώσεις-στόχοι αποδεικνύονται ευκολότερα με το 2D-NMR από ό,τι με το 1D-NMR. Δεδομένου ότι τα κλασικά φάσματα 2D-NMR αποκτώνται ως σειρά φασμάτων 1D, η απόκτηση των πρώτων απαιτεί μεγαλύτερο χρόνο από ό,τι των δεύτερων (Emwas et al., 2019).

Το LC-NMR βελτιώνει σημαντικά τις δυνατότητες της μεταβολομικής με βάση το NMR. Ο συνδυασμός LC με NMR εκμεταλλεύεται τις σύγχρονες τεχνικές χρωματογραφικού διαχωρισμού (HPLC και UPLC) για να μειώσει σημαντικά το πολύπλοκο δείγμα. Το LC-NMR μπορεί να λειτουργήσει εκτός σύνδεσης με τη χρήση συλλεκτών κλασμάτων και σωλήνων NMR ή σε απευθείας σύνδεση με τη χρήση ανιχνευτών ροής (που είναι ταχύτερο και απλούστερο). Η LC-NMR τεχνική έχει ωστόσο ορισμένα μειονεκτήματα. Για παράδειγμα, οι μεγάλες ποσότητες του διαλύτη ενός δείγματος αραίωσης μειώνουν την ευαισθησία ανίχνευσης του δείγματος κατά τον

χρωματογραφικό διαχωρισμό (Emwas et al., 2019). Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται συνοπτικά τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των παραπάνω τεχνικών.

Πίνακας 4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των τεχνικών ανάλυσης για τη μεταβολική.

Μεταβολομική τεχνική	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
GC-MS	<p>Υψηλή ευαισθησία</p> <p>Εύκολη λειτουργία</p> <p>Οικονομικό</p> <p>Αναζήτηση στη βιβλιοθήκη φάσματος άγνωστης ύλης</p> <p>Κατάλληλο για πτητικές και μη θερμοσταθερές ενώσεις.</p>	<p>Η ένωση μπορεί να αλλάξει</p> <p>Δεν είναι κατάλληλη για λιγότερο πτητικές ενώσεις.</p>
LC-MS	<p>Κατάλληλο για μεταβολίτες με χαμηλή πτητικότητα</p> <p>Κακή θερμική σταθερότητα και ανάλυση μείγματος</p> <p>Υψηλή ευαισθησία</p>	<p>Φτωχή ικανότητα διάκρισης ισομερών και στερεοχημείας</p> <p>Φτωχή αναπαραγωγιμότητα</p> <p>Αυστηρές συνθήκες λειτουργίας</p>

	<p>Μεγάλο εύρος</p> <p>Γρήγορη</p> <p>Ποιοτική και ποσοτική ανάλυση.</p>	<p>Φαινόμενα μνήμης και μόλυνση από πηγές ιόντων</p> <p>Πολύπλοκη και δαπανηρή λειτουργία</p> <p>Φαινόμενο ποιοτικής διάκρισης.</p>
ES-MS	<p>Δεν απαιτείται ειδική επεξεργασία των δειγμάτων</p> <p>Χαμηλή δοσολογία</p> <p>Οικονομική</p> <p>Γρήγορη</p> <p>Υψηλή ευαισθησία</p> <p>Υψηλή απόδοση</p> <p>Μικρός χρόνος εξέτασης</p> <p>Πολλαπλές λειτουργίες.</p>	<p>Φτωχή ικανότητα προετοιμασίας</p> <p>Χαμηλή ευαισθησία σε ορισμένες μεθόδους ανίχνευσης</p> <p>Χαμηλή αναπαραγωγιμότητα διαχωρισμού.</p>
MSI	<p>Χωρίς φθορισμό ή ραδιοϊσοτοπική σήμανση</p> <p>Μεγάλο εύρος μαζών</p>	<p>Απαιτείται η ανάπτυξη νέας μήτρας και η εφαρμογή της στο MALDI-MSI.</p>

	<p>Υψηλή απόδοση</p> <p>Υψηλή αποδοτικότητα</p> <p>Χωρική ανάλυση</p> <p>Μοριακή εξειδίκευση.</p>	
NMR	<p>Μη καταστρεπτικό δείγμα</p> <p>ποσοτικοποίηση άμεσα</p> <p>υψηλή ένταση σήματος</p> <p>NMR</p> <p>ισοτοπική φυσική αφθονία εμφανίζει εξαιρετικά στενά πλάτη γραμμών</p> <p>ευρύ (~200 ppm) εύρος χημικής μετατόπισης.</p>	<p>Μόνο μαγνητικοί πυρήνες</p> <p>Χαμηλή ευαισθησία</p> <p>Μεγαλύτερη πιθανότητα επικαλυπτόμενων κορυφών</p> <p>Χαμηλή ευαισθησία.</p>
(Πηγή: Liu et al., 2021)		

3.2. Μέθοδοι εντοπισμού νοθείας στα αλκοολούχα ποτά

Ο εντοπισμός νοθείας στα αλκοολούχα ποτά απαιτεί την εφαρμογή εξειδικευμένων μεθόδων ανάλυσης και αξιολόγησης. Ανάμεσα σε αυτές, είναι η οπτική και χρωματική εξέταση του ποτού για τον εντοπισμό αλλαγών στην εμφάνιση και τη διαφάνειά του, καθώς και η αξιολόγηση της γεύσης και του αρώματος από εξειδικευμένους γευσσιγνώστες. Επιπλέον, η χρήση χημικών αναλύσεων όπως η χρωματογραφία, η υγρή χρωματογραφία υψηλής πίεσης (HPLC) και η φασματοφωτομετρία εγγύς υπερύθρου (NIR) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να βρεθεί η σύνθεση και η ποιότητα του ποτού.

Επιπλέον, η ανίχνευση πρόσθετων ουσιών όπως συνθετικά αρώματα και χρωστικές ουσίες απαιτεί ειδικές χημικές αναλύσεις. Τέλος, ο έλεγχος της ετικέτας και του συσκευαστικού υλικού μπορεί να παρέχει σημαντικές ενδείξεις για πιθανές ανωμαλίες ή αντιφάσεις που μπορεί να υποδεικνύουν νοθεία. Η εφαρμογή αυτών των μεθόδων απαιτεί τη συνεργασία ειδικών με γνώσεις σε διάφορους τομείς όπως η χημεία, η γευσσιγνωσία και η ανάλυση των τροφίμων. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι μέθοδοι εντοπισμού νοθείας στο κρασί, τη μύρα.

3.2.1. Μέθοδοι εντοπισμού νοθείας στο κρασί

Η νοθεία των ποτών, δεν είναι ζήτημα των τελευταίων δεκαετιών αλλά έρχεται από το 1820. Τον 19^ο αιώνα, προστέθηκαν άλατα αλουμινίου για τη βελτίωση του χρώματος του κρασιού ή εκχυλίσματα μούρων για τη βελτίωση του πορφυρού χρώματος του κόκκινου κρασιού. Η παλαίωση σε βαρέλι προσομοιώθηκε με τη χρήση πριονιδιών από ξύλο δρυός, η οποία μπορεί να ήταν ο πρόδρομος της σημερινής νομιμοποιημένης τεχνικής της προσθήκης τεμαχίων δρυός. Πιο επικίνδυνες νοθεύσεις που είχαν γίνει ήταν η προσθήκη αλάτων μολύβδου για την κλαρίωση για τη γλύκανση.

Η αφυδάτωση και η προσθήκη σακχάρων (chaptalization) ήταν οι πιο συνηθισμένες πρακτικές νοθείας του κρασιού στη Γαλλία του 19^{ου} αιώνα (Stanziani, 2009). Πιο πρόσφατα, οι νοθεύσεις άλλαξαν διότι η αναλυτική χημεία μπόρεσε να ανιχνεύσει εύκολα αυτές τις πιο χονδροειδείς μορφές νοθείας. Στον παρακάτω Πίνακα 5 φαίνονται διάφορες νοθείες που έχουν γίνει στο κρασί.

Πίνακας 5 Τύποι νοθείας κρασιού

Τύπος	Περιγραφή	Κίνδυνος για τον καταναλωτή
Λανθασμένη επισήμανση	Η λανθασμένη επισήμανση όσον αφορά την προέλευση, την ταξινόμηση ή την εσοδεία Είναι ο συνηθέστερος τύπος απάτης στον οίνο.	Συνήθως δεν υπάρχει κίνδυνος για την υγεία επειδή το φθηνό κρασί παρουσιάζεται ως καλύτερης ποιότητας. Εξαπάτηση και απάτη του καταναλωτή.
Κρασί με πρόσθετα	Κρασί που βασίζεται αποκλειστικά σε πρόσθετα και νερό. Συμβαίνει πολύ σπάνια σήμερα.	Κίνδυνος για την υγεία, όπως ο αλλεργιογόνος κίνδυνος, ο οποίος εξαρτάται από τα (μη επισημασμένα) πρόσθετα.
Βελτίωση κρασιού	Βελτίωση, η οποία επιτυγχάνεται συχνότερα με την προσθήκη ζάχαρης, γλυκερίνης, διαιθυλενογλυκόλης ή άλλων γλυκαντικών ή/και άλλων γευστικών ενώσεων στον οίνο ή με ανάμειξη με γλυκύτερο, ξένο οίνο.	Συνήθως δεν υπάρχει κίνδυνος για την υγεία, εκτός από τις περιπτώσεις προσθήκης τοξικών ενώσεων (π.χ. μεθανόλη). Εξαπάτηση και απάτη του καταναλωτή.
<i>(Πηγή: Lachenmeier, 2016)</i>		

Το 10% των οίνων στην ευρωπαϊκή αγορά είναι κατώτερης ποιότητας από αυτή που αναγράφεται στην ετικέτα, αλλά ότι οι περισσότεροι καταναλωτές δεν μπορούν να το καταλάβουν, επειδή τα προϊόντα δεν μπορούν να διακριθούν οργανοληπτικά, ακόμη και από τους ειδικούς (Holmberg, 2010). Η αυθεντικοποίηση και η ανίχνευση της γεωγραφικής προέλευσης του οίνου αποτελεί σημαντικό ζήτημα της γνησιότητάς του. Προτάθηκαν διάφορες μέθοδοι, οι οποίες συνήθως βασίζονται στην πολυμεταβλητή ανάλυση δεδομένων από ενόργανες μεθόδους (μερικές φορές περιλαμβάνουν συνδυασμένα δεδομένα από πολλές διαφορετικές μεθοδολογίες) και στη σύγκριση με ένα σύνολο αυθεντικών δειγμάτων (Geana et al., 2020).

Ο Διεθνής Οργανισμός Οίνου και Αμπέλου (International Organization of Wine and Vine – OIV) έχει δημοσιεύσει διάφορες μεθόδους στη συλλογή των διεθνών μεθόδων ανάλυσης οίνων και μούστων, με τις κυριότερες να είναι η χρήση του πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού με κλασμάτωση φυσικών ισοτόπων (SNIF-NMR)

για τον προσδιορισμό της κατανομής του δευτερίου στην αιθανόλη, καθώς και του ισοτοπικού λόγου $^{18}\text{O} / ^{16}\text{O}$ του νερού, $^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}$ της αιθανόλης και $^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}$ της γλυκερόλης. Όλες αυτές οι μέθοδοι έχουν περιγραφεί ως δυσκίνητες και δαπανηρές, αλλά εξακολουθούν να είναι οι πιο πρακτικές για το σκοπό αυτό. Αυτό είναι εμφανές από τον μεγάλο αριθμό εφαρμογών που έχουν δημοσιευθεί για την πιστοποίηση του οίνου με τη χρήση του προσδιορισμού του ισοτοπικού λόγου (OIV, 2021).

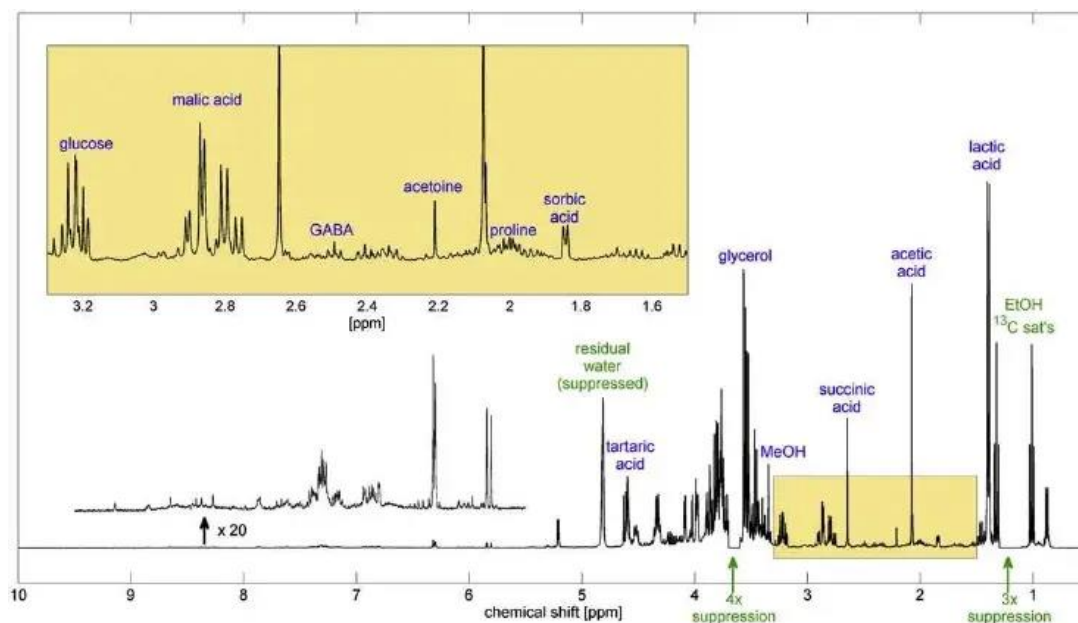
Για παράδειγμα, η διαφοροποίηση οίνων από διαφορετικές ιταλικές και ισπανικές περιοχές είναι δυνατή διότι μπορεί να ανιχνευθεί η προσθήκη φυτικών σακχάρων C4 στον οίνο (Camin et al., 2018). Ακόμη, είναι δυνατόν να προσδιοριστεί η χαλκοποίηση, ο τρύγος και η γεωγραφική προέλευση διαφόρων κρασιών της Κροατίας (Leder et al., 2021).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) δημιούργησε μια βάση δεδομένων οίνων που περιέχει τις ισοτοπίες αυθεντικών οίνων από όλες τις περιοχές, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για σύγκριση σε περιπτώσεις ύποπτων οίνων. Οι ερευνητές χρησιμοποιώντας έναν συνδυασμό 63 χημικών παραμέτρων, κατάφεραν να διακρίνουν τους νοτιοαφρικανικούς από τους ανατολικοευρωπαϊκούς οίνους. Ωστόσο, δεν κατέστη δυνατή η διάκριση περιοχών εντός των υπό εξέταση χωρών. Άλλες μέθοδοι για τη γεωγραφική ταξινόμηση των οίνων βασίζονται στο φασματομέτρο μάζας (Cynkar et al., 2010).

Μια νέα προσέγγιση για την αυθεντικοποίηση των οίνων είναι η χρήση μη στοχευμένης ανάλυσης NMR. Η τεχνική αυτή αντιμετωπίζει το πλήρες φάσμα NMR ως αποτύπωμα και παρέχει μια πολυμεταβλητή σύγκριση με μια βάση δεδομένων αυθεντικών φασμάτων. Η τεχνική NMR έχει διατεθεί στο εμπόριο από την Bruker ως "Wine Screener". Η ευαισθησία της μεθόδου έχει βελτιωθεί σημαντικά κατά την τελευταία δεκαετία χάρη στις εξελίξεις στην τεχνολογία των φασματομέτρων και στις τεχνικές καταστολής των διαλυτών, οι οποίες επιτρέπουν πλέον τον προσδιορισμό δευτερευουσών ενώσεων στα αλκοολούχα ποτά μέχρι την περιοχή των χαμηλότερων συγκεντρώσεων (Bruker, 2015).

Εκτός από τη γεωγραφική προέλευση, η τεχνική NMR είναι η πρώτη μέθοδος που παρέχει μια ολοκληρωμένη πρόβλεψη της ποικιλίας σταφυλιού. Σε δείγμα

περισσότερων από 600 γερμανικών οίνων, αποδείχθηκε ότι διάφοροι τύποι σταφυλιών, συμπεριλαμβανομένων των Pinot Noir, Muller-Thurgau, Riesling και Gewurztraminer, μπορούσαν να διακριθούν με υψηλή ακρίβεια (95% σωστές προβλέψεις). Εκτός από την ταξινόμηση, η NMR επιτρέπει τον ταυτόχρονο ποσοτικό προσδιορισμό 56 ενώσεων από το ίδιο φάσμα (Εικόνα 2) (Godelmann et al., 2013).



Εικόνα 2 Φάσμα NMR πρωτονίων με καταστολή οκτώ ζωνών ενός δείγματος οίνου με αντιστοίχιση ενώσεων - Στοχευμένη και μη στοχευμένη ανάλυση οίνου με φασματοσκοπία ^1H NMR σε συνδυασμό με πολυμεταβλητή στατιστική ανάλυση. Διαφοροποίηση σημαντικών παραμέτρων: ποικιλία σταφυλιών, γεωγραφική προέλευση, έτος εσοδείας. (Πηγή: Godelmann et al., 2013)

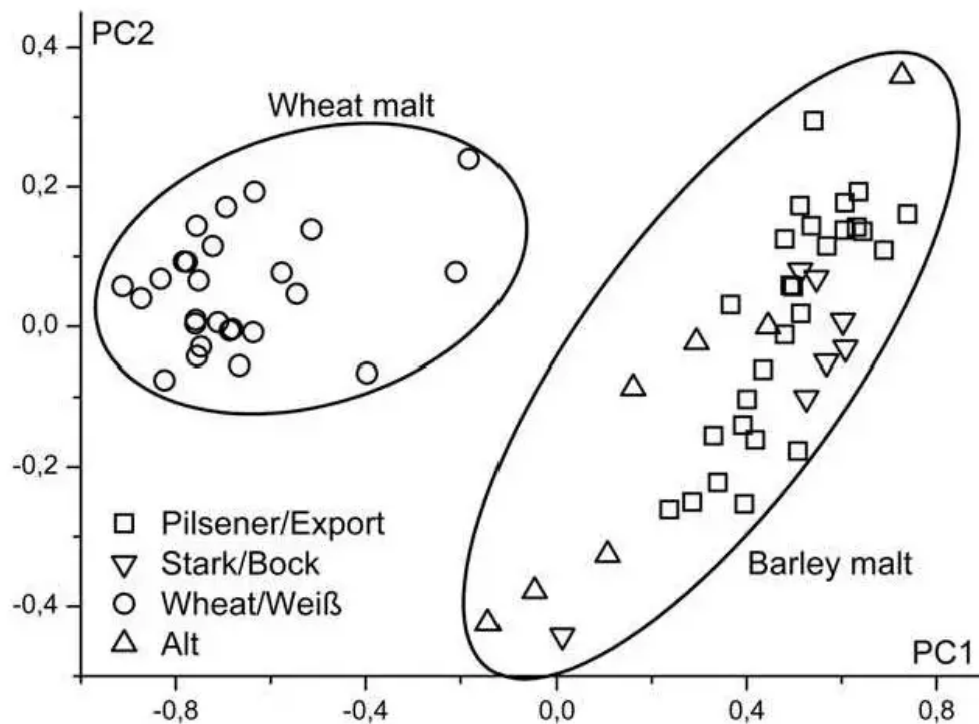
Εκτός από τη γενική μη στοχευμένη επαλήθευση της συμμόρφωσης των δειγμάτων με σύγκριση με αυθεντικά δεδομένα αναφοράς, η βάση δεδομένων για τον οίνο που διατηρεί η Bruker επιτρέπει επί του παρόντος τη γεωγραφική επαλήθευση της προέλευσης των κυριότερων ευρωπαϊκών αμπελοουργικών χωρών, συμπεριλαμβανομένης της επαλήθευσης της περιφερειακής προέλευσης ορισμένων περιοχών της Γαλλίας, της Ιταλίας και της Ισπανίας. Εκεί, μπορούν να ανιχνευθούν είκοσι δύο διαφορετικές ποικιλίες σταφυλιών, και η ανίχνευση της προσθήκης νερού για ορισμένες από τις ποικιλίες σταφυλιών (Bruker, 2015). Ο συνδυασμός δεδομένων σταθερών ισοτόπων και φασμάτων ^1H NMR μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις

όπου οι μεμονωμένες μέθοδοι οδηγούν σε ασαφή αποτελέσματα (Monakhova et al., 2014).

3.2.2. Μέθοδοι εντοπισμού νοθείας στη μύρα

Το οικονομικό όφελος από τη νοθεία της μύρας δεν είναι τόσο μεγάλο όσο στον τομέα του κρασιού, όπου οι φιάλες μπορούν τακτικά να φτάσουν σε τιμές άνω των 10 ευρώ ανά λίτρο, κάτι που σπάνια συμβαίνει στην περίπτωση της μύρας. Η μύρα παράγεται με στόχο τη δημιουργία μιας σταθερής ποιότητας προϊόντος, η οποία, σε αντίθεση με το κρασί, είναι κυρίως ανεξάρτητη από την εσοδεία και την προέλευση. Για παράδειγμα μία μύρα με επωνυμία μπορεί να παρασκευάζεται παντού με αρκετά παρόμοια αποτελέσματα. Σε αντίθεση με τα συνεχή σκάνδαλα στο κρασί, δεν έχουν γίνει αντίστοιχα γνωστά περιστατικά για τη νοθεία της μύρας. Παρόμοια με την ανάλυση οίνου, η ανάλυση SNIF-NMR είναι σε θέση να αναλύσει την κατανομή του δευτερίου στην αιθανόλη που εξάγεται από μύρες. Ο λόγος D/H επιτρέπει τη χονδρική γεωγραφική διάκριση των μύρων που παρασκευάζονται στη Γερμανία, τη Γαλλία και το Βέλγιο.

Πιο σύγχρονες προσεγγίσεις έχουν εφαρμόσει χρωματογραφικά ή φασματοσκοπικά δεδομένα ως αποτυπώματα για την πιστοποίηση της μύρας. Το LC-MS εφαρμόστηκε για τη διαφοροποίηση των βελγικών τραπικών μπίρων (Mattarucchi et al., 2010). Το NMR χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό του τύπου παρασκευής των γερμανικών ζυθοποιείων καθώς και για τη διαφοροποίηση των τύπων βύνης (Lachenmeier et al., 2004). Στην Εικόνα 3 φαίνεται η διαφοροποίηση των μύρων που παρασκευάζονται αποκλειστικά με βύνη κριθαριού σύμφωνα με τον γερμανικό νόμο περί καθαρότητας της μύρας από τις μύρες που παρασκευάζονται με βύνη σίτου. Τέλος, το FTIR έχει προταθεί για τη διάκριση των τύπων μύρας και για την ανίχνευση απομακρυσμένων δειγμάτων (Lachenmeier & Rehm, 2012). Η ανάλυση της μύρας είναι αρκετά παραδοσιακή και βασίζεται κυρίως σε κλασικές φυσικοχημικές παραμέτρους, όπως ο αλκοολικός τίτλος, το αρχικό βάρος και το εκχύλισμα, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την επαλήθευση των νομικών απαιτήσεων και της συνοχής των παρτίδων.



Εικόνα 3 Ανάλυση συνιστωσών (PCA) για την αρωματική περιοχή (7,6-6,7 ppm) των φασμάτων ^1H NMR. (Πηγή: Lachenmeier & Rehm, 2012)

3.2.3. Μέθοδοι εντοπισμού νοθείας στα ποτά

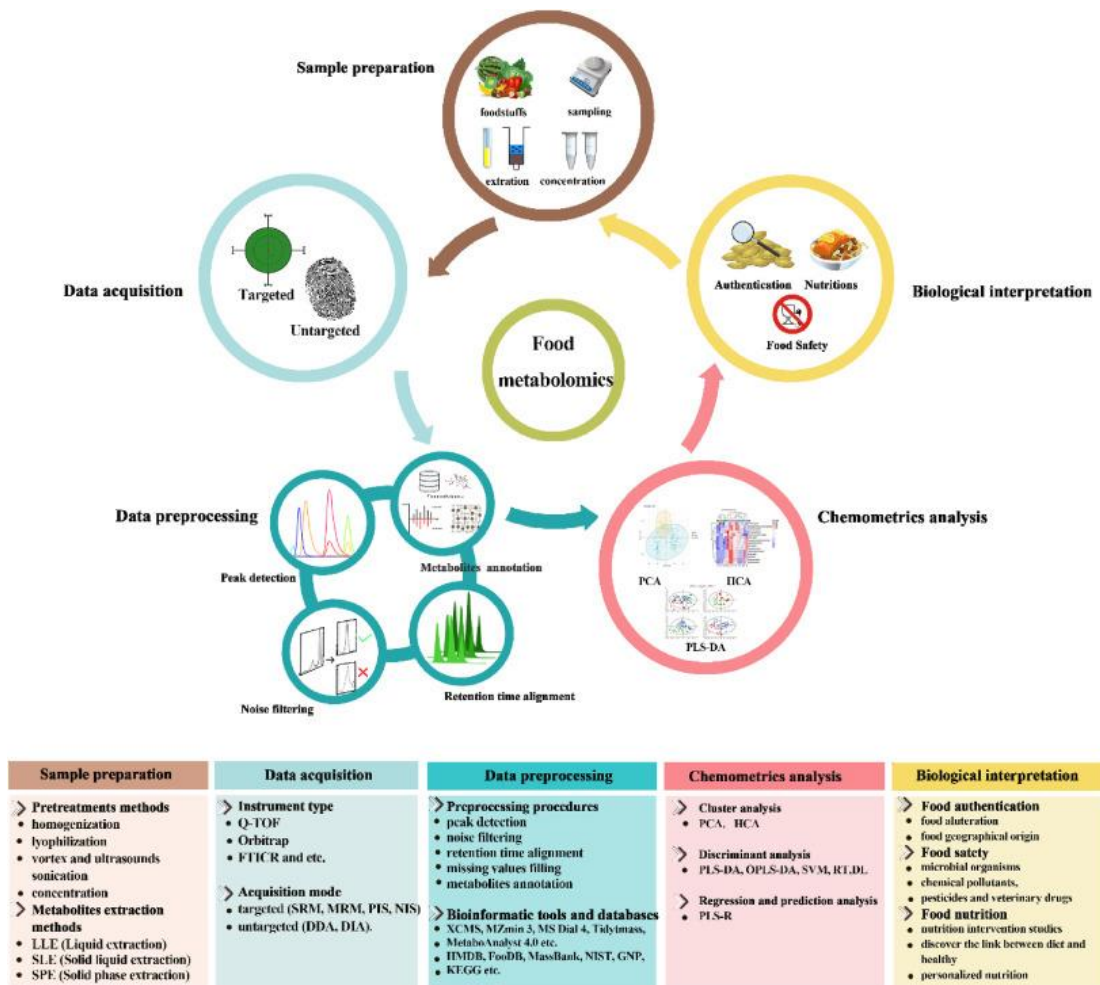
Η πιστοποίηση της γνησιότητας των αλκοολούχων ποτών είναι ένας αρκετά διαφορετικός τομέας, διότι η σύνθεση των αλκοολούχων ποτών παρουσιάζει σημαντικά μεγαλύτερη ποικιλία από εκείνη της μπίρας ή του κρασιού, δεδομένου ότι για την παραγωγή των αλκοολούχων ποτών επιτρέπονται πολλές πρώτες ύλες. Οι περισσότερες μέθοδοι πιστοποίησης πραγματοποιούνται για ορισμένους υποτύπους αλκοολούχων ποτών, όπως το μπράντι, το ουίσκι ή η τεκίλα. Σε αντίθεση με το κρασί, για το οποίο υπάρχουν διαδικασίες αναφοράς για τη μέτρηση του ισοτοπικού λόγου, συμπεριλαμβανομένων διεθνών βάσεων δεδομένων, οι πληροφορίες αυτές δεν είναι διαθέσιμες για τα οινοπνευματώδη ποτά. Για τα οινοπνευματώδη ποτά, μπορεί να είναι κατάλληλες ορισμένες από τις αναφερόμενες μεθόδους OIV που αναπτύχθηκαν για την ανάλυση οίνου (Paolini et al., 2022).

Η μελέτη των Arslan et al., (2021) αναφέρεται στην εφαρμογή των χρωματογραφικών και φασματοσκοπικών μεθόδων για την πιστοποίηση της γνησιότητας των αλκοολούχων ποτών. Η ανάλυση με αέρια χρωματογραφία (GC) των δευτερευόντων συστατικών της αλκοολικής ζύμωσης, που είναι τα λεγόμενα συγγενή συστατικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατά προσέγγιση απόδοση του τύπου του οινοπνεύματος. Για παράδειγμα, μόνο με την ανάλυση GC, μπορούν να ανιχνευθούν τα νοθευμένα κονιάκ (Wiśniewska et al., 2014), διάφοροι τύποι ούισκι μπορούν να διαφοροποιηθούν (Lachenmeier, 2016), καθώς και η τεκίλα με προσθήκη ζάχαρης από την τεκίλα με 100% προσθήκη αγαύης (Lachenmeier et al., 2006). Βέβαια, εξαιτίας της μεγάλης φυσικής ποικιλίας αυτών των ενώσεων, οι μέθοδοι αυτές παρέχουν συχνά μόνο μια ένδειξη παρά μια απόδειξη.

3.3. Υγρή χρωματογραφία-φασματομετρία μάζας και μεταβολομική ανάλυση στα τρόφιμα

Η μεταβολομική με βάση την υγρή χρωματογραφία-φασματομετρία μάζας επιτρέπει να μετρούνται χιλιάδες μικροί μεταβολίτες από τις μήτρες των τροφίμων, εστιάζοντας στην κατανόηση της επιστήμης των τροφίμων σε βάθος, συμπεριλαμβανομένης της αυθεντικότητας, της ασφάλειας και της διατροφής των τροφίμων. Η έρευνα της μεταβολομικής παράγει εξαιρετικά πολύπλοκα σύνολα δεδομένων και η επεξεργασία και η ερμηνεία αυτών των συνόλων δεδομένων απαιτεί πολλή δουλειά. Οι χημειομετρικές προσεγγίσεις φέρνουν νέες δυνατότητες στην ανάλυση δεδομένων στο πλαίσιο της μεταβολομικής τροφίμων και αποδεικνύουν την εκτεταμένη ικανότητά τους να ξεπερνούν τις πολύπλοκες προκλήσεις (Qin et al., 2024).

Στη μεταβολομική τροφίμων με βάση το LC-MS, η τυπική ροή εργασίας περιλαμβάνει τις εξής διαδικασίες: προετοιμασία δείγματος, απόκτηση δεδομένων, προεπεξεργασία δεδομένων, σχολιασμός μεταβολιτών και ανάλυση μεταβολικών μονοπατιών. Οι παραπάνω διαδικασίες ολοκληρώνονται διαδοχικά, και από αυτές λαμβάνονται χαρακτηριστικές και δυνητικές πληροφορίες. Οι πληροφορίες αυτές αφορούν τα τρόφιμα, πληροφορίες διάκρισης ομάδων τροφίμων και πληροφορίες πρόβλεψης μεταβλητών με βάση χημειομετρικά μοντέλα. (Alseekh et al., 2021). Η τυπική ροή εργασίας παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.



Εικόνα 4 Τυπική ροή εργασίας της μεταβολομικής με βάση το LC-MS (Qin et al., 2024)

Η στρατηγική μεταβολομικής με βάση το LC-MS επιτρέπει τη μέτρηση μεγάλου αριθμού χαρακτηριστικών μεταβολιτών στη μήτρα των τροφίμων, αλλά μόνο ένα κλάσμα αυτών των χαρακτηριστικών μπορεί να σχολιαστεί με αποδεκτό επίπεδο εμπιστοσύνης, σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές της Πρωτοβουλίας Προτύπων Μεταβολομικής (Metabolomics Standards Initiative - MSI). Συνεπώς, ο σχολιασμός των μεταβολιτών είναι μία πρόκληση σε αυτό τον τομέα (Chaleckis, Meister, Zhang, & Wheelock, 2019).

Η επαλήθευση των ετικετών μπορεί να πραγματοποιηθεί σε όλα τα τρόφιμα. Ο πίνακας 6 επισημαίνει τις σημαντικότερες δημοσιεύσεις σχετικά με τη δυνατότητα εφαρμογής της φασματομετρίας μάζας υψηλής ανάλυσης (HRMS) με βάση τη μεταβολομική των τροφίμων. Σημειώνεται ότι και οι μέθοδοι NMR περιέχουν πλήθος πληροφοριών σχετικά με τη χημική δομή των μεταβολιτών (Daisa & Hatzakisb 2013),

ενώ οι μέθοδοι που βασίζονται στη μέτρηση σταθερών ισοτόπων (Camin et al. 2010) μπορούν εύκολα να χρησιμοποιηθούν για την απόδειξη της γεωγραφικής προέλευσης. Βέβαια, οι μέθοδοι που βασίζονται στη μεταβολομική και αξιοποιούν την HRMS αποτελούν μια ισοδύναμη εναλλακτική λύση ανίχνευσης.

Πίνακας 6 Εργασίες που βασίζονται στη φασματομετρία μάζας υψηλής ανάλυσης για μελέτες μεταβολικής των τροφίμων.

Τρόφιμο	Σκοπός ανάλυση	Τεχνική ανάλυσης	Πηγή
Κρασί	Διάκριση των χαρακτηριστικών του κόκκινου κρασιού της Χιλής	UHPLC-LTQ FTICR	Cuadros-Inostroza et al. (2010)
Κόκκινο κρασί	Ταυτοποίηση ποικιλίας σταφυλιών	UHPLC-QTOF	Vaclavik, Lacina et al. (2011)
Ερυθροί και λευκοί οίνοι	Έλεγχος γνησιότητας ποικιλίας αμπέλου	UHPLC-QqTOF DART-QqTOF	Rubert et al. (2014)
Ερυθροί και λευκοί οίνοι	Χαρακτηρισμός και σύγκριση των οινολάσπης	UHPLC-QTOF	Delgado de la Torre et al. (2015)
Κρασί	Προσδιορισμός της χημικής σύνθεσης	UHPLC-QTOF-MS	Roullier-Gall et al., 2014
Χυμοί φρούτων	Επικύρωση χυμών πορτοκαλιού, ανανά και γκρέιπφρουτ	UHPLC-QTOF	Jandrić et al. (2014)
Χυμοί φρούτων	Πιστοποίηση γνησιότητας χυμών πορτοκαλιού, μήλου και γκρέιπφρουτ	HPLC-QTRAP UHPLC-QqTOF	Vaclavik, Schreiber et al. (2011)
Χυμοί φρούτων	Γεωγραφική προέλευση χυμού πορτοκαλιού	UHPLC-QTOF	Díaz et al. (2014)
Χυμοί φρούτων	Θερμική αποικοδόμηση του θολού χυμού μήλου	UHPLC-Orbitrap	De Paepe et al. (2014)
Χυμοί φρούτων	Χαρακτηρισμός προϊόντων φρούτων	CE-UV LC-UV UHPLC- LTQOrbitrap	Navarro et al. (2014)
Τυρί	Βακτηριακός μεταβολισμός σε ένα πρότυπο τυρί	UHPLC- LTQOrbitrap GC-QqQ	Le Boucher et al. (2013)

Τυρί	Διαφορές στο μεταβολισμό στο τυρί	UHPLC-Orbitrap	Le Boucher et al. (2015)
Τυρί	Προφίλ συστατικών με βάση τη μεταβολομική	GC/TOF-MS	Ochi et al., 2012
Μπύρα	Πιστοποίηση της γνησιότητας των μπυρών Trappist	UHPLC-QTOF	Mattarucchi et al. (2010)
Μπύρα	Αυθεντικοποίηση της δήλωσης της ετικέτας	SPME-GC-TOF	Cajka et al. (2011)
Μπύρα	Αυθεντικοποίηση μπύρας Trappist	DART-SPME-TOF	Cajka et al. (2011)
Μέλι	Γεωγραφική προέλευση μελιού	SPME-GC×GCTOF	Stanimirova et al. (2010)
Ελαιόλαδο	Έλεγχος γνησιότητας λαδιού	DART-HRMS	Vaclavik et al. (2009)
Ελαιόλαδο	Ταξινόμηση καλλιεργούμενων ποικιλιών	¹ H NMR	Piccinonna et al., 2016
Ισπανικά εξαιρετικά παρθένα ελαιόλαδα	Προσδιορισμός της γεωγραφικής προέλευσης	UHPLC-QTOF-MS	Gil-Solsona et al., 2016
Κρέας	Πιστοποίηση γνησιότητας κρέατος	DART-TOF	Vaclavik, Hrbek, et al. (2011)
Αβοκάντο	Μηχανισμός ωρίμανσης φρούτων	GC-APCI-TOF	Hurtado-Fernández et al. (2015)
Πιπεριές	Βιολογική και συμβατική γεωργία	DART-HRMS	Novotná et al. (2012)
Ψάρια	Συμπλήρωμα διατροφής	DART-TOF	Cajka, Danhelova, Vavrecka, et al. (2013)
Γάλα	Πιστοποίηση της γνησιότητας του γάλακτος και των τροφίμων με βάση το γάλα	DART-TOF	Hrbek et al. (2014)
Set-yoghurt	Προσδιορισμός πτητικών και μη πτητικών πολικών μεταβολιτών	SPME-GC/MS ¹ H NMR	Settachaimongkon et al., 2014
Βότανα & Μπαχαρικά	Αυθεντικοποίηση βοτάνων	UHPLC-QTOF	Gao et al. (2012)

Λαχανικά	Διαφοροποίηση ειδών μαρουλιού	UHPLC-QTOF	Abu-Reidah et al. (2013)
Ιαπωνικό σάκε	Προφίλ μεταβολιτών παστεριωμένου και μη παστεριωμένου σάκε	CE-MS LC-MS	Sugimoto et al. (2012)
Πάστα φασολιών ταχείας ζύμωσης	Κατανόηση της δυναμικής της ζύμωσης	GC-TOF CE-TOF	Kim et al. (2012)
Ζυμωμένα τρόφιμα με βάση τα δημητριακά	Προσδιορισμός του γευστικού και αντιοξειδωτικού προφίλ	SPME-GS-MS	Ferri et al., 2016
Ζυμωμένη πάστα καβουριού	Προσδιορισμός της ποιοτικής μεταβολής και της φρεσκάδας	¹ H NMR	Chen et al., 2016

3.4. Υγρή χρωματογραφία-φασματομετρία μάζας και μεταβολομική στη νοθεία τροφίμων

Η προσοχή στην ασφάλεια, τη γνησιότητα και την ποιότητα των τροφίμων έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια, και η ανάπτυξη αξιόπιστων μεθόδων για την ανίχνευση της απάτης θα μπορούσε να διαφυλάξει καλύτερα την ποιότητα της παραγωγής, με πλεονέκτημα για τη βιομηχανία και τον τελικό καταναλωτή. Εκτός από τη νοθεία με προσθήκη συστατικών γίνεται και «δόλια» δήλωση της γεωγραφικής προέλευσης των εμπορευμάτων (Borràs et al., 2015).

Τα όργανα τελευταίας τεχνολογίας που χρησιμοποιούνται στις ωμικές προσεγγίσεις αποτελούν ένα ισχυρό εργαλείο για την αντιμετώπιση της πρόκλησης της ανίχνευσης πιθανών νοθεύσεων, μολύνσεων και άλλων διαφόρων απάτης. Ιδιαίτερα οι χρωματογραφικές εφαρμογές, σε συνδυασμό με την MS, μπορούν να τονώσουν τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ ερευνητών και βιομηχανικών εμπειρογνομώνων, και αυτό θα μπορούσε να αποτελέσει την πρόκληση για την παροχή προσιτών μεθοδολογιών για τον εντοπισμό της απάτης στα τρόφιμα σε ορισμένες συγκεκριμένες πρώτες ύλες και προϊόντα. Ωστόσο, μερικές φορές φαίνεται ότι οι νέες αναλυτικές μέθοδοι που αναπτύσσονται και παρουσιάζονται στα επιστημονικά περιοδικά δεν εφαρμόζονται ή δεν είναι καν γνωστές στα βιομηχανικά εργαστήρια ελέγχου ποιότητας (Gilbert-López et al., 2017).

Η επεξεργασία δεδομένων στη μεθοδολογία της υγρής χρωματογραφίας-φασματομετρίας μάζας και μεταβολομικής ανάλυσης στα τρόφιμα αποτελεί κρίσιμο βήμα για τον εντοπισμό νοθείας στα αλκοολούχα ποτά. Η διαδικασία περιλαμβάνει την ανάλυση, την αναγνώριση και την επεξεργασία των δεδομένων με σκοπό την απομόνωση σημαντικών χημικών πληροφοριών. Οι τεχνικές προεπεξεργασίας περιλαμβάνουν τη φιλτράριση θορύβου, την ανίχνευση κορυφών και την αντιστοίχιση χρόνων συμπίεσης, οι οποίες είναι ουσιώδεις για την εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων και την ακριβή ερμηνεία των δεδομένων.

Η αναφορά στη δυσκολία της ταυτοποίησης μεταβολιτών λόγω περιορισμένης πληροφορίας και της πολυπλοκότητας των δεδομένων ενσωματώνεται στην ανάλυση των διαφορετικών προσεγγίσεων για την αναφορά μεταβολιτών, είτε με βάση χημικές ιδιότητες είτε μέσω βιοχημικών δικτύων αντίδρασης. Συγχρόνως, υπογραμμίζεται η ανάγκη για ευέλικτες και αυτοματοποιημένες στρατηγικές επεξεργασίας δεδομένων, καθώς αυτές αποτελούν ουσιώδες μέρος της αντιμετώπισης της συνεχούς αύξησης του μεγέθους και της πολυπλοκότητας των μεταβολομικών δεδομένων.

Η νοθεία στα είδη διατροφής είναι πολύ συχνή σε όλο τον κόσμο και εμφανίζεται σήμερα σε διάφορα σημεία της αλυσίδας εφοδιασμού: η ζήτηση για ταχείες και επιβεβαιωτικές αναλυτικές μεθόδους έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια. Η ανίχνευση της απάτης στα τρόφιμα με χρήση αναλυτικών χρωματογραφικών προσεγγίσεων, σε συνδυασμό με φασματομετρία μάζας (MS) εφαρμόζεται από πολλές εταιρείες τροφίμων και παρακάτω θα αναφερθούν μερικά παραδείγματα.

Μια από τις πιο συνηθισμένες απάτες που διαπράττονται σχετικά με τα δημητριακά είναι η προσθήκη μαλακού σιταριού στο σκληρό σιτάρι. Ακόμη, στις συσκευασίες γίνονται ψευδείς δηλώσεις γεωγραφικής και βοτανικής προέλευσης, δεδομένου ότι, σήμερα, αυτοί είναι οι απαιτούμενοι ισχυρισμοί για την πιστοποίηση της ποιότητας των τροφίμων. Επίσης, αρκετά διαδεδομένη είναι η προσθήκη εξωγενών αζωτούχων νοθευτικών ουσιών, όπως η μελαμίνη, η αμελίνη, το αμμελίδιο κ.λπ. Αυτό το κάνουν για να αυξηθεί η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες για οικονομικούς σκοπούς. Τέλος, η ψευδής δήλωση "χωρίς γλουτένη" αντιπροσωπεύει μια διαδεδομένη νοθεία, δεδομένου ότι μια λανθασμένη επισήμανση που δεν υποδεικνύει την παρουσία ιχνών αλεύρου σίτου σε άλλα αλεύρα μπορεί να είναι επικίνδυνη για τα άτομα με κοιλιοκάκη.

Στον Πίνακα 7 παρουσιάζονται μερικές μέθοδοι που έχουν χρησιμοποιηθεί για να εντοπιστούν οι τύποι νοθειών που προαναφέρθηκαν:

Πίνακας 7 Ανίχνευση νοθείας σε σιτάρι και άλλα δημητριακά.

Νοθεία	Αναλυτική τεχνική	Ανάλυση	Τύπος δεδομένων	Ανάλυση Σύντομη περιγραφή της μεθόδου	Νόθευση LOQ (Όριο Ποσοτικοποίησης)	Βιβλιογραφική αναφορά
Νόθευση στο σκληρό σιτάρι με μαλακό σιτάρι	Υγρή χρωματογραφία-Φασματομετρία μάζας/Φασματομετρία μάζας (LCMS/MS)	Στοχευμένη	Γραμμική παλινδρόμηση	Αξιολόγηση της γραμμικής παλινδρόμησης στόχου της αναλογίας ομολόγων αλκυλορεσορκινόλης C17:0/C21:0 σε αλεύρι και ζυμαρικά.	5%	(Knödler et al. 2010)
Νόθευση στο σκληρό σιτάρι με μαλακό σιτάρι	LC-MS/MS	Στοχευμένη	Γραμμική παλινδρόμηση	LC-MS/MS Ο λόγος των εμβαδών δύο συγκεκριμένων πεπτιδίων χρησιμοποιείται για την ποσοτικοποίηση του ποσοστού του μαλακού σιταριού σε δείγματα σκληρού σιταριού.	3%	(Prandi et al.2012)
Νόθευση στο σκληρό σιτάρι με μαλακό σιτάρι	LC-High Resolution MS (LC-HRMS)	Μη στοχευμένη	Orthogonal Partial Least Square e Discriminant Analysis	Μια πολυμεταβλητή μελέτη που επιτρέπει τον προσδιορισμό πολλών δεικτών, με πιο υποσχόμενο το διγαλακτοζυλικό διγλυκερίδιο (DGDG) 36:4.	3%	(Righetti et al. 2018)
Νόθευση στο σκληρό σιτάρι με μαλακό σιτάρι	LC-HRMS	Μη στοχευμένη	Soft Independent Modelling of	Μια πολυμεταβλητή μελέτη που προσδιόρισε τις	-	(Geng et al. 2016)

			Class Analogies (SIMCA)	αλκ(εν)υλρεσορκινόλ ες, τα διγλυκερίδια και τη φωσφατιδυλαιθανολα μίνη ως ισχυρούς δείκτες για τη διαφοροποίηση μεταξύ ψωμιού ολικής άλεσης και ψωμιού από εξευγενισμένο σιτάρι.		
=						
(Πηγή: Suman et al.)						

4. Εντοπισμός νοθείας στα ποτά με υγρή χρωματογραφία-φασματομετρία μάζας & μεταβολομική

4.1. Υγρή χρωματογραφία-φασματομετρία μάζας (LC-MS) και μεταβολομική στη νοθεία αλκοολούχων ποτών. Χαρακτηριστικά παραδείγματα.

Η μέθοδος LC είναι μια χρωματογραφική τεχνική που βασίζεται στο διαχωρισμό των ενώσεων-στόχων που περιέχονται στην υγρή κινητή φάση χρησιμοποιώντας τις διάφορες αλληλεπιδράσεις μεταξύ αυτών και της σταθερής φάσης. Ένα συνδυασμένο σύστημα LC-MS παρέχει διαχωρισμό μεταβολιτών με LC ακολουθούμενο από ιονισμό με ηλεκτροψεκασμό (ESI). Η τεχνική αυτή λειτουργεί σε χαμηλότερες θερμοκρασίες από την GC-MS. Το εύρος των μεταβολιτών που ανιχνεύονται είναι ευρύτερο, δεδομένου ότι δεν απαιτείται πτητικότητα των μεταβολιτών.

Έτσι, η LC επιδεικνύει μεγαλύτερη ευελιξία σε σύγκριση με άλλες χρωματογραφικές τεχνικές, όπως η GC. Σήμερα, υπάρχει ένα ευρύτερο φάσμα χημικών

στοιχείων στήλης- ωστόσο, οι πιο συνηθισμένες στήλες που χρησιμοποιούνται είναι αντίστροφης φάσης C₁₈ ή C₈. Η χημεία και οι διαστάσεις της στήλης καθορίζουν τη χρωματογραφική ανάλυση και ευαισθησία και η καλύτερη ανάλυση και ευαισθησία επιτυγχάνονται σε βάρος του χρόνου. Εναλλακτικά, η εφαρμογή ενός συστήματος ultra-HPLC (UHPLC) βελτιώνει ταυτόχρονα τη χρωματογραφική ανάλυση και τη χωρητικότητα των κορυφών, ενώ ο χρόνος ανάλυσης μειώνεται χάρη στη χρήση μικρότερων σωματιδίων στη στατική φάση. Η κύρια εφαρμογή της UHPLC στις μελέτες οينو-ωμικής είναι η ανάλυση φαινολικών ενώσεων για σκοπούς διάκρισης, χαρακτηρισμού και παρακολούθησης.

Η συγκέντρωση των φαινολικών ενώσεων είναι συνήθως αρκετά υψηλή. Κατά συνέπεια, δεν απαιτείται καμία διαδικασία προεπεξεργασίας ή εκχύλισης, αλλά μερικές φορές απαιτείται απλή αραιώση, διήθηση ή προσυγκέντρωση (Πίνακας 8), αν και η περαιτέρω προετοιμασία του δείγματος μπορεί να χρησιμοποιήσει SPE ή LLE. Συνήθως δεν απαιτείται παραγωγή του δείγματος, αν και μπορεί να είναι επωφελής για τη βελτίωση της χρωματογραφικής ανάλυσης και ευαισθησίας ή για την παροχή ιοντιζόμενων ομάδων σε μεταβολίτες που διαφορετικά δεν θα μπορούσαν να ανιχνευθούν με ESI-MS (Cubero-Leon et al., 2014).

Πίνακας 8 Εφαρμογή της τεχνικής HPLC/LC σε πρόσφατες μεταβολομικές μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε κρασιά.

Πηγή	(Arbulu et al., 2015)	(Anastasiadi et al., 2009)	(Vaclavik, Lacina, et al., 2011)	(Vrhovsek et al., 2012)	(Cvadros-Inostroza et al., 2010)	(Son et al., 2009)	(Inoue et al., 2013)	(Guyon et al., 2011)	(Πηγή: Alañón et al., 2015)
Εύρος συγκεντρώσεων	-	0,18-70,98 mg/L	-	0,01-50 mg/mL	-	-	-	0,98-1,02	
Διακριτικές ενώσεις	Προγαλλόλη, σικιμικό,	κατεχίνη, γαλλικό οξύ,	Προσοφρινός	-	Προσοφρινή ταυτοποιήση	γλυκερόλη, γαλακτικό, 2,3-	Ντόπιες και παράγωγες θειόλες		
Χημειομετρική μέθοδος	PCA	XAD-4 PCA, PLS-DA (+)-	PCA, PLS-DA	-	PCA, HCA, LDA	PCA	PCA, OCS-PLS-DA		
Επεξεργασία δειγμάτων	Φυγοκέντρωση	Απομόνωση ρητίνης	Κανένα	Διήθηση	-	Προσυγκέντρωση	Καμία ή παρυσώγιση SBD-F	Αραίωση - Εσωτερικός λόγος δ ₁₃ C	
Αριθμός δειγμάτων	Πλήρη δεδομένα (1260-1170 χαρακτηρισ	Φαινολικές ενώσεις	Πλήρη δεδομένα	Φαινολικές ενώσεις	Πλήρη δεδομένα	Οργανικά οξέα, αμινοξέα, υδατάνθρακ		δ ₁₃ C γλυκόζη, φρουκτόζη	
Αναλυόμεν	18	67	51	1	400	18		28	
Τύπος α	UT	T	UT	T	UT	T		T	
Κύριος στόχος	Χαρακτηρισμός ποικιλίας	Γεωγραφική προέλευση και τρόπος	Διάκριση ποικιλιών	Διαλογή ποικιλίας	Διάκριση ποικιλίας, προέλευσης,	Παρακολούθηση της ζύμωσης	Ανάλυση θειολών T - θειόλες	Ταυτοποίηση οίνου	
Αναλυτική τεχνική	ESI-LC-QTOF	NMR, HPLC	HPLC-QTOFMS	UPLC/QqQ-MS/MS	UPLC-FT-ICR-MS	NMR, HPLC	UPLC-FL-ESI-TOF-	HPLC-co-IRMS	

Το ESI ανιχνεύει μόνο εκείνους τους μεταβολίτες που μπορούν να ιονιστούν με την προσθήκη ή την αφαίρεση ενός πρωτονίου ή με την προσθήκη ενός άλλου ιοντικού είδους. Το ESI λειτουργεί σε λειτουργίες θετικών και αρνητικών ιόντων. Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι μεταβολίτες ανιχνεύονται γενικά σε έναν, αλλά όχι και στους δύο τρόπους ιοντισμού, οι αναλύσεις μεταβολικής πραγματοποιούνται συνήθως και στους δύο τρόπους, προκειμένου να καλυφθεί ένα ευρύτερο μεταβολισμό.

Οι νέες τροποποιήσεις που επικεντρώνονται στις θερμικές κλίσεις πραγματοποιούνται με τη χρήση ενός σχεδιασμού πηγής ESI που ονομάζεται τεχνολογία JetStream. Αυτός ο τύπος πηγής ESI μπορεί αρχικά να αυξήσει σημαντικά την ευαισθησία της μεθόδου στις ενώσεις κατά τη διάρκεια της ανάλυσης, μειώνοντας τις απαιτήσεις για το μέγεθος του δείγματος, αυξάνοντας την απόδοση του δείγματος και βελτιώνοντας την ευρωστία της ανάλυσης (García-Cañas et al., 2013).

Το ESI δεν οδηγεί σε κατακερματισμό των μοριακών ιόντων, όπως παρατηρείται στο EI-MS, οπότε δεν επιτρέπει την άμεση ταυτοποίηση μεταβολιτών μέσω σύγκρισης φασμάτων μάζας ESI, καθώς οι βιβλιοθήκες φασμάτων μάζας ESI δεν είναι συνήθως διαθέσιμες. Με τη χρήση ακριβών μετρήσεων μάζας και/ή MS/MS για την παροχή φασμάτων διάστασης λόγω σύγκρουσης και σχετικών φασμάτων μάζας, μπορεί να πραγματοποιηθεί ταυτοποίηση μεταβολιτών. Λόγω της καταστολής ιονισμού, η δυνατότητα παροχής πλήρους ποσοτικοποίησης των μεταβολιτών που εκλούνται παρουσία άλλων μεταβολιτών είναι αδύνατη, οπότε η διαθεσιμότητα λογισμικού αποδιάταξης είναι περιορισμένη.

4.2. Αποτελέσματα της εφαρμογή της στη νοθεία των ποτών

Η αξιολόγηση της ποιότητας και η πιστοποίηση της γνησιότητας είναι κρίσιμα ζητήματα για τη βιομηχανία τροφίμων και ποτών, ιδίως για τα αλκοολούχα ποτά. Η ποιότητα των αλκοολούχων ποτών αξιολογείται συχνά με φυσικοχημικές και οργανοληπτικές δοκιμές. Οι φυσικοχημικές εργαστηριακές δοκιμές περιλαμβάνουν την ανάλυση ρουτίνας των τιμών πυκνότητας, αλκοόλης ή pH, ενώ η αισθητηριακή αξιολόγηση βασίζεται σε εμπειρογνώμονες.

Ολοκληρωμένες προσεγγίσεις που χρησιμοποιούν τη μεταβολομική εκτός από τις αισθητηριακές ιδιότητες για την αξιολόγηση της ποιότητας των αλκοολούχων ποτών έχουν δείξει ότι θα φέρουν αποτελέσματα στην αισθητηριακή ανάλυση. Η αξιολόγηση της γνησιότητας των αλκοολούχων ποτών λαμβάνει αυξημένη προσοχή, δεδομένου ότι τα αλκοολούχα ποτά συχνά υπόκεινται σε πρακτικές απάτης. Η νοθεία αυτών των εμπορευμάτων συνίσταται στην προσθήκη οποιασδήποτε ουσίας στο φυσικό οίνο για την αλλαγή της σύνθεσής του (Palczak et al., 2019).

Αρχικά, ορισμένα ελεύθερα αμινοξέα, φαινολικά μόρια, όπως τα φλαβονοειδή και οι ανθοκυανίνες, και πτητικές χημικές ουσίες αποτελούν παραδείγματα δεικτών που βοηθούν να εντοπιστεί ένα νοθευμένο ποτό ή να αξιολογηθεί ως προς την αυθεντικότητά του. Επιπλέον, ο λόγος των σταθερών ισοτόπων, δηλαδή των ατόμων H, C και O, και διάφορα μέταλλα και ιχνοστοιχεία (K, Na, Fe, Zn, Rb, Ca, Mg, Mn, Cu, Cr, Co, Br) χρησιμοποιούνται ως δείκτες (Geana et al., 2016).

Επίσης, οι δείκτες αναλύονται με διάφορες αναλυτικές μεθόδους με διαφορετικό βαθμό ευαισθησίας και ειδικότητας, όπως HPLC, GC, MS, φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης και εκπομπής, φασματοσκοπία UV-Vis, NIR, MIR και Raman, καθώς και φασματοσκοπία πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού (NMR). Επιπλέον, ο συνδυασμός των δεδομένων της αναλυτικής μεθόδου με τη χημειομετρική ανάλυση έχει ως αποτέλεσμα την ακριβή αξιολόγηση της γνησιότητας των αλκοολούχων ποτών (Canizo et al., 2010).

Ακόμη, ταυτοποίηση των μεταβολιτών γίνεται με την αντιστοίχιση του δείκτη κατακράτησης και του φάσματος μάζας της κορυφής του δείγματος με εκείνα μιας καθαρής ένωσης που αναλύθηκε προηγουμένως υπό πανομοιότυπες συνθήκες οργάνων. Ωστόσο, πολλοί μεταβολίτες δεν είναι διαθέσιμοι στο εμπόριο, οπότε οι βάσεις δεδομένων φασμάτων μάζας μπορεί να είναι επιτυχείς. Δυστυχώς, αυτές οι βάσεις δεδομένων φασμάτων μάζας δεν περιέχουν όλους τους μεταβολίτες που θα αναμένονταν από τη μελέτη μεταβολικών δικτύων. Στο πλαίσιο του τομέα, καταβάλλονται προσπάθειες για τη δημιουργία ειδικών για τη μεταβολική βιβλιοθηκών φασματικού φάσματος μάζας μέσω αναδυόμενων υπολογιστικών στρατηγικών που χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό μεταβολιτών (Bowen & Northen, 2010)

Επιπροσθέτως, η εφαρμογή της χημειομετρίας (PCA, PLA-DA) δεν μπόρεσε να ταξινομήσει τα δείγματα ανάλογα με το έτος παραγωγής. Ωστόσο, η ανάλυση με τη χρήση PLS-DA επέτρεψε τη διαφοροποίηση των οίνων ανάλογα με τη γεωγραφική τους προέλευση με βάση: τη συνολική οξύτητα, το κιτρικό, μηλικό, γλυκόξινο και γαλακτικό οξύ, τον ολικό δείκτη πολυφαινολών, τη γλυκόζη και τον λόγο προλίνης/αργινίνης (Song et al., 2014).

Οι Schmutzer et al. (2016) πραγματοποίησαν μια ολοκληρωμένη ανάλυση της περιεκτικότητας σε πτητικές οργανικές ενώσεις σε 23 διαφορετικούς τύπους χυμού πορτοκαλιού του εμπορίου και πρότειναν έναν δείκτη γεύσης για την ανίχνευση πιθανής νοθείας με αραιώση με νερό. Ο προτεινόμενος δείκτης γεύσης αντιστοιχεί στον λόγο των ολικών σεσκιτερπενίων προς τα ολικά τερπένια στο δείγμα χυμού. Ορίστηκε τιμή αναφοράς 40% για τον τυπικό χυμό πορτοκαλιού, ενώ τυχόν μετατοπίσεις προς τα πάνω ή προς τα κάτω από την τιμή αυτή υποδηλώνουν συμπυκνωμένο ή αραιωμένο χυμό, αντίστοιχα.

4.3. Μελλοντικές προοπτικές της χρήσης της μεταβολομικής για τη επικύρωση δεικτών νοθείας στα ποτά και τα τρόφιμα γενικά

Από μια γενική άποψη, συμπεραίνεται ότι η πολυπλοκότητα της χημείας των οίνων και το πλήθος των παραγόντων που επηρεάζουν τη χημική σύνθεση των οίνων τους καθιστά ένα πραγματικά πολύπλοκο πλέγμα για τον έλεγχο και τη διασφάλιση της αυθεντικότητας και της ποιότητάς τους. Οι προσεγγίσεις της μεταβολομικής προσφέρουν εξελιγμένες αναλυτικές τεχνολογίες για την αντιμετώπιση αυτών των αναλυτικών προκλήσεων. Η ανάλυση με την εφαρμογή φασματομέτρων υψηλής ανάλυσης σε προσεγγίσεις μεταβολομικής του οίνου έδειξε ότι περίπου το 62% των μαζών δεν περιγράφεται στη βιβλιογραφία, γεγονός που σημαίνει ότι η πλειονότητα των ενώσεων που υπάρχουν στους οίνους δεν έχει ακόμη προσδιοριστεί χημικά (Alañón et al., 2015).

Είναι πιθανό, οι πολυδιάστατες τεχνικές, όπως η GCxGC ή η LCxLC, να εφαρμοστούν στις μελέτες μεταβολομικής στο εγγύς μέλλον. Ο διαχωρισμός των ενώσεων σε πολυδιάστατα συστήματα επιτυγχάνεται με δύο χρωματογραφικές στήλες (συνήθως με διαφορετικούς μηχανισμούς διαχωρισμού). Οι τεχνικές αυτές

εφαρμόζονται για τη δημιουργία μεταβολικού προφίλ ενώσεων με διαφορετικές ιδιότητες που μπορούν να συγκρατηθούν και να διαχωριστούν με μία έγχυση. Μπορούν να πραγματοποιηθούν δύο πολυδιάστατες προσεγγίσεις (Alañón et al., 2015):

- ολοκληρωμένες μέθοδοι 2D που μεταφέρουν όλα τα συστατικά σε άλλη στήλη-ή,
- μέθοδοι 2D που μεταφέρουν μέρος των συστατικών σε άλλη στήλη.

Μπορεί όχι μόνο να βελτιώσουν την ανάλυση πολύπλοκων μειγμάτων και να αυξήσουν σημαντικά τον αριθμό των κορυφών, αλλά και να αυξήσουν την εκλεκτικότητα και την ευαισθησία σε σύγκριση με τις συμβατικές τεχνικές διαχωρισμού. Τα ολοκληρωμένα συστήματα 2D μπορούν να επιτύχουν υψηλότερη χωρητικότητα κορυφής. Το ολοκληρωμένο GCxGC σε συνδυασμό με TOF-MS είναι ένα πολλά υποσχόμενο εργαλείο για τη ανάδειξη του μεταβολομικού προφίλ τροφίμων.

Παρόλο που η τεχνολογία και η θεωρία διαχωρισμού 2D εισήχθησαν πριν από περισσότερα από 30 χρόνια, το αυξανόμενο ενδιαφέρον για την εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας στην πρωτεομική, τα βιολογικά δείγματα και τη φαρμακευτική ανάλυση οφείλεται κυρίως στην πρόσφατη εμπορική διάθεση των οργάνων και του λογισμικού 2DLC. Η εφαρμογή της στην αυθεντικότητα και την ιχνηλασιμότητα των οίνων δεν έχει ακόμη αναφερθεί, παρά τις μεγάλες δυνατότητές της (π.χ. ταυτόχρονος χειρικός και χειρικός διαχωρισμός) (Guyon et al., 2011).

Ένα άλλο πολλά υποσχόμενο εργαλείο για μελέτες μεταβολομικής είναι το CE, το οποίο αναμένεται να αναπτυχθεί για μεταβολομική έρευνα στον οίνο στο εγγύς μέλλον. Λόγω της χαμηλής ευαισθησίας, της αναπαραγωγιμότητας και της στιβαρότητας σε σύγκριση με άλλες αναλυτικές τεχνικές, όπως η LC ή η GC, αναμένουμε ότι οι εξελίξεις στις επιστρώσεις και τις διεπιφάνειες τριχοειδών σε συνδυασμό με τις μεθοδολογικές εξελίξεις αιχμής θα ξεπεράσουν αυτούς τους περιορισμούς.

Επίσης, οι νέες μέθοδοι CE θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν για τη διεξαγωγή μεταβολομικών στρατηγικών. Έτσι, οι μέθοδοι CE που αναπτύχθηκαν με τη σύζευξη τριχοειδών διαφορετικής διαμέτρου με κατάλληλο αλκαλικό βορικό άλας θα μπορούσαν να είναι χρήσιμες για τον εντοπισμό ελεύθερων πρωτεϊνών που

σχηματίζουν ομοιοπολικά συνδεδεμένα σύμπλοκα πρωτεΐνης-πολυφαινόλης και την παρακολούθηση των προϊόντων οξείδωσης για την αξιολόγηση της ιχνηλασιμότητας των οίνων. Επιπλέον, η χρήση τροποποιημένων ηλεκτροδίων με νανοσωλήνες άνθρακα όχι μόνο παρέχει ηλεκτροκαταλυτικές ιδιότητες, αλλά επίσης ενισχύει τη σταθερότητα του σήματος και αυξάνει την αντοχή στην παθητικοποίηση για την εφαρμογή του ως αμπερομετρικού ανιχνευτή στο διαχωρισμό CZE των πολυφαινολών του οίνου.

Τέλος, η χρησιμότητα των μεθόδων CE για τον εναντιομερή διαχωρισμό είναι ένας άλλος τομέας που πρέπει να ληφθεί υπόψη για το μέλλον. Η CE είναι μια ισχυρή τεχνική για τη χειρική ανάλυση τροφίμων, ιδίως λόγω της υψηλής απόδοσης διαχωρισμού, της ταχείας ανάπτυξης μεθόδων, της εύκολης προετοιμασίας του δείγματος και της ανάγκης για μικρές μόνο ποσότητες εξελιγμένων και ακριβών χειρικών εκλεκτών (Kodama et al., 2013).

Συμπεραίνοντας, η έλλειψη εργαλείων βιοπληροφορικής για τον χειρισμό και την ενσωμάτωση σύνθετων πολυδιάστατων δεδομένων που παράγονται από διαφορετικές πλατφόρμες φαίνεται να αποτελεί σημαντική πρόκληση για το μέλλον. Παρόλο που διάφορες προσεγγίσεις της μεταβολομικής έχουν αυξήσει τη γνώση του μεταβολώματος του οίνου και έχουν διευκρινίσει τις σχέσεις μεταξύ της σύνθεσης του οίνου και των ποιοτικών ιδιοτήτων, οι πρόσφατες εξελίξεις στις αναλυτικές τεχνικές ανοίγουν το δρόμο για τη δυνητική εφαρμογή τους σε διαφοροποίηση των οίνων, με μείζονες προβληματισμούς τα ζητήματα αυθεντικότητας και ιχνηλασιμότητας.

Συμπεράσματα

Η κατανάλωση αλκοολούχων ποτών με μέτρο είναι ευεργετική για την υγεία. Ορισμένα οφέλη προέρχονται άμεσα από την περιεκτικότητα σε αλκοόλ και άλλα από την υψηλή περιεκτικότητα των αλκοολούχων ποτών σε διάφορες πολυφαινολικές ενώσεις που είναι εξαιρετικά αντιοξειδωτικά. Συνοπτικά, το αλκοόλ καταναλώνεται ευρέως σε όλο τον κόσμο και ποικίλλει ως προς τα βασικά υλικά, τις μεθόδους παραγωγής, τη σύνθεση και τη συσκευασία. Όπως συμβαίνει με κάθε αναλώσιμο προϊόν, υπάρχει ανησυχία για τις χημικές προσμίξεις στο προϊόν, ιδίως για τις ενώσεις σε ελάχιστες ποσότητες που μπορεί να παραβλέπονται και να έχουν μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Το υψηλό ποσοστό αιθανόλης σε ορισμένα αλκοολούχα προϊόντα μπορεί να αυξήσει την πιθανότητα επιπλοκών στον ανθρώπινο οργανισμό.

Οι αναλυτικές μέθοδοι υγρής χρωματογραφίας-φασματομετρίας μάζας και μεταβολομικής ανάλυσης στα τρόφιμα που αναπτύχθηκαν με τη χρήση της νέας γενιάς οργάνων HRMS έχουν επιδείξει σημαντική πρόοδο όσον αφορά την ικανότητα ανάλυσης, την ευαισθησία, την ευρωστία, το διευρυμένο δυναμικό εύρος, τις δυνατότητες μαζικής ταυτοποίησης, την ευελιξία και τη διακριτική ικανότητα, προκειμένου να δημιουργηθούν με επιτυχία στατιστικά μοντέλα και να ακολουθήσει η ταυτοποίηση συγκεκριμένων δεικτών νοθείας.

Αντίθετα, όταν η LRMS χρησιμοποιείται σε λειτουργία πλήρους σάρωσης δεν παρέχει επαρκή ευαισθησία ή επιλεκτικότητα, επομένως παρατηρείται ευρέως χαμηλή αποτελεσματικότητα ταξινόμησης και διάκρισης. Εξαιτίας αυτού, έπρεπε να χρησιμοποιηθεί ένα συμπληρωματικό εργαλείο που βασίζεται στην HRMS για την ταυτοποίηση δεικτών.

Οι πρόσφατες εξελίξεις στην αναλυτική χημεία διευκόλυναν τον ποσοτικό προσδιορισμό των συστατικών και των μεταβολιτών των τροφίμων, καθώς και των τοξινών και των αλλεργιογόνων ενώσεων σε μοριακό επίπεδο. Οι αναλυτικές τεχνικές που βασίζονται σε MS είναι οι πιο διακεκριμένες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στην έρευνα των ωμικών, ακολουθούμενες από τις χρωματογραφικές τεχνικές. Οι τεχνολογίες των ωμικών προέκυψαν με τη χρήση αυτών των αναλυτικών μεθόδων,

ωστόσο, πρέπει ακόμη να αναπτυχθούν και να τυποποιηθούν. Οι καινοτομίες σε αυτές τις τεχνικές θα διευρύνουν τις εφαρμογές των omics στον τομέα των τροφίμων και της διατροφής.

Οι εφαρμογές των κλάδων των ωμικών τεχνικών: πρωτεωμική, λιπιδιομική, μεταβολομική, μεταγονιδιωματική και μεταγραφομική αποτελούν ισχυρά εργαλεία στην πιστοποίηση της ταυτότητας των τροφίμων, την ποιότητα των τροφίμων, την ασφάλεια των τροφίμων, την ανίχνευση νοθευμάτων, αλλεργιογόνων και τοξικών ουσιών και εμπλέκονται στην έρευνα της διατροφογενωμικής για τη στόχευση της ανθρώπινης ευημερίας. Η μεταγονιδιωματική, η μεταβολομική, η μεταγραφομική και η μεταπρωτεωμική χρησιμοποιούνται με επιτυχία στην αναγνώριση του μικροβιόκοσμου των τροφίμων.

Η κατανόηση της δυναμικής και των μονοπατιών των βακτηρίων που εμπλέκονται στα τρόφιμα που έχουν υποστεί ζύμωση, καθώς και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ του γονιδιώματος των τροφίμων και του μικροβιώματος του εντέρου θα συμβάλει στη βελτίωση της ποιότητας και στον πιλοτικό σχεδιασμό νέων λειτουργικών προϊόντων τροφίμων. Επιπλέον, οι τεχνικές αυτές επιτρέπουν την αναστολή ή τον έλεγχο των μικροοργανισμών αλλοίωσης και της ανάπτυξης παθογόνων μικροοργανισμών, γεγονός που αποτελεί μεγάλη πρόκληση όσον αφορά τόσο την ασφάλεια όσο και την ποιότητα των τροφίμων.

Οι μελλοντικές προοπτικές περιλαμβάνουν τη χρήση ασφαλέστερων, φθηνότερων, βιώσιμων και φιλικών προς το περιβάλλον αναλυτικών μεθόδων με υψηλή ευαισθησία, ακρίβεια και ακρίβεια- που παραπέμπουν άμεσα στην πράσινη τροφική. Η ενσωμάτωση της βιοπληροφορικής και της βιοστατιστικής για την απόκτηση ουσιαστικών δεδομένων από τις αναλυτικές μεθόδους στις μελέτες omics πρέπει να αποτελέσει μια άλλη σκέψη. Οι βάσεις δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των αναλυτικών δεδομένων έχουν σημειώσει πρόοδο τις τελευταίες δύο δεκαετίες και αναμφισβήτητα οι εξελίξεις θα είναι ραγδαίες με την ενσωμάτωση και τη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης στο κομμάτι της επεξεργασίας δεδομένων μεταβολομικής.

Είναι σαφές ότι οι κλάδοι των ωμικών έχουν αλληλεπιδράσεις και μερικές φορές είναι δύσκολο να διακριθούν. Σε πολλές περιπτώσεις, η συνδυασμένη χρήση διαφορετικών ωμικών τεχνολογιών είναι πιο γόνιμη στην έρευνα τροφίμων και διατροφής. Η επιστήμη και η τεχνολογία των τροφίμων είναι ένα δυναμικό ερευνητικό πεδίο και αναπτύσσεται συνεχώς. Περαιτέρω μελέτες σε μοριακό επίπεδο και η ενσωμάτωση των υφιστάμενων τεχνολογιών θα επιφέρουν νέους όρους και ερευνητικούς τομείς "ωμικών" στο μέλλον.

Βιβλιογραφία

- Abu-Reidah, I. M., Mar, del, Arráez-Román, D., Segura-Carretero, A., & Fernández-Gutiérrez, A. (2013). Reversed-phase ultra-high-performance liquid chromatography coupled to electrospray ionization-quadrupole-time-of-flight mass spectrometry as a powerful tool for metabolic profiling of vegetables: *Lactuca sativa* as an example of its application. *Journal of Chromatography A*, *1313*, 212–227. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2013.07.020>
- Alañón, M. E., Pérez-Coello, M. S., & Marina, M. L. (2015). Wine science in the metabolomics era. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, *74*, 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2015.05.006>
- Alseekh, S., Aharoni, A., Brotman, Y., Contrepolis, K., D’Auria, J., Ewald, J., C. Ewald, J., Fraser, P. D., Giavalisco, P., Hall, R. D., Heinemann, M., Link, H., Luo, J., Neumann, S., Nielsen, J., Perez de Souza, L., Saito, K., Sauer, U., Schroeder, F. C., & Schuster, S. (2021). Mass spectrometry-based metabolomics: a guide for annotation, quantification and best reporting practices. *Nature Methods*, *18*(7), 747–756. <https://doi.org/10.1038/s41592-021-01197-1>
- Anastasiadi, M., Zira, A., Magiatis, P., Haroutounian, S. A., Skaltsounis, A. L., & Mikros, E. (2009). ¹H NMR-Based Metabonomics for the Classification of Greek Wines According to Variety, Region, and Vintage. Comparison with HPLC Data. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *57*(23), 11067–11074. <https://doi.org/10.1021/jf902137e>
- Arbulu, M., Sampedro, M. C., Gómez-Caballero, A., Goicolea, M. A., & Barrio, R. J. (2015). Untargeted metabolomic analysis using liquid chromatography quadrupole time-of-flight mass spectrometry for non-volatile profiling of

wines. *Analytica Chimica Acta*, 858, 32–41.

<https://doi.org/10.1016/j.aca.2014.12.028>

Arslan, M., Tahir, H. E., Zareef, M., Shi, J., Rakha, A., Bilal, M., Xiaowei, H., Zhihua, L., & Xiaobo, Z. (2021). Recent trends in quality control, discrimination and authentication of alcoholic beverages using nondestructive instrumental techniques. *Trends in Food Science & Technology*, 107, 80–113.

<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.11.021>

Beckstrom, A. C., Tanya, P., Humston, E. M., Snyder, L. R., Synovec, R. E., & Juul, S. E. (2012). The perinatal transition of the circulating metabolome in a nonhuman primate. *Pediatric Research*, 71(4 Pt 1), 338–344.

<https://doi.org/10.1038/pr.2011.74>

Bell, S., Daskalopoulou, M., Rapsomaniki, E., George, J., Britton, A., Bobak, M., Casas, J. P., Dale, C. E., Denaxas, S., Shah, A. D., & Hemingway, H. (2017). Association between clinically recorded alcohol consumption and initial presentation of 12 cardiovascular diseases: population based cohort study using linked health records. *BMJ*, 356, j909. <https://doi.org/10.1136/bmj.j909>

Bharti, S. K., & Roy, R. (2012). Quantitative ¹H NMR spectroscopy. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 35, 5–26. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2012.02.007>

Borràs, E., Ferré, J., Boqué, R., Mestres, M., Aceña, L., & Busto, O. (2015). Data fusion methodologies for food and beverage authentication and quality assessment – A review. *Analytica Chimica Acta*, 891, 1–14.

<https://doi.org/10.1016/j.aca.2015.04.042>

Bowen, B. P., & Northen, T. R. (2010). Dealing with the unknown: Metabolomics and Metabolite Atlases. *Journal of the American Society for Mass Spectrometry*, 21(9), 1471–1476. <https://doi.org/10.1016/j.jasms.2010.04.003>

- Brenan, M. (2021, August 19). U.S. Alcohol Consumption on Low End of Recent Readings. Gallup.com. <https://news.gallup.com/poll/353858/alcohol-consumption-low-end-recent-readings.aspx>
- Britton, A., & Bell, S. (2015). Reasons Why People Change Their Alcohol Consumption in Later Life: Findings from the Whitehall II Cohort Study. *PLOS ONE*, *10*(3), e0119421. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0119421>
- Bruker, 2015. Wine Profiling. A New Generation of Wine Analysis Has Arrived. Bruker Corporation, Rheinstetten, Germany
- Cacho, J. F., & Lopez, R. (2005, January 1). FOOD AND NUTRITIONAL ANALYSIS | Alcoholic Beverages (P. Worsfold, A. Townshend, & C. Poole, Eds.). ScienceDirect; Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B0123693977001813>
- Cajka, T., Riddellova, K., Tomaniova, M., & Hajslova, J. (2010). Ambient mass spectrometry employing a DART ion source for metabolomic fingerprinting/profiling: a powerful tool for beer origin recognition. *Metabolomics*, *7*(4), 500–508. <https://doi.org/10.1007/s11306-010-0266-z>
- Cameli, M., Ballo, P., Garzia, A., Lisi, M., Palmerini, E., Spinelli, T., Bocelli, A., & Mondillo, S. (2009). Acute Effects of Low Doses of Red Wine on Cardiac Conduction and Repolarization in Young Healthy Subjects. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, *33*(12), 2141–2146. <https://doi.org/10.1111/j.1530-0277.2009.01054.x>
- Camin, F., Bontempo, L., Larcher, R., Grando, M. S., Moreno Sanz, P., Fahl-Hassek, C., Hajslova, J., Hurkova, K., Uttl, L., & Thomas, F. (2018). Wine and must. *FoodIntegrity Handbook*, 197–219. <https://doi.org/10.32741/fihb.12.wine>

- Cavicchi, A., Santini, C., 2011. Brunellopoli: a wine scandal under the tuscan sun. *Tourism Reviews International* 15, 253-267.
- Chaleckis, R., Meister, I., Zhang, P., & Wheelock, C. E. (2019). Challenges, progress and promises of metabolite annotation for LC–MS-based metabolomics. *Current Opinion in Biotechnology*, 55, 44–50.
<https://doi.org/10.1016/j.copbio.2018.07.010>
- Chen, D., Ye, Y., Chen, J., & Yan, X. (2016). Evolution of metabolomics profile of crab paste during fermentation. *Food Chemistry*, 192, 886–892.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.07.098>
- Clish, C. B. (2015). Metabolomics: an emerging but powerful tool for precision medicine. *Cold Spring Harbor Molecular Case Studies*, 1(1).
<https://doi.org/10.1101/mcs.a000588>
- Corrao, G., Rubbiati, L., Bagnardi, V., Zambon, A., & Poikolainen, K. (2000). Alcohol and coronary heart disease: a meta-analysis. *Addiction*, 95(10), 1505–1523. <https://doi.org/10.1046/j.1360-0443.2000.951015056.x>
- Cosmi, F., Di Giulio, P., Masson, S., Finzi, A., Marfisi, R. M., Cosmi, D., Scarano, M., Tognoni, G., Maggioni, A. P., Porcu, M., Boni, S., Cutrupi, G., Tavazzi, L., & Latini, R. (2015). Regular Wine Consumption in Chronic Heart Failure. *Circulation: Heart Failure*, 8(3), 428–437.
<https://doi.org/10.1161/circheartfailure.114.002091>
- Cuadros-Inostroza, A., Giavalisco, P., Hummel, J., Eckardt, A., Willmitzer, L., & Peña-Cortés, H. (2010). Discrimination of Wine Attributes by Metabolome Analysis. *Analytical Chemistry*, 82(9), 3573–3580.
<https://doi.org/10.1021/ac902678t>

- Cuadros-Rodríguez, L., Ruiz-Samblás, C., Valverde-Som, L., Pérez-Castaño, E., & González-Casado, A. (2016). Chromatographic fingerprinting: An innovative approach for food 'identification' and food authentication—A tutorial. *Analytica Chimica Acta*, 909, 9-23
- Cubero-Leon, E., Peñalver, R., & Maquet, A. (2014). Review on metabolomics for food authentication. *Food Research International*, 60, 95–107.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.11.041>
- Cynkar, W., Damberg, R., Smith, P., Cozzolino, D., 2010. Classification of Tempranillo wines according to geographic origin: combination of mass spectrometry based electronic nose and chemometrics. *Analytica Chimica Acta* 660, 227e231
- Danezis, G. P., Tsagkaris, A. S., Camin, F., Brusica, V., & Georgiou, C. A. (2016). Food authentication: Techniques, trends & emerging approaches. *Trends in Analytical Chemistry*, 85, 123-132.
- Dasgupta, A., & Klein, K. (2014). *Alcoholic Beverages*. Elsevier eBooks, 259–276.
<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-405872-9.00014-8>
- De Paepe, D., Valkenburg, D., Coudijzer, K., Noten, B., Servaes, K., De Loose, M., Voorspoels, S., Diels, L., & Van Droogenbroeck, B. (2014). Thermal degradation of cloudy apple juice phenolic constituents. *Food Chemistry*, 162, 176–185. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.005>
- Delgado de la Torre, M. P., Priego-Capote, F., & Luque de Castro, M. D. (2015). Characterization and Comparison of Wine Lees by Liquid Chromatography–Mass Spectrometry in High-Resolution Mode. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(4), 1116–1125. <https://doi.org/10.1021/jf505331f>

- Díaz, R., Pozo, O. J., Sancho, J. V., & Hernández, F. (2014). Metabolomic approaches for orange origin discrimination by ultra-high performance liquid chromatography coupled to quadrupole time-of-flight mass spectrometry. *Food Chemistry*, *157*, 84–93. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.02.009>
- Díaz-Cruz, C., Chua, A. S., Malik, M. T., Kaplan, T., Glanz, B. I., Egorova, S., Guttman, C. R. G., Bakshi, R., Weiner, H. L., Healy, B. C., & Chitnis, T. (2017). The effect of alcohol and red wine consumption on clinical and MRI outcomes in multiple sclerosis. *Multiple Sclerosis and Related Disorders*, *17*, 47–53. <https://doi.org/10.1016/j.msard.2017.06.011>
- Dudley, R. (2004). Ethanol, Fruit Ripening, and the Historical Origins of Human Alcoholism in Primate Frugivory. *Integrative and Comparative Biology*, *44*(4), 315–323. <https://doi.org/10.1093/icb/44.4.315>
- Ellis, D. I., Brewster, V. L., Dunn, W. B., Allwood, J. W., Golovanov, A. P., & Goodacre, R. (2012). Fingerprinting food: current technologies for the detection of food adulteration and contamination. *Chemical Society Reviews*, *41*(17), 5706–5727. <https://doi.org/10.1039/c2cs35138b>
- Elmadhun, N. Y., Sabe, A. A., Lassaletta, A. D., & Sellke, F. W. (2015). Ethanol promotes new vessel growth in remote nonischemic myocardium. *Journal of Surgical Research*, *193*(2), 536–542. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2014.05.048>
- EMBL-EBI. (2023). *What is metabolomics?* | *Metabolomics*. <https://www.ebi.ac.uk/training/online/courses/metabolomics-introduction/what-is/>
- Emwas, A.-H., Roy, R., McKay, R. T., Tenori, L., Saccenti, E., Gowda, G. A. N., Raftery, D., Alahmari, F., Jaremko, L., Jaremko, M., & Wishart, D. S. (2019).

NMR Spectroscopy for Metabolomics Research. *Metabolites*, 9(7).

<https://doi.org/10.3390/metabo9070123>

europa. (2023). *Around 6 million litres of illicit alcoholic drinks seized - European Commission*. Anti-Fraud.ec.europa.eu. https://anti-fraud.ec.europa.eu/media-corner/news/around-6-million-litres-illicit-alcoholic-drinks-seized-2023-10-11_en

Fiedler, Katherine L., et al. "Characterization of Grain-Specific Peptide Markers for the Detection of Gluten by Mass Spectrometry." *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 62, no. 25, 10 June 2014, pp. 5835–5844, <https://doi.org/10.1021/jf500997j>

Ferri, M., Serrazanetti, D. I., Tassoni, A., Baldissarri, M., & Gianotti, A. (2016). Improving the functional and sensorial profile of cereal-based fermented foods by selecting *Lactobacillus plantarum* strains via a metabolomics approach. *Food Research International*, 89, 1095–1105. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.08.044>

Frederiksen, T. (2022). Newsroom» New Oxford Economics study confirms beer's significant global economic impact «Carlsberg Group. Carlsberg Group. <https://www.carlsberggroup.com/newsroom/new-oxford-economics-study-confirms-beer-s-significant-global-economic-impact/>

Fresán, U., Gea, A., Bes-Rastrollo, M., Ruiz-Canela, M., & Martínez-Gonzalez, M. (2016). Substitution Models of Water for Other Beverages, and the Incidence of Obesity and Weight Gain in the SUN Cohort. *Nutrients*, 8(11), 688. <https://doi.org/10.3390/nu8110688>

Gao, W., Hua Gui Yang, Qi, L.-W., Liu, E-Hu., Ren, M.-T., Yan, Y., Chen, J., & Li, P. (2012). *Unbiased metabolite profiling by liquid chromatography–*

quadrupole time-of-flight mass spectrometry and multivariate data analysis for herbal authentication: Classification of seven Lonicera species flower buds. 1245, 109–116. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2012.05.027>

García-Cañas, V., Simó, C., Castro-Puyana, M., & Cifuentes, A. (2013). Recent advances in the application of capillary electromigration methods for food analysis and Foodomics. *ELECTROPHORESIS*, 35(1), 147–169. <https://doi.org/10.1002/elps.201300315>

Geana, E.-I., Ciucure, C. T., & Apetrei, C. (2020). Electrochemical Sensors Coupled with Multivariate Statistical Analysis as Screening Tools for Wine Authentication Issues: A Review. *Chemosensors*, 8(3), 59–59. <https://doi.org/10.3390/chemosensors8030059>

Geng, Ping, et al. “Differentiation of Bread Made with Whole Grain and Refined Wheat (*T. Aestivum*) Flour Using LC/MS-Based Chromatographic Fingerprinting and Chemometric Approaches.” *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 47, Apr. 2016, pp. 92–100, <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.12.010>

Gilbert-López, B., Valdés, A., Acunha, T., García-Cañas, V., Simó, C., & Cifuentes, A. (2017, January 1). *Chapter 10 - Foodomics: LC and LC-MS-based omics strategies in food science and nutrition* (S. Fanali, P. R. Haddad, C. F. Poole, & M.-L. Riekkola, Eds.). ScienceDirect; Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B978012805392800010>

4

Godelmann, R., Fang, F., Humpfer, E., Sch€utz, B., Bansbach, M., Sch€afer, H., Spraul, M.,
2013. Targeted and nontargeted wine analysis by ¹H NMR spectroscopy combined w

- ith multivariate statistical analysis. Differentiation of important parameters: grape variety, geographical origin, year of vintage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 61, 5610e5619
- Golan, R., Shai, I., Gepner, Y., Harman-Boehm, I., Schwarzfuchs, D., Spence, J. D., Parraga, G., Buchanan, D., Witkow, S., Friger, M., Liberty, I. F., Sarusi, B., Ben-Avraham, S., Sefarty, D., Bril, N., Rein, M., Cohen, N., Ceglarek, U., Thierry, J., & Stumvoll, M. (2018). Effect of wine on carotid atherosclerosis in type 2 diabetes: a 2-year randomized controlled trial. *European Journal of Clinical Nutrition*, 72(6), 871–878. <https://doi.org/10.1038/s41430-018-0091-4>
- Guyon, F., Gaillard, L., Salagoity, M.-H., & Médina, B. (2011). Intrinsic ratios of glucose, fructose, glycerol and ethanol ¹³C/¹²C isotopic ratio determined by HPLC-co-IRMS: toward determining constants for wine authentication. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 401(5), 1551–1558. <https://doi.org/10.1007/s00216-011-5012-5>
- Hrbek, V., Vaclavik, L., Elich, O., & Hajslova, J. (2014). Authentication of milk and milk-based foods by direct analysis in real time ionization–high resolution mass spectrometry (DART–HRMS) technique: A critical assessment. *Food Control*, 36(1), 138–145. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.08.003>
- Hrelia, S., Di Renzo, L., Bavaresco, L., Bernardi, E., Malaguti, M., & Giacosa, A. (2023). Moderate Wine Consumption and Health: A Narrative Review. *Nutrients*, 15(1), 175. <https://doi.org/10.3390/nu15010175>
- Huang, J., Wang, X., & Zhang, Y. (2016). Specific types of alcoholic beverage consumption and risk of type 2 diabetes: A systematic review and meta-

analysis. *Journal of Diabetes Investigation*, 8(1), 56–68.

<https://doi.org/10.1111/jdi.12537>

Hurtado-Fernández, E., Pacchiarotta, T., Mayboroda, O. A., Fernández-Gutiérrez, A., & Carrasco-Pancorbo, A. (2014). Metabolomic analysis of avocado fruits by GC-APCI-TOF MS: effects of ripening degrees and fruit varieties. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 407(2), 547–555

<https://doi.org/10.1007/s00216-014-8283-9>

Inoue, K., Nishimura, M., Tsutsui, H., Jun Zhe Min, Kenichiro Todoroki, Kauffmann, J.-M., & Toshimasa Toyo'oka. (2013). Foodomics Platform for the Assay of Thiols in Wines with Fluorescence Derivatization and Ultra Performance Liquid Chromatography Mass Spectrometry Using Multivariate Statistical Analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(6), 1228–1234.

<https://doi.org/10.1021/jf304822t>

Jandrić, Z., Roberts, D., Rathor, M. N., Abraham, A., Islam, M., & Cannavan, A. (2014). Assessment of fruit juice authenticity using UPLC–QToF MS: A metabolomics approach. *Food Chemistry*, 148, 7–17.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.014>

Kamiloglu, S. (2019). Authenticity and traceability in beverages. *Food Chemistry*, 277, 12–24. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.091>

Karlsson, P. (2022a, January 19). World wine consumption in 2020 and the countries that drink the most | Per on Forbes | BKWine Magazine |. BKWine Magazine. <https://www.bkwine.com/features/more/world-wine-consumption-in-2020/>

Kelley, K. (2022, April 16). Alcoholic Beverage Consumption Statistics and Trends 2022. Penn State Extension. <https://extension.psu.edu/alcoholic-beverage-consumption-statistics-and-trends-2022>

- Kerr, W. C., Greenfield, T. K., Tujague, J., & Brown, S. E. (2005). A Drink Is A Drink? Variation in the Amount of Alcohol Contained in Beer, Wine and Spirits Drinks in a US Methodological Sample. *Alcoholism: Clinical & Experimental Research*, 29(11), 2015–2021.
<https://doi.org/10.1097/01.alc.0000187596.92804.bd>
- Kim, J., Choi, J. N., John, K. M. M., Kusano, M., Oikawa, A., Saito, K., & Lee, C. H. (2012). GC–TOF-MS- and CE–TOF-MS-Based Metabolic Profiling of Cheonggukjang (Fast-Fermented Bean Paste) during Fermentation and Its Correlation with Metabolic Pathways. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(38), 9746–9753. <https://doi.org/10.1021/jf302833y>
- Knödler, Matthias, et al. “A Novel Approach to Authenticity Control of Whole Grain Durum Wheat (*Triticum Durum* Desf.) Flour and Pasta, Based on Analysis of Alkylresorcinol Composition.” *Food Chemistry*, vol. 118, no. 1, Jan. 2010, pp. 177–181, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.04.080>
- Kodama, S., Aizawa, S., Taga, A., Yamamoto, A., Honda, Y., Suzuki, K., Kemmei, T., & Hayakawa, K. (2013). Determination of α -hydroxy acids and their enantiomers in fruit juices by ligand exchange CE with a dual central metal ion system. *Electrophoresis*, 34(9-10), 1327–1333.
<https://doi.org/10.1002/elps.201200645>
- Kuehnbaum, N. L., & Britz-McKibbin, P. (2013). New Advances in Separation Science for Metabolomics: Resolving Chemical Diversity in a Post-Genomic Era. *Chemical Reviews*, 113(4), 2437–2468. <https://doi.org/10.1021/cr300484s>
- Kunzelmann, M., Winter, M., Åberg, M., Hellenäs, K.-E., & Rosén, J. (2018). Non-targeted analysis of unexpected food contaminants using LC-HRMS. 410(22), 5593–5602. <https://doi.org/10.1007/s00216-018-1028-4>

- Lachenmeier, D. (2016). Adulteration of Alcoholic Beverages in DOWNEY 2016 Advances in Food Authenticity Testing. *Www.academia.edu*.
https://www.academia.edu/28559424/Adulteration_of_Alcoholic_Beverages_in_DOWNEY_2016_Advances_in_Food_Authenticity_Testing
- Lachenmeier, D. W. (2016). Advances in the Detection of the Adulteration of Alcoholic Beverages Including Unrecorded Alcohol. *Advances in Food Authenticity Testing*, 565–584. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100220-9.00021-7>
- Lachenmeier, D. W. (2016, January 1). 21 - *Advances in the Detection of the Adulteration of Alcoholic Beverages Including Unrecorded Alcohol* (G. Downey, Ed.). ScienceDirect; Woodhead Publishing.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780081002209000217>
- Lachenmeier, D. W., & Rehm, J. (2012). Is There a Relationship Between Alcohol Quality and Health? *Alcohol and Alcoholism*, 48(1), 127–129.
<https://doi.org/10.1093/alcalc/ags101>
- Le Boucher, C., Courant, F., Jeanson, S., Sylvain Chéreau, Maillard, M.-B., Royer, A.-L., Thierry, A., Gaud Dervilly, Bruno Le Bizec, & Lortal, S. (2013). First mass spectrometry metabolic fingerprinting of bacterial metabolism in a model cheese. *Food Chemistry*, 141(2), 1032–1040.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.03.094>
- Le Boucher, C., Courant, F., Royer, A.-L., Jeanson, S., Lortal, S., Dervilly-Pinel, G., Thierry, A., & Le Bizec, B. (2015). LC–HRMS fingerprinting as an efficient approach to highlight fine differences in cheese metabolome during ripening. *Metabolomics*, 11(5), 1117–1130. <https://doi.org/10.1007/s11306-014-0769-0>

- Leder, R., Petric, I. V., Jusup, J., & Banović, M. (2021). Geographical Discrimination of Croatian Wines by Stable Isotope Ratios and Multielemental Composition Analysis. *Frontiers in Nutrition*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.625613>
- Lin, S., & Salcido-Keamo, S. (2021, January 1). *Chapter 12 - Fraud in wine and other alcoholic beverages* (R. S. Hellberg, K. Everstine, & S. A. Sklare, Eds.). ScienceDirect; Academic Press.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B978012817242100004>
- X
- Liu, R., Bao, Z.-X., Zhao, P.-J., & Li, G.-H. (2021). Advances in the Study of Metabolomics and Metabolites in Some Species Interactions. *Molecules*, 26(11), 3311. <https://doi.org/10.3390/molecules26113311>
- Manning, L., & Kowalska, A. (2021). Illicit Alcohol: Public Health Risk of Methanol Poisoning and Policy Mitigation Strategies. *Foods*, 10(7), 1625.
<https://doi.org/10.3390/foods10071625>
- Martin, M. A., Goya, L., & Ramos, S. (2017). *Sci-Hub | Protective effects of tea, red wine and cocoa in diabetes. Evidences from human studies. Food and Chemical Toxicology*, 109, 302–314 | 10.1016/j.fct.2017.09.015. Sci-Hub.se.
<https://sci-hub.se/https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0278691517305252>
- Mattarucchi, E., Stocchero, M., Moreno-Rojas, J. M., Giordano, G., Fabiano Reniero, & Guillou, C. (2010). Authentication of Trappist Beers by LC-MS Fingerprints and Multivariate Data Analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(23), 12089–12095. <https://doi.org/10.1021/jf102632g>

- Merkytė, V., Longo, E., Windisch, G., & Boselli, E. (2020). Phenolic Compounds as Markers of Wine Quality and Authenticity. *Foods*, 9(12), 1785. <https://doi.org/10.3390/foods9121785>
- Monakhova, Y.B., Godelmann, R., Hermann, A., Kuballa, T., Cannet, C., Sch€afer, H., Spraul, M., Rutledge, D.N., 2014. Synergistic effect of the simultaneous chemometric analysis of ¹H NMR spectroscopic and stable isotope (SNIF-NMR, ¹⁸O, ¹³C) data: application to wine analysis. *Analytica Chimica Acta* 833, 29-39
- More, B. P., Doundkar, B. B., & Toche, R. B. (2014). Unusual Finding of Oxytocin in Illicit Liquor Samples by HPTLC. *Chemical Science Transactions*. <https://doi.org/10.7598/cst2014.733>
- Muncke, J., Myers, J. P., Scheringer, M., & Porta, M. (2014). Food packaging and migration of food contact materials: will epidemiologists rise to the neurotoxic challenge? *Journal of Epidemiology and Community Health*, 68(7), 592–594. <https://doi.org/10.1136/jech-2013-202593>
- Nakamura, R., Pechey, R., Suhrcke, M., Jebb, S. A., & Marteau, T. M. (2014). Sales impact of displaying alcoholic and non-alcoholic beverages in end-of-aisle locations: An observational study. *Social Science & Medicine*, 108, 68–73. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2014.02.032>
- Navarro, M., Núñez, O., Saurina, J., Hernández-Cassou, S., & Lluís Puignou. (2014). Characterization of Fruit Products by Capillary Zone Electrophoresis and Liquid Chromatography Using the Compositional Profiles of Polyphenols: Application to Authentication of Natural Extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(5), 1038–1046. <https://doi.org/10.1021/jf404776d>

- Neufeld, M., Lachenmeier, D., Hausler, T., & Rehm, J. (2016). Surrogate alcohol containing methanol, social deprivation and public health in Novosibirsk, Russia. *International Journal of Drug Policy*, 37, 107–110.
<https://doi.org/10.1016/j.drugpo.2016.08.001>
- Ochi, H., Naito, H., Iwatsuki, K., Bamba, T., & Fukusaki, E. (2012). Metabolomics-based component profiling of hard and semi-hard natural cheeses with gas chromatography/time-of-flight-mass spectrometry, and its application to sensory predictive modeling. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 113(6), 751–758. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2012.02.006>
- OIV. (2021). *COMPENDIUM OF INTERNATIONAL METHODS OF WINE AND MUST ANALYSIS INTERNATIONAL ORGANISATION OF VINE AND WINE*.
<https://www.oiv.int/public/medias/7907/oiv-vol1-compendium-of-international-methods-of-analysis.pdf>
- OIV. International Standard for the Labelling of Wines; Organisation Internationale de la Vigne et du Vin: Paris, France, 2015; pp. 1–15. Available online: <http://www.oiv.int/public/medias/4776/oiv-wine-labelling-standard-en-2015.pdf>
- OLAF. More than 1 m Litres of Counterfeit Wine and Alcoholic Beverages Seized under OLAF's Lead, Press Release No. 22/2020. 2020. Available online: https://ec.europa.eu/anti-fraud/file/5190/download_en?token=HSWzFi7K
- Paolini, M., Tonidandel, L., & Larcher, R. (2022). Development, validation and application of a fast GC-FID method for the analysis of volatile compounds in spirit drinks and wine. *Food Control*, 108873.
<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.108873>

- Piazzon, A., Forte, M., & Nardini, M. (2010). Characterization of Phenolics Content and Antioxidant Activity of Different Beer Types. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(19), 10677–10683. <https://doi.org/10.1021/jf101975q>
- Piccinonna, S., Ragone, R., Stocchero, M., Del Coco, L., De Pascali, S. A., Schena, F. P., & Fanizzi, F. P. (2016). Robustness of NMR-based metabolomics to generate comparable data sets for olive oil cultivar classification. An inter-laboratory study on Apulian olive oils. *Food Chemistry*, 199, 675–683. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.064>
- Pisano, P. L., Silva, M. F., & Olivieri, A. C. (2015). Anthocyanins as markers for the classification of Argentinean wines according to botanical and geographical origin. Chemometric modeling of liquid chromatography–mass spectrometry data. *Food Chemistry*, 175, 174–180. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.124>
- Polsky, S., & Akturk, H. K. (2017). Alcohol Consumption, Diabetes Risk, and Cardiovascular Disease Within Diabetes. *Current Diabetes Reports*, 17(12). <https://doi.org/10.1007/s11892-017-0950-8>
- Prandi, Barbara, et al. *Common Wheat Determination in Durum Wheat Samples through LC/MS Analysis of Gluten Peptides*. Vol. 403, no. 10, 4 Feb. 2012, pp. 2909–2914, <https://doi.org/10.1007/s00216-012-5731-2>
- Righetti, Laura, et al. “A Novel Approach Based on Untargeted Lipidomics Reveals Differences in the Lipid Pattern among Durum and Common Wheat.” *Food Chemistry*, vol. 240, Feb. 2018, pp. 775–783, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.020>
- Suman, Michele, et al. “Fighting Food Frauds Exploiting Chromatography-Mass Spectrometry Technologies: Scenario Comparison between Solutions in

Scientific Literature and Real Approaches in Place in Industrial Facilities.”

TrAC Trends in Analytical Chemistry, vol. 142, 1 Sept. 2021, p. 116305,

www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016599362100128X,

<https://doi.org/10.1016/j.trac.2021.116305>

Qin, Z., Wang, J., Wang, D., Xiao, H., Lv, X., Chen, H., & Wei, F. (2024). Analytical opportunities and challenges for data handling with chemometrics strategies

from LC-MS based food metabolomics. *Trends in Food Science &*

Technology, 143, 104298. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104298>

Roullier-Gall, C., Witting, M., Gougeon, Rã. D., & Schmitt-Kopplin, P. (2014). High precision mass measurements for wine metabolomics. *Frontiers in Chemistry*,

2. <https://doi.org/10.3389/fchem.2014.00102>

Rowena, M., & Soga, T. (2007). Metabolome analysis by capillary electrophoresis–mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1168(1-2), 237–246.

<https://doi.org/10.1016/j.chroma.2007.02.065>

Rubén Gil-Solsona, Montse Raro, Sales, C., Lacalle, L., Díaz, R., María Ibáñez,

Beltran, J., Juan Vicente Sancho, & Hernández, F. J. (2016). Metabolomic

approach for Extra virgin olive oil origin discrimination making use of ultra-

high performance liquid chromatography – Quadrupole time-of-flight mass

spectrometry. *Food Control*, 70, 350–359

<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.06.008>

Rubert, J., Lacina, O., Carsten Fauhl-Hassek, & Hajslova, J. (2014). Metabolic

fingerprinting based on high-resolution tandem mass spectrometry: a reliable

tool for wine authentication? *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 406(27),

6791–6803. <https://doi.org/10.1007/s00216-014-7864-y>

- Schmutzer, G. R., Dehelean, A., Magdas, D. A., Cristea, G., & Voica, C. (2016). Determination of Stable Isotopes, Minerals, and Volatile Organic Compounds in Romanian Orange Juice. *Analytical Letters*, 49(16), 2644–2658. <https://doi.org/10.1080/00032719.2015.1130713>
- Scott, K. R., & Barrett, A. M. (2007). Dementia syndromes: evaluation and treatment. *Expert Review of Neurotherapeutics*, 7(4), 407–422. <https://doi.org/10.1586/14737175.7.4.407>
- Settachaimongkon, S., Nout, M. J. R., Antunes Fernandes, E. C., Hettinga, K. A., Vervoort, J. M., van Hooijdonk, T. C. M., Zwietering, M. H., Smid, E. J., & van Valenberg, H. J. F. (2014). Influence of different proteolytic strains of *Streptococcus thermophilus* in co-culture with *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* on the metabolite profile of set-yoghurt. *International Journal of Food Microbiology*, 177, 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.02.008>
- Son, H.-S., Hwang, G.-S., Park, W.-M., Hong, Y.-S., & Lee, C.-H. (2009). Metabolomic Characterization of Malolactic Fermentation and Fermentative Behaviors of Wine Yeasts in Grape Wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(11), 4801–4809. <https://doi.org/10.1021/jf9005017>
- Song, Y.-L., Jing, W.-H., Chen, Y.-G., Yuan, Y.-F., Yan, R., & Wang, Y.-T. (2014). ¹H nuclear magnetic resonance based-metabolomic characterization of Peucedani Radix and simultaneous determination of praeruptorin A and praeruptorin B. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 93, 86–94. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2013.08.021>
- Stanimirova, I., Üstün, B., Cajka, T., Riddelova, K., Hajslova, J., Buydens, L. M. C., & Walczak, B. (2010). Tracing the geographical origin of honeys based on

volatile compounds profiles assessment using pattern recognition techniques.

Food Chemistry, 118(1), 171–176.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.04.079>

Stettin, D., Poulin, R. X., & Pohnert, G. (2020). Metabolomics Benefits from Orbitrap GC–MS—Comparison of Low- and High-Resolution GC–MS. *Metabolites*, 10(4), 143. <https://doi.org/10.3390/metabo10040143>

Theodoridis, G., Gika, H. G., & Wilson, I. D. (2008). LC-MS-based methodology for global metabolite profiling in metabonomics/metabolomics. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 27(3), 251–260.

<https://doi.org/10.1016/j.trac.2008.01.008>

Toma, A., Paré, G., & Leong, D. P. (2017). Alcohol and Cardiovascular Disease: How Much is Too Much? *Current Atherosclerosis Reports*, 19(3).

<https://doi.org/10.1007/s11883-017-0647-0>

Tsugawa, H. (2018). Advances in computational metabolomics and databases deepen the understanding of metabolisms. *Current Opinion in Biotechnology*, 54, 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2018.01.008>

Vaclavik, L., Lacina, O., Hajslova, J., & Zweigenbaum, J. (2011). The use of high performance liquid chromatography–quadrupole time-of-flight mass spectrometry coupled to advanced data mining and chemometric tools for discrimination and classification of red wines according to their variety. *Analytica Chimica Acta*, 685(1), 45–51.

<https://doi.org/10.1016/j.aca.2010.11.018>

Vaclavik, L., Schreiber, A., Lacina, O., Cajka, T., & Hajslova, J. (2011). Liquid chromatography–mass spectrometry-based metabolomics for authenticity

assessment of fruit juices. *Metabolomics*, 8(5), 793–803.

<https://doi.org/10.1007/s11306-011-0371-7>

van Leeuwen, K. A., Prenzler, P. D., Ryan, D., Paolini, M., & Camin, F. (2018).

Differentiation of wood-derived vanillin from synthetic vanillin in distillates using gas chromatography/combustion/isotope ratio mass spectrometry for $\delta^{13}\text{C}$ analysis. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 32(4), 311-318

Vrhovsek, U., Masuero, D., Gasperotti, M., Franceschi, P., Caputi, L., Viola, R., &

Mattivi, F. (2012). A Versatile Targeted Metabolomics Method for the Rapid Quantification of Multiple Classes of Phenolics in Fruits and Beverages.

Journal of Agricultural and Food Chemistry, 60(36), 8831–8840.

<https://doi.org/10.1021/jf2051569>

Vuong, B. T. (2022). *Case Study: Methanol Poisoning from Adulterated Liquor* |

Food Safety. www.food-safety.com. [https://www.food-](https://www.food-safety.com/articles/7936-case-study-methanol-poisoning-from-adulterated-liquor)

[safety.com/articles/7936-case-study-methanol-poisoning-from-adulterated-](https://www.food-safety.com/articles/7936-case-study-methanol-poisoning-from-adulterated-liquor)

[liquor](https://www.food-safety.com/articles/7936-case-study-methanol-poisoning-from-adulterated-liquor) Wadood, Syed Abdul , et al. “Geographical Discrimination of Chinese

Winter Wheat Using Volatile Compound Analysis by HS-SPME/GC-MS

Coupled with Multivariate Statistical Analysis.” *Journal of Mass*

Spectrometry, vol. 55, no. 1, 16 Dec. 2019, <https://doi.org/10.1002/jms.4453>

Wiseman, J. M., Ifa, D. R., Venter, A., & Cooks, R. G. (2008). Ambient molecular

imaging by desorption electrospray ionization mass spectrometry. *Nature*

Protocols, 3(3), 517–524. <https://doi.org/10.1038/nprot.2008.11>

Wiśniewska, P., Dymerski, T., Wardencki, W., & Namieśnik, J. (2014). Chemical

composition analysis and authentication of whisky. *Journal of the Science of*

Food and Agriculture, 95(11), 2159–2166. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6960>

ΑΑΔΕ. (2019). Νομοθεσία αλκοολούχων ποτών | ΑΑΔΕ. Aade.gr.

<https://www.aade.gr/epiheiriseis/ypiresies-himeioy/aithyliki-alkooli-kai-potame-alkooli/alkooloyha-pota/himeio/nomothesia-alkooloyhon-poton>

Ευρωπαϊκή Επιτροπή. (2020). RASFF Portal. Europa.eu.

<https://webgate.ec.europa.eu/rasff-window/portal/?event=notificationsList&StartRow=1>