



Πανεπιστήμιο
Ιωαννίνων

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ**

ΔΠΜΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΓΡΟΔΙΑΤΡΟΦΗ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Οι Ομικές Τεχνολογίες στη διασφάλιση της
ποιότητας και της αυθεντικότητας τροφίμων»**

ΦΙΛΟΘΕΗ ΜΕΡΚΟΥΡΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΣΑΚΚΑΣ

ΙΩΑΝΝΙΝΑ 2023



University of Ioannina

**UNIVERSITY OF IOANNINA
SCHOOL OF SCIENCES
DEPARTMENT OF CHEMISTRY**

PROGRAM OF POSTGRADUATE STUDIES "ENVIRONMENT
AND AGRI-NUTRITION"

DIPLOMA THESIS

**«Foodomics – based approaches to evaluate
food quality and authenticity»**

FILOTHEI MERKOURI
SUPERVISOR PROFESSOR: VASILEIOS SAKKAS

IOANNINA 2023

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ποιότητα και η αυθεντικότητα των τροφίμων που καταναλώνουμε είναι ένα θέμα μείζονος σημασίας, το οποίο σχετίζεται άμεσα με την υγεία και την ευημερία μας. Για το λόγο αυτό, επιστήμονες των κλάδων της χημείας, γιατροί, νομικοί και ερευνητές έχουν δώσει μεγάλη βαρύτητα σε αυτό το πολυδιάστατο κεφάλαιο. Αδιαμφισβήτητα κάθε άνθρωπος απαιτεί να του εξασφαλίζεται ότι το τρόφιμο το οποίο καταναλώνει δεν είναι βλαβερό για την υγεία του και περιέχει πραγματικά τα συγκεκριμένα συστατικά τα οποία αναγράφονται στην ετικέτα της συσκευασίας του. Με σκοπό την επίτευξη της διασφάλισης της ποιότητας των τροφίμων έγιναν πολλές και χρόνιες έρευνες οι οποίες εξελισσόμενες κατέληξαν στη Τροφομική μελέτη (Foodomics), ένα σύμπλεγμα τεχνολογιών πολλά υποσχόμενο στον κλάδο των τροφίμων και της υγείας.

Στην παρούσα μελέτη, μέσα από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση του συγκεκριμένου θέματος παρουσιάζονται ορισμένα χαρακτηριστικά παραδείγματα ομικών τεχνολογιών που εφαρμόζονται σε τρόφιμα ευρείας κατανάλωσης και που αποτελούν σύνθετες στόχο νοθείας. Δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στην περιγραφή των σύγχρονων αναλυτικών τεχνικών και μεθοδολογιών ελέγχου της νοθείας.

ABSTRACT

The quality and authenticity of the food we consume is a matter of major importance, which is directly related to our health and well-being. For this reason, scientists in the disciplines of chemistry, physicians, lawyers and researchers have given much attention to this multifaceted issue. Undoubtedly, every human being demands to be assured that the food he or she consumes is not harmful to his or her health and actually contains the specific ingredients that are listed on the label on its packaging. In order to achieve food quality assurance, many years of research have been carried out and have resulted in the development of food genomics ("Foodomics"), a complex of technologies that is very promising in the food and health sector.

In this study, we present some examples of such food genomics technologies and particularly in potent consumer foods, which are a common target of adulteration. In order to document the cases that will be analyzed below, a literature survey was carried out by reviewing authoritative scientific sources, aiming to provide a key description of the current analytical methods for countering adulteration.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής μου εργασίας οφείλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της εργασίας, κ. Βασίλειο Σακκά, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε από την αρχή, αναθέτοντάς μου το συγκεκριμένο θέμα.

Τον ευχαριστώ θερμά για την καθοδήγηση και τις υποδείξεις που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, καθώς και για την άψογη συνεργασία.

Επίσης, ευχαριστώ τα άλλα δύο μέλη της τριμελούς επιτροπής τον κ. Κωνσταντίνο Σταλικά και τον κ. Παντελεήμων Τάκη.

Τέλος, ευχαριστώ τον σύζυγο και τα παιδιά μου για την υπομονή, την ανοχή και πρωτίστως τη στήριξη που μου παρείχαν όλο το διάστημα που απαιτήθηκε για την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	- 3 -
ABSTRACT.....	- 4 -
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	- 5 -
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	- 6 -
Κατάλογος εικόνων.....	- 7 -
Κατάλογος πινάκων.....	- 7 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΑΥΘΕΝΤΙΚΟΤΗΤΑ / ΝΟΘΕΙΑ ΣΤΑ ΤΡΟΦΙΜΑ	- 8 -
1.1 Ορισμός και αξία της αυθεντικότητας.....	- 8 -
1.2 Αλλοιώσεις που επηρεάζουν την αυθεντικότητα	- 8 -
1.3 Ορισμός και κίνητρα νοθείας.....	- 11 -
1.4 Παραδείγματα νοθείας.....	- 12 -
1.4.1 Νοθεία στο ελαιόλαδο.....	- 12 -
1.4.2 Νοθεία στο μέλι.....	- 12 -
1.4.3 Νοθεία στον οίνο	- 13 -
1.5 Στόχος της παρούσας μελέτης.....	- 14 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	- 15 -
2.1 Τροφομικές Τεχνολογίες.....	- 15 -
2.1.1 Ορισμός Foodomics	- 16 -
2.1.2 Πρωτεομική.....	- 17 -
2.2.3 Μεταβολομική.....	- 18 -
2.1.4 Λιπιδομική.....	- 19 -
2.2 Εφαρμογές των τροφομικών τεχνολογιών σε κατηγορίες τροφίμων	- 22 -
2.2.1 Γάλα και γαλακτοκομικά προϊόντα	- 22 -
2.2.2. Οπωροκηπευτικά προϊόντα	- 29 -
2.2.3. Κρέας και τα προϊόντα του.....	- 36 -
2.2.4. Ψάρια και θαλασσινά.....	- 44 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	- 52 -
3.1. Συμπεράσματα & μελλοντικές προοπτικές.....	- 52 -
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	- 55 -

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1: Η κύρια αντίδραση οξείδωσης που πραγματοποιείται στα τρόφιμα α) αλυσιδωτή αντίδραση οξείδωσης λιπιδίων, β) αλυσιδωτή οξείδωση πρωτεϊνών	- 10 -
Εικόνα 2: Τα κύρια συνήθη βήματα για το σχεδιασμό, με επιτυχία, πολλαπλών ομικών πειραμάτων.	- 16 -
Εικόνα 3: Τα κύρια βήματα της μελέτης της διατροφολογικής και η ροή εργασιών της πρωτεομικής από κάτω προς τα πάνω. α) τα κύρια βήματα της μελέτης <i>foodomics</i> περιλαμβάνουν τη βιολογική υπόθεση, την απόκτηση δεδομένων, την εξαγωγή πληροφοριών από τα δεδομένα, τα δεδομένα/στατιστική ανάλυση, τη βιολογική ερμηνεία, β) η ροή εργασιών της πρωτεομικής από κάτω προς τα πάνω περιλαμβάνει τρεις μεθόδους σάρωσης.	- 18 -
Εικόνα 4: Σχηματική αναπαράσταση των ομικών τεχνολογιών και των τομέων της επιστήμης των τροφίμων που καλύπτονται από το <i>Foodomics</i>	- 21 -
Εικόνα 5: Αλλαγές του νωπού γάλακτος κατά την αποθήκευση. Είναι ταυτόχρονα μικροβιολογική και χημική αλλοίωση.....	- 24 -
Εικόνα 6: Πλήρης ροή εργασιών της στρατηγικής <i>foodomics</i> , συμπεριλαμβανομένων των εμβολιασμών και των αναλυτικών βημάτων (π.χ. εξαγωγή, ανάλυση UHPLC-MS/MS και στατιστικές μελέτες), για την αξιολόγηση νέων δεικτών στην αλλοίωση των αυγών κοτόπουλου, μετά από θεραπεία με τρία βακτήρια <i>Pseudomonas</i> που υπάρχουν συνήθως σε αυτό το είδος.	- 42 -
Εικόνα 7: Οι τέσσερις κύριες μεταβολικές οδοί των μεταβολιτών στα ψάρια και τα θαλασσινά. Περιλαμβάνει νουκλεοτιδική οδό, οδό αμινοξέων και πεπτιδίων, οδό υδατανθράκων και οδό αζώτου.....	- 46 -

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1: Οι κύριες αντιδράσεις που προκαλούν αλλοίωση και τα αποτελέσματά τους.....	- 8 -
--	-------

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΑΥΘΕΝΤΙΚΟΤΗΤΑ / ΝΟΘΕΙΑ ΣΤΑ ΤΡΟΦΙΜΑ

1.1 Ορισμός και αξία της αυθεντικότητας

Στην εποχή που διανύουμε, αυτή της παγκόσμιας εξέλιξης όλων των επιστημονικών κλάδων, καθώς και της οικονομίας είναι σοβαρότατο το ζήτημα της αυθεντικότητας. Ιδιαίτερως πολύ σημαντική είναι η αυθεντικότητα των τροφίμων που καταναλώνουμε, καθώς δεν πρόκειται για ένα θέμα απλώς οικονομικό, αλλά πολύ περισσότερο αποτελεί ένα θέμα υγείας. Με τον όρο αυθεντικότητα ενός τροφίμου αναφερόμαστε στη διασφάλιση της ποιότητας ενός προϊόντος και τη συμμόρφωση με τις προδιαγραφές του, όπως εκείνες αναγράφονται στην ετικέτα. Ο νόμος υποχρεώνεται να προστατεύει τους καταναλωτές και τα δικαιώματα αυτά περιγράφονται στο υπ' αριθμόν άρθρο 178/2022 της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. [Cubero, 2013]

1.2 Αλλοιώσεις που επηρεάζουν την αυθεντικότητα

Από την πρώτη ύλη μέχρι το προϊόν (τρόφιμο) που αγοράζει ο καταναλωτής μεσολαβεί μια ιδιαίτερα περίπλοκη και χρονοβόρα διαδικασία. Κατά τη διάρκεια της παραγωγής, της επεξεργασίας και της αποθήκευσης, τα τρόφιμα υφίστανται μια σειρά από αλλοιώσεις στην αρχική τους ποιότητα. Οι αλλαγές στις οποίες αναφερόμαστε, μπορεί να είναι είτε φυσικές, χημικές, είτε και μικροβιολογικές. Ο όρος φυσικές αλλοιώσεις αναφέρεται για παράδειγμα στη ζελατινοποίηση του αμύλου, ενώ χημικές ενδεχομένως να είναι η οξείδωση των λιπιδίων και το μη ενζυμικό μαύρισμα. Οι μικροβιολογικές αλλαγές είναι πιο περίπλοκες, όπως είναι οι ζύμες, τα βακτήρια, η μούχλα, οι οποίες περιγράφονται ως ενδογενείς και ως εξωγενείς παράγοντες. Αυτές οι ανεπιθύμητες αλλαγές εξελίσσονται σε διαφορετικό βαθμό και με διαφορετικούς ρυθμούς, αναλόγως το προϊόν, επηρεάζοντας όμως τη συνολική υφή του τροφίμου, τη γεύση ή το άρωμα, ενδεχομένως την εμφάνισή

του και προκαλούν απώλεια ορισμένων ωφέλιμων θρεπτικών συστατικών και πολλές φορές σχηματισμό τοξικών ουσιών. [Zaikin, 2021]

Όσον αφορά τις αλλοιώσεις λόγω φθοράς, των τροφίμων, οι πιο συχνά παρατηρούμενες είναι η τάγγιση και οι οσμές που αναπτύσσονται στα λιπαρά τρόφιμα, καθώς και η αποδυνάμωση της υφής και το ξεθώριασμα του χρώματος στα κηπευτικά προϊόντα.

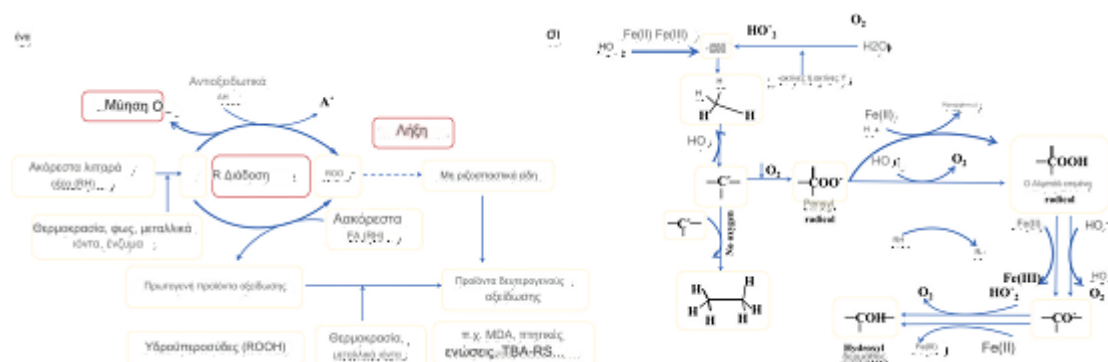
Κάποιες από τις κυριότερες αντιδράσεις που προκαλούν αλλοίωση των προϊόντων, καθώς και τα αποτελέσματά τους συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1).

Πίνακας 1: Οι κύριες αντιδράσεις που προκαλούν αλλοίωση και τα αποτελέσματά τους

Τύποι	Αντιδράσεις	Ευαίσθητα τρόφιμα	Συνέπειες
Φυσική επιδείνωση	ζελατινοποίηση αμύλου και αναδρομή	τρόφιμα με βάση το άμυλο	αλλοιώσεις στην υφή, απώλεια θρεπτικών στοιχείων
μηχανική ζημιά	λαχανικά και φρούτα		μώλωπες, απώλεια νερού, αλλαγές χρώματος
αλλαγές στην υγρασία	λαχανικά και φρούτα, προϊόντα με βάση τη ζάχαρη, αποξηραμένα προϊόντα, προϊόντα με βάση το άμυλο, κατεψυγμένα τρόφιμα		απώλεια υγρασίας, αλλαγή γεύσης και αρώματος, απώλεια τραγανότητας
ανάπτυξη κρυστάλλων	λαχανικά και φρούτα		διαταράσσει την υπερδομή των κυττάρων, ρήξη κυτταρικών μεμβρανών
τραυματισμός λόγω ψύχους	λαχανικά και φρούτα		σкаσίματα στην επιφάνεια, αποχρωματισμός, εσωτερική διάσπαση, αποτυχία ωρίμανσης, μαρασμός, απώλεια γεύσης και αποσύνθεση
χημική φθορά	λιπιδική και πρωτεϊνική αντίδραση	κρέατα, θαλασσινά, προϊόντα με βάση τη ζάχαρη, γαλακτοκομικά προϊόντα, προϊόντα με βάση το άμυλο, παρασκευασμένα μείγματα	τάγγιση και «θερμαινόμενες γεύσεις», απώλεια βιταμινών, αλλοίωση χρώματος, απαικοδόμηση πρωτεϊνών, παραγωγή τοξικών ουσιών
ενζυματική αποικοδόμηση	προϊόντα κρέατος, λαχανικά και φρούτα		δυσάρεστες οσμές και δυσάρεστες γεύσεις, υποβαθμίσεις στο χρώμα και την υφή
μη ενζυματικό μαύρισμα	αποξηραμένα φρούτα και λαχανικά, προϊόντα με βάση τη ζάχαρη, γαλακτοκομικά προϊόντα, προϊόντα κρέατος		σκοουρόχρωμο χρώμα, απώλεια διαλυτότητας πρωτεΐνης, πικρή αλλοίωση γεύσης, αλλοιώσεις υφής, παραγωγή τοξικών ουσιών
αποικοδόμηση πρωτεΐνης	γάλα και γαλακτοκομικά προϊόντα, προϊόντα κρέατος, θαλασσινά		σχηματισμός αμινοξέων και πεπτιδίων, πικρή γεύση, γευστικές ενώσεις, αλλαγές στην υφή
χημικές αλλαγές που προκαλούνται από το φως	Γάλα, τυρί, σοκολάτα, βούτυρο		οξείδωση λιπιδίων και πρωτεϊνών, απώλεια βιταμινών και αμινοξέων, αποχρωματισμός και σχηματισμός ισχυρών δυσάρεστων γεύσεων, τοξικά προϊόντα
Μικροβιολογική αλλοίωση	μαγιές και καλούπια	προϊόντα αρτοποιίας, γαλακτοκομικά προϊόντα, αποξηραμένα φρούτα, ψάρια, φρούτα και λαχανικά, προϊόντα υψηλής περιεκτικότητας	δυσάρεστες οσμές και δυσάρεστες γεύσεις, αλλοιώσεις στο χρώμα και την υφή, αλλοίωση των τροφίμων, παραγωγή τοξικών ουσιών

		σε ζάχαρη, προϊόντα χαμηλής περιεκτικότητας σε ζάχαρη και αλάτι, κρέας και προϊόντα κρέατος	
βακτήρια	αυγά, κρέας και πουλερικά, προϊόντα κρέατος, θαλασσινά, φρούτα και λαχανικά	δυσάρεστες οσμές και δυσάρεστες γεύσεις, υποβαθμίσεις στο χρώμα και την υφή, την παραγωγή τοξικών ουσιών	

Η οξείδωση, από την άλλη, αποτελεί την κυριότερη αιτία υποβάθμισης των τροφίμων, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω επηρεάζει αρνητικά τις αισθήσεις της γεύσης, της οσμής, του χρώματος και υποβαθμίζει έτσι ταυτόχρονα την ποιότητά τους. Η οξείδωση των λιπιδίων συγκεκριμένα, είναι ευαίσθητη στην παρουσία καταλυτικών συστημάτων και οδηγεί σε φωτοθερμική και αυτό-οξείδωση. [Cubero, 2013]



Εικόνα 1: Η κύρια αντίδραση οξείδωσης που πραγματοποιείται στα τρόφιμα
α) αλυσιδωτή αντίδραση οξείδωσης λιπιδίων, β) αλυσιδωτή οξείδωση πρωτεϊνών

Επίσης, αναφορικά με την περιεκτικότητα σε υγρασία και η ενεργότητα του νερού, οι οποίοι αποτελούν κρίσιμους παράγοντες που επηρεάζουν τόσο την ποιότητα όσο και την αποθήκευση των τροφίμων. Μπορεί να αλληλεπιδράσει με τα μη υδατικά συστατικά των τροφίμων και να επηρεάσει τη δομή, την εμφάνιση και τη σταθερότητά τους. Η απώλεια της υγρασίας μπορεί να προκαλέσει μάρανση και συρρίκνωση των νωπών προϊόντων με αποτέλεσμα την επιτάχυνση της γήρανσης. Στα κατεψυγμένα μάλιστα τρόφιμα, η

μεταφορά της υγρασίας από το εσωτερικό στην επιφάνεια κάποιες φορές τους προκαλεί «εγκαύματα».

Εκτός, όμως, από τις παραπάνω αλλοιώσεις που λαμβάνουν χώρα συχνά και με φυσικό τρόπο κατά τη διάρκεια της παραγωγικότητας των τροφίμων, αυτό που προβληματίζει περισσότερο είναι η νοθεία των προϊόντων και η παραπλάνηση των καταναλωτών.

1.3 Ορισμός και κίνητρα νοθείας

Σύμφωνα με τον Ενιαίο Φορέα Ελέγχου Τροφίμων(ΕΦΕΤ) η νοθεία, δηλαδή η απάτη, στον τομέα των τροφίμων αποτελεί ένα φαινόμενο που περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα δόλιων και παραπλανητικών πρακτικών, οι οποίες δεν περιορίζονται αποκλειστικά και μόνο στο τρόφιμο, αλλά αναφέρονται σε όλο το φάσμα της αγροτοδιατροφικής αλυσίδας. Σε αυτές περιλαμβάνονται πρακτικές, όπως η παραχάραξη, η νόθευση εγγράφων ή προϊόντων, η χρήση μη εγκεκριμένων μεθόδων ή διαδικασιών παραγωγής, η αντικατάσταση ενός συστατικού (ποιοτικά ή ποσοτικά), η διάλυση και η προσθήκη ή η αφαίρεση ενός συστατικού που οδηγούν στην ποσοτική διαφοροποίηση της σύστασης του τροφίμου οδηγώντας σε παραπλανητική επισήμανση.

Στο πλαίσιο της υφιστάμενης Εθνικής Νομοθεσίας (Ν. 4235/2014) νοθευμένα τρόφιμα ορίζονται ως: «αυτά στα οποία προστέθηκαν ύλες συνήθως ευτελέστερης αξίας για κερδοσκοπία ή για καλύτερη εμφάνιση των προϊόντων, στην οποία δεν ανταποκρίνονται πραγματικά».

Σύμφωνα και πάλι με τον ΕΦΕΤ, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υιοθετεί τέσσερα (4) λειτουργικά κριτήρια για την προσέγγιση της απάτης στα τρόφιμα, ανάλογα με την πρόθεση:

1. *Παραβίαση του Ενωσιακού Δικαίου (πρώην κοινοτικού δικαίου, δηλαδή του δικαίου που ορίζει η ευρωπαϊκή ένωση) περί Τροφίμων*
2. *Πρόθεση / Σκοπιμότητα*
3. *Οικονομικό Όφελος*
4. *Εξαπάτηση του Καταναλωτή*

1.4 Παραδείγματα νοθείας

Ένα συχνό παράδειγμα απάτης, αποτελεί η αντικατάσταση ενός συστατικού από ένα άλλο, που θα είναι δύσκολο να αναγνωριστεί από τον απλό καταναλωτή και δεν ανιχνεύεται με τις παραδοσιακές αναλυτικές τεχνικές. [Cubero, 2013] Το φαινόμενο νοθείας παρατηρείται σε μεγάλα ποσοστά σε τρόφιμα όπως το ελαιόλαδο, το μέλι, τον οίνο, το κρέας και τα ψάρια / θαλασσινά.

1.4.1 Νοθεία στο ελαιόλαδο

Η πιο διαδεδομένη τεχνική νοθείας του ελαιολάδου είναι η ανάμειξή του με λιπαρές ύλες. Καθώς τα γενικά χαρακτηριστικά του ελαιόλαδου είναι παρόμοια με άλλα φυτικά έλαια, η νοθεία του ελαιόλαδου πραγματοποιείται με προσθήκη μικρών ποσοτήτων άλλων ελαίων, χωρίς αυτή να μπορεί να γίνει αντιληπτή ούτε από τον καταναλωτή, αλλά ούτε και από εξειδικευμένους γευσιγνώστες. [Σωτηροπούλου, 2017] Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η νοθεία του έξτρα παρθένου ελαιόλαδου με έλαιο φουντουκιού, το οποίο ανιχνεύεται σύνθετα λόγω των ομοιοτήτων των δύο ελαίων στη σύνθεση των τριακυλογλυκερολών, των στερολών και των λιπαρών οξέων. Το συγκεκριμένο παράδειγμα νοθείας δεν γίνεται εύκολα αντιληπτό από τον καταναλωτή. [Cubero, 2013]

1.4.2 Νοθεία στο μέλι

Σύμφωνα με σχετικές μελέτες, οι πιο ευρέως διαδεδομένοι τρόποι νοθείας είναι:

- i. Η άμεση, μέσω «διάλυσης» του μελιού με προσθήκη νερού, ζάχαρης και σιροπιού, (π.χ. σιρόπι καλαμποκιού υψηλής περιεκτικότητας σε φρουκτόζη).

- ii. Η έμμεση, μέσω σίτισης των μελισσών με σάκχαρα και σιρόπι ή τεχνητό μέλι, αλλάζοντας την βοτανική ή γεωγραφική προέλευση.
- iii. Μέσω ανάμιξης με μέλια χαμηλότερης ποιότητας και τιμής.
- iv. Μέσω εξαπάτησης των καταναλωτών, από την πώληση μελιών ξένων χώρων με παραπονημένες ετικέτες, που οδηγεί στην παραπλάνηση τους (π.χ. το κινέζικο μέλι).

1.4.3 Νοθεία στον οίνο

Αναφορικά με τους οίνους, οι τρόποι νοθείας ποικίλουν. Γνωστή νοθεία είναι η προσθήκη νερού, μια τεχνική που είναι γνωστή ως «ύγγρανση». Το νερό χρησιμοποιείται συχνά για να αραιωθεί η υψηλή συγκέντρωση σακχάρων και φαινολικών ενώσεων και να επιτευχθεί έτσι η ισορροπία στη γεύση ενός κρασιού από πολύ ώριμα σταφύλια. Ουσιαστικά, όμως, νοθεία ξεκινά όταν η αραιώση του τελικού προϊόντος με νερό, χρησιμοποιείται με δόλιο σκοπό, για να μειωθούν τα υψηλά επίπεδα του αλκοόλ κι έτσι ο παραγωγός να αποφύγει τους κρατικούς δασμούς και φόρους. [Σωτηροπούλου, 2017]

Μία ακόμη τεχνική νοθείας των οίνων είναι η προσθήκη χημικών ουσιών, οι οποίες είναι επιβλαβείς για την υγεία.

Ο μόλυβδος, η διαιθυλενογλυκόλη και η τοξική μεθανόλη (ξυλόπνευμα) χρησιμοποιούνται προκειμένου να αυξηθεί η γλυκύτητα και το αλκοόλ αντίστοιχα. Εξαίρεση αποτελεί ο θειώδης ανυδρίτης (η λεγόμενη "θειώση"), που προστίθεται σε αυστηρά συγκεκριμένες ποσότητες σε όλους τους εμφιαλωμένους οίνους, ο οποίος είναι απαραίτητος για την προστασία του κρασιού από την οξείδωση. Σε περίπτωση θειώσης του οίνου, είναι υποχρεωτικό να υπάρχει σχετική ένδειξη, "περιέχει θειώδη", στην ετικέτα, σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία του 2005.

Στους τρόπους νοθείας συμπεριλαμβάνεται και η προσθήκη σάκχαρης για τη βελτίωση της γεύσης. Εξαίρεση όμως αποτελούν λίγες ευρωπαϊκές χώρες, όπως η Γερμανία, που επιτρέπεται, για να αυξηθεί ο αλκοολικός βαθμός επειδή, λόγω ψύχους, τα σταφύλια δυσκολεύονται να ωριμάσουν. [Σωτηροπούλου, 2017]

Ακόμη, νοθεία αποτελεί και η χρήση ξύλινων τεμαχίων, πιο συγκεκριμένα ψημένα ροκανίδια ξύλου προστίθενται στο κρασί κατά τη διάρκεια της

ζύμωσης και αφαιρούνται έπειτα με το φιλτράρισμα. Η ωρίμανση και παλαίωση σε βαρέλια, που συνήθως είναι καμένα στο εσωτερικό τους, προσφέρουν μοναδικά αρωματικά χαρακτηριστικά στον οίνο. Η διαδικασία αυτή όμως, απαιτεί μήνες, ακόμη και χρόνια. Έτσι, τα φρυγανισμένα ροκανίδια ξύλου, όπως δρυός ή βελανιδιάς, είναι μια συμφέρουσα και φθηνή λύση, ώστε να δώσουν την ψευδαίσθηση της παλαίωσης στον καταναλωτή.

Ένας ακόμη εύκολος τρόπος νόθευσης είναι με απάτη στην ετικέτα, καθώς πλαστές ετικέτες από πανάκριβα και σπάνια κρασιά τοποθετούνται σε φιάλες με χαμηλής ποιότητας περιεχόμενο και στη συνέχεια προωθούνται στην αγορά ως καλής ποιότητας, με σκοπό το κέρδος και την παραπλάνηση των καταναλωτών.

Αναμφίβολα, νοθεία θεωρείται και η πλέον συνηθισμένη πρακτική της προσθήκης μιας ποικιλίας σε κάποια άλλη, ώστε να ενισχυθεί το αδύναμο χρώμα της δεύτερης και η γεύση. Ποικιλίες αναμιγνύονται αλλά διατηρούν ταυτοχρόνως και παρανόμως την προστατευόμενη ένδειξη της κάθε περιοχής. [Σωτηροπούλου, 2017]

1.5 Στόχος της παρούσας μελέτης

Στόχος της παρούσας μελέτης είναι να αναδείξουμε επιγραμματικά το θέμα της νοθείας των τροφίμων και την εφαρμογή ομικών τεχνολογιών για τον έλεγχό της. Σκοπός είναι να γνωρίσουμε πολύ αναφορικά και σύντομα ορισμένους τρόπους ανίχνευσης με διάφορες εργαστηριακές τεχνικές των εκάστοτε αλλοιώσεων και κυρίως να επικεντρωθούμε σε ορισμένες τροφομικές τεχνικές για διάφορες κατηγορίες τροφίμων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιείται μια σειρά από αναλυτικές τεχνικές προκειμένου να ανιχνεύσουν τις διάφορες προσμίξεις ή τα νοθευμένα προϊόντα, αλλά και να μελετήσουν τις αλλοιώσεις των τροφίμων κατά την παραγωγή, επεξεργασία και αποθήκευσή τους. Πολλές από αυτές τις χαρακτηρίζουμε ως παραδοσιακές τεχνικές ανάλυσης τροφίμων. Η χημική ανάλυση των τροφίμων μπορεί να αφορά το χρώμα, το ιξώδες και την υφή, την οσμή-γεύση, τη σύσταση και θρεπτική αξία των τροφίμων, νοθείες, προσμίξεις, αλλοιώσεις και γενικά χαρακτηριστικά ποιότητας και ασφάλειας τροφίμων. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η χρήση της υγρής χρωματογραφίας για τον ποσοτικό προσδιορισμό του ιωδίου και τον υπολογισμό της τιμής σαπωνοποίησης σε βρώσιμα έλαια, όπου αποτελούσε πιστοποιητικό γνησιότητας των τροφίμων. Επιπλέον, άλλες τεχνικές ανάλυσης είναι η ποσοτική φασματομετρία ορατού κι υπεριώδους φθορισμού, η χρωματογραφία λεπτής στοιβάδας, η αέρια χρωματογραφία και η φασματομετρία μάζας. Οι παραδοσιακές αυτές μέθοδοι όμως, οι οποίες εξακολουθούν να εφαρμόζονται και σήμερα στα αναλυτικά εργαστήρια, επιδέχονται βελτίωσης και αδιαμφισβήτητα είναι δαπανηρές και χρονοβόρες μεθοδολογίες. [Cubero, 2013]

2.1 Τροφομικές Τεχνολογίες

Η αυξημένη και απαιτητική ζήτηση καταναλωτικών προϊόντων, καθώς και η ανάγκη για ασφαλή και αυθεντικά τρόφιμα, ανέβασαν τον πήχη ελέγχου ποιότητας των τροφίμων και ανάγκασαν την επιστημονική κοινότητα να δημιουργηθούν νέες αποτελεσματικότερες, ακριβέστερες και ταχύτερες τεχνικές, θέτοντας σε δευτερεύουσα θέση τις κλασικές τεχνικές, οι οποίες χαρακτηρίζονται από τη στόχευση ενός περιορισμένου αριθμού αναλυτών και έχουν μέτριες αναλυτικές επιδόσεις. [Zaikin, 2021] Στα πλαίσια αυτής της εξέλιξης οι επιστήμονες οδηγήθηκαν σε ένα σύμπλεγμα τεχνολογιών που όλων η κατάληξη είναι «omics». [Zhang, 2022]

2.1.1 Ορισμός Foodomics

Για τα τρόφιμα, ο όρος «Foodomics» ορίστηκε για να ενσωματώσει τη χρήση ορισμένων ομικών τεχνικών, της λιπιδομικής (lipidomics), της πρωτεομικής (proteomics) και της μεταβολομικής, σε συνδυασμό με τη βιοστατιστική, τη χημειομετρία και τη βιοπληροφορική, για την επιτυχημένη αξιολόγηση πολύπλοκων βιολογικών συστημάτων, καθώς και μηχανισμών των βιοδραστικών τροφίμων. Η νέα αυτή εφαρμογή ξεκίνησε με φιλόδοξους στόχους, έχοντας πιο σύνθετες προοπτικές και εστιάζοντας στις μελέτες που αφορούν τη σχέση τροφίμων – υγείας, λαμβάνοντας υπόψη τη μεγάλη πολυπλοκότητα. [Zaikin, 2021]

Πρόκειται για μία εξαιρετικά γρήγορη, ακριβή, ευαίσθητη και επιλεκτική τεχνική, με υψηλό δυναμικό εύρος κι έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα αποτελεσματική και κατατοπιστική όταν συνδυάζεται με τεχνικές διαχωρισμού. [Εικ.2] Η ανάλυση της καθεμίας από τις παραπάνω τεχνικές βοηθά να κατανοήσουμε τον όρο «foodomics» καλύτερα.

Προσοχή! Το επιστημονικό μέρος της παλιωμικής εργασίας ξανά, δεν τελώνει, όταν καταγράφονται τα βιολογικά δεδομένα.	Αυτό είναι ένα σημαντικό σημείο. Παρόμοιες αναλύσεις όπως διαγράμματα Venn, συντηρητικές αναλύσεις, χωρίς θερμότητα αμείωσης, ανάλυση κορυμών συντηρητικών δεν θα ερμηνεύσουν σύνολα δεδομένων πολλαπλών ωμικών δεδομένων λόγω της επεξεργασίας φύσης τους. Είναι καλύτερο κράτηση σε ένα μάθημα R, το οποίο είναι.
Να είστε έτοιμοι να αφιερώσετε πολύ, πολύ χρόνο με τα δεδομένα για να τα κατανοήσετε.	Η τιμή του δικτύου, το οποίο μπορεί να κατασκευαστεί από σύνολα δεδομένων πολλαπλών ωμικών είναι αναγκαία από αυτή των αλκοόλων και επιτόπων ωμικών που αναλύονται ξεχωριστά. Συνήθως δεν μπορεί κανείς να αναφέρει σε τρίτους την ερμηνεία ενός συνόλου δεδομένων πολλαπλών ομικών.
Ανάλυση κόστους-οφέλους - ένα οπτικό που γίνεται καλά μπορεί να είναι πολύ καλύτερο από πολλά που έχουν γίνει άσχετα.	Πολλές πλατφόρμες ομικής πρέπει να χρησιμοποιούνται πιο αποτελεσματικά. Οι μελέτες ομικής χαρακτηρίζονται από μεγάλο αριθμό μαρτυρικών χαρακτηριστικών για πολύ μικρό αριθμό δειγμάτων ($n > p$). Επιπλέον, τα δεδομένα ομικής είναι συχνά θορυβώδη και επιβαρύνονται από κλίμακα. Αξιολογήστε την ακρίβεια.
Χρησιμοποιήστε τα δημόσια διαθέσιμα σύνολα δεδομένων και, με αυτόν τον τρόπο, απολαύστε την ομορφιά των προτύπων αναφοράς και δεδομένων.	Υπάρχουν πολλά δημόσια σύνολα δεδομένων που δεν έχουν αναλυθεί πλήρως (ή δεν έχουν αναλυθεί καθόλου). Απλά, κατά την ενσωμάτωση διαφορετικών συνόλων δεδομένων απαιτούνται εξαιρετικά εξειδικευμένα μοντέλα για την αντιμετώπιση παρτίδων και διαφορών στα πειραματικά πρωτόκολλα. Τηρείτε τα κανονικά πρότυπα σχετικά με τους τύπους δεδομένων και τις οθόνες αναφοράς.
Καλή πρακτική δημοσίευσης: Απαιτείται στον παρασμό να χρησιμοποιήσετε υπερβαλικά τη δύναμη του παραδείγματος.	Επιλέξτε ένα μόνο παράδειγμα και για να ολοκληρώσετε τη μελέτη. Οι πολυπαραγοντικές σχέσεις γίνονται όλο και πιο απαιτητικές ως πειραματικά αποτελέσματα σε βάρος της μικρότερης απροσάρμοστης για επιστημονικές υπερπαραπλοϊότητες.

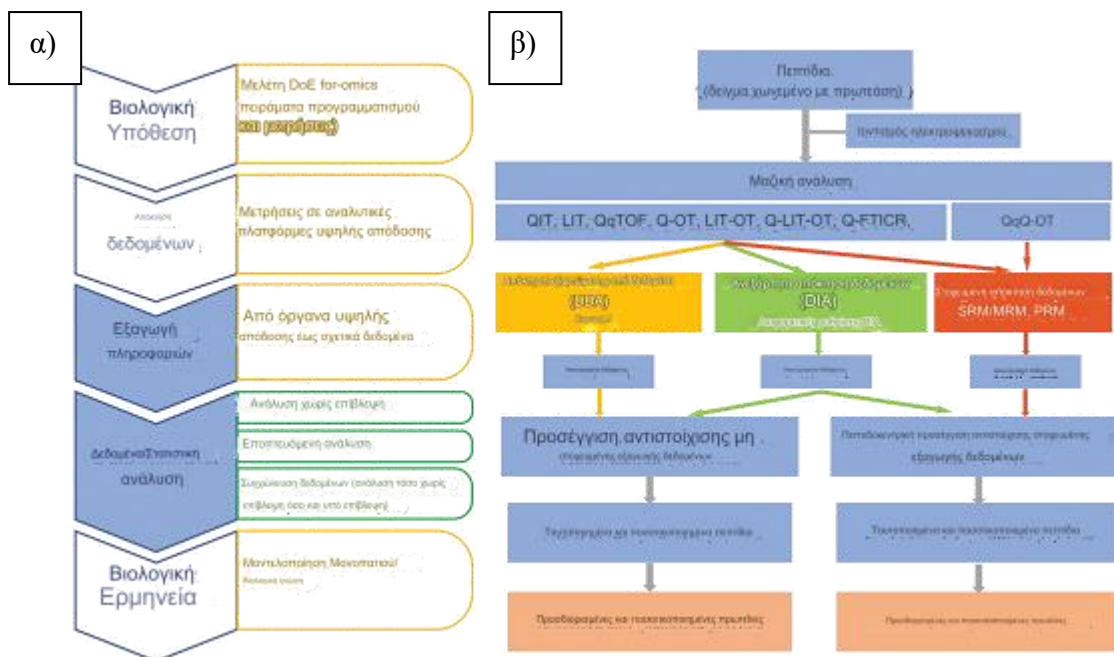
Εικόνα 2: Τα κύρια συνήθη βήματα για το σχεδιασμό, με επιτυχία, πολλαπλών ομικών πειραμάτων.

2.1.2 Πρωτεομική

Με την πρόοδο και τα επιτεύγματα της γονιδιωματικής, η πρωτεομική, δηλαδή η έρευνα των πρωτεϊνών που κωδικοποιούνται από το γονιδίωμα, είναι το επόμενο λογικό βήμα για την κατανόηση της λειτουργίας των κυττάρων. Η πρωτεομική είναι μια τεχνική ποσοτικής ανάλυσης, που περιλαμβάνει τον συστηματικό χαρακτηρισμό ολόκληρου του πρωτεϊνικού περιεχομένου (πρωτεώματος) του κυττάρου, του ιστού ή του οργανισμού. [Zhang, 2022]

Η πρωτεομική υιοθετεί κυρίως δύο στρατηγικές, τις: "Bottom-up" και "Top-down". Στην πρωτεομική "Bottom-up", γνωστή και ως πρωτεομική "Shotgun", οι πρωτεΐνες διαχωρίζονται με ηλεκτροφόρηση σε πηκτή δύο διαστάσεων ή με πηκτή δωδεκυλοθειικού νατρίου-πολυακρυλαμιδίου και αφομοιώνονται σε πεπτίδια με πρωτεόλυση και στη συνέχεια αναλύονται με φασματομετρία μάζας (MS), σε συνδυασμό με υγρή χρωματογραφία (LC). Η πρωτεομική «Bottom-up» μπορεί να χρησιμοποιήσει τρόπους απόκτησης εξαρτώμενους από τα δεδομένα, στοχευμένους και ανεξάρτητους από τα δεδομένα για τη λήψη των ακατέργαστων δεδομένων (Εικ. 2)

Από την άλλη η πρωτεομική «Top-down» επιτρέπει στην MS να αναλύει άθικτες πρωτεΐνες (>15 kDa) που δεν διασπώνται, χωρίς καμία προεπεξεργασία κι έτσι να διατηρούνται οι ευπαθείς δομικές πρωτεΐνες. Στις μεθόδους «Top-down», οι πρόδρομες μάζες και οι ισοτοπικές κατανομές τους έχουν δείξει μια πολύπλοκη αλλά λεπτομερή πληροφορία. Στον κατακερματισμό, τα ακραία θραύσματα αντιπροσωπεύουν διαλυμένες πρωτεομορφές ή πιθανή θέση διάσπασης, ενώ τα ιόντα θραυσμάτων μπορούν να υποδεικνύουν μεταβλητές ή σταθερές τροποποιήσεις και τη θέση τους ανάλογα με την αλληλουχία. Η μέθοδος αυτή εκτελείται σε φασματομετρία μάζας υπερυψηλής ανάλυσης για να εξασφαλιστεί επαρκής ανάλυση, ευαισθησία και ακρίβεια μάζας σε επίπεδο MS. Οι τεχνικές κατακερματισμού, όπως ο συνδυασμός της διάσπασης με μεταφορά ηλεκτρονίων με διάσπαση που προκαλείται από σύγκρουση ή με διάσπαση με σύγκρουση υψηλότερης ενέργειας, παρέχουν υψηλή κάλυψη της αλληλουχίας που αυξάνει την εμπιστοσύνη στην ταυτοποίηση των πρωτεομορφών. [Εικ.3]



Εικόνα 3: Τα κύρια βήματα της μελέτης της διατροφολογικής και η ροή εργασιών της πρωτεομικής από κάτω προς τα πάνω. α) τα κύρια βήματα της μελέτης foodomics περιλαμβάνουν τη βιολογική υπόθεση, την απόκτηση δεδομένων, την εξαγωγή πληροφοριών από τα δεδομένα, τα δεδομένα/στατιστική ανάλυση, τη βιολογική ερμηνεία, β) η ροή εργασιών της πρωτεομικής από κάτω προς τα πάνω περιλαμβάνει τρεις μεθόδους σάρωσης.

Συμπερασματικά, η προσέγγιση «Bottom-up» είναι πιο ευαίσθητη από την προσέγγιση «Top-down», αλλά χάνει ευπαθείς μετα-μεταφραστικές τροποποιήσεις, περιορίζει την κάλυψη των πρωτεϊνικών αλληλουχιών από τα ταυτοποιημένα πεπτίδια και θολώνει την προέλευση περιττών ακολουθιών πεπτιδίων. Αντίθετα, στην προσέγγιση «Top-down», η έλλειψη πρωτεϊνικής πέψης μπορεί να εξοικονομήσει σημαντικά χρόνο. [Zhang, 2022]

2.2.3 Μεταβολομική

Η μεταβολομική αναφέρεται στον ολοκληρωμένο και ταυτόχρονο προσδιορισμό όλων των ενδογενών ή εξωγενών μεταβολιτών και των συνολικών και δυναμικών μεταβολών τους, με την πάροδο του χρόνου σε βιολογικά συστήματα (ιστούς, κύτταρο ή οργανισμό) σε μοριακό επίπεδο (<1000-1500 Da) λόγω βιολογικής διέγερσης.

Τεχνικά, οι μεθοδολογίες μεταβολομικής ταξινομούνται κυρίως ως στοχευμένες και μη στοχευμένες.

Στη μη στοχευμένη μεταβολομική, ο ποσοτικός προσδιορισμός των μεταβολιτών επιτυγχάνεται με πλήρη σάρωση με MS υψηλής ανάλυσης, ενώ η αποσαφήνιση της δομής με συζευγμένη φασματομετρία μάζας (tandem MS) στη λειτουργία πλήρους σάρωσης, γεγονός που περιορίζει σοβαρά το εύρος ανίχνευσης, την απόδοση και την ποσοτική ακρίβεια. Εν τω μεταξύ, η επαναληψιμότητα των δεδομένων από μέρα σε μέρα και από παρτίδα σε παρτίδα και η πολυπλοκότητα του χειρισμού των δεδομένων είναι επίσης ζητήματα που πρέπει να επιλυθούν για την μη στοχευμένη μεταβολομική. Αντίθετα, η στοχευμένη μεταβολομική θεωρήθηκε το χρυσό πρότυπο για ποσοτικοποίηση μεταβολιτών, χρησιμοποιεί τρόπους παρακολούθησης πολλαπλών αντιδράσεων ή παρακολούθησης επιλεγμένων ιόντων για τον προσδιορισμό ενός συνόλου προκαθορισμένων μεταβολιτών, το οποίο έχει γραμμικό εύρος (τέσσερις έως έξι τάξεις μεγέθους), αποδίδει υψηλή επιλεκτικότητα και ευαισθησία απομονώνοντας τους στόχους ενδιαφέροντος και εξαλείφοντας τα μαζικά σήματα. [Zhang, 2022]

Ωστόσο, το κύριο εμπόδιο της στοχευμένης μεταβολομικής είναι ότι μόνο ένας μικρός έως μέτριος αριθμός γνωστών μεταβολιτών μπορεί να μετρηθεί, περιορίζοντας την εφαρμογή σε παγκόσμιο επίπεδο.

Πρόσφατα, οι ερευνητές επικεντρώθηκαν και στη ψευδοστοχευμένη μεταβολομική, η οποία ενσωματώνει τα πλεονεκτήματα των μη στοχευμένων και των στοχευμένων μεθόδων. Η ψευδοστοχευμένη αποσκοπεί στην απόκτηση ενός μεγάλου αριθμού φασμάτων συζευγμένης φασματομετρίας μάζας auto-MS/MS σε λειτουργία πλήρους σάρωσης, χωρίς στόχευση από συγκεντρωτικά βιολογικά δείγματα και να επιλέξει και να μετρήσει όσο το δυνατόν περισσότερα στοχευμένα ζεύγη ιόντων σε ένα βιολογικό δείγμα σε στοχευμένη λειτουργία. [Zhang, 2022]

2.1.4 Λιπιδομική

Τα λιπίδια βρίσκονται παντού στον ανθρώπινο οργανισμό και αποτελούν το κύριο συστατικό των βιολογικών μεμβρανών, τα οποία συμμετέχουν στη

μεταφορά ουσιών, στη μετατροπή ενέργειας, στην αναγνώριση σημάτων και τη μεταγωγή σήματος, καθώς επίσης σχετίζονται και με την παθογένεια πολλών ανθρώπινων ασθενειών (όπως οι αθηροσκλήρωση, παχυσαρκία και διαβήτης, καρκίνος, αυτοάνοσα νοσήματα και νευροεκφυλιστικές ασθένειες).

Υπάρχουν οκτώ κατηγορίες λιπιδίων: γλυκεροφωσfolιπίδια, άκυλα λιπαρά, γλυκερολιπίδια, σακχαρολιπίδια, σφιγγολιπίδια, λιπίδια στερολών, πολυκετίδια και λιπίδια πρενόλης, που προτείνονται από την LIPID MAPS® Structure Database. [Valder,2022]

Η λιπιδομική είναι ένας σημαντικός και ανεξάρτητος κλάδος της μεταβολομικής. Πρόκειται για μια συστηματική και ολοκληρωμένη ανάλυση των λιπιδίων σε μοριακό επίπεδο στα κύτταρα και τους ιστούς, έτσι ώστε να μελετηθούν τα περιεχόμενα, τα μοριακά είδη και οι λειτουργίες στο βιολογικό μεταβολισμό.

Η μελέτη της λιπιδομικής περιλαμβάνει το δομικό χαρακτηρισμό των κυτταρικών ειδών λιπιδίων, την ποσοτικοποίηση των μεμονωμένων ειδών λιπιδίων σε βιολογικά δείγματα και τον προσδιορισμό της αλληλεπίδρασης μεταξύ μεμονωμένων λιπιδικών ειδών και άλλων λιπιδίων, μεταβολιτών και πρωτεϊνών «in vivo».

Οι προσεγγίσεις της λιπιδομικής μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες: α) Λιπιδομική με βάση το LC-MS, όπου η συγκέντρωση του λιπιδίου διαλύματος μεταβάλλεται συνεχώς, ενώ παραδίδεται στην πηγή ιόντων μετά από διαχωρισμό με υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης (HPLC)

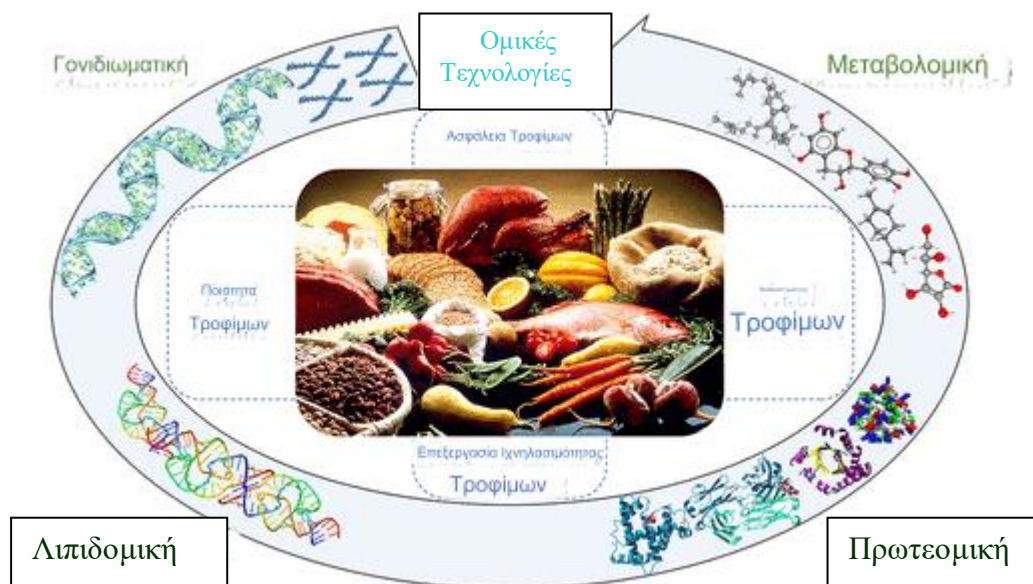
β) λιπιδομική με βάση την άμεση έγχυση, στην οποία η συγκέντρωση του διαλύματος λιπιδίων διατηρείται σταθερή ενώ παραδίδεται απευθείας στην πηγή ιόντων συνεχώς

γ) φασματομετρία μάζας κινητικότητας ιόντων- (Ion mobility mass spectrometry (IM-MS)), μια αναδυόμενη τεχνολογία με μεγάλες δυνατότητες στον διαχωρισμό ισοβαρών και ισομερών λιπιδίων που βασίζεται στην ηλεκτροφορητική τεχνική αέριας φάσης και μπορεί να ενσωματωθεί σε LC-MS που βασίζεται και σε λιπιδομική άμεσης έγχυσης ως μια επιπλέον διάσταση διαχωρισμού για τη βελτίωση της ανάλυσης.

Επιπλέον, η σταθερή συγκέντρωση έγχυσης παρέχει σχεδόν απεριόριστο χρόνο για να βελτιωθούν οι αναλογίες σήματος/θορύβου του φάσματος μάζας, να διεξαχθούν αναλύσεις πολλαπλών σταδίων και λεπτομερείς

αναλύσεις tandem- MS σε διαφορετικούς τρόπους. Ως εκ τούτου, η άμεση λιπιδομική με βάση την έγχυση επιτρέπει να γίνει μια από τις ευρέως χρησιμοποιούμενες και ισχυρές της μεθόδους, ιδίως για αναλύσεις υψηλής απόδοσης, όπως στις τεχνολογίες foodomics. [Zhang, 2022]

Όπως ήδη αναφέρθηκε παραπάνω, η τεχνολογία foodomics περιλαμβάνει τη χρήση πολλαπλών εργαλείων (γονιδιωματική, μεταγραφωματική, πρωτεομική και μεταβολομική) για την παροχή μοριακών πληροφοριών σχετικά με τα διαφορετικά επίπεδα έκφρασης (δηλ. γονίδιο, μεταγραφή, πρωτεΐνη ή μεταβολίτη) και την ενσωμάτωση αυτών των πληροφοριών από ένα σύστημα βιολογίας (Εικ. 4).



Εικόνα 4: Σχηματική αναπαράσταση των ομικών τεχνολογιών και των τομέων της επιστήμης των τροφίμων που καλύπτονται από το Foodomics

Το πρώτο βήμα κατά την εκτέλεση οποιασδήποτε ανάλυσης Foodomics είναι ο σχεδιασμός της μελέτης και των διαφόρων υλικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δείγματα, όπως βιολογικά υγρά (αίμα, πλάσμα, ούρα, σάλιο ή εγκεφαλονωτιαίο υγρό) ή στερεά (ιστός, κύτταρα, κόπρανα), καθώς και τα προϊόντα που προέρχονται από τρόφιμα σε πόσιμη (γάλα, γιαούρτι, κρασί) ή στερεή (κρέας, θαλασσινά, δημητριακά) μορφή.

Στην ανθρώπινη διατροφή, η γονιδιωματική (η ολοκληρωμένη ανάλυση της δομής και της λειτουργίας του DNA) έχει χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη του

τρόπου με τον οποίο μπορεί αυτή να επηρεάσει την έκφραση των γενετικών πληροφοριών και πως η γενετική σύσταση ενός ατόμου επηρεάζει το μεταβολισμό και την απόκριση στα θρεπτικά και άλλα βιοδραστικά συστατικά. Ακόμη, η γονιδιωματική αξιοποιείται για τον προσδιορισμό των ειδών που υπάρχουν σε ένα δείγμα τροφίμου, τη ταυτοποίηση των ονομάτων τους, τους τύπους και τις αναλογίες των μικροοργανισμών, καθώς και να εντοπίζει τις ασθένειες που προκαλούνται από τροφές.

Αντίθετα, το γονιδίωμα, το οποίο χαρακτηρίζεται από τη σταθερότητά του, το μεταγράφημά του (ή το πλήρες σύνολο των RNA μορίων που εκφράζονται σε έναν οργανισμό σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή) είναι δυναμικό, επειδή μεταβάλλεται ως απόκριση σε ένα ευρύ φάσμα παραγόντων. [Valder,2022]

2.2 Εφαρμογές των τροφομικών τεχνολογιών σε κατηγορίες τροφίμων

Στη συνέχεια αναφέρονται κάποιες εφαρμογές τροφομικών τεχνολογιών για την πιστοποίηση της γνησιότητας των τροφίμων, σύμφωνα με αξιολογες και σχετικά πρόσφατες μελέτες. Το ελαιόλαδο, το γάλα και το μέλι είναι μερικά συστατικά τροφίμων, τα οποία χαρακτηρίζονται ως οι συνηθέστεροι στόχοι νοθείας κι έχουν αυξημένη ευαισθησία σε αλλοιώσεις.

2.2.1 Γάλα και γαλακτοκομικά προϊόντα

Η νοθεία στο γάλα και τα προϊόντα του είναι συχνή και κυρίως λόγω οικονομικών κινήτρων. Μερικές από τις μεθόδους που έχουν εφαρμοστεί για την ανίχνευση της νοθείας στο γάλα είναι η φασματοσκοπία υπεριώδους ακτινοβολίας, η ψηφιακή απεικόνιση, η αγωγιμότητα μονής συχνότητας και η φασματοσκοπία ηλεκτρικής προσαγωγής. Με τη βοήθεια των τροφομικών τεχνολογιών και χάρη στην πρόοδο των οργάνων υπέρυθρης ακτινοβολίας εξελίχθηκε σημαντικά η ανίχνευση νοθείας του γάλακτος. (πίνακας 1).

Προκειμένου να προστατευτεί η ταυτότητα του γάλατος και η γεωγραφική του προέλευση, έγιναν ευρείες μελέτες με την ταυτόχρονη ανάλυση πολλαπλών

χημικών στοιχείων, αλλά και ισοτόπων. Κι αυτό γιατί η σύνθεση των ισοτόπων του γάλακτος επηρεάζεται από τη σύνθεση του νερού που πίνουν τα ζώα και τα φυτά μέσω του εδάφους, οπότε κατά συνέπεια αυτά επηρεάζονται από τις γεωργικές πρακτικές που εφαρμόζονται στο έδαφος, τις κλιματικές και γεωλογικές συνθήκες.

Τη τελευταία δεκαετία το γάλα και τα γαλακτοκομικά προϊόντα έχουν μελετηθεί με τη χρήση της μεταβολομικής, μέσω της τεχνικής NMR. Είναι φανερό πως πρέπει να μελετώνται πολλαπλές παράμετροι, γι' αυτό και είναι ιδανική η τεχνική αυτή, καθώς προσεγγίζει πολλαπλές αναλύσεις και επιτυγχάνει τη βέλτιστη διάκριση. [Cubero, 2013]

Ο ακριβής προσδιορισμός της ταυτότητας των γαλακτοκομικών προϊόντων φαίνεται εφικτός μόνο όταν μελετώνται πολλαπλές παράμετροι. Από την άποψη αυτή, μια προσέγγιση πολλαπλών αναλύσεων, όπως η μεταβολομική σε συνδυασμό με τη χημειομετρία, μπορεί να επιτρέψει για παράδειγμα μια καλή διάκριση των γαλακτοκομικών προϊόντων ανάλογα με τη γεωγραφική τους προέλευση.

Όπως έχει προαναφερθεί, το γάλα και τα γαλακτοκομικά προϊόντα είναι τυπικά ευπαθή τρόφιμα των οποίων η ποιότητα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις συνθήκες επεξεργασίας, μεταφοράς και αποθήκευσης. Η θέρμανση, η κατάψυξη και η ψύξη είναι οι τρεις συνήθεις τρόποι διατήρησης του γάλακτος στο σπίτι και στα σημεία πώλησης. Η θέρμανση μπορεί να διασφαλίσει την ασφάλεια του γάλακτος σκοτώνοντας τις αλλοιώσεις και τους παθογόνους μικροοργανισμούς. Ωστόσο, οδηγεί στη λιπόλυση, την πρωτεόλυση και την αποσύνθεση του γάλακτος, γεγονός που αδρανοποιεί τις βιολογικές λειτουργίες ορισμένων συστατικών του. Από την άλλη, η κατάψυξη μπορεί να καταστρέψει την ακεραιότητα του γάλακτος, με αποτέλεσμα την πικρή ή ταγγισμένη γεύση και υφή. Τέλος, η ψύξη είναι σε θέση να διατηρήσει τη θρεπτική και βιολογική δραστηριότητα σε σύντομο χρονικό διάστημα αποθήκευσης, όπου κατά τη διάρκεια αυτή προκύπτει μικροβιολογική και χημική αλλοίωση (Εικ. 5)



Εικόνα 5: Αλλαγές του νωπού γάλακτος κατά την αποθήκευση. Είναι ταυτόχρονα μικροβιολογική και χημική αλλοίωση.

Κατόπιν μελετών που έγιναν μέσω της μεταβολομικής, διαπιστώθηκε ότι η φωτοοξείδωση αυξάνει τα επίπεδα IAld και lumichrome και αποικοδομεί τη ριβοφλαβίνη και το ουρικό οξύ, με αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας του γάλακτος, κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας και της μεταφοράς του.

Επιπλέον, διερευνήθηκαν οι επιδράσεις της ξήρανσης υπό ψύξη στους μεταβολίτες. Τα χημικά αποτυπώματα των αποξηραμένων δειγμάτων με κατάψυξη νωπού γάλακτος που αποθηκεύτηκε στους -20°C , 4°C και 20°C για έως και 224 ημέρες μελετήθηκαν με τη χρήση μη στοχευμένης μεταβολομικής, με τις σημαντικότερες μεταβολές να παρατηρούνται στους 20°C . Το περιεχόμενο των δειγμάτων των ακετυλο-υδατανθράκων, του ορωτικού οξέος, και της ριβοφλαβίνης μειώθηκαν, ενώ τα περιεχόμενα της ουριδίνης, του θρεονικού οξέος και των λιπαρών οξέων αυξήθηκαν. [Zhang, 2022]

Η μη στοχευμένη μεταβολομική χρησιμοποιήθηκε επίσης για το αποτύπωμα υδατοδιαλυτών θρεπτικών ενώσεων καθ' όλη τη διάρκεια της αποθήκευσης παστεριωμένου αγελαδινού γάλακτος. Κατά τις πρώτες 8 ημέρες της αποθήκευσης στο ψυγείο, το παστεριωμένο γάλα παρουσίασε σταθερό μεταβολισμό, τα περιεχόμενα βουτυρυλοκαρνιτίνη και το παντοθενικό οξύ μειώθηκαν, ενώ ορισμένα οργανικά οξέα, λιπαρά οξέα, το α -λινολενικό οξύ,

κετόνες και πεπτίδια αυξήθηκαν στο τελευταίο στάδιο της αποθήκευσης. Ειδικότερα, το μυρμηκικό οξύ, το οξικό οξύ και το γαλακτικό οξύ είχαν ταχεία αύξηση μετά από ένα χρονικό όριο, το οποίο μειώθηκε εκθετικά με την αύξηση της θερμοκρασίας. Το βουτυρικό οξύ παρουσίασε ραγδαίες μεταβολές συναρτήσει της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης του γάλακτος, εμφανίζοντας υψηλότερες συγκεντρώσεις σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Αυτά τα οργανικά οξέα μπορούν να αποτελέσουν αξιόπιστους δείκτες για τον προσδιορισμό της λανθάνουσας θερμοκρασίας και για την αξιολόγηση της ασφάλειας και της βιοδραστικότητας του γάλακτος.

Σε άλλη πειραματική διαδικασία μελετήθηκαν οι μεταβολές του ανθρώπινου γάλακτος κατά την αποθήκευση του.

Ο Zhang και οι συνεργάτες του συμπέραναν ότι η περιεκτικότητα των πρωτεϊνών του ορού γάλακτος μειώθηκε σημαντικά από τις 24 έως τις 72 ώρες. Στο πρωτεόγραμμα του ορού, 22 πρωτεΐνες που σχετίζονταν κυρίως με την καταλυτική δραστηριότητα, όπως η πρωτεΐνη δέσμευσης λιπαρών οξέων, η αφυδρογονάση/οξειδάση της ξανθίνης και η α-ενολάση, μεταβλήθηκαν σημαντικά μετά από τις 48 ώρες. Επιπλέον, δεν υπήρχαν σημαντικές μεταβολές στις πρωτεΐνες που σχετίζονται με το ανοσοποιητικό σύστημα, την α-λακταλβουμίνη και τη λακτοφερρίνη. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτά κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η ασφαλής ψύξη και αποθήκευση του ανθρώπινου γάλακτος θα πρέπει να είναι λιγότερο από 48 ώρες και η θερμοκρασία του ψυγείου θα πρέπει να είναι σταθερή και χαμηλή.

Το γάλα και τα γαλακτοκομικά προϊόντα επηρεάζονται συχνά από ένα εύρος θερμοκρασιών κατά τη διαδικασία παραγωγής, μεταφοράς κι αποθήκευσης. Ταυτόχρονα, το νωπό γάλα αποστειρώνεται συνήθως με θερμική επεξεργασία (όπως η παστερίωση και η επεξεργασία σε υπερ-υψηλή θερμοκρασία (UHT)) για να διασφαλιστεί η ασφάλεια. Η παστερίωση περιλαμβάνει θερμική επεξεργασία στους 85°C για 15 δευτερόλεπτα, για την καταστροφή των επιβλαβών μικροοργανισμών. Η επεξεργασία UHT, όμως, περιλαμβάνει θερμική επεξεργασία στους 135°C για 15 δευτερόλεπτα, για την αδρανοποίηση βακτηριακών σπορίων και παθογόνων βακτηρίων, με σκοπό τη μακροχρόνια αποθήκευση.

Έχει αποδειχθεί ότι με την παρατεταμένη αποθήκευση ή την αύξηση του θερμικού φορτίου μπορεί να προκληθούν οι αντιδράσεις λιπόλυσης και Maillard, γεγονός που βλάπτει σοβαρά την ποιότητα και την ασφάλεια των γαλακτοκομικών προϊόντων. Δείγμα από αγελαδινό γάλα, έμμεσα επεξεργασμένο με UHT, διερευνήθηκε με τη τεχνολογία της λιπιδομικής, όπου και διαπιστώθηκε ότι τα τριγλυκερίδια αυξάνονται στο επεξεργασμένο γάλα από ό,τι στο νωπό και παστεριωμένο. Επιπλέον, το γάλα που έχει υποστεί επεξεργασία UHT περιέχει λιγότερα ακόρεστα λιπαρά οξέα, τα οποία συμβάλλουν σε αλλοιώσεις της γεύσης (στυπτικότητα, πικράδα ή τάγγισμα) και μεταβάλλουν τη λειτουργικότητα του γάλακτος.

Σε άλλη περίπτωση καθιερώθηκε μια μη στοχευμένη μεταβολωμική προσέγγιση για τον εντοπισμό βιοδεικτών, για τη ταξινόμηση του γάλακτος UHT και του γάλακτος ανασύστασης. Μέσω της ανάλυσης που έγινε, οι βιοδείκτες ομαδοποιήθηκαν και χωρίστηκαν σε τρεις ομάδες: τα λιπίδια, τα πεπτίδια και τα νουκλεϊκά οξέα. Ειδικά στο γάλα επεξεργασμένο με UHT, η περιεκτικότητα σε δύο υδρολάσες (H-Leu-Ile-Val-OH και H-Pro-Arg-OH) και τριών οξυλιπιδίων (2-υδροξυδεκανοϊκό οξύ, 2-υδροξυμυριστικό οξύ και 12-υδροξυδωδεκανοϊκό οξύ) ήταν σημαντικά υψηλότερη από εκείνη του ανασυσταθέντος γάλακτος. Έτσι, απέδειξαν ότι η μη στοχευμένη προσέγγιση της μεταβολωμικής σε συνδυασμό με τη χημειομετρική ανάλυση είναι μια ισχυρή τεχνική για τη διασφάλιση της ποιότητας του γάλακτος και των γαλακτοκομικών προϊόντων.

Άλλοι ερευνητές και συγκεκριμένα οι Milkovska-Stamenova και Hoffmann, αξιολόγησαν τις επιδράσεις της θέρμανσης και της αποθήκευσης στο βαθμό γλυκοποίησης των πρωτεϊνών στα γαλακτοκομικά προϊόντα. Διαπιστώθηκε ότι η αποθήκευση αύξησε τη λακτοζυλίωση κατά 4 φορές σε επεξεργασμένο με UHT γάλα και στα παρασκευάσματα για βρέφη και η εξαζυλίωση κατά 11 φορές στο γάλα επεξεργασμένο με UHT χωρίς λακτόζη και κατά 3 φορές στο γάλα για βρέφη. Τα επίπεδα μάλιστα αυτά αυξήθηκαν επιπλέον κατά δύο φορές όταν το αποθηκευμένο δείγμα θερμάνθηκε (40°C).

Ο Nielsena και οι συνεργάτες του πρότειναν ότι οι αλλαγές του οργανοληπτικού προφίλ στο γάλα επεξεργασμένο με UHT με υδρολυμένη λακτόζη κατά τη διάρκεια μιας περιόδου επτά μηνών αποδόθηκαν στο σχηματισμό πικρών πεπτιδίων και στην αντίδραση Maillard. Οι αυξήσεις του

σχηματισμού πιθανών πικρών πεπτιδίων προέρχονται από τις υδρόφοβες περιοχές της αS1-καζεΐνης και της β-καζεΐνης κι έτσι θεωρείται ότι αυτό είναι ένας ισχυρός λόγος για την πικρή γεύση. Η απελευθέρωση των ελεύθερων αμινοξέων συμβάλλει στο άρωμα μαρασμού και στο κιτρίνισμα του γάλακτος επεξεργασμένο με UHT, το οποίο μπορεί να οφείλεται σε αυξημένη παραγωγή προϊόντων της αντίδρασης Maillard και αλδεϋδών Strecker. Οι χρονικές περίοδοι αποθήκευσης και η αύξηση της θερμοκρασίας θα μπορούσαν να βελτιώσουν σημαντικά το επίπεδο γλυκοποίησης των πρωτεϊνών στα γαλακτοκομικά προϊόντα, υποδεικνύοντας ότι η κατάλληλη καθοδήγηση των καταναλωτών και των πωλητών μπορεί να μειώσει την επιβάρυνση των γλυκοποιημένων πρωτεϊνών στα γαλακτοκομικά προϊόντα και τελικά στα τρόφιμα. [Zhang, 2022]

Στην περίπτωση αυτή, δύο διαφορετικές διεργασίες προεπεξεργασίας δειγμάτων γάλακτος ψυχρής αποθήκευσης που είχαν προηγουμένως εμβολιαστεί με τα στελέχη, πραγματοποιήθηκαν για μεταβολωμικές αναλύσεις. Για το σκοπό αυτό, εφαρμόστηκε υγρή εκχύλιση με χρήση μεθανόλης σε ποσοστό 3% (v/v) σε μυρμηκικό οξύ ή διχλωρομεθάνιο σε 3% (v/v) σε μυρμηκικό οξύ. Μετά από την ανάλυση μέσω της τεχνικής UHPLC-Q-TOF-MS σε λειτουργία πλήρους σάρωσης πραγματοποιήθηκε μια μη στοχευμένη μεταβολομική προσέγγιση. Για την πρωτεομική- διήθηση, εφαρμόστηκε επώαση σε διθειοθρεϊτόλη (56 °C, 40 λεπτά), και τελική επώαση σε ιωδοακεταμίδιο (θερμοκρασία δωματίου, 40 λεπτά) για αλκυλίωση πριν από την ανάλυση μέσω nano-LC-Q-TOF-MS/MS. Τα μεταβολομικά δεδομένα που αφορούσαν την παρουσία φωσφατιδυλογλυκεροφωσφορικών και γλυκεροφωσfolιπιδίων με το επίπεδο μόλυνσης και επέτρεψαν την ανίχνευση προϊόντων αποικοδόμησης λιπιδίων και πρωτεϊνών που συσχετίζονται με τον αποικοδομητικό μεταβολισμό του *P. fluorescens*.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την πρωτεομική μελέτη, αυτά επιβεβαίωσαν την πρωτεολυτική τάση του μολυσμένου με *P. fluorescens* γάλακτος, αν και με χαμηλότερη ευαισθησία από τη μεταβολωμική στρατηγική. Συνεπώς, τα πεπτιδικά προφίλ φαίνεται να αποτελούν μια κατάλληλη συμπληρωματική τεχνική της μεταβολικής για την αξιολόγηση της μόλυνσης του στελέχους μόνο όταν η μικροβιακή ανάπτυξη είναι άφθονη. [Valder, 2022]

Άλλες εφαρμογές Foodomics, μεταγονιδιωματικής και στατιστικών εργαλείων που συνδυάζουν τη μεταβολωμική, έχουν αντιμετωπιστεί για να τη μελέτη της ποιότητας του νωπού γάλακτος για την παραγωγή σκληρών τυριών. Διακριτικοί μεταβολίτες του γάλακτος που είναι ειδικοί για όλες τις συνθήκες σίτισης ταυτοποιήθηκαν με UHPLC-Q-TOF-MS ανάλυση μεταβολισμού, ακολουθούμενη από εποπτευόμενα πολυμεταβλητά στατιστικά στοιχεία. Το μεταγονιδιωματικό προφίλ των Staphylococcaceae, Pseudomonadaceae και Dermabacteraceae βρέθηκε ότι είναι σημαντικά συσχετισμένο με τους μεταβολίτες του γάλακτος που διακρίνονται για την ιχνηλασιμότητα και την επεξεργασία τροφίμων.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η πληροφορία πως η αποθήκευση του μητρικού γάλακτος πρέπει να είναι για λιγότερο από 48 ώρες και η θερμοκρασία στο ψυγείο πρέπει να παραμένει σταθερή και χαμηλή. Το γάλα και τα γαλακτοκομικά προϊόντα επηρεάζονται συχνά από μια σειρά θερμοκρασιών στις διαδικασίες παραγωγής, μεταφοράς και αποθήκευσης. Ταυτόχρονα, το νωπό γάλα συνήθως αποστειρώνεται με θερμική επεξεργασία ως επεξεργασία παστερίωσης και υπερυψηλής θερμοκρασίας (UHT) για τη διασφάλιση της ασφάλειας. [Zhang, 2022]

Η έμμεση επεξεργασία του αγελαδινού γάλακτος σε UHT διερευνήθηκε με μια λιπιδομική προσέγγιση, όπου διαπιστώθηκε ότι η λιπόλυση εμφανίστηκε πιο έντονη στο κατεργασμένο σε UHT από ό,τι στο νωπό και στο απλώς παστεριωμένο γάλα. Επιπλέον, να σημειωθεί ότι το επεξεργασμένο σε UHT γάλα περιέχει λιγότερα ακόρεστα λιπαρά οξέα, τα οποία συμβάλλουν σε αρνητικές μεταβολές γεύσης (στυφότητα, πικρία ή τάγγιση) και αλλοιώνουν τη λειτουργικότητα του γάλακτος.

Μια μη στοχευμένη μεταβολομική προσέγγιση καθιερώθηκε για τον εντοπισμό βιοδεικτών για την ταξινόμηση σε UHT και ανασυσταμένου γάλακτος. Με ιεραρχική ανάλυση ομαδοποίησης, οι βιοδείκτες θα μπορούσαν να χωριστούν σε τρεις ομάδες: λιπίδια, πεπτιδία και νουκλεϊκά οξέα. Ειδικά στο γάλα επεξεργασμένο σε UHT, η ποσότητα δύο υδρολασών (H-Leu-Ile-Val-OH και H-Pro-Arg-OH) και τρία οξυλιπίδια (2-υδροξυδεκανοϊκό οξύ, 2-υδροξυμυριστικό οξύ και 12-υδροξυδωδεκανοϊκό οξύ) ήταν σημαντικά υψηλότερα από αυτά του ανασυσταμένου γάλακτος. Αυτές οι μελέτες

απέδειξαν τελικά ότι η μη στοχευμένη μεταβολομική προσέγγιση σε συνδυασμό με τη χημειομετρική ανάλυση είναι μια ισχυρή τεχνική για τη διασφάλιση της ποιότητας του γάλακτος και των γαλακτοκομικών προϊόντων. [Zhang, 2022]

Ο Nielsena μαζί με τους συνεργάτες του πρότεινε ότι οι αλλαγές του αισθητηριακού προφίλ στο γάλα επεξεργασμένο σε UHT υδρολυμένης λακτόζης σε διάστημα επτά μηνών αποθήκευσης αποδόθηκε στον σχηματισμό πικρών πεπτιδίων και στην αντίδραση Maillard.

Οι αυξήσεις του σχηματισμού πιθανών πικρών πεπτιδίων προέρχονται από τις υδρόφοβες περιοχές αS1-καζεΐνης και β-καζεΐνης και θεωρείται ότι είναι ένας ισχυρός λόγος για πικρή γεύση. Η απελευθέρωση των ελεύθερων αμινοξέων βοηθούν στο μπαγιάτικο άρωμα και το κιτρίνισμα του γάλακτος επεξεργασμένο σε UHT, το οποίο μπορεί να οφείλεται σε αυξημένη παραγωγή προϊόντων αντίδρασης Maillard και αλδεϋδων Strecker. Ως εκ τούτου, η παράταση των περιόδων αποθήκευσης και η αύξηση της θερμοκρασίας θα μπορούσαν να βελτιώσουν σημαντικά το επίπεδο γλυκοζυλίωσης των πρωτεϊνών στα γαλακτοκομικά προϊόντα, υποδεικνύοντας ότι η σωστή καθοδήγηση προς τους καταναλωτές και τους πωλητές μπορεί να μειώσει την επιβάρυνση γλυκοζυλιωμένων πρωτεϊνών στα γαλακτοκομικά προϊόντα και τελικά στα τρόφιμα γενικότερα.

2.2.2. Οπωροκηπευτικά προϊόντα

Τα νωπά κηπευτικά προϊόντα είναι ζωντανοί οργανισμοί, οι οποίοι θα συνεχίσουν τη μεταβολική τους δραστηριότητα μετά τη συγκομιδή και υφίστανται περαιτέρω φυσιολογικές και βιοχημικές αλλαγές. Οι αλλαγές αυτές επηρεάζονται από περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως η σχετική υγρασία, η θερμοκρασία, η σύνθεση της ατμόσφαιρας, η ταχύτητα του αέρα και διαδικασίες εξυγίανσης και βιολογικοί παράγοντες, όπως ο ρυθμός αναπνοής, οι ρυθμοί μεταβολών της σύνθεσης, η παραγωγή και δράση του αιθυλενίου, φυσιολογικές διαταραχές, μηχανικοί τραυματισμοί και παθολογικές μεταβολές. Ο ρυθμός φθοράς εξαρτάται από τους παραπάνω περιβαλλοντικούς

παράγοντες. Συγκεκριμένα, η απώλεια νερού είναι μια σημαντική αιτία βιολογικής αλλοίωσης, επειδή οδηγεί στη χαρακτηριστική γεύση, υφή και χρώμα και σε συνολική υποβάθμιση του κηπευτικού προϊόντος. Επιπλέον, θα προκύψουν οξειδωμένες οσμές και φαινόμενα τάγγισης στην υφή, κατά τη διάρκεια της αναπνοής και διαπνοής, καθώς εκεί υπάρχει απώλεια νερού κατά την αποθήκευση.

Η ωρίμανση των κηπευτικών προϊόντων είναι μια διαδικασία υψηλής ενεργειακής ζήτησης, η οποία προκαλεί την ενεργοποίηση διαφόρων μεταβολικών οδών. Οι Wang et al. χρησιμοποίησαν τη μεταβολική για να διαπιστώσουν ότι οι μεταβολικές διεργασίες που συσχετίζονται με τη μετασυλλεκτική ωρίμανση των καρποφόρων σωμάτων της *Dictyophora indusiata* περιλαμβάνουν αποικοδόμηση γλυκάνης, τη σύνθεση και αποικοδόμηση της χιτίνης, την υδρόλυση των γλυκεροφωσφολιπιδίων και τον καταβολισμό των πρωτεϊνών. Η παραγωγή οξειδωτικών μεταβολιτών και η βλάβη της κυτταρικής μεμβράνης από κοινού διεγείρουν την απόκριση του καρποφόρου σώματος στο οξειδωτικό στρες, προάγουν τον μεταβολισμό των υπεροξειδίων και την παραγωγή αντιοξειδωτικών, γεγονός που υποδηλώνει ότι τα κύτταρα και οι ιστοί αρχίζουν να γερνούν. [Zhang, 2022]

Η επιστημονική ομάδα του Tang και των συνεργατών του ανέλυσαν τα μεταβολομικά και μεταγραφομικά προφίλ των τοματών κερασιού σε διαφορετικές θερμοκρασίες μετά την αποθήκευση και ανακάλυψαν ότι η αποικοδόμηση των οργανικών οξέων ήταν ένα σημάδι γήρανσης των τοματών κερασιού, που ρυθμίζεται κυρίως από ένα δίκτυο κασέτας δέσμευσης ATP (ABC), αιθυλενίου και μεταγραφικών παραγόντων.

Οι εξόζες που παράγονται από την αποικοδόμηση και τον μεταβολισμό των υδατανθράκων προς την ωρίμανση των καρπών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη σηματοδότηση και άλλες μεταβολικές οδούς. Οι οδοί ακετυλο-συνένζυμου Α και γ-αμινοβουτυρικού οξέος ήταν οι κύριες οδοί αποικοδόμησης κατά το μεταγενέστερο στάδιο της ωρίμανσης.

Το μαλάκωμα της σάρκας είναι μία από τις κύριες μορφές ωρίμανσης των καρπών, η οποία σχετίζεται με βιοχημικές αλλαγές στο εσωτερικό της μεμβράνης, του μεσαίου ελάσματος και του κυτταρικού τοιχώματος, ενώ η υπερβολική μαλάκυνση στρέφεται σοβαρά κατά του καρπού. Οι αλλαγές στις δομές και τη σύνθεση του κυτταρικού τοιχώματος του καρπού είναι

αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μιας σειράς ενζύμων που τροποποιούν το κυτταρικό τοίχωμα. Ο Jiang κι άλλοι χρησιμοποίησαν ισοβαρικές ετικέτες για σχετική και απόλυτη ποσοτικοποίηση (iTRAQ) για να διερευνήσουν τις συνολικές και δυναμικές αλλαγές σε ένα πρωτεώμιο ροδάκινου όψιμης ωρίμανσης κατά τα στάδια της μετασυλλεκτικής αποθήκευσης στους 25°C, για 8 ημέρες. Μετά από αυτές τις ημέρες παρατήρησαν ότι η αναπνοή και η οξειδωτική φωσφορυλίωση, καθώς επίσης η σύνθεση αμινοξέων και ο μεταβολισμός αυξήθηκαν. Οι υδατάνθρακες και τα σάκχαρα υποβλήθηκαν σε καταβολισμό την 4η ημέρα. Εν τω μεταξύ, η αποικοδόμηση του κυτταρικού τοιχώματος επιταχύνθηκε παράλληλα με τον αναπνευστικό ρυθμό. Η αντίδραση οξειδοαναγωγής ενισχύθηκε σημαντικά, με την οξειδωτική φωσφορυλίωση να φθάνει στο υψηλότερο επίπεδο την ημέρα 6. Ενώ ο μεταβολισμός των λιπιδίων, καθώς και η πρωτεϊνική δραστηριότητα και έκφραση αυξήθηκαν, η απόπτωση άρχισε να εντείνεται.

Κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης του μαγκοστάν, η L-μαννοπυρανόζη και η αραβινοφουρανόζη ήταν ιδιαίτερα επηρεασμένοι μεταβολίτες στο περικάρπιο του mangosteen, που δραστηριοποιούνται στο κυτταρικό τοίχωμα και στην αποικοδόμηση της πηκτίνης και τελικά μείωσαν τη σκληρότητα του καρπού. Η γλυκολυτική δραστηριότητα του περικαρπίου mangosteen ρυθμίζεται ενεργά κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης των καρπών. Η διάσπαση άλλων οργανικών οξέων και σακχάρων μπορεί να επηρεάσει τη γλυκιά και ξινή γεύση και το άρωμα των καρπών μαγκοστάν μετά την ωρίμανση. Έρευνες υπέδειξαν ότι οι δραστηριότητες των μεταβολικών μονοπατιών μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης και της καθυστερημένης συγκομιδής των φρούτων και λαχανικών. Περιελάμβαναν κυρίως την αποικοδόμηση των οργανικών οξέων, τη γλυκόλυση και την αποικοδόμηση των πρωτεϊνών. [Zhang, 2022]

Η διαδικασία μαλάκυνσης συνοδεύεται συνήθως από την απώλεια σταθερότητας, που προκαλείται από τις αλλαγές του κυτταρικού τοιχώματος πολυσακχαριτών, με αποτέλεσμα τη διάλυση ορισμένων συστατικών και δομών του κυτταρικού τοιχώματος.

Ένα σημαντικό πρόβλημα που έχει παρατηρηθεί στη μετασυλλεκτική αποθήκευση των εσπεριδοειδών είναι η σήψη που προκαλείται από μόλυνση του *Penicillium digitatum*. Τα *Penicillium* βακτήρια είναι παθογόνα που παράγουν μεγάλη ποσότητα αερομεταφερόμενων σποριών (κονίδια) για

αγενή αναπαραγωγή. Κατά τη διαδικασία της συγκομιδής, της συσκευασίας ή της εμπορίας των φρούτων, μπορεί να επιμολύνει μόνο τα φρούτα που φέρουν «πληγές» πάνω στη φλούδα, από τραυματισμούς που προκαλούνται από έντομα. Οι πολλοί φρούτων που έχουν επιμολυνθεί με *P. digitatum* συλλέχθηκαν για μεταβολομική ανάλυση και η τελευταία έδειξε ότι τα περιεχόμενα των σακχάρων, των οργανικών οξέων, του D-λιμονένιου και της βιταμίνης C μειώθηκαν, ενώ η αιθανόλη και η α-τερπινεόλη αυξήθηκαν εξαιρετικά, με αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας των καρπών. Τα δεδομένα της μεταγραφομικής ανάλυσης αποκάλυψαν έναν αριθμό σημαντικά εμπλουτισμένων μονοπατιών. Η μόλυνση από το *P. digitatum* μπορεί να ενισχύσει τη μεταγραφή των γονιδίων που σχετίζονται με το στρες και να επάγει τα μονοπάτια σήματος των G-πρωτεϊνών και των κινηνασών που μοιάζουν με υποδοχείς. Επιπλέον, αποκαλύφθηκε ότι οι μεταβολίτες και τα βιολογικά μονοπάτια ρυθμίζονται σημαντικά κατά τη επιμόλυνση από το *P. Digitatum* και παρέχουν νέες πληροφορίες για το μοριακό μηχανισμό της υποβάθμισης της ποιότητας των φρούτων και των λαχανικών και την επαγωγή της ανθεκτικότητας κατά του *P. digitatum* στα φρούτα.

Η απώλεια της σφριγηλότητας των φρούτων σχετίζεται επίσης με τη μείωση της συνολικής περιεκτικότητας σε πηκτίνη. Η πολυγαλακτουρονάση (PG) και η μεθυλεστεράση της πηκτίνης (PME) είναι οι δύο κύριες υδρολάσες που δρουν στην πηκτίνη του κυτταρικού τοιχώματος. Η PG υδρολύει το οξύ της πηκτίνης, το οποίο οδηγεί στην αποικοδόμησή της, διάλυση του κυτταρικού τοιχώματος και τελικά μαλάκωμα των καρπών. Η PME καταλύει την απομεθυλίωση της πηκτίνης και καταστρέφει την οριζόντια αλυσίδα ασβεστίου της όξινης πολυσακχαριδικής αλυσίδας, με αποτέλεσμα τον κυτταρικό διαχωρισμό και την παραγωγή υποστρώματος κατάλληλου για την πολυγαλακτουρονάση. Αυτή η βιοχημική αλλαγή, έχει επίσης επαληθευτεί σε φρούτα ροδάκινου κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης.

Ο Wang κι άλλοι συνεργάτες μελέτησαν τη δυναμική έκφρασης των σχετικών γονιδίων που κωδικοποιούν ένζυμα τροποποίησης του τοιχώματος. Η επίστρωση χιτοζάνης όταν υπάρχει μπορεί να αναστείλει σημαντικά την απώλεια σκληρότητας και να μειώσει την περιεκτικότητα της υδατοδιαλυτής πηκτίνης.

Ο Bang κι άλλοι πειραματίστηκαν στη φράουλα και διαπίστωσαν παρόμοια αποτελέσματα στην απόκριση των καρπών φράουλας σε βραχυπρόθεσμη έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα. Χρησιμοποιήθηκε μια ολοκληρωμένη μεταγραφειομεταβολομική προσέγγιση για να αναλυθεί η διαφορά στην έκφραση γονιδίων που σχετίζονται με την αποικοδόμηση του κυτταρικού τοιχώματος. Υπογραμμίστηκε ότι η ενεργοποίηση της πηκτινестεράσης προκάλεσε την απομεθυλίωση της πηκτίνης, ενώ η PG μπορούσε να αποικοδομήσει την πηκτίνη σε μικρές μοριακές ενώσεις. Τελικά, η επεξεργασία με CO₂ μείωσε την απορρύθμιση της αποικοδόμησης του μεσαίου στρώματος των καρπών φράουλας, η οποία ωφελήθηκε εν τέλει, για την επέκταση της διατηρησιμότητας.

Μέχρι σήμερα, οι πιο κοινές και αποτελεσματικές μέθοδοι για την καθυστέρηση της γήρανσης των φρούτων και των λαχανικών, καθώς και τη διατήρηση της υψηλής ποιότητας των φρούτων, είναι ο έλεγχος της θερμοκρασίας, η βρώσιμη επικάλυψη και η αποθήκευση σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα. [Zhang, 2022]

Η καθυστερημένη ψύξη μειώνει συνήθως την ποιότητα και τη διάρκεια ζωής των κηπευτικών προϊόντων, όπως για παράδειγμα τα δαμάσκηνα.

Ωστόσο, η καθυστέρηση της ψύξης σε ορισμένο βαθμό μπορεί αντίθετα να αποφέρει κέρδος για τη διατήρηση της ποιότητας του νεκταρινιού, του κερασιού, των ροδάκινων, των μήλων και άλλων φρούτων και λαχανικών. Ο Luo κι άλλοι επιστήμονες επιβεβαίωσαν ότι τα αμινοξέα, η γλυκόλυση, ο μεταβολισμός λιπιδίων, η ορμονική απόκριση, ο μεταβολισμός οξειδοαναγωγής και γλουταθειόνης, το στρες και η σηματοδότηση ήταν οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζονται από τις επεξεργασίες καθυστερημένης ψύξης των καρπών μήλου. Διαπίστωσαν, επίσης, ότι ο μεταφορέας ABC πρωτεΐνης F συνδέεται με τις επεξεργασίες καθυστερημένης ψύξης.

Από τις έρευνες αυτές επιβεβαιώθηκε επιπλέον ότι ο μεταφορέας αυτός μεταφέρει τις κρίσιμες ενώσεις στα φρούτα και τα λαχανικά, όπως η λιγνίνη, πρόδρομες ουσίες (για δομική υποστήριξη), φυτικές ορμόνες (για συντονισμένη αύξηση και ανάπτυξη), υδρόφοβες ενώσεις (για την επιφανειακή επίστρωση), δευτερογενείς μεταβολίτες (για την άμυνα) και ποικίλες φαινολικές ουσίες (για την προστασία από το υπεριώδες (UV) φως). Τα αποτελέσματά τους έδειξαν ότι η ποσοτική πρωτεομική μπορεί να

χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό των πρωτεϊνικών μεταβολών κατά την εμφάνιση του μαλακού ζεματίσματος και σε απόκριση με την καθυστερημένη επεξεργασία ψύξης, αποκαλύπτοντας πρωτεΐνες που μπορεί να είναι υπεύθυνες για την ανάπτυξη και την πρόληψη του μαλακού εγκαύματος.

Στη συνέχεια, εξετάζοντας τον καρπό της τομάτας, σημειώνεται ότι οι συνήθεις τεχνικές αποθήκευσης των καρπών τομάτας είναι ο έλεγχος της θερμοκρασίας και η επεξεργασία με τον αναστολέα αιθυλενίου 1-μεθυλοκυκλοπροπένιο (1-MCP). Όμως, οι τεχνικές αυτές μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την αρωματική γεύση των καρπών της τομάτας. Και σε αυτό το παράδειγμα, με τη βοήθεια της μεταγραφομικής, με μελέτες διαπίστωσαν ότι τα μονοπάτια που σχετίζονται με τη βιοσύνθεση των αρωματικών πτητικών ουσιών κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης υπό διαφορετικές θερμοκρασίες και με την επεξεργασία με τον 1-MCP κυρίως περιλαμβάνουν το μονοπάτι των αμινοξέων, το μονοπάτι των λιπαρών οξέων και το μονοπάτι των καροτενοειδών και τερπενοειδών. Επιπλέον, η θερμοκρασία αποθήκευσης στους 0°C ενσωμάτωσε μια σημαντικά αρνητική επίδραση σε μεταγραφικό επίπεδο γονιδίων όσον αφορά την αρωματική γεύση των καρπών τομάτας. Η καθοδική ρύθμιση των βασικών γονιδίων στη βιοσύνθεση του λυκοπενίου και των εστέρων μείωσε τη συσσώρευση του λυκοπενίου και των εστέρων, με αποτέλεσμα τη μείωση του αρώματος των τερπενοειδών πτητικών συστατικών στους 4°C σε σχέση με εκείνη στους 10°C. Σε σύγκριση με την επεξεργασία με 1-MCP στους 25°C και 10°C, οι 4°C μπορούν να διατηρήσουν την ποιότητα της γεύσης της τομάτας σε κάποιο βαθμό.

Στο αβοκάντο, προθερμική επεξεργασία υπό ελεγχόμενη ατμόσφαιρα προκάλεσε την αποικοδόμηση των πρωτεϊνών και τη μείωση της γλυκολυτικής απόδοσης του αβοκάντου.

Με ολοκληρωμένη προσέγγιση μεταβολικής και πρωτεομικής αναφέρθηκε ότι το L-ασπαρτικό οξύ, η L-βαλίνη, η L-ισολευκίνη και η καρβοξυτελική τερματική υδρολάση της ουβικουϊνής, που σχετίζονται με την αποικοδόμηση των πρωτεϊνών, συσχετίστηκαν με την υψηλή περιεκτικότητα ορισμένων αμινοξέων στα δείγματα που υποβλήθηκαν σε θερμική επεξεργασία κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης.

Στο κεράσι, παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές ανά ιστό, ιδίως στη βιοσύνθεση αμινοξέων, στα γλυκά κεράσια που υποβλήθηκαν σε μεμονωμένη και σε συνδυασμένη συσκευασία με 1-MCP και τροποποιημένη ατμόσφαιρα (MAP).

Τα αποτελέσματα της συγκριτικής μεταβολικής ανάλυσης έδειξαν ότι η επεξεργασία με 1-MCP ή/και MAP μείωσε σημαντικά το γλυκερικό οξύ και το θρεονικό οξύ, αντίστοιχα. Η συσσώρευση της αργινίνης στους επεξεργασμένους με 1-MCP καρπούς υπέδειξε ότι η αργινίνη και οι μεταβολίτες της μπορεί να ρυθμίζουν τη διαδικασία μετά την ωρίμανση του κερασιού.

Επομένως, καταλαβαίνουμε ότι σε σύγκριση με την αποθήκευση σε θερμοκρασία δωματίου και σε χαμηλή θερμοκρασία, τα φρούτα και τα λαχανικά διατήρησαν σημαντικά μεγαλύτερη σφριγηλότητα στη μεταχείριση αποθήκευσης με MAP και ελεγχόμενη ατμόσφαιρα. Ενόψει των πολύπλοκων αλλαγών στη γονιδιακή και πρωτεϊνική ρύθμιση του μεταβολισμού των υδατανθράκων και των δευτερογενών μεταβολιτών υπό ακτινοβολία UV-C, οι συνδυασμένες μέθοδοι μεταγραφομικής και πρωτεομικής επιτρέπουν τον προσδιορισμό των μοριακών ρυθμιστικών δικτύων για την ανάδειξη των αποκρίσεων των καρπών σε στρες κατά τη γονιδιωματική και πρωτεϊνική κλίμακα.

Ορισμένες μελέτες έχουν διασαφηνίσει τον μοριακό μηχανισμό απόκρισης των καρπών ροδακινιάς στην έκθεση στην υπεριώδη ακτινοβολία C, με βάση τη μεταγραφομική και την πρωτεομική. Τα αποτελέσματα της πρωτεομικής έδειξαν ότι η UV-C ανέστειλε σημαντικά την έκφραση 5 πρωτεϊνών PG κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, γεγονός που εξηγεί ότι η επεξεργασία με UV-C θα μπορούσε να μειώσει τις PG για να διατηρηθεί η σφριγηλότητα του πολτού. Διαπιστώθηκε ότι οι υψηλότερες γονιδιακές εκφράσεις και πρωτεϊνικές αφθονίες της συνθάσης της σακχαρόζης και οι χαμηλότερες εκφράσεις της ινβερτάσης (AI, NI), ήταν οι κύριοι λόγοι για τις υψηλότερες περιεκτικότητες της ζάχαρης στους καρπούς που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με UV-C.

Οι ανοδικές ρυθμίσεις των γονιδίων και των πρωτεϊνών της συνθάσης του κιτρικού και της μηλικής αφυδρογονάσης συνέβαλαν στην αύξηση του μηλικού και του κιτρικού οξέος.

Επιπλέον, η UV-C προώθησε τη σύνθεση ανθοκυανών, αυξάνοντας την αφθονία και την έκφραση της αναγωγάσης της διυδροφλαβονόλης 4 και της UDP-γλυκόζης: φλαβονοειδών 3-Ο γλυκοσυλτρανσφεράσης. [Zhang, 2022]

2.2.3. Κρέας και τα προϊόντα του

Το κρέας είναι ένα ευπαθές τρόφιμο, με υψηλή περιεκτικότητα σε νερό ($a_w > 0,99$) και pH (5,5-6,5) που αντιστοιχεί στο βέλτιστο εύρος μικροβιακής ανάπτυξης. Οι συμβατικές μέθοδοι, όπως το χρώμα, το pH και η ικανότητα συγκράτησης νερού του κρέατος προσδιορίζονται με χρωματόμετρο, μετρητές pH, αντιδραστικό θειοβαρβιτουρικό οξύ κατά τη διανομή και την αποθήκευση. Ωστόσο, τα αποτελέσματα αυτά χρησιμοποιούνται μόνο για την εκτίμηση της ποιότητας του κρέατος σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή και δεν είναι σε θέση να επιβεβαιώσουν τους μηχανισμούς που επηρεάζουν το κρέας και την ποιότητά του ή να την προβλέψουν στο μέλλον. Ως εκ τούτου, είναι αναγκαίος ο ακριβής προσδιορισμός των μεταβολιτών και των βιολογικών μονοπατιών σχετικά με την ποιότητα του κρέατος και των αλλαγών των χαρακτηριστικών του, για τη διευκρίνιση του περίπλοκου μοριακού μηχανισμού που σχετίζεται με την ανάπτυξη του κρέατος. [Zhang, 2022]

Η ανάπτυξη μιας μεθόδου για τη ταυτοποίηση ειδών στο κρέας και τα προϊόντα του είναι ένα σημαντικό ζήτημα αυθεντικότητας, ιδίως στον κιμά και το ομογενοποιημένο κρέας. Λόγω της μετουσίωσης των πρωτεϊνών σε υψηλές θερμοκρασίες και της χρονοβόρας και δαπανηρής τεχνικής αναλυτικής χημείας, υπάρχει ανάγκη για γρήγορες, αξιόπιστες και απευθείας μεθόδους για την ανίχνευση της αυθεντικότητας του κρέατος. Η χημειομετρική επεξεργασία των IR φασματοσκοπικών δεδομένων έχει δείξει πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα (Rohman, Siswindari, Erwanto, & Che Man, 2011) τις προηγούμενες δεκαετίες, αλλά απαιτούνταν και απαιτούνται ακόμη μελέτες με μεγαλύτερο αριθμό δειγμάτων και πιο εξελιγμένες μεθόδους.

Η γεωγραφική προέλευση του βοείου κρέατος πρέπει να επισημαίνεται σύμφωνα με τον ευρωπαϊκό κανονισμό αριθ. 1760/2000 (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2000). Κρέας και προϊόντα επιλεγμένων φυλών που παράγονται

σε συγκεκριμένη περιοχή αποκτούν προστιθέμενη αξία στην αγορά, ιδίως για τα προϊόντα ΠΓΕ. Αρκετές μέθοδοι που στοχεύουν σε χημικές και φυσικές ιδιότητες έχουν περιγραφεί για τον εντοπισμό του κρέατος στην προέλευσή του, ωστόσο, δεν είναι πάντα εφικτός ο ακριβής προσδιορισμός, ιδίως σε περιοχές μικροκλίμακας υπό μελέτη και όταν πρόκειται να επαληθευτούν οι δηλώσεις ΠΟΠ και ΠΓΕ. [Franke, Gremaud, Hadorn, & Kreuzer, 2005]

Έτσι, οι ερευνητές οδηγήθηκαν και στις τροφομικές τεχνολογίες. Με την πάροδο των ετών, έχουν διεξαχθεί πολλές μελέτες «Foodomics» για τη συλλογή πληροφοριών που σχετίζονται με τη βελτίωση της ποιότητας του κρέατος σε ένα προβλέψιμο, αποτελεσματικό και οικονομικά αποδοτικό σύστημα παράτασης της διάρκειας ζωής του κρέατος.

Η ψύξη και η κατάψυξη, ως κοινές προσεγγίσεις, εφαρμόζονται για τη μακροχρόνια διατήρηση του κρέατος και των προϊόντων του, όμως εξακολουθούν να συμβαίνουν ορισμένες ανεπιθύμητες αλλαγές, όπως η μετουσίωση των πρωτεϊνών και η οξείδωση των λιπιδίων.

Η μεταβολομική με υψηλή αναλυτική απόδοση και πλούσιες πληροφορίες μεταβολικού προφίλ είναι ικανή για την παρακολούθηση των δυναμικών μεταβολών των μεταβολιτών στο κρέας σε πραγματικό χρόνο κατά τη διανομή και τις φάσεις αποθήκευσης. Οι ερευνητές Wen, Liu, & Yu χρησιμοποίησαν μη στοχευμένη προσέγγιση μεταβολομικής για να αποσαφηνίσουν τις σημαντικές διαφορές στην περιεκτικότητα των αμινών, των νουκλεοσιδίων, των νουκλεοτιδίων, των αμινοξέων, των οργανικών οξέων και των υδατανθράκων κατά την αποθήκευση διατηρημένου, με απλή ψύξη, κοτόπουλου σε 20 λεπτά. Τα μονοπάτια των πουρινών και των βιοαμινών σχετίζονταν αντίστοιχα με τη γεύση και την ασφάλεια του κρέατος, ενώ η μονοφωσφορική ινοσίνη 5' (IMP), που παράγεται κατά την αποθήκευση, επηρέαζε σε μεγάλο βαθμό τη φρεσκάδα του διατηρημένου με απλή ψύξη κοτόπουλου.

Τα νουκλεοτίδια των εκκρίσεων του βοείου κρέατος αποικοδομήθηκαν μέσω της αποθηκευτικής οδού του AMP, της ινοσίνης 5'- φωσφορικό, ινοσίνη, υποξανθίνη και ξανθίνη από ATP/ADP σε ουρικό οξύ και υδατάνθρακες όπου μειώνονται σε μεταθανάτιες περιόδους έως ότου εξαφανιστούν. Η αποικοδόμηση των υδατανθράκων, που αφορά την υποβάθμιση της σάρκας μετά τη σφαγή, μπορεί να τερματιστεί με ακτινοβολία.

Η σταθερότητα και η υψηλή αξιοπιστία των πειραματικών δεδομένων των δειγμάτων ποιοτικού ελέγχου κατέδειξε ότι η μέθοδος της μεταβολομικής παρέχει μια σημαντική θεωρητική βάση για την εξήγηση του μηχανισμού του κρέατος, της αλλαγής της ποιότητάς του και τη βελτίωση της τεχνολογίας αποθήκευσης τροφίμων.

Με βάση την πρωτεομική μέθοδο, παρατηρήθηκε ότι η τροπονίνη και η μυοσίνη ήταν δυνητικοί βιοδείκτες για την τρυφερότητα, καθώς και η υπεροξυρεδοξίνη-6 και η τριφωσφορική ισομεράση για τον αποχρωματισμό στη μεταθανάτια κατεψυγμένη αποθήκευση του κατσικίσιου κρέατος. Η γλυκόλυση και η οδός της ουβικουίνης-πρωτεασώματος προκάλεσαν την ποιοτική υποβάθμιση του κατεψυγμένου κατσικίσιου κρέατος μακράς διάρκειας. Ο μελετητής Lana και οι συνεργάτες του διερεύνησαν τον διαταραγμένο ενεργειακό μεταβολισμό και τη σταδιακή μείωση της δομικής ακεραιότητας των μυοϊνιδίων (που υποστηρίζουν την τρυφερότητα του κρέατος) του μυός *Longissimus thoracis* του Piedmontese, μέσω της μεταβολικής και της πρωτεομικής με βάση τη χρονική πορεία. Βασικοί μεταβολίτες (όπως το γλουταμινικό) και δείκτες του μεταβολισμού του αζώτου και των αποκρίσεων αυτοφαγίας συσσωρεύτηκαν μέχρι την 44η ημέρα μετά τη σφαγή.

Η ετικέτα μάζας (TMT) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύγκριση των σχετικών πρωτεϊνών σε 2-10 ομάδες διαφορετικών δειγμάτων βάσει περιεχομένου, η οποία έχει υψηλή τεχνική αναπαραγωγικότητα και σίγουρη ταυτοποίηση και ποσοτικοποίηση πεπτιδίων. Τα αποτελέσματα μιας ποσοτικής πρωτεομικής με βάση την TMT στρατηγική υπέδειξαν ότι η χαμηλότερη περιεκτικότητα σε γλυκογόνο, η χαμηλότερη περιεκτικότητα σε ίνες τύπου II, η μειωμένη γλυκογονόλυση και η μειωμένη απελευθέρωση Ca^{2+} σε κρέατα υψηλής ποιότητας έδειξαν χαμηλότερο βαθμό γλυκόλυσης σε σύγκριση με κρέατα χαμηλής ποιότητας, οδηγώντας σε μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Εν τω μεταξύ, τα επίπεδα της απόπτωσης και του οξειδωτικού στρες σε κρέατα υψηλής ποιότητας ήταν χαμηλότερα από εκείνα σε κρέατα χαμηλής ποιότητας.

Η υπερψύξη ευνοεί περισσότερο τη συντήρηση από την παραδοσιακή τεχνολογία ψύξης. Σε σύγκριση με το χοιρινό κρέας σε παραδοσιακή ψυχρή

αποθήκευση, η υπερψύξη του συσκευασμένου υπό κενό σε θερμοκρασία - 2°C μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τη διάρκεια ζωής.

Η ακτινοβολήση, ως ασφαλής και αποτελεσματική μη θερμική τεχνολογία επεξεργασίας του κρέατος, μπορεί να παρατείνει τη διάρκεια ζωής των προϊόντων κρέατος κατά την κατεψυγμένη αποθήκευση. Ωστόσο, η ακτινοβολήση μπορεί να επηρεάσει την παραγωγή και την κατανάλωση ενέργειας. [Zhang, 2022]

Κατά τη διάρκεια μιας τέτοιας διαδικασίας, σύμφωνα με τον Zhang, το κατσικίσιο κρέας θα απελευθερώσει χαρακτηριστικές πτητικές ουσίες εκτός γεύσης, οδηγώντας στην υποβάθμιση της οργανοληπτικής ποιότητας. Οι κρίσιμες πρωτεΐνες που σχετίζονται με το «off-flavor» υφίστανται οξείδωση και οι κυστεΐνες μεταβολισμό της μεθειονίνης κατά την κατεψυγμένη αποθήκευση, οι οποίες είχαν μια ορισμένη ανασταλτική επίδραση στην «off-flavor».

Ταυτόχρονα, μελέτες έχουν διαπιστώσει ότι η υποβάθμιση των υδατανθράκων που σχετίζονται με την υποβάθμιση του κρέατος μετά από σφαγή μπορεί να αδρανοποιήσει με την ακτινοβολήση. Αυτές οι εν λόγω έρευνες θα διευκολύνουν την περαιτέρω πρωτεομική και μεταβολομική μελέτη, σχετικά με τη βιολογική απόκριση του κρέατος ψυχρής και κατεψυγμένης αποθήκευσης και την κατανόηση των μοριακών μηχανισμών των πρωτεϊνών και των μεταβολιτών στη ρύθμιση της ποιότητας του κρέατος. [Zhang, 2022]

Οι αποφάσεις αγοράς κρέατος επηρεάζονται περισσότερο από το χρώμα παρά από οποιονδήποτε άλλο παράγοντα ποιότητας. Πριν από τη διαδικασία σφαγής, η αιμοσφαιρίνη και η μυοσφαιρίνη (MB) είναι οι κύριες πρωτεΐνες χρωστικής, αλλά μετά τη σφαγή, το μεγαλύτερο μέρος της αιμοσφαιρίνης χάνεται από το αίμα και η μυοσφαιρίνη στους μυς είναι το βασικό υλικό για τον προσδιορισμό του χρώματος του κρέατος. Το πορφυρό-κόκκινο χρώμα των μυών προέρχεται από τη δεοξυμυοσφαιρίνη (DMB), ενώ το ιδανικό φρέσκο κερασιέρυθρο από την οξυμυοσφαιρίνη (OMB), και το ανεπιθύμητο καφέ από το σχηματισμό της μετμυοσφαιρίνης(MMB).

Οι Wu κι άλλοι, διαπίστωσαν ότι η υπερέκφραση των μεταβολικών ενζύμων (PPA2, PFKM, PDK4, HIBCH, ECHS1, DECR1, LDHD, GOT2 και ACO2), η πρωτεΐνη οξειδοαναγωγής (Q2KHZ9, Q3T0R4, F1MEY2, Q32LG3,

Q5EAD4 και Q3SZI8), η πρωτεΐνη μεταφοράς ηλεκτρονίων (Q2TBV3 και F1MWR3), η συνοδός (Q3SZC1 και Q2NL21), πορίνη (P68002) και άλλες (Q8SQ21, Q32PB0, Q58CS4, Q2KHU8, Q3SZJ1, Q3MHZ0, Q08DI7 και Q32LP3) στο σκοτεινό μοσχαρίσιο κρέας κοπής συνέβαλαν στη σταθερότητα του χρώματος, ενισχύοντας το επίπεδο της μιτοχονδριακής αναπνοής.

Αρκετά ένζυμα που συμμετέχουν στον κύκλο του τρικαρβοξυλικού οξέος (MDH2, CS, IDH3A, IDH3G και ACO2) οδηγούν σε φτωχότερη σταθερότητα του χρώματος στο *M. psos major*, στους μύες μέσω του μιτοχονδριακού μεταβολισμού και της οξείδωσης των λιπιδίων.

Με την οξείδωση μπορεί να προωθήσουν την εξάντληση του δινουκλεοτιδίου νικοτιναμιδίου αδενίνης (NADH) και να μειώσουν τη μειωτική δραστηριότητα της μετμυοσφαιρίνης, οδηγώντας σε συσσώρευση μετμυοσφαιρίνης. Η σύνθεση και η περιεκτικότητα σε λιπαρά οξέα επηρεάζει την οξειδωτική σταθερότητα του κρέατος (PCMT1, OXCT1, ATP5F1 και PSMB2), η οξειδοαναγωγή (NDUFA6, NDUFC2, NDUFA4, NADPH), η υπεροξειδάση και η πρωτεΐνη συνοδός (GPX1 και HSPD1) κι άλλες (FGB, MYH1, SMPX, HBA και HBB) συσχετίστηκαν με την τιμή a^* και το pH του *M. semitendinosus*. Αυτές οι πρωτεΐνες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον αποχρωματισμό του κρέατος κατά την παρατεταμένη αποθήκευση, λόγω των διαδικασιών μεταφοράς ηλεκτρονίων, πρωτεόλυσης, γλυκόλυσης και του ενεργειακού μεταβολισμού, καθώς και της αντιοξειδωτικής λειτουργίας.

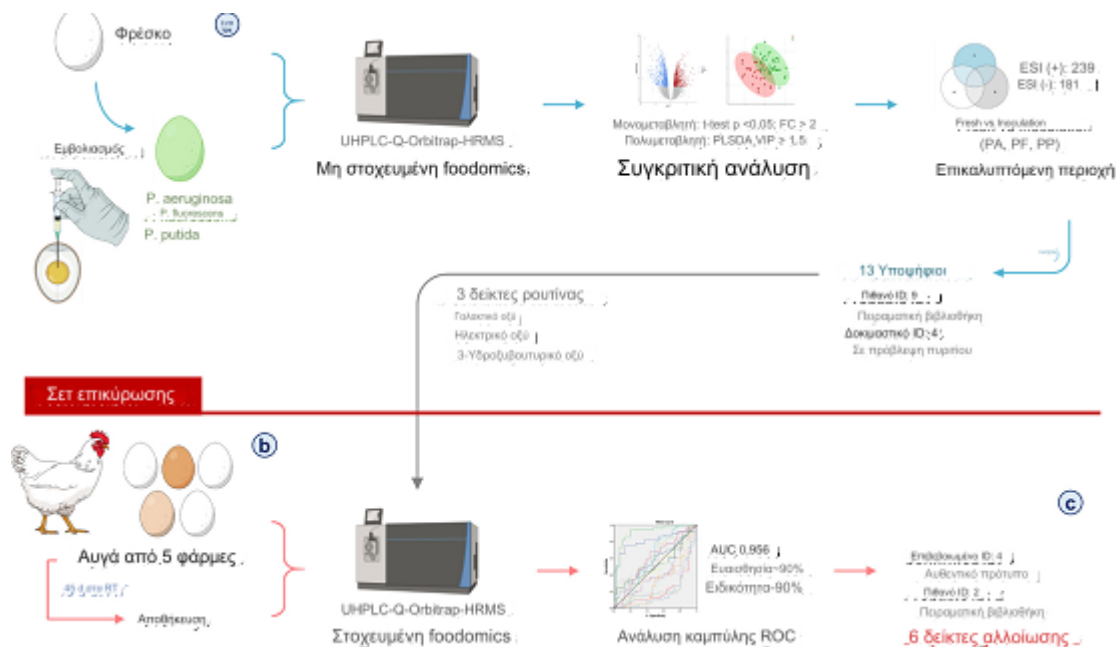
Μείγμα των προστατευτικών αερίων O_2 και CO_2 εφαρμόστηκε στο κρέας για την αντιμετώπιση του αποχρωματισμού και του σχηματισμού οσμών κατά τη διάρκεια της μακρόχρονης αποθήκευσης, που προκαλείται από την ανάπτυξη μικροοργανισμών αλλοίωσης. Το O_2 χρησιμοποιείται γενικά για την αναστολή της ανάπτυξης των προαιρετικών και αυστηρά αναερόβιων βακτηρίων, όπως τα *Clostridia* ή *Rahnella aquatilis* και την περαιτέρω διατήρηση της ιδανικής OMB, η οποία είναι υπεύθυνη για την κόκκινη σάρκα. Το προστατευτικό αέριο CO_2 μπορεί να επιβραδύνει την ανάπτυξη αερόβιων αρνητικών κατά Gram βακτηρίων, π.χ., ειδών *Pseudomonas* και διαφόρων θετικών κατά Gram βακτηρίων, όπως τα *B. thermosphacta*.

Ο Kolbeck και η ομάδα του χρησιμοποίησαν συγκριτική πλήρη πρωτεομική ανάλυση για να διαπιστώσουν ότι τα τυπικά αντιπροσωπευτικά βακτήρια αλλοίωσης κρέατος *Brochothrix* (*B.*) *thermosphacta* TMW2.2101,

Carnobacterium (C.) *divergens* TMW2.1577 και *C. maltaromaticum* TMW2.1581 παρείχαν μεταβολική προσαρμογή στους μηχανισμούς, όπως η μείωση του αυξημένου οξειδωτικού στρες, η ρύθμιση του μεταβολισμού του πυροσταφυλικού, η μεταβολή της σύνθεσης των λιπαρών οξέων και η διατήρηση της οσμωτικής ισορροπίας. Έτσι, η ανθεκτικότητα στις επιβλαβείς επιδράσεις της τροποποιημένης ατμόσφαιρας βελτιώθηκε. Επιπλέον, οι ειδικές για το είδος μεταβολικές οδοί επιτρέπουν τη διαφορετική και κατά προτίμηση αξιοποίηση της πηγής άνθρακα, η οποία επιτρέπει τη μη ανταγωνιστική συνύπαρξη διαφορετικών βακτηρίων στο κρέας, οδηγώντας σε συνεργιστική αλλοίωση. Εκτός αυτού, ένα μη στοχευμένο παγκόσμιο "στιγμιότυπο" της χρωματικής σταθερότητας των μοσχαρίσιων μπριζόλων που συσκευάζονται με δύο προσεγγίσεις MAP: COMAP (0,4% CO/30% CO₂/69,6% N₂) και HiOx-MAP (80% O₂/20% CO₂) κατά τη διάρκεια αποθήκευσης 15 ημερών καταγράφηκε με την πρωτεομική. Η υπερέκφραση της πρωτεΐνης DJ-1, των αντιοξειδωτικών υπεροξειδωτικών και ορισμένων ενεργειακά μεταβολικών και γλυκολυτικών ενζύμων που είναι σημαντικά στις διαδικασίες αντιοξειδωτικής προστασίας και αναγέννησης του NADH, τα οποία ήταν πιο άφθονα στις μπριζόλες CO-MAP, θα μπορούσαν να οδηγήσουν τις μπριζόλες CO-MAP στη διατήρηση υψηλών επιπέδων του ρυθμού κατανάλωσης οξυγόνου της μεθυοσφαιρίνης και της μείωσης της δραστηριότητας, οδηγώντας στην εμφάνιση καλύτερης σταθερότητας χρώματος στο CO-MAP, από την HiOx-MAP κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. [Zhang, 2022]

Από την άλλη, ο ερευνητής Chang μαζί με τους συναδέλφους του, πραγματοποίησαν μια ενδελεχή αξιολόγηση νέων δεικτών σε αλλοιωμένα αυγά κοτόπουλου, χρησιμοποιώντας μία μέθοδο UHPLC-Q-Orbitrap-MS/MS. Στην περίπτωση αυτή, τόσο οι στοχευμένες, όσο και οι μη στοχευμένες στρατηγικές εφαρμόστηκαν μετά την εκχύλιση των μεταβολιτών από τα αυγά, με τη χρήση εκχύλισης με υπερήχους και μεθανόλη ως διαλύτη. Οι δείκτες σχολιάστηκαν σύμφωνα με αυθεντικά πρότυπα (που υπάρχουν στη βιβλιογραφία, από φάσματα) ή με «in silico» θραυσματοποίηση. Στοχευμένη μεταβολομική χρησιμοποιήθηκε για την επαλήθευση των δεικτών σε αυγά

από πέντε διαφορετικά εκτροφεία, όπως φαίνεται στην εικόνα 6, στην οποία το σύνολο της διαδικασίας, συμπεριλαμβανομένου του εμβολιασμού με τρία είδη βακτηρίων (δηλ. *Pseudomonas aeruginosa*, *P. fluorescens* και *P. putida*) και η αναλυτική στρατηγική απεικονίζονται σχηματικά.



Εικόνα 6: Πλήρης ροή εργασιών της στρατηγικής foodomics, συμπεριλαμβανομένων των εμβολιασμών και των αναλυτικών βημάτων (π.χ. εξαγωγή, ανάλυση UHPLC-MS/MS και στατιστικές μελέτες), για την αξιολόγηση νέων δεικτών στην αλλοίωση των αυγών κοτόπουλου, μετά από θεραπεία με τρία βακτήρια *Pseudomonas* που υπάρχουν συνήθως σε αυτό το είδος.

[Ανατύπωση με άδεια από την βιβλιογραφία: Chang, W. C. W.; Wu, H. Y.; Kan, H. L.; Lin, Y. C.; Tsai, P. J.; Chen, Y. C.; Pan, Y. Y.; Liao, P. C. J. Agric. Food Chem. 2021, 69 4331–4341. Πνευματικά δικαιώματα 2021, American Chemical Society, Washington, DC.]

Τα αποτελέσματα απέδωσαν αύξηση του γαλακτικού και του 3-υδροξυβουτυρικού οξέος και μειώσεις σε τέσσερα φωσφολιπίδια, συμπεριλαμβανομένης της φωσφοχολίνης, της λυσοφωσφατιδυλολαιθανολαμίνης (LPE(O-18:1)) και της λυσοφωσφατιδυλοχολίνη (LPC(16:0) και LPC(18:0)), οι οποίες αναδείχθηκαν ως νέοι δείκτες. Τα δεδομένα αυτά επισημαίνουν την αναγκαιότητα να συμπεριληφθούν περισσότερες ρυθμιστικές αναλύσεις στα αυγά μετά το διαχωρισμό από το κέλυφός τους και την ανάμειξη, για να διασφαλιστεί η υγιεινή ποιότητα και η φρεσκάδα του εν λόγω προϊόντος. [Valder, 2022]

Οι τεράστιες δυνατότητες των εργαλείων Foodomics έχουν επίσης εφαρμοστεί στον ποιοτικό έλεγχο του κρέατος. Η πρωτεομική ανάλυση αποδείχθηκε ότι είναι μια προσέγγιση υψηλής απόδοσης για τον εντοπισμό πεπτιδικών βιοδεικτών σε δείγματα κρέατος. Για παράδειγμα, για την πρόβλεψη για χλωμά μαλακά ελαττώματα που μοιάζουν με εξίδρωμα σε μαγειρεμένα ζαμπόν, ο Theron ανέπτυξε μια προγνωστική μέθοδο για τη ταξινόμηση της πρώτης ύλης πριν από την επεξεργασία του ζαμπόν, χρησιμοποιώντας δείγματα αίματος και μελετώντας τα φασματικά δεδομένα μιας ανάλυσης πρωτεομικής του πλάσματος. Φασματικά αποτυπώματα των πρωτεϊνών και των δευτερογενών δομών τους ελήφθησαν χρησιμοποιώντας MALDI-TOF-MS και εξασθενημένης ολικής ανάκλασης – Fourier μετασχηματισμού υπερύθρου (ATR-FTIR), αντίστοιχα.

Μια άλλη προσέγγιση της πρωτεομικής προτάθηκε από τους Zhu και την ομάδα του, οι οποίοι αναζητούσαν βιοδείκτες τρυφερότητας σε ιρλανδικά βοοειδή, με βάση την ανάλυση nano-LC-Q-Orbitrap-MS.

Η ανάλυση βιοπληροφορικής κάνει χρήση πόρων πρωτεομικής, όπως η Bos taurus βάση δεδομένων για την ευθυγράμμιση των ακατέργαστων αρχείων LC-MS/MS, οι βάσεις δεδομένων ProteINSIDE και STRING web service για Gene οντολογικές αναλύσεις και την αξιολόγηση των αλληλεπιδράσεων πρωτεΐνης-πρωτεΐνης, αντίστοιχα.

Η μεταβολομική με βάση την HR-MS, έχει προταθεί για τη διερεύνηση ποιοτικών χαρακτηριστικών του κρέατος, επιτρέποντας τη ταυτόχρονη ανίχνευση ευρέος φάσματος μεταβολιτών που σχετίζονται με την επεξεργασία, τις συνθήκες ωρίμανσης και διάρκειας ζωής των προϊόντων κρέατος.

Για παράδειγμα, οι μοριακές διεργασίες που προωθούνται από την προσθήκη τριών διαφορετικών μικροβιακών εκκινητών (δηλ. *Pediococcus pentosaceus*, *Staphylococcus xylosus*, και *Lactobacillus sakei*) κατά τη διάρκεια της παρασκευής σαλαμιού ξηρής ζύμωσης διερευνήθηκε από τον Rocchetti και την επιστημονική του ομάδα. Η μη στοχευμένη UHPLC-Q-Orbitrap-MS ανάλυση αποκάλυψε ότι κάθε μικροβιακός εκκινητής επέβαλε μεταβολομικές αλλαγές στο τέλος της ωρίμανσης, που περιλαμβάνουν λιπίδια (συμπεριλαμβανομένων των υδροξυ- και εποξειδικών παραγώγων των

λιπαρών οξέων) και γ-γλουταμυλικών πεπτιδίων που συμβάλλουν στην τελική αισθητηριακή ποιότητα των προϊόντων. Οι Rocchetti και οι λοιποί, πραγματοποίησαν επίσης έναν μη στοχευμένο έλεγχο των μεταβολιτών των ξηρών ζυμωμένων λουκάνικων με UHPLC-QTOF-MS. Τα ζυμωμένα λουκάνικα που παράγονται μετά από ψυχρή διαδικασία ξήρανσης-ωρίμανσης, σε χαμηλότερες τιμές σχετικής υγρασίας (65%-80%) παρουσίασαν διάφορους δείκτες οξειδωσης στο τέλος της ωρίμανσης, όπως οξυ- και υδροξυπαραγωγά λιπαρών οξέων. Στη πρώτη μελέτη, τα συλλεχθέντα μη επεξεργασμένα δεδομένα που ελήφθησαν από το Orbitrap μετατράπηκαν σε μορφή abf και επεξεργάστηκαν περαιτέρω με τη χρήση του λογισμικού MS-DIAL και σχολιάστηκαν με συγκριτική αντιστοίχιση φασμάτων της βάσης δεδομένων MoNA99. Στην τελευταία μελέτη, τα ακατέργαστα δεδομένα μάζας χαρακτηριστικά από το Q-TOF υποβλήθηκαν σε επεξεργασία στο λογισμικό Profinder (Agilent Technologies), με βάση το στοχευμένο "find-by αλγόριθμος "φόρμουλα" και η ταυτοποίηση των μεταβολιτών του κρέατος επιτεύχθηκε με βάση την ολοκληρωμένη βάση δεδομένων FoodDB.100. [Zhang, 2021]

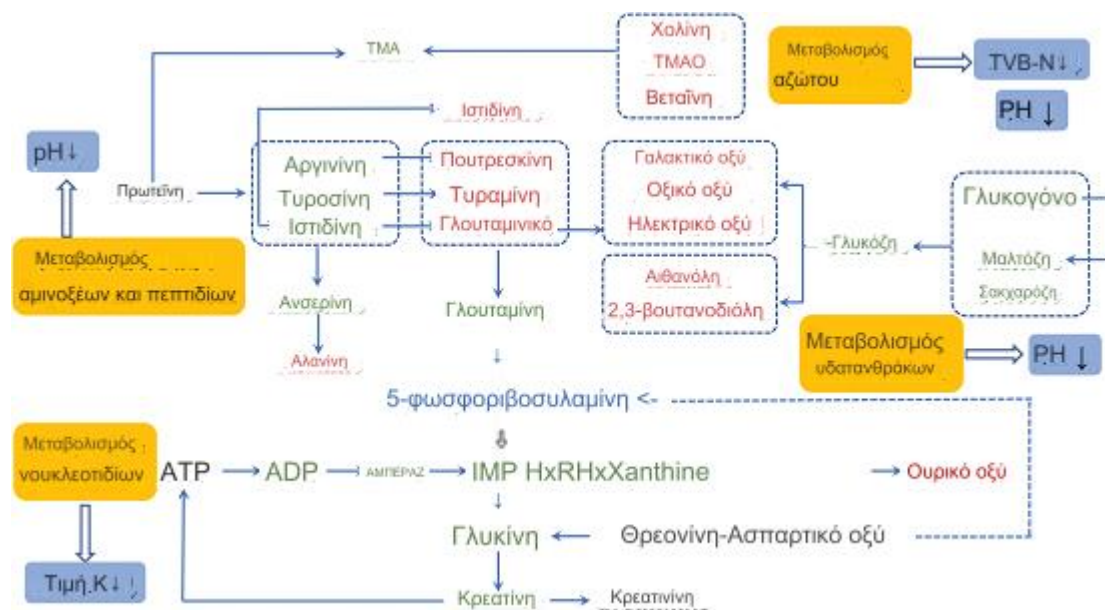
2.2.4. Ψάρια και θαλασσινά

Τα φρέσκα ψάρια και τα θαλασσινά είναι εξαιρετικά ευπαθή τρόφιμα και η ποιότητά τους μειώνεται γρήγορα από τη στιγμή που αλιεύονται, κυρίως λόγω του ουδέτερου ή χαμηλού pH που έχουν, του υψηλού aw (ενεργότητα νερού), του υψηλού ποσοστού ακόρεστων λιπαρών οξέων, την παρουσία αυτολυτικών ενζύμων και της σχετικά μεγάλης ποσότητας ελεύθερων αμινοξέων. Όλοι αυτοί οι παράγοντες μπορούν να επιταχύνουν σημαντικά την ανάπτυξη των μικροβίων. [Zhang, 2021]

Σύμφωνα με έναν κανονισμό της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (European Commission, 2001) οι καταναλωτές πρέπει να ενημερώνονται για την αλιεία και την υδατοκαλλιέργεια και τα αντίστοιχα προϊόντα τους. Για τη ρύθμιση των δικαιωμάτων του καταναλωτή, στα προϊόντα αυτά πρέπει να επισημαίνεται η συγκεκριμένη εμπορική ονομασία, η ακριβής επιστημονική ονομασία, η μέθοδος παραγωγής και η περιοχή αλιείας. Έχουν αναφερθεί διάφορες μέθοδοι, αλλά στη πλειοψηφία τους είτε είναι χρονοβόρες, είτε έχουν

περιορισμούς για την πρακτική εφαρμογή τους (Mazzeo et al., 2008). Ως εκ τούτου, απαιτούνται νέες αναλυτικές μέθοδοι για την πιστοποίηση της γνησιότητας των προϊόντων όσον αφορά τα χρησιμοποιούμενα συστήματα εκτροφής, την εκμετάλλευση των θαλασσινών ειδών ή τις άγριες φυλές, τη ταυτοποίηση των ειδών, τη γεωγραφική προέλευση και τις μεθόδους αποθήκευσης, προκειμένου να αποφευχθεί η απειλή της απάτης. Η τεχνολογία NMR σε συνδυασμό με στατιστικές μεθόδους έχει χρησιμοποιηθεί αρκετά για τη ταξινόμηση των αλιευτικών προϊόντων και των συνθηκών μεταποίησης, καθώς και για τη διάκριση μεταξύ των ειδών εκτροφής σε συστήματα εκτροφής λαβρακίου και τσιπούρας (πίνακας 1). Τα φάσματα NIR έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί πρόσφατα για τη ταξινόμηση της εκτροφής λαβρακιού. Το θεμελιώδες πλεονέκτημα των εφαρμογών NIR είναι ότι αποφεύγεται η πρόκληση ζημιών στο εμπορικό προϊόν και διατηρείται αυτούσιο. [Trocino, 2012]

Οι μεταβολίτες αντιπροσωπεύουν τα άμεσα χαρακτηριστικά των βιοχημικών δραστηριοτήτων στη μεταβολική διαδικασία και είναι πολύ κοντά στον φαινότυπο. Ως εκ τούτου, η μελέτη των ψαριών και των θαλασσινών στο επίπεδο των μεταβολιτών μπορεί να προσφέρει βαθιά γνώση όσον αφορά τη τοξικότητα, τη βιοχημεία και τον μηχανισμό αναστολής της αλλοίωσης. Οι μεταβολές των μεταβολιτών σε ψάρια και θαλασσινά μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις κύριες μεταβολικές οδούς κατά την αποθήκευση υπό ψύξη, και συγκεκριμένα το μονοπάτι των νουκλεοτιδίων, των αμινοξέων και των πεπτιδίων, το μονοπάτι των υδατανθράκων και του αζώτου. (Εικ. 7) Στο μονοπάτι μεταβολισμού των νουκλεοτιδίων του τόνου και του σολομού, η μονοφωσφορική ινοσίνη 5' μειώθηκε καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου αποθήκευσης (0-13 ημέρες στους 3°C) μέσω των μεθοδολογιών μεταβολικής, οδηγώντας σε σαφώς αυξημένη περιεκτικότητα ινοσίνης στον τόνο και υποξανθίνης στον σολομό. Στη μεταβολική οδό του αζώτου, η αύξηση της τριμεθυλαμίνης (TMA) οδήγησε σε μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του τόνου λόγω του μειωμένου οξειδίου της τριμεθυλαμίνης N (TMAO) στα φωσφορίζοντα βακτήρια.



Εικόνα 7: Οι τέσσερις κύριες μεταβολικές οδοί των μεταβολιτών στα ψάρια και τα θαλασσινά. Περιλαμβάνει νουκλεοτιδική οδό, οδό αμινοξέων και πεπτιδίων, οδό υδατανθράκων και οδό αζώτου.

Με τη μη στοχευμένη μεταβολομική, σε συγκεκριμένα ψάρια, ανακαλύφθηκαν ότι κάποιοι μεταβολίτες είναι σημαντικά εξαρτώμενοι από το χρόνο, συμπεριλαμβανομένων της υποξανθίνης, της ινοσίνης, της ουρακίλης και του λινολεϊκού οξέος, του αραχιδονικού οξέος, του δοκοσαεξαενοϊκού οξέος, του αλινολενικού οξέος και της δεκανοϋλοκαρνιτίνης, το σουξινικό, η τριμεθυλαμίνη και κάποια αμινοξέα διακλαδισμένης αλυσίδας, καθώς επίσης και μια αξιοσημείωτη μείωση των οσμωλυτών όπως ταυρίνη, ομαρίνη και βηταΐνη σημειώθηκαν κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης του δίθυρου μαλακίου *Mytilus galloprovincialis* στους 0°C και 4°C. Περαιτέρω διερεύνηση των συσχετίσεων μεταξύ αυτών των μεταβολιτών και των μικροβίων έδειξαν ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πιθανοί βιοδείκτες αλλοίωσης.

Οι πληροφορίες αυτές οδήγησαν σε μερικά από τα κύρια συστατικά που τελικά σχετίζονται με την αλλοίωση των ψαριών: υδατάνθρακες, πρωτεΐνες και άλλες μη πρωτεϊνικές αζωτούχες ενώσεις. Τα αυξημένα επίπεδα αλανίνης και διακλαδισμένων αλυσίδων αμινοξέων μπορούν να θεωρηθούν ως σημάδια υποβάθμισης των πρωτεϊνών.

Η εφαρμογή της πρωτεομικής για την αξιολόγηση της ποιότητας των ψαριών και των θαλασσινών είναι αρκετά ελπιδοφόρα, καθώς παρέχει ένα στιγμιότυπο της κατάστασης ενός οργανισμού. Οι δομικές αλλαγές των μυών

των ψαριών θα μπορούσαν να προκληθούν από την πρωτεόλυση διαφόρων κυτταροσκελετικών πρωτεϊνών, όπως η μυοσίνη, η τροπομυοσίνη, η νεβουλίνη, η τιτίνη, η δυστροφίνη και η δεσμίνη. Ο ρόλος των κατεψινών και των καλπαϊνών στη διάσπαση των μυοϊνωδών πρωτεϊνών, καθώς και των πρωτεασών σερίνης και των μεταλλοπρωτεασών που είναι ικανές να αποδομούν τα κολλαγόνα, έχει αναφερθεί ως ο πρωταρχικός μηχανισμός της αυτολύσεως των μυϊκών πρωτεϊνών. Ο Men και άλλοι ερευνητές, διερεύνησαν τις μεταβολές του πρωτεώματος και της ποιότητας σε ιαπωνικά puffer fish (*Takifugu rubripes*), κατά τη διάρκεια βραχυπρόθεσμης και μακροπρόθεσμης αποθήκευσης σε κατάψυξη. Διαπίστωσαν, λοιπόν, ότι η ψυχρή καταπόνηση θα μπορούσε να αναστέλλει σημαντικά τη μιτοχονδριακή δραστηριότητα και την παροχή ενέργειας.

Κατά την έρευνα των μεταβολών που διεξήχθη σε φιλέτα σφυρίδας, αποδείχθηκε ότι όλες οι πρωτεΐνες που εκφράζονται με διαφορετικό τρόπο και εντοπίστηκαν κατά τη διάρκεια ψυχρής αποθήκευσης μπορούν να ταξινομηθούν σε 7 τμήματα, συμπεριλαμβανομένων των δομικών πρωτεϊνών, της επεξεργασίας ασβεστίου, της δέσμευσης πρωτεϊνών, τα ένζυμα, τη μετατροπή πρωτεϊνών, τις πρωτεΐνες θερμικού σοκ και άλλες.

Πρωτεομική εφαρμόστηκε και σε μυϊκές πρωτεΐνες γαρίδας (στους -18°C για 30 ημέρες). Στη σύγκριση που έγινε με νωπά δείγματα, επιβεβαιώθηκε ότι το ενσωματωμένο τριμεταφωσφορικό νάτριο διατήρησε τη σταθερότητα αυτών των πρωτεϊνών, ιδίως των πρωτεϊνών του κυτταροσκελετού και καθυστέρησε την αποικοδόμηση των μυϊκών πρωτεϊνών των γαρίδων κατά την κατεψυγμένη αποθήκευση.

Σε άλλη έρευνα, η αποθήκευση των μυών του μαύρου κυπρίνου, αποκάλυψε ότι οι ενδογενείς πρωτεάσες μπορούν να αποικοδομήσουν τις πρωτογενείς και δευτερογενείς μυοϊνιδιακές πρωτεΐνες, οδηγώντας σε δομικές αλλαγές των μυών αυτών των ψαριών, των πρωτεϊνών της εξωκυτταρικής μήτρας και των μεταβολικών ενζύμων κι αποδείχθηκε ότι είναι ο κυρίαρχος λόγος για την απώλεια της σφριγηλότητας κατά την αποθήκευση με υπέρψυξη του «*Coregonus peled*». Η πρωτεομική εφαρμόστηκε για να επιβεβαιωθεί ότι η L-γαλακτική αφυδρογονάση, το ισοένζυμο 1 της αδενυλικής κινάσης και η βαριά αλυσίδα της μυοσίνης μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες της φρεσκάδας του «*Coregonus peled*» κατά την αποθήκευση υπό ψύξη.

Κατά τη διάρκεια της μακροχρόνιας αποθήκευσης σε κατάψυξη του καλαμαριού jumbo, παρατηρήθηκαν υψηλότερα επίπεδα πρωτεϊνών στον μανδύα του καλαμαριού, που συνδέονταν με λειτουργίες του κυτταροσκελετού και παρουσίαζαν καλύτερη σταθερότητα στις αλλαγές που προκαλούνται από την κατάψυξη σε σχέση με το ιπτάμενο καλαμάρι.

Μια στρατηγική με βάση την iTRAQ εφαρμόστηκε για τη διερεύνηση των αλλαγών του πρωτεώματος στις λασπογαρίδες κατά τη διάρκεια της κατεψυγμένης αποθήκευσης επί 6 μήνες σε δύο διαφορετικές ομάδες κατεψυγμένης επεξεργασίας, στους -40°C και -20°C αντίστοιχα. Οι πρωτεΐνες που συσχετίστηκαν στενά με το χρώμα και την υφή των μυών της λασπογαρίδας, αφορούσαν κυρίως τη δομή των πρωτεϊνών και τα μεταβολικά ένζυμα. Μεταξύ αυτών, οι MDH, MHC1, MHCa και MHCb μπορεί να χρησιμεύσουν ως πιθανοί βιοδείκτες για το χρώμα και οι RPS30, MHCa, projectin και κινάση της αργινίνης θα μπορούσαν να είναι δείκτες της γεύσης. Η επιστημονική ομάδα με επικεφαλή τον Guglielmetti, χρησιμοποιώντας πρωτεομική διερεύνησε τις διαφορικά εκφραζόμενες πρωτεΐνες στον ιστό των πλοκαμιών του καμπυλωτού χταποδιού (*Eledone cirrhosa*) μετά από διαδικασίες κατάψυξης-απόψυξης.

Μεταξύ των εννέα πρωτεϊνών που ρυθμίστηκαν προς τα κάτω ήταν η τρανσγγελίνη, η οποία μπορεί σαφώς να χρησιμοποιηθεί ως βιοδείκτης του κατεψυγμένου-αποψυγμένου «*Eledone cirrhosa*».

Από την άλλη, η πεπτιδομική η οποία είναι ένας αναδυόμενος κλάδος της πρωτεομικής, αποσκοπεί στην ανάλυση ενδογενών πεπτιδίων, που εμπλέκονται στην επεξεργασία και την αποικοδόμηση πρωτεϊνών, υπό διαφορετικές φυσιολογικές και παθολογικές συνθήκες. Επιπλέον, η πεπτιδομική καθίσταται σαν μια γέφυρα μεταξύ της μεταβολικής και της πρωτεομικής. Η προσέγγιση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διερεύνηση των μεταβολών των ενδογενών πεπτιδίων, των στρειδίων του Ειρηνικού, που συνέβησαν κατά την άνυδρη συντήρηση (συσκευασμένα σε αποστερωμένες πλαστικές σακούλες και διατηρημένα σε θερμοκοιτίδα στους $4 \pm 1^\circ\text{C}$).

Τέσσερα ενδογενή πεπτιδία, με τις ακόλουθες αλληλουχίες SSSTGEVGTYSGTTN, TARNEANVNI, VGIIKGSSEEA και TARNEANVNIY

χαρακτηρίστηκαν ως πιθανοί δείκτες ποιότητας. Επομένως, είναι σαφές ότι η εφαρμογή των εργαλείων πρωτεομικής και πεπτιδομικής για την ποσοτικοποίηση των επιπέδων πρωτεϊνών και πεπτιδίων, καθώς και των δυναμικών μεταβολών τους μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα ψάρια και τα θαλασσινά, για να επεκτείνει την κατανόησή μας για την αλληλεπίδραση μεταξύ των μεταβολών στα πρωτεϊνικά προφίλ και όσον αφορά την ποιότητα και την ασφάλεια των θαλασσινών που προσκομίζονται κατά τις φάσεις μεταφοράς και αποθήκευσης. Οι μέθοδοι αυτές μπορούν να εφαρμοστούν άμεσα στις βιομηχανικές αλυσίδες ψαριών και θαλασσινών, ως εργαλεία παρακολούθησης για την αξιολόγηση της ποιότητας της παραγωγής σε κάθε στάδιο, τα οποία παρέχουν πλήρη γνώση της ακριβούς χημικής σύνθεσης των ψαριών και των θαλασσινών κατά τη φάση της μεταφοράς και της αποθήκευσης και συνεπώς την αξιολόγηση της ποιότητας και της ασφάλειας, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως. [Zhang, 2021]

Για να διατηρηθεί η φρεσκάδα των ψαριών κατά την αποθήκευση, έχουν παρουσιαστεί ορισμένοι νέοι τρόποι επεξεργασίας, πιο αποτελεσματικοί στην παράταση της διάρκειας ζωής και στη διατήρηση της ποιότητας.

Ένα ακόμη επιστημονικό παράδειγμα είναι το εκχύλισμα σπόρων σταφυλιού (GSE), το οποίο έχει μια ποικιλία από βιολογικές επιδράσεις, συμπεριλαμβανομένων της αντιοξειδωτικής και της αντιμικροβιακής ικανότητας. Το GSE και ο συνδυασμός του GSE και επεξεργασιών εμποτισμένων με ζελατίνη ψαριών ανέστειλαν τις δραστηριότητες ενζύμων που σχετίζονται με το μεταβολισμό των νουκλεοτιδίων, με αποτέλεσμα την υψηλότερη περιεκτικότητα σε IMP και TMAO σε μια ομάδα φρέσκων ψαριών. Οι ομάδες με επικάλυψη GSE ανέστειλαν τη συσσώρευση των HxR και Hx, η οποία είχε θετικό αντίκτυπο στη βρώσιμότητα των ψαριών κατά τη διάρκεια της ψυχρής αποθήκευσης από το μεταβολισμό των νουκλεοτιδίων.

Η επεξεργασία με πάγο νερού καθυστέρησε σημαντικά την αποικοδόμηση των σαρκοπλασματικών και μυοϊνωδών πρωτεϊνών σε αποθηκευμένες γαρίδες, οι οποίες παίζουν βασικό ρόλο στη δέσμευση πρωτεϊνών του κυτταροσκελετού, και επηρέασε ένζυμα που σχετίζονται με τον κυτταρικό μεταβολισμό των αμινοξέων και τη διαδικασία καταβολισμού των

υδατανθράκων. Έτσι, ανέστειλε σημαντικά την ανάπτυξη των γενών *Flavobacterium*, *Shewanella* και *Psychrobacter*.

Η αλλοίωση που προκαλείται από την αυτοοξειδωση των λιπιδίων είναι άλλο ένα κοινό πρόβλημα που επηρεάζει την ποιότητα των αλιευτικών προϊόντων, ιδίως για τα είδη ψαριών με μεγάλες ποσότητες πολυακόρεστων λιπαρών οξέων, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε σχηματισμό οσμών, χρώματος και αλλαγών στην υφή και εν τέλει αλλοιώσεις στη διατροφική αξία. Οι επιδράσεις του *Pseudomonas fluorescens* στην ποιότητα του φιλέτου σολομού για παράδειγμα, αποκαλύφθηκαν με τη μέτρηση των επιπέδων της φωσφατιδυλοχολίνης και της φωσφατιδυλοαιθανολαμίνης, με τη χρήση της τεχνολογίας της λιπιδομικής, σε δείγματα νωπών ψαριών εμβολιασμένων με *Pseudomonas fluorescens*.

Με την παράταση του χρόνου ψυχρής αποθήκευσης, η περιεκτικότητα των φωσφολιπιδίων μειώθηκε σημαντικά και ότι των λυσοφωσφατιδίων αυξήθηκε αρχικά και στη συνέχεια μειώθηκε σταδιακά. Το φιλέτο σολομού γενικά είναι εύκολο να σαπίσει μόλις μολυνθεί με *Pseudomonas fluorescens*, χωρίς εξωτερικά ορατές αλλαγές. Αναστέλλοντας, όμως, τη δραστηριότητα της *Pseudomonas fluorescens* διασφαλίζεται η ποιότητα του φρέσκου σολωμού.

Η επεξεργασία HPP θα μπορούσε να διασφαλίσει την ποιότητα των ψαριών και των θαλασσινών με το ξεδίπλωμα και τη μετουσίωση σημαντικών κυτταρικών ενζύμων και πρωτεϊνών, χωρίς θέρμανση και αναστέλλοντας την ανάπτυξη βακτηρίων, ώστε να διατηρηθεί η θρεπτική ποιότητα και οι οργανοληπτικές ιδιότητες των ιχθυών. Ο Tsironi μαζί και με άλλους, μέσω της πρωτεομικής, διαπίστωσε ότι η μετουσίωση των πρωτεϊνών, η απώλεια διαλυτότητας και η συσσωμάτωση των φιλέτων λαβρακιού μετά από HPP είχαν ως αποτέλεσμα την απώλεια ακεραιότητας των πρωτεϊνών υψηλού μοριακού βάρους στο σαρκοπλασματικό και το μυοϊνιδιακό, γεγονός που ανέστειλε το αρχικό μικροβιακό φορτίο και παρέτεινε τη διάρκεια ζωής στο «ράφι» των καταστημάτων για περίπου 2 μήνες.

Μελέτες πραγματοποιήθηκαν και για το σκουμπρί, κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης με υπέρψυξη, ψύξη και κατάψυξη και αξιολογήθηκαν με τη τεχνολογία της μεταβολομικής. Στα υπερψυγμένα (έως 14 ημέρες) παρατηρήθηκαν χαμηλά επίπεδα προϊόντων οξειδωσης, το ίδιο και στα

διατηρημένα με απλή ψύξη (έως 7 ημέρες) και σε αυτά με κατεψυγμένη αποθήκευση (έως και 1 έτος). Το IMP που υποδεικνύει τη φρεσκάδα είναι η κυρίαρχη ένωση από το ATP καταβολισμό στα δείγματα αυτά. Επιπλέον, στα δείγματα σχηματίστηκε μόνο μικρός σχηματισμός αντιδραστικής ουσίας θειοβαρβιτουρικού οξέος, που σχετίζεται επίσης με την αύξηση του κιτρινίσματος του φιλέτου, υποδεικνύοντας ότι κάποια δευτερογενή προϊόντα οξείδωσης μαζί και με την αλληλεπίδραση πρωτεϊνών μπορεί να παράγονται ακόμη και σε αναερόβια. Σε σύγκριση με τη ψυχρή και την κατεψυγμένη αποθήκευση, η διάρκεια ζωής του υπέρψυκτου σκουμπριού μπορεί να παραταθεί, γεγονός που έχει μεγάλη σημασία για την αύξηση των πωλήσεων του νωπού σκουμπριού στην αγορά.

Η αλλοίωση των υποστρωμάτων τροφίμων αξιολογήθηκε και από τον Lou και την επιστημονική του ομάδα σε καλούπια ψαριών, συμπεριλαμβανομένων των ψαροκροκέτων και των ζωμών.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η κύρια αιτία της σήψης των ψαριών είναι η μικροβιακή δραστηριότητα, οι συγγραφείς αξιολόγησαν τις τροποποιήσεις στα μεταβολικά προφίλ, όταν αποστειρωμένα μπαστούνια ψαριών και ζωμοί εμβολιάστηκαν με στελέχη *Shewanella baltica*, με βάση τα αποτελέσματα προηγούμενων μελετών, στις οποίες το είδος αυτό απομονώθηκε από αλλοιωμένα ψάρια. Μετά από 10 ημέρες αποθήκευσης στους 4 °C, οι μεταβολίτες εκχυλίστηκαν και τριπλασιάστηκαν χρησιμοποιώντας ένα μείγμα μεθανόλης/νερού (1/2; v/v) και τα εκχυλίσματα λυοφιλοποιήθηκαν πριν από την αραίωση σε δευτεριωμένο νερό και την επακόλουθη ανάλυση με NMR. Και στα δύο καλούπια αποδείχθηκε ο σχηματισμός τοξικών βιογενών αμινών από αμινο-οξέα, καθώς και της ινοσίνης και της υποξανθίνης από την αποικοδόμηση των νουκλεοτιδίων αδενίνης, τα οποία εμπλέκονται σε στην ανάπτυξη αυτοάνοσων διαταραχών. [Zhang, 2021]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1. Συμπεράσματα & μελλοντικές προοπτικές

Η ανάπτυξη προηγμένων αναλυτικών εργαλείων και η εφαρμογή τους μέσω της προοπτικής της Τροφιμογονιδιωματικής έχουν ανοίξει νέες δυνατότητες κι ευκαιρίες για τη διεύρυνση των γνώσεων στον τομέα της επιστήμης των τροφίμων.

Η παρούσα εργασία συνόψισε τις κύριες προόδους που σημειώθηκαν στον τομέα της ασφάλειας των τροφίμων, την ποιότητα, την ιχνηλασιμότητα, τη βιοδραστικότητα και την επεξεργασία των τροφίμων. Τονίστηκε ο σημαντικός ρόλος της λιπιδομικής, πρωτεομικής και μεταβολωμικής, μαζί με τη βιοστατιστική, τη χημειομετρία και τα εργαλεία βιοπληροφορικής. Ωστόσο, το κεφάλαιο αυτό παραμένει ένα από τα σημαντικότερα θέματα που αφορούν την επιστήμη της βιολογίας, καθώς οι τροφομικές προσεγγίσεις εξακολουθούν να μην χρησιμοποιούνται επαρκώς σε αυτόν τον τομέα, εξαιτίας των ακριβών οργάνων που χρειάζονται και το υψηλό επίπεδο εμπειρίας και τεχνικών δεξιοτήτων που απαιτούνται για την ανάπτυξη μεθόδων, καθώς και για τη διαχείριση του λογισμικού και τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων. Επιπλέον, για την κατανόηση του αντίκτυπου της διατροφής στη συνολική εικόνα της ανθρώπινης υγείας, είναι απαραίτητο να εξεταστούν πολλές παράμετροι. Μερικές μόνο από αυτές αναφορικά είναι η ευρεία φύση των μορίων των τροφίμων, η μικροβιακή χλωρίδα, η διαδικασία πρόσληψης των τροφίμων από τον άνθρωπο με αφετηρία την κατάποση και ακολούθως τη πέψη στο ανθρώπινο σώμα μέσω της γαστρεντερικής οδού, η μετατροπή από το ήπαρ, η χρήση από το κάθε όργανο και η τελική απέκκριση στα ούρα και τα κόπρανα.

Στον τομέα της μεταγραφομικής, η τεχνολογία RNA-seq γίνεται όλο και πιο προσιτή και έχει εφαρμοστεί στο χαρακτηρισμό των μεταγραφημάτων διαφόρων τροφίμων και η ευρύτερη εφαρμογή της στη μελέτη των επιδράσεων των βιοδραστικών ενώσεων των τροφίμων αναμένεται.

Άλλα εργαλεία, όπως η μοριακή μηχανική των μικροοργανισμών μέσω ομαδοποιημένων τακτικών παρεμβαλλόμενων μικρών παλίνδρομων

επαναλήψεων (CRISPR)-Cas9, σε συνδυασμό με εφαρμογές συνθετικής βιολογίας, αποτελούν μια ισχυρή δυνατότητα τροποποίησης των μικροβιακών κοινοτήτων στα τρόφιμα, βελτιώνοντας τις διεργασίες όπως η ζύμωση ή η δημιουργία βελτιωμένων προβιοτικών στελεχών.

Στον τομέα της πρωτεομικής, ο συνδυασμός των πιο ευαίσθητων, ταχύτερων και υψηλότερης ανάλυσης οργάνων MS, σε συνδυασμό με διαφορετικά συστήματα διαχωρισμού και κλασματοποίησης θα αυξήσει την κάλυψη των πρωτεωμάτων, των υποπρωτεωμάτων και των πεπτιδοσωμάτων. Ωστόσο, εξακολουθούν να υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί όταν λαμβάνεται υπόψη η χρονική πτυχή, η οποία είναι απαραίτητη για την κατανόηση των μεταβολικών και φυσιολογικών αλλαγών που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια μοριακών και κυτταρικών διεργασιών. Στην περίπτωση της μεταβολωμικής, μεγάλη είναι η πρόοδος στην εξαγωγή διαχωρισμού και των τεχνικών ανίχνευσης (όπως η εισαγωγή της ανάλυσης κινητικότητας ιόντων), αλλά και πάλι οι κύριοι περιορισμοί εξακολουθούν να είναι η ταυτοποίηση και η ακριβής ποσοτικοποίηση των μεταβολιτών. Μια άλλη σημαντική πρόκληση είναι η ενσωμάτωση των διαφόρων προσεγγίσεων της τροφομικής, λόγω της έλλειψης κατάλληλων εργαλείων βιοπληροφορικής και της περιορισμένης μας κατανόησης των βιολογικών και χημικών διεργασιών που συμβαίνουν στο εσωτερικό κάθε βιολογικού συστήματος, γεγονός που καθιστά ιδιαίτερα απαιτητική τη μελέτη της επίδρασης των συστατικών των τροφίμων στην υγεία.

Η επίτευξη όλων αυτών των στόχων απαιτεί επίσης μια συνεργατική εργασία, στο πλαίσιο της επιστημονικής κοινότητας για τη σύγκριση και την ανταλλαγή δεδομένων. Ως εκ τούτου, η πιο εναρμονισμένη και τυποποιημένη δειγματοληψία, κάποιες βελτιώσεις στις υπολογιστικές τεχνικές και βιολογικές βάσεις δεδομένων (π.χ. με λειτουργικές επισημειώσεις) και περαιτέρω εξελίξεις στις αναλυτικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σε κάθε συγκεκριμένο τομέα της τροφομικής είναι απαραίτητες.

Η υπέρβαση των προαναφερθέντων περιορισμών θα επιτρέψει στους επιστήμονες να αποκτήσουν μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα της «Foodomics» σχετικά με τη σχέση μεταξύ τροφίμων και υγείας, ενισχύοντας επιτυχώς τον

έλεγχο της ασφάλειας, της ποιότητας και της ιχνηλασιμότητας των τροφίμων και της επεξεργασίας. [Valder, 2022]

Η υποβάθμιση της ποιότητας των τροφίμων εξαρτάται εξ ολοκλήρου τόσο από τους εξωγενείς όσο και από τους ενδογενείς παράγοντες, οι οποίοι, σε πολλές περιπτώσεις, αλληλεπιδρούν. Για το λόγο αυτό, η διατήρηση της ποιότητας των τροφίμων και της διατροφής είναι μια πολύπλοκη διαδικασία. Τα ερευνητικά αποτελέσματα που σχετίζονται με την τροφομική προχώρησαν σε μεγάλο βαθμό την κατανόηση των παγκόσμιων αλλαγών στις μικροβιακές και χημικές διαδικασίες υποβάθμισης και ποιοτικής υποβάθμισης των τροφίμων. Ωστόσο, εξακολουθούν να υπάρχουν πολλοί περιορισμοί και ελλείψεις, καθώς τα τρόφιμα συνεχώς μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης και της μεταφοράς.

Η γνώση του μεταβολώματος, του λιπιδώματος και του πρωτεώματος των τροφίμων, σε συνδυασμό με τους μηχανισμούς διάσπασης των βιοδραστικών ενώσεων, θα βοηθήσει σίγουρα στη συντήρηση και τη μεταφορά των τροφίμων και στην παράταση της διάρκειας ζωής τους στο μέγιστο βαθμό. Οι τεχνολογίες της μεταβολομικής, της λιπιδομικής και της πρωτεομικής είναι αρκετά αποτελεσματικές ώστε να παράγουν μαζική ποσότητα πολύπλοκων συνόλων δεδομένων για την αξιολόγηση των αλλαγών πολύπλοκων βιολογικών συστημάτων. Αυτές οι προσεγγίσεις περιλαμβάνουν πολλή συλλογική εργασία για την ανταλλαγή και τη σύγκριση δεδομένων, αλλά σήμερα, η έλλειψη τυποποιημένων μεθόδων και η περιορισμένη κατανόηση όλων των κυτταρικών διεργασιών στο υπάρχον μοριακό επίπεδο είναι οι σημαντικότεροι περιορισμοί.

Εν κατακλείδι, οι τεχνολογίες που βασίζονται στη τροφομική θα πρέπει να βελτιωθούν προκειμένου να συμβαδίζουν με τις καινοτομίες στα τρόφιμα και ταυτόχρονα να προωθηθεί η ανάπτυξη της αξιολόγησης της ποιότητας, με τη χρήση, στο μέλλον, προσεγγίσεων βασισμένων στη τροφομική ανάλυση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Bang, J.; Lim, S.; Yi, G.; Lee, J. G.; Lee, E. J. Integrated Transcriptomic-Metabolomic Analysis Reveals Cellular Responses of Harvested Strawberry Fruit Subjected to Short-Term Exposure to High Levels of Carbon Dioxide. *Postharvest. Biol. Technol.* 2019, 148, 120–131. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2018.11.003.

Βουσουρέλη Γ. Παρασκευή (2019), Έλεγχος της νοθείας και αυθεντικότητας των αλιευμάτων σε ελληνικές θάλασσες, με μοριακές τεχνικές και συμβολή στην ελληνική οικονομία. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Cubero Elena, Penalver Rosa & Maquet Alain (2013), Review on metabolomics for food authentication. *Food Research International* 60 (2014) 95-107 : www.elsevier.com/locate/foodres

ΕΦΕΤ (Ενιαίος Φορέας Ελέγχου Τροφίμων), επίσημη ιστοσελίδα: <https://www.efet.gr/index.php/el/>

Franke, B., Gremaud, G., Hadorn, R., & Kreuzer, M. (2005), Geographic origin of meat-elements of an analytical approach to its authentication. *European Food Research and Technology*, 221(3–4), 493–503

Mazzeo, M. F., De Giulio, B., Guerriero, G., Ciarcia, G., Malorni, A., Russo, G. L., et al. (2008). Fish authentication by MALDI-TOF mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(23), 11071–11076

Μεϊντής Γιάννης (2017), Αναλυτικές Μέθοδοι για τον Έλεγχο της Νοθείας προϊόντων στην ελληνική αγορά τροφίμων και ποτών. Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Σχολή Επιστημών Τροφίμων, Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων

Men, L.; Li, Y.; Wang, X.; Li, R.; Zhang, T.; Meng, X.; Liu, S.; Gong, X.; Gou, M. Protein Biomarkers Associated with Frozen Japanese Puffer Fish

(Takifugu Rubripes) Quality Traits. *Food Chem.* 2020, 327, 127002. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127002

Σωτηροπούλου Σωτηρία (2017), Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών, Ινστιτούτο Βιολογίας, Φαρμακευτικής Χημείας και Βιοτεχνολογίας, Διδρυματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Βιοεπιχειρείν, Διπλωματική εργασία: «Πιστοποίηση της Αυθεντικότητας των Παραδοσιακών Προϊόντων του Ελαιόλαδου, Μελιού και Κρασιού», Τμήμα Βιοχημείας Βιοτεχνολογίας

Trocino, A., Xiccato, G., Majolini, D., Tazzoli, M., Bertotto, D., & Pascoli, F. (2012). Assessing the quality of organic and conventionally-farmed European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Food Chemistry*, 131(2), 427–433

Valder Alberto, Gerardo Alvarez-Rivera, Socar-Rodriguez Barbara, Herrero Miguel, Ibanez Elena, Cifuentes Alejandro (2022), Foodomics: Analytical Opportunities and Challenges. *Anal.chem.* 2022, 94, 366-381

Zaikin V.G. and Borisov R.S. (2021), Mass Spectrometry as a Crucial Analytical Basic for Omics Sciences : DOI 10.1134/S1061934821140094

Zhang Rong, Jia Wei & Shi Lin (2022), A Comprehensive Review on the Development of Foodomics-Based Approaches to Evaluate the Quality Degradation of Different Food Products. *Food Reviews International* :<https://doi.org/10.1080/87559129.2022.2077362>