



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«Η ΔΙΑΤΡΟΦΗ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ ΚΑΙ ΣΤΗ ΝΟΣΟ»**



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Ευρωπαϊκή Τρούφα και οι Επιδράσεις της στην Υγεία και στη Νόσο»

Γκαρανέ Σταματία

Γεωπόνος

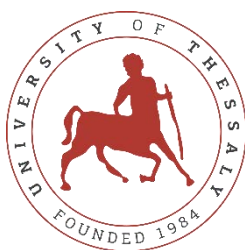
ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Γιαννούλη Περσεφόνη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Βιοχημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων, Τμήμα Βιοχημείας και Βιοτεχνολογίας Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Επιβλέπουσα Καθηγήτρια

Καψωριτάκης Ανδρέας, Καθηγητής Παθολογίας-Γαστρεντερολογίας, Τμήμα Ιατρικής Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Μέλος Τριμελούς Επιτροπής

Λιάκος Παναγιώτης, Καθηγητής Ιατρικής Βιοχημείας, Τμήμα Ιατρικής Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Μέλος Τριμελούς Επιτροπής

Λάρισα 2025



**UNIVERSITY OF THESSALY
SCHOOL OF HEALTH SCIENCES
FACULTY OF MEDICINE
POSTGRADUATE STUDIES PROGRAM
NUTRITION IN HEALTH AND DISEASE**



DIPLOMA THESIS

“European Truffle and its Effects on Health and Disease”

Πίνακας περιεχομένων

Πρόλογος – Ευχαριστίες	4
Περίληψη.....	5
Abstract	6
1. Εισαγωγή.....	7
2. Γενικά χαρακτηριστικά του γένους Tuber: λευκή και μαύρη τρούφα	10
2.1 Tuber melanosporum Vittad.....	12
2.2 Tuber magnatum Pico	12
2.3 Tuber aestivum Vittad.....	13
2.4 Tuber borchii Vittad.....	14
3. Το αρωματικό προφίλ της ευρωπαϊκής τρούφας.....	16
3.1 Η αρωματική σύνθεση της λευκής και μαύρης τρούφας.....	16
3.2 Παράγοντες που επηρεάζουν το αρωματικό προφίλ της τρούφας	17
4. Η διατροφική αξία της τρούφας.....	20
4.1 Τα θρεπτικά συστατικά της τρούφας	20
4.2 Τα βιοενεργά συστατικά της τρούφας και οι βιοδραστικές τους δράσεις.....	20
4.2.1 Αντιοξειδωτικές και αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες	21
4.2.2 Ανοσοτροποποιητικές και αντικαρκινικές ιδιότητες.....	23
4.2.3 Αντικαταθλιπτικές και αφροδισιακές ιδιότητες	24
5. Μέθοδοι συντήρησης και επεξεργασίας της ευρωπαϊκής τρούφας.....	26
5.1 Η συμπεριφορά της τρούφας σε συνθήκες ψύξης.....	26
5.2 Σύγχρονες μέθοδοι συντήρησης της τρούφας	29
5.2.1 Θερμικές επεξεργασίες.....	30
5.2.2 Χρήση χλωρίου	31
5.2.3 Χρήση υπερήχων.....	31
5.2.4 Χρήση ακτινοβολίας γ.....	32
6. Πιθανοί κρυφοί κίνδυνοι της τρούφας	34

6.1	Υγεία και ασφάλεια	34
6.1.1	Παθογόνα βακτήρια	34
6.1.2	Μύκητες	34
6.1.2.1	Αφλατοξίνες	35
6.1.2.2	Προληπτικά μέτρα για την αντιμετώπιση των μυκοτοξινών.....	35
6.1.3	Επιπλέον πιθανοί κίνδυνοι της τροφάς για την υγεία.....	36
6.2	Ηθικοί κίνδυνοι	36
6.2.1	Νομοθετικά πλαίσια	37
7.	Συμπεράσματα.....	40
8.	Βιβλιογραφικές αναφορές	42

Πρόλογος – Ευχαριστίες

Φτάνοντας στο τέλος του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Η Διατροφή στην Υγεία και στη Νόσο» και με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωσή της.

Αρχικά, ευχαριστώ πολύ και εκφράζω ειλικρινά την ευγνωμοσύνη μου για την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου, Γιαννούλη Περσεφόνη. Η εμπιστοσύνη που μου έδειξε και οι κατευθυντήριες γραμμές που μου έδωσε καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής μου μελέτης έπαιξαν σημαντικό ρόλο για την επιτυχή εκπόνησή της. Ευχαριστώ επίσης θερμά και τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς επιτροπής, τον Καθηγητή Καψωριτάκη Ανδρέα και τον Καθηγητή Λιάκο Παναγιώτη για το χρόνο που διέθεσαν και τις πολύτιμες παρατηρήσεις που παρείχαν στο πλαίσιο της παρουσίασης της εργασίας.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τους υπόλοιπους καθηγητές και το προσωπικό του ΠΜΣ για την άριστη συνεργασία που είχαμε, την τεράστια βοήθεια και τις αμέτρητες γνώσεις που μου παρείχαν όλο αυτό το διάστημα.

Τέλος, θα ήθελα να αναφερθώ στην οικογένειά μου και να την ευχαριστήσω θερμά για την αμέριστη συμπαράσταση, την υπομονή και την πίστη στις δυνατότητές μου. Όλα αυτά μου έδωσαν δύναμη και κουράγιο να συνεχίσω και να ολοκληρώσω επιτυχώς αυτή τη διαδρομή.

Περίληψη

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή αποτελεί βιβλιογραφική μελέτη με αντικείμενο την ευρωπαϊκή τρούφα του γένους *Tuber*, ενός υπόγειου ασκομύκητα με σημαντική εμπορική και διατροφική αξία, εστιάζοντας στις βιοδραστικές της ιδιότητες και στις πιθανές επιπτώσεις της στην ανθρώπινη υγεία.

Σκοπός της μελέτης είναι η παρουσίαση, ανάλυση και αξιολόγηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας σχετικά με τη θρεπτική αξία, τα βιοενεργά συστατικά και τη πιθανή συμβολή της τρούφας στην πρόληψη και άμυνα του οργανισμού απέναντι σε χρόνιες παθήσεις.

Η εργασία στηρίχτηκε αποκλειστικά στη σύγχρονη διεθνή βιβλιογραφία και σε δημοσιευμένες επιστημονικές μελέτες, με σκοπό να θέσει τα θεμέλια για περαιτέρω μελλοντική έρευνα.

Στα πλαίσια της μελέτης αυτής αναλύεται η μορφολογία και τα βασικά χαρακτηριστικά των πιο σημαντικών ειδών τρούφας του γένους *Tuber* καθώς και το αρωματικό τους προφίλ, το οποίο αποτελεί έναν από τους κύριους παράγοντες που την καθιστούν ξεχωριστή παγκοσμίως. Στη συνέχεια, η εργασία εστιάζει στη διατροφική αξία, τα βιοενεργά συστατικά και τις διάφορες βιοδραστικές ιδιότητες της τρούφας, που έχουν μελετηθεί κατά καιρούς, και καταλήγει στις μεθόδους συντήρησης και επεξεργασίας της τρούφας και τους πιθανούς κινδύνους που μπορεί να κρύβει.

Η ανασκόπηση αυτή ανέδειξε ότι οι τρούφες, και συγκεκριμένα πολλά είδη του γένους *Tuber*, αποτελούν προϊόντα υψηλής διατροφικής αξίας, με προοπτικές τόσο στη γαστρονομία όσο και στο τομέα της υγείας. Πλήθος μελετών έχει δείξει ότι μπορούν να συμβάλλουν στην άμυνα του οργανισμού και στην πρόληψη από διάφορες χρόνιες παθήσεις λόγω των πολλών βιοενεργών συστατικών που περιέχουν. Παρότι μέχρι σήμερα, δεδομένα και μελέτες καταδεικνύουν ότι η τρούφα διαθέτει αντικαρκινικές, αντιφλεγμονώδεις και αντιοξειδωτικές ιδιότητες, οι υπάρχουσες μελέτες στηρίζονται κυρίως σε *in vivo* πειράματα και σε αναλύσεις της χημικής της σύστασης, παρέχοντας σημαντικά αποτελέσματα για τις πιθανές βιολογικές της δράσεις.

Παρόλα αυτά, απαιτούνται πιο στοχευμένες και εστιασμένες μελέτες ώστε να διευκρινιστούν πλήρως οι βιολογικές επιδράσεις και οι πιθανοί μηχανισμοί μέσω των οποίων τα βιοδραστικά συστατικά της τρούφας δρουν στον ανθρώπινο οργανισμό.

Λέξεις κλειδιά: Ευρωπαϊκή τρούφα, *Tuber* spp., άρωμα, βιοενεργά συστατικά, θρεπτική αξία, βιοδραστική δράση, συντήρηση, επεξεργασία, πιθανοί κίνδυνοι

Abstract

This master's thesis is a literature-based study focusing on the European truffle of the genus *Tuber*, a subterranean ascomycete with significant commercial and nutritional value, emphasizing its bioactive properties and potential effects on human health.

The aim of the study is to present, analyze, and evaluate the existing literature regarding the nutritional value, bioactive compounds, and the potential contribution of truffles to the prevention and defense of the human body against chronic diseases.

The work based exclusively on contemporary international literature and published scientific studies, with the aim of laying the foundations for further future research.

Within the scope of this study, the morphology and key characteristics of the most important truffle species of the genus *Tuber* are analyzed, as well as their aromatic profile, which constitutes one of the main factors that make them globally unique. Subsequently, the thesis focuses on the nutritional value, bioactive compounds, and various bioactive properties of truffles that have been studied over time. Finally, concludes with the methods of truffle preservation and processing, as well as potential associated risks.

This review highlighted that the truffle, and specifically many species of the genus *Tuber*, are products of high nutritional value, with prospects in both gastronomy and the health sector. Numerous studies have shown that they can contribute to the body's defense and the prevention of various chronic diseases due to the many bioactive components they contain. Although to date, data and studies demonstrate that the truffle has anticancer, anti-inflammatory and antioxidant properties, existing studies are mainly based on in vivo experiments and on analyses of its chemical composition, providing important results for its possible biological activities.

Nevertheless, more targeted and focused studies are required in order to fully clarify the biological effects and the possible mechanisms through which the bioactive components of the truffle act on the human body.

Keywords: European truffle, *Tuber* spp., aroma, bioactive components, nutritional value, biological activity, preservation, processing, potential risks

1. Εισαγωγή

Η τρούφα αποτελεί μία ιδιαίτερη τροφή με τεράστια εμπορική αξία και ιδιαίτερα γαστρονομικά χαρακτηριστικά, κάνοντάς την ξεχωριστή από την αρχαιότητα. Ήδη από το 1600 π.Χ. υπήρχαν αναφορές από Έλληνες και Ρωμαίους φιλόσοφους και επιστήμονες σχετικά με τη μυστηριώδη προέλευσή της και τα μορφολογικά της χαρακτηριστικά, ενώ στη Δύση μέχρι τον 12^ο αιώνα ελάχιστες ήταν οι γνώσεις που καταγράφηκαν επισήμως. Αντίθετα, στη Μέση Ανατολή η τρούφα ήδη χρησιμοποιούνταν για τις θεραπευτικές της ιδιότητες έναντι της ναυτίας, της αδυναμίας και της επούλωσης των τραυμάτων. Πολύ αργότερα, στις αρχές του 18^{ου} αιώνα αποδείχτηκε ότι η τρούφα πρόκειται για έναν υπόγειο μύκητα και τον 19^ο αιώνα έγινε γνωστή η μυκκοριζική συμβίωσή της με άλλα δέντρα- ξενιστές.

Λόγω της μεγάλης διάδοσής της και της αξίας που αποκτούσε ανά τους αιώνες, προέκυψε η ανάγκη να βρεθούν τρόποι καλλιέργειας για την αύξηση της παραγωγής της. Η πρώτη απόπειρα πραγματοποιήθηκε στη Γαλλία με τη φύτευση σπόρων βελανιδιάς στην οποία είχαν αναπτυχθεί μυκκοριζικά οι τρούφες. Παρά το ότι αυτή η μέθοδος δεν είχε εγγυημένα αποτελέσματα, αποτέλεσε τη βάση ώστε να αναπτυχθούν σύγχρονες και πιο αποτελεσματικές μέθοδοι. Η τεχνική που χρησιμοποιείται έως και σήμερα είναι ο εμβολιασμός νεαρών φυτών όπως η βελανιδιά και η φουντουκιά με διάφορα είδη του γένους *Tuber* όπου κάτω από τις κατάλληλες συνθήκες καλλιέργειας θα αναπτυχθεί μία αμοιβαία επωφελής σχέση μεταξύ του μύκητα και του φυτού (μυκκοριζική συμβίωση) [2,1].

Πιο συγκεκριμένα, η τρούφα πρόκειται για το καρποφόρο σώμα ενός υπόγειου ασκομύκητα του γένους *Tuber* της οικογένειας *Tubercule* η οποία συμβιώνει μυκκοριζικά με φυτά-ξενιστές, κυρίως βελανιδιές, καστανιές, φουντουκιές, λεύκες και πεύκα δημιουργώντας μία ομαλή συμβίωση, από την οποία ωφελείται τόσο το δέντρο όσο και ο μύκητας. Στο γένος *Tuber* ανήκουν περισσότερα από 200 είδη από τα οποία περίπου τα 30 είναι διαθέσιμα στην αγορά, ενώ κάποια από αυτά λόγω του ξεχωριστού αρώματος και της σπανιότητάς τους χαρακτηρίζονται για την υψηλή εμπορική τους αξία. Οι περισσότεροι αξιόλογοι τύποι επικρατούν σε χώρες της Μεσογείου, όπως Ιταλία, Ισπανία, Ελλάδα, Γαλλία και Κροατία ενώ μπορούν να ευδοκιμήσουν επίσης στην Αυστραλία, την Αφρική, τη Νέα Ζηλανδία και την Ασία. Σήμερα στην Ευρώπη οι πιο πολύτιμες και περιζήτητες τρούφες, λόγω του έντονου αρωματικού τους προφίλ και της θέσης που κατέχουν στις κουζίνες ως είδη πολυτελείας, είναι τα είδη *Tuber magnatum* Pico, *Tuber melanosporum* Vittad., *Tuber aestivum* Vittad. και *Tuber borchii* Vittad. με τα οποία θα ασχοληθεί και εκτενέστερα η διπλωματική εργασία.

Ένα από τα χαρακτηριστικά της τρούφας το οποίο παίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της αγοραστικής αξίας είναι το ξεχωριστό της άρωμα. Αποτελείται από ένα συνδυασμό πτητικών οργανικών ενώσεων, κυρίως θειούχες ενώσεις, αλκοόλες, κετόνες και φαινολικά συστατικά, ο οποίος

είναι μοναδικός για κάθε είδος τρούφας και αποτελεί σημαντική παράμετρο για την αναγνώριση και τη γαστρονομική της αξία, προσελκύοντας ειδικούς γευσιγνώστες και λάτρεις της υψηλής γαστρονομίας. Οι θειούχες ενώσεις όπως το διμεθυλοσουλφίδιο (Dimethyl Sulphide, DMS) και το διμεθυλοδισουλφίδιο (Dimethyl Disulphide, DMDS) είναι από τις επικρατέστερες ενώσεις που βρίσκονται στα περισσότερα είδη τρούφας του γένους *Tuber* και ευθύνονται για το ξεχωριστό αρωματικό τους χαρακτήρα το οποίο θυμίζει έντονους γήινους τόνους. Άλλες ενώσεις συμβάλλουν σε πιο λεπτές αρωματικές νότες όπως εκείνες της σοκολάτας, του βουτύρου και της βανίλιας. Η διαμόρφωση του αρωματικού χαρακτήρα του κάθε είδους τρούφας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως είναι το μικροβίωμα του, το χωράφι στο οποίο καλλιεργείται, το φυτό με το οποίο συμβιώνει μυκκοριζικά, ή ακόμα και ο τρόπος με τον οποίο συντηρείται, με αποτέλεσμα η αρωματική σύνθεση να διαφέρει ακόμα και μεταξύ των ίδιων ειδών τρούφας. Υπάρχουν αρκετές επιστημονικές μελέτες που έχουν ασχοληθεί με το άρωμα της τρούφας και την ταυτοποίηση πολλών πτητικών ενώσεων με σκοπό τη διαφοροποίηση μεταξύ των ειδών, ωστόσο ο δρόμος για περαιτέρω επιστημονική μελέτη είναι ακόμα ανοιχτός λόγω της πολύπλοκης σύνθεσης μεταξύ των πτητικών ενώσεων και των πολλών παραγόντων που μπορούν να επηρεάσουν το τελικό αρωματικό της χαρακτήρα.

Πέρα όμως από το εκλεπτυσμένο άρωμα η τρούφα χαρακτηρίζεται και για το πλούσιο διατροφικό της προφίλ. Περιέχει σημαντικές ποσότητες υδατανθράκων και πρωτεϊνών, ενώ δεν λείπουν από αυτή οι φυτικές ίνες, οι βιταμίνες και τα ακόρεστα λιπαρά οξέα. Επιπλέον, αποτελεί πηγή βιοενεργών συστατικών όπως φαινολικές ενώσεις, πολυσακχαρίτες και φυτοστερόλες, ουσίες που χαρακτηρίζονται για τις αντιοξειδωτικές, αντιφλεγμονώδεις και αντικαρκινικές τους ιδιότητες. Κατά καιρούς πολλοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί με *in vitro* μελέτες εξετάζοντας τις αντικαρκινικές ιδιότητες των εκχυλισμάτων διάφορων ειδών τρούφας έναντι των καρκινικών σειρών HeLa, MCF-7 και HT-29 δίνοντας αισιόδοξα αποτελέσματα και κίνητρο για περισσότερες *in vivo* έρευνες και κλινικές δοκιμές. Επίσης, έχει αποδειχθεί ότι οι τρούφες λόγω των πολλών αντιοξειδωτικών ουσιών που περιέχουν μπορούν να αποτρέψουν το οξειδωτικό στρες και τη χρόνια φλεγμονή, καταστάσεις που είναι υπεύθυνες για διάφορες χρόνιες παθήσεις λειτουργώντας ως μέσω πρόληψης καρδιαγγειακών και αυτοάνοσων νοσημάτων και διάφορων τύπων καρκίνου. Τέλος, μελέτες ισχυρίζονται ότι οι τρούφες επηρεάζουν τη ψυχική υγεία και τη σεξουαλική διέγερση λόγω του αμινοξέος L-τυροσίνη και της φερομόνης ανδροστενόλης που περιέχουν. Βέβαια, δεν υπάρχουν επαρκή επιστημονικά δεδομένα που να αποδεικνύουν την άμεση ψυχική και διεγερτική επίδραση της τρούφας στον οργανισμό, και πιθανώς στηρίζονται σε αντιλήψεις που επικρατούσαν κατά την αρχαιότητα. Καθώς έχει ασχοληθεί πλήθος επιστημόνων με τις ευεργετικές ιδιότητες της τρούφας στην υγεία του ανθρώπινου οργανισμού, το κεφάλαιο αυτό παραμένει ακόμα σε μεγάλο βαθμό

ανεξερευνήτο καθώς τα περισσότερα ευρήματα οφείλονται σε εργαστηριακές (in vitro) και ζωικές (in vivo) μελέτες ακόμα και σε πεποιθήσεις του παρελθόντος.

Τόσο το άρωμα της τρούφας όσο και η θρεπτική της αξία μπορούν να επηρεαστούν σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο διαχείρισής της στο χωράφι και τις μετέπειτα συνθήκες επεξεργασίας και συντήρησής της. Η αυξημένη ζήτηση αυτού του υπόγειου ασκομύκητα και η ανάγκη για μεγαλύτερη παραγωγικότητα οδηγεί στην ανάγκη για εφαρμογή καλύτερων καλλιεργητικών και μετασυλλεκτικών πρακτικών οι οποίες θα προστατεύσουν την τρούφα από κάθε είδος τραυματισμού και επιμόλυνσης από παθογόνους μικροοργανισμούς προκειμένου να διατηρηθεί όσο το δυνατόν αναλλοίωτη για μεγάλο χρονικό διάστημα. Επίσης, η μετέπειτα επεξεργασία και συντήρηση της τρούφας κρίνεται πολύ σημαντική καθώς δίνεται στους επιστήμονες η πρόκληση να χρησιμοποιήσουν μεθόδους ή συνδυασμό μεθόδων οι οποίες θα έχουν τη δυνατότητα να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής της τρούφας και των αντίστοιχων προϊόντων της ενώ ταυτόχρονα θα διατηρούνται αναλλοίωτα τα οργανοληπτικά της χαρακτηριστικά και οι βιοδραστικές της ουσίες.

Σύμφωνα με μία μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τους Saltarelli κ.α. το 2008 φάνηκε ότι η ψύξη αποτελεί μία από τις αποτελεσματικότερες μεθόδους συντήρησης καθώς προστατεύει την τρούφα από τη μικροβιακή αλλοίωση επιφέροντας μικρές αλλαγές στο διατροφικό και ενζυματικό της προφίλ. Ωστόσο, αυτό δεν ισχύει για όλα τα είδη τρούφας ή όταν αυτά υποστούν επιπλέον επεξεργασία όπως για παράδειγμα κατάψυξη. Κατά καιρούς έχουν δοκιμαστεί και αξιολογηθεί διάφορες σύγχρονες μέθοδοι συντήρησης όπως για παράδειγμα η ιονίζουσα ακτινοβολία, η λυοφιλίωση και η συσκευασία σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα με θετικά αποτελέσματα για πολλά είδη τρούφας παρατείνοντας τη διάρκεια ζωής τους και επηρεάζοντας στο ελάχιστο το διατροφικό και αρωματικό τους προφίλ.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να καταγράψει και να αξιολογήσει τα διαθέσιμα δεδομένα σχετικά με τις πιθανές ευεργετικές ιδιότητες των ειδών τρούφας του γένους *Tuber*, εξετάζοντας παράλληλα την επίδραση που μπορεί να έχουν διάφοροι παράγοντες στα βιοενεργά και διατροφικά της συστατικά, με σκοπό να ανοιχτούν νέα επιστημονικά πεδία για μελλοντική διερεύνηση.

2. Γενικά χαρακτηριστικά του γένους *Tuber*: λευκή και μαύρη τρούφα

Οι τρούφες σε αντίθεση με τα μανιτάρια αναπτύσσονται και συμβιώνουν υπογείως με τις ρίζες επιλεγμένων φυτών-ξενιστών σε εύκρατα, βόρεια και υποτροπικά δάση, μία σχέση που ονομάζεται μυκκοριζική συμβίωση. Αυτό συμβαίνει επειδή οι τρούφες, ως ετερότροφοι οργανισμοί, δεν μπορούν να συνθέσουν μόνες τους τις απαραίτητες ουσίες για την επιβίωσή τους με συνέπεια να προσκολλώνται στις ρίζες διάφορων θάμνων και δέντρων, απορροφώντας θρεπτικά συστατικά ενώ ταυτόχρονα ενισχύεται το ριζικό σύστημα του φυτού προστατεύοντάς το από αντίξοες κλιματολογικές συνθήκες [3,4,1].

Όσον αφορά τα μορφολογικά τους χαρακτηριστικά, οι τρούφες έχουν συνήθως ένα ακανόνιστο σχήμα που μοιάζει με πατάτα, γι' αυτό και το όνομα του γένους στο οποίο ανήκουν (*Tuber*), με επιφάνεια που ποικίλει από ζαρωμένη έως και λεία ανάλογα με το είδος της τρούφας. Αποτελούνται από έναν εξωτερικό φλοιό που ονομάζεται περίδιο, το χρώμα του οποίου ποικίλει από λευκό έως σκούρο καφέ και μαύρο, και μία εσωτερική σάρκα (*gleba*) η οποία εξίσου ποικίλει σε χρώμα με ή χωρίς φλέβες. Τα περισσότερα είδη τρούφας προτιμούν τα ζεστά και αρκετά ξηρά κλίματα και ευδοκιμούν σε ασβεστούχα εδάφη, όπως για παράδειγμα το είδος *Tuber melanosporum* [3,1].

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται μερικά από τα εδώδιμα και πιο γνωστά είδη του γένους *Tuber* και οι σχετικές πληροφορίες για τα μορφολογικά τους χαρακτηριστικά, την εποχή συγκομιδής, τη γεωγραφική περιοχή στην οποία ευδοκιμούν καθώς και τα φυτά-ξενιστές τα οποία προτιμούν για την ανάπτυξή τους.

Πίνακας 1: Είδη λευκής και μαύρης τρούφας του γένους *Tuber* και χαρακτηριστικά τους

Είδος	Κοινό όνομα	Περιοχή	Εποχή συγκομιδής	Μορφολογία	Φυτά ξενιστές	Ref.
<i>Tuber aestivum</i>	Καλοκαιρινή μαύρη τρούφα	Ισπανία, Ανατολική Ευρώπη Σουηδία	Από Σεπτέμβριο μέχρι τέλη Δεκεμβρίου έως τέλη Ιανουαρίου	Ασκοκάρπιο: στρογγυλό Περίδιο: σκούρο καφέ προς μαύρο Σάρκα (<i>Gleba</i>): λευκή προς κιτρινωπή στην ωρίμανση	Αγγλική βελανιδιά και Οξιά	[5,4]
<i>Tuber macrosporum</i>	Απαλή μαύρη τρούφα	Τσεχία Γαλλία Γερμανία Ουγγαρία Ιταλία Πολωνία Ρουμανία Σερβία Σλοβενία Ουκρανία	Καλοκαίρι έως τέλη φθινοπώρου	Ασκοκάρπιο: γκρι έως μαύρο-καφέ, σφαιρικό έως ακανόνιστο Περίδιο: εξωτερικό στρώμα σε κόκκινες αποχρώσεις και ένα παχύ κιτρινωπό	Βελανιδιά Οξιά Λεύκα Ιτιά	[4]

				τοίχωμα που περικλείεται από στρώμα υφών. Σάρκα (Gleba): αρχικά λευκή, μετά γκρι-καφέ και προς το τέλος της ωρίμανσης μαύρη με λευκές φλέβες		
Tuber magnatum	Ιταλική λευκή τρούφα	Βουλγαρία Κροατία Ουγγαρία Ιταλία Σερβία Σλοβενία Ελβετία	Μέσα Οκτωβρίου έως τέλη Δεκεμβρίου ή τέλη Ιανουαρίου	Ασκοκάρπιο: στρογγυλό Περίδιο: ανοιχτό κίτρινο-καφέ έως πράσινο-γκρι με μαύρα στίγματα Σάρκα (Gleba): ανοιχτό κίτρινο όταν είναι ακόμα ανώριμη προς ανοιχτό καφέ στην ωρίμανση με φλέβες	Λεύκα Δρυς Σκλήθρα	[5,4]
Tuber borchii	«Φθηνότερη εκδοχή» της ιταλικής λευκής τρούφας	Σε όλη την Ευρώπη και κυρίως Ιταλία Αγγλία Ελβετία και Γερμανία	Χειμώνα και νωρίς την άνοιξη	Ασκοκάρπιο: ακανόνιστο Περίδιο: απαλό, χνουδωτό Σάρκα (Gleba): πιο σκουρόχρωμη από το T. magnatum με πιο έντονες φλέβες	Κέδρος Πεύκο	[5]
Tuber melanosporum	Το μαύρο διαμάντι	Γαλλία Ιταλία Ισπανία Ελλάδα Βουλγαρία Ρουμανία	Από Νοέμβριο μέχρι Μάρτιο	Ασκοκάρπιο: συμπαγές Περίδιο: κόκκινο-καφέ έως καφέ-μαύρο Σάρκα (Gleba): λευκή πριν την ωρίμανση και μωβ-μαύρο όταν είναι ώριμη	Δρυς Οξιά	[5,4]

2.1 *Tuber melanosporum* Vittad.

Η μαύρη τρούφα *Tuber melanosporum* Vittad. γνωστή και με την ονομασία Perigord, λόγω της προέλευσής της, συγκαταλέγεται στις πιο πολύτιμες και περιζήτητες τρούφες λόγω του ξεχωριστού αρώματός της και της υψηλής οικονομικής της αξίας. Η καλλιέργειά της ξεκίνησε από τον 19^ο αιώνα στη Γαλλία ενώ σήμερα, χάρη στις σύγχρονες τεχνικές καλλιέργειας, επεκτείνεται σχεδόν σε ολόκληρη την Ευρώπη αλλά και σε διάφορες περιοχές παγκοσμίως στις οποίες κυριαρχεί το εύκρατο μεσογειακό κλίμα [7,8]. Όσον αφορά τα μορφολογικά της χαρακτηριστικά, το καρποφόρο σώμα ποικίλει σε μέγεθος με την εξωτερική επιφάνεια να είναι σκουρόχρωμη, σχεδόν μαύρη, συμπαγής και τραχιά. Η εσωτερική σάρκα είναι λευκή και σκουραίνει όσο ωριμάζει ενώ οι φλέβες μέσα σε αυτή σχηματίζουν ένα περίπλοκο δίκτυο, χαρακτηριστικό για το συγκεκριμένο είδος. Κάθε ασκός περιέχει ένα έως τέσσερα σπόρια σε ελλειψοειδή μορφή. Η μαύρη τρούφα *T. melanosporum* προτιμά τα αλκαλικά εδάφη με pH 7,5-8,5 και υψηλά επίπεδα ασβεστίου. Επίσης, η υγρασία του εδάφους παρόλο που είναι απαραίτητη για το συγκεκριμένο είδος τρούφας, αυτό ευδοκιμεί σε εδάφη καλά αποστραγγισμένα στα οποία δεν υπάρχει πρόβλημα υπερχειλίσης.



Εικόνα 1: Μαύρη τρούφα (*Tuber melanosporum*). Πηγή: Michel Royon, Wikimedia Commons. Άδεια χρήσης: CC-BY-SA 3.0, 2.5, 2.0, 1.0.

2.2 *Tuber magnatum* Pico

Η λευκή τρούφα *Tuber magnatum* Pico είναι συνήθως μικρότερη σε μέγεθος σε σχέση με άλλες ευρωπαϊκές μαύρες τρούφες (*T. melanosporum*, *T. aestivum* και *T. brumale*) και μεγαλύτερη από άλλα είδη λευκής τρούφας (*T. borchii*, *T. maculatum*). Αυτή συνήθως ζυγίζει μερικά γραμμάρια και σε σπάνιες περιπτώσεις ξεπερνάει το ένα κιλό. Χαρακτηρίζεται από λεία επιφάνεια σε αποχρώσεις του καφέ, του κίτρινου και του πράσινου ενώ η εσωτερική σάρκα περιέχει λεπτές φλέβες, ανοιχτόχρωμες κίτρινες έως καφέ απαλό όσο προχωράει η ωρίμανση. Κάθε ασκός περιέχει ένα έως τρία σπόρια τα οποία είναι στρογγυλά ή ελλειπτικά με φαρδιά πολυγωνικά πλέγματα. Η Ιταλική

λευκή τρούφα ωριμάζει συνήθως νωρίς το φθινόπωρο η οποία και εμφανίζεται σε μεγαλύτερο βάθος σε σχέση με την επιφάνεια του εδάφους. Σε ορισμένες περιπτώσεις η ωρίμανση αυτού του είδους μπορεί να γίνει και στα μέσα του καλοκαιριού, γεγονός που ευνοεί την ανάπτυξη και επιβίωση βακτηρίων και εντόμων με αποτέλεσμα την ποιοτική του υποβάθμιση. Προσαρμόζεται εύκολα σε αργιλώδη εδάφη, με την καλύτερη σύνθεση του εδάφους να αποτελείται από ίση αναλογία άμμου και αργίλου. Το pH του εδάφους κυμαίνεται από ουδέτερο έως μέτρια αλκαλικό, ενώ απαιτείται άφθονο νερό σε όλη τη διάρκεια της αναπαραγωγής και ωρίμανσής του [5,9].



Εικόνα 2: Λευκή τρούφα (*Tuber magnatum*). Πηγή: Nicoló Oppicelli, Wikimedia Commons. Άδεια χρήσης: CC-BY-SA-3.0.

2.3 *Tuber aestivum* Vittad.

Μεταξύ των περίπου 180 ειδών τρούφας του γένους *Tuber* που υπάρχουν, το είδος *Tuber aestivum* Vittad. είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα είδη χάρη στην μικρή αγοραστική του αξία και στην εύκολη προσαρμογή του σε διαφορετικά κλίματα και εδάφη. Όσον αφορά τα μορφολογικά του χαρακτηριστικά, το υπόγειο ασκοκάρπιο (καρποφόρο σώμα) είναι συνήθως στρογγυλό ή ακανόνιστο όταν αναπτύσσεται σε ανώμαλο έδαφος. Το περίδιο είναι σκούρο καφέ προς μαύρο με πυραμοειδή κονδυλώματα, ενώ η σάρκα λευκή όταν είναι ακόμα ανώριμη και μετατρέπεται σε αποχρώσεις του κίτρινου όταν φτάσει στην ωρίμανση. Το μέγεθός του μπορεί να φτάσει όσο το μέγεθος μιας πατάτας και το βάρος του περίπου το μισό κιλό ενώ η διάμετρος κυμαίνεται από 20 έως 100 mm. Οι ασκοί είναι σφαιρικοί ή πυραμοειδείς με δύο έως έξι σπόρους σε ελλειψοειδή μορφή με δίκτυο ραβδώσεων. Πλεονεκτήματα αυτού του είδους είναι η μεγάλη γεωγραφική κατανομή, η ανοχή στη σχετικά χαμηλή υγρασία και η ικανότητα ανάπτυξης σε υψόμετρο 1000 μέτρων πάνω από τη θάλασσα γεγονός που προϋποθέτει και αντοχή σε χαμηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του χειμώνα [10]. Πρόκειται για το είδος τρούφας που συναντάται σε πολλές περιοχές της Ευρώπης. Έως σήμερα έχει επεκταθεί από την Ιταλία έως την Σουηδία και από την Ουγγαρία έως την Ισπανία, χωρίς όμως να διαθέτει το μοναδικό άρωμα και τη γεύση των δύο προηγούμενων ειδών που αναφέρθηκαν [10,11].



Εικόνα 3: Καλοκαιρινή τρούφα (*Tuber aestivum*). Πηγή: Giorgi Sulamanidze, Wikimedia Commons. Άδεια χρήσης: CC-BY-SA-4.0

2.4 *Tuber borchii* Vittad.

Η λευκή τρούφα *Tuber borchii* Vittad. γνωστή και με την ονομασία «Bianchetto» ή «υπόλευκη τρούφα» χαρακτηρίζεται για την οικονομική της προσιτότητα και τα ιδιαίτερα γαστρονομικά της χαρακτηριστικά. Αν και έχει υποτιμηθεί στο εμπόριο, καθώς το μεγαλύτερο μέρος της καλλιέργειας και της αγοράς ανήκει στο είδος *T. melanosporum*, η τρούφα *T. borchii* μπορεί να καλλιεργηθεί σε κλίματα και εδάφη στα οποία οι πιο οικονομικά ενδιαφέρουσες τρούφες αδυνατούν. Πρόκειται για το είδος τρούφας που συναντάται σε όλη την Ευρώπη, από το νότιο τμήμα της Μεσογείου έως το βόρειο τμήμα, τις Σκανδιναβικές χώρες. Προτιμά κυρίως εδάφη πλούσια σε ασβέστιο και οργανικές ουσίες, με καλή αποστράγγιση και pH να κυμαίνεται από ελαφρώς όξινο (pH 6,5) έως βασικό (περίπου pH 8). Ευδοκίμει κυρίως σε μέτριο υψόμετρο και σε περιοχές με ήπιους χειμώνες και ζεστά καλοκαίρια, ενώ σχηματίζει μυκκοριζική συμβίωση με διάφορα φυτά-ξενιστές όπως είναι η βελανιδιά, το πεύκο, η φουντουκιά και η καστανιά. Όσον αφορά τα μορφολογικά της χαρακτηριστικά, το καρποφόρο τμήμα της έχει σχήμα ακανόνιστο, ελαφρώς στρογγυλεμένο, μικρού μεγέθους από ένα έως πέντε εκατοστά, με έναν έως τέσσερις σπόρους σε κάθε ασκό σε ελλειπτική μορφή. Ο εξωτερικός φλοιός είναι λευκός, απαλός και χνουδωτός ενώ όσο ωριμάζει η επιφάνεια γίνεται πιο κοκκινωπή με καφέ σημάδια. Η εσωτερική σάρκα έχει ένα υπόλευκο χρώμα το οποίο μετατρέπεται σε ροζ-καφέ αποχρώσεις όσο ωριμάζει με λευκές διάσπαρτες φλέβες. Πρόκειται για το είδος τρούφας το οποίο παρότι δεν έχει το κύρος του *T. melanosporum* και του *T. magnatum*, η ικανότητά του να μπορεί να προσαρμοστεί σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες και σε διαφορετικούς ξενιστές, το καθιστά κατάλληλο για καλλιέργεια και του δίνει μεγάλο βήμα στην αγορά και στη γαστρονομία [12].



Εικόνα 4: Λευκή τρούφα (Tuber borchii). Πηγή: Pufui PcPifpef, Wikimedia Commons. Άδεια χρήσης: CC-BY-SA-4.0

3. Το αρωματικό προφίλ της ευρωπαϊκής τρούφας

Το άρωμα και η γεύση είναι σημαντικοί παράγοντες για να καταστήσουν ένα τρόφιμο ελκυστικό και προσίτο στον καταναλωτή, καθώς μετά την εικόνα αποτελεί κύριο δείκτη φρεσκάδας και ωρίμανσης. Στην τρούφα το άρωμα παίζει κύριο ρόλο για τη μοναδικότητα του κάθε είδους, καθώς το καθένα από αυτά αποτελείται από ένα περίπλοκο συνδυασμό πολλών παραγόντων που θα διαμορφώσουν το τελικό αρωματικό του προφίλ. Επίσης, το άρωμα είναι μία από τις παραμέτρους που θα ορίσει την τελική αγοραστική αξία του κάθε είδους τρούφας, ακόμα και σε απρόσιτες τιμές για τον κοινό καταναλωτή όπως συμβαίνει με το είδος *T. melanosporum* και *T. magnatum* [13].

Το ιδιαίτερο άρωμα της τρούφας οφείλεται στις πτητικές οργανικές ενώσεις (volatile organic compounds, VOCS), ένα μίγμα από αλκοόλες, κετόνες, αλδεϋδες και θειούχες ενώσεις, οι οποίες θα δώσουν στο κάθε είδος το ξεχωριστό αρωματικό του χαρακτήρα. Αυτό μπορεί να ποικίλει από ήπιο έως έντονο, γήινο, πικάντικο, να θυμίζει άρωμα σκόρδου, βανίλιας, βουτύρου ή μετάλλου [3,2,8,1]. Υπολογίζεται ότι υπάρχουν περισσότερες από 200 πτητικές ενώσεις για τα διάφορα είδη τρούφας, ενώ το αρωματικό προφίλ ενός συγκεκριμένου είδους μπορεί να περιέχει 30-60 αρωματικά συστατικά [14,3,2,1]. Από αυτές ένα μικρό ποσοστό μπορεί να γίνει αντιληπτό από τον άνθρωπο καθώς και ο χαρακτηρισμός τους ως «δραστικές αρωματικές ενώσεις» [2,8].

Επίσης, το μοναδικό και περίπλοκο άρωμα της τρούφας παίζει σημαντικό ρόλο στην ανίχνευση και ταυτοποίηση του κάθε είδους. Κατά την υπόγεια ωρίμανση της τρούφας δημιουργείται ένα μοναδικό για κάθε είδος μίγμα πτητικών ενώσεων, συμπεριλαμβανομένων θειούχες ενώσεις, όπως το διμεθυλοσουλφίδιο (DMS), οι οποίες δίνουν ένα ιδιαίτερο οσφρητικό αποτύπωμα το οποίο μπορεί να γίνει αντιληπτό από τα θηλαστικά, όπως χοίρους και σκύλους, ακόμα και αρκετά μέτρα μακριά από το σημείο εύρεσής της. Με βάση ιστορικές αναδρομές, οι χοίροι ήταν οι κύριοι ανιχνευτές τρούφας καθώς τους χαρακτηρίζει η έντονη οσφρητική τους ικανότητα και η προσέλκυσή τους από τη φερομόνη 5-ανδροστενόλη, η οποία ανιχνεύεται στη λευκή και μαύρη τρούφα και η οποία δίνει την χαρακτηριστική μυρωδιά του θηλυκού χοίρου. Καθώς έγινε αντιληπτό ότι οι χοίροι είχαν το ελάττωμα να καταναλώνουν τις τρούφες όταν τις εντόπιζαν, οι κυνηγοί τρούφας ξεκίνησαν τις εκπαιδεύσεις σε σκύλους καθώς έδειχναν λιγότερο ενδιαφέρον για την κατανάλωσή τους [2].

3.1 Η αρωματική σύνθεση της λευκής και μαύρης τρούφας

Προκειμένου να χαρακτηριστεί η αρωματική σύνθεση της τρούφας και να διακριθούν τα διάφορα είδη μεταξύ τους, γίνεται μία διάκριση μεταξύ των «ειδικών ουσιών-δεικτών», ουσίες δηλαδή που απαντώνται σε συγκεκριμένα είδη και των «γενικών ουσιών-δεικτών», ουσίες δηλαδή που ναι μεν συνεισφέρουν στο άρωμα αλλά απαντώνται σε πολλά είδη. Η διάκριση αυτή δεν είναι και τόσο απλή, καθώς οι «ειδικές ουσίες-δείκτες» δεν σημαίνει ότι βρίσκονται αποκλειστικά σε ένα μόνο είδος, αλλά σε αυτό το είδος κυριαρχούν σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις και παίζουν κυρίαρχο ρόλο στο

σχηματισμό του αρώματός του [15]. Πιο συγκεκριμένα, κάποιες από τις αρωματικές ενώσεις, όπως για παράδειγμα το διμεθυλοσουλφίδιο, ανιχνεύονται σε πολλά είδη λευκής και μαύρης τρούφας, σε αντίθεση με το 2,4 διθειαπεντάνιο το οποίο ανιχνεύεται αποκλειστικά στο είδος τρούφας *T. magnatum*, δίνοντάς του το χαρακτηριστικό πικάντικο άρωμα που θυμίζει σκόρδο.

Βέβαια, οι συγκεντρώσεις των διάφορων αρωματικών ενώσεων μπορεί να ποικίλουν ακόμα και στο ίδιο είδος τρούφας ή και σε είδη που καλλιεργούνται στο ίδιο χωράφι. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε διάφορους βιοτικούς και αβιοτικούς παράγοντες, στο βαθμό ωρίμανσης, σε γενετικούς ή και περιβαλλοντικούς παράγοντες [2,8,1]. Επίσης, η ένταση του αρώματος διαφέρει σε κάθε είδος τρούφας, με τις μαύρες να χαρακτηρίζονται ως οι πιο αρωματικές, γι' αυτό το λόγο προέκυψε και ο χαρακτηρισμός για το είδος *T. melanosporum* ως «μαύρο διαμάντι της κουζίνας». Ακολουθούν οι λευκές τρούφες ενώ τρίτες όσον αφορά την ένταση του αρώματος ανήκουν οι καλοκαιρινές τρούφες (*T. aestivum*), παρόλο που χαρακτηρίζονται εξίσου ποιοτικές και πιο προσιτές οικονομικά για τους καταναλωτές [2].

Μία γενική περιγραφή, σύμφωνα με τις βιβλιογραφικές αναφορές, για τις κυριότερες αρωματικές ενώσεις που δίνουν το χαρακτηριστικό άρωμα στα διάφορα είδη λευκής και μαύρης τρούφας παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.

3.2 Παράγοντες που επηρεάζουν το αρωματικό προφίλ της τρούφας

Το πολύπλοκο αρωματικό προφίλ και οι διάφορες διακυμάνσεις στα αρωματικά χαρακτηριστικά του κάθε είδους τρούφας είναι παράγοντες που καθιστούν αυτούς τους υπόγειους μύκητες ελκυστικούς τόσο για τους λάτρεις και μάγειρες της gourmet κουζίνας όσο και για τους διάφορους επιστήμονες. Το σύνθετο αυτό άρωμα μπορεί να επηρεαστεί είτε από αβιοτικούς (κλίμα, έδαφος, θερμοκρασία, υγρασία) είτε βιοτικούς παράγοντες (βακτήρια, μύκητες, φυτά-ξενιστές) οι οποίοι συμβιώνουν στο έδαφος με το καρποφόρο τμήμα της τρούφας [2,1], με συνέπεια ο συνδυασμός όλων αυτών να διαφοροποιήσει και τελικά να διαμορφώσει τη μοναδική αρωματική παλέτα της. Ως κύριος παράγοντας διαφοροποίησης, κρίνεται το κάθε είδος και η γενετική όπως για παράδειγμα οι τρούφες *T. melanosporum* και *T. magnatum* οι οποίες έχουν ένα μοναδικό αρωματικό αποτύπωμα.

Το μικροβίωμα κάθε είδους τρούφας φαίνεται να παίζει σημαντικό ρόλο στο σχηματισμό του αρώματός τους [3,2,1,13,9]. Πολλά είδη τρούφας απαρτίζονται από διάφορες πολύπλοκες βακτηριακές κοινότητες του εδάφους που σε συνδυασμό με τους μικροοργανισμούς του κάθε είδους (ζύμες, μύκητες) μπορούν να παράξουν πτητικές αρωματικές ενώσεις [2,13]. Έχει φανεί επίσης, ότι το καρποφόρο τμήμα κάθε τρούφας αφομοιώνει επιλεκτικά τα διάφορα βακτήρια από το μικροβίωμα του εδάφους κατά την ανάπτυξη και ωρίμανση, με αποτέλεσμα το εξωτερικό στρώμα να αποτελείται από διαφορετικά βακτήρια σε σχέση με τα βακτήρια της σάρκας, τα οποία φαίνεται να είναι υπεύθυνα για τη σύνθεση των αρωματικών ενώσεων και την παροχή των θρεπτικών συστατικών [13]. Παράδειγμα

αποτελούν οι λευκές τρούφες *T. borchii* και *T. magnatum* των οποίων οι πτητικές αρωματικές ενώσεις προκύπτουν εξαιτίας αυτών των βακτηρίων [2,9].

Σε αυτή την πολυπλοκότητα του αρώματος μπορεί να συμβάλλουν το περιβάλλον, το κλίμα και η γεωγραφική περιοχή στην οποία αναπτύσσονται οι τρούφες [2]. Οι υψηλές θερμοκρασίες είναι ευνοϊκές για την επιτάχυνση της ωρίμανσης και τη διαμόρφωση του αρώματος, σε αντίθεση με τις χαμηλές θερμοκρασίες οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν την ανάπτυξη της τρούφας και τη σύνθεση και συγκέντρωση των πτητικών ενώσεων. Επίσης, πολλές πτητικές ενώσεις μπορούν να σχηματιστούν και να διατηρηθούν σε συγκεκριμένες θερμοκρασίες με αποτέλεσμα ακραίες αλλαγές στη θερμοκρασία να επηρεάζουν και το αρωματικό σύνολο της τρούφας. Τα επαρκή και σταθερά εδάφη σε υγρασία είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη της τρούφας και την παραγωγή του αρώματός της. Μακροχρόνια ξηρασία μπορεί να στρεσάρει και να εμποδίσει την ανάπτυξη και κατ' επέκταση το άρωμα της τρούφας, ενώ υπερβολικές βροχοπτώσεις πιθανώς να επηρεάσουν το μικροβίωμα και τα θρεπτικά συστατικά του εδάφους τα οποία θα εμπλέκονταν στο σχηματισμό του αρώματος.

Τέλος οι τρόποι επεξεργασίας και οι συνθήκες αποθήκευσης της τρούφας επηρεάζουν το πολύπλοκο άρωμά της καθώς πρόκειται για ένα ευαλλοίωτο προϊόν με μικρή διάρκεια ζωής και υψηλή υγρασία το οποίο χρειάζεται ιδιαίτερο χειρισμό κατά τη συγκομιδή και τη συντήρησή του [2]. Η θερμοκρασία και ο χρόνος αποθήκευσης είναι σημαντικοί παράγοντες οι οποίοι πρέπει να ελέγχονται τακτικά για να υπάρχει όσο το δυνατόν μικρότερη μεταβλητότητα στο αρωματικό προφίλ της τρούφας. Σύμφωνα με ερευνητές, η τρούφα μέσα σε λίγες μέρες εκπέμπει μεγάλο αριθμό πτητικών ενώσεων σε θερμοκρασία δωματίου οι οποίες επηρεάζονται από τα μικρόβια τα οποία προκαλούν ταυτόχρονα την αλλοίωσή της. Επομένως, είναι σημαντικό να βρεθούν νέες τεχνικές και τρόποι συντήρησης της τρούφας που θα διατηρούν για όσο το δυνατόν σταθερό το μικροβιακό της φορτίο και την αρωματική της εικόνα [2].

Πίνακας 2: Το αρωματικό προφίλ της τρούφας του γένους *Tuber*

Είδη	Οργανικές πτητικές ενώσεις (VOCS)	Περιγραφή	Ref.
Λευκή και μαύρη τρούφα	Αλδεΐδη 2-οκτενάλη	Πτητικά συστατικά που περιέχουν θείο και άρωμα που θυμίζει μύκητα. Κοινά στα περισσότερα είδη λευκής και μαύρης τρούφας.	[3,2]
<i>T. magnatum</i> (λευκή τρούφα)	2,4 διθειαιπεντάνιο (Δις(μεθύλθειο)μεθάνιο ή BMTM)	Άγνωστη η προέλευση της ένωσης. Πιθανότατα παράγεται μέσω των αλληλεπιδράσεων τρούφας-βακτηρίων. Άρωμα τυριού και σκόρδου με λεπτούς τόνους μεθανίου.	[3,2,17,1,13,16]
<i>T. melanosporum</i> (μαύρη τρούφα)	2,3 βουτανοδιόνη Διμεθυλοδισουλφίδιο (DMDS) Βουτυρικός αιθυλεστέρας Διμεθυλοσουλφίδιο (DMS)	Το πιο περίπλοκο άρωμα τρούφας γι' αυτό και ο χαρακτηρισμός «μαύρο διαμάντι». Άρωμα που θυμίζει βούτυρο, πράσινο μήλο,	[5,3,2,1,18]

	3-μεθυλ-1-βουτανόλη 3-αιθυλ-5-μεθυλφαινόλη 5-μεθυλ-2-προπυλο φαινόλη 3 αιθυλο-φαινόλη β-φαινυλο-αιθανόλη	δέρμα, βενζίνη, καραμέλα.	
T. aestivum (μαύρη τρούφα)	Διμεθυλοσουλφίδιο (DMS) Β-φαινυλο-αιθανόλη 3-αιθυλο-φαινόλη	Λιγότερο αρωματική από το είδος T. melanosporum αλλά εξίσου ποιοτική.	[5,2]
T. borchii (λευκή τρούφα)	3-μεθυλ-4,5-διυδροθειοφαίνιο 2 μεθυλ-4,5- διυδροθειοφαίνιο	Συμβάλλουν στο να γίνει αντιληπτό το άρωμα από τον άνθρωπο. Χαρακτηριστικό άρωμα το οποίο θυμίζει σκόρδο και τυρί.	[3,2]
T. rufum	2-μεθυλοβοτανονιτρίλιο 2-νιτροπεντάνιο 2-βρωμο-2-μεθυλοβουτάνιο	Ιδιαίτερα αρώματα του συγκεκριμένου είδους τα οποία θυμίζουν φρούτα.	[2]
T. macrosporum	1-(μεθυλθειο)προπανόνη	Κρεμώδη μυρωδιά πράσου	[2]

4. Η διατροφική αξία της τρούφας

Οι τρούφες, πέρα από το χαρακτηριστικό τους άρωμα και την μεγάλη αγοραστική αξία που κατέχουν, είναι γνωστές για το πλούσιο διατροφικό προφίλ τους το οποίο κερδίζει όλο και μεγαλύτερο ενδιαφέρον στην επιστημονική κοινότητα. Πρόκειται για μία τροφή η οποία είναι χαμηλή σε θερμίδες και αποτελεί πλούσια πηγή τόσο μακροθρεπτικών όσο και μικροθρεπτικών συστατικών, χαρακτηρίζοντας την μία εξαιρετική προσθήκη στις διατροφικές συνήθειες του καθενός. Επίσης, η τρούφα φαίνεται να επιδρά ευεργετικά στην υγεία λόγω των αντιοξειδωτικών και των διάφορων βιοενεργών συστατικών που περιέχει ενισχύοντας έτσι την άμυνα του οργανισμού και προστατεύοντας τον από διάφορα χρόνια νοσήματα.

4.1 Τα θρεπτικά συστατικά της τρούφας

Οι τρούφες είναι πλούσιες σε θρεπτικά συστατικά τα οποία, όπως συμβαίνει και με τις πτητικές οργανικές ενώσεις, διαφέρουν ανάλογα με το είδος και την περιοχή στην οποία ευδοκιμούν [5,17]. Οι υδατάνθρακες και οι πρωτεΐνες φαίνεται να κατέχουν το μεγαλύτερο ποσοστό στα περισσότερα είδη τρούφας, με τις πρωτεΐνες να κυμαίνονται από 9-24% ανά 100g δείγματος στα είδη *T. melanosporum*, *T. magnatum*, *T. borchii* και *T. aestivum*., συμπεριλαμβανομένων απαραίτητα αμινοξέα (μεθειονίνη, φαινυλαλανίνη, βαλίνη, σερίνη, θρεονίνη και ισολευκίνη) τα οποία βοηθούν στη διατήρηση των μυών και των ιστών του οργανισμού.

Από το διατροφικό προφίλ δεν λείπουν τα μέταλλα (κάλιο, ασβέστιο, φώσφορος, σίδηρος) και τα ιχνοστοιχεία τα οποία παίζουν σημαντικό ρόλο στην υγεία των οστών, στην παραγωγή ενζύμων και ορμονών και στην καλύτερη απορρόφηση των βιταμινών. Επίσης, οι τρούφες είναι πλούσιες σε φυτικές ίνες με πολλές ευεργετικές ιδιότητες για τον οργανισμό, συμβάλλοντας στη καλή λειτουργία και ρύθμιση του εντέρου, στη ρύθμιση των επιπέδων γλυκόζης του αίματος, στην απώλεια βάρους, ακόμα και στην προστασία από διάφορους τύπους καρκίνου [5,20,3,17,1,21,22,19]. Τέλος, χαρακτηρίζονται από χαμηλά λιπαρά ενώ σε πολλά είδη τρούφας συμπεριλαμβανομένων των *T. magnatum*, *T. aestivum*, *T. melanosporum* και *T. borchii*, υπάρχει ένα μεγάλο ποσοστό από ακόρεστα λιπαρά οξέα κυρίως ελαϊκού και λινολεϊκού οξέος, τα οποία μειώνουν τα επίπεδα χοληστερόλης στο αίμα και προστατεύουν από τον κίνδυνο εμφάνισης καρδιακής νόσου, διαβήτη και υπέρτασης [22,17].

Επομένως, η τρούφα χάρη στην πλούσια διατροφική της σύσταση θα μπορούσε να αποτελέσει καθημερινή και ισορροπημένη τροφή για τον άνθρωπο, κάτι που ακόμα δεν είναι εφικτό εξαιτίας της σπανιότητά της και κατ' επέκταση της υψηλής αγοραστικής της αξίας.

4.2 Τα βιοενεργά συστατικά της τρούφας και οι βιοδραστικές τους δράσεις

Τα τελευταία χρόνια δίνεται όλο και μεγαλύτερη βάση σε μελέτες που εξετάζουν τα διάφορα οφέλη που μπορεί να έχει η τρούφα στην υγεία του ανθρώπου. Η παρουσία βιοδραστικών συστατικών

(εργοστερόλη, φλαβονοειδή, τερπενοειδή, κ.α.) στα διάφορα είδη τρούφας, κυρίως του γένους *Tuber*, μπορεί να συμβάλλει στη μείωση του οξειδωτικού στρες και της χρόνιας φλεγμονής με αποτέλεσμα την πρόληψη διάφορων ασθενειών όπως είναι ο καρκίνος και τα διάφορα καρδιαγγειακά νοσήματα. Επομένως, η τρούφα συνεχίζει να κερδίζει όλο και μεγαλύτερη αξία καθώς πέρα από τη σπανιότητά της και τα οργανοληπτικά της χαρακτηριστικά, συμβάλλει στην προστασία της υγείας και ανοίγει δρόμους στην επιστήμη για νέες θεραπευτικές εφαρμογές. Μερικά από τα βιοενεργά συστατικά και οι αντίστοιχες βιολειτουργικές ιδιότητες των πιο διαδεδομένων ειδών τρούφας παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3: Διατροφική αξία και βιολειτουργικές ιδιότητες των ειδών λευκής και μαύρης τρούφας του γένους *Tuber*

Είδος	Βιοενεργά Συστατικά	Βιολειτουργική ιδιότητα	Ref.
Λευκή και μαύρη τρούφα	Φαινολικές ενώσεις Πολυσακχαρίτες, Τερπενοειδή Ένζυμα του ενδοκανναβινοειδούς συστήματος	Αντιοξειδωτική Αντιφλεγμονώδη Ανοσορυθμιστική Αντικαρκινική	[3]
T. magnatum (λευκή τρούφα)	5- Ανδροστενόλη	Βελτιώνει τη διάθεση και τη σεξουαλικότητα. Αντιφλεγμονώδη και Κυτταροτοξική δράση	[3, 22, 21, 17]
T. melanosporum (μαύρη τρούφα)	Εργοστερόλη Βρασικαστερόλη Ανανδαμίδη	Αντιοξειδωτική Αντιφλεγμονώδη Αντιυπερλιπιδαιμική Αντικαρκινική Ανοσοτροποποιητική	[3, 1, 21]
T. aestivum (μαύρη τρούφα)	Αμυλάση Εργοστερόλη Βιοδραστικοί πολυσακχαρίτες (β- γλυκάνη) Χιτίνες (χιτοζάνη), 3,4- διυδροξυ-βενζαλδεΐδη, ομογεντισικό οξύ, π- υδροξυβενζοϊκό και πρωτο κατεχουϊκό οξύ	Αντιοξειδωτική Αντιφλεγμονώδη Αντιυπερλιπιδαιμική Αντικαρκινική Ανοσοτροποποιητική	[3,1,21,16,18]
T. borchii (λευκή τρούφα)	Εργοστερόλη Βρασικαστερόλη	Αντιοξειδωτική Αντιφλεγμονώδη Αντιυπερλιπιδαιμική Αντικαρκινική	[3, 1]

4.2.1 Αντιοξειδωτικές και αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες

Οι τρούφες και ειδικά εκείνες του γένους *Tuber* είναι γνωστές για τις αντιοξειδωτικές τους ιδιότητες καθώς περιέχουν μία ποικιλία από βιοδραστικές ενώσεις όπως πολυσακχαρίτες, φαινολικές ενώσεις και αμινοξέα, οι οποίες προστατεύουν τα κύτταρα από το οξειδωτικό στρες και τις βλάβες που προκαλούν οι ελεύθερες ρίζες στον οργανισμό. Οι αντιοξειδωτικές ενώσεις στις τρούφες όπως οι

ανθοκυάνες, τα καροτενοειδή, η βιταμίνη C, τα φλαβονοειδή και η εργοστερόλη η οποία μπορεί να μετατραπεί σε βιταμίνη D, έχουν τη δυνατότητα να εξουδετερώνουν τις ελεύθερες ρίζες δίνοντάς τους ένα ηλεκτρόνιο για να τις σταθεροποιούν [3,22,4,17,1]. Έτσι αποτρέπεται το οξειδωτικό στρες το οποίο θεωρείται η κύρια αιτία για την εμφάνιση διάφορων ασθενειών όπως είναι ο καρκίνος, οι καρδιακές παθήσεις και διάφορα άλλα εκφυλιστικά νοσήματα.

Επίσης, παρατηρήθηκε ότι οι τρούφες, και κυρίως το είδος *T. magnatum*, έχουν αντιφλεγμονώδη δράση αναστέλλοντας τη δράση των ενζύμων COX-1 (Κυκλοοξυγενάση-1) και 12-LOX (12-Λιποξυγενάση) τα οποία είναι υπεύθυνα για τη βιομετατροπή του αραχιδονικού οξέος σε προσταγλανδίνες και λευκοτριένια αντίστοιχα, τα οποία αποτελούν κύριους φλεγμονώδεις μεσολαβητές [22,17].

Όπως είναι γνωστό διάφορες χρόνιες παθήσεις (καρκίνος, αυτοάνοσα, πνευμονία, άσθμα, κ.λπ.) σχετίζονται με χρόνιες φλεγμονώδεις καταστάσεις στον οργανισμό οι οποίες προκαλούνται είτε από παθογόνους μικροοργανισμούς, είτε από τραυματισμούς είτε από έκθεση σε ακτινοβολία. Η αποτροπή επομένως αυτής της χρόνιας φλεγμονής μπορεί να βοηθήσει στην πρόληψη τέτοιων καταστάσεων. Το αραχιδονικό οξύ, πρόκειται για ένα λιπαρό οξύ το οποίο αποτελεί συστατικό των φωσφολιπιδίων των κυτταρικών μεμβρανών και το οποίο όταν βρεθεί ελεύθερο στον οργανισμό συμμετέχει σε δύο κύριες οδούς, την οδό της Κυκλοοξυγενάσης (COX) και της Λιποξυγενάσης (LOX) προς σχηματισμό εικοσανοειδών τα οποία προάγουν τη φλεγμονή [23].

Η χρήση Μη-Στεροειδών Αντιφλεγμονωδών Φαρμάκων (ΜΣΑΦ), γνωστά και ως Non Steroids Anti-inflammatory Drugs (NSAIDS), βοηθά στην αναστολή των δύο μορφών του ενζύμου κυκλοοξυγενάση, COX-1 και COX-2, με αποτέλεσμα να είναι αδύνατη η μετατροπή του αραχιδονικού οξέος σε προσταγλανδίνες. Αν και η χρήση των συγκεκριμένων φαρμάκων καθίσταται ως η πιο αποτελεσματική θεραπεία για την εξάλειψη της φλεγμονής και του πόνου, υπάρχει ένας σημαντικός αριθμός αρνητικών επιπτώσεων για την υγεία. Με την αποτροπή παραγωγής προσταγλανδινών δεν προστατεύεται ο γαστρικός βλεννογόνο με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο κίνδυνος για έλκος και αιμορραγία. Επίσης, μπορεί να προκληθούν διαταραχές στη φυσιολογική λειτουργία των νεφρών, να αυξηθεί ο κίνδυνος για έμφραγμα του μυοκαρδίου, εγκεφαλικού επεισοδίου και καρδιακής ανεπάρκειας. Τέλος, μπορεί να προκληθούν διάφορες αιματολογικές διαταραχές καθώς τα ΜΣΑΦ έχουν αντιαιμοπεταλιακή δράση ή κάποιο είδος αλλεργικό επεισόδιο που αφορά το δέρμα και το αναπνευστικό σύστημα [24].

Καθίσταται επομένως η ανάγκη να βρεθούν νέες θεραπευτικές προσεγγίσεις που θα έχουν διπλή ανασταλτική δράση έναντι των ενζύμων COX και LOX και ταυτόχρονα λιγότερες παρενέργειες στον οργανισμό. Πολλές τροφές πλούσιες σε βιοδραστικά συστατικά θα μπορούσαν να αποφέρουν το ίδιο αποτέλεσμα με εκείνο των συνθετικών ενώσεων. Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει αρκετές μελέτες σε

εκχυλίσματα φυτών και έχουν ανακαλυφθεί οι αντιφλεγμονώδεις ιδιότητές τους. Οι πολυφαινόλες, τα φλαβονοειδή και τα τερπενοειδή έχουν αναγνωριστεί για τις αντιφλεγμονώδεις ιδιότητές τους, συστατικά που έχει ανακαλυφθεί ότι βρίσκονται και στην τρούφα. Επομένως, η τρούφα αποτελεί ευεργετική τροφή με ισχυρές αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες, με τη δυνατότητα διπλής ανασταλτικής δράσης έναντι των ενζύμων COX και LOX η οποία δεν προκαλεί αρνητικές επιπτώσεις στον οργανισμό σε αντίθεση με τα φαρμακευτικά σκευάσματα.

4.2.2 Ανοσοτροποποιητικές και αντικαρκινικές ιδιότητες

Αν και μέχρι σήμερα δεν έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές μελέτες σχετικά με τις αντικαρκινικές ιδιότητες της τρούφας, το πλήθος των βιοδραστικών ουσιών που περιέχει φαίνεται να παρουσιάζουν διάφορες βιολογικές ιδιότητες, όπως αντικαρκινικές, κυτταροτοξικές και ανοσορρυθμιστικές.

Όσον αφορά το είδος *T. aestivum*, έρευνες έχουν δείξει ότι διαθέτει αντιμεταλλαξιογόνες, αντικαρκινικές και κυτταροτοξικές ιδιότητες, καθώς τα μεθανολικά του εκχυλίσματα, σύμφωνα με μελέτη, αποδείχθηκε ότι μπορούν να αναστείλουν τη δράση του ABAP (2'-azobis-(2-amidinopropane)-dihydrochloride το οποίο αποτελεί εναρκτήρια δύναμη για την υπεροξειδωση των λιπιδίων, δηλαδή την αποικοδόμηση των λιπιδίων και τον σχηματισμό προϊόντων οξειδωσης που με τη σειρά τους συμμετέχουν σε άλλες αντιδράσεις οι οποίες οδηγούν σε κυτταρική βλάβη και οξειδωτικό στρες [21]. Επίσης, τα μεθανολικά εκχυλίσματα του *T. magnatum* παρατηρήθηκε να εμφανίζουν κυτταροτοξική δράση έναντι των καρκινικών κυτταρικών σειρών HeLa (καρκινικά κύτταρα του τραχήλου της μήτρας, MCF-7 (αδenoκαρκίνωμα του μαστού) και HT-29 (κυτταρική σειρά του ορθοκολικού αδenoκαρκινώματος) [17,22].

Οι αντικαρκινικές ιδιότητες, οι οποίες εμφανίζονται σε πολλά είδη τρούφας, πιθανότατα οφείλονται στα διάφορα βιοδραστικά συστατικά που περιέχουν, όπως η στιγμαστερόλη, η β-σιτοστερόλη, το σκουαλένιο και η λουπεόλη, ενώσεις που έχει αποδειχθεί ότι αναστέλλουν τη δράση και τη μετάσταση των καρκινικών κυττάρων και προκαλούν απόπτωση και διακοπή του κυτταρικού κύκλου. Οι φυτοστερόλες κερδίζουν όλο και μεγαλύτερο ενδιαφέρον στην επιστημονική κοινότητα καθώς πρόκειται για βιοδραστικές ουσίες τις οποίες δεν μπορεί να συνθέσει μόνος του ο ανθρώπινος οργανισμός παρά μόνο να τις προσλάβει μέσω διάφορων τροφών (φυτικά έλαια, ξηροί καρποί, μανιτάρια και τρούφες, δημητριακά, κ.ά.) και οι οποίες έχει αποδειχθεί ότι προσφέρουν πολλά οφέλη στην ανθρώπινη υγεία [25].

Πιο συγκεκριμένα, η στιγμαστερόλη και η β-σιτοστερόλη χαρακτηρίζονται από τις σημαντικότερες φυτοστερόλες καθώς ερευνητικά δεδομένα υποδεικνύουν ότι μπορούν να δράσουν ενάντια σε διάφορους τύπους καρκίνου ρυθμίζοντας τον ανεξέλεγκτο κυτταρικό πολλαπλασιασμό, μειώνοντας την παραγωγή δραστικών μορφών οξυγόνου (reactive oxygen species, ROS) και εμποδίζοντας βλάβες στο DNA. Είναι ουσίες που μπορούν να ενισχύσουν τη δράση των αντιοξειδωτικών ενζύμων

[δισμουτάση του υπεροξειδίου (superoxide dismutase, SOD) και καταλάση (catalase, CAT)] και να ενεργοποιήσουν τη κασπάση-3 και κασπάση-9, πρωτεάσες οι οποίες βοηθούν στην απόπτωση και οδηγούν σε κυτταρικό θάνατο τους καρκινικούς ιστούς. Επίσης, εμποδίζουν την αγγειογένεση δηλαδή την δημιουργία αιμοφόρων αγγείων που βοηθούν στην ανάπτυξη και εξάπλωση των καρκινικών κυττάρων [26]. Το σκουαλένιο, με τη σειρά του, ως πρόδρομη ένωση για τη σύνθεση των φυτικών και ζωικών στερολών, λόγω των ισχυρών αντιοξειδωτικών και ανοσοτροποποιητικών ιδιοτήτων του, έχει μελετηθεί για τις πιθανές αντικαρκινικές του επιδράσεις καθώς προστατεύει τις λιπιδικές μεμβράνες από την υπεροξειδωση. Έτσι βοηθά στη διατήρηση της δομής και τη φυσιολογική λειτουργία των κυτταρικών μεμβρανών αποτρέποντας βλάβες που μπορεί να προκληθούν από τις ελεύθερες ρίζες και το οξειδωτικό στρες [17].

Οι πολυσακχαρίτες παίζουν και αυτοί με τη σειρά τους σπουδαίο ρόλο στην πρόληψη και αντιμετώπιση του καρκίνου. Οι τρούφες, κυρίως οι καλοκαιρινές, είναι πλούσιες σε πολυσακχαρίτες, όπως η β-γλυκάνη, οι οποίοι υποστηρίζεται ότι έχουν ανασταλτικές ιδιότητες στην ανάπτυξη και μετάσταση των καρκινικών κυττάρων, καθώς μπορούν να ενεργοποιήσουν το ενδογενές ανοσοποιητικό σύστημα, δηλαδή κύτταρα όπως τα μακροφάγα και τα κύτταρα φυσικούς φονείς (natural killers, NK) τα οποία στοχεύουν στην καταστροφή μη φυσιολογικών και καρκινικών κυττάρων. Επίσης, μπορούν να διεγείρουν το επίκτητο ανοσοποιητικό σύστημα το οποίο αποτελείται από τα T-λεμφοκύτταρα τα οποία δρουν άμεσα έναντι των μολυσματικών ή καρκινικών κυττάρων και τα B-λεμφοκύτταρα τα οποία παράγουν αντισώματα (ανοσοσφαιρίνες) και κύτταρα μνήμης τα οποία θα δράσουν ταχύτερα σε περίπτωση που ο οργανισμός εκτεθεί ξανά στον ίδιο παθογόνο μικροοργανισμό [17,21].

Τέλος οι τρούφες, και ιδιαίτερα το είδος *Tuber melanosporum*, έχει φανεί ότι περιέχουν το λιπαρό οξύ, ανανδαμίδιο, το οποίο είναι ένας κανναβινοειδής νευροδιαβιβαστής του ενδοκανναβινοειδούς συστήματος με αντικαρκινικές ιδιότητες. Πολλές μελέτες υποστηρίζουν ότι το ανανδαμίδιο αναστέλλει την αγγειογένεση ενός εξαιρετικά επιθετικού τύπου καρκίνου του μαστού. Επιπλέον έρευνα κατέδειξε ότι οι μεταβολίτες του ανανδαμιδίου, PG-EAS (Prostaglandin Ethanolamides), οι οποίοι σχηματίζονται κατά τη δράση του ενζύμου COX-2 προκαλούν απόπτωση σε καρκινικά κύτταρα του παχέος εντέρου ενώ σε καρκινικά κύτταρα του προστάτη το ανανδαμίδιο έχει παρατηρηθεί ότι μειώνει τα επίπεδα της πρωτεΐνης-υποδοχέα EGFR (Epidermal Growth Factor Receptor) μέσω της ενεργοποίησης του υποδοχέα CB1 με αποτέλεσμα να αναστέλλεται η ανάπτυξη των καρκινικών κυττάρων [3,17].

4.2.3 Αντικαταθλιπτικές και αφροδισιακές ιδιότητες

Η κατάθλιψη στη σημερινή εποχή αποτελεί μία από τις σημαντικότερες ψυχικές διαταραχές, με αποτέλεσμα οι περισσότεροι να καταφεύγουν στη χρήση ιατρικών σκευασμάτων προκειμένου να την

καταπολεμήσουν και να ανακουφιστούν από τον ψυχικό πόνο. Η μακροχρόνια όμως χρήση τους μπορεί να οδηγήσει σε άλλα προβλήματα, με αποτέλεσμα να γίνεται όλο και πιο έντονη η ανάγκη να μπορούν να αντιμετωπιστούν τέτοιες μακροχρόνιες ψυχικές διαταραχές μέσω της διατροφής. Σύμφωνα με μελέτη, οι τρούφες έχει αποδειχθεί ότι είναι πλούσιες σε L-τυροσίνη, ένα αμινοξύ το οποίο είναι απαραίτητο για την παραγωγή κατεχολαμινών όπως ντοπαμίνη, νορεπινεφρίνη (νοραδρεναλίνη) και επινεφρίνη (αδρεναλίνη). Η ντοπαμίνη είναι ένας σημαντικός νευροδιαβιβαστής ο οποίος ρυθμίζει τη διάθεση, βελτιώνει τη σκέψη και επηρεάζει την ανθρώπινη συμπεριφορά. Σε αντίθεση με την αδρεναλίνη και την νοραδρεναλίνη οι οποίες παράγονται κυρίως σε καταστάσεις στρες και έντασης όπως έντονη σωματική άσκηση [3].

Πέρα όμως από τις αντικαταθλιπτικές τους ιδιότητες οι τρούφες έχει αποδειχθεί, ήδη από το παρελθόν, ότι βοηθούν και στη σεξουαλική διέγερση. Αυτό οφείλεται στην ανδροστενόλη (στεροειδή φερομόνη) η οποία αποτελεί ένα από τα συστατικά του περίπλοκου αρώματος της τρούφας και φαίνεται να επηρεάζει τη ψυχολογία και να αυξάνει την эρωτική έλξη [3,17,1]. Επίσης, μπορεί να βελτιώσει τη διάθεση της γυναίκας και να συμβάλλει στην ανακούφιση από το άγχος και τους σπασμούς κατά την έμμηνο ρύση, ρυθμίζοντας τους υποδοχείς GABA (γ-αμινοβουτυρικό οξύ) έναν από τους κύριους νευροδιαβιβαστές του κεντρικού νευρικού συστήματος [1].

Βέβαια, κυριαρχεί η θεωρία ότι οι τρούφες σχετίζονται περισσότερο με την ψυχολογία παρά με τη σεξουαλικότητα, καθώς τα φλαβονοειδή βρίσκονται σε αυτές υπό τη μορφή γλυκοσιδών οι οποίες δρουν ανταγωνιστικά έναντι της φερομόνης ανδροστενόλης [17]. Επίσης, πολλοί επιστήμονες υποστηρίζουν ότι η μυρωδιά ενός αντικειμένου μπορεί να συνδεθεί ισχυρά με τις μνήμες και τις σκέψεις ενός ατόμου, καταφέρνοντας να επηρεάσει το συναισθηματικό του κόσμο. Επομένως, η τρούφα θα μπορούσε να διεγείρει κάποιον απλά με το ξεχωριστό της άρωμα και τις αναμνήσεις που έχει όταν την καταναλώνει [1].

5. Μέθοδοι συντήρησης και επεξεργασίας της ευρωπαϊκής τρούφας

Η εδωδιμη τρούφα πρόκειται για ένα προϊόν με μικρή διάρκεια ζωής, περίπου μίας εβδομάδας ακόμα και όταν συντηρείται στους 4°C, καθώς συλλέγεται στην ώριμη φάση της προκειμένου να εμφανιστεί το περίπλοκο αρωματικό της προφίλ, από εδάφη με υψηλό μικροβιακό φορτίο που σε συνδυασμό με την υψηλή μεταβολική της δραστηριότητα την καθιστούν ευπαθή [27,13]. Πρόκειται για ένα προϊόν το οποίο εκτίθεται σε έντονο στρες ήδη από το στάδιο ανάπτυξής του στο έδαφος, πολλές φορές λόγω των υψηλών θερμοκρασιών και της έλλειψης ενυδάτωσής του, με αποτέλεσμα να υπάρχουν αλλαγές όχι μόνο στην ποιότητα και την παραγωγικότητα, αλλά και στη διατροφική και αρωματική του σύσταση και τη βιολογική του δραστηριότητα [17].

Τα τελευταία χρόνια η τρούφα πέρα από τη τεράστια ζήτησή της ως φυσικό προϊόν, έχει ξεκινήσει να χρησιμοποιείται και ως πρόσθετο σε διάφορα είδη τροφίμων όπως γαλακτοκομικά, ζυμαρικά, έλαια και πάστες αυξάνοντας την αξία του τροφίμου δίνοντας μία αίσθηση πολυτέλειας και ιδιαιτερότητας. Για το λόγο αυτό, σκοπός είναι να επιμηκυνθεί ο χρόνος συντήρησής της χωρίς να επηρεαστούν σε μεγάλο βαθμό τα βασικά χαρακτηριστικά της (άρωμα, γεύση, βιοδραστικότητα, κ.α.). Κατά καιρούς, γίνονται πολλές μελέτες και πειράματα σε διάφορα είδη τρούφας του γένους *Tuber* ώστε να βρεθεί η κατάλληλη μέθοδος συντήρησης η οποία μπορεί να απαλλάξει το φυσικό προϊόν από κάθε μικροβιακή επιμόλυνση, διατηρώντας ταυτόχρονα τη φυσικοχημική και την οργανοληπτική του εικόνα, ενώ παράλληλα να είναι εύκολη στη χρήση και μη κοστοβόρα [19].

5.1 Η συμπεριφορά της τρούφας σε συνθήκες ψύξης

Αρχικά, γνωρίζοντας ότι η τρούφα πρόκειται για ένα προϊόν το οποίο τις περισσότερες φορές καταναλώνεται ωμό, είναι απαραίτητο να παρακολουθείται το μικροβιακό προφίλ της καθώς παρόλο που κάποιοι μικροοργανισμοί συμβάλλουν στο μοναδικό άρωμα του κάθε είδους, υπάρχουν και αυτοί που εγκυμονούν διάφορους κινδύνους για την υγεία του καταναλωτή. Η μικροβιακή εικόνα του κάθε είδους τρούφας όπως συμβαίνει και με τα οργανοληπτικά και διατροφικά της χαρακτηριστικά είναι ξεχωριστή και μπορεί να επηρεαστεί από διάφορους παράγοντες όπως είναι το περιβάλλον στο οποίο αναπτύσσεται, η σχέση της με το φυτό ξενιστή, ο τρόπος συγκομιδής της και ο τρόπος συντήρησής της.

Για παράδειγμα, σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες, στο είδος *T. borchii* και *T. magnatum* κυριαρχούν α-, β- και γ-πρωτεοβακτήρια, αερόβια βακτήρια και ακτινομύκητες, ενώ στο είδος *T. aestivum* επικρατούν κυρίως οι λακτοβάκιλλοι, οι λακτόκκοκοι, τα μεσόφιλα βακτήρια, τα κλωστρίδια και τα εντεροβακτηρίδια [28]. Σύμφωνα με τους Saltarelli, Ceccaroli, κ.α. (2008), υπολογίζεται ότι ο πληθυσμός των μεσόφιλων βακτηρίων σε φρεσκοκομμένες τρούφες κυμαίνεται από 10^7 - 10^8 CFU/g των οποίων η μείωση ή η αύξηση εξαρτάται από το τρόπο συντήρησης της τρούφας με αποτέλεσμα να επηρεάζει τη διάρκεια ζωής της και κατ' επέκταση το διατροφικό και ενζυματικό της προφίλ [28].

Στον Πίνακα 4 παρουσιάζεται συνοπτικά μία μελέτη των Saltarelli, Ceccaroli, κ.α. (2008) σχετικά με την αποθήκευση της τρούφας σε συνθήκες ψύξης και τις επιπτώσεις που επέρχονται τόσο στο μικροβιακό όσο και στο πρωτεϊνικό και ενζυματικό της προφίλ.

Πίνακας 4: Ψύξη της τρούφας και διάφορες επιπτώσεις της στο μικροβιακό, πρωτεϊνικό και ενζυματικό προφίλ

Είδος	Τρόπος συντήρησης	Μικροβιακό προφίλ	Πρωτεϊνικό προφίλ	Ενζυματικό προφίλ
T. magnatum	Συντήρηση στους 4°C	Μικρές διακυμάνσεις	Σταθερό	Μειωμένη δράση ενζύμου PGM
	Συντήρηση στους 4°C μετά από κατάψυξη	Μείωση	Απότομη μείωση	Αναστολή της δράσης του G6PD, μειωμένη δράση PGM
T. melanosporum	Συντήρηση στους 4°C	Απότομη αύξηση	Σταθερό	-
	Συντήρηση στους 4°C μετά από κατάψυξη	Σταθερό	Μείωση	Μειωμένη δράση του PGM
T. borchii	Συντήρηση στους 4°C	Απότομη αύξηση	Απότομη μείωση	Μειωμένη δράση ενζύμου PGM
	Συντήρηση στους 4°C μετά από κατάψυξη	Αύξηση μετά από 4 ημέρες	Μείωση	Αναστολή της δράσης του G6PD, μειωμένη δράση PGM
T. aestivum	Συντήρηση στους 4°C	Απότομη αύξηση	Σταθερό	Αργή αδρανοποίηση του PK
	Συντήρηση στους 4°C μετά από κατάψυξη	Σταθερό	Μείωση	Μείωση δράσης PFK και αργή αδρανοποίηση του PK και PGM

Στη μελέτη αυτή παρατηρήθηκαν πολλές αλλαγές όσον αφορά το μικροβιακό, το πρωτεϊνικό και το ενζυματικό προφίλ διάφορων ειδών τρούφας τα οποία αναλύθηκαν στους 4°C για κάποιες μέρες ή ώρες ανάλογα με την επεξεργασία που δέχτηκαν. Πιο συγκεκριμένα, τα τέσσερα υπό μελέτη είδη τρούφας συλλέχθηκαν από την Κεντρική Ιταλία την περίοδο 2005-2006, επεξεργάστηκαν κάτω από ασηπτικές συνθήκες και κάποια από τα δείγματα συντηρήθηκαν σε φρέσκια μορφή στους 4°C για σχεδόν ένα μήνα. Κάποια από αυτά εμβαπτίστηκαν σε υγρό άζωτο και συντηρήθηκαν στους -20°C για ένα μήνα, και ύστερα μεταφέρθηκαν στη θερμοκρασία των 4°C για να αναλυθούν σε διάστημα τεσσάρων ημερών, ενώ η τελευταία ομάδα δέχτηκε επεξεργασία σε αυτόκλειστο και ύστερα ανάλυσή της στους 4°C για διάστημα μίας εβδομάδας.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα φρέσκα είδη *T. melanosporum*, *T. magnatum* και *T. aestivum* που συντηρήθηκαν στους 4°C για 30 ημέρες δεν φαίνεται να έχασαν το πρωτεϊνικό τους περιεχόμενο, σε αντίθεση με το *T. borchii* που παρατηρήθηκε μία ραγδαία μείωση του πρωτεϊνικού του προφίλ κατά την 30^η ημέρα της συντήρησής του. Τα ίδια δείγματα ύστερα από κατάψυξή τους στους -20°C και έπειτα συντήρησή τους στους 4°C εμφάνισαν μία εντελώς διαφορετική συμπεριφορά. Τα περισσότερα

είδη έχασαν περισσότερο από το μισό του πρωτεϊνικού τους περιεχομένου σε διάστημα 96 ωρών, με το είδος *T. magnatum* να χάνει περίπου το 50% των πρωτεϊνών του αμέσως μετά την απόψυξη. Τέλος, όλα τα είδη τρούφας μετά από επεξεργασία σε αυτόκλειστο και συντήρησή τους στους 4°C έχασαν σχεδόν το 90% των πρωτεϊνών τους.

Ενδιαφέρον παρουσίασαν και τα αποτελέσματα σχετικά με το ενζυματικό προφίλ των τεσσάρων ειδών τρούφας που μελετήθηκαν. Πιο συγκεκριμένα, η δράση του ενζύμου εξοκινάση (Hexokinase, HK), το οποίο είναι σημαντικό για τη γλυκόλυση καθώς βοηθά στη φωσφορυλίωση της γλυκόζης προς 6-φωσφορική γλυκόζη, φάνηκε να μην επηρεάζεται από την αποθήκευση της τρούφας στους 4°C ή μετά από κατάψυξή της στους -20°C. Σε αντίθεση, το ένζυμο φωσφοφρουκτοκινάση (Phosphofructokinase, PFK) το οποίο βοηθά στη φωσφορυλίωση της 6-φωσφορικής φρουκτόζης σε 1,6-διφωσφορική φρουκτόζη παρατηρήθηκε να χάνει τη δραστηριότητά του κυρίως στο είδος *T. aestivum* όταν αυτό συντηρήθηκε στους -20°C. Ενώ το ένζυμο πυροσταφυλική κινάση (Pyruvate kinase, PK), στο είδος *T. aestivum*, έχασε σταδιακά τη δραστηριότητά του όταν συντηρήθηκε στους 4°C σε φρέσκια μορφή και μετά από συντήρησή του στους -20°C.

Το ένζυμο αφυδρογονάση της 6-φωσφορικής γλυκόζης (G6PD) το οποίο βρίσκεται φυσιολογικά στα ερυθροκύτταρα και συμμετέχει στο μονοπάτι της φωσφορικής πεντόζης προστατεύοντας τα κύτταρα από βλάβες που προκαλεί το οξειδωτικό στρες έδειξε να μην επηρεάζεται σε νωπό δείγμα τρούφας που αποθηκεύεται στους 4°C. Αντίθετα, η δράση του αναστέλλεται στα κατεψυγμένα είδη *T. magnatum* και *T. borchii*, κάτι που δείχνει ότι η λευκή τρούφα είναι πιο ευαίσθητη σε σχέση με τη μαύρη. Τέλος, το ένζυμο φωσφογλυκομουτάση (Phosphoglycomutase, PGM) το οποίο συμμετέχει στην αποικοδόμηση του γλυκογόνου μετατρέποντας την 1-φωσφορική γλυκόζη σε 6-φωσφορική γλυκόζη, χάνει τη δραστηριότητά του στα νωπά και κατεψυγμένα είδη *T. magnatum* και *T. borchii*. Όσον αφορά τα νωπά είδη *T. melanosporum* και *T. aestivum*, η δράση του ενζύμου παραμένει αλλά μειώνεται σε μικρό χρονικό διάστημα όταν αυτά καταψυχθούν στους -20°C και έπειτα συντηρηθούν στους 4°C.

Όσον αφορά το μικροβιακό προφίλ των τεσσάρων ειδών τρούφας, μόνο το είδος *T. magnatum* παρουσίασε μικρές διακυμάνσεις στο μικροβιακό πληθυσμό μετά από συντήρηση στους 4°C, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα τρία είδη που παρουσίασαν αύξηση μέχρι και δύο λογαριθμικούς κύκλους μετά από 15 μέρες συντήρησης. Όσον αφορά τα κατεψυγμένα είδη, στο είδος *T. magnatum* παρατηρήθηκε μία μείωση στο μικροβιακό πληθυσμό σε αντίθεση με το είδος *T. borchii* του οποίου ο μικροβιακός πληθυσμός αυξήθηκε ύστερα από δύο μέρες συντήρησης στους 4°C, γεγονός που υποδηλώνει την ύπαρξη ψυχρόφιλων βακτηρίων.

Συμπερασματικά, τα διάφορα είδη τρούφας παρουσιάζουν διαφορετικές συμπεριφορές κατά τη συντήρησή τους στους 4°C, πράγμα που κάνει ακόμα πιο επιτακτική την ανάγκη για εύρεση εναλλακτικών μεθόδων συντήρησης οι οποίες θα είναι κατάλληλες και αποτελεσματικές για το κάθε είδος τρούφας. Για παράδειγμα, η λευκή τρούφα *T. magnatum* εμφανίζει μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στη μικροβιακή αλλοίωση σε σχέση με τη λευκή τρούφα *T. borchii*. Επίσης, οι μαύρες τρούφες καθίστανται πιο ανθεκτικές στη βιοχημική αλλοίωση σε σχέση με τις λευκές τρούφες.

5.2 Σύγχρονες μέθοδοι συντήρησης της τρούφας

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η τρούφα πρόκειται για ένα εξαιρετικά ευπαθές προϊόν λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς του σε υγρασία και της ευαισθησίας του στις διάφορες περιβαλλοντικές συνθήκες, με αποτέλεσμα να έχει μικρή διάρκεια ζωής έως λίγες εβδομάδες ακόμα και όταν εφαρμόζονται τεχνικές συντήρησης όπως η κατάψυξη, η αποστείρωση ή η αποξήρανση. Βέβαια, παρόλο που υπάρχουν αρκετές τεχνικές που μπορούν να επιμηκύνουν τη διάρκεια συντήρησης της τρούφας, οι εφαρμογές τους μπορεί να έχουν αρνητικό αντίκτυπο στα οργανοληπτικά και ποιοτικά της χαρακτηριστικά. Επομένως, κρίνεται αναγκαίο να βρεθούν νέες μέθοδοι επεξεργασίας και συντήρησης της τρούφας που θα καταφέρουν να την προστατέψουν τόσο από μικροβιακές επιμολύνσεις ενώ ταυτόχρονα θα συμβάλλουν στη διατήρηση της ακεραιότητας του αρωματικού, θρεπτικού και μορφολογικού της χαρακτήρα.

Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται κάποιες από τις μεθόδους συντήρησης που έχουν εφαρμοστεί σε διάφορα είδη τρούφας καθώς και τις επιδράσεις που έχουν στο χρόνο ζωής, το αρωματικό, το μορφολογικό και το θρεπτικό της προφίλ.

Πίνακας 5: Μέθοδοι συντήρησης της τρούφας και διάφορες επιδράσεις

Μέθοδος συντήρησης	Αποτελέσματα - Επιδράσεις	Ref.
Αποστείρωση σε αυτόκλειστο στους 120- 130°C/30 sec	Αποτελεσματική μέθοδος αποστείρωσης όταν η τρούφα χρησιμοποιείται για την παραγωγή ποικιλίας τροφίμων. Μη αποτελεσματικός τρόπος διατήρησης των πτητικών συστατικών.	[28,19]
Μπλανσάρισμα (Blanching)	Αποτελεσματικός τρόπος διατήρησης του αρώματος της τρούφας.	[19]
Χρήση Υποχλωριώδους Νατρίου (χλωρίνης)	Μη αποτελεσματική η χρήση του καθώς η χημική ένωση χάνει την αντιμικροβιακή της δράση όταν έρχεται σε επαφή με οργανική ύλη.	[19]
Χρήση υπεροξειδίου του υδρογόνου σε συνδυασμό με υπερήχους	Αποτελεσματική δράση έναντι των βακτηριδίων. Ακόμη δεν έχει εγκριθεί η χρήση του στα φρέσκα τρόφιμα.	[19]

Χρήση αιθανόλης	Αν και η χρήση της είναι ευρεία σε διάφορους επιστημονικούς κλάδους, δεν είναι αποτελεσματική στα φρέσκα προϊόντα συμπεριλαμβανομένων της τρούφας.	[19]
Ακτινοβολία γ	Η χρήση της σε ορισμένη δόση μειώνει το μικροβιακό φορτίο της τρούφας παρατείνοντας το χρόνο ζωής ενώ ταυτόχρονα διατηρούνται αναλλοίωτα τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Ιδιαίτερα τα αποτελέσματα όταν ακολουθείται ύστερα από συσκευασία με τροποποιημένη ατμόσφαιρα (Modified Atmosphere Packaging, MAP). Μη σωστή χρήση της μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία ελεύθερων ριζών.	[28,17,18,19]
Λυοφυλίωση	Αποτελεσματική μέθοδος για τη διατήρηση του αρωματικού προφίλ του είδους <i>T. melanosporum</i> .	[28]
Προσθήκη 10% λινολεϊκού οξέος	Μείωση της μικροβιακής χλωρίδας της τρούφας.	[28]

5.2.1 Θερμικές επεξεργασίες

Θα μπορούσε κανείς να αποφανθεί ότι η πιο αποτελεσματική τεχνική για να διατηρηθεί η τρούφα ασφαλής προς κατανάλωση είναι η αποστείρωση σε αυτόκλειστο, δηλαδή η θέρμανσή της στους 120-130°C για 30 λεπτά, με αποτέλεσμα να καταστρέφονται όλα τα παθογόνα βακτήρια ενώ παράλληλα να διατηρείται η υφή και η γεύση της. Βέβαια, αυτή η μέθοδος κρίνεται μη αποτελεσματική όσον αφορά τη διατήρηση των αρωματικών πτητικών συστατικών ενώ έχει κυριαρχήσει να εφαρμόζεται κυρίως στη βιομηχανική παραγωγή τροφίμων όπως σάλτσες, έλαια και τυριά τα οποία έχουν ως συστατικό την τρούφα [28].

Σε αντίθεση με την αποστείρωση, το μπλανσάρισμα (blanching) αποτελεί μία αποτελεσματική θερμική επεξεργασία η οποία πραγματοποιείται κυρίως σε φρούτα, λαχανικά ακόμα και σε τρούφες πριν αυτά υποστούν κατάψυξη, κονσερβοποίηση ή ξήρανση. Πρόκειται για μία ασφαλή μέθοδο η οποία περιλαμβάνει τη σύντομη έκθεση του τροφίμου σε υψηλές θερμοκρασίες (γύρω στους 90°C για ένα με δύο λεπτά) με τη βοήθεια θερμού αέρα ή νερού και την άμεση αποθήκευσή του σε χαμηλές θερμοκρασίες κυρίως με τη χρήση πάγου. Αυτό δίνει τη δυνατότητα αδρανοποίησης διαφόρων ενζύμων όπως είναι η υπεροξειδάση (peroxidase, POD) και η πολυφαινολοξειδάση (polyphenoloxidase, PPO) τα οποία μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά το άρωμα, τη γεύση και τη διάρκεια ζωής της τρούφας ενώ ταυτόχρονα παραμένει σταθερή ως προς τα οργανοληπτικά και θρεπτικά της συστατικά.

Παρόλο που πρόκειται για μία αποτελεσματική μέθοδο συντήρησης, το υπερβολικό μπλανσάρισμα μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια υδατοδιαλυτών συστατικών όπως είναι οι βιταμίνες και οι φαινολικές

ενώσεις. Επομένως, κρίνεται απαραίτητο να βελτιστοποιηθούν οι συνθήκες στις οποίες αυτή πραγματοποιείται όπως ο χρόνος και η θερμοκρασία, προκειμένου η τρούφα να διατηρείται για όσο το δυνατόν περισσότερο χωρίς να χάνει τα απαραίτητα θρεπτικά της συστατικά.

5.2.2 Χρήση χλωρίου

Η χρήση του χλωρίου για την αντιμετώπιση τροφιμογενών ασθενειών ήταν ήδη γνωστή από τον 19^ο αιώνα, καθώς η χλωρίωση και το φιλτράρισμα του νερού που χρησιμοποιούνταν για το πότισμα των καλλιεργειών και το τάισμα των ζώων βοήθησαν στην αποφυγή μεταφοράς παθογόνων μικροοργανισμών στον άνθρωπο μέσω της τροφής. Επίσης, το χλώριο αποτελεί μέχρι και σήμερα μία από τις πιο αποτελεσματικές και φθηνές μεθόδους για την αντιμετώπιση ασθενειών που προσβάλλουν ευαίσθητες καλλιέργειες μετά τη συγκομιδή τους, με αποτέλεσμα να προκαλούνται δυσάρεστες οικονομικές και περιβαλλοντικές συνέπειες. Ένας από τους πιο ισχυρούς αντιμικροβιακούς παράγοντες που χρησιμοποιείται κυρίως σε φρέσκα φρούτα και λαχανικά συμπεριλαμβανομένων των μανιταριών είναι το διοξείδιο του χλωρίου, το οποίο προλαμβάνει από την ανάπτυξη βακτηρίων και μυκήτων αυξάνοντας έτσι τη διάρκεια ζωής τους ήδη από το χωράφι.

Πέρα όμως από τον πρωτογενή τομέα, η χρήση του χλωρίου γίνεται σημαντική και στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας τροφίμων, καθώς βοηθά στην ταχύτατη εξάλειψη παθογόνων μικροοργανισμών και στην πρόληψη πιθανής διασταυρούμενης επιμόλυνσης. Βέβαια, η αποτελεσματικότητα της απολύμανσης με χλώριο εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως είναι η θερμοκρασία, το pH, η υφή και η γεωμετρική δομή των επιφανειών, ακόμα και το είδος των μικροοργανισμών που προσβάλλουν την κάθε επιφάνεια. Επίσης, άλλοι περιορισμοί που προκύπτουν από τη χρήση του χλωρίου είναι η απώλεια της ποιότητας του τροφίμου, η διάβρωση μετάλλων και η παραγωγή αερίων όταν χρησιμοποιούνται υπερβολικές συγκεντρώσεις και ταυτόχρονα όταν το pH είναι χαμηλό. Τέλος, η απολυμαντική δράση του χλωρίου μειώνεται όταν αυτό έρχεται σε επαφή με οργανική ύλη [29,30] η οποία στην περίπτωση της τρούφας βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα με αποτέλεσμα η μέθοδος αυτή να καθίσταται μη αποτελεσματική [19].

5.2.3 Χρήση υπερήχων

Η χρήση των υπερήχων χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία τροφίμων και αποτελεί μία καινοτόμο και μη θερμική επεξεργασία με σκοπό τη βελτιστοποίηση της ποιότητας και της ασφάλειας των τροφίμων. Θεωρείται μία από τις πιο οικονομικές, απλές και ταυτόχρονα φιλικές ως προς το περιβάλλον μεθόδους, χωρίς να επηρεάζει την υγεία του ανθρώπου, ενώ ταυτόχρονα συμβάλει στη μείωση του μικροβιακού φορτίου παρατείνοντας τη διάρκεια ζωής του τροφίμου διατηρώντας ταυτόχρονα τα οργανοληπτικά του χαρακτηριστικά και τα θρεπτικά του συστατικά.

Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου οφείλεται στο φαινόμενο της σπηλαίωσης και στη δημιουργία και κατάρρευση φυσαλίδων που σχηματίζονται μέσα σε ένα υγρό μέσο. Οι υπερήχοι είναι ηχητικά

κύματα με συχνότητες άνω των 20kHz τα οποία διασπείρονται μέσα σε ένα υγρό μέσο και δημιουργούν εναλλασσόμενες περιοχές υψηλής και χαμηλής πίεσης. Όταν οι διακυμάνσεις της πίεσης είναι αρκετά υψηλές, τότε τα μόρια του νερού αποσυντίθενται και δημιουργούν μία κοιλότητα η οποία συνεχίζει να αναπτύσσεται λόγω της συνεχούς διάδοσης των ηχητικών κυμάτων στο υγρό μέσο, σχηματίζοντας έτσι φυσαλίδες σπηλαίωσης. Οι φυσαλίδες συνεχίζουν να αυξάνονται σε μέγεθος μέχρι την απότομη διάσπασή τους, με αποτέλεσμα να δημιουργείται τοπική υψηλή θερμοκρασία (5500K) και πίεση (50MPa). Αυτή η έντονη απελευθέρωση ενέργειας μπορεί να προκαλέσει διαταραχή των κυτταρικών μεμβρανών των μικροβίων με αποτέλεσμα την αδρανοποίησή τους και ταυτόχρονα αύξηση της διαπερατότητας των ιστών της τρούφας ώστε να καταφέρουν να διεισδύσουν αντιμικροβιακές ουσίες οι οποίες θα δράσουν ενάντια στους παθογόνους μικροοργανισμούς.

Επίσης, ο συνδυασμός υπερήχων με ένα απολυμαντικό μέσο όπως είναι η αιθανόλη δείχνει να ενισχύει σημαντικά τη βακτηριοκτόνο δράση με αποτέλεσμα η τρούφα να μπορεί να παραμένει μικροβιακά και οργανοληπτικά σταθερή για μεγάλο χρονικό διάστημα. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τους Rivera, κ.α. (2011), η χρήση υπερήχων για δέκα λεπτά σε συνδυασμό με αιθανόλη σε ποσοστό 70% στα είδη *T. aestivum* και *T. melanosporum* οδήγησε σε μείωση των ψευδομονάδων κατά τρεις λογαριθμικούς κύκλους, των εντεροβακτηρίων και των γαλακτικών βακτηρίων πάνω από δύο λογαριθμικούς κύκλους, ενώ οι ζύμες και οι μύκητες εξαλείφθηκαν πλήρως. Επίσης, η μετέπειτα αποθήκευσή τους σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα σε θερμοκρασία ψύξης (4°C) βοήθησε σε παράταση της διάρκειας ζωής τους μέχρι και τέσσερις εβδομάδες [31].

5.2.4 Χρήση ακτινοβολίας γ

Η χρήση ακτινοβολίας γ στα ευπαθή τρόφιμα, όπως είναι τα φρέσκα μανιτάρια και οι τρούφες, αποτελεί μία καινοτόμο και αποτελεσματική μέθοδο συντήρησης καθώς μπορεί να συνδυάσει τη μείωση του μικροβιακού φορτίου ενός τροφίμου διατηρώντας ταυτόχρονα αναλλοίωτα τα οργανοληπτικά του χαρακτηριστικά. Παρόλο που προτείνεται ως αποτελεσματική μέθοδος συντήρησης, απαιτείται ακόμα αρκετή έρευνα για τις δόσεις που πρέπει να εφαρμόζονται σε κάθε είδος τρούφας ώστε να επιτευχθεί ο ιδανικός συνδυασμός της μικροβιακής μείωσης και της διατήρησης του αρώματος και των βιοδραστικών ουσιών της. Μελέτες έχουν δείξει ότι στις μαύρες τρούφες, οι οποίες έχουν υποστεί ιονίζουσα ακτινοβολία, το μικροβιακό φορτίο μπορεί να μειωθεί έως και πέντε λογαριθμικούς κύκλους και να διατηρηθούν έως και 21 μέρες μικροβιακά και οργανοληπτικά σταθερές. Όσο υψηλότερη δόση εφαρμόζεται, μεταξύ 5 και 10kGy (kilogray), τόσο πιο μικροβιακά σταθερή καθίσταται η τρούφα αλλά με κίνδυνο απώλειας των οργανοληπτικών της χαρακτηριστικών. Χαμηλές δόσεις ακτινοβολίας μεταξύ 1 και 2.5kGy μπορούν να μειώσουν την

κυρίαρχη μικροχλωρίδα της τρούφας διατηρώντας τα επίπεδα σταθερά για αρκετές μέρες χωρίς να επιφέρονται σημαντικές αλλαγές στα αρωματικά συστατικά [5,17,27].

Όσον αφορά τα επίπεδα των θρεπτικών και βιοδραστικών συστατικών, σύμφωνα με τη μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τους Tejedor- Calvo, κ.α. (2020) για το είδος *T. aestivum*, παρατηρήθηκε ότι σε μικρές δόσεις ιονίζουσας ακτινοβολίας παραμένουν σχετικά σταθερά κατά τη διάρκεια της αποθήκευσής τους. Πιο συγκεκριμένα, το σύνολο των υδατανθράκων, μετά από την εφαρμογή της ακτινοβολίας, δεν υπέστη αλλαγές ενώ αυτό παρέμεινε σταθερό ακόμα και μετά από 42 μέρες αποθήκευσης της τρούφας. Σχετικά με το σύνολο των πρωτεϊνών, δεν παρατηρήθηκε διαφορά στα επίπεδα πριν και μετά τη δράση της ακτινοβολίας παρά μία μικρή μείωση σε ακτινοβολημένες τρούφες με δόσεις μεγαλύτερες από 0.5kGy στις πρώτες ημέρες αποθήκευσης.

Επίσης, τα επίπεδα της β-γλυκάνης σε ακτινοβολημένες τρούφες παρέμειναν σταθερά καθ' όλη τη διάρκεια αποθήκευσής τους ενώ μικρή μείωση παρατηρήθηκε προς το τέλος της διάρκειας ζωής τους όπου το μικροβιακό φορτίο ήταν υψηλότερο. Η ακτινοβολία γ δεν έδειξε να επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό και τα επίπεδα των στερολών στην τρούφα, ενώ η στιγμαστερόλη σε σχέση με την εργοστερόλη και τη βρασικαστερόλη φάνηκε να είναι πιο ευαίσθητη ακόμα και σε μικρές δόσεις ακτινοβολίας.

Τέλος, παρατηρήθηκε ότι η ακτινοβολία επηρεάζει σημαντικά τις φαινολικές ενώσεις των ειδών *T. aestivum* και *T. melanosporum*. Πιο συγκεκριμένα στις πρώτες μέρες αποθήκευσης παρατηρείται μία μικρή αύξηση των επιπέδων, στη συνέχεια μείωση και προς το τέλος της διάρκειας ζωής της τρούφας τα επίπεδα αυξάνονται και πάλι. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι πολλές φαινολικές ενώσεις αποτελούν προϊόντα δευτερογενούς μεταβολισμού ο οποίος ενεργοποιείται μετά από καταστάσεις στρες, όπως ακτινοβολία ή μικροβιακή αλλοίωση, γι' αυτό και η αύξηση των επιπέδων τους μετά την εφαρμογή της ακτινοβολίας και προς το τέλος της διάρκειας ζωής τους λόγω της μικροβιακής αύξησης [27].

6. Πιθανοί κρυφοί κίνδυνοι της τρούφας

Εκτός όμως από τα διάφορα οφέλη που μπορεί να έχει η κατανάλωση της τρούφας στην υγεία του οργανισμού μπορεί να κρύβει και διάφορους κινδύνους-απάτες τόσο οικονομικούς και ηθικούς όσο και κινδύνους που μπορεί να αφορούν την ανθρώπινη ασφάλεια.

6.1 Υγεία και ασφάλεια

Η τρούφα πρόκειται για μία τροφή η οποία, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, μπορεί να επιμολυνθεί εύκολα από παθογόνους μικροοργανισμούς οι οποίοι κατ' επέκταση μπορεί να προκαλέσουν δυσάρεστες επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου. Λόγω του ότι επιβιώνει και αναπτύσσεται κάτω από το έδαφος μπορεί να επιμολυνθεί από διάφορα βακτήρια και μύκητες του εδάφους. Επίσης, οι συνθήκες στις οποίες ευδοκιμεί (υψηλή υγρασία και θερμά κλίματα) είναι ευνοϊκές για την ανάπτυξη πολλών παθογόνων βακτηρίων, γι' αυτό το λόγο ο τρόπος συντήρησης που θα επιλεγεί παίζει σημαντικό ρόλο για την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη παράταση της διάρκειας ζωής της. Τέλος, η τρούφα μπορεί να επιμολυνθεί και από τον κακό χειρισμό που μπορεί να υποστεί κατά τη συγκομιδή της είτε από τη χρήση μη αποστειρωμένων εργαλείων είτε από διάφορους μικροτραυματισμούς, με αποτέλεσμα να καταστρέφεται το εξωτερικό της περίβλημα το οποίο αποτελεί φυσικό εμπόδιο στην είσοδο διάφορων μικροοργανισμών.

6.1.1 Παθογόνα βακτήρια

Τα διάφορα παθογόνα βακτήρια που μπορούν να βρεθούν στην τρούφα κρύβουν διάφορους κινδύνους για την υγεία οι οποίοι μπορεί να κυμαίνονται από μία απλή γαστρεντερική διαταραχή μέχρι και θάνατο. Για παράδειγμα, τα αερόβια βακτήρια όπως η *Salmonella* spp., η *Escherichia Coli* και η *Listeria monocytogenes* προκαλούν τροφική δηλητηρίαση με συμπτώματα κυρίως διάρροια, εμετό και πυρετό. Σε αντίθεση, με το αναερόβιο βακτήριο *Clostridium Botulinum* το οποίο υπό αναερόβιες συνθήκες παράγει μία νευροτοξίνη η οποία επηρεάζει το νευρικό σύστημα και οδηγεί σε μυϊκή παράλυση και αναπνευστική ανεπάρκεια [32]. Το προαιρετικά αναερόβιο βακτήριο *Bacillus cereus* το οποίο βρίσκεται κυρίως στο έδαφος παράγει τοξίνες, με συνέπεια όταν καταναλωθεί να προκαλεί γαστρεντερικές διαταραχές. Τέλος, ο συγκεκριμένος μικροοργανισμός έχει φανεί ότι εμπλέκεται και με σοβαρές λοιμώξεις σε ανοσοκατεσταλμένους ασθενείς οι οποίες οδηγούν σε σηψαιμία και ενδοφθαλμίτιδα, μία πάθηση που καταλήγει σε τύφλωση [33].

6.1.2 Μύκητες

Πέρα όμως από τα παθογόνα βακτήρια, στις τρούφες κυριαρχούν και διάφοροι μύκητες οι οποίοι μπορούν να αναπτυχθούν είτε κατά τη διάρκεια της συγκομιδής της τρούφας είτε κατά την αποθήκευσή της σε συνθήκες ευνοϊκές για την επιβίωσή τους. Κάποια σημαντικά γένη μυκήτων που αξίζει να αναφερθούν είναι ο *Aspergillus*, ο *Penicillium* και ο *Fusarium* οι οποίοι παράγουν μυκοτοξίνες, σαν δευτερογενείς μεταβολίτες, και οι οποίες έχει φανεί ότι είναι άκρως επικίνδυνες

τόσο για την υγεία των ανθρώπων όσο και των ζώων. Οι μυκοτοξίνες όπως είναι οι αφλατοξίνες (AFs), η ωχρατοξίνη Α (OTA) και οι φουμονισίνες (FMNs) μπορούν να επιβιώσουν στα τρόφιμα ακόμα και μετά από απουσία του μύκητα και προσβάλουν τον οργανισμό μέσω της κατανάλωσης αυτών των τροφίμων. Η μακροχρόνια κατανάλωση τροφών μολυσμένων με μυκοτοξίνες μπορεί να οδηγήσει σε επιπτώσεις μη αναστρέψιμες πολλές φορές για την υγεία όπως είναι ο καρκίνος, διάφορες αλλεργικές αντιδράσεις, τοξικότητα οργάνων, κοιλιακό άλγος, προβλήματα στην ανάπτυξη και τη γονιμότητα.

6.1.2.1 Αφλατοξίνες

Οι αφλατοξίνες (AFs) χαρακτηρίζονται από τις πιο επικίνδυνες μυκοτοξίνες με σοβαρές επιδράσεις στον οργανισμό οι οποίες σχετίζονται κυρίως με βλάβες στο ήπαρ, ενώ η μακροχρόνια έκθεση σε αυτές μπορεί να οδηγήσει ακόμα και σε κίρρωση. Επίσης, είναι πιθανό να επηρεάσουν και άλλα όργανα του οργανισμού όπως τους πνεύμονες και τους νεφρούς ενώ ταυτόχρονα είναι υπεύθυνη για μεταλλάξεις του DNA, τερατογένεση και υπογονιμότητα [34].

Πιο συγκεκριμένα, η αφλατοξίνη B1 χαρακτηρίζεται από τις πιο τοξικές αφλατοξίνες για τον οργανισμό και κατατάσσεται στην Ομάδα 1 σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Έρευνας για τον Καρκίνο (International Agency for Research on Cancer, IARC). Η μακροχρόνια έκθεση σε αυτή μπορεί να επιφέρει κοιλιακό άλγος, διάρροια, ανορεξία και ίκτερο μέχρι και βλάβες στο DNA ακόμα και θάνατο. Επίσης, έχει συνδεθεί με την ανάπτυξη ηπατοκυτταρικού καρκινώματος αναστέλλοντας τη δραστηριότητα του ογκοκατασταλτικού γονιδίου p53, ενώ έχει αποδειχθεί ότι ο συνδυασμός της αφλατοξίνης B1 με την ηπατίτιδα Β αυξάνει κατά πολύ την πιθανότητα για την ανάπτυξη αυτού του τύπου καρκίνου. Τέλος, η αφλατοξίνη B1 επηρεάζει και την υγεία των παιδιών προκαλώντας εντεροπάθειες και ραχίτιδα [34].

6.1.2.2 Προληπτικά μέτρα για την αντιμετώπιση των μυκοτοξινών

Προκειμένου να προληφθεί η επιμόλυνση της τρούφας από τα συγκεκριμένα είδη μυκήτων και τις αντίστοιχες τοξίνες που αυτά παράγουν, είναι απαραίτητη η εφαρμογή κατάλληλων μέτρων ήδη από το χωράφι, κατά το στάδιο της συγκομιδής έως την αποθήκευσή της. Κάποια από τα μέτρα είναι η έγκαιρη συγκομιδή με το σωστό εξοπλισμό και το σωστό χειρισμό, η αποφυγή της συγκομιδής με υψηλή υγρασία, η αποθήκευση της τρούφας σε συνθήκες μη ευνοϊκές για την ανάπτυξη μυκήτων, ο σωστός αερισμός και η απεντόμωση των χώρων αποθήκευσης.

Επίσης, μπορούν να εφαρμοστούν εναλλακτικές μέθοδοι κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης της τρούφας όπως θέρμανση, επεξεργασία με όζον ή ακτινοβολία, καθώς φαίνεται να μειώνουν τα επίπεδα ορισμένων μυκοτοξινών αλλά όχι να τα εξαλείφουν. Επίσης, η προσθήκη βιταμίνης C, κουρκουμίνης, ενεργού άνθρακα και άλλων δεσμευτικών ουσιών με βάση τη γλυκάνη μπορούν να περιορίσουν την επιμόλυνση της τρούφας από διάφορες μυκοτοξίνες.

6.1.3 Επιπλέον πιθανοί κίνδυνοι της τρούφας για την υγεία

Πέρα όμως από τους βιολογικούς και χημικούς κινδύνους που μπορεί να κρύβει η τρούφα και οι οποίοι μπορούν να απειλήσουν την ανθρώπινη υγεία, έχουν μείνει ανεξερευνήτα ακόμα πολλά ερωτήματα που σχετίζονται με θέματα που αφορούν την υγεία. Για παράδειγμα, έχει διαπιστωθεί μέσω ερευνών ότι η χιτίνη πρόκειται για έναν πολυσακχαρίτη ο οποίος αποτελεί κύριο συστατικό των κυτταρικών τοιχωμάτων της τρούφας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα χιτινολυτικά βακτήρια (όπως *Pseudomonas fluorescens* και *Bacillus spp.*) να αναπτύσσονται εκεί και να διασπούν τη χιτίνη μέσω της παραγωγής ειδικών ενζύμων (χιτινάσες) σε μικρότερα σάκχαρα όπως N-ακετυλογλυκοζαμίνη. Η χιτίνη και κατ' επέκταση η N-ακετυλογλυκοζαμίνη ανιχνεύονται κυρίως στο κυτταρικό τοίχωμα του είδους *T. borchii* και μπορούν να προκαλέσουν ανοσολογική απόκριση. Επιπλέον, έχουν αριθμηθεί περιστατικά γαστρεντερικών διαταραχών μετά από κατανάλωση της τρούφας μαζί με το κυτταρικό της τοίχωμα, καθώς η χιτίνη δεν μπορεί εύκολα να διασπαστεί από τα ανθρώπινα ένζυμα [3].

Επίσης, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, το ένζυμο COX-2 είναι υπεύθυνο για τη σύνθεση των προσταγλανδινών οι οποίες προάγουν την φλεγμονή. Οι τρούφες χάρη στην αντιφλεγμονώδη δράση τους αναστέλλουν την δράση του ενζύμου με αποτέλεσμα να προλαμβάνονται χρόνιες φλεγμονές που τελικά οδηγούν σε χρόνιες παθήσεις. Ωστόσο, το ανανδαμίδιο που υπάρχει κυρίως στις μαύρες τρούφες μέσω της δράσης του ενζύμου COX-2 μετατρέπεται στις προσταγλανδίνες PG-EAs οι οποίες έχει μελετηθεί ότι προκαλούν απόπτωση των καρκινικών κυττάρων. Απαιτείται, επομένως, περαιτέρω διερεύνηση και μελέτη του συγκεκριμένου θέματος ώστε να υπάρξουν περισσότερα και πιο ακριβή δεδομένα για την ανασταλτική δράση της τρούφας έναντι των ενζύμων COX και LOX και για τις αντιφλεγμονώδεις και αντικαρκινικές της ιδιότητες.

Συνοψίζοντας, όσον αφορά το κομμάτι της ασφάλειας και των πιθανών κινδύνων που μπορεί να κρύβει η τρούφα δεν έχει δοθεί αρκετή επιστημονική βάση ενώ το μεγαλύτερο μέρος των μελετών έχει επικεντρωθεί στα οφέλη που παρουσιάζει η τρούφα στην υγεία παρά στους κινδύνους που μπορεί να συντρέχουν έπειτα από την κατανάλωσή της. Και αυτό πιθανώς συμβαίνει γιατί είναι δύσκολο να καταναλωθεί από μεγάλο πλήθος ανθρώπων καθώς πρόκειται για δυσεύρετη και εξαιρετικά ακριβή τροφή [3].

6.2 Ηθικοί κίνδυνοι

Δεδομένου ότι η τρούφα ανήκει στην κατηγορία των τροφίμων υψηλής αξίας και μεγάλης ζήτησης, πολλές εταιρίες τείνουν να εφαρμόζουν εναλλακτικές πρακτικές προκειμένου να γίνει πιο οικονομικά προσιτή και διαθέσιμη σε περισσότερους καταναλωτές. Αυτό μπορεί να γίνει με τη χρήση ειδών τρούφας χαμηλότερης αξίας τα οποία μοιάζουν μορφολογικά με τα πολύτιμα είδη *T. magnatum* και *T. melanosporum* αλλά κοστίζουν πολύ λιγότερο. Επίσης, ενναλακτική αποτελεί ο εμπλουτισμός οικονομικότερων ειδών τρούφας ακόμα και τροφίμων με φυσικές ή συνθετικές αρωματικές ενώσεις

ώστε να αποδοθεί το χαρακτηριστικό επιθυμητό άρωμα. Τέλος, η χρήση υπολειμμάτων τρούφας χαμηλότερης ποιότητας για την παραγωγή υποπροϊόντων όπως σάλτσες, έλαια και αλείμματα, προσδίδει μια αίσθηση πολυτέλειας στο τρόφιμο ενώ ταυτόχρονα αποτελεί μία οικονομική λύση για τον καταναλωτή,

Παρά το γεγονός ότι οι εναλλακτικές πρακτικές επεξεργασίας και διάθεσης της τρούφας συμβάλλουν στη διευκόλυνση της πρόσβασής της σε περισσότερα καταναλωτικά στρώματα, μπορεί να εγκυμονούν σημαντικούς κινδύνους για την παγκόσμια αγορά, τόσο οικονομικούς όπως πτώση της αξίας της πολύτιμης τρούφας, όσο και ηθικούς όπως παραπλάνηση του καταναλωτικού κοινού. Και αυτό διότι μέχρι και σήμερα δεν έχουν θεσπιστεί οι κατάλληλες διεθνείς και εθνικές νομοθεσίες όσον αφορά την τρούφα και τα προϊόντα τρούφας [18].

6.2.1 Νομοθετικά πλαίσια

Η έλλειψη παγκόσμιας νομοθεσίας σχετικά με την καλλιέργεια, επεξεργασία και επισήμανση της τρούφας και των προϊόντων τρούφας, αποτελεί ένα σοβαρό ζήτημα με σημαντικές οικονομικές, εμπορικές και καλλιεργητικές επιπτώσεις. Για παράδειγμα, η μη σαφής νομοθεσία για την επισήμανση των προϊόντων που περιέχουν ως συστατικό την τρούφα έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση οποιασδήποτε εικόνας και λέξης σχετικά με την τρούφα πάνω σε ετικέτες οι οποίες στην πραγματικότητα μπορεί να μην αντιπροσωπεύουν το συγκεκριμένο είδος τρούφας, την εγγραφή ή μη της ποσότητας που χρησιμοποιήθηκε ή του τρόπου με τον οποίο παράχθηκε το συγκεκριμένο προϊόν [16]. Έτσι, ο καταναλωτής βρίσκεται σε σύγχυση για το τι τελικά καταναλώνει με αποτέλεσμα να χάνεται η αξιοπιστία του σχετικά με την ασφάλεια και την ποιότητα των τροφίμων, κάτι που θα έχει επιπλέον αρνητικό αντίκτυπο στην αγορά καθώς καταστρέφονται μεγάλες αξιόπιστες επιχειρήσεις και προάγεται ο αθέμιτος ανταγωνισμός και η εξαπάτηση.

Η απουσία νομικών πλαισίων έχει αρνητικές επιπτώσεις και στον οικονομικό τομέα καθώς ενισχύεται η προώθηση μη πιστοποιημένων προϊόντων με αποτέλεσμα να καθίσταται δύσκολη η ιχνηλασιμότητά τους ενώ δημιουργούνται στην αγορά συνθήκες αδιαφάνειας και αβεβαιότητας, ενώ ταυτόχρονα προωθείται η φοροδιαφυγή και η αισχροκέρδεια. Επίσης, η έλλειψη πιστοποιημένων προϊόντων με βάση την τρούφα εμποδίζει τις εξαγωγικές διαδικασίες ενώ επιτρέπει να διακινούνται προϊόντα αγνώστου προέλευσης και ποιότητας σε πολύ υψηλές τιμές.

Πέρα από τις οικονομικές και ηθικές συνέπειες, η έλλειψη νομοθετικού πλαισίου απειλεί και το ίδιο το περιβάλλον. Η ανεξέλεγκτη συλλογή της άγριας τρούφας οδηγεί σε εξάντληση των φυσικών αποθεμάτων και επηρεάζει τα δέντρα με τα οποία συμβιώνει μυκητορζικά διαταράσσοντας το οικοσύστημα και την οικολογική ισορροπία. Επίσης, η διαρκής ζήτηση της τρούφας οδηγεί στην ανάγκη για καλλιέργεια μεγάλων εκτάσεων φυτειών και στην αποψίλωση των δασών, με συνέπεια τη διατάραξη της τοπικής χλωρίδας και πανίδας και την περιορισμένη φυσική βλάστηση. Η υπερβολική

χρήση φυτοφαρμάκων και η χρησιμοποίηση μεθόδων καλλιέργειας από παραγωγούς με μικρό γνωστικό επίπεδο αποτελούν επίσης σοβαρές απειλές για το περιβάλλον και κατ' επέκταση για τον ίδιο τον άνθρωπο.

Η Οικονομική Επιτροπή των Ηνωμένων Εθνών για την Ευρώπη (United Nations Economic Commission for Europe, UNECE) δημοσίευσε ένα μη υποχρεωτικό πρότυπο για την διευκόλυνση του διεθνούς εμπορίου και του ελέγχου ποιότητας της τρούφας. Το πρότυπο αυτό αναφέρει τις επιστημονικές και τις κοινές ονομασίες διάφορων ειδών τρούφας και τις κατατάσσει σε τρεις κατηγορίες με βάση την ποιότητα και το βάρος τους. Επίσης, αναφέρει τα σημαντικά στοιχεία που θα πρέπει να αναγράφονται σε κάθε συσκευασία για τη διαφάνεια και την ιχνηλάτηση του προϊόντος (Unece Standard FFV-53, United Nations, 2017). Βέβαια, οι κύριες χώρες παραγωγής και εμπορίου διαθέτουν εξειδικευμένες νομοθετικές διατάξεις σχετικά με την συλλογή, επεξεργασία, ασφάλεια και επισήμανση της τρούφας και των προϊόντων τρούφας [16].

Όσον αφορά την Γαλλία, έχει θεσπίσει την πιο αυστηρή νομοθεσία για την τρούφα και τα προϊόντα τρούφας. Στο Διάταγμα αριθ. 2012-129 της 30^{ης} Ιανουαρίου 2012, ορίζεται ότι «ο όρος «με χυμό τρούφας» ή «αρωματισμένο με χυμό τρούφας» θα πρέπει να αναγράφεται στη συσκευασία εφόσον το προϊόν περιέχει τουλάχιστον 3% τρούφα που ανήκει στα είδη *T. melanosporum*, *T. brumale* και *T. magnatum* τα οποία και αναγράφονται στο προϊόν με τις κοινές τους ονομασίες. Οποιαδήποτε άλλη αναφορά στον όρο «τρούφα» πρέπει να ακολουθείται από την κοινή ονομασία του είδους και το ποσοστό που έχει χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή του προϊόντος με την προϋπόθεση να είναι μεγαλύτερο από 1%» [16]. Αυτό έχει ως στόχο να διασφαλίζεται η διαύγεια των καταναλωτών και η ποιότητα και η εμπορική αξία των προϊόντων.

Η Ιταλία διαθέτει επίσης ένα ολοκληρωμένο νομοθετικό πλαίσιο σχετικά με τη συλλογή, την καλλιέργεια και την εμπορία της φρέσκιας και επεξεργασμένης τρούφας υποδεικνύοντας τις εταιρίες που μπορούν να παράξουν προϊόντα με βάση τη τρούφα καθώς και μία λίστα με όλα τα είδη τρούφας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Η Ισπανία, αν και θεωρείται η χώρα με τη μεγαλύτερη παραγωγή μαύρης τρούφας παγκοσμίως, έχει μία γενική νομοθεσία σχετικά με τους υγειονομικούς όρους που ισχύουν για την μεταποίηση, παραγωγή και διανομή ωμών και επεξεργασμένων μανιταριών καθώς και μία λίστα με όλα τα είδη τρούφας που επιτρέπονται για μεταποίηση και αγορά [16,18].

Συμπερασματικά, η έλλειψη σαφών νομικών πλαισίων και κανονισμών σχετικά με την καλλιέργεια, την επεξεργασία και διανομή της τρούφας, επιτρέπει ακόμα και σήμερα την εξέλιξη αυτής της αγοράς σε ένα ευέλικτο περιβάλλον με σοβαρό κίνδυνο την εξαπάτηση, την αδιαφάνεια και την ανεξέλεγκτη εκμετάλλευση. Παρόλο που υπάρχουν κανονισμοί και νομοθεσίες για τα γεωργικά προϊόντα, την υγιεινή και ασφάλεια των τροφίμων και την επισήμανσή τους, απαιτούνται πιο συγκεκριμένες

νομοθετικές διατάξεις για την τρούφα χάρη στο μεγάλο ενδιαφέρον που φαίνεται να κερδίζει στην αγορά λόγω της γαστρονομικής της αξίας και των θετικών επιπτώσεών της στην υγεία.

7. Συμπεράσματα

Η παρούσα βιβλιογραφική ανασκόπηση επικεντρώθηκε στα διάφορα είδη τρούφας του γένους *Tuber*, αναδεικνύοντας αυτές όχι μόνο ως ένα προϊόν με υψηλή γαστρονομική αξία αλλά και ως μία πηγή πλούσια σε θρεπτικά και βιοδραστικά συστατικά με πολλές υποσχόμενες ευεργετικές επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία.

Πολλές ενδείξεις καθιστούν σαφές ότι τόσο οι λευκές (π.χ. *Tuber magnatum*) όσο και οι μαύρες (π.χ. *Tuber aestivum*) τρούφες λόγω των φαινολικών ενώσεων, των στερολών και άλλων αντιοξειδωτικών ουσιών που περιέχουν, αποτρέπουν το οξειδωτικό στρες και συμβάλλουν στην αδρανοποίηση βασικών ενζύμων που προάγουν τη φλεγμονή η οποία είναι υπεύθυνη για διάφορες χρόνιες παθήσεις. Επιπλέον, παρόλο που δεν υπάρχουν πολλές μελέτες που να αποδεικνύουν άμεσα τις αντικαρκινικές ιδιότητες της τρούφας, αρκετές ενδείξεις καταδεικνύουν ότι οι φυτοστερόλες και οι πολυσακχαρίτες που βρίσκονται στα διάφορα είδη του γένους *Tuber* μπορούν να καταπολεμήσουν διάφορους τύπους καρκίνου. Μάλιστα, έχουν γίνει και αρκετές αναφορές σχετικά με τις αφροdisιακές και αντικαταθλιπτικές ιδιότητες της τρούφας χωρίς ακόμα να υπάρχουν σαφή δεδομένα για την πραγματική επίδρασή της στην ψυχική υγεία.

Επίσης, η τρούφα πέρα από τα πλεονεκτήματα που έχει, μπορεί να κρύβει και διάφορους κινδύνους οι οποίοι ωστόσο δεν έχουν μελετηθεί επαρκώς. Καθώς πρόκειται για ένα ευπαθές τρόφιμο με υψηλή υγρασία, το οποίο ευδοκιμεί σε θερμά κλίματα, παρουσιάζει αυξημένη ευαισθησία στην ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών και μυκήτων κάποιοι από τους οποίους είναι εξαιρετικά επικίνδυνοι για την υγεία. Μάλιστα, μικρή επιστημονική βάση έχει δοθεί στις αλλεργικές αντιδράσεις που πιθανόν προκαλούν τα διάφορα είδη τρούφας του γένους *Tuber* και στις ενδεχόμενες επιπτώσεις στον οργανισμό, παρόλο που υπάρχουν αναφορές σχετικά με τη χιτίνη η οποία έχει αποδειχθεί ότι βρίσκεται στο κυτταρικό τοίχωμα του γένους *T. borchii* και μπορεί να προκαλέσει ανοσολογική απόκριση.

Η εύρεση νέων μεθόδων επεξεργασίας και συντήρησης της τρούφας αποτελούν σημαντική πρόκληση για τον επιστημονικό κόσμο καθώς η ευαισθησία της στη μικροβιακή αλλοίωση μπορεί να επιφέρει αλλαγές τόσο στα οργανοληπτικά της χαρακτηριστικά όσο και στη θρεπτική της αξία. Σύγχρονες μέθοδοι, όπως η χρήση υπερήχων, ιονίζουσας ακτινοβολίας και τροποποιημένης ατμόσφαιρας φαίνεται να προσφέρουν πολλά οφέλη τόσο στη διάρκεια ζωής της τρούφας όσο και στο αρωματικό και διατροφικό της προφίλ. Ωστόσο είναι απαραίτητη η επιπλέον διερεύνησή των μεθόδων αυτών προκειμένου να μελετηθεί εκτενέστερα ο τρόπος με τον οποίο επιδρούν στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και κυρίως στα βιοδραστικά συστατικά της τρούφας.

Συμπερασματικά, παρόλο που η τρούφα αποτελεί μία τροφή παγκοσμίως γνωστή για την εκλεπτυσμένη γεύση και την υψηλή διατροφική της αξία, υπάρχουν ακόμα και σήμερα πολλά ανεξερευνήτα πεδία προς μελλοντική διερεύνηση. Αν και γνωρίζουμε ότι η τρούφα διαθέτει πληθώρα βιοδραστικών συστατικών, παραμένει ακόμα σε μεγάλο βαθμό άγνωστος ο τρόπος με τον οποίο απορροφούνται και μεταβολίζονται στον ανθρώπινο οργανισμό ακόμα και ποια είναι η βιοδιαθεσιμότητά τους. Η πιο συστηματική προσέγγιση σε αυτό το πεδίο θα μπορούσε να επιφέρει πιο σαφή και τεκμηριωμένα αποτελέσματα σχετικά με την πραγματική επίδραση της τρούφας στον ανθρώπινο οργανισμό. Με αυτό τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα για την καλύτερη αξιοποίησή της όχι μόνο στο τομέα της διατροφής και της επιστήμης των τροφίμων αλλά και για τη διερεύνηση της πιθανής χρήσης της σε τομείς όπως η φαρμακοβιομηχανία και η βιομηχανία καλλυντικών. Έτσι, χαρακτηρίζεται ένα πολυδιάστατο προϊόν με προοπτικές που μπορεί να ξεπεράσουν τα όρια της διατροφής και της υγείας.

8. Βιβλιογραφικές αναφορές

1. Allen K, Bennett JW. Tour of truffles: aromas, aphrodisiacs, adaptogens, and more. *Mycobiology*. 2021;49(3):201-212.
2. Mustafa AM, Angeloni S, Nzekoue FK, Abouelenein D, Sagratini G, Caprioli G, Torregiani E. An overview on truffle aroma and main volatile compounds. *Molecules*. 2020;25(24):5948.
3. Patel S, Rauf A, Khan H, Khalid S, Mubarak MS. Potential health benefits of natural products derived from truffles: A review. *Trends in Food Science & Technology*. 2017;70:1-8.
4. Khalifa SA, Farag MA, Yosri N, Sabir JS, Saeed A, Al-Mousawi SM, El-Seedi HR. Truffles: From Islamic culture to chemistry, pharmacology, and food trends in recent times. *Trends in Food Science & Technology*. 2019;91:193-218.
5. Wang S, Marcone MF. The biochemistry and biological properties of the world's most expensive underground edible mushroom: Truffles. *Food Research International*. 2011;44(9):2567-2581.
6. Herrero de Aza C, Armenteros S, McDermott J, Mauceri S, Olaizola J, Hernández-Rodríguez M, Mediavilla O. Fungal and bacterial communities in *Tuber melanosporum* plantations from northern Spain. *Forests*. 2022;13(3):385.
7. Reyna S, Garcia-Barreda S. Black truffle cultivation: a global reality. *Forest systems*. 2014;23(2):317-328.
8. Strojnik L, Grebenc T, Ogrinc N. Species and geographic variability in truffle aromas. *Food and Chemical Toxicology*. 2020;142:111434.
9. Graziosi S, Hall IR, Zambonelli A. The mysteries of the white truffle: its biology, ecology and cultivation. *Encyclopedia*. 2022;(4):1959-1971.
10. Streiblová E, Gryndlerová H, Valda S, Gryndler M. *Tuber aestivum*–hypogeous fungus neglected in the Czech Republic. A review. *Czech Mycology*. 2010; 61(2):163-173.
11. Zambonelli A, Iotti M, Murat C. True Truffle (spp.) in the world: soil ecology, systematics and biochemistry. Cham, Switzerland: Springer;2016
12. Mrak T, Grebenc T, Friedrich S, Münzenberger B. Description, identification, and growth of *Tuber borchii* Vittad. mycorrhized *Pinus sylvestris* L. seedlings on different lime contents. *Mycorrhiza*. 2024;34(1):85-94.

13. Niimi J, Deveau A, Splivallo R. Aroma and bacterial communities dramatically change with storage of fresh white truffle *Tuber magnatum*. *LWT*. 2021; 151:112125.
14. Xiao DR, Liu RS, He L, Li HM, Tang YL, Liang XH, Tang YJ. Aroma improvement by repeated freeze-thaw treatment during *Tuber melanosporum* fermentation. *Scientific Reports*. 2015;5(1):17120.
15. Epping R, Bliesener L, Weiss T, Koch M. Marker substances in the aroma of truffles. *Molecules*. 2022;27(16):5169.
16. Tejedor-Calvo E, García-Barreda S, Felices-Mayordomo M, Blanco D, Sánchez S, Marco P. Truffle flavored commercial products veracity and sensory analysis from truffle and non-truffle consumers. *Food Control*. 2023;145:109424.
17. Lee H, Nam K, Zahra Z, Farooqi MQ. Potentials of truffles in nutritional and medicinal applications: A review. *Fungal biology and biotechnology*. 2020;7:8-17
18. Tejedor-Calvo E, Morales D, Sanz MÁ, Sánchez S, Marco P, García-Barreda S. Aromatic changes in home-made truffle products after heat treatments. *Food Research International*. 2023;164:112403.
19. Radulovic Z, Paunovic D, Miocinovic J, Satric A, Miloradovic Z, Mirkovic M, Mirkovic N. The effect of fresh or frozen black truffle *Tuber aestivum* on ripening and sensory quality of semi hard cheese. *Food Bioscience*. 2023;55:102979.
20. Beara IN, Lesjak MM, Četojević-Simin DD, Marjanović ŽS, Ristić JD, Mrkonjić ZO, Mimica-Dukić NM. Phenolic profile, antioxidant, anti-inflammatory and cytotoxic activities of black (*Tuber aestivum* Vittad.) and white (*Tuber magnatum* Pico) truffles. *Food chemistry*. 2014;165:460-466.
21. Tejedor-Calvo E, Amara K, Reis FS, Barros L, Martins A, Calhella RC, Ferreira IC. Chemical composition and evaluation of antioxidant, antimicrobial and antiproliferative activities of *Tuber* and *Terfezia* truffles. *Food Research International*. 2021;140: 110071.
22. ÜSTÜN N, BULAM Sanem, et PEKSEN A. Biochemical properties, biological activities and usage of truffles. In: *Proceedings of the Conference: International Congress on Engineering and Life Science, Kastamonu, Turkey*. 2018:26-29.
23. Rudrapal M, Eltayeb WA, Rakshit G, El-Arabey AA, Khan J, Aldosari SM, Abdalla, M. Dual synergistic inhibition of COX and LOX by potential chemicals from Indian daily spices investigated through detailed computational studies. *Scientific Reports*. 2023;13(1): 8656.

24. Ghlichloo I, Gerriets V. (2019). Nonsteroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs). StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL). StatPearls Publishing; 2025 Jan. Διαθέσιμο από: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK547742/>
25. Shen M, Yuan L, Zhang J, Wang X, Zhang M, Li H, Xie J. Phytosterols: Physiological Functions and Potential Application. *Foods*. 2024;13(11):1754.
26. Bakrim S, Benkhaira N, Bourais I, Benali T, Lee LH, El Omari N, Bouyahya A. Health benefits and pharmacological properties of stigmasterol. *Antioxidants*. 2022;11(10):1912.
27. Tejedor-Calvo E, Morales D, García-Barreda S, Sánchez S, Venturini ME, Blanco D, Marco P. Effects of gamma irradiation on the shelf-life and bioactive compounds of Tuber aestivum truffles packaged in passive modified atmosphere. *International Journal of Food Microbiology*. 2020;332:108774.
28. Saltarelli R, Ceccaroli P, Cesari P, Barbieri E, Stocchi V. Effect of storage on biochemical and microbiological parameters of edible truffle species. *Food chemistry*. 2008;109(1):8-16.
29. SES Food Safety. Chlorine and food safety white paper. [Internet]. Arlington (VA): SES Food Safety; 2002. Διαθέσιμο από: <https://www.sesfoodsafety.com>
30. Food and Agriculture Organization of United Nations/ World Health Organization (FAO/WHO). Benefits and Risks of the Use of Chlorine-containing Disinfectants in Food Production and Food Processing [Internet]. USA: FAO/WHO; 2008. Διαθέσιμο από: <chromeextension://efaidnbmninnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.fao.org/4/i1357e/i1357e.pdf>
31. Rivera CS, Venturini ME, Oria R, Blanco D. Selection of a decontamination treatment for fresh Tuber aestivum and Tuber melanosporum truffles packaged in modified atmospheres. *Food Control*. 2011;22(3-4):626-632.
32. World Health Organization (WHO). Botulism [Internet]. WHO; 2023. Διαθέσιμο από <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/botulism>
33. McDowell RH, Sands EM, Friedman H. Bacillus cereus. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL). StatPearls Publishing; 2023. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK459121/>
34. Khan R, Anwar F, Ghazali FM. A comprehensive review of mycotoxins: Toxicology, detection, and effective mitigation approaches. *Heliyon*. 2024;10:e28361.