



ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ:

«Υποκατάστατα κρέατος: μέθοδοι επεξεργασίας και εφαρμογές»

DEGREE THESIS ON THE SUBJECT:

«Plant-based meat analogues: processing methods and applications»



ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ/STUDENT NAME:

Σπήλιος Παναγιωτόπουλος / AM: 17172

Spilios Panagiotopoulos

ΟΝΟΜΑ ΕΙΣΗΓΗΤΗ/SUPERVISOR:

Σωτήρης Μπρατάκος / Sotiris Bratakos

Αιγάλεω, 2024



ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

«Υποκατάστατα κρέατος: μέθοδοι επεξεργασίας και εφαρμογές»

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η πτυχιακή εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

A/α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	Σωτήρης Μπρατάκος	ΕΔΙΠ	
2	Ευτυχία Κρίτση	Επίκουρη Καθηγήτρια	
3	Θάλεια Τσιάκα	Επίκουρη Καθηγήτρια	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ/ COPYRIGHT

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Σπήλιος Παναγιωτόπουλος, με αριθμό μητρώου 17172 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Επιστημών Τροφίμων του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

Ο Δηλών
Σπήλιος Παναγιωτόπουλος
Σεπτέμβριος 2024



Ευχαριστίες

Ευχαριστώ πολύ τον επιβλέποντα καθηγητή Κ. Σωτήρη Μπρατάκο για την ανάθεση και την καθοδήγηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας και ακόμη για τις χρήσιμες συμβουλές και πληροφορίες που μου παρείχε σε όλη την διάρκεια της εκπόνησής της.

Επίσης, ευχαριστώ πολύ την οικογένεια μου για την στήριξη που μου παρείχαν σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ/ COPYRIGHT	2
Ευχαριστίες	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
ABSTRACT	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι	8
1. Εισαγωγή.....	8
1.1 Ανασκόπηση και κίνητρα.....	8
1.2 Σκοπός της μελέτης.....	9
1.3 Πεδίο εφαρμογής και περιορισμοί	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙ	11
2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση	11
2.1 Επισκόπηση των κρέατων φυτικής προέλευσης	11
2.1.1 Σύνθεση	11
2.1.2 Ιστορική αναδρομή και εξέλιξη.....	13
2.1.3 Τάσεις της αγοράς	16
2.1.4 Προκλήσεις και ευκαιρίες	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ.....	21
3. Μέθοδοι επεξεργασίας.....	21
3.1 Εξώθηση.....	21
3.1.1 Αρχές της εξώθησης.....	22
3.1.2 Τεχνικές και εξοπλισμός	23
3.1.3 Πλεονεκτήματα και περιορισμοί	25
3.2 Ζύμωση.....	27
3.2.1 Διεργασίες μικροβιακής ζύμωσης.....	27
3.2.2 Εφαρμογές στο κρέας φυτικής προέλευσης.....	28
3.2.3 Οφέλη και προκλήσεις	29
3.3 Καλλιέργεια κυττάρων	32
3.3.1 Βασικά στοιχεία της κυτταρικής καλλιέργειας	32
3.3.2 Μέθοδοι και καινοτομίες.....	33
3.3.3 Τρέχουσα κατάσταση και μελλοντικές προοπτικές	34
3.4 Εναλλακτικές τεχνικές.....	37
3.4.1 Τεχνολογία κυψελών διάτμησης	37
3.4.2 Τρισδιάστατη εκτύπωση	38

3.4.3 Μέθοδοι ανάμειξης και σύνδεσης.....	40
Κεφάλαιο IV.....	44
4. Περιβαλλοντικές και υγειονομικές επιπτώσεις.....	44
2.3 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις	44
4.3.1 Σύγκριση με την παραδοσιακή παραγωγή κρέατος	46
4.3.2 Ανάλυση κύκλου ζωής.....	47
4.3.3 Προκλήσεις και μελλοντικές κατευθύνσεις	50
2.4 Οφέλη και ανησυχίες για την υγεία.....	52
4.4.1 Διατροφική σύνθεση των εναλλακτικών προϊόντων κρέατος.....	52
4.4.2 Διατροφικά πλεονεκτήματα.....	53
4.4.3 Οφέλη για την υγεία στην πρόληψη ασθενειών	54
4.4.4 Πιθανοί κίνδυνοι για την υγεία.....	55
4.4.5 Προκλήσεις και προβληματισμοί.....	56
Κεφάλαιο V.....	59
5) Συμπεράσματα	59
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	61

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αυξανόμενη παγκόσμια ζήτηση για βιώσιμες και ηθικές πηγές τροφίμων έχει συμβάλει καταλυτικά στην ανάπτυξη υποκατάστατων κρέατος φυτικής προέλευσης, τα οποία χρησιμεύουν ως εναλλακτικές λύσεις για τα παραδοσιακά προϊόντα κρέατος. Η παρούσα διατριβή παρέχει μια ολοκληρωμένη επισκόπηση των διαφόρων μεθόδων επεξεργασίας που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία αυτών των υποκατάστατων, υπογραμμίζοντας τις τεχνολογικές εξελίξεις και τις προκλήσεις που συνδέονται με κάθε προσέγγιση. Βασικές τεχνικές επεξεργασίας, όπως η εξώθηση, η ζύμωση και η καλλιέργεια κυττάρων, εξετάζονται λεπτομερώς, διευκρινίζοντας το ρόλο τους στην αναπαραγωγή της υφής, της γεύσης και του διατροφικού προφίλ του συμβατικού κρέατος. Επιπλέον, διερευνώνται οι εφαρμογές των υποκατάστατων κρέατος φυτικής προέλευσης σε διάφορα γαστρονομικά πλαίσια και οι δυνατότητες αγοράς τους. Η διατριβή εξετάζει επίσης τις περιβαλλοντικές, υγειονομικές και οικονομικές επιπτώσεις της υιοθέτησης υποκατάστατων κρέατος φυτικής προέλευσης, υπογραμμίζοντας τη σημασία τους στην αντιμετώπιση της παγκόσμιας επισιτιστικής ασφάλειας και βιωσιμότητας. Μέσω μιας διεπιστημονικής ανάλυσης, η εργασία αυτή έχει ως στόχο να συμβάλει στη συνεχιζόμενη συζήτηση για τη διατροφή με βάση τα φυτά και να υποστηρίξει την καινοτομία για πιο αποτελεσματικά και αποδεκτά από τους καταναλωτές εναλλακτικά προϊόντα κρέατος.

ABSTRACT

The rising global demand for sustainable and ethical food sources has catalyzed the development of plant-based meat analogues, which serve as alternatives to traditional meat products. This thesis provides a comprehensive overview of the various processing methods used to create these analogues, highlighting the technological advancements and challenges associated with each approach. Key processing techniques, such as extrusion, fermentation, and cell-culturing, are examined in detail, elucidating their roles in replicating the texture, flavor, and nutritional profile of conventional meat. Furthermore, the applications of plant-based meat analogues in different culinary contexts and their market potential are explored. The thesis also discusses the environmental, health, and economic implications of adopting plant-based meat analogues, underscoring their significance in addressing global food security and sustainability. Through an interdisciplinary analysis, this work aims to contribute to the ongoing discourse on plant-based nutrition and to support the innovation of more efficient and consumer-acceptable meat alternatives.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

1.Εισαγωγή

1.1 Ανασκόπηση και κίνητρα

Έχει παρατηρηθεί μια αξιοσημείωτη μετακίνηση των διατροφικών προτιμήσεων προς τα γεύματα φυτικής προέλευσης λόγω της αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού, ο οποίος αναμένεται να ξεπεράσει τα 10 δισεκατομμύρια μέχρι το 2050, καθώς και των αυξανόμενων ανησυχιών για την καλή διαβίωση των ζώων, το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία (van Vliet, Kronberg and Provenza, 2020). Η συμβατική κτηνοτροφία επιδεινώνει την κλιματική αλλαγή και την περιβαλλοντική υποβάθμιση, επειδή χρησιμοποιεί μεγάλη έκταση γης, παράγει πολλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και χρησιμοποιεί πολύ νερό. Ταυτόχρονα γίνονται ευρύτερα γνωστές οι ηθικές προεκτάσεις της κτηνοτροφίας, ιδίως η μεταχείριση των ζώων και τα συναφή ηθικά ζητήματα (Altieri and Koohafkan, 2008). Το επιχείρημα υπέρ των φυτικών υποκατάστατων ενισχύεται περαιτέρω από τις αρνητικές επιπτώσεις της κατανάλωσης κρέατος στην υγεία.

Η κατανάλωση κόκκινου και επεξεργασμένου κρέατος έχει συνδεθεί με διάφορα προβλήματα υγείας, όπως μεταβολικές διαταραχές, ορισμένους τύπους καρκίνου και καρδιαγγειακές παθήσεις. Τα στοιχεία αυτά, μαζί με την ανάπτυξη του βιγκανισμού και της χορτοφαγίας, έχουν προκαλέσει καινοτομία στον τομέα των τροφίμων και έχουν οδηγήσει στη δημιουργία και την εμπορία υποκατάστατων κρέατος φυτικής προέλευσης που προσπαθούν να μιμηθούν τις διατροφικές και αισθητηριακές ιδιότητες των παραδοσιακών προϊόντων κρέατος (Lee *et al.*, 2020). Η αγορά των υποκατάστατων κρέατος από φυτά έχει αυξηθεί με εκθετικό ρυθμό λόγω της ζήτησης των πελατών για πιο ηθικές, βιώσιμες και υγιεινές διατροφικές επιλογές. Οι καινοτόμοι στον τομέα αυτό περιλαμβάνουν την Beyond Meat, την Impossible Foods και αρκετές ανερχόμενες επιχειρήσεις. Χρησιμοποιούν τεχνολογίες αιχμής για την επεξεργασία τροφίμων για να παρασκευάσουν προϊόντα που μοιάζουν με το κρέας όσον αφορά την υφή, τη γεύση και την εμφάνιση. Ακόμη και με αυτές τις εξελίξεις, υπάρχουν ακόμη πολλά εμπόδια που πρέπει να ξεπεραστούν και ευκαιρίες για να βελτιωθούν αυτά τα προϊόντα, ώστε να ανταποκρίνονται πλήρως στις προσδοκίες των πελατών (Lee *et al.*, 2020).

1.2 Σκοπός της μελέτης

Στόχος της παρούσας διατριβής είναι να παρουσιάσει μια ενδελεχή βιβλιογραφική ανάλυση των χρήσεων και των τεχνικών επεξεργασίας των υποκατάστατων κρέατος φυτικής προέλευσης. Οι κύριοι στόχοι της μελέτης είναι οι ακόλουθοι:

1. Να εξετάσει και να αξιολογήσει τις διάφορες τεχνικές επεξεργασίας, όπως η καλλιέργεια κυττάρων, η ζύμωση και η εξώθηση, που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία υποκατάστατων κρέατος φυτικής προέλευσης.
2. Να αναλύσει τα διατροφικά προφίλ, τις οργανοληπτικές ιδιότητες και την αποδοχή από τους καταναλωτές αυτών των υποκατάστατων, καθώς εφαρμόζονται σε διάφορα μαγειρικά πλαίσια.
3. Να διερευνήσει τις επιπτώσεις των υποκατάστατων κρέατος φυτικής προέλευσης στο περιβάλλον, την ανθρώπινη υγεία και την οικονομία σε σύγκριση με τα συμβατικά προϊόντα κρέατος.
4. Να προσδιορίσει τα εμπόδια στην ανάπτυξη και την εμπορία των υποκατάστατων κρέατος φυτικής προέλευσης καθώς και τις πιθανές μελλοντικές τους πορείες.

1.3 Πεδίο εφαρμογής και περιορισμοί

Η παρούσα διατριβή θα εξετάσει λεπτομερώς τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή υποκατάστατων κρέατος φυτικής προέλευσης. Θα αξιολογήσει επίσης πόσο καλά λειτουργούν αυτές οι τεχνολογίες σε διαφορετικά γαστρονομικά και διατροφικά πλαίσια και θα αναλύσει πώς επηρεάζουν το περιβάλλον, την ανθρώπινη υγεία και την οικονομία στο σύνολό της. Η μελέτη εξετάζει κατά κύριο λόγο υλικό που έχει κυκλοφορήσει τα τελευταία δέκα χρόνια, αναδεικνύοντας τις πιο πρόσφατες εξελίξεις και πρότυπα σε αυτόν τον ταχέως μεταβαλλόμενο τομέα. Η παρούσα βιβλιογραφική μελέτη έχει διάφορους περιορισμούς, παρόλο που προσπαθεί να είναι εξαντλητική.

Το κυριότερο μειονέκτημα είναι ότι βασίζεται αποκλειστικά σε ήδη δημοσιευμένες έρευνες, οι οποίες ενδέχεται να μην περιλαμβάνουν τα πιο πρόσφατα αδημοσίευτα δεδομένα ή εμπιστευτικές γνώσεις που κατέχουν οι επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται στον τομέα του φυτικού κρέατος. Επιπλέον, η έρευνα επικεντρώνεται σε γνωστές τεχνικές και εφαρμογές επεξεργασίας, αγνοώντας ενδεχομένως την εξειδικευμένη τεχνολογία και τις γεωγραφικές διαφορές. Λόγω της διαρκώς μεταβαλλόμενης φύσης του τομέα των τροφίμων, η παρούσα

διατριβή ενδέχεται να μην λαμβάνει πλήρως υπόψη νέες εφευρέσεις και τάσεις της αγοράς που προκύπτουν μετά την ολοκλήρωσή της.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙ

2.Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1 Επισκόπηση των κρεάτων φυτικής προέλευσης

Τα φυτικά υποκατάστατα κρέατος έχουν αναδειχθεί σε μια σημαντική καινοτομία στη βιομηχανία τροφίμων, λόγω της συμβολής περιβαλλοντικών, ηθικών και υγειονομικών ανησυχιών. Αυτή η ενότητα εμβαθύνει στην ολοκληρωμένη επισκόπηση των υποκατάστατων κρέατος (meat analogues) φυτικής προέλευσης, αναλύοντας τη σύνθεσή τους, τις διαδικασίες ανάπτυξης, τις τάσεις της αγοράς, την αποδοχή από τους καταναλωτές, καθώς και τις προκλήσεις και τις ευκαιρίες που παρουσιάζουν (Boukid, 2021).

2.1.1 Σύνθεση

Για να μιμηθούν τις θρεπτικές και οργανοληπτικές ιδιότητες του παραδοσιακού κρέατος, χρησιμοποιούνται διάφορα συστατικά φυτικής προέλευσης για την ανάπτυξη υποκατάστατων κρέατος φυτικής προέλευσης. Μεταξύ αυτών των συστατικών περιλαμβάνονται πρωτεΐνες, λιπίδια, υδατάνθρακες, φυτικές ίνες και διάφορα πρόσθετα που βελτιώνουν την υφή, το χρώμα και τη γεύση. Η σόγια, το μπιζέλι, το σιτάρι και η μυκοπρωτεΐνη είναι οι κύριες πηγές πρωτεϊνών για τα φυτικά υποκατάστατα κρέατος (Boukid, 2021). Λόγω του πλήρους προφίλ αμινοξέων, των λειτουργικών ιδιοτήτων της, συμπεριλαμβανομένης της γαλακτωματοποίησης και της ζελατινοποίησης, και της ικανότητάς της να σχηματίζει ινώδεις δομές μετά την επεξεργασία, η απομονωμένη πρωτεΐνη σόγιας -που εξάγεται από τη σόγια- προτιμάται σε μεγάλο βαθμό (Petruccelli and Añón, 1995).

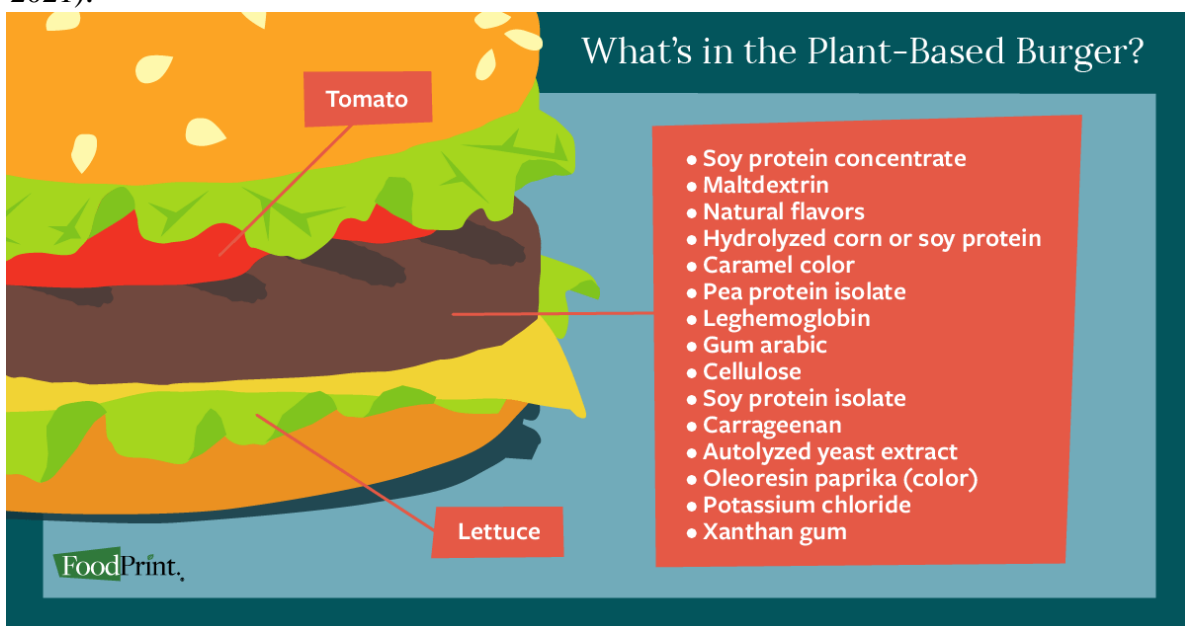
Η πρωτεΐνη μπιζελιού, η οποία προέρχεται από κίτρινο μπιζέλι, γίνεται όλο και πιο δημοφιλής, καθώς είναι μη αλλεργική, έχει καλές ιδιότητες υφής και είναι φιλική προς το περιβάλλον. Η σενάν, που επίσης παράγεται από γλουτένη σιταριού, έχει μια ξεχωριστή μαστιχωτή αίσθηση που μοιάζει με αυτή του κρέατος, αν και δεν συνιστάται για άτομα με δυσανεξία στη γλουτένη. Μια άλλη σημαντική πηγή πρωτεΐνης είναι η μυκοπρωτεΐνη, η οποία λαμβάνεται από τη ζύμωση του *Fusarium venenatum* και διακρίνεται για την υψηλή περιεκτικότητά της σε πρωτεΐνες και την υφή που μοιάζει με κρέας (Fatemeh, Reihani and Khosravi-Darani, 2018).

Όσον αφορά τα λίπη, είναι απαραίτητα για να δώσουν στο κρέας τη χαρακτηριστική

ζουμερότητα και υφή του. Το έλαιο κανόλα και το έλαιο καρύδας είναι δύο δημοφιλή λίπη φυτικής προέλευσης που χρησιμοποιούνται επειδή μπορούν να μοιάζουν πολύ με τη σύνθεση των λιπιδίων και τις ιδιότητες τήξης του ζωικού λίπους. Ιδιαίτερα το λάδι καρύδας προτιμάται, καθώς, όταν μαγειρεύεται, έχει μια αίσθηση στο στόμα που μοιάζει με εκείνη του λίπους του βοδινού κρέατος, αυξάνοντας έτσι την όλη αισθητηριακή εμπειρία (Chen *et al.*, 2023).

Σχετικά με τους υδατάνθρακες και τις φυτικές ίνες, τα άμυλα και τα υδροκολλοειδή, δύο τύποι υδατανθράκων και ινών, βοηθούν τα υποκατάστατα κρέατος φυτικής προέλευσης να διατηρήσουν τη δομική τους ακεραιότητα και την περιεκτικότητά τους σε υγρασία. Τα στοιχεία αυτά διασφαλίζουν ότι το τρόφιμο παραμένει συνεκτικό και βρώσιμο καθ' όλη τη διάρκεια του μαγειρέματος και της κατανάλωσης, δεσμεύοντας τα συστατικά μεταξύ τους και διατηρώντας την επιθυμητή υφή.

Τέλος τα πρόσθετα είναι απαραίτητα για την απομίμηση της γεύσης, της εμφάνισης και της υφής του κρέατος (Huang *et al.*, 2022). Τα ειδικά για το κρέας χαρακτηριστικά umami και αλμυρά χαρακτηριστικά αναπτύσσονται με την εφαρμογή ενισχυτικών γεύσης, όπως εκχυλίσματα ζύμης και φυσικές γεύσεις. Για να επιτευχθεί το κόκκινο χρώμα του ωμού βοδινού κρέατος και το αποτέλεσμα του μαυρίσματος κατά το μαγείρεμα, χρησιμοποιούνται χρωστικές ουσίες όπως το annatto και το εκχύλισμα χυμού τεύτλων. Η μεθυλοκυτταρίνη και η καραγενάνη είναι παραδείγματα συνδετικών/υποδομητικών ουσιών που βοηθούν στην παραγωγή μιας στοματικής υφής και μιας μπουκιάς που θυμίζει κρέας (Kaczmarek *et al.*, 2021).



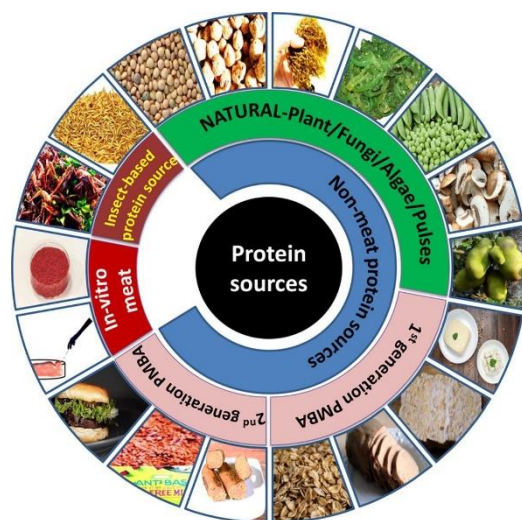
Εικόνα 1: Σύνθεση μιας εναλλακτικής μορφής κρέατος

2.1.2 Ιστορική αναδρομή και εξέλιξη

Η έννοια των υποκατάστατων κρέατος ή των υποκατάστατων κρέατος δεν είναι ένα νέο φαινόμενο, έχει βαθιές ιστορικές ρίζες που εκτείνονται πίσω στους αρχαίους πολιτισμούς. Η εξέλιξη αυτών των προϊόντων καθοδηγήθηκε από πολιτιστικούς, θρησκευτικούς και οικονομικούς παράγοντες, καθώς και από την πρόοδο της επιστήμης και της τεχνολογίας των τροφίμων.

Γύρω στον δεύτερο αιώνα π.Χ., βουδιστές μοναχοί στην αρχαία Κίνα που ακολουθούσαν χορτοφαγική διατροφή δημιούργησαν το τόφου ως πηγή πρωτεΐνης. Αυτή είναι η πρώτη γνωστή χρήση υποκατάστατων κρέατος. Φτιαγμένο από φασόλια σόγιας, το τόφου έγινε βασικό συστατικό στις κουζίνες της Ανατολικής Ασίας ως ένα ευέλικτο και υγιεινό υποκατάστατο κρέατος. Η χρήση του τόφου και άλλων τροφίμων με βάση τη σόγια, όπως το τέμπε (tempeh) και το γιούμπα (yuba, δέρμα γάλακτος σόγιας), έγινε ακόμη πιο δημοφιλής με την εξάπλωση του Βουδισμού σε όλη την Ασία.

Η κρεατοφαγία περιοριζόταν στη μεσαιωνική Ευρώπη σε περιόδους θρησκευτικής νηστείας και αποχής. Διάφορα τρόφιμα χωρίς κρέας αναπτύχθηκαν ως αποτέλεσμα των διαιτητικών περιορισμών που επέβαλε η Καθολική Εκκλησία, ιδίως κατά τη διάρκεια της Σαρακοστής. Τα γαλακτοκομικά προϊόντα, τα δημητριακά και τα όσπρια αναμειγνύονταν συχνά για να παρέχουν χορταστικά γεύματα υψηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες που θα μπορούσαν να κρατήσουν τους ανθρώπους κατά τη διάρκεια αυτών των περιόδων νηστείας. Τα πρότυπα παραγωγής και κατανάλωσης τροφίμων υπέστησαν σημαντικές αλλαγές κατά τη διάρκεια της βιομηχανικής επανάστασης του 18ου και 19ου αιώνα (He *et al.*, 2020).



Εικόνα 2: Πηγές πρωτεϊνών που δεν προέρχονται από κρέας

Οι βολικές και λογικές σε τιμές επιλογές τροφίμων είχαν όλο και μεγαλύτερη ζήτηση, καθώς η απασχόληση στα εργοστάσια και η αστικοποίηση αυξάνονταν. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου εισήχθησαν περισσότερα επεξεργασμένα τρόφιμα, συμπεριλαμβανομένων των πρώτων επαναλήψεων των υποκατάστατων κρέατος. Η επιστήμη των υποκατάστατων κρέατος σημείωσε τεράστια πρόοδο στα μέσα του 20ού αιώνα, λόγω της συμβολής κοινωνικοοικονομικών, τεχνολογικών και υγειονομικών λόγων. Η χορτοφαγία απέκτησε δημοτικότητα στη Δύση μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, εν μέρει λόγω των αντιπολιτισμικών κινημάτων των δεκαετιών του 1960 και 1970 που προωθούσαν τη φυσική και βιώσιμη διαβίωση. Η υφή φυτικής πρωτεΐνης ή TVP, έγινε μια σημαντική εφεύρεση κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Η εταιρεία Archer Daniels Midland Company δημιούργησε την TVP, ή αλλιώς το απολιπασμένο αλεύρι σόγιας, τη δεκαετία του 1960. Λόγω της υψηλής

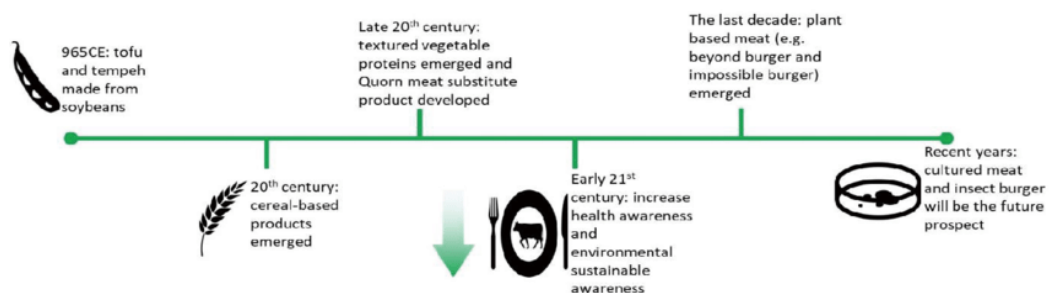


Εικόνα 3: Απολιπασμένο αλεύρι σόγιας

περιεκτικότητάς της σε πρωτεΐνες και της ικανότητάς της να αναπαράγει την υφή του κιμά όταν ενυδατώνεται, απέκτησε ευρεία χρήση ως υποκατάστατο και επεκτατικό κρέατος (He *et al.*, 2020).

Τα υποκατάστατα κρέατος φυτικής προέλευσης έχουν υποστεί σημαντική μεταμόρφωση τον εικοστό πρώτο αιώνα, λόγω της βελτίωσης της επιστήμης των τροφίμων, της αυξανόμενης περιβαλλοντικής συνείδησης και των μεταβαλλόμενων προτιμήσεων των καταναλωτών. Τα προϊόντα που προσπαθούν να μιμηθούν όχι μόνο το διατροφικό προφίλ του κρέατος αλλά και τις αισθητηριακές του ιδιότητες - γεύση, υφή και εμφάνιση - είναι αυτά που καθορίζουν τη σημερινή εποχή των υποκατάστατων κρέατος. Η εφαρμογή της τεχνολογίας εξώθησης για την παραγωγή υφών που μοιάζουν με κρέας υπήρξε μια από τις σημαντικότερες εξελίξεις σε αυτόν τον κλάδο. Οι φυτικές πρωτεΐνες μπορούν να υποστούν επεξεργασία σε υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις με τη χρήση μαγειρέματος εξώθησης υψηλής υγρασίας, το οποίο παράγει ινώδεις δομές που μοιάζουν με μυϊκό ιστό στην υφή. Για την παραγωγή των αγαπημένων τροφίμων των καταναλωτών που αγαπούν το κρέας, όπως τα μπιφτέκια, τα λουκάνικα και τα nuggets, η τεχνολογία αυτή είναι απαραίτητη.

Τα υποκατάστατα κρέατος φυτικής προέλευσης αναμένεται να συνεχίσουν να αναπτύσσονται και να επεκτείνονται στο μέλλον. Αναμένεται ότι οι τεχνολογικές καινοτομίες όπως η καλλιέργεια κυττάρων και η ζύμωση ακριβείας θα είναι σημαντικές. Για παράδειγμα, η ζύμωση ακριβείας επιτρέπει τη δημιουργία συγκεκριμένων πρωτεϊνών και χημικών ουσιών που μπορούν να βελτιώσουν τη γεύση και την υφή των υποκατάστατων κρέατος. Αν και η καλλιέργεια κυττάρων συνδέεται συνηθέστερα με το κρέας που καλλιεργείται στο εργαστήριο, έχει επίσης τη δυνατότητα να παράγει υβριδικά προϊόντα που συνδυάζουν ζωικά κύτταρα σε καλλιέργεια με μήτρες φυτικής προέλευσης. Αυτή η στρατηγική μπορεί να βοηθήσει να κλείσει το χάσμα μεταξύ του παραδοσιακού κρέατος και του κρέατος φυτικής προέλευσης, δίνοντας



Εικόνα 4: Ιστορική αναδρομή εναλλακτικών μορφών κρέατος

στους πελάτες ακόμη περισσότερες πρακτικές επιλογές (Zhang *et al.*, 2021).

Η ανάπτυξη των υποκατάστατων κρέατος και το ιστορικό τους υπόβαθρο αναδεικνύουν πόσο ενεργός είναι αυτός ο κλάδος. Ποικίλοι λόγοι, από τις σύγχρονες τεχνολογικές εξελίξεις έως τις αρχαίες θρησκευτικές πρακτικές, έχουν επηρεάσει την ανάπτυξη των υποκατάστατων κρέατος. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια απότομη αύξηση της δημοτικότητας και της χρήσης των υποκατάστατων κρέατος φυτικής προέλευσης, η οποία μπορεί να αποδοθεί στη συμβολή επιστημονικών ανακαλύψεων, περιβαλλοντικής συνείδησης και καταναλωτικών προτιμήσεων. Τα υποκατάστατα κρέατος φυτικής προέλευσης έχουν λαμπρό μέλλον μπροστά τους, με αναμενόμενη περαιτέρω καινοτομία και ανάπτυξη της αγοράς.

Η βιώσιμη επέκταση θα πρέπει να αντιμετωπίσει ζητήματα που αφορούν τις οργανοληπτικές ιδιότητες, την τιμολόγηση και την αποδοχή από τους πελάτες. Τα υποκατάστατα του φυτικού κρέατος που είναι λιγότερο επιβλαβή για το περιβάλλον και ενθαρρύνουν ηθικές διατροφικές επιλογές παρέχουν έναν λειτουργικό τρόπο για την κάλυψη των πρωτεϊνικών απαιτήσεων ενός αυξανόμενου πληθυσμού, καθώς το παγκόσμιο σύστημα διατροφής δέχεται αυξανόμενη πίεση για να γίνει πιο ισχυρό και βιώσιμο (Zhang et al., 2021).

2.1.3 Τάσεις της αγοράς

Η αγορά των υποκατάστατων κρέατος από φυτά έχει επεκταθεί γρήγορα λόγω της αυξανόμενης ζήτησης των πελατών για ηθικές, συνειδητοποιημένες ως προς την υγεία και βιώσιμες διατροφικές επιλογές. Η παγκόσμια αγορά κρέατος με βάση τα φυτά εκτιμάται από την Grand View Research ότι ανέρχεται σε 5,6 δισεκατομμύρια δολάρια το 2020 και αναμένεται να αυξηθεί με σύνθετο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης (CAGR) 19,4% μεταξύ 2021 και 2028 (Tziva et al., 2020).

Εταιρείες όπως η Beyond Meat και η Impossible Foods έχουν φέρει επανάσταση στην αγορά με τα καινοτόμα προϊόντα τους. Τα προϊόντα της Beyond Meat, όπως το Beyond Burger, χρησιμοποιούν πρωτεΐνη μπιζελιού, εκχύλισμα χυμού τεύτλων και λάδι καρύδας για να αναπαράγουν την εμφάνιση, τη γεύση και τη ζουμερότητα του βοδινού κρέατος (Beyond Meat, 2021). Η Impossible Foods, από την άλλη πλευρά, εισήγαγε τη χρήση της αίμης, ενός μορίου που βρίσκεται στο αίμα των ζώων, για να δημιουργήσει ένα προφίλ γεύσης κρέατος στο Impossible Burger τους. Η αίμη παράγεται μέσω της ζύμωσης γενετικά τροποποιημένης μαγιάς, καθιστώντας την ένα πρωτοποριακό συστατικό στη βιομηχανία κρέατος φυτικής



Εικόνα 5: Προϊόντα από τις εταιρίες Impossible, Beyond Meat, Gardein και Jac

προέλευσης (Li and Li, 2020).

Οι περιβαλλοντικές ανησυχίες, τα οφέλη για την υγεία και οι ηθικοί προβληματισμοί είναι μερικά από τα ζητήματα που επηρεάζουν την υιοθέτηση των υποκατάστατων κρέατος φυτικής προέλευσης από τους καταναλωτές. Οι έρευνες δείχνουν ότι ένα σημαντικό ποσοστό των καταναλωτών είναι ανοιχτό στο να δοκιμάσει και να αγοράσει συστηματικά υποκατάστατα κρέατος φυτικής προέλευσης, ακόμη και οι flexitarians που τρώνε περιστασιακά κρέας. Ειδικότερα, ο ευέλικτος πληθυσμός, ο οποίος στοχεύει να μειώσει την κατανάλωση κρέατος χωρίς να το εγκαταλείψει εντελώς, αποτελεί ένα σημαντικό μέρος της αγοράς. Ωστόσο, η αποδοχή από τους πελάτες δεν είναι χωρίς δυσκολίες. Η γεύση, η υφή και το άρωμα είναι παραδείγματα αισθητηριακών χαρακτηριστικών που εξακολουθούν να είναι ζωτικής σημασίας για την ευχαρίστηση των πελατών.

Ακόμη και με μεγάλη πρόοδο, τα υποκατάστατα κρέατος φυτικής προέλευσης συχνά δεν μπορούν να αποτυπώσουν τέλεια την ίδια αισθητηριακή εμπειρία με το κρέας, γεγονός που απωθεί ορισμένους πελάτες. Επιπλέον, η τιμή των φυτικών υποκατάστατων κρέατος είναι συνήθως μεγαλύτερη από εκείνη του κανονικού κρέατος, γεγονός που τα καθιστά συνολικά λιγότερο δημοφιλή, ιδίως σε περιοχές όπου οι καταναλωτές έχουν συνείδηση των τιμών (Boye and Arcand, 2016).

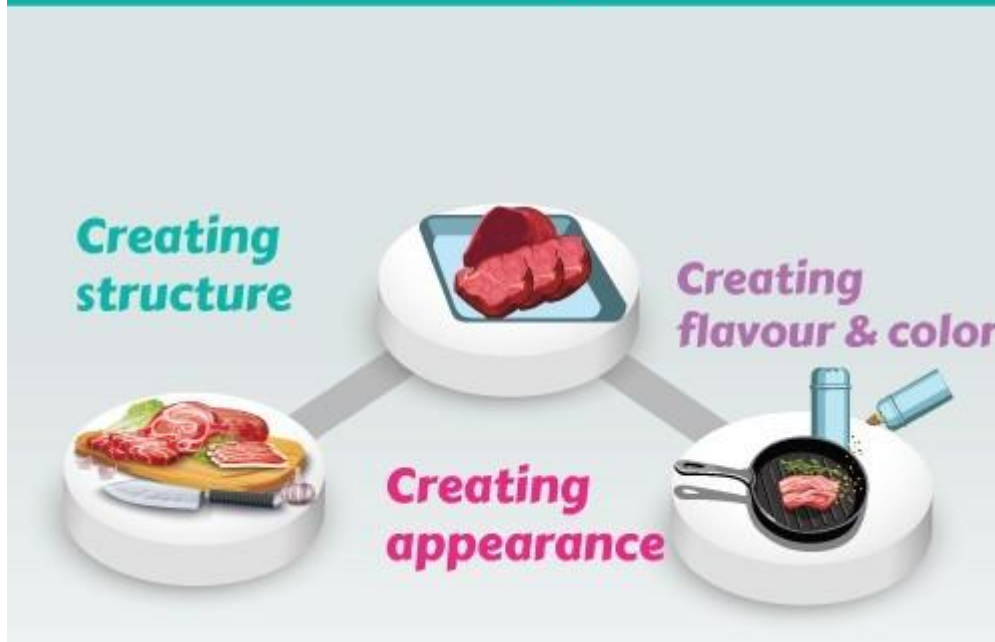
2.1.4 Προκλήσεις και ευκαιρίες

Υπάρχουν διάφορες δυνατότητες και προβλήματα που σχετίζονται με την ανάπτυξη και την εμπορική διάθεση υποκατάστατων κρέατος από φυτά. Για να συνεχίσουν να ευδοκιμούν και να γίνονται αποδεκτά αυτά τα είδη, πρέπει να επιλυθούν αυτά τα ζητήματα.

Προβλήματα:

- **Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά:** Ένα από τα μεγαλύτερα εμπόδια εξακολουθεί να είναι η επίτευξη γεύσης, υφής και αρώματος παρόμοιου με εκείνα του κρέατος. Ακόμη και με τις σημαντικές εξελίξεις, απαιτούνται ακόμη περίπλοκες συνθέσεις και εξελιγμένες μέθοδοι επεξεργασίας για να αναπαραχθεί η πολύπλευρη αισθητηριακή εμπειρία του κρέατος (Yang *et al*., 2023).
- **Διατροφική ποιότητα:** Είναι ζωτικής σημασίας να βεβαιωθεί ότι τα φυτικά υποκατάστατα κρέατος προσφέρουν ισοδύναμα ή και μεγαλύτερα διατροφικά πλεονεκτήματα από το παραδοσιακό κρέας. Απαιτείται προσεκτικός έλεγχος για θέματα όπως η ποιότητα των πρωτεϊνών, η περιεκτικότητα σε μικροθρεπτικά συστατικά και η παρουσία αλλεργιογόνων και χημικών ουσιών (Kyriakopoulou, 2021).
- **Κόστος και προσβασιμότητα:** Επί του παρόντος, τα υποκατάστατα κρέατος φυτικής προέλευσης είναι πιο ακριβά στην παραγωγή από το παραδοσιακό κρέας, γεγονός που περιορίζει την οικονομική προσιτότητα και την προσβασιμότητά τους. Η επέκταση της διείσδυσης στην αγορά απαιτεί μείωση του κόστους παραγωγής μέσω οικονομιών κλίμακας και τεχνολογικών εξελίξεων (Kyriakopoulou, 2021).

Critical Challenges of PBMA

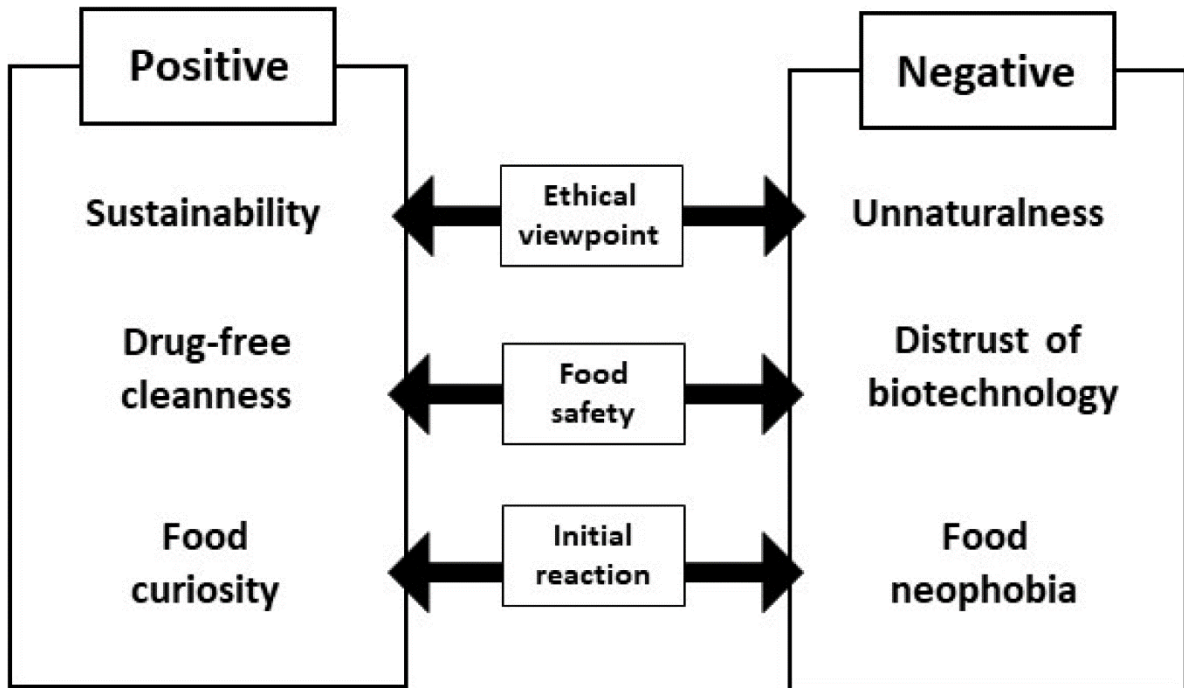


Εικόνα 6: Προκλήσεις στις εναλλακτικές μορφές κρέατος

Προοπτικές:

- **Τεχνολογικές καινοτομίες:** Οι νέες εξελίξεις στη βιοτεχνολογία, συμπεριλαμβανομένης της επεξεργασίας γονιδίων και της ζύμωσης ακριβείας, μπορούν να συμβάλουν στη βελτίωση της διατροφικής αξίας και της αισθητηριακής ελκυστικότητας των υποκατάστατων κρέατος φυτικής προέλευσης. Από αυτές τις εξελίξεις μπορεί να προκύψουν νέα συστατικά και τεχνικές επεξεργασίας που βελτιώνουν την ποιότητα του προϊόντος (Stephens, Sexton and Driessen, 2019).
- **Βιωσιμότητα:** Υπάρχουν ισχυρά στοιχεία που υποστηρίζουν τη χρήση υποκατάστατων κρέατος φυτικής προέλευσης λόγω των ευνοϊκών περιβαλλοντικών επιπτώσεών τους, οι οποίες περιλαμβάνουν χαμηλότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, λιγότερη χρήση νερού και γης και μείωση της απώλειας της βιοποικιλότητας. Η ανάδειξη αυτών των πλεονεκτημάτων μπορεί να κεντρίσει το ενδιαφέρον των καταναλωτών και να κερδίσει την υποστήριξη των νομοθετών.
- **Επέκταση της αγοράς:** Υπάρχουν πολλές δυνατότητες ανάπτυξης της αγοράς καθώς οι δίαιτες με βάση τα φυτά γίνονται ευρύτερα γνωστές και αποδεκτές. Η επέκταση της αγοράς μπορεί να επιτευχθεί με την εξυπηρέτηση μιας ποικιλίας προτιμήσεων των καταναλωτών, όπως

οι flexitarians, οι vegans και οι vegetarians, και με την παροχή μεγάλης επιλογής προϊόντων (Stephens, Sexton and Driessen, 2019).



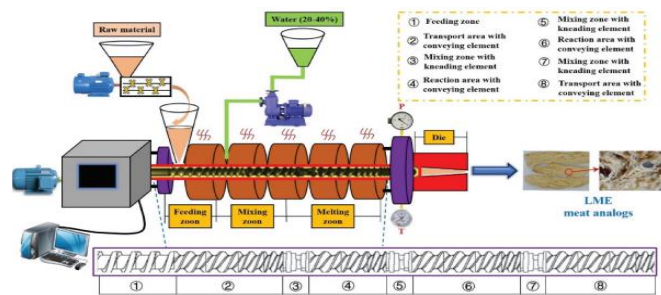
Εικόνα 7: Γνωστικές συγκρούσεις των καταναλωτών σχετικά με το εναλλακτικό κρέας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ

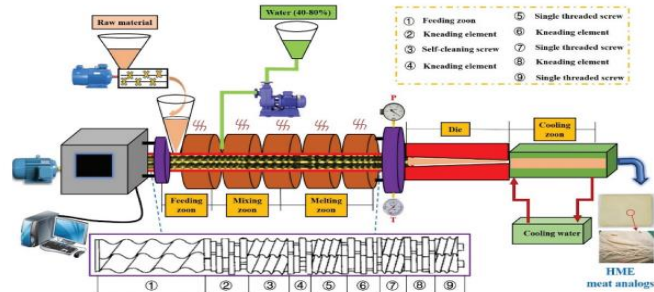
3. Μέθοδοι επεξεργασίας

3.1 Εξώθηση

Η εξώθηση είναι μια διαδικασία υψηλής θερμοκρασίας και σύντομης διάρκειας (HTST) που χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία τροφίμων για την παραγωγή τελικών προϊόντων με συγκεκριμένες υφές και σχήματα από ακατέργαστα συστατικά. Η διαδικασία περιλαμβάνει τη χρήση ελεγχόμενων διατμητικών δυνάμεων, πίεσης και θερμοκρασίας για την ώθηση του υλικού μέσω μιας μήτρας. Η τεχνική της εξώθησης είναι απαραίτητη για την παραγωγή υποκατάστατων κρέατος που έχουν την αίσθηση του στόματος και την ινώδη υφή του πραγματικού κρέατος. Διαχωρίζουμε τη δόμηση με βάση την εξώθηση σε δύο ομάδες: υψηλής και χαμηλής υγρασίας (Dekkers, Boom and van der Goot, 2018). Μετά από πάνω από 30 χρόνια ανάπτυξης, η τεχνολογία εξώθησης χαμηλής υγρασίας (LME), η οποία αποτέλεσε το θεμέλιο για την τεχνολογία εξώθησης υψηλής υγρασίας (HME), βρισκόταν ακόμη στο στάδιο της έρευνας. Οι πρώτες ύλες μεταφέρονται, αναμειγνύονται, διατμηθούν, θερμαίνονται, διαμορφώνονται και ψύχονται υπό συνθήκες υψηλής υγρασίας (πάνω από 40%), θερμοκρασίας, πίεσης και διάτμησης. Ακολουθούν φυσικοχημικοί μετασχηματισμοί, όπως μετουσίωση και διασύνδεση πρωτεϊνών, διάσπαση και συσσωμάτωση πρωτεϊνών, κατακερματισμός και συμπλοκοποίηση πρωτεϊνών, ζελατινοποίηση και αποικοδόμηση αμύλου, οξειδωση λιπιδίων και αποικοδόμηση βιταμινών, αντιθρεπτικών και φυτοχημικών ουσιών (Zhang *et al.*, 2023).



(a)



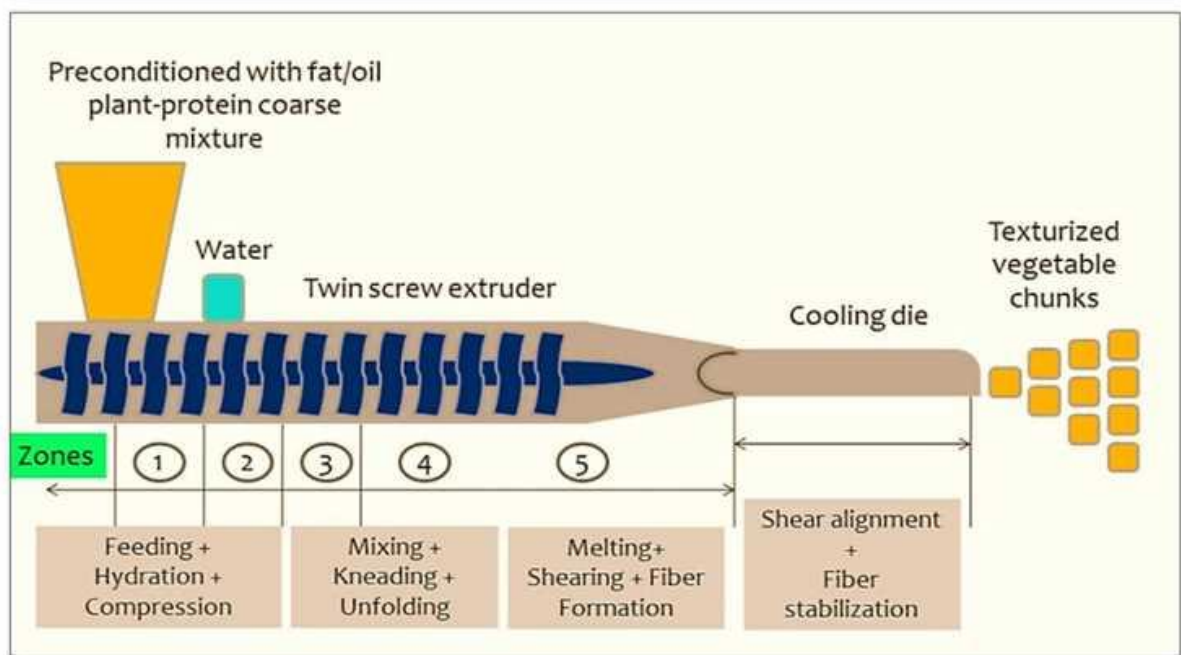
(b)

Εικόνα 1 Σχηματικό διάγραμμα του εξοπλισμού επεξεργασίας της διεργασίας εξώθησης για εξώθηση χαμηλής υγρασίας (a) και εξώθηση υψηλής υγρασίας (b). LME: εξώθηση χαμηλής υγρασίας.

3.1.1 Αρχές της εξώθησης

Η εξώθηση λειτουργεί με το συνδυασμό μηχανικής και θερμικής ενέργειας για την πρόκληση δομικών και χημικών αλλαγών στο υλικό του τροφίμου. Τα ακατέργαστα συστατικά, συχνά ένα μείγμα απομονωμένων πρωτεϊνών, αλεύρων και λειτουργικών προσθέτων, εισάγονται σε έναν εξωθητήρα, όπου υποβάλλονται σε ανάμιξη, θέρμανση, διάτμηση και διαμόρφωση. Οι βασικές αρχές της εξώθησης περιλαμβάνουν:

- **Ανάμιξη:** Ομογενοποίηση των συστατικών για την εξασφάλιση ενός ομοιόμορφου μείγματος.
- **Θέρμανση:** Εφαρμογή θερμικής ενέργειας για τη μετουσίωση των πρωτεϊνών και τη ζελατινοποίηση των αμύλων.
- **Διάτμηση:** Μηχανικές δυνάμεις που ευθυγραμμίζουν και προσανατολίζουν τα μόρια των πρωτεϊνών για να σχηματίσουν μια ινώδη υφή.
- **Ψύξη και διαμόρφωση:** Το υλικό εξαναγκάζεται να περάσει μέσα από μια μήτρα, όπου ψύχεται και στερεοποιείται στο επιθυμητό σχήμα.



Εικόνα 2 Αρχές της εξώθησης

3.1.2 Τεχνικές και εξοπλισμός

Οι εξωθητήρες μονής και διπλής κοχλίας είναι οι δύο κύριοι τύποι εξωθητήρων που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή εναλλακτικών κρεάτων. Οι εξωθητές με έναν κοχλία είναι λιγότερο περίπλοκοι και κοστίζουν λιγότερο από εκείνους με δύο κοχλίες. Αποτελούνται από έναν μόνο περιστρεφόμενο κοχλία που χρησιμοποιεί θετική μετατόπιση για να μετακινήσει το υλικό μέσα από ένα σταθερό βαρέλι. Οι βασικές διαδικασίες υφήνισης πραγματοποιούνται συνήθως με εξωθητές μονού κοχλία, οι οποίοι μπορεί να μην προσφέρουν τον ίδιο βαθμό ελέγχου και προσαρμοστικότητας με τους εξωθητές διπλού κοχλία. Οι εξωθητήρες με διπλούς κοχλίες διαθέτουν δύο αλληλοσυνδεόμενους κοχλίες που περιστρέφονται παράλληλα για να παρέχουν βελτιωμένα αποτελέσματα διάτμησης, ζύμωσης και ανάμιξης. Με τους εξωθητές διπλού κοχλία είναι δυνατός ο ακριβέστερος έλεγχος των παραμέτρων επεξεργασίας, συμπεριλαμβανομένης της θερμοκρασίας, της πίεσης και της περιεκτικότητας σε υγρασία. Εξαιτίας αυτού, είναι ιδανικοί για τη δημιουργία προϊόντων υποκατάστατου κρέατος υψηλής ποιότητας που έχουν σταθερή υφή και ποιότητα (Lawal and Kalyon, 1995).

Η εξώθηση, η οποία περιλαμβάνει την εφαρμογή υψηλών θερμοκρασιών και πίεσης για τη μετατροπή των πρώτων συστατικών σε ένα μαγειρεμένο προϊόν με υφή, αποτελεί βασικό

στάδιο στη δημιουργία υποκατάστατων κρέατος. Η διαδικασία περιλαμβάνει τα εξής στάδια (Levine & Miller, 2019):

1. Προετοιμασία: Για να δημιουργηθεί μια ομοιογενής τροφή, τα ακατέργαστα συστατικά συνδυάζονται και υγραίνονται σε αυτό το πρώτο στάδιο. Το στάδιο αυτό εγγυάται ότι τα υλικά είναι ομοιόμορφα ενυδατωμένα, μια απαραίτητη προετοιμασία για τη διαδικασία εξώθησης που ακολουθεί. Επιπλέον, η προκλιμάκωση βοηθά στη μερική θέρμανση των συστατικών, μειώνοντας τον φόρτο εργασίας του εξωθητή και αυξάνοντας την παραγωγικότητα (Levine & Miller, 2019).
2. Εξώθηση: Το προπαρασκευασμένο υλικό τροφοδοτείται στην κάννη του εξωθητή και θερμαίνεται σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση κατά τη διαδικασία της εξώθησης. Το υλικό υποβάλλεται σε θερμική επεξεργασία και μηχανική διάτμηση, η οποία μετουσιώνει τις πρωτεΐνες και του δίνει μια ινώδη, κρεατοειδή αίσθηση. Σύμφωνα με τους Bouvier & Campanella, (2014), τρεις κρίσιμοι παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του τελικού προϊόντος είναι η ταχύτητα του κοχλίου, η θερμοκρασία του βαρελιού και η διαμόρφωση του κοχλίου.
3. Ψύξη και κοπή: Για να διατηρηθεί η δομή του ζεστού, υφής προϊόντος, ψύχεται μετά την εξώθηση. Ανάλογα με τις επιθυμητές ιδιότητες του τελικού προϊόντος, η ψύξη μπορεί να επιτευχθεί είτε με αέρα είτε με νερό. Μετά την ψύξη του προϊόντος, αυτό τεμαχίζεται στα κατάλληλα σχήματα και μεγέθη ώστε να μπορεί να συσκευαστεί ή να υποστεί περαιτέρω επεξεργασία (Levine & Miller, 2019).

Κατά την παρασκευή εναλλακτικών κρεάτων με εξώθηση, η επιλογή των σωστών πρώτων υλών είναι απαραίτητη. Η πρωτεΐνη σόγιας, η γλουτένη σιταριού, η πρωτεΐνη μπιζελιού και άλλες φυτικές πρωτεΐνες είναι συχνά χρησιμοποιούμενα συστατικά. Αρχικά η πρωτεΐνη σόγιας, λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς της σε πρωτεΐνες, των εξαιρετικών λειτουργικών ιδιοτήτων της και της προσβασιμότητάς της, η πρωτεΐνη σόγιας είναι ένα από τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα συστατικά. Στην εξώθηση, απομονωμένες και συμπυκνωμένες πρωτεΐνες σόγιας χρησιμοποιούνται συχνά για την παραγωγή υφών που μοιάζουν με κρέας

(Liu, 2004). Εν συνεχεία, η πρωτεΐνη μπιζελιού έχει κερδίσει δημοτικότητα ως μη αλλεργιογόνος, βιώσιμη εναλλακτική λύση στις πρωτεΐνες σόγιας και σιταριού. Παρέχει καλή λειτουργικότητα και θρεπτική αξία, καθιστώντας την εξαιρετική επιλογή για διεργασίες εξώθησης (Stone et al., 2020). Τέλος η γλουτένη σιταριού, ένα άλλο κοινό συστατικό για υποκατάστατα κρέατος, που μερικές φορές αναφέρεται ως seitan. Εκτιμάται για τις συνεκτικές και ελαστικές ιδιότητες που συμβάλλουν στη μαστιχωτή, κρεατοειδή ποιότητα της υφής. Ωστόσο, όσοι πάσχουν από κοιλιοκάκη ή δυσανεξία στη γλουτένη μπορεί να μην είναι σε θέση να χρησιμοποιήσουν προϊόντα που περιέχουν γλουτένη σίτου (Schreuders et al, 2019).

3.1.3 Πλεονεκτήματα και περιορισμοί

Η ποιότητα και η ποικιλομορφία των υποκατάστατων προϊόντων κρέατος έχουν αυξηθεί σημαντικά ως αποτέλεσμα των πρόσφατων εξελίξεων στην τεχνολογία εξώθησης. Η εξώθηση υψηλής υγρασίας, οι υβριδικές μέθοδοι εξώθησης και η ενσωμάτωση νέων συστατικών είναι μερικές από αυτές τις εξελίξεις.

Η εξώθηση υψηλής υγρασίας είναι τύπος εξώθησης όπου λειτουργεί με υλικά που έχουν υψηλότερη περιεκτικότητα σε υγρασία, συνήθως της τάξης του 50-80%. Αυτή η μέθοδος βοηθά στην παραγωγή μιας υφής που είναι πιο ζουμερή και ινώδης, όπως το ζωικό κρέας. Επιπλέον, η εξώθηση υψηλής υγρασίας μειώνει την πιθανότητα καύσης ή υπερβολικής μετουσίωσης των πρωτεϊνών, βελτιώνοντας τις αισθητηριακές ιδιότητες (Wolz et al., 2020). Στις υβριδικές τεχνικές εξώθησης, η θρεπτική αξία και η γεύση των εναλλακτικών κρεάτων μπορούν να βελτιωθούν συνδυάζοντας την εξώθηση με άλλες τεχνικές επεξεργασίας, όπως η ζύμωση ή η ενζυμική επεξεργασία. Για παράδειγμα, η γεύση και η πεπτικότητα μπορούν να βελτιωθούν με την προσθήκη ζυμωμένων συστατικών στη διαδικασία εξώθησης (Montoya et al., 2021). Οι δυνατότητες για την παραγωγή εναλλακτικών κρεάτων έχουν αυξηθεί με τη διερεύνηση νέων συστατικών φυτικής προέλευσης, όπως τα φύκια, οι μύκητες και οι πρωτεΐνες εντόμων. Αυτά τα συστατικά προσθέτουν στην ποικιλία και τη γοητεία των προϊόντων υποκατάστατου κρέατος παρέχοντας ειδικές λειτουργικές ιδιότητες και διατροφικά πλεονεκτήματα (Ritala et al., 2017).

Η διατήρηση σταθερής ποιότητας στα εναλλακτικά κρέατα που εξάγονται με εξώθηση είναι αρκετά δύσκολο, καθώς οι πρώτες ύλες και οι συνθήκες παραγωγής μπορεί να διαφέρουν

σε μεγάλο βαθμό. Η υφή, η γεύση, το χρώμα και η διατροφική αξία είναι σημαντικά χαρακτηριστικά της ποιότητας.

Υφή: Ένας από τους κύριους στόχους της εξώθησης είναι η παροχή υφής όπως το κρέας. Για την παραγωγή της κατάλληλης δομής ινών, οι μεταβλητές που περιλαμβάνουν τον τύπο της πρωτεΐνης, την περιεκτικότητα σε υγρασία και τις παραμέτρους εξώθησης πρέπει να ρυθμίζονται προσεκτικά (Podolak et al., 1997).

Γεύση: Για να εξουδετερωθούν οι τυχόν δυσάρεστες γεύσεις από τις φυτικές πρωτεΐνες, πρέπει να χρησιμοποιούνται ενισχυτές γεύσης, μπαχαρικά και παράγοντες κάλυψης για την ανάπτυξη ευχάριστων γεύσεων στα εναλλακτικά κρέατα. Είναι ζωτικής σημασίας η βελτιστοποίηση των παραμέτρων επεξεργασίας επειδή η ίδια η διαδικασία εξώθησης μπορεί να έχει αντίκτυπο στην ανάπτυξη γεύσης (Moskowitz, 1995).

Χρώμα: Ένας κρίσιμος αισθητηριακός παράγοντας που επηρεάζει την αποδοχή των πελατών είναι το χρώμα. Τα εναλλακτικά προϊόντα κρέατος συχνά αποκτούν μια εμφάνιση που μοιάζει με κρέας με την προσθήκη φυσικών χρωστικών ουσιών όπως το annatto ή ο χυμός τεύτλων (Spence, 2015).

Διατροφική αξία: Οι διατροφικές ιδιότητες του τελικού προϊόντος, όπως η πέψη των πρωτεϊνών και η διατήρηση των βιταμινών και των ανόργανων συστατικών, μπορούν να επηρεαστούν από την εξώθηση. Για να γίνουν αποδεκτά τα εναλλακτικά κρέατα ως υγιεινή διατροφική επιλογή, είναι απαραίτητο να πληρούν τα διατροφικά κριτήρια (Singh, Gamlath and Wakeling, 2007).

Η τεχνολογία εξώθησης είναι απαραίτητη για την παρασκευή υποκατάστατων κρέατος υψηλής ποιότητας, διότι παρέχει έναν ευέλικτο και αποτελεσματικό τρόπο για την παρασκευή προϊόντων που μοιάζουν πολύ με τη γεύση και την υφή του πραγματικού κρέατος. Η επιλογή των πρώτων υλών, οι εξελίξεις στις τεχνικές εξώθησης και ο προσεκτικός έλεγχος των συνθηκών επεξεργασίας είναι ζωτικής σημασίας για την επίτευξη της επιθυμητής ποιότητας. Καθώς η ζήτηση για βιώσιμες και ηθικές επιλογές τροφίμων συνεχίζει να αυξάνεται, περαιτέρω καινοτομίες στην τεχνολογία εξώθησης αναμένεται να ενισχύσουν την ανάπτυξη και την αποδοχή των εναλλακτικών προϊόντων κρέατος.

3.2 Ζύμωση

Η μικροβιακή ζύμωση είναι μια μεταβολική διαδικασία που μετατρέπει υδατάνθρακες σε αλκοόλη ή οργανικά οξέα χρησιμοποιώντας μικροοργανισμούς -βακτήρια, ζύμες ή μύκητες- υπό αναερόβιες συνθήκες. Αυτή η αρχαία τεχνική χρησιμοποιείται εδώ και χιλιάδες χρόνια στην παραγωγή τροφίμων και ποτών. Σήμερα, η ζύμωση δεν είναι μόνο αναπόσπαστο μέρος της παραδοσιακής επεξεργασίας τροφίμων, αλλά και του αναπτυσσόμενου τομέα των εναλλακτικών κρεάτων, όπου συμβάλλει στη δημιουργία προϊόντων που μιμούνται πιστά τη γεύση, την υφή και το διατροφικό προφίλ των ζωικών κρεάτων (Zhao *et al.*, 2024).

3.2.1 Διεργασίες μικροβιακής ζύμωσης

Η διαδικασία της ζύμωσης αρχίζει με την εισαγωγή συγκεκριμένων μικροβίων σε ακατέργαστα υποστρώματα, συνήθως σάκχαρα. Αυτά τα μικρόβια διασπούν τα υποστρώματα σε μια σειρά από τελικά προϊόντα, όπως διοξείδιο του άνθρακα, οργανικά οξέα, αλκοόλη και άλλους μεταβολίτες. Σύμφωνα με τους Madigan *et al.*, (2019), υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες για τη διαδικασία: η αναερόβια ζύμωση, η οποία δεν απαιτεί οξυγόνο, και η αερόβια ζύμωση, η οποία απαιτεί. Το τελικό αποτέλεσμα επηρεάζεται σημαντικά από τους μικροοργανισμούς που χρησιμοποιούνται. Για παράδειγμα, οι ζύμες χρησιμοποιούνται στην αρτοποιία και την παρασκευή μύρας, αλλά τα βακτήρια γαλακτικού οξέος χρησιμοποιούνται για την παραγωγή γιαουρτιού και λάχανου. Κάθε μικρόβιο διαθέτει ξεχωριστούς ενζυμικούς μηχανισμούς και μεταβολικές οδούς που επηρεάζουν τη διαδικασία ζύμωσης και τις ιδιότητες του τελικού προϊόντος (Smid and Hugenholtz, 2010).

Διαφορετικοί τύποι διεργασιών ζύμωσης έχουν ξεχωριστές εφαρμογές στην παραγωγή τροφίμων:

- Αλκοολική ζύμωση: *Saccharomyces cerevisiae*, η διαδικασία αυτή μετατρέπει τα σάκχαρα σε αιθανόλη και διοξείδιο του άνθρακα. Αποτελεί τη βάση για την παραγωγή αλκοολούχων ποτών, όπως η μύρα, το κρασί και τα οινοπνευματώδη ποτά, καθώς και το ζυμωτό ψωμί (Boulton, 1991).
- Ζύμωση γαλακτικού οξέος: Πραγματοποιείται από βακτήρια γαλακτικού οξέος (π.χ. *Lactobacillus*, *Streptococcus*), η διαδικασία αυτή μετατρέπει τους υδατάνθρακες σε γαλακτικό

οξύ. Είναι απαραίτητη για την παραγωγή γαλακτοκομικών προϊόντων όπως το γιαούρτι και το τυρί, ζυμωμένων λαχανικών και ορισμένων τύπων λουκάνικων (Axelsson, 2004).

- Ζύμωση οξικού οξέος: Χρησιμοποιείται από είδη *Acetobacter*, η διαδικασία αυτή μετατρέπει την αιθανόλη σε οξικό οξύ, αποτελώντας τη βάση για την παραγωγή ξυδιού. Περιλαμβάνει τόσο αερόβια όσο και αναερόβια φάση (Solieri and Giudici, 2008).
- Μικτή όξινη ζύμωση: Αυτός ο τύπος περιλαμβάνει πολλαπλά μονοπάτια που παράγουν διάφορα οξέα (γαλακτικό, οξικό, γλυκόξινο) και αέρια. Είναι χαρακτηριστική για ορισμένα εντερικά βακτήρια και είναι σημαντική στο πλαίσιο της μικροβιακής χλωρίδας του εντέρου (Gottschalk, 1986).

Όσον αφορά τις βιομηχανικές διεργασίες ζύμωσης που λαμβάνουν μέρος, μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με τον τύπο της χρησιμοποιούμενης τεχνικής ζύμωσης. Κατά την ζύμωση παρτίδων (Batch fermentation) επιτρέπεται να συνεχιστεί χωρίς την προσθήκη πρόσθετου υποστρώματος. Ολόκληρη η παρτίδα συγκομίζεται μετά την ολοκλήρωση της ζύμωσης (Stanbury, 2013). Η τεχνική της συνεχής ζύμωσης περιλαμβάνει τη συνεχή προσθήκη υποστρωμάτων στη δεξαμενή ζύμωσης και την ταυτόχρονη απομάκρυνση των προϊόντων. Με τον τρόπο αυτό καθίσταται δυνατή η επίτευξη σταθερής κατάστασης της ζύμωσης, η οποία είναι καλύτερη για παραγωγή μεγάλης κλίμακας (Schuler, MF Kargi, 2002). Τέλος η μέθοδος της ζύμωσης σε παρτίδες τροφοδοσίας (Fed-Batch Fermentation) είναι ένα υβρίδιο διεργασιών παρτίδας και συνεχών διεργασιών. Η ζύμωση τροφοδοτούμενης παρτίδας περιλαμβάνει την προσθήκη υποστρωμάτων σε βήματα χωρίς να αφαιρούνται τα προϊόντα μέχρι το τέλος της περιόδου ζύμωσης. Αυτή η μέθοδος είναι χρήσιμη για τον έλεγχο των επιπέδων θρεπτικών συστατικών και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης (Lee *et al.*, 1999).

3.2.2 Εφαρμογές στο κρέας φυτικής προέλευσης

Η εφαρμογή της μικροβιακής ζύμωσης στα εναλλακτικά προϊόντα κρέατος αξιοποιεί την ικανότητα ορισμένων μικροοργανισμών να παράγουν βιομάζα πλούσια σε πρωτεΐνες και άλλους μεταβολίτες που βελτιώνουν τη γεύση, την υφή και το διατροφικό προφίλ των φυτικών προϊόντων. Η ζύμωση μπορεί να βοηθήσει στη δημιουργία πιο ρεαλιστικών υποκατάστατων

κρέατος μιμούμενη τις πολύπλοκες γεύσεις και υφές που συναντώνται στο ζωικό κρέας (Ritala *et al.*, 2017).

Μία από τις πιο αξιοσημείωτες χρήσεις της μικροβιακής ζύμωσης σε εναλλακτικά προϊόντα κρέατος είναι η παραγωγή μυκοπρωτεΐνης, μιας πλούσιας σε πρωτεΐνες πηγής τροφής που προέρχεται από μύκητες, συγκεκριμένα από το *Fusarium venenatum*. Η μυκοπρωτεΐνη είναι γνωστή για την υφή που μοιάζει με κρέας και την υψηλή θρεπτική της αξία, καθιστώντας την βασικό συστατικό σε προϊόντα όπως το Quorn (Wiebe, 2004). Οι ζύμες και τα βακτήρια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή διαφόρων μεταβολιτών που βελτιώνουν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των εναλλακτικών προϊόντων κρέατος. Για παράδειγμα, ορισμένα στελέχη ζύμης μπορούν να παράγουν αίμη, μια ένωση που περιέχει σίδηρο και προσδίδει γεύση και χρώμα που μοιάζει με αίμα στα κρέατα φυτικής προέλευσης (Xu and Li, 2020). Η παραδοσιακή ιαπωνική μέθοδος ζύμωσης Koji, που περιλαμβάνει την μούχλα *Aspergillus oryzae*, χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενώσεων πλούσιων σε umami. Η ζύμωση Koji μπορεί να ενισχύσει τις αλμυρές γεύσεις στα εναλλακτικά προϊόντα κρέατος, καθιστώντας τα πιο εύγευστα και γευστικά παρόμοια με το κρέας (Allwood, Wakeling and Bean, 2021).

Για τη βελτίωση της ποιότητας και των χαρακτηριστικών των εναλλακτικών προϊόντων κρέατος χρησιμοποιούνται διάφορες ειδικές τεχνικές ζύμωσης. Συγκεκριμένα η ζύμωση στερεάς κατάστασης (SSF) στην οποία, οι μικροοργανισμοί αναπτύσσονται σε στερεά υλικά χωρίς νερό ελεύθερης ροής. Η μέθοδος αυτή είναι αποτελεσματική για την παραγωγή ενώσεων γεύσης και ενζύμων που βελτιώνουν τις οργανοληπτικές ιδιότητες των εναλλακτικών προϊόντων κρέατος. Χρησιμοποιείται συνήθως στην παραγωγή temppeh και άλλων ζυμωμένων προϊόντων σόγιας (Lizardi-Jiménez and Hernández-Martínez, 2017). Η ζύμωση υπό βύθιση (SmF) περιλαμβάνει την καλλιέργεια μικροοργανισμών σε υγρά μέσα. Είναι κατάλληλη για την παραγωγή μικροβιακής βιομάζας και μεταβολιτών μεγάλης κλίμακας. Η SmF χρησιμοποιείται ευρέως στην παραγωγή μυκοπρωτεϊνών και άλλων συστατικών που προέρχονται από ζύμωση για εναλλακτικές λύσεις κρέατος (Nadu, 2012).

3.2.3 Οφέλη και προκλήσεις

Η ενσωμάτωση της ζύμωσης στην παραγωγή εναλλακτικών προϊόντων κρέατος προσφέρει πολλά οφέλη όπως η βιωσιμότητα στα παραγόμενα τρόφιμα. Σε σύγκριση με την

παραδοσιακή κτηνοτροφία, οι διεργασίες ζύμωσης έχουν γενικά χαμηλότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Απαιτούν λιγότερη γη, νερό και ενέργεια και παράγουν λιγότερα αέρια του θερμοκηπίου (Tubb and Seba, 2021). Παράλληλα οφείλει την υγεία καθώς, οι εναλλακτικές λύσεις κρέατος που έχουν υποστεί ζύμωση μπορούν να βελτιώσουν την πέψη, την απορρόφηση θρεπτικών συστατικών αλλά και μείωση των επιβλαβών ουσιών, όπως η χοληστερόλη και τα κορεσμένα λίπη (Marco *et al.*, 2017). Όσον αφορά την γεύση και την υφή η ζύμωση μπορεί να δημιουργήσει σύνθετες γεύσεις και να βελτιώσει την υφή των εναλλακτικών προϊόντων κρέατος, καθιστώντας τα πιο ελκυστικά για τους καταναλωτές. Αυτό μπορεί να αυξήσει την αποδοχή και την υιοθέτηση της φυτικής διατροφής (Q. Liu *et al.*, 2017). Οι διεργασίες ζύμωσης μπορούν να κλιμακωθούν για να καλύψουν την αυξανόμενη ζήτηση για εναλλακτικές πρωτεΐνες. Οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις ζύμωσης μπορούν να παράγουν μεγάλες ποσότητες μικροβιακής βιομάζας και ζυμωμένων συστατικών αποτελεσματικά (Berkel, 2019).

Παρά τα πλεονεκτήματά της, η χρήση της ζύμωσης σε εναλλακτικές λύσεις κρέατος αντιμετωπίζει αρκετές προκλήσεις. Η διατήρηση της σταθερής ποιότητας στις διαδικασίες ζύμωσης μπορεί να αποτελέσει πρόκληση λόγω της μεταβλητότητας της μικροβιακής δραστηριότητας και της σύνθεσης του υποστρώματος. Η εξασφάλιση ομοιομορφίας στην υφή, τη γεύση και το θρεπτικό περιεχόμενο απαιτεί ακριβή έλεγχο των συνθηκών ζύμωσης (Toldrá, 2010). Η παραγωγή συστατικών που προέρχονται από ζύμωση μπορεί να είναι δαπανηρή, ιδίως με προηγμένες τεχνικές όπως η ζύμωση ακριβείας. Η μείωση του κόστους παραγωγής με ταυτόχρονη διατήρηση της ποιότητας αποτελεί βασική πρόκληση για τη βιομηχανία (Ranjitha and Oberoi, 2018). Οι νέες διαδικασίες ζύμωσης και οι γενετικά τροποποιημένοι οργανισμοί που χρησιμοποιούνται στη ζύμωση ακριβείας ενδέχεται να αντιμετωπίσουν ρυθμιστικό έλεγχο. Η διασφάλιση της συμμόρφωσης με τους κανονισμούς για την ασφάλεια των τροφίμων και την επισήμανση είναι απαραίτητη για την αποδοχή από την αγορά (Stephens *et al.*, 2018). Τέλος, ορισμένοι καταναλωτές ενδέχεται να έχουν επιφυλάξεις σχετικά με τα ζυμωμένα ή γενετικά τροποποιημένα συστατικά. Η ενημέρωση των καταναλωτών σχετικά με τα οφέλη και την ασφάλεια αυτών των προϊόντων είναι ζωτικής σημασίας για την αποδοχή τους (Asioli *et al.*, 2017).

Για τη δημιουργία υποκατάστατων κρέατος, η μικροβιακή ζύμωση είναι μια ευέλικτη και αποτελεσματική τεχνική που έχει πολλά πλεονεκτήματα για τη βιωσιμότητα, την υγεία και

τη γεύση. Ωστόσο, για να αξιοποιήσει πλήρως τις δυνατότητές της, πρέπει να επιλυθούν ζητήματα όπως το κόστος, η αποδοχή από τους πελάτες, η κανονιστική συμμόρφωση και η ομοιομορφία. Η ζύμωση έχει τη δυνατότητα να καταστεί σημαντικότερος παράγοντας στη δημιουργία βιώσιμων υποκατάστατων κρέατος που θα ικανοποιούν την αυξανόμενη ζήτηση των καταναλωτών για ηθικά και οικολογικά συνειδητές επιλογές τροφίμων, καθώς η επιστήμη και η τεχνολογία εξελίσσονται.

3.3 Καλλιέργεια κυττάρων

Η καλλιέργεια κυττάρων, είναι μια διαδικασία που γίνεται σε ελεγχόμενο περιβάλλον εκτός του φυσικού τους περιβάλλοντος, έχει γίνει ακρογωνιαίος λίθος της βιοϊατρικής έρευνας και της βιοτεχνολογίας. Πρόσφατα, η τεχνική αυτή προσαρμόστηκε για τη δημιουργία εναλλακτικών λύσεων κρέατος, προσφέροντας μια βιώσιμη και ηθική λύση στην παραδοσιακή κτηνοτροφία. Το καλλιεργημένο κρέας, επίσης γνωστό ως κρέας που καλλιεργείται στο εργαστήριο ή κρέας με βάση τα κύτταρα, έχει τη δυνατότητα να μεταμορφώσει τη βιομηχανία τροφίμων, παρέχοντας προϊόντα κρέατος που δεν διακρίνονται από το συμβατικό κρέας όσον αφορά τη γεύση, την υφή και το διατροφικό προφίλ.

3.3.1 Βασικά στοιχεία της κυτταρικής καλλιέργειας

Τα ζωικά κύτταρα πρέπει πρώτα να απομονωθούν, στη συνέχεια να πολλαπλασιαστούν *in vitro* και, τέλος, να διαφοροποιηθούν σε μυϊκό ιστό, προκειμένου να παραχθεί κρέας μέσω κυτταροκαλλιέργειας. Για την περίπλοκη αυτή προσέγγιση είναι απαραίτητη μια ολοκληρωμένη κατανόηση της κυτταρικής βιολογίας, της μηχανικής ιστών και των τεχνικών βιοεπεξεργασίας (Post, 2012).

Τα βήματα για την κυτταρική καλλιέργεια περιλαμβάνουν την απομόνωση των κυττάρων, τον κυτταρικό πολλαπλασιασμό και την κυτταρική διαφοροποίηση. Η λήψη δείγματος των κυττάρων ενός ζώου ενώ αυτό είναι ακόμη ζωντανό είναι το πρώτο στάδιο για την παραγωγή καλλιεργημένου κρέατος. Μια βιοψία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λήψη μυϊκών κυττάρων, και πιο συγκεκριμένα τα μεσεγχυματικά βλαστοκύτταρα ή αλλιώς δορυφορικά κύτταρα, τα οποία αποτελούν τα δομικά στοιχεία του μυϊκού ιστού. Η επιλογή αυτών των κυττάρων βασίστηκε στην ικανότητά τους να πολλαπλασιάζονται και να διαφοροποιούνται σε πλήρως ανεπτυγμένες μυϊκές ίνες (Kadim *et al.*, 2015). Μετά το διαχωρισμό τους, τα κύτταρα καλλιεργούνται σε ένα μέσο πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά, το οποίο παρέχει τις απαραίτητες ορμόνες, αυξητικούς παράγοντες και θρεπτικά συστατικά για την κυτταρική διαίρεση και επέκταση. Τα αμινοξέα, οι βιταμίνες, η γλυκόζη και ο ορός περιλαμβάνονται συνήθως στο μέσο καλλιέργειας- ωστόσο, δημιουργούνται υποκατάστατα χωρίς ορό για να μειωθεί η εξάρτηση από υλικά ζωικής προέλευσης (Bhat *et al.*, 2015). Τα πολλαπλασιασμένα κύτταρα πρέπει να διαφοροποιηθούν σε μυϊκές ίνες προκειμένου να παραχθεί ιστός που μοιάζει με κρέας. Η διαδικασία αυτή ξεκινά με τη δημιουργία

μυοσωλήνων, οι οποίοι υπό την επίδραση συγκεκριμένων αυξητικών ορμονών και μηχανικών ερεθισμάτων εξελίσσονται σε μυϊκές ίνες. Το κολλαγόνο και το αλγινικό είναι δύο κοινά υλικά ικριωμάτων που χρησιμοποιούνται για να διευκολύνουν την τρισδιάστατη ανάπτυξη και οργάνωση των κυττάρων σε αρχιτεκτονικές ιστών (Orellana *et al.*, 2020).

3.3.2 Μέθοδοι και καινοτομίες

Η ανάπτυξη του καλλιεργημένου κρέατος έχει οδηγήσει σε πολυάριθμες καινοτομίες στις μεθόδους και τις τεχνολογίες κυτταροκαλλιέργειας, με στόχο τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας, της επεκτασιμότητας και της ποιότητας των προϊόντων.

- Προσεγγίσεις βασισμένες σε ικριώματα: Τα ικριώματα παρέχουν μια τρισδιάστατη δομή που υποστηρίζει την προσκόλληση, την ανάπτυξη και τη διαφοροποίηση των κυττάρων. Διάφορα υλικά, συμπεριλαμβανομένων φυσικών πολυμερών όπως το κολλαγόνο και συνθετικών πολυμερών όπως το πολυγαλακτικό οξύ, χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία ικριωμάτων που μιμούνται την εξωκυτταρική μήτρα του μυϊκού ιστού. Αυτά τα ικριώματα βοηθούν στο σχηματισμό δομημένων προϊόντων κρέατος με την επιθυμητή υφή (Lanza and Atala, 2012).
- Βιοαντιδραστήρες: Η μεγάλης κλίμακας παραγωγή καλλιεργημένου κρέατος απαιτεί βιοαντιδραστήρες, οι οποίοι είναι συσκευές που παρέχουν ένα ελεγχόμενο περιβάλλον για την καλλιέργεια κυττάρων. Οι βιοαντιδραστήρες ρυθμίζουν παραμέτρους όπως η θερμοκρασία, το pH, τα επίπεδα οξυγόνου και η παροχή θρεπτικών ουσιών, εξασφαλίζοντας βέλτιστες συνθήκες για την ανάπτυξη των κυττάρων και τον σχηματισμό ιστών. Οι καινοτομίες στον σχεδιασμό βιοαντιδραστήρων, όπως η ανάπτυξη βιοαντιδραστήρων αιμάτωσης και αναδεδυμένων δεξαμενών, έχουν βελτιώσει την επεκτασιμότητα και την αποτελεσματικότητα της παραγωγής καλλιεργούμενου κρέατος (Moritz, Verbruggen and Post, 2015).
- Βελτιστοποίηση μέσω ανάπτυξης: παρέχει τα θρεπτικά συστατικά και τους αυξητικούς παράγοντες που είναι απαραίτητοι για τον πολλαπλασιασμό και τη διαφοροποίηση των κυττάρων. Οι ερευνητές διερευνούν σκευάσματα μέσω χωρίς ορό και με βάση τα φυτά για να μειώσουν το κόστος και τις ηθικές ανησυχίες που σχετίζονται με τον ορό ζωικής προέλευσης. Οι εξελίξεις στη βελτιστοποίηση των μέσων ανάπτυξης έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν σημαντικά το κόστος παραγωγής του καλλιεργούμενου κρέατος (O'Neill *et al.*,

2019).

- Γενετική μηχανική: Οι τεχνικές γενετικής μηχανικής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση των δυνατοτήτων ανάπτυξης και διαφοροποίησης των κυττάρων που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή καλλιεργούμενου κρέατος. Τροποποιώντας συγκεκριμένα γονίδια, οι ερευνητές μπορούν να βελτιώσουν την αποδοτικότητα των διαδικασιών καλλιέργειας κυττάρων, να ενισχύσουν το διατροφικό προφίλ του τελικού προϊόντος, ακόμη και να εισάγουν νέες γεύσεις και υφές. Το CRISPR-Cas9 και άλλα εργαλεία επεξεργασίας γονιδιώματος έχουν ανοίξει νέους δρόμους για τη βελτιστοποίηση των κυτταρικών σειρών για την παραγωγή κρέατος (Sharma, 2015).

- Συστήματα συγκαλλιέργειας: Για τη δημιουργία ενός πιο ρεαλιστικού προϊόντος κρέατος, αναπτύσσονται συστήματα συγκαλλιέργειας που περιλαμβάνουν πολλαπλούς τύπους κυττάρων, όπως μυϊκά κύτταρα, λιποκύτταρα και κύτταρα συνδετικού ιστού. Τα συστήματα αυτά στοχεύουν στην αναπαραγωγή των πολύπλοκων κυτταρικών αλληλεπιδράσεων και δομών που απαντώνται στο φυσικό κρέας, με αποτέλεσμα ένα προϊόν με βελτιωμένη γεύση, υφή και θρεπτική αξία (Bhat and Fayaz, 2010).

3.3.3 Τρέχουσα κατάσταση και μελλοντικές προοπτικές

Με γνώμονα την αυξανόμενη καταναλωτική ζήτηση, τα αυξανόμενα επίπεδα επενδύσεων και την επιστημονική πρόοδο, η εμπορική αξιοποίηση του καλλιεργημένου κρέατος προχωράει με ταχείς ρυθμούς. Ωστόσο, πρέπει να ξεπεραστούν ορισμένα εμπόδια προκειμένου να επιτευχθεί εκτεταμένη αποδοχή και εμπορική επιτυχία.

Ορισμένα ερευνητικά ινστιτούτα και επιχειρήσεις πρωτοστατούν στη δημιουργία καλλιεργημένου κρέατος. Μικρές ποσότητες προϊόντων καλλιεργημένου κρέατος, όπως βοοειδή, πουλερικά, ακόμη και μπριζόλες, έχουν παραχθεί με επιτυχία από επιχειρήσεις όπως οι Memphis Meats, Mosa Meat και Aleph Farms. Ένας σημαντικός στόχος για αυτές τις επιχειρήσεις είναι η κανονιστική έγκριση- το 2020, η Σιγκαπούρη θα γίνει το πρώτο έθνος που θα επιτρέψει την πώληση καλλιεργημένου κρέατος (Stephens *et al*), 2018). Το υψηλό κόστος παραγωγής είναι ένα από τα κύρια ζητήματα που αντιμετωπίζει ο τομέας του καλλιεργημένου κρέατος. Παρόλο που το κόστος έχει μειωθεί δραματικά από τότε που δημιουργήθηκε το πρώτο

καλλιεργημένο μπιφτέκι το 2013, η επίτευξη της ισοτιμίας των τιμών με το παραδοσιακό κρέας εξακολουθεί να αποτελεί σημαντικό στόχο. Για να καταστεί το καλλιεργημένο κρέας εμπορικά εφικτό, απαιτείται συνεχής έρευνα και ανάπτυξη στη βελτιστοποίηση της βιολογικής διαδικασίας, κλιμακούμενα σχέδια βιοαντιδραστήρων και προσιτά μέσα καλλιέργειας (Thorrez and Vandenburg, 2019). Οι κανονισμοί για το καλλιεργημένο κρέας βρίσκονται ακόμη υπό διαμόρφωση. Η απόκτηση της εμπιστοσύνης των καταναλωτών και η κανονιστική έγκριση των προϊόντων καλλιεργημένου κρέατος εξαρτάται από τη διασφάλιση της ασφάλειας, της ποιότητας και της επισήμανσής τους. Κατευθυντήριες γραμμές για την αξιολόγηση και την έγκριση του καλλιεργημένου κρέατος αναπτύσσονται από οργανισμούς όπως η Ευρωπαϊκή Αρχή Ασφάλειας Τροφίμων (EFSA) και η Αμερικανική Υπηρεσία Τροφίμων και Φαρμάκων (FDA), με έμφαση σε παράγοντες όπως η πηγή των κυττάρων, οι συνθήκες καλλιέργειας και οι δοκιμές του τελικού προϊόντος (Bryant and Barnett, 2020). Ένας αριθμός παραγόντων, συμπεριλαμβανομένης της αντιλαμβανόμενης ασφάλειας, των ηθικών ανησυχιών, της γεύσης και του κόστους, επηρεάζουν την υιοθέτηση του καλλιεργημένου κρέατος από τους καταναλωτές. Η εδραίωση της εμπιστοσύνης των πελατών απαιτεί δημόσια εκπαίδευση και διαφάνεια της βιομηχανικής διαδικασίας. Σύμφωνα με τους ερευνητές Verbeke et al (2015), οι καταναλωτές γίνονται όλο και πιο ανοιχτοί στο να δοκιμάσουν το καλλιεργημένο κρέας, ιδίως οι νεότεροι και πιο οικολογικά ευαισθητοποιημένοι πληθυσμοί. Θετικό αντίκτυπο θα επιφέρει στο περιβάλλον καθώς, η ανάπτυξη του καλλιεργημένου κρέατος έχει τη δυνατότητα να μειώσει δραστικά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της παραγωγής κρέατος. Σε σύγκριση με τη συμβατική παραγωγή βοοειδών, χρησιμοποιεί λιγότερη ενέργεια, νερό και γη και εκπέμπει λιγότερα αέρια του θερμοκηπίου. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα των διαδικασιών παραγωγής, καθώς και οι πηγές ενέργειας και υλικών που χρησιμοποιούνται, θα καθορίσουν τα πραγματικά περιβαλλοντικά οφέλη (Tuomisto and De Mattos, 2011). Όσον αφορά τις μελλοντικές προοπτικές της κυτταρικής καλλιέργειας, θεωρούνται παραπάνω από βιώσιμες καθώς, με τις συνεχείς τεχνολογικές εξελίξεις και τις αυξανόμενες επενδύσεις του ιδιωτικού και δημόσιου τομέα, ο κλάδος προμηνύεται να εκτοξευτεί. Σε μια προσπάθεια να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα της παραγωγής και η επεκτασιμότητα, οι επιστήμονες εξετάζουν τη δυνατότητα χρησιμοποίησης άλλων κυτταρικών πηγών, όπως τα βλαστοκύτταρα και τα επαγόμενα πολυδύναμα βλαστικά κύτταρα. Πιο περίπλοκα και δομημένα προϊόντα κρέατος θα μπορούσαν να παραχθούν ως αποτέλεσμα των εξελίξεων στη μηχανική των ιστών, όπως η

δημιουργία αγγειωμένων ιστών (Kadim *et al.*, 2015). Η ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης στη βιοεπεξεργασία έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει την ποιότητα των προϊόντων και να βελτιστοποιήσει τις συνθήκες ανάπτυξης των κυττάρων. Επιπλέον, η επίλυση των ζητημάτων και η επιτάχυνση της εμπορίας του καλλιεργημένου κρέατος θα απαιτήσει τη συνεργασία μεταξύ επιχειρήσεων, ακαδημαϊκών και ρυθμιστικών οργανισμών.

3.4 Εναλλακτικές τεχνικές

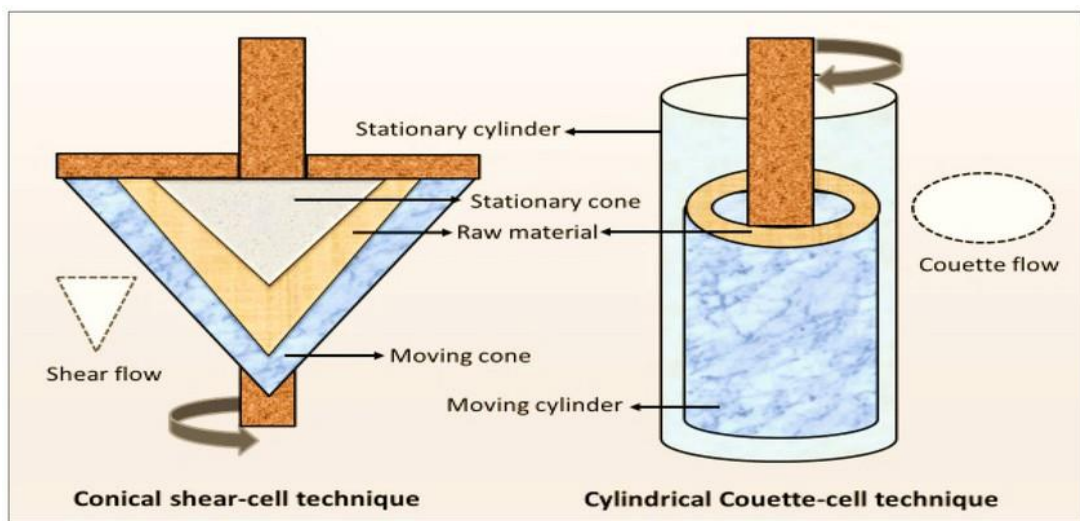
3.4.1 Τεχνολογία κυψελών διάτμησης

Μια εφευρετική τεχνική για τη δημιουργία υποκατάστατων κρέατος που μιμούνται στενά την ινώδη υφή του μυϊκού ιστού είναι η τεχνολογία των κυττάρων διάτμησης. Χρησιμοποιώντας διατμητικές τάσεις, τα υλικά με βάση τις πρωτεΐνες χειραγωγούνται ώστε να υποστούν δομικές μεταβολές που τους προσδίδουν υφή παρόμοια με αυτή του κρέατος. Στη διαδικασία αυτή χρησιμοποιούνται συνήθως φυτικές πρωτεΐνες, όπως η σόγια, η γλουτένη σιταριού ή η πρωτεΐνη μπιζελιού. Αυτές οι πρωτεΐνες συνδυάζονται με νερό και θερμαίνονται και διατμηθούν υπό ελεγχόμενες συνθήκες σε μια εξειδικευμένη συσκευή που ονομάζεται κυψέλη διάτμησης (Dekkers et al., 2018). Ο μηχανισμός της διάτμησης αποτελείται από δύο περιστρεφόμενους ομόκεντρους κυλίνδρους σε σχέση μεταξύ τους. Το υλικό εκτίθεται σε διατμητικές δυνάμεις που ευθυγραμμίζουν τις πρωτεϊνικές ίνες όταν το πρωτεϊνικό μείγμα τοποθετείται μεταξύ αυτών των περιστρεφόμενων κυλίνδρων. Η θερμότητα εφαρμόζεται καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας για να βοηθήσει στη σταθεροποίηση των ινών στη θέση τους, δημιουργώντας ένα προϊόν με υφή που μοιάζει με τη σύνθεση του μυϊκού ιστού που βρίσκεται στα ζώα (Dekkers et al., 2018). Ένα από τα πολλά πλεονεκτήματα της τεχνολογίας κυψελών διάτμησης είναι ότι μπορεί να παράγει περίπλοκες υφές χωρίς να απαιτείται πολλή μεταγενέστερη επεξεργασία. Σε σύγκριση με άλλες τεχνικές όπως η εξώθηση, χρησιμοποιεί συγκριτικά λιγότερη ενέργεια, γεγονός που την καθιστά μια πιο φιλική προς το περιβάλλον διαδικασία. Επιπλέον, η χρήση πρωτεϊνών φυτικής προέλευσης συνάδει με την αυξανόμενη επιθυμία για ηθικές και βιώσιμες διατροφικές επιλογές (Kyrianiou et al., 2020).

Η τεχνική των διατμητικών κυττάρων έχει αποδειχθεί αποτελεσματική στην παραγωγή κοτόπουλου, βοδινού κρέατος και ψαριών φυτικής προέλευσης, καθώς και άλλων ζωικών υποκατάστατων. Αυτή η τεχνολογία βελτιώνεται συνεχώς από τους ερευνητές για να αυξηθεί το εύρος και η ποιότητα των ειδών. Για την παραγωγή κοτόπουλου φυτικής προέλευσης, γίνεται χρήση της τεχνολογίας διατμητικών κυττάρων από επιχειρήσεις όπως η Ojah και η Beyond Meat. Έχουν παράγει προϊόντα κοτόπουλου φυτικής προέλευσης που έχουν γεύση και αίσθηση που μοιάζουν πολύ με το γνήσιο κοτόπουλο. Η επεξεργασία με διατμητικά κύτταρα έχει ως αποτέλεσμα μια ινώδη δομή που μοιάζει πειστικά με τη σάρκα (Ojah, 2020). Ανάλογες μέθοδοι έχουν χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία φυτικών υποκατάστατων του βοείου κρέατος.

Οι κατασκευαστές μπορούν να ικανοποιήσουν τις διαφορετικές προτιμήσεις των καταναλωτών παράγοντας προϊόντα με μια σειρά από υφές και γεύσεις τροποποιώντας το μείγμα πρωτεϊνών και τις συνθήκες επεξεργασίας (Κυργιανου, 2020).

Στόχος είναι η βελτίωση των αισθητηριακών ιδιοτήτων και του διατροφικού προφίλ των υποκατάστατων κρέατος που παρασκευάζονται από κύτταρα διάτμησης. Η ποικιλία των προϊόντων που είναι διαθέσιμα στους καταναλωτές αναμένεται να αυξηθεί λόγω των εξελίξεων στις πηγές πρωτεΐνης και στις μεθόδους επεξεργασίας ((Dekkers, Boom and van der Goot, 2018)).



Εικόνα 3 Τεχνική διατμητικής κυψέλης για κρέας φυτικής προέλευσης (Πηγή: <https://www.lifefasible.com/shear-cell-technique-for-plant-based-meat/>)

3.4.2 Τρισδιάστατη εκτύπωση

Η διαδικασία παραγωγής τρισδιάστατων αντικειμένων με τη διαστρωμάτωση υλικού πάνω σε ένα μοντέλο υπολογιστή ονομάζεται προσθετική κατασκευή ή τρισδιάστατη εκτύπωση. Σύμφωνα με τους Gao *et al.*, (2019), η τρισδιάστατη εκτύπωση καθιστά δυνατή την ακριβή διαχείριση του περιεχομένου, της υφής και του σχήματος των τροφίμων στο πλαίσιο της παραγωγής τροφίμων. Αυτό επιτρέπει την κατασκευή περίπλοκων και εξατομικευμένων υποκατάστατων κρέατος.

Οι πάστες πρωτεϊνών φυτικής προέλευσης ή οι κυτταρικές καλλιέργειες χρησιμοποιούνται συνήθως ως υλικά εκτύπωσης στη διαδικασία τρισδιάστατης εκτύπωσης για υποκατάστατα κρέατος. Ένας τρισδιάστατος εκτυπωτής με ειδικό ακροφύσιο χρησιμοποιείται

για την φόρτωση αυτών των υλικών και το ακροφύσιο εξωθεί το υλικό σύμφωνα με ένα προγραμματισμένο σχέδιο. Στρώμα προς στρώμα, ο εκτυπωτής δημιουργεί την επιθυμητή δομή, η οποία μπορεί στη συνέχεια να μαγειρευτεί ή να υποστεί περαιτέρω επεξεργασία για τη βελτίωση των ιδιοτήτων της (Gao *et al.*, 2019). Για να επιτευχθεί η κατάλληλη υφή και το κατάλληλο θρεπτικό προφίλ, η επιλογή του υλικού εκτύπωσης είναι απαραίτητη. Η πρωτεΐνη σόγιας, η πρωτεΐνη μπιζελιού και η μυκοπρωτεΐνη είναι συχνά χρησιμοποιούμενα συστατικά που μπορούν να συνδυαστούν με αρωματικές ουσίες, συνδετικούς παράγοντες και χρωστικές ουσίες για να δημιουργήσουν ένα προϊόν που είναι βρώσιμο. Πρόσφατες εξελίξεις έχουν επίσης εξετάσει υλικά εκτύπωσης από καλλιεργημένα κύτταρα, γεγονός που κατέστησε δυνατή την παραγωγή κρέατος που καλλιεργείται στο εργαστήριο με περίπλοκη αρχιτεκτονική (Z. Liu *et al.*, 2017).

Λόγω της προσαρμοστικότητάς της, η τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης χρησιμοποιείται σε πολλές πτυχές της κατασκευής υποκατάστατων κρέατος, από την παραγωγή μοναδικών γαστρονομικών προϊόντων έως την προσαρμογή των υφών. Υποκατάστατα κρέατος με μοναδικές υφές και μορφές μπορούν να κατασκευαστούν χάρη στην τρισδιάστατη εκτύπωση. Για παράδειγμα, επιχειρήσεις όπως η Redefine Meat και η Novameat παράγουν μπιριζόλες φυτικής προέλευσης με πολύπλοκες μυϊκές δομές και μαρμαρυγία χρησιμοποιώντας τρισδιάστατη εκτύπωση, η οποία μοιάζει πολύ με την εμφάνιση και την υφή του πραγματικού κρέατος (Redefine Meat, 2020). Με την προσθήκη βιταμινών, μετάλλων και άλλων βιοδραστικών ουσιών απευθείας στο υλικό εκτύπωσης, η τρισδιάστατη εκτύπωση παρουσιάζει τη δυνατότητα βελτίωσης του διατροφικού προφίλ των υποκατάστατων κρέατος. Αυτή η δεξιότητα επιτρέπει τη δημιουργία εξατομικευμένων τροφίμων που ικανοποιούν συγκεκριμένες διατροφικές απαιτήσεις και προτιμήσεις (Z. Liu *et al.*, 2017). Στόχος της έρευνας για την τρισδιάστατη εκτύπωση τροφίμων είναι να αυξηθεί το εύρος των υλικών που μπορούν να εκτυπωθούν, ενώ παράλληλα να βελτιωθεί η ακρίβεια και η ανάλυση των τελικών προϊόντων. Είναι δυνατόν να δημιουργηθεί κρέας που καλλιεργείται στο εργαστήριο με απίστευτα αληθινές υφές και γεύσεις λόγω των εξελίξεων στη βιοεκτύπωση, η οποία χρησιμοποιεί ζωντανά κύτταρα (Sun *et al.*, 2018).



Εικόνα 4 3D τυπωμένη μπιριζόλα βοδινού κρέατος (Πηγή: https://pngtree.com/freebackground/impeccable-precision-a-3d-printer-crafting-a-flawless-meat-creation-from-a-bird-s-eye-perspective_13362292.html)

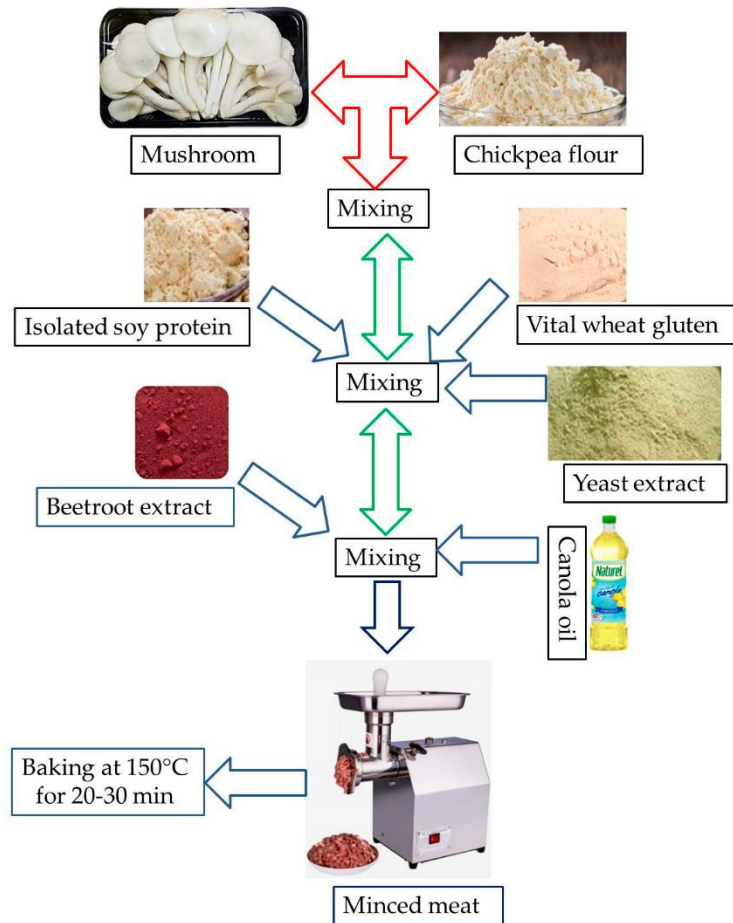
3.4.3 Μέθοδοι ανάμειξης και σύνδεσης

Τα θεμελιώδη βήματα στην παρασκευή υποκατάστατων κρέατος περιλαμβάνουν τεχνικές ανάμειξης και συγκόλλησης, οι οποίες συνδυάζουν διαφορετικές ουσίες για να παράγουν ένα συνεκτικό και ομοιογενές αποτέλεσμα. Για να επιτευχθεί η σωστή υφή και σταθερότητα, οι τεχνικές αυτές χρησιμοποιούν συνδετικά, γαλακτωματοποιητές και μηχανικές διαδικασίες.

Η ποιότητα του τελικού προϊόντος επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την επιλογή των συστατικών. Η κύρια πηγή πρωτεΐνης είναι συχνά η φυτική πρωτεΐνη, όπως η σόγια, η γλουτένη σιταριού και η πρωτεΐνη μπιζελιού. Οι γαλακτωματοποιητές, όπως η λεκιθίνη και η απομονωμένη πρωτεΐνη σόγιας, ενισχύουν την υφή και την αίσθηση του στόματος των συστατικών, ενώ οι συνδετικοί παράγοντες, όπως η μεθυλοκυτταρίνη, η καραγενάνη και η πηκτίνη, βοηθούν στη συγκράτηση των συστατικών (Asgar *et al.*, 2010). Για τον πλήρη συνδυασμό των συστατικών και την επίτευξη της απαιτούμενης υφής, χρησιμοποιούνται μέθοδοι μηχανικής επεξεργασίας, όπως ανάμιξη με υψηλή διάτμηση, εξώθηση και ζύμωση. Αυτές οι διαδικασίες μπορεί να επηρεάσουν την αλληλεπίδραση και τη δομή των πρωτεϊνών, με αποτέλεσμα η σύσταση να μοιάζει με κρέας (Pietrasik and Janz, 2010). Τα μπιφτέκια, τα λουκάνικα και τα nuggets με βάση τα φυτά είναι μεταξύ των πολλών υποκατάστατων κρέατος

που παράγονται με τη χρήση τεχνικών ανάμειξης και συγκόλλησης. Η γκάμα και η ποιότητα αυτών των προϊόντων βελτιώνονται συνεχώς με τις τεχνολογικές εξελίξεις. Επιχειρήσεις όπως η Impossible Foods και η Beyond Meat χρησιμοποιούν εξελιγμένες μεθόδους ανάμειξης και συγκόλλησης για την παραγωγή μπιφτεκιών φυτικής προέλευσης που έχουν εκπληκτική ομοιότητα με τη γεύση και τη σύσταση των μπιφτεκιών βοοειδών. Μια αξιοσημείωτη πρόοδος σε αυτόν τον τομέα είναι η προσθήκη αίμης, μιας χημικής ουσίας που είναι υπεύθυνη για την ξεχωριστή γεύση του κρέατος (Impossible Food, 2021). Ταυτόχρονα για την επίτευξη φυτικών λουκάνικων και νάγκετς, οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή τους είναι παρόμοιες. Οι κατασκευαστές μπορούν να ικανοποιήσουν ποικίλες προτιμήσεις των καταναλωτών, παράγοντας προϊόντα με μεταβλητή υφή και γεύση, προσαρμόζοντας τη σύνθεση των συστατικών και τις συνθήκες επεξεργασίας (Pietrasik and Janz, 2010).

Προκειμένου να μειωθεί η εξάρτηση από τα τεχνητά πρόσθετα, επιχειρείται να παραχθούν νέα συνδετικά και γαλακτωματοποιητές που προέρχονται από φυσικές πηγές. Επιπλέον, αναμένεται ότι οι εξελίξεις στις μεθόδους μηχανικής επεξεργασίας θα βελτιώσουν την υφή και τις οργανοληπτικές ιδιότητες των υποκατάστατων κρέατος (Asgar *et al*., 2010).



Εικόνα 5 Processing of *Pleurotus sajor-caju* mushroom-based minced meat substitute (Mazumder et al., 2023)

Η ανάπτυξη εναλλακτικών τεχνικών για τη δημιουργία υποκατάστατων κρέατος έχει σημειώσει σημαντικά βήματα τα τελευταία χρόνια, με γνώμονα την ανάγκη για βιώσιμη και ηθική παραγωγή τροφίμων. Η τεχνολογία διαμητικών κυττάρων, η τρισδιάστατη εκτύπωση και οι μέθοδοι ανάμειξης και συγκόλλησης προσφέρουν το καθένα μοναδικά πλεονεκτήματα και προκλήσεις, συμβάλλοντας στην αυξανόμενη ποικιλία και ποιότητα των εναλλακτικών προϊόντων κρέατος που είναι διαθέσιμα στους καταναλωτές. Καθώς η έρευνα και η καινοτομία συνεχίζουν να εξελίσσονται, οι τεχνολογίες αυτές έχουν τη δυνατότητα να φέρουν επανάσταση στη βιομηχανία τροφίμων, παρέχοντας νόστιμες, θρεπτικές και φιλικές προς το περιβάλλον εναλλακτικές λύσεις για το συμβατικό κρέας.

Κεφάλαιο IV

4. Περιβαλλοντικές και υγειονομικές επιπτώσεις

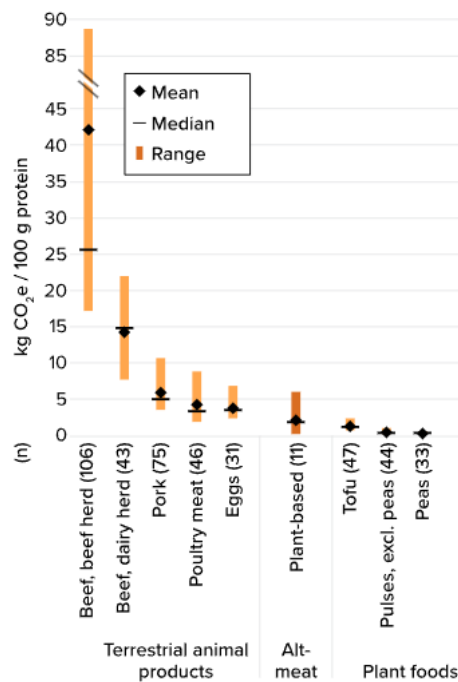
2.3 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Η αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού και η αυξανόμενη ζήτηση κρέατος έχουν προκαλέσει ανησυχίες σχετικά με τη βιωσιμότητα και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της παραδοσιακής παραγωγής κρέατος. Η κτηνοτροφία συμβάλλει σημαντικά στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, στην αποψίλωση των δασών, στη λειψυδρία και στην απώλεια της βιοποικιλότητας. Ως απάντηση, οι εναλλακτικές λύσεις κρέατος -όπως το κρέας φυτικής προέλευσης και το καλλιεργημένο κρέας- έχουν αναδειχθεί ως βιώσιμες λύσεις που αποσκοπούν στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της παραγωγής κρέατος. Το παρόν κεφάλαιο θα διερευνήσουμε τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των εναλλακτικών λύσεων κρέατος, την σύγκριση με την παραδοσιακή παραγωγή κρέατος και την εξέταση της ανάλυσης κύκλου ζωής (AKZ) ως εργαλείο για την αξιολόγηση της βιωσιμότητάς τους.

Τα εναλλακτικά προϊόντα κρέατος έχουν σχεδιαστεί για να αναπαράγουν τη γεύση, την υφή και το θρεπτικό προφίλ του συμβατικού κρέατος, ελαχιστοποιώντας παράλληλα την περιβαλλοντική ζημία. Αυτές οι εναλλακτικές λύσεις περιλαμβάνουν κρέατα φυτικής προέλευσης που παρασκευάζονται από πρωτεΐνες σόγιας, μπιζελιού και σιταριού, καθώς και καλλιεργημένα κρέατα που παράγονται με τεχνικές κυτταροκαλλιέργειας.

Το μεθάνιο (CH₄), το υποξείδιο του αζώτου (N₂O) και το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) είναι μεταξύ των σημαντικότερων αερίων του θερμοκηπίου που εκλύονται κατά την παραδοσιακή διαδικασία παρασκευής κρέατος. Πολυάριθμες διεργασίες, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής ζωοτροφών, της διαχείρισης της κοπριάς και της εντερικής ζύμωσης στα μηρυκαστικά, είναι υπεύθυνες για αυτές τις εκπομπές. Από την άλλη πλευρά, τα υποκατάστατα κρέατος συνήθως οδηγούν σε χαμηλότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Οι Nijdam et al., (2012), για παράδειγμα, απέδειξαν ότι τα κρέατα φυτικής προέλευσης παράγουν αισθητά λιγότερες εκπομπές από το βόειο και το χοιρινό κρέας.

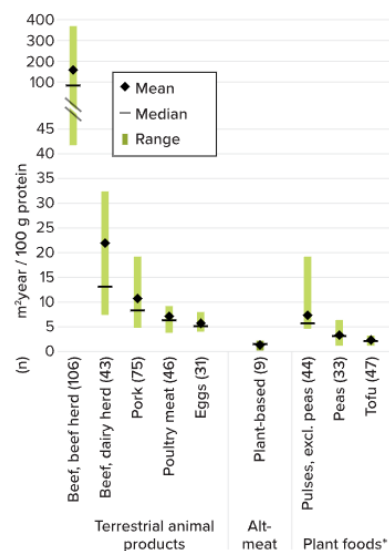
Greenhouse gas footprints of food proteins



Εικόνα 6 Αποτυπώματα αερίων θερμοκηπίου των πρωτεϊνών τροφίμων

Η βόσκηση και η καλλιέργεια ζωοτροφών που συνδέονται με την κτηνοτροφία απαιτούν μεγάλες εκτάσεις γης, με αποτέλεσμα την απώλεια οικοτόπων και την αποψίλωση των δασών. Τα φυτικά υποκατάστατα κρέατος, για παράδειγμα, χρησιμοποιούν πολύ λιγότερη γη. Για παράδειγμα, η έκταση γης που απαιτείται για την παραγωγή ενός κιλού κρέατος φυτικής προέλευσης είναι συνήθως πολύ μικρότερη από εκείνη που απαιτείται για την παραδοσιακή παραγωγή βοοειδών (Poore and Nemecek, 2018).

Land use footprints of food proteins



Η παραγωγή παραδοσιακού κρέατος είναι ένας σημαντικός παγκόσμιος καταναλωτής νερού και η έλλειψη νερού αποτελεί κρίσιμη ανησυχία. Σε σύγκριση με το παραδοσιακό κρέας, τα υποκατάστατα κρέατος έχουν σημαντικά μικρότερο υδάτινο αποτύπωμα. Για παράδειγμα, σε σύγκριση με την παραγωγή βοοειδών, η παραγωγή κρέατος φυτικής προέλευσης μπορεί να εξοικονομήσει χιλιάδες λίτρα νερού (Mekonnen and Hoekstra, 2012). Η αύξηση της κτηνοτροφικής παραγωγής οδηγεί σε μείωση της βιοποικιλότητας μέσω της ρύπανσης, της υπερβόσκησης και της καταστροφής των ενδιαιτημάτων. Τα υποκατάστατα του κρέατος έχουν λιγότερες επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα, επειδή απαιτούν λιγότερο χώρο και πόρους. Οι Bengtsson *et al.*, (2021) προτείνουν ότι ιδίως το καλλιεργημένο κρέας έχει τη δυνατότητα να μειώσει τη ζήτηση για βιομηχανική κτηνοτροφία και έτσι να μετριάσει τους κινδύνους για τη βιοποικιλότητα. Σε σύγκριση με το κανονικό κρέας, τα υποκατάστατα κρέατος είναι συνήθως πιο αποδοτικά ως προς τους πόρους. Στα συστήματα με βάση τα φυτά, οι ζωοτροφές μπορούν να μετατραπούν σε βρώσιμες πρωτεΐνες πολύ πιο αποτελεσματικά και το καλλιεργημένο κρέας μπορεί να παραχθεί με ρυθμιζόμενες εισροές, γεγονός που μειώνει τα απόβλητα και την αναποτελεσματικότητα (Tuomisto *et al.*, 2014).

4.3.1 Σύγκριση με την παραδοσιακή παραγωγή κρέατος

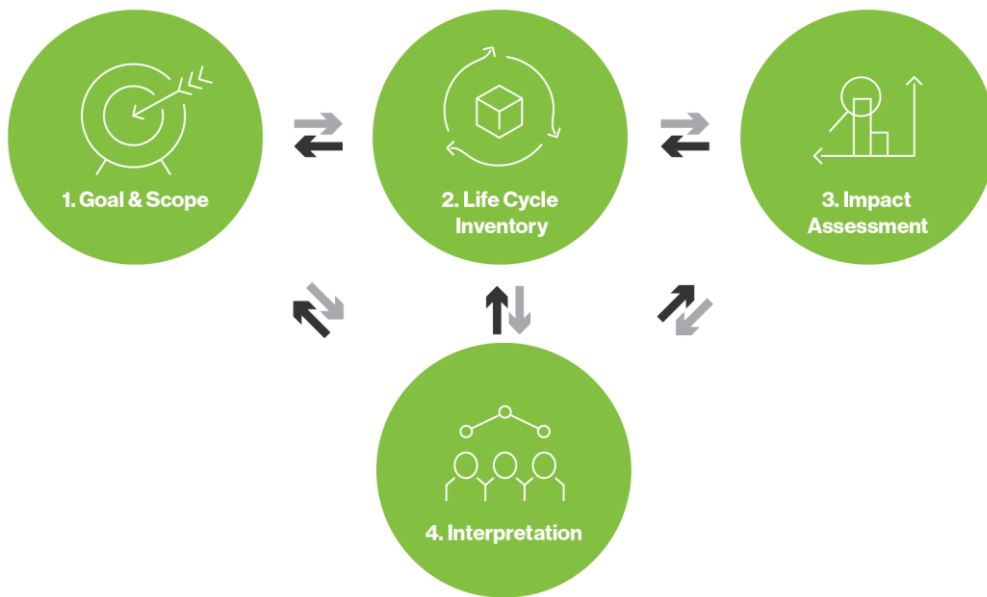
Είναι ζωτικής σημασίας να συγκριθούν τα υποκατάστατα κρέατος με τη συμβατική παραγωγή κρέατος σε μια σειρά περιβαλλοντικών παραμέτρων, προκειμένου να κατανοηθούν πλήρως τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα των υποκατάστατων κρέατος. Όσον αφορά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, η συμβατική παραγωγή βοείου κρέατος συμβάλλει σημαντικά στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Η εντερική ζύμωση στα βοοειδή έχει ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό μεθανίου, ενός ισχυρού αερίου του θερμοκηπίου, το οποίο συμβάλλει στο μεγάλο αποτύπωμα άνθρακα της βιομηχανίας βοείου κρέατος. Αντίθετα, τα κρέατα που προέρχονται από φυτά και καλλιέργειες κρέατος παράγουν λιγότερες εκπομπές. Τα κρέατα με βάση τα φυτά εκπέμπουν 30-90% λιγότερα αέρια του θερμοκηπίου από τα βοοειδή, σύμφωνα με μια μελέτη που αξιολογεί τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις διαφόρων πηγών πρωτεΐνης (Smetana *et al.*, 2015). Μία από τις κύριες αιτίες των αλλαγών στη χρήση γης, όπως η αποψίλωση και η υποβάθμιση των δασών, είναι η κτηνοτροφία. Για την παραγωγή ζωοτροφών απαιτούνται μεγάλες εκτάσεις γεωργικής γης, συχνά σε βάρος των φυσικών

οικοσυστημάτων. Οι εναλλακτικές λύσεις για το κρέας, ιδίως αυτές που προέρχονται από φυτά, απαιτούν πολύ λιγότερο χώρο. Λόγω της ικανότητάς του να καλλιεργείται υπό ελεγχόμενες συνθήκες σε μικρή έκταση, το καλλιεργημένο κρέας έχει επίσης πλεονεκτήματα όσον αφορά τη χρήση της γης (Tuomisto, Zuquim and Cárdenas, 2014). Το παραδοσιακό κρέας έχει σημαντικό υδάτινο αποτύπωμα που περιλαμβάνει το νερό που χρησιμοποιείται για την επεξεργασία του κρέατος, την άρδευση των καλλιεργειών ζωοτροφών και την πόση των ζώων. Η χρήση νερού είναι πολύ υψηλή στην παραγωγή βοδινού κρέατος. Το υδατικό αποτύπωμα των υποκατάστατων κρέατος είναι σημαντικά μικρότερο, ιδίως αν είναι φυτικής προέλευσης. Για παράδειγμα, συνήθως απαιτείται 80-90% λιγότερο νερό για την παραγωγή ενός κιλού κρέατος φυτικής προέλευσης από ό,τι για την παραγωγή ενός κιλού μοσχαρίσιου κρέατος (Mekonnen and Hoekstra, 2012). Η καλλιέργεια ζωοτροφών, η εκτροφή των ζώων και η επεξεργασία του κρέατος απαιτούν πολλή ενέργεια κατά την παραδοσιακή μέθοδο παραγωγής κρέατος. Οι εναλλακτικές λύσεις για το κρέας, ιδίως το καλλιεργημένο κρέας, χρειάζονται διαφορετικές πηγές ενέργειας. Λόγω των αναδυόμενων τεχνολογιών, η παρασκευή καλλιεργημένου κρέατος είναι πλέον ενεργοβόρα- ωστόσο, οι μελλοντικές εξελίξεις στην αποδοτικότητα των βιοαντιδραστήρων και η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα μπορούσαν να καταστήσουν την πρακτική πιο βιώσιμη (Hanna *et al.*, 2021). Τέλος η συμβατική κτηνοτροφία προκαλεί ευτροφισμό και υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτων, επιτρέποντας την έκπλυση λιπασμάτων και κοπριάς σε υδάτινα σώματα. Τα υποκατάστατα κρέατος μειώνουν τον κίνδυνο ρύπανσης από θρεπτικά συστατικά, καθώς χρησιμοποιούν λιγότερα τεχνητά λιπάσματα και ζωική κοπριά. Η διαρροή θρεπτικών ουσιών ελαχιστοποιείται περαιτέρω με την παραγωγή κρέατος σε καλλιέργεια, η οποία πραγματοποιείται σε ελεγχόμενες συνθήκες (Tuomisto *et al.*, 2014).

4.3.2 Ανάλυση κύκλου ζωής

Μια ενδεδειγμένη μέθοδος για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός προϊόντος ή μιας διαδικασίας από τη γέννηση έως το θάνατο είναι η ανάλυση κύκλου ζωής (AKZ). Η AKZ λαμβάνει υπόψη κάθε στάδιο της παραγωγής, συμπεριλαμβανομένης της εξόρυξης των πρώτων υλών, της κατασκευής τους, της μεταφοράς, της χρήσης και της διάθεσης. Μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιδόσεων των υποκατάστατων κρέατος σε σχέση με το συμβατικό κρέας μπορεί να επιτευχθεί με την εφαρμογή της ανάλυσης κύκλου ζωής (AKZ).

Ο καθορισμός του στόχου και των παραμέτρων της ανάλυσης είναι το πρώτο στάδιο μιας αξιολόγησης του κύκλου ζωής (AKZ). Κατά την περιγραφή των υποκατάστατων κρέατος, αυτό συνεπάγεται τον ορισμό του είδους του προϊόντος (όπως το κρέας φυτικής προέλευσης ή το καλλιεργημένο κρέας), της λειτουργικής μονάδας (όπως ένα κιλό κρέατος) και των ορίων του συστήματος (όπως από την εξόρυξη των πρώτων υλών έως τη διάθεση του προϊόντος στο τέλος της ζωής του) (ISO, 2006). Έπειτα στην ανάλυση αποθεμάτων, ο στόχος αυτής της φάσης είναι η συγκέντρωση πληροφοριών για όλες τις εισροές και εκροές που σχετίζονται με τον κύκλο ζωής του προϊόντος. Για τα υποκατάστατα κρέατος περιλαμβάνονται δεδομένα σχετικά με τις πρώτες ύλες, τη χρήση ενέργειας, την κατανάλωση νερού, τις εκπομπές και τη δημιουργία αποβλήτων. Τα αξιόπιστα αποτελέσματα της AKZ εξαρτώνται από την ακριβή και ενδελεχή συλλογή δεδομένων (Nijdam et al., 2012). Εν συνεχεία αξιολογούνται οι διάφορες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, συμπεριλαμβανομένων των δυνατοτήτων υπερθέρμανσης του πλανήτη, της χρήσης νερού και γης και του ευτροφισμού, με τη χρήση των δεδομένων της απογραφής. Προκειμένου να υπολογιστεί το περιβαλλοντικό κόστος που συνδέεται με κάθε στάδιο του κύκλου ζωής, το βήμα αυτό χρησιμοποιεί συχνά μοντέλα εκτίμησης επιπτώσεων και στοιχεία χαρακτηρισμού (Poore and Nemecek, 2018). Το τελευταίο στάδιο μιας AKZ περιλαμβάνει την ανάλυση των δεδομένων για τον εντοπισμό σημαντικών περιβαλλοντικών εστιών και περιοχών που χρήζουν βελτίωσης. Όταν πρόκειται για υποκατάστατα κρέατος, αυτό θα μπορούσε να συνεπάγεται τον υπολογισμό των φάσεων που απαιτούν πολλή ενέργεια ή εκπέμπουν ρύπους και τη διερεύνηση τρόπων βελτίωσης της βιωσιμότητας, όπως η μεγιστοποίηση της προσφοράς συστατικών ή η αύξηση της αποδοτικότητας της παραγωγής (Tuomisto and De Mattos, 2011).



Εικόνα 7 Αξιολόγηση κύκλου ζωής (πηγή: <https://www.rit.edu/sustainabilityinstitute/blog/what-life-cycle-assessment-lca>)

Η AKZ έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων διαφόρων υποκατάστατων κρέατος, παρέχοντας στους ενδιαφερόμενους φορείς και τους νομοθέτες σημαντικές πληροφορίες.

- Κρέατα φυτικής προέλευσης: Με βάση διάφορες μελέτες AKZ, έχει διαπιστωθεί ότι τα κρέατα φυτικής προέλευσης έχουν λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από το κανονικό κρέας σε διάφορα κριτήρια. Για παράδειγμα, σε σύγκριση με ένα παραδοσιακό μπιφτέκι από βοδινό κρέας, το μπιφτέκι της Impossible Foods με βάση τα φυτά χρησιμοποιεί 87% λιγότερο νερό, 96% λιγότερη γη και εκπέμπει 89% λιγότερα αέρια του θερμοκηπίου, σύμφωνα με μια AKZ (Heller & Keoleian, 2018).
- Καλλιεργημένα κρέατα: Η έρευνα AKZ αρχίζει να έρχεται στην επιφάνεια σχετικά με το καλλιεργημένο κρέας, καταδεικνύοντας τόσο τα πλεονεκτήματα όσο και τα μειονεκτήματά του από περιβαλλοντική άποψη. Σύμφωνα με μελέτη των Tuomisto και Teixeira de Mattos του 2011, σε σύγκριση με το συμβατικό βόειο κρέας, το καλλιεργημένο κρέας μπορεί να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 78-96% και τη χρήση γης κατά 99%. Ωστόσο, η κατανάλωση ενέργειας για την παραγωγή καλλιεργημένου κρέατος εξακολουθεί να είναι ένα κρίσιμο ζήτημα που πρέπει να βελτιωθεί.
- Προϊόντα που συνδυάζουν στοιχεία καλλιεργημένου και φυτικού κρέατος διερευνώνται από ορισμένες εταιρείες. Σύμφωνα με τους Smetana κ.ά. (2015), η AKZ μπορεί να βοηθήσει στην αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιδόσεων αυτών των στοιχείων και να καθορίσει τον καλύτερο συνδυασμό συστατικών για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, ικανοποιώντας παράλληλα τις προτιμήσεις των καταναλωτών.

4.3.3 Προκλήσεις και μελλοντικές κατευθύνσεις

Ενώ η AKZ παρέχει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των εναλλακτικών προϊόντων κρέατος, παραμένουν αρκετές προκλήσεις και μελλοντικές ερευνητικές κατευθύνσεις.

Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων της AKZ εξαρτάται από την ποιότητα και τη διαθεσιμότητα των δεδομένων. Για αναδυόμενες τεχνολογίες όπως το καλλιεργημένο κρέας, τα ολοκληρωμένα και αξιόπιστα δεδομένα είναι συχνά περιορισμένα. Η βελτίωση της συλλογής δεδομένων και της διαφάνειας είναι απαραίτητη για αξιόπιστες μελέτες AKZ

(Keoleian and Heller, 2018). Η διασφάλιση της συνέπειας των μεθοδολογιών AKZ σε διαφορετικές μελέτες είναι ζωτικής σημασίας για τη συγκρισιμότητα. Η τυποποίηση πρωτοκόλλων AKZ για εναλλακτικές λύσεις κρέατος μπορεί να συμβάλει στην επίτευξη πιο αξιόπιστων και συγκρίσιμων αποτελεσμάτων (ISO, 2006). Οι περιβαλλοντικές επιδόσεις των εναλλακτικών προϊόντων κρέατος μπορεί να αλλάξουν με την πάροδο του χρόνου λόγω της τεχνολογικής προόδου και των αλλαγών στις πρακτικές παραγωγής. Τα δυναμικά μοντέλα AKZ που λαμβάνουν υπόψη αυτές τις αλλαγές μπορούν να παρέχουν ακριβέστερες εκτιμήσεις της μακροπρόθεσμης βιωσιμότητας (Bengtsson *et al.*, 2021). Ενώ η AKZ επικεντρώνεται κυρίως στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, η εξέταση των κοινωνικών και οικονομικών διαστάσεων των εναλλακτικών λύσεων κρέατος είναι επίσης σημαντική. Η ενσωμάτωση της κοινωνικής αξιολόγησης του κύκλου ζωής (S-LCA) και της κοστολόγησης του κύκλου ζωής (LCC) με την παραδοσιακή AKZ μπορεί να προσφέρει μια πιο ολιστική άποψη της βιωσιμότητας (Zamagni *et al.*, 2011).

Η ανάπτυξη και η υιοθέτηση εναλλακτικών προϊόντων κρέατος προσφέρουν σημαντικές δυνατότητες μείωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της παραγωγής κρέατος. Τα κρέατα φυτικής προέλευσης και οι καλλιέργειες κρέατος, μέσω των χαμηλότερων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, της χρήσης γης, της κατανάλωσης νερού και της ρύπανσης από θρεπτικά συστατικά, αποτελούν μια πιο βιώσιμη επιλογή σε σύγκριση με το παραδοσιακό κρέας. Η ανάλυση του κύκλου ζωής είναι ένα κρίσιμο εργαλείο για την αξιολόγηση και τη βελτίωση της βιωσιμότητας αυτών των προϊόντων. Καθώς η έρευνα και η τεχνολογία εξελίσσονται, οι συνεχείς προσπάθειες για τη βελτίωση της ποιότητας των δεδομένων, της μεθοδολογικής συνέπειας και της ενσωμάτωσης των κοινωνικών και οικονομικών επιπτώσεων θα είναι απαραίτητες για την πλήρη αξιοποίηση των περιβαλλοντικών οφελών των εναλλακτικών προϊόντων κρέατος.

2.4 Οφέλη και ανησυχίες για την υγεία

Καθώς η παγκόσμια ζήτηση για βιώσιμες και ηθικές επιλογές τροφίμων αυξάνεται, οι εναλλακτικές λύσεις κρέατος έχουν αναδειχθεί ως βιώσιμη λύση για τις περιβαλλοντικές και υγειονομικές ανησυχίες που σχετίζονται με την παραδοσιακή κατανάλωση κρέατος. Αυτές οι εναλλακτικές λύσεις, συμπεριλαμβανομένων των κρεάτων φυτικής προέλευσης και των καλλιεργημένων κρεάτων, έχουν ως στόχο να αναπαράγουν τη γεύση, την υφή και το διατροφικό προφίλ του κρέατος ζωικής προέλευσης, προσφέροντας παράλληλα διάφορα οφέλη για την υγεία. Ωστόσο, όπως συμβαίνει με κάθε τρόφιμο, υπάρχουν επίσης πιθανοί κίνδυνοι για την υγεία που συνδέονται με την κατανάλωσή τους. Η παρούσα ενότητα διερευνά τα οφέλη και τις ανησυχίες για την υγεία από τα εναλλακτικά προϊόντα κρέατος, υπογραμμίζοντας τα διατροφικά τους πλεονεκτήματα και αναλύοντας τους πιθανούς κινδύνους για την υγεία.

4.4.1 Διατροφική σύνθεση των εναλλακτικών προϊόντων κρέατος

Ο προσδιορισμός των πιθανών κινδύνων και των πλεονεκτημάτων των υποκατάστατων κρέατος για την υγεία απαιτεί την κατανόηση της θρεπτικής τους σύστασης.

Τα υποκατάστατα κρέατος συχνά επαινούνται για το υψηλό επίπεδο πρωτεϊνών που έχουν και είναι εφάμιλλο του κανονικού κρέατος. Για παράδειγμα, μια μερίδα μπιφτεκιών φυτικής προέλευσης έχει συνήθως περίπου 20 γραμμάρια πρωτεΐνης, που είναι συγκρίσιμη με ένα μπιφτεκι αγελάδας. Ωστόσο, η βιοδιαθεσιμότητα και η πεπτικότητα της πρωτεΐνης μπορεί να επηρεάζεται από την πηγή της. Σε σύγκριση με τις ζωικές πρωτεΐνες, οι φυτικές πρωτεΐνες είναι συχνά λιγότερο εύπεπτες- ωστόσο, αυτό μπορεί να μειωθεί με τη χρήση απομονωμένων και συμπυκνωμένων πρωτεϊνών (Gorissen *et al.*, 2018).

Το είδος και η ποσότητα των λιπαρών στα υποκατάστατα κρέατος μπορεί να ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό. Τα ωμέγα-3 και ωμέγα-6 λιπαρά οξέα, μεταξύ άλλων πολυακόρεστων λιπαρών, είναι πιο διαδεδομένα στα φυτικά κρέατα και λιγότερο διαδεδομένα στα κορεσμένα λίπη. Ορισμένα προϊόντα περιλαμβάνουν επίσης ωφέλιμα έλαια, όπως λιναρόσπορο ή κανόλα, για να βελτιώσουν τη σύνθεση των λιπαρών οξέων τους. Είναι δυνατόν να δημιουργηθούν καλλιεργημένα κρέατα που να έχουν συγκεκριμένες συνθέσεις λιπαρών, οι οποίες θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε προσαρμοσμένα οφέλη για την υγεία (van Vliet *et al.*, 2021).

Σε αντίθεση με το γνήσιο κρέας, τα υποκατάστατα κρέατος συχνά παρέχουν και τα δύο

αυτά θρεπτικά συστατικά. Επειδή υποστηρίζουν την υγεία του πεπτικού συστήματος και βοηθούν στη ρύθμιση του σακχάρου στο αίμα, το συστατικό των φυτικών ινών αυτών των προϊόντων -το οποίο προέρχεται κυρίως από φυτικά συστατικά- συμβάλλει στα πλεονεκτήματα για την υγεία τους. Αλλά ορισμένα υποκατάστατα κρέατος θα μπορούσαν επίσης να έχουν εξευγενισμένους υδατάνθρακες και πρόσθετα σάκχαρα, πράγμα που σημαίνει ότι θα πρέπει να καταναλώνονται μόνο περιστασιακά (Slavin, 2013).

Για την παροχή επαρκούς διατροφής, ο εμπλουτισμός των υποκατάστατων κρέατος με βιταμίνες και ανόργανα άλατα είναι συνήθης διαδικασία. Συχνά προστίθενται σημαντικά μικροθρεπτικά συστατικά, όπως ασβέστιο, σίδηρος, ψευδάργυρος και βιταμίνη B12. Ο εμπλουτισμός χρησιμεύει για να καλύψει το διατροφικό κενό, ακόμη και αν οι φυτικές πηγές αυτών των θρεπτικών συστατικών μπορεί να μην είναι τόσο προσβάσιμες όσο εκείνες που προέρχονται από ζωικές πηγές. Επιπλέον, εάν τα καλλιεργημένα κρέατα παρασκευάζονται από ζωικά κύτταρα, μπορεί να περιλαμβάνουν φυσικά αυτά τα θρεπτικά συστατικά (Melina, Craig and Levin, 2016).

Τα φλαβονοειδή, τα καροτενοειδή και οι πολυφαινόλες, τα οποία έχουν αντιφλεγμονώδεις και αντιοξειδωτικές ιδιότητες, είναι άφθονα στα υποκατάστατα κρέατος φυτικής προέλευσης. Οι ουσίες αυτές μπορούν να μειώσουν τον κίνδυνο χρόνιων ασθενειών και να προσθέσουν στα συνολικά πλεονεκτήματα της φυτικής διατροφής για την υγεία (Hu, 2003)

4.4.2 Διατροφικά πλεονεκτήματα

Επειδή παρέχουν μια σειρά από διατροφικά πλεονεκτήματα, τα υποκατάστατα κρέατος είναι ελκυστικά για τους πελάτες που έχουν συνείδηση της υγείας. Τα πλεονεκτήματα αυτά περιλαμβάνουν μειωμένα επίπεδα χοληστερόλης και κορεσμένων λιπαρών, αυξημένη περιεκτικότητα σε φυτικές ίνες και παρουσία υγιεινών θρεπτικών συστατικών όπως βιταμίνες, μέταλλα και αντιοξειδωτικά. Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα των υποκατάστατων κρέατος για την υγεία είναι ότι έχουν λιγότερη χοληστερόλη και κορεσμένα λιπαρά από το κανονικό κρέας. Η αυξημένη κατανάλωση χοληστερόλης και κορεσμένων λιπαρών συνδέεται με μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης καρδιαγγειακών νοσημάτων (CVD). Επειδή συνήθως παρασκευάζονται από σόγια, μπιζέλια και σιτάρι, τα φυτικά κρέατα έχουν πολύ χαμηλότερες συγκεντρώσεις αυτών των λιπαρών, γεγονός που είναι καλό για την υγεία της καρδιάς (Sabaté

and Soret, 2014). Οι διαιτητικές ίνες, οι οποίες είναι ζωτικής σημασίας για την υγεία του εντέρου, υπάρχουν στα κρέατα φυτικής προέλευσης, αλλά όχι στο ζωικό κρέας. Οι φυτικές ίνες βοηθούν στη ρύθμιση του σακχάρου στο αίμα, στη μείωση της χοληστερόλης και στη ρύθμιση της κίνησης του εντέρου. Η κατανάλωση περισσότερων φυτικών ινών συνδέεται με μικρότερη πιθανότητα απόκτησης μακροχρόνιων παθήσεων όπως ο διαβήτης τύπου 2, ο καρκίνος του παχέος εντέρου και οι καρδιαγγειακές παθήσεις (CVD) (Slavin, 2013). Ο σίδηρος, ο ψευδάργυρος και η βιταμίνη B12 είναι μερικά μόνο παραδείγματα των ζωτικών στοιχείων που προστίθενται συχνά στα υποκατάστατα κρέατος. Αυτά τα θρεπτικά συστατικά είναι απαραίτητα για την παραγωγή ερυθρών αιμοσφαιρίων, το ανοσοποιητικό σύστημα και τη σύνθεση του DNA, μεταξύ άλλων διαδικασιών του σώματος. Σύμφωνα με τους Melani et al. (2016), ο εμπλουτισμός διασφαλίζει ότι οι καταναλωτές που επιλέγουν υποκατάστατα κρέατος δεν χάνουν αυτά τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά. Έχει αποδειχθεί ότι η παρουσία αντιοξειδωτικών και φυτοχημικών στα κρέατα φυτικής προέλευσης μειώνει το οξειδωτικό στρες και τη φλεγμονή στο σώμα. Εξαλείφοντας τις ελεύθερες ρίζες και μειώνοντας την πιθανότητα κυτταρικής βλάβης, οι ουσίες αυτές βοηθούν στην πρόληψη χρόνιων ασθενειών (Hu, 2003). Όταν περιλαμβάνονται σε μια ποικίλη διατροφή, οι πρωτεΐνες φυτικής προέλευσης μπορούν να προσφέρουν πρωτεΐνες υψηλής ποιότητας, παρόλο που το προφίλ των αμινοξέων τους μπορεί να διαφέρει από εκείνο των ζωικών πρωτεϊνών. Τα όσπρια, τα δημητριακά και οι ξηροί καρποί είναι παραδείγματα φυτικών πηγών πρωτεΐνης που όταν συνδυάζονται μπορούν να παρέχουν ένα πλήρες προφίλ αμινοξέων που υποστηρίζει τη διατήρηση των μυών και της γενικής υγείας (Hoffman and Falvo, 2004).

4.4.3 Οφέλη για την υγεία στην πρόληψη ασθενειών

Η κατανάλωση υποκατάστατων κρέατος έχει συνδεθεί με μια σειρά από πλεονεκτήματα για την υγεία, ιδίως όσον αφορά τη θεραπεία και την πρόληψη χρόνιων ασθενειών.

- Υγεία της καρδιάς: Οι φυτικές δίαιτες, οι οποίες περιλαμβάνουν υποκατάστατα ζώων, έχουν συσχετιστεί με χαμηλότερο κίνδυνο εμφάνισης ασθενειών που σχετίζονται με την καρδιά. Η καλύτερη υγεία της καρδιάς είναι αποτέλεσμα των μειωμένων επιπέδων χοληστερόλης και κορεσμένων λιπαρών, καθώς και της αυξημένης περιεκτικότητας σε φυτικές ίνες και αντιοξειδωτικά. Σύμφωνα με μελέτες, η αντικατάσταση του κόκκινου κρέατος με φυτικές πρωτεΐνες μπορεί να μειώσει την αρτηριακή πίεση, τα επίπεδα της LDL χοληστερόλης

και τον κίνδυνο καρδιακών παθήσεων (Sabaté and Soret, 2014).

- Διαχείριση διαβήτη: Οι φυτικές δίαιτες έχουν αποδειχθεί ότι αυξάνουν την ευαισθησία στην ινσουλίνη και τη γλυκαιμική διαχείριση, καθιστώντας τις κατάλληλες για άτομα με διαβήτη τύπου 2. Η υψηλή περιεκτικότητα των εναλλακτικών προϊόντων κρέατος σε φυτικές ίνες βοηθά στη ρύθμιση του σακχάρου στο αίμα και στη διαχείριση του βάρους, τα οποία είναι κρίσιμα για την πρόληψη και τη διαχείριση του διαβήτη (Barnard *et al.*, 2009).
- Διαχείριση βάρους: Τα εναλλακτικά προϊόντα κρέατος μπορούν να συμπεριληφθούν σε μια ισορροπημένη διατροφή που προάγει την καλή διαχείριση του βάρους. Συχνά έχουν λιγότερες θερμίδες και λιπαρά από το τυπικό κρέας, γεγονός που τα καθιστά ελκυστική επιλογή για τα άτομα που προσπαθούν να μειώσουν την κατανάλωση θερμίδων. Επιπλέον, το συστατικό των φυτικών κρεάτων που αποτελείται από φυτικές ίνες αυξάνει τον κορεσμό, γεγονός που συμβάλλει στη διαχείριση της όρεξης και στη μείωση της υπερκατανάλωσης τροφής (Turner-McGrievy, Mandes and Crimarco, 2017).
- Μείωση του κινδύνου καρκίνου: Η υψηλή πρόσληψη κόκκινων και επεξεργασμένων κρεάτων έχει συνδεθεί με αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης διαφόρων κακοηθειών, ιδίως καρκίνου του παχέος εντέρου. Οι δίαιτες με βάση τα φυτά, συμπεριλαμβανομένων των υποκατάστατων κρέατος, είναι πλούσιες σε προληπτικά θρεπτικά συστατικά, συμπεριλαμβανομένων των φυτικών ινών, των αντιοξειδωτικών και των φυτοχημικών ουσιών, τα οποία μπορούν να μειώσουν τον κίνδυνο καρκίνου. Επιδημιολογικές μελέτες υποδηλώνουν ότι τα άτομα που καταναλώνουν περισσότερα γεύματα φυτικής προέλευσης έχουν χαμηλότερο κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου (Key *et al.*, 2009).

4.4.4 Πιθανοί κίνδυνοι για την υγεία

Παρόλο που τα υποκατάστατα κρέατος παρέχουν πολλά πλεονεκτήματα για την υγεία, οι καταναλωτές θα πρέπει να γνωρίζουν τους πιθανούς κινδύνους για την υγεία. Αυτοί οι κίνδυνοι περιλαμβάνουν πιθανή αλλεργιογένεια, τη χρήση χημικών και συντηρητικών ουσιών και ερωτήματα σχετικά με την επάρκεια της διατροφής. Συγκεκριμένα για να βελτιωθεί η γεύση, η υφή και η διάρκεια ζωής πολλών εμπορικά διαθέσιμων υποκατάστατων κρέατος, προστίθενται συντηρητικά και πρόσθετα. Οι τεχνητές γεύσεις, τα χρώματα και οι βελτιωτές υφής είναι μερικά παραδείγματα αυτών των πρόσθετων που, αν προσληφθούν σε σημαντικές

ποσότητες, μπορεί να έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία. Για παράδειγμα, η υψηλή περιεκτικότητα σε αλάτι σε ορισμένα υποκατάστατα κρέατος μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο καρδιαγγειακής νόσου και να συμβάλει στην υπέρταση (Trieu *et al.*, 2015). Για τα άτομα με διατροφικές αλλεργίες, τα υποκατάστατα κρέατος που παρασκευάζονται από κοινά αλλεργιογόνα, όπως η σόγια, το σιτάρι και ο αρακάς, μπορεί να είναι επικίνδυνα. Ιδιαίτερα η σόγια και το σιτάρι είναι αναγνωρισμένες πρώτες ύλες που μπορεί να οδηγήσουν σε συμπτώματα που ποικίλλουν από μέτρια γαστρεντερική δυσφορία έως απειλητική για τη ζωή αναφυλαξία. Είναι κρίσιμο οι παραγωγοί να επισημαίνουν με ακρίβεια τα αλλεργιογόνα συστατικά και οι πάσχοντες από αλλεργίες να διαβάζουν προσεκτικά τις ετικέτες (Shemy, 2011). Παρόλο που τα υποκατάστατα κρέατος συχνά συμπληρώνονται με ζωτικά μέταλλα, παραμένουν ερωτήματα σχετικά με την επάρκεια της διατροφής τους. Για παράδειγμα, ορισμένα μέταλλα, όπως ο προσβάσιμος αιμικός σίδηρος και ορισμένα ωμέγα-3 λιπαρά οξέα, που είναι φυσικά πλούσια στα ζωικά προϊόντα, μπορεί να απουσιάζουν από τα κρέατα φυτικής προέλευσης. Όσον αφορά την απόκτηση βασικών θρεπτικών συστατικών από άλλες πηγές, οι καταναλωτές που εξαρτώνται σημαντικά από τα υποκατάστατα κρέατος θα πρέπει να διασφαλίζουν ότι καταναλώνουν μια ισορροπημένη διατροφή (Mariotti and Gardner, 2019). Πολλά υποκατάστατα κρέατος έχουν υποστεί έντονη επεξεργασία, η οποία μπορεί να στερήσει τα γενικά πλεονεκτήματα για την υγεία τους. Τα τρόφιμα που έχουν υποστεί εκτεταμένη επεξεργασία περιλαμβάνουν συνήθως περισσότερες επιβλαβείς χημικές ουσίες και λιγότερα ζωτικά στοιχεία. Η συχνή κατανάλωση τροφίμων πλούσιων σε επεξεργασία συνδέεται με υψηλότερο κίνδυνο εμφάνισης μεταβολικού συνδρόμου, παχυσαρκίας και άλλων χρόνιων ασθενειών. Ως εκ τούτου, είναι ζωτικής σημασίας να περιλαμβάνονται στη διατροφή ολόκληρα τρόφιμα και να επιλέγονται λιγότερες επεξεργασμένες επιλογές (Monteiro *et al.*, 2013). Κατά τη λήψη ορισμένων υποκατάστατων κρέατος, ορισμένοι άνθρωποι μπορεί να έχουν πεπτικά προβλήματα, όπως αέρια, φούσκωμα και δυσφορία. Τα πρόσθετα, τα όσπρια και οι φυτικές ίνες είναι μεταξύ των ουσιών που μπορεί να προκαλέσουν αυτά τα προβλήματα. Αυτές οι επιπτώσεις μπορούν να μειωθούν με την σταδιακή ενσωμάτωση αυτών των προϊόντων στη διατροφή αλλά και με την τακτική κατάποση νερού (McCue and Shetty, 2004).

4.4.5 Προκλήσεις και προβληματισμοί

Ενώ τα υποκατάστατα κρέατος παρέχουν αρκετά οφέλη για την υγεία, πρέπει να

αντιμετωπιστούν ορισμένα προβλήματα και προβληματισμοί για να εξασφαλιστεί η ασφαλής και αποτελεσματική χρήση τους.

- 1) Βιοδιαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών: Ορισμένα θρεπτικά συστατικά στα υποκατάστατα κρέατος μπορεί να έχουν φτωχότερη βιοδιαθεσιμότητα από το κανονικό κρέας. Για παράδειγμα, ο μη αιμικός σίδηρος που βρίσκεται σε φυτικές δίαιτες απορροφάται λιγότερο εύκολα από τον οργανισμό σε σχέση με τον αιμικό σίδηρο που λαμβάνεται από ζωικές πηγές. Ομοίως, η παρουσία αντιθρεπτικών συστατικών όπως τα φυτικά άλατα και τα οξαλικά στα φυτικά συστατικά μπορεί να μειώσει τη βιοδιαθεσιμότητα ορισμένων βιταμινών και μετάλλων. Οι καταναλωτές θα πρέπει να γνωρίζουν αυτές τις διακρίσεις και να προσπαθούν να εξισορροπούν τη διατροφή τους αναλόγως (Hurrell and Egli, 2010).
- 2) Επίπεδα επεξεργασίας: Το επίπεδο επεξεργασίας στα εναλλακτικά προϊόντα κρέατος ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό. Ορισμένα προϊόντα είναι ελαφρώς επεξεργασμένα και περιέχουν συστατικά ολικής αλέσεως, ενώ άλλα είναι εκτεταμένα επεξεργασμένα και μπορεί να περιλαμβάνουν πρόσθετα και συντηρητικά. Για τη μεγιστοποίηση των πλεονεκτημάτων για την υγεία, οι καταναλωτές θα πρέπει να επιλέγουν λιγότερο επεξεργασμένα προϊόντα και να περιλαμβάνουν μια ποικιλία ολικής αλέσεως τροφίμων στη διατροφή τους (Monteiro *et al*., 2013).
- 3) Ενημέρωση και εκπαίδευση των καταναλωτών: Είναι ζωτικής σημασίας να ενημερωθούν οι πελάτες για το διατροφικό προφίλ των εναλλακτικών προϊόντων κρέατος, καθώς και για τα πιθανά οφέλη και τους κινδύνους για την υγεία τους. Οι καταναλωτές μπορούν να λάβουν πιο ενημερωμένες αποφάσεις εάν τα συστατικά και το διατροφικό περιεχόμενο επισημαίνονται και γνωστοποιούνται με σαφήνεια. Επιπλέον, η υποστήριξη μιας ισορροπημένης διατροφής με ένα εύρος πηγών πρωτεΐνης μπορεί να ωφελήσει τη γενική υγεία (Asioli *et al.*, 2017).
- 4) Ρυθμιστικά πρότυπα και πρότυπα ασφαλείας: Για να διασφαλιστεί η ασφάλεια και η ποιότητα των εναλλακτικών προϊόντων κρέατος, απαιτούνται αυστηρά ρυθμιστικά πλαίσια και πρότυπα ασφαλείας. Αυτό περιλαμβάνει ενδεδειγμένες δοκιμές για ρύπους, αλλεργίες και διατροφική επάρκεια. Για την προστασία της δημόσιας υγείας,

οι ρυθμιστικοί οργανισμοί παρακολουθούν την παραγωγή και την επισήμανση αυτών των ειδών (Stephens *et al.*, 2018).

Τα εναλλακτικά προϊόντα κρέατος προσφέρουν μια πολλά υποσχόμενη λύση στις περιβαλλοντικές και υγειονομικές προκλήσεις που συνδέονται με την παραδοσιακή κατανάλωση κρέατος. Παρέχουν πολυάριθμα οφέλη για την υγεία, συμπεριλαμβανομένων των χαμηλότερων επιπέδων κορεσμένων λιπαρών και χοληστερόλης, της υψηλότερης περιεκτικότητας σε φυτικές ίνες και της συμπερίληψης βασικών θρεπτικών συστατικών και ευεργετικών φυτοχημικών ουσιών. Ωστόσο, πρέπει να αντιμετωπιστούν πιθανοί κίνδυνοι για την υγεία, όπως η παρουσία πρόσθετων και συντηρητικών, η αλλεργιογένεια και οι ανησυχίες σχετικά με τη διατροφική πληρότητα. Με την κατανόηση της διατροφικής σύνθεσης και των πιθανών επιπτώσεων των εναλλακτικών προϊόντων κρέατος στην υγεία, οι καταναλωτές μπορούν να κάνουν ενημερωμένες επιλογές που υποστηρίζουν τη συνολική υγεία και ευημερία τους. Η συνεχής έρευνα και καινοτομία στην ανάπτυξη των εναλλακτικών προϊόντων κρέατος, μαζί με σαφή ρυθμιστικά πρότυπα και πρότυπα ασφαλείας, θα είναι απαραίτητα για τη μεγιστοποίηση των οφελών τους για την υγεία και τη διασφάλιση της ασφαλούς κατανάλωσής τους.

Κεφάλαιο V

5) Συμπεράσματα

Η ανάπτυξη και η εφαρμογή των υποκατάστατων κρέατος καθοδηγείται από την ανάγκη αντιμετώπισης των σημαντικών περιβαλλοντικών, ηθικών και υγειονομικών προκλήσεων που θέτει η παραδοσιακή παραγωγή κρέατος. Τα εναλλακτικά κρέατος, που περιλαμβάνουν τόσο τα φυτικά όσο και τα καλλιεργημένα κρέατα, έχουν σχεδιαστεί για να μιμούνται τις αισθητηριακές και διατροφικές ιδιότητες του συμβατικού κρέατος, παρέχοντας μια βιώσιμη και ανθρώπινη εναλλακτική λύση για την κάλυψη της αυξανόμενης παγκόσμιας ζήτησης πρωτεϊνών. Η αγορά των εναλλακτικών προϊόντων κρέατος παρουσιάζει ταχεία ανάπτυξη, η οποία τροφοδοτείται από την αυξανόμενη ευαισθητοποίηση των καταναλωτών και τις σημαντικές επενδύσεις σε καινοτομίες στην τεχνολογία τροφίμων. Οι τρέχουσες τάσεις της αγοράς αναδεικνύουν την αυξανόμενη ζήτηση για προϊόντα φυτικής προέλευσης, ενώ το μέλλον του καλλιεργημένου κρέατος φαίνεται πολλά υποσχόμενο, καθώς οι εξελίξεις καθιστούν την παραγωγή πιο επεκτάσιμη και οικονομικά αποδοτική. Διάφορες μέθοδοι επεξεργασίας, όπως η τεχνολογία διατημητικών κυττάρων, η τρισδιάστατη εκτύπωση και οι τεχνικές ανάμιξης και συγκόλλησης, συμβάλλουν στην παραγωγή υποκατάστατων κρέατος που μοιάζουν πολύ με την υφή και τη γεύση του ζωικού κρέατος. Η τεχνολογία διατημητικών κυττάρων ευθυγραμμίζει τις πρωτεϊνικές ίνες για να αναπαράγει την ινώδη δομή του μυϊκού ιστού, η τρισδιάστατη εκτύπωση προσφέρει ακρίβεια και προσαρμογή στη δημιουργία πολύπλοκων δομών κρέατος, ενώ οι μέθοδοι ανάμιξης και συγκόλλησης χρησιμοποιούν συνδετικά και γαλακτωματοποιητές για να επιτύχουν την επιθυμητή υφή και σταθερότητα. Αυτές οι καινοτόμες μέθοδοι βελτιώνουν τα οργανοληπτικά και διατροφικά χαρακτηριστικά των εναλλακτικών προϊόντων κρέατος, καθιστώντας τα πιο ελκυστικά για τους καταναλωτές. Από περιβαλλοντική άποψη, οι εναλλακτικές λύσεις κρέατος προσφέρουν σημαντικά οφέλη σε σχέση με την παραδοσιακή παραγωγή κρέατος. Παράγουν χαμηλότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, απαιτούν λιγότερη γη και νερό και συμβάλλουν στη μείωση της απώλειας της βιοποικιλότητας. Μελέτες ανάλυσης κύκλου ζωής (ΑΚΖ) έχουν καταδείξει με συνέπεια τη δυνατότητα των υποκατάστατων κρέατος να μετριάσουν το περιβαλλοντικό αποτύπωμα που συνδέεται με την παραγωγή τροφίμων. Από άποψη υγείας, τα εναλλακτικά του κρέατος περιέχουν συνήθως χαμηλότερα επίπεδα κορεσμένων λιπαρών και χοληστερόλης, υψηλότερη

περιεκτικότητα σε φυτικές ίνες και συχνά είναι εμπλουτισμένα με βασικά θρεπτικά συστατικά και ευεργετικά φυτοχημικά. Ωστόσο, πρέπει να αντιμετωπιστούν πιθανοί κίνδυνοι για την υγεία, όπως η παρουσία πρόσθετων και συντηρητικών, η αλλεργιογένεια και οι ανησυχίες σχετικά με τη διατροφική πληρότητα. Η εκπαίδευση των καταναλωτών και τα ισχυρά ρυθμιστικά πρότυπα είναι απαραίτητα για τη μεγιστοποίηση των οφελών για την υγεία και τη διασφάλιση της ασφαλούς κατανάλωσης αυτών των προϊόντων. Οι μελλοντικές βελτιώσεις στα εναλλακτικά προϊόντα κρέατος θα επικεντρωθούν στην ενίσχυση του διατροφικού τους προφίλ, των οργανοληπτικών τους χαρακτηριστικών και στη μείωση του κόστους παραγωγής. Οι πρόοδοι στη βιοτεχνολογία, όπως η γενετική μηχανική και η ζύμωση ακριβείας, θα έχουν καθοριστική σημασία για την ανάπτυξη υποκατάστατων κρέατος επόμενης γενιάς με βελτιστοποιημένη σύνθεση θρεπτικών συστατικών και βελτιωμένη περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Η διερεύνηση εναλλακτικών πηγών πρωτεϊνών, όπως τα φύκια και οι πρωτεΐνες εντόμων, μπορεί να διαφοροποιήσει περαιτέρω την αγορά και να συμβάλει στη βιώσιμη παραγωγή τροφίμων. Η βελτίωση της αποδοτικότητας της παραγωγής, ιδίως στον σχεδιασμό βιοαντιδραστήρων για την καλλιέργεια κρέατος, θα είναι ζωτικής σημασίας για την κλιμάκωση της παραγωγής και για να γίνουν τα εναλλακτικά προϊόντα κρέατος πιο προσιτά στους καταναλωτές. Η συνεχής καινοτομία και η συνεργασία μεταξύ της βιομηχανίας, της ακαδημαϊκής κοινότητας και των ρυθμιστικών φορέων θα είναι το κλειδί για την αντιμετώπιση των σημερινών προκλήσεων και την αξιοποίηση του πλήρους δυναμικού των εναλλακτικών προϊόντων κρέατος ως βιώσιμης πηγής τροφίμων. Έτσι, τα εναλλακτικά προϊόντα κρέατος υπόσχονται να αποτελέσουν μια μετασχηματιστική λύση για τη βιώσιμη και ηθική παραγωγή τροφίμων, αντιμετωπίζοντας κρίσιμες περιβαλλοντικές, υγειονομικές και ηθικές ανησυχίες που σχετίζονται με την παραδοσιακή κατανάλωση κρέατος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Allwood, J. G., Wakeling, L. T. and Bean, D. C. (2021) 'Fermentation and the microbial community of Japanese koji and miso: A review', *Journal of Food Science*, 86(6), pp. 2194–2207. doi: 10.1111/1750-3841.15773.
- Altieri, M. A. and Koohafkan, P. (2008) *Enduring Farms* :
- Asgar, M. A. *et al.* (2010) 'Nonmeat protein alternatives as meat extenders and meat analogs', *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(5), pp. 513–529. doi: 10.1111/j.1541-4337.2010.00124.x.
- Asioli, D. *et al.* (2017) 'Making sense of the “clean label” trends: A review of consumer food choice behavior and discussion of industry implications', *Food Research International*, 99(July), pp. 58–71. doi: 10.1016/j.foodres.2017.07.022.
- Axelsson (2004) 'Lactic acid bacteria: classification and physiology'.
- Barnard, N. D. *et al.* (2009) 'A low-fat vegan diet and a conventional diabetes diet in the treatment of type 2 diabetes: A randomized, controlled, 74-wk clinical trial', *American Journal of Clinical Nutrition*, 89(5), pp. 1588S-1596S. doi: 10.3945/ajcn.2009.26736H.
- Bengtsson, J. *et al.* (2021) 'Reserves, resilience and dynamic landscapes 20 years later: This article belongs to Ambio's 50th Anniversary Collection. Theme: Biodiversity Conservation', *Ambio*, 50(5), pp. 962–966. doi: 10.1007/s13280-020-01477-8.
- Bhat, Z. F., Kumar, S. and Bhat, H. F. (2015) 'Bioactive peptides of animal origin: a review', *Journal of Food Science and Technology*, 52(9), pp. 5377–5392. doi: 10.1007/s13197-015-1731-5.
- Bhat, Z. and Fayaz, H. (2010) 'Prospectus of cultured meat—advancing meat alternatives'.
- Boukid, F. (2021) 'Plant-based meat analogues: from niche to mainstream', *European Food Research and Technology*, 247(2), pp. 297–308. doi: 10.1007/s00217-020-03630-9.
- Boulton, C. A. (1991) *Developments in brewery fermentation, Biotechnology and Genetic Engineering Reviews*. doi: 10.1080/02648725.1991.10750001.
- Bouvier, JM Campanella, O. (2014) *Extrusion processing technology: Food and non-food biomaterials*.

- Boye, J. I. and Arcand, Y. (2016) *Current Trends in Green Technologies in Food Production and Processing*.
- Bryant, C. and Barnett, J. (2020) 'Consumer acceptance of cultured meat: An updated review (2018-2020)', *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(15). doi: 10.3390/app10155201.
- Chen, Q. *et al.* (2023) 'Application of lipids and their potential replacers in plant-based meat analogs', *Trends in Food Science and Technology*, 138(July), pp. 645–654. doi: 10.1016/j.tifs.2023.07.007.
- Dekkers, B. L., Boom, R. M. and van der Goot, A. J. (2018) 'Structuring processes for meat analogues', *Trends in Food Science and Technology*, 81(May), pp. 25–36. doi: 10.1016/j.tifs.2018.08.011.
- Fatemeh, S., Reihani, S. and Khosravi-Darani, K. (2018) 'APPLIED FOOD BIOTECHNOLOGY, 2018, 5 (4):243-252 Mycoprotein Production from Date Waste Using *Fusarium venenatum* in a Submerged Culture', 5(4), pp. 243–252. Available at: <http://dx.doi.org/10.22037/afb.v5i4.23139>.
- Food, I. (2021) *Impossible Burger: Made from plants for people who love meat*.
- Gao, X. *et al.* (2019) 'Toward a remarkable Li-S battery via 3D printing', *Nano Energy*, 56(August 2018), pp. 595–603. doi: 10.1016/j.nanoen.2018.12.001.
- Gorissen, S. H. M. *et al.* (2018) 'Protein content and amino acid composition of commercially available plant-based protein isolates', *Amino Acids*, 50(12), pp. 1685–1695. doi: 10.1007/s00726-018-2640-5.
- Gottschalk, G. (1986) *Regulation of bacterial metabolism*.
- Hanna, E. *et al.* (2021) 'Greenland surface air temperature changes from 1981 to 2019 and implications for ice-sheet melt and mass-balance change', *International Journal of Climatology*, 41(S1), pp. E1336–E1352. doi: 10.1002/joc.6771.
- He, J. *et al.* (2020) 'A review of research on plant-based meat alternatives: Driving forces, history, manufacturing, and consumer attitudes', *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(5), pp. 2639–2656. doi: 10.1111/1541-4337.12610.
- Hoffman, J. R. and Falvo, M. J. (2004) 'Protein - Which is best?', *Journal of Sports Science and Medicine*, 3(3), pp. 118–130.

- Hu, F. B. (2003) 'Plant-based foods and prevention of cardiovascular disease: An overview', *American Journal of Clinical Nutrition*, 78(3 SUPPL.), pp. 544S-551S. doi: 10.1093/ajcn/78.3.544s.
- Huang, M. *et al.* (2022) 'Use of food carbohydrates towards the innovation of plant-based meat analogs', *Trends in Food Science and Technology*, 129(17), pp. 155–163. doi: 10.1016/j.tifs.2022.09.021.
- Hurrell, R. and Egli, I. (2010) 'Iron bioavailability and dietary reference values', *American Journal of Clinical Nutrition*, 91(5), pp. 1461S-1467S. doi: 10.3945/ajcn.2010.28674F.
- Kaczmarska, K. *et al.* (2021) 'Flavor and metabolite profiles of meat, meat substitutes, and traditional plant-based high-protein food products available in Australia', *Foods*, 10(4). doi: 10.3390/foods10040801.
- Kadim, I. T. *et al.* (2015) 'Cultured meat from muscle stem cells: A review of challenges and prospects', *Journal of Integrative Agriculture*, 14(2), pp. 222–233. doi: 10.1016/S2095-3119(14)60881-9.
- Keoleian, G. and Heller, C. (2018) 'Beyond Meat's Beyond Burger Life Cycle Assessment: A detailed comparison between a plant-based and an animal-based protein source'.
- Key, T. J. *et al.* (2009) 'Cancer incidence in vegetarians: Results from the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC-Oxford)', *American Journal of Clinical Nutrition*, 89(5), pp. 1620S-1626S. doi: 10.3945/ajcn.2009.26736M.
- Kyprianou, C. (2020) 'Basement membrane remodelling regulates mouse embryogenesis'.
- Kyriakopoulou, K. (2021) 'Meat Analogues'.
- Lanza, R. and Atala, A. (2012) *Handbook of Stem Cells*.
- Lawal, A. and Kalyon, D. M. (1995) 'Mechanisms of mixing in single and co- rotating twin screw extruders', *Polymer Engineering & Science*, 35(17), pp. 1325–1338. doi: 10.1002/pen.760351702.
- Lee, H. J. *et al.* (2020) 'Status of meat alternatives and their potential role in the future meat market - A review', *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 33(10), pp. 1533–1543. doi: 10.5713/ajas.20.0419.
- Lee, J. *et al.* (1999) 'Control of fed-batch fermentations', *Biotechnology Advances*, 17(1), pp.

29–48. doi: 10.1016/S0734-9750(98)00015-9.

Levine, Leon Miller, R. (2019) *Extrusion Processes*.

Li, X. and Li, J. (2020) ‘The Flavor of Plant-Based Meat Analogues’, *Cereal Foods World*, 65(4). doi: 10.1094/cfw-65-4-0040.

Liu, Q. *et al.* (2017) ‘The effect of extrusion conditions on the properties and textures of AZ31B alloy’, *Journal of Magnesium and Alloys*, 5(2), pp. 202–209. doi: 10.1016/j.jma.2017.03.002.

Liu, Z. *et al.* (2017) ‘3D printing: Printing precision and application in food sector’, *Trends in Food Science and Technology*, 69, pp. 83–94. doi: 10.1016/j.tifs.2017.08.018.

Lizardi-Jiménez, M. A. and Hernández-Martínez, R. (2017) ‘Solid state fermentation (SSF): diversity of applications to valorize waste and biomass’, *3 Biotech*, 7(1). doi: 10.1007/s13205-017-0692-y.

Madigan, A. P. *et al.* (2019) ‘Bacterial and Fungal Communities Are Differentially Modified by Melatonin in Agricultural Soils Under Abiotic Stress’, *Frontiers in Microbiology*, 10(December). doi: 10.3389/fmicb.2019.02616.

Marco, M. L. *et al.* (2017) ‘Health benefits of fermented foods: microbiota and beyond’, *Current Opinion in Biotechnology*, 44, pp. 94–102. doi: 10.1016/j.copbio.2016.11.010.

Mariotti, F. and Gardner, C. D. (2019) ‘Dietary protein and amino acids in vegetarian diets—A review’, *Nutrients*, 11(11), pp. 1–19. doi: 10.3390/nu11112661.

Mazumder, M. A. R. *et al.* (2023) ‘Mushroom–Legume-Based Minced Meat: Physico-Chemical and Sensory Properties’, *Foods*, 12(11), pp. 1–22. doi: 10.3390/foods12112094.

McCue, P. and Shetty, K. (2004) ‘Health benefits of soy isoflavonoids and strategies for enhancement: A review’, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(5), pp. 361–367. doi: 10.1080/10408690490509591.

Meat, B. (2021) *Beyond Burger: Our plant-based patty that looks, cooks, and satisfies like beef*.

Meat, R. (2020) *3D printed plant-based meat*.

Mekonnen, M. M. and Hoekstra, A. Y. (2012) ‘A Global Assessment of the Water Footprint of Farm Animal Products’, *Ecosystems*, 15(3), pp. 401–415. doi: 10.1007/s10021-011-9517-

8.

Melina, V., Craig, W. and Levin, S. (2016) 'Position of the Academy of Nutrition and Dietetics: Vegetarian Diets', *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 116(12), pp. 1970–1980. doi: 10.1016/j.jand.2016.09.025.

Monteiro, C. A. *et al.* (2013) 'Ultra-processed products are becoming dominant in the global food system', *Obesity Reviews*, 14(S2), pp. 21–28. doi: 10.1111/obr.12107.

Montoya, J. *et al.* (2021) 'Impact of viscoelastic and structural properties from starch-mango and starch-arabinoxylans hydrocolloids in 3D food printing', *Additive Manufacturing*, 39(February). doi: 10.1016/j.addma.2021.101891.

Moritz, M. S. M., Verbruggen, S. E. L. and Post, M. J. (2015) 'Alternatives for large-scale production of cultured beef: A review', *Journal of Integrative Agriculture*, 14(2), pp. 208–216. doi: 10.1016/S2095-3119(14)60889-3.

Moskowitz, H. R. (1995) 'Food quality: Conceptual and sensory aspects', *Food Quality and Preference*, 6(3), pp. 157–162. doi: 10.1016/0950-3293(94)00030-Y.

Nadu, T. (2012) 'Solid State and Submerged Fermentation for the Production of Bioactive Substances : a Comparative Study', 3(3), pp. 480–486.

Nijdam, D., Rood, T. and Westhoek, H. (2012) 'The price of protein: Review of land use and carbon footprints from life cycle assessments of animal food products and their substitutes', *Food Policy*, 37(6), pp. 760–770. doi: 10.1016/j.foodpol.2012.08.002.

Orellana, N. *et al.* (2020) 'A new edible film to produce in vitro meat', *Foods*, 9(2), pp. 1–14. doi: 10.3390/foods9020185.

Petrucelli, S. and Añón, M. C. (1995) 'Soy Protein Isolate Components and Their Interactions', *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43(7), pp. 1762–1767. doi: 10.1021/jf00055a004.

Pietrasik, Z. and Janz, J. A. M. (2010) 'Utilization of pea flour, starch-rich and fiber-rich fractions in low fat bologna', *Food Research International*, 43(2), pp. 602–608. doi: 10.1016/j.foodres.2009.07.017.

Podolak, R. (1997) 'Patties Treated With Fumaric and Lactic Acids¹', 20(96), pp. 513–524.

Poore, J. and Nemecek, T. (2018) 'Reducing food's environmental impacts through producers

and consumers', *Science*, 360(6392), pp. 987–992. doi: 10.1126/science.aaq0216.

Post, M. J. (2012) 'Cultured meat from stem cells: Challenges and prospects', *Meat Science*, 92(3), pp. 297–301. doi: 10.1016/j.meatsci.2012.04.008.

Ranjitha, K. and Oberoi, H. S. (2018) 'Food Flavours from Yeasts: Improved Productivity through Biotechnological Interventions and Process Optimization'.

Ritala, A. *et al.* (2017) 'Single cell protein-state-of-the-art, industrial landscape and patents 2001-2016', *Frontiers in Microbiology*, 8(OCT). doi: 10.3389/fmicb.2017.02009.

Sabaté, J. and Soret, S. (2014) 'Sustainability of plant-based diets: Back to the future', *American Journal of Clinical Nutrition*, 100(SUPPL. 1), pp. 476–482. doi: 10.3945/ajcn.113.071522.

Schreuders, F. K. G. *et al.* (2019) 'Comparing structuring potential of pea and soy protein with gluten for meat analogue preparation', *Journal of Food Engineering*, 261(April), pp. 32–39. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2019.04.022.

Schuler, MF Kargi, F. (2002) 'Bioprocess engineering: basic concepts'.

Sharma, S. (2015) 'In vitro meat production system: why and how?'

Shemy, H. El (2011) *Soybean and Health*.

Singh, S., Gamlath, S. and Wakeling, L. (2007) 'Nutritional aspects of food extrusion: A review', *International Journal of Food Science and Technology*, 42(8), pp. 916–929. doi: 10.1111/j.1365-2621.2006.01309.x.

Slavin, J. (2013) 'Fiber and prebiotics: Mechanisms and health benefits', *Nutrients*, 5(4), pp. 1417–1435. doi: 10.3390/nu5041417.

Smetana, S. *et al.* (2015) 'Meat alternatives: life cycle assessment of most known meat substitutes', *International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(9), pp. 1254–1267. doi: 10.1007/s11367-015-0931-6.

Smid, E. J. and Hugenholtz, J. (2010) 'Functional genomics for food fermentation processes', *Annual Review of Food Science and Technology*, 1(1), pp. 497–519. doi: 10.1146/annurev.food.102308.124143.

Solieri, L. and Giudici, P. (2008) 'Yeasts associated to Traditional Balsamic Vinegar: Ecological and technological features', *International Journal of Food Microbiology*, 125(1),

pp. 36–45. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2007.06.022.

Spence, C. (2015) ‘On the psychological impact of food colour’, *Flavour*, 4(1), pp. 1–16. doi: 10.1186/s13411-015-0031-3.

Stanbury, P. (2013) *Principles of fermentation technology*.

Stephens, N. *et al.* (2018) ‘Bringing cultured meat to market: Technical, socio-political, and regulatory challenges in cellular agriculture’, *Trends in Food Science and Technology*, 78(June 2017), pp. 155–166. doi: 10.1016/j.tifs.2018.04.010.

Stephens, N., Sexton, A. E. and Driessen, C. (2019) ‘Making Sense of Making Meat: Key Moments in the First 20 Years of Tissue Engineering Muscle to Make Food’, *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3(July). doi: 10.3389/fsufs.2019.00045.

Thorrez, L. and Vandeburgh, H. (2019) ‘Challenges in the quest for “clean meat”’.

Toldrá, F. (2010) *Handbook of Meat Processing*.

Trieu, K. *et al.* (2015) ‘Salt reduction initiatives around the world-A systematic review of progress towards the global target’, *PLoS ONE*, 10(7), pp. 1–22. doi: 10.1371/journal.pone.0130247.

Tubb, C. and Seba, T. (2021) ‘Rethinking Food and Agriculture 2020-2030: The Second Domestication of Plants and Animals, the Disruption of the Cow, and the Collapse of Industrial Livestock Farming’.

Tuomisto, H. and De Mattos, T. (2011) ‘Environmental Impacts of Cultured Meat Production’.

Tuomisto, H., Zuquim, G. and Cárdenas, G. (2014) ‘Species richness and diversity along edaphic and climatic gradients in Amazonia’, *Ecography*, 37(11), pp. 1034–1046. doi: 10.1111/ecog.00770.

Turner-McGrievy, G., Mandes, T. and Crimarco, A. (2017) ‘A plant-based diet for overweight and obesity prevention and treatment’, *Journal of Geriatric Cardiology*, 14(5), pp. 369–374. doi: 10.11909/j.issn.1671-5411.2017.05.002.

Tziva, M. *et al.* (2020) ‘Understanding the protein transition: The rise of plant-based meat substitutes’, *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 35(April 2019), pp. 217–231. doi: 10.1016/j.eist.2019.09.004.

- Verbeke, W., Sans, P. and Van Loo, E. J. (2015) 'Challenges and prospects for consumer acceptance of cultured meat', *Journal of Integrative Agriculture*, 14(2), pp. 285–294. doi: 10.1016/S2095-3119(14)60884-4.
- van Vliet, S. *et al.* (2021) 'A metabolomics comparison of plant-based meat and grass-fed meat indicates large nutritional differences despite comparable Nutrition Facts panels', *Scientific reports*, 11(1), p. 13828. doi: 10.1038/s41598-021-93100-3.
- van Vliet, S., Kronberg, S. L. and Provenza, F. D. (2020) 'Plant-Based Meats, Human Health, and Climate Change', *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4(October). doi: 10.3389/fsufs.2020.00128.
- Wiebe, M. G. (2004) 'Quorn™ Myco-protein - Overview of a successful fungal product'.
- Xu, S. and Li, Y. (2020) 'Yeast as a promising heterologous host for steroid bioproduction', *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 47(9–10), pp. 829–843. doi: 10.1007/s10295-020-02291-7.
- Yang, Y. *et al.* (2023) 'Meat and plant-based meat analogs: Nutritional profile and in vitro digestion comparison', *Food Hydrocolloids*, 143(May), p. 108886. doi: 10.1016/j.foodhyd.2023.108886.
- Zamagni, E. *et al.* (2011) 'Prognostic relevance of 18-F FDG PET/CT in newly diagnosed multiple myeloma patients treated with up-front autologous transplantation', *Blood*, 118(23), pp. 5989–5995. doi: 10.1182/blood-2011-06-361386.
- Zhang, T. *et al.* (2021) 'The development history and recent updates on soy protein-based meat alternatives', *Trends in Food Science and Technology*, 109(January), pp. 702–710. doi: 10.1016/j.tifs.2021.01.060.
- Zhang, Z. *et al.* (2023) 'High-moisture Extrusion Technology Application in the Processing of Textured Plant Protein Meat Analogues: A Review', *Food Reviews International*, 39(8), pp. 4873–4908. doi: 10.1080/87559129.2021.2024223.
- Zhao, X. *et al.* (2024) 'Microbiological and Physicochemical Dynamics in Traditional and Industrial Fermentation Processes of Koumiss', *Fermentation*, 10(1). doi: 10.3390/fermentation10010066.