

**«ΔΙΑΤΡΟΦΙΚΗ ΑΞΙΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ
ΤΟΥ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΚΡΕΑΤΟΣ»**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΒΑΓΙΑΣ ΜΗΝΑ

Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων

Σχολή Περιβάλλοντος

ΙΟΝΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ



Αργοστόλι Κεφαλληνίας

Μάιος 2024

**«ΔΙΑΤΡΟΦΙΚΗ ΑΞΙΑ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΤΟΥ
ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΚΡΕΑΤΟΣ»**

Η πτυχιακή εργασία εγκρίθηκε από:

Παναγιώτης Κανδύλης

Το όνομα του επιβλέποντος εδώ
Ιωάννης Σαμαράς

Το όνομα του μέλους της επιτροπής εδώ

Ελένη Σακαντάνη

Το όνομα του μέλους της επιτροπής εδώ

«Δηλώνω υπεύθυνα ότι η διπλωματική εργασία είναι εξ' ολοκλήρου δικό μου έργο και κανένα μέρος της δεν είναι αντιγραμμένο από έντυπες ή ηλεκτρονικές πηγές, μετάφραση από ξενόγλωσσες πηγές και αναπαραγωγή από εργασίες άλλων ερευνητών ή φοιτητών. Όπου έχω βασιστεί σε ιδέες ή κείμενα άλλων, έχω προσπαθήσει με όλες μου τις δυνάμεις να τα προσδιορίσω σαφώς μέσα από την καλή χρήση αναφορών ακολουθώντας την ακαδημαϊκής δεοντολογία και την αποφυγή λογοκλοπής.»

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παγκόσμια ζήτηση για κρέας αυξάνεται σταθερά, επηρεάζοντας όμως το περιβάλλον, την καλή διαβίωση των ζώων και τη δημόσια υγεία. Για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, το τεχνητό κρέας μπορεί να χαρακτηριστεί σαν μία υποσχόμενη και εναλλακτική λύση σε σχέση με την παραδοσιακή κτηνοτροφία. Αυτή η εργασία διερευνά τις πολύπλευρες διαστάσεις της παραγωγής τεχνητού κρέατος, τις δυνατότητές της να αντιμετωπίσει τις τρέχουσες ανησυχίες για την επισιτιστική ασφάλεια και τις ηθικές ανησυχίες και τις ευρύτερες επιπτώσεις για τα βιώσιμα συστήματα τροφίμων. Αρχικά, η εργασία εμβαθύνει στις βιοτεχνολογικές διαδικασίες που εμπλέκονται στην ανάπτυξη ζωικών κυττάρων σε ελεγχόμενο περιβάλλον, τονίζοντας τη σημασία της ανάπτυξης κατάλληλων μέσων καλλιέργειας. Επιπλέον, εξετάζει τις προκλήσεις που σχετίζονται με την κλιμάκωση της παραγωγής, την αποδοτικότητα κόστους και τα ρυθμιστικά πλαίσια. Έπειτα, διερευνάται η κοινωνική αποδοχή και οι αντιλήψεις των καταναλωτών για το τεχνητό κρέας εξετάζοντας παράγοντες που επηρεάζουν τη στάση του κοινού, πιθανά εμπόδια στην υιοθέτηση και στρατηγικές για την προώθηση του τεχνητού κρέατος ως βιώσιμης και ελκυστικής επιλογής για μελλοντικές δίαιτες. Τέλος, η εργασία ολοκληρώνεται με μια συζήτηση που προκύπτει από ευρύτερα συμπεράσματα σχετικά με το τεχνητό κρέας στο πλαίσιο της παγκόσμιας επισιτιστικής ασφάλειας και βιωσιμότητας τονίζοντας τον πιθανό ρόλο του στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της βιομηχανίας κρέατος, στην άμβλυνση των ελλείψεων τροφίμων και στην προώθηση πιο ηθικών προτύπων κατανάλωσης.

Λέξεις-κλειδιά: τεχνητό κρέας, διατροφή, βιοτεχνολογία, κυτταροκαλλιέργεια

ABSTRACT

Global demand for meat is steadily increasing affecting the environment, animal welfare and public health. To address these challenges, artificial meat can be characterized as a promising and alternative solution to traditional livestock farming. This thesis explores the multifaceted dimensions of cultured meat production, its potential to address current food security and ethical concerns, and the broader implications for sustainable food systems. First, the thesis highlights the biotechnological processes involved in growing animal cells in a controlled environment (cell culture), emphasizing the importance of developing appropriate culture media. In addition, it examines challenges related to scale up production, cost efficiency and regulatory frameworks. Social acceptance and consumer perceptions of cultured meat are, also, explored by examining factors influencing public attitudes, potential barriers to consumption of cultured meat, and strategies to promote cultured meat as a sustainable and attractive option for future diets. Finally, the thesis concludes with a discussion of broader implications for cultured meat in the context of global food security and sustainability highlighting its potential role in reducing the environmental footprint of the meat industry, alleviating food shortages and promoting more ethical consumption habits.

Keywords: cultured meat, nutrition, biotechnology, cell culture

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο – ΤΟ ΚΡΕΑΣ	11
1.1. Τι είναι το κρέας	11
1.2. Ιστορική αναδρομή κρέατος	11
1.3. Κατανάλωση κρέατος σε παγκόσμιο, ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο	12
1.4. Ποια είναι η θρεπτική αξία του κρέατος;	14
1.4.1. Αμινοξέα και πρωτεΐνη	14
1.4.2. Βιταμίνες και ιχνοστοιχεία.....	15
1.4.3. Λιπαρά οξέα.....	15
1.5. Επιπτώσεις κατανάλωσης κρέατος για τον άνθρωπο	16
1.5.1. Κρέας και καρκίνος.....	16
1.5.2. Κρέας και καρδιαγγειακά νοσήματα.....	17
1.6. Επιπτώσεις κατανάλωσης κρέατος για το περιβάλλον.....	17
1.7. Επιπτώσεις κατανάλωσης κρέατος για την οικονομία	18
2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο – ΤΟ ΤΕΧΝΗΤΟ ΚΡΕΑΣ	19
2.1. Τι είναι το τεχνητό κρέας.....	19
2.2. Πώς δημιουργήθηκε το τεχνητό κρέας;	20
2.3. Λόγοι που οδήγησαν στην ανάπτυξή του.....	21
2.3.1. Αύξηση του πληθυσμού και υποσιτισμός	21
2.3.2. Κλιματική αλλαγή	22
2.3.2. Ασθένειες	22
3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο – ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΚΡΕΑΤΟΣ.....	23
3.1. Μέθοδοι παραγωγής τεχνητού κρέατος	23
3.1.1. Εμβρυϊκά βλαστοκύτταρα και in vitro παραγωγή κρέατος	24
3.1.2. Αναγέννηση σκελετικών μυών και μηχανική ιστών	25
3.1.3. Τεχνικές που βασίζονται σε ικρίωμα για τη δημιουργία τεχνητού κρέατος	25
3.1.4. Βιοαντιδραστήρες.....	27
3.1.5. Μέσα καλλιέργειας, αυξητικοί παράγοντες.....	28
4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο – ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΚΡΕΑΤΟΣ.....	31
4.1. Θρεπτική αξία του τεχνητού κρέατος.....	31
4.1.1. Πρωτεΐνες	31
4.1.2. Λιπαρά οξέα	32
4.1.3. Μέταλλα, βιταμίνες και άλλα στοιχεία	32
4.2. Εμφάνιση και γεύση του τεχνητού κρέατος.....	33
4.2.1. Υφή και δομή.....	33
4.2.2. Χρώμα.....	34
4.2.3. Γεύση	34
4.3. Σε ποιες χώρες παράγεται και καταναλώνεται;	35
5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο	35
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ / ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	35
5.1. Τεχνολογικές εξελίξεις	35
5.2. Ποια πλεονεκτήματα έχει το τεχνητό κρέας στο περιβάλλον;.....	38
5.2.1. Περιβάλλον	38
5.2.2. Κόστος τεχνητού κρέατος	39
5.2.3. Προστασία της άγριας ζωής	40
5.2.4. Φαγητό για το διάστημα	40
5.3. Επιπτώσεις και εμπόδια στην κατανάλωση τεχνητού κρέατος	40
5.3.1. Μολύνσεις	40

5.3.2. Αποδοχή από την κοινότητα	41
5.3.3. Παραγωγή σε μεγάλη κλίμακα	42
6. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο – ΑΓΟΡΑ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΚΡΕΑΤΟΣ ΣΕ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ, ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΑΙ ΕΘΝΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ	42
6.1. Οικονομικά στοιχεία	42
6.2. Διαφήμιση και παραπληροφόρηση στα ΜΜΕ	44
6.3. Μάρκετινγκ	45
7. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο - ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΚΡΕΑΤΟΣ ΠΟΥ ΚΥΚΛΟΦΟΡΟΥΝ ΣΤΗΝ ΑΓΟΡΑ.....	46
7.1. Προϊόντα στην αγορά	46
7.1.1. Κοτόπουλο	46
7.1.2. Βόειο κρέας	47
7.1.3. Χοιρινό	47
7.2. Αποδοχή προϊόντων από τους καταναλωτές	48
7.3. Ασφάλεια τροφίμων και νομοθεσία	49
7.3.1. Ευρώπη	50
7.3.2. ΗΠΑ	51
8. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ	52
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	54

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας	Σελίδα
Πίνακας 1-1. Κατανάλωση κρέατος ανά χώρα και άτομο (Πηγή: FAO)	13

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Εικόνα 1-1. Σχηματική απεικόνιση με χρωματικό κώδικα της μέσης ημερήσιας κατανάλωσης κρέατος κατά άτομο (gr/ day). (Πηγή: https://ourworldindata.org/antibiotic-resistance-from-livestock)	13
Εικόνα 1-2. Η αξία της αγοράς κρέατος σε δισεκατομμύρια δολάρια ανά έτος. (Πηγή: statista.com)	19
Εικόνα 3-1. Σχηματική απεικόνιση της παραγωγής τεχνητού κρέατος από σκελετικά μυϊκά κύτταρα ή έμβρυο χοίρου. Πηγή: (Treich, 2021)	23
Εικόνα 3-2. Η μυογονική διαφοροποίηση των δορυφορικών κυττάρων των μυών. Πηγή: (Hong et al., 2021)	24
Εικόνα 7-1. Κοτομπουκιά από τεχνητό κρέας που πωλείται στην Σιγκαπούρη από την εταιρεία Eat Just. Πηγή: Eat Just.	47
Εικόνα 7-2. Μπριζόλα από τεχνητό κρέας. Πηγή: (Kang et al., 2021)	47

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Παγκοσμίως η ζήτηση για κρέας, ένα βασικό στοιχείο της διαίτας, αυξάνεται συνεχώς διότι ο πληθυσμός της γης πολλαπλασιάζεται και πλέον ένα μεγάλο ποσοστό των ανθρώπων ζουν σε ανεπτυγμένες χώρες με υψηλούς μισθούς και καλή οικονομική κατάσταση. Αυτή η κλιμακούμενη ζήτηση, ωστόσο, έχει μεγάλο αντίκτυπο στον πλανήτη, τα ζώα και τη δημόσια υγεία. Η παραδοσιακή κτηνοτροφία ως σημαντικότερη μορφή παραγωγής κρέατος εδώ και αιώνες, αναγνωρίζεται πλέον ως μία από τις πιο επιζήμιες για το περιβάλλον και ηθικά αμφιλεγόμενες βιομηχανίες (Rust et al., 2020). Η επείγουσα ανάγκη να αντιμετωπιστούν αυτές οι προκλήσεις οδήγησε σε μια καινοτομία στην παραγωγή κρέατος- το τεχνητό κρέας, γνωστό και ως κρέας που καλλιεργείται στο εργαστήριο ή με βάση τα κύτταρα.

Το τεχνητό κρέας αποκλίνει από τη συμβατική εκτροφή, τη σφαγή και την επεξεργασία ζώων για ανθρώπινη κατανάλωση. Αντίθετα, αξιοποιεί τις προόδους στη βιοτεχνολογία και την κυτταρική γεωργία για την παραγωγή κρέατος καλλιεργώντας ζωικά κύτταρα σε ελεγχόμενα εργαστηριακά περιβάλλοντα, με τη δυνατότητα να μετριάσει τις αρνητικές επιπτώσεις της παραδοσιακής παραγωγής κρέατος (Deliza et al., 2023). Καθώς υπάρχει η ανάγκη για φαγητό σε έναν αναπτυσσόμενο πληθυσμό με βιώσιμο τρόπο, οι ηθικές ανησυχίες σχετικά με την καλή διαβίωση των ζώων και η επιτακτική ανάγκη για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής, το τεχνητό κρέας μπορεί να αναδειχθεί ως μια επαναστατική λύση που προσφέρει ελπίδα για ένα πιο ανθεκτικό και ηθικό παγκόσμιο σύστημα τροφίμων (Deliza et al., 2023).

Αυτή η εργασία εστιάζει στη διερεύνηση του τεχνητού κρέατος σε ένα ευρύ φάσμα. Οι άξονες που θα αναλυθούν είναι το επιστημονικό του υπόβαθρο, οι περιβαλλοντικές και ηθικές του επιπτώσεις, η αποδοχή του από τους καταναλωτές. Επιπλέον, δίνεται βάση στην ευρύτερη σημασία του στο πλαίσιο της παγκόσμιας επισιτιστικής ασφάλειας και στις δυνατότητες της αναδιαμόρφωσης του τρόπου παραγωγής και κατανάλωσης κρέατος στον 21ο αιώνα. Με το ηθικό δίλημμα που θέτει η συμβατική κτηνοτροφία θα διερευνηθεί πώς το τεχνητό κρέας μπορεί να προσφέρει μια εναλλακτική λύση για τους καταναλωτές που αναζητούν πηγές πρωτεΐνης χωρίς να είναι προϋπόθεση η σφαγή ζώων. Η κατανόηση των εμποδίων και των κινήτρων που επηρεάζουν τις επιλογές των καταναλωτών είναι ζωτικής σημασίας για την αξιοποίηση των δυνατοτήτων αυτής της τεχνολογίας. Τα ευρήματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης θα συμβάλλουν σε ένα σύνολο γνώσεων που αφορά την τεχνολογία παραγωγής του τεχνητού κρέατος, τα

οφέλη, τα ρυθμιστικά πλαίσια για την κυκλοφορία του στην αγορά. Τέλος θα υπογραμμιστούν στρατηγικές για την εμπορική ανάπτυξη και την αποδοχή του από τους καταναλωτές, επισημαίνοντας τις δυνατότητές του να φέρει επανάσταση στο μέλλον της παραγωγής τροφίμων.

1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο – ΤΟ ΚΡΕΑΣ

1.1. Τι είναι το κρέας

Κρέας είναι το σύνολο των ζωικών ιστών (η σάρκα των ζώων) που είναι κατάλληλο για ανθρώπινη κατανάλωση. Το ζωικό κρέας, που χρησιμοποιείται ως τροφή από τον άνθρωπο, περιλαμβάνει τους σκελετικούς μυς θηλαστικών και πουλερικών (π.χ. βοδινό, μοσχάρι, χοιρινό, αρνί, κοτόπουλο) και το λίπος. Ωστόσο, μπορεί να περιγράψει και άλλους βρώσιμους ιστούς, όπως τα όργανα και τα εντόσθια ενός νεκρού ζώου και περιλαμβάνει και το κρέας που είναι κιμάς ή κατεψυγμένο ή υποπροϊόντα κρέατος όπως το αίμα (Boler & Woerner, 2017).

1.2. Ιστορική αναδρομή κρέατος

Αρχαιολογικά και ανθρωπολογικά στοιχεία δείχνουν ότι ο άνθρωπος δεν είναι αποκλειστικά φυτοφάγο ζώο τουλάχιστον τα τελευταία τρία έως τέσσερα εκατομμύρια χρόνια. Πριν από περίπου 2,8 εκατομμύρια χρόνια, η βλάστηση της Ανατολικής Αφρικής άλλαξε, από τους υγροτόπους που κυριαρχούσαν, σε ξηρότερα λιβάδια της σαβάνας, λόγω αλλαγών στις παγκόσμιες κλιματολογικές συνθήκες. Αυτό συνοδεύτηκε από μια παγκόσμια αλλαγή της πανίδας συμπεριλαμβανομένης της εξάπλωσης μεγάλων ζώων που βόσκουν. Έτσι, οι τροφές που ήταν διαθέσιμες στους προγόνους μας ήταν πολύ διαφορετικές από εκείνες της ζούγκλας/δάσους που διέμεναν για εκατομμύρια χρόνια. Το περιβάλλον ήταν πιο ξηρό με αποτέλεσμα οι φυτικές τροφές να είναι λιγότερο διαθέσιμες, ενώ τα ζώα βοσκής ήταν άφθονα. Έτσι, έγινε διατροφική αλλαγή με στροφή στο κυνήγι. Αυτό συνοδεύτηκε από επακόλουθες φυσιολογικές και μεταβολικές προσαρμογές στον άνθρωπο. Τα ευρήματα μελετών δείχνουν ένα μεταβαλλόμενο διατροφικό μοτίβο που δε στηρίζεται πλέον σε φυτικά προϊόντα χαμηλής ενέργειας, αλλά τροφές ζωικής προέλευσης που είναι πλούσιες σε ενέργεια, με αποκορύφωμα την παλαιολιθική εποχή στην οποία ο *Homo sapiens* είναι κυρίως σαρκοφάγος (Mann, 2018).

Οι άνθρωποι παρουσιάζουν ειδικά προσαρμοστικά χαρακτηριστικά που προήλθαν από κατανάλωση ζωικών τροφών. Έρευνες δείχνουν ότι ο ανθρώπινος εγκέφαλος αυξήθηκε σε μέγεθος κυρίως τα τελευταία 2-3 εκατομμύρια χρόνια. Από την εποχή του *Australopithecus aferensis* (4 εκατομμύρια χρόνια πριν), το μέγεθος του εγκεφάλου έχει τριπλασιαστεί. Για τον εγκέφαλο είναι σημαντικά: (i) τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα μακράς αλυσίδας (LC) (PUFA, polyunsaturated fatty acids), ιδιαίτερα αραχιδονικό οξύ και εικοσιδιεξαενοϊκό οξύ και (ii) έχει υψηλές μεταβολικές απαιτήσεις. Επιπλέον, τα σαρκοφάγα τείνουν να έχουν ένα καλά ανεπτυγμένο στομάχι με πολύ χαμηλό pH και μακρύ λεπτό έντερο (Leroy & Praet, 2015). Το ανθρώπινο γαστρεντερικό σύστημα με το απλό στομάχι, το σχετικά επιμήκες λεπτό έντερο και το μικρό κόλον υποδηλώνουν την εξάρτηση από μια δίαιτα υψηλής ενέργειας, αφού δεν έχουν την ικανότητα να επιμηκύνουν την αλυσίδα των λιπαρών οξέων (18 άνθρακες) σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα με 20 και 22 άνθρακες, που είναι απαραίτητα για τη λειτουργία της κυτταρικής μεμβράνης και του εγκεφαλικού ιστού (Leroy & Praet, 2015). Ως εκ τούτου, απαιτείται άμεση κατανάλωση ζωικού ιστού. Επιπλέον, οι άνθρωποι έχουν μειωμένη ικανότητα σύνθεσης της ταυρίνης, η οποία εμπλέκεται σε πολλές βασικές φυσιολογικές λειτουργίες. Μελέτες σε χορτοφάγους δείχνουν 78% χαμηλότερα ποσοστά ταυρίνης στο πλάσμα από ότι σε παμφάγους. Μία θεωρία υποστηρίζει ότι υπήρχε μειωμένη ανάγκη για τη σύνθεση ταυρίνης *in vivo*, επειδή οι εξωγενείς διατροφικές πηγές της ταυρίνης (που βρίσκεται μόνο στον ζωικό ιστό) καταναλώνονταν για μεγάλο χρονικό διάστημα. Επιπλέον, η αίμη και άλλες ενώσεις πλούσιες σε σίδηρο προέρχονται μόνο από ζωικές τροφές και απορροφώνται από τον άνθρωπο (Mann, 2018). Όλα τα παραπάνω ενδυναμώνουν την θεωρία πως ο άνθρωπος έτρωγε κρέας εδώ και πολλά εκατομμύρια χρόνια.

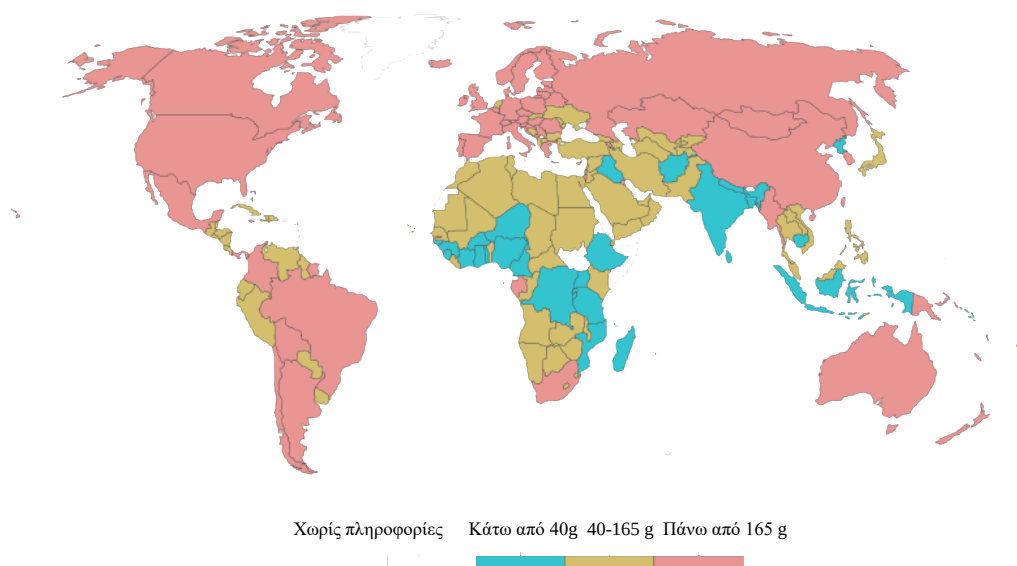
1.3. Κατανάλωση κρέατος σε παγκόσμιο, ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο

Η κατανάλωση κρέατος ποικίλλει στις διάφορες περιοχές του κόσμου (Εικόνα 1-1). Στις αναπτυσσόμενες χώρες αυξάνεται συνεχώς η κατανάλωση κρέατος (Λατινική Αμερική, Καραϊβική και Ανατολική Ασία) (Πίνακας 1-1). Αντίθετα, στοιχεία που αφορούν Ηνωμένο Βασίλειο παρουσιάζουν μείωση της αγοράς κρέατος (μοσχάρι, πρόβιο κρέας, αρνί και χοιρινό) (Wyness, 2016).

Οι καταναλωτικές συνήθειες επηρεάζονται από μία πληθώρα παραγόντων. Για παράδειγμα, ο τόπος κατοικίας επηρεάζει την πρόσβαση σε κρέας. Οι νομάδες

κτηνοτρόφοι στην έρημο και κοινότητες ανθρώπων που κατοικούν στην Αρκτική έχουν την δυνατότητα εκτροφής ζώων και κυνηγιού, επειδή η καλλιέργεια φυτικών προϊόντων είναι πολύ δύσκολη σε αυτά τα αντίξοα περιβάλλοντα. Ταυτόχρονα, σε άλλες χώρες πολλοί άνθρωποι δεν έχουν την οικονομική δυνατότητα για να προμηθευτούν κρέας. Παρόλα αυτά, η τιμή του κρέατος σήμερα θεωρείται χαμηλότερη από ό,τι ήταν ποτέ σε σχέση με το μέσο εισόδημα των ανθρώπων. Οι διατροφικές συνήθειες αποτελούν και μέρος της εξέλιξης σε ένα περιβάλλον, όπου η εύρεση τροφής θεωρούνταν επισφαλής και το κρέας κατάφερε να συνεισφέρει την επιβίωση (Godfray et al., 2018).

Μερικές δεκαετίες πριν καταναλώνονταν κυρίως το χοιρινό και το βοδινό κρέας και έπειτα τα πουλερικά. Η παγκόσμια παραγωγή του βόειου κρέατος αυξήθηκε μεταξύ των δεκαετιών 1950 και 1990, ενώ η αύξηση παραγωγής κρέατος από πουλερικά ακολούθησε και ξεπέρασε το βόειο κρέας το 1997 (Whitton et al., 2021).



Εικόνα 1-1. Σχηματική απεικόνιση με χρωματικό κώδικα της μέσης ημερήσιας κατανάλωσης κρέατος κατά άτομο (gr/ day). (Πηγή: <https://ourworldindata.org/antibiotic-resistance-from-livestock>)

Πίνακας 1-1. Κατανάλωση κρέατος ανά χώρα και άτομο (Πηγή: FAO)

Χώρα	kg/άτομο (2009)	kg/άτομο (2017)	kg/άτομο (2020)
Ελλάδα	74,8	68,7	71,7
Ινδία	4,4	4,0	3,8
Δανία	95,2	76,9	70,8
Αργεντινή	98,3	112,2	109,4

1.4. Ποια είναι η θρεπτική αξία του κρέατος;

Ο ρόλος του κρέατος στην παροχή θρεπτικών συστατικών στον άνθρωπο είναι ιδιαίτερα σημαντικός. Όσον αφορά την ημερήσια κατανάλωση του ανθρώπου, συστήνονται μέτριες ποσότητες μη επεξεργασμένου (ή φρέσκου) άπαχου κρέατος. Μια μέτρια ποσότητα κρέατος δεν υπερβαίνει τα 455 γραμμάρια μαγειρεμένου κρέατος (ίσο με περίπου 700 γραμμάρια ωμού κρέατος) την εβδομάδα.

Ειδικότερα, το κόκκινο κρέας μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην πρόσληψη μικροθρεπτικών μεταξύ των βρεφών, ιδιαίτερα κατά την περίοδο του απογαλακτισμού. Στην περίοδο των 6 μηνών, συγκεκριμένα θρεπτικά συστατικά, όπως ο σίδηρος, αρχίζουν να μειώνονται. Συνεπώς, χρειάζονται επιπλέον διατροφικές πηγές γι' αυτά τα συστατικά. Είναι γνωστό ότι κόκκινο κρέας αποτελεί μια σημαντική πηγή υψηλής βιοδιαθεσιμότητας σιδήρου, παρότι υπάρχουν και άλλες πηγές στη διατροφή. Παρατηρούνται διαφορές στα αποθέματα σιδήρου στα δύο φύλα. Αυτές ανιχνεύονται κυρίως σε παιδιά ηλικίας 4-10 ετών και σε έφηβους ηλικίας 11-18 ετών, συχνότερα μεταξύ των κοριτσιών (Wyness, 2016). Παρακάτω αναλύονται τα θρεπτικά συστατικά που περιλαμβάνει το κρέας.

1.4.1. Αμινοξέα και πρωτεΐνη

Το κρέας ομοιάζει σε σύσταση με τον σκελετικό μυ των ανθρώπων και μας προμηθεύει με αμινοξέα, βοηθώντας την πρωτεϊνοσύνθεση, τη δομή και τη διατήρηση των μυών με σκοπό τη διατήρηση της λειτουργίας των μυών και της υγείας γενικότερα (Geiker et al., 2021). Το κόκκινο κρέας αποτελείται από πρωτεΐνη πολύ υψηλής βιολογικής αξίας και προμηθεύει τα οκτώ απαραίτητα αμινοξέα για τους ενήλικες και τα εννέα που χρειάζονται για τα παιδιά. Το κόκκινο κρέας περιέχει περίπου 20–24 g πρωτεΐνης ανά 100 g (όταν είναι ωμό) και άρα αποτελεί καλή πηγή πρωτεΐνης για τον άνθρωπο. Σήμερα, στις περισσότερες χώρες με καλό βιοτικό επίπεδο, η μέση κατανάλωση και πρόσληψη πρωτεΐνης είναι υψηλότερη από την ποσότητα πρωτεΐνης που χρειάζεται ο οργανισμός. Ωστόσο, η περίσσεια πρωτεΐνης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή ενέργειας (Wyness, 2016).

Ενώ το κρέας είναι μια βασική πηγή πρωτεΐνης και άρα απαραίτητων αμινοξέων, παρέχει μεταβολίτες και πεπτίδια που έχουν σημαντικές βιοδραστικές ιδιότητες. Συγκεκριμένα, τα αμινοξέα ζυμώνονται από τη μικροχλωρίδα του εντέρου σε μεταβολίτες. Έτσι, η ταυρίνη, η κρεατίνη, η υδροξυπρολίνη, η καρνοσίνη, τα οποία

προέρχονται κυρίως από το κρέας, φαίνεται να ασκούν σημαντικές φυσιολογικές λειτουργίες (Geiker et al., 2021).

1.4.2. Βιταμίνες και ιχνοστοιχεία

Εκτός από τις πρωτεΐνες, το κρέας προμηθεύει τον ανθρώπινο οργανισμό πολλά μέταλλα και βιταμίνες. Έρευνες έχουν δείξει ότι η μέση ημερήσια πρόσληψη 189 g κρέατος μεταξύ των Βρετανών ενηλίκων συμβάλλει περίπου 19, 52, 28 και 38% σε σίδηρο, ψευδάργυρο, σελήνιο και φώσφορο αντίστοιχα. Αναλυτικότερα, η πρόσληψη ψευδαργύρου δεν είναι εύκολη σε ανθρώπων με διατροφή χαμηλή σε τρόφιμα που έχουν ζωική προέλευση. Όσον αφορά το σίδηρο στο κρέας, βρίσκεται σε σύμπλοκο, το οποίο έχει υψηλότερη βιοδιαθεσιμότητα από τον σίδηρο που δεν είναι μαζί με την αίμη. Έτσι, στο λεπτό έντερο, περίπου το 23% του αιμικού σιδήρου απορροφάται, ενώ αυτό συμβαίνει μόνο για το 2-8% του μη αιμικού σιδήρου, και επομένως το κόκκινο κρέας παραμένει η καλύτερη διατροφική πηγή σιδήρου. Το κρέας αποτελεί σημαντική πηγή βιταμινών Β (McAfee et al., 2010). Το κρέας, τα ψάρια και άλλα τρόφιμα ζωικής προέλευσης (γαλακτοκομικά) είναι τρόφιμα που μπορούν να παρέχουν τη βιταμίνη Β12 (Geiker et al., 2021).

1.4.3. Λιπαρά οξέα

Όσον αφορά το λίπος είναι αυτό που παρέχει την πλουσιότερη διατροφική πηγή ενέργειας. Στο κόκκινο κρέας, παρατηρούνται μεγάλες διακυμάνσεις στην περιεκτικότητά του σε λίπος που εξαρτώνται από το είδος κρέατος και την κοπή του. Συγκεκριμένα, τα λιπαρά οξέα ποικίλλουν ανάλογα με τις αναλογίες άπαχου κρέατος και λίπους στο εκάστοτε κομμάτι. Αναλυτικότερα, το κρέας χωρίς λίπος είναι σχετικά πλούσιο σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFA) και φτωχό σε κορεσμένα λιπαρά οξέα (SFA). Το ορατό λίπος περιέχει κυρίως κορεσμένα λιπαρά οξέα (37 g ανά 100 g κρέατος). Επιπλέον, το άπαχο κόκκινο κρέας περιέχει παρόμοια ποσοστά μονοακόρεστων λιπαρών οξέων (MUFA) και SFA, ωστόσο οι αναλογίες αλλάζουν με το είδος κρέατος. Το βόειο κρέας και το αρνί περιέχουν περισσότερα SFA από το χοιρινό (McAfee et al., 2010). Τα κύρια SFA που υπάρχουν στο κόκκινο κρέας είναι το παλμιτικό οξύ (C16:0) (περίπου το μισό), που αυξάνει τα επίπεδα της χοληστερόλης στο αίμα, και το στεατικό οξύ (C18:0) (περίπου το ένα τρίτο), το οποίο δεν έχει σημαντικό αντίκτυπο στην χοληστερόλη. Επιπλέον, το κόκκινο κρέας περιέχει μικρές ποσότητες μυριστικού οξέος (C14:0) (0,1/100 g μυριστικού οξέος στο άπαχο βόειο

κρέας) και λαυρικού οξέος (C12:0). Τα κύρια PUFA στο κόκκινο κρέας είναι το λινολεϊκό (n-6) και το α-λινελαϊκό οξύ (n-3). Όταν καταναλώνεται, το σώμα μπορεί να μετατρέψει με χαμηλό ρυθμό το α-λινελαϊκό οξύ στα μακράς αλυσίδας ωφέλιμα n-3 λιπαρά οξέα EPA και DHA (Wyness, 2016).

1.5. Επιπτώσεις κατανάλωσης κρέατος για τον άνθρωπο

Σε νέα άτομα που γυμνάζονται, η πρόσληψη πρωτεΐνης από το κρέας, όπως αναφέρθηκε στο 1.4.1., επιδρά θετικά στη σύνθεση των μυών του σώματος και άρα τη μυϊκή δύναμη. Επίσης, η κατανάλωση κρέατος είναι ευεργετική για του ηλικιωμένους προκειμένου να αποφευχθεί η μείωση της μυϊκής μάζας και δύναμης που σχετίζεται με την ηλικία (σαρκοπενία). Οι δίαιτες που είναι χαμηλές σε φυτικές ίνες, γαλακτοκομικά, αλλά υψηλές σε πρωτεΐνες μπορεί να οδηγήσουν σε μια τοπική προφλεγμονώδη απόκριση αλλά και συστηματικά, αυξάνοντας τον κίνδυνο ασθενειών. Το κρέας έχει συσχετιστεί κυρίως με ασθένειες όπως ο καρκίνος και καρδιαγγειακά νοσήματα.

1.5.1. Κρέας και καρκίνος

Ο καρκίνος είναι μια από τις πιο κοινές αιτίες θανάτου στον κόσμο, συναγωνιζόμενος την καρδιαγγειακή νόσο ως τη μεγαλύτερη απειλή για την υγεία στις δυτικές κοινωνίες. Επιπλέον, η χρόνια κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων κόκκινου κρέατος μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου του παχέος εντέρου. Ωστόσο δεν είναι αποδεδειγμένο ερευνητικά ότι η πρόσληψη κρέατος προκαλεί πραγματικά καρκίνο, αλλά υποδεικνύεται μια πιθανή συσχέτιση. Καθώς ο καρκίνος δεν έχει αναστρέψιμους βιοδείκτες, δεν είναι δυνατή η πραγματοποίηση δοκιμών διατροφικής παρέμβασης σε ανθρώπους. Αρκετές ουσίες που βρίσκονται στο κόκκινο κρέας ή σχετίζονται με αυτό ίσως αυξάνουν τον κίνδυνο εμφάνισης όγκων στον άνθρωπο (Lescinsky et al., 2022). Οι κατηγορίες αυτών των ουσιών είναι: οι ετεροκυκλικές αμίνες (HCA), που σχηματίζονται όταν το κρέας εκτίθεται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, όπως κατά το τηγάνισμα ή το ψήσιμο. Ανιχνεύονται σε σχετικά υψηλές ποσότητες στο καλομαγειρεμένο κρέας, με κίνδυνο πρόκλησης καρκίνου του παχέος εντέρου, καρκίνου του μαστού και καρκίνου του προστάτη.

Σε μία άλλη μελέτη βρέθηκε μικρή συσχέτιση μεταξύ της κατανάλωσης μη επεξεργασμένου κόκκινου κρέατος και κινδύνου εμφάνισης καρκίνου του παχέος εντέρου. Ο μέσος σχετικός κίνδυνος (relative risks) στα 50 g d⁻¹ σε σχέση με τη μη πρόσληψη ήταν 1,30 (95% UI συμπεριλαμβανομένης της ετερογένειας μεταξύ των

μελετών 1,01–1,64), ενώ ο μέσος σχετικός κίνδυνος στα 100 g d⁻¹ ήταν 1,37 (1,01–1,78), όπου τα διαστήματα εμπιστοσύνης αντιπροσωπεύουν την ετερογένεια μεταξύ των μελετών (Lescinsky et al., 2022).

1.5.2. Κρέας και καρδιαγγειακά νοσήματα

Η μετα-ανάλυση των Micha et al. (Micha et al, 2010) αναφέρει ότι η κατανάλωση επεξεργασμένου κρέατος συσχετίστηκε με υψηλότερο κίνδυνο IHD. Η μελέτη των Bellavia et al. (Bellavia et al., 2016) ανέφερε ότι τα άτομα με υψηλότερη κατανάλωση κόκκινου κρέατος είχαν 21% αυξημένο κίνδυνο θνησιμότητας από κάθε αιτία και 29% αυξημένο κίνδυνο θνησιμότητας από καρδιαγγειακά νοσήματα σε σύγκριση με τα άτομα που είχαν την χαμηλότερη κατανάλωση κρέατος. Μια άλλη μετα-ανάλυση εξέτασε τη συσχέτιση μεταξύ της συνολικής κατανάλωσης, της κατανάλωσης επεξεργασμένου, κόκκινου και λευκού κρέατος και της θνησιμότητας που οφείλονται σε διάφορες αιτίες και ξεχωριστά λόγω καρδιαγγειακής νόσου και ισχαιμικής καρδιοπάθειας (Abete et al., 2014). Στα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μετα-ανάλυσης, φαίνεται ότι υπάρχει συσχέτιση του επεξεργασμένου κρέατος και των καρδιαγγειακών νοσημάτων. Εκείνοι με την αυξημένη κατανάλωση επεξεργασμένου κρέατος εμφάνισαν υψηλότερο κίνδυνο θνησιμότητας από διάφορες αιτίες και ειδικότερα από καρδιαγγειακή νόσο, ενώ το κόκκινο κρέας συσχετίστηκε με 16% υψηλότερο κίνδυνο θνησιμότητας που οφείλεται σε καρδιαγγειακά νοσήματα. Ωστόσο, τα αποτελέσματα θα πρέπει να εξετασθούν με προσοχή λόγω της μεγάλης ετερογένειας μεταξύ των μελετών και δεν έχουν προκύψει ασφαλή συμπεράσματα (Abete et al., 2014).

1.6. Επιπτώσεις κατανάλωσης κρέατος για το περιβάλλον

Υπάρχει σημαντική ανησυχία σε όλο τον κόσμο σχετικά με την κλιματική αλλαγή (υπερθέρμανση του πλανήτη), λόγω της αυξανόμενης παραγωγής αερίων του θερμοκηπίου (GHG) από τη βιομηχανία και τη γεωργία. Πολλοί ερευνητές μελετούν τις εκπομπές GHG που προέρχονται από διάφορα συστήματα παραγωγής κρέατος (González et al, 2020). Αναλυτικότερα, η βιομηχανία παραγωγής κρέατος αφήνει μεγάλο περιβαλλοντικό αποτύπωμα λόγω της μεγάλης κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών σε σύγκριση με τα προϊόντα φυτικής προέλευσης. Αυτό οφείλεται στο ότι για την παραγωγή κρέατος χάνεται ενέργεια σε κάθε τροφικό επίπεδο. Ανάλογα με τον τύπο κρέατος οι εκπομπές αερίων μειώνονται ή αυξάνονται. Για παράδειγμα τα

μηρυκαστικά οδηγούν σε περισσότερες εκπομπές, ενώ τα πουλικά λιγότερες. Επιπλέον, είναι σημαντική η επιλογή του συστήματος παραγωγής του κρέατος με την εντατική εκτροφή να οδηγεί σε λιγότερες εκπομπές αερίων (Godfray et al., 2018).

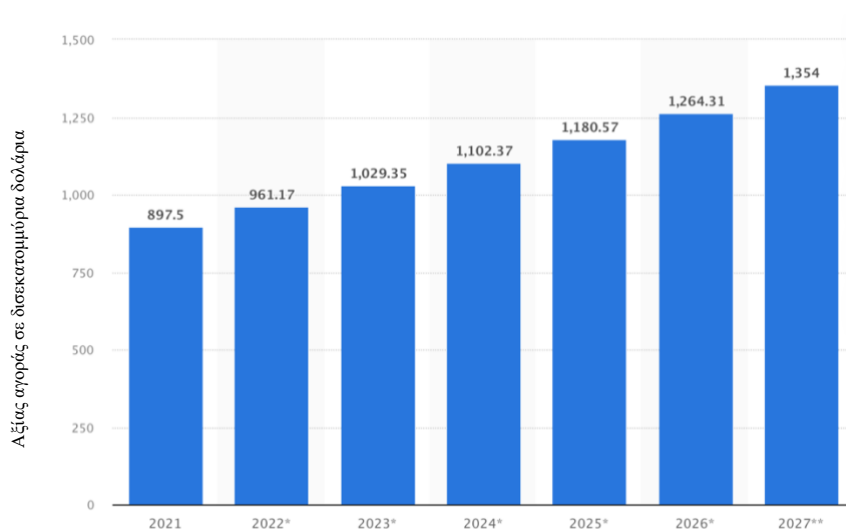
Η βιομηχανία κρεάτων οδηγεί σε εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, μεθανίου και υποξειδίου του αζώτου που συγκαταλέγονται στα αέρια του θερμοκηπίου. Το μεθάνιο είναι αυτό που παράγεται σε μεγαλύτερο βαθμό. Η κτηνοτροφία συμβάλλει περίπου στο 15% όλων των εκπομπών που προκαλούνται από τον άνθρωπο, με τα ζώα να συμβάλλουν στο 5% περίπου των περίπου 37 γιγαμετρικών τόνων CO₂ που ανιχνεύονται στην ατμόσφαιρα ετησίως. Φαίνεται ότι οι εκπομπές CO₂ οδηγούν σε μικρή αλλά υπολογίσιμη αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας (Godfray et al., 2018). Η γεωργία κατατάσσεται ως ο μεγαλύτερος «καταναλωτής» γλυκού νερού παγκοσμίως, με σχεδόν το ένα τρίτο αυτής της χρήσης να αποδίδεται στην κτηνοτροφία. Τα νερά της βροχής αποτελούν την πλειοψηφία (87,2%) του νερού που χρησιμοποιείται στην κτηνοτροφική παραγωγή, ενώ το νερό που προέρχεται από ποτάμια, λίμνες και υπόγεια ύδατα αντιπροσωπεύει μόνο το 7%. Το υδατικό αποτύπωμα της κτηνοτροφικής παραγωγής επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την καλλιέργεια ζωοτροφών, η οποία συμβάλλει στο 98% του συνολικού αποτυπώματος νερού, ενώ άλλοι παράγοντες όπως το πόσιμο νερό των ζώων αντιπροσωπεύουν μόνο ένα μικρό κλάσμα. Υπάρχει σημαντική απόκλιση στο αποτύπωμα νερού μεταξύ των διαφορετικών τύπων κρέατος και μεθόδων παραγωγής τους, με την εκτροφή βοείου κρέατος να απαιτεί πάνω από τρεις φορές περισσότερο νερό από την παραγωγή κοτόπουλου ανά κιλό κρέατος, κατά μέσο όρο. Επιπλέον, το άζωτο και ο φώσφορος που υφίστανται στην κοπριά των ζώων μπορεί να οδηγήσουν σε υπερφόρτωση θρεπτικών ουσιών σε επιφανειακά και υπόγεια ύδατα, εγκυμονώντας κινδύνους για τα υδάτινα οικοσυστήματα και την ανθρώπινη υγεία (Godfray et al., 2018).

1.7. Επιπτώσεις κατανάλωσης κρέατος για την οικονομία

Η κτηνοτροφία αποτελεί το 40% της γεωργικής παραγωγής με βάση την τιμή και την παραγωγή κρέατος, ενώ η μεταποίηση και το λιανικό εμπόριο είναι ένας σημαντικός οικονομικός τομέας στις περισσότερες χώρες. Η βιομηχανία κρέατος επιδρά και έχει ρόλο στη διαμόρφωση των διατροφικών κατευθυντήριων γραμμών των ΗΠΑ. Επιπλέον, υπάρχει σημαντική συσχέτιση μεταξύ της κατά κεφαλήν μεταβολής του ΑΕΠ και της αλλαγής στη συνολική κατανάλωση κρέατος, με αύξηση 9795 USD ετησίως που σχετίζεται με αύξηση 1 kg/κάτοικο/έτος συνολική κατανάλωση κρέατος

κυρίως σε χώρες με σχετικά μικρές αυξήσεις στο κατά κεφαλήν ΑΕΠ και αυξήσεις στην κατανάλωση κρέατος διαχρονικά (Whitton et al., 2021).

Η βιομηχανία κρέατος αναμένεται να αξίζει από 897,5 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ το 2021, πάνω από 1,3 τρισεκατομμύρια δολάρια έως το 2027 (Εικόνα 1-2) (Shahbandeh, 2023). Μέχρι πρόσφατα (2021), οι Ηνωμένες Πολιτείες κατείχαν την υψηλότερη θέση στο βάθρο των εσόδων αφού κέρδιζαν τα περισσότερα χρήματα παγκοσμίως από την πώληση κρέατος και λουκάνικων. Η δεύτερη μεγαλύτερη αγορά κρέατος στον κόσμο είναι η Γερμανία, η οποία έχει τα μισά κέρδη σε σχέση με τις ΗΠΑ. Η Ρωσία, η Γαλλία και η Βραζιλία βρίσκονται μεταξύ των πέντε χωρών που έχουν τα υψηλότερα κέρδη από την αγορά επεξεργασμένων κρεάτων. Η αυτοματοποίηση της βιομηχανίας και η χρήση ρομπότ θα αυξήσουν και άλλο την αποτελεσματικότητα και άρα την παραγωγή με σκοπό την μειωμένη μόλυνση και την ασφάλεια των καταναλωτών (Statista, 2024).



Εικόνα 1-2. Η αξία της αγοράς κρέατος σε δισεκατομμύρια δολάρια ανά έτος. (Πηγή: statista.com)

2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο – ΤΟ ΤΕΧΝΗΤΟ ΚΡΕΑΣ

2.1. Τι είναι το τεχνητό κρέας

Το τεχνητό κρέας (επίσης γνωστό ως κρέας που καλλιεργείται στο εργαστήριο) είναι κρέας που αναπτύσσεται σε εργαστήριο απευθείας από ζωικά κύτταρα μυϊκού ιστού. Μοιάζει, έχει γεύση και μαγειρεύεται σαν κρέας συμβατικής παραγωγής, αλλά δεν απαιτεί εκτροφή ή σφαγή ζώων (Ahmad et al., 2021). Το εργαστηριακό κρέας μπορεί να θεωρηθεί μια ασφαλής, ανθρώπινη εναλλακτική λύση στο συμβατικό κρέας.

2.2. Πώς δημιουργήθηκε το τεχνητό κρέας;

Η ιδέα της σχεδίασης και παραγωγής τεχνητού κρέατος με βάση τις τεχνικές μηχανικής του σκελετικού μυϊκού ιστού πρωτοεμφανίστηκε πριν από τουλάχιστον 70 χρόνια και η υλοποίησή της έχει επιδιωχθεί από τρεις ερευνητικές ομάδες (Edelman et al., 2005). Αναλυτικότερα, η θεωρητική προσέγγιση καλλιέργειας κρέατος σε βιομηχανικό περιβάλλον αναφέρθηκε από τον Winston Churchill αρχικά σε ένα δοκίμιο του 1931 και αργότερα συμπεριλήφθηκε στο έργο του «Σκέψεις και Περιπέτειες» (Kadim et al., 2015). Το 1950, ο Ολλανδός ερευνητής Willem van Eelen εμπνεύστηκε την ιδέα για την παραγωγή τεχνητού κρέατος. Αυτό προέκυψε λόγω της πείνας από την οποία υπέφερε ως αιχμάλωτος πολέμου κατά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο. Μερικά χρόνια αργότερα, το 1971 πραγματοποιήθηκε *in vitro* καλλιέργεια μυϊκών ινών από τον παθολόγο Russel Ross, ο οποίος καλλιεργήσε αορτή ινδικού χοιριδίου. Το 1991, ο Jon F. Vein πήρε το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας US 6835390 για την παραγωγή κρέατος που προήλθε από ιστούς με σκοπό την κατανάλωση του από ανθρώπους. Συγκεκριμένα, οι μύες και το λίπος θα αναπτύσσονταν για να δημιουργηθούν διάφορα προϊόντα διατροφής. Το 2001, ο δερματολόγος Wiete Westerhof μαζί με τον van Eelen και τον επιχειρηματία Willem van Kooten χρησιμοποίησαν κολλαγόνο με μυϊκά κύτταρα που καλλιεργούνταν σε ένα θρεπτικό διάλυμα για την παραγωγή τεχνητού κρέατος. Την ίδια χρονιά, η NASA άρχισε να διεξάγει πειράματα τεχνητού κρέατος, με σκοπό να επιτρέψει στους αστροναύτες να καλλιεργούν κρέας αντί να το μεταφέρουν. Σε συνεργασία με τον Morris Benjaminson, κατάφεραν να παράξουν χρυσόψαρα και γαλοπούλα. Το 2003, οι Oron Catts και Ionat Zurr παρουσίασαν μία "μπριζόλα" από βλαστοκύτταρα βατράχου, η οποία μαγειρεύτηκε και καταναλώθηκε (Kadim et al., 2015).

Το 2000, ο Αμερικανός Jason Matheny συνεργάστηκε με τρεις επιστήμονες που συμμετείχαν στις προσπάθειες της NASA. Το 2004, ο Matheny ίδρυσε τη New Harvest, ένα ερευνητικό ινστιτούτο που χρηματοδοτεί την έρευνα για την παραγωγή τεχνητού κρέατος. Το 2005, οι τέσσερις δημοσίευσαν την πρώτη μελέτη που αφορούσε την καλλιέργεια τεχνητού κρέατος. Το 2008, η PETA, μια οργάνωση για τα δικαιώματα των ζώων, προκειμένου να περιοριστεί η σφαγή τους, προσφέρθηκε να δώσει 1 εκατομμύριο δολάρια στην πρώτη εταιρεία που θα παρήγαγε τεχνητό κρέας κοτόπουλου. Ο διαγωνιζόμενος έπρεπε να ολοκληρώσει δύο εργασίες για να κερδίσει

το βραβείο: παραγωγή προϊόντος από καλλιέργεια κρέατος κοτόπουλου που δεν θα διακρίνεται από το πραγματικό κοτόπουλο και παραγωγή του προϊόντος σε αρκετά μεγάλες ποσότητες ώστε να πωλείται ανταγωνιστικά σε τουλάχιστον 10 πολιτείες. Σε αυτό το διαγωνισμό, παρά την παράταση που δόθηκε, δεν υπήρξε κάποιος νικητής (Purdy & Chase, 2017).

Παράλληλα, το 2008, η Ολλανδική κυβέρνηση επένδυσε 4 εκατομμύρια δολάρια στην παραγωγή τεχνητού κρέατος. Το πρώτο διεθνές συνέδριο για το τεχνητό κρέας πραγματοποιήθηκε στο Food Research Institute της Νορβηγίας τον Απρίλιο του 2008 και διοργανώθηκε από την In Vitro Meat Consortium (ομάδα διεθνών ερευνητών). Το περιοδικό Time δήλωσε ότι η παραγωγή τεχνητού κρέατος ήταν μία από τις 50 πρωτοποριακές ιδέες του 2009. Την ίδια χρονιά, Ολλανδοί επιστήμονες κατάφεραν να παράγουν κρέας με κύτταρα από ζωντανό γουρούνι. Το 2013, ο Mark Post παράγει hamburger από τεχνητό κρέας (Kadimetal., 2015).

2.3. Λόγοι που οδήγησαν στην ανάπτυξη του

2.3.1. Αύξηση του πληθυσμού και υποσιτισμός

Για να φτάσει ο πληθυσμός της Γης το 1 δισεκατομμύριο χρειάστηκαν πολλά χρόνια και η χρονιά που αυτό έγινε ήταν το 1830. Ωστόσο, μετά το 1800 μ.Χ. ο πληθυσμός αυξανόταν πολύ γρηγορότερα σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια. Έτσι, λίγο μετά το 1930 ο πληθυσμός ανήλθε στα 2 δισεκατομμύρια και περίπου στα 4 δισεκατομμύρια το 1974. Σήμερα, οι κάτοικοι της γης είναι περίπου 7,9 δισεκατομμύρια. Η εκθετική αύξηση του πληθυσμού οδήγησε: α) στην αυξημένη κατανάλωση νερού κατά τρεις φορές, β) στην αύξηση των ζώων από 2,1 σε 4,1 δισεκατομμύρια, γ) στην πρόσληψη σιτηρών, ψαριών και δ) στην ραγδαία κατανάλωση ενέργειας (5 φορές αύξηση). Επί του παρόντος, πάνω από το 50% του συνόλου του διαθέσιμου γλυκού νερού χρησιμοποιείται από τον άνθρωπο (Chriki & Hocquette, 2020). Με αυτά τα δεδομένα, η επισιτιστική ασφάλεια αποτελεί μείζον θέμα και γεγονός που θα έπρεπε να απασχολεί τους αρχηγούς κρατών παγκοσμίως. Σήμερα, σχεδόν το 11% των 7,9 δισεκατομμυρίων ανθρώπων του πλανήτη υποφέρει από υποσιτισμό, εκ των οποίων 821 εκατομμύρια υποφέρουν από χρόνια πείνα. Το τεχνητό κρέας θα μπορούσε να επιτρέψει σε πολλούς περισσότερους ανθρώπους σε όλο τον κόσμο να έχουν πρόσβαση σε κρέας υψηλής ποιότητας με βιώσιμο, χαμηλότερο περιβαλλοντικό κόστος. Ο τρέχων αυξανόμενος πληθυσμός, σε συνδυασμό με την αυξανόμενη ευημερία και τη συνακόλουθη αύξηση

της κατανάλωσης κρέατος - ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες - προμηνύουν ότι οι τρέχουσες πρακτικές παραγωγής κρέατος δεν είναι βιώσιμες.

2.3.2. Κλιματική αλλαγή

Όπως αναλυτικά αναφέρθηκε στην ενότητα 1.6., ο αυξανόμενος ανθρώπινος πληθυσμός οδηγεί σε περιβαλλοντικά ζητήματα σε συνδυασμό και με τη συμβολή της συμβατικής παραγωγής κρέατος. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η κτηνοτροφική παραγωγή είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που συμβάλλουν στην υπερθέρμανση του πλανήτη με τα επίπεδα του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα της Γης να έχουν εκτοξευθεί σχεδόν κατά το ένα τρίτο από τη βιομηχανική επανάσταση και ένα μεγάλο ποσοστό αυτών οφείλεται στα ζώα (González et al., 2020; Hong et al., 2021). Επιπλέον, η εκτροφή ζώων είναι μη παραγωγική και μειώνει το γλυκό νερό και τη γεωργική γη. Συγκεκριμένα, περίπου το ένα τρίτο του διαθέσιμου γλυκού νερού και σχεδόν το 80% της συνολικής γεωργικής γης χρησιμοποιείται για κτηνοτροφική παραγωγή, αφού για παράδειγμα απαιτούνται 15.495 λίτρα νερού για την παραγωγή 1 κιλού βοδινού κρέατος (Chriki & Hocquette, 2020). Είναι σημαντικό ότι για την παραγωγή τεχνητού κρέατος απαιτείται περίπου 82%-96% λιγότερο νερό από αυτό που χρησιμοποιείται στην παραδοσιακή κτηνοτροφία. Παράλληλα, οι απαιτήσεις για νέες καλλιέργειες ευθύνονται για πάνω από το 60% της παγκόσμιας αποψίλωσης των δασών (Hong et al., 2021). Συνεπώς, η περιβαλλοντική καταστροφή προκαλείται λόγω ανθρώπινων ενεργειών, αλλά και λόγω της συμβατικής παραγωγής κρέατος.

2.3.2. Ασθένειες

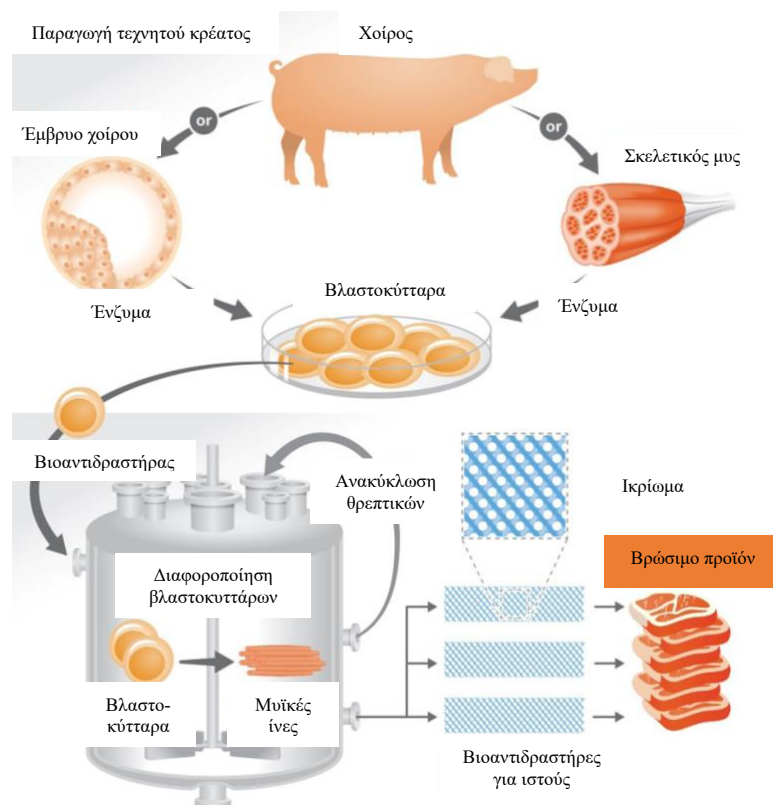
Η αλόγιστη προσθήκη κόκκινου και επεξεργασμένου κρέατος και άλλων ζωικών προϊόντων στη διατροφή μας συνδέεται με διάφορα προβλήματα στην υγεία, όπως στεφανιαία νόσο, διαβήτη τύπου 2, παχυσαρκία και πολλούς τύπους καρκίνου. Εκτός από τα παραπάνω, τα ζώα μπορούν να οδηγήσουν στην εμφάνιση μολυσματικών ασθενειών. Αυτό οφείλεται στη στενή αλληλεπίδραση που υπάρχει μεταξύ ανθρώπων και πληθυσμών ζώων (Ramani et al., 2021). Η κατανάλωση κρέατος πχ. κρέατος από κυνήγι μπορεί να συνδέεται με ιογενείς λοιμώξεις. Παρόλα αυτά έως και το 80% των ιοσωματιδίων μπορούν να απενεργοποιηθούν με το μαγείρεμα των κρεάτων σε θερμοκρασίες υψηλότερες από 60 °C (González et al., 2020). Επιπλέον, διάφορα μικρόβια ζουν φυσιολογικά στην εντερική κοιλότητα των ζώων και έτσι εξαπλώνονται

μέσω των κοπράνων τους, κατά τη σφαγή των ζώων και κατά την προετοιμασία του κρέατος για κατανάλωση (Treich, 2021). Η παραγωγή κρέατος χωρίς τη χρήση ζώων εκτροφής θα μπορούσε να αντιμετωπίσει την παραπάνω ανησυχία, και έχουν επιχειρηθεί προσπάθειες για καλλιέργεια κρέατος στο εργαστήριο, από βλαστοκύτταρα, με σημαντική επιτυχία.

3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο – ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΚΡΕΑΤΟΣ

3.1. Μέθοδοι παραγωγής τεχνητού κρέατος

Οι τεχνολογίες καλλιέργειας κρέατος βρίσκονται στο επίκεντρο, επειδή πολλοί άνθρωποι πιστεύουν ότι αυτή η τεχνολογία θα μπορούσε να συμπληρώσει ή να αντικαταστήσει εν μέρει τα συμβατικά συστήματα παραγωγής ζώων. Η παραγωγή κρέατος έχει εγείρει ανησυχίες εφόσον προκαλεί τα προβλήματα που αναφέρθηκαν διεξοδικά στις παραπάνω ενότητες. Η καλλιέργεια κρέατος στο εργαστήριο (Εικόνα 3-1) με τις μεθόδους που θα αναφερθούν στη συνέχεια μπορεί να μειώσει ή και να εξαλείψει τέτοιου είδους προβλήματα.

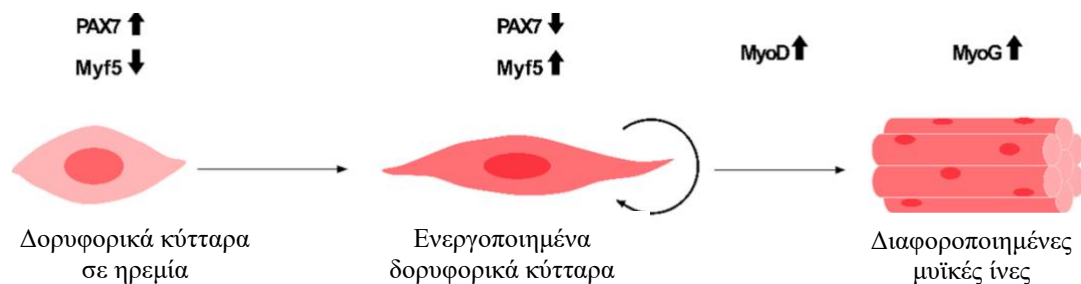


Εικόνα 3-1. Σχηματική απεικόνιση της παραγωγής τεχνητού κρέατος από σκελετικά μυϊκά κύτταρα ή έμβρυο χοίρου. Πηγή: (Treich, 2021)

3.1.1. Εμβρυϊκά βλαστοκύτταρα και *in vitro* παραγωγή κρέατος

Πολλά μοντέλα και διάφορες μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί και περιλαμβάνουν μοντέλα 2D ή 3D καλλιέργειας για τη μαζική παραγωγή ζωικού κρέατος.

Το 1961, ο Alexander Mauro ανέφερε για πρώτη φορά τα βλαστοκύτταρα (SC), υποθέτοντας ότι σχετίζονται με την αναγέννηση των μυϊκών ινών. Πλέον είναι γνωστό ότι για τη μυϊκή ανάπτυξη, απαιτούνται συντονισμένα κυτταρικά γεγονότα. Συγκεκριμένα, ενεργοποιείται ένας ρυθμιζόμενος μυογονικός καταρράκτης σηματοδότησης και ακολουθούν διαδικασίες του κυττάρου όπως ο πολλαπλασιασμός, η διαφοροποίηση και η ωρίμανση των προγονικών κυττάρων με τελικό στόχο το σχηματισμό των μυϊκών κυττάρων. Ανατομικά, τα βλαστοκύτταρα (δορυφορικά κύτταρα) βρίσκονται κάτω από το βασικό έλασμα που περιβάλλει τις μυϊνες. Μια ιδιότητα των σκελετικών μυών είναι η αναγέννηση και η επιδιόρθωση μικρών βλαβών στον ιστό. Αυτή η ικανότητα οφείλεται στα βλαστοκύτταρα εντός του σκελετικού μυός, τα οποία φυσιολογικά βρίσκονται σε ηρεμία, λόγω της ρύθμισης του κυτταρικού κύκλου, ογκοκατασταλτικών γονιδίων όπως ο Rb και διάφορων αυξητικών παραγόντων. Έπειτα, όμως, από εγγενή ή εξωγενή γεγονότα (πχ τραυματισμός) ενεργοποιούνται τα βλαστοκύτταρα (Hong et al., 2021). Τα βλαστοκύτταρα (Εικόνα 3-2) εκφράζουν παράγοντες μεταγραφής Pax3 και Pax7 και παράγοντες MyoD, τον μυογενή παράγοντα (Myf5), τον Myf6 και τη μυογενίνη (συνχά ονομάζονται μυογονικοί ρυθμιστικοί παράγοντες, MRFs).



Εικόνα 3-2. Η μυογονική διαφοροποίηση των δορυφορικών κυττάρων των μυών. Πηγή: (Hong et al., 2021)

Ένας άλλος σημαντικός πληθυσμός μυϊκών κυττάρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την καλλιέργεια τεχνητού κρέατος είναι τα PW1⁺ διάμεσα κύτταρα (PIC). Αν και εκφράζουν παράγοντες της μεταγραφής όπως Pax3 και Pax7 (όπως και τα βλαστοκύτταρα), τα PIC σχετίζονται περισσότερο με την έκφραση του μεταγραφικού παράγοντα Oct 3/4, του SRY αλλά και των Sox2 και Nanog. Επιπλέον, τα βλαστοκύτταρα περιορίζονται μόνο στη διαφοροποίηση των κυττάρων των σκελετικών μυών, ενώ τα PIC μπορούν να διαφοροποιηθούν σε σκελετικά καθώς και

σε λεία μυϊκά κύτταρα και λιποκύτταρα. Περαιτέρω αναλύσεις δείχνουν ότι τα βλαστοκύτταρα εκφράζουν μόνο γονίδια μυογονικής δέσμευσης, ενώ τα PIC σχετίζονται και με δείκτες μεσεγχυματικών βλαστοκυττάρων που τα καθιστούν πολυδύναμα (Ramani et al., 2021).

3.1.2. Αναγέννηση σκελετικών μυών και μηχανική ιστών

Οι τεχνικές για την παραγωγή τεχνητού κρέατος εξαρτώνται από την πολυπλοκότητα και τη δομή του εκάστοτε κομματιού που καλλιεργείται. Συγκεκριμένα, κομμάτια κρέατος όπως η μπριζόλα εμφανίζουν υψηλή πολυπλοκότητα και δομή και για αυτό χρειάζεται ένας δομημένος μυϊκός ιστός ή πολλαπλασιασμός ήδη υπάρχοντος μυϊκού ιστού στο εργαστήριο. Οι ερευνητές Benjaminson, Gilchrist και Lorenz εφάρμοσαν πρώτοι μεθόδους μηχανικής ιστών για να παράξουν κρέας. Ο τρόπος που το κατάφεραν αυτό ήταν μέσω εμφύτευσης σκελετικών μυών που προέρχονται από χρυσόψαρο (*Carassius auratus*) σε διάφορα θρεπτικά μέσα για μία εβδομάδα και παρατήρησαν αύξηση της επιφάνειας τους μεταξύ 5,2 και 13,8%. Όταν τα μοσχεύματα τοποθετήθηκαν σε καλλιέργεια που περιείχε διαχωρισμένα σκελετικά μυϊκά κύτταρα *Carassius*, η επιφάνεια του μοσχεύματος αυξήθηκε κατά 79% (Edelman et al., 2005). Άλλες τεχνικές μηχανικής ιστών είναι η μηχανική φύλλων κυττάρων, η μηχανική κυτταρικών ινών, η κυτταρική καλλιέργεια σε τρισδιάστατο τυπωμένο ικρίωμα και η τρισδιάστατη εκτύπωση κυττάρων. Η τρισδιάστατη εκτύπωση φέρει πολλά πλεονεκτήματα ως προς την επέκτασή της και την ικανότητα ελέγχου της δομής και της σύνθεσης του κρέατος που θα παραχθεί. Για την παραγωγή τεχνητού κρέατος πολλά υποσχόμενη είναι μια τεχνική τρισδιάστατης εκτύπωσης που ονομάζεται SBP (supporting bath-assisted 3d printing), με την οποία μελάνι με θιζοτροπία εναποτίθεται σε μία πηκτή ή ένα εναιώρημα (Kang et al., 2021).

3.1.3. Τεχνικές που βασίζονται σε ικρίωμα για τη δημιουργία τεχνητού κρέατος

Προκειμένου να επιτευχθούν οι κατάλληλες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των κυττάρων, που θα οδηγήσουν στην δημιουργία ιστών στην ιατρική, έχουν φτιαχτεί υλικά που ονομάζονται ικρίωματα. Τυπικά, ένα ικρίωμα πρέπει να έχει: α) μεγάλη επιφάνεια για να επιτρέπει την προσκόλληση και την ανάπτυξη των κυττάρων, β) ιδιότητες που του επιτρέπουν να είναι εύκαμπτο, ώστε να επιτρέπει τη συστολή και γ) πρέπει εύκολα να αποσυνδέεται από το τελικό προϊόν του κρέατος που παράγεται. Τα ικρίωματα πρέπει να μιμούνται την κατάσταση *in vivo* για να ομοιάζουν στη δομή με έναν ιστό που

προέρχεται από συμβατικό κρέας. Αυτές οι τεχνικές που βασίζονται σε ικρίωμα δεν μπορούν να παράγουν κρέατα συμπαγούς δομής όπως οι μπριζόλες, αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή αλεσμένων κρεάτων και κρέατος χωρίς κόκαλα με μαλακή σύσταση όπως χάμπουργκερ ή λουκάνικο (Zuhaib Fayaz Bhat et al., 2015).

Αναλυτικότερα, για την παραγωγή του κρέατος με τη χρήση ικριωμάτων απαιτούνται εμβρυϊκοί μυοβλάστες ή δορυφορικά κύτταρα σκελετικών μυών, τα οποία αλληλεπιδρούν και προσκολλώνται σε ένα ικρίωμα (ένα πλέγμα κολλαγόνου ή σε σφαιρίδια). Με το κατάλληλο σχήμα των ικριωμάτων διευκολύνεται η προσκόλληση των μυϊκών κυττάρων σε αυτά. Τα κύτταρα εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις θέσεις τους και τα ικρίωματα στοχεύουν στην παροχή κατάλληλου περιβάλλοντος στα κύτταρα, που μοιάζει με θέση για ανάπτυξη (Hong et al., 2021).

Η υδρογέλη είναι ένα από τα υλικά βάσης των ικριωμάτων. Κατασκευάζεται σε πορώδη δομή, η οποία ομοιάζει με την εξωκυτταρική μήτρα (ECM), καθώς επιτρέπει την ανταλλαγή νερού, αερίων και θρεπτικών συστατικών. Τέτοια τρισδιάστατα ικρίωματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν με απλή σπορά των κυττάρων σε τελική δομή ή ανάμειξη κυττάρων σε μείγμα βιοενθυλακίου για να σχηματιστεί ένα ικρίωμα φορτωμένο με κύτταρα. Το κολλαγόνο, το ινώδες και το αλγινικό χρησιμοποιούνται ως υδρογέλη, αλλά για να γίνουν τα πηκτώματα σαν τους πραγματικούς ιστούς, εισάγονται βιομελάνια που χρησιμοποιούν αποκυτταρωμένη εξωκυτταρική μήτρα (dECM). Η dECM είναι βιοϋλικό που διατηρεί το φυσικό περιβάλλον ενός ιστού, προάγει τον πολλαπλασιασμό των κυττάρων και παρέχει ενδείξεις για τη διαφοροποίηση των κυττάρων. Τα βιομελάνια περιέχουν περισσότερους ειδικούς για τον ιστό αυξητικούς παράγοντες ή και πρωτεΐνες συγκριτικά και με την υδρογέλη που αναφέρθηκε καθιστώντας τα καταλληλότερα για τις τεχνικές της μηχανικής ιστών. Παρόλα αυτά δεν έχει αναφερθεί καμία περίπτωση παραγωγής τεχνητού κρέατος σε κύτταρα ικριώματος.

Διατίθενται, επίσης, φυτικοί ιστοί αποκυτταροποίησης για τρισδιάστατα ικρίωματα κυτταρίνης. Τα πλεονεκτήματα που εμφανίζουν οι φυτικοί ιστοί είναι το χαμηλό κόστος και η αφθονία στη φύση. Έτσι, έχει επικρατήσει και η καλλιέργεια μυϊκών κυττάρων σε φυτικούς ιστούς, οι οποίοι προάγουν διάφορες κυτταρικές λειτουργίες ενώ παράλληλα λόγω των φυσικών μοτίβων της κυτταρίνης επιτρέπεται η σωστή ευθυγράμμιση των μυοσωλήνων (Cheng et al., 2020). Επειδή το ικρίωμα για το τεχνητό κρέας πρέπει να είναι βρώσιμο και να έχει κατάλληλη θρεπτική αξία και υφή έχει χρησιμοποιηθεί πρωτεΐνη σόγιας (Ben-Arye et al., 2020). Είναι ένα βρώσιμο πορώδες

βιοϋλικό που μπορεί να υποστηρίξει την προσκόλληση και τον πολλαπλασιασμό των κυττάρων για να δημιουργήσει έναν τρισδιάστατο ιστό βοοειδών. Η σύνθεση του μέσου βελτιστοποιήθηκε για τον πολλαπλασιασμό και τη διαφοροποίηση τρισδιάστατων δορυφορικών κυττάρων βοοειδών (BSC) με την προσθήκη αυξητικών παραγόντων που σχετίζονται με μυογένεση. Συγκρίθηκε η μυογένεση αρκετών συνδυασμών κυττάρων και παρουσιάστηκε αυξημένη μυογένεση και εναπόθεση εξωκυττάριας μήτρας (ECM) σε συγκαλλιέργεια BSC με λεία μυϊκά κύτταρα βοοειδών, αλλά και καλλιέργεια των BSC με λεία μυϊκά και ενδοθηλιακά κύτταρα βοοειδών. Καλύτερα αποτελέσματα κυρίως στην έκφραση πρωτεϊνών της εξωκυττάριας μήτρας είχε η συγκαλλιέργεια σε σχέση με την μονοκαλλιέργεια (Ben-Arye et al., 2020).

3.1.4. Βιοαντιδραστήρες

Τα κύτταρα διαχέονται με ένα μέσο καλλιέργειας σε σταθερό ή περιστρεφόμενο βιοαντιδραστήρα. Αυτά τα κύτταρα συντήκονται σε μυοσωληνάρια, τα οποία στη συνέχεια μπορούν να διαφοροποιηθούν σε μυοΐνες. Οι μυϊκές ίνες που προκύπτουν μπορούν στη συνέχεια να συγκομιστούν, να μαγειρευτούν και να καταναλωθούν ως κρέας. Οι van Eelen, van Kooten και Westerhof κατέχουν ολλανδικό δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για αυτή τη γενική προσέγγιση στην παραγωγή τεχνητού κρέατος. Ωστόσο, οι Catts και Zurr φαίνεται ότι ήταν οι πρώτοι που παρήγαγαν κρέας με αυτή τη μέθοδο (Edelman et al., 2005).

Αναλυτικότερα, οι βιοαντιδραστήρες που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή κρέατος *in vitro* διευκολύνουν τις βιολογικές και τις βιοχημικές αντιδράσεις σε κατάλληλα ελεγχόμενες και παρακολουθούμενες περιβαλλοντικές και λειτουργικές συνθήκες. Οι συνθήκες περιλαμβάνουν την πίεση, τη θερμοκρασία, την παροχή οξυγόνου, την απομάκρυνση αποβλήτων, το pH. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να εξασφαλιστεί υψηλός βαθμός ακρίβειας, αναπαραγωγιμότητας, επαναληψιμότητας και αυτοματοποίησης, στοιχεία δηλαδή που απαιτούνται για εργασίες μεγάλης κλίμακας. Για την παραγωγή τεχνητού κρέατος σε εμπορική κλίμακα, το επαρκές μέγεθος του βιοαντιδραστήρα και το να βρίσκονται τα κύτταρα σε μία κλειστή επιφάνεια υπό ανάδευση είναι βασικές προϋποθέσεις για τη σωστή ανάπτυξη και διαφοροποίηση του μεγάλου όγκου κυττάρων (Kumar et al., 2021).

Υπάρχουν 4 βασικά στάδια στην παραγωγή κρέατος *in vitro*: πολλαπλασιασμός κυττάρων, διαφοροποίηση κυττάρων, παραγωγή προϊόντος και αξιοποίηση

αποβλήτων. Η παραγωγή τεχνητού κρέατος απαιτεί ένα σύνθετο περιβάλλον με βέλτιστη παροχή θρεπτικών συστατικών και ευνοϊκό περιβάλλον. Οι παρόντες βιοαντιδραστήρες θα μπορούσαν εύκολα να κλιμακωθούν έως και τα 5 λίτρα χωρητικότητας και θα μπορούσε να αυξηθεί περαιτέρω έως τα 2.000 λίτρα με κατάλληλες τροποποιήσεις. Ο βιοαντιδραστήρας παρέχει ευνοϊκές περιβαλλοντικές συνθήκες για την ανάπτυξη και τη διαφοροποίηση των κυττάρων. Οι βιομηχανικοί βιοαντιδραστήρες για παραγωγή κρέατος *in vitro* θα πρέπει να σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να διευκολύνεται η αιώρηση των κυττάρων σε σχεδόν συνεχές μέσο, να διατηρεί χαμηλότερη δύναμη διάτμησης υγρού, σωστή ανάπτυξη κυττάρων παρόμοια με τον φυσικό ιστό, να διευκολύνει τον εύκολο διαχωρισμό των αιωρούμενων ιστών και να παρέχεται ένα περιβάλλον για σωστή ανάπτυξη και διαφοροποίηση των κυττάρων που οδηγεί σε αυξημένη απόδοση. Στους περιστρεφόμενους βιοαντιδραστήρες, το μέσο ρέει σε συνεχή ροή με τη βοήθεια ενός περιστρεφόμενου τοιχώματος. Για την τεχνολογία καλλιέργειας κυττάρων με βάση το ικρίωμα, συνιστώνται βιοαντιδραστήρες άμεσης διάχυσης λόγω της σωστής ροής των μέσων ανάπτυξης και της ανταλλαγής αερίων στα πορώδη ικρίωματα (Kumar et al., 2021). Η αγγείωση του αναπτυσσόμενου ιστού βοηθά στην αύξηση της μεταφοράς μάζας / αιμάτωσης του μέσου. Δίκτυα ενδοθηλιακών αγγείων είχαν εισαχθεί από τους Levenberg et al. με τη χρήση μυοβλαστών συν-καλλιέργειας σε ένα πολύ πορώδες ικρίωμα με ενδοθηλιακά κύτταρα και εμβρυϊκούς ινοβλάστες για την αύξηση της αιμάτωσης του μέσου (Levenberg et al., 2005). Για αποτελεσματική παραγωγή *in vitro* κρέατος σε μεγάλη κλίμακα, απαιτείται επαρκής κυκλοφορία οξυγόνου διασφαλίζοντας τη βιωσιμότητα και τη σωστή ανάπτυξη των κυττάρων. Οι φορείς οξυγόνου (όπως τροποποιημένη αιμοσφαιρίνη που παράγεται από τροποποιημένα φυτά ή χημικά παραγόμενα υπερφθοροχημικά [PFC]), χρησιμοποιούνται για να μιμηθούν την αιμοσφαιρίνη του αίματος για να παρέχουν επαρκή παροχή οξυγόνου στα αναπτυσσόμενα κύτταρα στους βιοαντιδραστήρες (Levenberg et al., 2005).

3.1.5. Μέσα καλλιέργειας, αυξητικοί παράγοντες

Το μέσο καλλιέργειας είναι βασικός παράγοντας οποιασδήποτε τεχνολογίας που βασίζεται σε κυτταροκαλλιέργεια, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής *in vitro* κρέατος. Η προτίμηση των μέσων, τόσο για τον πολλαπλασιασμό όσο και για τη διαφοροποίηση, ποικίλλει και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη σύνθεση των μέσων,

καθώς και από το κόστος τους. Ως εκ τούτου, τα θρεπτικά μέσα αποτελούν ένα σημαντικό μέρος των οικονομικών και τεχνικών θεμάτων που σχετίζονται με το τεχνητό κρέας. Επί του παρόντος, το μέσο που χρησιμοποιείται είναι μόνο ένα γενικευμένο μέσο που υποστηρίζει την ανάπτυξη για ένα ευρύ φάσμα κυττάρων. Τα κύτταρα είναι βλαστοκύτταρα, τα οποία θα πολλαπλασιαστούν περαιτέρω σε συγκεκριμένα προγονικά κύτταρα και τα οποία επάγονται να διαφοροποιηθούν σε κύτταρα σκελετικών μυών. Έτσι, παρότι γίνεται λόγος για ίδια κύτταρα, η κατάσταση του κυττάρου είναι διαφορετική, επομένως αλλάζουν και οι απαιτήσεις τους και υπάρχει ανάγκη να διαμορφωθεί νέο μέσο για κάθε συγκεκριμένη μεταβολική κατάσταση. Αυτή η σύνθεση μπορεί να βοηθήσει στην ταχύτερη ολοκλήρωση του κυτταρικού κύκλου (διαίρεση του κυττάρου σε θυγατρικά κύτταρα), επομένως μπορεί να επιτευχθεί ταχύτερη παραγωγή. Αν και τα περισσότερα από τα χρησιμοποιούμενα μέσα που απαιτούνται για τον πολλαπλασιασμό και τη διαφοροποίηση είναι παρόμοια, τα συστατικά όπως οι αυξητικοί παράγοντες και τα μόρια που διεγείρουν τη διαφοροποίηση είναι ζωτικής σημασίας για την τελευταία φάση. Ένα τέτοιο συμπλήρωμα είναι ο εμβρυϊκός βόειος ορός (FBS) που χρησιμοποιείται ευρέως στην κυτταροκαλλιέργεια. Ο εμβρυϊκός βόειος ορός προέρχεται από το αίμα που λαμβάνεται από έμβρυα βοοειδών μέσω ενός κλειστού συστήματος συλλογής στο σφαγείο. Είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο συμπλήρωμα ορού για την *in vitro* κυτταρική καλλιέργεια ευκαρυωτικών κυττάρων. Αυτό οφείλεται στο ότι έχει πολύ χαμηλό επίπεδο αντισωμάτων και περιέχει περισσότερους αυξητικούς παράγοντες, επιτρέποντας την ανάπτυξη των κυττάρων και την ευελιξία σε πολλές διαφορετικές εφαρμογές κυτταροκαλλιέργειας. Αν και το FBS είναι ωφέλιμο στις τεχνικές κυτταρικής καλλιέργειας, υπάρχουν και περιορισμοί που σχετίζονται και περιλαμβάνουν μεταβλητότητα από παρτίδα σε παρτίδα, ηθικά ζητήματα και υψηλό κόστος λόγω της εκτεταμένης ζήτησης. Εναλλακτικά, το FBS μπορεί να αντικατασταθεί από κλωνοποιημένους αυξητικούς παράγοντες, πρωτεΐνες ή ισοδύναμα εκχυλίσματα ορού μικροβιακής προέλευσης για να μειωθεί σημαντικά το κόστος παραγωγής. Ωστόσο, τα τεχνολογικά εμπόδια που υπάρχουν στην υλοποίηση αυτών των επιλογών πρέπει να επιλυθούν ώστε να ξεπεραστούν αποτελεσματικά το κόστος παραγωγής μεγάλης κλίμακας (Ramani et al., 2021).

Διάφοροι αυξητικοί παράγοντες παίζουν ρόλο στην καλλιέργεια κρέατος. Ειδικότερα, οι FGF (fibroblast growth factor) είναι πεπτιδικές ορμόνες που ανήκουν σε μια μεγάλη οικογένεια πολυπεπτιδίων που υπάρχουν τοπικά στους αναπτυσσόμενους ιστούς και

εκκρίνονται από το ήπαρ, τα λιποκύτταρα, το πάγκρεας και τους σκελετικούς μυς. Η οικογένεια FGF αποτελείται από 22 προσδέτες που αλληλεπιδρούν με τέσσερις διαφορετικούς υποδοχείς FGF και η σηματοδότηση FGF/FGFR διέπει την επιβίωση, τον πολλαπλασιασμό, τη μετανάστευση, τη διαφοροποίηση και την επισκευή/αναγέννηση των ιστών. Ο FGF-21 συμμετέχει ενεργά στον πολλαπλασιασμό και τη διαφοροποίηση των κυττάρων. Από την άλλη πλευρά, ο FGF-2 (βασικός FGF) εκκρίνεται από ινοβλάστες και έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς για *in vitro* καλλιέργεια μυϊκών βλαστοκυττάρων (MSCs). Η συμπλήρωση FGF-2 αύξησε την ανάπτυξη μυοβλαστών ποντικού κατά 25%, αλλά η απομάκρυνση του FGF-2 από τα μέσα καλλιέργειας αύξησε τη διαφοροποίηση των μυοβλαστικών κυττάρων. Επίσης, η ενδογενής έκκριση του FGF-1 (όξινο FGF) από τα MSCs μπορεί να πυροδοτήσει τον πολλαπλασιασμό των κυττάρων και την αναγέννηση των μυών. Από την άλλη πλευρά, ο FGF ενισχύει τον πολλαπλασιασμό και τη διαφοροποίηση των κυττάρων, τα οποία παίζουν σημαντικό ρόλο κατά το αρχικό στάδιο της μυογένεσης. Επιπλέον, ο FGF-2 προάγει επίσης το σχηματισμό και την επιδιόρθωση ιστών αλληλεπιδρώντας με τον συμπαράγοντα θεικής ηπαρίνης (Ahmad et al., 2023).

Τα PDGF (platelet derived growth factors) αυξάνουν την παραγωγή τριών συστατικών της βασικής μεμβράνης, δηλαδή της λαμινίνης (70%), της φιμπρονεκτίνης (30%) και του κολλαγόνου τύπου IV (70%). Τα PDGF είναι ισχυρά μιτογόνα και επηρεάζουν ένα ευρύ φάσμα κυττάρων, συμπεριλαμβανομένων των ινοβλαστών, των λείων μυϊκών κυττάρων, του συνδετικού ιστού, των οστών και των κυττάρων χόνδρου, και έχει αποδειχθεί ότι ενισχύουν τον πολλαπλασιασμό μυοβλαστών ποντικού. Έτσι, τα PDGF είναι σημαντικά συστατικά κατά την παραγωγή τεχνητού κρέατος (Ahmad et al., 2023). Οι IGF παίζουν σημαντικό ρόλο στη μυογένεση και την αναγέννηση των μυών ενεργοποιώντας τον πολλαπλασιασμό των MSC, αυξάνοντας την πρωτεϊνοσύνθεση και προάγοντας τη διαφοροποίηση. Η αρνητική επίδραση της μυοστατίνης (MSTN) βρέθηκε ότι αντισταθμίζεται από τη θετική επίδραση του IGF-1 κατά τη μυογένεση. Οι IGFs βρέθηκε ότι διεγείρουν τον πολλαπλασιασμό των MSC σε κοτόπουλο και γαλοπούλα και η θεραπεία με IGF-1 και IGF-2 ενίσχυσε την ανάπτυξη MSC (Ahmad et al., 2023).

Ο TGF-β1 εμπλέκεται στην επιδιόρθωση των μυών μέσω της ενεργοποίησης των MSC, της ανάπτυξης του συνδετικού ιστού και της ρύθμισης της ανοσοαπόκρισης. Ο TGF-β1 μπορεί να επηρεάσει τον πολλαπλασιασμό και τη μυογένεση των MSC, να ενισχύσει την ώριμη μάζα των σκελετικών μυών και να ρυθμίσει την ενδομυϊκή ινογένεση. Ο

TGF-β1 αποδείχθηκε επίσης ότι περιορίζει τη μυογένεση σε καλλιέργειες 2D ενώ αυξάνει τη μυογένεση σε 3D καλλιέργειες, γεγονός που τον καθιστά χρήσιμο ρυθμιστή του *in vitro* σχηματισμού μυϊκού ιστού (Ahmad et al., 2023).

4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο – ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΚΡΕΑΤΟΣ

4.1. Θρεπτική αξία του τεχνητού κρέατος

Η παραγωγή κρέατος χωρίς τη χρήση ζώων εκτροφής ίσως αντικαταστήσει την κλασική παραγωγή και θα μπορούσε να αντιμετωπίσει τις ανησυχίες που προκύπτουν για το συμβατικό κρέας. Έχουν επιχειρηθεί προσπάθειες για καλλιέργεια κρέατος στο εργαστήριο, από βλαστοκύτταρα, με σημαντική επιτυχία.

Το παραδοσιακό κρέας είναι μια θρεπτικά πυκνή τροφή που περιέχει υψηλής ποιότητας πρωτεΐνες, βιταμίνες, μέταλλα και άλλα σημαντικά θρεπτικά συστατικά. Πολλές ενώσεις που συσσωρεύονται στους μυς δεν παράγονται στους μυς αλλά προέρχονται από συστατικά ζωοτροφών που έχουν αφομοιωθεί και τροποποιηθεί από άλλα όργανα των ζώων. Είναι φανερό, λοιπόν, ότι εκτός εάν προστεθούν ειδικά στο μέσο καλλιέργειας και απορροφηθούν από τα κύτταρα, αυτές οι ενώσεις θα απουσιάζουν στο τεχνητό κρέας, επηρεάζοντας τις διαδικασίες που καθορίζουν τη γεύση, την υφή, το χρώμα και την διατροφική αξία (Zuhaib F. Bhat et al., 2019).

4.1.1. Πρωτεΐνες

Όσον αφορά την διατροφική αξία, δεν είναι σαφές σε ποιο βαθμό η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη και η σύνθεση των καλλιεργημένων κυττάρων μοιάζει με εκείνη του παραδοσιακού κρέατος. Στις τρέχουσες προσεγγίσεις μηχανικής ιστών, η υδρογέλη χρησιμοποιείται συχνά καθώς αυτό διευκολύνει τη συστολή που προκαλείται από τα κύτταρα και την ευθυγράμμιση των ιστών. Συνεπώς, η σύνθεση των μακροθρεπτικών συστατικών του συνολικού προϊόντος επηρεάζεται και από το υλικό του ικρίωματος. Πρωτεΐνες, όπως το κολλαγόνο ή το ινώδες χρησιμοποιούνται ήδη σε προσεγγίσεις μηχανικής μυϊκού ιστού. Το κολλαγόνο περιέχει κυρίως μη απαραίτητα αμινοξέα αλλά και μέτρια ποσότητα λυσίνης. Ωστόσο, η λυσίνη στο κολλαγόνο του συνδετικού ιστού τροποποιείται μετα-μεταγραφικά σε υδροξυλυσίνη, η οποία δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη σύνθεση πρωτεϊνών. Στο άπαχο κρέας, το κολλαγόνο αποτελεί μόνο ένα μικρό κλάσμα, αλλά στην περίπτωση των επεξεργασμένων προϊόντων κρέατος, μπορεί να προστεθεί για να αποτελέσει έως και το 25% της συνολικής πρωτεΐνης (Tarte, 2009). Ωστόσο, δεν έχουν γίνει ακόμη αρκετές μελέτες που να

αναφέρουν τα ακριβή ποσοστά πρωτεΐνης του τεχνητού κρέατος για να μπορεί να γίνει απευθείας σύγκριση με το συμβατικό κρέας. Ο στόχος είναι το τεχνητό κρέας να έχει παρόμοια θρεπτική αξία με το συμβατικό κρέας, δηλαδή 20-24 g πρωτεΐνης ανά 100 g κρέατος (Lanzoni et al., 2024).

Για να αποφευχθούν συστατικά που προέρχονται από ζώα, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως υλικά ικρίωματος διάφοροι πολυσακχαρίτες, όπως αλγινικό, κυτταρίνη ή χιτοζάνη (που προέρχονται από φύκια, φυτά και μύκητες, αντίστοιχα) παρέχοντας πηγή διαιτητικών ινών. Οι φυτικές ίνες έχουν πολυάριθμα οφέλη για την υγεία και δεν καταναλώνονται όσο πρέπει στο δυτικό κόσμο (Fraeye et al., 2020).

4.1.2. Λιπαρά οξέα

Από διατροφική άποψη, το λίπος στο κρέας μπορεί να χαρακτηριστεί από την εκατοστιαία περιεκτικότητά του και τη σύσταση των λιπαρών οξέων. Αυτά τα χαρακτηριστικά επηρεάζονται από μεταβλητές, όπως το είδος και η φυλή του ζώου, η ηλικία και ο τύπος τροφής. Ενώ η συνολική περιεκτικότητα σε λιπαρά επηρεάζει κυρίως τη θερμιδική πυκνότητα του προϊόντος, η σύνθεση των λιπαρών οξέων επηρεάζει τη διατροφική αξία με πιο περίπλοκους τρόπους (κορεσμένα ή ακόρεστα λιπαρά, αναλογία πολυακόρεστων λιπαρών οξέων, trans-ακόρεστα λίπη). Η προσθήκη λιπαρών οξέων μπορεί να επιτευχθεί με συγκαλλιέργειες λιποκυττάρων που προέρχονται από λιπώδη βλαστοκύτταρα, τα οποία μπορούν να συνθέσουν διάφορα κορεσμένα και ακόρεστα λιπαρά οξέα. Ωστόσο, τα απαραίτητα λιπαρά οξέα (κυρίως λινελαϊκό και α-λινολενικό οξύ) ή άλλες θρεπτικά πολύτιμες ενώσεις (π.χ. συζευγμένο λινολεϊκό οξύ, η σύνθεση του οποίου εξαρτάται από διαδικασίες που πραγματοποιούν στα μηρυκαστικά) που υπάρχουν στο κρέας μπορεί να μην μπορούν να συντεθούν με τη μέθοδο της συγκαλλιέργειας κυττάρων. Εναλλακτικά, η προσθήκη λιπών (φυτικής βάσης) σε προϊόντα καλλιέργειας κρέατος μπορεί να είναι οικονομικά και τεχνικά πιο εφικτή σε σύγκριση με την *in vitro* συγκαλλιέργεια με λιποκύτταρα (Fraeye et al., 2020).

4.1.3. Μέταλλα, βιταμίνες και άλλα στοιχεία

Το κρέας είναι μια σημαντική διατροφική πηγή μετάλλων, όπως ο σίδηρος, ο ψευδάργυρος και το σελήνιο. Επομένως, η αύξηση της περιεκτικότητας σε μυοσφαιρίνη στο τεχνητό κρέας θα βελτίωνε τα θρεπτικά χαρακτηριστικά του. Άλλα μέταλλα, όπως ο ψευδάργυρος και το σελήνιο, πρέπει να εξωτερικά κατά την παραγωγή τεχνητού κρέατος (Fraeye et al., 2020).

Όσον αφορά τις βιταμίνες, το κρέας παρέχει κυρίως τη βιταμίνη B12 που συντίθεται κυρίως από μικροοργανισμούς (Obeid et al., 2019). Στο τεχνητό κρέας, θα πρέπει να προστεθεί εξωγενώς το συγκεκριμένο στοιχείο, το οποίο είναι σημαντικό και για τον πολλαπλασιασμό των κυττάρων. Ωστόσο, δεν είναι γνωστό αν η προσθήκη στο θρεπτικό μέσο φτάνει τα επιθυμητά επίπεδα ποσότητας στο κρέας και είναι κάτι που θα πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω. Επιπλέον, η ταυρίνη που είναι ένα ελεύθερο αμινοξύ παίζει ρόλο σε αντιδράσεις του μεταβολισμού. Η αυξημένη πρόσληψή της φαίνεται να προστατεύει από καρδιαγγειακά νοσήματα. Οι άνθρωποι συνθέτουν μια ποσότητα ταυρίνης στον εγκέφαλο και το ήπαρ ενώ προσλαμβάνουν και μια ποσότητα μέσω της τροφής. Η προσθήκη της στο τεχνητό κρέας ίσως να ήταν ωφέλιμη (Fraeye et al., 2020).

4.2. Εμφάνιση και γεύση του τεχνητού κρέατος

Είναι αναμενόμενο ότι το τεχνητό κρέας θα πρέπει να είναι διατροφικά όμοιο με το συμβατικό κρέας προκειμένου να το αντικαταστήσει. Εκτός των θρεπτικών συστατικών, η εμφάνιση και χαρακτηριστικά όπως η υφή, χρώμα, γεύση είναι εξίσου σημαντικά προκειμένου οι καταναλωτές να το επιλέξουν. Τα αισθητηριακά χαρακτηριστικά οφείλονται σε ορισμένες πρωτεΐνες όπως η μυοσφαιρίνη ή και στην ύπαρξη άλλων χημικών ενώσεων (Bhat et al., 2019).

4.2.1. Υφή και δομή

Στο παραδοσιακό κρέας, η υφή εξαρτάται από τη μυοϊνιδιακή δομή που επηρεάζεται από την ακαμψία και τη γήρανση του κρέατος μετά την σφαγή, την ποσότητα και τη δομή του συνδετικού ιστού που υπάρχει στους μυς και την ποσότητα και τη σύνθεση του λίπους (Bhat et al., 2019). Η μίμηση αυτών των ιδιοτήτων απαιτεί τη συγκαλλιέργεια μυοβλαστών με ινοβλάστες και λιποκύτταρα.

Η δομή σε προϊόντα όπως τα λουκάνικα (με κιμά δηλαδή) βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στις λειτουργικές ιδιότητες των διαλυμένων πρωτεϊνών. Πιο συγκεκριμένα, βασίζεται στη ζελατινοποίηση των πρωτεϊνών ακτίνης και μυοσίνης κατά την παστερίωση. Η προσθήκη λίπους στα λουκάνικα προκαλούν το σχηματισμό μιας μεμβράνης από πρωτεΐνες εξωτερικά των σφαιριδίων λίπους. Γι' αυτό είναι σημαντικά χαρακτηριστικά όπως η πηκτικότητα και η γαλακτωματοποίηση των πρωτεϊνών για την παραγωγή που αποτελούνται από κιμά (Fraeye et al., 2020). Όλα τα παραπάνω θα πρέπει να ληφθούν

υπόψιν κατά την παραγωγή τεχνητού κρέατος ώστε να επιτευχθεί η σωστή δομή και υφή του τελικού προϊόντος.

4.2.2. Χρώμα

Το κρέας έχει ένα χαρακτηριστικό κόκκινο χρώμα λόγω της πρωτεΐνης μυοσφαιρίνης, που περιέχει αίμη. Αντίθετα, το τεχνητό κρέας δεν διαθέτει αυτό το χαρακτηριστικό χρώμα αλλά είναι πιο ανοιχτόχρωμο λόγω καταστολής της σύνθεσης μυοσφαιρίνης σε συνθήκες φυσιολογικού οξυγόνου. Για να λυθεί το συγκεκριμένο πρόβλημα θα μπορούσαν τα κύτταρα να καλλιεργούνται σε συνθήκες μειωμένου οξυγόνου, ή θα μπορούσε επίσης να διεγερθεί η έκφρασή της από την παρουσία πρόσθετων μέσων, όπως λιπίδια ή οξικό οξύ. Επίσης, θα μπορούσε να προστεθεί μυογλοβίνη ή άλλες χρωστικές ουσίες (για παράδειγμα η λεγμοσφαιρίνη σόγιας) εξωγενώς. Εκτός από τη σύνθεση πρωτεϊνών μυοσφαιρίνης, η ανάπτυξη χρώματος απαιτεί επίσης την παρουσία επαρκών ποσοτήτων σιδήρου στο κύτταρο και γι' αυτό θα πρέπει να προστεθεί και σίδηρος στην καλλιέργεια των κυττάρων (Bhat et al., 2019).

4.2.3. Γεύση

Το φρέσκο κρέας έχει γεύση που μοιάζει με το αίμα και οφείλεται στη σχετικά υψηλή περιεκτικότητά του σε σίδηρο. Άλλες ενώσεις που διαμορφώνουν τη γεύση του κρέατος είναι το γαλακτικό οξύ προσδίδοντας την όξινη γεύση και η 5'-μονοφωσφορική ινोσίνη (IMP). Αυτές οι ενώσεις σχηματίζονται κατά τον μεταθανάτιο μεταβολισμό που πραγματοποιείται στο κρέας. Κατά τη θέρμανσή του, πολύπλοκες, θερμικά επαγόμενες αντιδράσεις έχουν ως αποτέλεσμα το σχηματισμό τεράστιου αριθμού πτητικών ενώσεων που συμβάλλουν στην τυπική γεύση του κρέατος. Οι κύριες αντιδράσεις που εμπλέκονται είναι η αντίδραση Maillard (χημική αντίδραση μεταξύ αμινοξέων και σακχάρων που πραγματοποιείται όταν το τρόφιμο υποβάλλεται σε θερμική επεξεργασία ροδίζει τα τρόφιμα, απελευθερώνοντας ταυτόχρονα χαρακτηριστικές γεύσεις και αρώματα) και οι αντιδράσεις αποικοδόμησης λιπιδίων (Mottram, 1998).

Ωστόσο, δεν είναι σαφές σε ποιο βαθμό αυτές οι γεύσεις θα υπάρχουν στο τεχνητό κρέας, στο οποίο δεν έχει μελετηθεί καλά ο μεταθανάτιος μεταβολισμός. Μία λύση θα είναι η προσθήκη ουσιών που θα ενισχύουν τη γεύση.

4.3. Σε ποιες χώρες παράγεται και καταναλώνεται;

Υπάρχουν πολλές εταιρείες ανά τον κόσμο που παράγουν ή ασχολούνται με το τεχνητό κρέας. Συγκεκριμένα, η EatJust στις ΗΠΑ, η SuperMeat στο Ισραήλ, η Meatable στην Ολλανδία είναι μερικές από τις δεκάδες βιομηχανίες τεχνητού κρέατος. Ωστόσο, μέχρι στιγμής, μόνο η EatJust έχει καταφέρει να εγκρίθει το προϊόν της για δημόσια πώληση. Ο οργανισμός τροφίμων στη Σιγκαπούρη - η μόνη χώρα στον κόσμο που επιτρέπει την πώληση κρέατος που καλλιεργείται στο εργαστήριο - έδωσε το πράσινο φως στο κοτόπουλο της εταιρείας τον Δεκέμβριο του 2020 (Chodkowska et al., 2022).

Μετά την Σιγκαπούρη ακολούθησαν οι ΗΠΑ, όπου δύο εταιρείες - GOOD Meat και UpsideFoods – έχουν άδεια για παραγωγή τεχνητού κρέατος που τους χορηγήθηκε από το Υπουργείο Γεωργίας των ΗΠΑ στις 21 Ιουνίου 2023. Η Ολλανδία είναι η πρώτη ευρωπαϊκή χώρα που επιτρέπει τις γευσιγνωσίες τεχνητού κρέατος. Επιπλέον, εγκρίθηκαν για γευσιγνωσία προϊόντα κρέατος που καλλιεργούνται στο εργαστήριο από δύο εταιρείες, τη MosaMeat και τη Meatable, Οι γευστικές δοκιμές ξεκίνησαν από τον Ιούλιο του 2023. Ωστόσο, οι καταναλωτές δεν μπορούν να προμηθευτούν το τεχνητό κρέας εφόσον δεν πωλείται στην αγορά της Ολλανδίας μέχρι να εγκριθεί από την ΕΕ. Τέλος, η Ιαπωνία, όπως και η Σιγκαπούρη, είναι χώρες που βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στις εισαγωγές τροφίμων και προσπαθούν να έχουν μηδενικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου έως το 2050. Η Mitsubishi έχει υπογράψει με την AlephFarms για να συνεργαστεί ώστε να φέρει στη χώρα κρέας κυτταρικής καλλιέργειας (Chodkowska et al., 2022). Πολλές χώρες θα ακολουθήσουν αν η βιομηχανία τεχνητού κρέατος εξελιχθεί και μπορεί να παράγει μαζικά, διάφορα προϊόντα.

5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ / ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

5.1. Τεχνολογικές εξελίξεις

Για την καλλιέργεια τεχνητού κρέατος οι προκλήσεις είναι πολλές. Αρχικά, πρέπει να ξεπεραστούν τα εμπόδια σε κάθε βήμα προς την ανάπτυξη διαδικασιών παραγωγής τεχνητού κρέατος. Τα συστατικά του μέσου κυτταροκαλλιέργειας, ιδιαίτερα ο ορός, οι αυξητικοί παράγοντες και η εξωκυττάρια μήτρα ECM (π.χ. κολλαγόνο), θα πρέπει να λαμβάνονται από διαφορετικές πηγές, λαμβάνοντας υπόψη το κόστος και την ασφάλεια των τροφίμων. Η βιοδιασπασιμότητα και η βρωσιμότητα των βιοϋλικών θα πρέπει να

αντιμετωπίζονται ως προτεραιότητες κατά την ανάπτυξη τρισδιάστατων ικριωμάτων. Επί του παρόντος, δεν διατίθενται στο εμπόριο εδώδιμα ικριώματα μη ζωικής προέλευσης για την παραγωγή τεχνητού κρέατος, αν και πολλά ικριώματα φυτικής προέλευσης χρησιμοποιούνται σε μη εμπορική βάση (Ahmad et al., 2021).

Αναλυτικότερα, το 2013 παρουσιάστηκε ο πρώτος τύπος τεχνητού κρέατος σε σχήμα χάμπουργκερ. Το προϊόν αποτελούνταν από 10.000 λωρίδες μυοσωλήνων σε υδρογέλη (τεχνική ικριώματος). Επιπλέον, για την βελτίωση των αισθητηριακών χαρακτηριστικών και για να επιτευχθεί η ομοιότητα με ένα συμβατικό χάμπουργκερ, χρειάστηκε προσθήκη χρωστικών (χυμός παντζαριού), γεύσης (σαφράν και καραμέλα) και κατάλληλης υφής (ψίχουλα ψωμιού και συνδετικό υλικό). Από τότε που ο Post και οι συνεργάτες του παρουσίασαν το χάμπουργκερ με βάση τις ίνες κυττάρων βοοειδών, έχουν δημιουργηθεί νέοι τύποι τεχνητού κρέατος. Ωστόσο, διάφοροι τύποι κρέατος είναι δύσκολο να παραχθούν και να ομοιάζουν με πραγματικό κρέας. Η τεχνητή μπριζόλα με σύνθεση και δομή παρόμοια με την πραγματική μπριζόλα, που περιλαμβάνει κυρίως λιπώδη κύτταρα και ευθυγραμμισμένα μυϊκά κύτταρα, εξακολουθεί να αποτελεί πρόκληση.

Η στρατηγική τριών σταδίων για το προϊόν κρέατος που μοιάζει με μπριζόλα περιλαμβάνει: (1) συλλογή βρώσιμων δορυφορικών κυττάρων βοοειδών (bSCs) και βλαστοκυττάρων που προέρχονται από λιπώδη ιστό (bADSCs) από βοδινό κρέας, (2) ανάπτυξη του βιοεκτυπωτή με ολοκληρωμένη γέλη τένοντα (TIP) για την κατασκευή κυτταρικών ινών και την επακόλουθη διαφοροποίησή τους σε σκελετικούς μυς, λιπώδεις και τριχοειδείς ίνες αίματος και (3) συναρμολόγηση των διαφοροποιημένων κυτταρικών ινών για την κατασκευή κρέατος. Το κρέας αυτό μοιάζει με μπριζόλα όσον αφορά τις ιστολογικές δομές μιας πραγματικής μοσχαρίσιας μπριζόλας. Δεδομένου ότι ο τένοντας είναι ένας βασικός ιστός για την ευθυγράμμιση και την ωρίμανση των μυϊκών ινών, κατασκευάστηκε γέλη τενόντων από την TIP για να επιτραπεί η διαδοχική σύνδεσή τους με τις ίνες των μυϊκών κυττάρων, προκαλώντας το σχηματισμό ευθυγραμμισμένων ωριμασμένων μυϊκών ινών. Σε αυτή τη μελέτη, κατασκευάστηκαν με TIP συνολικά 72 ίνες που περιλαμβάνουν 42 μυς, 28 λιπώδη και 2 τριχοειδή αγγεία αίματος. Στη συνέχεια για να προσομοιάσουν σε μία μπριζόλα τύπου χρειάζεται να συναρμολογηθούν ίνες με διάμετρο 5 mm και μήκος 10 mm. Το TIP αναμένεται να γίνει μια ισχυρή προσέγγιση για την κατασκευή επεξεργασμένου κρέατος που μοιάζει με μπριζόλα με αναλογία συστατικών και ποσότητα των τριών τύπων ινών (Kang et al., 2021).

Επιπλέον, έρευνες γίνονται και για άλλα υλικά ικριώματος όπως η πρωτεΐνη σόγιας (Textured soy protein, TSP). Το συγκεκριμένο υλικό είναι υποπροϊόν του λαδιού σόγιας με πόρους και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την 3D καλλιέργεια κρέατος λόγω της αυξημένης κυτταρικής προσκόλλησης που προσδίδει. Τα κύτταρα που σπάρθηκαν σε παχιά δείγματα TSP προσαρτήθηκαν και πολλαπλασιάστηκαν στην επιφάνεια του TSP. Μετά τη βελτιστοποίηση της σύνθεσης των μέσων για τρισδιάστατα ικριώματα, τα BSCs (δορυφορικά κύτταρα βοοειδών) κάλυψαν μεγάλο ποσοστό του ικριώματος TSP, εμφάνισαν βελτιωμένη μορφολογία και διαφοροποιήθηκαν σε επιμήκεις μυοσωλήνες. Η συγκαλλιέργεια με BSMC (λεία μυϊκά κύτταρα) και η τρικαλλιέργεια με BSMC και BEC (ενδοθηλιακά κύτταρα) βελτίωσαν την εναπόθεση ECM και τη μυογονική διαφοροποίηση και παρείχαν στοιχεία για σύνθετη ανάπτυξη ECM. Κάποια από τα πλεονεκτήματα αυτού του υλικού είναι το χαμηλό κόστος και το γεγονός ότι δεν απαιτούνται περαιτέρω τροποποιήσεις πριν την χρήση του, καθιστώντας το κατάλληλο για τη μαζική παραγωγή τεχνητού κρέατος. Ωστόσο, τα προϊόντα προερχόμενα από σόγια χρήζουν βελτιστοποίησης όσον αφορά τα δομικά και μηχανικά χαρακτηριστικά έτσι ώστε να μιμούνται καλύτερα τον σκελετικό ιστό των μυών (Ben-Arye et al., 2020).

Οι μάγειρες έχουν χρησιμοποιήσει τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης για να δημιουργήσουν μια ποικιλία από βρώσιμα είδη, που περιλαμβάνουν από πίτσες μέχρι κέικ. Πρόσφατα, η Aleph Farms, μια ισραηλινή εταιρεία, πειραματίστηκε με την τρισδιάστατη εκτύπωση κρέατος για να αντιμετωπίσει προκλήσεις που σχετίζονται με διαστημικές εφαρμογές. Αυτή η διαδικασία περιλάμβανε την παραγωγή συστατικών όπως λίπος, αίμα, κύτταρα υποστήριξης ιστών και μυς αγελάδας. Για να τονωθεί ο μυϊκός ιστός και να επιταχυνθεί η ανάπτυξη των κυττάρων, ένα μείγμα θρεπτικών ουσιών και ορμονών ενσωματώθηκε στα κύτταρα. Οι αστροναύτες χρησιμοποίησαν με επιτυχία αυτά τα κύτταρα για την τρισδιάστατη εκτύπωση μυϊκού ιστού στο διάστημα. Μια άλλη εταιρεία, η MeaTech, επικεντρώθηκε στην παραγωγή τεχνητού κρέατος χρησιμοποιώντας προηγμένες μεθόδους εκτύπωσης 3D. Τα βλαστοκύτταρα που προέρχονται από ομφάλιους λώρους ζώων τροποποιήθηκαν σε συγκεκριμένους τύπους κυττάρων και τυπώθηκαν με ακριβείς δομές, σχήματα και σχέδια. Επιπλέον, η Novameat ανέπτυξε ένα χορτοφαγικό προϊόν που μιμείται την εμφάνιση και τη γεύση της μπριζόλας. Οι ίνες του προέρχονται από συστατικά όπως το ρύζι, τα φύκια και τα μπιζέλια και παρείχαν τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά. Η εταιρεία Redefine Meat χρησιμοποίησε προηγμένες τεχνολογίες όπως ψηφιακή μοντελοποίηση κρέατος και

τεχνολογία 3D εκτύπωσης για την ανάπτυξη προϊόντων που δε προέρχονται από ζώα αλλά είναι πανομοιότυπα με μπριζόλες ή άλλες κοπές (Siddiqui et al., 2022).

Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές και η συνεχής τους εξέλιξη όσον αφορά τη θερμοκρασία, τα ακροφύσια, τα υλικά κατασκευής είναι μια τεχνολογική πρόκληση που σχετίζεται άμεσα και με την παραγωγή τεχνητού κρέατος. Προκειμένου να χρησιμοποιηθεί η εκτύπωση τεχνητού κρέατος θα πρέπει η αποτελεσματικότητα και το κόστος να γίνουν ανταγωνίσιμα. Ήδη γίνονται βήματα προς αυτή την κατεύθυνση και ήδη από το 2014, δόθηκε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας «Engineered Combustible Meat» σε ερευνητές που παρήγαγαν βρώσιμο ιστό χοίρου με τη βοήθεια τρισδιάστατου εκτυπωτή. Πολλές εταιρείες παραγωγής τεχνητού κρέατος όπως η Modern meadow (ΗΠΑ), η Memphis Meats (ΗΠΑ), η Mosa Meats (Ολλανδία) έχουν κάνει στροφή προς αυτή την τεχνολογία. Μάλιστα το 2020, η KFC, εταιρεία πώλησης γρήγορου φαγητού γνωστή για το τηγανητό κοτόπουλο, ανακοίνωσε το πλάνο της σχετικά με ανάπτυξη κοτομπουκιών που θα εκτυπώνονται από τρισδιάστατους εκτυπωτές και θα προέρχονται από τεχνητό κρέας. Ακόμη και η PepsiCo έχει ξεκινήσει έρευνα στην τρισδιάστατη εκτύπωση για την παραγωγή προϊόντων διατροφής χαμηλού κόστους (Tibrewal et al., 2023).

5.2. Ποια πλεονεκτήματα έχει το τεχνητό κρέας στο περιβάλλον;

Τα τελευταία χρόνια τείνει να γίνει μια στροφή από την συμβατική παραγωγή κρέατος και η παγκόσμια κοινότητα αναζητά νέες φιλικές προς το περιβάλλον, ηθικές και υγιεινές λύσεις για την αντικατάστασή του. Τα πλεονεκτήματα που φαίνεται να έχει η παραγωγή τεχνητού κρέατος είναι πολλά, σε σχέση με το συμβατικό κρέας, ωστόσο υπάρχουν και μειονεκτήματα σε μια τόσο νέα τεχνολογία. Παρακάτω θα αναλυθούν και οι δύο άξονες.

5.2.1. Περιβάλλον

Το τεχνητό κρέας συχνά διαφημίζεται ως φιλική προς το περιβάλλον λύση λόγω των υποτιθέμενων χαμηλότερων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, της μειωμένης χρήσης νερού και των μειωμένων απαιτήσεων γης σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής κρέατος. Όσον αφορά τα αέρια του θερμοκηπίου, αναγνωρίζεται ότι τα ζώα, ιδιαίτερα τα μηρυκαστικά, συμβάλλουν σημαντικά στις παγκόσμιες εκπομπές, κυρίως μέσω της απελευθέρωσης μεθανίου από το πεπτικό τους σύστημα. Κατά συνέπεια, ο μετριασμός των εκπομπών μεθανίου, ένα αέριο του θερμοκηπίου,

τονίζεται ως βασικό πλεονέκτημα του τεχνητού κρέατος έναντι της συμβατικής κτηνοτροφίας. Η εκτροφή βοοειδών είναι γνωστό ότι εκπέμπει τα τρία κύρια αέρια θερμοκηπίου. Αντίθετα, η παραγωγή τεχνητού κρέατος παράγει κυρίως εκπομπές CO₂ (Chriki & Hocquette, 2020).

Σχετικά με την κατανάλωση νερού, υποστηρίζεται ότι για την παραγωγή 1 κιλού βόειου κρέατος απαιτούνται 15.000 λίτρα γλυκού νερού. Στην πραγματικότητα, το 95% αυτής της ποσότητας νερού χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη καλλιεργειών, φυτών και ζωοτροφών για τη διατροφή των ζώων. Η παραγωγή του κρέατος στο εργαστήριο απαιτεί 82-96% μικρότερη κατανάλωση νερού σε σχέση με την συμβατική παραγωγή του (Chriki & Hocquette, 2020).

Τέλος, η κτηνοτροφική παραγωγή απαιτεί το 30% της συνολικής επιφάνειας της γης - 33% της καλλιεργούμενης γης για ζωοτροφές και 26% για βοσκότοπους. Ωστόσο, τα συστήματα παραγωγής τεχνητού κρέατος χρησιμοποιούν μόνο το 1% της γης που απαιτείται για τα παραδοσιακά συστήματα κτηνοτροφικής παραγωγής (Hong et al., 2021).

5.2.2. Κόστος τεχνητού κρέατος

Οι τρέχουσες μέθοδοι παραγωγής κρέατος χαρακτηρίζονται από αναποτελεσματικότητα στη χρήση θρεπτικών ουσιών και ενέργειας και περιλαμβάνουν παρατεταμένες περιόδους εκτροφής για τα ζώα. Για παράδειγμα, χρειάζονται 2-6 εβδομάδες τα κοτόπουλα και μισός έως ένας χρόνος για τους χοίρους και τις αγελάδες έτσι ώστε να φτάσουν στο σημείο συγκομιδής και διανομής κρέατος (Barbut & Leishman, 2022; Greenwood, 2021; Singh et al., 2021). Αντίθετα, η *in vitro* καλλιέργεια κρέατος μειώνει σημαντικά τον χρόνο που απαιτείται για την ανάπτυξη του κρέατος, με τα κοτόπουλα να χρειάζονται εβδομάδες αντί για μήνες και τους χοίρους και τις αγελάδες να χρειάζονται εβδομάδες αντί για χρόνια για να καταναλωθούν. Δεδομένου ότι η διάρκεια διατήρησης των ιστών είναι σημαντικά μικρότερη, η δαπάνη ενέργειας και εργασίας ανά κιλό *in vitro* τεχνητού κρέατος μειώνεται σημαντικά. Αξίζει να τονιστεί ότι εάν ένας μικρός αριθμός βλαστοκυττάρων διαιρούνται συνεχώς μπορούν να έχουν τεράστια απόδοση κρέατος. Η καλλιέργεια εμβρυϊκών βλαστοκυττάρων θα ήταν ιδανική, καθώς αυτά τα κύτταρα έχουν την ικανότητα αυτο-ανανέωσης. Θα μπορούσε μάλιστα με κατάλληλη επεξεργασία και λόγω της παραπάνω ιδιότητάς της να αποτελέσει τροφή για ολόκληρο τον πληθυσμό

της γης. Συνεπώς, θα ήταν μία συμφέρουσα λύση για μαζική φθηνή πρωτεΐνη (Bhat et al., 2015).

5.2.3. Προστασία της άγριας ζωής

Ετησίως, 56 δισεκατομμύρια ζώα θανατώνονται προκειμένου να τραφούν οι άνθρωποι από το κρέας τους. Ως εκ τούτου, η καλή διαβίωση των ζώων που σχετίζεται με την κτηνοτροφική παραγωγή είναι ένα σημαντικό παγκόσμιο ζήτημα. Τα συστήματα παραγωγής τεχνητού κρέατος έχουν αναδειχθεί ως καλές εναλλακτικές λύσεις στα σημερινά συστήματα παραγωγής κρέατος. Το τεχνητό κρέας θα μπορούσε να είναι μια ελκυστική επιλογή για χορτοφάγους και τους ανθρώπους που απορρίπτουν την κατανάλωση κρέατος για ηθικούς λόγους. Τα ακόλουθα αποτελέσματα της εκτεταμένης παραγωγής τεχνητού κρέατος θα είναι: 1) σημαντική μείωση στη χρήση των ζώων, 2) μεγάλη μείωση της ταλαιπωρίας των ζώων και 3) ποικιλία πηγών καλλιέργειας κρέατος (Hong et al., 2021)

5.2.4. Φαγητό για το διάστημα

Για τις τρέχουσες διαστημικές αποστολές, η χρήση τεχνητού κρέατος για παροχή τροφής γίνεται πιο ελκυστική. Η δημιουργία ενός οικολογικού συστήματος καλλιέργειας κρέατος θα ήταν ιδανική πηγή τροφής για τους αστροναύτες παρέχοντας και νερό και οξυγόνο και επιπλέον θα οδηγούσε σε μείωση των αποβλήτων. Εκτός από το διάστημα, όπου οι συνθήκες είναι ιδιαίτερα δυσμενείς, υπάρχουν και άλλα απομονωμένα μέρη στον πλανήτη, όπως οι αρκτικές περιοχές, καθώς και βάσεις στρατευμάτων ή καταφύγια για φιλοξενία ατόμων σε περίπτωση βιολογικού ή πυρηνικού πολέμου. Σε αυτά τα μέρη, η παραγωγή τεχνητού κρέατος θα ήταν μία λύση για τη σωστή διατροφή και την πρόσληψη όλων των απαραίτητων θρεπτικών συστατικών που θα πρέπει ο άνθρωπος να προσλαμβάνει από το κρέας (Bhat et al., 2015).

5.3. Επιπτώσεις και εμπόδια στην κατανάλωση τεχνητού κρέατος

5.3.1. Μολύνσεις

Ένα σοβαρό ζήτημα για την καλλιέργεια τεχνητού κρέατος είναι και η ποιότητα του νερού. Το νερό μπορεί να μην είναι τόσο καλό από τα εργοστάσια καλλιέργειας τεχνητού κρέατος, αν λάβουμε υπόψη τις δραστηριότητες της βιομηχανίας για την παραγωγή των αυξητικών παραγόντων και των ορμονών που απαιτούνται για την

κυτταρική καλλιέργεια. Όπως σε πολλά εργοστάσια η απόρριψη των χημικών αποβλήτων στο περιβάλλον είναι ζημιογόνος. Όσον αφορά τις μολύνσεις του κρέατος, το τεχνητό κρέας δεν κινδυνεύει τόσο να μολυνθεί από μικρόβια αλλά εγκυμονούν κυρίως κίνδυνοι μόλυνσης των θεραπευτικών μέσων που χρησιμοποιούνται για την καλλιέργεια του (Bhat et al., 2015).

5.3.2. Αποδοχή από την κοινότητα

Παρά τα πιθανά πλεονεκτήματα του τεχνητού κρέατος που σχετίζονται με την καλή διαβίωση των ζώων και το περιβάλλον, η εμπορική επιτυχία του τεχνητού κρέατος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την αντίληψη των καταναλωτών και από διάφορες κοινωνικές ανησυχίες. Αυτές είναι η ασφάλεια των τροφίμων, η επίδραση του πλαισίου, η νομοθεσία, η θρησκεία και η ηθική (Chriki & Hocquette, 2020). Είναι γεγονός ότι η αποδοχή του τεχνητού κρέατος από τους καταναλωτές είναι εξαιρετικά σημαντική, αλλά και αμφιλεγόμενη.

Πρώτον, το γεγονός ότι το τεχνητό κρέας δεν είναι κάτι φυσικό αλλά παράγεται σε ένα εργαστήριο εγείρει ανησυχίες στο μέσο καταναλωτή, που δυσκολεύεται να δεχθεί τις εξελίξεις ειδικά στον τομέα των τροφίμων. Εξάλλου, τεχνολογίες όπως η γενετική τροποποίηση των οργανισμών στο παρελθόν έχουν προκαλέσει διχογνωμίες και πολεμικές. Επιπλέον, οι επιδράσεις του νομοθετικού πλαισίου στο τεχνητό κρέας συμβάλλουν σημαντικά στη στάση και τις πεποιθήσεις του καταναλωτή για το τεχνητό κρέας (Bryant and Dillard, 2019). Μετά από αιώνες εξέλιξης οι περισσότεροι άνθρωποι είναι έντονα συνδεδεμένοι με το κρέας, το αντιλαμβάνονται ως κάτι φυσικό και απαραίτητο για τη διατροφή και η κατανάλωση κρέατος σε πολλούς συνήθως παρέχει μεγαλύτερη ικανοποίηση, σε σύγκριση με τα φυτικά τρόφιμα. Το κρέας είναι μέρος της κουλτούρας μας και οι πεποιθήσεις υπέρ του κρέατος ενισχύονται μόνιμα από υπάρχοντες κοινωνικούς κανόνες, αξίες και πολιτικές δράσεις (Treich, 2021). Η επικοινωνία της επιστήμης και η σωστή ενημέρωση με σκοπό την αλλαγή των καταναλωτικών συνηθειών και νοοτροπιών θα μπορούσαν να συμβάλλουν στην αύξηση της αποδοχής, στην προσπάθεια δοκιμής και στην αγορά του νέου προϊόντος. Θα ήταν επομένως απαραίτητη η συνεχής αξιολόγηση των αλλαγών στην αντίληψη των καταναλωτών με την πάροδο του χρόνου (Hong et al., 2021).

5.3.3. Παραγωγή σε μεγάλη κλίμακα

Ένα άλλο μειονέκτημα του τεχνητού κρέατος είναι ότι επί του παρόντος δεν υπάρχει αγορά για το τεχνητό κρέας. Ως εκ τούτου, η ζήτησή του δεν μπορεί να εκτιμηθεί με ακρίβεια, αλλά μόνο να προβλεφθεί και άρα δεν γνωρίζει η επιστημονική κοινότητα αν θα μπορεί να ανταπεξέλθει σε μία μαζική παραγωγή. Επιβάλλονται οι απαραίτητες νομοθετικές αλλαγές για ένα τόσο νέο προϊόν στην αγορά. Δεδομένου ότι η εμπιστοσύνη των καταναλωτών σχετικά με την ασφάλεια του προϊόντος είναι υψίστης σημασίας, όπως συζητήθηκε παραπάνω, η ρυθμιστική έγκριση του θα είναι κρίσιμη και για την αποδοχή του. Η διαδικασία αίτησης έγκρισης κατανάλωσης ενός τρόφιμου στην Ευρώπη περιλαμβάνει ένα στάδιο αξιολόγησης κινδύνου. Θα πρέπει τα προϊόντα κρέατος που προέρχονται από εργαστήριο και η παραγωγή τους να είναι ασφαλή και αυτό θα διασφαλίζεται από τις εταιρείες. Στις ΗΠΑ, τόσο η Υπηρεσία Τροφίμων και Φαρμάκων (FDA) όσο και το Υπουργείο Γεωργίας (USDA) είναι υπεύθυνοι για την επίβλεψη αυτής της διαδικασίας. Συγκεκριμένα, Ο FDA είναι υπεύθυνο για την επίβλεψη των σταδίων ανάπτυξης κυττάρων, ενώ το USDA είναι αρμόδιο για τα στάδια παραγωγής των προϊόντων. Έτσι, γίνεται αντιληπτό ότι χρειάζεται ακόμη προσπάθεια και σχετική νομοθεσία για να μπορέσει να εγκριθεί η κατανάλωση του τεχνητού κρέατος σε περισσότερες χώρες. Έπειτα, οι εταιρείες ίσως προβούν (εάν χρηματοδοτηθούν από τα διάφορα κράτη) σε μαζική παραγωγή αυτού (Treich, 2021).

6. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο – ΑΓΟΡΑ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΚΡΕΑΤΟΣ ΣΕ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ, ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΑΙ ΕΘΝΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

Σήμερα, η αγορά του τεχνητού κρέατος φαίνεται να κερδίζει έδαφος συγκριτικά με μερικά χρόνια πριν, ωστόσο η παραγωγή του αντιμετωπίζει τεχνικές προκλήσεις και προβλήματα που αφορούν την παγκόσμια οικονομία και τη βιομηχανία. Από τότε που ο Post και οι συνεργάτες του παρουσίασαν το χάμπουργκερ με βάση τις ίνες βοοειδών κυττάρων, έχουν αλλάξει πολλά για την αγορά του τεχνητού κρέατος και παρακάτω θα αναλυθούν τα οικονομικά στοιχεία που σχετίζονται με την συγκεκριμένη τεχνολογία.

6.1. Οικονομικά στοιχεία

Εκθέσεις υποδηλώνουν ότι η παγκόσμια αγορά *in vitro* κρέατος θα αποτιμάται σε 214 εκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ το 2025 και προβλέπεται να φτάσει τα 593 εκατομμύρια δολάρια έως το 2032, με σύνθετο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης (CAGR) 15,7% κατά την

περίοδο 2025 έως 2032. Ανάλυση των εταιρειών που ασχολούνται με την παραγωγή τεχνητού κρέατος, σε συνδυασμό με τα ρυθμιστικά πλαίσια που διέπουν την παραγωγή και την πώληση τέτοιων προϊόντων, δείχνει ότι οι Ηνωμένες Πολιτείες είναι έτοιμες να αναδειχθούν πρωτοπόροι στην αγορά τεχνητού κρέατος. Στις ΗΠΑ, τον Καναδά και τα κράτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, οι αγορές εναλλακτικών πρωτεϊνών αναμένεται να γνωρίσουν ισχυρή ανάπτυξη λόγω του αυξανόμενου αριθμού καταναλωτών που προσαρμόζουν τις διατροφικές τους επιλογές και είναι ανοιχτοί στις καινοτομίες στον τομέα των τροφίμων (Chodkowska et al., 2022). Η εταιρεία συμβούλων AT Kearney προβλέπει ότι έως το 2040, το 60% της παγκόσμιας ζήτησης κρέατος θα καλυφθεί μέσω μη παραδοσιακών μεθόδων παραγωγής, όπως το κρέας *in vitro* (35%) ή υποκατάστατα φυτικής προέλευσης (25%), λόγω ανησυχιών για το περιβάλλον και επιπτώσεις στην διαβίωση των ζώων της συμβατικής παραγωγής κρέατος (Kumar et al., 2021). Υπάρχουν 32 εταιρείες τεχνητού κρέατος παγκοσμίως, με έμφαση στο βοδινό κρέας (25%), τα πουλερικά (22%), το χοιρινό (19%), τα θαλασσινά (19%) και άλλα εξωτικά κρέατα (15%). Η πλειοψηφία αυτών έχει την έδρα της στη Βόρεια Αμερική (40%), ακολουθούμενη από την Ασία (31%) και την Ευρώπη (25%). Έχουν πραγματοποιηθεί σημαντικές επενδύσεις στην έρευνα και ανάπτυξη που σχετίζεται με το κρέας τα τελευταία πέντε χρόνια, με περίπου 320 εκατομμύρια δολάρια να έχουν δοθεί στο βοδινό και χοιρινό κρέας (75%) καθώς και στην παραγωγή θαλασσινών (25%) (Hong et al., 2021).

Το κόστος του τεχνητού κρέατος δυστυχώς αποτελεί τροχοπέδη για την αγορά του και την επικράτησή του έναντι του συμβατικού κρέατος. Αυτό θα αλλάξει αν γίνει μεγάλης κλίμακας παραγωγή των προϊόντων και διείσδυσή τους στην αγορά, γεγονότα που συνήθως συνδέονται με δραματική μείωση της τιμής. Η *in vitro* παραγωγή κρέατος σε βιομηχανική κλίμακα είναι εφικτή μόνο όταν καθιερωθεί μια σχετικά αποδοτική διαδικασία που δημιουργεί ένα προϊόν ποιοτικά ανταγωνιστικό με τα υπάρχοντα προϊόντα κρέατος και παρέχεται με κρατική επιδότηση όπως αυτή που παρέχεται σε άλλες αγροτικές επιχειρήσεις. Από έρευνες αποδεικνύεται ότι το μέσο ανάπτυξης - που είναι η πιο σημαντική κινητήρια δύναμη του κόστους - μπορεί να παραχθεί εντελώς απαλλαγμένο από ζωικά συστατικά και σε κλίμακες και σημεία τιμών αρκετές τάξεις μεγέθους χαμηλότερες από το τρέχον κόστος, χωρίς να βασίζεται σε νέες τεχνολογίες. Έτσι, θα μπορούσε ίσως να επιτευχθεί μια ισοτιμία στην τιμή του τεχνητού κρέατος σε σχέση με το τεχνητό κρέας χωρίς να είναι γνωστό αν θα επιτευχθεί το σχέδιο επικράτησης του στην αγορά σε πολύ ανταγωνιστική τιμή (Treich, 2021).

Για να φτάσει το τεχνητό κρέας σε μια αγορά για δέκα εκατομμύρια καταναλωτές που καταναλώνουν 10 κιλά/έτος, πρέπει να υποτεθεί ότι το τεχνητό κρέας έχει τουλάχιστον αποκτήσει τιμή ενός προσιτού τροφίμου. Για να επιτευχθεί ένας τέτοιος στόχος η τιμή παραγωγής θα πρέπει να είναι περίπου 25 δολάρια / κιλό κρέατος που θα φτάνει στα 50 δολάρια / κιλό στα σούπερ μάρκετ. Το οικονομικό μοντέλο δείχνει ότι αν ξεπεραστεί αυτή η τιμή τότε δύσκολα θα επικρατήσει στην αγορά το τεχνητό κρέας (Humbird, 2021).

Η επίδραση που θα έχει η παραγωγή τεχνητού κρέατος αφορά κυρίως τις χώρες στις οποίες ο τομέας της κτηνοτροφίας είναι ανεπτυγμένος και συμμετέχει στην αύξηση της οικονομίας τους μέσω εξαγωγών. Επειδή η κτηνοτροφία και η γεωργία είναι αλληλένδετες, η νέα τεχνολογία θα έχει αντίκτυπο στις χώρες που στηρίζονται στον πρωτογενή τομέα. Τα εργοστάσια παραγωγής τεχνητού κρέατος θεωρητικά θα βρίσκονται κοντά στις πόλεις για να περιορίσουν το κόστος μεταφοράς υλικών κλπ οπότε θα επηρεαστεί σημαντικά η ζωή της υπαίθρου (Treich, 2021).

6.2. Διαφήμιση και παραπληροφόρηση στα MME

Τα MME επηρεάζουν και διαμορφώνουν την κοινή γνώμη μεταδίδοντας πληροφορίες και διαφημίζοντας προϊόντα. Συνεπώς, ακόμη και για την τεχνολογία του τεχνητού κρέατος τα MME μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο στην αποδοχή του ή μη αναλόγως με την κάλυψη που θα λάβει το θέμα. Προφανώς, η προσωπική ενημέρωση εκτός των MME προκειμένου ο καταναλωτής να είναι γνώστης και να μην επηρεάζεται από τα μέσα κρίνεται απαραίτητη, ειδικά για ένα τόσο νέο προϊόν. Μια μελέτη έδειξε ότι η διασπορά πληροφοριών από τα μέσα έχει πολύ μεγαλύτερο ρόλο στην ανάπτυξη μιας θετικής αντίληψης για το τεχνητό κρέας. Για παράδειγμα, η κάλυψη του θέματος από τα μέσα ενημέρωσης στις ΗΠΑ και την Ευρώπη γίνεται με σύγκριση των χαρακτηριστικών τόσο του συμβατικού όσο και του τεχνητού κρέατος. Η συγκεκριμένη μελέτη τόνισε τις μεθόδους παραγωγής τεχνητού κρέατος, το πόσο επισφαλής είναι η τροφή μας, το θετικό αντίκτυπο στο περιβάλλον και την υγεία. Για να μεταβούμε, όμως, στην πλήρη αποδοχή του τεχνητού κρέατος είναι σημαντική η ενημέρωση και η εκπαίδευση του κάθε ανθρώπου γύρω από τα νέα προϊόντα και την επιστήμη πίσω από αυτά (Siddiqui et al., 2022).

Είναι ιδιαίτερα σημαντικό να παρουσιαστεί αυτή η νέα τεχνολογία στο κοινό και η επιστημονική κοινότητα να προσπαθήσει να επικοινωνήσει τα οφέλη που θα προκύψουν με τη βοήθεια των μέσων και της διαφήμισης. Αν η παραγωγή μεταβεί σε

μεγάλη κλίμακα, οι εταιρείες υπεύθυνης για έρευνα και ανάπτυξη θα ήταν καλό να επενδύσουν στην σωστή πληροφόρηση και να αντικρούσου τυχόν ψευδείς κατηγορίες.

6.3. Μάρκετινγκ

Παρατηρώντας την ανάπτυξη της αγοράς τεχνητού κρέατος, πρέπει να σημειωθεί ότι όλο και περισσότερες νεοφυείς εταιρείες στρέφονται στην ανάπτυξη τεχνητού κρέατος, δημιουργούν βιοαντιδραστήρες, αναπτύσσουν ικριώματα για τις τεχνικές της μηχανικής ιστών αλλά και τρισδιάστατους εκτυπωτές προκειμένου να προχωρήσει η ανάπτυξη της νέας τεχνολογίας.

Φαίνεται, επίσης, από έρευνες ότι το τεχνητό κρέας θα επικρατήσει τόσο στα καταστήματα όσο και στα εστιατόρια εφόσον οι σεφ θέλουν να δοκιμάσουν τα νέα προϊόντα, τα οποία αποτελούν και μία πρόκληση. Σε μία έρευνα που διεξήχθη συμμετείχαν περισσότεροι από 250 επαγγελματίες σεφ που εργάζονται σε διάφορους κλάδους της βιομηχανίας (Long, 2022). Από τους συμμετέχοντες της έρευνας που πραγματοποιήθηκε, το 86% εξέφρασε «ενδιαφέρον» να ενσωματώσει τεχνητό κρέας στον κατάλογο του, με το 22% να δηλώνει «πολύ ενδιαφέρον». Το 77% των σεφ εξέφρασε την προθυμία να πληρώσει επιπλέον για το τεχνητό κρέας, αναφέροντας τα πλεονεκτήματά του σε σχέση με το συμβατικό κρέας. Είναι ενδιαφέρον ότι στην ίδια μελέτη, το 86% των σεφ που ειδικεύονται στην ιαπωνική κουζίνα σημείωσε αύξηση της ζήτησης για «εναλλακτικό» κρέας. Οι προτιμήσεις για το είδος του κρέατος που πρέπει πρώτα να δοκιμάσουν οι μάγειρες ποικίλλουν ανάλογα με την κουζίνα που έχουν επιλέξει να ασχοληθούν, με τους σεφ που μαγειρεύουν κυρίως την αμερικανική κουζίνα να δείχνουν προτίμηση για τα πουλερικά (64%). Οι σεφ της ιταλικής κουζίνας κλίνουν προς τα θαλασσινά (56%) και οι Ιάπωνες να εκφράζουν ενδιαφέρον για πιο εξωτικά κρέατα. Αυτό υποδηλώνει ότι, στις Ηνωμένες Πολιτείες, το τεχνητό κρέας από κοτόπουλου θα είναι το πιο περιζήτητο προϊόν, αντικατοπτρίζοντας τη δημοτικότητα του στην παραδοσιακή αμερικανική κουλτούρα γρήγορου φαγητού (Chodkowska et al., 2022).

Για μία τόσο νέα τεχνολογία τα προβλήματα είναι ακόμη πολλά. Σημαντική είναι η αποδοχή και η εμπιστοσύνη των καταναλωτών σε αυτή τη νέα μέθοδο παραγωγής κρέατος. Είναι γεγονός ότι οι καταναλωτές είναι αρκετά δύσπιστοι και για τη βιομηχανία που το παράγει αλλά και για τις ετικέτες των προϊόντων που κυκλοφορούν. Ειδικότερα, πιο δύσπιστοι εμφανίζονται κάτοικοι αγροτικών περιοχών που έχουν συνηθίσει το συμβατικό κρέας. Οι θεωρίες συνωμοσίας που αντιτίθενται στο τεχνητό

κρέας ενίσχυσαν την ανησυχία μεταξύ των καταναλωτών με την έλλειψη ρυθμίσεων να εντείνει περισσότερο το φαινόμενο. Σε αυτό το σημείο θα μπορούσε να συμβάλλει η επιστημονική κοινότητα προκειμένου να ενημερώσει σχετικά με την έρευνα που πραγματοποιείται και τα πιθανά οφέλη της (Siddiqui et al., 2022).

Έτσι, ο σχεδιασμός περιεχομένου μάρκετινγκ που ενθαρρύνει τους καταναλωτές προς το τεχνητό κρέας κρίνεται απαραίτητος. Ίσως είναι πιο ωφέλιμο να γίνει αυτό χρησιμοποιώντας τη σύγκριση μεταξύ συμβατικού και τεχνητού κρέατος. Θα μπορούσε δηλαδή να εστιαστεί το μάρκετινγκ στα μειονεκτήματα της συμβατικής παραγωγής κρέατος αντιπαραβάλλοντάς τα με τα οφέλη της νέας τεχνολογίας (Bryant, Szejda, Parekh, Desphande, & Tse, 2019). Οι στρατηγικές μάρκετινγκ θα πρέπει να διαφέρουν ανά χώρα με γνώμονα τη θρησκεία, την ηθική, την ηλικία, το επίπεδο μόρφωσης, τις διατροφικές συνήθειες και την κατανάλωση διαφόρων τροφίμων. Είναι σημαντικό να ληφθούν αυτά υπόψη ώστε να είναι επιτυχημένο το μάρκετινγκ.

7. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ο - ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΚΡΕΑΤΟΣ ΠΟΥ ΚΥΚΛΟΦΟΡΟΥΝ ΣΤΗΝ ΑΓΟΡΑ

7.1. Προϊόντα στην αγορά

7.1.1. Κοτόπουλο

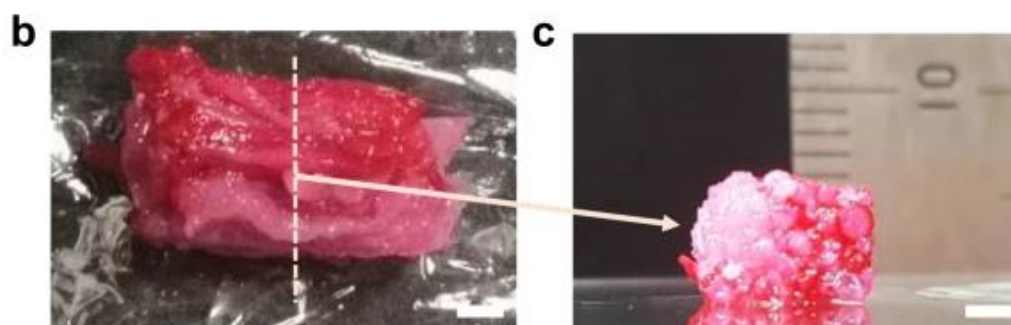
Η εταιρεία Eat Just που πουλάει κυρίως χορτοφαγικά τρόφιμα προχώρησε στην παραγωγή κρέατος κοτόπουλου από κύτταρα στο εργαστήριο. Η κοιτομπουκιά που παρήγαγε η εταιρεία κόστισε 50 δολάρια η καθεμία το 2019. Λίγο νωρίτερα, το 2016, η Memphis Meats παρήγαγε προϊόντα κοτόπουλου από τεχνητό κρέας. Το 2018, μια εταιρεία στο Ισραήλ, η Future Meat Technologies, παρουσίασε και αυτή κρέας κοτόπουλου που κατασκευάστηκε στο εργαστήριο με πολύ μειωμένο κόστος παραγωγής σε σχέση με τις υπόλοιπες εταιρείες (Hong et al., 2021).



Εικόνα 7-1. Κοτομπουκιά από τεχνητό κρέας που πωλείται στην Σιγκαπούρη από την εταιρεία Eat Just. Πηγή: Eat Just.

7.1.2. Βόειο κρέας

Μια ολλανδική εταιρεία startup, η Mosa Meat, πρωτοστάτησε στην κυκλοφορία του τεχνητού βόειου κρέατος. Τα βλαστοκύτταρα που προέρχονται από αγελάδα καλλιεργήθηκαν και μετατράπηκαν σε μυϊκές λωρίδες, με αποτέλεσμα την παραγωγή συνθετικού βοείου κρέατος. Επιπλέον, κατασκεύασαν ένα μέσο χωρίς ορό βοοειδών, μειώνοντας το κόστος που σχετίζεται με την παραγωγή τεχνητού κρέατος. Το 2016, η Memphis Meats (εταιρεία στην Καλιφόρνια) πέτυχε ένα ορόσημο δημιουργώντας τα πρώτα κεφτεδάκια χρησιμοποιώντας τεχνητό βοδινό κρέας. Επί του παρόντος, η εταιρεία έχει ξεκινήσει την ανάπτυξη μιας πιλοτικής μονάδας για την παραγωγή κρέατος κοτόπουλου και βοείου κρέατος (Hong et al., 2021).



Εικόνα 7-2. Μπριζόλα από τεχνητό κρέας. Πηγή: (Kang et al., 2021)

7.1.3. Χοιρινό

Για την παραγωγή χοιρινού κρέατος έγιναν προσπάθειες με χρήση σκελετικού μυός από χοίρο. Από αυτόν απομονώθηκαν μυογονικά δορυφορικά κύτταρα. Μυϊκές ίνες ή

δορυφορικά κύτταρα από μυϊκούς ιστούς μπορούν να ληφθούν για να προκαλέσουν διαφοροποίηση των κυττάρων και ανάπτυξη σκελετικών μυών σε καλλιέργεια. Το Pax7 χρησιμεύει ως κρίσιμος δείκτης για τη λειτουργία των δορυφορικών κυττάρων σε διάφορα είδη, συμπεριλαμβανομένων των χοίρων και των βοοειδών. Η ανάλυση αλληλουχίας RNA του ραχιαίο μυ χοίρου αποκάλυψε τη συμμετοχή μακρών μη κωδικών RNA (long non-coding RNA) στην εναπόθεση λίπους και την ανάπτυξη των μυών. Το 2018, η Meatable, μια ολλανδική επιχείρηση, χρησιμοποίησε βλαστοκύτταρα για τη δημιουργία τεχνητού χοιρινού κρέατος. Ομοίως, η New Age Meats, με έδρα το Σαν Φρανσίσκο, χρησιμοποίησε καλλιέργειες μυών και λιπωδών κυττάρων χοίρου για να κατασκευάσει στο εργαστήριο χοιρινά λουκάνικα (Hong et al., 2021).

7.2. Αποδοχή προϊόντων από τους καταναλωτές

Οι καταναλωτές επηρεάζουν σημαντικά τις μεθόδους και την τεχνολογία που εμπλέκονται στην παραγωγή τεχνητού κρέατος. Ενώ η ποιότητα των τροφίμων παραμένει ο πρωταρχικός παράγοντας που οδηγεί αυτές τις προτιμήσεις, οι καταναλωτές λαμβάνουν υπόψη παράγοντες όπως οι συνθήκες παραγωγής, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και η καλή διαβίωση των ζώων. Ωστόσο, η αλλαγή των διατροφικών συνηθειών μπορεί να είναι πρόκληση λόγω της νεοφοβίας, μιας απροθυμίας να δοκιμάσουν νέα τρόφιμα. Παρά τους γνωστούς κινδύνους για την υγεία που συνδέονται με την υπερβολική κατανάλωση κρέατος, όπως οι καρδιαγγειακές παθήσεις και ο διαβήτης τύπου 2, τα άτομα συχνά αντιστέκονται στη μείωση της πρόσληψης κρέατος λόγω παγιωμένων κοινωνικο-πολιτιστικών συνηθειών (Kumar et al., 2021).

Μερικές από τις προκλήσεις που θα αντιμετωπίσει το τεχνητό κρέας είναι κοινωνικές, οικονομικές, τεχνολογικές. Επί του παρόντος, οι περισσότερες μελέτες που δημοσιεύονται στα έντυπα μέσα ενημέρωσης σχετικά με την αποδοχή από τους καταναλωτές και το μέλλον του κρέατος *in vitro* γίνονται από υποστηρικτές του, τονίζοντας κυρίως τα πλεονεκτήματα, τη διαδικασία, την καλή μεταχείριση των ζώων, και τη βιωσιμότητα. Η διατροφική νεοφοβία, ωστόσο, είναι συνήθης λόγω μη εξοικείωσης με την επιστήμη και λόγω έλλειψης εμπιστοσύνης προς αυτή. Αυτό δεν συμβαίνει μόνο με το τεχνητό κρέας αλλά και με άλλα νέα προϊόντα ή φάρμακα στην αγορά, προς τα οποία οι καταναλωτές είναι καχύποπτοι. Σε αυτό το πλαίσιο, η επισήμανση αυτού του νέου προϊόντος με μη τεχνικούς όρους (όπως η χρήση όρων

καθαρού κρέατος αντί για εργαστηριακό κρέας) θα μπορούσε να αυξήσει την αποδοχή του (Kumar et al., 2021).

Όσον αφορά τη στάση του καταναλωτή για το *in vitro* κρέας σε χώρες όπως Βέλγιο, την Πορτογαλία και το Ηνωμένο Βασίλειο, η αρχική αντίδραση μη φυσικότητας και αηδίας ήταν τα κύρια σημεία αναφοράς από τους καταναλωτές αναγνωρίζοντας, ωστόσο, την βιωσιμότητά του. Δεν κατανόησαν τα άμεσα θετικά αποτελέσματα χωρίς, όμως, να απορρίψουν αμέσως την τεχνολογία αυτή. Επίσης, ήταν αβέβαιοι για την ασφάλεια των τροφίμων και τον αντίκτυπο στην κοινωνία, ιδιαίτερα την απώλεια των παραδόσεων της κρεατοφαγίας, την απώλεια επιβίωσης, τις θρησκευτικές πεποιθήσεις κ.λπ. (Kumar et al., 2021).

Η πιθανότητα αγοράς τεχνητού κρέατος ποικίλλει ανάλογα με τη χώρα και τις διατροφικές συνήθειες των ανθρώπων. Συγκεκριμένα, στην Κίνα και την Ινδία ήταν πιθανότερο να αγοραστεί το τεχνητό κρέας σε σύγκριση με τις ΗΠΑ. Στις ΗΠΑ, το 23,6% των καταναλωτών δε θα αγόραζε τεχνητό κρέας, ενώ το 46,6% ίσως να αγόραζε και το 29,8% πιθανότατα θα αγόραζε. Επιπλέον, στις ΗΠΑ, άτομα που είναι pescatarian ή vegan δε θα αγόραζαν με ευκολία τεχνητό κρέας σε σύγκριση με ανθρώπους που δεν έχουν διατροφικούς περιορισμούς. Όσον αφορά την Κίνα, το 6,7% δε θα αγόραζε τεχνητό κρέας. Το 33,9% ίσως αγόραζε ενώ το 59,3% ήταν πολύ πιθανό να αγοράσει τεχνητό κρέας. Περίπου ίδια ποσοστά εμφάνισε και η Ινδία. Παρατηρήθηκαν διαφορές ακόμη και μεταξύ των δύο φύλων στην Κίνα, με τις γυναίκες να είναι πιο «ανοιχτές» στην νέα τεχνολογία. Επιπλέον, υψηλότερη τροφική νεοφοβία προέβλεπε μικρότερη πιθανότητα αγοράς, ενώ η υψηλότερη προσκόλληση στο κρέας προέβλεπε μεγαλύτερη πιθανότητα αγοράς. Οι στάσεις πρόβλεψης της πρόθεσης αγοράς περιλάμβαναν την υγιεινή, ελκυστικότητα, ενθουσιασμό, διατροφή, αναγκαιότητα και καλοσύνη (Bryant et al., 2019). Σημαντικό ρόλο παίζει και το εισόδημα των καταναλωτών και φαίνεται ότι οι πιο ευκατάστατοι είναι πιο εξοικειωμένοι και έτοιμοι να αγοράσουν τεχνητό κρέας (Bryant et al., 2019).

7.3. Ασφάλεια τροφίμων και νομοθεσία

Το νομοθετικό πλαίσιο που διέπει την παραγωγή τεχνητού κρέατος αναμένεται να ποικίλλει μεταξύ των διαφόρων χωρών και δεν έχει ακόμη καθιερωθεί πλήρως. Επί του παρόντος, η παραγωγή τεχνητού κρέατος παραμένει περιορισμένη στη φάση της έρευνας και δεν έχει προχωρήσει σε παραγωγή εμπορικής κλίμακας. Δεδομένου ότι το τελικό προϊόν είναι ουσιαστικά τρώσιμο, αναμένεται ότι οι αρχές ασφάλειας τροφίμων

και όχι οι ιατρικές αρχές θα επιβλέπουν πρωτίστως αυτό το αναδυόμενο σύστημα παραγωγής. Στις ΗΠΑ συζητήθηκε η χρήση κυτταρικών σειρών από ζώα και πουλερικά για την παραγωγή τεχνητού κρέατος και προτάθηκε μία συνεργασία μεταξύ του Υπουργείου Γεωργίας και της Υπηρεσίας Τροφίμων και Φαρμάκων για να είναι υπεύθυνοι για την ασφάλεια του τεχνητού κρέατος. Τα πρότυπα ασφαλείας θα επιβληθούν με αυστηρό τρόπο για τη διατήρηση της εμπιστοσύνης των καταναλωτών, ευθυγραμμισμένα με τα καθιερωμένα πλαίσια που αφορούν το συμβατικό κρέας (Zuhaib F. Bhat et al., 2019).

Τα πλεονεκτήματα της νέας προσέγγισης είναι πολλά διότι αποφεύγονται οι μολύνσεις λόγω του άσηπτου περιβάλλοντος καλλιέργειας των κυττάρων και επιτυγχάνεται συνεχής έλεγχος της παραγωγής. Σε περίπτωση που τα προϊόντα κριθούν ακατάλληλα, η παραγωγή θα μπορεί να ξαναρχίζει εκ νέου μέσω διαφορετικής καλλιέργειας. Τα μέσα καλλιέργειας και τα διάφορα συστατικά που απαιτούνται σε κάθε στάδιο θα πρέπει να είναι ασφαλή και να έχουν ζωική ή φυτική προέλευση. Δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν συστατικά όπως η φαινόλη που κανονικά προστίθεται στα μέσα κυτταροκαλλιέργειας για τον εντοπισμό μιας αλλαγής του pH (Bhat et al., 2019).

7.3.1. Ευρώπη

Η Ευρώπη και η ΕΕ έχουν αυστηρά ρυθμιστικά πλαίσια για τα τρόφιμα και το τεχνητό κρέας υπόκειται στον κανονισμό που αφορά τα νέα τρόφιμα. Προκειμένου, λοιπόν, να κυκλοφορήσει στην αγορά θα πρέπει να εγκριθεί επισήμως από την Ευρωπαϊκή Αρχή για την Ασφάλεια των Τροφίμων (EFSA), χωρίς να έχει διευκρινιστεί πλήρως τι είδους δοκιμές/εγκρίσεις θα απαιτούνται για αυτόν τον τύπο προϊόντος. Όπως είναι ήδη γνωστό, ο επίσημος τρόπος έκδοσης αδειών για τα τρόφιμα περιγράφεται στον Κανονισμό (ΕΚ) αριθ. 178/2002 (γνωστός ως Γενικός Νόμος για τα Τρόφιμα) που καθορίζει τους κανόνες και τις απαραίτητες διαδικασίες.

Το τεχνητό κρέας, προτού πωληθεί στην ΕΕ, πρέπει, σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές για την ασφάλεια της EFSA, να λάβει την κατάλληλη άδεια από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Ο οργανισμός δίνει προτεραιότητα στην ασφάλεια της ανθρώπινης υγείας διασφαλίζοντας την ποιότητα των τροφίμων σε ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού, ακολουθώντας την προσέγγιση «από το αγρόκτημα στο πιρούνι». Ως εκ τούτου, κάθε στάδιο της διαδικασίας παραγωγής τροφίμων πρέπει να είναι ασφαλές. Το τεχνητό κρέας ταξινομείται ως νέα κατηγορία τροφίμων με ειδικούς κανονισμούς που περιγράφονται στον Κανονισμό (ΕΕ) 2015/2283, που συνήθως

αναφέρεται ως Κανονισμός για τα νέα τρόφιμα. Για την κυκλοφορία του στην αγορά, θα πρέπει η εταιρεία που θα το παράγει να ζητήσει έγκριση από την Ευρωπαϊκή επιτροπή. Στη συνέχεια, η EFSA, με βάση τα υποβληθέντα έγγραφα συντάσσει αξιολόγηση κινδύνου. Επιπλέον, χρειάζεται επιστημονική τεκμηρίωση για τα τρόφιμα που παράγονται, δηλαδή στοιχεία σχετικά με τις ιδιότητες, τα θρεπτικά συστατικά, τα αλλεργιογόνα και την πιθανότητα κινδύνου για την υγεία. Ακόμη και αν το τεχνητό κρέας εγκριθεί από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, κάθε χώρα θα πρέπει να αναθέσει τον έλεγχο του προϊόντος σε αρμόδιους φορείς (Chodkowska et al., 2022).

Αναφορικά με τη νομοθεσία, η ταξινόμηση και η ονοματολογία του τεχνητού κρέατος ως κρέας εγείρει προβληματισμούς, διότι στον ισχύοντα κανονισμό που αφορά το κρέας και το πώς αυτό ορίζεται δεν περιλαμβάνεται το κρέας που παράγεται στο εργαστήριο. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την κατάλληλη ετικέτα αλλά και την παροχή περισσότερων πληροφοριών προκειμένου να μην υπάρξει παραπληροφόρηση και παραπλάνηση του καταναλωτή. Εκτός από την προαναφερθείσα νομοθεσία, οι κανονισμοί που σχετίζονται με προϊόντα γενετικά τροποποιημένων οργανισμών μπορούν, επίσης, να ισχύουν για το τεχνητό κρέας. Αυτό θα εξαρτηθεί από τη χρήση γενετικά τροποποιημένων βλαστοκυττάρων ή μη για την παραγωγή τεχνητού κρέατος. Μέχρις ότου να υπάρξουν αρκετές μελέτες σχετικά με την ποιότητα, τη θρεπτική αξία και τους κινδύνους του τεχνητού κρέατος, η αδειοδότηση για πώληση του στην Ευρώπη δε θα είναι εφικτή (Chodkowska et al., 2022).

7.3.2. ΗΠΑ

Η διαχείριση του τεχνητού κρέατος των ΗΠΑ είναι πολύπλοκη και αυτό οφείλεται στην σύμπραξη του FDA και του Υπουργείου Γεωργίας όσον αφορά την επίβλεψη και τη διασφάλιση ποιότητας των τροφίμων. Αναλυτικότερα, Ο FDA ελέγχει τα αυγά, τα γαλακτοκομικά προϊόντα και τα θαλασσινά, ενώ το Υπουργείο Γεωργίας είναι υπεύθυνη για τον έλεγχο της παραγωγής κρέατος και πουλερικών. Παρόλα αυτά, έχει συμβεί οι δύο φορείς να έχουν διαφορετικές απαιτήσεις για το εκάστοτε τρόφιμο, γι' αυτό πλέον συνεργάζονται μεταξύ τους σε ένα κοινό άξονα. Έτσι, το 2018, οι δύο φορείς κλήθηκαν να προετοιμάσουν τα ρυθμιστικά πλαίσια και για το τεχνητό κρέας και η σύμβαση που αφορά όλες τις απαιτήσεις υπεγράφη το 2019. Μέχρι σήμερα, ο FDA έχει αναλάβει την επίβλεψη της καλλιέργειας των κυττάρων, και των τραπεζών κυττάρων, δηλαδή ελέγχει τα στάδια μέχρι να παραληφθεί το προϊόν από τους βιοαντιδραστήρες στους οποίους καλλιεργείται. Το Υπουργείο Γεωργία επιβλέπει τα

επόμενα στάδια μέχρι να μπει η ετικέτα στο προϊόν. Ωστόσο, εξακολουθούν να υπάρχουν τομείς που δεν υπόκεινται σε ρύθμιση, όπως τα μέσα καλλιέργειας (Chodkowska et al., 2022).

8. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Το τεχνητό κρέας αναδεικνύεται ως μια συμφέρουσα λύση για τον μετριασμό των περιβαλλοντικών προκλήσεων που σχετίζονται με τη συμβατική κτηνοτροφία. Οι πιθανές μειώσεις στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, τη χρήση γης και την κατανάλωση νερού προσφέρουν μια πολλά υποσχόμενη πορεία προς ένα πιο βιώσιμο σύστημα τροφίμων (González et al., 2020). Επίσης, υπάρχει η παγκόσμια επιταγή περιορισμού των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκύπτουν από τη βιομηχανία τροφίμων. Ωστόσο, η βιωσιμότητα του τεχνητού κρέατος εξαρτάται από τις πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή του, καθώς και από την προμήθεια συστατικών μέσων καλλιέργειας. Τα μέσα καλλιέργειας πρέπει να εξεταστούν και να βελτιστοποιηθούν, για να επιτευχθούν τα μέγιστα περιβαλλοντικά οφέλη. Όσον αφορά τους τρόπους παραγωγής του, δηλαδή τη χρήση κυττάρων και των θρεπτικών μέσων, θα πρέπει η έρευνα να εξελιχθεί κι άλλο, έτσι ώστε να μπορούν να παραχθούν όλοι οι τύποι συμβατικών κρεάτων που γνωρίζουμε και να καταναλωθούν με ασφάλεια από το κοινό (Broucke et al., 2023). Επιπλέον, η αντιμετώπιση της κατανάλωσης ενέργειας και των αποβλήτων που παράγονται στην παραγωγή τεχνητού κρέατος είναι ζωτικής σημασίας για τη μεγιστοποίηση της βιωσιμότητάς της. Οι ηθικοί προβληματισμοί επεκτείνονται και στην προμήθεια κυττάρων και των μακροπρόθεσμων επιπτώσεων για την καλή διαβίωση των ζώων σε περίπτωση που η έρευνα για το τεχνητό κρέας βασιστεί σε μεγάλο βαθμό σε υλικά που προέρχονται από ζώα.

Το τεχνητό κρέας πωλείται σε πολύ περιορισμένες τοποθεσίες σε όλο τον κόσμο. Η πρώτη εμπορική πώληση τεχνητού κρέατος έγινε στη Σιγκαπούρη τον Δεκέμβριο του 2020, όταν η Eat Just έλαβε ρυθμιστική έγκριση για να πουλήσει τις κοτομπουκιές της που καλλιεργήθηκαν στο εργαστήριο. Η Σιγκαπούρη παραμένει μια βασική αγορά, όπου το τεχνητό κρέας είναι διαθέσιμο στους καταναλωτές. Άλλες χώρες βρίσκονται σε διάφορα στάδια έρευνας, ανάπτυξης και ρυθμιστικής έγκρισης. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, ο FDA και το USDA ενέκριναν την παραγωγή από ορισμένες εταιρείες, όπως η Upside Foods και η GOOD Meat, και την πώληση, επομένως είναι πιθανό ότι

το τεχνητό κρέας θα αρχίσει να εμφανίζεται σύντομα σε επιλεγμένα εστιατόρια και καταστήματα. Αρκετές άλλες χώρες, συμπεριλαμβανομένου του Ισραήλ και της Ολλανδίας, είναι πρωτοπόροι στη βιομηχανία καλλιέργειας τεχνητού κρέατος, πραγματοποιώντας σημαντική έρευνα και ανάπτυξη (Chodkowska et al., 2022). Στην Ευρώπη ειδικότερα, η τρέχουσα νομοθεσία δείχνει μια μάλλον επιφυλακτική προσέγγιση λόγω της απαιτούμενης ενδελεχούς εκτίμησης των διάφορων κινδύνων και της διασφάλισης της υγείας των καταναλωτών (Lanzoni et al., 2024).

Το καταναλωτικό τοπίο για το τεχνητό κρέας παρουσιάζει ένα σύνθετο και εξελισσόμενο έδαφος. Η κατανόηση των στάσεων και των κινήτρων των καταναλωτών είναι κεντρικής σημασίας για την επιτυχή υιοθέτησή του και την επικράτησή του στην αγορά. Ενώ οι έρευνες αποκαλύπτουν ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για το τεχνητό κρέας, εξακολουθούν να υπάρχουν εμπόδια στην αποδοχή, που αφορούν τη γεύση, τη τιμή και τη μη εξοικείωση. Για να πειστούν οι καταναλωτές να μεταβούν από το συμβατικό κρέας σε εναλλακτικές επιλογές καλλιέργειας απαιτείται αποτελεσματικό μάρκετινγκ, διαφάνεια και συνεχής βελτίωση της γεύσης και του κόστους (Deliza et al., 2023). Επιπλέον, τα ρυθμιστικά πρότυπα και τα πρότυπα των ετικετών που θα χρησιμοποιηθούν θα διαδραματίσουν κεντρικό ρόλο στην οικοδόμηση εμπιστοσύνης και στη διασφάλιση των ενημερωμένων επιλογών των καταναλωτών.

Παρά την υπόσχεση για επικράτηση του τεχνητού κρέατος, υπάρχουν πολλές προκλήσεις. Η κλιμάκωση της παραγωγής για την κάλυψη της παγκόσμιας ζήτησης με ταυτόχρονη μείωση του κόστους παραμένει το μεγαλύτερο εμπόδιο. Το τεχνητό κρέας σίγουρα δεν είναι πανάκεια. Ωστόσο με συνεχή έρευνα, επενδύσεις και δέσμευση για ηθικές και βιώσιμες πρακτικές, το τεχνητό κρέας έχει τη δυνατότητα να φέρει επανάσταση στον τρόπο παραγωγής και κατανάλωσης κρέατος, συμβάλλοντας σε ένα πιο ασφαλές και ηθικό παγκόσμιο σύστημα τροφίμων τα τελευταία χρόνια.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abete, I., Romaguera, D., Vieira, A. R., Lopez De Munain, A., & Norat, T. (2014). Association between total, processed, red and white meat consumption and all-cause, CVD and IHD mortality: A meta-analysis of cohort studies. *British Journal of Nutrition*, 112(5), 762–775.
<https://doi.org/10.1017/S000711451400124X>
- Ahmad, K., Lim, J. H., Lee, E. J., Chun, H. J., Ali, S., Ahmad, S. S., ... Choi, I. (2021). Extracellular matrix and the production of cultured meat. *Foods*, 10(12), 1–14. <https://doi.org/10.3390/foods10123116>
- Ahmad, S. S., Chun, H. J., Ahmad, K., Shaikh, S., Lim, J. H., Ali, S., ... Choi, I. (2023). The roles of growth factors and hormones in the regulation of muscle satellite cells for cultured meat production. *Journal of Animal Science and Technology*, 65(1), 16–31. <https://doi.org/10.5187/jast.2022.e114>
- Barbut, S., & Leishman, E. M. (2022). Quality and Processability of Modern Poultry Meat. *Animals*, 12(20). <https://doi.org/10.3390/ani12202766>
- Bellavia, A., Stilling, F., & Wolk, A. (2016). High red meat intake and all-cause cardiovascular and cancer mortality: Is the risk modified by fruit and vegetable intake? *American Journal of Clinical Nutrition*, 104(4), 1137–1143.
<https://doi.org/10.3945/ajcn.116.135335>
- Ben-Arye, T., Shandalov, Y., Ben-Shaul, S., Landau, S., Zagury, Y., Ianovici, I., ... Levenberg, S. (2020). Textured soy protein scaffolds enable the generation of three-dimensional bovine skeletal muscle tissue for cell-based meat. *Nature Food*, 1(4), 210–220. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0046-5>
- Bhat, Zuhaib F., Morton, J. D., Mason, S. L., Bekhit, A. E. D. A., & Bhat, H. F. (2019). Technological, Regulatory, and Ethical Aspects of In Vitro Meat: A Future Slaughter-Free Harvest. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18, 1192–1208. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12473>
- Bhat, Zuhaib Fayaz, Kumar, S., & Fayaz, H. (2015). In vitro meat production: Challenges and benefits over conventional meat production. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(2), 241–248. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60887-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60887-X)
- Boler, D. D., & Woerner, D. R. (2017). What is meat? A perspective from the American Meat Science Association. *Animal Frontiers*, 7(4), 8–11.
<https://doi.org/10.2527/af.2017.0436>
- Broucke, K., Van Pamel, E., Van Coillie, E., Herman, L., & Van Royen, G. (2023). Cultured meat and challenges ahead: A review on nutritional, technofunctional and sensorial properties, safety and legislation. *Meat Science*, 195(March 2022), 109006. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.109006>
- Bryant, C., Szejda, K., Parekh, N., Desphande, V., & Tse, B. (2019). A Survey of Consumer Perceptions of Plant-Based and Clean Meat in the USA, India, and China. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3(February).
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00011>
- Cheng, Y. W., Shiowski, D. J., Ball, R. L., Whitehead, K. A., & Feinberg, A. W. (2020). Engineering Aligned Skeletal Muscle Tissue Using Decellularized Plant-Derived Scaffolds. *ACS Biomaterials Science and Engineering*, 6(5), 3046–3054.
<https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.0c00058>
- Chodkowska, K. A., Wódz, K., & Wojciechowski, J. (2022). Sustainable Future Protein Foods: The Challenges and the Future of Cultivated Meat. *Foods*, 11(24).
<https://doi.org/10.3390/foods11244008>
- Chriki, S., & Hocquette, J. F. (2020). The Myth of Cultured Meat: A Review.

- Frontiers in Nutrition*, 7(February), 1–9.
<https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00007>
- Deliza, R., Rodríguez, B., Reinoso-Carvalho, F., & Lucchese-Cheung, T. (2023). Cultured meat: a review on accepting challenges and upcoming possibilities. *Current Opinion in Food Science*, 52, 101050.
<https://doi.org/10.1016/j.cofs.2023.101050>
- Edelman, P. D., McFarland, D. C., Mironov, V. A., & Matheny, J. G. (2005). Commentary: In Vitro-Cultured Meat Production. *Tissue Engineering*, 11(5–6), 659–662. Retrieved from <https://sci-hub.se/10.1089/ten.2005.11.659>
- Fraeye, I., Kratka, M., Vandenburg, H., & Thorrez, L. (2020). Sensorial and Nutritional Aspects of Cultured Meat in Comparison to Traditional Meat: Much to Be Inferred. *Frontiers in Nutrition*, 7(March).
<https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00035>
- Geiker, N. R. W., Bertram, H. C., Mejbørn, H., Dragsted, L. O., Kristensen, L., Carrascal, J. R., ... Astrup, A. (2021). Meat and human health—current knowledge and research gaps. *Foods*, 10(7), 1–17.
<https://doi.org/10.3390/foods10071556>
- Godfray, H. C. J., Aveyard, P., Garnett, T., Hall, J. W., Key, T. J., Lorimer, J., ... Jebb, S. A. (2018). Meat consumption, health, and the environment. *Science (New York, N.Y.)*, 361(6399). <https://doi.org/10.1126/science.aam5324>
- González, N., Marquès, M., Nadal, M., & Domingo, J. L. (2020). Meat consumption: Which are the current global risks? A review of recent (2010–2020) evidences. *Food Research International*, 137(January), 1–6.
- Greenwood, P. L. (2021). Review: An overview of beef production from pasture and feedlot globally, as demand for beef and the need for sustainable practices increase. *Animal*, 15, 100295. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100295>
- Hong, T. K., Shin, D. M., Choi, J., Do, J. T., & Han, S. G. (2021). Current issues and technical advances in cultured meat production: A review. *Food Science of Animal Resources*, 41(3), 335–372. <https://doi.org/10.5851/KOSFA.2021.E14>
- Humbird, D. (2021). Scale-up economics for cultured meat. *Biotechnology and Bioengineering*, 118(8), 3239–3250. <https://doi.org/10.1002/bit.27848>
- Kadim, I. T., Mahgoub, O., Baqir, S., Faye, B., & Purchas, R. (2015). Cultured meat from muscle stem cells: A review of challenges and prospects. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(2), 222–233. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60881-9](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60881-9)
- Kang, D. H., Louis, F., Liu, H., Shimoda, H., Nishiyama, Y., Nozawa, H., ... Matsusaki, M. (2021). Engineered whole cut meat-like tissue by the assembly of cell fibers using tendon-gel integrated bioprinting. *Nature Communications*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25236-9>
- Kumar, P., Sharma, N., Sharma, S., Mehta, N., Verma, A. K., Chemmalar, S., & Sazili, A. Q. (2021). *In-vitro meat: A promising solution for sustainability of meat sector*. *Journal of Animal Science and Technology* (Vol. 63).
<https://doi.org/10.5187/jast.2021.e85>
- Lanzoni, D., Rebucci, R., Formici, G., Cheli, F., Ragone, G., Baldi, A., ... Giromini, C. (2024). Cultured meat in the European Union: Legislative context and food safety issues. *Current Research in Food Science*, 8(October 2023), 100722.
<https://doi.org/10.1016/j.crfs.2024.100722>
- Leroy, F., & Praet, I. (2015). Meat traditions. The co-evolution of humans and meat. *Appetite*, 90, 200–211. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.03.014>

- Lescinsky, H., Afshin, A., Ashbaugh, C., Bisignano, C., Brauer, M., Ferrara, G., ... Murray, C. J. L. (2022). Health effects associated with consumption of unprocessed red meat: a Burden of Proof study. *Nature Medicine*, 28(10), 2075–2082. <https://doi.org/10.1038/s41591-022-01968-z>
- Levenberg, S., Rouwkema, J., Macdonald, M., Garfein, E. S., Kohane, D. S., Darland, D. C., ... Langer, R. (2005). Engineering vascularized skeletal muscle tissue. *Nature Biotechnology*, 23(7), 879–884. <https://doi.org/10.1038/nbt1109>
- Long, M. (2022). Majority of chefs keen to serve cultivated meat and 75% are willing to pay a premium, research shows. *Food Matters*.
- Mann, N. J. (2018). A brief history of meat in the human diet and current health implications. *Meat Science*, 144(June), 169–179. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.06.008>
- McAfee, A. J., McSorley, E. M., Cuskelly, G. J., Moss, B. W., Wallace, J. M. W., Bonham, M. P., & Fearon, A. M. (2010). Red meat consumption: An overview of the risks and benefits. *Meat Science*, 84(1), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.08.029>
- Micha, R., Wallace, S. K., & Mozaffarian, D. (2010). Red and processed meat consumption and risk of incident coronary heart disease, stroke, and diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis. *Circulation*, 121(21), 2271–2283. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.109.924977>
- Mottram, D. S. (1998). Flavour formation in meat and meat products: A review. *Food Chemistry*, 62(4), 415–424. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00076-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00076-4)
- Obeid, R., Heil, S. G., Verhoeven, M. M. A., van den Heuvel, E. G. H. M., de Groot, L. C. P. G. M., & Eussen, S. J. P. M. (2019). Vitamin B12 intake from animal foods, biomarkers, and health aspects. *Frontiers in Nutrition*, 6(June). <https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00093>
- Purdy, & Chase. (2017). The idea for lab-grown meat was born in a prisoner-of-war camp. Retrieved from <https://qz.com/1077183/the-idea-for-lab-grown-meat-was-born-in-a-prisoner-of-war-camp>
- Ramani, S., Ko, D., Kim, B., Cho, C., Kim, W., Jo, C., ... Park, S. (2021). Technical requirements for cultured meat production: A review. *Journal of Animal Science and Technology*, 63(4), 681–692. <https://doi.org/10.5187/jast.2021.e45>
- Rust, N. A., Ridding, L., Ward, C., Clark, B., Kehoe, L., Dora, M., ... West, N. (2020). How to transition to reduced-meat diets that benefit people and the planet. *Science of the Total Environment*, 718, 137208. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137208>
- Shahbandeh, M. (2023). *statista.com*.
- Siddiqui, S. A., Khan, S., Murid, M., Asif, Z., Oboturova, N. P., Nagdalian, A. A., ... Jafari, S. M. (2022). Marketing Strategies for Cultured Meat: A Review. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(17), 1–17. <https://doi.org/10.3390/app12178795>
- Singh, M., Lim, A. J., Muir, W. I., & Groves, P. J. (2021). Comparison of performance and carcass composition of a novel slow-growing crossbred broiler with fast-growing broiler for chicken meat in Australia. *Poultry Science*, 100(3), 100966. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.12.063>
- Statista. (2024). Meat worldwide. Retrieved from <https://www.statista.com/outlook/cmo/food/meat/worldwide>
- Tarte, R. (2009). *Ingredients in Meat Products-Properties, Functionality and Applications*. Springer (Vol. 104). New York, NY: Springer.
- Tibrewal, K., Dandekar, P., & Jain, R. (2023). Extrusion-based sustainable 3D bioprinting of meat & its analogues: A review. *Bioprinting*, 29(September 2022),

- e00256. <https://doi.org/10.1016/j.bprint.2022.e00256>
- Treich, N. (2021). Cultured Meat: Promises and Challenges. *Environmental and Resource Economics*, 79(1), 33–61. <https://doi.org/10.1007/s10640-021-00551-3>
- Whitton, C., Bogueva, D., Marinova, D., & Phillips, C. J. C. (2021). Are we approaching peak meat consumption? Analysis of meat consumption from 2000 to 2019 in 35 countries and its relationship to gross domestic product. *Animals*, 11(12). <https://doi.org/10.3390/ani11123466>
- Wyness, L. (2016). The role of red meat in the diet: Nutrition and health benefits. *Proceedings of the Nutrition Society*, 75(3), 227–232. <https://doi.org/10.1017/S0029665115004267>