



Σχολή Επιστημών Τροφίμων
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Κρέας κυτταροκαλλιέργειας (cultured meat): μέθοδοι επεξεργασίας,
εφαρμογές, αποδοχή καταναλωτών**

MSc Thesis

**Cultured meat: processing methods, applications
and consumer acceptance**

Διευθυντής

Καθ. Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων (ΠΑ.Δ.Α) Ιωάννης Τσάκνης

ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ/NAME OF STUDENT

Παντελής Σαμαράς/Pantelis Samaras

ΟΝΟΜΑ ΕΙΣΗΓΗΤΗ/NAME OF THE SUPERVISOR

Επίκουρη καθηγήτρια Ανδριάννα Λάζου/Assistant Professor Andriana Lazou

ΑΙΓΑΛΕΩ/AIGALEO 2022



Faculty of Food Sciences
Department of Food Science and Technology

Master of Science

FOOD INNOVATION, QUALITY AND SAFETY

MSc THESIS

**Cultured meat: processing methods, applications
and consumer acceptance**

PANTELIS SAMARAS

2025

samaraspan@gmail.com

SUPERVISOR

ASSISTANT PROFESSOR ANDRIANA LAZOU

AIGALEO 2022

Έγινε δεκτή

Ο Διευθυντής του ΠΜΣ: Καθηγητής Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων (ΠΑ.Δ.Α) Ιωάννης Τσάκνης.

Οι υπογράφοντες δηλώνουμε ότι έχουμε εξετάσει τη μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία (master thesis) με τίτλο **«Κρέας κυτταροκαλλιέργειας (cultured meat): μέθοδοι επεξεργασίας, εφαρμογές, αποδοχή καταναλωτών»**, που παρουσιάστηκε από τον Παντελή Σαμαρά, υποψηφίου για τον μεταπτυχιακό τίτλο σπουδών στην ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ και βεβαιώνουμε ότι γίνεται δεκτή.

Ημερομηνία 7/6/2022

Όνομα επιβλέποντος
Λάζου Ανδριάνα

Ημερομηνία 7/6/2022

Όνομα μέλους επιτροπής
Λουγκοβόης Βλαδίμηρος

Ημερομηνία 7/6/2022

Όνομα μέλους επιτροπής
Μπατρίνου Ανθιμία

Δήλωση περί λογοκλοπής/Copyright

Έχοντας πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικής ιδιοκτησίας, δηλώνω ότι είμαι αποκλειστικός συγγραφέας της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Δηλώνω, επίσης, ότι αναλαμβάνω όλες τις συνέπειες, όπως αυτές νομίμως ορίζονται, στην περίπτωση που διαπιστωθεί διαχρονικά ότι η εργασία μου αυτή ή τμήμα αυτής αποτελεί προϊόν λογοκλοπής.

Παντελής Σαμαράς

Ευχαριστίες

.....

Περίληψη

Το κρέας κυτταροκαλλιέργειας αποτελεί ένα προϊόν που παρασκευάζεται μέσω καλλιέργειας κατάλληλων κυττάρων, τα οποία προέρχονται από οικόσιτα ζώα, μέσα σε έναν βιοαντιδραστήρα, με τη χρήση κατάλληλου υγρού μέσου και με προηγμένες τεχνικές μηχανικής ιστών. Η τεχνολογία, αν και βρίσκεται ακόμα σε αρχικά στάδια, παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον καθώς υπόσχεται να αλλάξει τον τρόπο με τον οποίο εξασφαλίζεται η διαθεσιμότητα μιας μεγάλης ποικιλίας από προϊόντα κρέατος. Σε αντίθεση με τη συμβατική κτηνοτροφία, κατά την παραγωγή κρέατος κυτταροκαλλιέργειας, δεν υπάρχει ανάγκη για την εκτροφή ζώων και κανένα ζώο δεν θανατώνεται. Επιπλέον πλεονεκτήματα, αποτελούν το μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα, η αποτελεσματικότερη χρήση των πόρων, η βιωσιμότητα και η παραγωγή ασφαλών, ελεύθερων παθογόνων και με υψηλή διατροφική αξία, σχεδιασμένων κατά παραγγελία προϊόντων κρέατος. Ωστόσο υφίστανται ακόμα πολλές τεχνολογικές προκλήσεις πριν μπορέσει η παραγωγή να καταστεί εμπορικά εφικτή και οικονομικά βιώσιμη, ενώ η αποδοχή του προϊόντος από το καταναλωτικό κοινό αποτελεί τον μεγαλύτερο προβληματισμό.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να παρουσιαστεί μία συνολική ανασκόπηση της τεχνολογίας αιχμής στον τομέα της παραγωγής κρέατος κυτταροκαλλιέργειας, καθώς επίσης και της έρευνας που γίνεται σχετικά με τα οφέλη και τις προκλήσεις που αντιμετωπίζονται, με έμφαση στην αξιολόγηση της αποδοχής του προϊόντος από τους καταναλωτές.

Η ανασκόπηση καλύπτει όλες τις πλευρές της παραγωγής, από την επιλογή των αρχικών κυττάρων έως την τελική μορφοποίηση του προϊόντος. Τα σημαντικότερα βήματα που ακολουθούνται κατά την παραγωγή, περιλαμβάνουν την επιλογή του μέσου καλλιέργειας, τον τρόπο στήριξης σε κατάλληλα υποστηρίγματα και την επιλογή του κατάλληλου βιοαντιδραστήρα για τον πολλαπλασιασμό των κυττάρων και την ανάπτυξη του μυϊκού ιστού. Για κάθε βήμα αναφέρονται τόσο οι προκλήσεις που αντιμετωπίζονται, όσο και οι ευκαιρίες που παρουσιάζονται, προκειμένου να επιτευχθεί η βελτιστοποίησή τους. Επιπλέον αναλύεται το σύγχρονο νομικό καθεστώς, που θα μπορούσε να καλύψει την παραγωγή του κρέατος κυτταροκαλλιέργειας στην ΕΕ και στις ΗΠΑ. Οι συνέπειες που προκύπτουν από την χρήση αυτής της νέας τεχνολογίας εκτείνονται στην κοινωνία, το περιβάλλον, την τροφική αλυσίδα και τους ίδιους τους καταναλωτές. Παρουσιάζονται αναλυτικά τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της ανάπτυξης του προϊόντος σε βιομηχανική κλίμακα και εξετάζεται η αποδοχή του

από τους καταναλωτές μέσω μιας ανάλυσης μεγάλου αριθμού από σχετικές καταναλωτικές έρευνες.

Η τεχνολογική και οικονομική βελτιστοποίηση της διαδικασίας παραγωγής, η επιτυχής γευστική και δομική παρουσίαση του προϊόντος, καθώς και η τελική αποδοχή του από το καταναλωτικό κοινό, αποτελούν τους βασικότερους παράγοντες που θα καθορίσουν την τύχη του κρέατος κυτταροκαλλιέργειας κατά την εισαγωγή του στην παγκόσμια αγορά τροφίμων. Η ανάπτυξη ενός οικονομικού μέσου καλλιέργειας, που δεν θα είναι ζωικής προέλευσης και θα μπορεί να υποστηρίξει την αποτελεσματική ανάπτυξη των κυττάρων, αποτελεί τη μεγαλύτερη πρόκληση κατά το στάδιο της παραγωγής. Προκειμένου να επιτευχθεί η παραγωγή προϊόντων συνεκτικών, με πολύπλοκη δομή, που να προσομοιάζει όσο το δυνατόν περισσότερο στα συμβατικά τεμάχια κρέατος, είναι απαραίτητη η συνέχιση της έρευνας πάνω στην μηχανική των ιστών και η ανάπτυξη κατάλληλων βιοϋλικών. Επιπλέον αποτελεί σημαντική παράμετρο της επιτυχίας του προϊόντος η εδραίωση της κοινωνικής αποδοχής του και προς αυτή την κατεύθυνση απαιτείται η ανάλυση των ηθικών, περιβαλλοντικών, κοινωνικών, πολιτικών και ατομικών προεκτάσεων που θα έχει η εμπορευματοποίησή του. Η αποτελεσματική αντιμετώπιση του συνόλου των προκλήσεων, που αντιμετωπίζει το κρέας κυτταροκαλλιέργειας ως ένα αναδυόμενο και ανατρεπτικό προϊόν, θα καθορίσει το κατά πόσο θα μπορέσει να ανταποκριθεί στην επιτυχή εξασφάλιση της βιωσιμότητας της αγοράς κρέατος για το μέλλον.

Abstract

Cell cultured meat is a product prepared by culturing suitable cells, which are derived from domestic animals, in a bioreactor, using a proper liquid medium and advanced tissue engineering techniques. The technology, although still in its infancy, is of great interest as it promises to change the way a wide variety of meat products are made available. Unlike conventional animal husbandry, in the production of cell cultured meat there is no need for animal husbandry and no animal is killed. Additional advantages are the smaller environmental footprint, the most efficient use of resources, the viability and production of safe, pathogen-free, and of high nutritional value, custom-designed meat products. However, there are still many technological challenges before production can become commercially and economically viable, while the acceptance of the product by the consumers is the biggest concern.

The purpose of this dissertation is to present an overview of the state-of-the-art technology in the field of cell cultured meat production, as well as research on the benefits and challenges ahead, with an emphasis on acceptance assessment.

The review covers all aspects of production, from the selection of the initial cells to the final shaping of the product. The most important steps to be taken during production include the selection of the culture medium, the way to support cells with suitable scaffolds and the selection of the appropriate bioreactor for cell proliferation and muscle tissue growth. Each step lists both the challenges faced, and the opportunities presented to achieve their optimization. In addition, the current legal status is analyzed, which could cover the production of cell cultured meat in the EU and the USA. The consequences of using this new technology extend to society, the environment, the food chain, and consumers themselves. The advantages and disadvantages of product development on an industrial scale are presented in detail and its acceptance by consumers is examined through many reviews from relevant consumer research.

The technological and economic optimization of the production process, the successful taste and structural presentation of the product, as well as its final acceptance by the consumers, are the main factors that will determine the fate of the cell cultured meat when it is imported into the global food market. The development of an economical culture medium, which will not be of animal origin, and which can support the efficient growth of cells, is the greatest challenge during the production stage. To achieve the production of cohesive

products, with a complex structure, which resembles as much as possible the conventional cuts of meat, it is necessary to continue the research on tissue engineering and the development of suitable biomaterials. In addition, an important parameter of the success of the product is the consolidation of its social acceptance and in this direction, the analysis of the ethical, environmental, social, political, and individual implications of its commercialization is required. Effectively addressing all the challenges facing cell cultured meat, as an emerging and subversive product, will determine whether it can successfully ensure the viability of the meat market in the future.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή	1
2. Ιστορική Αναδρομή	5
3. Μέθοδος Παραγωγής.....	9
3.1. Επιλογή αρχικών κυττάρων	10
3.1.1. Μυϊκά δορυφορικά βλαστοκύτταρα.....	11
3.1.2. Άλλοι τύποι βλαστοκυττάρων	14
3.1.3. Λιποκύτταρα.....	15
3.2. Επιλογή μέσου καλλιέργειας.....	15
3.2.1. Βασικές ανάγκες κυττάρων	16
3.2.2. Βασικό μέσο καλλιέργειας	17
3.2.3. Εναλλακτικά μέσα χωρίς ζωικό ορό	18
3.2.4. Βελτιστοποίηση διαδικασίας – Τελικά χαρακτηριστικά	20
3.3. Επιλογή δικτύου στήριξης και ανάπτυξης (scaffold).....	21
3.3.1. Επιθυμητές ιδιότητες δικτύου στήριξης και ανάπτυξης.....	22
3.3.2. Είδη δικτύων στήριξης	22
3.3.3. Αρχιτεκτονική δικτύων στήριξης.....	24
3.3.4. Μικροφορείς	25
3.3.5. Εφαρμογή μηχανικών και ηλεκτρικών ερεθισμάτων	26
3.3.6. Τεχνικές απομάκρυνσης δικτύου στήριξης.....	27
3.4. Βιοαντιδραστήρες.....	27
3.4.1. Σχεδιασμός και χαρακτηριστικά	28
3.4.2. Είδη βιοαντιδραστήρων	29
3.4.2.1. Αντιδραστήρας συνεχούς ανάδευσης	30
3.4.2.2. Αντιδραστήρας δονούμενης κλίνης.....	32
3.4.2.3. Αντιδραστήρας πνευματικής ανάδευσης	33

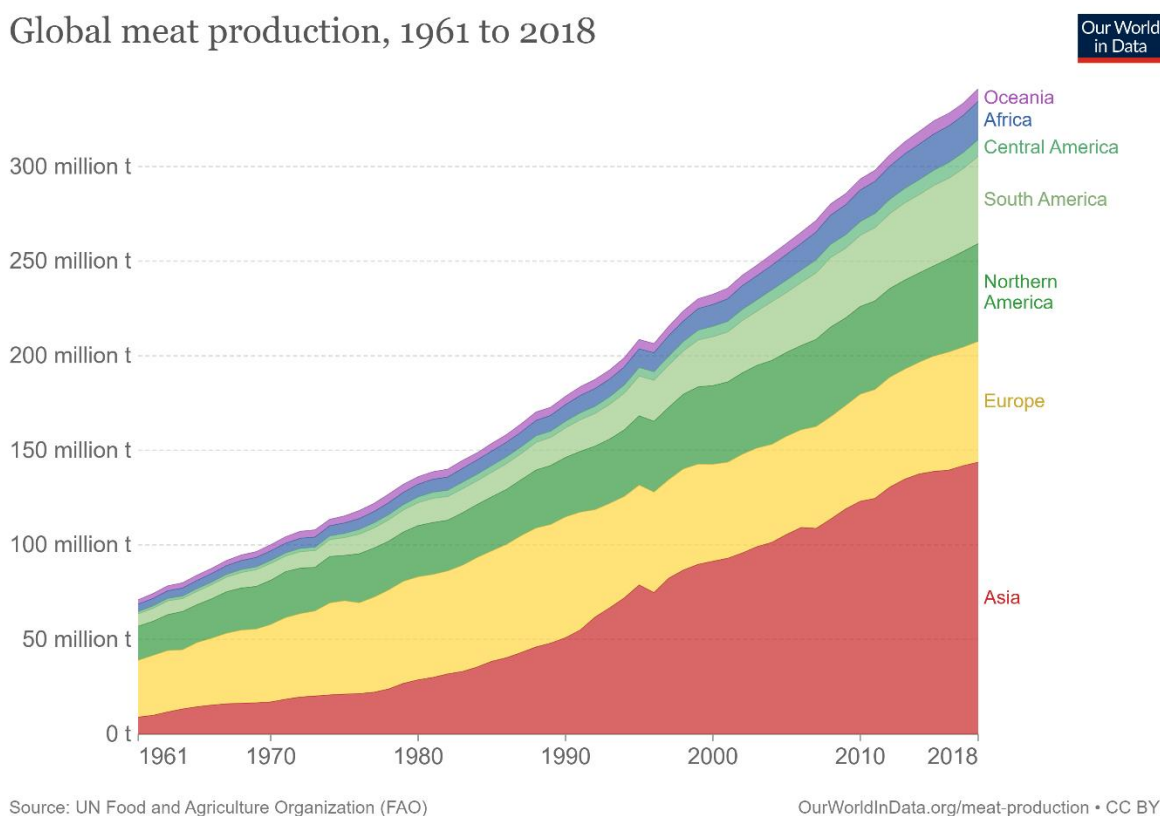
3.4.2.4.	Αντιδραστήρες μηχανισμού διάχυσης (diffusion bioreactors)	34
3.4.3.	Διάθεση οξυγόνου	36
3.4.4.	Λοιπός εξοπλισμός και διεργασίες	37
3.5.	Νέες τεχνολογίες	38
4.	Θέματα Νομοθεσίας (Νομικό Πλαίσιο)	41
4.1.	Νομοθεσία Η.Π.Α.....	42
4.2.	Νομοθεσία Ευρωπαϊκής Ένωσης.....	43
4.3.	Άλλες περιπτώσεις.....	44
5.	Πλεονεκτήματα και Προβληματισμοί	46
5.1.	Ηθική διάσταση	46
5.1.1.	Πλεονεκτήματα	46
5.1.2.	Προβληματισμοί.....	47
5.1.2.1.	Το ζήτημα του σεβασμού της φύσης και των ζώων.....	47
5.1.2.2.	Το ζήτημα της αξίας της ζωής των ζώων	48
5.1.2.3.	Το ζήτημα της κακής χρήσης της τεχνολογίας.....	49
5.2.	Περιβαλλοντική διάσταση	49
5.2.1.	Σύγχρονες επιπτώσεις στο περιβάλλον	50
5.2.2.	Προοπτικές για το κρέας κυτταροκαλλιέργειας	51
5.3.	Δημόσια ασφάλεια και υγεία	54
5.4.	Βιωσιμότητα και λοιπές εφαρμογές	55
5.5.	Μειονεκτήματα και προβληματισμοί	56
6.	Αποδοχή Καταναλωτών.....	59
6.1.	Δοκιμές και οργανοληπτική αξιολόγηση.....	59
6.2.	Διεξαγωγή και αποτελέσματα ερευνών	61
6.2.1.	Σύνοψη κυριότερων ερευνών	61
6.2.2.	Ανάλυση αποτελεσμάτων	71

6.3.	Παράγοντες που επηρεάζουν την αποδοχή.....	72
6.3.1.	Αντιληπτά οφέλη.....	72
6.3.2.	Αντιληπτά εμπόδια.....	73
6.4.	Ο ρόλος της αγοράς στην αύξηση της αποδοχής.....	75
7.	Συμπεράσματα και Υποδείξεις για Περαιτέρω Έρευνα	77
8.	Βιβλιογραφία.....	80

1. Εισαγωγή

Τα τελευταία 50 χρόνια, η παγκόσμια παραγωγή κρέατος έχει τριπλασιαστεί, φτάνοντας το 2018 τους 340 εκατομμύρια τόνους (Ritchie & Roser, 2017). Παράλληλα, ο παγκόσμιος πληθυσμός, από τα 7,3 δισεκατομμύρια αναμένεται να φτάσει στα 9 δισεκατομμύρια το 2050 και ο Παγκόσμιος Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας (F.A.O.) προβλέπει ότι για τις ανάγκες σίτισης θα χρειαστεί μία αύξηση κατά 70% της σημερινής παραγωγής τροφίμων, με τις ανάγκες για κρέας να φτάνουν τους 470 εκατομμύρια τόνους (FAO, 2009). Η κατανάλωση κρέατος θα συνεχίσει να αυξάνεται καθώς καθοδηγείται από παράγοντες όπως η οικονομική ανάπτυξη, η αύξηση της κατανάλωσης από τις μεσαίες τάξεις των αναπτυσσόμενων χωρών, η αστικοποίηση και οι διατροφικές συνήθειες (Chriki & Hocquette, 2020).

Global meat production, 1961 to 2018



Εικόνα 1: Παγκόσμια παραγωγή κρέατος σε εκατομμύρια τόνους (Ritchie & Roser, 2017).

Η σύγχρονη κτηνοτροφία, προκειμένου να ανταποκριθεί στην όλο και αυξανόμενη ζήτηση αντιμετωπίζει σοβαρά προβλήματα βιωσιμότητας και αποτελεσματικότητας, ενώ παράλληλα ασκείται μεγάλη πίεση στην περιβαλλοντική διαχείριση των συστημάτων παραγωγής κρέατος. Υπολογίζεται ότι η παγκόσμια παραγωγή κρέατος ευθύνεται για το 15% - 24% της παραγωγής αερίων του θερμοκηπίου, καθώς και για τη μεγαλύτερη χρήση γης και νερού ανά κιλό παραγόμενης πρωτεΐνης και 1000 θερμίδων. Παράλληλα τα τελευταία χρόνια έχει

αυξηθεί η ευαισθησία μεγάλου μέρους του πληθυσμού σχετικά με τις εντατικές κυρίως μορφές κτηνοτροφίας, τις συνθήκες διαβίωσης και θανάτωσης των ζώων, καθώς και σχετικά με την διατροφική ασφάλεια στον τομέα της παραγωγής κρέατος. Μέσα σε αυτό το σύνθετο περιβάλλον και για την αντιμετώπιση όλων των σύγχρονων προβλημάτων της παγκόσμιας παραγωγής κρέατος, αναζητούνται νέες μορφές παραγωγής πρωτεϊνούχων τροφίμων που θα μπορέσουν να εξασφαλίσουν τις μελλοντικές ανάγκες του πληθυσμού, αντιμετωπίζοντας παράλληλα με επιτυχία τις προκλήσεις που απειλούν την βιωσιμότητα και αποτελεσματικότητα του συστήματος.

Η τεχνολογία για την παραγωγή κρέατος μέσω της καλλιέργειας κυττάρων, σε ένα τεχνητό περιβάλλον, χωρίς την εκτροφή ζώων, αποτελεί μία σύγχρονη και καινοτόμο, ανατρεπτική τεχνολογία, που υπόσχεται να λύσει το πρόβλημα της βιωσιμότητας και να εξασφαλίσει την ικανοποίηση της παγκόσμιας ζήτησης, χωρίς να χρειαστεί οι καταναλωτές να αλλάξουν συνήθειες ως προς τις διατροφικές επιλογές τους. Η μεθοδολογία περιλαμβάνει την επιλογή μικρού αριθμού βλαστοκυττάρων από κάποιο ζώο και στη συνέχεια την καλλιέργειά τους μέσα σε κατάλληλο υγρό μέσο και σε κατάλληλους αντιδραστήρες, προκειμένου αυτά να πολλαπλασιαστούν και να διαφοροποιηθούν προς μυϊκές ίνες για την δημιουργία μυϊκού ιστού. Το τελικό προϊόν αποτελείται από μία μάζα μυϊκού ιστού, η οποία μπορεί να υποστεί την ίδια επεξεργασία με το συμβατικό κρέας, ώστε να παραχθούν προϊόντα επεξεργασμένου κρέατος. Αν και ακόμα δεν έχει επιτευχθεί η δημιουργία συνεκτικών κομματιών κρέατος, που να προσομοιάζει με τα διάφορα τεμάχια των συμβατικών προϊόντων, η τεχνολογία βρίσκεται σε αρχικό στάδιο και υπάρχουν οι προοπτικές για περαιτέρω ανάπτυξη και εφαρμογή. Ωστόσο, μια παραγωγική διαδικασία ικανή να φτάσει σε εμπορική κλίμακα, απαιτεί συνεχείς τεχνολογικές προόδους, οικονομικές επενδύσεις, ρυθμιστική καθοδήγηση και ευνοϊκή δυναμική της αγοράς.

Η παραγωγή κρέατος από κύτταρα μπορεί θεωρητικά να εξασφαλίσει την παγκόσμια ζήτηση σε πρωτεΐνη κρέατος, ξεκινώντας με έναν μικρό αριθμό κυττάρων, χάρη στις ιδιότητες των βλαστοκυττάρων να πολλαπλασιάζονται σε μεγάλους αριθμούς υπό ελεγχόμενες συνθήκες. Η ανάγκη για την εκτροφή ζώων περιορίζεται σε έναν μικρό μόνο αριθμό, ενώ δεν υφίσταται πια ανάγκη για σφαγή. Παράλληλα μειώνονται σε μεγάλο βαθμό οι επιπτώσεις της παραγωγής κρέατος στο περιβάλλον και εξασφαλίζεται η σταθερή τροφοδοσία του πληθυσμού με υψηλής ποιότητας και διατροφικά ασφαλούς πρωτεΐνης. Μόλις το 2013 παρουσιάστηκε επίσημα το πρώτο εργαστηριακό προϊόν από κρέας κυτταροκαλλιέργειας και

έκτοτε η ανάπτυξη του τομέα υπήρξε εκθετική, με αποτέλεσμα σήμερα να υπάρχουν πάνω από 70 εταιρίες που ασχολούνται αποκλειστικά με την ανάπτυξη τέτοιων προϊόντων, ενώ τον Δεκέμβριο του 2020 πραγματοποιήθηκε η πρώτη λιανική πώληση σε εστιατόριο της Σιγκαπούρης (*Cultivated Meat | State of the Industry Report | GFI, 2021*).

Η τυποποίηση του προϊόντος βρίσκεται υπό συνεχή αναθεώρηση, καθώς ως ένα νέο προϊόν, δεν έχει ακόμα καθοριστεί επακριβώς η νομική ή ρυθμιστική διαδικασία που θα διέπει την παραγωγή και διάθεσή του. Ακόμα και η ονομασία του προϊόντος δεν έχει πλήρως εδραιωθεί. Αρχικά ονομαζόταν «εργαστηριακό κρέας (in vitro meat)» και στη συνέχεια προτιμήθηκε ο όρος «καλλιεργημένο κρέας (cultured meat)». Άλλες ονομασίες περιλαμβάνουν τους όρους «καθαρό (clean meat)», «συνθετικό (synthetic meat)» και «τεχνητό (artificial meat)», ενώ υπάρχουν και ονομασίες όπως «συνθετικές μυϊκές πρωτεΐνες (artificial muscle proteins)» που αποκλείουν τον όρο κρέας, θεωρώντας ως κρέας το προϊόν που θα πρέπει να έχει δημιουργηθεί εντός ενός ζώου (J. F. Hocquette, 2016; Jairath et al., 2021). Σε κάθε περίπτωση πάντως, οι όροι αυτοί είναι ξεκάθαρα διαφορετικοί από τον όρο «υποκατάστατο κρέατος (simulated meat)», ο οποίος παραπέμπει στα φυτικής προέλευσης υποκατάστατα που απευθύνονται κυρίως σε χορτοφάγους. Για την παρούσα διπλωματική εργασία επιλέχθηκε ο όρος «κρέας κυτταροκαλλιέργειας (cell-cultured meat)» αφενός για να τονιστεί το γεγονός ότι η δημιουργία του προϊόντος οφείλεται στην τεχνική της καλλιέργειας κυττάρων και αφετέρου για να προσδιοριστεί ότι το τελικό προϊόν είναι πανομοιότυπο με το κρέας συμβατικής κτηνοτροφίας, ανεξάρτητα του τρόπου παραγωγής του.

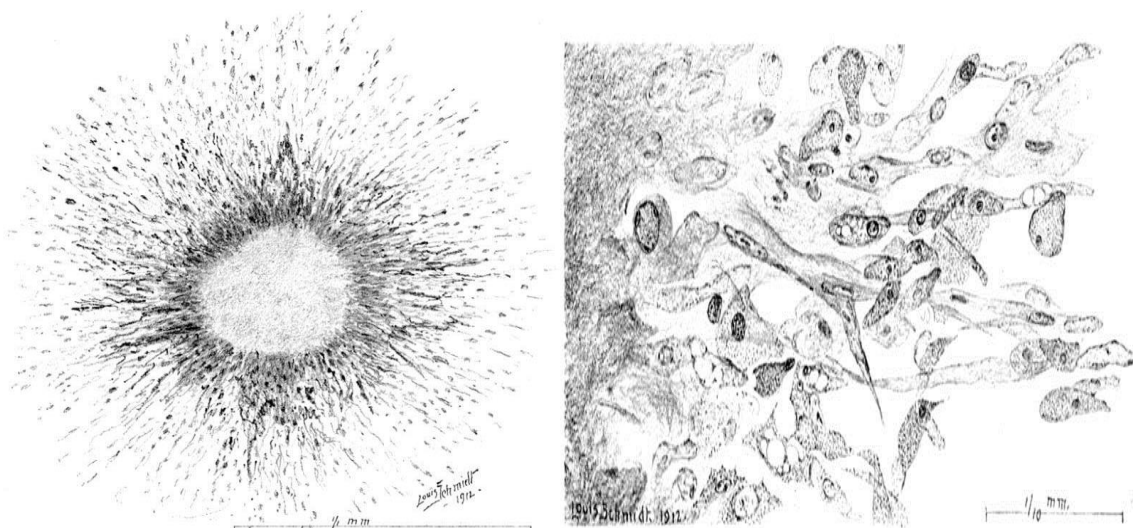
Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να παρουσιαστεί μία συνολική ανασκόπηση της τεχνολογίας αιχμής στον τομέα της παραγωγής κρέατος κυτταροκαλλιέργειας, καθώς επίσης και της έρευνας που γίνεται σχετικά με τα οφέλη και τις προκλήσεις που αντιμετωπίζονται, με έμφαση στην αξιολόγηση της αποδοχής του προϊόντος από τους καταναλωτές. Η βιβλιογραφία που καλύπτεται είναι στο σύνολό της ξενόγλωσση και σχετικά νέα, κάτι που αποτυπώνει την απότομη ανάδειξη και την ακόμα εξελισσόμενη φύση του πεδίου της κυτταρικής παραγωγής κρέατος.

Αρχικά γίνεται μία ιστορική ανασκόπηση των κύριων σταθμών που καθόρισαν την πορεία της εξέλιξης της τεχνολογίας από την αρχική ιδέα έως και τις πιο πρόσφατες εξελίξεις. Στη συνέχεια αναπτύσσονται τα σημαντικότερα βήματα που ακολουθούνται στην μέθοδο παραγωγής, αναλύοντας όλες τις επιλογές που υφίστανται με βάση την σύγχρονη τεχνολογία για την επιλογή των αρχικών κυττάρων, το μέσο καλλιέργειας, το πλέγμα στήριξης και την

επιλογή βιοαντιδραστήρα. Τα θέματα νομοθεσίας που ενδιαφέρουν το νέο προϊόν καλύπτονται κυρίως για την ΕΕ και τις ΗΠΑ. Ακολούθως παραθέτονται αναλυτικά τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της τεχνολογίας, εξετάζοντας τις συνέπειες στην κοινωνία, το περιβάλλον, την τροφική αλυσίδα και τους ίδιους τους καταναλωτές. Η αποδοχή του νέου προϊόντος από το καταναλωτικό κοινό εξετάζεται ξεχωριστά, λόγω της εξαιρετικής σημασίας που εκτιμάται ότι θα έχει στην τελική εδραίωση της βιομηχανικής παραγωγής του κρέατος κυτταροκαλλιέργειας. Τέλος συνάγονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη διερεύνηση των τεχνολογικών εμποδίων και των προβληματισμών που θέτει η προοπτική εφαρμογής της τεχνολογίας σε βιομηχανική κλίμακα, ενώ παράλληλα εντοπίζονται οι τομείς στους οποίους θα πρέπει να εστιάσει η έρευνα για την περαιτέρω ώθηση του πεδίου εφαρμογής.

2. Ιστορική Αναδρομή

Η διαδικασία παραγωγής του κρέατος κυτταροκαλλιέργειας περιλαμβάνει βασική και εφαρμοσμένη κυτταρική καλλιέργεια και μηχανική ιστών, που εφαρμόστηκαν αρχικά στην αναγεννητική ιατρική. Οι πρώτες επιτυχημένες προσπάθειες για την καλλιέργεια ιστών έγιναν από τον Γάλλο χειρουργό και βιολόγο Alexis Carrel (Νόμπελ Ιατρικής 1912), όταν σε πειράματα που ξεκίνησε το 1912 κατάφερε μεταξύ άλλων να διατηρήσει σε μέσο καλλιέργειας ιστούς από καρδιά κοτόπουλου ζωντανούς για 34 χρόνια (Εικόνα 2) (Carrel, 1912). Η ιδέα για την παραγωγή κρέατος συνθετικά, ως τροφή χωρίς τη χρήση ζώων, ξεκινάει με μία αναφορά του Winston Churchill, σε ένα άρθρο του το 1931 για το τι να περιμένουμε στο μέλλον (Churchill W. & Spurrier, 1931), ενώ το 1943 αναφέρεται μέσα στο μυθιστόρημα επιστημονικής φαντασίας του Rene Barjavel «Ravage» (Jairath et al., 2021).



Εικόνα 2. Σχέδιο του Carrel, αριστερά καλλιέργεια ιστού πενήντα ημερών. Δεξιά, περιφερειακός ιστός από την αριστερή καλλιέργεια (Carrel, 1912).

Ωστόσο χρειάστηκε να περάσουν αρκετά χρόνια και να εξελιχθούν οι τεχνικές κυτταρικής καλλιέργειας, καθώς και οι γνώσεις περί βιολογίας και βλαστοκυττάρων, μέχρι να αρχίσουν οι πρώτες προσπάθειες για την καλλιέργεια κρέατος. Αν και η πρώτη πατέντα για ένα σύστημα παραγωγής κρέατος *in vitro* από βλαστοκύτταρα καταχωρήθηκε το 1999, από τον πρωτοπόρο στον τομέα αυτόν Ολλανδό ερευνητή Willem van Eelen (van Eelen et al., 1999), οι δύο πρώτες επιτυχημένες προσπάθειες πραγματοποιήθηκαν στις αρχές της χιλιετίας: η μία στα πλαίσια ενός προγράμματος βιο – τέχνης από τους βιο – καλλιτέχνες Catts και Zurr (Catts & Zurr, 2002), και η δεύτερη από την ομάδα του Morris Benjaminson στα πλαίσια ενός προγράμματος που χρηματοδοτήθηκε από τη NASA (Benjaminson et al., 2002). Η ομάδα του Benjaminson κατάφερε να καλλιεργήσει εκφυτεύματα από χρυσόψαρο και να πετύχει

την αναγέννηση και πολλαπλασιασμό των κυττάρων. Το επίκεντρο αυτής της έρευνας ήταν να αναπτυχθεί ένα σύστημα για την παραγωγή μυϊκής πρωτεΐνης, για την υποστήριξη παραγωγής κρέατος, κατά τη διάρκεια μακρών διαστημικών αποστολών. Οι βιο – καλλιτέχνες Catts και Zurr ανέπτυξαν ένα καλλιτεχνικό έργο, στα πλαίσια μιας ειδίκευσης στην ιατρική σχολή του Harvard, όπου οι ιστοί που δημιουργήθηκαν από την καλλιέργεια κυττάρων ονομάστηκαν ημι-ζωντανά εκθέματα. Σε συνέχεια αυτού του έργου δημιουργήθηκε μία έκθεση το 2003 στη Ναντ της Γαλλίας, με την ονομασία «Disembodied Cuisine», όπου τα εκθέματα ήταν κομμάτια καλλιεργημένου κρέατος βατράχου. Στο τέλος της έκθεσης το παραγόμενο κρέας μαγειρεύτηκε και καταναλώθηκε σε ένα τραπέζι, όπου παρόντες ήταν και οι τέσσερις βάτραχοι, από τους οποίους προέρχονταν τα κύτταρα (Catts & Zurr, 2003).

Στις αρχές της χιλιετίας ξεκίνησαν κάποια ερευνητικά προγράμματα, μέσω πανεπιστημίων, πάνω στην καλλιέργεια κυττάρων για την παραγωγή κρέατος με τους πρωτοπόρους σε αυτόν τον τομέα να είναι οι Vladimir Mironov (Πανεπιστήμιο Ιατρικής Νότιας Καρολίνας), Douglas McFarland από τη Νότια Ντακότα και Henk Haagsman του πανεπιστημίου της Ουτρέχτης. Οι δύο πρώτοι μαζί με τους Edelman και Matheny δημοσίευσαν το 2005 ένα άρθρο στο περιοδικό «Tissue Engineering» για την παραγωγή κρέατος in vitro, το οποίο προκάλεσε το επιστημονικό και δημόσιο ενδιαφέρον για την ιδέα αυτή (Edelman et al., 2005). Ο Matheny, εμπνεόμενος από το έργο του Benjaminson για τη NASA είχε ήδη ιδρύσει το 2004 τον οργανισμό «New Harvest», ο οποίος αρχικά έδινε χορηγίες σε ερευνητικά προγράμματα για την προώθηση της τεχνολογίας για την παραγωγή ζωικών προϊόντων με κυτταροκαλλιέργεια. Παράλληλα και χάρη στη δημοσιότητα που πήρε το θέμα από το παραπάνω άρθρο, ο Henk Haagsman παρακινούμενος από τον van Eelen, εξασφάλισε από την Ολλανδική κυβέρνηση μία χρηματοδότηση 2 εκατομμυρίων ευρώ για ένα πρόγραμμα 4 ετών, ώστε να προχωρήσουν στην παραγωγή κρέατος κυτταροκαλλιέργειας (Schonwald, 2009). Στην ομάδα τους συμπεριλαμβάνονταν και οι Mark Post και Peter Verstrate, οι οποίοι το 2013 θα παρουσίαζαν το πρώτο μπιφτέκι κυτταροκαλλιέργειας και το 2015 θα ιδρύαν την «MOSA MEAT», πρωτοπόρο σήμερα εταιρία που πρωταγωνιστεί στη διεθνή σκηνή της παραγωγής κρέατος κυτταροκαλλιέργειας.

Με το ανερχόμενο ενδιαφέρον γύρω από το αντικείμενο, άρχισαν περισσότερες ομάδες να ασχολούνται με παρόμοια ερευνητικά προγράμματα και να γίνονται παράλληλες μελέτες, που αφορούν όχι μόνο την τεχνολογία καθαυτή αλλά και τομείς όπως οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι ηθικές προεκτάσεις και η αποδοχή του νέου προϊόντος από τους

καταναλωτές. Επίσης εκτός από τα πανεπιστήμια και τους ερευνητικούς φορείς άρχισαν να συμμετέχουν και τρίτα μέρη. Χαρακτηριστικά, το 2008 ο οργανισμός «Άνθρωποι για την Ηθική Συμπεριφορά απέναντι στα Ζώα (People for the Ethical Treatment of Animals - PETA)», προσέφερε 1 εκατομμύριο δολάρια στην πρώτη ομάδα που θα κατάφερνε να πουλήσει κοτόπουλο κυτταροκαλλιέργειας που να είναι παρόμοιο με το συμβατικό. Την καμπάνια διέυθυνε ο επιχειρηματίας Bruce Friedrich, ο οποίος στη συνέχεια θα ίδρυε τον οργανισμό «the Good Food Institute (GFI)», ο οποίος σήμερα υποστηρίζει το κρέας φυτικής και κυτταρικής προέλευσης. Το παραπάνω βραβείο τελικά λόγω του ανέφικτου για την εποχή στόχου, δόθηκε σε μορφή χορηγίας στους ερευνητές Mironov και Nicolas Genovese, ο οποίος θα ήταν συνιδρυτής το 2015 της «MEMPHIS MEATS» (πλέον «UPSIDE FOODS»), άλλης μίας πρωτοπόρου στο χώρο εταιρίας. Άλλοι οργανισμοί που ιδρύθηκαν την περίοδο εκείνη για να προωθήσουν την έρευνα στο χώρο είναι οι «Cultured Meat Foundation» του van Eelen, η Αυστριακή «Future Food» και η Ισραηλινή «Modern Agriculture Foundation» (Stephens et al., 2019).

Μία σημαντική στιγμή για το χώρο ήταν το πρώτο συμπόσιο με τον τίτλο «First International In-vitro Meat Symposium» το οποίο πραγματοποιήθηκε τον Απρίλιο του 2008 στο Ινστιτούτο για την έρευνα στα τρόφιμα στη Νορβηγία. Με αρχή αυτό το συμπόσιο ο χώρος άρχισε να οργανώνεται, ιδέες να ανταλλάσσονται και να παίρνει υπόσταση η διεθνής σκηνή για την έρευνα πάνω στο κρέας κυτταροκαλλιέργειας. Ακολούθησε το 2011 το δεύτερο εργαστήριο με τίτλο «In-vitro meat: Possibilities and realities for an alternative future meat source» στη Σουηδία, όπου αποφασίστηκε να χρησιμοποιείται ο όρος «cultured meat» αντί του «in vitro meat» που χρησιμοποιούταν μέχρι τότε. Το πρώτο και επιτυχημένο ακαδημαϊκό συνέδριο, με πάνω από 100 συμμετέχοντες, πραγματοποιήθηκε τον Οκτώβριο του 2015 στο Μάαστριχ της Ολλανδίας, είχε όμως προηγηθεί το πολύ σημαντικό γεγονός της πρώτης παρουσίασης κρέατος κυτταροκαλλιέργειας από τον Mark Post.

Αν και η χρηματοδότηση που είχε λάβει από το Ολλανδικό κράτος είχε λήξει χωρίς αποτέλεσμα, ο Mark Post και η ομάδα του μετά από μία σημαντική συνέντευξη και άρθρο στο περιοδικό «New Yorker», κατάφερε να κερδίσει το ενδιαφέρον ενός ανώνυμου αρχικά δωρητή, προκειμένου να συνεχίσει το ερευνητικό έργο, με το στόχο όμως να παρουσιάσει ένα πραγματικό προϊόν, ως απόδειξη ότι η τεχνολογία δουλεύει στην πράξη (Specter, 2011). Χρειάστηκαν 3 μήνες για την παραγωγή 10.000 μυϊκών ινών κρέατος κυτταροκαλλιέργειας, οι οποίες προήλθαν από δορυφορικά βλαστοκύτταρα προερχόμενα από τον ώμο μίας αγελάδας (Post, 2014). Το μπιφτέκι που παρασκευάστηκε με κόστος 330.000 δολάρια,

μαγειρεύτηκε και δοκιμάστηκε σε ζωντανή μετάδοση από στούντιο του Λονδίνου και βρέθηκε ότι ήταν «περίπου» σαν ένα συμβατικό (Bhat et al., 2015). Ο δε ανώνυμος δωρητής αποκαλύφτηκε ότι ήταν ο επιχειρηματίας και συνιδρυτής της GOOGLE Sergey Brin. Το γεγονός ότι πλέον υπήρχε απόδειξη της ιδέας, ότι η τεχνολογία μπορεί να παράξει πραγματικά αποτελέσματα, έδωσε νέα ώθηση στο χώρο και προσδιόρισε εκ νέου τους στόχους των εμπλεκόμενων μερών, που πλέον ήταν ξεκάθαρα η εμπορική εκμετάλλευση του νέου τύπου τροφίμου.

Μέσω διάφορων επενδυτικών προγραμμάτων και με τη βοήθεια εταιριών διαχείρισης επενδύσεων, όπως η IndieBio, με έδρα το Σαν Φραντζίσκο, δημιουργήθηκαν και εξελίχθηκαν οι πρώτες εταιρίες του χώρου, όπως η «MEMPHIS MEATS», η «CLARA FOODS», η «FINLESS FOODS» και η «NEW AGE MEATS». Η έρευνα πλέον στο χώρο της τεχνολογίας για την παραγωγή κρέατος κυτταροκαλλιέργειας γίνεται κυρίως στις εταιρίες που έχουν δημιουργηθεί για το σκοπό αυτό, η κάθε μία αναπτύσσει το δικό της τρόπο παραγωγής, χωρίς να δημοσιεύονται ακριβή στοιχεία εκ μέρους τους, κάποιες έχουν παρουσιάσει κάποια πρωτότυπα προϊόντα, ωστόσο καμία ακόμα δεν έχει καταφέρει να παρουσιάσει ένα μοντέλο για παραγωγή μεγάλης κλίμακας που να είναι οικονομικά και εμπορικά βιώσιμο (Stephens et al., 2019). Οι βασικότερες εταιρίες που δραστηριοποιούνται σήμερα στο χώρο, εκτός από τις προαναφερθείσες, είναι οι Αμερικανικές «EAT JUST» και «MODERN MEADOW», που εκτός από κρέας ερευνά και την παραγωγή δέρματος κυτταροκαλλιέργειας και οι Ισραηλινές «ALEPH FARMS», «SUPER MEAT», «MEAT THE FUTURE» και «FUTURE MEAT TECHNOLOGIES». Οι «ALEPH FARMS» και «MOSA MEAT» έχουν στόχο την είσοδο στην αγορά κρέατος εντός του 2022 και μεταξύ άλλων υποστηρίζονται οικονομικά και επικοινωνιακά από τον Leonardo Di Caprio, ενώ η «UPSIDE FOODS», πρώην «MEMPHIS MEATS», υποστηρίζεται σημαντικά μεταξύ άλλων από τον Bill Gates.

Η τελευταία εξέλιξη στο χώρο, είναι η αδειοδότηση από την κυβέρνηση της Σιγκαπούρης, για την διάθεση στην αγορά, ενός προϊόντος κοτόπουλου από κρέας κυτταροκαλλιέργειας, που εξασφάλισε η «EAT JUST» και η μετέπειτα πώλησή του μέσω του εστιατορίου «1880» της Σιγκαπούρης, τον Δεκέμβριο του 2020 σε πελάτες του εστιατορίου (Saini, 2021).

3. Μέθοδος Παραγωγής

Ο στόχος της έρευνας για την παραγωγή κρέατος κυτταροκαλλιέργειας, είναι η ανάπτυξη μεθόδων, που θα οδηγήσουν στην επιτυχή και οικονομικά βιώσιμη βιομηχανική παραγωγή ενός προϊόντος, που θα έχει την πραγματική δομή, υφή και γεύση ενός συμβατικού κομματιού κρέατος. Αυτό απαιτεί ένα πολύπλοκο σύστημα που περιέχει πολλαπλούς τύπους κυττάρων, που αναπτύσσονται με οργανωμένο τρόπο και μια δομή που θα χρειάζεται ένα δίκτυο αιμοφόρων αγγείων για να παρέχει τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά σε όλα τα κύτταρα. Ένας πιο απλοϊκός και επιτεύξιμος στόχος είναι η παραγωγή μυϊκής πρωτεΐνης, με βάση μόνο τα μυϊκά κύτταρα, με παράλληλη προσθήκη λιποκυττάρων και επεξεργασία τους σε ένα προϊόν συγκόπτου κρέατος (Post et al., 2020).

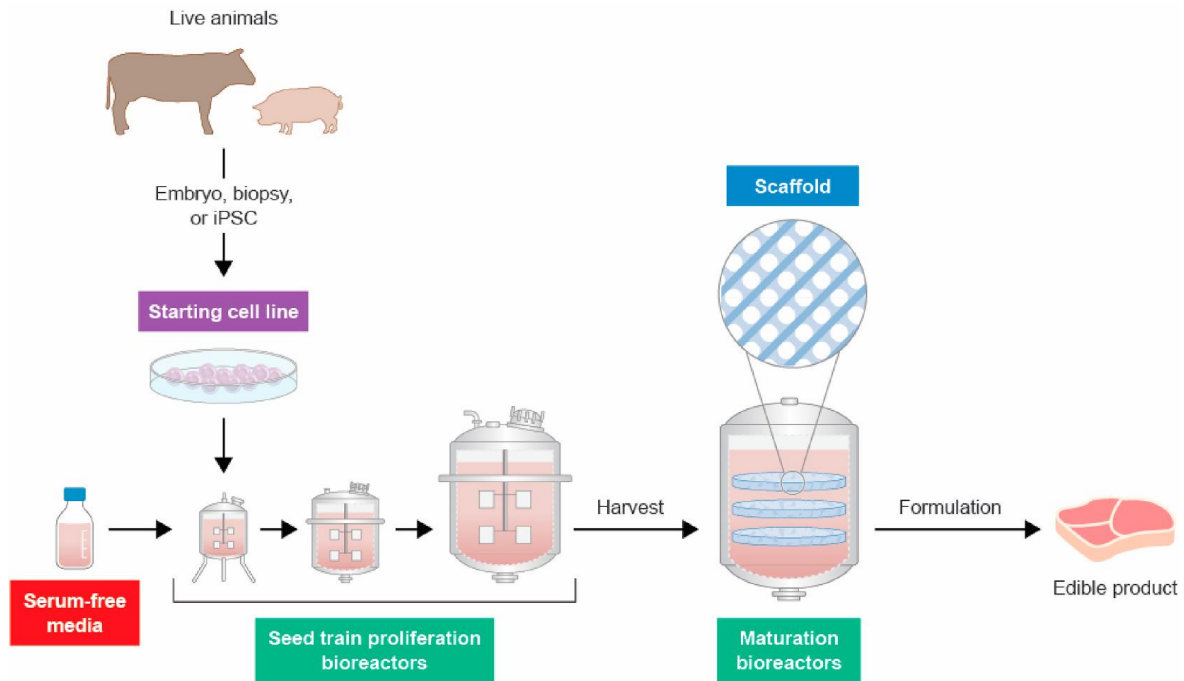
Η μέθοδος παραγωγής του κρέατος κυτταροκαλλιέργειας περιλαμβάνει μία σειρά από βήματα (Εικόνα 3), που με μικρές διαφοροποιήσεις είναι η βάση για την ανάπτυξη περαιτέρω διαδικασιών και πιο εξειδικευμένων τρόπων για παραγωγή διαφοροποιημένων προϊόντων. Η παραγωγή ξεκινάει με την επιλογή των κατάλληλων κυττάρων που θα αποτελέσουν την αρχική καλλιέργεια. Στη συνέχεια αυτά τα κύτταρα θα πολλαπλασιαστούν και θα μετασηματιστούν προς μυϊκό ιστό, αυξανόμενα συνεχώς σε αριθμό και μέγεθος. Αυτό το βήμα θα πρέπει να γίνει σε κατάλληλους βιοαντιδραστήρες, χρησιμοποιώντας κατάλληλο μέσο καλλιέργειας, θρεπτικά συστατικά, αυξητικούς παράγοντες και κάποιο πλέγμα στήριξης ή άλλο τρόπο προκειμένου να βοηθηθεί η ανάπτυξή τους. Το τελικό αποτέλεσμα είναι λεπτά φύλλα από μυϊκό ιστό που μπορούν να απλωθούν και να τοποθετηθούν το ένα πάνω στο άλλο για να αποκτήσουν τρισδιάστατη δομή (Chen et al., 2022).

Μια εναλλακτική μέθοδος δημιουργίας ενός τρισδιάστατου προϊόντος είναι η επέκταση του όγκου ενός μοσχεύματος μυϊκού ιστού ζωικής προέλευσης. Οι Benjaminson, Gilchrist και Lorenz (Benjaminson et al., 2002) μπόρεσαν να επεκτείνουν την επιφάνεια ενός μοσχεύματος ψαριού με ανάπτυξη σε ένα μέσο καλλιέργειας. Αυτή η μέθοδος ωστόσο αντιμετωπίζει περιορισμούς διάχυσης και είναι απίθανο να λειτουργήσει σωστά σε μεγάλης κλίμακας παραγωγή. Επιπλέον απαιτεί τη χρήση ολόκληρων ιστών ως αρχική καλλιέργεια και όχι μόνο κυττάρων, προβληματίζοντας για την εξασφάλισή τους.

Τα βασικά στάδια για την παραγωγή είναι τα εξής:

- Επιλογή και προετοιμασία αρχικών κυττάρων.
- Επιλογή κατάλληλου μέσου καλλιέργειας και λοιπών συστατικών.

- Επιλογή κατάλληλου δικτύου στήριξης και συνδυασμό του με τα επιλεγμένα κύτταρα, το μέσο καλλιέργειας και τον βιοαντιδραστήρα.
- Επιλογή και διάταξη βιοαντιδραστήρα και συνθηκών καλλιέργειας.



Εικόνα 3. Η μέθοδος της παραγωγής κρέατος κυτταροκαλλιέργειας ξεκινώντας από τα κύτταρα έως το τελικό δομημένο προϊόν κρέατος (Chen et al., 2022).

3.1. Επιλογή αρχικών κυττάρων

Η επιλογή των αρχικών κυττάρων αποτελεί το πρώτο βήμα για την παραγωγή του κρέατος κυτταροκαλλιέργειας. Αν και το κρέας ως τροφή συνιστά ένα σύνθετο μίγμα από διάφορα είδη ιστών, το μεγαλύτερο ποσοστό αποτελείται από μυϊκό και λιπώδη ιστό [Για ένα τυπικό χάμπουργκερ υπολογίζεται 87,5% μυϊκός και 12,5% λιπώδης ιστός (Afshari et al., 2017)]. Ως επακόλουθο, ο αρχικός πληθυσμός κυττάρων που θα επιλεγεί θα πρέπει να έχει την ικανότητα να πολλαπλασιαστεί και να διαφοροποιηθεί προς δημιουργία μυϊκών ινών και λιποκυττάρων. Το κυριότερο είδος κυττάρων που μπορούν να καλλιεργηθούν προς μυϊκό ιστό είναι τα δορυφορικά βλαστοκύτταρα. Άλλες επιλογές αποτελούν τα μεσεγχυματικά βλαστοκύτταρα, τα εμβρυικά βλαστοκύτταρα και τα επαγόμενα πολυδύναμα βλαστοκύτταρα (Kadim et al., 2015). Η απόκτηση αυτών των κυττάρων μπορεί να γίνει είτε με την απευθείας συλλογή τους από ζώα δότες με μία μέθοδο βιοψίας, είτε μέσω κυτταρικών σειρών (Stephens et al., 2018).

Οι κυτταρικές σειρές αναφέρονται σε γενιές κυττάρων που προέρχονται από μία υποκαλλιέργεια και μπορούν να τροποποιηθούν, είτε με γενετική είτε με χημική μέθοδο,

αποκτώντας αθανασία, ώστε να μπορούν να πολλαπλασιάζονται πρακτικά απεριόριστα (Ramboer et al., 2014). Ένας άλλος τρόπος για τη δημιουργία τους είναι μέσω αυθόρμητων μεταλλάξεων και εν συνεχεία επιλογή των κυττάρων αυτών που θα επιδείξουν αθανασία για περαιτέρω καλλιέργεια. Αν και η επιλογή τέτοιων συνεχών σειρών θα μείωνε την ανάγκη για συλλογή νέων ζωικών ιστών σε τακτά χρονικά διαστήματα, η χρήση τους παρουσιάζει κάποια προβλήματα, όπως οι ιδιαιτερότητες της υποκαλλιέργειας και των περασμάτων των κυττάρων που απαιτεί η προετοιμασία τους, η συσσώρευση μεταλλάξεων, η δυσκολία ταυτοποίησης και η πιθανότητα μόλυνσης (G. Zhang et al., 2020). Επιπλέον, μπορεί αυτές οι σειρές να μην αντιπροσωπεύουν πλέον τον αρχικό δότη, καθώς συνεχώς εξελίσσονται και να παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις σε παραμέτρους όπως η ταχύτητα ανάπτυξης (Stephens et al., 2018).

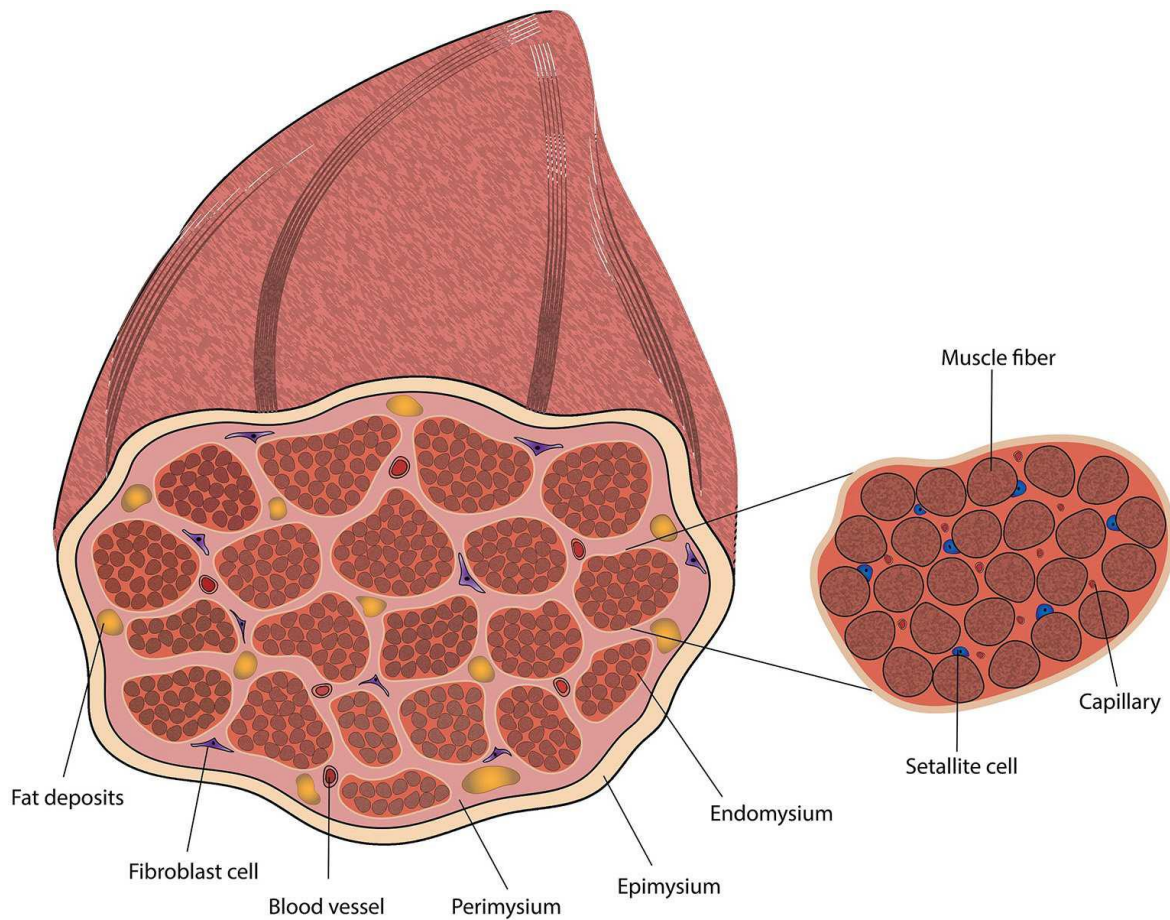
Για την συλλογή κυττάρων από ιστούς ζώντων ζώων είναι αναγκαία η ανάπτυξη μιας μεθόδου βιοψίας, που θα μπορεί να αποδώσει τον απαραίτητο αριθμό αρχικών κυττάρων για την εκκίνηση της καλλιέργειας. Ανάλογα με το είδος του κυττάρου στόχου, πρέπει να ληφθούν υπόψη διάφορες παράμετροι που αφορούν το σημείο λήψης, την ηλικία του ζώου και την ποσότητα του αρχικού ιστού. Για παράδειγμα, μία λήψη βοδινού μυϊκού ιστού μπορεί να γίνει είτε με βελόνα βιοψίας, είτε με μία μικρή τομή. Στην πρώτη περίπτωση, η ποσότητα που λαμβάνεται είναι γύρω στα 0,5 g., προκαλείται ελάχιστη δυσφορία στο ζώο και γίνεται εύκολα και γρήγορα. Ο αριθμός όμως των κυττάρων μπορεί να μην είναι αρκετός ή αντιπροσωπευτικός. Στη δεύτερη περίπτωση η ποσότητα που λαμβάνεται φτάνει τα 15 g. και είναι πιο ελεγχόμενη, πλην όμως απαιτεί μεγαλύτερους χρόνους και είναι περισσότερο επεμβατική (Melzener et al., 2021).

3.1.1. Μυϊκά δορυφορικά βλαστοκύτταρα

Η ανακάλυψη των δορυφορικών κυττάρων από τον Mauro το 1961, η ταυτοποίησή τους ως τα βλαστικά κύτταρα των σκελετικών μυών και η αναγνώριση της ικανότητάς τους να πολλαπλασιάζονται, να διαφοροποιούνται σε μυοβλάστες και να αυτοοργανώνονται σε μυϊκές ίνες (Mauro, 1961; Seale & Rudnicki, 2000), επέτρεψε ουσιαστικά την καλλιέργειά τους όχι μόνο για ιατρικούς σκοπούς, αλλά και για την παραγωγή κρέατος in vitro.

Τα δορυφορικά βλαστοκύτταρα βρίσκονται περιφερειακά των μυϊκών ινών (εξού και το όνομά τους), ανάμεσα από το σαρκόλημμα και τη βασική μεμβράνη (Εικόνα 4). Προέρχονται από το δερμομυοτόμιο κατά τα αρχικά στάδια ανάπτυξης του εμβρύου και συνεισφέρουν στην αύξηση των μυϊκών ινών κατά τα πρώτα στάδια της βρεφικής ανάπτυξης (Ding et

al., 2018). Στη συνέχεια, ο αριθμός τους μειώνεται σημαντικά και εισέρχονται σε μία φάση αδράνειας. Χαρακτηριστικά, κατά τη γέννηση τα δορυφορικά κύτταρα αποτελούν το 32% των μυϊκών πυρήνων, ενώ στους ενήλικες αυτό το ποσοστό πέφτει στο 5% (Seale & Rudnicki, 2000).



Εικόνα 4. Διάγραμμα σκελετικού μυϊκού ιστού (Ben-Arye & Levenberg, 2019).

Στους ενήλικες, τα δορυφορικά κύτταρα ενεργοποιούνται προκειμένου να ανταποκριθούν σε καταστάσεις τραυματισμού, καταπόνησης ή μυϊκής άσκησης. Κατά την ενεργοποίησή τους εισέρχονται σε φάση συνεχούς αναπαραγωγής και στη συνέχεια διαφοροποίησης προς μυοβλάστες. Οι μυοβλάστες πολλαπλασιάζονται ταχύτατα και διαμορφώνουν ατρακτοειδή μυϊκά κύτταρα τα οποία συνενώνονται με τις μυϊκές ίνες κατά την επιδιόρθωση του μυϊκού τραύματος (Post et al., 2020). Παράλληλα, τα δορυφορικά κύτταρα μέσω του μηχανισμού της ασύμμετρης διαίρεσης αναπληρώνουν τον αρχικό πληθυσμό τους, ο οποίος παραμένει σε ετοιμότητα για την αντιμετώπιση πιθανών νέων τραυματισμών (Seale & Rudnicki, 2000).

Η χρήση των δορυφορικών κυττάρων για τη καλλιέργεια κρέατος προϋποθέτει την επιτυχή συλλογή τους από το ζώο δότη, την αναπαραγωγή τους σε μεγάλους αριθμούς και

την διαφοροποίησή τους σε μυοβλάστες. Η απομόνωσή τους από τον μυ που έχει συλλεχθεί με τη μέθοδο της βιοψίας, επιτυγχάνεται μέσω ενός συνδυασμού μηχανικής και ενζυμικής επέμβασης, ώστε να απελευθερωθούν από το σαρκόλημμα (Post, 2014). Έχουν επιτευχθεί απομονώσεις δορυφορικών κυττάρων από διάφορα είδη, όπως βοοειδή, αιγοπρόβατα, όρνιθες, ιχθύες και χοίροι (Kadim et al., 2015).

Κάθε πληθυσμός δορυφορικών κυττάρων κληρονομεί την ικανότητά του να μετασχηματίζεται σε μυϊκά κύτταρα από τον μυ προέλευσής του, οπότε έχει ιδιαίτερη σημασία η επιλογή όχι μόνο του ζώου, αλλά ακόμα της ράτσας και του ιστού στόχου (Post et al., 2020). Η ηλικία του ζώου παίζει επίσης ρόλο στον αριθμό και την ποιότητα των δορυφορικών κυττάρων, καθώς όπως προαναφέρθηκε, ο αριθμός τους μειώνεται με την αύξηση της ηλικίας. Επιπλέον, τα δορυφορικά κύτταρα των νέων ζώων έχουν υποστεί λιγότερες διαιρέσεις από ότι των μεγαλύτερων, κάτι που έχει αντίκτυπο στην ικανότητα αναπαραγωγής τους *in vitro*. Το φύλο του ζώου φαίνεται να επηρεάζει την ανάπτυξη και αναπαραγωγή των δορυφορικών κυττάρων και *in vitro*, καθώς τα αρσενικής προέλευσης θα δημιουργήσουν μεγαλύτερους σε μέγεθος μύες. Τέλος οι πληθυσμοί των δορυφορικών κυττάρων φαίνεται να είναι μεγαλύτεροι στους μύες βραδείας συστολής από ότι στους μύες ταχείας συστολής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να προτιμώνται για βιοψία ιστοί που προέρχονται από ζώα με μεγαλύτερη αναλογία σε μύες βραδείας συστολής. Όσον αφορά τα βοοειδή, τέτοιοι ιστοί βρίσκονται συνήθως στους μύες της σπάλας, σε ζώα που τρέφονται με πίτουρα σε συνθήκες ελεγχόμενης εκτροφής (Melzener et al., 2021).

Αν και η δυνατότητα των δορυφορικών κυττάρων να διαφοροποιούνται σε μυοβλάστες που τελικά θα σχηματίσουν μυϊκές ίνες είναι δεδομένη, προβλήματα παρουσιάζονται από την χαμηλή δυνατότητα πολλαπλασιασμού τους *in vitro*, καθώς μετά από κάποιον αριθμό διπλασιασμών, αρχίζουν σταδιακά να χάνουν αυτή την ικανότητα. Η καλλιέργειά τους σε βιομηχανικό επίπεδο θα απαιτούσε την διατήρησή τους στη βλαστική τους μορφή για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο διάστημα, κατά το στάδιο του πολλαπλασιασμού. Αν υπολογιστεί ότι από μία βιοψία των 0,5 g μπορούν να απομονωθούν γύρω στα 10.000 δορυφορικά κύτταρα, τότε αυτά θα πρέπει να παρουσιάσουν μία δυνατότητα για 30-40 διπλασιασμούς προκειμένου να αποδώσει η καλλιέργεια σε βιομηχανική κλίμακα (Post et al., 2020). Το όριο αυτό βρίσκεται κάτω από το όριο των 50 διπλασιασμών που έχει τεθεί από την έρευνα του Hayflick το 1961 πάνω στον διπλασιασμό των κανονικών βλαστοκυττάρων, οπότε είναι θεωρητικά εφικτό (Hayflick, 1979). Προκειμένου να επιτευχθεί μία ικανότητα αυτού του επιπέδου, θα

πρέπει να βελτιωθεί το υφιστάμενο επίπεδο καθαρότητας της αρχικής καλλιέργειας, καθώς και να βρεθούν τρόποι ώστε να επιμηκυνθεί η φάση της αναπαραγωγής. Για την αύξηση της καθαρότητας της αρχικής καλλιέργειας, θα πρέπει να υπάρξει κατάλληλος χαρακτηρισμός της έκφρασης δεικτών κυτταρομετρίας ροής για το είδος του δότη των δορυφορικών κυττάρων, καθώς οι μόνοι καλά εκφρασμένοι δείκτες σήμερα αφορούν αποκλειστικά κύτταρα ανθρώπου και ποντικού (Ding et al., 2018). Όσον αφορά την διατήρηση της βλαστικής μορφής των κυττάρων, έχει μελετηθεί η επίδραση αναστολέων (SB203580) στις ενεργοποιούμενες από μιτογόνα πρωτεϊνικές κινάσες (Mitogen-Activated Protein Kinases/MAPKs) p38-MAPK. Κατά την φάση του πολλαπλασιασμού, έχει παρατηρηθεί η ενεργοποίηση της p38-MAPK στα δορυφορικά κύτταρα και η παράλληλη μείωση της έκφρασης του γονιδίου PAX-7 που χαρακτηρίζει τη λειτουργία των δορυφορικών κυττάρων (Olguin & Olwin, 2004; Seale et al., 2000). Με τη χρήση των αναστολέων επιτεύχθηκε διατήρηση της έκφρασης του PAX-7 και επιμήκυνση της φάσης του πολλαπλασιασμού, καθώς τα δορυφορικά κύτταρα παρέμειναν στην βλαστική τους μορφή (Ding et al., 2018).

3.1.2. Άλλοι τύποι βλαστοκυττάρων

Μία άλλη επιλογή για τα κύτταρα εκκίνησης αποτελούν τα εμβρυικά βλαστοκύτταρα. Τα εμβρυικά βλαστοκύτταρα αποτελούν ένα είδος ολοδύναμων κυττάρων που μπορούν να διαφοροποιηθούν προς κάθε είδος κυττάρου διάφορων ιστών ή οργάνων. Είναι τα κύτταρα που στα πρώτα στάδια ανάπτυξης του εμβρύου θα δώσουν γέννηση στα μεσόδερμα, εξώδερμα και ενδόδερμα γενετικά κύτταρα από τα οποία θα προκύψουν όλοι οι τύποι κυττάρων του οργανισμού. Ως αποτέλεσμα της προέλευσής τους, αυτό το είδος κυττάρων έχουν αυξημένη ικανότητα πολλαπλασιασμού *in vitro*, παρουσιάζουν ωστόσο δυσκολία στην καθοδήγηση της διαφοροποίησής τους προς μυϊκά κύτταρα, που είναι και το ζητούμενο (Bhat et al., 2019).

Τα μεσεγχυματικά βλαστοκύτταρα είναι άλλος ένας τύπος πολυδύναμων κυττάρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Εντοπίζονται κυρίως στον πλακούντα, στον ομφάλιο λώρο και στον μυελό των οστών, μειώνονται όμως με την ηλικία του δότη. Έχουν μεγάλη ικανότητα πολλαπλασιασμού και διαφοροποίησης προς διάφορους τύπους κυττάρων, όπως οστά, χόνδροι, λιποκύτταρα, μυϊκά κύτταρα, ηπατικά, νευρικά και δερματικά (Ben-Arye & Levenberg, 2019). Το πλεονέκτημά τους είναι η μεγαλύτερη ικανότητα πολλαπλασιασμού ακόμα και απουσία ζωικού ορού *in vitro* (Bhat et al., 2019), ενώ μειονεκτούν ως προς το γεγονός ότι είναι δύσκολη η συλλογή τους σε επαρκείς πληθυσμούς.

Τα επαγόμενα πολυδύναμα βλαστοκύτταρα (Induced Pluripotent Stem Cell/ iPSC) μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή κρέατος in vitro καθώς έχουν τη δυνατότητα να επαναδιαφοροποιούνται προς μυϊκά προγονικά βλαστοκύτταρα (Genovese et al., 2017; Mizuno et al., 2010). Τα iPSCs προέρχονται από κύτταρα σωματικού ιστού που επαναπρογραμματίζονται ώστε να επανέλθουν στην βλαστική τους μορφή, μέσω καθοδηγούμενης έκφρασης ενός συνδυασμού μεταγραφικών παραγόντων (Oct3/4, Sox2, Klf4 και c-Myc) (Takahashi & Yamanaka, 2006). Το πλεονέκτημά τους είναι ότι απλοποιούν τη διαδικασία συλλογής του ιστού και είναι εύκολο να παραχθούν, περιλαμβάνουν όμως γενετικές επεμβάσεις, κάτι που θα μπορούσε να περιπλέξει την νομική διαδικασία παραγωγής, αλλά και να έχει επιπτώσεις στην γενικότερη αποδοχή του τελικού προϊόντος (Ben-Arye & Levenberg, 2019).

3.1.3. Λιποκύτταρα

Η καλλιέργεια κυττάρων που θα αποδώσουν λιπώδη ιστό είναι απαραίτητη προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή αναλογία λίπους στο τελικό προϊόν. Τα κύτταρα αυτά προέρχονται κυρίως από τα ολιγοδύναμα μεσεγχυματικά βλαστοκύτταρα που υπάρχουν στους λιπώδης ιστούς (Mehta et al., 2019). Επιπλέον έχουν χαρακτηριστεί κάποιοι πληθυσμοί από ολιγοδύναμα ινολιπώδη βλαστοκύτταρα που βρίσκονται στους μυϊκούς ιστούς και έχουν την ικανότητα να επαναδιαφοροποιούνται προς διάφορες κυτταρικές σειρές και να σχηματίζουν μυϊκούς, χονδρικούς, οστικούς και λιπώδης ιστούς. Η επιτυχημένη χρήση τέτοιων κυττάρων θα επέτρεπε την παράλληλη καλλιέργεια μυϊκού και λιπώδους ιστού από μία και μόνο βιοψία, απλοποιώντας την διαδικασία (Melzener et al., 2021).

3.2. Επιλογή μέσου καλλιέργειας

Η επιλογή του κατάλληλου μέσου καλλιέργειας είναι ίσως το πιο σημαντικό βήμα στην αριστοποίηση της διαδικασίας παραγωγής, καθώς για μία παραγωγή βιομηχανικής κλίμακας θα απαιτηθεί να διατίθεται σε υψηλές ποσότητες. Το μέσο καλλιέργειας πρέπει να παρέχει όλα τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά για τον μεταβολισμό, την ανάπτυξη και τον πολλαπλασιασμό των κυττάρων (Brunner et al., 2010). Θα πρέπει να είναι οικονομικό, κατάλληλο για παρασκευή τροφίμου, άμεσα διαθέσιμο σε επαρκείς ποσότητες και αποτελεσματικό στο να προάγει την ανάπτυξη και διαφοροποίηση μυϊκών κυττάρων (Danoviz & Yablonka-Reuveni, 2012). Τα σύγχρονα μέσα που χρησιμοποιούνται για καλλιέργειες κυττάρων θηλαστικών, περιορίζονται σε εργαστηριακές ανάγκες για ερευνητικούς σκοπούς, είναι κυρίως ζωικής προέλευσης και το κόστος τους είναι απαγορευτικό για τη χρήση τους στην παραγωγή

κυτταροκαλλιιεργειών μεγάλης κλίμακας (Bhat et al., 2019). Αν και η κατεύθυνση της έρευνας στρέφεται προς την παραγωγή εξ ολοκλήρου συνθετικών μέσωσ καλλιέργειας, οι τρέχουσες φόρμουλες παρασκευής δεν έχουν καταφέρει να επιτύχουν την αντίστοιχη με τα ζωικής προέλευσης επίδοση και τα περιθώρια βελτίωσης σε αυτό το πεδίο θα επηρεάσουν άμεσα την παραγωγή του κρέατος in vitro (G. Zhang et al., 2020).

Το μέσο που θα χρησιμοποιηθεί στην φάση του πολλαπλασιασμού των βλαστοκυττάρων είναι κατά κανόνα διαφορετικό από το μέσο που θα προκαλέσει και θα συντηρήσει την διαφοροποίηση των κυττάρων, καθώς οι μεταβολικές ανάγκες αλλάζουν, από την χρήση άμεσης πηγής ενέργειας έως την παραγωγή εξειδικευμένων πρωτεϊνών (Post et al., 2020). Γενικά, ένα μέσο πλούσιο σε ορό απαιτείται κατά τη φάση της ανάπτυξης, ενώ αντίθετα ένα μέσω φτωχό σε ορό κατά τη φάση της διαφοροποίησης (Kadim et al., 2015).

3.2.1. Βασικές ανάγκες κυττάρων

Οι βασικές ανάγκες που έχει μία κυτταροκαλλιέργεια για να αναπτυχθεί περιλαμβάνουν μια σειρά από θρεπτικά συστατικά, αυξητικούς παράγοντες, ανόργανα και οργανικά συστατικά, όπως υδατάνθρακες, αμινοξέα, και βιταμίνες (M. Agora, 2013).

Όλα τα κύτταρα έχουν ανάγκη από 12 απαραίτητα αμινοξέα: αργινίνη, κυστίνη, ισολευκίνη, λευκίνη, λυσίνη, μεθειονίνη, φαινυλαλανίνη, θρεονίνη, τρυπτοφάνη, ιστιδίνη, τυροσίνη και βαλίνη. Επιπλέον, η γλουταμίνη είναι ένα ακόμα συστατικό που παίζει σπουδαίο ρόλο στο κύτταρο κατά την διαδικασία του μεταβολισμού, καθώς το άζωτο που περιέχει δεν είναι μόνο η πηγή της πουρίνης και πυριμιδίνης του νουκλεϊκού οξέος, αλλά και το απαραίτητο συστατικό για τη σύνθεση των τρι – δι – μονοφωσφορικών γλυκοσιδίων (Yang & Xiong, 2012).

Η τροφοδοσία με κάποια εξόζη είναι απαραίτητη ως πηγή ενέργειας για τα κύτταρα, καθώς και για την σύνθεση κάποιων συστατικών. Την υψηλότερη πρόσληψη παρουσιάζει η γλυκόζη, ενώ την χαμηλότερη η γαλακτόζη.

Οι βιταμίνες παίζουν σημαντικό ρόλο στις διαδικασίες του μεταβολισμού, είτε ως συνένζυμα, είτε ως προσθετικές ομάδες. Η βιοτίνη (B₇), το φυλλικό οξύ (B₉), το νικοτιναμίδιο (B₃), το παντοθενικό οξύ (B₅), η πυριδοξίνη (B₆), η ριβοφλαβίνη (B₂), η θειαμίνη (B₁) και η κοβαλαμίνη (B₁₂) είναι κοινά συστατικά ενός μέσου καλλιέργειας.

Επιπλέον, η ανάπτυξη των κυττάρων χρειάζεται την παρουσία κάποιων ανόργανων συστατικών και ιχνοστοιχείων όπως: ιόντα νατρίου, καλίου, ασβεστίου και μαγνησίου,

άζωτο, φώσφορο, μολυβδαίνιο, βανάδιο, σίδηρο, ψευδάργυρο, σελήνιο, χαλκό και μαγγάνιο (Yang & Xiong, 2012).

Προκειμένου να υπάρχει ανάπτυξη της κυτταροκαλλιέργειας, είναι απαραίτητη η παρουσία κάποιων ορμονών, όπως αυξητικοί παράγοντες και σωματομεδίνες. Διαφορετικές ορμόνες έχουν διαφορετική επίδραση και σε διαφορετικά κύτταρα, καθώς κάποιες προάγουν τον πολλαπλασιασμό, άλλες την κατανάλωση γλυκόζης (όπως η ινσουλίνη), και άλλες την ανάπτυξη.

Τέλος είναι εξίσου σημαντικό το μέσο της κυτταροκαλλιέργειας να παρέχει σταθερές και ελεγχόμενες συνθήκες pH και ωσμωτικής πίεσης. Τα κύτταρα αναπτύσσονται καλύτερα σε ισοτονικό περιβάλλον και μία ωσμωτική πίεση 260-320 mOsm/kg είναι βέλτιστη για τα κύτταρα θηλαστικών (M. Aroga, 2013). Το βέλτιστο pH για την καλλιέργεια κυττάρων είναι 7,2 – 7,4 και το μέσο θα πρέπει να διαθέτει κάποια ρυθμιστική ικανότητα, καθώς το CO₂ που παράγεται από τον μεταβολισμό των κυττάρων μπορεί να σχηματίσει ανθρακικό οξύ που θα μειώσει το pH (Yang & Xiong, 2012).

3.2.2. Βασικό μέσο καλλιέργειας

Το σύνηθες μέσο καλλιέργειας κυττάρων για εργαστηριακές ανάγκες αποτελεί ο φυσικός ζωικός ορός, ο οποίος είναι πλούσιος σε θρεπτικά συστατικά και επιπλέον περιέχει τις απαραίτητες ορμόνες για ανάπτυξη. Συνήθως χρησιμοποιείται εμβρυϊκός βόειος ορός (Fetal Bovine Serum – FBS) που είναι ανώτερος του ορού μόσχου ή νεογέννητου μόσχου. Ακόμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ορός αλόγου ή εκχύλισμα εμβρύου κοτόπουλου. Ο FBS θα πρέπει να προστίθεται συνήθως σε ποσοστό 10% – 20% σε ένα συνθετικό βασικό μέσο καλλιέργειας, καθώς είναι ένα πρόσθετο που περιέχει 200 – 400 διαφορετικές πρωτεΐνες και χιλιάδες μικρού μοριακού βάρους μεταβολίτες σε ακαθόριστες συγκεντρώσεις, που είναι δύσκολο να αντικατασταθούν (Post et al., 2020).

Ένα συνθετικό μέσο υπερέρχει του φυσικού στο ότι έχει σταθερή και ελεγχόμενη σύσταση. Περιέχει τη βάση για την καλλιέργεια κυττάρων σε εργαστήριο, και το πιο απλό περιλαμβάνει ανόργανα άλατα, αμινοξέα απαραίτητα και μη απαραίτητα, βιταμίνες, γλυκόζη και ρυθμιστές pH. Τα δύο πιο κοινά μέσα για καλλιέργεια κυττάρων θηλαστικών είναι το «Eagle's minimal essential medium (MEM)» και το «Dulbecco's modified Eagle's medium (DMEM)». Επιπλέον είναι κοινή πρακτική η προσθήκη αντιβιοτικών, όπως πενικιλίνη και στρεπτομυκίνη, για την παρεμπόδιση ανάπτυξης βακτηρίων και μυκήτων (Stephens et al., 2018).

Ο φυσικός ορός εκτός από πρωτεΐνες, περιέχει θρεπτικά συστατικά, ιχνοστοιχεία, αυξητικούς παράγοντες, ορμόνες και παράγοντες προσκόλλησης για την σταθεροποίηση των κυττάρων (G. Zhang et al., 2020). Όλα τα παραπάνω συμβάλλουν τόσο στην προστασία και επιβίωση της κυτταροκαλλιέργειας, όσο και στην υποκίνηση του πολλαπλασιασμού και της διαφοροποίησης των κυττάρων. Ωστόσο εξαιτίας της πολυπλοκότητας της σύνθεσης του φυσικού ορού, είναι άγνωστο το ποιοι ακριβώς παράγοντες και σε τι αναλογίες, είναι υπεύθυνοι για την ανάπτυξη της κυτταροκαλλιέργειας (Bhat et al., 2019).

Πέραν του κόστους, που είναι απαγορευτικό για την χρήση του FBS σε μεγάλης κλίμακας παραγωγές, ένα άλλο μειονεκτήματα αποτελεί η μη σταθερή και συνεπής σύσταση. Κάθε παρτίδα διαφέρει από τις υπόλοιπες και η διαφοροποίηση των συστατικών έχει ως αποτέλεσμα την ανάγκη για εκ νέου προσαρμογή της καλλιέργειας, κάθε φορά που προστίθεται νέος ορός. Επιπλέον, ο φυσικός ορός παρουσιάζει την πιθανότητα να είναι μολυσμένος από παθογόνους μικροοργανισμούς ή ιούς, λόγω της προέλευσής του, γεγονός που θα οδηγήσει σε επιμόλυνση και πιθανή καταστροφή όλης της κυτταροκαλλιέργειας (Jairath et al., 2021; Kadim et al., 2015).

3.2.3. Εναλλακτικά μέσα χωρίς ζωικό ορό

Εκτός από τα παραπάνω μειονεκτήματα, η χρήση του FBS έστω και σαν ποσοστό σε ένα συνθετικό μέσο, έχει σοβαρές ηθικές προεκτάσεις στην εφαρμογή της, κατά την παραγωγή του κρέατος κυτταροκαλλιέργειας. Το ηθικό πλεονέκτημα του κρέατος κυτταροκαλλιέργειας είναι η παραγωγή χωρίς την χρήση ζώων, κάτι που έρχεται σε άμεση αντίθεση με την εφαρμογή φυσικού ορού, ο οποίος προέρχεται από έμβρυα, νεογέννητα ή νεαρά βοοειδή. Επιπλέον, η ανάπτυξη μίας βιομηχανίας κρέατος κυτταροκαλλιέργειας θα έχει ανάγκη από τεράστιες ποσότητες μέσου καλλιέργειας, κάτι που είναι αδύνατο να καλυφθεί από φυσικής προέλευσης ζωικό ορό (Brunner et al., 2010).

Ως εναλλακτική προσέγγιση έχουν αναπτυχθεί κάποια μέσα καλλιέργειας χωρίς ορό, τα οποία περιέχουν όλα τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξη ευκαρυωτικών κυττάρων. Το 2002 κατά την ανάπτυξη εκφυτευμάτων χρυσόψαρου, χρησιμοποιήθηκε εναλλακτικά ως μέσο καλλιέργειας, ορός από εκχύλισμα μανιταριών maitake, ο οποίος είναι πλούσιος σε αμινοξέα, με το αποτέλεσμα να είναι συγκρίσιμο με τη χρήση FBS (Benjaminson et al., 2002). Σύγχρονα εμπορικά διαθέσιμα μέσα καλλιέργειας χωρίς ορό είναι τα Ultroser G, AIM-V, Sericin, FBM, TesR και Essential 8 (Bhat et al., 2019; Kolkmann et al., 2019; Stephens et al., 2018). Ένα μέσο καλλιέργειας χωρίς ορό αποτελείται από ένα βασικό συνθετικό μέσο

καλλιέργειας και κάποια πρόσθετα. Το βασικό συνθετικό μέσο περιέχει τα απαραίτητα αμινοξέα, βιταμίνες, γλυκόζη και ανόργανα άλατα, ενώ οι αυξητικοί παράγοντες και οι πρωτεΐνες εισάγονται ως πρόσθετα. Τα πρόσθετα μπορούν να διαχωρισθούν σε απαραίτητα και ειδικά. Τα απαραίτητα είναι αυξητικοί παράγοντες αναγκαίοι για κάθε κυτταροκαλλιέργεια προκειμένου να αναπτυχθεί και περιλαμβάνουν ορμόνες όπως η ινσουλίνη και πρωτεΐνες όπως η τρανσφερίνη. Τα ειδικά περιλαμβάνουν πρωτεΐνες πρόσδεσης και μεταφοράς όπως η αλβουμίνη, καθώς και παράγοντες πρόσδεσης και σταθεροποίησης των κυττάρων (G. Zhang et al., 2020).

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης μέσων καλλιέργειας χωρίς ορό συνοψίζονται στα εξής (Yang & Xiong, 2012):

- Απεξάρτηση από τη χρήση ζώων για την προμήθεια ορού.
- Ευκολότερες συνθήκες επεξεργασίας, μικρότερη ανάγκη καθαρότητας, μικρότερες πιθανότητες μόλυνσης.
- Γνωστή και ακριβής σύσταση χωρίς διαφοροποιήσεις.
- Συνεπής απόδοση.
- Δυνατότητα για ανάπτυξη εξειδικευμένης σύστασης μέσου, ανάλογα με τον τύπο του κυττάρου για την καλλιέργεια του οποίου προορίζεται.
- Καλύτερος έλεγχος της φυσιολογικής ανταπόκρισης των κυττάρων.

Από τα πρόσθετα σε ένα μέσο καλλιέργειας, οι αυξητικοί παράγοντες είναι ίσως το πιο ουσιώδες κομμάτι για την παραγωγή κρέατος κυτταροκαλλιέργειας. Οι παράγοντες αυτοί ρυθμίζουν μια σειρά από σημαντικές μεταβολικές διαδικασίες συμπεριλαμβανομένων της υποκίνησης πολλαπλασιασμού ή διαφοροποίησης του κυττάρου, ανάλογα με το ποιο σηματοδοτικό μονοπάτι θα ενεργοποιηθούν (Post et al., 2020). Οι πιο κοινοί αυξητικοί παράγοντες που χρησιμοποιούνται για βλαστοκύτταρα είναι: Μορφογενετικές Πρωτεΐνες των Οστών (BMPs), Επιθηλιακοί Αυξητικοί Παράγοντες (EGFs), Ινοβλαστικοί Αυξητικοί Παράγοντες (FGFs), Αγγειακοί Ενδοθηλιακοί Αυξητικοί Παράγοντες (VEGFs), Αυξητικοί Παράγοντες Ινσουλίνης (IGFs), Αιμοπεταλίων (PDGFs) και Ηπατικοί (HGFs). Η παραγωγή και διάθεση αυξητικών παραγόντων σήμερα, έχει τεράστιο κόστος και πραγματοποιείται για την φαρμακοβιομηχανία μέσω μεθόδων cGMPs και για ερευνητικούς σκοπούς. Προκειμένου η χρήση τους να ενσωματωθεί στην παραγωγή κρέατος κυτταροκαλλιέργειας θα πρέπει η έρευνα να επικεντρωθεί γύρω από την ακριβή λειτουργία τους στις μεταβολικές οδούς των μυϊκών κυττάρων, την

ενδεικνυόμενη δοσολογία καθώς και την ασφάλειά τους ως πρόσθετα στην παραγωγή τροφίμων (Post et al., 2020).

3.2.4. Βελτιστοποίηση διαδικασίας – Τελικά χαρακτηριστικά

Για τη βέλτιστη χρήση του μέσου καλλιέργειας κατά την παραγωγή κρέατος κυτταροκαλλιέργειας η σύνθεσή του θα πρέπει να έχει προσδιοριστεί επακριβώς για τον τύπο κυττάρου που θα αφορά η συγκεκριμένη καλλιέργεια, καθώς τα αποτελέσματα διαφοροποιούνται ανάλογα με τη ζωική προέλευση και το είδος του κυττάρου (Jairath et al., 2021). Θα πρέπει να εξεταστούν τεχνικές κατά τις οποίες το μέσο καλλιέργειας θα μπορούσε να προάγει την ταυτόχρονη ανάπτυξη μυϊκών κυττάρων και λιποκυττάρων στον ίδιο βιοαντιδραστήρα, ή ακόμα και την διαφοροποίηση μυοβλαστών προς αδιποκύτταρα (Kadim et al., 2015; Kolkman et al., 2019).

Η ανακυκλοφορία του μέσου καλλιέργειας με τον περιοδικό εμπλουτισμό του σε θρεπτικά συστατικά και την παράλληλη απομάκρυνση των μεταβολικών παραπροϊόντων θα μπορούσε να συμβάλει σημαντικά σε εξοικονόμηση πόρων και στην βελτιστοποίηση της διαδικασίας (H. L. Tuomisto & Mattos, 2011). Παρόμοιες μέθοδοι για ανακύκλωση του μέσου καλλιέργειας έχουν αναπτυχθεί για καλλιέργειες βακτηρίων και αλγών (Lowrey et al., 2015). Επιπλέον, τα κύτταρα κατά την φάση της αναπαραγωγής τους έχουν την δυνατότητα να παράγουν από μόνα τους αυξητικούς παράγοντες, με αποτέλεσμα σε ένα βαθμό να αυτοσυντηρούν τον πολλαπλασιασμό τους. Επομένως οι αλλαγές στο μέσο καλλιέργειας δεν θα πρέπει να είναι στο 100%, αλλά σε ένα μόνο μέρος, προκειμένου να μην χαθούν αυτοί οι παράγοντες των κυττάρων (Kolkman et al., 2019).

Στην αναζήτηση εναλλακτικών και βιώσιμων πηγών για το μέσο καλλιέργειας, η κύρια προσπάθεια επικεντρώνεται κυρίως στα συστατικά που υφίστανται σε μεγαλύτερη ποσότητα, και αυτά είναι τα αμινοξέα και η γλυκόζη. Η γλυκόζη επιπλέον αποτελεί το υπόστρωμα για την παραγωγή των αμινοξέων μέσω διαδικασιών ζύμωσης. Η ίδια η γλυκόζη παράγεται, αρκετά αποτελεσματικά σε βιομηχανικό επίπεδο, μέσω υδρόλυσης φυτικών πρώτων υλών, όπως το άμυλο. Βιομάζα από καλλιέργεια αλγών και βακτηρίων θα μπορούσε να αποδώσει τις απαραίτητες ποσότητες σε αμινοξέα και πρωτεΐνες, συνδέοντας παράλληλα την παραγωγή κρέατος κυτταροκαλλιέργειας με άλλες περιβαλλοντικά βιώσιμες διαδικασίες, όπως η διαχείριση αποβλήτων και η δέσμευση CO₂ από την ατμόσφαιρα (Post et al., 2020). Τα κυανοβακτήρια, ένας ταχέως αναπτυσσόμενος φωτοσυνθετικός οργανισμός η μάζα του οποίου αποτελείται κατά 70% από πρωτεΐνες, καλλιεργείται εύκολα για την παραγωγή

βιομάζας και θα μπορούσε να αποτελέσει την πρώτη ύλη για τα θρεπτικά συστατικά του μέσου για την παραγωγή κρέατος κυτταροκαλλιέργειας (Arshad et al., 2017; Jairath et al., 2021).

Εκτός από τη βελτιστοποίηση της παραγωγής, η σύνθεση του μέσου καλλιέργειας έχει επιπτώσεις και στα τελικά χαρακτηριστικά του προϊόντος, καθώς η τελική ποιότητα του παραγόμενου μυ, επηρεάζεται από τη μεταβολική διαδικασία. Χαρακτηριστικά, κατά τρόπο παρόμοιο με τη φυσική διαδικασία της κατανάλωσης γλυκόζης από τους μυς σε συνθήκες αυξανόμενου στρες, που οδηγεί σε μεταβολές στην ποιότητα του κρέατος, τα ταχέως αναπτυσσόμενα κύτταρα μιας καλλιέργειας, που βρίσκονται στην φάση του πολλαπλασιασμού, μπορεί να καταναλώνουν το 70% της γλυκόζης προς λακτόζη (Post et al., 2020). Επιπλέον η επάρκεια ή όχι του μέσου σε βιταμίνες παίζει ρόλο στην τελική ποιότητα του κρέατος.

Προκειμένου το τελικό προϊόν να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στο συμβατικό κρέας θα πρέπει να έχει εκτός από παρόμοια υφή και γεύση, παρόμοια θρεπτική αξία. Αν δε η θρεπτική του αξία είναι καλύτερη από του συμβατικού κρέατος, θα μπορούσε να ισοσκελίσει κάποια μειονεκτήματα όσον αφορά τα άλλα του χαρακτηριστικά. Επειδή αρκετά από τα θρεπτικά συστατικά που απαντώνται στο συμβατικό κρέας δεν παράγονται από τα κύτταρα κατά την καλλιέργεια, αυτά θα πρέπει να προστίθενται στο μέσο καλλιέργειας. Εκτός από διάφορες βιταμίνες, όπως χαρακτηριστικά η B₁₂, θα πρέπει να προστίθεται και ιόντα σιδήρου προκειμένου να γίνεται βιοδιαθέσιμος ο σίδηρος στα κύτταρα για την παραγωγή της ομάδας της αίμης και στη συνέχεια τη σύνθεση μυοσφαιρίνης (Kadim et al., 2015).

Ο πιο πολλά υποσχόμενος δρόμος για την ανάπτυξη ενός επιτυχούς μέσου καλλιέργειας είναι μέσω αξιοποίησης μεταβολικών μοντέλων και λεπτομερούς ανάλυσης ισοζυγίων ροών κάθε τύπου κυττάρου που ενδιαφέρει την παραγωγή κρέατος *in vitro*. Η ανάπτυξη της βέλτιστης θρεπτικής φόρμουλας για ένα μέσο καλλιέργειας θα επιτευχθεί μέσω της κατάλληλης και ακριβούς κατανόησης της λειτουργικής κατάστασης των κυττάρων σε κάθε στάδιο της παραγωγής.

3.3. Επιλογή δικτύου στήριξης και ανάπτυξης (scaffold)

Εξίσου σημαντικό βήμα με την επιλογή του μέσου καλλιέργειας, αποτελεί η επιλογή του μέσου στήριξης και τα χαρακτηριστικά του δικτύου πάνω στο οποίο θα επιτευχθεί η ανάπτυξη, ο πολλαπλασιασμός και η διαφοροποίηση των κυττάρων. Τα μυϊκά κύτταρα ιδιαίτερα, εξαρτώνται από την προσκόλλησή τους σε κάποιο υπόστρωμα, προκειμένου να αναπτυχθούν σε συνθήκες που προσομοιάζουν το φυσικό τους περιβάλλον (Edelman et al., 2005).

Οι δύο πιο μελετημένες προτάσεις για την παραγωγή κρέατος κυτταροκαλλιέργειας αναφέρονται στη χρήση κάποιου είδους δικτύου για την παροχή στήριξης και τη διαμόρφωση του κατάλληλου περιβάλλοντος, προκειμένου να πολλαπλασιαστούν και να διαφοροποιηθούν τα μυϊκά βλαστοκύτταρα. Η πρώτη, αποτελεί πατέντα του Willem Van Eelen από το 1999 και αφορά τη χρήση ενός πλέγματος κολλαγόνου, με το μέσο καλλιέργειας να ανανεώνεται κατά διαστήματα ή να διαρρέει μέσω του πλέγματος (van Eelen et al., 1999). Η δεύτερη, ανήκει στον Vladimir Mironov, ο οποίος την έγραψε για τη NASA και αφορά τη χρήση μικροσφαιριδίων κολλαγόνου πάνω στα οποία οι μυοβλαστοί αναπτύσσονται και διαφοροποιούνται, ενώ βρίσκονται μέσα σε ένα βιοαντιδραστήρα (Bhat et al., 2015).

Ο βασικότερος παράγοντας που θα καθορίσει το είδος του δικτύου στήριξης είναι το αν θα αποτελεί μέρος του τελικού προϊόντος, οπότε και θα πρέπει να είναι και αυτό ασφαλές για κατανάλωση ή να βιοαποικοδομείται, ή αν το τελικό προϊόν θα αφαιρείται όταν θα είναι έτοιμο, ώστε το δίκτυο να επαναχρησιμοποιηθεί σε νέο προϊόν, προς εξοικονόμηση πόρων (Stephens et al., 2018).

3.3.1. Επιθυμητές ιδιότητες δικτύου στήριξης και ανάπτυξης

Το ιδανικό δίκτυο στήριξης για την καλλιέργεια κρέατος θα πρέπει να έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά (Jairath et al., 2021):

- Να διαθέτει μεγάλη επιφάνεια για την επικόλληση και ανάπτυξη των κυττάρων.
- Να είναι εύκαμπτο, ώστε να επιτρέπει την μηχανική τάση και συστολή των καλλιεργούμενων ινών.
- Να επιτρέπει την μέγιστη διάχυση του μέσου καλλιέργειας, ώστε αυτό να φθάνει αποτελεσματικά σε όλα τα κύτταρα.
- Να μπορεί να απομακρυνθεί εύκολα και πλήρως από το τελικό προϊόν.
- Να διαθέτει σκληρότητα και ακαμψία ανάλογη με το είδος κυττάρου που θα καλλιεργηθεί, ώστε να προσομοιάζεται το φυσικό περιβάλλον από όπου προήλθε.
- Να αποτελείται από ασφαλή για ανθρώπινη κατανάλωση υλικά, προερχόμενα από φυσικές, μη ζωικές πηγές.

3.3.2. Είδη δικτύων στήριξης

Ως δίκτυα στήριξης έχουν χρησιμοποιηθεί στην μηχανική ιστών αρκετά συνθετικά, φυσικά και ζωικής προέλευσης βιοϋλικά, για ιατρικούς κυρίως σκοπούς. Για την παραγωγή κρέατος κυτταροκαλλιέργειας, όπου χρησιμοποιούνται κυρίως μυϊκής προέλευσης κύτταρα, τα δίκτυα στήριξης ζωικής προέλευσης, όπως είναι το κολλαγόνο, φαίνεται να αποδίδουν

καλύτερα καθώς προσφέρουν στα κύτταρα μία δομή υποστήριξης, που προσομοιάζει σε μεγάλο βαθμό με το φυσικό τους περιβάλλον (Bhat et al., 2019). Ωστόσο, η χρήση κολλαγόνου και γενικά ζωικής προέλευσης βιοϋλικών δε μπορεί να αποτελεί βιώσιμη λύση για τη βιομηχανία κρέατος κυτταροκαλλιέργειας, καθώς ο στόχος είναι πάντα η αποφυγή χρήσης ζώων στην αλυσίδα της παραγωγής. Επιπλέον, αποτελεί ένα υλικό περιορισμένης παραγωγής, με μεγάλες διαφοροποιήσεις ανά παρτίδα.

Σε αντικατάσταση του κολλαγόνου έχουν προταθεί διάφορα υλικά φυσικής ή συνθετικής προέλευσης. Τα πιο πολλά υποσχόμενα είναι πολυσακχαρίτες όπως η κυτταρίνη, το άμυλο, η χιτίνη, η χιτοζάνη, το υαλουρονικό οξύ, το αλγινικό οξύ, η πουλουλάνη κ.α. (Post et al., 2020). Μια άλλη ομάδα βιοπροϊόντων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν έχουν ως βάση πρωτεΐνες που παράγονται μέσω γενετικής μηχανικής όπως: ινώδες, ζελατίνη, κολλαγόνο, κερατίνη και μετάξι. Οι πολυεστέρες αποτελούν επίσης μία εναλλακτική, είτε πρόκειται για πολύ-υδρόξυ-αλκάνια (PHAs) με φυσική προέλευση, είτε για συνθετικούς πολυεστέρες όπως το πολυγαλακτικό (PLA) και το πολυγλυκολικό οξύ (PGA). Τα υλικά αυτά είναι σε γενικές γραμμές ασφαλή για κατανάλωση και μπορούν να διασπώνται εύκολα μέσω χημικής υδρόλυσης. Το πλεονέκτημα των συνθετικών πολυμερών είναι η σταθερή και ποιοτική παραγωγή, θα πρέπει όμως να διασφαλισθεί ότι είναι κατάλληλα για την προσκόλληση του συγκεκριμένου τύπου κυττάρων. Το μειονέκτημα των περισσότερων εκ των παραπάνω εναλλακτικών του κολλαγόνου είναι η μειωμένη ικανότητα για την λειτουργική πρόσδεση των μυοβλαστών. Οι πολυσακχαρίτες θα μπορούσαν να αποκτήσουν λειτουργικά σημεία πρόσδεσης για τις ιντεγρίνες των κυττάρων μετά από την τροποποίησή τους με πεπτίδια μικρής αλυσίδας (Sandvig et al., 2015). Τέλος γίνεται προσπάθεια για τη χρήση σύνθετων πλεγμάτων φυσικής προέλευσης από φυτά, μύκητες και μικροοργανισμούς, όπως μυκήλια, λιγνίνη, και αποκυτταρωμένα φύλλα.

Η πορώδης πρωτεΐνη σόγιας είναι ένα παράδειγμα νέας προσέγγισης για χρήση ως δίκτυο στήριξης στην καλλιέργεια κρέατος, καθώς αποτελεί ένα φυσικό παραπροϊόν της παραγωγής σογιέλαιου, διαθέσιμο σε χαμηλό κόστος και σε ποσότητες που θα μπορούσαν να καλύψουν την αυξημένη ανάγκη μιας βιομηχανικής παραγωγής. Η ανάγλυφη - πορώδης φύση του υλικού (Εικόνα 5), καθώς και η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, συντελούν στην αυξημένη ικανότητα για προσκόλληση κυττάρων. Επιπλέον, είναι ένα προϊόν πλήρως εδώδιμο που μπορεί να ενσωματωθεί στο τελικό προϊόν, ενώ μπορεί να διατεθεί σε διάφορα μεγέθη και σχήματα προκειμένου να εισαχθεί σε έναν βιοαντιδραστήρα (Ben-Arye et al., 2020).



Εικόνα 5. Δίκτυο στήριξης από πρωτεΐνη σόγιας. Η μπάρα είναι 500 μm (Ben-Arye et al., 2020).

3.3.3. Αρχιτεκτονική δικτύων στήριξης

Προκειμένου τα μυϊκά κύτταρα να αναπτυχθούν και να πολλαπλασιαστούν χρειάζεται να βρεθούν σε μία αρχιτεκτονική δομή που θα προσομοιάζει με το εγγενές φυσικό τους περιβάλλον. Αυτά τα κύτταρα προσκολλώνται και αναπτύσσονται σε μία δομή που μοιάζει με κηρήθρα και ονομάζεται περιμύιο, ενώ κάθε μυϊκή ίνα περιβάλλεται από μαλακό συνδετικό ιστό που ονομάζεται ενδομύιο (Ben-Arye et al., 2020). Το δίκτυο που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να επιτελεί πρωτίστως αυτές τις δύο λειτουργίες, να δρα δηλαδή σαν αντικαταστάτης του μαλακού, άμορφου εξωκυτταρικού πλέγματος του ενδομυίου και επιπλέον, να παρέχει τη μηχανική υποστήριξη της πορώδους δομής του περιμυίου. Η πορώδης δομή ευνοεί την προσκόλληση των κυττάρων σε όλο τον όγκο του δικτύου στήριξης και την εύκολη πρόσβαση του μέσου καλλιέργειας, προκειμένου να αποφευχθεί η νέκρωση.

Η τεχνική αυτή μπορεί να αποδώσει κατασκευάσματα μυϊκών ιστών πάχους μερικών μικρομέτρων (μm), κάτι το οποίο μπορεί να είναι αποδεκτό για την παρασκευή επεξεργασμένου (αλεσμένου) κρέατος, δεν μπορεί όμως να αποδώσει συμπαγής δομές ακατέργαστου κρέατος (Stephens et al., 2018). Προκειμένου να επιτευχθεί η δημιουργία ενός τρισδιάστατου συμπαγούς προϊόντος, είναι απαραίτητη η ανάπτυξη ενός δικτύου αγγείων που θα διατρέχει διαμέσου του υποστηρίγματος και θα παρέχει αυξημένες δυνατότητες διάχυσης των θρεπτικών συστατικών, των αυξητικών παραγόντων και του οξυγόνου. Οι τεχνολογικές προσεγγίσεις για την επίτευξη τρισδιάστατου πλέγματος αγγειώσεων περιλαμβάνουν λιθογραφία, τρισδιάστατη εκτύπωση βιοϋλικών και ανάπτυξη δικτύων στήριξης με αφαιρούμενα καλούπια από πολυμερή (Kolesky et al., 2016; Mohanty et al., 2015).

3.3.4. Μικροφορείς

Η χρήση μικροφορέων για την ανάπτυξη και τον πολλαπλασιασμό των κυττάρων αποτελεί μια προτιμότερη λύση από την ανάπτυξή τους σε συσσωματώματα, ειδικά για τα μυϊκά βλαστοκύτταρα που απαιτούν κάποιο σταθερό σημείο πρόσδεσης. Οι μικροφορείς αποτελούν σφαιρικές πορώδης κατασκευές από υλικά που ευνοούν την πρόσδεση και ανάπτυξη των μυϊκών βλαστικών κυττάρων. Οι μικροφορείς προσφέρουν μία μεγάλη αναλογία επιφάνειας προς όγκο και ενώ τα κύτταρα αναπτύσσονται στην επιφάνειά τους σε ένα δισδιάστατο περιβάλλον, η αιώρηση των μικροφορέων στο μέσο καλλιέργειας οδηγεί σε μία τρισδιάστατη καλλιέργεια, που μπορεί να αναπτυχθεί σε διαφόρων ειδών βιοαντιδραστήρες, προκειμένου να επιτευχθεί παραγωγή βιομηχανικής κλίμακας (Bodiou et al., 2020).

Ένα ακόμα σημαντικό πλεονέκτημα που διαθέτουν οι μικροφορείς είναι ότι τα κύτταρα μπορούν να μεταναστεύσουν και να αναπτυχθούν σε νέους μικροφορείς, που θα εισαχθούν εκ νέου στο μέσο καλλιέργειας, όταν οι προϋπάρχοντες έχουν κορεστεί και η ανάπτυξη έχει μπει σε φάση υστέρησης (Verbruggen et al., 2017). Αυτή η ιδιότητα των κυττάρων μπορεί να εξηγηθεί με δύο πιθανούς μηχανισμούς: Είτε τα κύτταρα αποκολλώνται από τον υπάρχον μικροφορέα και προσδένονται στον νέο, είτε δημιουργούνται γέφυρες μεταξύ των μικροφορέων από τα κύτταρα κατά την τυχαία συνένωσή τους μέσα στον βιοαντιδραστήρα. Σε κάθε περίπτωση η μεταφορά ενός μέρους των μικροφορέων από μία προϋπάρχουσα καλλιέργεια σε έναν αντιδραστήρα με καινούργιους μικροφορείς οδηγεί σε μείωση της φάσης υστέρησης της καλλιέργειας και αύξηση της συνολικής απόδοσης (Bodiou et al., 2020).

Αν και έχουν δοκιμαστεί επιτυχώς στην καλλιέργεια μυϊκών κυττάρων από βοοειδή (Verbruggen et al., 2017), οι μικροφορείς αυτοί ήταν από υλικά μη εδώδιμα. Ιδανικά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν φορείς από εδώδιμα ή βιοδιασπώμενα υλικά. Η «MODERN MEADOW» έχει καταχωρίσει μια πατέντα για την δημιουργία μικροφορέων από τον πολυσακχαρίτη πηκτίνη και το πολυπεπτίδιο καρδοσίνη. Η καρδοσίνη περιέχει τη σειρά αμινοξέων Αργινίνη, Γλυκίνη, Ασπαραγινικό οξύ, ένα μοτίβο που ευνοεί την πρόσδεση των κυττάρων στους μικροφορείς. Τα δύο συστατικά συνδέονται με δισουλφιδικούς δεσμούς και η πηκτίνη με κυσταμίνη παράγουν πηκτίνη-θειοπροπιονυλαμίδιο (PTP). Το αποτέλεσμα είναι ένα τζελ PTP-καρδοσίνης. Το τζελ διαχωρίζεται σε μικροσφαιρίδια, στην επιφάνεια και στους πόρους των οποίων μπορούν να αναπτυχθούν τα κύτταρα. Στην πατέντα της εταιρείας, οι μικροφορείς με τα κύτταρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν βιομελάνι για εκτύπωση σε τρισδιάστατα πλέγματα, καθώς τα επιφανειακά κύτταρα συνενώνονται μεταξύ τους συγκρατώντας

τους μικροφορείς. Το μεγάλο πλεονέκτημα είναι ότι οι μικροφορείς δεν χρειάζεται να απομακρυνθούν και είναι ενσωματωμένοι στο τελικό προϊόν καθώς είναι εδώδιμοι.

3.3.5. Εφαρμογή μηχανικών και ηλεκτρικών ερεθισμάτων

Καθώς το κρέας κυτταροκαλλιέργειας αποτελείται κυρίως από μυϊκές ίνες, θα πρέπει το τελικό προϊόν να προσομοιάζει στον φυσικό μυϊκό ιστό και στην ικανότητά του να παράγει μυϊκή δύναμη, να μπορεί δηλαδή να συστέλλεται και να διαστέλλεται επιτυχημένα. Για την πλήρη ωρίμανση του μυϊκού ιστού απαιτείται να εφαρμοστούν κατά την παραγωγή διάφορα βιοφυσικά ερεθίσματα. Η έλλειψη κίνησης, μπορεί να οδηγήσει σε ατροφία τους μυϊκούς ιστούς και κατά συνέπεια σε χαμηλές αποδόσεις και σε ποιοτικά υποδεέστερο προϊόν (Bhat et al., 2014).

Πολύ σημαντική είναι η ανάπτυξη μεθόδων για την επίτευξη τάσης επί των αναπτυσσόμενων κυττάρων. Οι μυοβλαστοί προκειμένου να αναπτυχθούν σε μία δομή που θα προσομοιάζει τις μυϊκές ίνες, χρειάζεται να υποβάλλονται σε κάποιου είδους μηχανική τάση μέσω του υποστρώματος πάνω στο οποίο βρίσκονται προσκολλημένοι. Προκαλώντας περιοδική διαστολή και συστολή επιταχύνεται η διαφοροποίηση και ευνοείται ο σχηματισμός εύρωστων μυϊκών ινών (Jairath et al., 2021). Η ανάπτυξη πάνω σε μικροσφαιρίδια, όπως έχει αναφερθεί στη μέθοδο του Edelman παραπάνω, μπορεί να συνδυαστεί με υλικά που προκαλούν μεταβολή κατά 10% στην επιφάνειά τους, με μικρές αλλαγές στο pH και στη θερμοκρασία. Τα κύτταρα δέχονται με αυτό τον τρόπο τα κατάλληλα μηχανικά ερεθίσματα, ώστε να προαχθεί η διαφοροποίηση και ο πολλαπλασιασμός τους για τη δημιουργία μυϊκών ινών (Edelman et al., 2005).

Γενικά η επιβολή μηχανικών ερεθισμάτων κατά την καλλιέργεια των μυϊκών ιστών προάγει τον μεταβολισμό των κυττάρων, την έκφραση των γονιδίων και την παραγωγή ενδογενών πρωτεϊνών, ενώ παράλληλα αυξάνει τον πολλαπλασιασμό των κυττάρων, την οργάνωση των μικροϊνών και την παραγωγή εξωκυτταρικού ιστού (Powell et al., 2002). Η παραγωγή πρωτεϊνών είναι πολύ σημαντική, καθώς έτσι παράγεται η μυοσφαιρίνη, που ευθύνεται για το κόκκινο χρώμα του κρέατος και την συγκράτηση σιδήρου (Post et al., 2020).

Αντί για μηχανικά ερεθίσματα η απαραίτητη συστολή και διαστολή των ινών μπορεί να επιτευχθεί και με αντίστοιχα ηλεκτρικά. Η νευρωνική δραστηριότητα άλλωστε είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη των μυϊκών ιστών και με τα ηλεκτρικά ερεθίσματα το περιβάλλον της κυτταροκαλλιέργειας προσομοιάζει το φυσικό περιβάλλον των ιστών (Langelaan et al., 2010). Η ανάπτυξη δικτύων στήριξης με τη μορφή ηλεκτρικά αγώγιμων μικροϊνών έχει

αναφερθεί επίσης ότι οδήγησε στην ανάπτυξη μεγαλύτερων σε μήκος μυϊκών ινιδίων (Jun et al., 2009).

3.3.6. Τεχνικές απομάκρυνσης δικτύου στήριξης

Οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι για την απομάκρυνση του δικτύου στήριξης είναι είτε με μηχανική, είτε με ενζυμική επεξεργασία. Και στις δύο αυτές περιπτώσεις όμως υφίσταται καταπόνηση και εν μέρη καταστροφή των κυτταρικών δομών. Μη καταστρεπτικές μέθοδοι περιλαμβάνουν την χρήση λαμινίνης και τη δράση θερμοευαίσθητων παραγόντων, που καθιστούν το δίκτυο από υδρόφοβο σε υψηλές θερμοκρασίες, υδρόφιλο σε χαμηλές. Στην πρώτη περίπτωση, η λαμινίνη είναι μία πρωτεΐνη πρόσδεσης του εξωκυτταρικού χώρου, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως παράγοντας πρόσδεσης των κυττάρων στο υπόστρωμα (Lam et al., 2009). Στη δεύτερη περίπτωση, επιτυγχάνεται η απελευθέρωση του κυτταρικού προϊόντος σε μορφή λεπτού φύλλου, με τη ψύξη του δικτύου στήριξης, κάτω από το σημείο στο οποίο μεταβάλλεται η διαλυτότητα. Το υλικό με το οποίο θα έχει εμβαπτιστεί το δίκτυο, περιλαμβάνει αμφίφιλα μόρια, που αλλάζουν την διάταξή τους στο χώρο ανάλογα με τη θερμοκρασία, εκθέτοντας ή κρύβοντας κάθε φορά τον υδρόφοβο ή υδρόφιλο χαρακτήρα τους. Οι ελαφρώς υδρόφοβες επιφάνειες υποστηρίζουν την προσκόλληση των κυττάρων στη θερμοκρασία καλλιέργειας, ενώ κάτω από την κρίσιμη για το υλικό θερμοκρασία αυτό γίνεται υδρόφιλο και ενυδατώνεται αποκολλώντας τα κύτταρα (da Silva et al., 2007). Και στις δύο παραπάνω περιπτώσεις, η καλλιέργεια μπορεί να αφαιρεθεί σε μορφή λεπτών φύλλων που αποκολλώνται από το δίκτυο στήριξης και με την συσσώρευση πολλών τέτοιων φύλλων θα μπορούσε να αποδοθεί ένα προϊόν μεγαλύτερου πάχους (Bhat et al., 2019).

3.4. Βιοαντιδραστήρες

Προκειμένου να επιτευχθεί η παραγωγή κρέατος κυτταροκαλλιέργειας σε εμπορική κλίμακα, είναι απαραίτητη η ανάπτυξη κατάλληλων και οικονομικών βιοαντιδραστήρων. Ο ρόλος του βιοαντιδραστήρα είναι να παρέχει στα κύτταρα ένα ελεγχόμενο περιβάλλον, εξασφαλίζοντας τις κατάλληλες συνθήκες θερμοκρασίας, pH, διάθεσης θρεπτικών ουσιών και επιπέδων οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα (Allan et al., 2019). Η διεργασία μπορεί να διαχωριστεί σε τρία διακριτά μέρη, τον κυτταρικό πολλαπλασιασμό, την κυτταρική διαφοροποίηση και τη σύνθεση του τελικού προϊόντος. Παράλληλα θα πρέπει να ληφθούν υπόψη διεργασίες ανακύκλωσης του μέσου καλλιέργειας και απομάκρυνσης των μεταβολικών παραπροϊόντων (Stephens et al., 2018).

3.4.1. Σχεδιασμός και χαρακτηριστικά

Ο σχεδιασμός του αντιδραστήρα εξαρτάται από την επιθυμητή μορφή του τελικού προϊόντος, καθώς και τον επιδιωκόμενο όγκο παραγωγής. Για την παραγωγή προϊόντος αλεσμένου κρέατος οι απαιτήσεις είναι διαφορετικές από ότι για ένα προϊόν με πιο συμπαγή μορφή, και ανάλογα πάντα και με τον τύπο δικτύου στήριξης που θα χρησιμοποιηθεί. Επιπλέον, είναι οικονομικότερη η χρήση μιας σειράς διαφορετικών αντιδραστήρων αυξανόμενου όγκου, κατά τη φάση της αναπαραγωγής των κυττάρων, σε μία διεργασία συνεχούς ακολουθίας ενοφθαλμισμού. Ξεκινώντας από τον αρχικό πληθυσμό των κυττάρων που έχουν συλλεχθεί και είναι της τάξης των 10^4 κυττάρων, η αρχική καλλιέργεια γίνεται σε συνήθη δισκία καλλιέργειας και δοχεία περιστρεφόμενου δίσκου, με την επακόλουθη μεταφορά σε βιοαντιδραστήρες για την επίτευξη τελικού αριθμού κυττάρων γύρω στα 10^{13} , προκειμένου να ακολουθήσει η διαφοροποίηση και η παραγωγή τελικού προϊόντος βάρους έως 1 τόνο (Post et al., 2020). Ενδεικτικά, για την επίτευξη αυτού του αριθμού κυττάρων θα απαιτηθεί ένας βιοαντιδραστήρας χωρητικότητας 5.000 λίτρων (Stephens et al., 2018), ενώ οι συνήθεις δοκιμές σήμερα πραγματοποιούνται σε αντιδραστήρες έως 5 λίτρα (Bhat et al., 2019).

Αν και η χρήση βιοαντιδραστήρων είναι αρκετά διαδεδομένη στη βιοτεχνολογία και μπορούν να αντληθούν δεδομένα από τη βιομηχανία μικροβιακών ζυμώσεων και τη φαρμακοβιομηχανία, οι απαιτήσεις για το κρέας κυτταροκαλλιέργειας είναι διαφορετικές. Στις περισσότερες σύγχρονες βιοτεχνολογικές διεργασίες χρησιμοποιούνται προκαρυωτικά κύτταρα όπως βακτήρια, ή απλά ευκαρυωτικά κύτταρα, όπως ζύμες. Αντίθετα, τα μυϊκά κύτταρα αποτελούν πολυσύνθετα ευκαρυωτικά κύτταρα με αυξημένες λειτουργικές απαιτήσεις και αυστηρά συγκεκριμένο περιβάλλον ανάπτυξης. Επιπλέον, ο όγκος παραγωγής που θα απαιτηθεί προκειμένου να γίνει η τεχνολογία βιώσιμη ξεπερνά τα μέχρι σήμερα δεδομένα και είναι ένας από τους λόγους που καθυστερεί η εμπορική ανάπτυξη του προϊόντος (G. Zhang et al., 2020). Οι μεγαλύτεροι σύγχρονοι αντιδραστήρες κυτταροκαλλιέργειας που χρησιμοποιούνται για παραγωγή πρωτεϊνών για θεραπευτικούς σκοπούς είναι της τάξης των 20.000 λίτρων, αν και αυτοί είναι μικροί σε σχέση με τους μεγαλύτερους αντιδραστήρες μικροβιακών ζυμώσεων που φθάνουν τα 200-2000 m^3 (Allan et al., 2019; G. Zhang et al., 2020).

Τα κύρια χαρακτηριστικά που πρέπει να πληροί ένας βιοαντιδραστήρας για την παραγωγή κρέατος κυτταροκαλλιέργειας είναι τα παρακάτω :

- Να εξασφαλίζει ομοιόμορφη διάχυση ώστε τα θρεπτικά συστατικά και το οξυγόνο να διανέμονται εξίσου σε όλο τον όγκο.

- Να πετυχαίνει υψηλούς ρυθμούς μεταφοράς μάζας μεταξύ του μέσου καλλιέργειας και των κυττάρων.
- Να διατηρεί χαμηλές διατμητικές τάσεις επί των κυττάρων κατά την ανάδευση ή τη διάχυση.
- Να έχει μεγάλο όγκο ώστε να υποστηρίζει τη μέγιστη δυνατή συγκέντρωση κυττάρων ανά μονάδα όγκου.
- Να έχει χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.

Το μέγεθος και ο τύπος του βιοαντιδραστήρα αλλά και διάφοροι τεχνικοί παράγοντες, όπως ο τρόπος ανακύκλωσης μέσου και ο αριθμός των αντιδραστήρων σε σειρά εξαρτώνται από την τελική επιθυμητή πυκνότητα κυττάρων που θα παραχθούν. Άλλωστε η τελική πυκνότητα που θα επιτευχθεί αποτελεί το μέτρο σύγκρισης για την αποδοτικότητα του συστήματος. Καθώς ο κάθε τύπος βιοαντιδραστήρα μπορεί να επιτύχει πυκνότητες μέχρι κάποιο δεδομένο όριο, μπορεί να υπολογιστεί ο απαιτούμενος όγκος ανά τύπο βιοαντιδραστήρα για την παραγωγή βιομάζας συγκεκριμένης μάζας. Μερικά παραδείγματα για την παραγωγή τελικού προϊόντος μάζας 1 kg είναι ως εξής (Allan et al., 2019; Ellis et al., 2005):

- Για εργαστηριακά φιαλίδια περιστρεφόμενου δίσκου: 2.900 λίτρα
- Για δοχεία πλήρους ανάδευσης: 570 λίτρα
- Για βιοαντιδραστήρες σταθερής κλίνης: 110 λίτρα.
- Για βιοαντιδραστήρες ρευστοποιημένης κλίνης: 48 λίτρα
- Για βιοαντιδραστήρες κοίλων ινών: 1,4 λίτρα

Οι παραπάνω όγκοι αποτελούν το μέγεθος του αντιδραστήρα που πρέπει να χρησιμοποιηθεί και δεν αφορούν τον συνολικό όγκο του χρησιμοποιούμενου μέσου καλλιέργειας.

3.4.2. Είδη βιοαντιδραστήρων

Εκτός από τα παραπάνω, ο σχεδιασμός του αντιδραστήρα θα εξαρτηθεί και από τη μέθοδο λειτουργίας, αν δηλαδή θα γίνεται συνεχής λειτουργία, κατά παρτίδες, ή ανατροφοδοτούμενη λειτουργία κατά παρτίδες. Επίσης σχεδιαστικά, η φάση του πολλαπλασιασμού των βλαστοκυττάρων και η φάση της διαφοροποίησής τους σε ιστούς και η επακόλουθη αύξηση των ιστών απαιτούν συνήθως διαφορετικούς αντιδραστήρες, καθώς χαρακτηρίζονται από διαφορετικές συνθήκες. Για μεγάλης κλίμακας παραγωγή η συνεχής διεργασία ή η ανατροφοδοτούμενη διεργασία κατά παρτίδες αποτελούν τις καλύτερες λύσεις και οι περισσότεροι βιοαντιδραστήρες εναρμονίζονται με αυτές τις παραμέτρους.

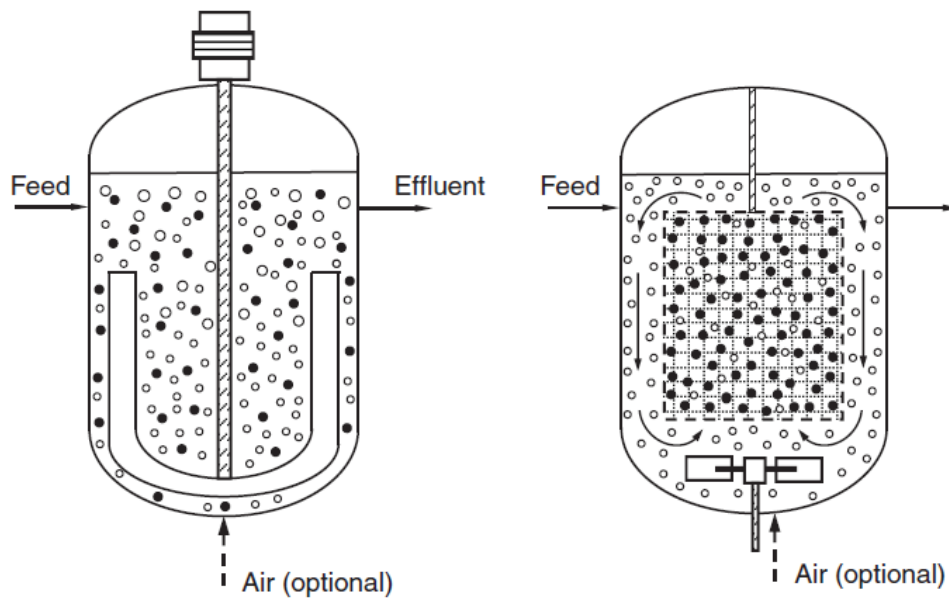
Τα κυριότερα είδη βιοαντιδραστήρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή κρέατος κυτταροκαλλιέργειας χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες. Τους αντιδραστήρες ανάδευσης, όπου η ανάδευση επιτυγχάνεται είτε με μηχανικό, είτε με πνευματικό – υδραυλικό τρόπο και τους αντιδραστήρες διάχυσης, όπου το μέσο διαχέεται διαμέσου των κυττάρων. Οι πρώτοι είναι καταλληλότεροι για την φάση του πολλαπλασιασμού των κυττάρων και οι δεύτεροι για τη φάση της ανάπτυξης των ιστών αφού έχει πραγματοποιηθεί η διαφοροποίηση σε μυϊκά κύτταρα και ο σχηματισμός μυϊκών ιστών (Allan et al., 2019). Τα πιο αντιπροσωπευτικά είδη βιοαντιδραστήρων είναι τα κάτωθι:

- Αντιδραστήρας συνεχούς ανάδευσης
- Αντιδραστήρας δονούμενης κλίνης
- Αντιδραστήρας πνευματικής ανάδευσης
- Αντιδραστήρας σταθερής κλίνης
- Αντιδραστήρας ρευστοποιημένης κλίνης
- Αντιδραστήρας κοίλων ινών

3.4.2.1. Αντιδραστήρας συνεχούς ανάδευσης

Ο αντιδραστήρας συνεχούς ανάδευσης είναι ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος στη βιομηχανία καλλιέργειας κυττάρων και ο πιο απλός στη λειτουργία. Η παραγωγή θεραπευτικών πρωτεϊνών πραγματοποιείται σε αντιδραστήρες πλήρους ανάδευσης όγκου μέχρι και 20.000 – 25.000 λίτρων και η ίδια μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την καλλιέργεια μυϊκών κυττάρων (Allan et al., 2019).

Ένας τέτοιος αντιδραστήρας αποτελείται τυπικά από ένα κυλινδρικό δοχείο και έναν κεντρικό αναδευτήρα (Εικόνα 6), που με τη λειτουργία του εξασφαλίζει για τα κύτταρα ένα καλά ομογενοποιημένο περιβάλλον, προκειμένου να τους παρέχεται το οξυγόνο και τα θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξή τους. Επιπλέον, η κατασκευή και ο τρόπος λειτουργίας εξασφαλίζουν εύκολα ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας, ανακύκλωσης μέσου, και συνθήκες υγιεινής και αποστείρωσης. Το μεγάλο πλεονέκτημα του αντιδραστήρα συνεχούς ανάδευσης είναι η ευκολία εφαρμογής σε παραγωγή μεγάλης κλίμακας, η διασφάλιση συνεχούς ροής οξυγόνου και θρεπτικών στα κύτταρα, η εύκολη σύζευξή του με μηχανισμούς ανακύκλωσης του μέσου καλλιέργειας και η εφαρμογή αυτοματισμών και αισθητήρων παρακολούθησης, καθώς αποτελούν το πιο διαδεδομένο και καλά μελετημένο σύστημα αντιδραστήρα. Ωστόσο το μεγάλο τους μειονέκτημα είναι οι μεγάλες διατμητικές τάσεις που ασκούνται λόγω της βίαιης ανάδευσης (Chen et al., 2022).



Εικόνα 6 : Αντιδραστήρας συνεχούς ανάδευσης. Αριστερά με αναδευτήρα τύπου άγκυρας και δεξιά με τα κύτταρα ακινητοποιημένα πάνω σε δίκτυο στήριξης. Οι λευκοί κύκλοι αποτυπώνουν το O₂ και οι μαύροι κύκλοι τα κύτταρα (Nemati & Webb, 2011).

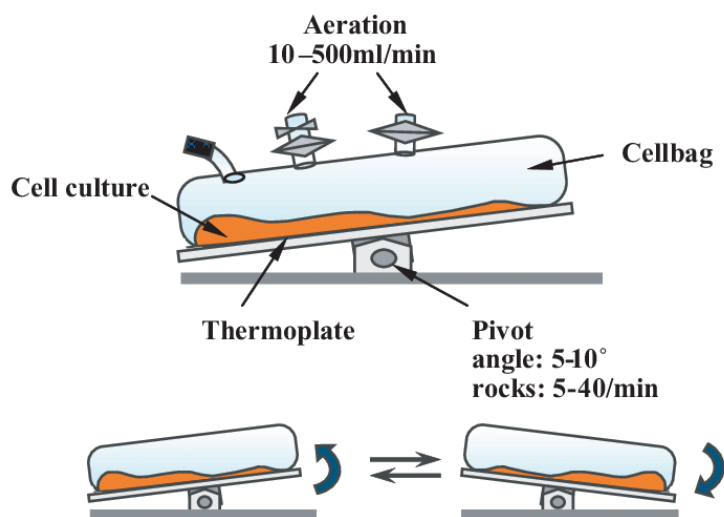
Σε έναν τέτοιο αντιδραστήρα τα κύτταρα βρίσκονται να αιωρούνται μέσα στο μέσο καλλιέργειας, είτε μόνα τους σε συσσωματώματα, είτε προσκολλημένα στην επιφάνεια σφαιρικών μικροφορέων. Τα κύτταρα που χρησιμοποιούνται συνήθως στη φαρμακευτική βιομηχανία είναι ικανά να ζουν και να πολλαπλασιάζονται μέσα σε αιώρημα και αντέχουν σε υψηλές διατμητικές τάσεις. Αντίθετα όμως, τα μυϊκά κύτταρα που θα χρησιμοποιηθούν στην καλλιέργεια κρέατος, είναι κύτταρα που για να αναπτυχθούν πρέπει να προσκολληθούν σε κάποια επιφάνεια και επιπλέον είναι ευαίσθητα στις διατμητικές τάσεις. Αυτό δυσκολεύει τη λειτουργία του αντιδραστήρα συνεχούς ανάδευσης, καθώς θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν ως δίκτυο στήριξης κάποιου είδους μικροφορείς για την προσκόλληση των κυττάρων, θα πρέπει δε να επιτευχθεί ο ιδανικός ρυθμός ανάδευσης ώστε να υφίσταται η κατάλληλη ομογενοποίηση του μίγματος, χωρίς ωστόσο να καταπονούνται τα κύτταρα, ούτε να υπάρχει κίνδυνος να αποκολληθούν από το δίκτυο, καθώς αυτό θα επέφερε τον θάνατό τους (Allan et al., 2019; Post et al., 2020). Προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η διατμητική τάση που ασκεί στα κύτταρα ο αναδευτήρας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικές διαμορφώσεις, όπως για παράδειγμα αναδευτήρας τύπου άγκυρας (Εικόνα 6), ο οποίος έχει βρεθεί ότι προκαλεί πιο ομαλή και λιγότερο βίαιη ροή από ότι οι κλασικοί αναδευτήρες επίπεδης λεπίδας (Nemati & Webb, 2011).

Ο κυλινδρικός βιοαντιδραστήρας περιστρεφόμενου τυμπάνου αποτελεί μία άλλη εκδοχή του αντιδραστήρα συνεχούς ανάδευσης που έχει αναπτυχθεί από τη NASA (Edelman

et al., 2005). Σε αυτόν, η συνεχής περιστροφή ενός τοιχώματος δημιουργεί μία στρωτή ροή του μέσου καλλιέργειας, που εξισώνει τις δυνάμεις φυγοκέντρισης και βαρύτητας, αφήνοντας τα κύτταρα σε ένα περιβάλλον ελεύθερης αιώρησης (Datar & Betti, 2010). Αν και έχει το πλεονέκτημα ότι μειώνονται οι διατμητικές τάσεις, είναι αρκετά δύσκολη η εφαρμογή του σε μεγάλες κλίμακες παραγωγής.

3.4.2.2. Αντιδραστήρας δονούμενης κλίνης

Προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η καταπόνηση των κυττάρων από το μηχανικό στρες της συνεχούς ανάδευσης εξετάζεται και η χρήση αντιδραστήρων δονούμενης κλίνης (Εικόνα 7). Σε αυτούς τους αντιδραστήρες το δοχείο βρίσκεται πάνω σε μία κλίνη που ανακινείται ανά διαστήματα σε συγκεκριμένη γωνία μέσω ενός κεντρικού άξονα, προκαλώντας κυματισμούς (Nogueira et al., 2021). Η κλίνη μπορεί να είναι θερμαινόμενη προκειμένου να διατηρείται η επιθυμητή θερμοκρασία, ενώ ο αερισμός του μίγματος πραγματοποιείται επιφανειακά κατά τη μετακίνηση της μάζας του μέσα στον αντιδραστήρα. Με αυτόν τον τρόπο τα κύτταρα δεν υφίστανται σημαντική μηχανική καταπόνηση, πλην όμως η παροχή οξυγόνου είναι προβληματική, καθώς αερίζεται αποτελεσματικά μόνο η επιφάνεια. Επιπλέον αυτό ο τύπος είναι αποτελεσματικός μόνο για μικρούς σχετικά όγκους, καθώς σε μεγάλες ποσότητες υγρών η μίξη που επιτυγχάνεται είναι ανεπαρκής. Αποτελεί ωστόσο μια εναλλακτική λύση για ένα ενδιάμεσο στάδιο της φάσης της αναπαραγωγής των κυττάρων, όπου πραγματοποιούνται περάσματα από μικρότερου σε μεγαλύτερου όγκου αντιδραστήρες.



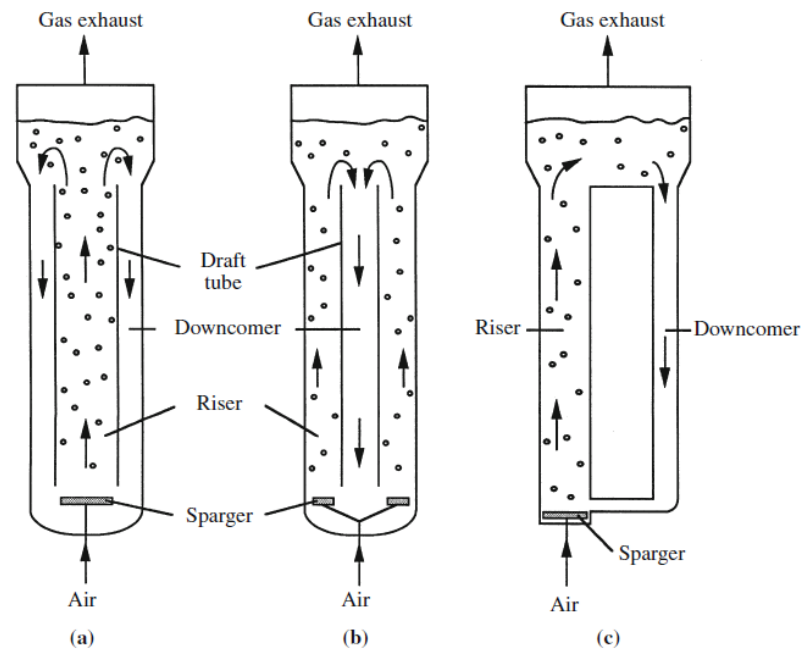
Εικόνα 7: Βιοαντιδραστήρας δονούμενης κλίνης (Slivac et al., 2006)

3.4.2.3. Αντιδραστήρας πνευματικής ανάδευσης

Ένα ακόμα είδος αντιδραστήρα, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την καλλιέργεια μυικών κυττάρων και είναι εύκολο να εφαρμοστεί για μεγάλους όγκους παραγωγής, είναι ο αντιδραστήρας πνευματικής ανάδευσης. Τα πλεονεκτήματά του είναι η καλή ομογενοποίηση, η μικρή καταπόνηση των κυττάρων και η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Αν και έχουν σχεδιαστεί και έχουν υπολογιστεί μέσω υπολογιστικών μοντέλων αντιδραστήρες έως και 300.000 λίτρων (Li et al., 2020), δεν έχουν δοκιμαστεί αρκετά σε καλλιέργειες μυικών κυττάρων. Όταν ο όγκος του αντιδραστήρα είναι μεγαλύτερος από 20 m³, οι αντιδραστήρες συνεχούς ανάδευσης παρουσιάζουν μεγάλη κλίση στη βαθμίδα του δυναμικού διατμητικής τάσης, με αποτέλεσμα να μην επιτυγχάνεται ομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασίας, οξυγόνου και θρεπτικών σε όλο τον όγκο του αντιδραστήρα. Η ενέργεια που απαιτείται για την ανάμιξη του ρευστού εντοπίζεται στο σημείο του αναδευτήρα, με αποτέλεσμα η περιοχή γύρω από αυτόν να δέχεται αυξημένη καταπόνηση, ενώ οι περιοχές μακριά, λόγω του μεγάλου όγκου, δέχονται μειωμένη ανάδευση (Merchuk, 1990).

Ο αντιδραστήρας πνευματικής ανάδευσης αποτελείται από ένα μακρόστενο κυλινδρικό δοχείο με αναλογία ύψους – διατομής περίπου 10 προς 1. Στο κάτω μέρος του αντιδραστήρα διοχετεύεται αέριο σε ένα μέρος της διατομής που ονομάζεται «άνοδος». Το υγρό που συγκρατεί το αέριο αποκτά μειωμένη πυκνότητα, οπότε αναγκάζεται να κινηθεί προς την κορυφή. Το υγρό που απελευθερώνει φυσαλίδες στην κορυφή ξαναγίνεται βαρύτερο, με αποτέλεσμα να επανακυκλοφορεί μέσω της «καθόδου» (Εικόνα 8). Έτσι η ανακυκλοφορία του μίγματος συμβαίνει λόγω της διαφοράς πυκνότητας μεταξύ «άνοδος» και «καθόδου» (Doran, 2013).

Αυτός ο τρόπος ανάδευσης και η απουσία κινητών μερών έχουν ως αποτέλεσμα την ελάχιστη δυνατή μηχανική καταπόνηση των κυττάρων. Ωστόσο θα πρέπει να δοθεί προσοχή στην περιοχή της κορυφής όπου συμβαίνει η απαγωγή του διαλυμένου αέρα. Στην περιοχή αυτή μπορεί να εμφανιστεί αφρός, από διασπώμενες φυσαλίδες. Η ενέργεια από την διάσπαση των φυσαλίδων μπορεί να προκαλέσει εξίσου βλάβη στα ευαίσθητα κύτταρα που μπορεί να βρίσκονται στη διεπιφάνεια υγρού – αέρα, ή να προκαλέσει την αποκόλληση των κυττάρων από τους μικροφορείς του δικτύου στήριξης και στη συνέχεια τον θάνατό τους (Li et al., 2020).



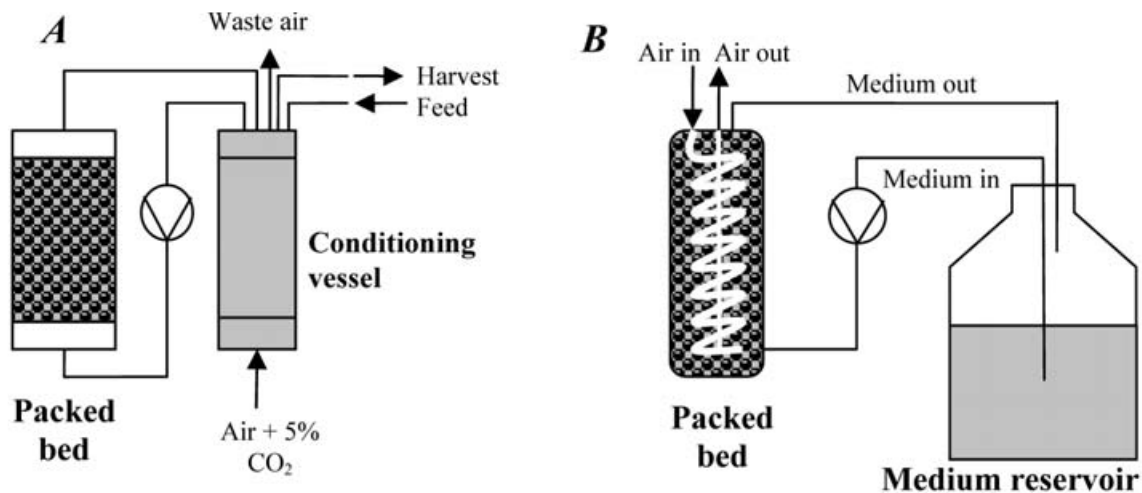
Εικόνα 8: Διαμορφώσεις αντιδραστήρα πνευματικής ανάδευσης (Doran, 2013)

3.4.2.4. Αντιδραστήρες μηχανισμού διάχυσης (diffusion bioreactors)

Στην φάση της διαφοροποίησης των κυττάρων και της ανάπτυξης των μυϊκών ιστών, η χρήση αντιδραστήρων μηχανισμού διάχυσης είναι προτιμότερη. Οι αντιδραστήρες αυτοί εξασφαλίζουν τη συνεχή ροή του μέσου καλλιέργειας μέσα από ένα τρισδιάστατο πλέγμα πάνω στο οποίο αναπτύσσονται οι ιστοί, με αποτέλεσμα να μοιάζει η όλη διαδικασία με τη λειτουργία των αγγείων σε έναν ζωντανό οργανισμό.

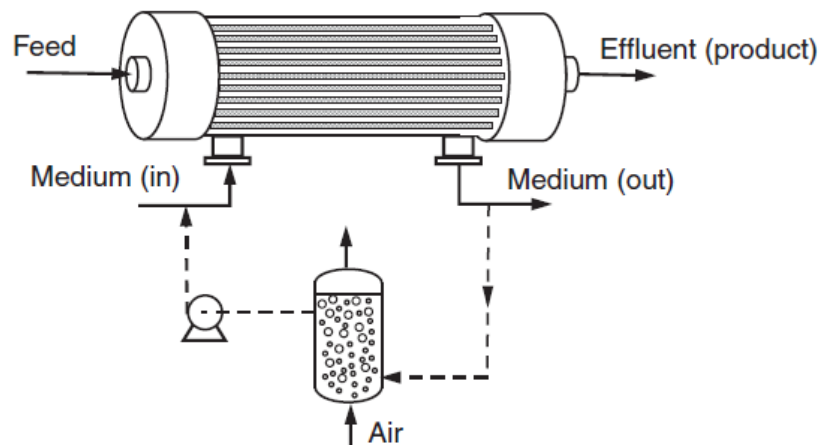
Ο αντιδραστήρας σταθερής κλίνης (Εικόνα 9) αποτελείται από ένα δοχείο, συνήθως κυλινδρικό, τύπου σωλήνα τοποθετημένο κάθετα, ο οποίος είναι πληρωμένος με το πλέγμα πάνω στο οποίο είναι ακινητοποιημένα τα κύτταρα που θα καλλιεργηθούν. Το μέσο καλλιέργειας τροφοδοτείται στον αντιδραστήρα είτε από τη βάση είτε από την κορυφή και αποτελεί μια συνεχή υγρή φάση (Doran, 2013). Ουσιαστικά το δίκτυο στήριξης για την ανάπτυξη των κυττάρων είναι ενσωματωμένο στην κλίση του αντιδραστήρα και το μέσο καλλιέργειας διαχέεται μέσω των πόρων και των καναλιών που διαθέτει η αρχιτεκτονική του δικτύου. Οι μικροπόροι προστατεύουν τα κύτταρα από τις διατμητικές τάσεις που εξασκούνται από τη συνεχή ροή του μέσου, η διάχυση του οποίου αφενός μεταφέρει το οξυγόνο και τα θρεπτικά και αφετέρου απομακρύνει τα προϊόντα του μεταβολισμού (Warnock et al., 2005). Το μειονέκτημα του αντιδραστήρα είναι ότι σε μεγάλες κλίμακες μπορεί να προκαλείται συμπίεση των πόρων λόγω βάρους, και το μέσο καλλιέργειας θα πρέπει να διατηρείται καθαρό για να μη φραγούν οι πόροι. Επιπλέον οι αντιδραστήρες αυτοί παρουσιάζουν περιορισμούς ως προς

το δυναμικό μεταφοράς μάζας, το οποίο δεν είναι ομοιόμορφα κατανομημένο σε όλο τον όγκο του αντιδραστήρα. Η παραλλαγή του αντιδραστήρα αυτού είναι ο αντιδραστήρας ρευστοποιημένης κλίνης, στον οποίο αν χρησιμοποιηθούν μικροφορείς για την ανάπτυξη των κυττάρων μπορούν να επιτευχθούν ακόμα καλύτερες συνθήκες μεταφοράς μάζας και πυκνότητας κυττάρων, ωστόσο τέτοια συστήματα δεν έχουν αναπτυχθεί για όγκους άνω των 100 λίτρων και η κλιμάκωση είναι αμφίβολο αν θα είχε τα ίδια αποτελέσματα (Post et al., 2020).



Εικόνα 9: Διαμορφώσεις αντιδραστήρα σταθερής κλίνης (Chaudhuri & Al-Rubeai, 2005)

Ένας άλλος τύπος βιοαντιδραστήρα που χρησιμοποιείται για την καλλιέργεια κυττάρων είναι ο αντιδραστήρας κοίλων ινών (Εικόνα 10). Σε αυτόν τον τύπο αντιδραστήρα τα κύτταρα αναπτύσσονται στην εξωτερική πλευρά ή μεταξύ μικροϊνών ενώ το μέσο καλλιέργειας διοχετεύεται διαμέσου των ινών. Επιτυγχάνεται έτσι ελάχιστο μηχανικό στρες για τα κύτταρα. Άλλα πλεονεκτήματα είναι η μεγάλη αναλογία της επιφάνειας μεταφοράς μάζας προς τον όγκο του αντιδραστήρα, που οδηγεί σε πιο συμπαγείς κατασκευές, τα εξαιρετικά επίπεδα μεταφοράς μάζας από το μέσο καλλιέργειας προς τα κύτταρα και το ασφαλές περιβάλλον για την ανάπτυξη των κυττάρων (Eghbali et al., 2016). Το μειονέκτημα ωστόσο είναι το ότι οι μικροΐνες είναι μιας χρήσης και το κόστος παραγωγής είναι πολύ υψηλό (Post et al., 2020).



Εικόνα 10: Αντιδραστήρας κοίλων ινών (Nemati & Webb, 2011)

3.4.3. Διάθεση οξυγόνου

Η βιωσιμότητα και η επιτυχής αναπαραγωγή των κυττάρων μέσα στον βιοαντιδραστήρα εξαρτάται από την διάθεση οξυγόνου σε επαρκείς ποσότητες και με τρόπο που να γίνεται εύκολα προσβάσιμο από το σύνολο των κυττάρων (Radisic et al., 2008). Εκτός από την διάλυση οξυγόνου μέσα στο μέσο καλλιέργειας στον βιοαντιδραστήρα, μπορούν να προστεθούν στο μέσο ειδικοί φορείς οξυγόνου που δεσμεύουν το ελεύθερο οξυγόνο και το μεταφέρουν πιο αποτελεσματικά στα κύτταρα, με τρόπο παρόμοιο με ότι συμβαίνει και με την κυκλοφορία του αίματος.

Υπάρχουν δύο κατηγορίες φορέων οξυγόνου, οι τροποποιημένες εκδοχές αιμοσφαιρίνης και τα τεχνητά παραγόμενα υπερφθοροχημικά (PFCs) (Datar & Betti, 2010). Η αιμοσφαιρίνη μπορεί να παραχθεί μέσω βιοσύνθεσης από μικροοργανισμούς και συγκεκριμένα τους *Escherichia coli*, *Pichia pastoris*, *Saccharomyces cerevisiae* και *Aspergillus niger* (G. Zhang et al., 2020). Τα υπερφθοροχημικά αποτελούν ουσίες που διαλύουν και μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες οξυγόνου και επομένως μπορεί να εκτελέσουν την ίδια λειτουργία με την αιμοσφαιρίνη. Τα υπερφθοροχημικά είναι ευθείες κυκλικές ή πολυκυκλικές αλυσίδες άνθρακα όπου τα υδρογόνα έχουν αντικατασταθεί από άτομα φθόριου (Εικόνα 11) (Lowe, 2006). Τα υγρά υπερφθοροχημικά είναι άχρωμα, άοσμα και με διπλάσια πυκνότητα από το νερό, ενώ επίσης είναι πολύ σταθερές ενώσεις καθώς ο δεσμός άνθρακακας – φθόριο είναι δεσμός εξαιρετικά σταθερός. Χρησιμοποιούνται σε ιατρικές εφαρμογές ως φορείς οξυγόνου και είναι χαρακτηριστικό ότι επιτρέπουν τη δημιουργία «υγρών αναπνοής» (Εικόνα 11) (Lowe, 2006). Προκειμένου να χρησιμοποιηθούν στο μέσο καλλιέργειας θα πρέπει να προηγηθεί η γαλακτωματοποίησή τους καθώς είναι αδιάλυτα στο νερό (Datar & Betti, 2010).

Η απόδοση του βιοαντιδραστήρα θα εξαρτηθεί από το ποσοστό μετατροπής των θρεπτικών συστατικών του μέσου καλλιέργειας σε εδώδιμο ζωικό ιστό. Επομένως η σχέση κυτταρικής πυκνότητας και χρήσης του μέσου καλλιέργειας θα πρέπει να βελτιστοποιηθεί μέσω κατάλληλων μηχανισμών ανακύκλωσης, συμπλήρωσης θρεπτικών και απομάκρυνσης ώριμων κυττάρων.

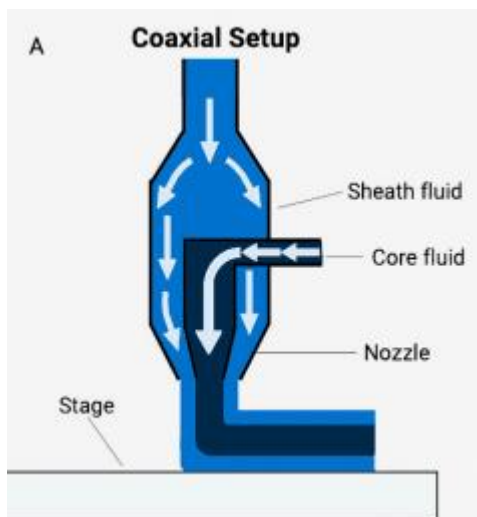
Τελικά, το προϊόν του βιοαντιδραστήρα θα πρέπει να συλλεχθεί, να καθαριστεί και να αποθηκευτεί. Πιθανά επόμενα βήματα θα είναι η επεξεργασία του είτε μόνο του είτε ως συστατικό με άλλα προϊόντα, η σήμανσή του και τελικά η μεταφορά εκτός εγκαταστάσεων. Η ιχνηλασιμότητα θα πρέπει να υφίσταται από το στάδιο της δωρεάς των κυττάρων έως το τελικό στάδιο της συσκευασίας του προϊόντος, ενώ θα πρέπει να υφίσταται και έλεγχος ποιότητας ίσως και σε ενδιάμεσα στάδια της παραγωγής (Post et al., 2020).

3.5. Νέες τεχνολογίες

Το τελικό προϊόν που παράγεται με την παραπάνω διαδικασία αν και αποτελείται κυρίως από μυϊκό και ίσως λιπώδη ιστό, είναι κατάλληλο μόνο για τη δημιουργία επεξεργασμένων προϊόντων κρέατος, όπως μπιφτέκι, λουκάνικο και γενικά προϊόντων από σύγκοπτο κρέας, ή ως συστατικό κρέατος σε άλλου είδους προϊόντα. Η δημιουργία αυτούσιων κομματιών κρέατος που να διαθέτουν την απαιτούμενη σκληρότητα, αγγείωση, δομή και σύσταση υφής που διαθέτει και το συμβατικό κρέας, απαιτεί την εφαρμογή τεχνολογιών που θα επιτρέψουν την ανάπτυξη και πολλαπλασιασμό των κυττάρων μέσα σε ένα τρισδιάστατο σύστημα αρκετού πάχους, που να προσομοιώνει την πραγματική αρχιτεκτονική των ιστών. Η τεχνολογία της τρισδιάστατης βιοεκτύπωσης οργάνων ερευνάται ήδη, με πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα στον τομέα της αναγεννητικής ιατρικής και θα μπορούσε να εφαρμοστεί εξίσου για την παραγωγή συνεκτικών και δομημένων προϊόντων κρέατος κυτταροκαλλιέργειας (Bhat et al., 2019).

Η βιοεκτύπωση είναι μια καινοτόμος τεχνική διευθέτησης κυτταρικών και μη συστατικών, κατά την οποία βιοϋλικά με κύτταρα τοποθετούνται με ακρίβεια στο χώρο για την κατασκευή πολύπλοκων τρισδιάστατων λειτουργικών ζωντανών ιστών. Η εκτύπωση inkjet, η εκτύπωση με εξώθηση και η εκτύπωση με υποβοήθηση λέιζερ είναι τρεις κύριες τεχνικές βιοεκτύπωσης που χρησιμοποιούνται ευρέως. Από αυτές, η εκτύπωση με εξώθηση είναι η πιο ταχέως αναπτυσσόμενη, επειδή είναι συμβατή με μεγάλο αριθμό υλικών, μπορεί να τοποθετήσει τα κύτταρα σε υψηλές πυκνότητες και μπορεί να χρησιμοποιήσει μια ποικιλία μεθόδων διασύνδεσης. Οι εκτυπωτές εξώθησης λειτουργούν με βάση είτε την πνευματική πίεση, είτε

το μηχανικό έμβολο για τη διανομή βιομελάνης, που σχηματίζει συνεχή νήματα αντί για σταγονίδια (K. Handral et al., 2020). Μια νέα μέθοδος γνωστή ως ομοαξονική βιοεκτύπωση, η οποία έχει θεωρηθεί εξαιρετικά αποτελεσματική, χρησιμοποιεί ένα ομοαξονικό ακροφύσιο (Εικόνα 12), που αποτελείται από μια εξωτερική και μια εσωτερική βελόνα. Αυτή η τεχνική που επιτρέπει την εκτύπωση ινών από διάφορα ζεύγη διαλυμάτων, εναποθέτει ταυτόχρονα δύο ή περισσότερα ρεύματα ροής σε ομόκεντρους δακτυλίους (Kjar et al., 2021).



Εικόνα 12. Λειτουργία ακροφυσίου ομοαξονικού βιοεκτυπωτή με ομόκεντρα στρώματα (Kjar et al., 2021).

Κατά την εφαρμογή της τεχνικής στην παραγωγή του κρέατος κυτταροκαλλιέργειας, οι μυϊκές ίνες που έχουν παραχθεί στον βιοαντιδραστήρα, θα μπορούσαν να εξωθηθούν μέσω ενός ομοαξονικού ακροφυσίου μαζί με συνδετικό προϊόν, για να δημιουργηθεί μια εξωτερική μήτρα που θα συνδέει τις παρακείμενες μυϊκές ίνες μεταξύ τους. Ένα τέτοιο συνδετικό προϊόν θα μπορούσε να αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας συστατικά όπως λιπώδεις ιστοί, υδρογέλη, κόλλα κρέατος και εξωκυτταρικές μήτρες (Bhat et al., 2021). Πετυχαίνεται έτσι ο ακριβής έλεγχος της τοποθέτησης των κυττάρων σε διάφορα σχέδια και μοτίβα σε μικροκλίμακα, επιτρέποντας τη δημιουργία ενός ευρέος φάσματος δομών, για την επίτευξη συνκαλλιέργειών, αγγειακών κατασκευών και δικτύων στήριξης υψηλής ανάλυσης (Kjar et al., 2021). Το παραγόμενο προϊόν θα μπορούσε να επανατοποθετηθεί σε κατάλληλο βιοαντιδραστήρα για την περαιτέρω ανάπτυξή του. Με αυτόν τον τρόπο παρέχεται η δυνατότητα για την δημιουργία προϊόντων με ιδιαίτερα σχήματα, και συγκεκριμένα χαρακτηριστικά υφής προσδιορισμένα σε επίπεδο νανοκλίμακας. Επιπλέον τα θρεπτικά στοιχεία και η φυσική σύσταση του τελικού προϊόντος θα μπορεί να διαφοροποιείται κατά παραγγελία ανάλογα με τον τρόπο χρήσης του βιοεκτυπωτή, επιτρέποντας τη δημιουργία εξατομικευμένων προϊόντων, ή ακόμα

τη δυνατότητα ο κάθε καταναλωτής να επιλέγει μέσω κατάλληλης εφαρμογής τα ακριβή χαρακτηριστικά του κρέατος που θέλει να παραγγείλει.

4. Θέματα Νομοθεσίας (Νομικό Πλαίσιο)

Καθώς το κρέας κυτταροκαλλιέργειας παραμένει κυρίως ένα προϊόν έρευνας, το νομικό πλαίσιο μέσα στο οποίο θα λειτουργήσει η βιομηχανία παραγωγής του δεν έχει ακόμα οριστεί και αναμένεται να διαφέρει από χώρα σε χώρα (Bhat et al., 2019). Πριν την είσοδό του στην παγκόσμια αγορά των τροφίμων, ως ένα νέο και καινοτόμο προϊόν, θα πρέπει πρώτα να επιλυθούν τα θέματα νομοθεσίας που θα καλύπτουν κάθε στάδιο της παραγωγής, από την συλλογή των κυττάρων έως την τελική μορφή, επισήμανση και κυκλοφορία του προϊόντος.

Το κανονιστικό πλαίσιο θα πρέπει να λάβει υπόψη του κυρίως τα θέματα ασφάλειας των καταναλωτών, προκειμένου να εδραιωθεί η εμπιστοσύνη πως το νέο προϊόν δεν διαφέρει, τουλάχιστον ως προς την ασφάλή του κατανάλωση, από τα κοινά προϊόντα κρέατος. Η παραγωγή του προϊόντος περιλαμβάνει μια σειρά από διακριτά στάδια, η ευθύνη για την επίβλεψη των οποίων εκτείνεται σε διάφορους φορείς εποπτείας. Αρχικά θα πρέπει να καθοριστούν τα θέματα της διάθεσης των κατάλληλων ζώων που θα είναι οι δότες των αρχικών κυττάρων, η μορφή της κτηνοτροφίας που θα καλύπτει τις απαιτήσεις της βιομηχανίας, ο τρόπος εκτροφής και κυρίως ο τρόπος βιοψίας. Τα κρίσιμα σημεία στη διαδικασία της καλλιέργειας εντοπίζονται στην ποιότητα και καθαρότητα των αρχικών κυττάρων, την καταλληλότητα του μέσου καλλιέργειας και του δικτύου στήριξης και την παρακολούθηση των συνθηκών καλλιέργειας στον βιοαντιδραστήρα (Jairath et al., 2021).

Προκειμένου να καθοριστούν τα αποδεκτά όρια των φυσικοχημικών, βιολογικών και μικροβιολογικών παραμέτρων του τελικού προϊόντος, είναι απαραίτητος ο καθορισμός των κρίσιμων ποιοτικών χαρακτηριστικών που θα πρέπει να διαθέτει. Τα θρεπτικά συστατικά του τελικού προϊόντος, η γεύση, το χρώμα και η υφή θα πρέπει να καθοριστούν σε συνδυασμό με τα πρόσθετα που χρησιμοποιούνται και την τεχνολογία παρασκευής. Προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα μόλυνσης από εξωτερικούς παράγοντες, όπως ιοί, μύκητες και βακτήρια, είναι απαραίτητος ο καθορισμός αυτόματων συστημάτων παρακολούθησης σε όλα τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας. Επιπλέον, θα πρέπει να καθοριστούν ποιες από τις κατευθυντήριες γραμμές της ορθής παρασκευαστικής πρακτικής, από την βιομηχανία των φαρμάκων, έχουν εφαρμογή και στην τεχνολογία της παραγωγής κρέατος κυτταροκαλλιέργειας (Chen et al., 2022).

4.1. Νομοθεσία Η.Π.Α

Στις Η.Π.Α. οι φορείς που είναι υπεύθυνοι για την παραγωγή και ασφάλεια των τροφίμων είναι ο Οργανισμός Τροφίμων και Φαρμάκων [Food and Drug Administration (FDA)] και η Υπηρεσία Ασφάλειας και Επιθεώρησης Τροφίμων του Υπουργείου Γεωργίας [U.S. Department of Agriculture – Food Safety and Inspection Service (USDA-FSIS)]. Ο FDA είναι η Αρχή που ρυθμίζει την παραγωγή όλων των τροφίμων και φαρμάκων, εκτός από το κρέας και τα πουλερικά, προκειμένου να διασφαλίζεται ότι τα προϊόντα τροφίμων είναι ασφαλή, θρεπτικά και φέρουν τις σωστές σημάσεις. Όμως για το κρέας και τα πουλερικά συγκεκριμένα, σύμφωνα με τον Ομοσπονδιακό Νόμο Επιθεώρησης Κρέατος (FMIA) την ευθύνη φέρει η USDA-FSIS.

Οι δύο αυτοί φορείς προχώρησαν στις 7 Μαρτίου 2019 σε μία επίσημη συμφωνία (Fsis, 2019) για να ρυθμίσουν από κοινού την παραγωγή κρέατος κυτταροκαλλιέργειας (πλην ωστόσο του κρέατος ιχθυηρών). Η συμφωνία, αν και δεν έχει κανονιστική ισχύ απέναντι σε τρίτους, είναι ένα σημαντικό πρώτο βήμα, καθώς αντιπροσωπεύει την πρόθεση των φορέων να συνεργαστούν για κοινή δικαιοδοσία και επιπλέον αναγνωρίζει ότι το κρέας κυτταροκαλλιέργειας και το κρέας κυτταροκαλλιέργειας από κύτταρα πουλερικών είναι «κρέας» και «προϊόντα πουλερικών» αντίστοιχα, εντός των ορισμών που αναφέρονται στους Ομοσπονδιακούς Νόμους για την Επιθεώρηση Κρέατος (FMIA) και Επιθεώρηση Προϊόντων Πουλερικών (PPIA). Επιπλέον επιβεβαιώθηκε ότι οι θεσμοθετημένες αρχές όπως αυτές προκύπτουν από τους παραπάνω νόμους, καθώς και τον νόμο για τα τρόφιμα, τα φάρμακα και τα καλλυντικά (FDCA), είναι επαρκείς για να ορίσουν το ρυθμιστικό πλαίσιο για την παραγωγή του κρέατος κυτταροκαλλιέργειας και δεν απαιτείται η δημιουργία νέας αρχής.

Η συμφωνία μεταξύ FDA και USDA-FSIS ορίζει ότι ο FDA, ως φορέας με μεγάλη τεχνογνωσία στον βιοϊατρικό τομέα της παραγωγής φαρμάκων, θα επιβλέπει τα αρχικά στάδια της παραγωγής του κρέατος κυτταροκαλλιέργειας, που περιλαμβάνουν τη συλλογή, την ανάπτυξη, τον πολλαπλασιασμό και τη διαφοροποίηση των κυττάρων, μέχρι και τη δημιουργία των ιστών. Στη συνέχεια, όταν οι ιστοί θα είναι έτοιμοι για να απομακρυνθούν από τον βιοαντιδραστήρα η δικαιοδοσία θα περνάει στην USDA-FSIS, η οποία θα ρυθμίζει την παραγωγή του κρέατος από τους ιστούς, τη συσκευασία και την επισήμανση. Η USDA-FSIS θα είναι αποκλειστικά υπεύθυνη για την επιθεώρηση των τελικών σταδίων της παρασκευής και το τελικό προϊόν θα φέρει το σήμα επιθεώρησης του USDA, ενώ οι εγκαταστάσεις θα επιθεωρούνται και από τους δύο φορείς.

Την περίοδο 3/9/21 έως 2/12/21 η FSIS απηύθυνε στα ενδιαφερόμενα μέρη πρόσκληση για αποστολή σχολίων σχετικά με την επισήμανση και την καθιέρωση ταυτότητας για τα προϊόντα κρέατος κυτταροκαλλιέργειας (*USDA Seeks Comments on the Labeling of Meat and Poultry Products Derived from Animal Cells | USDA, 2021*). Αν και αρκετές πολιτείες έχουν θεσπίσει νόμους που απαγορεύουν τη χρήση του όρου «κρέας» για προϊόντα που παράγονται με καλλιέργεια κυττάρων, αν οι ομοσπονδιακοί φορείς καταλήξουν σε κάποιο σχήμα τυποποίησης και επισήμανσης, αυτό θα κατισχύει επί των πολιτειακών νόμων. Προς το παρόν συνεχίζεται η συνεργασία ομάδων εργασίας από τον FDA και την USDA-FSIS προκειμένου να επιλυθούν ζητήματα που αφορούν τη μετάβαση επίβλεψης, τα προαπαιτούμενα για την είσοδο του προϊόντος στην αγορά, τις μεθόδους επιθεώρησης εγκαταστάσεων, το νομοθετικό πλαίσιο για τα ιχθυηρά κυτταροκαλλιέργειας, τα χρονοδιαγράμματα των ελέγχων και γενικά τη νομοθεσία που τυχόν θα απαιτηθεί.

4.2. Νομοθεσία Ευρωπαϊκής Ένωσης

Στην ΕΕ η παραγωγή του κρέατος κυτταροκαλλιέργειας αναμένεται να ρυθμιστεί είτε με βάση τον Κανονισμό (ΕΕ) 2015/2283 (*EUR-Lex - 32015R2283 - EN - EUR-Lex, 2015*) για τη διάθεση των νέων τροφίμων στην αγορά της Ένωσης, είτε με βάση τη νομοθεσία για τους γενετικά τροποποιημένους οργανισμούς (GMOs). Καθώς ο Κανονισμός για τα νέα τρόφιμα δε συμπεριλαμβάνει τα γενετικά τροποποιημένα τρόφιμα, σε περίπτωση χρήσης κυττάρων που έχουν υποστεί κάποια γενετική τροποποίηση, όπως τα επαγόμενα πολυδύναμα βλαστοκύτταρα (iPSCs), η διαδικασία θα πρέπει να καλύπτεται από τη σχετική νομοθεσία. Σύμφωνα με το άρθρο 3(2)(a)(vi), ο Κανονισμός 2015/2283 εφαρμόζεται για «τρόφιμα που αποτελούνται, έχουν απομονωθεί ή έχουν παραχθεί από ιστοκαλλιέργεια ή κυτταροκαλλιέργεια που προέρχονται από ζώα, φυτά, μικροοργανισμούς, μύκητες ή φύκη» και το κρέας κυτταροκαλλιέργειας μπορεί να υπαχθεί σε αυτή την κατηγορία (*Answer to Question No E-004200/18, 2018*).

Σύμφωνα με τον Κανονισμό 2015/2283, το ενδιαφερόμενο μέρος για την αδειοδότηση της παραγωγής, πρέπει να καταθέσει αίτηση στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή, η οποία θα την κοινοποιήσει σε όλα τα κράτη-μέλη. Οι ελάχιστες απαιτούμενες πληροφορίες που πρέπει να κοινοποιηθούν περιλαμβάνουν την ταυτότητα του προϊόντος, τη διαδικασία παραγωγής, τη σύνθεση του προϊόντος, τις προδιαγραφές για την παραγωγή, τον τρόπο χρήσης, την προέλευση των πρώτων υλών, τον μεταβολισμό του προϊόντος κατά την κατανάλωση, τα θρεπτικά συστατικά, την τοξικολογική ανάλυση και τα αλλεργιογόνα. Κάθε περίπτωση εξετάζεται ως ξεχωριστή και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή αναμένεται να ζητήσει τη γραπτή γνώμη της

Ευρωπαϊκής Αρχής για την Ασφάλεια των Τροφίμων (EFSA). Η EFSA οφείλει να απαντήσει μέσα σε 9 μήνες και η Επιτροπή στη συνέχεια μέσα σε 7 μήνες θα πρέπει να εκδώσει την απόφαση για την αποδοχή του νέου προϊόντος στις λίστες της ΕΕ. Οι αιτούντες μπορούν να ζητήσουν σχετική καθοδήγηση για την υποβολή της αίτησης από την EFSA, ενώ έχουν εκδοθεί και οδηγίες σχετικά με τα στοιχεία που ζητούνται (Food et al., 2018). Συγκεκριμένα θα πρέπει να περιγράφονται αναλυτικά και με κάθε λεπτομέρεια τα κύτταρα που θα χρησιμοποιηθούν, καθώς και το μέσο της καλλιέργειας (Turck et al., 2016).

Καθώς το κρέας κυτταροκαλλιέργειας αποτελεί ένα νέο και πολύπλοκο προϊόν, οι ακριβείς λεπτομέρειες σχετικά με τον τρόπο παραγωγής, αποτελούν αποκλειστική ιδιοκτησία των βιομηχανιών που εστιάζονται στην παραγωγή του και επομένως θα είναι αρκετά δύσκολο αρχικά για την EFSA να αξιολογήσει αποτελεσματικά τους κινδύνους και την ασφάλεια του προϊόντος. Προς αυτή την κατεύθυνση αναμένεται να βοηθήσει η εφαρμογή από την 26/3/21 του Κανονισμού (ΕΕ) 2019/1381, ο οποίος αποσκοπεί στη βελτίωση της διαφάνειας, της αξιοπιστίας και της ανεξαρτησίας των μελετών που υποβάλλονται στην EFSA, προκειμένου να υποστηριχθεί η διαδικασία αξιολόγησης κινδύνου (EUR-Lex - 32019R1381 - EN - EUR-Lex, 2019). Σύμφωνα με τον Κανονισμό, τα ενδιαφερόμενα μέρη μπορούν να συμβουλευόμαστε με την EFSA κατά τη φάση της προετοιμασίας της αίτησης, υποχρεώνονται δε να παρέχουν στην Ευρωπαϊκή Αρχή τις πλήρεις μελέτες που έχουν διεξάγει και οι οποίες θα κοινοποιούνται σε όλους τους ενδιαφερόμενους για την ανάπτυξη παρόμοιων μεθόδων, πλην των σημείων που θεωρούνται απόρρητα (Ketelings et al., 2021).

4.3. Άλλες περιπτώσεις

Παρόμοια με την ΕΕ και τις Η.Π.Α. η διάθεση του κρέατος κυτταροκαλλιέργειας στην αγορά άλλων χωρών αναμένεται να αξιολογηθεί με βάση την ασφάλεια των καταναλωτών. Η Υπηρεσία Τροφίμων της Σιγκαπούρης (SFA) αποτελεί τη μόνη υπηρεσία που έχει αξιολογήσει και έχει εγκρίνει τη διάθεση κρέατος κυτταροκαλλιέργειας ως συστατικό σε ένα εμπορικό προϊόν τύπου “nugget”, το οποίο και πωλήθηκε σε εστιατόριο τον Δεκέμβριο του 2020.

Το 2019, η SFA εισήγαγε ένα ρυθμιστικό πλαίσιο για τα νέα τρόφιμα που απαιτεί από τις εταιρείες να αναζητήσουν αξιολόγηση πριν από τη διάθεση στην αγορά νέων τροφίμων, όπως εναλλακτικά προϊόντα πρωτεΐνης, που δεν έχουν ιστορικό κατανάλωσης ως τρόφιμα. Οι εταιρείες υποχρεούνται να διενεργούν και να υποβάλλουν αξιολογήσεις ασφάλειας του προϊόντος για την κάλυψη πιθανών κινδύνων, συμπεριλαμβανομένης της τοξικότητας, της αλλεργιογόνου δράσης, της ασφάλειας της μεθόδου παραγωγής και της διατροφικής

αξίας. Πρέπει επίσης να παρέχουν λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις διαδικασίες παρασκευής τους και τον τρόπο με τον οποίο ελέγχονται αυτές οι διαδικασίες για την πρόληψη κινδύνων για την ασφάλεια των τροφίμων (*SFA / Safety of Alternative Protein*, n.d.). Στη συνέχεια η SFA προβαίνει στην εξέταση αυτών των αξιολογήσεων μέσω της ομάδας εργασίας εμπειρογνομόνων που έχει συγκροτηθεί για τον σκοπό αυτό από τον Μάρτιο του 2020 και η οποία περιλαμβάνει ειδικούς στην τοξικολογία τροφίμων, τη βιοπληροφορική, τη διατροφή, την επιδημιολογία, την πολιτική δημόσιας υγείας, και την επιστήμη και τεχνολογία τροφίμων.

5. Πλεονεκτήματα και Προβληματισμοί

5.1. Ηθική διάσταση

Η ηθική διάσταση της κατανάλωσης κρέατος κυτταροκαλλιέργειας, αποτελεί ίσως το πιο ξεκάθαρο πλεονέκτημα της ανάπτυξης αυτής της τεχνολογίας, απέναντι στον παραδοσιακό τρόπο εκτροφής ζώων που προορίζονται για τροφή. Με την παραγωγή κρέατος *in vitro* παύει να υφίσταται βασανισμός και σφαγή των ζώων, τα οποία μπορούν να ζουν σε συνθήκες διαβίωσης εφάμιλλες με τις συνθήκες των ζώων συντροφιάς. Πλέον θα χρειάζεται η εκτροφή ενός μικρού μόνο ποσοστού από τους σημερινούς πληθυσμούς των ζώων για την παροχή των αρχικών κυττάρων που θα καλλιεργηθούν (Bhat et al., 2019).

5.1.1. Πλεονεκτήματα

Καθώς η παγκόσμια ζήτηση για κρέας αυξάνεται, η παραδοσιακή βιομηχανία παραγωγής και διάθεσής του, πιεζόμενη να ανταποκριθεί στις ανάγκες του πληθυσμού, αναπτύσσει συστήματα μαζικής παραγωγής που υπονομεύουν την καλή διαβίωση και οδηγούν στον συστηματικό βασανισμό των ζώων. Από ηθικής άποψης, η ταλαιπωρία που υφίστανται τα ζώα στις σύγχρονες μονάδες παραγωγής και οι τακτικές μαζικής σφαγής που εφαρμόζονται σε πολλά σφαγεία θεωρούνται ως κάτι κακό, ανεξάρτητα αν κάποιος είναι κρεατοφάγος ή όχι (Welin et al., 2012). Η εντατική εκτροφή ζώων περιλαμβάνει τον περιορισμό τους στον ελάχιστο δυνατό χώρο, με βοοειδή και χοίρους να ζουν κυριολεκτικά μέσα στα ίδια τα κόπρανά τους και πουλερικά να ζουν το καθένα σε χώρο ίσο με μία κόλλα A4 (Bhat et al., 2017). Η διαβίωση υπό αυτές τις συνθήκες οδηγεί σε υψηλά επίπεδα στρες, σε ασθένειες και σε αφύσικη συμπεριφορά, ενώ είναι αποδεκτό ότι μία τέτοια ζωή δεν θεωρείται επιθυμητή.

Το κρέας κυτταροκαλλιέργειας από την πλευρά του αποτελεί μία εναλλακτική που απαλλάσσει τα ζώα όχι μόνο από τη συχνά απάνθρωπη μεταχείριση αλλά και από την τελική σφαγή, καθώς κανένα ζώο δεν θανατώνεται προκειμένου να παραχθεί κρέας. Η μόνη επέμβαση στα ζώα θα υφίσταται κατά τη συλλογή των κυττάρων μέσω μιας βιοψίας. Η ίδια η βιοψία δεν είναι ανώδυνη, αλλά μέσω κατάλληλων τεχνικών που περιλαμβάνουν την εκτέλεσή της από εξειδικευμένο προσωπικό, τη διαμόρφωση κατάλληλου χώρου, τη νάρκωση και την τοπική αναισθησία του ζώου, επιτυγχάνεται η ελαχιστοποίηση του πόνου και του στρες. Δεδομένου του ηθικού πλεονεκτήματος της καλλιέργειας κυττάρων, θα πρέπει να αναπτυχθούν προσεκτικά, ακριβή πρωτόκολλα για τον τρόπο εκτέλεσης βιοψιών, τα οποία θα

εξετάζουν μεταξύ άλλων τον αριθμό των επεμβάσεων και τη διάρκεια της διαδικασίας (Melzener et al., 2021).

Τα παραπάνω εκτιμάται ότι θα έχουν ένα πολύ θετικό αντίκτυπο στην αποδοχή του κρέατος κυτταροκαλλιέργειας από το ευρύ καταναλωτικό κοινό, καθώς οι απόψεις περί ηθικής υποχρέωσης για την πρόκληση της ελάχιστης δυνατής καταπόνησης στα ζώα είναι οικουμενικές (Hopkins & Dacey, 2008). Στη σύγχρονη εποχή η ευαισθητοποίηση του κοινού για την καλή διαβίωση των ζώων αποτυπώνεται τόσο από την αύξηση του ποσοστού των ηθικών χορτοφάγων, όσο και από τη δράση πολλών ομάδων υπέρ των δικαιωμάτων και της ευημερίας των ζώων. Επομένως, το κρέας κυτταροκαλλιέργειας θα μπορούσε να έχει απήχηση τόσο σε κρεατοφάγους, που δεν θέλουν να χάσουν την επιλογή του κρέατος αλλά αισθάνονται ενοχές για τη σφαγή των ζώων, όσο και σε χορτοφάγους που επέλεξαν τη χορτοφαγία για καθαρά ηθικούς λόγους (Jairath et al., 2021).

Η υιοθέτηση της τεχνολογίας για την παραγωγή κρέατος *in vitro*, εφόσον αυτή βελτιστοποιηθεί, θα αποτελέσει στο μέλλον ηθική υποχρέωση για τον άνθρωπο, καθώς δεν θα υπάρχει λόγος για την πρόκληση πόνου και θανάτου στα ζώα (Stephens et al., 2018). Επιπλέον οι πληθυσμοί των ζώων θα έχουν μια πιο φυσική εξέλιξη, καθώς θα πάψει να υφίσταται η γενετική πίεση, από την καθοδήγηση του ανθρώπου για την παραγωγή συγκεκριμένων χαρακτηριστικών, με σκοπό τις μεγαλύτερες αποδόσεις προϊόντος (Jairath et al., 2021). Θετικό αντίκτυπο θα έχει η τεχνολογία και στα άγρια ζώα, καθώς θα είναι δυνατή η καλλιέργεια ιστών από μη εξημερωμένα είδη, περιορίζοντας το κυνήγι, ενώ η μείωση της εντατικής κτηνοτροφίας θα αποδώσει πίσω στην άγρια πανίδα σημαντικό μέρος της γης που χρησιμοποιείται σήμερα για την παραγωγή κρέατος. Χαρακτηριστικά, το 85% της αποψίλωσης του Αμαζονίου υπολογίζεται ότι έχει προκληθεί για λόγους κτηνοτροφικούς (Treich, 2021).

5.1.2. Προβληματισμοί

Ως μία πρωτοποριακή καινοτομία, η τεχνολογία της καλλιέργειας κρέατος αναμένεται να επιφέρει και αρκετά ηθικά ζητήματα ως προς τη χρήση της. Τα κυριότερα ζητήματα ηθικής φύσεως που θα πρέπει να αντιμετωπισθούν από την κοινωνία προκειμένου να γίνει η τεχνολογία αποδεκτή συνοψίζονται παρακάτω (Hopkins & Dacey, 2008; Schaefer & Savulescu, 2014):

5.1.2.1. Το ζήτημα του σεβασμού της φύσης και των ζώων.

Ένας σημαντικός προβληματισμός της καλλιέργειας κρέατος είναι ότι η τεχνολογία αυτή αποτελεί ένα είδος ασέβειας και χειρισμού της φύσης με τρόπο ανήθικο προς τα ζώα και την

ίδια τη φύση. Το επιχείρημα αυτό στηρίζεται στη λογική ότι, η σχέση του ανθρώπου με τη φύση έχει αξία μόνο όταν στηρίζεται σε ένα είδος αλληλεξάρτησης και ότι η αποξένωση από τη φύση, που θα προκαλέσει η κατανάλωση κρέατος κυτταροκαλλιέργειας, έχει μόνο αρνητικές συνέπειες.

Ωστόσο είναι γεγονός, ότι οι σύγχρονοι τρόποι κτηνοτροφίας δεν είναι εξίσου φυσικοί, από την άποψη ότι αντί της συνύπαρξης και της αλληλεξάρτησης, μεταχειρίζονται τα ζώα ως εργαλεία για την εξυπηρέτηση των ανθρώπινων αναγκών. Αντίθετα η καλλιέργεια κυττάρων για παραγωγή κρέατος μπορεί να αποτελέσει μία λύση στο πρόβλημα της κακομεταχείρισης των ζώων, χωρίς να χρειάζεται να αποξενωθούμε από τα ίδια τα ζώα. Μικρές φάρμες, όπου μικροί πληθυσμοί ζώων θα εκτρέφονται σε ιδανικές συνθήκες προκειμένου να χρησιμοποιούν ως δότες κυττάρων, είναι μια λύση που έχει προταθεί ως σχήμα που θα υποστηρίζει την εφαρμογή της νέας τεχνολογίας (van der Weele & Driessen, 2013).

Επιπλέον, η απεξάρτηση από τη φυσική ανάγκη σφαγής των ζώων για την εξασφάλιση της τροφής του ανθρώπου, μιας τροφής που ο άνθρωπος εξελίχτηκε από τη φύση του για να καταναλώνει, δεν μπορεί παρά να θεωρηθεί ως ένα βήμα εξέλιξης της σχέσης αυτής του ανθρώπου με τη φύση. Κατά τρόπο παρόμοιο, που η χρήση φαρμάκων αντικατέστησε την εξάρτηση του ανθρώπου από φυσικά σκευάσματα και επέτρεψε την μαζική και πιο αποτελεσματική αντιμετώπιση των ασθενειών, έτσι και το κρέας κυτταροκαλλιέργειας μπορεί να θεωρηθεί μία εξέλιξη που έχει ως στόχο την κάλυψη μιας βασική ανάγκης του ανθρώπου, της τροφής.

5.1.2.2. Το ζήτημα της αξίας της ζωής των ζώων

Σύμφωνα με αυτόν τον προβληματισμό, η ζωή των ζώων κτηνοτροφίας ακόμα και σε συνθήκες εντατικής εκμετάλλευσης είναι καλύτερη από το να μην είχαν γεννηθεί καθόλου. Επομένως η εξάπλωση της τεχνολογίας του κρέατος κυτταροκαλλιέργειας ουσιαστικά θα έκανε κακό στο είδος, καθώς θα περιορίζονταν οι πληθυσμοί, ενώ ίσως κάποια είδη θα οδηγούνταν στην εξαφάνιση.

Ωστόσο δεν είναι ξεκάθαρο κατά πόσο οι ζωές των ζώων αυτών είναι πραγματικά επιθυμητές. Επίσης το να υποστηρίζεται ότι ένα όν υποβάλλεται σε βλάβη ή αδικία από το να μην έρχεται στη ζωή αποτελεί έναν μεταφυσικό ισχυρισμό με προβληματικές προεκτάσεις. Το επιχείρημα αυτό θα είχε ισχύ, μόνο αν θεωρηθεί ότι είναι πάντα το βέλτιστο το να έρχονται στη ζωή όσο το δυνατόν περισσότερα όντα, υπό τις ελάχιστες δυνατές συνθήκες

διαβίωσης. Αν δηλαδή θα μπορούσαμε να θυσιάσουμε τις καλές συνθήκες διαβίωσης προκειμένου αυξήσουμε έναν πληθυσμό, θα έπρεπε να το κάνουμε (Schaefer & Savulescu, 2014).

Ακόμα και αν υποθέσουμε ότι αντί για το κρέας κυτταροκαλλιέργειας θα έπρεπε να επιδιωχθεί η ανάπτυξη της «ηθικής» κτηνοτροφίας, όπου τα ζώα ζουν υπό ιδανικές συνθήκες, ικανοποιητικές για το κάθε είδος ζώες, πριν τελικά οδηγηθούν σε θανάτωση, αυτό δεν σημαίνει ότι η ανάπτυξη της τεχνολογίας κυτταροκαλλιέργειας θα ήταν εμπόδιο. Το πιο πιθανό είναι ότι η παραγωγή κρέατος *in vitro* θα συνυπάρξει με άλλες μεθόδους κτηνοτροφίας και δεν θα υπάρξει μία απότομη μεταβολή στο υπάρχον καθεστώς. Σε αυτή τη λογική πραγματικότητα, η σημαντική μείωση του αριθμού των ζώων της εντατικής κτηνοτροφίας, λόγω της ανάπτυξης του κρέατος κυτταροκαλλιέργειας, θα επιφέρει περισσότερα ηθικά οφέλη από όσα θα χαθούν λόγω της μείωσης των ζώων που ζουν υπό ιδανικές συνθήκες. Επιπλέον, με την επιδίωξη της βελτιστοποίησης της τεχνολογίας, το μελλοντικό κόστος για την παραγωγή κρέατος κυτταροκαλλιέργειας θα μειωθεί σε ποσοστό μικρότερο του κόστους της ακριβής κατά τα άλλα «ηθικής» κτηνοτροφίας, με αποτέλεσμα να υπάρχει η δυνατότητα το επιπλέον κέρδος να χρησιμοποιηθεί για την εκτροφή ζώων υπό ιδανικές συνθήκες χωρίς καν να χρειάζεται η θανάτωσή τους (Schaefer & Savulescu, 2014).

5.1.2.3. Το ζήτημα της κακής χρήσης της τεχνολογίας

Μία εξεζητημένη προέκταση της ικανότητας να παραχθεί κρέας με τεχνολογικές μεθόδους, αποτελεί η περίεργη αλλά παρ' όλα αυτά υπαρκτή δυνατότητα να καλλιεργηθεί με τον ίδιο τρόπο ανθρώπινος μυϊκός ιστός, και να οδηγηθούμε έτσι στην ύπαρξη μιας μορφής κανιβαλισμού χωρίς θύματα, ή βεβήλωσης των νεκρών χωρίς νεκρούς (Hopkins & Dacey, 2008). Αν και το θέμα φαντάζει αποκρουστικό και δεν θα απασχολήσει το ευρύ κοινό, κανείς δεν αποκλείει κάποια περιορισμένη μειοψηφία με περίεργες προτιμήσεις, ασυνήθιστες πολιτιστικές νόρμες, ή απλά με περιέργεια να δοκιμάσει τη γεύση της ανθρώπινης σάρκας.

Προκειμένου να αντιμετωπιστεί αυτή η δυνατότητα είναι εύλογο ότι αναμένεται η απαγόρευση της, δεδομένης της γενικότερης αποστροφής που γεννά η προοπτική του κανιβαλισμού. Όπως για παράδειγμα, απαγορεύεται η κλωνοποίηση για ηθικούς λόγους, θα μπορούσαν να τεθούν αυστηροί περιορισμοί στη σύνθεση ανθρώπινης σάρκας για σκοπούς κατανάλωσης (Schaefer & Savulescu, 2014).

5.2. Περιβαλλοντική διάσταση

Η συμβατική κτηνοτροφία ευθύνεται για ένα σημαντικό μέρος της παγκόσμιας υποβάθμισης του περιβάλλοντος, κυρίως σε ότι αφορά την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου, τη χρήση

γης και νερού, την κατανάλωση ενέργειας και τη βιοποικιλότητα. Το κρέας κυτταροκαλλιέργειας έχει την προοπτική, εφόσον η τεχνολογία βελτιστοποιηθεί και εφαρμοστεί σε μεγάλη κλίμακα, να επιφέρει μειώσεις στα παραπάνω, βελτιώνοντας σημαντικά το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της παραγωγής κρέατος (Post, 2012).

5.2.1. Σύγχρονες επιπτώσεις στο περιβάλλον

Υπολογίζεται ότι η παγκόσμια αγορά κρέατος ευθύνεται για το 15% - 24% των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, ποσοστό μεγαλύτερο και από τον τομέα των μεταφορών (H. L. Tuomisto & Mattos, 2011). Συγκεκριμένα η κτηνοτροφία συνεισφέρει το 9% της παραγωγής CO₂, το 35% - 40% της παραγωγής CH₄ και το 65% της παραγωγής N₂O παγκοσμίως (Steinfeld et al., 2006), τα οποία αποτελούν και τα κυριότερα αέρια θερμοκηπίου. Η κύρια πηγή αυτών των εκπομπών είναι η εντερική βακτηριακή ζύμωση των μηρυκαστικών, η χρήση ενέργειας, η παραγωγή ζωοτροφών και ο χειρισμός κοπριάς και αποβλήτων. Επιπλέον η αποψίλωση των δασών προκειμένου να μετατραπούν σε βοσκότοπους, ή για την καλλιέργεια ζωοτροφών αποτελεί το 34% αυτών των εκπομπών (H. L. Tuomisto & Mattos, 2011). Μεταξύ των διάφορων τύπων κρέατος, η παραγωγή κρέατος από μηρυκαστικά ζώα συνεισφέρει το μεγαλύτερο ποσοστό και τα πουλερικά συνεισφέρουν λιγότερο από τα θηλαστικά. Μεταξύ δε των τύπων παραγωγής, η εντατική κτηνοτροφία συνεισφέρει περισσότερο από την παραδοσιακή (Godfray et al., 2018). Επίσης ένα ποσοστό της τάξης του 9% των εκπομπών και του 20% της κατανάλωσης ενέργειας, προέρχεται από τη χονδρική και λιανική αγορά του κρέατος, στα στάδια μετά την παραγωγή. Χαρακτηριστικά σε μελέτη ανάλυσης του κύκλου ζωής για 1 kg βοδινού κρέατος, αυτό βρέθηκε να παράγει 36,4 kg ισοδύναμα CO₂, όσο παράγει η καύση 14 λίτρων πετρελαίου, ή η οδήγηση ενός μεσαίου αυτοκινήτου για 250 χιλιόμετρα (Ogino et al., 2007). Έως το 2050 η παγκόσμια παραγωγή κρέατος θα αυξηθεί από τους 228 στους 465 εκατομμύρια τόνους τον χρόνο και κατά συνέπεια αναμένεται να παρατηρηθεί μία αύξηση των ετήσιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, από τους 11,2 γιγατόνους ισοδύναμου CO₂ στους 19,7 γιγατόνους.

Η γεωργία και η κτηνοτροφία καταναλώνουν το μεγαλύτερο ποσοστό γλυκού νερού από οποιαδήποτε άλλη ανθρώπινη δραστηριότητα και η κτηνοτροφία ευθύνεται για το 1/3 αυτής της ποσότητας. Το 98% του νερού που καταναλώνεται για την παραγωγή κρέατος αποδίδεται στην καλλιέργεια της ζωικής τροφής και αν και το μεγαλύτερο ποσοστό αποτελεί «πράσινο νερό» που προέρχεται από τη βροχή και την υγρασία, ένα σημαντικό μέρος αποτελεί «μπλε νερό» που προέρχεται από λίμνες, ποτάμια και ταμιευτήρες. Ανά κατηγορία

προϊόντος, το βοδινό κρέας αποτελεί το 33% του συνολικού αποτυπώματος, τα αιγοπρόβατα το 19%, το χοιρινό το 19% και τα πουλερικά το 11%. Σημαντικό είναι το γεγονός ότι η εντατική κτηνοτροφία χρησιμοποιεί μεγαλύτερο ποσοστό «μπλε νερού» σε σχέση με την ελεύθερη κτηνοτροφία στις φάρμες και στους βοσκότοπους (Mekonnen & Hoekstra, 2012). Με δεδομένη την αύξηση της εντατικής κτηνοτροφίας που θα επιφέρει η αύξηση της ζήτησης κρέατος στο μέλλον, αναμένεται να υπάρξει σημαντική πίεση στους παγκόσμιους υδάτινους πόρους. Επιπλέον η κτηνοτροφία ευθύνεται για τη μόλυνση υδάτινων οικοσυστημάτων, καθώς η απελευθέρωση αζώτου και φωσφόρου προκαλεί ευτροφισμό και εξάντληση του οξυγόνου, με αρνητικές συνέπειες για τα υδρόβια είδη. Ειδικά σε μονάδες εντατικής κτηνοτροφίας, οι συγκεντρώσεις των ζωικών αποβλήτων σχηματίζουν λίμνες κοπριάς, που μπορούν να απελευθερώσουν υψηλές συγκεντρώσεις από υδρόθειο και τοξικά αέρια και να μολύνουν τα επιφανειακά ύδατα με τοξίνες και παθογόνα (Tilman et al., 2002).

Η χρήση γης από την κτηνοτροφία είναι εξίσου εκτεταμένη, καθώς τα ζωικής προέλευσης τρόφιμα απαιτούν περισσότερη γη από ότι τα φυτικής προέλευσης για να προσφέρουν το ίδιο ενεργειακό περιεχόμενο (Bhat et al., 2017). Το 30% της συνολικής επιφάνειας της ξηράς χρησιμοποιείται για κτηνοτροφικούς σκοπούς, ενώ το 33% της συνολικής καλλιεργήσιμης γης χρησιμοποιείται για την παραγωγή ζωοτροφών (Steinfeld et al., 2006). Η εξάπλωση της κτηνοτροφίας είναι ο κύριος λόγος για τη συνεχή αποψίλωση των δασών, ιδιαίτερα στην περιοχή του Αμαζονίου, όπου υπολογίζεται ότι το 71% της αποψιλωμένης γης έχει αποδοθεί στη χρήση βοσκότοπων και ένα επιπλέον 14% καλλιεργείται για παραγωγή ζωοτροφών (Godfray et al., 2018). Επιπλέον, το 20% των βοσκοτόπων παγκοσμίως έχουν υποστεί υποβάθμιση του εδάφους τους εξαιτίας της υπερεκμετάλλευσης. Οι επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα είναι εξίσου σημαντικές, καθώς οι εκτάσεις αυτές φιλοξενούσαν μία σημαντική ποικιλία χλωρίδας και πανίδας, που αναγκαστικά εκτοπίστηκε. Συγκεκριμένα υπολογίζεται ότι η παγκόσμια απώλεια της βιοποικιλότητας σε ποσοστό 30% οφείλεται στην κτηνοτροφία (Stoll-Kleemann & O’Riordan, 2015).

5.2.2. Προοπτικές για το κρέας κυτταροκαλλιέργειας

Σε αντίθεση με τις σύγχρονες μορφές κτηνοτροφίας, η τεχνολογία για την παραγωγή κρέατος κυτταροκαλλιέργειας αναμένεται να κάνει καλύτερη χρήση γης και νερού, καθώς και να έχει μικρότερο αποτύπωμα άνθρακα. Η παραγωγή κρέατος αποκλειστικά μέσω κυττάρων, κάνει την τεχνολογία πιο αποδοτική από την κτηνοτροφία, καθώς δεν υφίστανται παραπροϊόντα και μη φαγώσιμα μέρη. Η κατανάλωση ενέργειας αφιερώνεται αποκλειστικά στην παραγωγή

προϊόντος. Επιπλέον, η ανάπτυξη της ίδιας ποσότητας κρέατος απαιτεί μικρότερους χρόνους από τη συμβατική κτηνοτροφία. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα είναι δε η πολύ μικρή χρήση γης, καθώς μία μονάδα παραγωγής κρέατος κυτταροκαλλιέργειας απαιτεί ελάχιστο χώρο σε σχέση με την έκταση που θα απαιτούταν για την παραγωγή του κρέατος συμβατικά. Η βιομηχανοποίηση της κυτταρικής παραγωγής μπορεί να πραγματοποιηθεί με κάθετα αναπτυσσόμενες μονάδες, οδηγώντας σε βελτιστοποίηση της χρήσης γης και συμβάλλοντας στον περιορισμό των αποψιλώσεων και στην αναδάσωση των προηγούμενων βοσκοτόπων. Καθώς η παραγωγή σε μία αυτοματοποιημένη μονάδα κυτταροκαλλιέργειας γίνεται σε αυστηρά ελεγχόμενο περιβάλλον και με ακριβείς όρους σε ότι αφορά τις εισόδους πόρων και εξόδους προϊόντων και τις συνθήκες παραγωγής, ελαχιστοποιούνται τα παραπροϊόντα, τα απόβλητα και οι απώλειες ενέργειας. Σημαντικό είναι επίσης το γεγονός, ότι οι μονάδες αυτές μπορούν να αναπτυχθούν σε οποιαδήποτε περιοχή, και κυρίως κοντά ή και μέσα σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές, παράγοντας το προϊόν εκεί που υπάρχει η ζήτηση και περιορίζοντας τις μεταφορικές ανάγκες (Bhat et al., 2019; Datar & Betti, 2010).

Παρ' όλα τα διαφαινόμενα πλεονεκτήματα, λόγω του ότι η τεχνολογία δεν έχει ακόμα εφαρμοστεί σε μεγάλη κλίμακα παραγωγής, οι μέχρι σήμερα μελέτες για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, με βάση την αξιολόγηση του κύκλου ζωής του προϊόντος, βασίζονται σε αρκετές παραδοχές και υποθέσεις. Σύμφωνα με μελέτη των Tuomisto και Mattos το 2011, υποθέτοντας μία διαδικασία παραγωγής σε αντιδραστήρα συνεχούς ανάδευσης για 60 ημέρες και κυανοβακτηριακό διάλυμα ως θρεπτικό μέσο, το κρέας κυτταροκαλλιέργειας εμφάνισε σημαντικά χαμηλότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, μικρότερες απαιτήσεις σε γη και νερό, ενώ η κατανάλωση ενέργειας ήταν χαμηλότερη μεν από την παραγωγή βοδινού, αλλά υψηλότερη από την παραγωγή κρέατος κοτόπουλου. Συγκεκριμένα οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ήταν μειωμένες κατά 78% – 96%, η χρήση γης κατά 99%, η χρήση νερού κατά 82% - 96% και η ενέργεια, πλην του κοτόπουλου, κατά 7% - 45% (H. L. Tuomisto & Mattos, 2011).

Σε συμπληρωματική μελέτη της Tuomisto το 2014 έγινε υπόθεση για αντιδραστήρα κοίλων ινών, το μέσο καλλιέργειας περιείχε θρεπτικά από διάφορες πηγές και το νερό που χρησιμοποιήθηκε ήταν αποκλειστικά «μπλε νερό» και οι επιπτώσεις της παραγωγής μοιραζόταν όχι μόνο στο κρέας αλλά και σε λοιπά προϊόντα της κτηνοτροφίας. Με αυτές τις υποθέσεις οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ήταν μόνο ελάχιστα μικρότερες από τις αντίστοιχες για την εκτροφή πουλερικών, η ενέργεια ήταν μεγαλύτερη ακόμα και από την εκτροφή

βοδινού, ενώ η χρήση νερού ήταν μεγαλύτερη σε σύγκριση με το κοτόπουλο, μικρότερη όμως σε σχέση με το βοδινό, το αρνίσιο και το χοιρινό (H. Tuomisto et al., 2014).

Σε μελέτη των Mattick κ.α. το 2015, η υπόθεση περιλάμβανε αντιδραστήρα συνεχούς ανάδευσης και γλυκόζη από καλαμπόκι ως θρεπτικό συστατικό στο μέσο καλλιέργειας, ενώ συμπεριλήφθηκε καθαρισμός του αντιδραστήρα με ατμό μεταξύ των παρτίδων. Η κατανάλωση ενέργειας υπολογίστηκε τρεις φορές παραπάνω από τα μέχρι τότε δεδομένα. Οι εκπομπές CO₂ ήταν μικρότερες από την εκτροφή βοδινού, μεγαλύτερες όμως από την εκτροφή κοτόπουλου και χοιρινού. Οι ανάγκες σε γη ήταν σημαντικά μικρότερες για το κρέας κυτταροκαλλιέργειας, ενώ σημαντικά μικρότερες ήταν και οι πιθανότητες ευτροφισμού των υδάτων (Mattick et al., 2015).

Οι Lynch και Pierrehumbert συγκρίνοντας προηγούμενες μελέτες κύκλου ζωής για το κρέας κυτταροκαλλιέργειας και για την παραγωγή βοδινού αντίστοιχα και κάνοντας μία πιο αναλυτική προσέγγιση στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, για μία περίοδο 1000 ετών στο μέλλον, καταλήγουν στο ότι το κρέας κυτταροκαλλιέργειας μπορεί να έχει χειρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Ο λόγος είναι ότι οι εκπομπές από την παραδοσιακή κτηνοτροφία αφορούν κυρίως το CH₄, το οποίο έχει μικρό χρόνο ζωής στην ατμόσφαιρα (γύρω στα 12 έτη), ενώ από την παραγωγή κρέατος κυτταροκαλλιέργειας παράγεται κυρίως CO₂, λόγω της μεγάλης απαίτησης για κατανάλωση ενέργειας (Lynch & Pierrehumbert, 2019). Ωστόσο το συμπέρασμα αυτό προκύπτει μόνο όταν η προσομοίωση τρέξει για εκατοντάδες χρόνια στο μέλλον, χωρίς να λαμβάνεται υπόψιν η τεχνολογική πρόοδος για την μείωση των εκπομπών CO₂ από την κατανάλωση ενέργειας. Επίσης δεν υπολογίζεται η μείωση στο αποτύπωμα άνθρακα που θα επιφέρει η ορθή χρήση της γης που θα απελευθερωθεί από την υιοθέτηση της τεχνολογίας κυτταροκαλλιέργειας.

Οι παραπάνω μελέτες καταδεικνύουν καταρχάς την αδυναμία για την ακριβή αποτύπωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που θα έχει η ευρεία εφαρμογή της τεχνολογίας για την παραγωγή κρέατος κυτταροκαλλιέργειας. Επίσης επισημαίνεται η σημασία της βελτιστοποίησης της διαδικασίας, καθώς μόνο έτσι θα μπορέσει να αποκτήσει ξεκάθαρο πλεονέκτημα απέναντι στην παραδοσιακή κτηνοτροφία. Ειδικότερα στον τομέα της ενέργειας τονίζεται ότι η τεχνολογία διαθέτει μεγαλύτερη ευελιξία από την κτηνοτροφία, καθώς δεν υφίσταται περιορισμός ως προς το είδος της ενέργειας που θα καταναλωθεί, ενώ η ευελιξία στο θέμα της τοποθεσίας εγκατάστασης σημαίνει καλύτερη διαχείριση τους κόστους της ενέργειας. Σε ένα ιδανικό σενάριο, οι εγκαταστάσεις για την παραγωγή κρέατος

κυτταροκαλλιέργειας θα τροφοδοτούνται μέσω ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, θα είναι αναπτυγμένες κοντά σε πυκνοκατοικημένες περιοχές όπου η ζήτηση θα είναι μεγάλη και οι προηγούμενες εκτάσεις κτηνοτροφίας που θα απελευθερωθούν, θα αποδοθούν πίσω στο φυσικό περιβάλλον αποκαθιστώντας την βιοποικιλότητα και συμβάλλοντας στην δέσμευση των αερίων του θερμοκηπίου.

5.3. Δημόσια ασφάλεια και υγεία

Ένα άλλο πιθανό όφελος είναι ότι το κρέας κυτταροκαλλιέργειας μέσω των τυποποιημένων και αυστηρά ελεγχόμενων μεθόδων παραγωγής θα είναι λιγότερο ευάλωτο σε βιολογικούς κινδύνους, όπως η ανάπτυξη παθογόνων και ιών. Τα τροφιμογενή παθογόνα όπως η *Salmonella*, το *Campylobacter* και το *E. Coli* αποτελούν πολύ συχνές μολύνσεις του κρέατος λόγω της φύσης της κτηνοτροφίας, ενώ δεν θα μπορούσαν να αναπτυχθούν υπό τις ασηπτικές συνθήκες που απαιτούνται για την παραγωγή κρέατος κυτταροκαλλιέργειας. Επίσης πολλοί ιοί όπως η γρίπη των πτηνών και των χοίρων, η νόσος της σπογγώδους εγκεφαλοπάθειας (τρελών αγελάδων), αλλά και διάφοροι ζωνοόσοι αναμένεται να περιοριστούν, αν μειωθεί η εντατική κτηνοτροφία και περιοριστεί η επαφή ανθρώπου και ζώων. Η σύγχρονη εμπειρία της εξάπλωσης της πανδημίας του κορωνοϊού (COVID-19) έχει επαναφέρει την ανησυχία για τις μεταδιδόμενες μέσω ζώων ασθένειες στον άνθρωπο, είτε από την άγρια πανίδα, είτε από την κτηνοτροφία, με αποτέλεσμα να επιδιώκονται πιο ενεργά εναλλακτικές πηγές πρωτεΐνης (Rzymiski et al., 2021).

Σημαντικό όφελος για την υγεία θα είναι και ο περιορισμός χρήσης αντιβιοτικών, δεδομένης της αντίστασης που έχουν αναπτύξει στα αντιβιοτικά διάφορα παθογόνα, εξαιτίας της ευρείας χρήσης τους στην κτηνοτροφία. Μείωση αναμένεται να υπάρξει και στην παρουσία από φυτοφάρμακα και μυκητοκτόνα, τα οποία επίσης περνούν στη διατροφή του ανθρώπου μέσω των ζωοτροφών (Jairath et al., 2021). Εκτός από τα παραπάνω, το κρέας που παράγεται μέσω της κτηνοτροφίας μπορεί να έχει μολυνθεί από μία σειρά τοξικοχημικών παραγόντων, όπως πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCB), βαρέα μέταλλα, βρωμιωμένα επιβραδυντικά φλόγας και ετεροκυκλικές αρωματικές αμίνες, τα οποία έχουν συσσωρευτική δράση για την υγεία του ατόμου (Bhat et al., 2019).

Εξίσου σημαντικό είναι ότι το κρέας κυτταροκαλλιέργειας μπορεί να συνεισφέρει στην υγεία του ατόμου, καθώς λόγω του κατά παραγγελία σχεδιασμού του, μπορεί να παραχθεί με ένα δεδομένο προφίλ θρεπτικών συστατικών, καλών λιπαρών οξέων, βιταμινών και ιχνοστοιχείων. Για παράδειγμα η αντικατάσταση των κορεσμένων λιπαρών με ωμέγα-3

λιπαρά οξέα, θα έχει ως συνέπεια την μείωση ασθενειών που σχετίζονται με τη διατροφή, όπως καρδιαγγειακές παθήσεις, παχυσαρκία, καρκίνος και διαβήτης (Bhat et al., 2017).

5.4. Βιωσιμότητα και λουπές εφαρμογές

Καθώς εκτιμάται ότι ο παγκόσμιος πληθυσμός το 2050 θα αγγίξει τα 10 δισεκατομμύρια κατοίκους, η ζήτηση για την παραγωγή κρέατος αναμένεται να αυξηθεί επίσης, φθάνοντας τους 464 εκατομμύρια τόνους, πιέζοντας το ήδη επιβαρυσμένο σύστημα κτηνοτροφίας. Το κρέας κυτταροκαλλιέργειας κάνοντας τη βέλτιστη χρήση των φυσικών πόρων, μπορεί να προσφέρει μία βιώσιμη λύση για την παγκόσμια αγορά κρέατος, χωρίς να χρειαστεί να επιβαρυνθεί το περιβάλλον, ή να μεταβληθούν οι τροφικές συνήθειες του πληθυσμού. Για την παραγωγή 1 kg πουλερικών, χοιρινού και βοδινού απαιτείται η κατανάλωση 2, 4 και 7 kg τροφής αντίστοιχα (Bhat et al., 2019). Σε αυτό το κλάσμα μετατροπής, θα πρέπει έπειτα να ληφθούν υπόψη και οι απώλειες από τα μη φαγώσιμα μέρη του ζώου, κόκκαλα, όργανα, εντόσθια, δέρμα, κλπ. Αντίθετα το κρέας κυτταροκαλλιέργειας δεν περιλαμβάνει παραπροϊόντα, και η ενέργεια που προσφέρεται στο σύστημα μεταβολίζεται αποκλειστικά για τον πολλαπλασιασμό και την ανάπτυξη των κυττάρων και όχι για τις δραστηριότητες ενός ζώου. Επιπλέον η παραγωγή κρέατος σε αντιδραστήρα θα είναι ανεξάρτητη των εξωτερικών συνθηκών, εξασφαλίζοντας σταθερή και προβλέψιμη παραγωγή της ίδιας ποιότητας. Ακόμα θα επιταχυνθούν οι χρόνοι παραγωγής για δεδομένη ποσότητα κρέατος, σε σχέση με τους σημερινούς απαιτούμενους χρόνους για την εκτροφή και επεξεργασία των κυριότερων ζωικών τροφών. Δύναται επίσης η δυνατότητα για παραγωγή κρέατος σε περιοχές που δεν υπάρχουν οι ιδανικές συνθήκες για εκτροφή ζώων, ή για πυκνοκατοικημένες περιοχές που αναγκάζονται να εισάγουν τις μεγαλύτερες ποσότητες κρέατος για να καλυφθούν οι ανάγκες του πληθυσμού. Υπό αυτή την οπτική δεν αποτελεί έκπληξη η επιλογή της Σιγκαπούρης, μίας χώρας με έκταση μόλις 728,6 τετραγωνικά χιλιόμετρα και πληθυσμό 5.453.600 κατοίκων, να δώσει την πρώτη άδεια για κατανάλωση κρέατος κυτταροκαλλιέργειας στον κόσμο, τον Δεκέμβριο του 2020.

Καθώς η παραγωγή κρέατος κυτταροκαλλιέργειας δεν περιλαμβάνει τη σφαγή ζώων, καθίσταται δυνατή η εισαγωγή στις ποικιλίες παραγωγής, κρέατος προερχόμενο από διάφορα εξωτικά ή απαγορευμένα είδη ζώων. Δεδομένου ότι η παραγωγή αποτελείται από τα ίδια βασικά στάδια, δεν αποκλείεται η επιτυχής καλλιέργεια κυττάρων από σειρές που έχουν απομονωθεί από τέτοιου είδους ζώα, προσφέροντας στους καταναλωτές κάποιες ιδιαίτερες γεύσεις, όπως λουκάνικα ρινόκερου, ή μπιφτέκια λευκής λεοπάρδαλης (Zaraska, 2013).

Ο τρόπος παραγωγής του κρέατος κυτταροκαλλιέργειας, το καθιστά ως δυνητική επιλογή για τον εξοπλισμό σε απομονωμένα περιβάλλοντα, όπως είναι οι διαστημικές αποστολές και οι ερευνητικές αποστολές στους Πόλους. Γενικά, σε εγκαταστάσεις όπου η μεταφορά τροφής είναι εξαιρετικά δύσκολη, και η εκτροφή ζώων δεν υφίσταται ως επιλογή, η τεχνολογία της κυτταροκαλλιέργειας θα μπορούσε να αποτελεί μία πηγή φρέσκου πρωτεϊνούχου και θρεπτικού φαγητού (Bhat et al., 2019).

Το κρέας κυτταροκαλλιέργειας θα μπορούσε επίσης να αποτελέσει μία αποδεκτή πηγή πρωτεΐνης για μία μεγάλη μερίδα ανθρώπων που αποφεύγουν την κατανάλωση κρέατος, είτε για ηθικούς, είτε για θρησκευτικούς λόγους. Το γεγονός ότι δεν υφίσταται σφαγή κάποιου ζώου για την παραγωγή του κρέατος, θα μπορούσε να σημαίνει ότι δεν περιορίζεται η κατανάλωσή του από τους κανόνες του Halal και του Kosher. Αν και ακόμα δεν έχει τεθεί κάποιο τέτοιο ζήτημα, κάποιοι Μουσουλμάνοι μελετητές και ραβίνοι αντίστοιχα, αναφέρουν ότι η προέλευση των κυττάρων είναι αυτή που θα καθορίσει τον χαρακτηρισμό του τελικού προϊόντος (Bhat et al., 2019).

5.5. Μειονεκτήματα και προβληματισμοί

Παρ' όλα τα παραπάνω πλεονεκτήματα που πιθανόν να διαθέτει η ευρεία χρήση της τεχνολογίας παραγωγής κρέατος κυτταροκαλλιέργειας, ως μία νέα και ακόμα αναπτυσσόμενη τεχνολογία, με άγνωστες συνέπειες ως προς την μελλοντική της χρήση, συγκεντρώνει και αρκετούς προβληματισμούς, οι οποίοι θα πρέπει να αντιμετωπισθούν προκειμένου να επιτευχθεί η επιτυχής ανάπτυξή της.

Τα μεγαλύτερα εμπόδια στην εμπορική ανάπτυξη προϊόντων κρέατος κυτταροκαλλιέργειας είναι τεχνολογικής και οικονομικής φύσεως. Από τεχνολογικής πλευράς, προς το παρόν η παραγωγή περιορίζεται σε ιστούς κρέατος πάχους μερικών μικρομέτρων, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ενσωματωθούν σε άλλα προϊόντα κρέατος, ή να συνδυαστούν για να δώσουν επεξεργασμένα κομμάτια κρέατος. Η παραγωγή κομματιών με αξιόλογο πάχος και συνεκτικότητα, που θα προσομοιάζει τα πραγματικά τεμάχια κρέατος, είναι ακόμα μη επιτεύξιμη. Επιπλέον το κόστος παραγωγής σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να συγκριθεί με το υπάρχον κόστος για τα προϊόντα κρέατος. Ειδικά για το κρέας σε μορφή κιμά, που είναι ο στόχος για την παρούσα φάση της τεχνολογίας, πρόκειται για το πιο φθηνό προϊόν της αγοράς κρέατος, πολύ απλό και χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις από τους καταναλωτές. Αυτό καθιστά δύσκολη την εμπορική ανάπτυξη αντίστοιχου προϊόντος, καθώς οικονομικά δεν θα μπορεί να συναγωνιστεί την αγορά και επιπλέον δεν θα έχει να προσφέρει κάτι

νέο. Στα αρχικά στάδια της ανάπτυξης του προϊόντος και μέχρι να μειωθεί σημαντικά το κόστος και να εξελιχθεί η τεχνολογία, τα προϊόντα κρέατος κυτταροκαλλιέργειας θα πρέπει να απευθυνθούν σε εύπορους αγοραστές, που θα θέλουν να δοκιμάσουν κάτι διαφορετικό, ίσως επιλέγοντας την καλλιέργειας ιστών από άγρια ή απαγορευμένα είδη ζώων (Welin, 2013).

Προβληματισμοί ανακύπτουν και σχετικά με τις κοινωνικοπολιτιστικές προεκτάσεις που θα είχε μία ευρείας κλίμακας παραγωγή κρέατος κυτταροκαλλιέργειας. Η σημερινή παραγωγή κρέατος αποτελεί βασικό οικονομικό τομέα πολλών χωρών με μικρές οικονομίες, κυρίως στην Υποσαχάρια Αφρική και στην νότια Ασία. Η πλειονότητα του φτωχού πληθυσμού ζει σε αναπτυσσόμενες χώρες και στηρίζεται στην κτηνοτροφία για να ζήσει. Η αντικατάσταση της παραδοσιακής κτηνοτροφίας από την τεχνολογία της κυτταροκαλλιέργειας, θα είχε ως συνέπεια την απώλεια σημαντικών εσόδων για αυτές τις χώρες και θα προκαλούσε διατάραξη των κοινωνικών ισορροπιών, καθώς σε αυτές τις κοινωνίες τα ζώα δεν αποτελούν μόνο πηγή πρωτεΐνης, αλλά επιτελούν και μία σειρά από διάφορους κοινωνικούς ρόλους (Jairath et al., 2021). Το πρόβλημα ωστόσο δεν περιορίζεται στις αναπτυσσόμενες χώρες, καθώς η νέα τεχνολογία θα σημαίνει την αλλαγή των συσχετισμών στην παραγωγή κρέατος παγκοσμίως. Υπάρχουν φόβοι ότι η παραγωγή και ο πλούτος της αγοράς κρέατος θα περιοριστεί σε λίγες πολυεθνικές εταιρίες. Το προσωπικό που θα απασχολείται επίσης στη νέα αγορά κρέατος, θα απαιτείται να έχει πολύ διαφορετικά σετ δεξιοτήτων και γνώσεων, που εκτείνονται πέρα από τους πιο παραδοσιακούς ρόλους των γεωπόνων και κτηνιάτρων και θα περιλαμβάνουν επίσης χημικούς, βιολόγους, επιστήμονες υλικών, χημικούς μηχανικούς, επιστήμονες σκελετικών μυών και τεχνολόγους τροφίμων (Stephens et al., 2018).

Ένας άλλος προβληματισμός έχει να κάνει με την οπτική υπό την οποία εξετάζονται συνήθως τα πλεονεκτήματα του κρέατος κυτταροκαλλιέργειας. Αν και οι υποθέσεις εξετάζουν συνήθως την αντικατάσταση της παραδοσιακής κτηνοτροφίας από την τεχνολογία της κυτταροκαλλιέργειας, προκειμένου να ικανοποιηθούν οι παγκόσμιες ανάγκες και να αντιμετωπισθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, το πιο πιθανό είναι ότι το κρέας κυτταροκαλλιέργειας θα υπάρξει παράλληλα με την παραδοσιακή κτηνοτροφία. Αυτό θα μπορούσε να έχει τα αντίθετα από τα προσδοκώμενα αποτελέσματα, καθώς θα ωθούσε ουσιαστικά περισσότερο κόσμο στην κατανάλωση κρέατος, κάνοντας πιο εύκολη την πρόσβαση σε αυτό. Ουσιαστικά αντί να αντικαταστήσει το παραδοσιακό κρέας θα δράσει σαν ένας προσθετικός

παράγοντας στην παγκόσμια παραγωγή και ζήτηση, με το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού να καταναλώνει όλο και περισσότερο κρέας (Stephens et al., 2018).

Το μεγαλύτερο μειονέκτημα ίσως που αντιμετωπίζει το κρέας κυτταροκαλλιέργειας είναι ότι πρέπει να κατορθώσει να κερδίσει την αποδοχή του καταναλωτικού κοινού, καθώς πρόκειται για ένα τεχνητό προϊόν, που προσπαθεί να μιμηθεί ένα φυσικό. Το κατά πόσο είναι το ίδιο το προϊόν φυσικό είναι ένα ζήτημα προβληματισμού, καθώς από την μία πλευρά τα συστατικά του είναι ίδια με αυτά που υπάρχουν και στο κανονικό κρέας, από την άλλη έχει παρασκευαστεί σε έναν αντιδραστήρα με έναν τεχνητό τρόπο. Αυτή η αίσθηση του «αφύσι-κου» ίσως αποτελεί τη σημαντικότερη αντίσταση του κόσμου για την αποδοχή του (Welin, 2013). Οι αντιλήψεις για το τι είναι φυσικό και τι όχι, εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες και ο διαχωρισμός δεν είναι πάντα ξεκάθαρος, με το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα να είναι το κατά πόσο θεωρούνται φυσικά τα παιδιά που γεννιούνται με τεχνητή (in vitro) γονιμοποίηση. Το κρέας κυτταροκαλλιέργειας μπορεί να χαρακτηριστεί είτε φυσικό είτε τεχνητό, ανάλογα με το πλαίσιο μέσα στο οποίο θέτουμε το ερώτημα. Δύο από τα καλύτερα επιχειρήματα, που επιλέχθηκαν ως τα πιο αντιπροσωπευτικά υπέρ της φυσικότητας του κρέατος κυτταροκαλλιέργειας, αναφέρθηκαν στο συνέδριο του συνθετικού κρέατος το 2010 στο Hindås της Σουηδίας σε σχετικό διαγωνισμό. Κατά το πρώτο επιχειρήμα: «το κρέας κυτταροκαλλιέργειας είναι πιο φυσικό από αυτό που παράγεται μέσω της σύγχρονης εντατικής κτηνοτροφίας, όπου τα ζώα ζουν αφύσικες ζωές, ταΐζονται με ορμόνες και τεχνητές τροφές. Επίσης δεν μπορεί να θεωρηθεί λιγότερο φυσικό από όσο φυσικά θεωρούνται προϊόντα όπως το γιαούρτι, το τυρί, το ψωμί και το κρασί. Όλα περιλαμβάνουν την επεξεργασία συστατικών που προέρχονται από φυσικές πηγές». Κατά το δεύτερο επιχειρήμα: «Η ζωή στη Γη ξεκίνησε με ένα μόνο κύτταρο, ένα φυσικό γεγονός. Η ζωή μας ξεκινά με ένα μόνο κύτταρο, αναμφίβολα πολύ φυσικό. Το καλλιεργημένο κρέας προέρχεται από ένα μόνο κύτταρο, όπως και τα φυτά που τρώμε. Η κατανάλωση καλλιεργημένου κρέατος είναι κάτι πολύ φυσικό». Επιπλέον, η υποτιθέμενη τεχνητή φύση του προϊόντος μπορεί να είναι ακριβώς αυτό που θα θεωρηθεί το πλεονέκτημά του, καθώς θα εκληφθεί ως η επιλογή αυτή που η φύση δεν μπορούσε να μας δώσει και ο άνθρωπος μπόρεσε να κατακτήσει (Hopkins & Dacey, 2008).

6. Αποδοχή Καταναλωτών

Καθώς η στάση των καταναλωτών επηρεάζει τις επιλογές των προϊόντων τους, η στάση απέναντι στο καλλιεργημένο κρέας θα είναι κρίσιμη για την επιτυχία και αποδοχή αυτού του νέου προϊόντος. Μέχρι σήμερα έχει διεξαχθεί πλήθος ερευνών για την διερεύνηση των αντιλήψεων, των προθέσεων και της στάσης που θα κρατήσουν οι καταναλωτές απέναντι στο κρέας κυτταροκαλλιέργειας, ενώ τα συμπεράσματα που προκύπτουν ποικίλουν, αξιολογώντας απόψεις που κυμαίνονται από πολύ υποστηρικτικές, έως πολύ αρνητικές και με πολλές αβεβαιότητες στο ενδιάμεσο.

6.1. Δοκιμές και οργανοληπτική αξιολόγηση

Καθώς πρόκειται για ένα νέο προϊόν, που δεν έχει ακόμα εμπορευματοποιηθεί, όλες σχεδόν οι έρευνες καταναλωτών αφορούν την αξιολόγηση προθέσεων, για κάτι που ουσιαστικά δεν έχει δοκιμαστεί και επομένως στηρίζονται σε υποθέσεις και διάφορους ψυχολογικούς παράγοντες παρά σε κάτι χειροπιαστό. Οι λίγες γευστικές δοκιμές, που έχουν γίνει από πάνελ για προϊόντα κυτταροκαλλιέργειας, δίνουν μία αίσθηση για το τι πρέπει να αναμένεται από την τεχνολογία με τα σημερινά δεδομένα.

Η πρώτη επίσημη αξιολόγηση κρέατος που παρασκευάστηκε με κυτταροκαλλιέργεια ή ιστοκαλλιέργεια έγινε για τα μοσχεύματα μυών χρυσόψαρου, που καλλιεργήθηκαν από τους Benjaminson κ.α. στα πλαίσια της έρευνας για τη δημιουργία ενός συστήματος παραγωγής κρέατος *in vitro*, για πληρώματα διαστημικών αποστολών. Στην έρευνα αναφέρεται ότι το προϊόν εξετάστηκε πριν και μετά το μαγείρεμά του. Στη συνέχεια παναρίστηκε και τηγανίστηκε σε λίπος. Το τηγανισμένο προϊόν δεν δοκιμάστηκε γευστικά, παρά μόνο εξετάστηκε οπτικά και οσφρητικά. Το πάνελ έκρινε ικανοποιητική την παρουσίαση, τόσο πριν όσο και μετά το μαγείρεμα (Benjaminson et al., 2002).

Η δεύτερη αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε κατά την επίδειξη – συνέντευξη στις 5 Αυγούστου 2013 σε στούντιο του Λονδίνου, για το πρώτο μπιφτέκι από μοσχαρίσιο κρέας κυτταροκαλλιέργειας, που οργάνωσε η ομάδα του Ολλανδού ερευνητή Mark Post. Το μπιφτέκι μαγειρεύτηκε σε ζωντανή μετάδοση και δοκιμάστηκε από το πάνελ που το αποτελούσαν ο Mark Post, ένας δημοσιογράφος – συγγραφέας, μία επιστήμονας τροφίμων, ένας γνωστός σεφ και μία γνωστή παρουσιάστρια (Εικόνα 13). Το μπιφτέκι είχε γεύση και οσμή κρέατος αν και λιγότερο χυμώδες από ένα κοινό μπιφτέκι. Η κοινή εκτίμηση ήταν ότι δοκίμαζαν ένα προϊόν που ήταν «σχεδόν» σαν το αυθεντικό (O’Riordan et al., 2017).



Εικόνα 13: Στιγμιότυπο από την παρουσίαση του πρώτου μπιφτεκιού από κρέας κυτταροκαλλιέργειας. Λονδίνο 2013.

Η τρίτη και τελευταία μέχρι σήμερα αξιολόγηση ενός προϊόντος από κρέας κυτταροκαλλιέργειας πραγματοποιήθηκε τον Δεκέμβριο του 2020 στο εστιατόριο «1880» της Σιγκαπούρης, όπου πωλήθηκε το πρώτο πιάτο που περιείχε κοτομπουκιές από καλλιεργημένο κρέας κοτόπουλου. Το προϊόν δημιουργήθηκε από την εταιρία «EAT JUST» και δοκιμάστηκε από τους πελάτες του εστιατορίου. Αν και η γεύση ήταν ίδια με ένα κοτόπουλο, η υφή παρουσιάστηκε πιο ομοιόμορφη, χωρίς ίνες και χυμούς λίπους που θα το έκαναν πιο ζουμερό (Saini, 2021).

Από τις παραπάνω δοκιμές είναι φανερό, ότι μέχρι σήμερα δεν είναι δυνατή η επιτυχής δημιουργία συνεκτικών δομών κρέατος, που θα προσομοιάζουν με ολόκληρα ακέραια κομμάτια, όπως μία μπριζόλα, ή ένα στήθος κοτόπουλου. Ακόμα και στην επεξεργασμένη τους μορφή, αυτά τα προϊόντα υστερούν ακόμα από τα πρωτότυπα ως προς την υφή και το χρώμα, καθώς αποτελούνται σχεδόν αποκλειστικά από μυϊκό ιστό χωρίς ενσωματωμένο λίπος ή άλλες δομές του κρέατος. Επιπλέον το χρώμα δεν είναι το χαρακτηριστικό κόκκινο χρώμα που αναμένει ο καταναλωτής, κυρίως στα μοσχαρίσια και χοιρινά κρέατα. Αυτό οφείλεται στην μειωμένη έκφραση της μυοσφαιρίνης σε συνθήκες κυτταροκαλλιέργειας. Το κρέας που δοκιμάστηκε το 2013 είχε χρωματιστεί τεχνητά με προσθήκη χυμού παντζαριού και σαφράν (Zaraska, 2013).

6.2. Διεξαγωγή και αποτελέσματα ερευνών

6.2.1. Σύνοψη κυριότερων ερευνών

Υπάρχει ένα πλήθος ερευνών για την αποδοχή του κρέατος κυτταροκαλλιέργειας από το καταναλωτικό κοινό, οι οποίες έχουν διεξαχθεί με διαφορετικούς τρόπους, φρασεολογία και εστίαση. Οι κυριότερες από αυτές τις έρευνες συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα μαζί με τα κυριότερα συμπεράσματα και με την ποσοστιαία αποδοχή για την αγορά κρέατος κυτταροκαλλιέργειας, για όσες έρευνες έθεταν αυτό το ερώτημα (C. Bryant & Barnett, 2018, 2020).

Πηγή – έτος	Μέθοδος	Μέγεθος και δημογραφικά στοιχεία	Ποσοστά αποδοχής			Κύρια Συμπεράσματα
			Υπέρ	Κατά	Δ/Α	
Tucker, 2014	Ομάδες συζήτησης	Νέα Ζηλανδία. 69 συμμετέχοντες σε 19 ομάδες	32,5%	55%	12,5%	Γενικά αρνητικές απόψεις. Περισσότερο θετικές από άνδρες, νέους, μειοψηφίας τάξης, κατοίκους πόλεων. Μειονεκτήματα τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, αίσθηση αφύσικου, αντιλαμβανόμενο ως ανθυγιεινό
Marcu et al., 2015	Ομάδες συζήτησης	Η.Β., Βέλγιο, Πορτογαλία. 174 συμμετέχοντες και 109 σε ομάδες συζήτησης	-	-	-	Αντιδράσεις που σχετίζονται με αποστροφή για το αφύσικο. Αναγνώρισαν οφέλη για το περιβάλλον και την επισιτιστική ασφάλεια. Περαιτέρω προβληματισμοί αφορούσαν την αναπόφευκτη επιστημονική πρόοδο και τον έλεγχο των κινδύνων, καθώς και την ανάγκη ρύθμισης και σαφούς επισήμανσης. Οι συμμετέχοντες κατέφυγαν σε πιο οικείες τεχνολογίες για να κατανοήσουν την τεχνολογία. Ορισμένοι έθεσαν ερωτήσεις και ασχολήθηκαν με τη ρεαλιστική εξέταση των πιθανών οφελών και κινδύνων
Laestadius & Caldwell, 2015	Ανάλυση σχολίων διαδικτύου	ΗΠΑ. 814 σχόλια από 462 άτομα σε 7 άρθρα για την πρώτη δοκιμή κρέατος κυτταροκαλλιέργειας το 2013	-	-	-	Τα ευρήματα υποδεικνύουν ότι ενώ τα κίνητρα για το περιβάλλον και την επισιτιστική ασφάλεια για το κρέας κυτταροκαλλιέργειας έχουν απήχηση σε ορισμένα τμήματα του πληθυσμού, άλλα θεωρούν ότι η συλλογιστική είναι προβληματική. Επιπλέον, οι ανησυχίες σχετικά με το προϊόν ως αφύσικο και επικίνδυνο, φαίνεται να αποτελούν σημαντικό εμπόδιο στη δημόσια αποδοχή του
A. Hocquette et al., 2015	Συνέντευξη	Γαλλία, 865 συμμετέχοντες και άλλοι 1025 διεθνώς. Σύνολο 1890, κυρίως επιστήμονες και φοιτητές	14,2%	56,2%	29,6%	Αναγνωρίζονται τα περιβαλλοντικά προβλήματα και τα προβλήματα καλής διαβίωσης των ζώων. Πιστεύεται ότι το καλλιεργημένο κρέας είναι εφικτό και ρεαλιστικό. Ωστόσο, μόνο μια μειοψηφία επέλεξε την κατανάλωση καλλιεργημένου κρέατος ως πρώτη επιλογή για να μετριάσει τα προβλήματα που σχετίζονται με την παραγωγή κρέατος. Οι περισσότεροι

Πηγή – έτος	Μέθοδος	Μέγεθος και δημογραφικά στοιχεία	Ποσοστά αποδοχής			Κύρια Συμπεράσματα
			Υπέρ	Κατά	Δ/Α	
						πίστευαν ότι δεν θα ήταν υγιεινό ή νόστιμο, και ότι οι καταναλωτές δεν θα το δέχονταν. Ωστόσο, πολλοί ήταν υπέρ της υποστήριξης περαιτέρω έρευνας
Verbeke et al., 2015	Έρευνα (πριν και μετά από σχετική πληροφόρηση)	Βέλγιο. 180 συμμετέχοντες κυρίως φοιτητές	42,5%	6,1%	51,4%	Η παρουσίαση πρόσθετων πληροφοριών για τα πλεονεκτήματα του προϊόντος είχε θετικό αντίκτυπο στην προτίμηση
O'Keefe et al., 2016	Ομάδες συζήτησης	H.B. 40 συμμετέχοντες σε 6 ομάδες συζήτησης στο πανεπιστήμιο του Μάντσεστερ	-	-	-	Θετική γνώμη για το προϊόν, στα πλαίσια συζήτησης για την επιστημονική πρόοδο, το περιβαλλοντικό αποτύπωμα και την ασφάλεια της αλυσίδας τροφίμων
Bekker, Fischer, et al., 2017	Πειραματική έρευνα (πριν και μετά από σχετική πληροφόρηση)	Ολλανδία. 190, 194 και 192 φοιτητές σε τρία πειράματα	-	-	-	Οι θετικές και αρνητικές πληροφορίες σχετικά με το προϊόν επηρέασαν τη ρητή, αλλά όχι τη σιωπηρή, στάση απέναντι σε αυτό προς την κατεύθυνση των πληροφοριών. Υπήρχε μικρότερη επίδραση για τους πιο οικείους με το προϊόν συμμετέχοντες
Bekker, Tobi, et al., 2017	Πειραματική έρευνα – συζήτηση	Ολλανδία. 30 φοιτητές (10 από Αιθιοπία, 10 από Κίνα και 10 από Ολλανδία)	-	-	-	Το κρέας κυτταροκαλλιέργειας θεωρήθηκε γενικά συγκρίσιμο με το συμβατικό κρέας όσον αφορά τις φυσικές ιδιότητες και το περιεχόμενο, αν και ορισμένοι συμμετέχοντες το αντιλήφθηκαν ως μη «πραγματικό» κρέας. Αυτό διέφερε μεταξύ των συμμετεχόντων διαφορετικών χωρών, ανάλογα με το πόσο φιλελεύθερος ήταν ο ορισμός τους για το κρέας

Πηγή – έτος	Μέθοδος	Μέγεθος και δημογραφικά στοιχεία	Ποσοστά αποδοχής			Κύρια Συμπεράσματα
			Υπέρ	Κατά	Δ/Α	
Wilks & Phillips, 2017	Έρευνα μέσω διαδικτύου	ΗΠΑ. 673 ενήλικοι συμμετέχοντες	65%	12%	21%	Οι άνδρες ήταν πιο δεκτικοί από τις γυναίκες, όπως και οι φιλελεύθεροι σε σύγκριση με τους συντηρητικούς. Οι κύριες ανησυχίες ήταν η τιμή, η γεύση και η αίσθηση του αφύσικου
Siegrist & Sütterlin, 2017	Πειραματική έρευνα μέσω διαδικτύου	Ελβετία. 244 και 253 συμμετέχοντες σε δύο πειράματα	-	-	-	Οι κίνδυνοι για την υγεία από το κρέας κυτταροκαλλιέργειας κρίθηκαν λιγότερο αποδεκτοί από τους κινδύνους για την υγεία από το συμβατικό κρέας. Αυτό το αποτέλεσμα προέκυψε από την αντιληπτή φυσικότητα
Siegrist et al., 2018	Πειραματική έρευνα μέσω διαδικτύου	Ελβετία. 204 και 298 συμμετέχοντες σε δύο πειράματα	-	-	-	Το κρέας κυτταροκαλλιέργειας έχει μικρότερη αποδοχή από το συμβατικό κρέας λόγω της αντίληψής του ως αφύσικο. Η συζήτηση δε για το κρέας κυτταροκαλλιέργειας αύξησε την αποδοχή του συμβατικού κρέατος. Οι μη τεχνικές περιγραφές οδηγούν σε μεγαλύτερη αποδοχή από τις τεχνικές περιγραφές, κάτι που εξηγείται σε μεγάλο βαθμό από την αίσθηση του αφύσικου και αποστροφή
Slade, 2018	Έρευνα μέσω διαδικτύου	Καναδάς. 533 συμμετέχοντες	-	-	-	Εάν οι τιμές ήταν ίσες, το 65% των καταναλωτών θα αγόραζε μοσχαρίσιο μπιφτέκι, το 21% θα αγόραζε μπιφτέκι φυτικής προέλευσης, το 11% θα αγόραζε το μπιφτέκι από κρέας κυτταροκαλλιέργειας και το 4% δεν θα αγόραζε τίποτα. Τα ποσοστά αυτών που επέλεξαν το κρέας κυτταροκαλλιέργειας ήταν μεγαλύτερα στους νέους, άντρες, πιο μορφωμένους και συνηθισμένους να καταναλώνουν υποκατάστατα κρέατος
Geipel et al., 2018	Πειραματική έρευνα	Γερμανία. 161 συμμετέχοντες, κυρίως γυναίκες	30,3%	25,8%	43,9%	Οι καταναλωτές είναι πιο πιθανό να πουν ότι θα έτρωγαν κρέας κυτταροκαλλιέργειας αν ρωτηθούν σχετικά σε μια ξένη γλώσσα (έναντι της μητρικής τους γλώσσας). Το φαινόμενο εξηγείται από την αίσθηση αποστροφής.

Πηγή – έτος	Μέθοδος	Μέγεθος και δημογραφικά στοιχεία	Ποσοστά αποδοχής			Κύρια Συμπεράσματα
			Υπέρ	Κατά	Δ/Α	
C. J. Bryant et al., 2019	Πειραματική έρευνα	ΗΠΑ. 1185 συμμετέχοντες	66,4%	-	-	Τα επιχειρήματα ότι το κρέας κυτταροκαλλιέργειας είναι φυσικό και ότι η φυσικότητα δεν πρέπει να έχει σημασία τείνουν να μην πείθουν τους καταναλωτές και οδήγησαν σε χαμηλότερη αποδοχή από ότι η συζήτηση των γενικών οφελών χωρίς να αναφέρεται η φυσικότητα.
C. J. Bryant & Barnett, 2019	Πειραματική έρευνα	Διεθνής. 185 συμμετέχοντες	-	-	-	Η ονομασία που χρησιμοποιείται για να περιγράψει το κρέας κυτταροκαλλιέργειας έχει σημαντική επίδραση στις στάσεις και τις προθέσεις συμπεριφοράς των καταναλωτών, με το «καθαρό κρέας» να έχει ως αποτέλεσμα σημαντικά πιο θετικές συμπεριφορές από ότι το «κρέας που καλλιεργείται στο εργαστήριο» («καλλιεργημένο κρέας» και «κρέας χωρίς ζώα» δεν διέφεραν σημαντικά).
C. Bryant & Dillard, 2019	Πειραματική έρευνα	ΗΠΑ. 480 συμμετέχοντες	64,6%	18,4%	16,9%	Ένα πλαίσιο επικεντρωμένο στην υψηλής τεχνολογίας/επιστημονική φύση του κρέατος κυτταροκαλλιέργειας είχε ως αποτέλεσμα σημαντικά λιγότερο θετικές στάσεις και προθέσεις σε σύγκριση με πλαίσια που επικεντρώνονται στα κοινωνικά οφέλη ή στην ομοιότητά του με το συμβατικό κρέας.
C. Bryant et al., 2019	Έρευνα	ΗΠΑ, Ινδία και Κίνα. 3030 συμμετέχοντες	52%	34%	13%	Η αποδοχή είναι σημαντικά υψηλότερη στην Κίνα και την Ινδία σε σύγκριση με τις ΗΠΑ. Η αίσθηση της αποστροφής οδήγησε στην απόρριψη του κρέατος κυτταροκαλλιέργειας μόνο στις Η.Π.Α., ενώ η αποδοχή στην Κίνα καθοδηγούνταν από την αντιληπτή υγιεινή και ασφάλεια και στην Ινδία από ηθικούς λόγους.
Circus & Robison, 2019	Έρευνα	Η.Β. 139 συμμετέχοντες	-	-	-	Το κρέας κυτταροκαλλιέργειας προτιμήθηκε από τα έντομα αλλά όχι από το φυτικό υποκατάστατο κρέατος

Πηγή – έτος	Μέθοδος	Μέγεθος και δημογραφικά στοιχεία	Ποσοστά αποδοχής			Κύρια Συμπεράσματα
			Υπέρ	Κατά	Δ/Α	
Egolf et al., 2019	Έρευνα	Ελβετία. 313 συμμετέχοντες	33%	-	-	Η απόρριψη του κρέατος κυτταροκαλλιέργειας οφείλεται στην αποστροφή. Αν και θεωρήθηκε η πιο ωφέλιμη από τις τρεις τεχνολογίες τροφίμων που περιλαμβάνονται, ήταν πιο αποδεκτό από τους ΓΤΟ αλλά λιγότερο αποδεκτό από ένα συνθετικό πρόσθετο τροφίμων.
Gómez-Luciano, de Aguiar, et al., 2019	Έρευνα	Η.Β, Ισπανία, Βραζιλία, Δομινικανή Δημοκρατία. 729 ενήλικοι συμμετέχοντες	20% 42% 11,5% 15%	-	-	Οι εναλλακτικές λύσεις κρέατος ήταν γενικά πιο ελκυστικές για ομάδες υψηλότερου εισοδήματος και το κρέας κυτταροκαλλιέργειας ήταν πιο ελκυστικό για τις ευρωπαϊκές χώρες από τις μη ευρωπαϊκές. Η αντιληπτή υγιεινή, διατροφική αξία και ασφάλεια ήταν σημαντικοί προγνωστικοί παράγοντες της προθυμίας δοκιμής σε όλες τις χώρες.
Gómez-Luciano, Vriesekoop, et al., 2019	Έρευνα	Ισπανία και Δομινικανή Δημοκρατία. 401 συμμετέχοντες	-	-	-	Οι συμμετέχοντες γενικά προτιμούσαν το κρέας κυτταροκαλλιέργειας από τα έντομα, αλλά όχι από το κρέας φυτικής προέλευσης. Το κρέας κυτταροκαλλιέργειας βαθμολογήθηκε γενικά χειρότερα για την αντιληπτή υγιεινή, ασφάλεια, διατροφή, βιωσιμότητα και τιμή.
Grasso et al., 2019	Έρευνα	ΗΒ, Ολλανδία, Πολωνία, Ισπανία και Φινλανδία. 1825 ενήλικες (65+) συμμετέχοντες	6%	-	-	Η πρωτεΐνη με βάση τα γαλακτοκομικά ήταν γενικά η πιο αποδεκτή πηγή πρωτεΐνης στα τρόφιμα (75% των ερωτηθέντων θεώρησαν την κατανάλωσή της αποδεκτή ή πολύ αποδεκτή). Η φυτική πρωτεΐνη ήταν η πιο αποδεκτή εναλλακτική, πηγή πρωτεΐνης (58%) ακολουθούμενη από μονοκύτταρη πρωτεΐνη (20%), πρωτεΐνη με βάση τα έντομα (9%) και πρωτεΐνη με βάση το κρέας κυτταροκαλλιέργειας (6%).

Πηγή – έτος	Μέθοδος	Μέγεθος και δημογραφικά στοιχεία	Ποσοστά αποδοχής			Κύρια Συμπεράσματα
			Υπέρ	Κατά	Δ/Α	
Mancini & Antonioli, 2019	Έρευνα	Ιταλία. 525 συμμετέχοντες	55%	21%	24%	Οι συμμετέχοντες γενικά συμφώνησαν με τις θετικές εξωτερικές επιδράσεις του κρέατος κυτταροκαλλιέργειας (για τα ζώα, το περιβάλλον και την ασφάλεια των τροφίμων), αλλά έδωσαν χαμηλότερες βαθμολογίες στα εγγενή του χαρακτηριστικά (ασφάλεια, γεύση και διατροφή). Μεγαλύτερη αποδοχή για τη νεολαία, την τριτοβάθμια εκπαίδευση, την υψηλότερη εξοικείωση και το να είσαι κρεατοφάγος.
Mancini & Antonioli, 2020	Πειραματική έρευνα	Ιταλία. 525 συμμετέχοντες	-	-	-	Η παροχή στους καταναλωτές πρόσθετων θετικών πληροφοριών σχετικά με το κρέας κυτταροκαλλιέργειας αύξησε την αποδοχή τους, συμπεριλαμβανομένης της προθυμίας τους για αγορά, αλλά όχι για δοκιμή.
Rolland et al., 2020	Πειραματική έρευνα	Ολλανδία. 193 συμμετέχοντες	58%	-	-	Η αποδοχή του κρέατος κυτταροκαλλιέργειας αυξήθηκε με την παροχή θετικών πληροφοριών και από μια (προσομοιωμένη) γευστική εμπειρία. Πληροφορίες σχετικά με τα προσωπικά οφέλη οδήγησαν σε σημαντικά υψηλότερη βελτίωση των στάσεων από ότι για την ποιότητα και τη γεύση. Όλοι οι συμμετέχοντες έφαγαν αυτό που πίστευαν ότι ήταν μπιφτέκι από κρέας κυτταροκαλλιέργειας και το αξιολόγησαν ως καλύτερο από ένα συμβατικό μπιφτέκι παρά την έλλειψη αντικειμενικής διαφοράς.
Dupont & Fiebelkorn, 2020	Έρευνα	Γερμανία. 718 παιδιά και νέοι (14 ετών Μ.Ο., 57% γυναίκες)	-	-	-	Οι συμμετέχοντες προτίμησαν τα μπιφτέκια από κρέας κυτταροκαλλιέργειας από τα μπιφτέκια με έντομα. Σε γενικές γραμμές βρήκαν και τα δύο αποκρουστικά. Όσοι είχαν υψηλότερη νεοφοβία και ευαισθησία ήταν λιγότερο πιθανό να θέλουν να φάνε κρέας κυτταροκαλλιέργειας.

Πηγή – έτος	Μέθοδος	Μέγεθος και δημογραφικά στοιχεία	Ποσοστά αποδοχής			Κύρια Συμπεράσματα
			Υπέρ	Κατά	Δ/Α	
Lupton & Turner, 2018	Διαδικτυακές ομάδες συζήτησης	Αυστραλία. 30 συμμετέχοντες	-	-	-	Οι συμμετέχοντες αναγνώρισαν τα οφέλη του κρέατος κυτταροκαλλιέργειας για την κοινωνία, αλλά γενικά το θεώρησαν αφύσικο, όχι φρέσκο, μη θρεπτικό, δυνητικά επιβλαβές και με έλλειψη γεύσης. Το κρέας κυτταροκαλλιέργειας θεωρήθηκε λιγότερο φυσικό και λιγότερο θρεπτικό από τα έντομα.
Michel & Siegrist, 2019	Πειραματική έρευνα	Γερμανία. 632 συμμετέχοντες	-	-	-	Η υποκειμενική σημασία της αίσθησης της φυσικότητας καθοδηγούσε την αποδοχή του κρέατος κυτταροκαλλιέργειας. Όσοι θεωρούν ότι η φυσικότητα είναι σημαντική είναι λιγότερο πιθανό να θεωρούν το κρέας κυτταροκαλλιέργειας φυσικό και είναι λιγότερο πιθανό να το επιλέξουν.
de Paula Soares Valente et al., 2019	Έρευνα	Βραζιλία. 626 συμμετέχοντες, κυρίως γυναίκες, υψηλού μορφωτικού επιπέδου.	63%	15%	22%	Πολλοί συμμετέχοντες αντιλήφθηκαν προβλήματα με το συμβατικό κρέας, κυρίως σχετικά με την καλή διαβίωση των ζώων αλλά και με το σεβασμό στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία. Αν και το 81% γνώριζε ελάχιστα ή καθόλου για την κυτταρική καλλιέργεια, το 63% είπε ότι θα έτρωγε κρέας κυτταροκαλλιέργειας. Τα μεγαλύτερα κίνητρα ήταν η καλή διαβίωση των ζώων, το περιβάλλον, η υγεία και η δοκιμή εναλλακτικών λύσεων, ενώ οι κύριες ανησυχίες ήταν η τιμή, η υγεία, η ηθική και η έλλειψη έρευνας.
Wilks et al., 2019	Έρευνα	ΗΠΑ. 1193 συμμετέχοντες	-	-	-	Η νεοφοβία, ο συντηρητισμός και η δυσπιστία για την τεχνολογία οδηγούσαν τους συμμετέχοντες στην απόρριψη του κρέατος κυτταροκαλλιέργειας, ενώ η ευαισθησία στην αίσθηση φυσικότητας δεν είχε κάποια ένδειξη τάσης.

Πηγή – έτος	Μέθοδος	Μέγεθος και δημογραφικά στοιχεία	Ποσοστά αποδοχής			Κύρια Συμπεράσματα
			Υπέρ	Κατά	Δ/Α	
Shaw & mac Con Iomaire, 2019	Ομάδες συζήτησης	Ιρλανδία. 312 συμμετέχοντες μισοί από αστικές περιοχές και μισοί από αγροτικές.	62% (αστικές) 46% (αγροτικές)	-	-	Οι συμμετέχοντες χαρακτήρισαν γενικά το κρέας κυτταροκαλλιέργειας ως μη φυσικό και είχαν σχετικές ανησυχίες για την ασφάλεια και τις επιπτώσεις του για τους Ιρλανδούς αγρότες. Αναμένεται ότι θα έχει κατώτερη γεύση και υφή και ότι θα είναι φθηνότερο από το συμβατικό κρέας. Τα περιβαλλοντικά οφέλη θεωρήθηκαν ως πιο σημαντικά, ενώ η ασφάλεια ήταν η μεγαλύτερη ανησυχία. Τα μεγαλύτερα ποσοστά αποδοχής εντοπίστηκαν στους νέους, άνδρες και κατοίκους αστικής περιοχής.
van der Weele & Driessen, 2019	Ομάδες συζήτησης	Ολλανδία. 45 συμμετέχοντες σε πέντε ομάδες συζήτησης	-	-	-	Συνολικά, ο προβληματισμός για το κρέας κυτταροκαλλιέργειας έκανε τους ανθρώπους να προβληματιστούν σχετικά με την κατανάλωση συμβατικού κρέατος. Οι ηλικιωμένοι αναρωτήθηκαν περισσότερο για τις κοινωνικές επιπτώσεις.
Specht et al., 2020	Ανάλυση μηνυμάτων twitter	ΗΠΑ. 2763 μηνύματα	-	-	-	Τα tweets που συζητούσαν το κρέας κυτταροκαλλιέργειας περιστρέφονταν γύρω από οκτώ θέματα: νομιμότητα και μάρκετινγκ, βιωσιμότητα, αποδοχή, επιχειρήσεις, ανησυχίες για τα ζώα, επιστήμη και τεχνολογία, ανησυχίες για την υγεία και χρονοδιαγράμματα.
Weinrich et al., 2020	Έρευνα	Γερμανία. 713 συμμετέχοντες	57%	-	-	Οι συμμετέχοντες ήταν μέτρια προσκείμενοι υπέρ του κρέατος κυτταροκαλλιέργειας: το 57% θα το δοκίμαζε και το 30% θα το αγόραζε τακτικά. Οι στάσεις δομήθηκαν σε τρεις διαστάσεις: ο ισχυρότερος προγνωστικός παράγοντας αποδοχής ήταν τα αντιληπτά ηθικά οφέλη, ακολουθούμενος από την συναισθηματική αποδοχή και τέλος από την ανησυχία για την παγκόσμια κατάσταση.

Πηγή – έτος	Μέθοδος	Μέγεθος και δημογραφικά στοιχεία	Ποσοστά αποδοχής			Κύρια Συμπεράσματα
			Υπέρ	Κατά	Δ/Α	
M. Zhang et al., 2020	Έρευνα	Κίνα. 1004 συμμετέχοντες, κάτοικοι τριών πόλεων	78%	17%	5%	Ενώ οι περισσότεροι ερωτηθέντες είχαν περιορισμένη γνώση του κρέατος κυτταροκαλλιέργειας, μετά από παροχή κατάλληλων πληροφοριών, θα ήταν πρόθυμοι να το δοκιμάσουν ή να το αγοράσουν πληρώνοντας κατά μέσο όρο 2,2% περισσότερα από ό,τι για το συμβατικό κρέας. Η μεγαλύτερη αποδοχή παρατηρήθηκε ανάμεσα σε νεότερους, άνδρες, άτομα με υψηλότερο επίπεδο εκπαίδευσης και με μεγαλύτερη εμπιστοσύνη στους κανονισμούς της κυβέρνησης για την ασφάλεια των τροφίμων.
R. S. Arora et al., 2020	Έρευνα	Ινδία. 394 συμμετέχοντες από την Βομβάη	-	-	-	Διαπιστώθηκαν τέσσερις ξεχωριστές ομάδες καταναλωτών που προτιμούν διαφορετικές πηγές πρωτεΐνης: chana (21%), συμβατικό κρέας (27,5%), κρέας φυτικής προέλευσης (32%) και κρέας κυτταροκαλλιέργειας (19,6%). Οι καταναλωτές ήταν πρόθυμοι να πληρώσουν λίγο παραπάνω για το κρέας κυτταροκαλλιέργειας σε σύγκριση με το συμβατικό.

6.2.2. Ανάλυση αποτελεσμάτων

Από τις παραπάνω έρευνες προκύπτουν κάποια συμπεράσματα για τον τρόπο που αντιμετωπίζεται το κρέας κυτταροκαλλιέργειας, τα δημογραφικά στοιχεία και τις προτιμήσεις του καταναλωτικού κοινού.

Μία κοινή συνισταμένη των περισσότερων ερευνών είναι ότι, ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό των καταναλωτών αναγνωρίζει τα πλεονεκτήματα της νέα τεχνολογίας και κατανοεί τα οφέλη που θα είχε για το περιβάλλον, τη διαβίωση των ζώων, την βιωσιμότητα και τη διατροφική ασφάλεια στο μέλλον, παράλληλα δεν θα επέλεγε το κρέας κυτταροκαλλιέργειας αντί του συμβατικού για τον εαυτό του (Mancini & Antonioli, 2019). Φαίνεται δηλαδή να υπάρχει μία αντίθεση, ανάμεσα στην αποδοχή της τεχνολογίας ως αρχή και στην αποδοχή του προϊόντος σε προσωπικό επίπεδο (Circus & Robison, 2019). Αυτό μπορεί να οφείλεται σε μία αμυντική στάση που δικαιολογημένα κρατάει το κοινό απέναντι σε νέες τεχνολογίες, καθώς οι προσωπικοί κίνδυνοι πάντα αξιολογούνται με μεγαλύτερη βαρύτητα απέναντι στους συλλογικούς. Η γεύση, η θρεπτική αξία, η ασφάλεια του νέου προϊόντος, είναι οι παράγοντες που κρατάνε το κοινό επιφυλακτικό. Ωστόσο αυτό το ποσοστό μπορεί να χαρακτηριστεί ως «αργοπορημένοι υιοθετούντες» και να είναι θετικοί απέναντι στην υιοθέτηση του προϊόντος, όταν αυτό γίνει ήδη αποδεκτό από ένα κομμάτι της κοινότητας (C. Bryant & Barnett, 2020).

Επίσης, σε συμφωνία με τα παραπάνω, η πλειοψηφία δείχνει την προτίμησή της απέναντι στο κρέας κυτταροκαλλιέργειας, όταν αυτό που εξετάζεται είναι το προσωπικό όφελος και δευτερευόντως το κοινωνικό και όχι η τεχνολογική διάσταση του νέου προϊόντος (C. Bryant & Dillard, 2019; Rolland et al., 2020). Αυτό θα είχε σημασία στην επιλογή του πλαισίου μέσα στο οποίο θα έπρεπε να παρουσιαστεί και να διαφημιστεί το κρέας κυτταροκαλλιέργειας για την καλύτερη αποδοχή του από το κοινό. Ωστόσο στον κανόνα αυτόν παρατηρούνται κάποιες διαφοροποιήσεις, που οφείλονται σε δημογραφικές διαφορές. Για παράδειγμα οι νέοι φαίνεται να ενδιαφέρονται περισσότερο για τα προσωπικά οφέλη και κινδύνους, ενώ οι μεγαλύτεροι εξετάζουν περισσότερο το κοινωνικό όφελος στον συλλογισμό τους (van der Weele & Driessen, 2019). Επίσης διαφορετικές εθνότητες αντιμετωπίζουν διαφορετικά το προϊόν, με χαρακτηριστικό την αποδοχή του με βάση ηθικά κριτήρια στην Ινδία, σε αντίθεση με τον δυτικό κόσμο, όπου η προσωπική εμπειρία είναι η βασική παράμετρος αποδοχής (C. Bryant et al., 2019).

Σε σχέση με τα υπόλοιπα εναλλακτικά προϊόντα πρωτεΐνης, όπως φυτικής προέλευσης απομιμήσεις κρέατος και πρωτεΐνες από έντομα, το κρέας κυτταροκαλλιέργειας φαίνεται να προτιμάται απέναντι στην κατανάλωση εντόμων, όχι όμως απέναντι στα φυτικά υποκατάστατα (Gómez-Luciano, Vriesekoop, et al., 2019). Τα φυτικά υποκατάστατα αποτελούν μία υπαρκτή εναλλακτική εδώ και καιρό και οι καταναλωτές έχουν ήδη εξοικειωθεί σε μεγάλο βαθμό με την τοποθέτησή τους στην αγορά. Ωστόσο το κρέας κυτταροκαλλιέργειας δεν θα πρέπει να στοχεύει στο κοινό των χορτοφάγων, καθώς αυτοί αποτελούν ένα μικρό ποσοστό της αγοράς τροφίμων και οι πιο αυστηροί έχουν αναπτύξει μία αποστροφή για την πρωτεΐνη κρέατος, ανεξαρτήτου προέλευσης. Επιπλέον, το βασικό πλεονέκτημα του κρέατος κυτταροκαλλιέργειας απέναντι στα φυτικά υποκατάστατα, θα πρέπει να είναι ότι το ίδιο αποτελεί πραγματικό κρέας και ότι δεν στοχεύει σε χορτοφαγικό κοινό. Αντίθετα, ο στόχος είναι η αντικατάσταση του συμβατικού κρέατος από την δίαιτα των ανθρώπων που απολαμβάνουν την κατανάλωση κρέατος.

Όσον αφορά τα δημογραφικά στοιχεία που προκύπτουν από τις έρευνες, τα συμπεράσματα είναι ότι η μεγαλύτερη αποδοχή τυγχάνει μεταξύ νέων σε σχέση με τους μεγαλύτερους (Wilks & Phillips, 2017), μεταξύ ανδρών σε σχέση με τις γυναίκες (Gómez-Luciano, de Aguiar, et al., 2019; M. Zhang et al., 2020) και μεταξύ των πιο φιλελεύθερων σε σχέση με τους πιο συντηρητικούς. Οι νέοι γενικά χαρακτηρίζονται ως πιο ανοικτοί σε νέες εμπειρίες και επιπλέον, όπως αναφέρθηκε, ενδιαφέρονται περισσότερο για τα προσωπικά οφέλη, ενώ οι μεγαλύτεροι εξετάζουν με μεγαλύτερη επιφυλακτικότητα τις κοινωνικοπολιτικές προεκτάσεις των επιλογών τους. Οι γυναίκες φαίνεται να είναι εξίσου επιφυλακτικές απέναντι στα νέα τρόφιμα σε σχέση με τους άντρες. Άλλες παράμετροι που φαίνεται να παίζουν ρόλο στην αποδοχή του κρέατος κυτταροκαλλιέργειας είναι η προέλευση του πληθυσμού, καθώς οι αστικοί πληθυσμοί δείχνουν μεγαλύτερη προτίμηση από ότι οι αγροτικοί (Tucker, 2014) και το μορφωτικό επίπεδο, καθώς όσο υψηλότερου επιπέδου η εκπαίδευση που έχει δεχθεί κάποιος, τόσο πιο πιθανό είναι να αποδεχθεί το νέο προϊόν (Slade, 2018).

6.3. Παράγοντες που επηρεάζουν την αποδοχή

6.3.1. Αντιληπτά οφέλη

Η αποφυγή του βασανισμού και της σφαγής των ζώων είναι ένα από τα κύρια αντιληπτά οφέλη του κρέατος κυτταροκαλλιέργειας, που παρατηρείται στην πλειοψηφία των ερευνών. Με την ανάδειξη της επιλογής μεταξύ κρέατος κυτταροκαλλιέργειας και συμβατικού

κρέατος και με την πληροφόρηση για τον τρόπο παρασκευής του νέου προϊόντος, οι καταναλωτές αυτόματα θέτουν ερωτήματα, που ίσως δεν είχαν μέχρι τότε αναλογιστεί, σχετικά με τον τρόπο παραγωγής του συμβατικού κρέατος. Αυτό λειτουργεί προς όφελος του κρέατος κυτταροκαλλιέργειας, καθώς η πλειοψηφία των καταναλωτών θεωρεί ως κάτι κακό την σφαγή ζώων και σε όλες τις έρευνες ήταν ένα θέμα που συζητήθηκε υπέρ της νέας τεχνολογίας (van der Weele & Driessen, 2019).

Το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της συμβατικής κτηνοτροφίας, οι επιπτώσεις στο περιβάλλον και η χρήση της νέας τεχνολογίας παραγωγής κρέατος για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων, αποτελεί το δεύτερο μεγαλύτερο πλεονέκτημα σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ερευνών (Circus & Robison, 2019; de Paula Soares Valente et al., 2019; Mancini & Antonioni, 2019; Shaw & mac Con Iomaire, 2019). Επιπλέον, η καλύτερη πληροφόρηση του κοινού για τα περιβαλλοντικά οφέλη της νέας τεχνολογίας, μπορεί να συμβάλει στην περαιτέρω αποδοχή του προϊόντος (C. Bryant & Barnett, 2018).

Στον τομέα της θρεπτικής αξίας και της υγείας, το καλλιεργημένο κρέας αν και δυνητικά θα μπορούσε να αποδειχθεί ανώτερο από το συμβατικό, οι καταναλωτές δεν το προσδιορίζουν ως τέτοιο σε μεγάλο βαθμό, ιδίως χωρίς υποκίνηση (Gómez-Luciano, de Aguiar, et al., 2019). Παρ' όλα αυτά θεωρείται ένας τομέας όπου θα έπρεπε να υπάρξει μεγαλύτερη πληροφόρηση, προκειμένου το κοινό να αξιολογήσει καλύτερα την στάση του απέναντι στο προϊόν (de Paula Soares Valente et al., 2019). Την ίδια αντιμετώπιση έχει και η συνεισφορά του κρέατος κυτταροκαλλιέργειας στην ασφάλεια της τροφικής αλυσίδας, όπου με εξαίρεση την έρευνα για την αποδοχή του στην Κίνα (M. Zhang et al., 2020), δεν είναι ένα θέμα που απασχολεί τους καταναλωτές.

6.3.2. Αντιληπτά εμπόδια

Το σοβαρότερο εμπόδιο στην αποδοχή του κρέατος κυτταροκαλλιέργειας από τους καταναλωτές εντοπίζεται ότι είναι η αίσθηση του «αφύσικου», καθώς στην πλειοψηφία των ερευνών αποτελούσε ένα θέμα που απασχολούσε το κοινό και συσχετιζόταν με την απόρριψη του προϊόντος (Laestadius & Caldwell, 2015; Marcu et al., 2015; Shaw & mac Con Iomaire, 2019; Tucker, 2014). Επιπλέον, η προσπάθεια να πεισθούν οι καταναλωτές για την φυσικότητα του προϊόντος δεν φαίνεται να αποδίδει, προκαλώντας μάλιστα και τα αντίθετα από τα αναμενόμενα αποτελέσματα. Συμμετέχοντες σε έρευνα που τους παρουσιαζόντουσαν επιχειρήματα για την φυσικότητα του κρέατος κυτταροκαλλιέργειας, εμφάνιζαν μεγαλύτερη απόρριψη του προϊόντος από αυτούς που δεν τους δινόταν κανένα

επιχείρημα (C. J. Bryant et al., 2019). Η υποκειμενική άποψη περί της φυσικότητας ή όχι και η προσωπική αξία που δίνεται στην φυσικότητα ενός προϊόντος, είναι αυτή που καθορίζει την στάση του κοινού απέναντι στο κρέας κυτταροκαλλιέργειας και όχι η αντικειμενική φύση του ίδιου του προϊόντος (Michel & Siegrist, 2019). Υπό αυτό το πρίσμα η αίσθηση του φυσικού ή αφύσικου διαφέρει ανάμεσα σε διάφορες κοινωνικές ομάδες, με τους Ευρωπαίους να είναι περισσότερο αρνητικοί σε σχέση με τους Αμερικανούς (C. Bryant & Barnett, 2020).

Η ύπαρξη ή όχι φυσικότητας συνδέεται και με το αίσθημα της αποστροφής, αν και όχι απόλυτα. Για παράδειγμα, η κατανάλωση εντόμων μπορεί να συνδέεται με μεγαλύτερη αποστροφή από ότι η κατανάλωση κρέατος κυτταροκαλλιέργειας, παρόλο που τα έντομα θεωρούνται πιο φυσική πηγή πρωτεΐνης (Lupton & Turner, 2018). Η αποστροφή που νιώθει κάποιος στην ιδέα της κατανάλωσης κρέατος κυτταροκαλλιέργειας, είναι γενικά μικρότερη από ότι στην περίπτωση εντόμων ή γενετικά τροποποιημένων οργανισμών (Dupont & Fiebelkorn, 2020; Egolf et al., 2019), αλλά μεγαλύτερη σε σχέση με τα φυτικά υποκατάστατα και τα πρόσθετα τροφίμων. Η τάση για αποστροφή γενικά σε νέου είδους τρόφιμα, επηρεάζει την τελική αποδοχή και στο κρέας κυτταροκαλλιέργειας (Dupont & Fiebelkorn, 2020) και επιπλέον το αίσθημα αυτό υπερκαλύπτει οποιοδήποτε άλλο χαρακτηριστικό γνώρισμα του προϊόντος, προκαταλαμβάνοντας τον καταναλωτή, ακόμα και απέναντι σε προφανώς θετικές πλευρές του (Egolf et al., 2019).

Μία δεύτερη προέκταση της αντίληψης περί «αφύσικου», που χαρακτηρίζει το κρέας κυτταροκαλλιέργειας, είναι και η έλλειψη εμπιστοσύνης περί της ασφάλειάς του ως τρόφιμο (Tucker, 2014). Οι καταναλωτές εμφανίζονται προβληματισμένοι σχετικά με τις συνέπειες που μπορεί να έχει η κατανάλωση του προϊόντος για την υγεία τους, είτε βραχυπρόθεσμα, είτε μακροπρόθεσμα (Shaw & mac Con Iomaire, 2019). Ωστόσο αυτή η αντίληψη μπορεί να αντιστραφεί, με την κατάλληλη ενημέρωση του κοινού (Mancini & Antonioli, 2020). Με την ίδια λογική, το κρέας κυτταροκαλλιέργειας αντιμετωπίζεται επίσης ως περισσότερο ανθυγιεινό από το συμβατικό κρέας και θρεπτικά κατώτερο (Laestadius & Caldwell, 2015; Lupton & Turner, 2018; Mancini & Antonioli, 2019).

Ένα ακόμα εμπόδιο στην αποδοχή του προϊόντος είναι η πιθανή ακριβότερη τιμή με την οποία θα διατεθεί στην αγορά, καθώς οι καταναλωτές δεν είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν περισσότερο από ότι για το συμβατικό κρέας (O'Keefe et al., 2016). Η γενική αντίληψη είναι ότι το κρέας κυτταροκαλλιέργειας θα πρέπει να είναι φθηνότερο από το

συμβατικό, προκειμένου να έχει μερίδιο στην αγορά. Επιπλέον, πολλοί θεωρούν ότι προκειμένου να ικανοποιήσει την ανάγκη για βιωσιμότητα και ασφάλεια στην τροφική αλυσίδα, ικανοποιώντας παράλληλα την παγκόσμια ανάγκη για κατανάλωση κρέατος στο μέλλον, το προϊόν θα πρέπει να απευθύνεται σε χαμηλού μισθολογικού επιπέδου πληθυσμό και επομένως να τιμολογηθεί ανάλογα (Bekker, Tobi, et al., 2017). Αυτή η προοπτική, όπου οι φτωχοί θα έχουν εύκολη πρόσβαση σε κρέας κυτταροκαλλιέργειας, ενώ οι πλούσιοι θα απολαμβάνουν υψηλότερης ποιότητας συμβατικό κρέας, εξηγεί και την καταρχήν αποδοχή του σαν τεχνολογία, με την παράλληλη απόρριψή του για προσωπική κατανάλωση (Verbeke et al., 2015).

6.4. Ο ρόλος της αγοράς στην αύξηση της αποδοχής

Από την ανάλυση των ερευνών που έχουν διεξαχθεί για την αποδοχή του κρέατος κυτταροκαλλιέργειας και από τον προσδιορισμό των κύριων σημείων που αντιμετωπίζονται, είτε ως οφέλη, είτε ως εμπόδια από τους καταναλωτές, προκύπτουν οι στρατηγικές που θα πρέπει να ακολουθηθούν από τα ενδιαφερόμενα μέρη της νέας τεχνολογίας, προκειμένου να επιτευχθεί η ταχύτερη και ομαλότερη είσοδος της στην αγορά τροφίμων.

Η παροχή πρόσθετων πληροφοριών, σχετικά με τις θετικές επιπτώσεις και τα πλεονεκτήματα που διαθέτει η νέα τεχνολογία, μπορεί να παρακινήσει τους καταναλωτές να αποκτήσουν θετική αντίληψη. Επιπλέον, όταν το κρέας κυτταροκαλλιέργειας παρουσιάζεται ως ένα καινοτόμο και υψηλής τεχνολογίας προϊόν, με έμφαση στην επιστήμη πίσω από την παραγωγή του, δεν γίνεται αποδεκτό εύκολα από το κοινό. Αντίθετα, μεγαλύτερη απήχηση έχει η παρουσίαση των προσωπικών οφελών που θα έχουν οι καταναλωτές και η παρουσίασή του ως εφάμιλλο του συμβατικού κρέατος. Θετικά αποτιμώνται επίσης και τα ηθικά και περιβαλλοντικά οφέλη για το σύνολο της κοινωνίας (C. Bryant & Dillard, 2019). Παρομοίως οι τεχνικές περιγραφές είναι λιγότερο ελκυστικές από τις πιο απλές και συναισθηματικές. Αυτό έχει μεγάλη σημασία για την τυποποίηση της φρασεολογίας και την τελική επιλογή του ονόματος που θα πρέπει να υιοθετηθεί. Ονόματα όπως «εργαστηριακό», «κυτταροκαλλιέργειας», «συνθετικό», εμπεριέχουν την αίσθηση του «αφύσικου» και προκαλούν αποστροφή στην πλειοψηφία. Αντίθετα όροι όπως «καθαρό» και «ηθικό» οδηγούν σε μεγαλύτερα ποσοστά αποδοχής (C. J. Bryant & Barnett, 2019). Γενικά είναι προτιμότερο να εξηγείται, να τυποποιείται και να διαφημίζεται το κρέας κυτταροκαλλιέργειας με έναν μη τεχνικό τρόπο, δίνοντας έμφαση στο προϊόν και όχι στον τρόπο παραγωγής (Bhat et al., 2019).

Η συνολική αντίληψη που έχουν οι καταναλωτές απέναντι στο κρέας κυτταροκαλλιέργειας, είναι αποτέλεσμα του συνδυασμού της ασυνείδητης σιωπηλής στάσης και της ενσυνείδητης ρητής στάσης απέναντι στη νέα τεχνολογία. Η σιωπηλή στάση βασίζεται σε βαθιές γνωστικές πεποιθήσεις και είναι συνυφασμένη με τον χαρακτήρα, τις αξίες και τις ιδέες του καθενός, ενώ η ρητή στάση που λαμβάνει ο καταναλωτής είναι αποτέλεσμα της κριτικής αξιολόγησης όλων των δεδομένων που έχει στη διάθεσή του, σε συνδυασμό πάντα με τις πεποιθήσεις και τις ιδέες του (Jairath et al., 2021). Οι Bekker κ.α. έδειξαν σε έρευνά τους, ότι η ρητή στάση απέναντι στο κρέας κυτταροκαλλιέργειας, εξαρτάται από την κατευθυνόμενη πληροφορία σχετικά όχι μόνο με το ίδιο το προϊόν, αλλά και με ένα ευρύτερο πλαίσιο, μέσα στο οποίο οι καταναλωτές ασυνείδητα έχουν τοποθετημένο το προϊόν και τη σχετική τεχνολογία (Bekker, Fischer, et al., 2017). Αυτό καταδεικνύει την ανάγκη η τεχνολογία και το κρέας κυτταροκαλλιέργειας να προσδιοριστούν επακριβώς ως προς το τι ακριβώς θα προσφέρουν, ποιες θα είναι οι δυνατότητες, οι αδυναμίες και οι ευκαιρίες που θα προκύψουν από την ευρεία διάδοσή τους. Ο σαφής προσανατολισμός είναι ένα χαρακτηριστικό που απουσιάζει και επομένως θα μπορούσε να αποτελεί αιτία σύγχυσης για τους μελλοντικούς καταναλωτές.

Επιπλέον μεταξύ των πλεονεκτημάτων και των θετικών πλευρών της τεχνολογίας και του προϊόντος, αυτά που θα πρέπει να επισημανθούν με περισσότερη έμφαση, είναι όσα αφορούν απευθείας τον ίδιο τον καταναλωτή. Τα προσωπικά οφέλη, που άμεσα θα αποκομίσει ο καθένας, είναι και τα πιο ουσιώδη στη διαμόρφωση της στάσης του. Όσον αφορά τα κοινωνικά και δημόσια οφέλη, θα είχε μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα η απευθείας έκθεση του συμβατικού κρέατος και της εντατικής κτηνοτροφίας στην κρίση των καταναλωτών, επισημαίνοντας τα προβλήματα της σύγχρονης παραγωγής κρέατος, παρά τα πλεονεκτήματα της νέας τεχνολογίας.

7. Συμπεράσματα και Υποδείξεις για Περαιτέρω Έρευνα

Είναι σαφές, ότι η βιομηχανική παραγωγή κρέατος κυτταροκαλλιέργειας μπορεί να αποτελέσει στο άμεσο μέλλον μία πραγματικότητα, καθώς οι εξελίξεις στην τεχνολογία της κυτταρικής καλλιέργειας και οι προσπάθειες για βελτιστοποίηση της διαδικασίας παραγωγής συνεχίζονται. Υπάρχουν ωστόσο ακόμα αρκετά τεχνολογικά εμπόδια που πρέπει να ξεπεραστούν. Το μέσο καλλιέργειας θα πρέπει να μην είναι ζωικής προέλευσης και το κόστος του να είναι διαχειρίσιμο. Το ίδιο ισχύει και για την επιλογή του κατάλληλου δικτύου στήριξης, καθώς αυτά τα δύο βιοτεχνολογικά υλικά βρίσκονται στην καρδιά της παραγωγής. Η έρευνα θα πρέπει να εστιάσει στα κατάλληλα κύτταρα και σειρές κυττάρων, που είναι αποτελεσματικά για βιομηχανική παραγωγή μεγάλης κλίμακας και να αποκλίνει από την μέχρι τώρα εργαστηριακή προσέγγιση που προοριζόταν για βιοϊατρικές εφαρμογές. Απαραίτητη προϋπόθεση για τη βιομηχανική παραγωγή είναι η μείωση του κόστους παραγωγής, μέσω βελτιστοποιημένων διαδικασιών και σχεδιασμού βιοαντιδραστήρων κατάλληλου μεγέθους.

Η αποτελεσματικότητα της διαδικασίας και η συγγένεια του τελικού προϊόντος με το συμβατικό κρέας όσον αφορά την εμφάνιση, τη γεύση, την υφή και το θρεπτικό περιεχόμενο, θα καθορίσουν τον βαθμό επιτυχίας. Ωστόσο, οι σημερινές τεχνικές είναι σε θέση να παράγουν μόνο αποδιοργανωμένες μυϊκές ίνες που απέχουν πολύ από τους πραγματικούς μυς, οι οποίοι επιπλέον περιέχουν αιμοφόρα αγγεία, νευρικό ιστό, ενδομυϊκά λίπη και συνδετικό ιστό. Η παραγωγή προϊόντων που μοιάζουν με συμβατικά, συνεκτικά, τρισδιάστατα κομμάτια κρέατος, όπως μπριζόλες, απαιτεί σημαντική περαιτέρω έρευνα σχετικά με τα τρισδιάστατα δίκτυα στήριξης, την ανάπτυξη αγγειακού συστήματος και τη προσέγγιση βασικών ποιοτικών χαρακτηριστικών, όπως η γεύση και η τρυφερότητα. Είναι πιθανό ότι τα αρχικά προϊόντα κρέατος κυτταροκαλλιέργειας θα προσομοιώνουν επεξεργασμένα είδη κρέατος, όπως ο κιμάς, με περιορισμένες δομικές απαιτήσεις όσον αφορά την υφή.

Οι κύριοι τεχνολογικοί τομείς που θα πρέπει να εστιάσει η έρευνα, για την περαιτέρω ανάπτυξη του κρέατος κυτταροκαλλιέργειας, αφορούν την ανάπτυξη κυτταρικών σειρών, το μέσο καλλιέργειας, το δίκτυο στήριξης και τον σχεδιασμό του βιοαντιδραστήρα. Η έρευνα για τον χαρακτηρισμό και τον προσδιορισμό των δυνατοτήτων κάθε κυτταρικού τύπου πρέπει να επικεντρωθεί σε σειρές που προέρχονται από ζώα κτηνοτροφίας,

καθώς αυτά δεν έχουν μελετηθεί αρκετά στη μέχρι σήμερα έρευνα για ιατρικούς και βιολογικούς σκοπούς. Επιπλέον, θα πρέπει να ερευνηθούν οι δυνατότητες ανάπτυξης και διατήρησης κυτταρικών σειρών που μπορούν να παράγουν μυϊκά κύτταρα μέσω της τεχνικής της επαναδιαφοροποίησης, καθώς αυτό θα απλοποιούσε και θα έκανε πιο οικονομική τη διαδικασία εύρεσης και συλλογής των κατάλληλων αρχικών κυττάρων. Όσον αφορά το μέσο καλλιέργειας, η επιδίωξη είναι να εξερευνηθούν εναλλακτικές παραγωγικές πηγές αυξητικών παραγόντων, καθώς αυτοί αποτελούν το μεγαλύτερο κομμάτι του κόστους του. Παράλληλα, η έρευνα πρέπει να συνεχιστεί για τη δημιουργία μέσου χωρίς ζωικό ορό και για κάθε μέσο καλλιέργειας θα πρέπει να εξαχθεί η αποτελεσματικότητά του για διαφορετικούς τύπους κυττάρων, που ενδιαφέρουν την παραγωγή κρέατος κυτταροκαλλιέργειας. Το δίκτυο στήριξης που θα χρησιμοποιηθεί δεν αποτελεί μόνο το μέσο στήριξης του μυϊκού ιστού, αλλά προσομοιώνει και το φυσικό περιβάλλον των μυϊκών κυττάρων, καθιστώντας σημαντική την έρευνα πάνω στην ιδανική ευκαμψία και σκληρότητα αυτών των υλικών, σε συνδυασμό με τις μεθόδους αγκύρωσης των μυϊκών κυττάρων. Το ενδιαφέρον θα πρέπει να εστιαστεί σε επιλογές από μη ζωικές πηγές, με τα δίκτυα από φυτικό κυτταρικό ιστό να αποτελούν μία πολλά υποσχόμενη λύση. Ο σχεδιασμός βιοαντιδραστήρα αποτελεί πεδίο εφαρμογής καινοτόμων προσεγγίσεων, καθώς πρόκειται για ένα προϊόν που δεν έχει προηγούμενη ανάλογη παραγωγή. Ίσως θα μπορούσαν να εφαρμοστούν κάποιες λύσεις από τη βιομηχανία φαρμακευτικής βιοτεχνολογίας, ωστόσο η έρευνα θα πρέπει να στραφεί σε εξειδικευμένες λύσεις για μυϊκά κύτταρα. Θα ήταν ακόμα χρήσιμη η ανάπτυξη μοντέλων για την συμπεριφορά των κυττάρων, σε σχέση με το είδος του αντιδραστήρα και το είδος του μέσου καλλιέργειας.

Η συνεχιζόμενη αύξηση της παγκόσμιας ζήτησης κρέατος, έχει επιφέρει αρκετές περιβαλλοντικές και ηθικές προκλήσεις, σχετικά με τη σύγχρονη εντατική κτηνοτροφία. Το κρέας κυτταροκαλλιέργειας μπορεί να αποτελέσει μέρος της λύσης στο πρόβλημα της βιωσιμότητας και της κάλυψης της ζήτησης, μειώνοντας ταυτόχρονα το περιβαλλοντικό αποτύπωμα και θέτοντας υπό νέα οπτική το ηθικό ζήτημα της συμπεριφοράς απέναντι στα ζώα. Υπάρχουν ωστόσο άλλες πλευρές της τεχνολογίας που θα πρέπει να διερευνηθούν κατάλληλα, πριν αποδειχθεί η φιλική της χρήση. Ως νέο προϊόν, θα πρέπει να διασφαλιστεί η διατροφική του αξία, ενώ ο αντίκτυπος της κατανάλωσης κρέατος κυτταροκαλλιέργειας στην ανθρώπινη υγεία θα πρέπει να ελεγχθεί και να τεκμηριωθεί προσεκτικά. Οι μελλοντικές αναλύσεις θα πρέπει να συμπεριλαμβάνουν τις γενικότερες

κοινωνικοπολιτικές επιπτώσεις που μπορεί να προκύψουν από την κακή χρήση της τεχνολογίας και την αθέμιτη εφαρμογή της, ειδικότερα για τις αγροτικές περιοχές. Νομικές και ρυθμιστικές παράμετροι θα πρέπει να αντιμετωπίσουν αποτελεσματικά τον χώρο της τεχνολογίας κυτταροκαλλιέργειας, προκειμένου να εξασφαλιστούν τόσο η ασφαλής μετάβαση στη νέα τεχνολογία, όσο και η απρόσκοπτη συνέχιση της έρευνας και της βιομηχανικής βελτιστοποίησης.

Η αποδοχή του προϊόντος από τους καταναλωτές δεν είναι σε καμία περίπτωση δεδομένη, καθώς αποτελεί κάτι εντελώς ξένο και πρωτοφανές στις μέχρι σήμερα διατροφικές συνήθειες του πληθυσμού. Η αίσθηση του «αφύσικου» και της αποτροπής λόγω της τεχνητής φύσης της μεθόδου παραγωγής, αποτελούν τα σημαντικότερα εμπόδια για την αποδοχή. Η αγορά θα πρέπει να επιδιώξει την έγκαιρη ενημέρωση του κοινού πριν την εμπορική διάθεση του προϊόντος. Στόχος θα πρέπει να είναι η επισήμανση των πλεονεκτημάτων του προϊόντος απέναντι στο συμβατικό κρέας και η έμφαση να δοθεί στα οφέλη του καταναλωτή και όχι στη φύση της τεχνολογίας. Παράλληλη ανάδειξη των περιβαλλοντικών και ηθικών ανησυχιών που προκαλεί η παγκόσμια εντατική κτηνοτροφία, θα δημιουργήσει μία σειρά από ευαισθητοποιημένους καταναλωτές, που θα μπορέσουν να αποδεχθούν ευκολότερα το κρέας κυτταροκαλλιέργειας.

Καθώς η τεχνολογία είναι ακόμα σε αρχικά στάδια, η ενεργός συμμετοχή του ιδιωτικού τομέα στην ανάπτυξη του προϊόντος και το συνεχώς αυξανόμενο παγκόσμιο ενδιαφέρον, δείχνουν το δρόμο προς την συνεχή βελτίωση των διαδικασιών και εκτιμάται ότι σύντομα θα υπάρξει προσφορά του προϊόντος στο ευρύ καταναλωτικό κοινό. Από την αρχική αντιμετώπιση του κοινού απέναντι στο προϊόν, θα εξαρτηθεί σε μεγάλο βαθμό το μέλλον αυτής της τεχνολογίας. Από αυτή την άποψη, θα ήταν προτιμότερη μία καθυστερημένη είσοδος στην αγορά με ένα καλύτερο οργανοληπτικά προϊόν, από μία γρήγορη είσοδο με ένα υποδεέστερο. Σε κάθε περίπτωση μένει να φανεί, αν η πρόοδος της τεχνολογίας θα είναι αρκετή ώστε το κρέας κυτταροκαλλιέργειας να είναι ανταγωνιστικό σε σύγκριση με το συμβατικό κρέας, αλλά και τον αυξανόμενο αριθμό υποκατάστατων κρέατος.

8. Βιβλιογραφία

- Afshari, R., Hosseini, H., Mousavi Khaneghah, A., & Khaksar, R. (2017). Physico-chemical properties of functional low-fat beef burgers: Fatty acid profile modification. *LWT - Food Science and Technology*, 78, 325–331. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2016.12.054>
- Allan, S. J., de Bank, P. A., & Ellis, M. J. (2019). Bioprocess Design Considerations for Cultured Meat Production With a Focus on the Expansion Bioreactor. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3, 44. <https://doi.org/10.3389/FSUFS.2019.00044/BIBTEX>
- Answer to Question No E-004200/18. (2018). https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/E-8-2018-004200-ASW_EN.html
- Arora, M. (2013). Cell Culture Media: A Review. *Materials and Methods*, 3. <https://doi.org/10.13070/MM.EN.3.175>
- Arora, R. S., Brent, D. A., & Jaenicke, E. C. (2020). Is India Ready for Alt-Meat? Preferences and Willingness to Pay for Meat Alternatives. *Sustainability 2020, Vol. 12, Page 4377*, 12(11), 4377. <https://doi.org/10.3390/SU12114377>
- Arshad, M. S., Javed, M., Sohaib, M., Saeed, F., Imran, A., & Amjad, Z. (2017). Tissue engineering approaches to develop cultured meat from cells: A mini review. *Cogent Food & Agriculture*, 3(1), 1320814. <https://doi.org/10.1080/23311932.2017.1320814>
- Bekker, G. A., Fischer, A. R. H., Tobi, H., & van Trijp, H. C. M. (2017). Explicit and implicit attitude toward an emerging food technology: The case of cultured meat. *Appetite*, 108, 245–254. <https://doi.org/10.1016/J.APPET.2016.10.002>
- Bekker, G. A., Tobi, H., & Fischer, A. R. H. (2017). Meet meat: An explorative study on meat and cultured meat as seen by Chinese, Ethiopians and Dutch. *Appetite*, 114, 82–92. <https://doi.org/10.1016/J.APPET.2017.03.009>
- Ben-Arye, T., & Levenberg, S. (2019). Tissue Engineering for Clean Meat Production. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3, 46. <https://doi.org/10.3389/FSUFS.2019.00046/BIBTEX>
- Ben-Arye, T., Shandalov, Y., Ben-Shaul, S., Landau, S., Zagury, Y., Ianovici, I., Lavon, N., & Levenberg, S. (2020). Textured soy protein scaffolds enable the generation of three-dimensional bovine skeletal muscle tissue for cell-based meat. *Nature Food 2020 1:4*, 1(4), 210–220. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0046-5>

- Benjaminson, M. A., Gilchrist, J. A., & Lorenz, M. (2002). In vitro edible muscle protein production system (mpps): stage 1, fish. *Acta Astronautica*, *51*(12), 879–889.
[https://doi.org/10.1016/S0094-5765\(02\)00033-4](https://doi.org/10.1016/S0094-5765(02)00033-4)
- Bhat, Z. F., Bhat, H., & Pathak, V. (2014). Prospects for In Vitro Cultured Meat – A Future Harvest. *Principles of Tissue Engineering: Fourth Edition*, 1663–1683.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-398358-9.00079-3>
- Bhat, Z. F., Kumar, S., & Bhat, H. F. (2017). In vitro meat: A future animal-free harvest. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *57*(4), 782–789.
<https://doi.org/10.1080/10408398.2014.924899>
- Bhat, Z. F., 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)
- Bhat, Z. F., Morton, J. D., Kumar, S., Bhat, H. F., Aadil, R. M., & Bekhit, A. E.-D. A. (2021). 3D printing: Development of animal products and special foods. *Trends in Food Science & Technology*, *118*, 87–105. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2021.09.020>
- Bhat, Z. 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*(4), 1192–1208.
<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12473>
- Bodiou, V., Moutsatsou, P., & Post, M. J. (2020). Microcarriers for Upscaling Cultured Meat Production. *Frontiers in Nutrition*, *0*, 10.
<https://doi.org/10.3389/FNUT.2020.00010>
- Brunner, D., Frank, J., Appl, H., Schöffl, H., Pfaller, W., & Gstraunthaler, G. (2010). Serum-free cell culture: the serum-free media interactive online database. *ALTEX*, *27*(1), 53–62. <https://doi.org/10.14573/ALTEX.2010.1.53>
- Bryant, C., & Barnett, J. (2018). Consumer acceptance of cultured meat: A systematic review. *Meat Science*, *143*, 8–17. <https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2018.04.008>
- Bryant, C., & Barnett, J. (2020). Consumer Acceptance of Cultured Meat: An Updated Review (2018–2020). *Applied Sciences* 2020, Vol. 10, Page 5201, *10*(15), 5201.
<https://doi.org/10.3390/APP10155201>
- Bryant, C., & Dillard, C. (2019). The impact of framing on acceptance of cultured meat. *Frontiers in Nutrition*, *6*, 103. <https://doi.org/10.3389/FNUT.2019.00103/BIBTEX>

- Bryant, C. J., Anderson, J. E., Asher, K. E., Green, C., & Gasteratos, K. (2019). Strategies for overcoming aversion to unnaturalness: The case of clean meat. *Meat Science*, *154*, 37–45. <https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2019.04.004>
- Bryant, C. J., & Barnett, J. C. (2019). What's in a name? Consumer perceptions of in vitro meat under different names. *Appetite*, *137*, 104–113. <https://doi.org/10.1016/J.APPET.2019.02.021>
- Bryant, C., Szejda, K., Parekh, N., Deshpande, 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*, *0*, 11. <https://doi.org/10.3389/FSUFS.2019.00011>
- Carrel, A. (1912). ON THE PERMANENT LIFE OF TISSUES OUTSIDE OF THE ORGANISM. *The Journal of Experimental Medicine*, *15*(5), 516. <https://doi.org/10.1084/JEM.15.5.516>
- Catts, O., & Zurr, I. (2002). Growing semi-living sculptures: The tissue culture & art project. *Leonardo*, *35*(4), 365–370. <https://doi.org/10.1162/002409402760181123>
- Chaudhuri, J., & Al-Rubeai, M. (2005). Bioreactors for tissue engineering: Principles, design and operation. *Bioreactors for Tissue Engineering: Principles, Design and Operation*, 1–372. <https://doi.org/10.1007/1-4020-3741-4>
- Chen, L., Guttieres, D., Koenigsberg, A., Barone, P. W., Sinskey, A. J., & Springs, S. L. (2022). Large-scale cultured meat production: Trends, challenges and promising biomanufacturing technologies. *Biomaterials*, *280*, 121274. <https://doi.org/10.1016/J.BIOMATERIALS.2021.121274>
- Chriki, S., & Hocquette, J. F. (2020). The Myth of Cultured Meat: A Review. *Frontiers in Nutrition*, *7*, 7. <https://doi.org/10.3389/FNUT.2020.00007/BIBTEX>
- Churchill W., & Spurrier, S. (1931). Fifty Years Hence. *Strand Magazine*, *82*, 492. <https://www.nationalchurchillmuseum.org/fifty-years-hence.html>
- Circus, V. E., & Robison, R. (2019). Exploring perceptions of sustainable proteins and meat attachment. *British Food Journal*, *121*(2), 533–545. <https://doi.org/10.1108/BFJ-01-2018-0025/FULL/PDF>
- Cultivated meat | State of the Industry Report | GFI.* (2021). <https://gfi.org/resource/cultivated-meat-eggs-and-dairy-state-of-the-industry-report/>
- da Silva, R. M. P., Mano, J. F., & Reis, R. L. (2007). Smart thermoresponsive coatings and surfaces for tissue engineering: switching cell-material boundaries. *Trends in Biotechnology*, *25*(12), 577–583. <https://doi.org/10.1016/J.TIBTECH.2007.08.014>

- Danoviz, M. E., & Yablonka-Reuveni, Z. (2012). Skeletal Muscle Satellite Cells: Background and Methods for Isolation and Analysis in a Primary Culture System. *Methods in Molecular Biology (Clifton, N.j.)*, 798, 21. https://doi.org/10.1007/978-1-61779-343-1_2
- Datar, I., & Betti, M. (2010). Possibilities for an in vitro meat production system. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11(1), 13–22. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2009.10.007>
- de Paula Soares Valente, J., Fiedler, R. A., Heidemann, M. S., & Maiolino Molento, C. F. (2019). First glimpse on attitudes of highly educated consumers towards cell-based meat and related issues in Brazil. *PLOS ONE*, 14(8), e0221129. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0221129>
- Ding, S., Swennen, G. N. M., Messmer, T., Gagliardi, M., Molin, D. G. M., Li, C., Zhou, G., & Post, M. J. (2018). Maintaining bovine satellite cells stemness through p38 pathway. *Scientific Reports 2018 8:1*, 8(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-28746-7>
- Catts, O., & Zurr, I. (2003). *Disembodied Cuisine – The Tissue Culture & Art Project*. <https://tcaproject.net/portfolio/disembodied-cuisine/>
- Djusalov, M., Knežić, T., Podunavac, I., Živojević, K., Radonic, V., Knežević, N., Bobrinetskiy, I., & Gadjanski, I. (2021). Cultivating Multidisciplinarity: Manufacturing and Sensing Challenges in Cultured Meat Production. *Biology 2021, Vol. 10, Page 204*, 10(3), 204. <https://doi.org/10.3390/BIOLOGY10030204>
- Doran, P. M. (2013). Reactor Engineering. *Bioprocess Engineering Principles*, 761–852. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-220851-5.00014-9>
- Dupont, J., & Fiebelkorn, F. (2020). Attitudes and acceptance of young people toward the consumption of insects and cultured meat in Germany. *Food Quality and Preference*, 85, 103983. <https://doi.org/10.1016/J.FOODQUAL.2020.103983>
- 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. <https://doi.org/10.1089/TEN.2005.11.659>
- Eghbali, H., Nava, M. M., Mohebbi-Kalhari, D., & Raimondi, M. T. (2016). Hollow fiber bioreactor technology for tissue engineering applications. *The International Journal of Artificial Organs*, 39(1), 1–15. <https://doi.org/10.5301/IJAO.5000466>

- Egolf, A., Hartmann, C., & Siegrist, M. (2019). When Evolution Works Against the Future: Disgust's Contributions to the Acceptance of New Food Technologies. *Risk Analysis*, 39(7), 1546–1559. <https://doi.org/10.1111/RISA.13279>
- Ellis, M., Jarman-Smith, M., & Chaudhuri, J. B. (2005). Bioreactor Systems for Tissue Engineering: A Four-Dimensional Challenge. *Bioreactors for Tissue Engineering: Principles, Design and Operation*, 1–18. https://doi.org/10.1007/1-4020-3741-4_1
- EUR-Lex - 32015R2283 - EN - EUR-Lex. (2015). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32015R2283>
- EUR-Lex - 32019R1381 - EN - EUR-Lex. (2019). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32019R1381>
- FAO. (2009). How to Feed the World in 2050. In *Population and Development Review* 35. http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf
- Food, E., Authority, S., Lheureux, K., Marano, R., Romero, P., Turla, E., & Ververis, E. (2018). Administrative guidance on the submission of applications for authorisation of a novel food pursuant to Article 10 of Regulation (EU) 2015/2283. *EFSA Supporting Publications*, 15(2), 1381E. <https://doi.org/10.2903/SP.EFSA.2018.EN-1381>
- Fsis, U. (2019). *FORMAL AGREEMENT BETWEEN THE U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES FOOD AND DRUG ADMINISTRATION AND U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE OFFICE OF FOOD SAFETY*.
- Geipel, J., Hadjichristidis, C., & Klesse, A. K. (2018). Barriers to sustainable consumption attenuated by foreign language use. *Nature Sustainability* 2017 1:1, 1(1), 31–33. <https://doi.org/10.1038/s41893-017-0005-9>
- Genovese, N. J., Domeier, T. L., Telugu, B. P. V. L., & Roberts, R. M. (2017). Enhanced Development of Skeletal Myotubes from Porcine Induced Pluripotent Stem Cells. *Scientific Reports* 2017 7:1, 7(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/srep41833>
- Godfray, H. C. J., Aveyard, P., Garnett, T., Hall, J. W., Key, T. J., Lorimer, J., Pierrehumbert, R. T., Scarborough, P., Springmann, M., & Jebb, S. A. (2018). Meat consumption, health, and the environment. *Science (New York, N.Y.)*, 361(6399). https://doi.org/10.1126/SCIENCE.AAM5324/ASSET/F98791E2-FEA1-4E7E-B3BE-A9147C4624DF/ASSETS/GRAPHIC/361_AAM5324_FA_V2.JPEG

- Gómez-Luciano, C. A., de Aguiar, L. K., Vriesekoop, F., & Urbano, B. (2019). Consumers' willingness to purchase three alternatives to meat proteins in the United Kingdom, Spain, Brazil and the Dominican Republic. *Food Quality and Preference*, *78*, 103732. <https://doi.org/10.1016/J.FOODQUAL.2019.103732>
- Gómez-Luciano, C. A., Vriesekoop, F., & Urbano, B. (2019). Towards food security of alternative dietary proteins: A comparison between Spain and the Dominican Republic. *Amfiteatru Economic*, *21*(51), 393–407. <https://doi.org/10.24818/EA/2019/51/393>
- Grasso, A. C., Hung, Y., Olthof, M. R., Verbeke, W., & Brouwer, I. A. (2019). Older Consumers' Readiness to Accept Alternative, More Sustainable Protein Sources in the European Union. *Nutrients*, *11*(8). <https://doi.org/10.3390/NU11081904>
- Hayflick, L. (1979). The Cell Biology of Aging. *Journal of Investigative Dermatology*, *73*(1), 8–14. <https://doi.org/10.1111/1523-1747.EP12532752>
- Hocquette, A., Lambert, C., Sinquin, C., Peterolff, L., Wagner, Z., Bonny, S. P. F., Lebert, A., & Hocquette, J. F. (2015). Educated consumers don't believe artificial meat is the solution to the problems with the meat industry. *Journal of Integrative Agriculture*, *14*(2), 273–284. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60886-8](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60886-8)
- Hocquette, J. F. (2016). Is in vitro meat the solution for the future? *Meat Science*, *120*, 167–176. <https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2016.04.036>
- Hopkins, P. D., & Dacey, A. (2008). Vegetarian Meat: Could Technology Save Animals and Satisfy Meat Eaters? *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* *2008* *21*:6, *21*(6), 579–596. <https://doi.org/10.1007/S10806-008-9110-0>
- Jairath, G., Mal, G., Gopinath, D., & Singh, B. (2021). A holistic approach to assess the viability of cultured meat: A review. *Trends in Food Science & Technology*, *110*, 700–710. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2021.02.024>
- Jun, I., Jeong, S., & Shin, H. (2009). The stimulation of myoblast differentiation by electrically conductive sub-micron fibers. *Biomaterials*, *30*(11), 2038–2047. <https://doi.org/10.1016/J.BIOMATERIALS.2008.12.063>
- K. Handral, H., Hua Tay, S., Wan Chan, W., & Choudhury, D. (2020). 3D Printing of cultured meat products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1815172>

- 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)
- Ketelings, L., Kremers, S., & de Boer, A. (2021). The barriers and drivers of a safe market introduction of cultured meat: A qualitative study. *Food Control*, *130*, 108299. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2021.108299>
- Kjar, A., McFarland, B., Mecham, K., Harward, N., & Huang, Y. (2021). Engineering of tissue constructs using coaxial bioprinting. *Bioactive Materials*, *6*(2), 460–471. <https://doi.org/10.1016/J.BIOACTMAT.2020.08.020>
- Kolesky, D. B., Homan, K. A., Skylar-Scott, M. A., & Lewis, J. A. (2016). Three-dimensional bioprinting of thick vascularized tissues. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *113*(12), 3179–3184. <https://doi.org/10.1073/PNAS.1521342113/-/DCSUPPLEMENTAL>
- Kolkman, A. M., Post, M. J., Rutjens, M. A. M., van Essen, A. L. M., & Moutsatsou, P. (2019). Serum-free media for the growth of primary bovine myoblasts. *Cytotechnology* *2019 72:1*, *72*(1), 111–120. <https://doi.org/10.1007/S10616-019-00361-Y>
- Zaraska, M. (2013). *Lab-grown beef taste test: 'Almost' like a burger - The Washington Post*. Health and Science. https://www.washingtonpost.com/national/health-science/lab-grown-beef-taste-test-almost-like-a-burger/2013/08/05/921a5996-fdf4-11e2-96a8-d3b921c0924a_story.html
- Laestadius, L. I., & Caldwell, M. A. (2015). Is the future of meat palatable? Perceptions of in vitro meat as evidenced by online news comments. *Public Health Nutrition*, *18*(13), 2457–2467. <https://doi.org/10.1017/S1368980015000622>
- Lam, M. T., Huang, Y. C., Birla, R. K., & Takayama, S. (2009). Microfeature guided skeletal muscle tissue engineering for highly organized 3-dimensional free-standing constructs. *Biomaterials*, *30*(6), 1150–1155. <https://doi.org/10.1016/J.BIOMATERIALS.2008.11.014>
- Langelaan, M. L. P., Boonen, K. J. M., Polak, R. B., Baaijens, F. P. T., Post, M. J., & van der Schaft, D. W. J. (2010). Meet the new meat: tissue engineered skeletal muscle. *Trends in Food Science & Technology*, *21*(2), 59–66. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2009.11.001>

- Li, X., Zhang, G., Zhao, X., Zhou, J., Du, G., & Chen, J. (2020). A conceptual air-lift reactor design for large scale animal cell cultivation in the context of in vitro meat production. *Chemical Engineering Science*, 211, 115269.
<https://doi.org/10.1016/J.CES.2019.115269>
- Lowe, K. C. (2006). Blood substitutes: from chemistry to clinic. *Journal of Materials Chemistry*, 16(43), 4189–4196. <https://doi.org/10.1039/B604923K>
- Lowrey, J., Armenta, R. E., & Brooks, M. S. (2015). Nutrient and media recycling in heterotrophic microalgae cultures. *Applied Microbiology and Biotechnology* 2015 100:3, 100(3), 1061–1075. <https://doi.org/10.1007/S00253-015-7138-4>
- Lupton, D., & Turner, B. (2018). Food of the Future? Consumer Responses to the Idea of 3D-Printed Meat and Insect-Based Foods. *Food and Foodways*, 26(4), 269–289.
<https://doi.org/10.1080/07409710.2018.1531213>
- Lynch, J., & Pierrehumbert, R. (2019). Climate Impacts of Cultured Meat and Beef Cattle. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3, 5.
<https://doi.org/10.3389/FSUFS.2019.00005/BIBTEX>
- Mancini, M. C., & Antonioli, F. (2019). Exploring consumers' attitude towards cultured meat in Italy. *Meat Science*, 150, 101–110.
<https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2018.12.014>
- Mancini, M. C., & Antonioli, F. (2020). To What Extent Are Consumers' Perception and Acceptance of Alternative Meat Production Systems Affected by Information? The Case of Cultured Meat. *Animals* 2020, Vol. 10, Page 656, 10(4), 656.
<https://doi.org/10.3390/ANI10040656>
- Marcu, A., Gaspar, R., Rutsaert, P., Seibt, B., Fletcher, D., Verbeke, W., & Barnett, J. (2015). Analogies, metaphors, and wondering about the future: Lay sense-making around synthetic meat. *Public Understanding of Science*, 24(5), 547–562.
<https://doi.org/10.1177/0963662514521106>
- Mattick, C. S., Landis, A. E., Allenby, B. R., & Genovese, N. J. (2015). Anticipatory Life Cycle Analysis of In Vitro Biomass Cultivation for Cultured Meat Production in the United States. *Environmental Science and Technology*, 49(19), 11941–11949.
https://doi.org/10.1021/ACS.EST.5B01614/SUPPL_FILE/ES5B01614_SI_001.PDF
- Mauro, A. (1961). SATELLITE CELL OF SKELETAL MUSCLE FIBERS . *The Journal of Biophysical and Biochemical Cytology*, 9(2), 493–495. <https://doi.org/10.1083/jcb.9.2.493>

- Mehta, F., Theunissen, R., & Post, M. J. (2019). Adipogenesis from Bovine Precursors. *Methods in Molecular Biology (Clifton, N.J.)*, 1889, 111–125.
https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8897-6_8
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2012). A Global Assessment of the Water Footprint of Farm Animal Products. *Ecosystems*, 15(3), 401–415.
<https://doi.org/10.1007/S10021-011-9517-8/TABLES/4>
- Melzener, L., Verzijden, K. E., Buijs, A. J., Post, M. J., & Flack, J. E. (2021). Cultured beef: from small biopsy to substantial quantity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(1), 7–14. <https://doi.org/10.1002/JSFA.10663>
- Merchuk, J. C. (1990). Why use air-lift bioreactors? *Trends in Biotechnology*, 8(C), 66–71.
[https://doi.org/10.1016/0167-7799\(90\)90138-N](https://doi.org/10.1016/0167-7799(90)90138-N)
- Michel, F., & Siegrist, M. (2019). How should importance of naturalness be measured? A comparison of different scales. *Appetite*, 140, 298–304.
<https://doi.org/10.1016/J.APPET.2019.05.019>
- Mizuno, Y., Chang, H., Umeda, K., Niwa, A., Iwasa, T., Awaya, T., Fukada, S., Yamamoto, H., Yamanaka, S., Nakahata, T., & Heike, T. (2010). Generation of skeletal muscle stem/progenitor cells from murine induced pluripotent stem cells. *The FASEB Journal*, 24(7), 2245–2253. <https://doi.org/10.1096/FJ.09-137174>
- Mohanty, S., Larsen, L. B., Trifol, J., Szabo, P., Burri, H. V. R., Canali, C., Dufva, M., Emnéus, J., & Wolff, A. (2015). Fabrication of scalable and structured tissue engineering scaffolds using water dissolvable sacrificial 3D printed moulds. *Materials Science and Engineering: C*, 55, 569–578. <https://doi.org/10.1016/J.MSEC.2015.06.002>
- Nemati, M., & Webb, C. (2011). Immobilized Cell Bioreactors. *Comprehensive Biotechnology, Second Edition*, 2, 331–346. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-088504-9.00100-8>
- Nogueira, D. E. S., Cabral, J. M. S., & Rodrigues, C. A. V. (2021). Single-Use Bioreactors for Human Pluripotent and Adult Stem Cells: Towards Regenerative Medicine Applications. *Bioengineering 2021, Vol. 8, Page 68*, 8(5), 68.
<https://doi.org/10.3390/BIOENGINEERING8050068>
- Ogino, A., Orito, H., Shimada, K., & Hirooka, H. (2007). Evaluating environmental impacts of the Japanese beef cow-calf system by the life cycle assessment method: ORIGINAL

- ARTICLE. *Animal Science Journal*, 78(4), 424–432. <https://doi.org/10.1111/J.1740-0929.2007.00457.X>
- O’Keefe, L., McLachlan, C., Gough, C., Mander, S., & Bows-Larkin, A. (2016). Consumer responses to a future UK food system. *British Food Journal*, 118(2), 412–428. <https://doi.org/10.1108/BFJ-01-2015-0047/FULL/PDF>
- Olguin, H. C., & Olwin, B. B. (2004). Pax-7 up-regulation inhibits myogenesis and cell cycle progression in satellite cells: a potential mechanism for self-renewal. *Developmental Biology*, 275(2), 375–388. <https://doi.org/10.1016/J.YDBIO.2004.08.015>
- O’Riordan, K., Fotopoulou, A., & Stephens, N. (2017). The first bite: Imaginaries, promotional publics and the laboratory grown burger. *Public Understanding of Science*, 26(2), 148–163. <https://doi.org/10.1177/0963662516639001>
- Post, M. J. (2012). Cultured meat from stem cells: Challenges and prospects. *Meat Science*, 92(3), 297–301. <https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2012.04.008>
- Post, M. J. (2014). Cultured beef: medical technology to produce food. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(6), 1039–1041. <https://doi.org/10.1002/JSFA.6474>
- Post, M. J., Levenberg, S., Kaplan, D. L., Genovese, N., Fu, J., Bryant, C. J., Negowetti, N., Verzijden, K., & Moutsatsou, P. (2020). Scientific, sustainability and regulatory challenges of cultured meat. *Nature Food* 2020 1:7, 1(7), 403–415. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0112-z>
- Powell, C. A., Smiley, B. L., Mills, J., & Vandeburgh, H. H. (2002). Mechanical stimulation improves tissue-engineered human skeletal muscle. *American Journal of Physiology. Cell Physiology*, 283(5). <https://doi.org/10.1152/AJPCELL.00595.2001>
- Radisic, M., Marsano, A., Maidhof, R., Wang, Y., & Vunjak-Novakovic, G. (2008). Cardiac tissue engineering using perfusion bioreactor systems. *Nature Protocols*, 3(4), 719. <https://doi.org/10.1038/NPROT.2008.40>
- Ramboer, E., de Craene, B., de Kock, J., Vanhaecke, T., Berx, G., Rogiers, V., & Vinken, M. (2014). Strategies for immortalization of primary hepatocytes. *Journal of Hepatology*, 61(4), 925–943. <https://doi.org/10.1016/J.JHEP.2014.05.046>
- Saini, A. (2021). *Review: What does lab grown or cultured chicken taste like?* Lifestyle Asia/Food and Drink. <https://www.lifestyleasia.com/sg/food-drink/dining/review-cultured-chicken-good-meat-cultured-chicken-singapore/>

- Ritchie, H., & Roser, M. (2017). *Meat and Dairy Production - Our World in Data*.
<https://ourworldindata.org/meat-production>
- Rolland, N. C. M., Markus, C. R., & Post, M. J. (2020). The effect of information content on acceptance of cultured meat in a tasting context. *PLOS ONE*, *15*(4), e0231176.
<https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0231176>
- Rzymiski, P., Kulus, M., Jankowski, M., Dompe, C., Bryl, R., Petite, J. N., Kempisty, B., & Mozdziak, P. (2021). COVID-19 Pandemic Is a Call to Search for Alternative Protein Sources as Food and Feed: A Review of Possibilities. *Nutrients* *2021*, *Vol. 13*, Page 150, *13*(1), 150. <https://doi.org/10.3390/NU13010150>
- Sandvig, I., Karstensen, K., Rokstad, A. M., Aachmann, F. L., Formo, K., Sandvig, A., Skjåk-Bræk, G., & Strand, B. L. (2015). RGD-peptide modified alginate by a chemoenzymatic strategy for tissue engineering applications. *Journal of Biomedical Materials Research. Part A*, *103*(3), 896–906. <https://doi.org/10.1002/JBM.A.35230>
- Schaefer, G. O., & Savulescu, J. (2014). The Ethics of Producing In Vitro Meat. *Journal of Applied Philosophy*, *31*(2), 188–202. <https://doi.org/10.1111/JAPP.12056>
- Seale, P., & Rudnicki, M. A. (2000). A New Look at the Origin, Function, and “Stem-Cell” Status of Muscle Satellite Cells. *Developmental Biology*, *218*(2), 115–124.
<https://doi.org/10.1006/DBIO.1999.9565>
- Seale, P., Sabourin, L. A., Girgis-Gabardo, A., Mansouri, A., Gruss, P., & Rudnicki, M. A. (2000). Pax7 Is Required for the Specification of Myogenic Satellite Cells. *Cell*, *102*(6), 777–786. [https://doi.org/10.1016/S0092-8674\(00\)00066-0](https://doi.org/10.1016/S0092-8674(00)00066-0)
- SFA | *Safety of Alternative Protein*. (n.d.). Retrieved January 25, 2022, from
<https://www.sfa.gov.sg/food-information/risk-at-a-glance/safety-of-alternative-protein>
- Shaw, E., & mac Con Iomaire, M. (2019). A comparative analysis of the attitudes of rural and urban consumers towards cultured meat. *British Food Journal*, *121*(8), 1782–1800. <https://doi.org/10.1108/BFJ-07-2018-0433/FULL/PDF>
- Siegrist, M., & Sütterlin, B. (2017). Importance of perceived naturalness for acceptance of food additives and cultured meat. *Appetite*, *113*, 320–326.
<https://doi.org/10.1016/J.APPET.2017.03.019>

- Siegrist, M., Sütterlin, B., & Hartmann, C. (2018). Perceived naturalness and evoked disgust influence acceptance of cultured meat. *Meat Science*, *139*, 213–219.
<https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2018.02.007>
- Slade, P. (2018). If you build it, will they eat it? Consumer preferences for plant-based and cultured meat burgers. *Appetite*, *125*, 428–437.
<https://doi.org/10.1016/J.APPET.2018.02.030>
- Slivac, I., Gaurina Srček, V., Radošević, K., Kmetič, I., & Kniewald, Z. (2006). Aujeszky's disease virus production in disposable bioreactor. *Journal of Biosciences*, *31*(3), 363–368. <https://doi.org/10.1007/BF02704109>
- Specht, A. R., Rumble, J. N., & Buck, E. B. (2020). “You Call that Meat?” Investigating Social Media Conversations and Influencers Surrounding Cultured Meat. *Journal of Applied Communications*, *104*(1), 3. <https://doi.org/10.4148/1051-0834.2303>
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., & Haan, C. de. (2006). Livestock's long shadow: environmental issues and options. In *Livestock's long shadow: environmental issues and options*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Stephens, N., di Silvio, L., Dunsford, I., Ellis, M., Glencross, A., & Sexton, A. (2018). Bringing cultured meat to market: Technical, socio-political, and regulatory challenges in cellular agriculture. *Trends in Food Science & Technology*, *78*, 155–166.
<https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2018.04.010>
- Stephens, N., Sexton, A. E., & Driessen, C. (2019). Making Sense of Making Meat: Key Moments in the First 20 Years of Tissue Engineering Muscle to Make Food. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *0*, 45. <https://doi.org/10.3389/FSUFS.2019.00045>
- Stoll-Kleemann, S., & O’Riordan, T. (2015). The Sustainability Challenges of Our Meat and Dairy Diets. <http://Dx.Doi.Org/10.1080/00139157.2015.1025644>, *57*(3), 34–48.
<https://doi.org/10.1080/00139157.2015.1025644>
- Takahashi, K., & Yamanaka, S. (2006). Induction of pluripotent stem cells from mouse embryonic and adult fibroblast cultures by defined factors. *Cell*, *126*(4), 663–676.
<https://doi.org/10.1016/J.CELL.2006.07.024>
- Specter, M. (2011, May 23). *Test-Tube Burgers* | *The New Yorker*. Annals of Science.
<https://www.newyorker.com/magazine/2011/05/23/test-tube-burgers>

- Schonwald, J. (2009). *The University of Chicago Magazine: Features: Future fillet*.
http://magazine.uchicago.edu/0906/features/future_fillet.shtml
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 2002 418:6898, 418(6898), 671–677. <https://doi.org/10.1038/nature01014>
- 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>
- Tucker, C. A. (2014). The significance of sensory appeal for reduced meat consumption. *Appetite*, 81, 168–179. <https://doi.org/10.1016/J.APPET.2014.06.022>
- Tuomisto, H., Ellis, M., & Haastrup, P. (2014). Environmental impacts of cultured meat: alternative production scenarios . *9th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector*. Vashon, WA, (USA): ACLCA, 1360–1366.
<https://aclca.org/>
- Tuomisto, H. L., & Mattos, M. J. T. de. (2011). Environmental Impacts of Cultured Meat Production. *Environmental Science and Technology*, 45(14), 6117–6123.
<https://doi.org/10.1021/ES200130U>
- Turck, D., Bresson, J. L., Burlingame, B., Dean, T., Fairweather-Tait, S., Heinonen, M., Hirsch-Ernst, K. I., Mangelsdorf, I., McArdle, H., Naska, A., Neuhäuser-Berthold, M., Nowicka, G., Pentieva, K., Sanz, Y., Siani, A., Sjödin, A., Stern, M., Tomé, D., Vinceti, M., ... van Loveren, H. (2016). Guidance on the preparation and presentation of an application for authorisation of a novel food in the context of Regulation (EU) 2015/2283. *EFSA Journal*, 14(11), e04594. <https://doi.org/10.2903/J.EFSA.2016.4594>
- USDA Seeks Comments on the Labeling of Meat and Poultry Products Derived from Animal Cells | USDA*. (2021). <https://www.usda.gov/media/press-releases/2021/09/02/usda-seeks-comments-labeling-meat-and-poultry-products-derived>
- van der Weele, C., & Driessen, C. (2013). Emerging Profiles for Cultured Meat; Ethics through and as Design. *Animals : An Open Access Journal from MDPI*, 3(3), 647.
<https://doi.org/10.3390/ANI3030647>
- van der Weele, C., & Driessen, C. (2019). How Normal Meat Becomes Stranger as Cultured Meat Becomes More Normal; Ambivalence and Ambiguity Below the Surface of

- Behavior. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3, 69.
<https://doi.org/10.3389/FSUFS.2019.00069/BIBTEX>
- van Eelen, W. F., van Kooten, W. J., & Westerhof, W. (1999). *INDUSTRIAL SCALE PRODUCTION OF MEAT FROM ξ (IN VITRO) CELL CULTURES*.
- Verbeke, W., Marcu, A., Rutsaert, P., Gaspar, R., Seibt, B., Fletcher, D., & Barnett, J. (2015). 'Would you eat cultured meat?': Consumers' reactions and attitude formation in Belgium, Portugal and the United Kingdom. *Meat Science*, 102, 49–58.
<https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2014.11.013>
- Verbruggen, S., Luining, D., van Essen, A., & Post, M. J. (2017). Bovine myoblast cell production in a microcarriers-based system. *Cytotechnology* 2017 70:2, 70(2), 503–512.
<https://doi.org/10.1007/S10616-017-0101-8>
- Warnock, J. N., Bratch, K., & Al-Rubeai, M. (2005). Packed Bed Bioreactors. *Bioreactors for Tissue Engineering: Principles, Design and Operation*, 87–113.
https://doi.org/10.1007/1-4020-3741-4_4
- Weinrich, R., Strack, M., & Neugebauer, F. (2020). Consumer acceptance of cultured meat in Germany. *Meat Science*, 162. <https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2019.107924>
- Welin, S. (2013). Introducing the new meat. Problems and prospects. *Etikk i Praksis*, 7(1), 24–37. <https://doi.org/10.5324/EIP.V7I1.1788>
- Welin, S., Gold, J., & Berlin, J. (2012). In vitro meat: What are the moral issues? *The Philosophy of Food*, 292–394. <https://doi.org/10.1525/9780520951976-017/MACHINEREADABLECITATION/RIS>
- Wilks, M., & Phillips, C. J. C. (2017). Attitudes to in vitro meat: A survey of potential consumers in the United States. *PLOS ONE*, 12(2), e0171904.
<https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0171904>
- Wilks, M., Phillips, C. J. C., Fielding, K., & Hornsey, M. J. (2019). Testing potential psychological predictors of attitudes towards cultured meat. *Appetite*, 136, 137–145.
<https://doi.org/10.1016/J.APPET.2019.01.027>
- Yang, Z., & Xiong, H.-R. (2012). Culture Conditions and Types of Growth Media for Mammalian Cells. *Biomedical Tissue Culture*. <https://doi.org/10.5772/52301>
- Zhang, G., Zhao, X., Li, X., Du, G., Zhou, J., & Chen, J. (2020). Challenges and possibilities for bio-manufacturing cultured meat. *Trends in Food Science & Technology*, 97, 443–450. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2020.01.026>

Zhang, M., Li, L., & Bai, J. (2020). Consumer acceptance of cultured meat in urban areas of three cities in China. *Food Control*, *118*, 107390.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2020.107390>