

# Může maso připravené z buněčných kultur nahradit tradičně produkované maso?

doc. MVDr. Josef Kameník, CSc., MBA  
Veterinární univerzita Brno

## Abstrakt

Základními technologickými kroky přípravy masa z buněčných kultur jsou výběr linií kmenových buněk, příprava kultivačních médií, množení buněk v bioreaktorech a jejich následná diferenciaci a zrání na tkáňových nosičích. Na přípravu 10-100 kg umělého masa je zapotřebí  $10^{12}$ - $10^{13}$  buněk. K jejich množení je nutné použít speciální kultivační média, která obsahují bazální médium (zdroj základních živin), sérum či náhražky séra a buněčné signální molekuly. Na přijetí či odmítnutí masa z buněčných kultur trhem si budeme muset patrně ještě pár let počkat. Stále chybí legislativní vymezení a zejména detailní výzkum biologických nebo chemických nebezpečí, jejichž přítomnost zatím nelze v maso z buněčných kultur vyloučit.

**Klíčová slova:** kmenové buňky, kultivační média, bioreaktory, tkáňové nosiče, umělé maso.

## Historický vývoj technologie přípravy masa z buněčných kultur

Myšlenka vytvořit umělé maso, aniž bychom k tomu potřebovali zvířata, existuje již dlouho. Ale dříve k tomu chybělo potřebné technické vybavení a znalosti. Zřejmě poprvé bylo umělé maso zmíněno v roce 1897 ve sci-fi románu s názvem *Auf Zwei Planeten* a v minulém století se pak objevilo v řadě dalších románů [1]. V roce 1931 Winston Churchill slavně předpověděl: „Unikneme absurditě produkovat celé kuře (když z něj nakonec sníme jen prsa nebo křídlo) tím, že tyto části vypěstujeme odděleně na vhodném médiu.“ [2].

Na konci devadesátých let 20. století podal Willem van Eelen první patent na metodu produkce masa z buněčných kultur [1]. V roce 1998 Národní úřad pro letectví a kosmonautiku (NASA) pěstoval maso karase zlatého (goldfish) v laboratoři jako součást jednoho výzkumu pro výrobu potravin pro dlouhé cesty vesmírem. Zdá se, že první maso z buněčných kultur konzumované lidmi bylo dílem bioumělce Orona Cattse. Ve svém projektu z roku 2003, *Disembodied Cuisine*, se mu podařilo vykultivovat buňky ze žáby a během večere v muzeu ve francouzském Nantes je prezentoval jako malé žabí steaky [1].

V roce 2005 nizozemská vláda financovala dva výzkumné projekty v oblasti masa z buněčných kultur. Výzkumník v lékařství prof. Mark Post a spoluzakladatel

**Tabulka 1** Start-upy v oblasti výroby masa z buněčných kultur (stav: říjen 2021) [5]

Země	počet start-upových firem
USA	16
Spojené království	6
Izrael	5
Německo	3
Austrálie	3
Japonsko	3
Singapur	3
Jihoafrická republika	3
Francie	2
Kanada	2
Nizozemsko	2
Španělsko	2
5 dalších	6
<b>Celkem</b>	<b>56</b>

společnosti Google Sergei Brin se spojili, aby urychlili jeho vývoj [1]. V roce 2013 prezentoval profesor Post z maastrichtské univerzity na tiskové konferenci v Londýně první burger na světě připravený z buněčných kultur. Výroba tehdy přišla včetně vědeckých přípravných prací na úctyhodných 250 tisíc euro [3]. Od r. 2015 vznikly ve světě četné start-upové firmy, které se zabývají přípravou analogů masa nebo produktů rybolovu z buněčných kultur (Tabulka 1). Nacházejí se především v USA (zejména v Kalifornii v oblasti San Franciska), Izraeli a několika málo členských zemích EU [4].

Na rozdíl od velkého počtu start-upů, které vyrábějí rostlinné produkty nahrazující maso, je počet start-upů, které pracují na získávání masa z buněčných kultur, stále ještě poměrně nízký. V říjnu 2021 evidovala databáze GFI (*Good Food Institute*) pouze 56 start-upů ve 21 zemích [5]. Studie FAO uvádí minimálně 76 společností aktivních v listopadu 2021 [6].

První vědecká publikace o umělém maso byla vydána v roce 2008 a počet publikací od roku 2013 značně vzrostl (Tabulka 2). K první komercializaci produktu z kultivovaného masa došlo v prosinci 2020 v restauraci v Singapuru. Šlo o kuřecí nugety z umělého masa, jejichž prodej byl také schválen singapurskou kompetentní autoritou [6]. Očekává se, že v r. 2035 se celosvětově zvýší poptávka po bílkovinných potravinách

**Tabulka 2** Četnost článků o vývoji masa z buněčných kultur a postojích spotřebitelů k této technologii podle roku vydání.

Typ článků	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
články o vývoji umělého masa	1	3	5	4	4	11	10	23	11	22	20	41	45
články o zákaznickém přístupu k umělému masu		1					1	4		4	5	12	16

Poznámka: Celkový počet článků získaných po odstranění duplikátů = 243 publikací (včetně přehledových článků) [13]

z 587 mil. t v r. 2020 na 872 mil. t (roční růst 3 %). Spotřeba alternativních proteinů stoupne z 13 mil. t na 97 mil. t (roční růst 14 %). Z toho by alternativní potraviny na bázi rostlinných bílkovin měly představovat podíl 71,1 %, produkty získané fermentací 22,7 % a na potraviny připravené z buněčných kultur případně 6,2 % [5].

### Definice a legislativní ukotvení zatím chybí

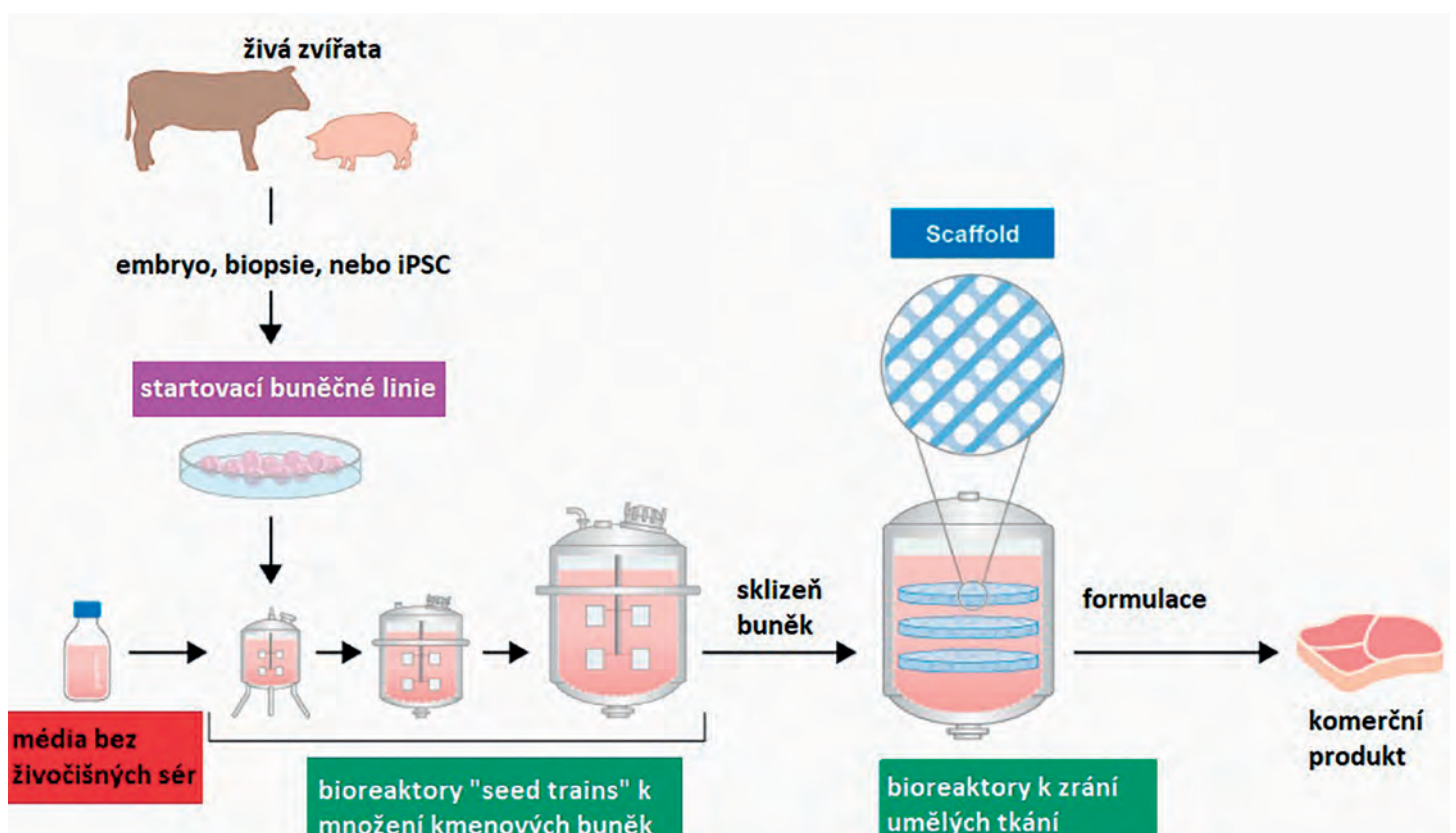
V odborné či vědecké anglicky psané literatuře se nejčastěji používá pro náhrady masa připravené z buněčných kultur termín *cultured meat*, pro který se český ekvivalent nehledá snadno. Pojem maso z buněčných kultur je asi nejvýstižnější, ale trochu moc dlouhý. Doposud neexistuje žádná mezinárodně harmonizovaná terminologie k označení tohoto typu produktů [6]. Ve studii Hocquette et al. [13] se objevuje také výraz *artificial meat*, tj. umělé maso. V následujícím textu bude proto použit tento termín. Umělé maso je připravované

kultivací a diferenciací svalových kmenových buněk in vitro. V literatuře se lze setkat také s výrazy *animal-free*, *cell-cultured*, *cultivated*, *cell-based*, *clean meat*, *slaughter-free meat*, *in-vitro meat*, *lab-grown meat*, *test tube meat*, *vat-grown meat* [6].

### Základní technologie přípravy umělého masa

Základní technologické kroky přípravy umělého masa představují: 1) výběr linií kmenových buněk, 2) příprava kultivačních médií, 3) množení buněk v bioreaktorech a jejich následná 4) diferenciacie a zrání na tkáňových nosičích (tzv. *scaffolding*) [7].

Buňky pro přípravu umělého masa mohou pocházet ze tří základních zdrojů. Lze použít embryonální kmenové buňky, což jsou multipotentní buňky teoreticky s neomezeným regeneračním potenciálem. Jejich nevýhodou je obtížnost udržet schopnost k dělení buněk bez spontánní diferenciacie [7]. V případě umělého masa se používají



**Obrázek:** Proces produkce umělého masa od buněk až po finální strukturovaný výrobek. Čtyři klíčové technologické oblasti jsou počáteční (startovací) buněčné linie, kultivační média, tkáňové nosiče (scaffolds) a bioreaktory. Publikováno se souhlasem ELSEVIER, upraveno z anglického originálu [7].

**Tabulka 3** Srovnání odhadovaných vlivů na životní prostředí během produkce 1 kg masa (konvenční produkce a umělé maso) v USA [6]

Faktor	hovězí	vepřové	drůbeží	umělé
potřeba půdy (m <sup>2</sup> /rok)	92-113	15,8-18,3	9,5	5,5 (2-8)
energie (MJ)	78,6-92,6	16,0-19,6	26,6	106 (50-359)
emise skleníkových plynů (kg ekv. CO <sub>2</sub> )	30,5-33,3	4,1-5,0	2,3	7 (4-25)

mezodermální buňky, které se diferencují na myoblasty. Ve vyvíjejících se embryích se z myoblastů tvoří svalová vlákna a v malé míře tzv. spící satelitní buňky. Ty slouží k regeneraci svalové tkáně po jejím poškození. Získávání kmenových buněk z embryí pro tvorbu umělého masa není z etického hlediska žádoucí, proto se v praxi využívají kmenové buňky získané z dospělých jedinců biopsií jejich svalů, nebo na jatkách [8]. Tento typ buněk je nejslibnější pro přípravu umělého masa. Prakticky se získávají výše zmíněné spící satelitní buňky, které se získávají ze svalové tkáně. Z okolní tkáně se uvolňují působením proteáz [9].

Třetím zdrojem kmenových buněk jsou tzv. indukované pluripotentní kmenové buňky, které se získávají z diferencovaných buněk expresí pluripotentních transkripčních faktorů [6]. Tento typ buněk má podobné vlastnosti jako embryonální kmenové buňky, jsou ale snadněji dostupné.

Na přípravu 10-100 kg umělého masa je zapotřebí 10<sup>12</sup>-10<sup>13</sup> buněk [7]. K jejich množení je nutné použít speciální kultivační média. Buněčná růstová média obecně obsahují bazální média, sérum nebo náhražky séra a buněčné signální molekuly [8]. Slouží k zásobení živinami a růstovými faktory nejenom pro množení, ale také pro diferenciaci buněk. Základem médií jsou zvířecí séra jako fetální bovinní sérum nebo koňské sérum [8], které poskytují kromě kritických živin také růstové faktory a hormony. Z etického hlediska je ale použít sér získaných ze zvířat nežádoucí. Hledají se proto složky pocházející z rostlin nebo mikrobiální fermentace. Humbird (2021) uvedl, že z hlediska nákladů jsou efektivnější hydrolyzáty rostlinných bílkovin než aminokyseliny produkované individuálně fermentací. V současnosti je k dispozici více než 100 médií s různými recepturami [6].

Pro růst buněk je zásadní přítomnost určitých hormonů a růstových faktorů, které působí jako signální molekuly. Ve vyvíjejících se plodech a rostoucích jedincích jsou tyto látky většinou produkovány endokrinními orgány. Při pěstování buněk *in vitro* musí být součástí růstových médií. Patří mezi ně např. fibroblastový růstový faktor 2 (FGF2) nebo inzulin [8]. Použití těchto faktorů zvyšuje cenu kultivačních médií, a tím i celé produkce umělého masa.

Vlastní proces přípravy umělého masa začíná množением buněk v tzv. „seed trains“ (produkce dostatečného množství buněk k zaočkování produkčních bioreaktorů). Cílem je dosáhnout exponenciálního růstu buněk bez jejich diferenciaci [7]. Následně jsou buňky přeneseny na tkáňové nosiče a do bioreaktorů k vyžrávání tkání (*tissue maturation*). Základní podmínky inkubace jsou následující: teplota 37 °C, koncentra-

ce CO<sub>2</sub> 5-10 %, koncentrace kyslíku 5 % [8]. Pro zajištění buněk živinami se používají tzv. perfuzní bioreaktory. Zajišťují permanentní kontakt množících se buněk s kultivačním médiem a nahrazují vlastně krevní kapiláry v přirozeně rostoucích tkáních. Přitom není důležité pouze zásobit rostoucí buňky živinami a růstovými faktory, ale zajistit také odvádění zplodin metabolismu. Pro savčí buňky je inhibiční koncentrace amoniaku 2-10 mM, pro kyselinu mléčnou platí koncentrace přibližně o jeden řád vyšší [10].

Buněčnou architekturu 3D umělého masa nelze získat bez mikronástrojů, které slouží k přichycení buněk a jejich zformování do útvarů podobných tkáním [7]. Tkáňové nosiče (*scaffolds*) musí odpovídat zásadám bezpečnosti potravin, musí být biodegradovatelné a musí mít dobrou biokompatibilitu a podpořit přichycení buněk. V praxi se používají přírodní i syntetické materiály. Pozornost je třeba věnovat alergennímu potenciálu použitých materiálů.

Během celého produkčního procesu je nezbytné zabránit kontaminaci bakteriemi. Na místě je proto řádně aplikovaný systém HACCP. K potlačení růstu případné bakteriální kontaminace se někde stále ještě mohou aplikovat antibiotika. Existuje proto riziko přítomnosti reziduí antimikrobních látek [6].

### Přijmou spotřebitelé umělé maso?

Zásadní otázka, která doprovází vývoj a marketingové aktivity spojené se vstupem produktů z umělého masa na trh, zní: Budou je lidé ochotni kupovat? Pro komerční úspěch nestačí jen úzká skupina spotřebitelů, kteří nechtějí konzumovat čerstvé maso z důvodu nesouhlasu s porážením zvířat na jatkách [11]. Nad otázkou přijetí analogů masa připravených z buněčných kultur trhem, tj. konzumenty, se ve svém článku zamýšleli Mohorčich a Reese [12]. Doporučili sledovat, jak se rozšířily jiné nově vzniklé potravinářské technologie, zejména GMO. Počátky GMO ve Spojených státech totiž nápadně připomínají současný vývoj technologií a tržní rozšiřování umělého masa.

Vývoj GMO i umělého masa začal v obou případech nikoli ve velkých nadnárodních korporacích, ale v malých biotechnologických start-upech (GMO v 70. letech, umělé maso ve druhé dekádě 21. století), které přitahovaly biology z akademického prostředí a lékařských laboratoří. První firmy zabývající se GMO zažívaly podobné finanční tlaky na získání peněz od investorů, které potřebovaly na krytí nákladů spojených s výzkumem, než vyvíjené produkty dosáhly úspěchu na trhu [12]. Další podobnost je v raných postojích k technologiím (včetně přístupu expertů a výzkumníků), které byly

(v případě umělého masa jsou) mimořádně optimistické. Pět let, které následovalo po prvních předvedeních (pro GMO 1973-78, pro umělé maso 2013-18), bylo charakterizováno rozmachem publikací expertů uvnitř i vně genetického inženýrství (Tabulka 2), že GMO potraviny zmírní světový hlad, vytvoří udržitelnější zásobování potravinami a vytvoří zdravější, levnější potraviny pro konzumenty. I když výhled týkající se umělého masa je stále komplikován, jeho časné přijetí se velmi podobá, někdy se opakuje doslova slovo za slovem, reakci na GMO potraviny [12].

Hocquette et al. [13] publikovali v *Meat Science* studii zabývající se postojem spotřebitelů k umělému masu. Podle autorů byl tento průzkum proveden s nejvyšším počtem respondentů ve srovnání s jakýmkoli předchozím průzkumem provedeným ve Francii nebo dokonce ve světě na téma umělé maso. Kromě toho tuto studii provedla skupina výzkumníků patřících do veřejných výzkumných organizací, které nejsou ve spojení se soukromými společnostmi, se zájmem uvést tuto biotechnologii na trh, na rozdíl od některých předchozích průzkumů.

Respondenti (n = 5 418) se vyznačovali nadměrným zastoupením mladých lidí (40,5 % ve věkové skupině 18-30 let; 36,2 % ve skupině 31-50 let; 23,3 % starších 51 let), odborníků z oboru zpracování masa (32,8 %) nebo vědců (7,9 % v oboru výzkumu masa, 36,8 % z jiného oboru) ve srovnání s francouzskou populací. Z 5 418 oslovených bylo 6,2 % vegetariánů/veganů. Mezi oslovenými bylo 52,6 % žen a 47,4 % mužů.

Přibližně 40–50 % oslovených věřilo, že chov zvířat čelí etickým a ekologickým problémům. Ale pouze 18–26 % respondentů bylo názoru, že umělé maso může tyto obtíže vyřešit. Více než polovina si však nemyslí, že by umělé maso bylo etičtější a ekologičtější než konvenčně produkované maso. Většina oslovených se domnívala, že by umělé maso nebylo zdravé ani chutné a že příprava náhrady masa z buněčných kultur je „absurdní a/nebo nechutná“ představa (59,2 % dotázaných). Ale 23,9 % a 16,9 % respondentů se domnívalo, že je to „zábavný a/nebo zajímavý“ a „slibný a/nebo proveditelný“ nápad. Většina, konkrétně 91,7 % dotázaných, nebyla připravena koupit umělé maso za vyšší cenu než tradičně produkované maso [13]. Respondenti, kteří o umělém masu neslyšeli a neznali ho, mladí lidé nebo ženy jej spíše podporovali kvůli větší citlivosti k otázkám souvisejícím se systémy chovu hospodářských zvířat. Nejvíce neochotní podpořit umělé maso byli starší muži a odborníci z oboru. Nicméně Pakseresht et al. [14] citovali studie, ve kterých byli muži k umělému masu vnímavější než ženy, příp. ženy měly spíše celkově negativní postoj k umělému masu.

Na akceptování umělého masa spotřebiteli může mít vliv řada faktorů. Patří mezi ně informovanost spotřebitelů. Znalosti o tom, co umělé maso je, zvyšuje potenciální přijetí konzumenty [14]. Naopak ale Baum et al. [2] nebyli schopni najít u spotřebitelů žádný vliv předchozích znalostí náhražek masa na jejich přijetí. Podle Pakseresht et al. [14] podporují zájmy o životní prostředí a welfare zvířat pozitivní přístupy zákazníků k umělému masu.

Podle francouzských respondentů se umělé maso objeví na našich talířích v průměru do 6 až 15 let, což je podobné tomu, co v jiné studii předpokládali oslovení čínští spotřebitelé [13]. Nicméně evropští spotřebitelé se stále zdráhají podporovat umělé maso a jejich skepse pokračuje s vývojem této technologie [14].

## Závěr

Motivací zakladatelů start-upových firem, které se zabývají vývojem umělého masa, bylo nabízet hodnotné živočišné bílkoviny, aniž by bylo třeba vykrmovat zvířata a následně je porážet. Možnost produkce potravin v „laboratorních podmínkách“, tj. bez návaznosti na zemědělskou půdu, oslovuje státy s vysokou lidskou populací, ale bez dostatku orné půdy nebo pastvin. Nepřekvapuje proto, že Izrael a Singapur jsou nyní připraveny převzít vedoucí postavení v rozvoji technologie buněčných kultur [5]. Velký význam pro tuto pozoruhodnou dynamiku má hledisko zabezpečení potravin (*food security*). Jak Izrael, tak rovněž Singapur jsou závislé na velkém dovozu potravin. Singapur si dal za cíl do roku 2030 produkovat 30 % potravin, které potřebuje, na území svého městského státu, čehož nelze dosáhnout běžnými metodami produkce.

Na podporu produkce umělého masa se objevily studie, které poukazují na přednosti takto produkovaných potravin oproti konvenčním postupům. Řada závěrů, např. s ohledem na tzv. uhlíkovou stopu, je sporných [7]. Tabulka 3 ukazuje v tomto směru srovnání potřeby půdy, energie a emise skleníkových plynů při srovnání přípravy umělého masa s produkcí hovězího, vepřového nebo drůbežního masa.

Na přijetí či odmítnutí trhu si budeme muset patrně ještě pár let počkat. Zejména v zemích s tradicí klasické produkce potravin, mezi které patří evropské státy, budou mít konečné slovo spotřebitelé. I když cena potravin hraje velkou roli, klíčový je stále ještě pohled na vhodnost, přirozenost a oprávněnost produkce umělého masa. Snaha o nízké produkční náklady a také určité etické zábrany vedou výzkumníky k hledání cenově výhodných médií prostých živočišných sér. To může vést k použití látek, které nejsou v tradiční produkci masa vůbec přítomné. Jejich dopad na bezpečnost potravin bude ale třeba podrobit důkladnému zkoumání. Nad přijetím umělého masa trhem tak visí stále ještě mnoho otazníků.

## Poděkování

Článek vznikl s podporou České technologické platformy pro potraviny při Potravinářské komoře ČR.

## Literatura

1. Treich, N. (2021): Cultured Meat: Promises and Challenges. *Environmental and Resource Economics*, 79; 33-61
2. Baum, C. M., Verbeke, W., De Steur, H. (2022): Turning your weakness into my strength: How counter-messaging on conventional meat influences acceptance of cultured meat. *Food Quality and Preference*, 97; 104485.
3. Windhorst, H.-W. (2019a): Fleisch und Fisch aus Zellkul-



- turen. Clean Meat als Trend, der gekommen ist, um zu bleiben. *Fleischwirtschaft*, 99, č. 2, 50-53.
4. Windhorst, H.-W. (2019b): Wer zu spät kommt, hat das Nachsehen. Die Dynamik in der Entwicklung alternativer Fleischprodukte wird unterschätzt. *Fleischwirtschaft*, 99, č. 11, 32-36.
  5. Windhorst, W.-H. (2022): Vývoj a dostupnost alternativních proteinů – situační zpráva. *Maso*, 33, č. 2, s. 27-33.
  6. FAO (2022): Thinking about the future of food safety – A foresight report. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb8667en>
  7. Chen, L., Guttieres, D., Koenigsberg, A., Barone, P. W., Sinskey, A. J. (2022): Large-scale cultured meat production: Trends, challenges and promising biomanufacturing technologies. *Biomaterials*, 280, 121274.
  8. Choi, K.-H., Yoon, J. W., Kim, M., Lee, H. J., Jeong, J., Ryu, M., Jo, C., Lee, C.-K. (2021): Muscle stem cell isolation and in vitro culture for meat production: A methodological review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20: 429-457.
  9. Guan, X., Zhou, J., Du, G., Chen, J. (2021): Bioprocessing technology of muscle stem cells: implications for cultured meat. *Trends in Biotechnology*, <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2021.11.004>
  10. Humbird, D. (2021): Scale-up economics for cultured meat. *Biotechnology and Bioengineering*, 118: 3239-3250.
  11. Kameník, J., Král, O. (2020): Analogy masa. *Maso*, 31, 1, 39-45.
  12. Mohorčich, J., Reese, J. (2019): Cell-cultured meat: Lessons from GMO adoption and resistance. *Appetite*, 143; 104408
  13. Hocquette, E., Liu, J., Ellies-Oury, M.-P., Chriki, S., Hocquette, J.-F. (2022): Does the future of meat in France depend on cultured muscle cells? Answers from different consumer segments. *Meat Science*, 188; 108776
  14. Pakseresht, A., Kaliji, S. A., Canavari, M. (2022): Review of factors affecting consumer acceptance of cultured meat. *Appetite*, 170; 105829.

### Abstract

The basic technological steps of cultured meat are selection of stem cell lines, preparation of culture media, proliferation of cells in bioreactors and their subsequent differentiation and maturation on scaffolds. It is estimated that  $10^{12}$ - $10^{13}$  cells are needed to prepare 10-100 kg of cultured meat. To multiply them, it is necessary to use special culture media that contain basal medium (source of essential nutrients), serum or serum substitutes and cell signaling molecules. We will probably have to wait a few more years for the market to accept or reject cultured meat. There is still a lack of legislative definitions and, in particular, detailed research into biological or chemical hazards, the presence of which cannot yet be ruled out in cultured meat.

**Key words:** stem cells, cultivation media, bioreactors, tissue carriers, artificial meat.