



Braun Tibor

■ ELTE, Kémiai Intézet, MTA Könyvtár és Információs Központ | dr.braun.tibor@gmail.com

Lombikból az étkezőasztalra

Sejtenyésztett hús állati hús helyettesítésére

Előszó

Az ENSZ Nemzetközi Élelmezési és Mezőgazdasági Szervezete (FAO) úgy találja, hogy amennyiben nem történnek intézkedések a haszonállat-tenyésztés és a hústermelés további növekedésének mérséklésére, az előre jóslott hústermelés 465 millió tonnára növekszik 2050-re [1].

Már eleve nem látszott könnyű feladatnak röviden összefoglalni azokat az eredményeket, amelyeket eddig jelen témánkban publikáltak. Mi itt azokat szeretnénk röviden bemutatni, amelyek jelen pillanatban a világon a számos tenyészállat húsnak helyettesítésére hasonló étkezési tulajdonságokkal rendelkező sejtenyésztett hús előállításával foglalkoznak. Erre a folyamatra az angol nyelv számos kifejezést hozott létre és használ. A címben említett sejtenyésztett húst egyaránt nevezik *in vitro*, hamis (fake), szintetikus (synthetic), utáncolt (mock), sejtenyésztett (cell cultured), lombik (flask), laboratóriumban növesztett (lab-grown), kémcsőben létrehozott (test-tube), áldozatmentes (victimless) húsnak is. Nem szükséges túlságosan dús fantázia ahhoz, hogy a mögöttük felhalmozott szakirodalom tengernyi méretére következtetni lehessen. Ennek értelmében témánkat mindenképpen szűkíteni kell azzal, hogy a bemutatást dióhéjba illő méretűre zsugorítsuk, illetve alátámasztására a legmegfelelőbb ábraanyaggal egészítsük ki. Már a legelején meg kell említenünk, hogy az állati húspótlást növényi alapanyagok felhasználásával is megkísérelték, mondhatnánk úgy, hogy vegetáriánus módon, de mi itt ezzel nem foglalkozunk.

Figyelmünk tárgya kizárólag az állati sejtekből létrehozandó sejtenyésztett (*in vitro*) hús rövid összefoglalása [2–6].

Bevezetés

Az állati hús előállítása, mint utaltunk rá, fenntarthatatlan nyomást helyez a környezetre. Hatalmas víz- és földigénye miatt sokan úgy tartják, fenntarthatatlan a hústermelés a világon, miközben ennek dacára globálisan nő az állati hús iránti kereslet. Csak példaként említjük, hogy az élőállat húselőállítása 18%-kal járul hozzá az üvegházhatás következtében a légkörbe jutó gázok létrejöttéhez. Ez önmagában nagyobb, mint amit a világ úthálózatán közlekedő járművek okoznak. A népséget általában biztatják arra, hogy az időjárás és a klíma rendben tartására korlátozzák a gépkocsik használatát. Az viszont nagyon valószínűtlen, hogy hasonló célból kérjék a húsfogyasztás csökkentését is. Számos más okból a következtetés világos: az emberiség nem lesz képes a jelenlegi magas állati húsfogyasztás folytatására.

Ennek a kérdésnek a feloldására a megfelelő választ a sejtenyésztett hús előállítása jelenti. Ezen az úton a sejtenyésztett hús folyamatos ipari méretű előállítása helyettesítené a mezőgazdasági előállítást vagy annak egy részét. Ez a gondolat már meglehetősen régen megszületett a múltban. 1894-ben a neves francia vegyész, *Marcelin Berthelot* felvetette, illetve előre látni vélte, hogy 2000-ben a népség az élő állatok helyett inkább laboratóriumban előállított tenyésztett húst eszik majd. Nem sokkal azután egy német szerző, *Velatus* álnéven (valódi neve *Kund Lasswitz*) *Auf zwei Planeten* című, 1897-ben írt sci-fi regényében említést tett a Marsról érkezett Földre szállókról, akik számos újdonságot hoztak magukkal, a mesterséges élelmiszereket beleértve [7]. Ezek egyike a sejtenyésztett állathús volt. Említésre érdemes még *Alexis Carrel* kísérlete 1912-ben [8], akinek sikerült csirkeszívizmot életben tartani és

dobogtatni Petri-csészében ezzel bizonyítva, hogy izomszövetet testen kívül is működtetni lehet, amennyiben megfelelő tápanyaggal látják el.

A fenti ötletek nem kerültek további említésre egészen 1930-ig, amikor *Frederik Edwin Smith*, Birkenhead első Earlje „Élet 2030-ban” címmel a *Strand* nevű magazinban leírta látomását, miszerint: „Nem lesz a továbbiakban szükség arra az extravagánsan hosszú tenyészidőre egy szarvasmarha esetében ahhoz, hogy a steakje elfogyasztható legyen. Megfelelő kiválasztású és puhaságú steakből növesztteni lehet majd annyi szaftos steaket, mint amennyire szükség lesz” [9]. 1932-ben *Thoughts and Adventures* című esszégyűjteményében *Winston Churchill* leírta [10], hogy „We shall escape the absurdity of growing the whole chicken in order to eat the breast or wing, by growing these parts separately under a suitable medium”. Ezt követően *Willem van Eelen* 1940-ben laboratóriumban kísérletezett sejtenyésztett hús létrehozásával, ezért sokan őt tartják a *lombikhús* keresztapjának [11].

Annak ellenére, hogy az említett példák bizonyos mértékben még ma is tudományos fantasztikumnak hangzanak, az utóbbi 15–20 év során egyre gyakrabban olvasni olyan eredményekről, amelyek a sejtenyésztett húsról számolnak be kutatási vagy fejlesztési szinten.

Mindezekhez hozzá kell tenni, hogy az állati jogok harcosai és a környezetvédők már az elejétől kezdve rokonszenveztek a sejtenyésztett hús ötletével. A táplálkozástudományi szakemberek két táborra oszlanak a sejtenyésztett hús kérdésében. Vannak, akik úgy vélik, hogy laboratóriumi körülmények között jól szabályozható lenne a hús fehérje- és zsírtartalma, így pontosabban lehetne összeállítani a különböző céloknak megfelelő étrendeket. Az



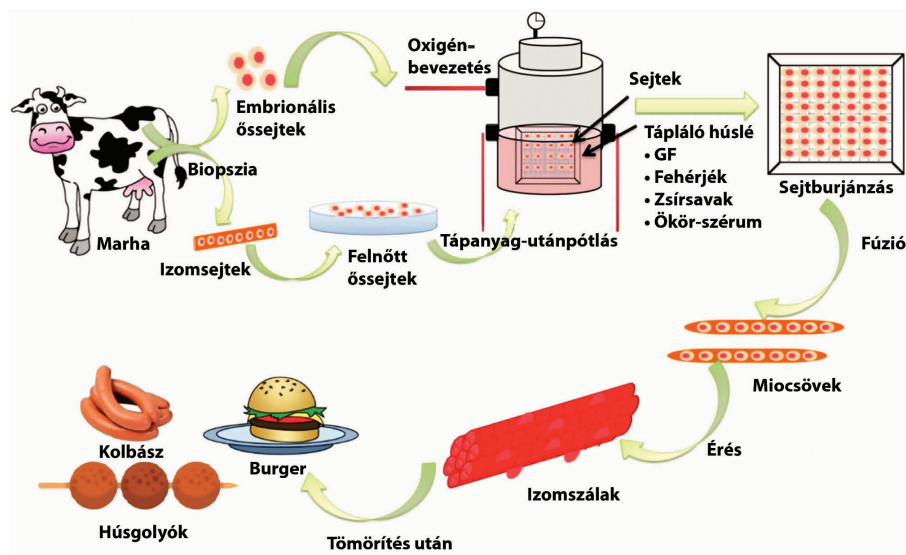
ellentábor viszont amiatt aggódik, hogy mégiscsak mesterségesen előállított élelmiszerről van szó, így nem látható előre, hogy tömeges előállítása milyen hatással lesz az emberi szervezetre. Másrészt viszont az állatvédők szerint jobb hely lenne a Föld, ha a vágóhidakon nem ölnének milliárdszámra élő teremtményeket, és az étkezésünkhöz szükséges húst inkább mesterségesen állítanánk elő. Itt kell említeni, hogy a PETA (People for the Ethical Treatment of Animals) elnevezésű amerikai állatvédő szervezet [12], amely egyébként az ilyen szervezetek legnagyobbika a világon, nemrég 1 millió dolláros díjat ajánlott fel a sejtenyésztett hús előállítására – annak a kutatónak, aki elsőként dolgozza ki a laboratóriumi sejtenyésztett hús előállítási eljárását.

A tenyésztett hús témájában a médiában időnként vegyes, néha megtévesztő beszámolók jelennek meg. Ilyenkor más médiumok felkapják a hírt, és vagy úgy állítják be, mintha a mesterséges hús közeli megvalósítás alatt állna, vagy ennek az ellenkezőjét írják: olyan távoli időpontra jósolják a megvalósíthatóságát, hogy a hír ellenőrzése valószínűtlen vagy egyenesen lehetetlen.

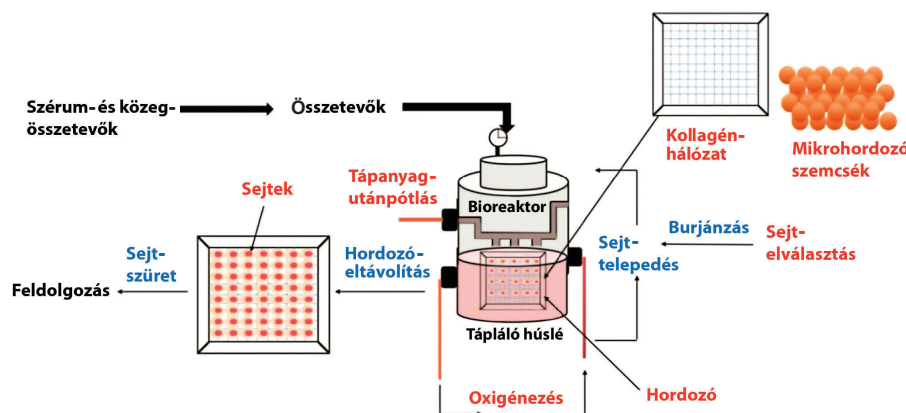
Állati sejttípusok

Az őssejtekből tenyésztett hús előállításához a kutatók tübiopsziával sejtmintát vesznek valamely állatból ahhoz, hogy a sejteket laboratóriumban (in vitro) szaporítsák (1–2. ábra). A szaporításhoz használt sejtek lehetnek embrionális őssejtek vagy teljesen kifejlett izomsejtek. Bár az embrionális őssejtek szaporodnak a leggyorsabban, nehezen választathatók el és alakíthatók át más jellegzetes sejttípusokká. Másrészt a teljesen kifejldött izomsejtek már a kívánt sejttípusok formájában vannak, de ezek alig szaporodnak. Ezért a jelenleg folyó kutatások változni tudó, úgynevezett szatellit-sejteket használnak, mert ezek elfogadható szaporodást mutatnak.

Miért bizonyult a műhús előállítását célzó kutatás olyan lassúnak, miközben a nem ehető hússal kapcsolatos sejtnövekedés kutatása számos sikert hozott? Ennek alapvető oka az ehető hús meglehetősen bonyolult szerkezete. Annak ellenére, hogy a húst harántcsíktól izmokból állónak tekintik, az lényegében egymással összefüggő és bonyolult szövetfajtákból tevődik össze. A harántcsíktól izom együtt létezik a kötőszövettel, ami önmaga fibrociták, őssejtek, inak, idegszálak, nyirok-, véredények és más sejtfajták összetett együttese.



1. ábra. Marhából biopsziával vett sejtek tenyésztése [16]



2. ábra. Sertésből biopsziával vett sejtek tenyésztése [16]

Ételkezési szempontból nemcsak ezek a szövetek különböznek szerkezetileg egymástól, hanem a harántcsíktól izom maga aránylag ízetlen. Az ehető állati steak lényegében a „márványozástól” függ, azaz a zsírsavak eloszlásától, és a zsír, ami a leginkább hozzájárul a sült hús ízéhez. A zsír hiánya ízetlen, gusztustalan terméket eredményez.

A tömegesen előállított állati sejtek létrehozásának lehetőségét tárgyaló publikációk általában egyetlen sejttípus tenyésztésével foglalkoznak. Ez sajnos nem járható út a használható mesterséges hústermék előállítására. Meg kell említeni, hogy a kutatásokhoz széles skálájú tápanyagrendszerek is szükségesek. Eredményként publikálták, hogy a cianobaktériumok a legmegfelelőbb jelöltek ehhez, mivel összetételük a száraz anyag körülbelül 70%-át teszi ki, és növesztésük bioreaktorokban aránylag egyszerű. A bioreaktorok lehetővé teszik tiszta állati sejtenyészteteket nagy mennyiségű előállítását. Újabb kutatások azt is

kimutatták, hogy sejtenyésztett húsokat olyan termékekhez, mint kolbászok, burgerek vagy húsgombócok, amikhez darált húst használnak, könnyebb előállítani [3]. Strukturáltabb szerkezetű tenyésztett hús, például a steak előállítása nagyobb kihívást jelent. Egy steak izomszövetből áll, amiben az élő állatokban a nagyon keskeny és hosszú kapillárisok közvetlenül a sejt-hez szállítják a vért és a tápanyagokat [13]. Az ilyen bonyolult rendszer in vitro felépítése sokkal nehezebb, mint sejtekből összerakni a sejtgombócokat, amelyek nagyobb sejtgombóccokká nőnek, és így in vitro csirkegombócnak tekinthetők.

Gyakorlati sejtenyésztés

A legfontosabb kihívások, amelyeken felül kell kerekedni az állati sejtenyésztett hús esetében, az íz, a textúra, az egészség és a gazdaság. A végső cél az izomsejtekből tenyésztett hús esetében az, hogy a sejteket olyan közismert tenyésztett állatok sejtje-



iből vegyék, mint például a sertések, szarvasmarhák, juhok, csirkék vagy pulykák. Az 1990-es évek végén felfedezték, hogy eukariotikus sejtszövetek az állaton kívül is több napig életben tarthatók langyos fiziológias sóoldatban [14]. Továbbra is vita tárgyát képezi, hogy melyek azok a sejtípusok, amelyek a sejtenyészett hús előállítására leginkább használhatók. Az őssejtek, a teljesen meghatározott izomsejtek vagy más sejtek képezik a szaporítható sejteket. A differenciálódott sejtek korlátozott szaporodási kapacitást mutatnak. A teljesen kialakult izomsejtek nehezen szaporodnak általában, ezért használhatatlanok tenyésztett hús in-vitro szaporítására. Az őssejtek több kétszereződési ideig is differenciálatlan állapotban maradhatnak, miközben megtarthatják azt a képességüket, hogy legalább egy specifikus sejtípussá differenciálódjanak és gyorsan szaporodjanak. Kérdés az is, hogy az őssejtek embrionális totipotens vagy felnőtt őssejtekre oszthatók-e. A jelenlegi tudás szerint ez utóbbiak szükségesek a szövetek regenerálására és javítására, de nem rendelkeznek korlátlan in vitro sejtburjánzási kapacitással. Ezzel ellentétben az embrionális őssejt esetében felnőtt szaporodó őssejteket készítettek sertésekből és szarvasmarhákból, miközben embrionális őssejtek csak emberekből, rhesus majmokból, egerekből és patkányokból származhatnak [3]. Egyes kutatók iPS (induced pluripotent stem) sejteket említene – mint lehetséges kezdősejteket – tenyésztett hús előállítására. Ezek differenciálódott sejtek, amelyeket embrionális sejtyszerű állapotba programoztak át.

Közegek őssejt tenyésztésére

E törekvés célja olyan közeg előállítása, amiben a sejtek növekedhetnek, gazdaságosan és állati alkotóelemektől (például szérum) függetlenül. Az őssejt növesztésére fontos, hogy a sejtek elkülönítetlenül maradjanak és megtartsák szaporodási tulajdonságukat. Embertől és egértől származó őssejteket gyakran tápláló sejtrétegeken kell növesztetni, miközben a felnőtt őssejtek növekedése kevésbé függ ilyen tápláló rétegektől. Ezeknek a közegeknek sokat és ásványokat, glükózt, aminosavakat, zsírsavakat és vitaminokat kell tartalmazniuk. Különös figyelmet kell fordítani az alapvető aminosavak jelenlétére [3]. A folyamat sterilizálása elkerülhetetlen, mivel a baktériumok, gombák és élesztők is jól növekednek az ilyen közegekben.

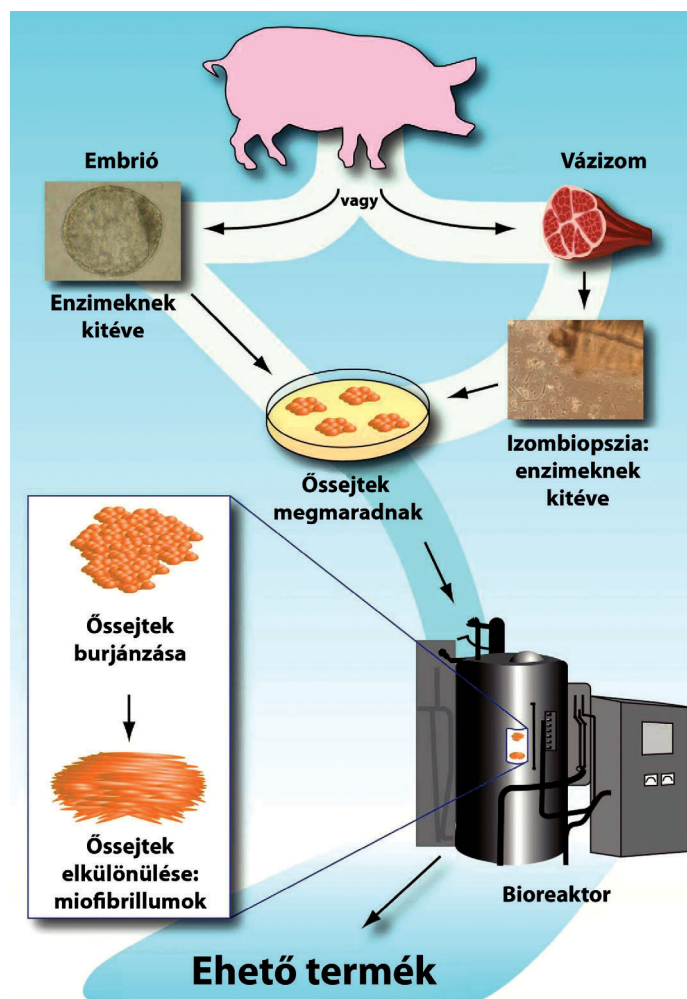
Sejtdifferenciálódás

Hasonlóan az őssejt-termeléshez szükséges közegekhez, az izomsejtek előállításához a közegek lehetővé kell tegyék az izomsejt jellegzetes és szükséges differenciálódását. Mivel a tenyésztett húsnak nincsenek meg azok az emésztési szervei, amelyek élőlények esetében megvannak és amelyek a táplálékot a sejtek ellátására biztosítják, a közegnek képesnek kell lennie a sejtek által igényelt közegek közvetlen táplálására. Egy élő tenyésztett állati sejt elemi összetétele: szén (C), hidrogén (H), oxigén (O), nitrogén (N), kén (S) és foszfor (P), valamint ásványok, például kálium (K) és magnézium (Mg), ezért ezeket az elemeket tartalmaznia kell az in vitro közegeknek. A közegeknek menteseknek kell lenniük bizonyos összetevőktől, például borjúsérum nem használható tenyésztett húshoz. Azonban a marhasérum igen, mivel az tartalmazza a sejtenyészteshez szükséges növekedési faktorokat. Hátránya, hogy nagyon költséges, és a szérumot tartalmazó közeg összetétele nem határozható meg pontosan. Ezért a tenyésztett húshoz használt közegeknek költséghatékonyak kell lenniük. E célra a legolcsóbb és

legnyilvánvalóbb megoldást a növényekből kivont sejtek képezik, részben a tisztított növekedési faktorokkal együtt.

Az izomszálak szövetépítése, szilárd felületek, ehető hordozók

Számos emlőssejt-típus kedveli, ha szilárd felületre rögzíthető. Annak érdekében, hogy háromdimenziós in vitro hús készüljön, szilárd felületek, hordozók (scaffold) alkalmazása szükséges. A legkedvezőbb az, ha a hordozó ehető, mert akkor nem szükséges eltávolítani a végtermékből. Miután a felépített tenyésztett hússzövet főleg a termelés első fázisában nem tartalmaz véredényeket, eleinte csak vékony (maximum 1 mm) sejtrétegek előállítása lehetséges a tápanyag korlátozott diffúziója miatt. A komplex háromdimenziós hordozók megfelelő felületet nyújtanak. Annak érdekében, hogy azt a nyújtást helyettesítsék, amit egy élőlény hoz létre, olyan hordozó alkalmazásával próbálkoznak, ami periodikusan változtatja alakját, ezáltal mozgatva a sejteket. Ez alginátból, kitózánból vagy nem állati forrásokból származó kollagénből előállított, stimuláló hatásokra érzékeny hordozóval oldható meg



3. ábra. Sertésből biopsziával vett sejtek tenyésztése korszerűbb bioreaktorral [14]



[15]. Ezáltal a hordozó periodikusan nyúlik a hőmérséklet vagy a pH kis változásának hatására. A sejtek ezenfelül rátapadhatnak egy membránra vagy apró szemcsékre, amelyek egymásra halmozódhatnak.

Összefoglalásunk befejezéséként ugyancsak röviden ismertetjük azokat a berendezéseket, amelyekben a fentebb vázolt és leírt alapanyagok összehozhatók és amelyekben a sejtenyésztés megkapja azokat a közegeket, körülményeket, amelyekben az ellenőrzött sejtnövekedés lezajlik.

Bioreaktorok

A bioreaktorok, mint fentebb említettük, azok a sejtenyésztő edényszerkezetek, amelyekbe minden együtt kerül, a sejtek, a tenyésztőközeg és a hordozó. A bioreaktor-nak el kell látnia a tápanyag-hozzáadást, a levegőztetést, a szennyeltávolítást, a higiéniát, a sejtkitermelést és a folyamat ellenőrzését. A sejtenyésztett hús előállítására alkalmas bioreaktorok méretezését megfelelőre kell tervezni. A hőmérséklet változtatásával olyan környezetet teremtenek, amelynek hasonlítani kell az izomsejtek olyan edzéséhez, amilyenre például egy fitness-teremben kerül sor. A mechanikai ösztönzéshez elektromágneses nehézkedési és folyadékáramlásokat vesznek igénybe a mioblasztok szaporodásánál és differenciálódásánál. A tenyésztett hús összetétele kis és nagy izomszálakból, kötőszövetekből áll, és ezek hordozójaként kollagént, elasztint, valamint zsírsejteket vesznek igénybe. Ez utóbbiak jelentősen hozzájárulnak a végtermék ízéhez. Általában a sejtenyészteteket in vitro monokultúráként növesztik, és ez különbözik a tenyésztett állatok vázizmaitól, amelyek izomsejtekből, idegsejtekből, véredényekből és számos más összetevőből állnak.

A mesterséges hús jelene, közép- és hosszú távú jövője

Jelen és rövid távon

- A tenyésztett állatfajták összejtjeinek kutatása (sertés és szarvasmarha)

- A vázizom fejlesztésének kutatása
- A tápközegek fejlesztésének kutatása
- A sejtenyésztett hús fenntarthatóságának kutatása
- Megfelelő vizsgálatok az ár-hatás tanulmányozására
- Az új termék megítélésére/bevezetésére végzett kutatás
- A tenyésztett sejtek interdiszciplináris kutatása

Középtávon

- Bioreaktorok tervezése
- Az ár-hatás újraszámítása
- A fenntarthatóság újraszámítása
- Marketingstratégiák tervezése
- Vállalatok létrehozása sejtenyésztett hús előállítására

Hosszú távon

- A bioreaktorok méretnövelése
- A terméktervezés teljesítménynövelése
- A forgalmazható termék árusításának bevezetése

Utószó

A sejtenyésztett hús technológiájának bevezetése nagy lehetőséget jelent az üvegházgáz-kibocsátás visszaszorítására, hatalmas, gazdálkodástól elvett területeket adhatnának vissza a természetnek, drasztikusan csökkenthető lenne az állattartáshoz felhasznált víz- és energiamennyiség és felszámolhatók lennének a nagyüzemi módszerek (vágóhidak) kegyetlen körülményei. Ezzel szemben az ellenzők természetesen kijelenthetik, hogy a szintetikus hús „természetellenes”, de ennek dacára a fejlődés érdekében érdemes végiggondolni az előnyöket, mielőtt a kifogások megfogalmazódnak.

Függelék

Annak ellenére, hogy mint az írás több helyén is említettük, az állati sejtekből tenyésztett húsook nem kerültek eddig kereskedelmi forgalmazásra, illetve mindennapi fogyasztásra sehol a világon, megemlítnék egy példát, ami ennek ellentmond. Ugyan-

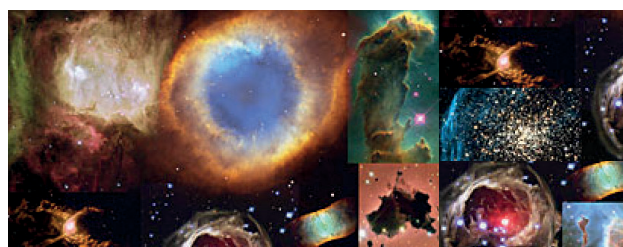


4. ábra. Cellular seasonings nevű, sejtenyésztett hús porításából készített ízesítő [17]

is az Egyesült Államokbeli The Future Market nevű cég nemrég forgalmazni kezdett egy Cellular Seasonings című terméket (4. ábra), amiről azt írják, hogy 3 ízben (csirkehús, marhahús, sertéshús) 100 %-ban az FDA (Federal Drug Administration) és az USDA (United States Drug Administration) hatóság szabályainak megfelelő sejtenyésztett húsból bioreaktorban előállított szárított izomcsíkok, valamint gyógyfűvek és fűszerek együtt darált porából áll, ami különböző élelmiszerek ízesítésére kiválóan alkalmazható [17].

IRODALOM

- [1] M. Schlatter, Tierproduktion und Klimawandel. Wien, LIT Verlag, 2010.
- [2] M. A. Benjaminson, J. A. Gilchrist, Acta Astronautica (2002) 51, 879.
- [3] I. Datar, M. Detti, Innovative Food Science and Emerging Technologies (2010) 11, 13.
- [4] P. E. Edelman, D. C. McFarland, V. A. Mironov, J. G. Matheny, Tissue Engineering (2005) 11, 659.
- [5] J. A. Foley, N. Ramankutty, Nature (2011) 478, 337.
- [6] B. A. Roelen, S. M. Lopes, Current Medicinal Chemistry (2008) 15, 1249.
- [7] https://en.wikipedia.org/wiki/Kurd_Lasswitz
- [8] https://en.wikipedia.org/wiki/Alexis_Carrel
- [9] https://en.wikipedia.org/wiki/F._E._Smith,_1st_Earl_of_Birkenhead
- [10] <https://www.goodreads.com/book/show/6497601-thoughts-and-adventures>
- [11] <https://patents.google.com/patent/US7270829B2/en>
- [12] PETA: <https://www.peta.org/>
- [13] Z. G. Denis, in: F. Gulian, Functional Tissue Engineering. Springer, New York, 2003.
- [14] H. P. Haagsma, K. J. Hellingwerf, B. A. J. Roelen, Production of animal proteins by cell systems desk study on cultured meat („kweekvlees”). Universiteit Utrecht, Fakulteit Diergeneeskunde, 2009.
- [15] V. V. Mironov, T. T. rusk, Biofabrication (2009) 1, 1.
- [16] M. Gaythane, U. Mahanta, C. S. Sharma, Biomanufacturing Rev. (2018) 3, 1.
- [17] <http://the-futuremarket.com/cellularseasonings>



Harminc éve működik a Hubble-űrtávcső

1,3 millió felvétel körülbelül 50 000 csillagászati célpontból, valamint sok milliárdnyi csillagról és pontszerűnek tűnő távoli galaxisról végzett fényességmérés – ez a Hubble-űrtávcső harmincéves működésének számszerűsíthető eredménye. A leghosszabb ideje működő űrteleszkópoknak a kozmosz kutatásában betöltött szerepéről olvashatjuk Szabados László cikkét az mta.hu-n.