

## MODERN INNOVATIVE APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF MEAT ANALOGUES FROM NON-TRADITIONAL PROTEIN SOURCES

I. Oshchypok

*Lviv University of Trade and Economics*

---

**Key words:**

*Meat  
Vegetable base  
Cultivate,  
Cell  
Analogue  
Protein*

---

**Article history:**

Received 03.05.2022  
Received in revised form  
18.05.2022  
Accepted 09.06.2022

---

**Corresponding author:**

I. Oshchypok

**E-mail:**

ihosh.ypok@gmail.com

---

**ABSTRACT**

The article discusses the application of growing cultured meat from stem cells of animal origin *in vitro* using a special medium. The expansion of these approaches to meat production with the help of cell and tissue culture, which can be called “cell agriculture”, is shown. Cells used to initiate meat cell culture can be obtained from primary animal tissue by biopsy. Alternatively, populations of cells (stem cells) can be generated which can replicate indefinitely through genetic engineering, gene editing, or induced or spontaneous mutations. Cells are cultured in specific liquid media that provide the conditions necessary for tissue growth. The direct use of the medium will depend on the cell type and type of cultured tissue, but the process requires nutrients (such as those supplied by serum to the fetal animal from chicken embryo extract, collagen, serum-free medium, etc.). The used ingredients also affect the appearance, texture and taste of the cultured meat. Proteins of soy, wheat, peas and their by-products, as well as starches, flour, hydrocolloids and oils, can be transformed into meat of plant origin similar to animal meat. Both plant-based and cultured meat producers are shown to aim on delivering products which are difficult to distinguish from conventional meat.

Markets of meat analogues which are in Europe, North America and Asia are considered. Retail trade and catering companies are increasingly selling plant-based “meat”. In this regard, there is a growing awareness that reduction in traditional meat consumption is necessary and desirable for the environment and the health of the population. The potential of plant-based meat, which is still at the stage of initial study, was revealed. Many possibilities for improving the production of meat from non-traditional protein are shown. The necessity of conducting research on optimizing the yield of protein-containing raw materials by breeding new varieties or developing equipment for obtaining increased protein content, supporting the further development and improvement of plant protein isolates and ultimately plant-based meats is indicated.

## СУЧАСНІ ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО РОЗРОБКИ АНАЛОГІВ М'ЯСА З НЕТРАДИЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ БІЛКА

І. М. Ощипок

Львівський торговельно-економічний університет

*У статті розглянуто застосування вирощування культивованого м'яса із стовбурових клітин тваринного походження in vitro з використанням спеціального середовища, показано розширення цих підходів до виробництва м'яса за допомогою клітинної і тканинної культури, яку можна називати «клітинним землеробством». Клітини, які використовуються для ініціації культури м'ясних клітин, можуть бути отримані з первинної тканини тварин за допомогою біопсії. Також можна утворювати множини клітин (стовбурові клітини), які можуть реплікуватися необмежено за допомогою генної інженерії, редагуванням генів або шляхом індукованих чи спонтанних мутацій. Клітини культивуються в специфічних рідких середовищах, які забезпечують умови, необхідні для росту тканин. Пряме використання середовища буде залежати від виду клітин і типу культивованої тканини, але процес вимагає поживних речовин (таких, які постачаються сироваткою крові до плода тварини з екстракту курячого ембріона, колагену, середовища без сироватки тощо). Застосовувані інгредієнти також впливають на зовнішній вигляд, текстуру та смак культивованого м'яса. Білки сої, пшениці, гороху і продуктів його переробки, а також крохмалі, борошно, гідроколіди та олії можуть трансформуватись у м'ясо рослинного походження, подібного до м'яса тварин. Показано, що виробники як рослинного м'яса, так і культивованого м'яса прагнуть постачати продукти, які важко відрізнити від звичайного м'яса.*

*Розглянуті ринки аналогів м'яса у Європі, Північній Америці та Азії. Роздрібна торгівля та підприємства харчування все частіше реалізують рослинне «м'ясо». У зв'язку з тим зростає усвідомлення того, що для навколишнього середовища та здоров'я населення зменшення світового традиційного споживання м'яса є і необхідним, і бажаним. Розкрито потенціал м'яса рослинного походження, який ще знаходиться на стадії початкового вивчення. Показано багато можливостей для вдосконалення виробництва м'яса з нетрадиційного білка. Вказано на необхідність проведення досліджень з вивчення питань оптимізації врожайності білоквмісної сировини шляхом розведення нових сортів або розробки обладнання для отримання збільшеного вмісту білка, підтримання подальшого розвитку та вдосконалення ізолятів рослинних білків і, зрештою, м'яса на рослинній основі.*

**Ключові слова:** м'ясо, рослинна основа, культивоване, клітина, аналог, білок.

**Постановка проблеми.** В останні роки значно зросли інвестиції у вивчення і розробку нетрадиційних джерел білка, виготовляються прямі імітаційні заміники м'яса традиційного виробництва. На основі розроблених технологій створюють такі продукти, які мають потенціал скорочення споживання традиційного м'яса без різких змін у харчовому статусі.

Через інтерес до рослинних продуктів їх ринок став чималим. Особливо це відчувається в США та Великій Британії: там м'ясо виготовляють не лише з стандартних бобових, але й із джек-фруту (екзотичного фрукту родом із тропіків), грибів і навіть кавуна (Mottet та ін., 2017).

Поки що рослинне м'ясо займає невелику частку продаж як у світі, так і в Україні, де на нього припадає менше 0,5% товарообігу, проте цей ринок має величезний потенціал.

Багато споживачів турбуються про своє здоров'я, намагаючись стежити за балансом білків-жирів-вуглеводів і зменшувати споживання смаженої їжі. Деякі помилково вважають, що здоровий раціон — це відмова від м'яса на користь продуктів рослинного походження. Варто пам'ятати, що рослинні білки засвоюються гірше за тваринні (Sexton, 2016). Клітинні оболонки складаються з клітковини, яку шлунковому соку складніше розщепити, а отже, й перетворити білки на поживні речовини для організму. Однак у ряді досліджень вказується на користь рослинного м'яса (Mottet та ін., 2017) порівняно зі звичайним. Стенфордський університет провів дослідження, в рамках якого науковці протягом восьми тижнів годували групу учасників рослинними заміниками м'яса. Вчені протягом усього періоду експерименту вимірювали показники крові та масу тіла. В результаті був зроблений однозначний висновок про те, що при переході на рослинне м'ясо:

- відчутно знижується рівень холестерину в крові;
- покращується індекс маси тіла;
- знижуються маркери крові, які відповідають за ризик серцево-судинних захворювань.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Альтернатива м'ясу — нетрадиційні джерела білка, призначені для вживання та споживання, схожі на м'ясні продукти, доступні по всьому світу. Деякі з них вже давно доступні в певних регіонах. Наприклад, бренд заміника м'яса Quorn, запущений у Великій Британії в 1985 р., використовує технологію ферментації для створення мікопротеїну (типу одноклітинного білка) з ґрунтового гриба *Fusarium* (Wiebe, 2002) і добре зарекомендував себе на багатьох західних ринках. Білки комах, присутні на деяких азійських ринках, використовуються все більше компаніями у Європі і Північній Америці (Verbeke та ін., 2015) в продуктах для споживання людиною та в кормах для тварин. У (Gerber & Foley, 2013) проаналізовано особливості обговорення харчування сьогодення, боротьбу зі зміною клімату через негативний вплив тваринництва (Mottet та ін., 2017), значну кількість викидів і можливість зменшення цих наслідків (Springmann та ін., 2018), перспективу утримання харчової системи в екологічних межах, глобальні виклики харчування та пандемію ожиріння (Popkin, Adair & Ng, 2012; Springmann та ін., 2018), податкову політику щодо червоного та іншого м'яса, дослідження оптимальних рівнів податків та пов'язаних з ними впливів на здоров'я (Stephens та ін., 2018).

Перші «м'ясні» продукти рослинного походження — це продукти, які безпосередньо використовують рослинні інгредієнти, що імітують м'ясо тваринного походження і розроблені таким чином, щоб їх було неможливо відрізнити від тваринного еквівалента. Проведення чіткої межі між рослинним «м'ясом» і рослинною альтернативою «м'яса» не є простим завданням. Відрізнити, на якому

етапі інноватори рослинного «м'яса» запатентували або прагнули запатентувати свої продукти та процеси, які полягають в універсальності та сенсорності досвіду приготування та прийому їжі, досить складно. Продукти реалізуються у вигляді обробленого м'яса — гамбургери, сосиски, фрикадельки, але відрізняються від більш поширених рослинних альтернатив м'яса тим, що містять нові інгредієнти або використовують інноваційні процеси, спрямовані на досягнення безпрецедентного результату високого ступеня імітації смаку, консистенції, зовнішнього вигляду та кулінарних якостей. Удосконалені бургери з яловичини на рослинній основі, наприклад, розроблені такими компаніями, як Beyond Meat, Impossible Foods і Moving Mountains, містять унікальні набори інгредієнтів, які в поєднанні створюють продукт, текстура якого нагадує типову структуру яловичого фаршу, має рожевий відтінок, який стає коричневим під час приготування, а при їжі виділяється сік.

Нині в Україні з аналогів м'яса надходять у замороженому стані два основних види каліфорнійської продукції Beyond Meat. Це бургерна котлета, яка аналогічна м'ясу яловичини і ковбаски — аналог свинини. В Україні кожна поставка завжди ретельно перевіряється, відправляється на склад і вже звідти м'ясо надходить до ресторанів і роздрібних точок продажу. Науково-технічної літератури з розробки, аналізу і застосування аналогів м'яса в Україні не знайдено. Виробники аналогів м'яса в Україні на тепер відсутні.

**Мета дослідження:** провести огляд літературних джерел з питань виробництва аналогів м'яса, розглянути дві широкі категорії його аналогів — сучасне рослинне «м'ясо» та культивоване м'ясо особливо з огляду на радикальний відхід від традиційних м'ясних і не м'ясних різновидів, опрацювати схеми виробництва аналогів м'яса і складових технологій його отримання.

**Матеріали і методи.** Рушійними принципами виробництва м'ясних різновидів продуктів є мімікрія та ефективність виробництва — принципи, визначені Марком Постом — новатором, який стоїть за першим вирощеним у лабораторії бургером у 2013 р., що є ключовою умовою для прийняття та індустріалізації альтернативних видів м'яса.

Здебільшого в альтернативних видах м'яса використовуються натуральні інгредієнти, такі як буряковий сік для досягнення потрібних якостей, тоді як «незбагненний» бургер (Impossible Burger) містить леггемоглобін (SLH) сої. SLH виділяють з кореня рослини сої, він подібний до гемоглобіну крові і міоглобіну м'язів. Ця молекула переносить кисень, що міститься в корінні бобових. Коли «незбагненний» бургер готують і їдять, SLH виділяється у вигляді рідини червоного відтінку — порівняно з міоглобіном, речовиною, яка «стікає» з яловичого фаршу, і надає металевий залізоподібний, а, отже, м'ясний аромат цьому продукту (Fraser, Shitut... & Klapholz, 2018).

**Викладення основних результатів дослідження.** Культивоване м'ясо вирощують *in vitro* із стовбурових клітин тваринного походження з використанням спеціального середовища для вирощування (рис. 1). Воно «біологічно еквівалентне» м'ясу, але його не забирають від живої тварини. Культивування м'яса включає біотехнологічні процеси, запозичені з регенеративної медицини (Post, 2013) (галузь медицини, спрямована на розробку способів регенерації клітин, тканин або органів), і спрямоване на розширення цих підходів до виробництва

м'яса за допомогою клітинної й тканинної культури, яку і можна називати «клітинним землеробством».

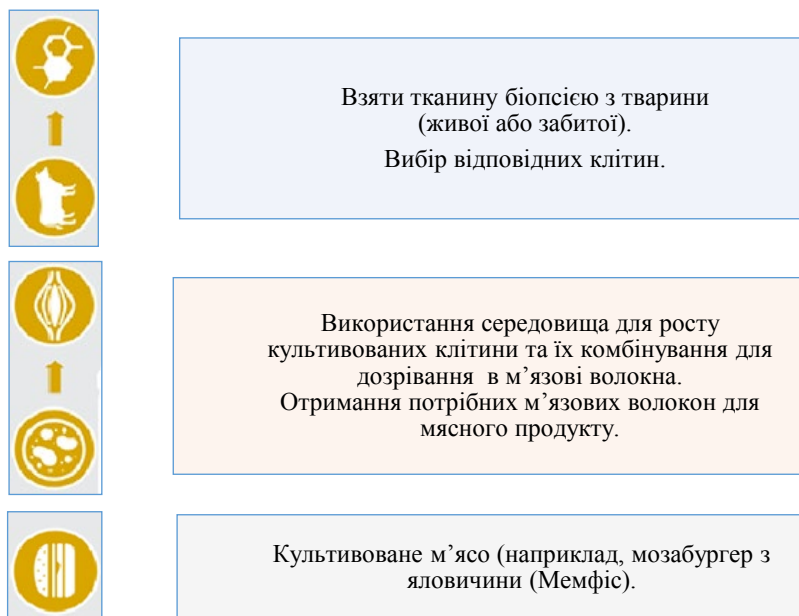


Рис. 1. Схема отримання аналогу культивованого м'яса

Хоча досі не досягнуто згоди щодо визначення цього процесу, «клітинне землеробство» передбачає використання «набору технологій для виробництва продуктів, які, зазвичай, отримують від худоби» (Post, 2012). Клітини, які використовуються для ініціації їх культури, можуть бути отримані з первинної тканини тварин процедурою біопсії, також можна утворювати клітинні лінії (стовбурові клітини), які можуть реплікуватися необмежено за допомогою генної інженерії, редагування генів або шляхом індукованих чи спонтанних мутацій. Клітини культивуються в специфічних рідких середовищах, які забезпечують умови, необхідні для росту тканин. Пряме використання середовища буде залежати від виду клітин і типу тканини, але процес вимагає поживних речовин (таких, які постачаються сироваткою крові до плоду тварини, екстракту курячого ембріона, колагену, середовище без сироватки тощо).

Інші неорганічні та органічні компоненти (антибіотики/антимітотики або вуглеводи, амінокислоти та вітаміни) можна додавати до середовища, щоб забезпечити ріст клітин. Для клітин потрібен каркас, щоб вони могли розмножуватись і розвиватись у структуру, необхідну для створення тканини (наприклад, м'язів) з неорганізованої сукупності м'язових клітин. Компоненти, що використовуються в цих процесах, залежать від стадій їх розвитку, але дослідження в цій галузі ще знаходяться в періоді становлення. Наприклад, навіть такі компанії, як Higher Steaks і Aleph Farms вже використовують вирощування без клітин тварин і живильного середовища, проте необхідні додаткові дослідження для зниження витрат на процеси такого виробництва.

Схему отримання аналогу м'яса рослинного походження показано на (рис. 2.)

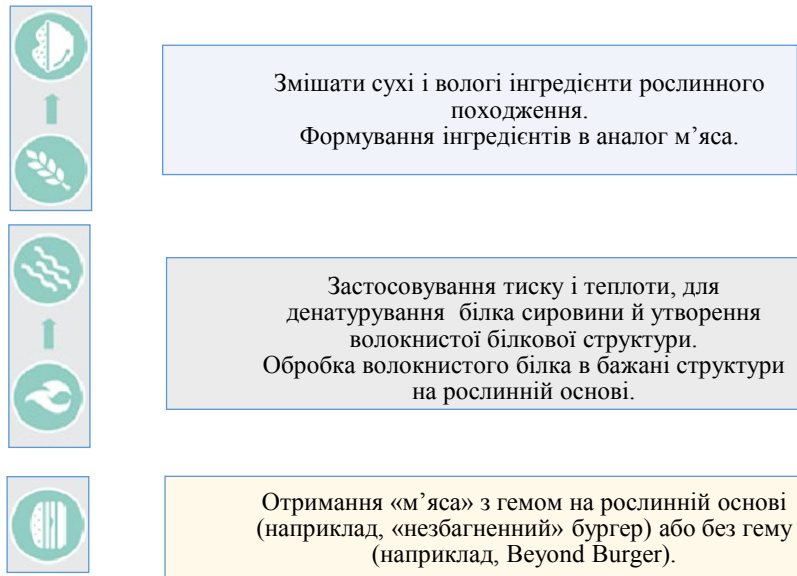


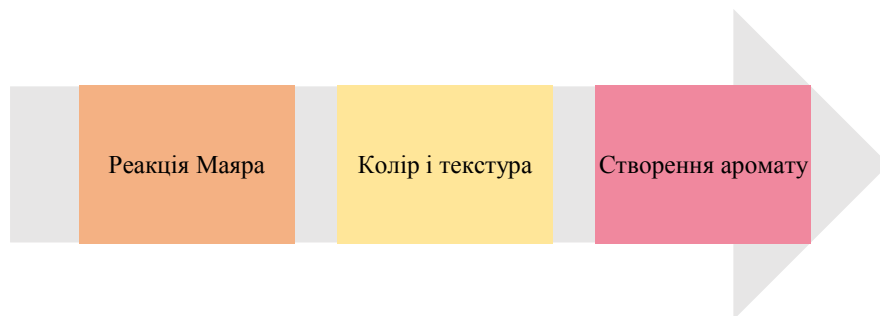
Рис. 2. Схема отримання аналогу м'яса рослинного походження



Рис. 3. Схема отримання аналогу м'яса рослинного походження з гемом

Дві початкові операції отримання аналогу м'яса рослинного походження з гемом показано на рис. 3, наступні операції — ідентичні показаним на рис. 2.

Зовнішній вигляд, текстура та смак — це три основні проблеми, з якими стикаються виробники харчових продуктів при переробці м'яса з вагомими ознаками на рослинній основі (рис. 4). Саме вони надають такому м'ясу характеристики його сутності.



**Рис. 4. Складові технології отримання культивованого м'яса**

Відомо, як реакція Маяра відповідає за цей характерний «м'ясний» аромат і пікантний смак. Розуміння цього допомагає фахівцям розробляти продукти харчування, застосувавши їх у м'ясних продуктах рослинного походження. Коли м'ясо вариться, його текстура змінюється. Температура сковороди або гриля впливає на білкові структури. Коли білки починають руйнуватися, згортатися і стискатися, м'ясо м'якне.

Інгредієнти також впливають на зовнішній вигляд, текстуру та смак. Білки сої, пшениці, гороху і фави (перероблений білок гороху), а також крохмалі, борошно, гідроколіоїди (незасвоєвані вуглеводи, що використовуються як загусники, стабілізатори та емульгатори, або як затримувачі води та гелеутворюючі речовини) та олії, можуть трансформуватись в м'ясо рослинного походження, подібне до м'яса тварин.

Спосіб обробки також впливає на кінцеві характеристики продукту «екструзія з високим рівнем вологості» і «технології зсічених елементів» (Shear Cell Technology). Це два найпоширеніші процеси, що використовуються для перетворення рослинного білка в шарувату волокнисту структуру, яка точно відповідає зовнішньому вигляду й текстурі м'яса. Техніка екструзії забезпечує м'ясоподібний смак, але обробка способом «технології зсічених елементів» є більш енергоефективною і має менший вуглеводний слід.

Важливе значення для отримання аналогу м'яса мають колір і текстура, які можуть його імітувати під час та після варіння. Екстракт буряка, гранатовий порошок і соєвий легемоглобін доцільно використовувати для імітації червоного кольору свіжої або особливої яловичини (мрамурової).

Текстуру тваринного білка важко відтворити за допомогою рослинних компонентів, оскільки рослини не мають м'язової структури. М'язи еластичні та гнучкі, тоді як рослинні клітини — жорсткі та незгинні. Рослини не мають присмаку і консистенції м'яса, тому овочеві бургери часто можуть відчуватись як розсипчасті та м'які. М'ясна рецептура на рослинній основі може бути отримана і мати рекомендовану кількість інгредієнтів та досягати харчових цілей, щоб відповідати м'ясу, але вона може не мати гарного смаку і мати неналежну консистенцію або присмак. Наприклад, картопляний білок утворює чудову текстуру, але він дуже гіркий. Вчені харчової промисловості намагаються знайти баланс між вмістом білка, текстурою та смаком.

Сектор громадського харчування також пропонує рослинні альтернативи м'яса. Beyond Burger вже продається в більш ніж 25 000 ресторанах, готелях та університетах по всьому світу. «Незбагненний» бургердоступний у більш ніж 4000 місць у США. Продукція фірми Moving Mountains користується значним попитом, налічує у Великій Британії 500 місць, які переповнені, також продукція доступна в Нідерландах. У регіональному плані Північна Америка буде домінувати на ринку культивованого м'яса у 2022 р., оскільки регіон характеризується значними інвестиціями у розвиток аналогів м'яса. Ринок також розширюється в Азії, оскільки Китай підписав у 2017 р. угоду про імпорт на суму 300 млн дол. США технології вирощування м'яса з Ізраїлю, а також участь японського уряду в травні 2018 р. в раунді фінансування в розмірі 2,7 млн дол. США для нового стартапу «чистого м'яса».

На головних західних ринках сектор роздрібної торгівлі реагує на це зростання та сприяє прийняттю рослинних альтернатив м'яса. Великі роздрібні магазини продуктів, що продають аналоги м'яса рослинного походження, включають британські Tesco, Sainsbury's, Waitrose & Partners і Ocado, а також Whole Foods, Target, Safeway, Kroger і Walmart у США. У всьому світі спостерігається збільшення кількості повністю веганських продуктових магазинів, які також служать каналами роздрібної торгівлі рослинними «м'ясними» продуктами: до них відносяться Naturalia Vegan (Франція), Sweet to Lick (США), Veganz (Німеччина та Чехія) і Vegan Supply (Канада). Певні бренди досягли успіху в проникненні на кілька ринків: нещодавно запущений завод Beyond Meat Beyond Burger у Tesco, найбільшому роздрібному супермаркеті Великої Британії, з тими ж виробами і ринковою стратегією, що використовується в США, згідно з якою продукти рослинного походження продаються разом із котлетами з м'яса тварин.

За оцінками, вартість світового ринку культивованого м'яса може досягти 20 млн дол. США до 2027 р. насамперед через збільшення його споживання та інновацій, необхідних для технологій розширеного виробництва культивованого м'яса від лабораторних досліджень до заводського виробництва.

### Висновки

Дві широкі категорії аналогів м'яса — сучасне рослинне «м'ясо» та культивоване м'ясо, візначають особливий радикальний відхід від традиційних м'ясних і не м'ясних продуктів. Виробники як рослинного «м'яса», так і культивованого «м'яса» прагнуть постачати продукти, найбільш наближені до звичайного м'яса. Ринки аналогів м'яса зростають у Європі, Північній Америці та Азії, де обидві категорії мають тенденції до розширення як у роздрібній торгівлі, так і на підприємствах харчування, де все частіше продають рослинне «м'ясо». Культивоване м'ясо слабо представлене на ринку, але значне збільшення інвестицій, які спостерігаються в Європі, Північній Америці, Китаї та Ізраїлі, в найближчому майбутньому розширить його споживання.

З огляду на це зростає усвідомлення того, що для навколишнього середовища та здоров'я населення є і необхідним, і бажаним скорочення світового споживання традиційного м'яса. Нові методи виробництва культивованого м'яса все ще розробляються і вдосконалюються, з'являються нові технології, такі як 3D друк. Можна очікувати, як м'ясні продукти на основі рослинного походження

з'являється у продажі найближчим часом, завдяки чому скоротиться споживання натуральних яловичих стейків. Розкриття потенціалу м'яса рослинного походження знаходиться на стадії початкового вивчення. Існує ще багато можливостей для вдосконалення. Проводяться постійні дослідження, де вивчають оптимізацію врожайності шляхом розведення нових сортів рослин або розробки обладнання для отримання збільшеного виходу вмісту білка, здійснюється підтримка подальшого розвитку та вдосконалення виробництва ізолятів рослинних білків і, зрештою, м'яса на рослинній основі.

Світовий ринок рослинних альтернатив м'яса оцінювався в 4,63 млрд дол. США у 2018 р., за прогнозами Research and Markets, досягне 6,43 млрд дол. США до 2023 року (за сукупними річними темпами зростання — CAGR — 6,8%). Ці доміанти викликають складні запитання у виробників, політиків і споживачів щодо того, як пропоновані аналоги «м'яса» мають позначатися та регулюватися, а також щодо можливості задоволення зростаючого світового попиту на м'ясо при різкому скороченні тваринництва.

### **Література**

- Gerber, J. S. and Foley, J. S. (2013). Redefining agricultural yields: from tonnes to people nourished per hectare. *Environmental Research Letters*, 8(3). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/3/034015/>.
- Fraser, R. Z., Shitut, M., Agrawal, P., Mendes, O. and Klapholz, S. (2018). Safety Evaluation of Soy Leghemoglobin Protein Preparation Derived from *Pichia pastoris*, Intended for Use as a Flavor Catalyst in Plant-Based Meat. *International Journal of Toxicology*, 37(3): 241—262. <https://doi.org/10.1177/10915818187663181>.
- Mottet, A., de Haan, C., Falcucci, A., Tempio, G., Opio, C. and Gerber, P. (2017). Livestock: On our plates or eating at our table? A new analysis of the feed/food debate. *Global Food Security*, 14: pp. 1—8. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.01.001>.
- Popkin, B. M., Adair, L. S. and Ng, S. W. (2012). Global nutrition transition and the pandemic of obesity in developing countries. *Nutrition Reviews*, 70(1): 2—21. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2011.00456.x>.
- 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. (2013). 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>.
- Sexton, A. (2016). Alternative Proteins and the (Non)Stuff of “Meat”. *Gastronomica: The Journal of Critical Food Studies*, 16(3): 66—78. <https://doi.org/10.1525/GFC.2016.16.3.66>.
- Springmann, M., Clark, M., Mason-D'Croz, D., Wiebe, K., Bodirsky, B. L., Lassaletta, L., de Vries, W., Vermeulen, S. J., Herreo, M., Carlson, K. M. and Jonell, M. (2018). Options for keeping the food system within environmental limits. *Nature*, 562: 19—25. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0594-0>.
- Springmann, M., Mason-D'Croz, D., Robinson, S., Wiebe, K., Godfray, H. C. J., Rayner, M. and Scarborough, P. (2018). Health-motivated taxes on red and processed meat: A modelling study on optimal tax levels and associated health impacts. *PLoS ONE*, 13(11), 1—16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204139>.
- Stephens, N., Dunsford, I., Di Silvio, L., Ellis, M., Glencross, A. and Sexton, A. (2018). Bringing cultured meat to market: Technical, sociopolitical, and regulatory challenges in cellular agriculture. *Trends in Food Science & Technology*, 78: 155—166. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.04.010>.
- Verbeke, W., Sprangers, T., De Clercq, P., De Smet, S., Sas, B. and Eeckhout, M. (2015). Insects in animal feed: Acceptance and its determinants among farmers, agriculture sector stakeholders and citizens. *Animal Feed Science and Technology*, 204: 72—87. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.04.001>.
- Wiebe, M. G. (2002). Myco-protein from *Fusarium venenatum*: A well-established product for human consumption. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 58(4): 421—427. <https://doi.org/10.1007/s00253-002-0931-x/>.