



НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

33-34

Харчова
ПРОМИСЛОВІСТЬ

Заснований у 1965 р.

Київ НУХТ 2023

УДК 657.5.058-035.63/.64

FEATURES OF THE APPLICATION OF INORGANIC PHOSPHATE SUBSTITUTES IN MEAT PRODUCTION TECHNOLOGY

I. Strasyński, M. Hrytsai*National University of Food Technologies***Key words:**

Meat system,
Formulation,
Functional properties,
Safety,
Inorganic phosphates

Article history:

Received 13.10.2023
Received in revised form
07.12.2023
Accepted 07.12.2023

Corresponding author:

sim2407@ukr.net

ABSTRACT

It is proved that the use of food phosphates for the production of meat products has a positive effect on muscle proteins, contributing to a decrease in the growth of microflora, color stability and oxidative processes in meat products. In addition, by increasing the moisture-binding and emulsifying ability of meat, phosphate preparations allow to stabilize the pH of meat and meat-intensive minced meat, improve its consistency and increase the yield of finished products.

The necessity of developing food products of a new generation with a high protein content has been substantiated. It is determined that meat products containing natural ingredients in the future may become a priority choice in the structure of population nutrition.

It is proved that at the time there is a need to replace inorganic phosphates used in meat products technology with organic food additives that reduce the risk of a number of diseases, as well as due to changes in consumer preferences regarding the presence of a "clean label" on the packaging of products. Alternatively, the use of natural ingredients is considered.

Natural substitutes for phosphates are given and possibilities of using ingredients of plant origin (starch, fiber or seeds) are substantiated; mushroom ingredients (mushrooms and mushroom extracts); ingredients from algae; ingredients of animal origin (inorganic compounds from seafood or chicken eggs). The features of their application in view of the change in the functional and technological properties of meat and meat-intensive systems, organoleptic characteristics and shelf life are determined.

The main limiting factors for the removal of inorganic phosphates from processed meat products were noted. The main problems regarding the use of natural ingredients in relation to inorganic phosphates are outlined.

Attention is focused on the possibility of increasing the cost of products using natural ingredients and the need to ensure sustainable production costs at processing enterprises.

DOI: 10.24263/2225-2916-2023-33-34-5

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЗАМІННИКІВ НЕОРГАНІЧНИХ ФОСФАТІВ У ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА М'ЯСОПРОДУКТІВ

І. М. Страшинський, канд. техн. наук,
М. С. Грицай

Національний університет харчових технологій

В оглядовій статті визначено, що м'ясопродукти, які містять натуральні інгредієнти, в майбутньому можуть стати пріоритетним вибором у структурі харчування населення.

Наведено природні замітники фосфатів та обґрунтовано можливості використання інгредієнтів рослинного походження (крохмаль, волокна або насіння); грибних інгредієнтів (гриби та грибні екстракти); інгредієнтів з водоростей; інгредієнтів тваринного походження (неорганічні сполуки з морепродуктів або курячих яєць). Визначено особливості їх застосування з огляду на зміну функціонально-технологічних властивостей м'ясних і м'ясомістких систем, органолептичних характеристик і терміну зберігання.

Окреслено основні проблеми щодо використання натуральних інгредієнтів у порівнянні з неорганічними фосфатами.

Ключові слова: м'ясна система, рецептура, функціональні властивості, безпечність, неорганічні фосфати.

Постановка проблеми. Важливим для підтримки здоров'я та якості життя людей є споживання у достатніх кількостях повноцінних джерел білка. Це особливо актуально для сьогодення у зв'язку зі збільшенням середньої тривалості життя населення планети ніж у попередніх поколінь [1], тому все більш актуальною проблемою є розробка здорових продуктів харчування з високим вмістом білка. М'ясо та м'ясні продукти є важливою частиною раціону людини, оскільки вони забезпечують широкий спектр сполук з високою біологічною цінністю, включаючи необхідні поживні речовини. М'ясопродукти, виготовлені за рецептурами, що містять натуральні інгредієнти, можуть бути найбільш ефективним вибором для забезпечення багатих поживними речовинами продуктів, які задовольняють попит споживачів як з точки зору органолептичних характеристик та зручності, так і з точки зору здоров'я [2, 3].

Однією з проблем, пов'язаних із виготовленням м'ясних продуктів, є використання харчових добавок, таких як неорганічні фосфати, оскільки їх споживання провокує гіперфосфатемію. Це пов'язано з підвищеним ризиком серцево-судинних захворювань, атеросклерозу та захворюванням кісток через зниження рівня поглинання деяких мінералів в осіб із хронічною нирковою недостатністю [4, 5]. З іншого боку, використання харчових фосфатів для виробництва м'ясопродуктів здійснює позитивний вплив на м'язові білки, підвищуючи вологозв'язувальну та емульгуючу здатності м'ясних і м'ясомістких систем. Фосфатні препарати дають змогу стабілізувати рН фаршу, покращити його консистенцію та збільшити вихід готової продукції (рис. 1). Крім того, фосфатні солі сприяють зменшенню зростання мікрофлори, підвищують стійкість кольору та знижують швидкість окислювальних процесів у м'ясопродуктах.

Огляд останніх досліджень і публікацій. Для виробництва м'ясопродуктів використовують натрієві і частково калієві солі ортофосфорної (H_3PO_4), пірофосфор-

ної ($\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$), триполіфосфорної ($\text{H}_3\text{P}_3\text{O}_{10}$) і гексаметафосфорної (HPO_3)₆ кислот. Вони відрізняються між собою ступенем впливу на білки і жири м'язової тканини, яку зумовлює головним чином величина рН їх 1%-го розчину. Кислі солі знижують ВЗЗ м'ясного фаршу, нейтральні характеризуються низькою активністю, а лужні сприяють зміщенню рН середовища в лужний бік, надаючи при цьому продукту неприємний смак [5]. У м'ясній промисловості неорганічні фосфати використовуються в різних рецептурних співвідношеннях, оскільки суміші розроблені для специфічного застосування та працюють ефективніше, ніж одна сполука неорганічного фосфату.

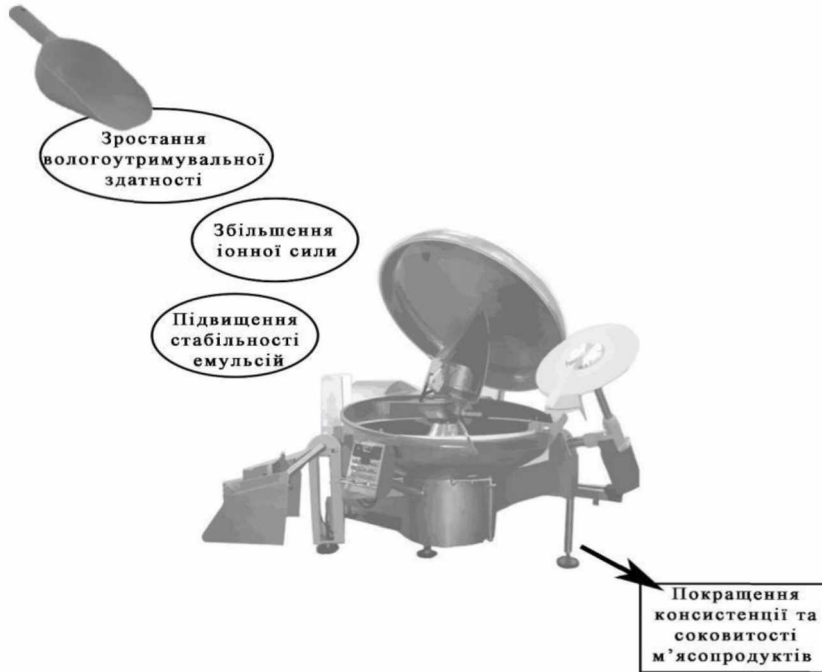


Рис. 1. Основний функціональний вплив неорганічних фосфатів на м'ясні системи

Неорганічні фосфати містять до 65% оброблених м'ясопродуктів, а практика їх впровадження фахівцями у технології м'яса та м'ясних продуктів як на виробництві, так і в наукових дослідженнях має більше п'яти десятиліть. Використання неорганічних фосфатів дозволено Європейським Союзом відповідними регламентами, в яких зазначається, що вони не становлять ризику для здоров'я людини [6], а у Сполучених Штатах неорганічні фосфати визнано загалом безпечними (статус GRAS) [7]. Харчові стандарти Європейського Союзу, Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН і Всесвітньої організації охорони здоров'я дозволяють використовувати неорганічні фосфати в м'ясній промисловості в максимальній кількості 5 г/кг у вигляді оксиду фосфору (P_2O_5), що є еквівалентним рівню включення 0,5% у готовому продукті. Сьогодні м'ясні продукти, що містять неорганічні фосфати, є популярними в усьому світі, що, ймовірно, збільшить кількість неорганічних фосфатів, які сьогодні використовуються, порівняно з попередніми роками [8].

Споживання і застосування фосфатів останнім часом зростає в інших галузях харчової промисловості, що обумовлено їх використанням у багатьох оброблених харчових продуктах як стабілізаторів та емульгаторів. Зокрема, для хімічної закваски в технології крекерів як кислота в реакції з бікарбонатом натрію для отримання

CO₂, H₂O та нейтральної солі. Крім того, фосфати використовують у молочних продуктах. Натрієва кислота пірофосфат використовуються у фруктах і овочах для запобігання «потемнінню» після приготування. У технології безалкогольних напоїв фосфорна кислота використовується як ароматизатор [9].

Відповідний вміст фосфатів у харчових продуктах можна представити таким чином: сосиски (200—300 мг/150 г), плавлений сир (400—500 мг/50 г), цільнозерновий хліб (100—200 мг/100 г) і шоколад (100—200 мг/50 г). Навіть кола, пиво і фруктовий сік містить 50—100 мг фосфату на 200 мл [7].

Кілька останніх десятиліть в харчовій промисловості Європейського Союзу набула популярності тенденція чисте маркування ("Clean label"). Під "Clean label" (дослівно «чиста етикетка») мають на увазі, що оброблені харчові продукти містять інгредієнти природного походження, а інформація на етикетці є зрозумілою для споживачів, «штучні» або «синтетичні» добавки, які вважаються шкідливими для здоров'я людини, не використовуються [10]. Очікується, що м'ясні продукти з «чистими етикетками» не будуть містити синтетичних добавок, ароматизаторів і пігментів, і в той же час вони мають містити натуральні інгредієнти, з якими знайомий споживач. Покупці м'ясопродуктів вимагають «чистих етикеток» на продуктах на тому ж рівні, що й споживачі інших видів харчових продуктів. Тому одним із завдань м'ясної промисловості є пошук і використання в рецептурах альтернатив неорганічним фосфатам, які забезпечують аналогічну функціональність, а кінцевий продукт відповідає стандартам, показникам якості та вимогам споживачів [11, 12].

Метою дослідження є узагальнення та аналіз сучасних наукових досліджень, публікацій про альтернативні інгредієнти, які зможуть успішно замінити неорганічні фосфати у виробництві продуктів переробки м'яса, вказуючи на їх ефективність, а також переваги та недоліки для харчової промисловості.

Результати дослідження. Загальновідомо, що неорганічні фосфати (особливо лужні фосфати) використовуються в м'ясній промисловості для виконання багатьох важливих функцій. Вони покращують вологоутримувальну здатність (через вплив на рН), збільшують силу відштовхування м'ясних білків, підвищують іонну силу в м'ясних системах і стабільність емульсії завдяки ефекту синергізму з хлоридом натрію [13, 14]. Усі ці функціональні властивості неорганічних фосфатів позитивно впливають на консистенцію та соковитість м'ясних продуктів [15].

Додатковою функцією, яку неорганічні фосфати виконують у м'ясних системах, є їхня здатність сприяти дисоціації актоміозинового комплексу, утвореного при помертньому задубінні під час біохімічних перетворень у м'язовій тканині. Негативно заряджені низькомолекулярні фосфатні іони зв'язуються з іонами Mg²⁺ або Ca²⁺, які беруть участь як у скороченні, так і в розслабленні живої м'язової тканини, а також присутні в зв'язках між актином і міозином (тобто актоміозиновому комплексі) у м'язах після задубіння [13]. Дисоціація актоміозинового комплексу деполімеризує товсті та тонкі волокна, збільшуючи розчинність білка, що призводить до збільшення вологоутримувальної здатності, а також до покращення емульгуючих і гелеутворюючих властивостей [13, 16]. Ці ефекти позитивно впливають на зменшення втрат при термообробленні, а також на стабільність і консистенцію подрібнених і емульгованих м'ясних продуктів.

Неорганічні фосфати здатні зв'язувати іони важких металів і брати участь у видаленні каталітичних агентів, які ініціюють окислення ліпідів, таким чином уповільнюють окиснювальні процеси та стабілізують колір протягом тривалого зберігання,

тобто мають антиоксидантний потенціал [17—19] Крім того, було встановлено, що неорганічні фосфати позитивно впливають на смак у повторно нагрітих продуктів, зменшуючи окислення жирних кислот, а також відіграючи роль в окисленні фосфоліпідів.

Завдяки своїй здатності зв'язувати іони металів або поліелектроліти, фосфати мають консервуючу дію завдяки уповільненню окислювальних процесів, які беруть участь у мікробному псуванні [11]. У присутності фосфатних сполук мікроорганізми позбавлені двовалентних катіонів і вільної, або доступної води, необхідної для метаболічних функцій. Однак позитивний вплив неорганічних фосфатів на мікробіологічну стабільність м'ясопродуктів обмежений через їхню велику кількість, необхідну для впливу на зменшення діяльності мікроорганізмів.

У виробництві подрібнених, реструктурованих або емульгованих м'ясних продуктів неорганічні фосфати необхідні для досягнення належної стабільності емульсії [20]. Зокрема, було показано, що пірофосфат натрію й триполіфосфат натрію покращують консистенцію та підвищують стабільність емульсії, що зменшує втрати при термообробленні [21]. У технології переробки м'яса найбільш часто використовуваними фосфатами є лужні поліфосфати, де триполіфосфат натрію становить понад 50% від загальної кількості використовуваних в м'ясній промисловості неорганічних фосфатів [17].

Неорганічні замітники фосфату надходять з різних джерел і можуть бути класифіковані в основному як інгредієнти рослинного походження (наприклад, крохмаль, волокна або насіння), грибні інгредієнти (наприклад, гриби та грибні екстракти), інгредієнти водоростей, інгредієнти тваринного походження (наприклад, м'ясо, молочні продукти або яєчні матеріали) або неорганічні сполуки (тобто мінерали). Основною перешкодою при використанні цих природних інгредієнтів як заміників неорганічних фосфатів є зв'язування вологи, зокрема збільшення кількості втрат при термообробленні та зниження виходу продукту. Крім того, відбуваються небажані зміни консистенції, кольору та інших органолептичних властивостей при використанні натуральних інгредієнтів як заміників неорганічних фосфатів. Наприклад, при використанні 0,75% апельсинової клітковини в болонській ковбасі варений продукт був класифікований як нестабільна емульсія з низьким рівнем соковитості [22]. Використання гриба зимового (*Flammulina filiformis*) (1%), обробленого атмосферною нетермальною плазмою, атмосферної нетермічної плазми в м'ясних шинкових консервах продуктах з шинки збільшує пропорції желе та рівні ексудату розтопленого жиру [23]. Крім того, використання мікроводоростей (1% *Chlorella sp.* і 1% *Spirulina sp.*) у технології посічених напівфабрикатів, обумовлює інтенсивний темніший колір у котлетах після доведення до кулінарної готовності, небажаний аромат і смак уамі (смак білкових речовин) [24]. Незважаючи на те, що наведені вище дослідження свідчать, що альтернативи неорганічним фосфатам можуть існувати, все ще існує потреба в додаткових дослідженнях (рис. 2).

Проведені дослідження з використання природних інгредієнтів для зменшення вмісту (або видалення з рецептур) неорганічного фосфату, які мають здатність змінювати рН, але це негативно впливає на декілька інших параметрів. Наприклад, автори зазначили, що слід допускати компроміси, зокрема, задовільні органолептичні властивості та зниження виходу готових виробів при обробці вареної шинки з цілими м'язами при заміні триполіфосфату натрію декстрозою, рисовим крохмалем і фруктоолігосахаридами [25]. У праці [22] Powell та ін. повідомили, що рівень триполіфосфату натрію можна знизити (але не видалити з рецептур), при додаванні до

рецептури болонської ковбаси цитрусових волокон, тоді як Palanisamy Thangavelu та ін. [26] повідомили про подібні висновки при використанні яблучних волокон для заміни триполіфосфату натрію в сосисках для сніданку. Інші дослідження свідчать, що внесення 5,7% порошку топінамбуру можна було б ефективно використовувати для заміни триполіфосфату натрію, якщо також включити карбонат натрію [27]. З точки зору додавання інгредієнтів грибів органолептичні характеристики викликають більше занепокоєння, ніж вихід продукту при обробці, оскільки 1,0% суміші порошку грибів (що є рівнем включення, необхідним для досягнення утримання вологи) впливають на характеристики консистенції оброблених м'ясних продуктів [23, 28, 29]. Крім того, існують культурні обмеження, які необхідно враховувати при використанні грибних інгредієнтів. Незважаючи на те, що смак і аромат грибів прийнятний і навіть викликає апетит у багатьох споживачів, це можна вважати набутими індивідуальними вподобаннями і може відвернути деяких людей [20].

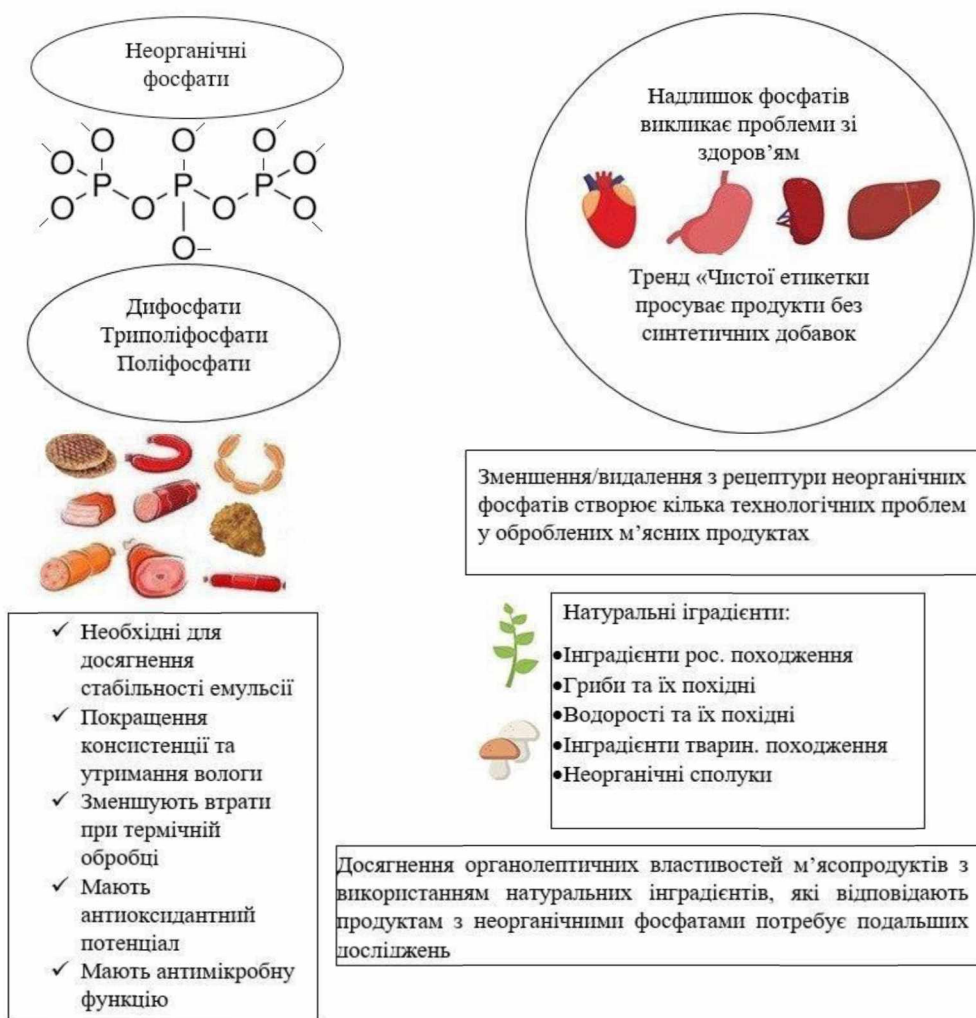


Рис. 2. Технологічні особливості неорганічних фосфатів і тренд «чистої етикетки»

Використання попередньо сформованих гелів, наприклад, додавання 2,0% гелю зі слизу чіа, продемонструвало функціональні властивості, які дозволили знизити на 50% кількість неорганічного фосфату для болонських сосисок [30]. Інші дослідники також наводять результати, що підтверджують доцільність внесення попередньо сформованих гелів у м'ясні та м'ясомісткі емульсії [31—33]. Також включення насіння кіноа може бути одним з варіантів для зменшення вмісту фосфатів у м'ясних емульсіях завдяки її гелеутворюючій здатності, що покращує поживну цінність м'ясних продуктів, будучи джерелом харчових волокон [34]. Інгредієнти з водоростей, такі як порошок з бурих водоростей, виявилися перспективними для заміни пірофосфату натрію в сосисках емульсійного типу, не враховуючи характеристики консистенції, яка не виправдала очікувань [35].

Інгредієнти на основі кальцію, такі як порошки з ячної шкаралупи та ракушок устриці, показали різний вплив на показники рН, втрати при варінні та структурно-механічні властивості подрібнених м'ясних систем [36—38]. Але консистенція готових виробів поступається м'ясопродуктам, виготовленим з додаванням неорганічних фосфатів, що зумовлює використання додаткових інгредієнтів у рецептурах. Крім того, деякі нещодавно розроблені інгредієнти можуть містити непоживні сполуки або сполуки, що викликають алергічну реакцію. Наприклад, пропозиція замінити неорганічні фосфати кунжутною макухою є ефективною пропозицією з технологічної точки зору, але слід взяти до уваги, що кунжут зараз оголошено алергеном, тому це необхідно враховувати при складанні рецептур продуктів обробленого м'яса з цим новим інгредієнтом і це, у свою чергу, може обмежити його універсальність [14].

Окислення ліпідів у м'ясних продуктах є обмежуючим фактором для м'ясної промисловості через присутність жирів у високих концентраціях у рецептурах переважної більшості м'ясопродуктів. Окислення знижує якість м'ясних виробів, негативно впливаючи на смак, колір, консистенцію та поживну цінність [39, 40]. Тож важливо приділяти увагу при видаленні неорганічних фосфатів з рецептур оброблених м'ясних продуктів до їхньої здатності уповільнювати окислювальні реакції.

Повна відповідність органолептичних якостей оброблених м'ясних продуктів, які містять неорганічні фосфати, продуктам з використанням натуральних інгредієнтів все ще залишається великою проблемою, оскільки передбачувані результати при використанні натуральних інгредієнтів, зазвичай, впливають на прийнятність споживачами, які хочуть і надалі відчувати ті ж самі органолептичні якості традиційних м'ясних продуктів. Крім того, інгредієнт-замінник відіграє дуже важливу роль у вподобаннях споживачів [41]. За допомогою тестування органолептичних показників на дегустаціях було продемонстровано, що споживачі більш позитивно оцінюють смак м'ясних продуктів з використанням неорганічних фосфатів, ніж тих, що не містять неорганічних фосфатів [27, 42].

Значним викликом, який стоїть перед м'ясопереробною промисловістю, є підтримка низьких і сталих виробничих витрат. Тому важливо, щоб використання натуральних інгредієнтів не призвело до додаткових витрат, пов'язаних із процесам екстракції, очищення та іншими необхідними процесами обробки. Також може знадобитися створення нової або масштабної переробної інфраструктури для виробництва нових натуральних інгредієнтів у достатній кількості для промисловості. Отже, необхідно враховувати витрати, пов'язані з використанням нових технологій, перш ніж перейти до промислового впровадження нових природних інгредієнтів та інноваційних технологій.

Висновки. Використання розглянутих в оглядовій статті сумішей природних інгредієнтів як замінників харчових фосфатів, які покращують функціонально-

технологічні характеристики м'ясних і м'ясомістких систем, позитивно впливають на органолептичні властивості й термін придатності готових виробів, можуть бути рішенням для заміни неорганічних фосфатів. Наступним етапом буде встановлення відповідних пропорцій кожного інгредієнта, за яких якість м'ясних і м'ясомістких систем не погіршується. Пошук інноваційних інгредієнтів для альтернативи неорганічним фосфатам у технології м'ясних і м'ясомістких продуктів потребує проведення подальших досліджень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Grasso, A. C., Hung, Y., Olthof, M. R., Brouwer, I. A., & Verbeke, W. (2021). Understanding meat consumption in later life: A segmentation of older consumers in the EU. *Food Quality and Preference*, 93, Article 104242.
2. Carvalho, L. T., Pires, M. A., Baldin, J. C., Munekata, P. E. S., de Carvalho, F. A. L., Rodrigues, I., Polizer, Y. J., de Mello, J. L. M., Lapa-Guimarães, J., & Trindade, M. A. (2019). Partial replacement of meat and fat with hydrated wheat fiber in beef burgers decreases caloric value without reducing the feeling of satiety after consumption. *Meat Science*, 147, 53—59.
3. Barone, A., Banovic, M., Asioli, D., Wallace, E., Ruiz-Capillas, C., & Grasso, S. (2021). The usual suspect: How to co-create healthier meat products. *Food Research International*, 143, 110304.
4. Ritz, E., Hahn, K., Ketteler, M., Kuhlmann, M. K., & Mann, J. (2012). Phosphate additives in food — a health risk. *DeutschesArzteblatt International*, 109, 49.
5. Страшинський, І., Маринін, А., Грицай, М., & Шкірдов, Д. (2022). Перспективні технології альтернативної заміни фосфатних препаратів у м'ясопродуктах. *Scientific Collection "InterConf"*, 13(109), 287—296.
6. Younes, M., Aquilina, G., Castle, L., Engel, K. H., Fowler, P., Frutos Fernandez, M. J., Fürst, P., Gürtler, R., Husøy, T., Mennes, W., Moldeus, P., Oskarsson, A., Shah, R., Waalkens-Berendsen, I., Wolfle, D., Aggett, P., Cupisti, A., Fortes, C., Kuhnle, G., Lillegaard, I. T., Scotter, M., Giarola, A., Tard, A., & Gundert-Remy, U. (2019). Reevaluation of phosphoric acid-phosphates — di-, tri- and polyphosphates (E 338—341, E 343, E 450—452) as food additives and the safety of proposed extension of use. *EFSA Journal*, 17, e05674.
7. Ritz, E., Hahn, K., Ketteler, M., Kuhlmann, M. K., & Mann, J. (2012). Phosphate additives in food — a health risk. *DeutschesArzteblatt International*, 109, 49.
8. Pinton, M. B., Correa, L. P., Facchi, M. M. X., Heck, R. T., Leães, Y. S. V., Cichoski, A. J., Lorenzo, J. M., dos Santos, M., Pollonio, M. A. R., & Campagnol, P. C. B. (2019). Ultrasound: A new approach to reduce phosphate content of meat emulsions. *Meat Science*, 152, 88—95.
9. Lampila, L. E. (2013). Applications and functions of food-grade phosphates. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 1301, 37—44.
10. Singh, A. K., Ramakanth, D., Kumar, A., Lee, Y. S., & Gaikwad, K. K. (2021). Active packaging technologies for clean label food products: A review. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(5), 4314—4324.
11. Pinton, M. B., dos Santos, B. A., Lorenzo, J. M., Cichoski, A. J., Boeira, C. P., & Campagnol, P. C. B. (2021). Green technologies as a strategy to reduce NaCl and phosphate in meat products: An overview. *Current Opinion in Food Science*, 40, 1—5.
12. Delgado-Pando, G., Ekonomou, S. I., Stratakis, A. C., & Pintado, T. (2021). Clean label alternatives in meat products. *Foods*, 10(7), 1615.
13. Thangavelu, K. P., Kerry, J. P., Tiwari, B. K., & McDonnell, C. K. (2019). Novel processing technologies and ingredient strategies for the reduction of phosphate additives in processed meat. *Trends in Food Science and Technology*, 94, 43—53.
14. Cao, C., Yuan, D., Li, X., Kong, B., Chen, Q., Sun, F., & Liu, Q. (2022). Reduction of phosphate content in frankfurters by up to 50% using micronized cold-pressed sesame seed cake. *Meat Science*, 185, 108708.
15. Faustino, M., Veiga, M., Sousa, P., Costa, E. M., Silva, S., & Pintado, M. (2019). Agro-food by-products as a new source of natural food additives. *Molecules*, 24, 1—23.
16. Goemaere, O., Glorieux, S., Govaert, M., Steen, L., & Fraeye, I. (2021). Phosphate elimination in emulsified meat products: Impact of protein-based ingredients on quality characteristics. *Foods*, 10, 882.
17. Balestra, F., & Petracci, M. (2019). Technofunctional ingredients for meat products: Current chal-

lenges. In C. M. Galanakis (Ed.), *Sustainable meat production and processing* (pp. 45–68). Elsevier.

18. Bohrer, B. M. (2019). Sequestrants as a Food Ingredient. In L. Melton, F. Shahidi, & P. Varelis (Eds.), *Encyclopedia of Food Chemistry* (Vol. 1, pp. 251–255). Elsevier.

19. Rodrigues, A. S., Kubota, E. H., Giacomelli, C., Alves, S., Rodrigues, G. S., Cezar, P., & Campagnol, B. (2020). Banana inflorescences: A cheap raw material with great potential to be used as a natural antioxidant in meat products. *Meat Science*, 161 (3), 107991.

20. Domínguez, R., Munekata, P. E., Pateiro, M., Lopez-Fernández, O., & Lorenzo, J. M. (2021). Immobilization of oils using hydrogels as strategy to replace animal fats and improve the healthiness of meat products. *Current Opinion in Food Science*, 37, 135–144.

21. Glorieux, S., Goemaere, O., Steen, L., & Fraeye, I. (2017). Phosphate reduction in emulsified meat products: impact of phosphate type and dosage on quality characteristics. *Food Technology and Biotechnology*, 55, 390–397.

22. Powell, M. J., Sebranek, J. G., Pmsa, K. J., & Tarté, R. (2019). Evaluation of citrus fiber as a natural replacer of sodium phosphate in alternatively-cured all-pork Bologna sausage. *Meat Science*, 157, 107883.

23. Jo, K., Lee, S., Jo, C., Jeon, H. J., Choe, J. H., Choi, Y. S., & Jung, S. (2020). Utility of winter mushroom treated by atmospheric non-thermal plasma as an alternative for synthetic nitrite and phosphate in ground ham. *Meat Science*, 166, 108151.

24. De Medeiros, Pimentel, T. C., Sant'Ana, A. S., & Magnani, M. (2021). Microalgae in the meat processing chain: feed for animal production or source of techno-functional ingredients. *Current Opinion in Food Science*, 37, 125–134.

25. Resconi, V. C., Keenan, D. F., Gough, S., Doran, L., Allen, P., Kerry, J. P., & Hamill, R. M. (2015). Response surface methodology analysis of rice starch and fructooligosaccharides as substitutes for phosphate and dextrose in whole muscle cooked hams. *LWT—Food Science & Technology*, 64, 946–958.

26. Palanisamy Thangavelu, K., Tiwari, B., Kerry, J. P., McDonnell, C. K., & Alvarez, C. (2022). Phosphate replacing potential of apple pomace and coffee silver skin in Irish breakfast sausage using a mixture design approach. *Meat Science*, 185, 108722.

27. Oztürk, B., & Serdarolu, M. (2018). Effects of Jerusalem artichoke powder and sodium carbonate as phosphate replacers on the quality characteristics of emulsified chicken meatballs. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 38, 26–42.

28. Chun, S., Chambers, E., & Chambers, D. H. (2020). Effects of shiitake (*lentinus edodes*) mushroom powder and sodium tripolyphosphate on texture and flavor of pork patties. *Foods*, 9, 611.

29. Pérez Montes, A., Rangel-Vargas, E., Lorenzo, J. M., Romero, L., & Santos, E. M. (2021). Edible mushrooms as a novel trend in the development of healthier meat products. *Current Opinion in Food Science*, 37, 118–124.

30. Cămară, A. K. F. I., Vidal, V. A. S., Santos, M., Bernardinelli, O. D., Sabadini, E., & Pollonio, M. A. R. (2020). Reducing phosphate in emulsified meat products by adding chia (*Salvia hispanica* L.) mucilage in powder or gel format: A clean label technological strategy. *Meat Science*, 163, 108085.

31. Oztürk-Kerimoğlu, B. (2021). A promising strategy for designing reduced-fat model meat emulsions by utilization of pea protein-agar agar gel complex. *Food Structure*, 29, 100205.

32. Pinton, M. B., Lorenzo, J. M., Seibt, A. C. M. D., Dos Santos, B. A., da Rosa, J. L., Correa, L. P., Campagnol, P. C. B. (2022). Effect of high-power ultrasound and bamboo fiber on the technological and oxidative properties of phosphate-free meat emulsions. *Meat Science*, 193, 108931.

33. Dos Santos, M., Ozaki, M. M., Ribeiro, W. O., de Souza Paglarini, C., Vidal, V. A. S., Campagnol, P. C. B., & Pollonio, M. A. R. (2020). Emulsion gels based on pork skin and dietary fibers as animal fat replacers in meat emulsions: An adding value strategy to byproducts. *Lwt*, 120, 108895.

34. Strashynskiy, I., Grechko, V., Fursik, O., Pasichnyi, V., & Marynin, A. (2021). Influence of temperature modes of processing chia seed meal gel on its rheological and functional-technological properties. *Science Rise*, (6), 11–17.

35. Jo, K., Lee, J., & Jung, S. (2018). Quality characteristics of low-salt chicken sausage supplemented with a winter mushroom powder. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 38, 768–779.

36. Choe, J., Lee, J., Jo, K., Jo, C., Song, M., & Jung, S. (2018). Application of winter mushroom powder as an alternative to phosphates in emulsion-type sausages. *Meat Science*, 143, 114–118.

37. Jeong, J. Y. (2018). Determining the optimal level of natural calcium powders and whey protein concentrate blends as phosphate replacers in cooked ground pork products. *Korean Journal for Food*

Science of Animal Resources, 38, 1246—1252.

38. Cho, M. G., & Jeong, J. Y. (2018). Effects of calcium powder mixtures and binding ingredients as substitutes for synthetic phosphate on the quality properties of ground pork products. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 38, 1179—1188.

39. Estévez, M. (2021). Critical overview of the use of plant antioxidants in the meat industry: Opportunities, innovative applications and future perspectives. *Meat Science*, 181, 108610.

40. N. Bozhko, V. Pasichnyi, A. Marynin, V. Tischenko, I. Strashynskyi, O. Kyselov. (2020). Investigation of the influence of the rosemary extract on the oxidizing stability of fats of semi-smoked sausages with peking duck meat. P. 18—25. *EUREKA: Life Sciences*, (3).

41. Gullón, B., Gagaoua, M., Barba, F. J., Gullon, P., Zhang, W., & Lorenzo, J. M. (2020). Seaweeds as promising resource of bioactive compounds: Overview of novel extraction strategies and design of tailored meat products. *Trends in Food Science and Technology*, 100, 1—18.

42. Resconi, V. C., Keenan, D. F., García, E., Allen, P., Kerry, J. P., & Hamill, R. M. (2016). The effects of potato and rice starch as substitutes for phosphate in and degree of comminution on the technological, instrumental and sensory characteristics of restructured ham. *Meat Science*, 121, 127—134.