

УДК 637.5'64.037-021.465

INFLUENCE OF THE LOW-TEMPERATURE TREATMENT CONDITIONS ON QUALITY AND SAFETY OF THE PORK MEAT

O. Synytsia, L. Vinnikova

Odessa National Academy of Food Technologies

Key words:

Thermal treatment

Denaturation

Cooking loss

Safety

Article history:

Received 22.07.2021

Received in revised form
02.08.2021

Accepted 16.08.2021

Corresponding author:

O. Synytsia

E-mail:

olia4ka2403@gmail.com

ABSTRACT

The traditional heat treatment conditions applied at modern meat processing plants are developed with a reserve for microbiological strength, which is explained by the need for guaranteed destruction of unwanted microorganisms. However, the detrimental effect of high temperatures on the nutritional and sensory properties of the meat product is known.

The paper considers an important issue of microbiological safety of the meat products processed at mild temperature conditions. The dynamics of denaturation changes in muscle tissue proteins caused by different temperatures are revealed. Particular attention is paid to the recent studies of the effect of low-temperature long-term processing on the structural-mechanical and sensory properties of the meat system.

The paper presents experimental studies of the effect of low-temperature treatment on the quality characteristics and microbiological safety of the pork meat. The temperature treatment was carried out in the temperature range of 55... 61°C with an exposure up to 4 hours. The effect of temperature and time of treatment on the degree of denaturation of muscle tissue proteins, meat weight loss, inactivation of the required number of microorganisms and culinary doneness was determined.

Analysis of the results of the degree of denaturation of proteins and weight loss demonstrated that temperature has a greater effect on destructive changes in the meat system than duration. The meat weight loss increases rapidly when heated to a temperature in the center of the product of 61°C. To achieve microbiological safety, the treatment at a temperature of 60°C with an exposure time of 1 hour is sufficient. Treatment at 55...57°C does not cause the necessary inactivation of microorganisms even after 4 hours. Exposure for one hour at temperatures of 60...61°C results in the required level of residual acid phosphatase activity.

Based on the research, it was determined that the rational parameters are treatment during 1 hour at a temperature in the center of the product of 60°C.

DOI: 10.24263/2225-2924-2021-27-4-19

ВПЛИВ РЕЖИМІВ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОБРОБЛЕННЯ НА ЯКІСТЬ І БЕЗПЕКУ М'ЯСА СВИНИНИ

О. В. Синиця, Л. Г. Віннікова

Одеська національна академія харчових технологій

Традиційні режими температурного оброблення, що використовуються на сучасних м'ясопереробних підприємствах, розроблені із запасом мікробіологічної міцності, що пояснюється необхідністю гарантованого знищення небажаних мікроорганізмів. Водночас відомий згубний вплив високих температур на поживні та сенсорні властивості м'ясного продукту.

У статті розглянуто важливе питання мікробіологічної безпеки м'ясних продуктів, оброблених при м'яких температурних режимах. Розкрито динаміку денатураційних змін білків м'язової тканини, викликаних різними змінами температурами. Особливу увагу приділено останнім дослідженням впливу низькотемпературного тривалого оброблення на структурно-механічні та сенсорні властивості м'ясної системи.

Наведено експериментальні дослідження впливу низькотемпературного оброблення на якісні характеристики та мікробіологічну безпечність м'яса свинини. Температурне оброблення проводилось у діапазоні температур 55...61°C з експозицією до 4 год. Визначено вплив температури та часу оброблення на ступінь денатурації м'язових білків, втрату маси м'яса, інактивації необхідної кількості мікроорганізмів і досягнення стану кулінарної готовності.

Аналіз результатів ступеня денатурації білків і втрат маси показав, що температура більшою мірою впливає на деструктивні зміни у м'ясній системі, ніж тривалість. Втрати маси м'яса стрімко зростають при нагріві до температури в центрі продукту 61°C. Для досягнення мікробіологічної безпеки достатнім є оброблення при температурі 60°C з часом експозиції 1 год. Оброблення при 55...57°C не викликає необхідної інактивації мікроорганізмів навіть через 4 год. Експозиція протягом години при температурах 60...61°C призводить до необхідного рівня залишкової активності кислої фосфатази.

На основі проведених досліджень визначено, що раціональними параметрами є оброблення протягом 1 год при температурі в центрі продукту 60°C.

Ключові слова: температурне оброблення, денатурація, втрата маси, безпечність.

Постановка проблеми. Зміни в способі життя населення внаслідок глобалізації, а також розширення знань про взаємозв'язок харчування та здоров'я, вимагають суттєвих перетворень у структурі харчування, зокрема і в м'ясній промисловості. Все більше зростає попит на готові до вживання м'ясні продукти з мінімально необхідною обробкою та максимальним збереженням якості.

Більшість м'ясних продуктів виробляється з використанням температурного оброблення як основного способу досягнення кулінарної готовності. Завдяки дії температури на м'ясо підвищується його санітарно-гігієнічний стан, шляхом інактивації патогенних і умовно-патогенних мікроорганізмів, а також утворю-

ються бажані сенсорні характеристики (смак та аромат). На якісні характеристики м'ясного продукту впливає спосіб і температурно-часові параметри його приготування. Залежно від інтенсивності температурного оброблення якість продукту значно змінюється (Cepeda, Weller, Negahban, Subbiah, & Thippareddi, 2013).

Під час приготування м'ясні білки денатурують при різних температурах, що викликає структурні зміни в текстурному профілі м'яса. Це призводило до руйнування клітинних мембран, усадки м'язових волокон, агрегації і гелеутворення міофібрилярних і саркоплазматичних білків, а також до усадки й розчинення сполучної тканини (Tornber, 2013).

Харчова цінність м'яса суттєво залежить від глибини змін у результаті фізико-хімічних реакцій, викликаних різними параметрами температурного оброблення (García-Agias, Pontes, García-Linares, García-Fernandez, & Sánchez-Muniz, 2003).

Температура має важливий вплив на біологічну цінність м'яса, і в той же час на його можливу токсичність (Kondjoan та ін., 2014). При варінні м'ясо стає їстівним, збільшується його засвоюваність (Białobrzewski, та ін., 2010). Температура, що використовується при обробленні суттєво впливає на ступінь перетравлюваності м'яса організмом. У дослідженнях *in vivo* (Oberli та ін., 2016), яке проводилось на щурах, було визначено вплив різних параметрів термооброблення яловичини на засвоюваність м'язових білків. Результати показали значно вищу перетравлюваність м'яса, обробленого до температури в центрі 60...64°C, ніж при 100°C. Дослідження також показало, що перетравлене м'ясо, оброблене при 100°C, містило значно вищий вміст карбонілів білка, ніж сире і помірно приготовлене (60...64°C).

Отримані за допомогою сучасних методів дослідження дані про денатурацію м'язових білків м'яса і їх вплив на властивості теплоіндукованих продуктів, відкривають перспективу перегляду й оновлення традиційних режимів. Передбачається, що параметри термооброблення повинні відповідати типу м'яса, кількості сполучної тканини, його формам і розмірам.

Сьогодні перспективним способом виготовлення м'ясного продукту є використання тривалого низькотемпературного оброблення (low-temperature long-time), що дає змогу отримувати продукт з покращеними якісними характеристиками.

При використанні м'яких режимів (LTLT) термічного оброблення разом з покращенням органолептичних характеристик, харчової та біологічної цінності, виникає проблема вибору мінімально необхідного теплового навантаження для достатньої інактивації мікроорганізмів.

Зважаючи на важливість температурного оброблення у м'ясопереробній промисловості, вважаємо актуальним проведення дослідження впливу низькотемпературного оброблення на якість тібезпеку м'яса.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Температурне оброблення м'яса при низькій температурі протягом тривалого часу вивчалася багатьма дослідниками: на яловичині (García-Segovia, Andrés-Bello, & Martínez-Monzó, 2007; Christensen, та ін., 2012; Botinestean, Keenan, Kerry, & Hamill, 2016), свинині (Christensen, L., Bertram, Aaslyng, & Christensen, 2011; Christensen, та ін., 2012; Del Pulgar, Gázquez, & Ruiz-Carrascal 2012), баранині (Roldán, Antequera, Martín,

Mayoral, & Ruiz, 2013). Вважається, що такий метод має більше переваг (підвищена ніжність, поліпшена збереженість кольору, краща текстура і ніжніший смак), ніж традиційні режими.

Денатурація, агрегація і деградація міофібрилярних, саркоплазматичних і білків сполучної тканини відбувається залежно від поєднання часу і температури під час термічного оброблення. Зміни білків, особливо денатурація колагену, разом з протеолітичною активністю, часто вважаються основними причинами підвищеної м'ясної ніжності. Температурний градієнт впливає на швидкість і ступінь зміни структури білків у м'ясі, тоді як метод теплопередачі впливає на запах, смак і колір. У цілому оптимальна ніжність і соковитість, мінімальні втрати при обробленні м'яса досягаються при помірних або низьких температурах (Tornber, 2005).

Численні білки м'яса в процесі нагріву денатурують у різних температурних діапазонах. У дослідженні (Kemp, North, & Leath, 2009) диференціально скануючої калориметрії (ДСК) виміряли видиму теплоємність окремих білкових компонентів у діапазоні від 20°C до 90°C і виявили, що міофібрилярні білки ягняти і яловичини мали пік денатурації між 55°C і 60°C, тоді як білки строми при 60°C.

Температурне оброблення нижче 60°C призводить до усадки поперечних м'язових волокон, а більш високі температури спричиняють сильну поздовжню усадку, яка суттєво впливає на втрати маси продукту. При низькій температурі нагріву від 40°C до 52,5°C відбувається денатурація саркоплазматичних і міофібрилярних білків, що призводить до повільної втрати рідини з міофібрил без їх укорочення. Підвищення температури від 52,5°C до 60°C не викликає загального укорочення, але призводить до більш швидкої втрати рідини з міофібрил. Оброблення при температурі від 64°C до 94°C викликає втрати маси через загальне укорочення м'язового волокна, спричинене термоусадкою ендомізіального, перимізіального і епімізіального колагену (Voutila, Ruusunen, & Puolanne, 2008; Brüggemann, Brewer, Risbo, & Bagatolli, 2010).

При тривалому приготуванні м'яса при м'яких температурах відбувається часткова або повна желатинізація колагену, в результаті чого м'ясо стає м'яким і ніжним (Lepetit, 2007).

Використання високих температур у технології виготовлення м'ясних продуктів призводить до погіршення їх якості та можливого утворення шкідливих канцерогенних речовин. Використання температури в діапазоні 50—60°C істотно збільшує вихід продукту, покращує сенсорні характеристики, надає високої харчової і біологічної цінності продукту за рахунок зниження втрат незамінних амінокислот, вітамінів, а також покращує засвоюваність та органолептичні показники (Tornber, 2005). При використанні цих температур постає питання безпечності виготовленого продукту.

Традиційно для інактивації необхідної кількості мікроорганізмів достатнім є нагрів продукту до 68...72°C. Такі режими оброблення гарантують інактивацію небезпечних патогенів (*Escherichia coli*, *Salmonella*, *Campylobacter*, *Staphylococcus aureus* і *Listeria monocytogene*) та мікроорганізмів, що викликають псування (*Pseudomonas*, *Lactobacillus*).

На сьогодні проведено ряд досліджень впливу м'яких режимів оброблення на патогенні та умовно-патогенні мікроорганізми. Як індикатор безпеки при

тривалому термобробленні при низькій температурі був використаний досить теплостійкий патоген *L. monocitogenes*. Встановлено, що при обробленні м'яса протягом 6,5 год при температурі 50...55 °C досягається мікробіологічна безпечність продукту (Linton, Carter, Pierson & Hackney, 1995).

Результати декількох досліджень показали, що температурне оброблення яловичини при 50...62°C, свинини при 53 та 58°C протягом 6 год, ягняти — 6 год при 60°C було достатнім для зменшення кількості мікроорганізмів, молочно-кислих бактерій, коків, *Enterobacteriaceae*, а також *L. monocitogenes* і *Salmonella* на 5D (Smelt & Brul, 2014; Salaseviciene, Vaiciulyte-Funk & Koscelkovskienė, 2014; Becker, Boulaaba, Pinggen, Röhrner & Klein, 2015).

Натепер відомо, що мезофільні бактерії інактивуються навіть найбільш м'якими температурами за умови, якщо час витримки досить великий.

При тривалому температурному обробленні при 53°C досягнуто скорочення *Listeria monocitogenes* на 5D...6,7D (Gunvig, Jacobsen & Torngren, 2012). Інактивація *Salmonella*, *L. monocitogenes* і *E. coli* (O157: H7) на рівні 5D спостерігалась у м'ясі свинини через 10 год оброблення при температурі 53°C (Becker, та ін., 2015).

Проведені дослідження (Duan, Hansen, Hansen, Dalgaard, & Knøchel, 2016) інактивацію *C. perfringens* при різних температурах та швидкостях нагрівання свинини показали, що повільне нагрівання призводило до збільшення термостійкості мікроорганізмів, а отже, для інактивації потрібний більш тривалий ізотермічний вплив при температурі 53°C.

Ретроспективний аналіз наукових публікацій підтвердив позитивний вплив м'яких режимів температурного оброблення на якість м'яса, проте відомості щодо впливу низьких температур на мікробіоту м'яса досить суперечливі, залежать від багатьох факторів і потребують продовження досліджень у цьому перспективному напрямку.

Мета дослідження: аналіз впливу низькотемпературних режимів оброблення на денатураційні зміни білків і мікробіологічну безпеку м'яса свинини.

Матеріали і методи. Експериментальні дослідження проводились у науково-дослідних лабораторіях Одеської національної академії харчових технологій на кафедрах «Технологія м'яса, риби і морепродуктів» та «Біохімії, мікробіології та фізіології харчування» (ОНАХТ).

Матеріалом дослідження була спинно-поперекова частина свинини (корейка) в охолодженому стані.

Ступінь денатурації саркоплазматичних і міофібрилярних білків у процесі теплової обробки визначали шляхом їх послідовного екстрагування буферними розчинами різної іонної сили (Ефимова, Лоцилина & Пакляченко, 2010) і визначенням масової частки білка методом К'ельдаля (ГОСТ 25011-2017). Розрахунок ступеня денатурації білків здійснювали за формулою:

$$D = \frac{C_0 - C_T}{C_0} \cdot 100, \quad (1)$$

де C_0 — масова частка білка в зразках до температурного оброблення, мг/см³, C_T — масова частка білка в зразках після температурного оброблення, мг/см³.

Втрати маси м'яса після термооброблення визначали розрахунковим методом (зважуванням зразків до і після термооброблення).

Визначення залишкової активності кислій фосфатази проводили відповідно до ДСТУ 7382:2013.

Кількість мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів визначали відповідно до ГОСТ 8446:2015.

Викладення основних результатів дослідження. Денатураційні зміни білків у результаті дії температури безпосередньо впливають на функціонально-технологічні, структурно-механічні й органолептичні характеристики готових м'ясних продуктів. Вибір режимів температурного оброблення повинен бути індивідуальним і науково обґрунтованим для різних видів м'ясних продуктів, зважаючи на морфологічну частину м'яса, санітарно-гігієнічний стан сировини та бажані характеристики готового продукту.

Для досліджень впливу температурного оброблення на фізико-хімічні та мікробіологічні показники зразки м'яса завантажували у варильну камеру з температурою грюючого середовища 30°C і проводили нагрів до температури 55...62°C з кроком 1°C. При досягненні заданої температури в центрі продукту (55...62°C) проводили експозицію від 0 до 4 год з кроком 30 хв.

На рис. 1 та 2 представлені результати дослідження впливу температури та тривалості варіння на ступінь денатурації міофібрилярних і саркоплазматичних білків.

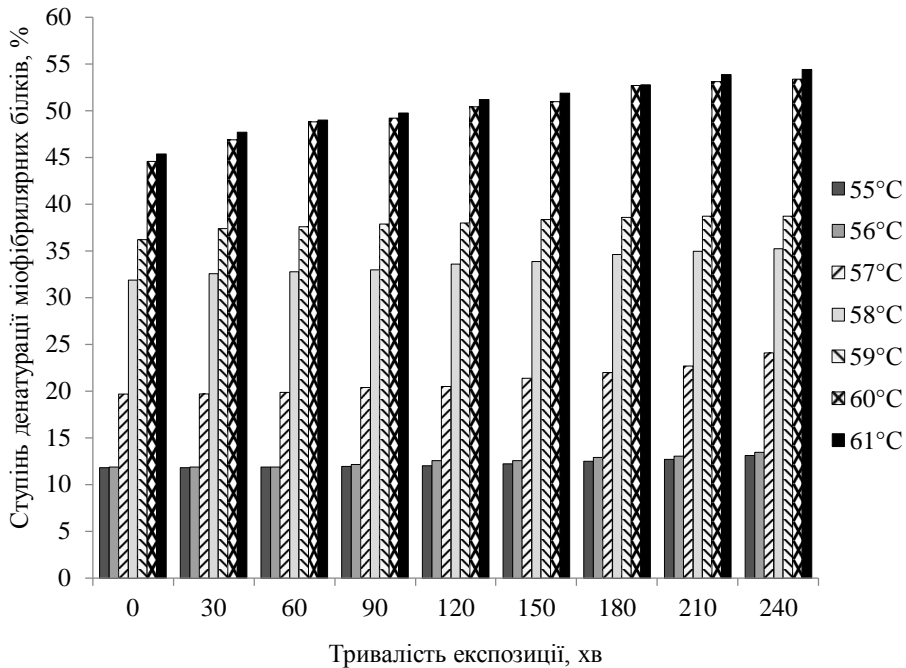


Рис. 1. Вплив температури і тривалості оброблення на ступінь денатурації міофібрилярних білків

Аналіз даних впливу параметрів температурного оброблення на ступінь денатурації показав, що міофібрилярні білки меншою мірою денатурують, ніж саркоплазматичні в температурному діапазоні 55...61°C.

Збільшення теплового навантаження з 55°C до 61°C призвело до збільшення ступеня денатурації саркоплазматичних білків з 20,81% до 59,90% та міофібрилярних — з 11,84% до 45,39% при досягненні відповідної температури в частині м'яса, яка найменш прогрівается.

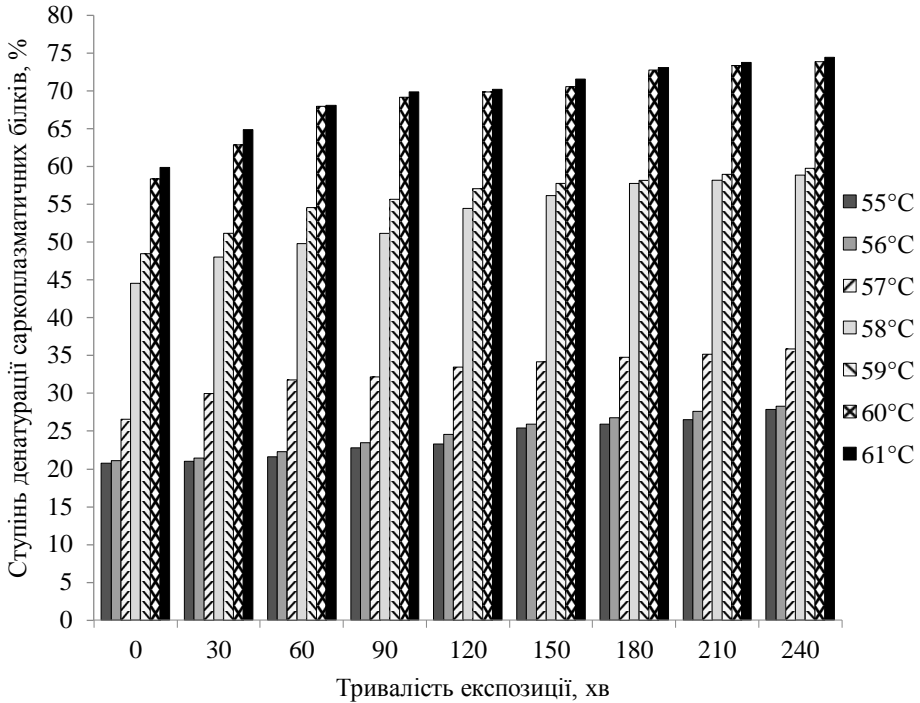


Рис. 2. Вплив температури і тривалості оброблення на ступінь денатурації саркоплазматичних білків

Результати дослідження показали значний вплив тривалості оброблення на денатурацію білків м'яса. Так, через 4 год експозиції різниця ступеня денатурації в зразках, оброблених при температурі 55°C і 61°C, склала 46,6% саркоплазматичних і 41,29% міофібрилярних білків.

Важливо відмітити, що нагрів до температур 60°C та 61°C в центрі м'яса призводить до значно більших деструктивних змін білків, ніж експозиція протягом 4 год при температурах 55...59°C. Різниця між ступенем денатурації при досягненні 55°C в центрі продукту та через 4 год експозиції складає 7,1% для саркоплазматичних білків та 1,3% міофібрилярних.

Найвищий ступінь денатурації відбувається при температурах 60°C та 61°C. Різниця у значеннях при нагріві до 60°C та 61°C незначна і сягає 1,5% саркоплазматичних та 0,8% міофібрилярних білків, а після експозиції протягом 4 год різниця складає 0,6% та 1,04% відповідно.

У результаті денатурації білків змінюються їх нативні властивості, що викликає зниження вологоутримувальної здатності, втрату маси продукту та зміну

органолептичних характеристик, особливо соковитості та ніжності готового продукту.

Втрата маси при термообробленні є критичним фактором у м'ясній промисловості, оскільки вона визначає технологічний вихід і впливає на вартість продукту. З точки зору харчової цінності втрати маси відображаються у втраті розчинних білків, вітамінів і жирних кислот.

У зв'язку з цим були проведені дослідження впливу температурного оброблення на втрату маси м'яса (рис. 2).

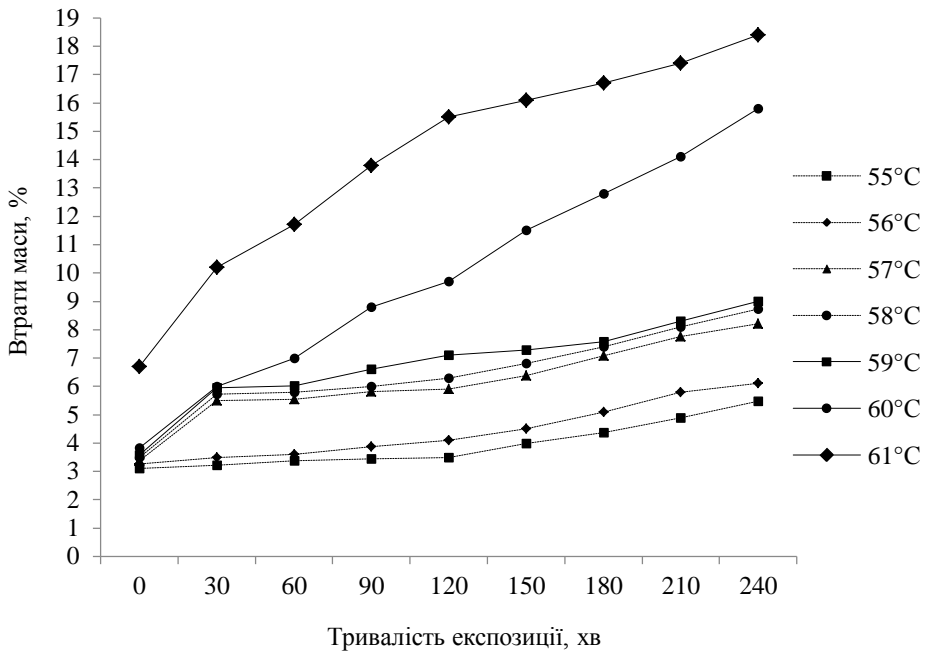


Рис. 3. Вплив температури і тривалості оброблення на втрати маси свинини

Результати проведених досліджень втрати маси м'яса свинини залежно від температурно-часових параметрів оброблення показали, що чим нижча температура, тим менші втрати, навіть при тривалій експозиції.

Збільшення температури оброблення викликає стрімке зростання втрати маси як при досягненні заданої температури в центрі м'яса, так і в результаті експозиції. На рис. 3 видно, що при нагріві до температури 55°C втрати збільшились з 3,1% до 5,48% за 4 год оброблення, а при температурі 61°C — з 6,7% до 18,4%.

Наглядна тенденція до зростання втрати маси м'яса пов'язана з температурою денатурації м'язових білків і узгоджується з отриманими даними (рис. 1 і 2) зміни ступеня денатурації міофібрилярних і саркоплазматичних білків.

Збільшення температури оброблення на 1°C в температурному діапазоні з 60°C...61°C призвело до різкого зростання втрати маси майже у 2 рази (на 2,87%). Крім того, втрати при температурі 60°C більш стрімко зростають після години оброблення, а при 61°C зменшення маси відбувається суттєво протягом

усього часу експозиції. Таким чином, аналіз отриманих результатів вказує на значно менші втрати маси при температурі оброблення м'яса свинини до 60°C.

У технології харчових продуктів найважливішим є виробництво мікробіально безпечних продуктів. Зважаючи на той факт, що дослідні температури оброблення значно нижчі за ті, що використовуються у м'ясній промисловості для досягнення безпечності та кулінарної готовності, були проведені дослідження впливу параметрів термооброблення на мікробіологічні показники м'яса свинини (рис. 4).

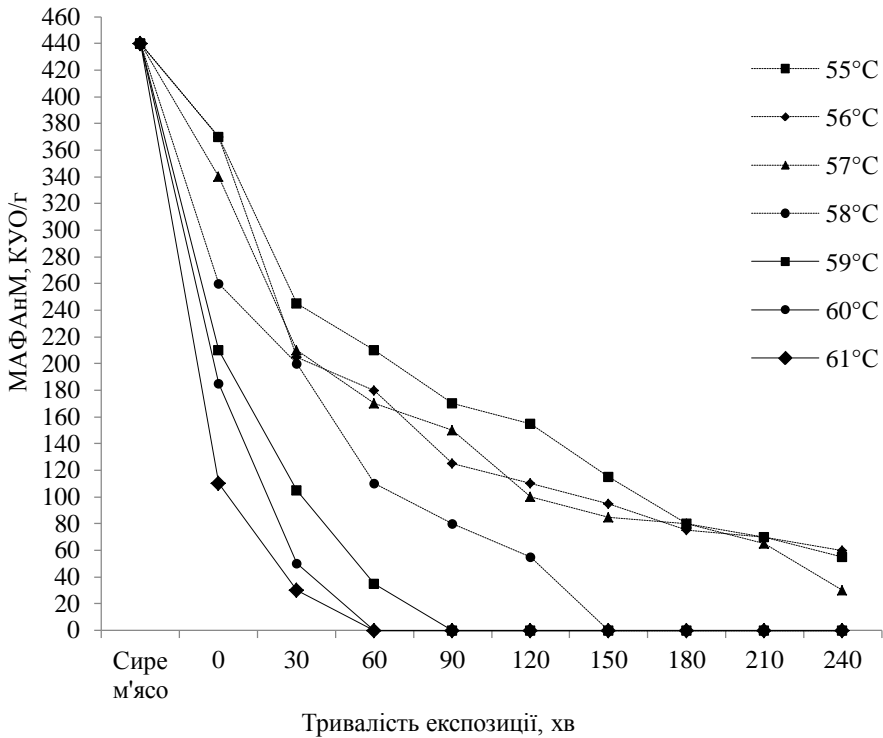


Рис. 4. Вплив температури і тривалості оброблення на загальну мікробіальну забрудненість м'яса свинини

Аналіз результатів мікробіологічного стану м'яса в процесі температурного оброблення вказує на те, що для інактивації вегетативної мікробіоти необхідно провести оброблення м'яса протягом 1 год при температурі 60...61°C, 1,5 год — при 59°C або 3 год — при 58°C. Термооброблення в температурному діапазоні 55...57°C навіть через 4 год експозиції не викликало достатнього зниження рівня мікробіоти.

Температурне оброблення характеризується зниженням залишкової активності кислої фосфатази. Значення цього показника на рівні $\leq 0,006\%$ свідчить про кулінарну готовність м'ясного продукту. У зв'язку з цим були проведені визначення масової частки фенолу у зразках м'яса свинини, оброблених при різних температурах (рис. 5).

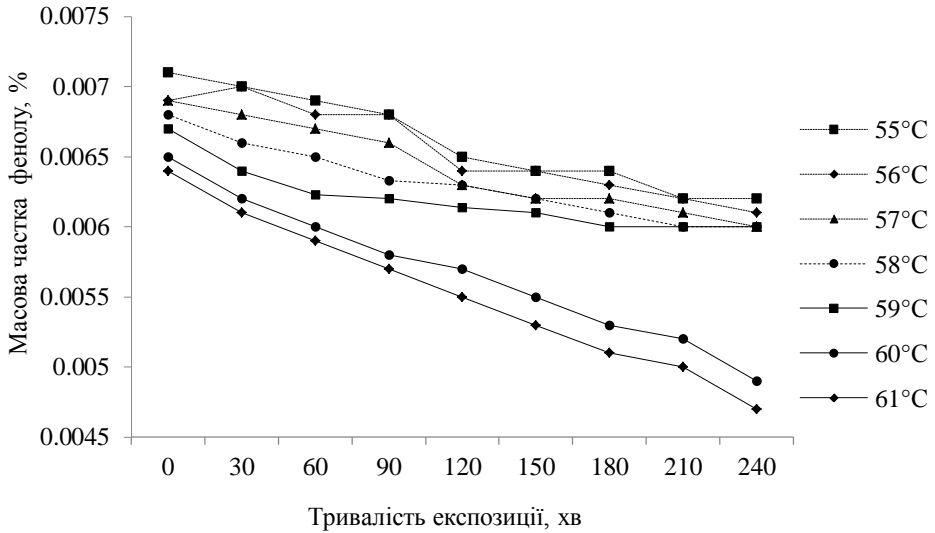


Рис. 5. Вплив температури і тривалості оброблення на залишкову активність кислій фосфатази в м'ясі свинини

Результати дослідження показують, що для досягнення стану кулінарної готовності недостатньо лише нагріти продукт до температури в центрі 55...61°C.

Необхідне значення масової частки фенолу досягається у м'ясі після 1 год оброблення при температурі 60...61°C. Нижчі температури потребують більш тривалої експозиції: 3 год при 59°C; 3,5 год при 58°C; 4 год при 57°C. Оброблення в температурному діапазоні 55...56°C навіть через 4 год експозиції не викликало необхідного зниження залишкової активності кислій фосфатази.

Отже, проведені дослідження дають змогу стверджувати, що температурне оброблення протягом 1 год при температурі 60°C в частині м'яса, яка прогрівається найменше, є раціональним режимом оброблення корейки свинини.

Висновки

Проведені дослідження впливу температурного оброблення на ступінь денатурації м'язових білків, втрати маси, мікробіологічні показники та залишкову активність кислій фосфатази свідчать, що температура 60°C та експозиція протягом 1 год є оптимальними параметрами для достатнього рівня денатурації білків, інактивації мікроорганізмів, мінімізації втрат при варінні та досягнення стану кулінарної готовності. Подальші дослідження будуть направлені на вдосконалення технології варених і копчено-варених виробів зі свинини з використанням режимів низькотемпературного оброблення та проведення дослідження впливу термооброблення на фізико-хімічні, структурно-механічні, органолептичні показники, мікробіологічну безпечність, харчову і біологічну цінність готових продуктів.

Література

- Ефимова, М. В., Ложилина, М. А., Паключенко, С. А. (2010). Анализ фракционного состава белков мышечной ткани на основе их растворимости. *Вестник Камчатского государственного технического университета*, (13), 15—19.
- Becker, A., Boulaaba, A., Pingen, S., Röhner, A., Klein, G. (2015). Low temperature, long time treatment of porcine *M. longissimus thoracis et lumborum* in a combi steamer under commercial conditions. *Meat Science*, 110, 230-235. Doi: 10.1016/j.meatsci.2015.07.024.
- Białobrzewski, I., Danowska-Oziewicz, M., Karpińska-Tymoszczyk, M., Nalepa, B., Markowski, M., Myhan, R. (2010). Turkey breast roasting—Process optimization. *Journal of food engineering*, 96(3), 394-400. Doi:10.1016/j.jfoodeng.2009.08.013.
- Botinestean, C., Keenan, D. F., Kerry, J. P., Hamill, R. M. (2016). The effect of thermal treatments including sous-vide, blast freezing and their combinations on beef tenderness of *M. semitendinosus* steaks targeted at elderly consumers. *LWT*, 74, 154—159. Doi:10.1016/j.lwt.2016.07.026.
- Brüggemann, D. A., Brewer, J., Risbo, J., Bagatolli, L. (2010). Second harmonic generation microscopy: A tool for spatially and temporally resolved studies of heat induced structural changes in meat. *Food biophysics*, 5(1), 1—8. Doi: 10.1007/s11483-009-9137-4.
- Cepeda, J. F., Weller, C. L., Negahban, M., Subbiah, J., Thippareddi, H. (2013). Heat and mass transfer modeling for microbial food safety applications in the meat industry: a review. *Food Engineering Reviews*, 5(2), 57—76. Doi:10.1007/s12393-013-9063-6.
- Christensen, L., Bertram, H. C., Aaslyng, M. D., Christensen, M. (2011). Protein denaturation and water–protein interactions as affected by low temperature long time treatment of porcine *Longissimus dorsi*. *Meat Science*, 88(4), 718—722. Doi: 10.1016/j.meatsci.2011.03.002.
- Christensen, L., Gunvig, A., Tørngren, M. A., Aaslyng, M. D., Knøchel, S., Christensen, M. (2012). Sensory characteristics of meat cooked for prolonged times at low temperature. *Meat Science*, 90(2), 485—489. Doi:10.1016/j.meatsci.2011.09.012.
- Christensen, L., Ertbjerg, P., Løje, H., Risbo, J., van den Berg, F. W., Christensen, M. (2013). Relationship between meat toughness and properties of connective tissue from cows and young bulls heat treated at low temperatures for prolonged times. *Meat science*, 93(4), 787—795. Doi:10.1016/j.meatsci.2012.12.001.
- Del Pulgar, J. S., Gázquez, A., & Ruiz-Carrascal, J. (2012). Physico-chemical, textural and structural characteristics of sous-vide cooked pork cheeks as affected by vacuum, cooking temperature, and cooking time. *Meat Science*, 90(3), 828—835. Doi:10.1016/j.meatsci.2011.11.024.
- Duan, Z., Hansen, T. H., Hansen, T. B., Dalgaard, P., Knøchel, S. (2016). Predicting outgrowth and inactivation of *Clostridium perfringens* in meat products during low temperature long time heat treatment. *International journal of food microbiology*, 230, 45—57. Doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2016.03.019.
- García-Arias, M. T., Pontes, E. Á., García-Linares, M. C., García-Fernandez, M. C., Sánchez-Muniz, F. J. (2003). Cooking–freezing–reheating (CFR) of sardine (*Sardina pilchardus*) fillets. Effect of different cooking and reheating procedures on the proximate and fatty acid compositions. *Food chemistry*, 83(3), 349—356. Doi: 10.1016/S0308-8146(03)00095-5.
- García-Segovia, P., Andrés-Bello, A., & Martínez-Monzó, J. (2007). Effect of cooking method on mechanical properties, color and structure of beef muscle (*M. pectoralis*). *Journal of Food Engineering*, 80(3), 813—821. Doi: 10.1016/j.jfoodeng.2006.07.010.
- Gunvig, A., Jacobsen, T., Tørngren, M. A. (2012). How to make safe, juicy and rose beef patties for the food service sector. *In Paper presented at the 58th International Congress of Meat Science and Technology*, 12—17.
- Kemp, R. M., North, M. F., Leath, S. R. (2009). Component heat capacities for lamb, beef and pork at elevated temperatures. *Journal of food engineering*, 92(3), 280—284. Doi: 10.1016/j.jfoodeng.2008.11.006.

Kondjoyan, A., Kohler, A., Realini, C. E., Portanguen, S., Kowalski, R., Clerjon, S., ... Debrauwer, L. (2014). Towards models for the prediction of beef meat quality during cooking. *Meat Science*, 97(3), 323—331. Doi: 10.1016/j.meatsci.2013.07.032.

Lepetit, J. (2007). A theoretical approach of the relationships between collagen content, collagen cross-links and meat tenderness. *Meat Science*, 76(1), 147—159. Doi: 10.1016/j.meatsci.2006.10.027.

Linton, R. H., Carter, W. H., Pierson, M. D., Hackney, C. R. (1995). Use of a modified Gompertz equation to model nonlinear survival curves for *Listeria monocytogenes* Scott A. *Journal of Food Protection*, 58(9), 946—954. Doi: 10.4315/0362-028X-58.9.946.

Oberli, M., Lan, A., Khodorova, N., Santé-Lhoutellier, V., Walker, F., Piedcoq, J., Gaudichon, C. (2016). Compared with raw bovine meat, boiling but not grilling, barbecuing, or roasting decreases protein digestibility without any major consequences for intestinal mucosa in rats, although the daily ingestion of bovine meat induces histologic modifications in the colon. *The Journal of nutrition*, 146(8), 1506—1513. Doi: 10.3945/jn.116.230839.

Roldán, M., Antequera, T., Martín, A., Mayoral, A. I., Ruiz, J. (2013). Effect of different temperature–time combinations on physicochemical, microbiological, textural and structural features of sous-vide cooked lamb loins. *Meat science*, 93(3), 572—578. Doi: 10.1016/j.meatsci.2012.11.014.

Salaseviciene, A., Vaiciulyte-Funk, L., Koscelkovskienė, I. (2014). *Impact of low temperature, prolonged time treatment and vacuum depth on the porcine muscle quality and safety*. In 9th Baltic Conference on Food Science and Technology “Food for Consumer Well-Being.

Smelt, J. P. P. M., Brul, S. (2014). Thermal inactivation of microorganisms. *Critical reviews in food science and nutrition*, 54(10), 1371-1385. Doi:10.1080/10408398.2011.637645.

Tornberg, E. V. A. (2005). Effects of heat on meat proteins—Implications on structure and quality of meat products. *Meat science*, 70(3), 493—508. Doi:10.1016/j.meatsci.2004.11.021.

Tornberg, E. (2013). Engineering processes in meat products and how they influence their biophysical properties. *Meat science*, 95(4), 871—878. Doi:10.1016/j.meatsci.2013.04.053.

Voutila, L., Ruusunen, M., Puolanne, E. (2008). Comparison of the thermal characteristics of connective tissue in loose structured and normal structured porcine *M. semimembranosus*. *Meat science*, 80(4), 1024—1030. Doi: 10.1016/j.meatsci.2008.04.021.