



Науковий вісник Львівського національного університету
ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького.

Серія: Ветеринарні науки

Scientific Messenger of Lviv National University
of Veterinary Medicine and Biotechnologies.

Series: Veterinary sciences

ISSN 2518–7554 print

ISSN 2518–1327 online

doi: 10.32718/nvlvet10303

<https://nvlvet.com.ua/index.php/journal>

UDC 619:616.98:664:696

Viruses in food products

O. S. Kalinina

Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv, Ukraine

Article info

Received 21.06.2021

Received in revised form

21.07.2021

Accepted 22.07.2021

Stepan Gzhytskyi National
University of Veterinary Medicine
and Biotechnologies Lviv,
Pekarska Str., 50, Lviv,
79010, Ukraine.
Tel.: +38-096-483-67-86
E-mail: kalininaos@ukr.net

Kalinina, O. S. (2021). Viruses in food products. Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary sciences, 23(103), 15–20. doi: 10.32718/nvlvet10303

Data on viral food contaminants that are actually or potentially capable of realizing the food route of infection are presented. The main sources of infection of food with viruses are named: human waste / faeces, contaminated food processing facilities, animals-carriers of zoonoanthropoic infections. The groups of viruses transmitted through food are characterized: 1) gastroenteritis pathogens – Sapporo and Norwalk viruses from the family Caliciviridae; Rotavirus A from the family Reoviridae; Mammastroviruses 1, 6, 8 and 9 from the family Astroviridae; Human mastadenovirus F from the family Adenoviridae; Aichivirus A from the family Picornaviridae; 2) Hepatovirus A from the family Picornaviridae and Orthohepevirus A from the family Hepeviridae (with replication in the liver); 3) viruses with replication in the human intestine, which after generalization of the infection affect the CNS – Enteroviruses B and C from the family Picornaviridae. The stability and survival time of viruses in the environment and food are shown. The main ways of transmission of viruses that are able to enter the human body through infected foods are considered. Influenza A (H1N1) virus has been identified as a possible contaminant in pork and chicken, which without heat treatment can pose a potential risk of human infection. The ability of classical and African swine fever pathogens to remain viable after industrial processing of meat or raw meat has been shown. Families of viruses whose zoopathogenic representatives can contaminate meat products (beef, pork, chicken) are named: Parvoviridae, Anelloviridae, Circoviridae, Polyomaviridae, Smacoviridae. To determine the possible latent infection of people with these viruses, it is necessary to test sera for the presence of specific antibodies. The detection of gyroviruses of the family Anelloviridae and huchismacoviruses of the family Smacoviridae in human faeces may be due to the consumption of infected chicken meat. Data on extraction and concentration methods and methods of virus detection in contaminated food products: PCR (reverse transcription and real-time), ELISA, ICA, electron microscopy, virus isolation in transplanted cell cultures with subsequent identification in serological reactions, NR, IFA, ELISA) or PCR.

Key words: viruses, food products, contamination, detection methods.

Віруси у харчових продуктах

O. С. Калініна

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького, м. Львів, Україна

Наведено дані про вірусні контамінанти харчових продуктів, які фактично або потенційно здатні до реалізації харчового шляху передачі інфекції. Названо основні джерела зараження вірусами харчових продуктів: відходи життєдіяльності людини/фекалії, контаміновані об'єкти обробки продуктів харчування, тварини-вірусоносії зооантропонозних інфекцій. Охарактеризовано зрули вірусів, що передаються через харчові продукти: 1) збудники гастроентеритів – віруси Саппоро і Норволк із родини Caliciviridae; ротавірус A з родини Reoviridae; мамастровіруси 1, 6, 8 і 9 з родини Astroviridae; мастаденоновірус людини F із родини Adenoviridae; айчівірус A з родини Picornaviridae; 2) гепатовірус A з родини Picornaviridae та ортогепевірус A з родини Hepeviridae (з реплікацією в печінці); 3) віруси з реплікацією в кишечнику людини, які після генералізації інфекції уражають ЦНС, – ентеровіруси B і C із родини Picornaviridae. Показано стійкість і строки виживання вірусів у навколишньому середовищі та хар-

чових продуктах. Розглянуто основні шляхи передачі вірусів, які здатні проникати в організм людини через інфіковані харчові продукти. Названо вірус грипу А (H1N1) як можливий контамінант свинини і курятини, що без термічної обробки можуть становити потенційну небезпеку інфікування людей. Показано здатність збудників класичної та африканської чуми свиней зберігати життєздатність після промислової обробки м'яса або м'ясної сировини. Названо родини вірусів, зоопатогенні представники яких можуть контамінувати м'ясні продукти (яловичину, свинину, курятину): *Parvoviridae*, *Anelloviridae*, *Circoviridae*, *Polyomaviridae*, *Ssacoviridae*. Для встановлення можливого латентного інфікування людей цими вірусами треба провести тестування сироваток крові на наявність специфічних антитіл. Виявлення у фекаліях людини гірвірусів із родини *Anelloviridae* і гачісмаковірусів із родини *Ssacoviridae* може бути зумовлено вживанням в їжу зараженого курячого м'яса. Наведено дані про способи екстракції й концентрування та методи детекції вірусів у контамінованих харчових продуктах: ПЛР (зі зворотною транскрипцією і в режимі реального часу), ІФА, ІХА, електронна мікроскопія, виділення вірусів у перецелюваних культурах клітин із подальшою ідентифікацією в серологічних реакціях (РН, РІФ, ІФА) або ПЛР.

Ключові слова: віруси, харчові продукти, контамінація, методи детекції.

Віруси є важливою причиною спалахів харчових інфекцій, частота яких значно зросла за останні десятиліття внаслідок швидкої глобалізації агропродовольчого ринку. Ймовірність передачі вірусів через продукти тваринного походження викликає значну стурбованість, оскільки тварини самі схильні до вірусних інфекцій і можлива передача збудників між різними видами свійських і диких тварин, що збільшує коло сприйнятливих хазяїв. Значна кількість вірусів, які переносяться свійськими чи дикими тваринами, можуть спричинювати зооантропонозні інфекції (Morse et al., 2012).

Харчові продукти відіграють істотну роль у поширенні багатьох вірусних інфекцій, зокрема гепатиту А, рота-, каліци-, астро- та ентеровірусних інфекцій. Є три основні джерела зараження вірусами продуктів харчування: 1) відходи життєдіяльності людини/фекалії; 2) контаміновані об'єкти обробки продуктів харчування; 3) тварини-вірусоносії зооантропонозних інфекцій (Kodeks Alimentarius, 2012; Skrotska et al., 2014).

Зараження вірусами свіжої продукції можливе через контаміновану воду (з метою зрошення чи промивання, під час застосування добрив та агрохімікатів), через інфільтрацію в ґрунт необроблених чи частково оброблених стічних вод, а також через повітря і контакт із персоналом, що працює з харчовими продуктами (Skrotska et al., 2014).

Віруси, які спричинюють харчові інфекції, потрапляють в організм через шлунково-кишковий тракт, виділяються з фекальними і/або блювотними масами та інфікують людину за перорального проникнення. В екскрементах інфікованих осіб міститься значна концентрація віріонів (понад $10^6/\text{г}$), так само як і в блювотних масах. Інфікувальна доза вірусів, що здатна спричинити захворювання, становить менше ніж $10^2/\text{г}$ (Kodeks Alimentarius, 2012). Значне поширення має безсимптомне інфікування людей і тривале вірусо-виділення, чим створюється ризик контамінації харчової продукції під час виробництва. На відміну від бактеріальних патогенів віруси не здатні репродукуватися поза організмом хазяїна, тому не зумовлюють погіршення органолептичних властивостей харчових продуктів, які беруть участь лише в трансмісії збудників (Kodeks Alimentarius, 2012; Skrotska et al., 2014).

Віруси з фекально-оральним механізмом передачі можуть упродовж кількох місяців зберігатися в харчових продуктах або об'єктах навколишнього середовища (у ґрунті, воді, осадженнях, на різних поверхнях, у двостулкових моллюсках). Більшість вірусів

харчового походження мають вищу, ніж бактерії, резистентність до широко застосовуваних способів інактивації (охолодження і заморожування, зниження рівня рН, теплова обробка, високий гідростатичний тиск, ультрафіолетове опромінення) (Kodeks Alimentarius, 2012; Voloshina & Skrockaja, 2014; Skrotska et al., 2014).

Залежно від симптомів захворювання віруси, що передаються через харчові продукти, поділяються на три групи: 1) збудники гастроентеритів – віруси Саппоро і Норволк із родини *Caliciviridae*; ротавірус А з родини *Reoviridae*; мамастровіруси 1, 6, 8 і 9 з родини *Astroviridae*; мастаденоновірус людини F із родини *Adenoviridae*; айчівірус А з родини *Picornaviridae*; 2) гепатовірус А з родини *Picornaviridae* та ортогепевірус А з родини *Hepeviridae* (з реплікацією в печінці); 3) віруси з реплікацією в кишечнику, які після генералізації інфекції уражають ЦНС, – ентеровіруси В і С із родини *Picornaviridae* (Kodeks Alimentarius, 2012; Rodríguez-Lázaro et al., 2012; L'vov, 2013; Voloshina & Skrockaja, 2014; Skrotska et al., 2014; Doan & Malysh, 2015; Efimochkina, 2017; Skybit-skiy et al., 2020).

Найбільшу стурбованість із точки зору безпеки продуктів харчування становлять вірус Норволк і гепатовірус А. Частка вірусних захворювань харчового походження становить 12–47 % для вірусу Норволк і близько 5 % для гепатовірусу А (Kodeks Alimentarius, 2012; Rodríguez-Lázaro et al., 2012).

Вірус Норволк об'єднує велику кількість раніше самостійних норволкподібних вірусів людини і тварин (L'vov, 2013). Він визнаний новим емерджентним збудником харчових інфекцій, який зумовлює більшу кількість спалахів захворювань, ніж усі інші відомі бактеріальні, вірусні та протозойні патогени разом узяті (Matthews et al., 2012). У зв'язку з високою контагіозністю, низькою інфікувальною дозою та стійкістю в навколишньому середовищі норовіруси класифікуються як потенційні біологічні агенти – об'єкти біотероризму групи Б (Efimochkina, 2017). Вірус Норволк спричинює високонтагіозну норовірусну інфекцію з клінічними симптомами, характерними для більшості кишкових захворювань, а саме: сильна блювота, нудота, діарея, спазми, озноб, міалгія і головний біль. Серед гострих кишкових інфекцій людини норовірусний гастроентерит за частотою посідає друге місце (14–17 %) після ротавірусної інфекції (60–73 %) (L'vov, 2013). Вірус передається насамперед фекально-оральним шляхом, а також кон-

тактно-побутовим шляхом (L'vov, 2013; Efimochkina, 2017; Gaythorpe et al., 2018). З фекаліями інфікованих осіб виділяється висока концентрація вірусу – 106–1010 віріонів/г (Kodeks Alimentarius, 2012), а інфікувальна доза дуже незначна – до 10 віріонів (Rodríguez-Lázaro et al., 2012; Trykhlіb, 2018). Спалахи норовірусної інфекції часто виникають внаслідок вживання інфікованої сирової їжі й готових продуктів, які контаміновані через контакт із персоналом підприємства, де готується їжа, або від випадкових вірусноносіїв. Іншими джерелами інфікування є питна вода, іригаційні системи поливання фруктів та овочів, а також заражені в акваторіях моллюски й інші морепродукти (Rodríguez-Lázaro et al., 2012; L'vov, 2013; Verhoef et al., 2013; Efimochkina, 2017). За інформацією Системи швидкого оповіщення про харчові продукти і корми (RASFF), у 2019 р. із країн ЄС надійшло 17 повідомлень про випадки виявлення вірусу Норволк у харчових продуктах, 8 з них – в устрицях із Франції (Haidei et al., 2021). Вірус залишається життєздатним упродовж кількох діб на шкірі, одязі та різних предметах, що контактують із вірусноносійми. Повітряно-крапельний шлях передавання збудника пов'язаний із наявністю вірусу в блювотних масах і відіграє суттєву роль у контамінації зовнішнього середовища, особливо в замкнутих колективах і приміщеннях (пасажирські судна, готелі, клініки, військові казарми, дитячі табори тощо) (Efimochkina, 2017; Gaythorpe et al., 2018). Вірус Норволк циркулює серед різних видів свійських і диких тварин (зокрема великої рогатої худоби, свиней, собак, котів, кажанів, гризунів), проте випадки інфікування людей від тварин є рідкісними і базуються виключно на серологічних даних (Villabruna et al., 2019).

Збудник гепатиту А – гепатовірус А, передається фекально-оральним шляхом через заражену воду, їжу, а також тактно-побутовим шляхом. Він стійкий у зовнішньому середовищі, зокрема, у водопровідній воді може виживати до 60 діб, у річковій воді – понад 6 тижнів, у ґрунтових водах – понад 8 тижнів, у морській воді – до 30 тижнів, у різних типах ґрунтів – 12 тижнів (Rodríguez-Lázaro et al., 2012). Вірус виділяється з фекаліями наприкінці інкубаційного періоду у великій кількості – 10^6 – 10^8 віріонів/г (L'vov, 2013; Efimochkina, 2017). Описано епідемічні спалахи гепатиту А за споживання заморожених ягід, а також устриць і морських моллюсків (L'vov, 2013).

Ортогепевірус А, який спричинює гепатит Е, передається в основному фекально-оральним шляхом і значно рідше – тактно-побутовим. Інфікування людини відбувається зазвичай через заражену питну воду, однак буває також зумовлено вживанням в їжу свинячої печінки, м'яса оленів, лосів і диких кабанів після недостатньої теплової обробки (Feagins et al., 2007; Kodeks Alimentarius, 2012; Hideyuki et al., 2012; Rodríguez-Lázaro et al., 2012; Efimochkina, 2017; Spahr et al., 2018).

Ротавірус А спричинює понад 90 % випадків гастроентеритів у дітей. Кількість віріонів у фекаліях сягає 10^{10} – 10^{12} /г, а інфікувальна доза вірусу низька – всього 10–100 віріонів (L'vov, 2013; Doan & Malysh, 2015).

Ротавірус А стійкий у зовнішньому середовищі: на різних об'єктах довкілля зберігає життєздатність 10–30 діб, у водопровідній воді – 60 діб (Doan & Malysh, 2015). Основні симптоми захворювання – нудота, блювання, діарея. Шляхи передачі збудника – фекально-оральний (через воду і харчові продукти) та тактно-побутовий. Основні харчові об'єкти, в яких виявляють ротавірус А, – це мідії, устриці, овочеві салати, ягоди і фрукти (Efimochkina, 2017). Істотне значення в передачі ротавірусу А мають молочні продукти (Doan & Malysh, 2015). Ротавірус А циркулює серед свійських і диких тварин, і його зоонозна передача відіграє суттєву роль в інтродукції нових штамів у людську популяцію (Rodríguez-Lázaro et al., 2012).

Мастаденоновірус F посідає друге за значенням місце (після ротавірусу А) серед збудників дитячих діарей. Частота виникнення аденовірусного гастроентериту коливається у різних країнах від 1,5 до 12 %. Основний шлях зараження – водний. Вірус потрапляє в організм людини під час купання в басейнах, із недостатньо очищеною питною водою, а також із контамінованими в акваторіях морепродуктами. Можливість трансмісії аденовірусів через харчові продукти встановлена у зв'язку із зараженням морепродуктів. Дослідження мідій та устриць в Іспанії показали високу частоту контамінації моллюсків аденовірусами – 47 % проб (поряд із гепатовірусом А – 24 % та ентеровірусами – 19 %) (Efimochkina, 2017). Це пов'язано зі значною стійкістю аденовірусів до несприятливих чинників зовнішнього середовища, що дає змогу їм місяцями зберігатися поза організмом хазяїна, зокрема в питній воді – 80–110 діб. За чисельністю і тривалістю виживання в поверхневих водах аденовіруси переважають ентеровіруси, і майже 38 % відібраних проб води контаміновані мастаденоновірусом F (Doan & Malysh, 2015). Оскільки інформації про аденовірусні харчові спалахи недостатньо, присутність аденовірусів у морепродуктах зазвичай вважається індикатором контамінації іншими кишковими вірусами (Gerba & Rodrigues, 2010; Efimochkina, 2017).

Астровірусна інфекція має убіквітарне поширення, зумовлюючи близько 10 % спорадичних діарейних захворювань, і нерідко протікає у вигляді епідемічних спалахів. Збудники – мамастровіруси 1, 6, 8 і 9 – мають високу стійкість до фізико-хімічних факторів, зокрема їх виявляють у 16,3 % зразків очищених стічних вод (Doan & Malysh, 2015). Ймовірно, загальноприйняті режими пастеризації харчової сировини повністю не інактивують мамастровіруси. Вони передаються фекально-оральним або тактно-побутовим шляхом, через контаміновані харчові продукти, в разі порушення правил особистої гігієни. Також можливе аерозольне інфікування їжі або посуду, інструментарію, обладнання за слинотечі та блювання. Вода також є важливим фактором передачі збудника інфекції (Efimochkina, 2017).

Вірус Саппоро, який спричинює саповірусну інфекцію, виявлений у фекаліях і блювотних масах, моллюсках, устрицях, річковій і стічній воді. Заражен-

ня відбувається фекально-оральним і контактно-побутовим шляхом. Зареєстровані коінфекції вірусу Саппоро з різними збудниками під час спалахів гострих гастроентеритів, пов'язаних із молюсками й устрицями (Trykhlіb, 2018; Tomoichiro et al., 2020).

Ентеровіруси мають повсюдне поширення і завдяки високій стійкості до фізико-хімічних факторів тривалий час залишаються життєздатними в об'єктах довкілля. У фекаліях і каналізаційних водах за 0 °С ентеровіруси зберігають інфекційну активність упродовж кількох місяців. Ентеровірус С (збудник поліомієліту) виживає в річній і водопровідній воді за 4 °С – 90 діб, за 20 °С – 40 діб, за 37 °С – 10 діб, а в замороженому вигляді (-20 °С і нижче) – кілька років. Ентеровіруси можуть тривалий час зберігатися в молочних і м'ясних продуктах, на хлібі, овочах, у молюсках тощо. Зокрема, ентеровіруси В і С зберігають інфекційну активність у молоці впродовж 10–15 діб, стерилізованому молоці – до 1 року, морозиві – 4–5 місяців, бринзі – до 3 місяців, м'ясному фарші за температури 2 °С – до 6 місяців, на хлібі – 3–15 діб. Ентеровірус С витримує тушкування, рожарювання, запікання і пропарювання устриць. Кип'ятіння крабів упродовж 8 хвилин інактивує ентеровіруси В і С. На поверхні овочевих культур (редису, томатів, салати, огірків) ентеровіруси можуть виживати за 6–10 °С понад 2 місяці (Skybitskyi et al., 2020). Ентеровіруси можуть зберігатися в яловичині за температури 23–24 °С упродовж 8 діб, причому на їхню інфекційність не впливає розмноження бактерій, які зумовлюють псування продукту (Voloshina & Skrockaja, 2014; Skrotska et al., 2014).

Природним джерелом накопичення ентеровірусів можуть бути молюски, що як біологічні фільтри здатні концентрувати в собі різні віруси. Влітку в організмі устриць строк виживання ентеровірусів становить тиждень, а взимку досягає 2 місяців. Встановлено, що устриці здатні концентрувати ентеровірус С навіть за незначного його вмісту у воді й бути фактором передачі інфекції. Особливу епідемічну небезпеку представляють ті молюски, які використовуються в їжу в сирому або недостатньо термічно обробленому вигляді (Skybitskyi et al., 2020).

Айчівірус А асоційований із понад 50 % спалахів гострих кишкових інфекцій, пов'язаних із вживанням морепродуктів. Окрім устриць, факторами передачі вірусу можуть бути овочі, ягоди, вода (Doan & Malysh, 2015).

До групи вірусних контамінантів харчових продуктів, окрім вищезгаданих вірусів, належить також вірус грипу А (H1N1) (вірусні штами птиці та свиней). За інформацією Центру контролю за захворюваністю США (CDC), вірус грипу А (H1N1) не передається через готові харчові продукти (зокрема виготовлені зі свинини) після термічної обробки із застосуванням традиційних способів приготування їжі. Вірус інактивується в разі досягнення температури в усіх частинах продукту не нижче 70 °С. Зараження людини вірусом грипу А через харчові продукти може відбуватися за контакту з аерозольно контамінованими поверхнями (столи, інвентар, посуд, обробні дошки тощо), а також

у разі вживання інфікованих контактним шляхом продуктів без достатньої термічної обробки. Аерозольні краплі містять високу концентрацію вірусу грипу А, а інфікувальна доза складає від десятків до кількох тисяч віріонів. Отже, м'ясо і продукти забою птиці та свиней, заражених вірусом грипу А, без термічної обробки можуть становити потенційну небезпеку інфікування як для людей професійної групи ризику (пов'язаної з виробництвом м'ясопродуктів), так і для споживачів (Efimochkina, 2017).

Харчові продукти можуть бути заражені зоопатогенними вірусами. Збудники класичної (пестівірус С) та африканської (АЧС) чуми свиней зберігають життєздатність навіть після промислової обробки м'яса або м'ясної сировини, одержаних із туш хворих тварин. Із зараженого м'яса були виготовлені пастеризована шинка, суха ковбаса пепероні і ковбаса типу саламі. Обидва віруси не знайдено в пастеризованій шинці, але вони були виявлені в шинці після засолу. Вірус АЧС виявлено у двох ковбасних продуктах після додавання інгредієнтів засолу і стартових культур, однак не через 30 діб ферментації ковбаси. Пестівірус С також зберігав життєздатність після внесення інгредієнтів для засолу і стартових культур та навіть через 22 доби ферментації м'яса (Voloshina & Skrockaja, 2014; Skrotska et al., 2014).

У м'ясних продуктах із магазинів Сан-Франциско (США) і супермаркетів Порту-Алегрі (південна Бразилія) виявлено методом метагеномного секвенування нуклеотидні послідовності десятків вірусів із різних таксономічних груп, зокрема: в яловичині – з родин *Parvoviridae*, *Anelloviridae*, *Circoviridae*, *Polyomaviridae*, у свинині – з родин *Parvoviridae*, *Anelloviridae*, *Circoviridae*, *Genomoviridae*, в курятині – з родин *Anelloviridae*, *Smacoviridae* (Zhang et al., 2014; Cibulski et al., 2021). Зокрема, торкутенівіруси свиней із родини *Anelloviridae* часто виявляються в організмі клінічно здорових свиней і диких кабанів у цілому світі (Teixeira et al., 2013; Ramos et al., 2018). Їхня роль в інфекційній патології свиней патології остаточно не з'ясована, хоча за деякими даними вони, ймовірно, спричинюють синдром послявідлучного мультисистемного виснаження та синдром дерматиту і нефропатії свиней (L'vov, 2013). Хоча жоден із виявлених у м'ясних продуктах вірусів не був патогенним для людей, проте результати досліджень показують, що вони неминуче потрапляють в організм людини з їжею. Для встановлення можливого латентного інфікування людей вищезгаданими вірусами треба провести тестування сироваток крові на наявність специфічних антитіл. Виявлення у фекаліях людини гіровірусів із родини *Anelloviridae* і гачісмаковірусів із родини *Smacoviridae* може бути зумовлено вживанням в їжу зараженого курячого м'яса (Varsani & Krupovic, 2018; Krupovic et al., 2020).

Перевірка продуктів харчування на наявність вірусних контамінантів є складною процедурою і базується насамперед на виявленні вірусних нуклеїнових кислот, оскільки багато детектованих вірусів важко культивуються *in vitro*. Для виявлення вірусних РНК/ДНК у харчових продуктах розроблено чутливі й специфічні

методи проведення ПЛР (зі зворотною транскрипцією і в режимі реального часу). Однак ПЛР не дає змогу відрізнити інфекційні й неінфекційні віріони. Тому результати ПЛР варіативні залежно від харчового продукту, поширення вірусу по харчовій матриці й наявності інгібіторів ПЛР. Окрім того, існує певний ступінь невизначеності щодо кореляції порогових значень вмісту РНК/ДНК із рівнем безпеки харчового продукту, оскільки молекулярні технології дають змогу визначити наявність у досліджуваній пробі навіть однієї копії вірусного геному (Kodeks Alimentarius, 2012; Rodríguez-Lázaro et al., 2012).

Для оцінки харчових продуктів на контамінацію потенційно патогенними для людини вірусами розроблено експрес-методи детекції вірусних антигенів, зокрема ІФА та ІХА. Інколи використовують електронну мікроскопію для виявлення віріонів вірусів (Efimochkina, 2017; Skybitskyi et al., 2020).

Більшість методів для індикації вірусів харчового походження розроблено з метою тестування біоматеріалів від хворих людей або тварин (ректальних проб, носоглоткових змивів, аспіратів) (Liu et al., 2012; Jiang et al., 2014; Efimochkina, 2017). Ефективність існуючих методів детекції вірусних контамінантів безпосередньо в харчових продуктах залежить від підбору способів екстракції й концентрування вірусів із досліджуваних зразків, без яких виявлення збудника через невисокий вихідний вміст може бути складним або навіть неможливим (Meleg & Jakab, 2010). Найчастіше використовують такі методи екстракції вірусів із контамінованих харчових продуктів і способи концентрування: гідроекстракція, ультрацентрифугування, ультрафільтрація, адсорбція на мембранних фільтрах, осадження (преципітація) поліетиленгліколем (ПЕГ), екстракція хлороформом з осадженням ПЕГ (Efimochkina, 2017).

Важливим критерієм придатності різних способів екстракції й концентрування вірусів із харчових продуктів є їхня сумісність із вимогами молекулярно-генетичних та імунологічних методів, що використовуються для індикації й ідентифікації вірусів, а саме: мінімальна кількість етапів обробки зразків хімічними реагентами або органічними розчинниками, нейтральний рівень рН, можливість застосування імуномагнітної сепарації, збереження антигенних властивостей і нуклеїнової кислоти вірусу (Efimochkina, 2017).

Вірусні концентрати після деконтамінації використовують для ізоляції вірусів у культурах клітин із подальшою ідентифікацією в серологічних реакціях або у ПЛР. Зараження культур клітин є ефективним для накопичення багатьох вірусів харчового походження в разі дослідження як клінічних зразків, так і інших біологічних об'єктів, у тому числі харчових продуктів, води та змивів з обладнання, інвентарю і рук обслуговувального персоналу. Вірусологічне дослідження деяких харчових продуктів (зокрема м'ясопродуктів) у культурі клітин має обмеження внаслідок токсичної дії низки інгредієнтів, що входять до їхнього складу (Efimochkina, 2017). Для виділення вірусів використовують перещеплювані клітинні лінії HeLa, Hep-2, Caco2, PLC/PRF/5, MA104, MDBK, PK-15, KB, L-41,

Vero, RD, L20B, MA-104, FRhK-4, FRhK-6, T84 (залежно від виду підозрюваного вірусу) (Efimochkina, 2017; Skybitskyi et al., 2020). Важко культивуються *in vitro* ротавірус А, гепатовірус А і мамастровіруси 1, 6, 8, 9. Поки що не знайдені чутливі культури клітин для ортогепевірусу А та вірусів Саппоро і Норволк. Для ідентифікації ізолятів використовують РН (за пригніченням ЦПД або бляшок), а в разі відсутності інфекційного ефекту – РІФ, ІФА, а також ПЛР. Недоліками ізоляції вірусів у культурах клітин є їхня тривалість і трудомісткість (Skybitskyi et al., 2020).

Впровадження комплексних методик детекції вірусів харчового походження, створення на їхній базі системи виробничого контролю може значно підвищити ефективність розслідування спалахів харчових вірусних інфекцій, знизити ризик перехресної контамінації на підприємствах харчової промисловості, мінімізувати ймовірність використання у виробничому процесі зараженої вірусами сировини і відповідно підвищити безпеку готової харчової продукції (Kodeks Alimentarius, 2012; Efimochkina, 2017).

Висновки

В умовах постійного зростання обсягів виробництва харчових продуктів можлива вірусна контамінація їх на всіх етапах – від виробництва до споживання, що може спричинити різні захворювання (зокрема гострі кишкові інфекції, гепатити А і Е). Тому актуальним є розробка і вдосконалення методів індикації та ідентифікації вірусів у харчових продуктах, а також способів їхньої інактивації без зниження органолептичних властивостей і товарного вигляду продукції.

References

- Cibulski, S., de Lima, D. A., Santos, H. F. D., Teixeira, T. F., Tochetto, C., Mayer, F. Q., & Roehle, P. M. (2021). A plate of viruses: Viral metagenomics of supermarket chicken, pork and beef from Brazil. *Virology*, 552, 1–9. doi: 10.1016/j.virol.2020.09.005.
- Doan, S. I., & Malysh, N. H. (2015). Hostri kyshkovii infektsii virusnoi etiologii: epidemiologichni aspekty. *Ukrainskyi medychnyi chasopys*, 3(107), 32–36. URL: <https://www.umj.com.ua/article/87141/gostrikishkovii-infektsii-virusnoi-etologii-epidemiologichniaspekti> (in Ukrainian).
- Efimochkina, N. R. (2017). Virusnye kontaminanty pishhevykh produktov i metody ih obnaruzheniya. *Gigiena i sanitariya*, 96(6), 576–584. doi: 10.18821/0016-9900-2017-96-6-576-584.
- Feagins, A. R., Opriessnig, T., Guenette, D. K., Halbur, P. G., Meng, X.-J. (2007). Detection and characterization of infectious Hepatitis E virus from commercial pig livers sold in local grocery stores in the USA. *J. Gen. Virol.*, 88 (Pt. 3), 912–917. doi: 10.1099/vir.0.82613-0.
- Gaythorpe, K. A. M., Trotter, C. L., Lopman, B., Steele, M., & Conlan, A. J. K. (2018). Norovirus transmission dynamics: a modelling review. *Epidemiol Infect.*, 146(2), 147–158. doi: 10.1017/S0950268817002692.

- Gerba, C. P., & Rodrigues, R. A. (2010). Adenoviruses. In: Dongyou L., ed. *Molecular Detection of Foodborne Pathogen*. USA: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2010, 23–32.
- Haidei, O. S., Shuliak, S. V., & Mezhenskyi, A. O. (2021). Monitorynh norovirusu v ustrytsiakh ta yistivnykh moluskakh v Ukraini za period 2019–2020 rr. The XIII International Science Conference “Development of modern sci-ence: theory, methodology, practice”, March 18–19, 2021, Madrid, Spain. R., 214–216. doi: 10.46299/ISG.2021.I.XIII (in Ukrainian).
- Hideyuki, T. et al. (2012). A 549 and PLC/PRF/5 cells can support the efficient propagation of swine and wild boar hepatitis E virus (HEV) strains: demonstration of HEV infectivity of porcine liver sold as food. *Archives of Virology*, 157(2), 235–246. doi: 10.1007/s00705-011-1153-2.
- Jiang, Y., Fang, L., Shi, X., et al. (2014). Simultaneous Detection of Five Enteric Viruses Associated with Gastroenteritis by Use of a PCR Assay: a Single Real-Time Multiplex Reaction and Its Clinical Application. *J Clin Microbiol.*, 52(4), 1266–1268. doi: 10.1128/JCM.00245-14.
- Kamar, N., Dalton, H. R., Abravanel, F., & Izopet, J. (2014). Hepatitis E virus infection. *Clin. Microbiol. Rev.*, 27(1), 116–138. doi: 10.1128/CMR.00057-13.
- Kodeks Alimentarius (2012). Rukovodstvo po primeneni-ju obshhih principov pishhevoj gigieny v bor'be s nali-chieh virusov v produktah pitaniya. CAC/GL 79-2012, 17 (in Russian).
- Krupovic, M., Varsani, A., Kazlauskas, D. et al. (2020). Cressnaviricota: a virus phylum unifying 7 families of Rep-encoding viruses with single-stranded, circular DNA genomes. *J. Virol.* 94(12), e00582-20. doi: 10.1128/jvi.00582-20.
- Liu, Y., Xu, Z.-q., Zhang, Q. et al. (2012). Simultaneous Detection of Seven Enteric Viruses Associated with Acute Gastroenteritis by a Multiplexed Luminex-Based Assay. *J Clin Microbiol*, 50(7), 2384–2389. doi: 10.1128/JCM.06790-11.
- L'vov, D. K. (2013). Virusnye infekcii zheludochnok-ischechnogo trakta. Rukovodstvo po virusologii : Virusy i virusnye infekcii cheloveka i zivotnyh. Pod red. akademika RAN D. K. L'vova. Moskva: OOO “Izd-vo “Medicinskoe informacionnoe agentstvo”, 500–530 (in Russian).
- Matthews, J. E., Dickey, B. W., Miller, R. D. et al. (2012). The epidemiology of published norovirus outbreaks: a systematic review of risk factors associated with attack rate and genogroup. *Epidemiol Infect.*, 140(7), 1161–1172. doi: 10.1017/S0950268812000234.
- Meleg, E., & Jakab, F. (2010). Asrtoviruses. In: Dongyou L., ed. *Molecular Detection of Foodborne Pathogens*. USA: CRC Press, Taylor & Francis Group, 33–48.
- Morse, S. S., Mazet, J. A. K., Woolhouse, M. et al. (2012). Prediction and prevention of the next pandemic zoonosis. *Lancet*, 380, 1956–1965. doi: 10.1016/S0140-6736(12)61684-5.
- Ramos, N., Mirazo, S., & Botto, G. (2018). High frequency and extensive genetic heterogeneity of TTSuV1 and TTSuVk2a in PCV2- infected and non-infected domestic pigs and wild boars from Uruguay. *Vet. Microbiol.*, 224, 78–87. doi: 10.1016/j.vetmic.2018.08.029.
- Rodríguez-Lázaro, D., Cook, N., Ruggeri, F. M. et al. (2012). Virus hazards from food, water and other contaminated environments. *FEMS Microbiology Reviews*, 34(4), 786–814. doi: 10.1111/j.1574-6976.2011.00306.x.
- Skrotska, O. I., Voloshyna, I. M., & Kistenjuk, T. S. (2014). Virusy u produktakh kharchuvannia. *Kharchova promyslo-vist*, 16, 56–60. URL: <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/24171> (in Russian).
- Skybitskiy, V. H., Kalinina, O. S., & Kozlovska, H. V. (2020). Rozdil 4. Metodolohiia sanitarnovirusolohichnoho dos-lidzhennia ob'ektiv dovkillia I kharchovykh produktiv. *Veterynarno-sanitarna virusolohiia: pidruchnyk*. Kherson: OLDI-PLIuS, 234–266 (in Russian).
- Spahr, C., Knaut-Witzens, T., Vahlenkamp, T., Ulrich, R. G., & Johne, R. (2018). Hepatitis E virus and related viruses in wild, domestic and zoo animals: A review. *Zoonoses Public Health*, 65(1), 11–29. doi: 10.1111/zph.12405.
- Teixeira, T. F., Dezen, D., Cibulski, S. P. et al. (2013). Torque teno sus virus (TTSuV) in tissues of pigs and its relation with the occurrence of postweaning multi-systemic wasting syndrome. *Virus Gene.*, 47, 276–281. doi: 10.1007/s11262-013-0940-0.
- Tomoichiro, O., Wang, Q., Katayama, K., Saif, L. J. (2020). Compre-hensive Review of Human Sapoviruses. *Clin Microbiol Rev*, 28(1), 32–53. doi: 10.1128/CMR.00011-14.
- Trykhlіb, V. I. (2018). Spalaky hostrykh kyshkovykh infektsii virusnoi etiologii v krainakh svitu (chastyna I). *Ak-tualnaâ Infektologіâ*. 6(5), 217–226. doi: 10.22141/2312-413x.6.5.2018.146769 (in Ukrainian).
- Varsani, A., & Krupovic, M. (2018). Smacoviridae: a new family of animal-associated single-stranded DNA viruses. *Arch. Virol.*, 163, 2005–2015. doi: 10.1007/s00705-018-3820-z.
- Verhoef, L., Gutierrez, G. J., Koopmans, M., & Boxman, I. (2013). Reported behavior, knowledge and awareness toward the potential for norovirus transmission by food handlers in Dutch catering companies and institutional settings in relation to the prevalence of norovirus. *Food Control*, 34(2), 420–427. doi: 10.1016/j.foodcont.2013.05.015.
- Villabruna, N., Koopmans, M. P. G., & de Graaf, M. (2019). Animals as reservoir for human norovirus. *Viruses*, 11(5), 478. doi: 10.3390/v11050478.
- Voloshina, I. N., & Skrockaja, O. I. (2014). Pishhevye produkty, kak istochnik virusnyh infekcij. *Zhivye i bioko-snye sistemy*, 9. URL: <https://jbks.ru/archive/issue-9/article-13> (in Russian).
- Zhang, W. L., Li, L., Deng, X., Kapusinszky, B., & Delwart, E. (2014). What is for dinner? Viral metagenomics of US store bought beef, pork, and chicken. *Virology*, 468–470, 303–310. doi: 10.1016/j.virol.2014.08.025.