



Антимикробна резистентност във веригата на ферментиралите храни: рискът от *Enterococcus* като възникващ патоген в сирената от сурово МЛЯКО

Резюме

Ферментиралите храни са важна част от човешкото хранене и традиционната кулинарна култура в много страни, включително България. Те са известни със своите хранителни и функционални ползи, свързани с активността на млечнокиселите бактерии и други микроорганизми, участващи във ферментацията. През последните години обаче нараства интересът към ролята на тези микробни общности като възможен резервоар на гени за антимикробна (вкл. антибиотична) устойчивост/резистентност (ARGs).

Настоящият анализ разглежда връзката между ферментиралите храни и антимикробната резистентност, като използва като отправна точка обзорната научна публикация на Chaves и съавт. (2024), посветена на риска от разпространение на гени за резистентност при сирена от сурово мляко и ролята на бактерии от род *Enterococcus*. В статията се анализират основните механизми, чрез които резистентните бактерии могат да се появят и разпространяват във ферментиралите продукти – включително чрез хоризонтален генен трансфер, образуване на биофилми и недостатъчен контрол на хигиенните практики по време на производството.

Разгледани са също подобни наблюдения при други ферментирани храни, както и различията между различни групи бактерии, участващи във ферментацията, като *Lactobacillus* и *Enterococcus*. Специално внимание е отделено на българския контекст и на традиционните млечни продукти като сиренето и киселото мляко.

Анализът показва, че ферментиралите храни представляват сложни микробни екосистеми, които могат едновременно да бъдат потенциален резервоар на гени за резистентност и естествена бариера срещу развитието на патогенни микроорганизми. Това подчертава необходимостта от балансиран подход, който съчетава традиционните технологии с научно обоснован контрол върху безопасността на храните.

Ключови думи: гени за антимикробна резистентност, кръстосано замърсяване, безопасност на храните, хранителна верига, млечнокисели бактерии, сирена от сурово мляко

1. Въведение

Прекомерната употреба на антибиотици в млечното говедовъдство може да допринесе за появата и разпространението на антибиотично резистентни микроорганизми в хранителната верига, особено в предприятията за преработка на сурово мляко. По този начин млечната хранителна система може да се превърне в потенциален канал за предаване на антибиотично

резистентни бактерии между животните и хората, особено чрез продукти от сурово мляко като традиционните ферментирани сирена [1].

През последните години изследванията върху патогените, предавани чрез храната, се разшириха отвъд класическите фактори на вирулентност и започнаха да включват и анализа на гени за антиминобна резистентност, носени както от патогенни, така и от коменсални бактерии, присъстващи в храните [2]. Наличието на такива гени в хранителни микроорганизми поражда сериозни опасения относно ролята на храните като потенциален резервоар за разпространение на резистентност.

Този риск е особено значим, когато такива бактерии могат да се превърнат в условно патогенни микроорганизми или когато гените за резистентност се прехвърлят към патогенни бактерии. В подобни случаи ефективността на антибиотиците, използвани за лечение на обичайни инфекции, може да бъде сериозно компрометирана.

В същото време ферментиралите храни са широко признати като ценен източник на функционални съединения, които имат важна роля за човешкото здраве и хранене. Те се свързват с редица положителни ефекти – намаляване на риска от сърдечносъдови заболявания, подобряване на храносмилането, подпомагане на имунната система и контрол на телесното тегло [6,9]. Множество изследвания идентифицират биологично активни пептиди и микробни метаболити във ферментиралите храни, което допълнително подкрепя връзката между тези продукти и техните здравословни ефекти.

Ферментиралите млечни продукти представляват и ефективна система за доставяне на пробиотични бактерии, които подпомагат баланса на чревната микробиота [6].

Сред ферментиралите млечни продукти сиренето заема особено място. В производството му участват различни млечнокисели бактерии, използвани като стартерни култури, включително представители на родовете *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Enterococcus*, *Bifidobacterium* и *Leuconostoc*. Сред тях, бактерии от род *Enterococcus* често се откриват в сирената и играят важна роля по време на процесите на ферментация и зреене [3].

Тези бактерии допринасят значително за формирането на специфичния вкус, аромат и текстура на много традиционни занаятчийски сирена. Въпреки технологичната им роля, тяхното присъствие предизвиква научни дискусии, тъй като някои видове като *Enterococcus faecium* и *Enterococcus faecalis* могат да притежават фактори на вирулентност и да служат като резервоар на гени за антиминобна резистентност [3].

Настоящият обзор има за цел да анализира потенциалния риск от предаване на гени за антиминобна резистентност по веригата на производство на сирене. Този въпрос е особено актуален както заради значението на сирената в човешкото хранене, така и заради нарастващия интерес към ферментиралите храни. Като отправна точка се използва обзорното изследване на Chaves и съавт. (2024), което разглежда ролята на *Enterococcus* във ферментацията на сирена от сурово мляко и възможните механизми за разпространение на гени за антиминобна резистентност в тази хранителна система [1].

2. Ферментиралите храни като микробна екосистема

Ферментиралите храни са сред най-старите технологии за преработка и съхранение на храни. Те включват разнообразни продукти – млечни (сирена, кисело мляко, кефир), месни (ферментирани колбаси), растителни (кисело зеле, кимчи, ферментирани маслини) и различни ферментирани напитки. Общото между тях е, че се получават чрез действието на сложни

микробни общности, съставени основно от млечнокисели бактерии, дрожди и други микроорганизми.

По време на ферментацията тези микроорганизми разграждат захари, белтъци и други хранителни компоненти, което води до образуване на органични киселини, ароматни съединения и други метаболити. Тези процеси не само придават характерния вкус и текстура на ферментиралите продукти, но и създават условия, които могат да ограничат развитието на патогенни микроорганизми.

Същевременно ферментиралите храни представляват **динамични микробни екосистеми**, в които съжителстват големи популации от различни бактериални видове. В такава среда е възможен обмен на генетична информация между микроорганизмите, включително на гени за антимикуробна резистентност. Поради тази причина през последните години учените все по-често разглеждат ферментиралите продукти като потенциален резервоар на такива гени.

Изследванията показват, че бактерии, изолирани от различни ферментирани храни, могат да носят гени за резистентност към антибиотици като тетрациклин, еритромицин и аминогликозиди. В повечето случаи тези бактерии не са патогенни, но могат да участват в обмен на генетичен материал с други микроорганизми. Това поставя въпроса за ролята на ферментиралите храни в по-широкия контекст на антимикуробната резистентност [4].

3. Сирената като моделна система

Сред ферментиралите храни сирената представляват особено интересен модел за изследване на микробните взаимодействия и потенциалното разпространение на гени за антимикуробна резистентност. Производството на сирене включва редица технологични етапи – от добива и обработката на млякото до ферментацията и зреенето на крайния продукт – които създават условия за развитие на разнообразни микробни общности.

Особено внимание се обръща на сирената, произведени от сурово мляко. За разлика от пастеризираното мляко, суровото съдържа богата естествена микробиота, включваща както полезни млечнокисели бактерии, така и потенциално патогенни микроорганизми. Това микробно разнообразие създава условия за сложни взаимодействия между различните бактерии по време на ферментацията и зреенето на сиренето.

Именно в този контекст обзорното изследване на Chaves и съавт. (2024) разглежда риска от разпространение на гени за антимикуробна резистентност във веригата на производство на сирене. Авторите анализират различни етапи от производствения процес – от управлението на млечните ферми и употребата на антибиотици в животновъдството до хигиенните практики в предприятията за производство на сирене.

Проучването показва, че микробното разнообразие в суровото мляко и условията на ферментация могат да благоприятстват обмена на генетична информация между бактерии. Така сирената, особено тези от сурово мляко, се превръщат в подходяща система за изследване на механизмите, чрез които гените за антимикуробна резистентност могат да се разпространяват в хранителната верига [1].

4. *Enterococcus* – полезен микроорганизъм или риск

Сред бактериите, които често се откриват в сирената, особено внимание привличат микроорганизмите от род *Enterococcus*, включително видовете *Enterococcus faecium* и *Enterococcus faecalis*. Тези бактерии могат да бъдат част от естествената микробиота на

суровото мляко и често участват в процесите на ферментация и зреене на различни традиционни сирена [3].

От технологична гледна точка *Enterococcus* може да допринася за развитието на характерния вкус, аромат и текстура на сиренето. Чрез ензимна активност тези бактерии разграждат млечните белтъци и мазнини, което води до образуване на различни ароматни съединения. В някои традиционни сирена присъствието им се свързва с типичния органолептичен профил на продукта [3].

В същото време *Enterococcus* заема особено място в микробиологията, тъй като може да действа и като **условно патогенен микроорганизъм**. Тези бактерии са известни със способността си да придобиват и пренасят гени за антимикробна резистентност чрез мобилни генетични елементи като плазмиди и транспозони [3].

Тази генетична „гъвкавост“ позволява на *Enterococcus* да участва в обмена на гени между различни бактерии, което увеличава риска от появата на мултирезистентни щамове. Поради това тези микроорганизми се разглеждат като потенциален резервоар и посредник за разпространение на гени за антимикробна резистентност в хранителната верига [3].

5. Подобни наблюдения при други ферментирани храни

Макар че значителна част от изследванията върху антимикробната резистентност във ферментиралите храни са фокусирани върху млечните продукти, подобни наблюдения са направени и при други ферментирани храни. Това показва, че явлението не е ограничено до конкретен продукт, а е свързано с особеностите на самия процес на ферментация и на микробните общности, които го осъществяват.

Кимчи

Кимчи – традиционен корейски ферментирал зеленчуков продукт – представлява сложна микробна система, доминирана от млечнокисели бактерии, основно от родовете *Lactobacillus*, *Leuconostoc* и *Weissella*. Изследванията на микробиотата на кимчи показват, че някои от тези бактерии могат да носят гени за антимикробна резистентност, включително **tetM** и **ermB**, свързани съответно с резистентност към тетрациклин и еритромицин [4].

Макар тези бактерии обикновено да не са патогенни, те могат да действат като **резервоар на гени за резистентност**, които при определени условия могат да бъдат прехвърляни към други микроорганизми чрез механизми на хоризонтален генен трансфер. Това показва, че микробните общности във ферментиралите зеленчуци също могат да участват в по-широката екология на антимикробната резистентност.

Кисело мляко

Наличието на гени за антимикробна резистентност е установено и при бактерии, участващи във ферментацията на киселото мляко. Основните микроорганизми в този продукт – *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* и *Streptococcus thermophilus* – се считат за безопасни и са широко използвани като стартерни култури в хранителната индустрия [5].

Въпреки това отделни изследвания показват, че при някои изолати от ферментирани млечни продукти могат да се открият гени за резистентност към антибиотици като тетрациклин, стрептомицин или ванкомицин [5]. В повечето случаи тези бактерии не представляват директен риск за здравето на потребителите, но могат да участват в обмен на генетична информация с други микроорганизми.

Тези наблюдения показват, че ферментиралите храни като цяло представляват **сложни микробни екосистеми**, в които съществува потенциал както за обмен на гени за резистентност, така и за взаимодействие между различни бактериални видове.

6. Парадоксът *Lactobacillus* и *Enterococcus*

Интересен аспект на микробиологията на ферментиралите храни е контрастът между различни групи бактерии, които участват във ферментацията. Добър пример за това е сравнението между бактериите от род *Lactobacillus* и тези от род *Enterococcus*.

Бактериите от род *Lactobacillus*, включително *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, са сред най-широко използваните микроорганизми във ферментацията на храни. Те участват в производството на кисело мляко, сирена, ферментирани зеленчуци и редица други продукти. В хранителната микробиология тези бактерии обикновено се считат за безопасни и са включени в групата микроорганизми, които са общопризнати като безопасни [2,6].

Една от причините за това е, че много видове *Lactobacillus* са силно адаптирани към определени хранителни среди и рядко се свързват с инфекции при хора. Освен това те сравнително рядко притежават мобилни генетични елементи, които улесняват обмена на гени между различни бактерии [2].

За разлика от тях бактерии от род *Enterococcus* заемат по-особено място в микробиологията. Те могат да се срещат както в храни, така и в човешкия и животинския организъм, включително като част от нормалната чревна микробиота. В същото време някои видове от този род могат да действат като **условно патогенни микроорганизми** [2].

Enterococcus са известни със способността си да придобиват и пренасят мобилни генетични елементи като плазмиди и транспозони. Чрез тях могат да се разпространяват гени за антибиотична резистентност, както и фактори на вирулентност. Поради тази причина тези бактерии се разглеждат като потенциален посредник в обмена на гени между различни микробни популации [2].

Този контраст между сравнително „стабилните“ млечнокисели бактерии като *Lactobacillus* и по-генетично „гъвкавите“ бактерии като *Enterococcus* показва, че не всички микроорганизми във ферментиралите храни имат еднаква роля в динамиката на антимикробната резистентност [2].

7. Българският контекст

Сирене от сурово мляко

В България производството и консумацията на ферментирани млечни продукти имат дълбоки исторически и културни традиции. Сред тях особено място заема бялото саламурено сирене, което е един от най-разпознаваемите продукти на българската кухня.

Производството на сирене от сурово (непастьоризирано) мляко е възможно и в България, но подлежи на определени изисквания и контрол съгласно европейското и националното законодателство. При този тип производство млякото не преминава през пастьоризация, което означава, че естествената микробиота на млякото се запазва и участва в процесите на ферментация и зреене на сиренето.

Суровото мляко може да съдържа разнообразни микроорганизми, включително млечнокисели бактерии, които играят важна роля във ферментацията, но също така и потенциално патогенни бактерии. Поради тази причина производството на сирена от сурово

мляко изисква стриктно спазване на хигиенните изисквания по време на доене, съхранение и преработка на млякото.

В България производството на сирена от сурово мляко се среща най-често в малки ферми и фермерски мандри, където се използват традиционни технологии. Тези продукти често се възприемат от потребителите като по-естествени и по-близки до традиционните методи на производство. В същото време именно богатото микробно разнообразие на суровото мляко създава условия за сложни микробни взаимодействия по време на ферментацията.

Това разнообразие е едновременно източник на характерния вкус и аромат на много традиционни сирена, но същевременно може да създаде условия за обмен на генетична информация между различни бактерии, включително на гени за антимикуробна резистентност. Поради тази причина сирената от сурово мляко често се използват като моделна система за изследване на микробните взаимодействия във ферментиралите храни.

Кисело мляко

За разлика от сирената, българското кисело мляко почти винаги се произвежда от пастьоризирано мляко. Термичната обработка на млякото има за цел да унищожи нежеланите микроорганизми и да създаде контролирана среда за ферментацията.

След пастьоризацията към млякото се добавят специфични стартерни култури – *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* и *Streptococcus thermophilus*. Тези бактерии осъществяват ферментацията чрез разграждане на лактозата и образуване на млечна киселина, което води до понижаване на рН и коагулация на млечните белтъци.

Контролираният характер на този процес значително намалява микробното разнообразие в сравнение със сирената от сурово мляко. Поради това киселото мляко обикновено се счита за по-стабилна и предвидима микробна система.

В същото време киселото мляко остава важен пример за традиционна ферментирала храна, в която млечнокиселите бактерии играят ключова роля както за технологичните характеристики на продукта, така и за потенциалните му ползи за човешкото здраве.

8. Ферментиралите храни – риск или част от решението

Нарастващият научен интерес към ролята на ферментиралите храни в разпространението на гени за антимикуробна резистентност показва, че тези продукти трябва да се разглеждат в по-широк контекст. От една страна, ферментиралите храни представляват сложни микробни екосистеми, в които могат да съществуват бактерии, носещи гени за резистентност. Плътното съжителство на различни микроорганизми по време на ферментацията създава условия за обмен на генетична информация чрез механизми като хоризонтален генен трансфер.

От друга страна, самият процес на ферментация създава условия, които могат да ограничат развитието на патогенни бактерии. Млечнокиселите бактерии, които доминират в много ферментирали продукти, произвеждат органични киселини, бактериоцини и други антимикуробни съединения. Тези вещества могат да потискат развитието на микроорганизми като *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* и *Staphylococcus aureus* [7,8].

Освен това ферментиралите храни могат да играят важна роля за поддържането на баланса на чревната микробиота. Някои от бактериите, съдържащи се в тях, могат да действат като пробиотици и да подпомагат естествените защитни механизми на организма срещу патогенни микроорганизми [9].

Тази двойственост показва, че ферментиралите храни не трябва да се разглеждат еднозначно като източник на риск. По-скоро те представляват сложни микробни системи, в които взаимодействията между различните бактерии могат както да улесняват, така и да ограничават разпространението на гени за антиминокробна резистентност. Поради това съвременният научен подход е насочен към по-добро разбиране на тези микробни взаимодействия и към разработване на технологии, които съчетават традиционните ферментационни практики със съвременните принципи на безопасност на храните.

9. Неподозирана опасност зад „връщането към домашното“

През последните години се наблюдава ясно изразена тенденция към връщане към „домашно приготвени“ и „традиционни“ храни. Това се дължи на недоверието към индустриалните храни, търсенето на по-естествени продукти и стремежа към по-устойчив начин на живот.

Това явление има редица положителни аспекти – запазване на традициите, по-кратка хранителна верига и по-малко технологична обработка. В същото време обаче тя може да крие и **подценявани рискове**, особено когато става дума за ферментирани продукти от сурово мляко.

Без подходящи знания за микробиологията на ферментацията, контрол на температурата, хигиената и качеството на суровините, домашното производство може да създаде условия за:

- развитие на патогенни микроорганизми
- размножаване на бактерии, носещи гени за антиминокробна резистентност
- пренос на тези гени между различни бактериални видове

Това е особено вероятно при използване на сурово мляко, което съдържа богата и разнообразна микробиота.

Проблемът не е нито в традиционните храни, нито в индустриалното производство само по себе си. Рискът възниква най-вече, когато се стига до крайности – например когато „естественото“ се възприема автоматично като безопасно.

Исторически погледнато, традиционните технологии са се развивали постепенно и са били придружени от специфични практики, които ограничават микробиологичните рискове. В съвременните условия обаче много от тези знания се губят, а домашното производство често се извършва без достатъчно разбиране на микробиологичните процеси.

Поради това балансът между традиция и научно знание е ключов. Ферментиралите храни могат да бъдат както ценна част от здравословното хранене, така и потенциален фактор в разпространението на антиминокробна резистентност, ако производството им не е съпроводено от адекватни хигиенни и технологични практики.

Връщането към традиционните храни не трябва да означава отказ от научния подход и контрола върху безопасността на храните. Напротив – именно съчетаването на традиционни практики с модерни знания за микробиологията и антиминокробната резистентност е ключът към безопасното и устойчиво производство на ферментирани продукти.

10. Заключение

Ферментиралите храни са важна част от хранителните традиции на много общества и играят значителна роля в човешкото хранене. Те представляват сложни микробни екосистеми, в които участват различни бактерии, дрожди и други микроорганизми. Именно това микробно разнообразие е в основата както на технологичните характеристики на ферментиралите продукти, така и на някои от потенциалните им рискове.

Анализът на научните изследвания показва, че определени бактерии, присъстващи във ферментиралите храни – включително представители на род *Enterococcus* – могат да действат като резервоар на гени за антимикробна резистентност и да участват в тяхното разпространение чрез механизми на хоризонтален генен трансфер. В същото време други бактерии, като представители на род *Lactobacillus*, са тясно свързани с традиционните ферментационни процеси и обикновено се считат за безопасни.

Разглеждането на ферментиралите храни в контекста на антимикробната резистентност не означава, че тези продукти трябва да се възприемат като риск за общественото здраве. По-скоро това подчертава необходимостта от по-добро разбиране на микробните взаимодействия в хранителните системи и от прилагане на добри производствени и хигиенни практики по цялата хранителна верига.

В страни като България, където ферментиралите млечни продукти са част от дългогодишна кулинарна традиция, съчетаването на традиционните технологии със съвременните научни знания е ключово за гарантиране на безопасността и устойчивото развитие на тези продукти.

Източници:

- [1] Chaves, C. R. S., Salamandane, A., Vieira, E. J. F., Salamandane, C., & Amoako, D. G. (2024). *Antibiotic Resistance in Fermented Foods Chain: Evaluating the Risks of Emergence of Enterococci as an Emerging Pathogen in Raw Milk Cheese*. *International Journal of Microbiology*. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11695086/>
- [2] Mathur, S., & Singh, R. (2005). Antibiotic resistance in food lactic acid bacteria – a review. *International Journal of Food Microbiology*, 105(3), 281–295. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2005.03.008>
- [3] Franz, C. M. A. P., Huch, M., Abriouel, H., Holzapfel, W., & Gálvez, A. (2011). Enterococci as probiotics and their implications in food safety. *International Journal of Food Microbiology*, 151(2), 125–140. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.08.014>
- [4] Kang, H., Kim, J., Lee, S., Kim, H., & Lee, J. (2021). Antibiotic resistance in fermented foods and its potential risk to human health. *Frontiers in Microbiology*, 12, 703141. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.703141>
- [5] Wang, H., Sun, Y., Wang, Y., Xu, W., & Zhou, Y. (2018). Antibiotic resistance genes in lactic acid bacteria isolated from fermented dairy products. *Food Control*, 84, 344–350. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.08.019>

[6] Marco, M. L., Heeney, D., Binda, S., et al. (2017). Health benefits of fermented foods: microbiota and beyond. *Current Opinion in Biotechnology*, 44, 94–102. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2016.11.010>

[7] Zapaśnik, A., Sokołowska, B., & Bryła, M. (2022). Role of lactic acid bacteria in food preservation and safety. *Foods*, 11(9), 1283. <https://doi.org/10.3390/foods11091283>

[8] Chen, X., Zhang, Y., Liu, H., Li, J., & Wang, Y. (2025). Lactic acid bacteria bacteriocins: Safe and effective natural preservatives. *Microorganisms*, 13(4), 820. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13040820>

[9] Castellone, V., Bancalari, E., Rubert, J., Gatti, M., & Neviani, E. (2021). Eating fermented: Health benefits of lactic-fermented foods. *Nutrients*, 13(12), 4378. <https://doi.org/10.3390/nu13124378>



Други информации в областта на замърсители по хранителната верига, както и оценка на риска по цялата хранителна верига може да намерите на сайта на Центъра за оценка на риска по хранителната верига: <http://corhv.government.bg/>,

<https://corhv.government.bg/Замърсители-по-хранителната-верига--с-33>

Изготвил:

Инж. Светлана Савова

Главен експерт, дирекция ОРХВ, ЦОРХВ

16.03.2026 г.