

УДК 664.641.4

ХЛІБОПЕКАРСЬКІ ЗАКВАСКИ З ПРОТИГРИБКОВОЮ ДІЄЮ

Науменко О. В., д.т.н., с.н.с., зав. відділу
технологій хліба та біотрансформації зернових продуктів
<https://orcid.org/0000-0002-1691-1381>

Червінський В. О., аспірант
<https://orcid.org/0000-0003-1737-6955>
Інститут продовольчих ресурсів НААН, м. Київ, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2023-20-09>

Предмет. Протигрибкові властивості мікробіоти хлібопекарської закваски. **Мета.** Аналіз даних літературних джерел, які присвячені науковим дослідженням протигрибкових властивостей заквасок у технології виготовлення хліба та хлібобулочних виробів. **Методи.** При написанні статті використовували аналітичні методи досліджень. Аналізували інформацію з баз даних, включаючи PubMed, Scopus та Web of Sciences. **Результати.** Хліб є одним із найпопулярніших продуктів у всьому світі, його щорічне виробництво оцінюється в 100 мільйонів тон. Однак, хліб дуже вразливий до ураження плісневими грибами, що призводить до погіршення якості, аромату, смаку, текстури та поживної цінності продукту, скорочує термін зберігання. Крім того, багато грибів роду *Aspergillus*, *Penicillium* і *Fusarium* можуть виробляти мікотоксини, які є потенційно токсичними для людини. На сьогоднішній день для збереження хліба застосовуються різні фізико-хімічні методи, серед яких широко використовується додавання хімічних консервантів. Проте хімічні консерванти негативно впливають не тільки на сенсорні властивості хліба, але й на здоров'я споживачів, накопичуючись в організмі. Тому біоконсервування, тобто використання мікроорганізмів як консервантів на заміну хімічних речовин, викликає все більший інтерес. Науковцями проведено багато досліджень хлібопекарської мікробіоти з метою пошуку ефективних штамінів із протигрибковою активністю, і більшість з них належать до родів *Lactobacillus* та *Propionibacterium*. Вони утворюють низку антимікробних і антигрибкових метаболітів, таких як: органічні кислоти, жирні кислоти, циклічні дипептиди, вуглекислий газ, етанол, перекис водню, діацетил, бактеріоцини та антибіотики. Молочнокислі та пропіоновокислі бактерії демонструють виражену видову- та штамоспецифічну варіабельність протигрибкової активності, що обумовлює необхідність проведення цілеспрямованої селекційної роботи щодо відбору активних культур. **Сфера застосування результатів.** Молочнокислі та пропіоновокислі бактерії виробляють різноманітні протигрибкові сполуки, синергічна дія яких запобігає росту широкого спектру контамінантів, і тому можуть бути використані як захисні культури для підвищення мікробіологічної, фунгіцидної безпеки харчових продуктів, зокрема, хліба та хлібобулочних виробів, без зміни їх сенсорних характеристик.

Ключові слова: молочнокислі бактерії, пропіоновокислі бактерії, закваска, мікотоксини, протигрибкова активність, хліб.

BAKERY SOURDOUGHS WITH ANTIFUNGAL EFFECT

Oksana Naumenko, D-r of Sc., Engineering, Senior Research,
Head of Department of Bread Technologies and Biotransformation of Grain Products,
<http://orcid.org/0000-0002-1691-1381>

Vladyslav Chervinskyi, Postgraduate,
<https://orcid.org/0000-0003-1737-6955>
Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine

<https://doi.org/10.31073/foodresources2023-20-09>

Subject. The antifungal properties of the microbiota of bakery sourdough starter. **Purpose.** The analyze the data from the literature on the antifungal properties of sourdough starter cultures in the technology of bread and bakery products. **Methods.** Analytical research methods were used in writing the

article. Information from databases including PubMed, Scopus and Web of Sciences was analyzed. **Results.** Bread is one of the most popular products in the world, with an annual production estimated at 100 million tons. However, bread is highly susceptible to mold infestation, which leads to a deterioration in the quality, aroma, taste, texture, and nutritional value of the product, and reduces its shelf life. In addition, many fungi of the genera *Aspergillus*, *Penicillium* and *Fusarium* can produce mycotoxins that are potentially toxic to humans. To date, various physical and chemical methods are used to preserve bread, including the addition of chemical preservatives. However, chemical preservatives have a negative impact not only on the sensory properties of bread, but also on the health of consumers, accumulating in the body. That is why biopreservation, i.e. the use of microorganisms as preservatives to replace chemicals, is gaining more and more interest. Scientists have conducted many studies of the bakery microbiota to find effective strains with antifungal activity, and most of them belong to the genera *Lactobacillus* and *Propionibacterium*. They produce a number of antimicrobial and antifungal metabolites, such as organic acids, fatty acids, cyclic dipeptides, carbon dioxide, ethanol, hydrogen peroxide, diacetyl, bacteriocins, and antibiotics. Lactic acid and propionic acid bacteria demonstrate pronounced species- and strain-specific variability of antifungal activity, which necessitates targeted selection of active cultures. **Scope of results.** Lactic acid and propionic acid bacteria produce a variety of antifungal compounds, the synergistic effect of which prevents the growth of a wide range of contaminants, and can be used as protective cultures to improve the microbiological and fungicidal safety of food products, in particular bread and bakery products, without changing their sensorial characteristics.

Key words: lactic acid bacteria, propionic acid bacteria, sourdough, mycotoxins, antifungal activity, bread.

Постановка проблеми. Хліб є основним продуктом харчування, який споживають у всьому світі майже щодня. Хлібобулочні виробни є джерелом багатьох поживних речовин, але вони схильні до грибкового ураження, що призводить до зниження їхньої якості та безпечності. Плісняві гриби спричиняють значне погіршення якості не тільки хлібних продуктів, але і кормів, іншої сільськогосподарської продукції, призводять до значних економічних втрат. Крім того, плісняві гриби виробляють мікотоксини, які є потенційно токсичними для споживачів і спричиняють хвороби та навіть смерть. Повсюдне поширення пліснявих грибів, їх здатність колонізувати різні субстрати та відсутність ефективних заходів контролю призвели до високої частоти забруднення харчових продуктів і кормів пліснявими грибами та мікотоксинами [1].

Сільськогосподарська продукція схильна до інвазії грибів, таких як: *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Mucor* та *Rhizopus*, деякі з них можуть виробляти мікотоксини в полі ще до збору врожаю, під час збору врожаю або під час зберігання та переробки. Хліб може слугувати субстратом для росту токсиногенних грибів. Ці гриби можуть потрапляти до продуктів унаслідок ненавмисного забруднення сировини та виробничого середовища. Присутність токсиногенних грибів може змінити сенсорну якість хліба через небажану появу міцелію грибів, видимого на скоринці хліба, неприємного запаху або смаку, спричинених продуктами метаболізму цих грибів. Серед усіх забруднювачів харчових продуктів мікотоксини викликають найбільше занепокоєння з точки зору гострої токсичності, а також з економічної точки зору. Частота їх появи залежить від різних факторів, таких як: вид продукту, кліматичні умови, сільськогосподарські практики, умови зберігання тощо [2]. За оцінками експертів, від 5 до 10% світового виробництва харчових продуктів втрачається через ураження грибами, щодня у світі викидають сто тонн хліба. Fisher M. et al. повідомляють, що руйнування, спричинене грибами пшениці, рису та кукурудзи, коштує світовому сільському господарству 60 мільярдів доларів у рік [3].

Мікотоксини, що негативно впливають на здоров'я та агроекономіку – афлатоксини, трихотецени, зеараленон, охратоксини, фумонізени, треморгенні токсини та деякі інші. Афлатоксини – це мікотоксини, що виробляються певними видами роду *Aspergillus*, зокрема, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus parasiticus* та *Aspergillus nomius*. Існує понад 20 різних, але структурно споріднених афлатоксинів, з них найпоширеніші афлатоксин B1,

афлатоксин В2, афлатоксин G1 і афлатоксин G2 [4]. Встановлено, що афлатоксин В1 є канцерогенним і генотоксичним *in vitro* та *in vivo*, він був віднесений до 1 групи Міжнародним агентством з вивчення раку у 2002 р. Охратоксин А є нефротоксичним і нефроканцерогенним, а зеараленон, що продукується різними штамами *Fusarium*, має остеогенні властивості і токсичний для репродуктивної системи. Отже, значне забруднення харчових продуктів мікотоксинами є гострою проблемою в усьому світі, оскільки вони ставлять під загрозу безпеку харчових продуктів і кормів, негативно впливають на здоров'я людей і тварин [5].

Для вирішення цієї проблеми було розроблено багато методів контролю забруднення хліба, в тому числі й токсиногенними грибами. Такі методи також називають технологіями подолання бар'єрів. Серед профілактичних методів виділяють застосування належних виробничих та гігієнічних практик, впровадження системи аналізу небезпечних факторів і контролю у критичних точках (НАССР), використання систем знезараження повітря тощо. Також для збереження хліба використовують фізичні методи: термічна обробка, пакування в модифікованій атмосфері, заморожування, обробка мікрохвильовим та інфрачервоним випромінюванням упакованого продукту [6]. Фізичні методи виявилися дуже ефективними для пригнічення росту токсиногенних грибів, але вони не позбавлені недоліків. Насамперед під їх впливом значно погіршується харчова цінність продуктів, що у довгостроковій перспективі може підвищити ризик хронічних захворювань.

Для подовження терміну зберігання хлібобулочних виробів як протигрибкові засоби часто використовують хімічні консерванти: ЕДТА, нітрит та сульфід, органічні кислоти: оцтову, молочну, пропіонову, сорбінову, бензойну, та їхні солі [7-8]. Однак, тривале споживання хімічних консервантів може також збільшити ризик виникнення хронічних захворювань, тому що вони здатні накопичуватися в організмі людини [9]. Крім того, багато штамів грибів не піддаються впливу фізико-хімічної обробки через різні механізми резистентності, які вони набули з часом [10].

Споживачі все частіше вимагають харчових продуктів із відсутністю або з меншою кількістю хімічних консервантів, які б відповідали їхньому здоровому способу життя. Водночас, державні органи влади також заохочують виробників обмежувати використання хімічних консервантів (ЄС, 1995) і шукати природні методи збереження харчових продуктів. Тому науковцями світу проводяться науково-дослідні роботи, спрямовані на визначення альтернативних стратегій традиційним консервантам з метою запобігання або затримки грибового псування хліба.

Метою роботи є аналітичний огляд наукової літератури щодо протигрибкових властивостей заквасок у технології виготовлення хліба та хлібобулочних виробів.

Методи дослідження. При написанні статті використовували аналітичні методи досліджень. Аналізували інформацію з баз даних, включаючи PubMed, Scopus та Web of Sciences. В огляді використовувалися пошукові терміни: забруднення пшеничного хліба, мікотоксигенні гриби, біоконсервант, закваски з протигрибковою дією, антагоністична сполука.

Результати та їх обговорення. Закваски для хліба є важливим компонентом у процесі виробництва хліба. Виділяють такі основні ефекти використання хлібопекарських заквасок: покращення кислотності тіста та забезпечення належного підвищення швидкості та ефективності ферментації тіста, текстури та консистенції хліба, зменшення часу виробництва та забезпечення більш стабільного та передбачуваного процесу виробництва, покращення смаку та аромату хліба [11]. Крім того, хлібопекарська закваска є дуже цікавою природною консервуючою системою для подовження терміну зберігання хліба. Біоконсервація – це подовження терміну зберігання та підвищення безпеки харчових продуктів за допомогою мікроорганізмів або їх метаболітів [12].

Хлібопекарська мікробіота з протигрибковою активністю. Результати досліджень вказують на те, що використання молочнокислих бактерій (МКБ) та пропіоновокислих бактерій (ПКБ) як біозахисних культур з протигрибковою активністю

може замінити, компенсувати дію хімічних консервантів, а отже, гарантувати безпеку цільового продукту – хліба. Інколи протигрибкові закваски використовують у поєднанні з хімічними консервантами, при цьому фіксується синергетичний протигрибковий ефект, що дозволяє зменшити кількість хімічних добавок у хлібі [13].

МКБ і ПКБ природньо присутні в багатьох ферментованих продуктах і мають довгу історію безпечного використання в якості заквасок у харчовій промисловості. Тому більшість з них мають статус QPS («кваліфікована презумпція безпеки»), дозволені для використання в харчовому та кормовому ланцюгу в Європейському Союзі. Крім того, в США вони отримали статус GRAS («загальноприйнято вважати безпечними») від Управління з санітарного нагляду за якістю харчових продуктів і медикаментів США (U.S. Food and Drug Administration). Багаторічна традиція використання цих мікроорганізмів у харчових продуктах і кормах підкріплена останніми науковими дослідженнями щодо протигрибкової ефективності та впливу на покращення здоров'я [14], дає підстави вважати їх ідеальною альтернативою хімічним консервантам. Показано, що застосування МКБ у хлібопекарських заквасках подовжує термін зберігання та покращує споживчі властивості хлібобулочних виробів, забезпечує їх мікробіологічну безпеку [15].

Серед найпоширеніших родів МКБ, які використовуються в заквасках із протигрибковою активністю у хлібопекарській промисловості, є *Lactobacillus* та *Leuconostoc* [16]. Oranusi et al. повідомили про протигрибкову активність *Lactococcus lactis* проти різних видів *Aspergillus*, *Penicillium* [17]. Найактивніші штами відносно *Aspergillus* та *Eurotium* належали до *Leuconostoc* spp., *Lactobacillus reuteri* та *Lactobacillus buchneri* серед 270 протестованих МКБ, а також до видів *Propionibacterium freudenreichi* та *Propionibacterium acidipropionici* з 50 протестованих ПКБ. Вони затримували ріст одного або декількох грибів після обприскування поверхні хлібобулочних виробів та/або при внесенні у вигляді закваски [18]. Показано, що змішана культура *Propionibacterium freudenreichii* D6 і *Lactobacillus plantarum* L9 виявилася найбільш активною щодо трьох плісневих грибів *Aspergillus niger*, *Penicillium crustosum* і *Aspergillus flavus*, та може бути використана як біоконсервант у хлібобулочних výroбах [19]. Повідомлено, що ПКБ демонстрували виражену видову варіацію протигрибкової активності *in vivo*, причому найбільшою активністю характеризувався вид *Propionibacterium thoenii* [20]. Науковцями відібрано штами видів *Leuconostoc citreum*, *Lactobacillus rossiae* та *Weissella cibaria*, які показали високу інгібуючу активність щодо грибів *Aspergillus niger*, *Penicillium roqueforti* та *Endomyces fibuliger* порівнянну з тією, що була отримана при використанні звичайного консерванту пропіонату кальцію у кількості 0,3% (мас.) [21]. У дослідженні Dal Bello et al. показано, що закваска на основі штаму *Lactobacillus plantarum* FST 1.7 затримувала ріст *Fusarium culmorum* і *Fusarium graminearum*, мала потенціал для збільшення терміну зберігання пшеничного хліба [22]. Нещодавно були запропоновані декілька штамів МКБ видів *Lactobacillus amylorus*, *Lactobacillus reuteri*, *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus rossiae* та *Lactobacillus paralimentarius* як стартові захисні культури для підвищення терміну зберігання хліба [23]. Штами *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus pentosus* і *Lactobacillus paracasei* subsp. *paracasei* проявляли протигрибкові властивості щодо *Penicillium nordicum*, а штам *Leuconostoc mesenteroides* subsp. *mesenteroides* LB7 пригнічував ріст *Penicillium expansum* та відновлював патулін; штам *Lactobacillus brevis* 8-2B пригнічував ріст *Aspergillus carbonarius* та продукцію охратоксину А [24].

Варто зазначити, що перед використанням у харчовій промисловості МКБ і ПКБ (незважаючи на статус QPS та GRAS) слід проводити оцінку безпеки щодо потенційного утворення ними біогенних амінів та антибіотикорезистентності [25].

Отже, біоконсервування з використанням мікробіоти з протигрибковою дією є перспективним методом, що активно розвивається.

Механізми протигрибкової активності молочнокислих та пропіоновокислих бактерій. Протигрибкова активність МКБ та ПКБ є складним процесом, який може бути зумовлений різними сполуками, що виробляються цими мікроорганізмами. Антибіоз (тобто виробництво протигрибкових молекул) і зниження рН є основними факторами, що сприяють протигрибковій активності МКБ і ПКБ у харчових продуктах. По-перше, МКБ і ПКБ виробляють молочну і пропіонову кислоти як основні кінцеві продукти ферментації, відповідно. Більше того, більшість МКБ, будучи факультативними або строго гетероферментативними бактеріями і педіококами, також здатні виробляти ацетат з пентози (факультативні або строго гетероферментативні МКБ) і етанол, або ацетат (за відсутності або присутності O_2 або інших акцепторів електронів, відповідно) і CO_2 з гексози (строго гетероферментативні МКБ). Пропіоновокислі бактерії продукують оцтову та бурштинову кислоти, а також CO_2 через транскарбоксилазний цикл, у молярних співвідношеннях, що залежать від субстрату, умов навколишнього середовища та штаму. Ці органічні кислоти мають значну протигрибкову активність, особливо ацетат і пропіонат, мінімальні інгібуючі концентрації (МІК) яких поступаються лактату від 30 до 100 разів залежно від грибової мішені. Більше того, МІК ацетату знижується в присутності лактату, що вказує на те, що вони можуть діяти синергічно [26].

Тим не менш, вироблення вищезгаданих кислот не є достатнім для пояснення протигрибкової активності МКБ і ПКБ. Встановлено, що певні штами МКБ можуть виробляти багато інших речовин у незначних кількостях (мг/л або мг/кг), нижче їхніх індивідуальних МІК, які можуть діяти синергічно з молочною та оцтовою кислотами. Природа і кількість цих сполук залежить від виду і штаму, і на сьогоднішній день у науковій літературі описано дуже великий спектр таких речовин. Вони включають інші органічні кислоти (гідрокорична, DL- β -фенілолмолочна, DL- β -гідроксифенілолмолочна, поліпорова, азелаїнова, 2-гідроксibenзойна, 4-гідроксibenзойна, р-кумарова, ванільна, кавова, бурштинова, 2-піролідон-5-карбонова кислоти тощо), жирні кислоти (деканова, 3-гідроксидеканова, (S)-(-)-2-гідроксиізокапронова, кориолова, рицинолева кислоти тощо), циклопептиди [цикло(L-Pro-L-Pro), цикло(L-Leu-L-Pro), цикло(L-Tyr-L-Pro), цикло(L-Met-L-Pro), цикло(Phe-Pro), цикло(Phe-OH-Pro), цикло(L-Phe-L-Pro) цикло(L-Phe-trans-4- OH-L-Pro), цикло(L-His-L-Pro) та цикло(L-Leu-Leu)], перекис водню та леткі сполуки, такі як діацетил [27].

Так, наприклад, Le Lay et al. показали, що молочна, оцтова та пропіонова кислоти, етанол та перекис водню, а також інші сполуки (DL- β -фенілоцтова, DL- β -гідроксифенілоцтова, азелаїнова та (S)-2-гідроксиізокапронова кислоти) присутні в низьких концентраціях та відповідають за інгібувальну активність МКБ і ПКБ щодо грибів, які спричиняють пліснявіння хлібобулочних виробів. Фракція, виділена з культури *Lactococcus* sp. BSN307, що містила 2,4-ди-трет-бутилфенол, була ефективною для захисту зерна пшениці від ураження *Aspergillus niger* та різних видів *Fusarium* sp. [28].

У захисній змішаній культурі *Propionibacterium jensenii* SM11 та *Lactobacillus paracasei* було ідентифіковано декілька антимікробних органічних кислот, що діють синергічно, включаючи 2-піролідон-5-карбонову, DL- β -фенілонову та DL- β -гідроксифенілонову кислоти [29]. Механізм дії органічних кислот досить добре вивчений. Органічні кислоти в недисоційованій формі можуть дифундувати через мембрану мікроорганізму, викликаючи тим самим зниження внутрішньоклітинного рН. Накопичення токсичних іонів у поєднанні з руйнуванням мембрани, пригніченням основних метаболічних реакцій та/або порушенням внутрішньоклітинного гомеостазу рН може, зрештою, призвести до загибелі клітини. Відповідно до так званої "теорії слабких кислот" значення pK_a кислоти і рН середовища є важливими факторами, що впливають на протигрибкову активність органічних кислот. Дійсно, чим вище pK_a і нижче рН середовища, тим більше кислота буде перебувати в недисоційованій формі і тим вищим буде її вплив на внутрішньоклітинний рН і протигрибкову активність. Варто також зазначити, що фенольні сполуки (4-гідроксibenзойна кислота, ванільна кислота), оцтова,

пропанова та бутанова кислоти, ацетоїн, етанол та інші леткі сполуки можуть діяти як хеотрофні стресори [30].

Жирні кислоти, що виробляються МКБ, також мають сильну протигрибкову активність. Так, було підтверджено інгібуючу дію гексадеканової, олеїнової, деканової та лауринової кислот, виділених з захисної культури МКБ, проти *Mucor ramosus* та *Penicillium common* [31]. Протигрибкова активність гідроксигирних кислот може бути зумовлена їхньою взаємодією з клітинною мембраною, оскільки розподіл гідроксигирних кислот у грибовій мембрані збільшує проникність мембрани.

Деякі МКБ продукують H_2O_2 , який, як було доведено, впливає на ріст і метаболізм харчових патогенних бактерій і грибів. Оскільки МКБ не виробляють каталазу, H_2O_2 не може розкладатися, а тому накопичується в клітині, запобігаючи росту грибів [32].

Протигрибкові пептиди є основними сполуками, що виробляються МКБ. *Nionelli et al.* ідентифікували дев'ять пептидів з хліба, ферментованого *Lactobacillus brevis*, і ці пептиди запобігали росту *Penicillium roqueforti* [33]. Інгібуючий вплив протигрибкових пептидів, в основному, зумовлений взаємодією між негативно зарядженими молекулами мембрани гриба та позитивно зарядженими поліпептидами, це руйнує структуру мембрани і призводить до загибелі клітини. Крім того, на активність протигрибкових пептидів, отриманих шляхом ферментації рослинного субстрату, суттєво впливають молекулярна маса, хімічна структура, заряд та гідрофобне співвідношення. Більшість протигрибкових пептидів мають низьку молекулярну масу, катіонний заряд і низьку гідрофобність [34].

У процесі метаболізму МКБ утворюють кілька летких сполук, які не тільки покращують ароматичний профіль, але й пригнічують ріст грибів. *Aunsbjerg et al.* виділили діацетил, основну летючу сполуку *Lactobacillus paracasei* DGCC2132, який сповільнював ріст *Penicillium* упродовж 5 днів за концентрації вище 75 мкг/мл [35].

З безклітинного супернатанту *Lactobacillus amylovorus* LA 19280 були виділені циклічні дипептиди, які виявили протигрибкову активність з МІК від 25 до 50 мг/мл щодо *Aspergillus fumigatus*. Хліб, що містив закваску, ферментовану *L. amylovorus* DSM 19280, був більш ефективним у продовженні терміну зберігання хліба, ніж пропіонат кальцію [36].

Встановлено, що *Lactobacillus reuteri* продукує рейтерин – небілкову антимікробну сполуку широкого спектру дії, яка контролює ріст грампозитивних і грамнегативних бактерій, а також грибів. Він є водорозчинним, термостійким і дуже стабільним. Ріст спор *Fusarium culmorum*, *Aspergillus niger* та *Penicillium expansum* пригнічувався рейтерином, виробленим штамом *L. reuteri* R29; безклітинний супернатант з найвищою концентрацією рейтерину повністю запобігав росту всіх трьох видів грибів [37].

Ryan et al. виділили та ідентифікували два нуклеозиди – цитидин та 2'-дезокситидин – з безклітинного супернатанту *Lactobacillus amylovorus* LA 19280, які проявляли протигрибкову активність щодо *Aspergillus fumigatus* [36]. *A Chen et al.* виявили ці нуклеозиди у безклітинному супернатанті *Lactobacillus kefir* M4 і *Pediococcus acidilactici* MRS-7, вони затримували ріст *Penicillium expansum* [38]. Крім того, нуклеозиди з протигрибковою активністю були виявлені в безклітинному супернатанті інших видів МКБ, таких як *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus reuteri* та *Lactobacillus brevis* та ПКБ виду *Propionibacterium freudenreichii* [39].

Екзополісахариди, що виробляються МКБ, та органічні кислоти ПКБ були використані для покращення текстури та подовження терміну зберігання хлібобулочних виробів. Природний біоконсервант, вироблений на основі суміші штамів *Weissella*-*Propionibacterium*, які продукували екзополісахариди (декстран, леван, глюкан) та органічні кислоти (молочну, оцтову, пропіонову та інші) мав потенціал для застосування в якості протигрибкового, структуроутворюючого і консервуючого агента в хлібі, що відповідає вимогам споживачів до продуктів з чистим маркуванням [40].

Отже, МКБ та ПКБ в результаті метаболізму вуглеводів, білків, ліпідів та амінокислот утворюють низку різноманітних сполук, деякі з них володіють вираженою протигрибковою активністю.

Висновки. Протигрибкова активність є однією з найцікавіших властивостей молочно- та пропіоновокислих бактерій, через її можливе застосування в біоконсервуванні харчових продуктів, зокрема, як альтернатива хімічним консервантам у технології хлібних продуктів. Деякі види або штами молочно- та пропіоновокислих бактерій здатні утворювати різні протигрибкові сполуки, наприклад: органічні кислоти, такі як молочна, пропіонова, оцтова, фенілоцтова, карбонові та жирні кислоти, рейтерин, циклічні дипептиди, білкові сполуки тощо. У багатьох випадках пригнічення росту грибів є результатом адитивної та/або синергічної активності декількох з цих сполук.

Бібліографія

1. Gruber-Dorninger, C., Jenkins, T., Schatzmayr, G. (2019). Global Mycotoxin Occurrence in Feed: A Ten-Year Survey. *Toxins*. 11:375.
2. Warth, B., Parich, A., Atehnkeng, J., Bandyopadhyay, R., Schuhmacher, R., Sulyok, M., Krska, R. (2012). Quantitation of mycotoxins in food and feed from Burkina Faso and Mozambique using a modern LC-MS/MS multitoxin method. *J Agric Food Chem*. 60(36):9352–63. <https://doi.org/10.1021/jf302003n>.
3. Fisher, M., Henk, D., Briggs, C. *et al.* (2012). Emerging fungal threats to animal, plant and ecosystem health. *Nature*. 484: 186–194. <https://doi.org/10.1038/nature10947>.
4. Hernández-Martínez, R., Navarro, I. (2010). Aflatoxin levels and exposure assessment of Spanish infant cereals. *Food Additives and Contaminants: Part B Surveillance*. 3(4):275–288. <https://doi.org/10.1080/19393210.2010.531402>.
5. Marin, S., Ramos, A. J., Cano-Sancho, G., Sanchis, V. (2013). Mycotoxins: occurrence, toxicology, and exposure assessment. *Food Chem Toxicol*. 60:218–37. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.07.047>.
6. Cauvain, S. (2015). Bread Spoilage and Staling. In: *Technology of Breadmaking*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-14687-4_10.
7. Salaheen, S., Peng, M., Biswas, D. (2014). Replacement of Conventional Antimicrobials and Preservatives in Food Production to Improve Consumer Safety and Enhance Health Benefits in Book *Microbial Food Safety and Preservation Techniques*. 1st Edition. CRC Press. 25 p. ISBN9780429168291. <https://doi.org/10.1201/b17465-20>.
8. Belz, M. C. E., Mairinger, R., Zannini, E., Ryan, L. A. M., Cashman, K. D., Arendt, E. K. (2012). The effect of sourdough and calcium propionate on the microbial shelf-life of salt reduced bread. *Appl Microbiol Biotechnol*. 96(2):493–501. <https://doi.org/10.1007/s00253-012-4052-x>.
9. Іщенко, М. М., Кудрявцева, Н. Т., Моїсеєнко, Н. С. (2018). Використання натрію бензоату як консерванта у продуктах харчування. Збірник наукових праць «Харчові технології та інженерія». 14(1):44–49.
10. Varsha, K. K., Nampoothiri, K. N. (2016). Appraisal of lactic acid bacteria as protective cultures. *Food Control*. 69: 61–64. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.04.032>.
11. Ma, S., Wang, Z., Guo, X., Wang, F., Huang, J., Sun, B., et al. (2021). Sourdough improves the quality of whole-wheat flour products: mechanisms and challenges – a review. *Food Chem*. 360:130038. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130038>.
12. Illueca, F., Moreno, A., Calpe, J., Nazareth, T. dM., Dopazo, V., Meca, G., Quiles, J. M., Luz, C. (2023). Bread Biopreservation through the Addition of Lactic Acid Bacteria in Sourdough. *Foods*. 12(4):864. <https://doi.org/10.3390/foods12040864>.
13. Ryan, L. A. M., Bello, F. D., Arendt, E. K. (2008). The use of sourdough fermented by antifungal LAB to reduce the amount of calcium propionate in bread. *International Journal of Food Microbiology*. 125 (3):274-278. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2008.04.013>.
14. Mohan, D. (2017). Evaluating the behaviour of probiotic *Lactobacillus plantarum* 299 v in non-dairy oat based yogurt using two different packaging materials. Published by Division of Packaging Logistics Department of Design Sciences Faculty of Engineering LTH, Lund University P.O. Box 118, SE-221 00 Lund, Sweden. 65p. ISBN 978-91-7753-363-4.

15. Науменко, О., Чиж, В. (2022). Біотехнологічні показники хлібопекарських заквасок (Огляд літератури). Продовольчі ресурси. № 10 (19): 107–115. <https://doi.org/10.31073/foodresources2022-19-12>.
16. Gadaga, T. H., Mutukumira, A. N., Narvhus, J. A. (2000). The use of *Lactobacillus* spp. and yeast as starter cultures for enhancing the quality of Zimbabwean sourdough bread. *Int J Food Microbiol.* 63(1-2):71–81. [https://doi.org/10.1016/s0168-1605\(00\)00356-6](https://doi.org/10.1016/s0168-1605(00)00356-6). PMID: 11035007.
17. Oranusi, S., Braide, W., Oguoma, O. I. (2013). Antifungal properties of lactic acid bacteria (LAB) isolated from *Ricinus communis*, *Pentaclethra macrophylla* and yoghurts. *Global Advanced Research Journal of Food Science and Technology.* 2(1):001–006. <http://garj.org/garjfst/index.htm>.
18. Le Lay, C., Mounier, J., Vasseur, V., Weill, A., Blay, G.L., Barbier, G., Coton, E. (2016). *In vitro* and *in situ* screening of lactic acid bacteria and propionibacteria antifungal activities against bakery product spoilage molds. *Food Control.* 60:247–255. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.07.034>.
19. Ran, Q., Yang, F., Geng, M., Qin, L., Chang, Z., Gao, H., Jiang, D., Zou, C., Jia, C. (2022). A mixed culture of *Propionibacterium freudenreichii* and *Lactiplantibacillus plantarum* as antifungal biopreservatives in bakery product. *Food Bioscience.* 47:101456. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101456>.
20. Lind, H., Jonsson, H., Schnürer, J. (2005). Antifungal effect of dairy propionibacteria – contribution of organic acids. *International Journal of Food Microbiology.* 98(2):157–165. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.05.020>.
21. Valerio, F., Favilla, M., Bellis, P. D., Sisto, A., de Candia, S., Lavermicocca, P. (2009). Antifungal activity of strains of lactic acid bacteria isolated from a semolina ecosystem against *Penicillium roqueforti*, *Aspergillus niger* and *Endomyces fibuliger* contaminating bakery products. *Systematic and Applied Microbiology.* 32(6):438–448. <https://doi.org/10.1016/j.syapm.2009.01.004>.
22. Bello, F. D., Clarke, C. I., Ryan, L. A. M., Ulmer, H., Schober, T. J., Ström, K., Sjögren, J., van Sinderen, D., Schnürer, J., Arendt, E. K. (2007). Improvement of the quality and shelf life of wheat bread by fermentation with the antifungal strain *Lactobacillus plantarum* FST 1.7. *Journal of Cereal Science.* 45(3):309–318. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2006.09.004>.
23. Axel, C., Brosnan, B., Zannini, E., Peyer, L. C., Furey, A., Coffey, A., Arendt, E. K. (2016). Antifungal activities of three different *Lactobacillus* species and their production of antifungal carboxylic acids in wheat sourdough. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 100: 1701–1711.
24. Simões, L., Fernandes, N., Teixeira, J., Abrunhosa, L., Dias, D. R. (2023). Brazilian Table Olives: A Source of Lactic Acid Bacteria with Antimycotoxigenic and Antifungal Activity. *Toxins.* 15(1):71. <https://doi.org/10.3390/toxins15010071>.
25. Steve, F., Coton, M., Debaets, S., Coton, E., Tatsadjieu, L. N., Mohammadou, B. A. (2021). Bacterial diversity of traditional fermented milks from Cameroon and safety and antifungal activity assessment for selected lactic acid bacteria. *LWT – Food Science and Technology.* 138:110635. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110635>.
26. Thierry, A., Deutsch, S.-M., Falentin, H., Dalmasso, M., Cousin, F. J., Jan, G. (2011). New insights into physiology and metabolism of *Propionibacterium freudenreichii*. *Int. J. Food Microbiol.* 149: 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.04.026>.
27. Salas, M. L., Mounier, J., Valence, F., Coton, M., Thierry, A., Coton, E. (2017). Antifungal Microbial Agents for Food Biopreservation – A Review. *Microorganisms.* 5(3):37. <https://doi.org/10.3390/microorganisms5030037>.
28. Le Lay, C., Coton, E., Le Blay, G., Chobert, J.-M., Haertlé, T., Choiset, Y., Van Long, N. N., Meslet-Cladière, L., Mounier, J. (2016). Identification and quantification of antifungal compounds produced by lactic acid bacteria and propionibacteria. *Int. J. Food Microbiol.* 239:79–85. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.06.020>.
29. Schwenninger, S. M., Lacroix, C., Truttmann, S., Jans, C., Spöndli, C., Bigler, L., Meile, L. (2008). Characterization of low-molecular-weight antiyeast metabolites produced by a food-protective *Lactobacillus-Propionibacterium* coculture. *J. Food Prot.* 71(12): 2481–2487. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-71.12.2481>.
30. Dagnas, S., Gauvry, E., Onno, B., Membré, J.-M. (2015). Quantifying Effect of Lactic, Acetic, and Propionic Acids on Growth of Molds Isolated from Spoiled Bakery Products. *Journal of Food Protection.* 78(9):1689-1698. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-15-046>.
31. Salas, L., Mounier, J., Maillard, M. B., Valence, F., Coton, E., Thierry, A. (2019). Identification and quantification of natural compounds produced by antifungal bioprotective cultures in dairy products. *Food Chem.* 301:125260. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125260>.

32. Martin, H., Maris, P. (2012). Synergism between hydrogen peroxide and seventeen acids against five Agri-food-borne fungi and one yeast strain. *J. Appl. Microbiol.* 113(6): 1451–1460. doi: 10.1111/jam.12016.
33. Nionelli, L., Wang, Y., Pontonio, E., Immonen, M., Rizzello, C.G., Maina, H. N., Katina, K., Coda, R. (2020). Antifungal effect of bioprocessed surplus bread as ingredient for bread-making: identification of active compounds and impact on shelf-life. *Food Control.* 118:107437. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107437>.
34. Muhialdin, B. J., Alghoory, H. L., Kadum, H., Mohammed, N. K., Saari, N., Hassan, Z., Meor, H. A. S. (2020). Antifungal activity determination for the peptides generated by *Lactobacillus plantarum* TE10 against *Aspergillus flavus* in maize seeds. *Food Control.* 109:106898. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106898>.
35. Aunsbjerg, S. D., Honoré, A. H., Marcussen, J., Ebrahimi, P., Vogensen, F. K., Benfeldt, T., Skov, S. (2015). Contribution of volatiles to the antifungal effect of *Lactobacillus paracasei* in defined medium and yogurt. *Int. J. Food Microbiol.* 194: 46–53. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.11.007>.
36. Ryan, L. A. M., Zannini, E., Dal Bello, F., Pawlowska, A., Koehler, P., Arendt, E. K. (2011). *Lactobacillus amylovorus* DSM 19280 as a novel food-grade antifungal agent for bakery products. *Int. J. Food Microbiol.* 146(3):276–283. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.02.036>.
37. Schmidt, M., Lynch, K. M., Zannini, E., Arendt, E. K. (2018). Fundamental study on the improvement of the antifungal activity of *Lactobacillus reuteri* R29 through increased production of phenyllactic acid and reuterin. *Food Control.* 88:139–148. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.11.041>.
38. Chen, H., Ju, H., Wang, Y., Du, G., Yan, X., Cui, Y., Yuan, Y., Yue, T. (2021). Antifungal activity and mode of action of lactic acid bacteria isolated from kefir against *Penicillium expansum*. *Food Control.* 130:108274. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108274>.
39. Yépez, A., Luz, C., Meca, G., Vignolo, G., Mañes, J., Aznar, R. (2017). Biopreservation potential of lactic acid bacteria from Andean fermented food of vegetal origin. *Food Control.* 78 (464): 393–400. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.03.009>.
40. Tinzl-Malang, S. K., Peter Rast, P., Grattepanche, F., Sych, J., Lacroix, C. (2015). Exopolysaccharides from co-cultures of *Weissella confusa* 11GU-1 and *Propionibacterium freudenreichii* JS15 act synergistically on wheat dough and bread texture. *Int J Food Microbiol.* 214:91–101. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.07.025>. Epub 2015 Jul 23.

References

1. Gruber-Dorninger, C., Jenkins, T., Schatzmayr, G. (2019). Global Mycotoxin Occurrence in Feed: A Ten-Year Survey. *Toxins.* 11:375.
2. Warth, B., Parich, A., Atehnkeng, J., Bandyopadhyay, R., Schuhmacher, R., Sulyok, M., Krska, R. (2012). Quantitation of mycotoxins in food and feed from Burkina Faso and Mozambique using a modern LC-MS/MS multitoxin method. *J Agric Food Chem.* 60(36):9352–63. <https://doi.org/10.1021/jf302003n>.
3. Fisher, M., Henk, D., Briggs, C. *et al.* (2012). Emerging fungal threats to animal, plant and ecosystem health. *Nature.* 484: 186–194. <https://doi.org/10.1038/nature10947>.
4. Hernández-Martínez, R., Navarro, I. (2010). Aflatoxin levels and exposure assessment of Spanish infant cereals. *Food Additives and Contaminants: Part B Surveillance.* 3(4):275–288. <https://doi.org/10.1080/19393210.2010.531402>.
5. Marin, S., Ramos, A. J., Cano-Sancho, G., Sanchis, V. (2013). Mycotoxins: occurrence, toxicology, and exposure assessment. *Food Chem Toxicol.* 60:218–37. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.07.047>.
6. Cauvain, S. (2015). Bread Spoilage and Staling. In: *Technology of Breadmaking*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-14687-4_10.
7. Salaheen, S., Peng, M., Biswas, D. (2014). Replacement of Conventional Antimicrobials and Preservatives in Food Production to Improve Consumer Safety and Enhance Health Benefits in Book *Microbial Food Safety and Preservation Techniques*. 1st Edition. CRC Press. 25 p. ISBN9780429168291. <https://doi.org/10.1201/b17465-20>.
8. Belz, M. C. E., Mairinger, R., Zannini, E., Ryan, L. A. M., Cashman, K. D., Arendt, E. K. (2012). The effect of sourdough and calcium propionate on the microbial shelf-life of salt reduced bread. *Appl Microbiol Biotechnol.* 96(2):493–501. <https://doi.org/10.1007/s00253-012-4052-x>.

9. Ishchenko, M. M., Kudryavtseva, N. T., Moiseenko, N. S. (2018). Vykorystannia natriiu benzoatu yak konservanta u produktakh kharchuvannia. [The use of sodium benzoate as a preservative in food products]. Collection of scientific papers "Food Technologies and Engineering". 14(1):44-49 [in Ukrainian].
10. Varsha, K. K., Nampoothiri, K. N. (2016). Appraisal of lactic acid bacteria as protective cultures. Food Control. 69: 61–64. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.04.032>.
11. Ma, S., Wang, Z., Guo, X., Wang, F., Huang, J., Sun, B., et al. (2021). Sourdough improves the quality of whole-wheat flour products: mechanisms and challenges – a review. Food Chem. 360:130038. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130038>.
12. Illueca, F., Moreno, A., Calpe, J., Nazareth, T. dM., Dopazo, V., Meca, G., Quiles, J. M., Luz, C. (2023). Bread Biopreservation through the Addition of Lactic Acid Bacteria in Sourdough. Foods. 12(4):864. <https://doi.org/10.3390/foods12040864>.
13. Ryan, L. A. M., Bello, F. D., Arendt, E. K. (2008). The use of sourdough fermented by antifungal LAB to reduce the amount of calcium propionate in bread. International Journal of Food Microbiology. 125 (3):274–278. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2008.04.013>.
14. Mohan, D. (2017). Evaluating the behaviour of probiotic *Lactobacillus plantarum* 299 v in non-dairy oat based yogurt using two different packaging materials. Published by Division of Packaging Logistics Department of Design Sciences Faculty of Engineering LTH, Lund University P.O. Box 118, SE-221 00 Lund, Sweden. 65p. ISBN 978-91-7753-363-4.
15. Naumenko, O., Chyzh, V. (2022). Biotehnolohichni pokaznyky khlibopekarskykh zakvasok (Ohliad literatury). [Biotechnological indicators of bakery sourdough starter cultures (Literature review)]. Food resources. 10(19): 107–115. <https://doi.org/10.31073/foodresources2022-19-12> [in Ukrainian].
16. Gadaga, T. H., Mutukumira, A. N., Narvhus, J. A. (2000). The use of *Lactobacillus* spp. and yeast as starter cultures for enhancing the quality of Zimbabwean sourdough bread. Int J Food Microbiol. 63(1-2):71–81. [https://doi.org/10.1016/s0168-1605\(00\)00356-6](https://doi.org/10.1016/s0168-1605(00)00356-6). PMID: 11035007.
17. Oranusi, S., Braide, W., Oguoma, O. I. (2013). Antifungal properties of lactic acid bacteria (LAB) isolated from *Ricinus communis*, *Pentaclethra macrophylla* and yoghurts. Global Advanced Research Journal of Food Science and Technology. 2(1):001–006. <http://garj.org/garjfst/index.htm>.
18. Le Lay, C., Mounier, J., Vasseur, V., Weill, A., Blay, G.L., Barbier, G., Coton, E. (2016). *In vitro* and *in situ* screening of lactic acid bacteria and propionibacteria antifungal activities against bakery product spoilage molds. Food Control. 60:247–255. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.07.034>.
19. Ran, Q., Yang, F., Geng, M., Qin, L., Chang, Z., Gao, H., Jiang, D., Zou, C., Jia, C. (2022). A mixed culture of *Propionibacterium freudenreichii* and *Lactiplantibacillus plantarum* as antifungal biopreservatives in bakery product. Food Bioscience. 47:101456. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101456>.
20. Lind, H., Jonsson, H., Schnürer, J. (2005). Antifungal effect of dairy propionibacteria – contribution of organic acids. International Journal of Food Microbiology. 98(2):157–165. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.05.020>.
21. Valerio, F., Favilla, M., Bellis, P. D., Sisto, A., de Candia, S., Lavermicocca, P. (2009). Antifungal activity of strains of lactic acid bacteria isolated from a semolina ecosystem against *Penicillium roqueforti*, *Aspergillus niger* and *Endomyces fibuliger* contaminating bakery products. Systematic and Applied Microbiology. 32(6):438–448. <https://doi.org/10.1016/j.syapm.2009.01.004>.
22. Bello, F. D., Clarke, C. I., Ryan, L. A. M., Ulmer, H., Schober, T. J., Ström, K., Sjögren, J., van Sinderen, D., Schnürer, J., Arendt, E. K. (2007). Improvement of the quality and shelf life of wheat bread by fermentation with the antifungal strain *Lactobacillus plantarum* FST 1.7. Journal of Cereal Science. 45(3):309–318. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2006.09.004>.
23. Axel, C., Brosnan, B., Zannini, E., Peyer, L. C., Furey, A., Coffey, A., Arendt, E. K. (2016). Antifungal activities of three different *Lactobacillus* species and their production of antifungal carboxylic acids in wheat sourdough. Appl. Microbiol. Biotechnol. 100: 1701–1711.
24. Simões, L., Fernandes, N., Teixeira, J., Abrunhosa, L., Dias, D. R. (2023). Brazilian Table Olives: A Source of Lactic Acid Bacteria with Antimycotoxigenic and Antifungal Activity. Toxins. 15(1):71. <https://doi.org/10.3390/toxins15010071>.
25. Steve, F., Coton, M., Debaets, S., Coton, E., Tatsadjieu, L. N., Mohammadou, B. A. (2021). Bacterial diversity of traditional fermented milks from Cameroon and safety and antifungal activity assessment for selected lactic acid bacteria. LWT – Food Science and Technology. 138:110635. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110635>.

26. Thierry, A., Deutsch, S.-M., Falentin, H., Dalmaso, M., Cousin, F. J., Jan, G. (2011). New insights into physiology and metabolism of *Propionibacterium freudenreichii*. Int. J. Food Microbiol. 149: 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.04.026>.
27. Salas, M. L., Mounier, J., Valence, F., Coton, M., Thierry, A., Coton, E. (2017). Antifungal Microbial Agents for Food Biopreservation – A Review. Microorganisms. 5 (3):37. <https://doi.org/10.3390/microorganisms5030037>.
28. Le Lay, C., Coton, E., Le Blay, G., Chobert, J.-M., Haertlé, T., Choiset, Y., Van Long, N. N., Meslet-Cladière, L., Mounier, J. (2016). Identification and quantification of antifungal compounds produced by lactic acid bacteria and propionibacteria. Int. J. Food Microbiol. 239: 79–85. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.06.020>.
29. Schwenninger, S. M., Lacroix, C., Truttmann, S., Jans, C., Spöndli, C., Bigler, L., Meile, L. (2008). Characterization of low-molecular-weight antiyeast metabolites produced by a food-protective *Lactobacillus-Propionibacterium* coculture. J. Food Prot. 71(12): 2481–2487. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-71.12.2481>.
30. Dagnas, S., Gauvry, E., Onno, B., Membré, J.-M. (2015). Quantifying Effect of Lactic, Acetic, and Propionic Acids on Growth of Molds Isolated from Spoiled Bakery Products. Journal of Food Protection. 78(9):1689-1698. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-15-046>.
31. Salas, L., Mounier, J., Maillard, M. B., Valence, F., Coton, E., Thierry, A. (2019). Identification and quantification of natural compounds produced by antifungal bioprotective cultures in dairy products. Food Chem. 301:125260. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125260>.
32. Martin, H., Maris, P. (2012). Synergism between hydrogen peroxide and seventeen acids against five Agri-food-borne fungi and one yeast strain. J. Appl. Microbiol. 113(6): 1451–1460. <https://doi.org/10.1111/jam.12016>.
33. Nionelli, L., Wang, Y., Pontonio, E., Immonen, M., Rizzello, C.G., Maina, H. N., Katina, K., Coda, R. (2020). Antifungal effect of bioprocessed surplus bread as ingredient for bread-making: identification of active compounds and impact on shelf-life. Food Control. 118:107437. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107437>.
34. Muhialdin, B. J., Alghoory, H. L., Kadum, H., Mohammed, N. K., Saari, N., Hassan, Z., Meor, H. A. S. (2020). Antifungal activity determination for the peptides generated by *Lactobacillus plantarum* TE10 against *Aspergillus flavus* in maize seeds. Food Control. 109:106898. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106898>.
35. Aunbjerg, S. D., Honoré, A. H., Marcussen, J., Ebrahimi, P., Vogensen, F. K., Benfeldt, T., Skov, S. (2015). Contribution of volatiles to the antifungal effect of *Lactobacillus paracasei* in defined medium and yogurt. Int. J. Food Microbiol. 194: 46–53. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.11.007>.
36. Ryan, L. A. M., Zannini, E., Dal Bello, F., Pawlowska, A., Koehler, P., Arendt, E. K. (2011). *Lactobacillus amylovorus* DSM 19280 as a novel food-grade antifungal agent for bakery products. Int. J. Food Microbiol. 146(3):276–283. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2011.02.036.
37. Schmidt, M., Lynch, K. M., Zannini, E., Arendt, E. K. (2018). Fundamental study on the improvement of the antifungal activity of *Lactobacillus reuteri* R29 through increased production of phenyllactic acid and reuterin. Food Control. 88:139–148. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.11.041>.
38. Chen, H., Ju, H., Wang, Y., Du, G., Yan, X., Cui, Y., Yuan, Y., Yue, T. (2021). Antifungal activity and mode of action of lactic acid bacteria isolated from kefir against *Penicillium expansum*. Food Control. 130:108274. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108274>.
39. Yépez, A., Luz, C., Meca, G., Vignolo, G., Mañes, J., Aznar, R. (2017). Biopreservation potential of lactic acid bacteria from Andean fermented food of vegetal origin. Food Control. 78 (464): 393–400. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.03.009>.
40. Tinzl-Malang, S. K., Peter Rast, P., Grattepanche, F., Sych, J., Lacroix, C. (2015). Exopolysaccharides from co-cultures of *Weissella confusa* 11GU-1 and *Propionibacterium freudenreichii* JS15 act synergistically on wheat dough and bread texture. Int J Food Microbiol. 214:91–101. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.07.025>. Epub 2015 Jul 23.