

**С.С. Ануарбекова**

ТОО «Научно-аналитический центр «Биомедпрепарат»

Республика Казахстан, г. Степногорск

e-mail: sanuarbekova@rambler.ru

**ФЕРМЕНТЫ МИКРООРГАНИЗМОВ. ПРОТЕАЗЫ МОЛОЧНОКИСЛЫХ БАКТЕРИЙ**

**Аннотация:** Работа посвящена ферментам микроорганизмов. В данной обзорной статье представлены характеристики микробных ферментов, их классификации по различным параметрам. Рассматривается роль ферментов микроорганизмов в различных сферах жизнедеятельности человека. Ферменты участвуют в биохимических процессах микроорганизмов для их защиты, размножения и роста. Производителями ферментов являются различные таксономические группы бактерий, мицелиальных грибов, актиномицетов и дрожжей. Описаны гидролитические ферменты. Раскрывается важное значение гидролитического фермента протеазы, участвующего в различных процессах, в том числе с участием микроорганизмов. Основные продуценты протеолитических ферментов представлены бактериями рода *Bacillus*, *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Micrococcus*, *Pseudomonas*, грибами рода *Aspergillus*, *Penicillium*, *Blakeslea*, актиномицетами рода *Streptomyces*, *Actinomyces*. Особая роль отводится молочнокислым бактериям. Показана значимость применения протеазы в биотехнологической промышленности, в частности для разработки препаратов, заквасок, биодобавок, функциональных продуктов питания с заданными свойствами. В статье упоминаются результаты исследования протеолитической активности культур микроорганизмов, полученные мною с сотрудниками. Объектами исследования были бациллы, дрожжи, грибы и молочнокислые бактерии. Для оценки протеолитической активности применяют методы *in vitro*, генетические, хроматографический и другие методы.

**Ключевые слова:** ферменты, ферментативная активность, классификация, протеаза, молочнокислые бактерии, пробиотики, биотехнологическая промышленность.

Одной из основ биотехнологического процесса являются культуры микроорганизмов и их производные. Из года в год учёные занимаются поиском новых штаммов для внедрения в различные сферы жизнедеятельности человека, будь то пищевая промышленность, медицина, очистка почвы, дубление кожи и т.д. При этом свойства одного рода, одного вида, одного штамма микроорганизма уникальны и разнообразны, что один штамм можно использовать в различных направлениях.

В рамках выполнения нами научной программы (2022-2024 г.), одним из объектов исследования являются молочнокислые бактерии, а именно их способность к кислотообразующей активности, антагонизму к патогенным и условно-патогенным микроорганизмам, выделению ферментов, что способствовало применению их в качестве пробиотических препаратов, заквасок для получения молочнокислых продуктов, сыров, хлебобулочных изделий и продуктов функционального значения. Нами изучались микроорганизмы на наличие таких ферментов, как липазы, целлюлазы, протеазы, лизоцим и др. Большой интерес для микробиологов, представляют протеолитические ферменты, так как они не только имеют положительное значение для биотехнологии, но и являются одним из факторов идентификации культур микроорганизмов.

Несмотря на уникальность микроорганизмов, культуры необходимо постоянно обновлять в связи с утерей их биотехнологических свойств.

В связи с этим целью данной работы является систематизация знаний по ферментам микроорганизмов (классификация, применение) с предоставлением наших результатов, полученных в ходе многолетних исследований и исследований в рамках данного научного проекта, которое заключается в поиске новых пробиотических штаммов с устойчивостью к различным антибактериальным препаратам и с высокой протеолитической активностью.

Ферменты (от лат. «закваска»), или энзимы (от греч. «закваска»), – сложные белковые соединения, РНК (рибозимы) или их комплексы, ускоряющие химические реакции в живых системах. Термин «фермент» и «энзим» – синонимы. Белковые ферменты синтезируются на рибосомах, а в РНК – в ядре. Ферментативная активность может регулироваться активаторами (повышаться) и ингибиторами (понижаться) [1-3].

Любая живая клетка является продуцентом ферментов, в том числе микроорганизмы, в которых могут находиться десятки различных ферментов. Среди ферментов микроорганизмов много таких, которые встречаются и у растений, и у животных, но существуют и ферменты только «микробиологического происхождения». Все биохимические процессы, протекающие в микробных клетках, регулируются энзимами, поэтому любой фактор, действующий на активность фермента, будет действовать и на сам микроорганизм [4]. Один фермент действует только на один фактор, т.е. для ферментов характерна специфичность: лактаза расщепляет молочный сахар, амилаза – крахмал.

Интересным является то, что для осуществления какого-либо процесса большого количества фермента не нужно и это количество остаётся неизменным. Это отмечает И.Б. Леонова на примере амилазы: грамм амилазы превращает тонну крахмала в сахар [4].

Питание, дыхание, рост, размножение микроорганизмов осуществляются благодаря энзимам. Микробные ферменты также являются защитным фактором для микроорганизмов, фактором сохранения вида, патогенным фактором и признаками для определения их видовой и родовой принадлежности, т.е. идентификации.

В настоящее время известно более двух тысяч ферментов. Микроорганизмы располагают всем набором энзимов [4-8]. Они разделены на шесть классов, которые делятся на подклассы и подпод классы: оксидоредуктазы (оксидазы, пероксидазы, каталазы), трансферазы (фосфотрансферазы, аминотрансферазы), гидролазы (фосфатазы, эстеразы, глюкозидазы), лиазы (пируватдекарбоксилазы), изомеразы (рацемазы, эпимеразы), лигазы-синтетазы (глутаминсинтетаза, аспарагинсинтетаза) [3, 4, 6, 8, 9].

По строению ферменты подразделяются на простые и сложные белки [10, 11].

Ферменты в зависимости от реакции на условия среды делят на [4, 6-9]: конструктивные – концентрация в клетках микроорганизмов остаётся неизменной, пример, ферменты гликолиза; индуцибельные – концентрация в клетках микроорганизмов значительно увеличивается в присутствии соответствующего субстрата, пример,  $\beta$ -галактозидаза; репрессибельные – ферменты, синтез которых блокируется конечным продуктом.

Есть такие ферменты микроорганизмов как конститутивные и адаптивные [4, 12]. Конститутивные ферменты обязательны для данного вида, а адаптивные вырабатываются клеткой только при необходимости.

Первые как обязательные применяются при идентификации, например, фермент каталаза у бацилл или плазмокоагулаза для золотистого стафилококка. Адаптивным примером также могут служить бациллы, которые могут расти на любой среде, используя те элементы, которые присутствуют в данной среде. По моему мнению, связано это со способностью бацилл к спорообразованию, споры которых могут адаптироваться к любым условиям существования и сохранять вид. И за счёт большого комплекса ферментов, продуцируемых бациллами и оказывающих защитную функцию.

Также ферменты бывают внутренние и внешние – эндо- и экзоферменты, в зависимости от расположения и пространства выделения.

Ферменты в микробной клетке находятся в различных структурах. Ферменты энергетического обмена и транспорта питательных веществ находятся в цитоплазматической мембране и её производных. Ферменты белкового синтеза – в рибосомах. Многие ферменты располагаются в цитоплазме в растворённом виде [7, 9].

В практической бактериологии для идентификации микроорганизмов до вида или рода применяют биохимические показатели. Они основаны на ферментах, например, сахаролитическая активность – сбраживание углеводов до кислоты и газа. Также используются протеолитические, аутолитические, окислительно-восстановительные ферменты и ферменты патогенности (вирулентности).

В своей практике, мы применяли сахаролитические ферменты, протеолитические, окислительно-восстановительные и ферменты патогенности (вирулентности) [2, 13].

Например, для изучения сахаролитических свойств лактобацилл, исследовали сбраживание углеводов на пептонной воде с индикатором Андрее. На средах Гисса, Клигlera (рис. 1) изучали сахаролитические свойства энтеробактерий. Результатом является газообразование и образование кислоты – изменение цвета среды. Сбраживание лактозы энтеробактерий исследовали на лактозосодержащей среде Эндо [2, 13].

Протеолитические ферменты бактерий определяли по выделению индола, сероводорода, расщеплению фенилаланина, лизина, редукции нитрата. На средах Клигlera (рис. 1) и Олькеницкого также можно исследовать протеолитические свойства бактерий, так как рост микроорганизмов сопровождается высвобождением аммиака и образуется чёрный ободок – сероводород (№ 855 и № 857). Кроме этих дифференциальных сред для оценки протеолитической активности использовали разжижение казеина молока и желатины [2, 7, 9, 13].

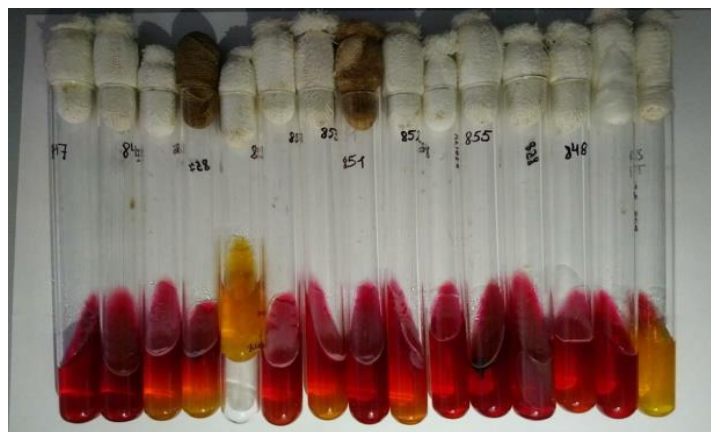


Рисунок 1 – Посев на среду Клигlera

Аутолитические ферменты – это гидролитические ферменты, под действием которых происходит саморастворение (автолиз) мёртвых клеток и тканей, разрушающих молекулы.

Для обнаружения окислительно-восстановительных ферментов в нашей практике мы использовали расщепление перекиси водорода, утилизацию цитрата.

Для определения наличия и степени патогенности (или вирулентности) бацилл, стафилококков, дрожжей, мы исследовали плазмокоагулазу, лецитиназу, бактериолитическую активность, киллерный эффект. Они разрушают ткани и клетки макроорганизма, вызывая инфекционные процессы. В тоже время эти факторы являются фактором защиты от внешних воздействий.

Определение ферментов патогенности также имеет значение при идентификации ряда микроорганизмов и выявления их роли в патологии.

Исследование на вирулентность также проводили на мышах в клинических испытаниях при разработке пробиотика для коррекции дисбактериоза кишечника и для разработки пародонтальных стрипов на основе лактобацилл.

Широкое применение микроорганизмов как продуцентов биологически активных веществ, в частности ферментов, основано на их продуктивности. Культуры микроорганизмов часто заменяют продуктами метаболизма, что способствует улучшению качества технологического процесса, повышению выхода продукции, улучшения качества продукта и удешевления финансовых затрат.

Использование микроорганизмов для получения ферментов имеет ряд преимуществ по сравнению с растительным и животным сырьем, что отмечено И.Б. Леоновой [4]:

- микроорганизмы имеют большое количество разнообразных ферментов;
- микроорганизмы имеют способность быстро размножаться при минимуме времени с выходом большого количества биомассы и с последующим получением большого количества фермента;
- для культивирования микроорганизмов не требуется больших затрат, так как они растут на относительно дешевых субстратах, например на отходах различных промышленных производств;

– управлять развитием микроорганизмов при современном аппаратном оформлении таких производств значительно легче и проще, чем выращивать растения и животных.

В связи с этими преимуществами, во многих отраслях промышленности микробные ферменты заменяют животные и растительные ферменты.

Итак, ферменты и микроорганизмы работают на нужды человека с незапамятных времен.

В древности люди занимались виноделием, пивоварением, сыроделием – всё это биотехнологические процессы с использованием ферментов культур микроорганизмов. Также готовили хлеб и квасили капусту, где опять же участвовали микроорганизмы, а именно продукты их метаболизма.

Примером использования ферментов микробного происхождения является производство этилового спирта, когда в сырье, содержащее крахмал, вместо зернового солода добавляют амилалитические ферменты из грибов. При производстве хлеба солод заменяют ферментами микробного происхождения, при этом повышаются качество изделий, их органолептические показатели. При производстве пива использование ферментов позволяет заменить солод. При производстве сыра вместо сычужного фермента используются ферменты микробного происхождения. Имеется опыт использования пептидаз микробного происхождения для размягчения мяса, ускорения его созревания, в различных технологических процессах при переработке сырья [4].

Ферменты микроорганизмов применяются в медицине, ветеринарии, биологии в качестве лечебных препаратов и ферментов – регуляторов биологических процессов, особенно в генетике.

С ферментами связан целый ряд перспективных исследований и разработок в сфере медицины, которые помогут удешевить производство антибиотиков и сделать их более эффективными, повысить качество и доступность средств диагностики многих серьезных недугов, в частности, сердечно-сосудистых заболеваний. Особое место занимает разработка пробиотиков [2, 14-18].

Антисептические свойства пробиотиков связаны с продукцией антимикробных факторов: органических кислот, бактериоцинов, ингибиторных протеинов, ферментов [18].

Особое внимание [19] много десятиков лет уделено молочнокислым бактериям (МКБ) как источникам пробиотиков.

МКБ представляют бактерии семейства *Lactobacillaceae*, которые объединены в одну группу по способности бактерий выделять молочную кислоту. Семейство представлено лактобациллами, лактококками, молочнокислыми стрептококками, педиококками и др. Бактерии рода *Bifidobacterium* не относятся к МКБ, но их рассматривают в одном аспекте как пробиотики, закваски, благодаря их способности подавлять условно-патогенные и патогенные микроорганизмы.

МКБ выделяют из молока, молочнокислых продуктов, квашеных продуктов, ягод, растений, биотопов человека, в частности из толстого кишечника. Особенно пробиотически эффективны штаммы, выделенные из каловых масс маленьких детей.

О биологических свойствах лактобацилл подробно написано в работе Глушановой Н.А. «Биологические свойства лактобацилл» [20]. Благодаря их уникальности с каждым годом учёные получают всё новые штаммы [21, 22].

МКБ участвуют в обмене веществ, продуцируют витамины, ферменты и другие биологически активные вещества, поддерживают биоценоз биотопов человека, обладают иммуномодулирующими, канцерогенными, антимутагенными и другими свойствами.

Важное значение имеют антагонизм к условно-патогенным и патогенным микроорганизмам и продукция ферментов. Антагонисты подавляют бактерии, дрожжи, актиномицеты и мицелиальные грибы. На их основе разработаны десятки пробиотиков в медицине и ветеринарии; молочнокислые продукты; косметические и моющие средства.

Препараты на основе лакто- и бифидобактерий применяют для профилактики и лечения заболеваний желудочно-кишечного тракта, дыхательных путей, для восстановления кишечного, орального и вагинального микробиоценоза.

Микроорганизмы вводят в пищевые добавки, кисломолочные продукты.

МКБ, присутствующие в пище, улучшают усвояемость белков, замедляют высвобождение жирных кислот и поддерживают здоровье человека, обитая в желудочно-кишечном тракте.

При выполнении различных научных работ, мною с сотрудниками, были выделены лактобациллы, лактококки и стрептококки, которые обладали антагонизмом различной степени проявления. На основе бактерий с высокой степенью антагонизма были разработаны пробиотические препараты. Их адсорбировали на сорбентах и лекарственных растениях [23-26]. Сорбенты усиливали действие антагонистов за счёт того, что они на себе собирают токсины, а лекарственные растения, также как бактерии, подавляют патогенную микрофлору, нормализуя биоценоз.

В последнее время, МКБ применяют при разработке продуктов функционального назначения с заданными свойствами, которые стали модными и востребованными, например, кисломолочные продукты с пробиотическим эффектом, лактозоутилизирующими свойствами или с добавками микроэлементов, витаминов для коррекции той или иной патологии, например, недостатка йода.

Нами были получены МКБ с лактозоутилизирующими и пробиотическими свойствами, которые являются перспективными в разработке молочнокислых продуктов для больных с лактазной недостаточностью и могут применяться больными сахарным диабетом [27-29].

Итак, имеется ряд направлений по разработке продуктов с пробиотическими, антиоксидантными, холестеринутилизирующими, канцерогенными свойствами, с содержанием йода, калия и других микроэлементов, с низким содержанием сахара, без лактозы и т.д. [16-20, 30-35].

Например, Хамагаевой И.С. с сотрудниками [35] разработана технология сухих молочно-белковых концентратов с кальцием и лактобактериями вида *Lactobacillus helveticus*. Молоко использовали коровье и козье. Выбор авторов был основан на литературных данных, о том, что этот вид имеет высокую протеолитическую активность, что подтверждено и в данной работе. Значительным свойством является высокий пробиотический потенциал заквасочных штаммов микроорганизмов. Они имеют хорошую кислотообразующую активность и высокий показатель жизнеспособности, что является одним из требований при разработке препаратов ( $10^6$  КОЕ/мл и более) –  $10^8$  КОЕ/мл.

Более эффективным оказался штамм *Lactobacillus helveticus* H<sub>17-18</sub>.

МКБ также являются продуцентами ферментов, в том числе гидролитических ферментов, перспективных в различных сферах жизнедеятельности человека [36-41]. Их используют в лёгкой, пищевой промышленности, для кормов, в медицине [42].

Среди гидролаз, продуцируемые МКБ, особый интерес представляют протеолитические ферменты, применяемых при разработке пробиотиков, заквасок, ветеринарных препаратов, в кожевенной промышленности и т.д. [41, 43-45]. В препаратах протеазы являются сигнальными и эффекторными молекулами иммунной защиты [46]. Они располагаются в клеточной стенке микроба.

Есть исследования, в которых доказано эффективное применение казеинолитических МКБ для расщепления казеина и белка молока, так как у многих людей есть аллергия к этим компонентам [47].

Ферменты-протеазы играют роль в метаболизме бактерий, так как протеолиз необходим для снабжения МКБ азотом, аминокислотами, витаминами, которые образуются при разложении казеина, например, протеолитические ферменты снабжают *Lactococcus lactis* аминокислотами во время роста в молоке [48]. Эти ферменты имеют значение, так как МКБ требуют большое количество аминокислот для своего роста и размножения.

Протеолитические ферменты применяются для гидролиза белков, коагуляции молочных белков, например в сыроделии. Для заквасок при производстве сыра важным является их протеолитическая активность: ускоряют процесс гидролиза, формируют органолептические и реологические показатели сыра [49]. Протеазы как продукты жизнедеятельности микроорганизмов используются в мясной отрасли для модификации свойств мясного сырья в целях повышения его нежности и степени гидратации, улучшения качества полученных из модифицированного сырья мясных продуктов [31, 50, 51]. В работах представлены исследования действия консорциумов микроорганизмов на мясное сырье.

К.М. Альхатибом и Т.М. Данильчук [31] были исследованы комплекс бактерий – продуцентов протеаз – *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus helveticus*, *Propionibacterium freudenreichii* ssp. *Shermanii*. В результате проведенных экспериментов показано, что из мяса бедра индейки, модифицированного обработкой жидкой

биомассой консорциума, получается продукт, имеющий более нежную структуру, улучшенные органолептические свойства и повышенные потребительские качества [31].

Нестеренко А.А. и Акопян К.В. были изучены влияние консорциума микроорганизмов на функционально-технологические свойства модельных фаршей. Они установили, что введение стартовых культур с заданным составом, способствует повышению сортности мясного сырья, ускорению посола, влияет на физико-химические, структурно механические и биологическую ценность мясного сырья [50].

Молочнокислые протеазы увеличивают срок хранения хлеба и макаронных изделий, также применяются в качестве консервантов для увеличения срока хранения пакетированных соков. Протеолитические ферменты защищают продукты питания от загрязнения различными микроорганизмами и отвечают за органолептические показатели.

80-90% различных видов и штаммов молочных бактерий обладают различной степенью способности расщеплять протеазы. Из 137 штаммов МКБ, выделенных нами и подвергнутых скринингу, 61,3% штаммов имеют протеолитическую активность [52].

Внешними факторами, влияющие на протеолитическую активность культур микроорганизмов являются температура, pH среды, состав среды, достаточное количество аминокислот, наличие спиртов, фенола. При этом, как отмечено в некоторых работах, оптимальное значение pH для роста бактерий не всегда совпадает с оптимальным значением pH для биосинтеза ферментов [44, 53].

Для каждого штамма это значение индивидуально.

Протеолитические ферменты лактобактерий способны проявлять активность в широком интервале значений pH, и по этому признаку они делятся на слабокислые, нейтральные и щелочные. В основном максимальная протеолитическая активность была зарегистрирована при pH 8,0, тогда как оптимальное значение для роста и развития данных штаммов лежит в диапазоне от 5,5 до 6,2 [36].

Интересным являются исследования криорезистентности бактерий с ферментативными свойствами, используемые в промышленности.

Исследователями была дана оценка протеолитической активности пятнадцати новых криорезистентных штаммов МКБ рода *Lactobacillus*, обладающих рядом функционально-технологических свойств [36].

Исследование криогенных свойств, связано с тем, что в силу увеличения занятости населения, а именно женщин, увеличился спрос на полуфабрикаты, которые находятся в замороженном состоянии. Длительное же хранение продуктов приводит к утрате вкусовых качеств, структурных свойств; в отношении дрожжевого теста к долгому созреванию дрожжей или их гибели; к ослизнению колбас и т.д. Подавлению функций подвергаются и МКБ, которые характерны в составе хлебобулочных изделий, мороженого.

Упор сделан на протеолитические энзимы, которые в качестве консервантов увеличивают срок хранения продуктов питания, что подтверждено литературными данными и практическими изысканиями.

Результаты исследования показали, что все штаммы (выделенные ими ранее) демонстрируют более высокую протеолитическую активность в щелочной среде и в среде, близкой к нейтральной pH (6,5), в слабокислой среде протеолитическая активность лактобацилл имеет минимальные значения, за исключением штаммов *L. fermentum* 12 и *L. plantarum* 21 [36].

Авторы рекомендуют применять выделенные ими криорезистентные штаммы *L. casei* 32, *L. casei* 36 и *L. fermentum* 10 с высокой степенью протеолитической активности в качестве заквасок для производства ферментированных продуктов питания [36].

Активность не связана с видом, а является индивидуальной для каждого штамма.

Вообще микроорганизмы хорошо могут храниться при различных температурах, например, в лиофильновысушенном состоянии и при криоконсервации: штаммы культур микроорганизмов хранятся при минус 80 °С. Культуры на скошенной агаризованной среде или под минеральным маслом хранятся при минус 4 °С. Причём различные их свойства, как например, ферментативная активность, антагонизм к патогенным и условно-патогенным микроорганизмам сохраняются. Нами неоднократно данный факт подтверждался при закладке культур на хранение и оценке активности в процессе хранения годами.

Итак, МКБ обладают определенной протеолитической активностью, обусловливаемой действием протеиназ пептидаз.

Для оценки протеолитической активности используются различные методы, как методы *in vitro*, модифицированный метод Ансона, генетические методы, методами SDS-PAGE, жидкостной хроматографии и масс-спектрометрии.

*In vitro* исследуется расщепление казеина и желатины. Протеолитические ферменты катализируют расщепление белков на поли- и олигопептиды [2, 13, 54].

Для выявления активности кazeиназы используют молочный агар Эйкмана, где в качестве субстрата применяют обезжиренное молоко. Способность к образованию протеолитических ферментов определяют по прозрачным ореолам вокруг зоны роста бактерий, что обуславливает пептонизацию казеина.

Другим методом для определения протеолитических ферментов *in vitro* – коллагеназ, производят посев уколом исследуемой культуры в столбик мясо-пептонной желатины. При положительном результате наблюдается разжижение желатины различной формы.

В ходе научно-исследовательской деятельности на протяжении 25 лет, мною с сотрудниками были выделены, изучены и разработаны различные микроорганизмы с ферментативными свойствами, среди которых были протеолитически активные [55-58].

В одном из исследований для выявления протеолитической активности выделенных культур и коллекционных культур МКБ и дрожжей, мы использовали качественный метод – высевали уколом на молочный агар и помещали в термостат при 37 °С на 2-10 суток. Казеинолитическую активность бактерий оценивали по зоне просветления вокруг выросших колоний.

В результате данного исследования было выявлено, что 85,7% выделенных культур МКБ обладают протеолитической активностью, не активны – 12 культур, что составляет 14,3%. Зона лизиса колеблется от 1 до 20 мм, увеличиваясь на один порядок при выдерживании в условиях комнатной температуры после инкубации в термостате (рис. 2).

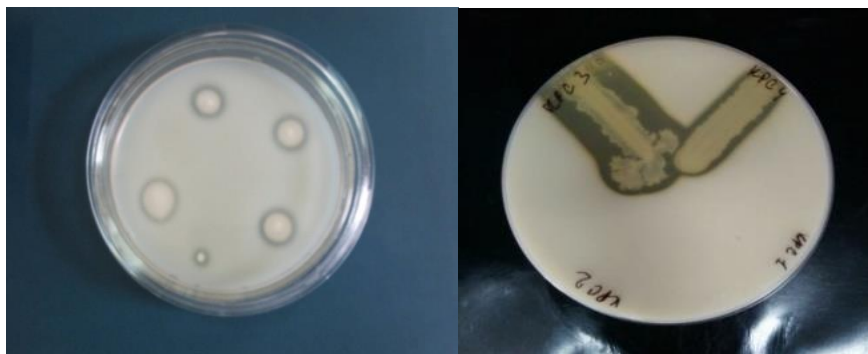


Рисунок 2 – Расщепление протеазы

Активные культуры были выделены из биотопов человека, молочных продуктов, отходов животноводческих ферм.

Среди музейных штаммов из 17, 1 штамм не обладает свойством лизировать казеин, 10 штаммов имеют низкую активность (1-4 мм), 2 – среднюю (5-9 мм), 5 – высокую (10 и более). *L. plantarum* 0015 имеет наиболее высокий показатель протеолиза, который составляет 30 мм.

Наиболее активные культуры были исследованы на хроматографе, что подтвердило их активность.

Среди дрожжевых культур 9 обладают свойством разлагать казеин.

В следующем исследовании были изучены МКБ и дрожжи в качестве заквасок и оценивали активность протеазы для получения протеолитического фермента.

Основную массу культур, обладающих протеолитической активностью составляют МКБ, что отражено на диаграмме (рис. 3).

Из 102 МКБ 82 (80,4±3,9%) культуры лизируют казеин молока. Цифры от 1 до 10,6 мм. 49 культур имеют показатель протеолитической активности более 5 мм. Наиболее высокие показатели имеют культуры лактобацилл LB46 – 9,5 мм, L73 – 10,6 мм, L96 – 9 мм, 11LR – 9 мм, 12LR – 10 мм, LK14 – 10,3. Есть культуры из биотопов человека и молочных продуктов.



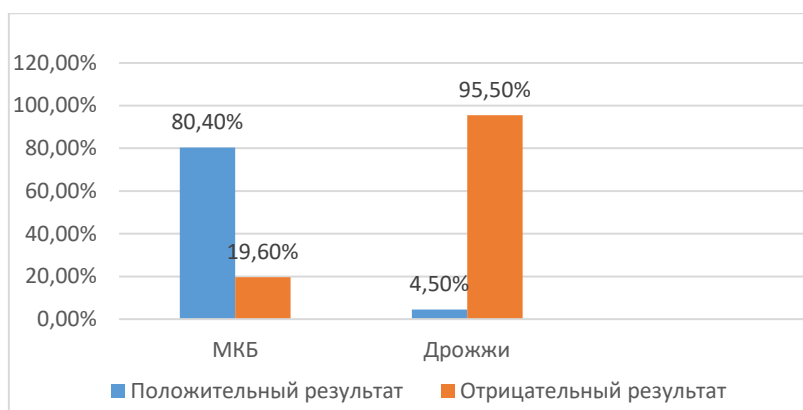


Рисунок 3 – Результат исследования протеолитической активности

Из 133 культур дрожжей всего 6 культур обладают способностью к протеолизу. Дрожжи же дали положительный результат в 6 случаях ( $4,5 \pm 1,8\%$ ), из них 5 культур (С123, С141, С161, С194, С237), выделенные из молочнокислых продуктов домашнего приготовления, 1 (DK29) – заводского приготовления. Показатель протеолиза колеблется в пределах 1-4,6 мм. Эти данные опять свидетельствуют о том, что дрожжи менее активны в качестве продуцентов протеолитических ферментов.

Основная масса культур микроорганизмов имеют способность разлагать казеин, больший процент составляют МКБ, поэтому они являются наиболее актуальными при выделении протеолитического фермента, что подтверждено многими научными данными.

Таким образом, знание о протеолитической активности МКБ имеет решающее значение при подборе заквасочных культур, протеолитических и других бактериальных препаратов. Высокая протеолитическая активность штамма микроорганизмов в сочетании с антагонистической активностью увеличивает возможность применения их в пищевой, перерабатывающей промышленности, животноводстве и медицине.

### Список литературы

1. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Ферменты> (дата обращения 11.04.2023).
2. Практикум по микробиологии / ред. А.И. Нетрусова. – М.: АCADEMA. – 2005. – 603 с.
3. Емельянов В.В., Максимова Н.Е., Мочульская Н.Н. Биохимия. – Учебное пособие. Екатеринбург: Издательство Уральского университета. – 2016. – 134 с.
4. Леонова И.Б. Основы микробиологии: учебник и практикум для ВУЗов. – Москва: Издательство Юрайт, 2023. – 277 с. – Текст электронный. — URL: <https://urait.ru/bcode/512297> (дата обращения: 18.05.2023).
5. Госманов Р.Г., Галиуллин А.К., Волков А.Х., Ибрагимова А.И. Микробиология. – Учебное пособие. – 2-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2017. – 496 с.
6. [https://www.pesticidy.ru/dictionary/Enzymes\\_of\\_microorganisms](https://www.pesticidy.ru/dictionary/Enzymes_of_microorganisms) (дата обращения: 20.05.2023).
7. Мусина Л.Т. Физиология бактерий (часть вторая): метод. реком. – Казань: КГМУ. – 2001. – 17 с.
8. Пилькевич Н.Б., Виноградов А.А., Боярчук Е.Д. Основы микробиологии: Учебное пособие для студентов ВУЗ. – Луганск: Альма-матер. – 2008. – 192 с.
9. Лысак В.В., Игнатенко Е.И. Физиология микроорганизмов: учеб.-метод. пособие. – Минск: БГУ. – 2016. – 80 с.
10. Емцев В.Т. Микробиология: учебник для ВУЗов / В.Т. Емцев, Е.Н. Мишустин. – 5-е изд., переработанное и доп. – Москва: Дрофа. – 2005. – 445 с.
11. <https://propionix.ru/mikrobnaya-fermentatsiya> (дата обращения 11.04.2023.).
12. [https://studme.org/258307/geografiya/fermenty\\_mikroorganizmov](https://studme.org/258307/geografiya/fermenty_mikroorganizmov) (дата обращения 11.04.2023.).
13. Справочник по микробиологическим и вирусологическим методам исследования / под ред. М.О. Биргер. – М.: Медицина. – 1982. – 462 с.
14. <https://lk.msu.ru/course/> (дата обращения 11.04.2023.).
15. Лобанок А. Биотехнология микробных ферментов // Наука и инновации. – 2011. – № 1(95). – С. 66-69.



16. Ануарбекова С.С., Абитаева Г.К., Бекенова Н.Е. и др. Поиск лактобацилл с пробиотическим потенциалом для получения биопрепаратов и молочнокислых продуктов функционального назначения / Микроорганизмы и биосфера – 2015: Мат. междунар. симпозиума. – Ташкент, 2015. – С. 182-183.
17. Вахитов Т.Я., Вербицкая Н.Б., Добролеж О.В. и др. Влияние метаболитов пробиотических и патогенных бактерий на антагонистическую активность *Lactobacillus acidophilus* Д№ 75 // Научный журнал КубГАУ. – 2013. – № 92(08). – 19 с.
18. Урсова Н.И. Терапевтический потенциал современных пробиотиков // Педиатрическая фармакология. – 2013. – Т. 10 (2). – С. 46-56.
19. Квасников Е.И., Нестеренко О.Л. Молочнокислые бактерии и пути их использования. – М.:Наука. – 1975. – 389 с.
20. Глушанова Н.А. Биологические свойства лактобацилл // Бюллетень сибирской медицины. – 2003. – № 4. – С. 50-58.
21. Соловьева И.В., Точилина А.Г., Новикова Н.А. и др. Изучение биологических свойств новых штаммов рода *Lactobacillus* // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2010. – № 2(2). – С. 462-468.
22. Яруллина Д.Р., Фахруллин Р.Ф. Бактерии рода *Lactobacillus*: общая характеристика и методы работы с ними: Уч.-метод. пособие. – Казань: Казанский унив. – 2014. – 51 с.
23. Нагызбеккызы Э., Ануарбекова С.С., Алмагамбетов К.Х. Пробиотические свойства коллекционных штаммов бактерий рода *Lactobacillus* / Инновации в науке: Мат. Междунар. научно-практ. конф. – Новосибирск. – 2012. – С. 29-36.
24. Туякова А.К., Абитаева Г.К., Бекенова Н.Е. и др. Изучение пробиотических свойств новых штаммов лактобактерий // Биотехнология. Теория и практика. – 2013. – № 4. – С. 55-59.
25. Ануарбекова С.С., Абитаева Г.К., Алмагамбетов К.Х. Исследование возможности создания пробиотиков иммобилизованные на тагансорбент // Вестник государственного Университета имени Шакарима. – Серия биол. – 2014. – № 4(68). – С. 99-103.
26. Абитаева Г.К., Бекенова Н.Е., Ануарбекова С.С., Алмагамбетов К.Х. Разработка новых биопрепаратов на основе пробиотических микроорганизмов и эндемичных видов лекарственных растений / Тез. докл. IX Междун. науч. конф., посвященной 50-летию создания Института микробиологии НАН Беларуси. – Минск. – 2015. – С. 129-130.
27. Бекенова Н.Е., Егинчибаева А.Д., Ануарбекова С.С. Оценка пробиотического потенциала лактозоутилизирующих культур / Personalized medicine and global health: Мат. 2-й Междунар. конф. – Астана. 2015. – С. 109-110.
28. Карменова Ж.К., Нагызбеккызы Э., Даулбай С.С., Ануарбекова С.С. Скрининг пробиотически активных культур перспективных для получения заквасок с лактозоутилизирующими свойствами / Автотрофные микроорганизмы: Мат. V-го Всероссийского симпозиума, посвященный 90-летию академика РАН Е.Н. Кондратьевой. – МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва. – 2015. – С. 105.
29. Arynova R.A., Anuarbekova S.S, Muslimov N.Zh. Consortium of starter cultures with lactose-utilizing and probiotic properties technology of production of delactosed sould - milk products // Eur Asian Journal of BioSciences. – 2020. – V. 14(1), P. 459-465.
30. Барейко А.А., Сидоренко А.В., Новик Г.И., Синекий С.П. Физиолого-биохимические свойства культур лактококков / Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты: Сб. науч. труд. – Минск, 2012. – Т. 4, 281 с. – С. 52-65.
31. Альхатиб К.М., Данильчук Т.М. Использование протеолитических свойств биомассы молочнокислых микроорганизмов для создания новых продуктов питания // Health, Food & Biotechnology. – 2022. – Т. 4, № 4. – С. 65-77.
32. Головин М.А., Ганина В.И., Машенцева Н.Г. Холестеринредуцирующие пробиотические бактерии в молочной продукции // Молочная промышленность. – 2014. – № 5. – С. 46-47.
33. Ускова М.А., Кравченко Л.В. Антиоксидантные эффекты молочнокислых бактерий – пробиотиков и йогуртных заквасок // Вопросы питания. – 2009. – Т. 78, № 2. – С. 18-24.
34. Артюхова С.И., Гаврилова Ю.А. Использование пробиотиков и пребиотиков в биотехнологии производства биопродуктов. – Омск: ОмГТУ, 2010. – 112 с.
35. Хамагаева И.С., Щёкотова А.В., Жеребятёва О.А., Щетинина Е.М. Молочно-белковый концентрат, обогащенный кальцием // И.С. Ползуновский вестн. – 2017. – № 1. – С. 24-29.

36. Китаевская С.В., Пономарев В.Я., Решетник О.А. Оценка протеолитической активности новых штаммов лактобацилл с криорезистентными свойствами // Известия ВУЗов. Прикладная химия и биотехнология. – 2022. – Т. 12, №1. – С. 76-86.
37. Raveschot C., Cudennec B., Coutte F. et al. Production of Bioactive Peptides by *Lactobacillus* Species: From Gene to Application // *Frontiers in Microbiology*. – 2018. – Vol. 9, Article number 2354. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02354>.
38. Rajoka M.S.R., Wu Y.G., Mehwish H.M., Bansal M., Zhao L.Q. *Lactobacillus* exopolysaccharides: New perspectives on engineering strategies, physiochemical functions, and immunomodulatory effects on host health // *Trends in Food Science and Technology*. – 2020. – Vol. 103, P. 36-48. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.06.003>.
39. Lynch K.M., Zannini E., Coffey A., Arendt E. K. Lactic acid bacteria exopolysaccharides in foods and beverages: Isolation, properties, characterization, and health benefits // *Annual Review of Food Science and Technology*. – 2018. – Vol. 9, № 9. – P. 155-176. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030117-012537>.
40. Maske B.L., de Melo Pereira G.V., S Vale A. et al. A review on enzyme-producing lactobacilli associated with the human digestive process: From metabolism to application // *Enzyme and Microbial Technology*. – 2021. – Vol. 149, Article number 109836. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2021.109836>.
41. Leroy F., Verluyten J., de Vuyst L. Functional meat starter cultures for improved sausage fermentation // *International Journal of Food Microbiology*. – 2006. – Vol. 106(3), P. 270-285. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2005.06.027>.
42. Mayo B. The proteolytic system of lactic acid bacteria // *Microbiologia*. – 1993. – Vol. 9(2). – P. 90-106.
43. Chen C., Zhao S., Hao G. et al. Role of lactic acid bacteria on the yogurt flavor: A review // *International Journal of Food Properties*. – 2017. – Vol. 20(1), P. 316-330. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1295988>.
44. Kieliszek M., Pobiega K., Piwowarek K., Kot A.M. Characteristics of the proteolytic enzymes produced by lactic acid bacteria // *Molecules*. – 2021. – Vol. 26, № 7. – P. 1858. <https://doi.org/10.3390/molecules26071858>.
45. Хамагаева И.С., Жеребятьева О.А., Щёктова А.В. Протеолитическая активность лактобактерий // *Молочная промышленность*. – 2016. – № 11. – С. 29-31.
46. Кайбышева В.О., Жарова М.Е., Филимендикова К.Ю. Микробиом человека: возрастные изменения и функции // *Доказ. гастроэнтер.* – 2020. – Т. 9, № 2. – С. 42-55.
47. Головач Т.Н., Курченко В.П. Гидролиз белков молока ферментными препаратами и протеолитическими системами молочнокислых бактерий // *Труды БГУ*. – 2012. – Т. 7, Ч. 1-2. – С. 106-126.
48. Guedon E., Serror P., Ehrlich S.D. et al. Pleiotropic transcriptional repressor CodY senses the intracellular pool of branched-chain amino acids in *Lactococcus lactis* // *Mol. Microbiol.* – 2001. – Vol. 40(5), P. 1227-1239. doi: 10.1046/j.1365-2958.2001.02470.x.
49. Юкало В.Г., Шуляк Т.Л. Протеолитические свойства молочно-кислых стрептококков, применяемых в сыроделии // *Изв. ВУЗов. Пищев. технология*. – 1991. – № 4-6. – С. 26.
50. Нестеренко А.А., Акопян К.В. Биомодификация мясного сырья с целью получения функциональных продуктов // *Научный журнал КубГАУ*. – 2014. – № 101(07): <http://ej.kubagro.ru/2014/07/pdf/112>. (дата обращения 23.04.2023.)
51. Исаева К.С., Мухамеджанова А.С. Создание полифункциональных продуктов из мясного и растительного сырья. – Павлодар: Кереку. – 2015. – 79 с.
52. García-Cano I., Rocha-Mendoza D., Ortega-Anaya J. et al. Lactic acid bacteria isolated from dairy products as potential producers of lipolytic, proteolytic and antibacterial proteins // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* – 2019. – Vol. 103(13), P. 5243-5257. doi: 10.1007/s00253-019-09844-6.
53. Sun F., Hu Y., Yin X. et al. Production, purification and biochemical characterization of the microbial protease produced by *Lactobacillus fermentum* R6 isolated from Harbin dry sausages // *Process Biochemistry*. – 2020. – Vol. 89, P. 37-45.
54. Пастух О.Н., Сидоренко О.Д. Сукцессионные процессы в кисломолочном продукте местной закваски // *Журнал естественнонаучных исследований*. – 2016. – Т. 1, №1. <https://naukaru.ru/ru/nauka/article/10417/view> (дата обращения 11.04.2023.)

55. Алмагамбетов К.Х., Кушугулова А.Р., Ануарбекова С.С. О создании коллекции микроорганизмов для биотехнологии // Биотехнология. Теория и практика. – 2001. – № 3-4. – С. 96-97.
56. Сармурзина З.С., Ануарбекова С.С., Алмагамбетов К.Х. и др. Ферментативная активность выделенных изолятов и коллекционных штаммов Республиканской коллекции микроорганизмов // Вестник науки КазАТУ им. С. Сейфуллина. – 2010. – № 1(56). – С. 327-334.
57. Oshanova D., Bayanbek D., Anuarbekova S.S. et al. Obtaining and genotyping of fungal producers of proteolytic enzymes // J. of Engineering and Applied Sciences. – 2017. – № 12(7). – P. 1920-1930.
58. Сармурзина З.С., Ануарбекова С.С., Алмагамбетов К.Х. Характеристика изолятов и коллекционных штаммов бацилл, обладающих липолитической, протеолитической и липазной активностью // Биотехнология. Теория и практика. – 2010. – № 1. – С. 84-88.

## References

1. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Fermenty> (дата обращения 11.04.2023.). (In Russian).
2. Praktikum po microbiologii / red. A.I. Netrusova. – M.: ACADEMA. – 2005. – 603 s. (In Russian).
3. Emel'yanov V.V., Maximova N.E., Mochulskaia N.N. Biohimiya. – Uchebnoe posobie. – Ekaterinburg: Izdatel'stvo Uralskogo universiteta, 2016. – 134 s. (In Russian).
4. Leonova I.B. Osnovy microbiologii: uchebnik i praktikum dlya VUZov. – Moskva: Izdatel'stvo Urait, 2023. – 277 s. – ISBN 978-5-534-15645-4. – Tekst elektronnyi. – URL: <https://urait.ru/bcode/512297> (дата обращения: 18.05.2023). (In Russian).
5. Gosmanov R.G., Galiullin A.K., Volkov A.H., Ibragimova A.I. Microbiologiya: Uchebnoe posobie. – 2 izd., ster. – SPb.: Lan', 2017. – 496 s. (In Russian).
6. [https://www.pesticity.ru/dictionary/Enzymes\\_of\\_microorganisms](https://www.pesticity.ru/dictionary/Enzymes_of_microorganisms) (дата обращения: 20.05.2023). (In Russian).
7. Musina L.T. Fiziologiya bakterii (chast' vtoraya): metodicheskie rekomendatsii. – Kazan': KGMU. – 2001. – 17 s. (In Russian).
8. Pilkevich N.B., Vinogradov A.A., Boyarchuk E.D. Osnovy microbiologii: Uchebnoe posobie dlya studentov VUZ. – Lugansk: Alma-mater. – 2008. – 192 s. (In Russian).
9. Lysak V.V., Ignatenko E.I. Fiziologiya mikroorganizmov: uchebno-metod. posobie. – Minsk: BGU. – 2016. – 80 s. (In Russian).
10. Emtsev V.T. Microbiologiya: uchebnik dlya VUZov / V.T. Emtsev, E.N. Mishustin. – 5 izd., pererabotannoe i dop. – M.: Drofa. – 2005. – 445 s. (In Russian).
11. <https://propionix.ru/mikrobnaya-fermentatsiya> (дата обращения 11.04.2023.). (In Russian).
12. [https://studme.org/258307/geografiya/fermenty\\_mikroorganizmov](https://studme.org/258307/geografiya/fermenty_mikroorganizmov) (дата обращения 11.04.2023.). (In Russian).
13. Spravochnik po microbiologicheskim i virusologicheskim metodam issledovaniya / pod red. M.O. Birger. – M.: Medicina. – 1982. – 462 s. (In Russian).
14. <https://lk.msu.ru/course/> (дата обращения 11.04.2023.). (In Russian).
15. Lobanok A. Biotehnologiya mikrobykh fermentov // Nauka i innivacii. – 2011. – №1(95). – S. 66-69. (In Russian).
16. Anuarbekova S.S., Abitaeva G.K., Bekenova N.E. i dr. Poisk laktobacill s probioticheskim potencialom dlya polucheniya biopreparatov i molochnokislykh produktov funktsionalnogo naznacheniya / Mikroorganizmy i biosfera – 2015: Mat. mezhdunar. simpoziuma. – Tashkent. – 2015. – S. 182-183. (In Russian).
17. Vahitov T.Ya., Verbickaya N.B., Dobrolezh O.V. i dr. Vliyanie metabolitov probioticheskikh i patogennykh bakterii na antagonisticheskuyu aktivnost' *Lactobacillus acidophilus* Д№75 // Nauchnyi zhurnal KubGAU. – 2013. – № 92(08). – 19 s. (In Russian).
18. Ursova N.I. Terapevticheskii potencial sovremennykh probiotikov // Pediatricheskaya farmakologiya. – 2013. – T. 10(2), S. 46-56. (In Russian).
19. Kvasnikov E.I., Nesterenko O.L. Molochnokislye bakterii i puti ikh ispol'zovaniya. – M.: Nauka. – 1975. – 389 s. (In Russian).
20. Glushanova N.A. Biologicheskie svoystva laktobacill // Bulletin' sibirskoi mediciny. – 2003. – № 4. – S. 50-58. (In Russian).
21. Solov'eva I.V., Tochilina A.G., Novikova N.A. i dr. Izuchenie biologicheskikh svoystv novykh shtammov roda *Lactobacillus* // Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo. – 2010. – № 2(2). – S. 462-468. (In Russian).

22. Yarullina D.R., Fahrullin R.F. Bakterii roda *Lactobacillus*: obshchaya kharakteristika i metody raboty s nimi: Uch.-metod. posobie. – Kazan': Kazanskii universitet. – 2014. – 51 s. (In Russian).
23. Nagyzbekkyzy E., Anuarbekova S.S., Almagambetov K.Kh. Probioticheskie svoistva kollektionnykh shtammov bakterii roda *Lactobacillus* / Innovacii v nauke: Mat. mezhdunar. Nauchno-prakt. konf. – Novosibirsk, 2012. – S. 29-36. (In Russian).
24. Tuyakova A.K., Abitaeva G.K., Bekenova N.E. i dr. Izuchenie probioticheskikh svoistv novykh shtammov laktobakterii // Biotekhnologiya. Teoriya i praktika. – 2013. – № 4. – S. 55-59. (In Russian).
25. Anuarbekova S.S., Abitaeva G.K., Almagambetov K.Kh. Issledovanie vozmozhnosti sozdaniya probiotikov immobilizovannye na tagansorbent // Vestnik gosudarstvennogo universiteta im. Shakarima. – Seriya boil. – 2014. – № 4(68). – S. 99-103. (In Russian).
26. Abitaeva G.K., Bekenova N.E., Anuarbekova S.S., Almagambetov K.Kh. Razrabotka novykh biopreparatov na osnove probioticheskikh mikroorganizmov i endemichnykh vidov lekarstvennykh rastenii / Tez. dokl. IX mezhdunar. nauch. konf., posvyashchennoi 50-letiu sozdaniya Instituta microbiologii NAN Belarusi. – Minsk. – 2015. – S. 129-130. (In Russian).
27. Bekenova N.E., Eginchibaeva A.D., Anuarbekova S.S. Ocenka probioticheskogo potentsiala laktozoutiliziruyushchikh kultur / Personalized medicine and global health: Mat. 2-i mezhdunar. konf. – Astana, 2015. – S. 109-110. (In Russian).
28. Karmenova Zh.K., Nagyzbekkyzy E., Daulbai S.S., Anuarbekova S.S. Skringing probioticheski aktivnykh kultur perspektivnykh dlya polucheniya zakvasok s laktozoutiliziruyushchimi svoistvami / Avtotrofnye mikroorganizmy: Mat. V-go Vserossiiskogo simpoziuma, posvyashchennyi 90-letiyu akademika RAN E.N. Kondrat'evoi. – MGU im. M.V. Lomonosova, Moskva. – S. 105. (In Russian).
29. Arynova R.A., Anuarbekova S.S., Muslimov N.Zh. Consortium of starter cultures with lactose-utilizing and probiotic properties technology of production of delactosed sould - milk products // Eur Asian Journal of BioSciences. – 2020. – V. 14 (1), P. 459-465. (In Russian).
30. Bareiko A.A., Sidorenko A.V., Novik G.I., Sineokii S.P. Fiziologo-biokhimicheskie svoistva kul'tur laktokokkov / Microbnye biotekhnologii: fundamental'nye i prikladnye aspekty: Sb. nauch. trud. – Minsk, 2012. – T. 4, 281 s. – S. 52-65. (In Russian).
31. Al'khatib K.M., Danil'chuk T.M. Ispol'zovanie proteoliticheskikh svoistv biomassy molochnokislykh mikroorganizmov dlya sozdaniya novykh produktov pitaniya // Health, Food & Biotechnology. – 2022. – T. 4, № 4. – S. 65-77. (In Russian).
32. Golovin M.A., Ganina V.I., Mashentseva N.G. Kholesterinredutsiruyushchie probioticheskie bakterii v molochnoi produktsii // Molochnaya promyshlennost'. – 2014. – № 5. – S. 46-47. (In Russian).
33. Uskova M.A., Kravchenko L.V. Antioksidantnye efekty molochnokislykh bakterii – probiotikov, yogurtnykh zakvasok // Voprosy pitaniya. – 2009. – T. 78, № 2. – S. 18-24. (In Russian).
34. Artyukhova S.I., Gavrilova Yu.A. Ispolzovanie probiotikov i prebiotikov v biotekhnologii proizvodstva bioproduktov. – Omsk: OmGTU. – 2010. – 112 s.
35. Khamagaeva I.S., Shchekotova A.V., Zherebyat'eva O.A., Shchetinina E.M. Molochno-belkovyi koncentrat, obogashchennyi kal'ciem // I.S. Polzunovskii vestn. – 2017. – № 1. – S. 24-29. (In Russian).
36. Kitaevskaya S.V., Ponomarev V.Ya., Reshetnik O.A. Ocenka proteoliticheskoi aktivnosti novykh shtammov laktobacill s kriorezistentnymi svoistvami // Izvestiya VUZov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya. – 2022. – T. 12, №1. – S. 76-86. (In Russian).
37. Raveschot C., Cudennec B., Coutte F. et al. Production of Bioactive Peptides by *Lactobacillus* Species: From Gene to Application // Frontiers in Microbiology. – 2018. – Vol. 9, Article number 2354. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02354>. (In English).
38. Rajoka M.S.R., Wu Y.G., Mehwish H.M., Bansal M., Zhao L.Q. *Lactobacillus* exopolysaccharides: New perspectives on engineering strategies, physiochemical functions, and immunomodulatory effects on host health // Trends in Food Science and Technology. - 2020. - Vol. 103, P. 36-48. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.06.003>. (In English).
39. Lynch K.M., Zannini E., Coffey A., Arendt E. K. Lactic acid bacteria exopolysaccharides in foods and beverages: Isolation, properties, characterization, and health benefits // Annual Review of Food Science and Technology. – 2018. – Vol. 9, № 9. – P. 155-176. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030117-012537>. (In English).
40. Maske B.L., de Melo Pereira G.V., S Vale A. et al. A review on enzyme-producing lactobacilli associated with the human digestive process: From metabolism to application // Enzyme and

- Microbial Technology. – 2021. – Vol. 149, Article number 109836. <https://doi.org/10.1016/j.enzymictec.2021.109836>. (In English).
41. Leroy F., Verluyten J., de Vuyst L. Functional meat starter cultures for improved sausage fermentation // International Journal of Food Microbiology. – 2006. – Vol. 106(3), P. 270-285. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2005.06.027>. (In English).
42. Mayo B. The proteolytic system of lactic acid bacteria // Microbiologia. – 1993. – Vol. 9(2). – P. 90-106. (In English).
43. Chen C., Zhao S., Hao G. et al. Role of lactic acid bacteria on the yogurt flavor: A review // International Journal of Food Properties. – 2017. – Vol. 20(1), P. 316-330. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1295988>. (In English).
44. Kieliszek M., Pobiega K., Piwowarek K., Kot A.M. Characteristics of the proteolytic enzymes produced by lactic acid bacteria // Molecules. – 2021. – Vol. 26, № 7. – P. 1858. <https://doi.org/10.3390/molecules26071858>. (In English).
45. Khamagaeva I.S., Shchekotova A.V., Zherebyat'eva O.A., Shchetinina E.M. Proteolyticheskaya aktivnost' lactobacterii // Molochnaya promyshlennost'. – 2016. – № 11. – S. 29-31. (In Russian).
46. Kaibysheva V.O., Zharova M.E., Filimendikova K.Yu. Microbiom cheloveka: vozrastnye izmeneniya i funktsii // Dokazatel'naya gastroenterologiya. – 2020. – T. 9, № 2. – S. 42-55. (In Russian).
47. Golovach T.N., Kurchenko V.P. Gidroliz belkov moloka fermentnymi preparatami i proteoliticheskimi svoistvami molochnokislykh bakterii // Trydy BGU. – 2012. – T. 7, Ch. 1-2. – S. 106-126. (In Russian).
48. Guedon E., Serron P., Ehrlich S.D. et al. Pleiotropic transcriptional repressor CodY senses the intracellular pool of branched-chain amino acids in *Lactococcus lactis* // Mol. Microbiol. – 2001. – Vol. 40(5), P. 1227-1239. doi: 10.1046/j.1365-2958.2001.02470.x. (In English).
49. Yukalo V.G., Shulyak T.L. Proteoliticheskie svoystva molochnokislykh streptokokkov, primenyaemih v sirodelii // Izv. VUZov. Pischev. tekhnologiya. – 1991. – № 4-6. – S. 26. (In Russian).
50. Nesterenko A.A., Akopyan K.V. Biomodifikatsiya myasnogo syr'ya s cel'yu polucheniya funktsional'nykh produktov // Nauchnyi zhurnal KubGAU. – 2014. – № 101(07): <http://ej.kubagro.ru/2014/07/pdf/112>. (дата обращения 23.04.2023.). (In Russian).
51. Isaeva K.S., Mukhamedzhanova A.S. Sozdanie polifunktsional'nykh produktov iz myasnogo i rastitel'nogo syr'ya. – Pavlodar: Kereku. – 2015. – 79 s. (In Russian).
52. García-Cano I., Rocha-Mendoza D., Ortega-Anaya J. et al. Lactic acid bacteria isolated from dairy products as potential producers of lipolytic, proteolytic and antibacterial proteins // Appl. Microbiol. Biotechnol. – 2019. – Vol. 103(13), P. 5243-5257. doi: 10.1007/s00253-019-09844-6. (In English).
53. Sun F., Hu Y., Yin X. et al. Production, purification and biochemical characterization of the microbial protease produced by *Lactobacillus fermentum* R6 isolated from Harbin dry sausages // Process Biochemistry. – 2020. – Vol. 89, P. 37-45. (In English).
54. Pastukh O.N., Sidorenko O.D. Suktsionnyye processy v kislomolochnom produkte mestnoi zakvaski // Zhurnal esstestvennonauchnykh issledovaniy. – 2016. – T. 1, № 1. <https://naukaru.ru/ru/nauka/article/10417/view> (дата обращения 11.04.2023.). (In Russian).
55. Almagambetov K.Kh., Kushugulova A.R., Anuarbekova S.S. O sozdanii kollektsii mikroorgsnizmov dlya biotekhnologii // Biotekhnologiya. Teoriya i praktika. – 2001. – № 3-4. – S. 96-97. (In Russian).
56. Sarmurzina Z.S., Anuarbekova S.S., Almagambetov K.Kh. et al. Fermentativnaya aktivnost' vydelennykh izolyatov i kolektsionnykh shtammov Respublikanskoi kollektsii mikroorgsnizmov // Vest. nauki KazATU im. S. Seifullina. – 2010. – № 1(56). – S. 327-334. (In Russian).
57. Oshanova D., Bayanbek D., Anuarbekova S.S. et al. Obtaining and genotyping of fungal producers of proteolytic enzymes // J. of Engineering and Applied Sciences. – 2017. – № 12(7). – P. 1920-1930. (In English).
58. Sarmurzina Z.S., Anuarbekova S.S., Almagambetov K.Kh. Kharakteristika izolyatov i kolektsionnykh shtammov bacill, obladayushchikh lipoliticheskoi, proteoliticheskoi i lipaznoi aktivnost'yu // Biotekhnologiya. Teoriya i praktika. – 2010. – № 1. – S. 84-88. (In Russian).

**С.С. Ануарбекова**  
«Биомедпрепарат» ғылыми-аналитикалық орталығы» ЖШС  
Қазақстан Республикасы, Степногор қ.  
e-mail: sanuarbekova@rambler.ru

## **МИКРООРГАНИЗМДЕРДІҢ ФЕРМЕНТТЕРІ. СҮТҚЫШҚЫЛЫ БАКТЕРИЯЛАРЫНЫҢ ПРОТЕАЗАЛАРЫ**

Жұмыс микроорганизмдердің ферменттеріне арналған. Бұл шолу мақаласында микробтық ферменттердің сипаттамалары, олардың әртүрлі параметрлер бойынша классификациясы келтіріледі. Микроорганизмдер ферменттерінің адам өмірінің әртүрлі салаларында рөлі қарастырылады. Ферменттер микроорганизмдердің биохимиялық процестеріне олардың қорғалуы, көбеюі және өсуі үшін қатысады. Ферменттердің продуценттері бактериялардың, мицелиалды саңырауқұлақтарының, актиномицеттерің және ашытқылардың әртүрлі таксономиялық топтары болып табылады. Гидролитикалық ферменттер сипатталған. Әр түрлі процестерге, соның ішінде микроорганизмдер қатысында жүретін процестерге қатысатын гидролитикалық протеаза ферментінің маңыздылығы ашылады. Протеолитикалық ферменттердің продуценттері - *Bacillus*, *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Micrococcus*, *Pseudomonas* туысының бактериялары, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Blakeslea* тұқымдасының саңырауқұлақтары, және *Streptomyces*, *Actinomyces* туысының актиномицеттер болып табылады. Сүт қышқылы бактерияларына ерекше көңіл бөлінеді. Протеазаны биотехнологиялық өнеркәсіпте, атап айтқанда препараттарды, стартерлік дақылдарды, биоқоспаларды және қажетті қасиеттері бар функционалды тамақ өнімдерін әзірлеу үшін қолданудың маңыздалығы көрсетілген. Мақалада мен және менің әріптестерім алған микроорганизмдер дақылдарының протеолитикалық белсенділігінің зерттеудің нәтижелері айтылған. Зерттеу объектілері таяқшалар, ашытқылар, саңырауқұлақтар және сүт қышқылды бактериялары болды. Протеолитикалық белсенділікті үшін *in vitro* әдістер, генетикалық, хроматографиялық және басқа әдістер қолданылады.

**Түйін сөздер:** ферменттер, ферментативті белсенділік, классификация, протеаза, сүт қышқылы бактериялары, пробиотиктер, биотехнологиялық өнеркәсіп.

**S. Anuarbekova**  
LLP «Scientific Analytical Center «Biomedpreparat»  
Stepnogorsk, Kazakhstan  
e-mail: sanuarbekova@rambler.ru

## **ENZYMES OF MICROORGANISMS. PROTEASES OF LACTIC ACID BACTERIAS**

*The work is devoted to the enzymes of microorganisms. This review article presents the characteristics of microbial enzymes, their classifications according to various parameters. The study examines the role of microbial enzymes in various areas of human life. Enzymes are involved in the biochemical processes of microorganisms for their protection, reproduction, and growth. Enzyme producers are various taxonomic groups of bacteria, filamentous fungi, actinomycetes and yeasts. The article describes hydrolytic enzymes, reveals the importance of the protease enzyme involved in various processes with microorganisms. The main producers of proteolytic enzymes are bacteria of the genus *Bacillus*, *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Micrococcus*, *Pseudomonas*, fungi of the genus *Aspergillus*, *Penicillium*, *Blakeslea*, actinomycetes of the genus *Streptomyces*, *Actinomyces*. Particular attention is paid to lactic acid bacteria. The significance of the use of protease in the biotechnological industry, in particular, for the development of preparations, starter cultures, bioadditives, and functional food products with desired properties, is shown. The article mentions the results of a study of the proteolytic activity of cultures of microorganisms, obtained by me and my colleagues. The objects of study were bacilli, yeast, fungi and lactic acid bacteria. To assess proteolytic activity, *in vitro* methods, chromatographic and other methods are used.*

**Key words:** enzymes, enzymatic activity, classification, protease, lactic acid bacteria, probiotics, biotech industry.

### Сведения об авторах

**С.С. Ануарбекова** – кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник ТОО «Научно-аналитический центр «Биомедпрепарат», г. Степногорск, Республика Казахстан; e-mail: sanuarbekova@rambler.ru

### Авторлар туралы мәліметтер

**С.С. Ануарбекова** – медицина ғылымдарының кандидаты, «Биомедпрепарат» ғылыми-аналитикалық орталығы ЖШС-нің жетекші ғылыми қызметкері, Степногор қ., Қазақстан, e-mail: sanuarbekova@rambler.ru

### Information about the authors

**S. Anuarbekova** – is Candidate of Medical Sciences, Leading Researcher in LLP «Scientific and Analytical Center «Biomedpreparat», Stepnogorsk, Kazakhstan. e-mail: sanuarbekova@rambler.ru

*Материал поступил в редакцию 25.05.2023 г.*

DOI: 10.53360/2788-7995-2023-3(11)-2

ISTIR: 50.05.13

**B. Askaruly\*, G. Abitova**

Astana IT University,  
010000, Kazakhstan, Astana, Mangilik El Avenue, 55/11, EXPO Business Center, block C1  
email: 222266@astanait.edu.kz

## HYBRID INFORMATION SYSTEMS MODELING TECHNOLOGY FOR BUSINESS PROCESS ANALYSIS BASED ON THE INTERNET OF THINGS

**Abstract:** *This article examines the impact of Internet of Things (IoT) data integration and hybrid information systems modeling on business process analysis. The study aims to confirm the assumption that such integration increases the accuracy and efficiency of the analysis.*

*The review part emphasizes the importance of analyzing business processes for successful existence in a rapidly changing and competitive business environment. The main focus is on the use of IoT and modeling of information systems to improve the productivity of the organization.*

*The methodological part describes the research approach: collection and analysis of empirical data in comparison with scientific literature. The integration of real-time IoT data with information systems modeling is the basis of the research approach.*

*The results of the work confirm the initial assumption, revealing the significant impact of the integration of IoT data and modeling of information systems on the analysis of business processes. This allows organizations to achieve greater operational efficiency, optimize resources and make informed decisions.*

*The practical value of the hybrid approach is emphasized for organizations wishing to improve the analysis of their business processes. Integration of IoT and modeling of information systems helps to optimize processes and increase overall productivity.*

*The work confirms the importance and usefulness of using a hybrid approach in the analysis of business processes based on IoT, highlighting the advantages of integrating IoT data and modeling information systems. The hybrid approach has the potential to improve business processes and achieve success in today's competitive environment.*

**Key words:** *Hybrid information systems modeling, Business process analysis, Internet of Things (IoT), Data integration, Operational efficiency, Resource allocation, Real-time insights, Decision-making, Organizational performance, Process optimization.*

### Introduction

In recent years, the Internet of Things (IoT) has transformed businesses by providing new ways to collect, analyze and automate data. Integrating IoT into business processes helps organizations improve operational efficiency, decision-making processes, and resource