

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 577.154.31.001.5
DOI: 10.26456/vtbio426

ВЛИЯНИЕ КОМПОНЕНТОВ ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ НА АВТОЛИЗ КЛЕТОК И БИОСИНТЕЗА АМИЛАЗЫ

Н.Е. Куликова, А.Г. Чернобровина, Н.Н. Роева, В.В. Максимова
Российский биотехнологический университет, Москва

Автолиз – необратимый, естественный процесс в развитии микробных культур, чрезвычайно важный, так как является необходимой стадией получения продуктов жизнедеятельности микроорганизмов, которые должны быть высвобождены из клеток в среду для их последующего выделения – ферментов, антибиотиков, нуклеотидов и др. Поэтому исследования, направленные на изучение закономерности протекания и регуляции автолиза не утратили свою значимость и в настоящее время. Автолиз вызывается снижением энергообеспеченности клетки, показано, что нарушение энергетического баланса клетки индуцирует процесс введения дополнительных ингредиентов в питательную среду, что позволило изменить направленность биосинтеза и увеличить период активного синтеза амилазы. Именно для этого штамма продуцента культуры *Bacillus subtilis* SK-52, как и для многих штаммов данной культуры при одновременном повышении продуктивности *Bacillus subtilis*, основным является возможность продуцирование протеаз, а наша задача стояла в получении амилаз. Которые, более востребованы в пищевой промышленности. Добавление к регламентной среде триптического гидролизата казеина или увеличение в среде содержания кукурузного экстракта позволяет изменить направленность биосинтеза в сторону существенного повышения уровня синтеза амилазы при минимальном накоплении пробочных продуктов.

Ключевые слова: автолиз, биосинтез, синтез, амилаза, питательная среда.

Введение. Известно, что целый ряд бактериальных штаммов, включая в том числе и виды *Bacillus subtilis* синтезируют амилазу во время экспоненциальной фазы роста, следовательно, процессы синтеза амилазы и клеточного роста осуществляется параллельно (Han et al., 2017; Sidorova et al., 2018; Сидорова и др., 2019). Таким образом, накопление ферментов находится в прямой зависимости от увеличения биомассы и биосинтез α -амилазы заканчивается в экспоненциальной фазе одновременно с прекращением роста культуры и наступлением

следующей, стационарной фазы развития (Федотов и др., 2016; Качан, Евтушенков, 2021). Причем длительность лаг-фазы зависит от состава питательной среды: чем она полноценнее, тем короче лаг-фаза (Гесслер и др., 2018; Pranay et al., 2019; Мамыкин, 2021; Абзаева и др., 2022).

Однако по мнению других авторов, максимальное образование амилазы происходит после того, как клеточная популяция бактериальных культур достигает пика роста. В частности, амилаза *Bacillus subtilis* образуется в культуре, закончившей или заканчивающей рост, то есть в конце логарифмической фазе, переходящей в стационарную (Karpinska, 2012; Pirog et al., 2017). Ни в культуральной среде, ни в самих клетках молодой культуры амилазу обнаружить не удавалось. Внеклеточная амилаза синтезируется в нестабильной, переходящей к автолизу, клетке. Синтез происходит на клеточной мембране или вблизи нее (Nejad et al., 2010; Федотов и др., 2016; Качан, Евтушенков, 2021; Розанов и др., 2021). Предполагается, что около клеточной стенки локализуется лизирующий фермент, который находится в неактивном состоянии до тех пор, пока не образуется амилаза. С началом синтеза амилазы лизирующий фермент активируется и изменяет структуру клеточной стенки до степени, обеспечивающей проникновение молекулы амилазы в окружающую среду (Добрыня и др., 2015; Гостищева и др., 2018; Sidorova et al., 2018; Розанов и др., 2021).

Поэтому для регуляции биосинтеза внеклеточных метаболитов воздействуют на интенсивность автолиза клеток продуцентов, которая определяет проницаемость их клеточных стенок, уровень секреции и синтеза метаболитов. Автолиз – необратимый, естественный процесс в развитии микробной культуры, и потому тонко регулируется.

Интенсивность автолиза бактериальных культур зависит от фазы их развития. В лаг-фазе интенсивность автолиза очень мала, она увеличивается при переходе в логарифмическую фазу и продолжает возрастать до начала стационарной, после чего вновь снижается. По мере возрастания интенсивности автолиза в бактериальных клеточных стенках увеличивается размер пор и создаются условия для секреции молекул все большей молекулярной массы. Это определяет последовательность межклеточных метаболитов (Добрыня и др., 2015; Гостищева и др., 2018; Розанов и др., 2021). Так, в культурах различных штаммов *Bacillus subtilis* секреция нейтральной протеазы всегда происходит раньше, чем амилазы из-за значительно более высокой молекулярной массы амилазы (Shestakov., 2007; Nejad et al., 2010; Звягинцев и др., 2011; Karpinska, 2012; Абзаева и др., 2022). Бактериальная амилаза является типичным экзоферментом, ее синтез идет одновременно с секрецией. Продолжительность синтеза

определяется способностью клетки секретировать фермент. Это дало основание предположить, что при увеличении интенсивности автолиза клеток продуцента с помощью внешних воздействий можно продлить период активного синтеза фермента и повысить продуктивность культуры. Для увеличения интенсивности автолиза бактериальных клеток можно использовать различные физико-химические факторы, в том числе специфические природные соединения – регуляторы автолиза, а также компоненты питательной среды. Специфические регуляторы автолиза выделить очень сложно (Shestakov., 2007; Звягинцев и др., 2011; Летаров, 2020), а получаемые препараты дорогостоящи, поэтому в технологии следует отдать предпочтение регуляции автолиза с помощью питательной среды.

В последние годы как в отечественной, так и зарубежной литературе питательным средам не уделяется того внимания, которого они заслуживают, а именно от качества, от правильного выбора питательных сред зависит эффективность, информативность и точность микробиологического анализа. Для процессов роста и размножения микроорганизмы должны получать все вещества, которые необходимы для биосинтеза клеточных компонентов и получения энергии (Nejad et al., 2010; Гостищева и др., 2018; Мамыкин, 2021; Хомяк и др., 2021; Мухаммадиев и др., 2022). Эти вещества, должны содержаться в культуральной среде, при этом в количествах, соответствующих специфическим потребностям данного микроорганизма. Многие из сред стали «классическими» или регламентированными (используемые на производстве), их преимущества были подтверждены в результате длительного и широкого использования. Но в зависимости от целей и задач, стоящих перед исследователем постоянно, проводятся работы по оптимизации состава питательных сред для роста микроорганизмов. Актуальность и новизна данных исследований состоит в возможности переориентирования синтеза протеазы на амилазу на примере штамма *Bacillus subtilis* SK-52, как потенциального продуцента протеаз. Считаем это перспективным, так как, имея один и тот же штамм, можно в зависимости от потребностей получать различные ферментные препараты.

Целью настоящих исследований являлось изучение влияния компонентов питательной среды и действие различных органических источников питания и неорганических солей на интенсивность автолиза клеток и биосинтеза амилазы.

Методы исследования. В качестве субстрата использовали клетки глубинной культуры *Bacillus subtilis* SK-52, взятые из производственных ферментаций амилазы в фазе линейного роста продуцента. Культивирование микроорганизмов проводилось

глубинным методом, на производственной (регламентированной) питательной среде следующего состава, г/л: кукурузный экстракт – 12, осахаренный кукурузный крахмал 25, MnSO_4 – 0,9, K_2HPO_4 – 0,3, MgSO_4 – 0,2, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ – 0,16, CaCl_2 – 0,2, H_2O – до 1 л; параметры ферментации: $t = (50\text{--}55)^\circ\text{C}$; $\tau = (48 \pm 4)$ час; $\text{pH} = 7,0\text{--}7,2$. В процессе ферментации определяли интенсивность автолиза клеток продуцента в водной среде, амилалитическую активность культуральной жидкости (Pagane et al., 2009; Добрыня и др., 2015), прирост биомассы (М) определяли нефелометрическим методом на спектрофотометре при длине волны 590 нм, в кювете толщиной 1 см, которую выражали в единицах оптической плотности (Левин и др., 2007; Раджжумар и др., 2010; Макаревич и др., 2018).

Интенсивность автолиза выражали в процентах, характеризующих снижение оптической плотности стандартной суспензии клеток за 1 час при 30°C (Pagane et al., 2009; Макаревич и др., 2018). Контролем служили водные суспензии клеток, в опытные пробы добавляли различные количества испытуемых компонентов сред. Исходная оптическая плотность контрольных и опытных проб составляла около 0,5 при измерении на спектрофотометре при длине волны 540 нм в кювете 5 мм и pH 6,2–6,3.

Для испытаний в качестве испытуемых дополнительных компонентов питательной среды были выбраны: триптический гидролизат казеина (Тип I (Триптон) (ФСЗ 2009/03707)), кислотный гидролизат БВК (Светлоярский завод белково-витаминных концентратов), кукурузный экстракт (МРТУ 18-241—680), осахаренный кукурузный крахмал (4,0–5,0 РВ), мальтоза, гидрофосфат аммония, незаменимые и частично-заменимые аминокислоты.

Результаты и обсуждение. Для стимуляции синтеза амилазы путём повышения интенсивности автолиза при росте бактериальных клеток микроорганизма *Bacillus subtilis* в питательную среду для культивирования вносили различные крахмалосодержащие добавки с высоким содержанием углеводов, а также белковое сырьё как основной источник азотного питания. Данные исследований представлены на рис. 1.

Интенсивность автолиза клеток продуцента амилазы повышалась в присутствии триптического гидролизата казеина до 48%, кислотного гидролизата БВК до 34%, кукурузного экстракта до 55%, осахаренного кукурузного крахмала до 49% и мальтозы до 23,5%, причем последний компонент активируют автолиз лишь в концентрации до 1,5%, а при более высоких концентрациях происходит его подавление; гидрофосфат аммония тормозит действие автолиза продуцента амилазы (рис. 1). Небольшим активирующим

действием обладает сульфат магния. При концентрации соли 0,005 – 0,02 % интенсивность автолиза возрастает на 16–18 % по отношению к контролю (данные не представлены на графике из-за очень малых концентраций).

Из проверенных компонентов питательных сред наиболее эффективными активаторами автолиза клеток продуцента амилазы являются триптический гидролизат казеина, кислотный гидролизат БВК, осахаренный крахмал и кукурузный экстракт. Анализ полученных данных показал, что осахаренный крахмал не может быть использован в качестве активатора автолиза, так как его эффективные концентрации значительно ниже имеющихся в производственной среде.

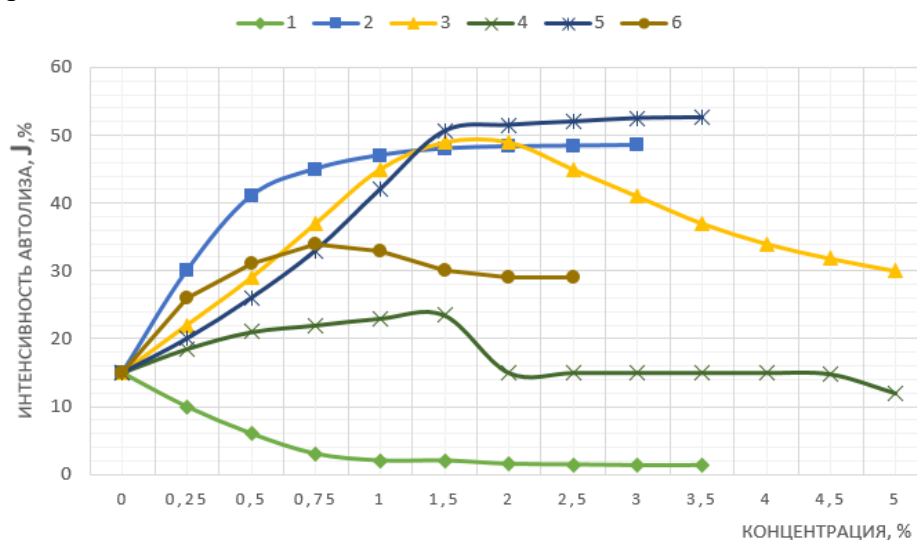


Рис. 1. Влияние на автолиз клеток продуцента амилазы различных компонентов питательной среды: 1– $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$; 2 – триптический гидролизат казеина; 3 – осахаренный кукурузный крахмал; 4 – мальтоза; 5 – кукурузный экстракт; 6 – кислотный гидролизат БВК.

Однако становится очевидным, что внесение дополнительных ингредиентов органического азота белков оказывает положительное влияние на стимуляцию процесса автолиза. Положительное влияние увеличенной концентрации вносимого кукурузного экстракта в состав регламентированной (контрольной) среды объясняется наличием в нем почти полного набора аминокислот, витаминов, ростовых факторов, минеральных соединений, которые способствуют как активации автолиза, так и соответственно биосинтезу фермента амилазы.

Аминокислоты с одной стороны являются источниками азота, а с другой стороны стимуляторами, или репрессорами синтеза ферментов. В связи с этим, исследовали влияние следующих

аминокислот: аланин, аспарагиновая кислота, аргинин, валин, гистидин, глицин, глутаминовая кислота, изолейцин, лейцин, лизин, метионин, пролин, серин, тирозин, треонин, триптофан, фенилаланин и цистиин, которые поочередно вводили в среду в концентрациях 0,01–0,05% по азоту. Эти аминокислоты содержатся в триптическом гидролизате казеина, кислотном гидролизате БВК и кукурузном экстракте. Действие индивидуальных аминокислот наблюдали на фоне регламентированной среды. Из данных, обобщенных на графике (рис. 2), видно, что аминокислоты по-разному оказывают влияние на интенсивность автолиза клеток продуцента амилазы.

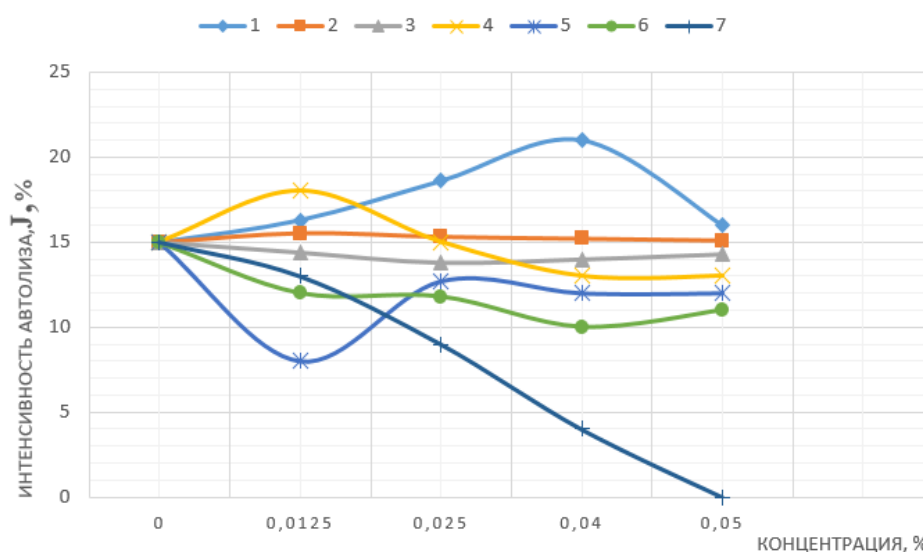


Рис. 2. Влияние на автолиз клеток продуцента амилазы различных аминокислот: 1 – лизина; 2 – изолейцин, триптофана, фенилаланин, метионин, тирозин, цистиин; 3 – глицин, валин, лейцин, гистидин, аргинин, пролин, серин, треонин; 4 – аланин; 5 – аспарагиновой кислоты; 6 – глутаминовой кислоты; 7 – цистеина

Такие аминокислоты, как аргинин, валин, гистидин, глицин, изолейцин, лейцин, метионин, пролин, серин, тирозин, треонин, триптофан, фенилаланин практически не влияют на интенсивность автолиза бактерии, аланин в малых концентрациях способствует незначительному повышению интенсивности автолиза, глутаминовая и аспарагиновая кислоты в таких же концентрациях частично подавляют автолиз, цистеин в концентрации 0,05% полностью подавляет автолиз, лизин в той же концентрации увеличивает интенсивность автолиза на 6% по сравнению с контролем (рис. 2).

Сопоставление результатов, полученных с различными источниками органического азота с определенностью указывает на то,

что наиболее предпочтительными являются триптический гидролизат казеина, кислотный гидролизат БВК и кукурузный экстракт. Однако, применение кислотного гидролизата БВК ограничивается тем, что в эффективных концентрациях он оказывает неблагоприятное воздействие на развитие культуры продуцента (оптимальная концентрация гидролизата БВК в среде составляет 0,24%). Поэтому, в качестве активаторов автолиза был выбран триптический гидролизат казеина и кукурузный экстракт, которые и использовали в опытах по выращиванию продуцента амилазы.

Лабораторные опыты показали, что добавление к регламентной среде триптического гидролизата казеина или увеличение в среде содержания кукурузного экстракта позволяет существенно повысить уровень биосинтеза амилазы. Культивирование продуцента на среде с добавлением 1% триптического гидролизата амилалитическая активность культуральной жидкости возросла вдвое, причем в отличие от контрольного варианта активный синтез фермента происходил после 48 ч роста (рис. 3).

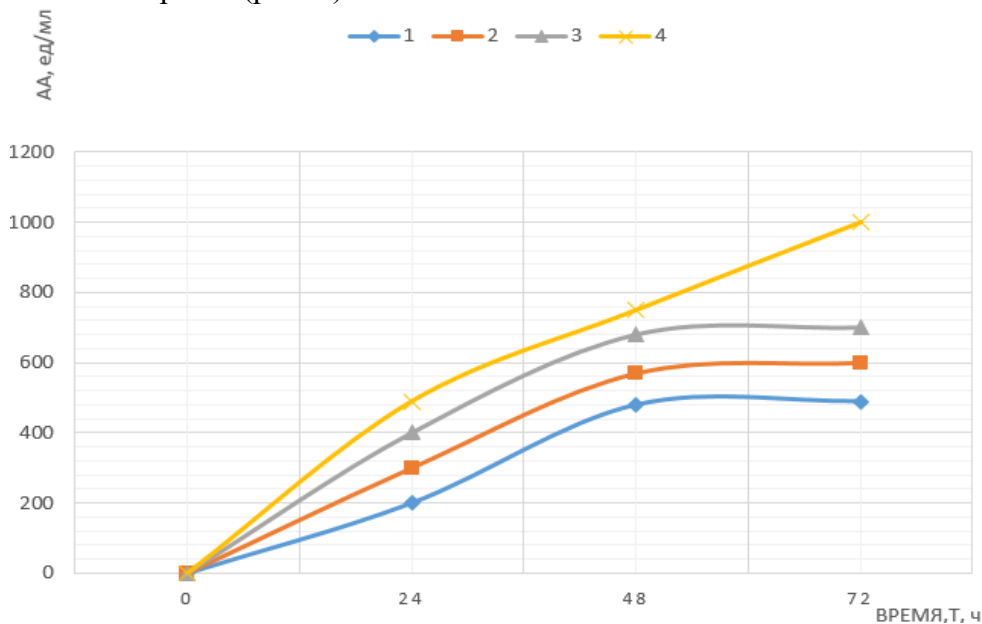
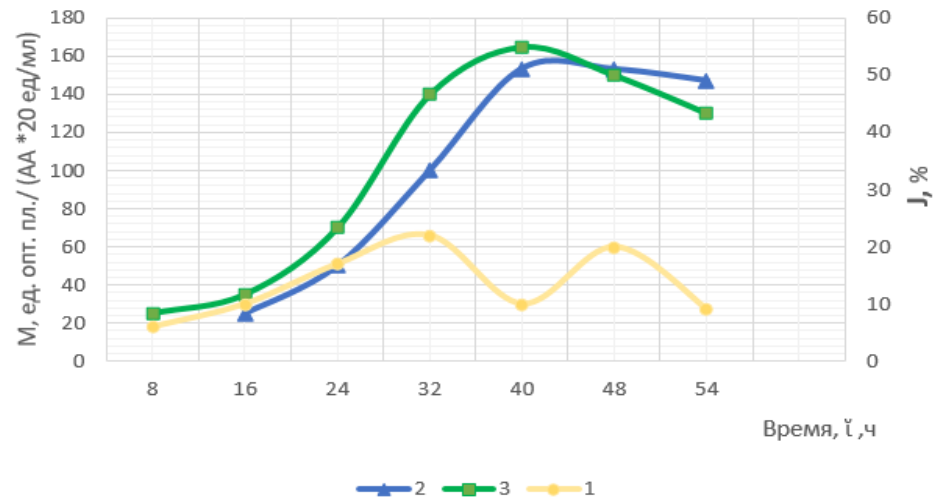


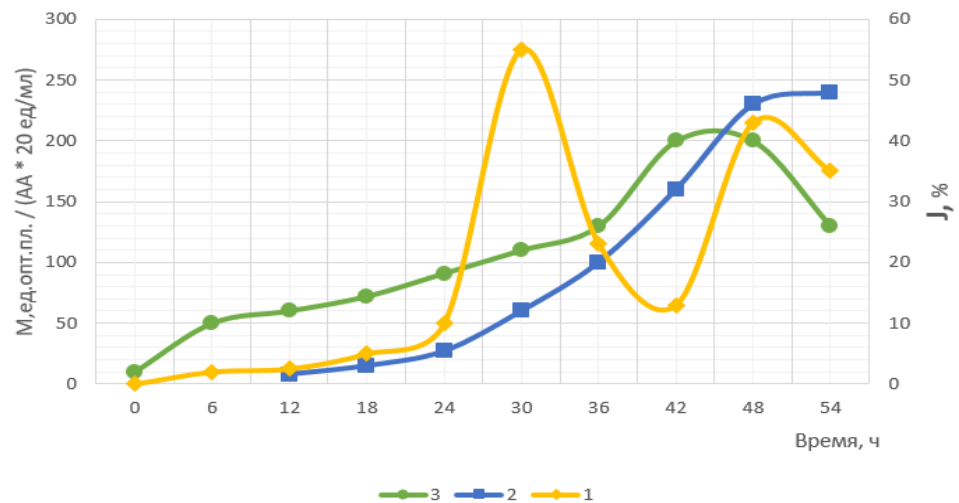
Рис. 3. Влияние на биосинтез амилазы в культуре *B. subtilis* SK – 52 триптического гидролизата казеина различной концентрации (в %):
1 – 0; 2 – 0,1; 3 – 0,5; 4 – 1,0

На рис. 4 представлены результаты ферментаций продуцента амилазы в ферментерах объемом 12 м² на регламентной среде (средние данные из 10 ферментаций), содержащей 12% кукурузного экстракта (контроль), и на среде с удвоенным содержанием этого компонента (средние данные из 5 концентраций). Анализ контрольных

ферментаций показал, что наиболее активный синтез амилазы происходил в фазе линейного роста и в начале фазы замедления роста, то есть в период непрерывного нарастания интенсивности автолиза. Максимальная величина интенсивности автолиза составляла 22%, амилалитическая активность культуральной жидкости – 3068 ед/мл.



А)



Б)

Рис. 4. Изменение интенсивности автолиза (1), амилалитической активности (2), и величины биомассы (3) в процессе ферментации *B. subtilis* SK-52 на регламентированной среде (А) и среде с увеличенным содержанием кукурузного экстракта (Б)

При выращивании продуцента на среде с удвоенным содержанием кукурузного экстракта отмечена значительно более высокая интенсивность автолиза, чем в контроле: ее максимальная величина достигла 55%. Продолжительность фазы линейного роста увеличилась до 32 ч. (в контроле 6 ч.), что обеспечивало более высокую величину популяции продуцента. Максимальная величина амилолитической активности культуральной жидкости (4800 ед/мл) более чем в 1,5 раза превышала контрольную. Это можно объяснить увеличением продолжительности фазы активного биосинтеза амилазы и благоприятными условиями для ее секреции при высокой интенсивности автолиза (Звягинцева и др., 2011).

Заключение. Показано, что нарушение энергетического баланса клетки индуцирует процесс введения дополнительных ингредиентов в питательную среду, что позволило изменить направленность биосинтеза и увеличить период активного синтеза амилазы, при одновременном повышении продуктивности культуры *Bacillus subtilis* SK-52.

Добавление к регламентной среде 1% триптического гидролизата казеина или увеличение в два раза в среде содержания кукурузного экстракта позволяет изменить направленность биосинтеза в сторону существенного повышения уровня синтеза амилазы при минимальном накоплении пробочных продуктов.

Таким образом, в технологии амилазы целесообразно использовать органические источники питания, стимулирующие автолиз клеток продуцента фермента, что позволит регулировать и резко усиливать образование одних ферментов и заметно подавлять синтез других. При подборе таких компонентов следует учитывать, что один и тот же компонент может оказывать различное воздействие на автолиз микроорганизмов, поэтому необходимо проверять влияние источником сырья на каждый штамм-продуцент отдельно.

Список литературы

- Абзаева Н.В. и др. 2022. Изучение влияния экспериментальных основ на ростовые качества жидких питательных сред для глубинного культивирования вакцинного штамма чумного микроба // Проблемы особо опасных инфекций. №. 1. С. 71-76. DOI: 10.21055/0370-1069-2022-1-71-76.
- Гесслер Н.Н. и др. 2018. Фитазы и перспективы их применения (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. Т. 54. №. 4. С. 347-356. DOI: 10.7868/S0555109918040025.
- Гостищева С.Е. и др. 2018. Применение плотной питательной среды на основе гидролизата кукурузного экстракта сгущенного в производстве вакцины чумной живой и для хранения штаммов чумного микроба //

- Проблемы особо опасных инфекций. №. 1. С. 75-78. DOI: 10.21055/0370-1069-2018-1-75-78.
- Добрыня Ю.М., Аванесян С.С., Бондарева Н.И., Тимченко Л.Д., Ржепаковский И.В., Симечёва Е.И. 2015. Динамика амилалитической активности культуральной жидкости *Medusomyces gisevii* (чайного гриба) в процессе культивирования // Современные проблемы науки и образования. № 3.
- Звягинцев Д.Г. и др. 2011. Разнообразие почвенных актиномицетных комплексов, обусловленное температурными адаптациями мицелиальных актинобактерий // Теоретическая и прикладная экология. №. 1. С. 4-23.
- Качан А.В., Евтушенков А.Н. 2021. Закисление культуральной среды продуктами метаболизма глюкозы препятствует синтезу внеклеточной гетерологичной α -амилазы бактериями *Bacillus subtilis* 168 // Прикладная биохимия и микробиология. Т. 57. №. 4. С. 353-361. DOI: 10.31857/S0555109921040061.
- Левин А.Д. 2007. Методы и средства спектрофотометрии и спектральной нефелометрии для исследования жидких биоорганических сред // ВНИИОФИ. Т. 38.
- Летаров А.В. 2020. История ранних исследований бактериофагов и рождение основных концепций вирусологии // Биохимия. Т. 85. №. 9. С. 1189-1212. DOI: 10.31857/S0320972520090031.
- Макаревич О.В. и др. 2018. Оптимизация технологических параметров культивирования бактерий *Bacillus subtilis* в лабораторных условиях // Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты. С. 106-113.
- Мамыкин Д.С. 2021. Оптимизация состава питательной среды для производства заквасочных культур *Lactobacillus plantarum* // Пищевые системы. Т. 4. № 3S. С. 193-198. DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3S-193-198>.
- Мухаммадиев Р. и др. 2022. Оптимизация состава питательной среды пробиотического штамма *B. subtilis* GA2 – продуцента кормовых ферментов // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. НЭ Баумана. Т. 250. №. 2. С. 155-159. DOI: 10.31588/2413_4201_1883_2_250_155.
- Раджкумар Р. и др. 2010. Оптимизация условий культивирования для продукции протеазы из *Bacillus megaterium* // Журнал экобиотехнологии. Т. 2. №. 4. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-134-145>.
- Розанов А.С. и др. 2021. Продукция субтилизиновых протеаз в бактериях и дрожжах // Вавиловский журнал генетики и селекции. Т. 25. №. 1. С. 125-134. <https://doi.org/10.18699/VJ21.015>.
- Сидорова Т.М. и др. 2019. Выделение и характеристика антигрибных метаболитов штаммов *Bacillus subtilis* BZR 336g и *Bacillus subtilis* BZR 517 модифицированным методом биоавтографии // Сельскохозяйственная биология. Т. 54. №. 1. С. 178-185. DOI: 10.15389/agrobiology.2019.1.178rus
- Федотов Г.Н. и др. 2016. Оценка возможности использования автолизатов в

- качестве препаратов-стимуляторов прорастания семян зерновых культур // Лесной вестник – Forestry bulletin. Т. 20. №. 2. С. 81-90.
- Хомяк А.И., Жевнова Н.А., Асатурова А.М. 2021. Влияние состава питательной среды на рост и антифунгальную активность бактерий р. *Bacillus*-основы экспериментальных образцов биофунгицидов для экологизированной системы защиты растений // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология. Т. 35. С. 61-73. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2021.35.61>.
- Karpińska E. 2012. Biostymulujące właściwości entomopatogenicznych grzybów z rodzaju *Cordyceps* // Borgis-Postępy Fitoterapii. Т. 4. P. 254-264.
- Nejad Z.G., Yaghmaei S., Hosseini R.H. 2010. Production of extracellular protease and determination of optimize condition by *Bacillus licheniformis* BBRC 100053 // Chemical Engineering Transactions. Т. 21. С. 1447-1452. DOI: 10.3303/CET1021242.
- Han L.L., Shao H.H., Liu Y.C. et al. 2017. Transcriptome profiling analysis reveals metabolic changes across various growth phases in *Bacillus pumilus* BA06 // BMC Microbiol. V. 17. 156. <https://doi.org/10.1186/s12866-017-1066-7/>
- Pagare R.S. et al. 2009. Production and enzyme activity of an extracellular protease from *Aspergillus niger* and *Bacillus subtilis* // International Journal of Biotechnology & Biochemistry. Т. 5. №. 3. С. 3-8.
- Pirog T. et al. 2017. Influence of surfactants synthesized under different cultivation conditions of *Nocardia vaccinii* IMV B-7405 on *Escherichia coli* IEM-1 biofilm destruction // Scientific Works of NUFT. Т. 23. №. 2. С. 23-30. DOI:10.15407/microbiolj81.05.003.
- Pranay K., Padmadeo S.R., Prasad B. 2019. Production of amylase from *Bacillus subtilis* sp. strain KR1 under solid state fermentation on different agrowastes // Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. V. 21. Art. 101300. DOI: 10.1016/j.bcab.2019.101300.
- Sidorova T.M. et al. 2018. Biologically active metabolites of *Bacillus subtilis* and their role in the control of phytopathogenic microorganisms // Agric Biol. V. 53. №. 1. P. 29-37. DOI: 10.15389/agrobiology.2018.1.29.
- Shestakov S.V. 2007. How does the horizontal gene transfer in bacteria occur and than is it tied up // Ecological genetics. V. 5. №. 2. P. 12-24. DOI:10.17816/ecogen5212-24.

THE EFFECT OF NUTRIENT MEDIUM COMPONENTS ON CELL AUTOLYSIS AND AMYLASE BIOSYNTHESIS

N.E. Kulikova, A.G. Chernobrovina N.N. Roeva, V.V. Maksimova
Russian Biotechnological University, Moscow

Autolysis is an irreversible, natural process in the development of microbial cultures, extremely important, since it is a necessary stage for obtaining the vital products of microorganisms that must be released from cells into the environment for their subsequent isolation – enzymes, antibiotics,

nucleotides, etc. Therefore, research aimed at studying the mechanisms and regulation of autolysis remains relevant today. Autolysis is caused by a decrease in the energy supply of the cell; it has been shown that a violation of the energy balance of the cell induces the process of introducing additional ingredients into the nutrient medium. This made it possible to change the direction of biosynthesis and increase the period of active synthesis of amylase for this particular strain of *Bacillus subtilis* culture producer SK-52. As for many strains, while increasing the productivity of *Bacillus subtilis*, the main one is the possibility of producing proteases, and our task was to obtain amylases. Which are more in demand in the food industry. The addition of tryptic casein hydrolysate to the regulatory medium or an increase in the content of corn extract in the medium makes it possible to change the direction of biosynthesis towards a significant increase in the level of amylase synthesis with minimal accumulation of cork products.

Keywords: *autolysis, biosynthesis, synthesis, amylase, nutrient medium.*

Об авторах:

КУЛИКОВА Наталия Евгеньевна – кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Российский биотехнологический университет; Москва, Россия nataliyakulikova67@mail.ru.

ЧЕРНОБРОВИНА Антонина Григорьевна – кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Российский биотехнологический университет; Москва, Россия ag_61@list.ru.

РОЕВА Наталья Николаевна – доктор химических наук, профессор, ФГБОУ ВО Российский биотехнологический университет; Москва, Россия roeva@mgupp.ru

МАКСИМОВА Вероника Владимировна – студент, ФГБОУ ВО Российский биотехнологический университет; Москва

Куликова Н.Е. Влияние компонентов питательной среды на автолиз клеток и биосинтеза амилазы / Н.Е. Куликова, А.Г. Чернобровина, Н.Н. Роева, В.В. Максимова // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2025. № 3(79). С. 95-106.

Дата поступления рукописи в редакцию: 31.03.24

Дата подписания рукописи в печать: 01.09.25