УДК 577.15

ПРОМЫШЛЕННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФЕРМЕНТОВ КАК БИОКАТАЛИЗАТОРОВ

♦♦♦♦♦

INDUSTRIAL USE OF ENZYMES AS BIOCATALYSTS

Тлехусеж Марина Александровна
кандидат химических наук,
доцент кафедры химии,
Кубанский государственный технологический университет
mtlehusezh@mail.ru

Выпринцева Виолетта Денисовна
студентка,
Кубанский государственный технологический университет
vyprincevavioletta@icloud.com

Аннотация. В статье рассматривается химическая активность ферментов как ключевого элемента биохимических процессов. Описываются механизмы действия ферментов, включая формирование фермент-субстратного комплекса и его влияние на уровень активации реакций. В статье произведен анализ факторов, влияющих на химическую активность ферментов, таких как температура, pH и концентрация субстрата. Также рассматриваются важные аспекты, связанные с термостойкостью и стабильностью ферментов, что имеет важное значение для их применения в промышленности. В заключении статьи был сделан вывод о потенциале ферментов как устойчивых и эффективных катализаторов, вносящих значительный вклад в развитие будущих технологий и принципов устойчивого производства.

Ключевые слова: ферменты, субстраты, катализируемые реакции, экологичность, биохимия, грунты.

Tlekhusezh Marina Aleksandrovna
Candidate of Chemical Sciences,
Associate Professor
of the Department of Chemistry,
Kuban State Technological University
mtlehusezh@mail.ru

Vyprintseva Violetta Denisovna
Student,
Kuban State Technological University
vyprincevavioletta@icloud.com

Annotation. The article examines the chemical activity of enzymes as a key element of biochemical processes. The mechanisms of action of enzymes are described, including the formation of an enzyme-substrate complex and its effect on the level of activation of reactions. The article analyzes the factors influencing the chemical activity of enzymes, such as temperature, pH, and substrate concentration. Important aspects related to the heat resistance and stability of enzymes are also considered, which is of significant importance for their industrial applications. In conclusion, the article concluded that enzymes have the potential to be stable and effective catalysts that make a significant contribution to the development of future technologies and principles of sustainable production.

Keywords: enzymes, substrates, catalyzed reactions, ecology, biochemistry, soils.

Ферменты играют ключевую роль в биологических и химических процессах, обеспечивая ускорение реакций и повышение их эффективности. Они являются биологическими катализаторами, ускоряющими химические реакции в живых организмах, часто в миллионы раз. Без ферментов многие жизненно важные процессы протекали бы слишком медленно. Ферменты – это специфические белки, которые действуют как катализаторы, ускоряя биохимические реакции, не теряя своей структуры и активности. Каждый из них обладает уникальной структурой, которая позволяет ему взаимодействовать с конкретными веществами. Они имеют сложную третичную или четвертичную структуру, состоящую из аминокислотных цепей.

Химическая активность ферментов обусловлена их уникальной способностью специфически связываться с определенными молекулами-субстратами и катализировать их превращение в конечные продукты. Эта активность определяется несколькими важными характеристиками [1].

Каждый фермент проявляет высокую специфичность к своим субстратам, что обусловлено его уникальной трехмерной структурой и активным центром. Активный центр – это особая небольшая область фермента, где непосредственно происходит связывание субстрата и сама реакция. Он обладает специфической формой и химическими свойствами, которые идеально комплементарны субстрату.

Механизм действия ферментов основан на снижении энергии активации химических реакций, что значительно ускоряет их протекание. Ферменты осуществляют катализ несколькими способами: во-первых, они сближают молекулы субстратов в активном центре, увеличивая вероятность их взаимодействия. Во-вторых, ферменты способны стабилизировать переходное состояние реакции, снижая необходимую для этого энергию [2]. Ферменты могут предоставлять альтернативный путь реакции с более

низкой энергией активации. Они участвуют в кислотно-основном катализе, действуя как кислоты или основания и передавая протоны субстрату. Наконец, ферменты способны временно образовывать ковалентные связи с субстратом, что облегчает его последующее превращение в конечный продукт.

На поверхности фермента находится активный центр – участок, обладающий специфической конформацией и химическими свойствами, которые позволяют связывать субстрат. Эта специфичность обусловлена принципом «ключ-замок» – форма субстрата точно соответствует форме активного центра, или «индуцированного соответствия», когда форма активного центра изменяется при связывании субстрата, обеспечивая оптимальное взаимодействие.

После связывания субстрата с ферментом происходит каталитическое превращение субстрата в продукт. Этот процесс может включать различные механизмы, такие как образование переходного состояния, перенос электронов, гидролиз или образование новых химических связей. После завершения реакции продукт высвобождается, а фермент остается нетронутым, готовым к новым циклам катализа.

Данные элементы действуют по принципу снижения энергии активации реакции. Энергия активации – это минимальное количество энергии, необходимое для того, чтобы начать химическую реакцию. Ферменты обеспечивают особую среду, в которой взаимодействующие молекулы – субстраты – располагаются в оптимальном положении для реакции, снижая, таким образом, требуемую энергию активации. Это приводит к существенному увеличению скорости реакции. Без ферментативных катализаторов многие реакции протекали бы при очень высоких температурах, что несовместимо с жизнедеятельностью [3].

Существует несколько механизмов снижения ферментами энергии активации.

Ориентация субстратов: ферменты точно ориентируют субстраты друг относительно друга, что повышает вероятность успешного столкновения и образования переходного состояния.

Деформация субстратов: фермент может деформировать молекулу субстрата, делая ее более реакционноспособной.

Образование промежуточных комплексов: фермент может образовывать временные связи с субстратом, стабилизируя переходное состояние и снижая энергию активации.

Использование каталитических групп: некоторые аминокислотные остатки в активном центре фермента могут принимать участие в катализе, например, путем притягивания или отталкивания электронов, или путем предоставления подходящих протонов или гидроксильных ионов.

Ферменты классифицируются по типу катализируемых реакций. Существует шесть основных классов ферментов, каждый из которых характеризуется определенным типом катализируемой реакции: оксидоредуктазы (окисление-восстановление), трансферазы (перенос функциональных групп), гидролазы (гидролиз), лиазы (разрыв связей), изомеразы (изменение структуры) и лигазы (образование связей) [4].

На активность ферментов влияет множество факторов.

Температура: оптимальная для активности ферментов обычно находится в диапазоне 30–40 °C. Избыточная или недостаточная температура может денатурировать фермент, нарушая его структуру и, соответственно, активность. Кислотность среды *pH*: каждый фермент имеет свой оптимальный диапазон pH, в котором его активность максимальна. Отклонение от оптимального pH также может привести к денатурации.

Концентрация субстрата: с увеличением концентрации субстрата скорость реакции возрастает, но достигает предела, когда все активные центры фермента заняты.

Концентрация фермента: увеличение концентрации фермента при постоянной концентрации субстрата также увеличивает скорость реакции.

Ингибиторы: некоторые вещества, называемые ингибиторами, могут снижать или полностью блокировать активность фермента [5].

Ферменты широко применяются в производстве биотоплива (целлюлаза и амилаза используются для превращения целлюлозных материалов в простые сахара, которые затем могут быть ферментированы в этанол); биофармацевтика (ферменты используются в производстве антибактериальных препаратов и вакцин. Например, протеазы помогают в производстве инсулина) [6]. Помимо биопродукции, в пищевой технологии ферменты повышают качество продуктов, а в очистке сточных вод и биоремедиации играют важную роль, эффективно разрушая токсичные соединения.

Ферменты также находят применение в химической промышленности, где они становятся альтернативой традиционным химическим катализаторам. Ферменты успешно используются для синтеза различных химических соединений, включая аминокислоты, так, аминооксидаза обеспечивают эффективное производство важных компонентов для фармацевтической отрасли. В производстве полиэтиленгликолей ферменты катализируют процесс полимеризации, значительно улучшая характеристики получаемых материалов.

Особое значение имеет способность ферментов создавать более устойчивые и экологически чистые производственные процессы. Благодаря их низкой токсичности существенно снижается необходимость в использовании вредных химических веществ, что делает производство более безопасным для окружающей среды. Кроме того, ферменты функционируют в мягких условиях – при оптимальной температуре и pH, что позволяет значительно сократить энергозатраты на производственные процессы. Применение ферментов открывает новые перспективы для развития современной промышленности, делая её более эффективной, экологичной и безопасной.

Важным преимуществом ферментов является их высокая специфичность, которая обеспечивает селективность реакций и минимизирует образование побочных продуктов. Это существенно повышает эффективность производства и качество конечного продукта. Благодаря своей природе биокатализаторы также способствуют экономии ресурсов – они увеличивают выход целевого продукта, что приводит к снижению затрат на сырье и делает производственные процессы более рентабельными [7].

В сравнении с традиционными химическими катализаторами ферменты демонстрируют более высокий уровень экологичности. Биоразлагаемость и способность работать в мягких условиях делают их предпочтительным выбором для современного промышленного производства, стремящегося к устойчивому развитию и минимизации негативного воздействия на окружающую среду.

В современном строительстве ферменты так же находят широкое применение в различных технологических процессах. Они эффективно используются для модификации структуры и состава строительных материалов на молекулярном уровне, что позволяет значительно повысить их прочность, долговечность и устойчивость к различным внешним воздействиям. Важное направление применения ферментов – создание экологически чистых строительных материалов. Благодаря использованию биокатализа в строительных процессах становится возможным заменить традиционные энергоемкие технологии производства на более устойчивые и экологичные методы. Ферменты также играют ключевую роль в утилизации строительных отходов. С их помощью осуществляется разложение и переработка различных строительных материалов, что позволяет повторно использовать полученные компоненты в производстве. В то же время по-прежнему существенную роль в современном строительстве играют неорганические катализаторы и ингибиторы, в частности, в вопросах регулирования сроков твердения и схватывания портландцемента [8, 9], являясь важной инвестицией в долгосрочную устойчивость и эффективность строительных проектов.

Кроме того, биокатализаторы успешно применяются для улучшения свойств грунтов при строительстве фундаментов и дорог. Специальные ферменты способствуют эффективному связыванию частиц грунта, что обеспечивает необходимую стабилизацию и повышает качество строительных работ [10], в т.ч. и в сложных климатических условиях и переувлажненных глинистых грунтах, демонстрируя значительный потенциал в дорожном строительстве. Современные комплексные методы укрепления, включающие применение стабилизаторов, синтетических смол и вяжущих материалов, позволяют существенно повысить водостойкость и прочностные характеристики обработанных грунтов. Это особенно актуально при строительстве дорожных оснований и укреплении обочин земляного полотна в зонах с высоким уровнем грунтовых вод. Конструктивные решения с использованием укрепленных грунтов требуют специальных теплофизических и прочностных расчетов, что обеспечивает долговечность и устойчивость дорожных конструкций даже в самых сложных климатических условиях [11].

Таким образом, применение ферментов открывает новые перспективы для развития современной промышленности, делая её более эффективной, экологичной и безопасной. Ферменты являются фундаментальными компонентами биологических систем, ускоряя и контролируя бесчисленные химические реакции, необходимые для жизни. Специфичность, эффективность и регулируемость делают их незаменимыми

катализаторами в каждом биологическом процессе. Понимание работы ферментов имеет большое значение для развития новых медицинских препаратов, пищевых, строительных технологий и других областей науки и промышленности, а их применение открывает новые возможности в различных сферах, от медицины до высоких технологий, сохраняя баланс между эффективностью и охраной окружающей среды.

Литература

1. Шаммыева А.С. Ферменты: их роль в медицине и здоровье человека // Наука и мировоззрение. – 2025. – С. 1–6.
2. Мяликгулыева Г.А. Механизм ферментативных реакций // Современные научные исследования и инновации. – 2024. – № 4. – URL : https://web.snauka.ru/issues/2024/04/101797 (дата обращения 21.04.2025).
3. Зайцев В.А. Структурные особенности ферментов и их влияние на каталитическую активность // Российский журнал по биохимии. – 2018. – № 15(1). – С. 65–75.
4. Былешева Г.М. Ферменты: классификация, общие свойства, роль в организме // Материалы II Всероссийской молодежной научно-практической конференции. – 2018. – С. 54–56.
5. Сидоров Р.Н. Ингибирование ферментов: механизмы и применение / Р.Н. Сидоров, Е.А. Смирнова // Вестник фармацевтики России. – 2019. – № 8(1). – С. 43–50.
6. Шаврин И.Э. Общая характеристика ферментов / И.Э. Шаврин, А.А. Богомазова // Наука через призму времени. – 2022. – № 6(63). – С. 2–31.
7. Ферменты промышленного назначения – обзор рынка ферментных препаратов и перспективы его развития / А.А. Толкачева [и др.] // Вестник ВГУИТ. – 2017. – Т. 79. – № 4. – С. 197–203.
8. Тарасенко Ю.А. Катализаторы и ингибиторы твердения портландцемента / Ю.А. Тарасенко, М.А. Тлехусеж // Наукосфера. – 2023. – № 2-1. – С. 206–211.
9. Курников Т.Д. Химические добавки и их влияние на свойства бетона / Т.Д. Курников, М.А. Тлехусеж // Тенденции развития науки и образования. – 2023. – № 104-11. – С. 139–141.
10. Озбеков Н. Применение ферментного стабилизатора «дорзин» в дорожном строительстве / Н. Озбеков, Ы. Гурбанов, Х. Кадыров // Вестник науки. – 2024. – № 11(80). – Т. 1. – С. 1219–1223. – URL : https://www.вестник-науки.рф/article/18411 (дата обращения 27.04.2025).
11. Николаева Г.О. Химическое укрепление грунтов в дорожном строительстве // Сборник материалов IV Всероссийского форума. Якутск. – 2024. – С. 106–110. – URL : https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=fcktif (дата обращения 14.06.2025).

References

1. Shammyeva A.S. Enzymes: their role in medicine and human health // Science and worldview. – 2025. – P. 1–6.
2. Myalikgulyeva G.A. Mechanism of enzymatic reactions // Modern scientific research and innovations. – 2024. № 4. – URL : https://web.snauka.ru/issues/2024/04/101797 (date of application 04/21/2025).
3. Zaitsev V.A. Structural features of enzymes and their effect on catalytic activity // Russian Journal of Biochemistry. – 2018. – № 15(1). – P. 65–75.
4. Bylesheva G.M. Enzymes: classification, general properties, role in the body // Materials of the II All-Russian Youth Scientific and Practical Conference. – 2018. – P. 54–56.
5. Sidorov R.N. Enzyme inhibition: mechanisms and application / R.N. Sidorov, E.A. Smirnova // Bulletin of Pharmaceuticals of Russia. – 2019. – № 8(1). – P. 43–50.
6. Shavrin I.E. General characteristics of enzymes / I.E. Shavrin, A.A. Bogomazova // Science through the prism of time. – 2022. – № 6(63). – P. 29–31.
7. Industrial enzymes – an overview of the enzyme preparations market and its development prospects / A.A. Tolkacheva [et al.] // Bulletin of VGUIT. – 2017. – Vol. 79. – № 4. – P. 197–203.
8. Tarasenko Yu.A. Catalysts and Inhibitors of Portland Cement Hardening / Yu.A. Tarasenko, M.A. Tlekhusezh // Naukosfera. – 2023. – № 2-1. – P. 206–211.
9. Kurnikov T.D. Chemical Additives and Their Influence on Concrete Properties / T.D. Kurnikov, M.A. Tlekhusezh // Trends in Science and Education. – 2023. – № 104-11. – P. 139–141.
10. Ozbekov N. Application of the enzyme stabilizer «dorzin» in road construction / N. Ozbekov, Y. Gurbanov, H. Kadyrov // Bulletin of Science. – 2024. – № 11(80). – Vol. 1. – P. 1219–1223. – URL : https://www.вестник-науки.Russian Federation/article/18411 (date of application 04/27/ 2025)
11. Nikolaeva G.O. Chemical strengthening of soils in road construction // Collection of materials of the IV All-Russian Forum. Yakutsk. – 2024. – P. 106–110. – URL : https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=fcktif (date of application 06/14/2025).