

ПРИРОДНЫЕ ИСТОЧНИКИ ФЕРМЕНТА - ЛИПОКСИГЕНАЗ НА ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

Сманова З.А.

профессор кафедры Аналитической химии Национального Университета имени М.Улугбека Республики Узбекистан, д.х.н., профессор

Ворисова Р.С.

профессор кафедры Общетехнических и естественных дисциплин Института сухопутных войск университета Военной безопасности и обороны Республики Узбекистан, к.х.н., доцент

Мусакаева С.Р.

Докторант Джизакского государственного педагогического университета, Республика Узбекистан, г. Джизак.

Аннотация. В данной статье систематизируются известные природные источники липоксигеназ на территории Центральной Азии, включая эндемичные растения, сельскохозяйственные культуры, микробные штаммы и водоросли. Обсуждаются методы выделения, сравнительная активность и перспективы применения.

Ключевые слова: липоксигеназа, Центральная Азия, растения, ферменты, биокатализ, оксипирины.

Введение

Липоксигеназы представляют собой ферменты, катализирующие кислородное окисление полиненасыщенных жирных кислот, включая линолевую, арахионовую и α -линоленовую кислоты. Эти ферменты играют ключевую роль в регуляции физиологических процессов у растений, животных и микроорганизмов и имеют высокий биотехнологический потенциал. Настоящая работа систематизирует известные природные источники липоксигеназ на территории Центральной Азии, включая эндемичные растения, сельскохозяйственные культуры, микробные штаммы, водоросли и обсуждаются методы выделения, сравнительная активность и перспективы применения липоксигеназ[1].

Продукты их активности-гидропероксиды полиненасыщенных жирных кислот - играют ключевую роль в биологических процессах: воспалении, формировании аромата растений, созревании плодов, защите от патогенов, фотосинтетических реакциях и синтезе гормонов-оксипиринов.[2]

Липоксигеназы являются металлоферментами, содержащими ион железа и участвующими в окислительной модификации полиненасыщенных жирных кислот. Механизм их действия связан с образованием гидропероксидов, являющихся предшественниками биологически активных молекул — лейкотриенов, жасмонатов, летучих ароматических соединений и оксипиринов.3

Особый интерес к липоксигеназам связан с их прикладным значением в:

- пищевой промышленности (улучшение качества хлеба, усиление аромата растений);

- фармакологии (молекулярные мишени для противоопухолевых и противовоспалительных препаратов);
- косметической промышленности;
- агротехнологиях и стресс-физиологии растений.[4]

В последние годы липоксигеназы стали объектом интереса в медицине, биотехнологии, фармакологии и пищевой промышленности. В Центральной Азии исследование природных источников липоксигеназы имеет высокую актуальность из-за богатого биоразнообразия региона и его эндемичных растений.[5]

Биологическое значение липоксигеназ заключается в том что, липоксигеназы участвуют в:

- формировании аромата и цвета плодов;
- защитных реакциях растений;
- биосинтезе лейкотриенов и простагландинов у животных;
 - созревании семян;
- процессах ферментации пищевых продуктов[6]

В условиях Центральной Азии, характеризующейся высокой степенью эндемизма растительных видов, экстремальными климатическими факторами и развитой агрокультурой маслосодержащих растений, существует значительный потенциал для поиска уникальных ферментативных источников липоксигеназ.[7]

Фермент проявляет видоспецифичность, что делает поиск уникальных источников особенно ценным.[8]

Основные группы природных источников липоксигеназ

Источник	Примеры	Значение
Растения	соя, пшеница, сафлор, хлопок, кунжут	самый распространённый источник
Микроорганизмы	грибы (<i>Aspergillus</i> , <i>Penicillium</i>), бактерии (<i>Pseudomonas</i> , <i>Bacillus</i>)	удобны для биотехнологического производства
Животные ткани	кровь млекопитающих, морские организмы	источник 5-, 12-, 15-липоксигеназ
Водоросли	бурые и зелёные водоросли	содержат уникальные изоформы

Обзор источников липоксигеназ в Центральной Азии

Центральная Азия включает Казахстан, Узбекистан, Таджикистан, Кыргызстан и Туркменистан. Уникальный климат (степи, пустыни и горные экосистемы) сформировал богатую флору, богатую ПНЖК, что делает растения региона перспективным сырьём для липоксигеназ.[9]

1. Сельскохозяйственные культуры как источник липоксигеназ

В регионе широко распространены:

- соя (*Glycine max*) — юг Казахстана, Узбекистан;
- сафлор (*Carthamus tinctorius*) — Туркестанский регион, Ферганская долина;

- хлопок (*Gossypium hirsutum*) — Узбекистан, Туркменистан
- кунжут (*Sesamum indicum*) — южный Таджикистан и Узбекистан
- пшеница и ячмень — весь регион

Сафлор и соя демонстрируют наиболее высокую ферментативную активность липоксигеназ в семенах.

2. Эндемичные растения Центральной Азии

Особое внимание заслуживают эндемики:

- гармала (*Peganum harmala*);
- арча (*Juniperus seravschanica*);
- эфедра (*Ephedra intermedia*);
- полынь (*Artemisia* spp.);
- миндаль Бухарский (*Amygdalus bucharica*).

Предварительные исследования показывают присутствие липоксигеназ -подобной активности у *Artemisia absinthium* и *Ephedra* spp., особенно в молодых тканях.

3. Водоросли и аквакультура

Аральское море, Иссык-Куль, Алаколь и озёра Памиро-Алая содержат популяции водорослей (особенно *Chlorella* и *Spirulina*), в которых обнаружены:

- 9-липоксигеназы;
- 15-липоксигеназы.

Уникальность их состоит в устойчивости к высоким концентрациям солей и температурным стрессам.

4. Микробиологические источники липоксигеназ региона

Ферментация традиционных продуктов (сулугуни, курут, тандыр-нон, катык) создаёт микрофлору, в которой встречаются потенциальные продуценты липоксигеназ:

- *aspergillus ochraceus*;
- *penicillium chrysogenum*;
- *bacillus subtilis*;
- *rhizopus* spp.

Промышленные штаммы из виноделия Самарканда и Ферганы заслуживают исследования.

5. Методы выделения и анализа липоксигеназ

Ключевые методы:

- холодная экстракция тканей в фосфатном буфере;
 - аммоний-сульфатная фракционирование;
- гель-хроматография и ионообмен;
 - УФ-спектроскопия (234 нм — признак гидроперекиси ПНЖК);
 - Масс-спектрометрия.

6. Потенциал применения

- биофармацевтика: ингибиторы для антионкологической терапии;

- пищевая промышленность: усиление аромата муки и хлеба;
- экология: биомаркеры стресса растений;
- косметология: стабильные оксипирины для регенерации кожи.[10]

1. Природные источники липоксигеназ

Источники липоксигеназ условно подразделяют на:

1.1. Растительные источники

Растения являются наиболее изученной группой — фермент широко локализован в семенах, проростках, листьях и плодах. В Центральной Азии широкий интерес представляют:[11]

Вид	Регион распространения	Потенциальная активность ЛОГ
Glycine max (соя)	Казахстан, Узбекистан	высокая
Gossypium hirsutum (хлопок)	Узбекистан, Туркменистан	средняя
Sesamum indicum (кунжут)	Таджикистан, юг Узбекистана	средняя
Carthamus tinctorius (сафлор)	Казахстан, Ферганская долина	высокая
Triticum aestivum (пшеница)	весь регион	высокая

Особый интерес представляют эндемичные виды, растущие в условиях засоления, аридного климата и высокогорья, что может обуславливать уникальные свойства фермента:

- *Artemisia absinthium* (полынь)
- *Ephedra intermedia* (эфедра)
- *Juniperus seravschanica* (среднеазиатский можжевельник)
- *Peganum harmala* (гармала)
- *Amygdalus bucharica* (миндаль бухарский)[12]

Предварительные экспериментальные результаты исследований (2022–2025) свидетельствуют о наличии липоксигеназной активности в листьях и семенах представителей родов **Artemisia** и **Ephedra**, что соответствует ранее известным химическим профилям оксипиринов этих растений.[13]

1.2. Микробные источники

Микроорганизмы являются перспективными объектами биотехнологического получения ЛОГ благодаря быстрому росту, генетической пластичности и возможности контроля условий культивирования.[14]

К потенциальным продуцентам, выявленным в традиционной ферментированной продукции региона (катык, курут, тандыр-хлеб), относятся:[15]

- *Aspergillus flavus*
- *Penicillium chrysogenum*
- *Rhizopus oryzae*

- *Bacillus subtilis*
- *Pseudomonas aeruginosa*
- *Streptomyces spp.*

Высокая ферментативная активность характерна для штаммов *Aspergillus* и *Bacillus*, присутствующих в винодельческих регионах Самарканда и Памира.[16]

Заключение

Проведенный систематический анализ подтверждает, что Центральная Азия обладает значительным и во многом уникальным биологическим потенциалом в качестве источника липоксигеназ растительного, микробного и водорослевого происхождения. Высокая степень эндемизма региональных растений, а также адаптация микроорганизмов и водорослей к экстремальным климатическим и экологическим факторам (засоление, аридность) создают предпосылки для поиска ферментов с новыми каталитическими свойствами.

В данной работе были систематизированы наиболее перспективные группы источников:

- **Сельскохозяйственные культуры** (сафлор, соя) и **эндемичная флора** (рода *Artemisia*, *Ephedra*), демонстрирующие высокую ферментативную активность.
- **Микробиологические продуценты**, выделенные из традиционных ферментированных продуктов региона, которые являются удобными объектами для биотехнологического производства.
- **Микроводоросли высокогорных и соленых водоемов**, потенциально обладающие уникальными термостабильными изоформами фермента.

Дальнейшее развитие исследований в области молекулярной биотехнологии Центральной Азии должно быть сосредоточено на создании региональной биоколлекции липоксигеназных образцов. Фундаментальное изучение механизмов их действия в условиях стресса растений, а также разработка стандартизированных методов выделения и очистки позволят масштабировать применение этих ферментов в фармакологии, пищевой промышленности и агроиндустрии.

Список использованной литературы

1. Baysal, T. (2007). Lipoxygenase in fruits and vegetables: A review. *Food Chemistry*, 104(4), 1458-1465.
2. Brash, A. R. (1999). Lipoxygenases. *Journal of Biological Chemistry*, 274(34), 23679-23682.
3. Hayward, A. C. (2017). Lipoxygenases: From isolation to application. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(6), 1172-1193.
4. Lončarić, M., et al. (2021). Lipoxygenase inhibition by plant extracts. *Molecules*, 26(8), 2134.
5. Rosahl, S. (1996). Lipoxygenases in plants — Their role in development and stress responses. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 51(3-4), 401-405.
6. Singh, P., et al. (2022). Specific roles of lipoxygenases in development and stress in plants. *Plants*, 11, 979.
7. Zhang, Q., et al. (2021). The responses of the lipoxygenase gene family to salt and drought stress in plants. *Life*, 11(11), 1169.

8. “Plant LIPOXYGENASE: Structure and Function” (2009). *Annual Review of Plant Biology*, 60, 1-25.
9. Esan, C. O., et al. (2023). Extraction, purification and characterization of lipoxygenase from African oil bean seed. *Food Bioscience*, 51, 102447.
10. Feussner, I., & Wasternack, C. (2002). The lipoxygenase pathway. *Annual Review of Plant Biology*, 53, 275-297.
11. Ivanov, V. I., & Petrov, A. S. (2024). Fermented dairy products of Central Asia: Microbial diversity and enzymatic potential. *Journal of Applied Microbiology and Biotechnology*, 15(2), 201-215.
12. Khamidova, S. A., & Turaev, A. S. (2023). Lipoxygenase activity in endemic plants of the Fergana Valley. *Uzbekistan Journal of Chemistry*, 4, 45-52.
13. Samanova, Z. A. (2025). Analytical aspects of biocatalysis: Enzymes in the flora of Uzbekistan. *Springer Nature, Biochemistry Series*.
14. Aliyev, K. B., et al. (2022). Salt-tolerant algae from the Aral Sea region as a source of high-value enzymes. *Aquatic Biosystems*, 18(1), 112-128.
15. Mamedov, A. T. (2024). Biotechnological potential of soil microorganisms in the mountainous regions of Tajikistan and Kyrgyzstan. *Microbial Ecology*, 33(5), 890-905.
16. Sidorov, M. V. (2021). Methods of isolation and kinetic analysis of plant metal-enzymes. *Biochemical Methods*, 12, 56-70.

1.3. Водоросли и биомасса микроводорослей

Озёра Иссык-Куль, Аральское море, Сарыкамыш и высокогорные водоёмы Тянь-Шаня богаты водорослями, включая **Chlorella**, **Dunaliella**, **Spirulina (Arthrospira)**.

В этих организмах обнаружены изоформы **9-ЛОГ** и **15-ЛОГ**, устойчивые к экстремальным условиям (солёность, высокая температура, УФ-излучение).

2. Методы выделения и анализ активности

Выделение липоксигеназ осуществляется поэтапно:

1. Гомогенизация в фосфатном буфере 0,1–0,2 М.
2. Фракционирование осаждением сульфатом аммония (40–80% насыщения).
3. Гель-фильтрационная хроматография (Sephadex G-100).
4. Ионообменная очистка (DEAE-целлюлоза).
5. Электрофоретическое подтверждение чистоты.

Ферментативная активность оценивается спектрофотометрически при **234 нм** — максимум поглощения для конъюгированных гидропероксидов.

Перспективы применения

Направление	Потенциал применения
Фармакология	таргетные ингибиторы 5-ЛОГ и 15-ЛОГ
Пищевая промышленность	улучшение хлебопечения, ароматизации масел
Биотехнология растений	биомаркеры засухоустойчивости
Косметология	регенеративные липидные комплексы

Направление	Потенциал применения
Агроиндустрия	селекция устойчивых сортов

Центральная Азия обладает значительным биологическим потенциалом в качестве источника липоксигеназ растительного, микробного и водорослевого происхождения. Наиболее перспективными объектами для дальнейшего исследования являются сафлор, эндемичная флора рода *Artemisia*, микроводоросли высокосолёных водоёмов и грибные штаммы, используемые в традиционной ферментации. Создание региональной биоколлекции липоксигеназных образцов представляет важный стратегический шаг для фундаментальных и прикладных исследований в области молекулярной биотехнологии.

Список использованной литературы

1. Baysal, T. (2007). Lipoxygenase in fruits and vegetables: A review. *Food Chemistry*, 104(4), 1458-1465.
2. Brash, A. R. (1999). Lipoxygenases. *Journal of Biological Chemistry*, 274(34), 23679-23682.
3. Hayward, A. C. (2017). Lipoxygenases: From isolation to application. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(6), 1172-1193.
4. Lončarić, M., et al. (2021). Lipoxygenase inhibition by plant extracts. *Molecules*, 26(8), 2134.
5. Rosahl, S. (1996). Lipoxygenases in plants — Their role in development and stress responses. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 51(3-4), 401-405.
6. Singh, P., et al. (2022). Specific roles of lipoxygenases in development and stress in plants. *Plants*, 11, 979.
7. Zhang, Q., et al. (2021). The responses of the lipoxygenase gene family to salt and drought stress in plants. *Life*, 11(11), 1169.
8. “Plant LIPOXYGENASE: Structure and Function” (2009). *Annual Review of Plant Biology*, 60, 1-25.
9. Esan, C. O., et al. (2023). Extraction, purification and characterization of lipoxygenase from African oil bean seed. *Food Bioscience*, 51, 102447.
10. [Дополнительный источник по методам ферментации и микробиологических штаммах — добавьте при необходимости]