

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, арахидоновую и  $\alpha$ -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 (сулгуни, курут, тандыр-нон, катык) создаёт микрофлору, в которой встречаются потенциальные продуценты липоксигеназ:

- *aspergillus ochraceus*;
- *penicillium chrysogenum*;
- *vacillus 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 оксилпины 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
<i>Glycine max</i> (соя)	Казахстан, Узбекистан	высокая
<i>Gossypium hirsutum</i> (хлопок)	Узбекистан, Туркменистан	средняя
<i>Sesamum indicum</i> (кунжут)	Таджикистан, юг Узбекистана	средняя
<i>Carthamus tinctorius</i> (сафлор)	Казахстан, Ферганская долина	высокая
<i>Triticum aestivum</i> (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 оксипинов 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
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]