

Литература

1. Banat, I.M. Biosurfactants: the green generation of speciality chemicals and potential production using Solid-State fermentation (SSF) technology / I.M. Banat [et al.] // Bioresource Technology. – 2021. – Т. 320 – С. 124222.
2. Duarte, A.W.F. Cold-adapted enzymes produced by fungi from terrestrial and marine Antarctic environments / A.W.F. Duarte [et al.] // Critical Reviews in Biotechnology. – 2018. – Т. 38, № 4. – С. 600–619.
3. Da Silva, A.F. Fungal biosurfactants, from nature to biotechnological product: bioprospection, production and potential applications / A.F. da Silva [et al.] // Bioprocess Biosyst Eng. – 2021. – Т. 44, № 10. – С. 2003–2034.

ОЦЕНКА ЭВОЛЮЦИИ ПЕНТОЗОФОСФАТНОГО ПУТИ У МОДЕЛЬНЫХ ЖИВОТНЫХ

П.Ю. Пинчук, А.И. Гулис, А.Ю. Этро
ВГУ имени П.М. Машерова, г. Витебск,
Республика Беларусь, polina_mileeva@mail.ru

Моллюски имеют важное значение в медицине, ветеринарии и экономике, поскольку они переносят заболевания, поражающие многих животных (птиц, рептилий, амфибий и млекопитающих, включая людей). Изучение метаболизма моллюсков необходимо для понимания эволюции большинства заболеваний, например, ожирения, инсулинорезистентности, сахарного диабета II типа и жирового гепатоза. Прогресс в познании их метаболизма может быть достигнут за счет увеличения числа модельных видов.

Наше исследование сосредоточено на изучении процессов метаболизма, в частности пентозофосфатного пути, легочных пресноводных моллюсков *Lymnaea stagnalis* (*L. stagnalis*), *Planorbis corneus* (*P. corneus*) и *Biomphalaria glabrata* (*B. glabrata*), которые относятся к одному классу Gastropoda. Распространение данных видов моллюсков в континентальных поверхностных водах и их трофическое положение подразумевает их использование в качестве моделей для экотоксикологической оценки. Также, они являются гермофродитами, которые могут производить большое количество потомства. Так, *L. stagnalis* использовали в качестве функционального инструмента в тестах на фертильность и плодовитость. Кроме того, доступен стандартный тест, в котором *L. stagnalis* используют в качестве тестового организма для оценки репродуктивности в экотоксикологических исследованиях [1].

В последние годы секвенирование нового поколения (NGS) стало общепринятой методикой исследования общих биологических процессов, происходящих в организмах. Разработка многочисленных передовых инструментов для биоинформатического анализа способствовала одновременному извлечению очень больших объемов информации, включая геномные, транскриптомные, протеомные и метаболомные данные. Растущее число биологических исследований на основе NGS за последнее десятилетие привело к значительному сокращению времени и затрат, связанных с анализами NGS. Были опубликованы многочисленные транскриптомные анализы на основе РНК-секвенирования, изучающие широкий спектр биологических реакций у *P. corneus* [2].

Цель данной работы заключалась в проведении сравнительного анализа на молекулярном уровне пентозофосфатного пути у организмов в ряду моллюск (*B. glabrata*) → крыса (*Rattus norvegicus*) → человек (*Homo sapiens*).

Материал и методы. Материалом для исследования послужили аминокислотные последовательности 10 ферментов пентозофосфатного пути: 6-фосфоглюконатдегидрогеназа [EC:1.1.1.43], 6-фосфоглюконолактоназа [EC: 3.1.1.31],

гексозо-6-фосфатдегидрогеназа [ЕС:1.1.1.47], глюкозо-6-фосфат-дегидрогеназа [ЕС:1.1.1.49], глюкозо-6-фосфат-изомеразы [ЕС:5.3.1.9], рибозо-5-фосфатизомеразы А [ЕС:5.3.1.6], рибозофосфатпирофосфокиназа [ЕС:2.7.6.1], рибулозофосфат-3-эпимеразы [ЕС:5.1.3.1], трансальдолазы [ЕС:2.2.1.2], транскетолазы [ЕС:2.2.1.1]. Поиск ферментов пентозофосфатного пути и их аминокислотные последовательности были взяты из базы данных KEGG. Сравнительный анализ первичных последовательностей проводили с помощью инструмента Clustal omega (<https://www.ebi.ac.uk/jdispatcher/msa/clustalo>) [3].

Результаты и их обсуждение. В ходе сравнительно-биоинформатического анализа было установлено, что в реакциях процесса пентозофосфатного пути у всех трех исследуемых организмов принимают участие одни и те же ферменты. Результаты гомологии (сравнение последовательностей до их выравнивания) и сходства (сравнение последовательностей после их выравнивания) ферментов крысы и моллюска в сравнении с человеком приведены в таблице.

Таблица – Оценка гомологии и сходства аминокислотных последовательностей модельных организмов

Ферменты	<i>Rattus norvegicus</i>		<i>Biomphalaria glabrata</i>	
	гомология, %	сходство, %	гомология, %	сходство, %
6-фосфоглюконатдегидрогеназа	93,2	97,9	66,8	78,8
6-фосфоглюконолактоназа	78,4	83,6	46,7	63,7
гексозо-6-фосфатдегидрогеназа	82,4	89,8	36,0	54,5
глюкозо-6-фосфатдегидрогеназа	93,8	96,7	60,0	72,3
глюкозо-6-фосфатизомеразы	88,2	94,4	65,8	78,7
рибозо-5-фосфатизомеразы А	88,7	92,3	46,5	61,4
рибозофосфатпирофосфокиназа	91,2	96,5	67,1	76,4
рибулозофосфат-3-эпимеразы	85,5	87,3	48,3	66,4
трансальдолаза	94,7	97,6	65,6	79,5
транскетолаза	68,5	81,5	62,7	78,2

В результате исследования гомология аминокислотных последовательностей ферментов у моллюска по отношению к человеку находится в диапазоне от 36,0% до 67,1%, когда сходство этих ферментов составляет от 54,5% до 79,5%. Для всех ферментов характерен высокий уровень идентичности, за исключением гексозо-6-фосфатдегидрогеназы, для которого характерен средний уровень. У фермента рибозофосфатпирофосфокиназа гомология составляет – 67,1%, что является самым высоким показателем гомологии среди исследуемых ферментов, а самый высокий показатель сходства характерен для фермента трансальдолаза – 79,5%.

При сравнении последовательностей человека и крысы значения гомологии находятся в диапазоне 68,5-94,7%, а сходства 81,5-97,9%. Для всех ферментов характерен высокий уровень идентичности. Для фермента трансальдолаза гомология – 94,7%, сходство – 97,6%, также, как и для моллюска этот фермент показал высокие значения. При сравнении последовательностей фермента трансальдолаза у крысы и моллюска наблюдается, также высокий уровень гомологии (62,7%) и сходства (78,2%).

Заключение. Полученные данные доказывают, что в ходе эволюции ферменты пентозофосфатного пути в ряду моллюск → крыса → человек сохранялись у всех трех организмов.

Трансальдолаза является ключевым ферментом биосинтеза рибозо-5-фосфата из продуктов гликолиза. Это единственный фермент крысы и моллюска, у которого показатели гомологии и сходства имеют наивысшее значение. Дефицит данного фермента приводит к заболеваниям печени. Это дает возможность предположить о протекании схожих процессов в печени позвоночных и гепатопанкреасе легочных пресноводных моллюсков.

Кроме этого, наличие одних и тех же ферментов доказывает общее происхождение биохимии пентозофосфатного пути у модельных организмов. Довольно высокий уровень сходства первичных последовательностей у человека и моллюска, предполагает использование беспозвоночных животных, в частности *L. stagnalis* и *P. corneus*, в лабораторной диагностике для исследования метаболизма и исследования влияния химических факторов на него.

Литература

1. Amorim J. et al. *Lymnaea stagnalis* as a freshwater model invertebrate for ecotoxicological studies // *Science of the Total Environment*. – 2019. – Т. 669. – С. 11.
2. Choi M. J. et al. Molecular characterization of four genes encoding abalone insulin-related peptides and their roles in regulation of hemolymph glucose in the Pacific abalone *Haliotis discus hannai* // *Aquaculture*. – 2023. – Т. 577. – С. 739992.
3. Пинчук, П.Ю. Кинетические свойства лактатдегидрогеназы печени крыс и гепатопанкреаса легочных пресноводных моллюсков / П.Ю. Пинчук // *Новости медико-биологических наук: труды международной научной конференции «Фундаментальные и прикладные науки – медицине»*, Минск, 2024 г. – Т. 24. – № 3. – С. 101–102.

АНАЛИЗ МЕТАБОЛИТНЫХ ПРОФИЛЕЙ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОСТОЯНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА ЛУГОВЫХ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ

**Г.А. Пожванов^{1, 2}, К.В. Щукина¹, Н.С. Ликсакова¹, А.П. Кораблёв¹,
О.В. Созинов^{1, 3},**

¹ Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, г. Санкт-Петербург,
Российская Федерация

² Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

³ ГрГУ имени Янки Купалы, г. Гродно, Республика Беларусь, pozhdanov@binran.ru

Глобальное изменение климата приводит к изменению локальных условий местообитаний, и, как следствие, смещению ареалов различных видов растений. Вместе с тем, распространение инвазивных видов растений может получать неожиданный импульс благодаря сдвигу локальных экологических условий в сторону оптимума. Возможности адаптации растений к условиям местообитания проявляются ранее всего на уровне регуляции работы (и состояния) фотосинтетического аппарата и следующих за этим биохимических изменений, выражающихся в качественном и количественном содержании низкомолекулярных первичных метаболитов.

Материал и методы. Объектом исследования служили цветковые растения на пяти пробных площадях 100 м², расположенных равномерно с интервалом в 10 м вдоль трансекты длиной 110 м, – модели зарастающего луга на пологом склоне (3,6°) южной экспозиции (луговая катена озёрной долины) на территории НОС