

*Хрусталёв В.В.<sup>1</sup>, Хрусталёва Т.А.<sup>1</sup>, Попинако А.В.<sup>2</sup>, Блажко В.В.<sup>1</sup>*  
**Особенности аминокислотного состава *Pyrococcus furiosus* обуславливают повышенную устойчивость альфа-спиралей и бета-тяжей**

<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный медицинский университет»,  
Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, Москва,  
Российская Федерация

Архея *Pyrococcus furiosus* обитает в глубоководных морских отложениях, в анаэробных условиях, под высоким давлением, при температуре от 70 до 103°C. Белки организма *Pyrococcus furiosus* в данных экстремальных условиях обитания не подвергаются денатурации. За последние десятилетия количество трёхмерных структур белков *P. furiosus* в базе данных Protein Data Bank увеличилось до ~500 (апрель 2021), что является достаточным для проведения анализа.

**Цель работы** – найти характерные особенности альфа-спиралей и бета-тяжей белков *P. furiosus*, обуславливающие их устойчивость к денатурации под воздействием высокой температуры.

**Материалы и методы.** Использованы 156 негомологичных трёхмерных структур белков *P. furiosus* из базы данных PDB. Вторичную структуру этих белков определяли с помощью метода DSSP. Установление особенностей аминокислотного состава белков *P. furiosus*, и отдельно альфа-спиралей и бета-тяжей, проводили с помощью t-теста для относительных величин по сравнению с выборками негомологичных белков эукариот (альфа-спиральных, бета-структурных, классов «альфа + бета» и «альфа/бета») и бактерий (с геномами низкой, средней и высокой GC-насыщенности) [1].

**Результаты.** Аминокислотный состав белков *P. furiosus* уникален по сравнению с таковыми для белков эукариот и бактерий. Наиболее выдающейся особенностью аминокислотного состава белков этого представителя архей является высокая частота использования остатков глутаминовой кислоты. Частота использования остатков глутаминовой кислоты достоверно превышает таковые для семи выборок, ис-

пользованных для сравнения, в 1,28 – 1,66 раз. Вторым аминокислотным остатком, который достоверно чаще встречается в белках *P. furiosus*, является лизин: его больше в 1,31 – 1,52 раза по сравнению с четырьмя выборками белков эукариот; в 1,79 и 3,55 раза больше, чем у бактерий со средней и высокой GC-насыщенностью геномов, соответственно; но только в 1,06 раза – по сравнению с белками GC-бедных бактерий. Достоверно ниже в белках *P. furiosus*, по сравнению с семью выборками для сравнения, частоты использования аминокислотных остатков серина, треонина, аспарагиновой кислоты, глутамина, гистидина и цистеина.

Частота использования валина в белках *P. furiosus* достоверно выше, чем в шести из семи выборок для сравнения: только в белках GC-богатых бактерий она настолько же высока. Под воздействием мутационного АТ-давления в белках эукариот и бактерий особенно увеличиваются частоты использования остатков лизина, изолейцина и аспарагина [2]. В белках *P. furiosus* частота использования изолейцина, действительно, значимо выше, чем в шести из семи выборок для сравнения, но находится на том же уровне, что и в белках GC-бедных бактерий. Частота же аспарагина у изученного представителя архей достоверно ниже, чем во всех выборках для сравнения, за исключением выборки белков GC-богатых бактерий, где она настолько же низкая.

Альфа-спирали *P. furiosus* достоверно (в 1,33 – 1,68 раз) обогащены остатками глутаминовой кислоты и обеднены остатками глутамина (в 1,73 – 2,77 раз), при этом частота использования лизина в них значительно повышена в 1,33 – 1,86 раз (по сравнению с белками GC-богатых бактерий – в 3,81 раза, а с белками GC-бедных бактерий достоверных различий нет). Бета-тяжи достоверно обогащены остатками валина (кроме белков класса альфа/бета и белков GC-богатых бактерий) и изолейцина (кроме белков GC-бедных бактерий), значимо обеднены остатками лейцина (кроме белков GC-бедных бактерий), серина и треонина (кроме альфа-спиральных белков), остатками глутамина.

**Выводы.** Альфа-спирали белков *P. furiosus* чаще стабилизируются ионными контактами между боковыми цепями глутаминовой кислоты и лизина, которые должны сохраняться и при высокой температуре, в отличие от других типов слабых взаимодействий, в том числе, водородных связей. Гидрофильных бета-тяжей в белках *P. furiosus* мало, и бета-структура, в основном, формирует их гидрофобные ядра. Частоты использования преимущественно бета-структурных гидрофобных остатков валина и изолейцина в них выше, а частота использования лейцина (который в большей степени склонен формировать альфа-

спирали) – ниже. Описанные закономерности должны способствовать устойчивости белков *P. furiosus* к высоким температурам. Являются ли эти особенности характерными для всех архей, исключительно для *P. furiosus*, или только для гипертермофилов, покажет дальнейший анализ.

### Литература

1. Хрусталёв, В. В. Репликация, транскрипция, мутационное давление : Монография / В. В. Хрусталёв; под ред. Е. В. Барковского. – Минск: БГМУ, 2011. – 278 с.
2. Khrustalev V.V., Khrustaleva T.A., Poboinev V.V. Amino acid content of beta strands and alpha helices depends on their flanking secondary structure elements / // Biosystems. – 2018. – 168. – P. 45 - 54.