

БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ КЛОСТРИДИЙ - ПРОДУЦЕНТОВ СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БИОТОПЛИВА

Нуколова Анна Юрьевна

студент Петрозаводского государственного университета, РФ, г. Петрозаводск

Савушкин Андрей Иванович

ведущий биотехнолог ООО «Микробиом», РФ, г. Петрозаводск

Biotechnologically significant microorganisms, as producers of biologically active substances on the example of clostridium

Anna Nukolova

student of Petrozavodsk State University, Russia, Petrozavodsk

Andrey Savushkin

Leading biotechnologist of LLC "Microbiom", Russia, Petrozavodsk

Аннотация. Данная статья является обзорной. В ней рассмотрены перспективы использования микроорганизмов рода *Clostridium* в биотехнологических процессах. В рамках обзора был проделан анализ требований к штаммам микроорганизмов рода *Clostridium* при использовании их в биотехнологических процессах.

Abstract. This article is a review. The prospects of using microorganisms of the *Clostridium* genus in biotechnological processes are considered in it. As part of the review, an analysis of the requirements for strains of microorganisms of the *Clostridium* genus was made when used in biotechnological processes.

Ключевые слова: биотехнология; биоконверсия; биотрансформация; род *Clostridium*; *Cl. Acetonebutylicum*; *Cl. Tyrobutylicum*; *Cl. Thermocellum*; *Cl. Cellulolyticum*; *Cl. Stercorarium*.

Keywords: biotechnology; bioconversion; biotransformation; genus *Clostridium*; *Cl. Acetonebutylicum*; *Cl. Tyrobutylicum*; *Cl. Thermocellum*; *Cl. Cellulolyticum*; *Cl. Stercorarium*.

В настоящее время существует проблема истощаемости ископаемых топливных ресурсов, которая, в свою очередь приводит к возможности появления энергетического кризиса. Данное явление влечет за собой необходимость использования новых технологий для получения высококачественного топлива из возобновляемых ресурсов, в том числе и к биотехнологиям. Биоконверсия или биотрансформация – один из разделов биотехнологии, основой которого является процесс превращения веществ в другие с использованием ферментативных систем организмов, в том числе микроорганизмов [13].

Одной из перспективных групп микроорганизмов в целях биоконверсии является род *Clostridium*.

Представители данного рода являются спорообразующими грамположительными бактериями, как правило, облигатными анаэробами.

Род *Clostridium* распространен повсеместно, бактерии встречаются в воде, почве, в материалах разложения растений и животных [11].

В данной области перспективными считаются виды *Cl. acetobutylicum*, *Cl. tyrobutyricum*, *Cl. thermocellum*, *Cl. Cellulolyticum* и *Cl. stercorarium*.

Краткая характеристика промышленно значимых видов:

Clostridium acetobutylicum. В процессе своего метаболизма сбрасывают углеводы до бутанола, ацетона и этанола, при этом *Cl. acetobutylicum* обладает высокой резистентностью к неблагоприятным факторам среды, а именно к повышенной концентрации продуктов собственного метаболизма. Для целей биотехнологии разрабатываются наиболее эффективные штаммы данного вида [12]. Изучались перспективы использования данного вида для биоконверсии целлюлозы с целью получения бутанола, но, на данный момент выяснено, что данные микроорганизмы не имеют целлюлолитической активности, тем не менее, данный вид может быть использован для утилизации лигноцеллюлозного сырья до бутанола, этанола и ацетона после предварительной его трансформации. Бутанол – насыщенный спирт с молекулярной формулой $C_4H_9(OH)$. Может быть использован в широком спектре задач в химической и текстильной промышленности, а также спирт имеет значение как потенциальное топливо или топливная присадка [5].

Clostridium tyrobutyricum. Типичный представитель рода *Clostridium*. В процессе своего метаболизма имеет способность к расщеплению углеводов до масляной и уксусной кислот. Наиболее интересным продуктом жизнедеятельности *Cl. tyrobutyricum* в промышленном масштабе является масляная кислота. Данная кислота используется в химической, пищевой и фармацевтической промышленности. Традиционный процесс получения масляной кислоты не является экономически целесообразным, вследствие относительно низкого выхода конечного продукта и величины затрат на ее производство. В качестве альтернативы рассматриваются перспективы микробной конверсии отходов сельскохозяйственного производства. В то же время использование *Cl. tyrobutyricum* в биотехнологическом процессе получения масляной кислоты повышает выход конечного продукта [6-10].

Clostridium thermocellum. Единственное отличие от типичных представителей рода *Clostridium* – термофильность. Интерес к данному виду бактерий заключается в использовании его целлюлолитической активности, а также в способности к превращению целлюлозного субстрата в этанол путем консолидированной биообработки [1].

Этанол – одноатомный спирт с молекулярной формулой $C_2H_5(OH)$. Имеет большое промышленное значение в пищевой, фармацевтической и других отраслях. В том числе, как и бутанол, может быть использован в качестве биотоплива. Как и многие плесневые грибы, *Cl. thermocellum* имеет целлюлозолитические системы, но в ходе исследований было выяснено, что бактериальная система в сравнении с ними, значительно активнее, это выражается в способности полностью расщепить кристаллические источники целлюлозы, например, хлопок. При этом, есть существенные недостатки, которые на данный момент не дают

использовать *Cl. thermocellum* на практике, так как в процессе конверсии наблюдается низкий выход этанола [2].

Clostridium cellulolyticum. Данный вид впервые был выделен из компоста, содержащего гнилую траву. Интерес к изучению данного вида привлекла его способность к биодegradации целлюлозы и получению в качестве продуктов метаболизма этанола и водорода. Как было сказано ранее, этанол имеет большое промышленное значение, а водород относится к альтернативным источникам энергии. Продукты метаболизма *Cl. cellulolyticum* можно отнести к чистым носителям энергии [2-3].

Clostridium stercorarium. Данный вид представляет собой термофильную бактерию. Также, что немаловажно, он распространен повсеместно. *Cl. stercorarium* деградирует полисахариды, содержащиеся в растительной биомассе, и производит: ацетат, этанол, CO₂ и H₂, незначительные количества лактата и 1-аланина. В ходе изучения *Cl. stercorarium* обнаружилось, что данный вид клостридий синтезирует большое количество гидролитических ферментов, что позволяет рассматривать его в качестве перспективного для разработки биотехнологических процессов конверсии лигноцеллюлозного сырья в различные виды биотоплива [6].

В обзоре представлены краткие характеристики биотехнологического потенциала некоторых видов рода *Clostridium*. В зависимости от потребности в том или ином целевом продукте могут быть использованы различные продуценты, представители клостридий. Их эффективность в технологических процессах биоконверсии напрямую зависит от качества исходного субстрата.

Список литературы:

1. [Электронный ресурс]: JGI: *Clostridium thermocellum* ATCC 27405 URL: http://genome.jgi-psf.org/draft_microbes/cloth/cloth.home.html (22/01/2018).
2. Arnold L. Demain, Michael Newcomb and J.H. David Wu. Cellulase, Clostridia, and Ethanol // *Microbiol Mol Biol Rev.* 2005 Mar; 69(1): 124-154.
3. Desvaux M., E. Guedon, and H. Petitdemange. 2001. Carbon flux distribution and kinetics of cellulose fermentation in steady-state continuous cultures of *Clostridium cellulolyticum* on a chemically defined medium. *J. Bacteriol.* 183:119-130.
4. Giallo J., C. Gaudin, J.P. Belaich, E. Petitdemange, and F. Caillet-Mangin. 1983. Metabolism of glucose and cellobiose by cellulolytic mesophilic *Clostridium* sp. strain H10. *Appl. Environ. Microbiol.* 45:843-849.
5. Lee S.Y., Park J.H. et al. Fermentative Butanol Production by Clostridia. [Review] // *Bio - tech nol. Bioeng.* - 2008. - V. 101 (2). - P. 209-228.
6. Poehlein A., Zverlov V.V., Daniel R., Schwarz W.H., Liebl W. Complete Genome Sequence of *Clostridium stercorarium* subsp. *stercorarium* Strain DSM 8532, a Thermophilic Degradator of Plant Cell Wall Fibers. // *Genome Announc.* 2013 Mar 7;1(2):e0007313. doi: 10.1128/genomeA.00073-13.
7. Ramey D. Production of butyric acid and butanol from biomass. Final report. Work performed under: contract v DEF-G-02-00ER 86106 for Department of Energy. Morgantown, WV, 2004.
8. Vandak D., Zigova J., Sturdik E. and Schlosser S. Evaluation of solvent and pH for extractive fermentation of butyric acid // *Proc. Biochem.* 1997. V. 32. Pp. 245-251.
9. Wu Z., Yang S.T. Extractive fermentation for butyric acid production from glucose by *Clostridium tyrobutyricum* // *Biotechnol Bioeng.* 2003. V. 82, N1. Pp. 93-102.
10. Zigova J., E. Sturdik Advances in biotechnological production of butyric acid // *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology.* 2000. N24. Pp. 153-160.

11. Молокова К.В., Приваолова Е.А., Гиль Т.А. Культивирование *Clostridium acetonobutylicum* ВКМ 1787 - продуцента бутанола, ацетона и этанола / К.В. Молокова, Е.А. Приваолова, Т.А. Гиль // Известия ВУЗов. Прикладная химия и биотехнология. - 2013. - № 1(4). - С. 87-91.
12. Сушкова В.И., Жуковский С.В., Березина О.В., Яроцкий С.В. Биосинтез масляной кислоты штаммом *Clostridium butyricum* ВКПМ В-9619 из кукурузной кочерыжки и мелассы // Химия растительного сырья. 2011. № 1. С. 157-162.
13. Шлейкина А.Г. Основы биоконверсии: Учеб.-метод. пособие. - СПб.: Университет ИТМО, 2015. - 57 с.