
ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ

УДК 620.95

ПОЛУЧЕНИЕ БИОТОПЛИВА ИЗ БИОМАССЫ ФОТОТРОФНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ

© 2021 г. К.В. Горин*

Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, Россия

*E-mail: Gorin_KV@nrcki.ru

Рост населения планеты, увеличение производства и растущий спрос на ископаемое топливо в конечном итоге приводит к растущему выбросу парниковых газов, глобальному потеплению и к загрязнению биосферы в целом, в связи с этим многие страны переходят на возобновляемые источники топлива – биотопливо. Однако производство биотоплива первого (из пищевого сырья) и даже второго (из непищевого сырья) поколения может существенно повлиять на продовольственную нестабильность во всем мире. Альтернативой может служить биотопливо третьего поколения, получаемое из биомассы фототрофных микроорганизмов. В этом кратком обзоре рассматривается возможность получения биотоплива на основе фототрофных микроорганизмов как возобновляемого источника биотоплива, в том числе и для автономных поселений.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время большая часть мирового спроса на энергию удовлетворяется за счет нефти (36%), угля (27%) и газа (23%). Это означает, что более 80% мирового потребления энергии приходится на ископаемые виды топлива, в основном из-за их доступности и удобства использования. Однако ожидается, что мировое производство ископаемого топлива станет менее доступным, более дорогим и вызовет массу растущих экологических вопросов в грядущем столетии. Следовательно, это послужило стимулом для исследований и применения новых технологий и освоения возобновляемых и устойчивых источников энергии. Наиболее перспективным альтернативным источником энергии является биомасса, которая может быть преобразована в биотопливо. Термин биотопливо относится к любому жидкому, газообразному или твердому топливу, в основном производимому из биомасс, таких как биодизель. В последнее время растет интерес к использованию водорослей в качестве сырья для производства биотоплива из-за их возобновляемой природы и того факта, что они преодолевают недостатки биотоплива первого и второго поколения. Многие виды микроводорослей могут накапливаться в значительных количествах липидов, часто превышающих 60% их сухой биомассы. Действительно, их производство энергии

в 15–300 раз выше, чем у традиционных культур в расчете на площадь. Кроме того, производство биотоплива третьего поколения из микроводорослей не требует орошения, пестицидов и может выращиваться на непахотных землях и соленой воде. Более того, микроводоросли могут применяться для очистки сточных вод и промышленного улавливания CO₂ на угольных электростанциях или в других процессах. [1, 2].

ПОКОЛЕНИЯ БИОТОПЛИВ

Биотопливо первого поколения в основном получают из пищевого сырья и продуктов, таких как крахмал, сахар или любого вида растительного масла. Широко известными биотопливами первого поколения является биогаз, биодизель и биоспирты. Биозтанол производится ферментацией сахарного тростника и сахарной свеклы. Эффективность конверсии световой энергии в биотопливо, включая затраты на обработку биомассы, составляет 0.16% для получения биозтанола из сахарного тростника и 0.15% для получения биодизеля из пальмового масла. Биотопливо второго поколения еще называют «целлюлозно-этанольным» топливом и, в основном, получают из непищевого сырья. К такому сырью можно отнести: а) специально выращиваемые сельскохозяйственные культуры (технические культуры), выращиваемые на землях, не пригод-

ных для получения культур пищевого назначения; б) несъедобные части злаковых пищевых культур; в) древесина и отходы ее переработки; г) отходы после использования растительных масел. Биотопливо третьего поколения также известно как «топливо из водорослей», поскольку оно производится из различных видов фототрофных микроорганизмов. Из водорослей возможно получение всех видов биотоплив, таких как биодизель, биобензин, биоспирты с высоким выходом, примерно в 10 раз выше, чем у второго поколения биотоплив. Получение биотоплива третьего поколения биомасса также сопряжено с поддержанием благоприятного состояния окружающей среды, так как в процессе роста микроводорослей идет поглощение углекислого газа, присутствующего в атмосфере. Биотопливо четвертого поколения – результат разработки в области синтетической биологии микроводорослей и цианобактерий. Синтетическая биология достаточно «молодая», но активно развивающаяся область исследований, занимающаяся конструированием и созданием новых биологических частей, устройств и систем, а также переконструированием существующих. Кроме того, синтетическая биология позволяет создавать фотосинтетические и нефотосинтетические системы, как натуральные, так и искусственные, для получения высококачественных биотоплив с высокой эффективностью конверсии световой энергии в биотопливо [3, 4].

ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОМАССЫ ФОТОТРОФНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ

Микроводоросли – это фотосинтезирующие микроорганизмы, которые преобразовывают энергию солнечного света, воду и углекислый газ в свою биомассу [5].

Основными преимуществами использования фототрофных микроорганизмов в качестве исходного сырья для получения биомассы являются:

– микроводоросли обладают высокой способностью по фиксации диоксида углерода из атмосферы и накоплению его в своей биомассе, тем самым играя важную роль в сокращении основного фактора, ответственного за возникновение парникового эффекта. Так 1 кг сухой биомассы микроводорослей утилизирует в среднем 1.83 кг диоксида углерода [6, 7];

– высокая скорость роста (до 100 раз больше по сравнению с наземными растениями) [8]. А также более полное использование биомассы, обусловленное тем, что может быть использована вся био-

масса микроводорослей, тогда как у растений есть неиспользуемые части (корни и листья);

– фототрофные микроорганизмы можно выращивать на пресной и морской воде, в открытых бассейнах или в биореакторах, на земле, не предназначенной для сельского хозяйства, поэтому исключается конкуренция за ресурсы для получения пищи и кормов [9];

– главными составляющими, необходимыми для выращивания фототрофных микроорганизмов, являются солнечный свет, вода, диоксид углерода и неорганические питательные вещества, такие как макроэлементы – азот и фосфор, а также микроэлементы;

– возможность выращивания микроводорослей на сточных водах, что дает двойное преимущество: очистка сточных вод и получение биотоплива из биомассы, а также удаление высоких концентраций азота, фосфора и тяжелых металлов [8, 10].

Таблица 1. Содержание липидов в фототрофных микроорганизмах при автотрофном, гетеротрофном росте или в стрессовых условиях

№ п/п	Название фототрофного микроорганизма	Содержание липидов, % от сухого веса
1	<i>Botryococcus braunii</i>	25–75
2	<i>Chaetoceros muellerii</i>	33
3	<i>Chaetoceros calcitrans</i>	39
4	<i>Chlorella emersonii</i>	29
5	<i>Chlorella minutissima</i>	31
6	<i>Chlorella protothecoides</i>	55
7	<i>Chlorella sp.</i>	28–53
8	<i>Chlorella vulgaris</i>	41–58
9	<i>Cryptocodinium cohnii</i>	20
10	<i>Dunaliella primolecta</i>	23
11	<i>Dunaliella tertiolecta</i>	28
12	<i>Entlia oleoabundans</i>	35–54
13	<i>Haematococcus pluvialis</i>	25
14	<i>Isochrysis galbana</i>	21–38
15	<i>Monoraphidium minutum</i>	52
16	<i>Nannochloropsis oculata</i>	29
17	<i>Navicula saprophila</i>	51
18	<i>Nitzschia closterium</i>	27
19	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	20–30
20	<i>Prymnesium parvum</i>	22–38
21	<i>Scenedesmus dimorphus</i>	16–40
22	<i>Scenedesmus obliquus</i>	30–50
23	<i>Skeletonema costatum</i>	21
24	<i>Tetraselmis suecica</i>	15–23
25	<i>Thalassiosira pseudonana</i>	20

– биомассу фототрофных микроорганизмов можно выращивать в течение всего года, она гомогенна и не содержит лигноцеллюлозу.

Микроводоросли включают широкий спектр фотосинтезирующих микроорганизмов, населяющие различные ареалы обитания: от почвы, пресных водоемов и морской воды до экстремальных мест обитаний.

В таблице 1 приведены некоторые представители фототрофных микроорганизмов с указанием содержания липидов в их биомассе [11, 12].

Содержание липидов варьируется как по количеству, так и по качеству, в зависимости от условий роста. В то время как высокий выход липидов может быть получен при использовании ограничения питательных веществ, это обычно происходит за счет снижения продуктивности по биомассе [13].

По данным из таблицы можно сделать вывод о том, что многие культуры фототрофных микро-

организмов имеют содержание липидов более 30–40%.

Масличные сельскохозяйственные культуры, такие как соя и масличная пальма широко используются для производства биодизеля; однако они накапливают липиды в небольших количествах, менее 5% от общего количества биомассы по сравнению с микроводорослями [5].

Этот факт делает фототрофные микроорганизмы очень привлекательным возобновляемым сырьем для производства биодизеля.

Данные по продуктивности по биодизелю по отношению к занимаемой площади представлены в таблице 2 [14].

На основании представленных данных легко констатировать то, что продуктивность микроводорослей по биодизелю минимум в 10 раз превосходит самую продуктивную масличную культуру.

БИОТОПЛИВО ИЗ ФОТОТРОФНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ ПОСЕЛЕНИЙ

Освоение труднодоступных районов, в том числе Арктики, является одной из наиболее актуальных задач, необходимых для усиления безопасности страны, освоения и эффективного использования пространства [15]. Так в работе [15] для сложных климатических условий Арктики предлагается использовать необслуживаемые саморегулируемые атомные термоэлектрические станции. Данная установка позволяет непрерывно до 25 лет получать энергию и тепло для поселения. Использование низкопотенциального тепла от такой атомной станции малой мощности для выращивания фототрофных микроорганизмов и получения биомассы, а далее – биотоплива из нее, в частности биодизеля, позволит получать часть топлива непосредственно на месте, что добавит еще один элемент автономности для поселения. В свою очередь это также снизит затраты на доставку топлива.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В кратком обзоре рассмотрена возможность получения биотоплива, в частности биодизеля, из биомассы фототрофных микроорганизмов, в том числе и для автономных поселений. Дана краткая характеристика поколений биотоплив, приведены преимущества использования фототрофных микроорганизмов для получения биотоплив по сравнению с биомассой, используемой для получения биотоплив первого и второго поколений. Кратко рассмотрена возможность интеграции фотобиоре-

Таблица 2. Преимущества микроводорослей над другими источниками

№ п/п	Вид сырья	Содержание липидов в биомассе, %	Продуктивность, липиды в литрах/гектар/год	Использование площади для выращивания, м ² в год/кг биодизеля	Продуктивность по биодизелю, кг биодизеля/гектар/год
1	Кукуруза	44	172	66	152
2	Соя	18	636	18	562
3	Ятрофа	28	741	15	656
4	Рапс	41	974	12	862
5	Подсолнечник	40	1070	11	946
6	Касторовые семена	48	1307	9	1156
7	Пальмовое масло	36	5366	2	4747
8	Микроводоросли (низкое содержание липидов)	30	58700	0.2	51927
9	Микроводоросли (среднее содержание липидов)	50	97800	0.1	86515
10	Микроводоросли (высокое содержание липидов)	70	136900	0.1	121104

акторов для выращивания фототрофных микроорганизмов с автономной атомной станцией малой мощности, с целью получения биотоплива непосредственно на месте организации автономного поселения.

Работа выполнена в рамках тематического плана НИОКР на 2021 год «Фундаментальные междисциплинарные исследования в нано-, био-, инфо- и когнитивных технологиях» по п. 1.12. «Разработка научно-технических основ для создания автономных систем жизнеобеспечения для использования в условиях Крайнего Севера, Арктики и космоса».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ezzroual O., Kadmiri N.El. // *J. Pure & Appl. Sci.* 2021, v. 1, p. 8–14. <https://doi.org/10.48383/IMIST.PRSM/mjpas-v6i2.22927>.
2. Madhavi K., Amin A., Reddy G.V.S., Reddy A.D.V. // *Cont. J. Sustain. Dev.* 2013, v. 4, №2, p. 9–19. DOI:10.5707/cjsd.cjsd.2013.4.1.39.44.
3. Saha S., Sharma A., Purkayastha S., Pandey K. and et al. // *Plastics to energy.* Elsevier Inc. 2018, p. 365–376.
4. Aro E.M. // *Ambio.* 2016, v. 45, №1, p. 24–31. DOI: 10.1007/s13280-015-0730-0.
5. Chisti Y. // *Trends Biotechnol.* 2008, v. 26, №3, p. 126–131. DOI: 10.1016/j.tibtech.2007.12.002.
6. Brennan L., Owende P. // *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2010, v. 14, №2, p. 557–577. DOI:10.1016/j.rser.2009.10.009.
7. Gendy T.S., El-Temtamy S.A. // *Egypt. J. Pet.* 2013, v. 22, №1, p. 43–51. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2012.07.001>.
8. Arenas E.G., Rodriguez Palacio M.C., Juantorena A.U., Fernando S.E.L. et al. // *Int. J. Energy Res.* 2017, v. 41, №6, p. 761–789. DOI: 10.1002/er.3663.
9. Janaun J., Ellis N. // *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2010, v. 14, №4, p. 1312–1320. DOI:10.1016/j.rser.2009.12.011.
10. Mohsenpour S.F., Hennige S., Willoughby N., Adeloye A. et al. // *Sci. Total Environ.* 2021, v. 752, p. 142168. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142168>.
11. Sivakumar G., Vail D.R., Xu J., Burner D.M. et al. // *Eng. Life Sci.* 2010, v. 10, №1, p. 8–18. DOI: 10.1002/elsc.200900061.
12. Sajjadi B., Chen W.Y., Raman A.A.A., Ibrahim S. // *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2018, v. 97, № June, p. 200–232. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.07.050>.
13. Darzins A., Peinkos P., Edye L. // *Natl. Renew. Energy Lab. NREL A Rep. to Bioenergy Task 39.* 2010, v. Report m. 39, № August, p. 1–146.
14. Ahmad A.Y., Mohamad S.E., Iwamoto K., Abdullah N. // *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 2021, v. 1051, №1, p. 012059. DOI:10.1088/1757-899X/1051/1/012059.
15. Васильев П.Г., Гаева Т.Н., Устинов В.С. // *Вестник ВИТ «ЭРА».* 2021, т. 2, №1, с. 5–13.