

Одноклеточные зеленые водоросли уже несколько десятилетий используются в фотобиотехнологии как источник биомассы и физиологически активных соединений — белков, липидов, пигментов и витаминов. Особый интерес представляет одноклеточная зеленая водоросль хламидомонада (*Chlamydomonas reinhardtii* dang.) — продуцент биологически активных соединений, в частности каротиноидов. Ценность хламидомонады как продуцента каротиноидов состоит в высоком содержании пигментов на единицу сырой биомассы: две трети клетки — хлоропласт (см. рисунок).

Сейчас в фотобиотехнологии в большей степени распространен каротиноид бета-каротин. Его получают как из клеток зеленых водорослей (*Chlorella*, *Scenedemus*), так и из высших растений (морковь и др.). Некоторые исследования показывают, что дзета-каротин может быть более эффективным, чем бета-каротин. С бета-каротином сложностей нет, а естественных продуцентов дзета-каротина в природе нет — его можно получить только с помощью искусственного мутагенеза, блокировав цепь биосинтеза каротиноидов на уровне дзета-каротина.

Такой мутант хламидомонады и получен автором — воздействием γ -излучения на клетки исходного дикого типа (авторское свидетельство № 1289064). Он не имеет аналогов в мире. Мутант высокостабилен, доля дзета-каротина составляет 38 % от суммы каротиноидов, у него высокая продуктивность. Известные дзета-каротиновые



Дзета лучше бета

Важное преимущество дзета-каротина перед бета-каротином (предшественником витамина А) в том, что он не обладает провитаминой активностью и потому не вызывает отрицательных эффектов в высокой концентрации. Кроме того, дзета-каротин легче проникает в клетки и ткани животных и человека.

мутанты высших растений накапливают максимум 5 % дзета-каротина, и они, как правило, летальные.

Состав

Каротиноиды исследовали методом тонкослойной хроматографии. Клетки исходного, дикого типа хламидомонады накапливали 17–23 % каротиноидов от суммарного содержания всех каротиноидов: альфа-каротин — 4–7 %, бета-каротин — 93–96 %. В клетках мутанта доля каротиноидов составляла 31–38 % всех каротиноидов. Мутант утратил способность синтезировать альфа-каротин и накапливал 40–47 % бета-каротина, 17–22 % бета-зеаксантина и 33–41 % дзета-каротина.

Помимо каротиноидов в клетках хламидомонады накапливалось шесть основных ксантофиллов, четыре из них — виолксантин, антраксантин, зеаксантин и нексантин — производные бета-каротина, а два — лютеин и лороксантин — производные альфа-каротина. Анализ ксантофиллов показал, что в клетках исходного дикого типа их около 80 %, а в клетках мутанта — около 65 % суммарного содержания каротиноидов. В клетках исходного дикого типа присутствовало 52 % производных бета-каротина и 48 % — альфа-каротина, в клетках мутанта — только производные бета-каротина.

Продуктивность

При культивировании в жидкой среде (содержащей ацетат натрия) выход сырой биомассы составлял 5–10 г/л. Когда концентрация солей была увеличена в 5 раз,

ТЕХНОЛОГИИ



Каротиноиды используются:

— в пищевой промышленности — для окрашивания в желтый и оранжевый цвет кондитерских изделий, масел, напитков, зерновых завтраков и т. д.

— в медицине и фармакологии — в составе препаратов, имеющих антиоксидантное, радиопротекторное, антимуtagenное, иммуномодулирующее, антиканцерогенное и антиинфекционное действие.

Каротиноиды лютеин и зеаксантин играют особую роль в профилактике возрастной потери зрения. Дзета-каротин может иметь более высокую, чем бета-каротин, эффективность в противоопухолевой терапии.

то время одного клеточного деления сократилось с 10–12 до 6 часов, выход биомассы удвоился, а содержание хлорофиллов, каротиноидов и ксантофиллов в пересчете на клетку практически не изменилось.

Накопление максимального количества биомассы и пигментов как в клетках исходного дикого типа, так и в клетках мутанта, наблюдалось в условиях длительного культивирования в ацетатной среде при освещенности 15 тыс. люкс. Клетки стационарной фазы роста отбирали через 5–6 суток, когда они достигали максимального размера и практически прекращали деление. Сухая биомасса клеток исходного дикого типа достигала 70 мкг, а мутанта — 57 мкг на 10 млн клеток.

Эти результаты позволили определить динамику накопления биомассы и показать, что ее достаточно, чтобы получать препараты дзета-каротина и оценить их эффективность для лечения онкологических заболеваний и для повышения стрессоустойчивости клеток животных и человека при воздействии γ -излучения и коротковолнового ультрафиолета. Анализ выживаемости клеток показал, что значительное накопление дзета-каротина в клетках мутанта повышало в 1,5 раза их устойчивость к действию γ -излучения и в 5–10 раз — к действию коротковолнового ультрафиолета (УФ-С). Если экспериментально подтвердится более высокая эффективность дзета-каротина при лечении раковых заболеваний, то можно рекомендовать мутант — суперпродуцент дзета-каротина для решения задач медицины и фармакологии.

горное дело

Использование электромагнитов позволяет увеличить КПД шаровых мельниц и снизить расход энергии

текст

Елена Краузова

иллюстрация

Мила Силенина

Мировой рынок размольного оборудования, по данным Gardner Business Media, к концу 2014 года составит больше \$ 520 млн. Один из главных сегментов на нем — рынок оборудования для горнообработывающей промышленности. До 70 % расходов на измельчение приходится на породу от 30–50 мм до 50 мкм, именно эту операцию выполняет самый распространенный вид оборудования для дробления — шаровые мельницы. Это горизонтальные цилиндры, внутри которых находятся мелющие тела, удары которых при вращении барабана разрушают породу. Устройство таких мельниц было описано еще в XVIII веке — и принцип в принципе не изменился, только мельницы увеличились в диаметре (до 22 м), а двигатель стал электрическим и неизмеримо более мощным. Барабан мельницы наполняется шарами (из стали или кусков горных пород), обычно мелющие тела занимают до 45 % объема цилиндра. Чаще всего шаровые мельницы используются для помола полезных ископаемых, а также строительных материалов — иногда до порошка.

Главная проблема шаровых мельниц — низкий КПД, не более 1–2 %, что определяет высокий расход

энергии (до 10–20 кВт/ч на тонну породы). Чтобы увеличить эффективность, совершенствуют все элементы шаровой мельницы (привод, систему смазки, электродвигатели, размер мелющих тел, наполненность барабана, скорость вращения), так как даже сокращение расходов на доли процента дает внушительный экономический эффект. Но проблема остается: около 30 % мелющих тел не участвуют в помолу — попадают в мертвую зону: большая доля ударов мелющих тел приходится на броню.

Коллектив авторов нового принципа работы шаровой мельницы возглавил Федор Борисков. В 1980-х годах он работал в Уральском научно-исследовательском и проектном институте медной промышленности и занимался процессами обогащения руд цветных металлов. Основные расходы при обработке руд определялись затратами на измельчение породы, исследователь удивился низким КПД устройств и разработал новый способ работы шаровых мельниц — механизм, который предполагал использование электромагнитов. Их действие должно было дополнить энергию гравитационного воздействия и энергию вращения традиционных мельниц, что устраня-

ло основной недостаток шаровой мельницы — баллистические ограничения на движение мелющих тел. Борисков поделился идеей с Валентином Чантурием (сегодня он директор Института проблем комплексного освоения недр РАН). Группа исследователей изготовила лабораторный образец диаметром 200 мм. За основу был взят обычный электродвигатель, обмотки которого выполняли роль электромагнитов. Была создана очень простая контактная система управления этими обмотками, обеспечивающая включение поля в нижнем сегменте и отключение при достижении заданного угла. Лабораторная модель Борискова потребляла вдвое меньше энергии, чем при работе в режиме классической шаровой мельницы.

После знакомства с работниками Уральского завода тяжёлого машиностроения Юрием Муйземнеком и Сергеем Червяковым Борисков запатентовал оптимальное расположение электромагнитов по винтовой линии — патент был оформлен в собственность УЗТМ. В 1990-х Борисков выступал с докладами о новом типе шаровой мельницы на конференциях, опубликовал много статей и работал над совершенствованием ее конструкции.