

УДК 582.273:665.939.351:577.152.3

ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОЛИТИЧЕСКИХ ФЕРМЕНТОВ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ АГАРА ИЗ КРАСНЫХ ВОДОРОСЛЕЙ РОДА *AHNFELTIA****Н.В. Бурова, А.В. Подкорытова****Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, Россия*

Агар – ценный гидроколлоид природного происхождения, широко применяемый в пищевой, фармацевтической, медицинской, биотехнологической и многих других отраслях промышленности во всём мире. Уникальным свойством гелей агара является их высокая прочность по сравнению с гелями любого другого желеобразующего агента. 1 % водный раствор агара переходит в гель при температуре 30–43 °С, не плавится при температуре ниже 85 °С и характеризуется отличной обратимостью. Гели агара не обладают вкусом, действуют как фиксаторы и закрепители аромата, прозрачны и легко окрашиваются. Высокоочищенные гели не ингибируют рост микроорганизмов [2, 5, 6, 10, 14]. Основным отечественным сырьём для производства агара являются красные водоросли рода *Ahnfeltia*. Классические технологии экстракции агара, основанные на применении щелочей, позволяют получить выход целевого продукта из биомассы дальневосточной и беломорской анфельции не более 10 и 20 %, соответственно [3, 7].

С целью *повышения* эффективности *экстрагирования агара* исследован процесс предварительной обработки анфельции комплексом гидролитических ферментов, катализирующих деструкцию полимеров растительной клеточной стенки. Объектом исследования послужили красные водоросли *Ahnfeltia tobuchiensis* и *A. plicata*, образцы которых были заготовлены способом активного лова, а также собраны из штормовых выбросов в 2013–2018 гг. в Дальневосточном и Северном рыбохозяйственных бассейнах, соответственно. Известно, что клеточная стенка красных водорослей представлена сетью фибрилл целлюлозы, ксилана и маннана, а также обширным коллоидным матриксом [11, 13]. На основании данных хроматографического [4, 8, 9] и спектрофотометрического [12, 15] анализов гидролизата нами установлены массовые доли некрахмальных полисахаридов анфельции. Водоросли *A. tobuchiensis* и *A. plicata* содержали 28,0–52,8 % агара, 10,0–11,6 % целлюлозы, 0,6–0,9 % ксилана и 0,4–0,7 % маннана. Присутствие целлюлозы и гемицеллюлоз в составе углеводной фракции анфельции открывает перспективы применения гидролитических ферментов в процессе её предварительной обработки с целью достижения максимально глубокой и эффективной деструкции полисахаридов клеточной стенки. Критериями оценки результатов проведённых экспериментов служили выход целевого продукта и прочность геля 0,85 %-ного водного раствора агара, определенная на приборе Валента [1]. Полученные экспериментальные данные сравнивали с результатами контрольных процессов, которые выполняли параллельно при соблюдении абсолютно равных условий, но без внесения фермента на стадии предобработки. Проведённые исследования показали, что предварительная ферментная обработка биомассы анфельции способствует повышению выхода целевого продукта с 9 ± 2 до 15 ± 1 % для *A. tobuchiensis* и с 19 ± 1 до 28 ± 2 % для *A. plicata*. Прочность 0,85 % гелей агаров экспериментальных и контрольных образцов практически не изменялась. В результате действия гидролитических ферментов на химические структуры трудногидролизуемых полисахаридов происходило выраженное набухание талломов водорослей. При этом целостность талломов оставалась неизменной, что не затрудняло последующую очистку экстрактов. Также стоит отметить, что ферментная предобработка обеспечивала более эффективное обесцвечивание геля агара, ввиду присутствия в коммерческих препаратах ксиланаз, широко применяемых в качестве отбеливающих агентов.

Проведённые исследования позволили установить, что предварительная обработка красных водорослей *A. tobuchiensis* и *A. plicata* гидролитическими ферментами способствует повышению выхода агара до 15 ± 1 и 28 ± 2 %, соответственно, при сохранении гелеобразующих свойств полисахарида. Таким образом, данный подход позволит осуществить разработку принципиально новой энергосберегающей и коммерчески рентабельной технологии производства отечественного агара. Кроме того, использование ферментов способствует уменьшению применения химических веществ в процессе производства агара, что в свою очередь сократит вредное воздействие на окружающую среду.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 26185–84. 2010. Водоросли морские, травы морские и продукты их переработки. Методы анализа. М.: ФГУП «Стандартинформ». 34 с.
2. Донченко Л.В., Сокол Н.В., Красноселова Е.А. 2018. Пищевая химия. Гидроколлоиды. – М. Юрайт. 180 с.
3. Кизеветтер И.В., Грюнер В.С., Евтушенко В.А. 1967. Переработка морских водорослей и других промысловых водных растений. М.: Пищевая промышленность. 416 с.
4. Лопатина Н.А., Клочкова Н.Г., Усов А.И. 2017. Полисахариды водорослей. Сообщение 69. Моносахаридный состав полисахаридов некоторых тихоокеанских красных водорослей по данным восстановительного гидролиза биомассы // Известия Академии наук. № 5. С. 915–921.
5. Льюис У., Скуайрс Л., Брутон Дж. 1948. Химия коллоидных и аморфных веществ. М.: Государственное изд-во иностранной литературы. 536 с.
6. Подкорытова А.В. 2005. Морские водоросли-макрофиты и травы. М.: Изд-во ВНИРО. 174 с.
7. Суховерхов С.В., Кадникова И.А., Кушева О.А., Подкорытова А.В. 1999. Обоснование технологии получения агарозы из красной водоросли *Ahnfeltia tobuchiensis* // Известия Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра. Т. 125. С. 282–286.
8. Усов А.И. 2001. Проблемы и достижения в структурном анализе сульфатированных полисахаридов красных водорослей // Химия растительного сырья. № 2. С. 7–20.
9. Усов А.И., Элашвили М.Я. 1991. Количественное определение производных 3,6-ангидрогалактозы и специфическое расщепление галактанов красных водорослей в условиях восстановительного гидролиза // Биоорганическая химия. Т. 17. № 6. С. 839–848.
10. Armisen R., Galatas F. 2009. Agar. In: Handbook of hydrocolloids. Ed. Phillips O.G., Williams P.A. Oxford: Woodhead Publishing. P. 82–107.
11. Cole K.M., Sheath R.G. 1990. Biology of the red algae. Cambridge: Cambridge U. Press. 517 p.
12. Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Rebers P.A., Smith F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances // Analytical Chemistry. V. 28. P. 350–356.
13. Fritsch F.E. 1977. The structure and reproduction of the algae. V. 2. Foreword, Phaeophyceae, Rhodophyceae, Muxophyceae. Cambridge: Cambridge U. Press. 939 p.
14. McHugh D.J. 1987. Production and utilization of products from commercial seaweeds. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome: FAO fisheries technical paper. 198 p.
15. Updegraff M.D. 1969. Semimicro determination of cellulose in biological material // Analytical biochemistry. V. 32. I. 3. P. 420–424.