



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК663.052

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.020



ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕД НА БИОСИНТЕЗ КСАНТАНОВОЙ КАМЕДИ БАКТЕРИЯМИ ВИДА *Xanthomonas campestris*

Руслан Евгеньевич Моисеев¹, Наталья Юрьевна Шарова²,
Анатолий Павлович Непомнящий³, Владислав Эдуардович Путилов⁴,
Оксана Витальевна Астафьева⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} ВНИИ пищевых добавок – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН Россия, Санкт-Петербург

^{1, 2, 4} Университет ИТМО, Россия, Санкт-Петербург

¹ rus.moiseev2003@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-9950-3650>

² natalya_sharova1@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4208-9299>

³ nepomnyashiy.95@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0088-2704>

⁴ vladislav.e.putilov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-8138-4727>

⁵ astra39@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0187-3984>

Аннотация. В данной работе была определена зависимость биосинтеза ксантановой камеди бактерией *Xanthomonas campestris* B-6720 от состава питательной среды. Цель данной работы заключалась в сравнении эффективности применения различных источников углерода и азота для биосинтеза ксантановой камеди и выборе их наиболее благоприятного сочетания для культуры-продуцента. Культивирование проводилось в колбах Эрленмейера в течение 120 часов в условиях постоянной аэрации в шейкере-инкубаторе Inforce Multitron HT. Ксантановую камедь выделяли методом спиртового осаждения и сравнивали выходы, а также определяли функциональный состав и реологические показатели с помощью ИК-Фурье спектрометра Shimadzu IRTracer 100 и вискозиметра Brookfield LVDV-II+ Pro соответственно. В ходе работы определены наиболее предпочтительные для биосинтеза источники углерода и азота (меласса в концентрации 20 г/л и дрожжевой экстракт в концентрации 1 г/л). Выход целевого продукта составил 7,62 г/л (38,1 % от общей концентрации источника углерода 20 г/л) и 14,41 г/л (28,82 % от общей концентрации источника углерода 50 г/л) соответственно. Выход ксантановой камеди при культивировании на питательной среде, содержащей оба компонента, составил 10,6 г/л (53 % от общей концентрации источника углерода 20 г/л). ИК-спектроскопия и вискозиметрия показали высокое соответствие полученной ксантановой камеди и коммерческой ксантановой камеди. Исследование показало возможность использования питательной среды альтернативного состава для повышения биосинтеза экзополисахарида бактериальным штаммом *Xanthomonas campestris* B-6720, а также возможность использования вторичного сырья в производстве ксантановой камеди.

Ключевые слова: *Xanthomonas campestris*, ксантановая камедь, пищевые добавки, загуститель, культивирование, ВЭЖХ, ИК-спектроскопия, вискозиметрия.

Для цитирования: Влияние химического состава питательных сред на биосинтез ксантановой камеди бактериями вида *Xanthomonas campestris* / Р. Е. Моисеев [и др.] // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 132–138. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.020, EDN: <https://elibrary.ru/IINGIT>.

Original article

CHEMICAL COMPOSITION OF GROWTH MEDIUM FOR XANTHAN GUM PRODUCTION BY *Xanthomonas campestris* bacteria

Ruslan E. Moiseev¹, Natalia Yu. Sharova², Anatoly P. Nepomnyashchy³,
Vladislav E. Putilov⁴, Oksana V. Astafyeva⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} All-Russia Research Institute for Food Additives - Branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS St. Petersburg, Russia

^{1, 2, 4} ITMO University, St. Petersburg, Russia

© Моисеев Р. Е., Шарова Н. Ю., Непомнящий А. П., Путилов В. Э., Астафьева О. В., 2024

¹ rus.moiseev2003@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-9950-3650>

² natalya_sharova1@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4208-9299>

³ nepomnyashiy.95@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0088-2704>

⁴ vladislav.e.putilov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-8138-4727>

⁵ astra39@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0187-3984>

Abstract. This research aimed to investigate the impact of variable components of the growth medium on the yield of xanthan gum produced by *Xanthomonas campestris* bacteria. Specifically, different carbon and nitrogen sources were compared to determine the most effective combination for enhancing xanthan gum production. Fermentation experiments were carried out in Erlenmeyer flasks over a period of 120 hours with continuous aeration in a shaking incubator (Inforce Multitron HT). Xanthan gum was then extracted from the fermentation broth using alcohol precipitation, and the yields were evaluated. Further analysis was conducted using IR spectroscopy (FTIR Shimadzu IRTracer 100) and viscosimetry (Brookfield LVDV-II+ Pro) to compare the synthesized sample with a commercial sample of xanthan gum. During the investigation, optimal sources of carbon and nitrogen for biosynthesis were determined (molasses at a concentration of 20 g/l and yeast extract at a concentration of 1 g/l). The yield of the target product under these conditions was 7.62 g/l (38.1% of the total carbon source concentration of 20 g/l) and 14.41 g/l (28.82% of the total carbon source concentration of 50 g/l) respectively. When xanthan gum was cultured in a nutrient medium containing both components, the yield was 10.6 g/l (53% of the total carbon source concentration of 20 g/l). Analysis with IR spectroscopy and viscometry indicated a high similarity between the produced xanthan gum and commercial xanthan gum. These findings demonstrate the potential for utilizing an alternative growth medium composition to enhance exopolysaccharide biosynthesis by *Xanthomonas campestris* B-6720 bacteria, as well as the ability to use secondary raw materials in xanthan gum production.

Keywords: *Xanthomonas campestris*, xanthan gum, food additives, thickener, fermentation, HPLC, IR-spectroscopy, viscosimetry.

For citation: Moiseev, R.E., Sharova, N.Yu., Nepomnyashchy, A.P., Putilov, V.E. & Astafyeva, O.V. (2024). Chemical composition of growth medium for xanthan gum production by *Xanthomonas campestris* bacteria. *Polzunovskiy vestnik*. (4), 132-138. (In Russ). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.020, EDN: <https://elibrary.ru/IINGIT>.

ВВЕДЕНИЕ

Ксантановая камедь – природное органическое соединение со структурной формулой $(C_{35}H_{49}O_{29})_n$. Данное вещество является полисахаридом с мономерным звеном, основная цепь которого полностью идентична молекуле целлюлозы, к которой присоединены остатки молекул глюкозы, маннозы, глюкуроновой кислоты. В ответвлениях также присутствуют пируватные и ацетильные группы.

Ксантановая камедь является распространённым промышленным загустителем. Способность адсорбировать воду с образованием трехмерной сетки из двойных спиралей данного полисахарида обуславливает стабильность его водных растворов в широком диапазоне температур (–18 – 120 °C), значений pH (2–12), а также в присутствии ферментов и поверхностно-активных веществ без значительного понижения вязкости [1]. Описанные показатели делают ксантановую камедь необходимой во многих отраслях промышленности, таких как пищевая, косметическая и нефтедобывающая.

Основным методом получения ксантановой камеди является микробный синтез с использованием бактерий рода *Xanthomonas*. Большая часть данных микроорганизмов в естественных условиях является паразитами и возбудителями болезней растений, в частности, семейства Brassicaceae [2]. Полисахарид

играет важную роль на этапе закрепления бактериальной культуры на листьях растений, а также препятствует проникновению вирусов в клетку, предотвращает пересыхание [3, 4].

Известно множество различных представителей бактерий рода *Xanthomonas*, способных синтезировать ксантан. Одним из них является штамм *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* B-6720. Несмотря на распространённость, данный штамм не может считаться суперпродуцентом ксантановой камеди в классических условиях культивирования.

Цель представленной работы заключалась в подборе условий культивирования штамма *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* B-6720, обеспечивающих повышение способности синтезировать ксантановую камедь в лабораторных и промышленных условиях. В качестве варьируемых параметров были выбраны источники углерода и азота. Проанализированные в ходе работы показатели – выход конечного продукта и концентрация остаточных сахаров после культивирования, а также его функциональный состав и реологические характеристики. В каждом эксперименте полученные данные сравнивались с контрольной средой.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Микроорганизмы. Объектом исследования являлся штамм *Xanthomonas campestris*

В-6720. Культура была получена из коллекции ВКПМ и восстановлена на среде, содержащей солодовый экстракт и пептон в концентрациях 17 г/л и 10 г/л соответственно. Хранение восстановленной культуры осуществлялось на среде МПА при 4 °С.

Питательная среда. Для контрольного эксперимента была использована питательная среда следующего состава (г/л): глюкоза – 50, K_2HPO_4 – 5,0, $(NH_4)_2SO_4$ – 3,0, лимонная кислота – 2,0, H_3BO_3 – 0,006, ZnO – 0,006, $CaCO_3$ – 0,02, $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ – 0,0024 [5].

В качестве исследуемых параметров были выбраны источники углерода и азота. Было проведено сравнение выхода ксантановой камеди с использованием следующих источников углерода: глюкоза, сахароза, мальтоза, фруктоза и меласса с массовой долей сахарозы 50 ± 2 % (Скидельский сахарный комбинат, Республика Беларусь) в рабочих концентрациях (г/л) 10, 20, 30, 40, 50. В качестве варьируемых источников азота были выбраны дрожжевой экстракт, NH_4Cl , NH_4NO_3 , $(NH_4)_2SO_4$ и мочевины в рабочих концентрациях (г/л) 1, 3, 5, 7, 9, 11.

Приготовление инокулята. Для приготовления инокулята была использована питательная среда, заявленная в паспорте культуры, следующего состава (г/л): глюкоза – 20, дрожжевой экстракт – 3, KH_2PO_4 – 2, K_2HPO_4 – 2, $MgSO_4$ – 0,1. Выбранный режим стерилизации – 121 °С, 30 мин. Инкубация инокулята проводилась в колбах Эрленмейера объемом 750 мл с рабочим объемом 100 мл при температуре 28 °С и с перемешиванием 150 об/мин в течение суток с использованием шейкера-инкубатора Inforce Multitron HT (Швейцария). Оптическая плотность инокулята (OD_{600}) перед внесением в колбы для основного культивирования составляла 1,0. Отношение объема, вносимого инокулята к объему питательной среды, составило 1:10.

Основное культивирование. Культивирование проводилось в колбах Эрленмейера объемом 750 мл с рабочим объемом 100 мл при температуре 28 °С и с перемешиванием 150 об/мин с использованием шейкера-инкубатора Inforce Multitron HT (Швейцария). Продолжительность культивирования составила 120 часов. По окончании культивирования культуральная жидкость использовалась для выделения ксантана и дальнейшего анализа.

Метод выделения ксантановой камеди. Выделение ксантановой камеди осуществлялось методом спиртового осаждения [6]. Культуральную жидкость объемом 50 мл центрифугировали в течение 30 минут при относительной центробежной силе 10000 g. Супернатант отде-

ляли и упаривали с помощью ротационного испарителя (модель IKARV3 есо (Германия) с вакуумным насосом Wiggins C410 (КНР)) до объема 10 мл. Полученный раствор переносили в пластиковые пробирки объемом 50 мл, вносили изопропиловый спирт в объемном соотношении 1:3 и выдерживали при температуре 4 °С на протяжении 24 часов. Полученный осадок центрифугировали в течение 30 мин при относительной центробежной силе 10000 g, сушили до постоянной массы и взвешивали.

Метод определения концентрации сахаров. Определение концентрации остаточных сахаров в питательной среде по окончании культивирования проводилось методом ВЭЖХ с использованием хроматографа (модель Agilent 1260 Infinity II, США) с установленной колонкой Hi-PlexCa (Agilent, США), $300 \times 7,7$ мм, детектор – рефрактометрический. Образцы центрифугировали в течение 5 мин при скорости 15000 g, отбирали 200 мкл супернатанта и добавляли 400 мкл метанола для осаждения белка. После повторного центрифугирования при скорости 15000 g в течение 5 мин отбирали 400 мкг супернатанта и добавляли 800 мкг деионизированной воды [7].

Метод определения химической структуры ксантановой камеди. Определение химического состава молекулы ксантановой камеди проводилось на базе Санкт-Петербургского государственного технологического института методом ИК-спектроскопии (ИК-Фурье спектрометр Shimadzu IRTracer 100 (Япония) с соотношением сигнал/шум 60000:1 и спектральным разрешением $0,25 \text{ см}^{-1}$) с диапазоном съемки ИК спектра $4000\text{--}350 \text{ см}^{-1}$, разрешением 4 см^{-1} , накоплением спектров 32. Подготовка образца проводилась методом прессования таблеток, заключавшегося в перемешивании тонкоизмельченного образца с порошком КВг в соотношении 1:100 с последующим прессованием смеси в пресс-форме под большим давлением (10 тонн/мг) [8].

Метод определения реологических показателей. Для определения динамической вязкости образца использовался вискозиметр модели Brookfield LVDV-II+ Pro (США) с U-адаптером для низкой вязкости с рабочей температурой 25 °С в диапазоне скоростей вращения от 0,3 до 7,5 об/мин. Рабочий раствор представлял собой 0,1 % водный раствор ксантановой камеди [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследования были установлены зависимости выхода ксантановой камеди от концентраций источников углерода и азота (рис. 1, рис. 2).

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕД НА БИОСИНТЕЗ КСАНТАНОВОЙ КАМЕДИ БАКТЕРИЯМИ ВИДА *Xanthomonas campestris*

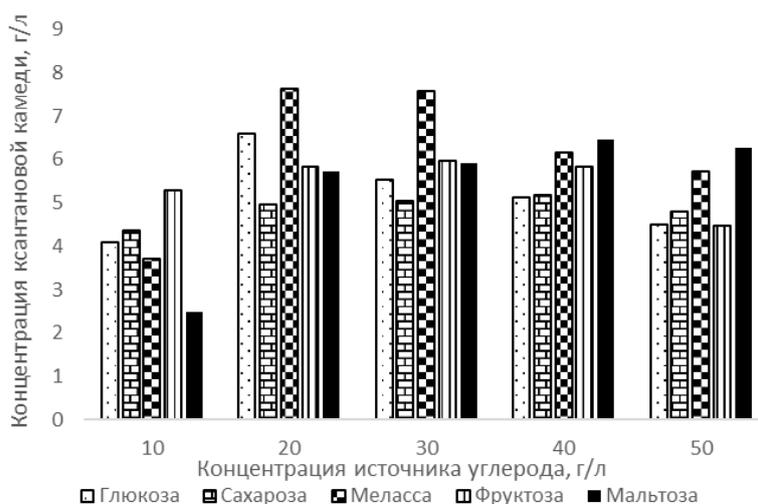


Рисунок 1 – Содержание ксантановой камеди в культуральной жидкости в зависимости от концентрации источника углерода

Figure 1 – The content of xanthan gum in the culture liquid depending on the concentration of the carbon source

При варьировании источника углерода наблюдается тенденция снижения выхода конечного продукта при повышении концентрации сахара (рис. 1). Вероятнее всего, это связано с возникновением гиперосмотического стресса и, как следствие, удлинения процесса адаптации культуры к питательной среде. Кроме того, культивирование на мелассе при концентрациях 20 и 30 г/л сильно превышает показатели остальных источников углерода, в частности, глюкозы (7,62 г/л и 7,56 г/л против 6,6 г/л и 5,52 г/л соответственно). Предположительно, это связано с

присутствием в составе мелассы различных минеральных компонентов, которые при данных концентрациях положительно влияют на действие ферментов и поддержание значений pH раствора. При повышении концентрации наблюдается снижение биоконверсии, так как минеральные компоненты могут угнетать биосинтетическую активность микроорганизмов. В качестве наиболее благоприятного варианта источника углерода была выбрана меласса в концентрации 20 г/л (выход ксантановой камеди – 38,1 %).

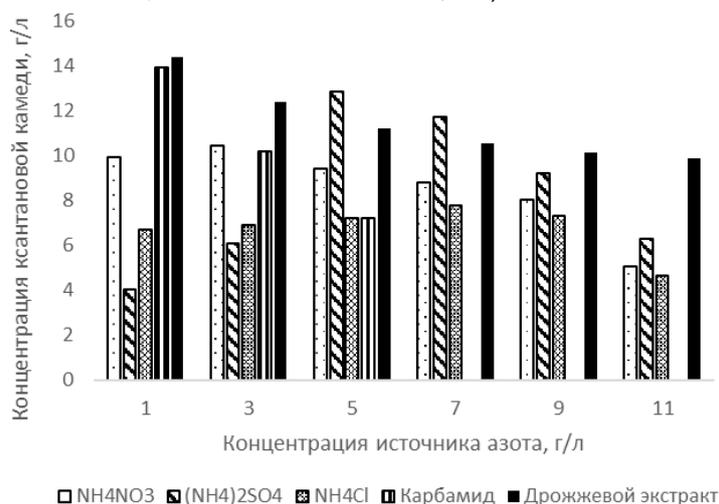


Рисунок 2 – Содержание ксантановой камеди в культуральной жидкости в зависимости от концентрации источника азота

Figure 2 – The content of xanthan gum in the culture liquid depending on the concentration of the nitrogen source

При варьировании источника азота наибольший выход ксантановой камеди (14,41 г/л) наблюдается при использовании

дрожжевого экстракта в концентрации 1 г/л (рис. 2). Однако при повышении концентрации дрожжевого экстракта выход ксантановой

камеди заметно падает. Это можно объяснить смещением тенденции биосинтеза в сторону прироста биомассы вместо вторичных метаболитов. При концентрациях 5 г/л и 7 г/л наибольший выход конечного продукта наблюдается при культивировании на среде с сульфатом аммония (12,87 г/л и 11,73 г/л против 11,23 г/л и 10,57 г/л соответственно). При высоких концентрациях азота показатели, полученные при использовании дрожжевого экстракта, снова становятся больше, чем показатели в опыте с минеральным азотом. Предположительно, 120 часов недостаточно для полного поглощения азота в концентрациях 9 г/л и 11 г/л, поэтому значения выхода ниже, чем для остальных концентраций. В то же время органический азот усваивается быстрее минерального, так как организм не затрачивает энергию на синтез необходимых аминокислот, а усваивает уже готовые, поэтому выход конечного продукта в данном случае выше.

Отдельно стоит отметить зависимость концентрации ксантановой камеди от концентрации мочевины. В концентрации 1 г/л выход конечного продукта сравним с аналогичным показателем дрожжевого экстракта (13,95 г/л и 14,41 г/л соответственно). Однако уже при концентрации 3 г/л конечная концентрация продукта падает практически на 30 % (10,21 г/л). При концентрации мочевины 7 г/л и выше ксантановая камедь в культуральной среде отсутствует,

и роста культуры не наблюдается. Вероятнее всего, это связано с сильными денатурирующими свойствами карбамида, что препятствует работе бактериальных ферментов.

Для дальнейшего эксперимента в качестве источника азота выбран дрожжевой экстракт в концентрации 1 г/л, так как в этом случае достигнутое значение концентрации ксантановой камеди наибольшее (14,41 г/л).

Следующим этапом работы было культивирование с учетом наиболее благоприятных условий, определенных в предыдущих экспериментах. Была использована питательная среда следующего состава: меласса – 40 г/л (содержание сахара – 20 г/л), дрожжевой экстракт – 1 г/л, K_2HPO_4 – 5,0, лимонная кислота – 2,0, H_3BO_3 – 0,006, ZnO – 0,006, $CaCO_3$ – 0,02, $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ – 0,0024.

По окончании культивирования из рабочей среды была выделена ксантановая камедь и измерена ее масса. Полученный выход составил 10,6 г/л, что соответствует значению биоконверсии 53 %. Проведенный анализ ВЭЖХ на остаточные сахара в культуральной жидкости позволил определить значение концентрации фруктозы 33 мг/л, что соответствует проценту поглощенного углерода 99,84 %.

Был получен ИК-спектр опытного образца ксантановой камеди (рис. 3). Сравнение проводилось с коммерческим образцом (производитель: Meihua Holding Group Co., Ltd) (рис. 4).

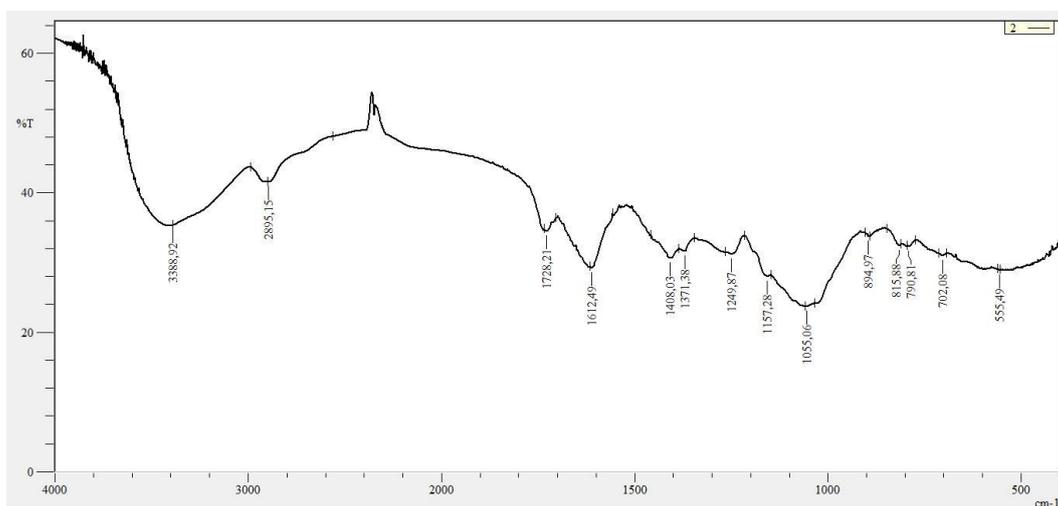


Рисунок 3 – ИК спектр пропускания синтезированного образца ксантановой камеди

Figure 3 – IR transmission spectrum of a synthesized sample of xanthan gum

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕД НА БИОСИНТЕЗ КСАНТАНОВОЙ КАМЕДИ БАКТЕРИЯМИ ВИДА *Xanthomonas campestris*

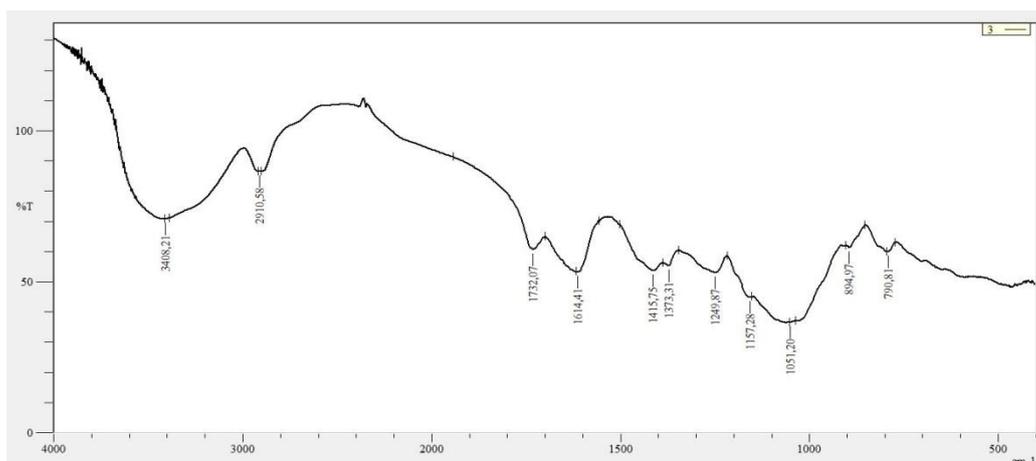


Рисунок 4 – ИК спектр пропускания коммерческого образца ксантановой камеди

Figure 4 – IR transmission spectrum of a commercial sample of xanthan gum

Образцы имеют высокую сходимость с небольшим отличием в интенсивностях и смещениях пиков, которые могут быть связаны с методом съемки. В обоих спектрах присутствуют сигналы на 3437 см^{-1} и 2895 см^{-1} , что соответствует валентным колебаниям связей O-H и C-H соответственно. Сигнал на 1728 см^{-1} указывает на присутствие в структуре вещества групп C=O глюкуроновой и пировиноградной кислот, а сигнал на 1614 см^{-1} – на присутствие солевых форм ксантановой камеди (функциональные группы $-\text{COO}^-$). Кроме того, сигнал на 894 см^{-1} свидетельствует о присутствии в структуре полисахарида β -гликозидных связей. Сигнал на 1415 см^{-1} отображает характеристические деформационные колебания метиленовых групп, сигнал слабой интенсивности на 1380 см^{-1} – деформационные колебания метильных групп.

Полоса поглощения на 1249 см^{-1} указывает на ассиметричные валентные колебания связи C-O-C между углеводными остатками и ацетильными группами. Полоса колебания высокой интенсивности при 1051 см^{-1} указывает на валентные колебания группы C-O.

В ходе исследования был проведен вискозиметрический анализ 0,1 % водного раствора полученной ксантановой камеди. В качестве раствора сравнения использовался 0,1 % водный раствор коммерческой ксантановой камеди (производитель: Meihua Holding Group Co., Ltd). Построена зависимость динамической вязкости от скорости вращения ротора (рис. 5). Тенденция снижения вязкости с увеличением скорости вращения позволяет сделать вывод о псевдопластичном характере жидкости, что подтверждается литературными источниками [10].

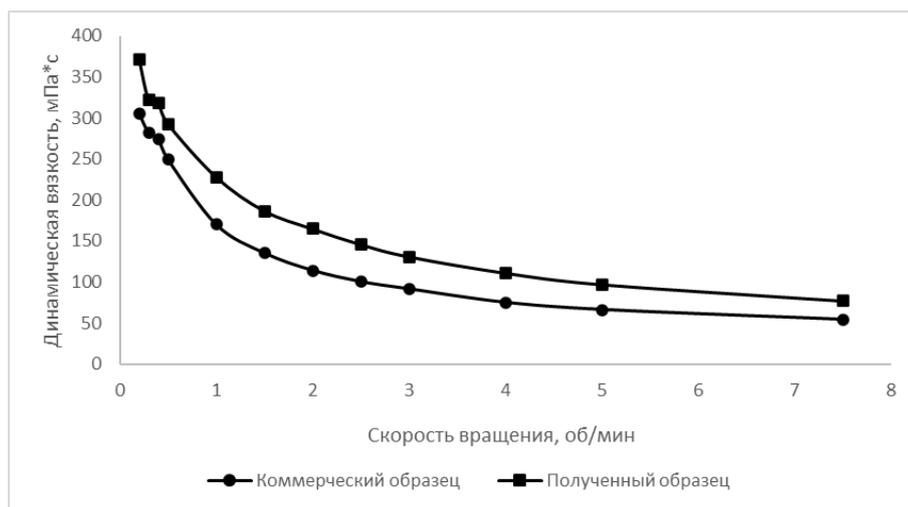


Рисунок 5 – Зависимость динамической вязкости 0,1 % водного раствора ксантановой камеди от скорости вращения ротора

Figure 5 – Dependence of the dynamic viscosity of 0.1% aqueous solution of xanthan ka-copper on the rotation speed of the rotor

Полученные в ходе ИК-спектроскопии и вискозиметрии результаты позволяют сделать

вывод о соответствии коммерческому образцу функционального состава и вязкости, по-

лученной ксантановой камеди, синтезированной на среде с мелассой и дрожжевым экстрактом в концентрациях 20 г/л и 1 г/л соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования была показана возможность использования альтернативных источников азота и углерода для производства ксантановой камеди. Конечная концентрация экзополисахарида составила 10,6 г/л, процент биоконверсии составил 53 % к углеродному субстрату. Меласса в качестве источника углерода позволяет снизить затраты на более дорогие классические источники углерода, такие как глюкоза и сахароза, а дрожжевой экстракт позволяет значительно повысить выход экзополисахарида при меньшей концентрации по сравнению с минеральными источниками азота.

REFERENCES / СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Petri, D.F. (2015). Xanthan gum: A versatile biopolymer for biomedical and technological applications. *Journal of Applied Polymer Science*, 132(23).
- Tang, J. [et al.]. (2021). *Xanthomonas campestris* pathogens. *Trends in Microbiology*. Т. 29. № 2. С. 182-183.
- An, S.Q., Potnis, N., Dow, M., Vorhölter, F.J., He, Y.Q., Becker, A. & Tang, J.L. (2020). Mechanistic insights into host adaptation, virulence and epidemiology of the phytopathogen *Xanthomonas*. *FEMS microbiology reviews*, 44(1), 1-32.
- Crossman, L. & Dow, J.M. (2004). Biofilm formation and dispersal in *Xanthomonas campestris*. *Microbes and infection*, 6(6), 623-629.
- Khisametdinov, M.R., Gamayurova, V.S., Sagdeeva, R.R., Krynytskaya, A.Yu., Astrakhantseva, M.N., & Sukhanov, P.P. (2009). Influence of nutrient medium composition on the growth of *Xanthomonas campestris* culture and synthesis of xanthan exopolysaccharide. *Bulletin of Kazan Technological University*, (2), 104-110.
- Demirci, A.S., Palabiyik, I., Apaydin, D., Mirik, M. & Gumus, T. (2019). Xanthan gum biosynthesis using *Xanthomonas* isolates from waste bread: Process optimization and fermentation kinetics. *Lwt*, 101, 40-47.
- Ball, S.; Lloyd, L. (2016). Agilent Hi-Plex Columns for Carbohydrates, Alcohols, and Acids. Available online: <http://www.agilent.com/cs/library/applications/5990--8264EN.pdf> (accessed on 7 March 2016).
- Wang, L., Xiang, D., Li, C., Zhang, W. & Bai, X. (2022). Effects of deacetylation on properties and conformation of xanthan gum. *Journal of Molecular Liquids*, 345, 117009.
- Salehi, F., Inanloodoghuz, M. (2024). Effects of ultrasonic intensity and time on rheological proper-

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.*

Статья поступила в редакцию 18 января 2024; одобрена после рецензирования 20 ноября 2024; принята к публикации 04 декабря 2024.

The article was received by the editorial board on 18 Jan 2024; approved after editing on 20 Nov 2024; accepted for publication on 04 Dec 2024.

ties of different concentrations of xanthan gum solution // *International Journal of Biological Macromolecules*. S. 130456.

10. Sworn, G. Xanthan gum (2021). *Handbook of hydrocolloids*. Woodhead Publishing. 833-853.130456.

Информация об авторах

Р. Е. Моисеев – студент бакалавриата факультета биотехнологий НИУ ИТМО, лаборант-исследователь ВНИИПД – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН.

Н. Ю. Шарова – доктор технических наук, профессор РАН, доцент факультета биотехнологий НИУ ИТМО, заместитель директора по научной работе ВНИИПД – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН.

А. П. Непомнящий – аспирант ФГБНУ «ВНИИМП им. В.М. Горбатова», младший научный сотрудник ВНИИПД – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН.

В. Э. Путилов – студент бакалавриата факультета биотехнологий НИУ ИТМО, лаборант-исследователь ВНИИПД – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН.

О. В. Астафьева – кандидат биологических наук, научный сотрудник ВНИИПД – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН.

Information about the authors

R.E. Moiseev - Bachelor Student of the Faculty of Biotechnology ITMO University, Research Laboratory Assistant at the All-Russia Research Institute for Food Additives - Branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS.

N.Yu. Sharova - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, Associate Professor at the Faculty of Biotechnology of ITMO University, Deputy Director for Research at the All-Russia Research Institute for Food Additives - Branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS.

A.P. Nepomnyashchy - Postgraduate Student of The V.M. Gorbатов All-Russian Meat Research Institute, a junior researcher at the All-Russia Research Institute for Food Additives - Branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS.

V.E. Putilov - Bachelor Student of the Faculty of Biotechnology ITMO University, Research Laboratory Assistant at the All-Russia Research Institute for Food Additives - Branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS.

O.V. Astafieva - Candidate of Biological Sciences, researcher at the All-Russia Research Institute for Food Additives - Branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS.