

Научная статья

УДК 663.1

DOI: 10.17586/2310-1164-2026-19-3-82-88

Влияние концентрации молочной сыворотки в составе субстрата на биосинтез ксантана бактериями *Xanthomonas campestris*

А.М. Киреева^{1*}, Е.С. Засухина¹, Н.Т. Жилинская², О.В. Кригер¹¹Университет ИТМО, Россия, Санкт-Петербург²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург

*akireeva2109@gmail.com

Аннотация. Исследовали влияние концентрации молочной сыворотки в составе субстрата на биосинтез ксантана бактериями *Xanthomonas campestris* СЕЕМ В-048 с целью снижения себестоимости процесса за счет использования побочных продуктов пищевой промышленности. Культивирование проводили на среде V с добавлением молочной сыворотки в концентрациях от 6 до 21 г/л, в качестве контроля использовали среду без ее добавления. Штамм культивировали в течение 72 ч при постоянном перемешивании 120 об/мин и температуре 28°C. Эффективность концентрации молочной сыворотки оценивали по приросту биомассы (оптическая плотность, коэффициент прироста) и выходу ксантана. Выделенный ксантан идентифицировали по качественной реакции согласно ФС.2.4.0010. На всех питательных средах кривые роста соответствовали типичной бактериальной динамике, при этом добавление сыворотки в концентрациях 6 и 9 г/л ускоряло переход из лаг-фазы в экспоненциальную и увеличивало итоговый прирост биомассы (коэффициенты прироста 12,54 и 9,21 соответственно). Установлено, что максимальный выход ксантана (1,9 г/л) достигается при концентрации сыворотки 9 г/л, что на 12% превышает накопление на контрольной среде. Добавление молочной сыворотки в концентрации более 12 г/л оказывает ингибирующий эффект на рост бактерий и синтез полисахарида, что проявляется в снижении оптической плотности культуральной суспензии и уменьшении выхода ксантана. Доказано, что молочная сыворотка в концентрации 9 г/л является эффективным компонентом питательной среды, позволяющим повысить выход ксантана и способствующим решению проблемы утилизации отходов молочной промышленности.

Ключевые слова: пищевая биотехнология; ксантан; ксантановая камедь; *Xanthomonas campestris*; молочная сыворотка; субстрат; биосинтез

Original article

Effect of whey concentration in the substrate on xanthan biosynthesis by *Xanthomonas campestris*

А.М. Kireeva^{1*}, E.S. Zasukhina¹, N.T. Zhilinskaya², O.V. Kriger¹¹ITMO University, St. Petersburg, Russia²Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

*akireeva2109@gmail.com

Abstract. The effect of whey concentration in the substrate on xanthan biosynthesis by *Xanthomonas campestris* SEED B-048 bacteria was studied to reduce process costs by using food industry by-products. Cultivation was carried out in medium V with the addition of whey at concentrations from 6 to 21 g/l; medium without whey was used as a control. Cultivation lasted 72 hours with constant stirring at 120 rpm and a temperature of 28°C. The effectiveness of whey concentration was assessed by the increase in biomass (optical density, gain coefficient) and xanthan yield. The isolated xanthan was identified by a qualitative reaction according to FS.2.4.0010. On all nutrient media, the growth curves corresponded to typical bacterial dynamics, while the addition of whey at concentrations of 6 and 9 g/l accelerated the transition from the lag phase to the exponential phase and increased the final biomass (growth coefficients 12.54 and 9.21, respectively). The maximum xanthan yield (1.9 g/l) was observed at a whey concentration of 9 g/l, which is 12% higher than the accumulation in the control medium. Adding whey at concentrations above 12 g/l inhibits bacterial growth and polysaccharide synthesis, resulting in a decrease in the optical density of the culture suspension and a reduction in xanthan yield. Whey at a concentration of 9 g/l has been shown to be an effective component of the nutrient medium, increasing xanthan yield and helping to address the problem of waste disposal in the dairy industry.

Keywords: food biotechnology; xanthan; xanthan gum; *Xanthomonas campestris*; whey; substrate; biosynthesis

Введение

Ксантановая камедь (ксантан) — внеклеточный гетерополисахарид, синтезируемый бактериями *Xanthomonas campestris* [1]. Ксантан характеризуется сложной разветвленной структурой, определяющей его уникальные реологические свойства: высокую вязкость, псевдопластичность, влагосвязывающую и диспергирующую способность, а также устойчивость к воздействию температур, pH и ферментативной обработке [2, 3]. Это способствовало его широкому применению в таких отраслях промышленности, как пищевая, фармакологическая, нефтедобывающая, лакокрасочная, текстильная, а также строительство и сельское хозяйство [4]. В пищевой промышленности ксантановая камедь зарегистрирована как пищевая добавка Е415 (эмульгатор) и используется при производстве фруктовых джемов и кондитерских изделий, молочных и мясных продуктов и хлебобулочных изделий [5, 6]. При этом в настоящее время в России ксантановая камедь не производится, несмотря на неоднократные попытки создания производств в различных регионах страны [7], что делает актуальным поиск новых более эффективных технологий производства и возможность снижения себестоимости ее получения.

Основной промышленный способ получения ксанта на данный момент — биосинтетический с использованием *Xanthomonas campestris* [8]. *X. campestris* представляют собой грамотрицательные аэробные палочки, характеризующиеся способностью синтезировать ксантановую камедь и мембранные пигменты желтого цвета — ксантомонадины, которые придают колониям характерную окраску [9, 10]. Однако данный продуцент характеризуется повышенной избирательностью к составу субстрата, что увеличивает себестоимость целевого продукта. Эффективность процесса биосинтеза ксанта определяется сбалансированным составом питательной среды, главными компонентами которой являются источники углерода и азота. Питательная среда для получения ксанта в своем составе обычно содержит источник углерода в концентрации 2–4% и азота в концентрации 0,05–0,10% [11].

Традиционно в качестве источника углерода используются моно- и дисахариды (глюкоза, фруктоза, мальтоза, сахароза, галактоза) и побочные продукты сахародобывающей промышленности (сахар-сырец, меласса) [12]. Так в работе [13] показана возможность культивирования *X. campestris* на мелассе, которая обеспечивала высокий прирост биомассы и накопление ксанта, но при этом требовала предварительной обработки сырья и внесения дополнительных компонентов в питательную среду. Применение в качестве источников углерода простых сахаров, таких как глюкозы и сахарозы, демонстрирует аналогичные результаты, но не решает проблему высокой стоимости среды. Таким образом, поиск новых вторичных сырьевых ресурсов для использования в качестве субстрата необходим для повышения рентабельности процесса культивирования [14].

Одним из перспективных сырьевых ресурсов для этих целей может выступать молочная сыворотка, являющаяся побочным продуктом производства молокоперерабатывающей отрасли [15]. Она содержит в себе часть таких исходных питательных веществ молока, как лактоза (4–5%), сывороточные белки (0,8–1%), минеральные вещества и витамины группы В [16], что делает ее подходящим компонентом субстрата для культивирования. Ежегодно в мире производится около 120 млн тонн молочной сыворотки, из которых традиционно утилизируется лишь половина [17]. Использование этого вторичного сырья в качестве субстрата для биосинтеза ксанта позволит одновременно решить проблему загрязнения сточных вод и снизить себестоимость получения целевого продукта.

Известно, что молочную сыворотку можно эффективно применять в качестве субстрата для получения ксанта бактериями *X. campestris*, при этом обеспечивая накопление ксанта, сопоставимое с ферментацией на традиционных средах. Авторы [18] показали, что культивирование в биореакторе на среде с молочной сывороткой позволяет достичь выхода ксантановой камеди на уровне 28 г/л. Использование подсырной молочной сыворотки в качестве единственного источника углерода позволило достичь концентрации ксанта приблизительно 25 г/л на 72 ч культивирования, что также сопоставимо с литературными данными [19] по ферментации с использованием простых сахаров в качестве источника углерода. Однако в данной работе не оценивалась зависимость кинетики роста *X. campestris* и биосинтеза ксанта от концентрации молочной сыворотки, этот аспект требует дальнейшего изучения.

Цель работы — оценить влияние концентрации молочной сыворотки в составе питательной среды на эффективность биосинтеза ксантана бактериями *X. campestris*.

Объекты и методы исследований

В качестве объекта исследования выбран штамм *X. campestris* СЕЕМ В-048, полученный в Биоресурсном фонде Коллекции эубиотических и эпифитных микроорганизмов (Россия).

В качестве субстрата для культивирования использовали среду V со следующим составом: 20 г/л глюкозы, 3 г/л дрожжевого экстракта, 2 г/л KH_2PO_4 , 2 г/л K_2HPO_4 , 0,1 г/л $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$. Эта среда также использовалась в качестве контрольной среды для культивирования.

Для обогащения питательной среды использовали молочную сыворотку (МС), произведенную в Кобринском маслодельном-сыродельном заводе (Беларусь), которая вносилась в питательную среду V в концентрациях 6; 9; 12; 15; 18 и 21 г/л среды.

Для получения посевной культуры 1 КОЕ *X. campestris* переносили в коническую колбу объемом 250 мл с объемом среды 100 мл и культивировали на термостатируемом шейкере SB – 22 Stegler (Shanghai Jingke Scientific Instrument Co., Китай) со скоростью перемешивания 120 об/мин при температуре 28°C в течение 24 ч. После окончания культивирования отбирали 5 мл посевной культуры и переносили в коническую колбу объемом 250 мл с объемом среды 100 мл и культивировали со скоростью перемешивания 120 об/мин при температуре 28°C в течение 72 ч.

Оценку эффективности использования молочной сыворотки в составе субстрата оценивали по изменению плотности суспензии клеток в культуральной жидкости в процессе культивирования, коэффициенту прироста и количеству накопленного ксантана.

Плотность суспензии клеток в культуральной жидкости (OD_{600}) оценивали на спектрофотометре Genesys 10S UV – Vis (Thermo Scientific, США) при длине волны 600 нм. Оптическую плотность культуральной суспензии оценивали на 0; 6; 24; 28; 48 и 72 ч культивирования.

Подсчет бактериальных клеток в культуральной среде проводили на фиксированных окрашенных препаратах методом Виноградского – Брида [20] в начале и в конце культивирования. По данным количества бактериальных клеток в начале и в конце культивирования был рассчитан коэффициент прироста (КП) по формуле

$$\text{КП} = \frac{x_2}{x_1},$$

где x_1 – количество клеток в начале культивирования, млн кл/мл;

x_2 – количество клеток в конце культивирования, млн кл/мл.

Выделение ксантана осуществляли следующим образом: по окончании культивирования к 100 мл культуральной жидкости добавляли 2,9 мл раствора KCl (35%) и выдерживали на кипящей водяной бане в течение 30 мин. После охлаждения смеси до комнатной температуры ксантан осаждали добавлением 200 мл этанола при тщательном перемешивании. Образовавшийся осадок отделяли центрифугированием (Eppendorf 5810 R, Германия) при 4000 об/мин в течение 25 мин и высушивали при 45°C до постоянной массы.

После выделения ксантана проводили его качественное определение согласно Государственной фармакопее XV (ФС.2.4.0010). В колбу помещали 1 г выделенного образца, добавляли 15 мл 0,1М хлористоводородной кислоты и суспендировали. Затем колбу закрывали пробкой с гидрозатвором, содержащим 4,73%-й раствор гидроксида бария. Спустя 5 минут нагревания колбы в гидрозатворе фиксировалось выпадение белого осадка.

Результаты и обсуждение

Динамику накопления биомассы бактерий *X. campestris* СЕЕМ В-048 проводили по кривым роста и коэффициенту прироста.

Кривые роста бактерий *X. campestris* СЕЕМ В-048 представлены на графике зависимости оптической плотности культуральной суспензии от длительности культивирования (рисунок 1).

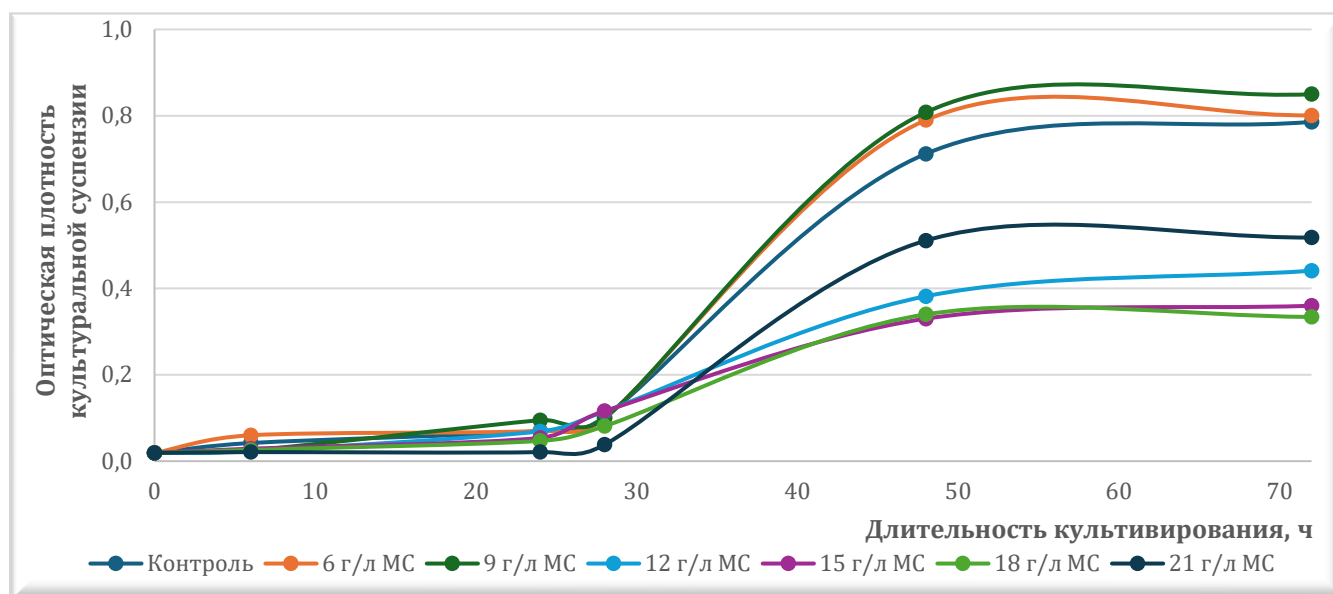


Рисунок 1 — Кривые роста штамма *X. campestris* CEEM B-048 на контрольной среде и средах с различной концентрацией молочной сыворотки

Figure 1. Growth curves of *X. campestris* CEEM B-048 strain on the control medium and media with different whey concentrations

Оптическая плотность культуральной суспензии бактерий *X. campestris*, пропорциональная накоплению биомассы во время культивирования, на всех питательных средах соответствует типичной кривой бактериального роста.

На контрольной среде лаг-фаза, характеризующаяся низким приростом биомассы, продолжается до 24–28 ч, после чего происходит экспоненциальная фаза роста, что отражается на графике значительным повышением оптической плотности. К 48 ч культивирования значения оптической плотности стабилизируются вследствие достижения наибольшего прироста биомассы и выхода на плато, обусловленного истощением питательных веществ в среде. Переход в стационарную фазу культуры соответствует началу биосинтеза ксантана.

Добавление молочной сыворотки, как показано на рисунке 1, существенно влияет на прирост биомассы *X. campestris*, а также на продолжительность фаз роста. При ее концентрации в среде 6 и 9 г/л наблюдается больший прирост биомассы во время лаг-фазы и ускорение перехода в экспоненциальную фазу. Скорость роста в экспоненциальной фазе также выше, что выражается большим углом наклона кривой на графике и может быть обусловлено стимуляцией метаболизма бактерий компонентами сыворотки (лактозой, белками и витаминами группы В). Кроме того, при культивировании на данных питательных средах наблюдались наибольшие значения оптической плотности на момент завершения процесса, что подтверждает эффективность использования молочной сыворотки как компонента субстрата. При увеличении концентрации молочной сыворотки в среде до 12 г/л и выше наблюдался ингибирующий эффект, проявляющийся в более низких значениях оптической плотности, угнетении роста в экспоненциальной фазе и снижении итогового накопления биомассы за 72 ч. Более того, на питательной среде, содержащей 18 г/л молочной сыворотки, происходит частичный переход к фазе гибели, отражающийся в незначительном снижении оптической плотности после 60 ч. Это может быть вызвано осмотическим стрессом бактерий из-за чрезмерного понижения pH среды, а также ее несбалансированным составом.

Таким образом, оптимальными для выращивания *X. campestris* признаны среды, содержащие 6 и 9 г/л молочной сыворотки. Их использование обеспечивает максимальный прирост биомассы и снижает себестоимость процесса.

Коэффициенты, отражающие увеличение биомассы относительно ее начального значения при культивировании на средах с различной концентрацией сыворотки, представлены на рисунке 2.

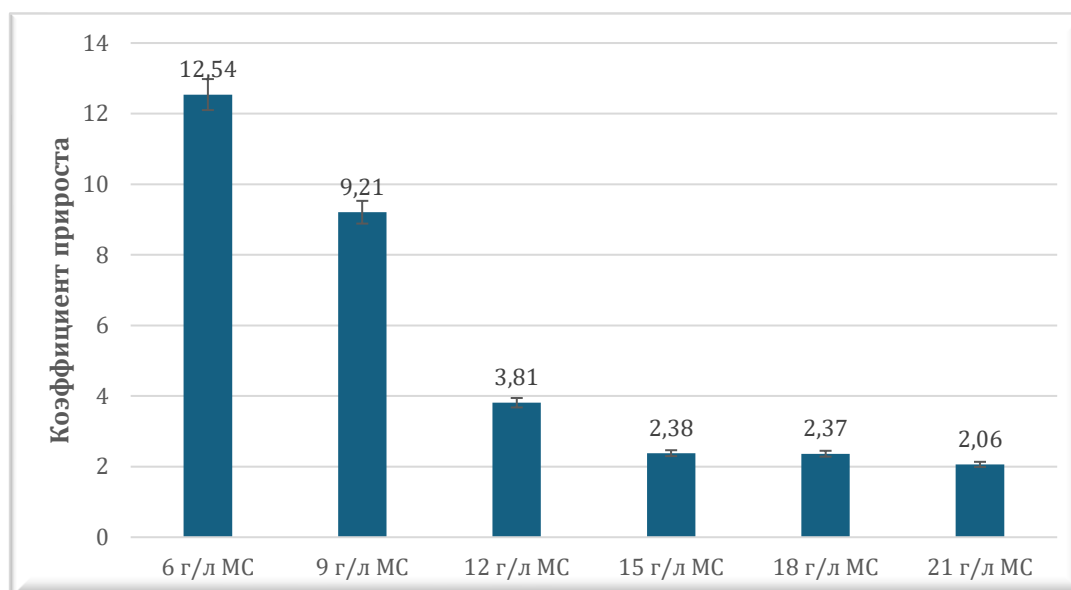


Рисунок 2 — Коэффициент прироста биомассы *X. campestris* CEEM B-048 на средах с различной концентрацией молочной сыворотки

Figure 2. Biomass growth coefficient of *X. campestris* CEEM B-048 on media with different whey concentrations

При оценке влияния концентрации молочной сыворотки на прирост биомассы также исследовали коэффициент прироста. Установлено, что с повышением дозировки молочной сыворотки он снижается. Максимальное значение показателя (12,54) зафиксировано на среде с содержанием субстрата 6 г/л. Увеличение концентрации до 9 г/л приводило к некоторому падению коэффициента (до 9,21). Вероятно, это вызвано изменением pH среды, вызывающим частичное ингибирование роста *X. campestris*. Тем не менее, данная дозировка остается целесообразной для применения в процессе биосинтеза ксантана. Использование сред, содержащих 12 г/л сыворотки и более, оказалось неэффективным, на что указывают крайне низкие значения прироста (при этом между вариантами с 15 и 18 г/л существенных различий не выявлено). Таким образом, оптимальными признаны среды с добавлением 6 и 9 г/л сыворотки, что полностью согласуется с ранее описанной динамикой оптической плотности культуральной суспензии.

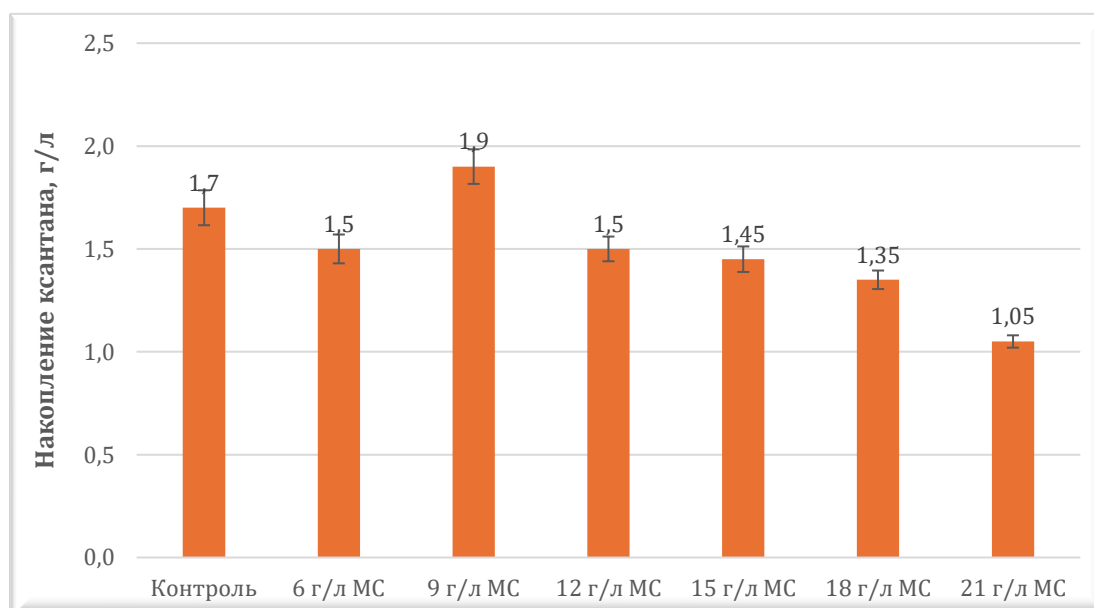


Рисунок 3 – Накопление ксантана штаммом *X. campestris* CEEM B-048 на контрольной среде и средах с различной концентрацией молочной сыворотки

Figure 3. Xanthan accumulation during cultivation of *X. campestris* CEEM B-048 on the control medium and media with different whey concentrations

По завершении культивирования целевой продукт выделяли из культуральной жидкости по описанной ранее методике и высушивали до постоянной массы. На основе полученных значений оценивали влияние концентрации молочной сыворотки на итоговый выход ксантана (рисунок 3).

На контрольной среде выход ксантана штаммом *X. campestris* СЕЕМ В-048 составил 1,7 г/л. Максимальное значение показателя (1,9 г/л) достигнуто при использовании среды V с концентрацией молочной сыворотки 9 г/л. Варианты с внесением 6, 12 и 15 г/л субстрата характеризовались практически одинаковым накоплением полисахарида, что подтверждает нецелесообразность применения дозировок от 12 г/л и выше. Наблюдаемый ингибирующий эффект при избытке сыворотки, вероятно, обусловлен закислением среды.

Для подтверждения подлинности синтезированного продукта проводили качественный анализ образцов. При нагревании полисахарида в присутствии серной кислоты выделяется углекислый газ, который взаимодействует с раствором гидроксида бария с выпадением белого осадка BaCO_3 . Положительный результат реакции зафиксирован для всех исследуемых проб, что однозначно идентифицирует выделенный продукт как ксантановую камедь.

Таким образом, добавление молочной сыворотки в питательную среду V в концентрации 9 г/л приводит к увеличению накопления ксантана на 12% в сравнении с питательной средой без ее добавления, что подтверждает эффективность использования молочной сыворотки как компонента субстрата в процессе биосинтеза ксантана.

Заключение

В результате проведенного исследования установлено, что молочная сыворотка может служить эффективным компонентом питательной среды для биосинтеза ксантана штаммом *X. campestris* СЕЕМ В-048, однако ее действие проявляется только в ограниченном диапазоне концентраций. Была продемонстрирована параболическая зависимость выхода целевого продукта от концентрации молочной сыворотки в составе питательной среды: концентрации выше 12 г/л вызывали ингибирование роста бактерий и снижение накопления ксантана, что, вероятно, связано с закислением среды и осмотическим стрессом. Новизна работы заключается в выявлении порогового характера влияния молочной сыворотки на рост продуцента, что ранее не было систематически изучено для данного штамма. Практическая значимость полученных результатов состоит в обосновании возможности удешевления производства ксантана за счет использования вторичного сырья молочной промышленности, а также в снижении экологической нагрузки от утилизации сыворотки. В качестве направлений дальнейших исследований целесообразно рассмотреть усовершенствование состава среды по источникам азота и минеральным солям, а также изучение способов предварительной обработки молочной сыворотки для снижения ее ингибирующего эффекта.

Литература/References

1. Palaniraj A., Jayaraman V. Production, recovery and applications of xanthan gum by *Xanthomonas campestris*. *Journal of Food Engineering*. 2011, V. 106, pp. 1–12. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2011.03.035
2. Riaz T., Iqbal M.W., Jiang B., Chen J. A review of the enzymatic, physical, and chemical modification techniques of xanthan gum. *Int J Biol Macromol*. 2021, V. 186, pp. 472–489. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2021.06.196
3. Southwick J.G., Lee H., Jamieson A.M., Blackwell J. Self-association of xanthan in aqueous solvent-systems. *Carbohydrate Research*. 1980, V. 84, no. 2, pp. 287–295. DOI: 10.1016/S0008-6215(00)85558-5
4. Chaturvedi S., Kulshrestha S., Bhardwaj K., Jangir R. A review on properties and applications of xanthan gum. In: Vaishnav A., Choudhary D.K. (Eds.) *Microbial Polymers*. Springer, Singapore, 2021, pp. 87–107. DOI: 10.1007/978-981-16-0045-6_4
5. Furtado I.F.S.P.C., Sydney E.B., Rodrigues S.A., Sydney A.C.N. Xanthan gum: applications, challenges, and advantages of this asset of biotechnological origin. *Biotechnology Research & Innovation*. 2022, V. 6, no. 1, pp. 1–10. DOI: 10.4322/biori.202205
6. Alharthi F.A., Alshammari R.H., Hasan I. Synthesis of xanthan gum anchored $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ bionanocomposite material for remediation of Pb (II) contaminated aquatic system. *Polymers*. 2023, V. 15, no. 5, article 1134. DOI: 10.3390/polym15051134
7. Осовская И.И., Бородина А.М., Курзин А.В., Рощин В.И. Синтез и свойства модифицированной ксантановой камеди // Химия растительного сырья. 2021. №. 4. С. 95–104. DOI: 10.14258/jcrpm.2021049525

- Osovskaya I.I., Borodina A.M., Kurzina A.V., Roshchin V.I. Synthesis and properties of modified xanthan gum. *Chemistry of Plant Raw Materials*. 2021, no. 4, pp. 95-104. DOI: 10.14258/jcprm.2021049525 (In Russian)
8. Bhat I.M., Wani S.M., Mir S.A., Masoodi F.A. Advances in xanthan gum production, modifications and its applications. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2022, V. 42, article 102328. DOI: 10.1016/j.bcab.2022.102328
9. He Y.W., Cao X.Q., Poplawsky A.R. Chemical structure, biological roles, biosynthesis and regulation of the yellow xanthomonadin pigments in the phytopathogenic genus *Xanthomonas*. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2020, V. 33, no. 5, pp. 705-714. DOI: 10.1094/MPMI-11-19-0326-CR
10. Nakayinga R., Makumi A., Tumuhaise V., Tinzaara W. *Xanthomonas* bacteriophages: a review of their biology and biocontrol applications in agriculture. *BMC Microbiology*. 2021, article 291. DOI: 10.1186/s12866-021-02351-7
11. Murad H.A., Abo-Elkhair A.G., Azzaz H.H. Production of xanthan gum from nontraditional substrates with perspective of the unique properties and wide industrial applications. *JSMC Microbiology*. 2019, V. 1, no. 6, pp. 1-6
12. Revin V.V., Liyas'kina E.V., Pokidko B.V., Pimenov N.V., Mardanov A.V., Ravin N.V. Characteristics of the new xanthan-producing strain *Xanthomonas campestris* M 28: study of the genome, cultivation conditions, and physicochemical and rheological properties of the polysaccharide. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2021, V. 57, Is. 3, pp. 356-365. DOI: 10.1134/S0003683821030108
13. Kalogiannis S., Iakovidou G., Liakopoulou-Kyriakides M., Kyriakidis D.A., Skaracis G.N. Optimization of xanthan gum production by *Xanthomonas campestris* grown in molasses. *Process Biochemistry*. 2003, V. 39, no. 2, pp. 249-256. DOI: 10.1016/S0032-9592(03)00067-0
14. Моисеев Р.Е., Шарова Н.Ю., Непомнящий А.П., Путилов В.Э., Астафьева О.В. Влияние химического состава питательных сред на биосинтез ксантановой камеди бактериями вида *Xanthomonas campestris* // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 132-138. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.020
- Moiseev R.E., Sharova N.Yu., Nepomnyashchy A.P., Putilov V.E., Astafyeva O.V. Chemical composition of growth medium for xanthan gum production by *Xanthomonas campestris* bacteria. *Polzunovskiy vestnik*. 2024, no. 4, pp. 132-138. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.020 (In Russian)
15. Демченко С.В., Барашкина Е.В., Батогов А.В., Стрельникова Е.С. Биохимическое обоснование использования молочной сыворотки при производстве безалкогольных напитков // Известия вузов. Пищевая технология. 2007. № 5-6. С. 14-16.
- Demchenko S.V., Barashkina E.V., Batogov A.V., Strelnikova E.S. Biochemical justification for the use of whey in the production of soft drinks. *News of universities. Food Technology*. 2007, no. 5-6. pp. 14-16. (In Russian)
16. Храмов А.Г. Ценность молочной сыворотки // Переработка молока. 2010. № 7. С. 40-42.
- Khrantsov A.G. Value of milk whey. *Milk Processing*. 2010, no. 7, pp. 40-42. (In Russian)
17. Talan A., Pokhrel S., Tyagi R.D., Drogui P. Biorefinery strategies for microbial bioplastics production: Sustainable pathway towards circular bioeconomy. *Bioresource Technology Reports*. 2022. V. 17, pp. 1008-1017. DOI: 10.1016/j.biteb.2021.100875
18. Savvides A.L., Katsifas E.A., Hatzinikolaou D.G., Karagouni A.D. Xanthan production by *Xanthomonas campestris* using whey permeate medium. *World J Microbiol Biotechnol*. 2012, V. 28, no. 8, pp. 2759-2764. DOI: 10.1007/s11274-012-1087-1
19. Silva M. F., Fornari R. C., Mazutti M. A., De Oliveira D., Padilha F. F., Cichoski A. J., Treichel H. Production and characterization of xanthan gum by *Xanthomonas campestris* using cheese whey as sole carbon source. *Journal of Food Engineering*. 2009, V. 90, no. 1, pp. 119-123. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2008.06.010
20. Ogoto A.C., Agwaranze D.I., Daji M., Aso R.E. Chapter 13 - Microbial techniques and methods: basic techniques and microscopy. In: Egbuna C., Patrick-Iwuanyanwu K.C., Shah M.A., Ifemeje J.C., Rasul A. (Eds.) *Analytical Techniques in Biosciences*. Academic Press, 2022, pp. 201-220. DOI: 10.1016/B978-0-12-822654-4.00003-8

Информация об авторах

Алёна Михайловна Киреева – аспирант факультета биотехнологий

Екатерина Сергеевна Засухина – аспирант факультета биотехнологий

Надежда Тарасовна Жилинская – канд. биол. наук, доцент, доцент Высшей школы биотехнологий и пищевых производств

Ольга Владимировна Кригер – д-р техн. наук, доцент факультета биотехнологий

Information about the authors

Alyona M. Kireeva, Postgraduate Student, Faculty of Biotechnology

Ekaterina S. Zasukhina, Postgraduate Student, Faculty of Biotechnology

Nadezhda T. Zhilinskaya, Ph.D. (Biol.), Associate Professor; Associate Professor of Graduate School of Biotechnology and Food Science

Olga V. Kriger, Dr.Sc. (Eng.), Associate Professor at the Faculty of Biotechnology

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflicts of interests

Статья поступила в редакцию 12.05.2026

Одобрена после рецензирования 30.07.2026

Принята к публикации 01.08.2026

The article was submitted 12.05.2026

Approved after reviewing 30.07.2026

Accepted for publication 01.08.2026