

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Сапожниковой Кристины Юрьевны

«Микробиологический синтез полигидроксиалканоатов на жиросодержащих субстратах» по специальности 1.5.6. Биотехнология на соискание учёной степени кандидата биологических наук.

Актуальность темы

В настоящее время возникла большая проблема утилизации полимерных отходов, которых ежегодно образуется в мире до 300 млн. т. Одним из путей решения этой экологической проблемы является создание биоразлагаемых полимеров, не наносящих вреда окружающей среде. Одним из таких перспективных классов полимеров являются полиоксиалканоаты. Свойства сополимеров оксиалканоатов лежат в диапазоне от свойств полиолефинов до эластомеров. Однако у этих полимеров есть существенный недостаток – высокая себестоимость производства. Диссертационная работа Сапожниковой К.Ю. посвящена научным основам биотехнологического синтеза полигидроксиалканоатов, с использованием жиросодержащих углеродных субстратов различного происхождения (растительные масла, животные жиры), включая отходы. Таким образом, можно достичь существенного снижения себестоимости полимеров, что обеспечит их массовый синтез и широкое применение в различных областях народного хозяйства.

На основании всего выше сказанного, тема диссертации Сапожниковой К.Ю. «Микробиологический синтез полигидроксиалканоатов на жиросодержащих субстратах» является **актуальной**.

Анализ содержания работы и её завершенности

Диссертационная работа построена по традиционной схеме и содержит введение, литературный обзор, характеристики объектов и методов исследования, экспериментальные результаты и их обсуждения, заключение,

выводы, список литературы и список условных обозначений и сокращений. Работа изложена на 113 страницах, содержит 32 рисунка и 15 таблиц, включает 184 литературных источника.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, определена цель, поставлены задачи, позволяющие достичь цели; сформулированы пункты научной новизны и практической значимости диссертационного исследования, представлены основные положения, выносимые на защиту, методология и методы исследования, достоверность результатов, апробация работы; приведены публикации по диссертации, охарактеризован личный вклад автора, описана структура диссертации.

В первой главе приведен обзор большого количества литературных источников (184 источника, из них 5 отечественных и 179 иностранных), в котором отражены теоретические и современные практические аспекты процессов получения микробных полигидроксиалканоатов (ПГА), исследование их структуры и основных свойств. В обзоре дано исчерпывающее представление о микроорганизмах, синтезирующих ПГА, разнообразных субстратах и свойствах биополимеров, произведенных на этих субстратах, а также областях применения полученных полимеров. На основании анализа литературы автор грамотно обосновывает актуальность, цель и задачи своего исследования.

Вторая глава является методической. В ней описаны характеристики объектов и методы исследования. В качестве объектов исследования использованы: природный штамм *Cupriavidus necator* В-10646 из коллекции лаборатории хемоавтотрофного биосинтеза ИБФ СО РАН, В (продуцент ПГА), различные субстраты (растительные масла, рыбий жир, животные жиры). Синтезированные ПГА характеризовались с использованием современных методов физико-химического анализа: газовая хроматография, высокоэффективная жидкостная хроматография, дифференциальная сканирующая калориметрия. Использованные методы и методики отвечают

современному уровню научного исследования для грамотного решения поставленных в работе задач.

В третьей главе (основная часть) представлены полученные в работе экспериментальные результаты и проведено их обсуждение. Рассмотрены закономерности синтеза полигидроксиалканоатов на жирах растительного происхождения. Проведено подробное исследование роста биомассы на растительных маслах. Отмечено, что бактериальные штаммы избирательно поглощают ненасыщенные органические соединения. Исследовано применение жирных кислот в качестве субстратов для биосинтеза полигидроксиалканоатов. Показано, что для штамма *C. necator* В-10646 наиболее эффективным субстратом из группы жирных кислот, обеспечивающим высокие выходы как биомассы и ПГА, является моноеновая олеиновая кислота.

В четвертой главе описаны закономерности синтеза полигидроксиалканоатов на жирах животного происхождения. Исследовали жиры рыб и млекопитающих животных. На основании исследования жиров различных промысловых рыб было продемонстрировано, что бактерии *C. necator* В-10646 избирательно утилизируют длинноцепочечные полиеновые жирные кислоты, при этом насыщенные и моноеновые кислоты с более короткой цепью (от 14 до 18 атомов углерода) утилизируются с меньшей скоростью. Результаты сравнительного анализа продукционных показателей культуры *C. necator* В-10646 при росте на трех типах низкосортных жиров животного происхождения (бараний, говяжий и свиной) показали перспективность низкосортных животных жиров как углеродного субстрата для биосинтеза ПГА. При этом наивысшие показатели наблюдали при использовании бараньего жира.

В пятой главе исследован химический состав и свойства полигидроксиалканоатов, синтезированных на различных жиросодержащих субстратах. На основании широкомасштабного исследования было показано, что на масляных и жировых субстратах можно получать двух-, трех- и

четырёхкомпонентные сополимеры ГБ, ГВ, ГГ и ГО. Таким образом можно синтезировать полимеры с различными комплексами необходимых свойств: от жестких (высокомодульных) до мягких (практически эластомеров). Также в работе определено, что использование группы жиросодержащих источников углерода (масла, жиры) для синтеза сополимеров, содержащих мономеры 3-гидроксивалерата и 3-меркаптопропионата, представляется неэффективным ввиду низкого содержания мономеров ЗМП в составе сополимеров. Анализ молекулярно-массовых характеристик сополимерных образцов ПГА показал, что с увеличением доли ЗГВ или появлением в составе ПГА мономеров 4ГБ молекулярная масса достоверно снижается во всех случаях, за исключением образца ПГА, синтезированного на жире из кильки балтийской при добавлении ϵ -капролактона, который демонстрировал высокую молекулярную массу (свыше 600 кDa). Также автором диссертации исследованы термические свойства полученных сополимеров. Показано, что эти полимеры имеют удовлетворительную термостабильность.

В заключении и выводах обобщены основные результаты исследований, представлены развернутые выводы по работе, отражающие научную и практическую значимость исследования. Результаты и выводы диссертации свидетельствуют о достижении поставленной цели и решении поставленных задач. Диссертация изложена хорошим научным языком, материал логично структурирован, изложен технически грамотно, оформлен в полном соответствии с требованиями, предъявляемыми к диссертациям.

Степень обоснованности результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Полнота достоверности и обоснованности полученных результатов диссертационной работы не вызывает сомнений и подтверждается использованием оптимального комплекса современных методов анализа, а также воспроизводимостью полученных экспериментальных данных и соответствием стандартным требованиям к методам проведения научных исследований.

Результаты исследований полностью отражены в 25 печатных работах, в том числе 10 статьях, входящих в международные цитатно-аналитические базы Scopus и Web of Science, ВАК, Белый список, а также 1 патент РФ. Результаты широко обсуждены и апробированы на международных и всероссийских научно-технических конференциях и опубликованы в 14 тезисах докладов.

Научная новизна диссертационной работы: Впервые показана и научно обоснована способность природного бактериального штамма *C. necator* В-10646 к динамичному росту на жиросодержащих углеродных субстратах различного происхождения и состава, в том числе на жировых отходах рыбо- и мясопереработки с получением сополимеров ПГА различного молекулярного состава, температуры плавления и кристалличности.

Практическая значимость исследования заключается в разработке биотехнологии производства востребованных экологичных биоразрушаемых полимеров – ПГА на основе вторичных ресурсов – жиросодержащего сырья (отходов рыбо- и мясопереработки).

Соответствие содержания автореферата основным положениям и выводам диссертации, качество оформления автореферата.

Материал, представленный в автореферате, а также опубликованные диссертантом научные статьи, полностью отражают основные положения диссертации, соответствуют её содержанию и поставленным задачам исследования. В них раскрыты ключевые аспекты научной новизны и практической значимости работы. Автореферат диссертации изложен в объеме, достаточном для понимания сути проведенных исследований, и оформлен в соответствии с установленными требованиями.

По диссертационной работе имеются следующие замечания.

1. До конца не ясно, почему максимальный рост биомассы и соответственно синтез ПГА наблюдается при концентрации растительных масел в среде 15 г/л? Возможно ли, что превышение

определенной концентрации приводит к подавлению биохимической реакции из-за смещения равновесия в сторону субстрата, а не продукта реакции (по принципу Ле-Шателье)?

2. Почему количество биомассы на субстратах рыжикового и пальмового масел почти в два раза выше, чем при использовании подсолнечных масел? Влияет ли на рост продуцентов содержание насыщенных и ненасыщенных жирных кислот?
3. Для моделирования синтеза сополимеров ПГА было бы целесообразно провести эксперименты на смесях жирных кислот в определенных соотношениях, чтобы выявить наиболее эффективные композиции субстратов на основе которых получались бы требуемые сополимеры с высоким выходом.
4. На стр. 34 диссертации в описании эксперимента с использованием ДСК не указана скорость нагрева. Это важный параметр, влияющий на экспериментальные данные.
5. На стр. 89 автор делает вывод о том, что «разрыв между температурой начала плавления и температурой начала термического разложения составил порядка 100 °С (96-121 °С), что свидетельствует о наличии достаточного широкого технологического окна для переработки полученных расплавов в изделия различными способами». Однако, это не совсем так. Достоверный технологический показатель, характеризующий способность полимера к переработке, является время термостабильности при температуре переработки. Но оценить его в работе не представляется возможным, так как не ясно с какой скоростью проводили нагрев.

Указанные замечания не уменьшают уровень значимости выполненной работы, не затрагивают сути защищаемых положений и выводов, а также не снижают общую положительную оценку диссертации.

**Заключение о соответствии диссертации критериям,
установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней»**

Таким образом, диссертация Сапожниковой Кристины Юрьевны является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технологические решения и разработки: основы биотехнологического синтеза востребованных экологичных биоразрушаемых полимеров – ПГА на основе вторичных ресурсов – жиросодержащего сырья (отходов рыбо- и мясопереработки), имеющие существенное значение для развития страны, и соответствует требованиям **пунктов 9-11, 13, 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней»**, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Официальный оппонент:

Доктор химических наук (1.4.7

Высокомолекулярные соединения),  Олхов Анатолий Александрович

Доцент, ведущий научный сотрудник

«19» января 2026 г.

научной лаборатории «Перспективные
композиционные материалы и технологии», 

Организация: Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Российский
экономический университет им. Г.В.
Плеханова»

Тел.: +7 (495) 800-12-00, доб. 15-98

e-mail: [ao\[redacted\].ru](mailto:ao[redacted].ru)

Адрес: Россия, 109992, г. Москва,
Стремянный пер., 36.

подпись



УДОСТОВЕРЯЮ

Зам. нач. отдела

 Красавина