

**СТРУКТУРИРОВАНИЕ БЕЛКОВ НАНОРАЗМЕРНЫМИ  
ДИАЛЬДЕГИДПРОИЗВОДНЫМИ МАЛЬТОДЕКСТРИНА****В.И. Чурсин, А.А. Борисов**

Вячеслав Иванович Чурсин (ORCID 0000-0002-0068-3441)\*, Антон Александрович Борисов

Кафедра технологии кожи и меха, Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), ул. Садовническая, 33, стр.1, Москва, Российская Федерация, 115035

E-mail: mars8848@rambler.ru\*, toni.borisov.98@mail.ru

*Исследованы условия синтеза нового препарата - диальдегида мальтодекстрина, относящегося к биполимерам растительного происхождения, обладающего структурирующей способностью в отношении белковых материалов. Методом титриметрического анализа с использованием гидрохлорида гидроксиламина определено содержание альдегидных групп в мальтодекстрине, окисленном с использованием пероксида водорода и периодата натрия. Определены условия окисления исходного мальтодекстрина до продукта с различным содержанием альдегидных групп. Изучено влияние окисления на размер частиц диальдегидмальтодекстрина и установлено, что полученные производные мальтодекстрина можно отнести к наноразмерным структурам. Определена зависимость гидротермической устойчивости пленок желатина, использованного в качестве модели белка коллагена, от содержания альдегидных групп в окисленном мальтодекстрине. Показано влияние степени окисления мальтодекстрина на температуру плавления и прочностные характеристики желатиновой пленки. Установлена высокая структурирующая способность диальдегидмальтодекстрина, проявляющаяся в повышении температуры плавления желатиновой пленки на 25 °С, по сравнению с исходной пленкой. Увеличение прочности структурированной пленки сопровождается снижением показателя относительного удлинения, что свидетельствует об образовании плотной сетки межмолекулярных связей между аминоклассами белка и альдегидными группами окисленного мальтодекстрина. Исследована возможность применения диальдегидных производных мальтодекстрина для структурирования волокнистого коллагена дермы шкуры крупного рогатого скота. Определены условия обработки голья, способствующие повышению устойчивости коллагеновой матрицы к гидротермическому воздействию. Показано, что диальдегидпроизводные мальтодекстрина обладают дубящим действием, сравнимым по эффективности с растительными дубителями. Установлено повышение гидротермической устойчивости полученного кожевенного полуфабриката до 71-72 °С. Диальдегидмальтодекстрин может быть использован в качестве альтернативного существующим дубящим веществам дубителя, позволяющего получать кожу светлого цвета с высокими экологическими характеристиками, включая способность к биоразложению.*

**Ключевые слова:** полисахариды, мальтодекстрин, окисление, пероксидводорода, периодат натрия, желатин, температура плавления, дубление, структурирование, прочность

**PROTEIN STRUCTURING BY NANOSIZED DIALDEHYDE DERIVATIVES OF MALTODEXTRIN****V.I. Chursin, A.A. Borisov**

Vyacheslav I. Chursin (ORCID 0000-0002-0068-3441)\* Anton A. Borisov

Department of Leather and Fur Technology, Russian State University named after A.N. Kosygin (Technology. Design. Art), Sadovnicheskaya st., 33, bld. 1, Moscow, 115035, Russia

E-mail: mars8848@rambler.ru\*, toni.borisov.98@mail.ru

*The conditions for the synthesis of a new drug - maltodextrin dialdehyde, which belongs to biopolymers of plant origin, which has a structuring ability in relation to protein materials, have*

*been investigated. The content of aldehyde groups in maltodextrin oxidized with hydrogen peroxide and sodium periodate was determined by titrimetric analysis using hydroxylamine hydrochloride. The conditions for the oxidation of the initial maltodextrin solution were determined to obtain a product with a different content of aldehyde groups. The particle size of the dialdehyde derivatives of maltodextrin was determined by spectrophotometry. The effect of the oxidation state on the particle size of dialdehyde maltodextrin is shown. An insignificant increase in the size of the particles of oxidized maltodextrin was found, which makes it possible to classify the materials obtained as nano-sized structures. The dependence of the hydrothermal stability of gelatin films used as a model of collagen protein on the content of aldehyde groups in oxidized maltodextrin was determined. The influence of the oxidation state of maltodextrin on the melting point and strength characteristics of the gelatinous film is shown. A high structuring ability of dialdehyde maltodextrin was established, which manifests itself in an increase in the melting temperature of the gelatinous film by 25 °C in comparison with the initial film. An increase in the strength of the structured film is accompanied by a decrease in the relative elongation index, which indicates the formation of a dense network of intermolecular bonds between the amino groups of the protein and the aldehyde groups of oxidized maltodextrin. The possibility of using dialdehyde derivatives of maltodextrin for structuring the fibrous collagen of the dermis of cattle hide has been investigated. The conditions for the processing of pelt were determined, contributing to an increase in the resistance of the collagen matrix to hydrothermal action. It has been shown that dialdehyde derivatives of maltodextrin have a tanning effect comparable in efficiency with vegetable tanning agents. An increase in the hydrothermal stability of the obtained leather semi-finished product up to 71-72 °C has been established. Dialdehyde maltodextrin can be used as an alternative to existing tanning agents to obtain a light-colored leather with high environmental characteristics, including biodegradability.*

**Key words:** polysaccharides, maltodextrin, oxidation, hydrogen peroxide, sodium periodate, gelatin, melting point, tanning, structuring, strength

**Для цитирования:**

Чурсин В.И., Борисов А.А. Структурирование белков наноразмерными диальдегидпроизводными мальтодекстрина. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2022. Т. 65. Вып. 2. С. 88–95

**For citation:**

Chursin V.I., Borisov A.A. Protein structuring by nanosized dialdehyde derivatives of maltodextrin. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N 2. P. 88–95

## ВВЕДЕНИЕ

Применение в кожевенной промышленности дубильных веществ растительного происхождения является одним из направлений создания экологически чистого производства. Кожа растительного (танидного) дубления характеризуется высокими гигиеническими свойствами, что обеспечивает комфортность носчика в процессе эксплуатации обуви. Однако, вследствие невысокой гидротермической устойчивости (температура контракции не превышает 70-75 °C), высокой плотности и малой эластичности, растительные дубители в основном используются в производстве кож для низа обуви [1-3].

С ростом цен на нефть и прогнозами о будущем дефиците сырьевых ресурсов, возобновляемые источники для синтеза новых материалов приобретают первостепенное значение [4, 5]. Полисахариды являются продуктами естественного процесса фотосинтеза. Введение реакционноспособных функциональных групп в полисахаридные

структуры позволяет изменять свойства этих материалов в требуемом направлении. В качестве химических реагентов для модификации полисахаридов могут быть использованы пероксид водорода, персульфат натрия, периодат натрия и ряд других соединений [6-9]. В отличие от синтетических альдегидов таких, как формальдегид, глиоксаль, глутаровый альдегид, которые признаны канцерогенными [10], диальдегидные производные полисахаридов, характеризующиеся отсутствием токсичности, находят широкое применение в пищевой, фармацевтической и медицинской промышленности [11, 12].

В работах [6, 7] рассмотрены основные закономерности окислительной модификации таких полисахаридов как хитозан и гидроксиэтилцеллюлоза, что позволило расширить возможности их использования в технологии кожевенного и мехового производства. В частности, показано, что окисление полисахаридов сопровождается снижением динамической вязкости раствора, увеличением показателя преломления и электропроводности, превращением гидроксильных групп в карбонильные

и карбоксильные группы. При этом на начальной стадии окисления преобладает деструкция макромолекул, а затем доминирует процесс функционализации олигомеров.

Традиционное окисление предполагает использование стехиометрических количеств неорганических окислителей, таких как гипохлорит натрия, окись азота, для введения карбоксильной группы или периодата натрия для получения диальдегидных производных. Неорганические окислители достаточно дорогие и токсичные, окисление сопровождается выделением побочных продуктов в виде хлорсодержащих соединений и нитратных солей. При окислении периодатом натрия, независимо от присутствия или отсутствия групп  $\text{CH}_2\text{OH}$ , избирательно разрывается связь С-С между vicinalными диолами, присутствующими на атомах углерода полисахаридной цепи, с образованием диальдегидных производных. Полученные диальдегиды можно использовать для структурной стабилизации белков [11, 13]. В ряде работ [14, 15] приводятся сведения об использовании диальдегидных производных альгината натрия и кукурузного крахмала в качестве дубящих соединений в производстве кожи.

Таким образом, применение диальдегидных производных растительных полисахаридов может рассматриваться как перспективное направление не только для структурирования белковых композиций, но и для дубления кожи. В поисках эффективных растительных продуктов, характеризующихся значительной сырьевой базой, доступностью и экономичностью, мы обратили внимание на одно из производных крахмала – мальтодекстрин. Мальтодекстрин – линейный сополимер, состоящий в основном из молекул глюкозы, мальтозы, мальтотриозы и полисахаридов с декстрозным эквивалентом (от 3 до 20). Как правило, он производится в виде порошка распылительной сушки с массовой долей влаги менее 6% [16]. Масса каждой структурной единицы составляет 176,13 дальтон (Да).

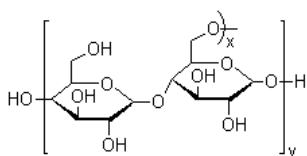


Рис. 1. Структурная формула мальтодекстрина  
Fig. 1. Structural formula of maltodextrin

Применение мальтодекстрина в качестве структурирующего реагента белковых материалов, в частности в процессе дубления в производстве

кожи, может быть реализовано в результате окислительной модификации с получением диальдегидных производных. Таким образом, окисленные полисахариды представляют собой биоразлагаемые дубящие соединения, которые можно использовать для структурирования биоразлагаемого биополимера – коллагена, составляющего основу натуральной кожи. Полученная кожа и образующиеся при ее изготовлении отходы не будут содержать экологически вредных веществ.

Несмотря на то, что процесс окисления полисахаридов достаточно хорошо изучен [6-8, 11, 12, 17, 18], большинство работ все же посвящено продуктам окисления полисахаридов с высокой молекулярной массой.

Целью настоящего исследования является определение оптимальных условий получения диальдегидных производных мальтодекстрина и возможности использования их для структурирования белковых материалов.

#### МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

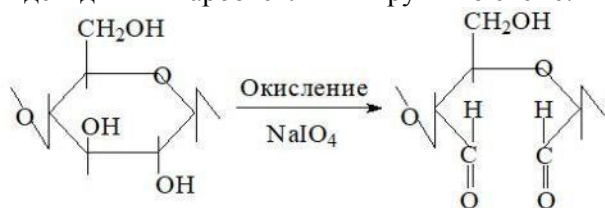
В работе использовали мальтодекстрин *MULTYDEX*® (производства крахмального завода Гулькевичский ТУ 10.6223-018 55954380-2018) в виде 40%-го водного раствора. В качестве окислителей применяли: метапериодат натрия и пероксид водорода (33%-й) (поставщик "Компания Пущинские лаборатории"). Оптическую плотность окисленных растворов мальтодекстрина измеряли на спектрофотометре ПЭ-5400В. Вязкость исследовали на вискозиметре Убеллоде с диаметром капилляра 0,54 мм, электропроводность на кондуктометре фирмы HANNA instruments., показатель преломления на рефрактометре УРЛ-1.

Окисление мальтодекстрина проводили в затемненном реакторе при комнатной температуре. Через определенные промежутки времени из реакционной системы отбирали аликвотные пробы растворов и определяли вязкость, показатель преломления и электропроводность исследуемых растворов. Степень окисления контролировали по содержанию альдегидных групп методом, основанным на использовании гидросиламингидрохлорида [18], а также титриметрическим методом определения количества муравьиной кислоты, которая образуется при полном окислении мальтодекстрина в щелочной среде [19]. Температуру плавления желатиновых пленок оценивали по началу разрушения при нагревании в водной среде.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В работах [6-8] показано, что окисление высокомолекулярных полисахаридов сопровождается деструкцией полимерной цепи, и во вторую

очередь их функционализацией с образованием альдегидных и карбоксильных групп по схеме:



Исследований по окислению мальтодекстрина в специальной литературе не были обнаружены. На рис. 2 представлены временные зависимости содержания альдегидных групп в растворе мальтодекстрина при окислении периодатом натрия и пероксидом водорода при соотношении полисахарид:окислитель 1,3:1.

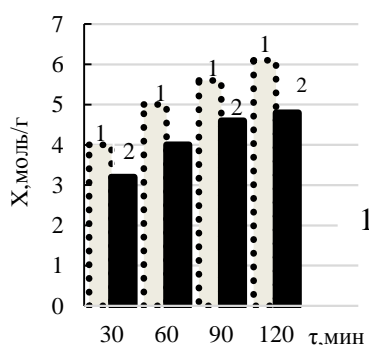


Рис. 2. Влияние длительности окисления периодатом натрия (1) и пероксидом водорода (2) на содержание альдегидных групп (X) в диальдегид мальтодекстрине  
Fig. 2. Influence of the duration of oxidation with sodium periodate (1) and hydrogen peroxide (2) on the content of aldehyde groups (X) in dialdehyde maltodextrin

Как видно из рис. 1, окисление мальтодекстрина в первые 30 мин идет достаточно быстро, особенно при использовании периодата натрия. Для выяснения влияния окисления мальтодекстрина на свойства растворов окисленного мальтодекстрина исследованы значения вязкости и показателя преломления (рис. 3).

Изменение вязкости растворов мальтодекстрина в процессе окисления свидетельствует о более существенном влиянии пероксида водорода на этот показатель, несмотря на аналогичный ход зависимостей.

Характерно, что после некоторого снижения вязкости в начале процесса окисления, через 60 мин. показатели вязкости несколько возрастают и затем снижаются до постоянных значений. Минимуму на кривой вязкости для продуктов окисления мальтодекстрина периодатом натрия соответствует максимум на кривой показателя преломле-

ния. Очевидно, это связано с образованием комплекса между периодатом натрия и мальтодекстрином на первой стадии их взаимодействия [17]. Затем этот комплекс разрушается, и дальнейший рост показателя преломления обусловлен образованием карбоксилсодержащих производных мальтодекстрина. Правомерность такого объяснения основана на том, что значение этой характеристики увеличивается при переходе от альдегида к соответствующей кислоте.

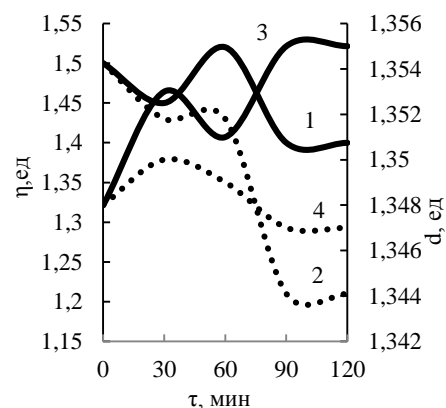


Рис. 3. Изменение вязкости  $\eta$ , ед (1,2) и показателя преломления  $d$ , ед (3,4) раствора мальтодекстрина в процессе окисления периодатом натрия (1,3) и пероксидом водорода (2,4)  
Fig. 3. Change in viscosity  $\eta$ , unit (1,2) and refractive index  $d$ , unit (3,4) of maltodextrin solution during oxidation with sodium periodate (1,3) and hydrogen peroxide (2,4)

Полученные результаты позволяют сделать вывод о большей перспективности использования в качестве окислителя периодата натрия, который обладает избирательной способностью и не разрушает связи между отдельными звеньями полисахарида. Этот вывод подтверждается аналогичными работами по окислению декстранов пероксидом водорода, в которых фиксируется снижение молекулярной массы, проявляющейся в уменьшении вязкости и незначительном накоплении карбонильных групп [20].

Структурирующую способность диальдегидмальтодекстрина исследовали на модельном аналоге белка – пленки желатина, которую получали из 10% раствора желатина, пластифицированного глицерином. Определение взаимодействия желатина с ДАМД проводили на образцах пленки размером 2×6 см, которые помещали в химический стакан емкостью 50 мл с раствором, содержащим 1 г ДАМД, различной степени окисления и выдерживали их в течение определенного времени при перемешивании на магнитной мешалке. Обработанные таким образом пленки промывали водой, вы-

сушивали на воздухе в свободном состоянии и оценивали органолептические характеристики и определяли температуру плавления.

В табл. 1 приведены характеристики образцов желатиновых пленок, обработанных ДАМД различной степени окисления.

Таблица 1

**Влияние степени окисления мальтодекстрина на свойства желатиновой пленки**  
**Table 1. Influence of the oxidation state of maltodextrin on the properties of a gelatinous film**

Показатель	Степень окисления мальтодекстрина, %			
	0	23	33	56
Прирост массы, %	-	2,3	3,1	4,0
Температура плавления, °С	35	46	50	56
Характеристика пленки	Эластичная	Ломкая, хрупкая	Ломкая, хрупкая	Ломкая, хрупкая
Предел прочности при разрыве, Па	0,6	0,74	0,75	1,0
Относительное удлинение при разрыве, %	586	493	486	466

Как известно, диальдегидные производные полисахаридов могут взаимодействовать с аминокислотными группами белка с образованием азометиновых связей [2, 15, 21]. Как следует из данных, представленных в табл. 1, с увеличением степени окисления мальтодекстрина увеличивается температура плавления пленки желатина, что свидетельствует о повышении гидротермической устойчивости белка за счет образования сетки ковалентных связей между структурными единицами белковой молекулы. Максимальная температура плавления желатина 56 °С наблюдается при использовании ДАМД со степенью окисления 59%. Взаимодействие ДАМД с белками проходит с участием незаряженных аминокислот, таких как лизин и аргинин. О присоединении ДАМД к желатину свидетельствует постепенно возрастающая масса белка, а также данные органолептической оценки. Из полученных результатов следует, что от 2,3 до 4% ДАМД фиксируется в белковой матрице. Если исходная пленка желатина была мягкая и эластичная, то образцы пленок, обработанных ДАМД, отличались твердостью и жесткостью.

Образование сетки поперечных связей в структуре желатина приводит к значительному росту предела прочности. Изменение прочности объясняется образованием сшивок между молекулами

белка за счет взаимодействия его свободных аминокислотных групп с альдегидными группами окисленного мальтодекстрина. Одновременно снижается эластичность желатиновой пленки, которая определяется относительным удлинением при разрыве. Это также может быть объяснено с позиции образования новых связей между макромолекулами желатина, которые стабилизируют положения белковых цепей внутри полимерной сетки пленки, снижая, тем самым, их подвижность относительно друг друга.

Таким образом, результаты эксперимента на модельных соединениях белка позволяют предположить, что аналогичный эффект может быть получен и при обработке окисленным мальтодекстрином нативного коллагена – основного белка шкуры животного.

При дублировании голя, представляющего собой очищенную от межфибриллярных белков и разрыхленную щелочной обработкой волокнистую структуру, необходимо учитывать два основных свойства дубителя. Это содержание альдегидных групп, обеспечивающих эффект сшивания коллагена, и размер частиц, который определяет диффузию препарата к реакционноспособным группам коллагена. Известно, что размер частиц реагента является основным фактором, влияющим на диффузию его в структуру дермы. Так в работе [15] показано, что наилучшей дубящей способностью при обработке голя обладает диальдегидкрахмал с меньшим размером частиц. Представлялось целесообразным определить влияние окисления на размер частиц ДАМД. Определение проводили методом динамического рассеяния света, основанном на измерении оптической плотности анализируемых растворов при различных значениях длины волны падающего света [22]. Результаты расчета приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Влияние времени окисления мальтодекстрина на размер частиц ДАМД**  
**Table 2. Influence of the oxidation time of maltodextrin on particle size of DAMD**

Время окисления, ч	Тангенс угла наклона, ед	Размер частиц, нм
Исходный	0,964	126,0
1	0,897	128,0
2	0,520	139,4
3	0,455	141,5
4	0,278	147,2

Как показано в табл. 2, в случае мальтодекстрина с увеличением степени окисления наблюдается увеличение размера частиц с 126 нм до

147,2 нм, вероятно за счет разрыва глюкопиранозного кольца и образования альдегидных групп. Размер частиц окисленного мальтодекстрина находится в наноразмерном диапазоне. Таким образом, можно считать, что проникание частиц дубителя в структуру дермы будет происходить в течение более длительного времени, чем при других видах дубления, включая обработку танидами. Следует учитывать и тот факт, что наличие гидроксильных групп в молекуле окисленного мальтодекстрина может привести к образованию водородных связей с полипептидными группами коллагена и получению более наполненной кожи.

Эксперименты по дублению голя проводились после обработки кожевенного сырья по типовой методике, включая пикелевание. Обработку голя раствором окисленного мальтодекстрина осуществляли на пикельной жидкости при расходе 12%, считая на массу голя, что соответствует 4,8% сухого продукта. Изменение гидротермической устойчивости коллагена в процессе дубления на различных технологических стадиях и после пролежки представлено на рис. 4.

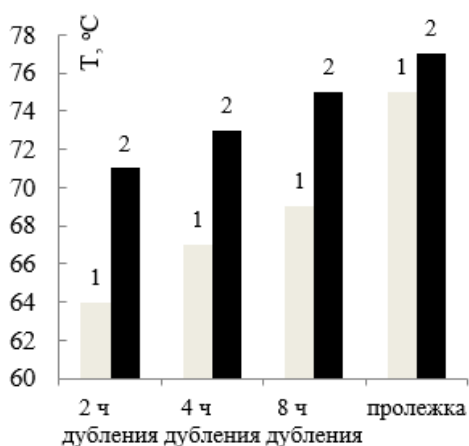


Рис. 4. Влияние длительности обработки на гидротермическую устойчивость ( $T^{\circ}\text{C}$ ) коллагена при дублении диальдегид мальтодекстрином, полученным при окислении пероксидом водорода (1), периодатом натрия (2)

Fig. 4. Influence of the duration of treatment on the hydrothermal stability ( $T^{\circ}\text{C}$ ) of collagen during tanning with dialdehyde maltodextrin obtained by oxidation with hydrogen peroxide (1), sodium periodate (2)

Из данных, представленных на диаграмме, видно, что температура гидротермической устойчивости (сваривания) постепенно растет с увеличением продолжительности обработки. При этом значения температуры сваривания образцов при обработке мальтодекстрином, окисленным периодатом натрия, растет более интенсивно. Требуется как минимум 8 ч, чтобы получить полуфабрикат с

температурой сваривания  $74^{\circ}\text{C}$ , достаточной для стабилизации коллагеновой матрицы. В процессе пролежки в течение 24 ч температура сваривания всех исследуемых образцов выравнивается и составляет  $75-77^{\circ}\text{C}$ , что соответствует показателям, характерным для кож растительного метода дубления.

В результате дубления диальдегидпроизводными мальтодекстрина получен полуфабрикат светлого цвета, хорошо наполненный, с высокими прочностными характеристиками. На рис. 5 приведены прочностные характеристики кожи, продубленной диальдегидмальтодекстрином, в сравнении с кожей хромового и растительного методов дубления.

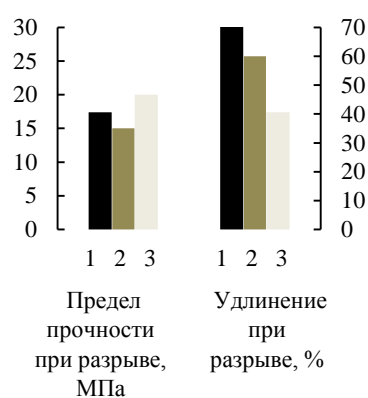


Рис. 5. Сравнение физико-механических свойств кож диальдегидного (1), хромового (2) и растительного дубления (3)  
Fig. 5. Comparison of the physical and mechanical properties of dialdehyde leather (1), chrome (2) and vegetable tanning (3)

Как следует из представленной диаграммы, кожа, обработанная диальдегидмальтодекстрином, по прочности сравнима с кожей растительного дубления, а по показателю удлинения при разрыве несколько превышает значения кожи хромового дубления. Такие свойства можно объяснить тем, что диальдегидные производные способны не только интенсивно структурировать коллаген дермы, но и отлагаться в межструктурных пространствах, оказывая наполняющее действие. Кожа, полученная с использованием в качестве дубителя окисленного мальтодекстрина, отличается от кож хромового дубления отсутствием токсичных соединений хрома, возможностью переработки отходов производства биотехнологическими методами, отсутствием проблем с утилизацией материала.

#### ВЫВОДЫ

В результате проведенного исследования показана возможность получения наноразмерного

структурирующего реагента на основе диальдегидного производного мальтодекстрина. Установлено, что с увеличением времени окисления степень окисления и количество альдегидных групп в мальтодекстрине увеличивается. Максимальная степень окисления достигается через 4 ч обработки мальтодекстрина периодом натрия. Исследование взаимодействия окисленного мальтодекстрина с белками на модельных соединениях (пленка желатина) показало, что с увеличением степени окисления мальтодекстрина температура плавления желатина возрастает, при этом увеличивается прочность желатиновых пленок.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Krishnamoorthy G., Sadulla S., Sehgal P.K., Mandal A.B.** Greener approach to leather tanning process: d-Lysine aldehyde as novel tanning agent for chrome-free tanning. *J. Clean. Prod.* 2013. N 42. P. 277-286. DOI: 10.1016/j.jclepro.2012.11.004.
2. **Madhan B., Muralidharan C., Jayakumar R.** Study on the stabilisation of collagen with vegetable tannins in the presence of acrylic polymer. *Biomaterials.* 2002. V. 23. N 14. P. 2841-2847. DOI: 10.1016/S0142-9612(01)00410-0.
3. **Raghava Rao. J., Chandrababu N.K., Muralidharan C., Balachandran Unni Nair, Rao P.G., Ramasami T.** Recouping the Wastewater: A Way Forward for Cleaner Leather Processing. *J. Clean. Prod.* 2003. V. 11. N 5. P. 591-599. DOI: 10.1016/S0959-6526(02)00095-1.
4. **Четвертнева И.А., Каримов О.К., Тептерева Г.А., Тивас Н.С., Мовсумзаде Э.М., Бабаев Э.Р.** Компоненты древесины как источники пентозансодержащего сырья для синтеза полезных соединений, продуктов и реагентов. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2021. Т. 64. Вып. 3. С. 107-115. DOI: 10.6060/ivkkt.20216403.6363.
5. **Ramesha M., Palanikumarb K., Hemachandra Reddy K.** Plant fibre based bio-composites: Sustainable and renewable green materials. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 2017. V. 79. N 11. P. 558-584. DOI: 10.1016/j.rser.2017.05.094.
6. **Чурсин В.И.** Окислительная модификация хитозана. *Пласт. массы.* 2011. №5. С. 35-39.
7. **Чурсин В.И., Чиркова Н.А.** Дубящая способность окисленной ГЭЦ. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2007. Т. 50. Вып. 10. С. 132-135.
8. **Koerkamp C.K., Granet R., Zerrouki R., Villandier N., Jérôme F., Barrault J., Krausz P.** Efficient oxidative modification of polysaccharides in water using H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> activated by iron sulfophthalocyanine. *Carbohydr. Polym.* 2009. V. 78. P. 938-934. 10.1016/j.carbpol.2009.07.021.
9. **Гребенникова О.В., Михайлова А.Н., Молчанов В.П., Сульман А.М., Долуда В.Ю., Матвеева В.Г.** Полимерные носители для иммобилизации ферментов в синтезе биологически активных соединений. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2021. Т. 64. Вып. 1. С. 67-72. DOI: 10.6060/ivkkt.20216401.6223.
10. **Василькевич В.М., Соболев Ю.А., Филонов В.П.** Некоторые аспекты экспериментального изучения и гигиенической оценки дезинфицирующих средств, используемых в организациях здравоохранения и пищевой промышленности. *Здоровье и окр. среда.* 2016. № 26. С. 210-213.

Показано, что использование окисленного мальтодекстрина в процессе дубления позволяет получать полуфабрикат, не уступающий традиционным видам кож по органолептическим и физико-механическим показателям. Полученные результаты являются предпосылкой для синтеза реакционноспособных дубителей и апробации их в технологии экологически чистого дубления без использования соединений хрома.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.*

*The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.*

#### REFERENCES

1. **Krishnamoorthy G., Sadulla S., Sehgal P.K., Mandal A.B.** Greener approach to leather tanning process: d-Lysine aldehyde as novel tanning agent for chrome-free tanning. *J. Clean. Prod.* 2013. N 42. P. 277-286. DOI: 10.1016/j.jclepro.2012.11.004.
2. **Madhan B., Muralidharan C., Jayakumar R.** Study on the stabilisation of collagen with vegetable tannins in the presence of acrylic polymer. *Biomaterials.* 2002. V. 23. N 14. P. 2841-2847. DOI: 10.1016/S0142-9612(01)00410-0.
3. **Raghava Rao. J., Chandrababu N.K., Muralidharan C., Balachandran Unni Nair, Rao P.G., Ramasami T.** Recouping the Wastewater: A Way Forward for Cleaner Leather Processing. *J. Clean. Prod.* 2003. V. 11. N 5. P. 591-599. DOI: 10.1016/S0959-6526(02)00095-1.
4. **Chetvertneva I.A., Karimov O.K., Teptereva G.A., Tivas N.S., Movsumzade E.M., Babayev E.R.** Wood components as sources of pentosan-containing raw materials for the synthesis of useful compounds, products and reagents. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]* 2021. V. 64. N 3. P. 107-115 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20216403.6363.
5. **Ramesha M., Palanikumarb K., Hemachandra Reddy K.** Plant fibre based bio-composites: Sustainable and renewable green materials. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 2017. V. 79. N 11. P. 558-584. DOI: 10.1016/j.rser.2017.05.094.
6. **Chursin V.I.** Oxidative modification of chitosan. *Plast. Massy.* 2011. N 5. P. 35-39 (in Russian).
7. **Chursin V.I., Chirkova N.A.** Synthesis and properties of methylol derivatives of urethane alcohols. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]* 2007. V. 53. N 1. P. 91-93 (in Russian).
8. **Koerkamp C.K., Granet R., Zerrouki R., Villandier N., Jérôme F., Barrault J., Krausz P.** Efficient oxidative modification of polysaccharides in water using H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> activated by iron sulfophthalocyanine. *Carbohydr. Polym.* 2009. V. 78. P. 938-934. 10.1016/j.carbpol.2009.07.021.
9. **Grebennikova O.V., Mikhailova A.N., Molchanov V.P., Sulman A.M., Doluda V.Y., Matveeva V.G.** Polymeric carriers for the immobilization of enzymes in the synthesis of biologically active compounds. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]* 2021. V. 64. N 1. P. 67-72 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20216401.6223.
10. **Vasilkevich V.M., Sobol Yu. A., Filonov V.P.** Some aspects of experimental study and hygienic assessment of disinfectants used in health care organizations and the food industry. *Zdorov'ye Okr. Sreda.* 2016. N 26. P. 210-213 (in Russian).

11. Barreto A., Vargas M., Garrido C. Auto-Cross-Linking Hydrogels of Hydrogen Peroxide-Oxidized Pectin and Gelatin for Applications in Controlled Drug Delivery. *Int. J. Polym. Sci.* 2019. N 3. P. 1-11. DOI: 10.1155/2019/9423565.
12. Changdao Mu, Jimin Guo, Xinying Li, Wei Lin, Defu Li. Preparation and properties of dialdehyde carboxymethyl cellulose crosslinked gelatin edible films. *Food Hydrocol.* 2012. V. 27. N 1. P. 22-29. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2011.09.005.
13. Veymar G., Tacias-Pascacio Claudia Ortiz, Nazzoly Rueda, Ángel Berenguer-Murcia, Niuris Acosta, Inmaculada Aranaz, Concepción Civera, Roberto Fernandez-Lafuente, Andrés R. Alcántara. Dextran Aldehyde in Biocatalysis: More Than a Mere Immobilization System. *Catalysts.* 2019. V. 9. N 7. P. 622. DOI: 10.3390/catal9070622.
14. Kanth S.V., Nirenjana M., Archana T.N., Madhan B., Raghava Rao J., Unni Nair B. Dialdehyde alginate acid -a novel biopolymeric tanning agent. *J. Am. Leather Chem. Assoc.* 2007. V. 102. P. 353-362.
15. Ozkan C.K., Ozgunay H. Alternative Tanning Agent for Leather Industry from a Sustainable Source. *J. Am. Leather Chem. Assoc.* 2021. V. 116. N 3. P. 89-99. DOI: 10.34314/jalca.v116i3.4249.
16. Зобкова З.С. Пищевые добавки и функциональные ингредиенты. *Молочная пром-ть.* 2007. № 10. С. 6 – 10.
17. Гумникова В.И., Дятлов В.А., Гребенева Т.А., Круппа И.С., Киреев В.В., Бахмутов В.И. Изучение химического строения диальдегиддекстранов, полученных периодатным окислением в различных условиях. *Пласт. массы.* 2013. № 6. С. 44-50.
18. Liu B.H., Wei Z., Wang Y.N., Bi Shi. Preparation of Oxidized Poly (2-hydroxyethyl acrylate) with Multiple Aldehyde Groups by TEMPO-mediated Oxidation for Gelatin Crosslinking. *J. Am. Leather Chem. Assoc.* 2019. V. 114. P. 163-170.
19. Bruneel D., Schacht E. Chemical modification of pullulan: 1. Periodate oxidation. *Polymer.* 1993. V. 34. N 12. P. 2628-2632. DOI: 10.1016/0032-3861(93)90600-F.
20. Бутрим С.М., Бильдюкевич Т.Д., Бутрим Н.С., Юркштович Т.Л. Модификация картофельного крахмала под действием растворов пероксида водорода. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2015. Т. 58. Вып. 1. С. 28-32.
21. Mousazadeh S., Ehsani A., Moghaddas Kia E.M., Ghasempour Z. Zinc oxide nanoparticles and periodate oxidation in developing pH-sensitive packaging film based on modified gelatin. *Food Packag. Shelf Life.* 2021. V. 28. N 18. P. 1-10. DOI: 10.1016/j.fpsl.2021.100654.
22. Мироненко Н.В., Шкутина И.В., Селеменев В.Ф. Особенности мицеллообразования пентациклических гликозидов в водных растворах. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2021. Т. 64. Вып. 4. С. 26-33. DOI: 10.6060/ivkkt.20216404.6347.
11. Barreto A., Vargas M., Garrido C. Auto-Cross-Linking Hydrogels of Hydrogen Peroxide-Oxidized Pectin and Gelatin for Applications in Controlled Drug Delivery. *Int. J. Polym. Sci.* 2019. N 3. P. 1-11. DOI: 10.1155/2019/9423565.
12. Changdao Mu, Jimin Guo, Xinying Li, Wei Lin, Defu Li. Preparation and properties of dialdehyde carboxymethyl cellulose crosslinked gelatin edible films. *Food Hydrocol.* 2012. V. 27. N 1. P. 22-29. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2011.09.005.
13. Veymar G., Tacias-Pascacio Claudia Ortiz, Nazzoly Rueda, Ángel Berenguer-Murcia, Niuris Acosta, Inmaculada Aranaz, Concepción Civera, Roberto Fernandez-Lafuente, Andrés R. Alcántara. Dextran Aldehyde in Biocatalysis: More Than a Mere Immobilization System. *Catalysts.* 2019. V. 9. N 7. P. 622. DOI: 10.3390/catal9070622.
14. Kanth S.V., Nirenjana M., Archana T.N., Madhan B., Raghava Rao J., Unni Nair B. Dialdehyde alginate acid -a novel biopolymeric tanning agent. *J. Am. Leather Chem. Assoc.* 2007. V. 102. P. 353-362.
15. Ozkan C.K., Ozgunay H. Alternative Tanning Agent for Leather Industry from a Sustainable Source. *J. Am. Leather Chem. Assoc.* 2021. V. 116. N 3. P. 89-99. DOI: 10.34314/jalca.v116i3.4249.
16. Zobkova Z.S. Food additives and functional ingredients. *Molochnaya Prom-t'*. 2007. N 10. P. 6 – 10 (in Russian).
17. Gumnikova V.I., Dyatlov V.A., Grebeneva T.A., Kruppa I.S., Kireev V.V., Bakhmutov V.I. Study of the chemical structure of dialdehyde dextrans obtained by periodate oxidation under various conditions. *Plast. Massy.* 2013. N 6. P. 44-50 (in Russian).
18. Liu B.H., Wei Z., Wang Y.N., Bi Shi. Preparation of Oxidized Poly (2-hydroxyethyl acrylate) with Multiple Aldehyde Groups by TEMPO-mediated Oxidation for Gelatin Crosslinking. *J. Am. Leather Chem. Assoc.* 2019. V. 114. P. 163-170.
19. Bruneel D., Schacht E. Chemical modification of pullulan: 1. Periodate oxidation. *Polymer.* 1993. V. 34. N 12. P. 2628-2632. DOI: 10.1016/0032-3861(93)90600-F.
20. Butrim S.M., Bildyukevich T.D., Butrim N.S., Yurkshtovich T.L. Modification of potato starch by the action of hydrogen peroxide solutions. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.].* 2015. V. 58. N 1. P. 28-32 (in Russian).
21. Mousazadeh S., Ehsani A., Moghaddas Kia E.M., Ghasempour Z. Zinc oxide nanoparticles and periodate oxidation in developing pH-sensitive packaging film based on modified gelatin. *Food Packag. Shelf Life.* 2021. V. 28. N 18. P. 1-10. DOI: 10.1016/j.fpsl.2021.100654.
22. Mironenko N.V., Shkutina I.V., Selemenov V.F. Features of micelle formation of pentacyclic glycosides in aqueous solutions. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.].* 2021. V. 64. N 4. P. 26-33 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20216404.6347.

Поступила в редакцию 05.07.2021  
Принята к опубликованию 17.12.2021

Received 05.07.2021  
Accepted 17.12.2021