

ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

DOI - 10.32743/UniChem.2022.102.12.14520

**СТРУКТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХИТИНОВ И ХИТОЗАНОВ
ИЗ РАЗНЫХ ИСТОЧНИКОВ****Ахымбетова Гулнара Джолымбетовна**

канд. хим. наук, вед. науч. сотр.,
Институт химии и физики полимеров АН РУз,
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: gulnora.akhymbetova@mail.ru

Карлыбаева Бахтигул Пердебаевна

докторант,
Каракалпакский научно-исследовательский институт
Естественных наук КК АН РУз,
Республика Узбекистан, г. Нукус
E-mail: bqarlibaeva@inbox.ru

Карева Наталья Дмитриевна

мл. науч. сотр.,
Институт химии и физики полимеров АН РУз,
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: polymer@academy.uz

Югай Светлана Михайловна

канд. хим. наук, ст. науч. сотр., вед. науч. сотр.,
Институт химии и физики полимеров АН РУз,
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: polymer@academy.uz

Рашидова Сайёра Шарафовна

д-р хим. наук, проф., академик, директор,
Института химии и физики полимеров АН РУз,
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: polymer@academy.uz

**STRUCTURAL AND PHYSICO-CHEMICAL INVESTIGATIONS CHITINS AND CHITOSANS
FROM DIFFERENT SOURCES****Gulnara Akhymbetova**

Cand. of Chem. Sci., Leading Researcher,
Institute of Chemistry and Physics of Polymers of the AS RUz,
Republic of Uzbekistan, Tashkent

Bakhtigul Karlybaeva

Doctoral student,
Karakalpak Research Institute Natural Sciences KK AS RUz,
Republic of Uzbekistan, Nukus

Natalya Kareva

Junior Researcher,
Institute of Chemistry and Physics of Polymers of the AS RUz,
Republic of Uzbekistan, Tashkent

Svetlana Yugay*Cand. of Chem. Sci., Leading Researcher,
Institute of Chemistry and Physics of Polymers of the AS RUz,
Republic of Uzbekistan, Tashkent***Sayyora Rashidova***Doctor of Chemistry, Prof., Academician,
Director, Institute of Chemistry and Physics of Polymers of the AS RUz,
Republic of Uzbekistan, Tashkent*

АННОТАЦИЯ

Разработан процесс выделения хитина и хитозана из циста *Artemia parthenogenetia* Аральского моря (А. моря), из отходов куколок тутового шелкопряда *Bombyx Mori* и подмора пчел. Изучено влияние различных параметров проведения процесса выделения хитина и хитозана на молекулярные характеристики и степень деацетилирования. Изучены структурные характеристики хитина (ХТ), хитозана (ХЗ), полученного из разного сырья физико-химическими методами, такими как, ИК-Фурье спектроскопией, рентгеноструктурным анализом и элементным анализом. Показана и доказана возможность выделения хитина из разного сырья: из циста *Artemia parthenogenetia* Аральского моря (А. моря), из куколок тутового шелкопряда *Bombyx Mori*.

ABSTRACT

A process has been developed for the isolation of chitin and chitosan from the cyst of *Artemia parthenogenetia* of the Aral Sea (A. sea), from the waste of silkworm pupae *Bombyx Mori* and dead bees. The influence of various parameters of the process of isolation of chitin and chitosan on the molecular characteristics and the degree of deacetylation was studied. The structural characteristics of chitin (ChT), chitosan (ChS) obtained from various raw materials by physico-chemical methods, such as IR-Fourier spectroscopy, X-ray diffraction analysis and elemental analysis, have been studied. The possibility of isolating chitin from various raw materials has been shown and proven: from the cyst of *Artemia parthenogenetia* of the Aral Sea (A. sea), from the pupae of the silkworm *Bombyx Mori*.

Ключевые слова: хитин, хитозан, цисты Артемии, ИК-спектроскопия, рентгенография.

Keywords: chitin, chitosan, *Artemia* cysts, IR spectroscopy, radiography.

Введение. Одним из важнейших достижений мирового научно-технического прогресса в области изыскания новых перспективных материалов за последние тридцать лет стало изучение, создание и внедрение в практику технологии получения хитина, хитозана и их производных. В Узбекистане потенциальным источником хитина и хитозана служит постоянно возобновляемое сырье-куколки тутового шелкопряда, являющиеся отходами шелкомотальных производств, ежегодное количество которых составляет от 10 000 до 15 000 т. в год. Важно обратить внимание, что термин “хитозан” не относится к единственной четко определенной структуре, хитозаны могут отличаться по молекулярному весу, степени ацетилирования и последовательности (то есть распределены ли ацетилированные остатки вдоль основы в беспорядочной манере или боковой). Уникальная структурная особенность хитозана-это присутствие первичного амина в С-2 положении остатков глюкозамина. Немногие биологические полимеры имеют такое высокое содержание первичных аминов, и эти амины придают важные функциональные свойства хитозану [1].

В настоящее время мировое производство хитина и его производных составляет около 3000 т в год. В то же время большие запасы хитинсодержащего сырья делают принципиально возможным существенное увеличение объемов производства этих полимеров, полисахаридов. Повышенное внимание к вопросам рационального использования природных ресурсов, решение экологических проблем, в том

числе путем расширения использования биodeградируемых (разрушаемых имеющимися в окружающей среде микроорганизмами) полимеров, к которым относится хитин, а также широкие возможности использования химических превращений хитина для получения разнообразных по строению и свойствам материалов делают этот полимер одним из самых интересных и перспективных видов сырья для различных областей применения

Хитозан является уникальным биополимером, получаемым деацетилированием природного биополимера – хитина, основными источниками которого являются ракообразные, грибы и насекомые [3-9]. В последние годы немецкими учеными был выделен и изучен хитин из морских губок [10]. В целом, углеводные биополимеры в живой клетке выполняют роль конструкционного материала (целлюлоза, хитин) и энергетического резерва (крахмал, гликоген), а также осуществляют многочисленные биологические функции с высокой специфичностью. Сюда следует отнести участие этих биополимеров в процессах, связанных с взаимодействием клетки с внешней средой, другими клетками, различными внеклеточными соединениями и комплексами. К настоящему времени доказана и широко изучается роль углеводсодержащих биополимеров в межклеточных взаимодействиях, в дифференциации клеток, в формировании многоклеточных систем, в развитии злокачественных новообразований, в процессах оплодотворения и т.д. Следует подчеркнуть, что и

практическое использование природных полисахаридов неуклонно растет, и особо следует отметить простейшее производное хитина – хитозан, а также его разнообразные модификации и композиты. Несомненное значение имеет также все возрастающая роль этих уникальных аминополисахаридов для современной медицины. Высокая ранозаживляющая и сорбционная способность, противоопухолевая и противовирусная активности, отсутствие хронической и острой токсичности способствуют широкому использованию этих биополимеров в разработке новых перспективных лекарственных препаратов, средств доставки лекарств, раневых покрытий и шовных материалов для медицины, радиопротекторов [9]. Препараты на основе хитозана нашли также применение в ветеринарии, косметологии, лечебном питании, производстве БАДов, биопестицидов, биосенсоров, хроматографических материалов т.д.

В связи с этим важное значение имеет выделение хитина и получение хитозана из разного сырья, исследование структурных особенностей материалов современными физическими и физико-химическими методами [11].

Целью исследования является изучение сырьевой базы хитинового сырья Узбекистана, получение хитозана и сравнение его физико-химических свойств.

Материалы и методы

В качестве сырья являлись цисты рачка артемии Аральского моря, измельченные на мельнице до размера частиц 40 мкм, при влажности 8-10% и отход от шелкопряда влажности 8-10%, подмор пчел 8-10% что соответствует нормативным показателям. Все хитиновое сырье обрабатывалось по стандартной методике [4].

Характеристическую вязкость полученных образцов хитозана определялась в растворе 2% уксусной кислоты при температуре 25°C в вискозиметре

Уббеллоде; при исходной массовой доле образца 0,5 г/дл. Молекулярная масса рассчитывалась по формуле Марка-Куна-Хаувинка $[\eta]=KM^a$ $[\eta]=1,4 \cdot 10^{-4} M^{0,83}$. Степень дезацетилирования образцов определялась кондуктометрическим титрованием на приборе «Mettler-Toledo AG» («Analytical CH-8603 Schwerzenbach», Швейцария) с использованием в качестве титра 0.1 М NaOH для раствора хитозана, растворенного в 0.1 М растворе HCl.

ИК-спектроскопические исследования проводили на приборе ИК-Фурье Inventio-S (Bruker, Германия) с приставкой нарушенного полного внутреннего отражения в диапазоне от 500 до 4000 см⁻¹. ИК-спектроскопия, в частности с приставкой многократного нарушенного полного внутреннего отражения, широко используется для изучения изменения химического состава, модифицированного хитозана.

Рентгенографические исследования проведены на приборе Miniflex 600 (Rigaku, Япония) с монохроматизированным CuK_α-излучением, выделенным никелевым фильтром с длиной волны $\lambda=1,5418 \text{ \AA}$ при 40 кВ и силой тока 15 мА. Образцы исследовались в виде порошка. Съемку проводили в интервале $2\theta=2^\circ-70^\circ$.

Содержание общего азота в хитине и хитозане определяли методом Дюма [12] путем сжигания навески в кварцевой трубке в атмосфере двуокиси углерода.

Результаты и обсуждение. Нами получены хитины из разных источников: циста *Artemia parthenogenetia* Аральского моря, куколок тутового шелкопряда *Bombyx mori* и подмора пчел. Отмечено, что для получения однородного по свойствам хитина и хитозана требуется индивидуальные режимы обработки. Характеристики полученных образцов хитина из различного сырья представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Качественные характеристики хитина, полученного из различного сырья

Образцы хитина из различного сырья	Содержание влаги, %	Содержание золы, %	Содержание азота %	Выход хитина %
Bombyx mori	8-10	0,13	6,83	5,5-7
Цист Артемии	8-10	1,10	6,30	3-10,5
Подмор пчел	8-10	0,57	5,20	10-12
По НД:	азот-5-7%; зола:2%			

Таким образом, элементный анализ образцов выделенных хитинов выявил, что содержание азота во всех образцах колеблется от 5,20% до 6,83%, что близко к теоретическим значениям и свидетельствует

о высокой степени чистоты выделенных образцов, содержание золы, соответствует требованиям, указанным в стандарте предприятия Tsh 88-2:13.-2021 и подтверждает факт получения хитина.

Таблица 2.

Качественные характеристики хитозана полученного из различного сырья

Образец хитозана из различного сырья	влага, %	зола, %	азота, %	выход хитозана	морфология образцов
<i>Bombyx mori</i>	7,5±2,1	0,89±0,1	8,64	3,5±0,2	Коричневая порошок
Цист Артемии	6,0±0,8	1,83±0,4	8,28	3,0±0,8	Порошок темно-зеленого цвета
Подмор пчел	4,7±0,1	2,0±0,1	7,11	5,0±0,3	Темно-коричневые пластина
По НД:	%N >8%; зола < 2% W < 12%				

Как видно из таблицы 2 по результатам элементного анализа полученные образцы соответствуют хитозану. Однако образцы хитозана *Bombyx mori* несколько отличаются по всем показателям по сравнению с образцами хитозана из циста *Artemia parthenogenetia* Аральского моря. Так как, зольность в хитозане из циста *Artemia parthenogenetia* Аральского моря -1,83%, а в хитозане *Bombyx mori* -0,89%, подмора пчел – 2,0, а зольность краба-0,3, отсюда и

содержание азота в *Bombyx mori* - 8,64% по сравнению с содержанием азота циста *Artemia parthenogenetia* - 8,28%, а подмора пчел – 7,11%. Данные показатели также доказывают получение хитозана и зависят от условий синтеза хитозана.

Далее были определены физико-химические свойства исследуемых образцов природных полимеров представлены в таблице 3.

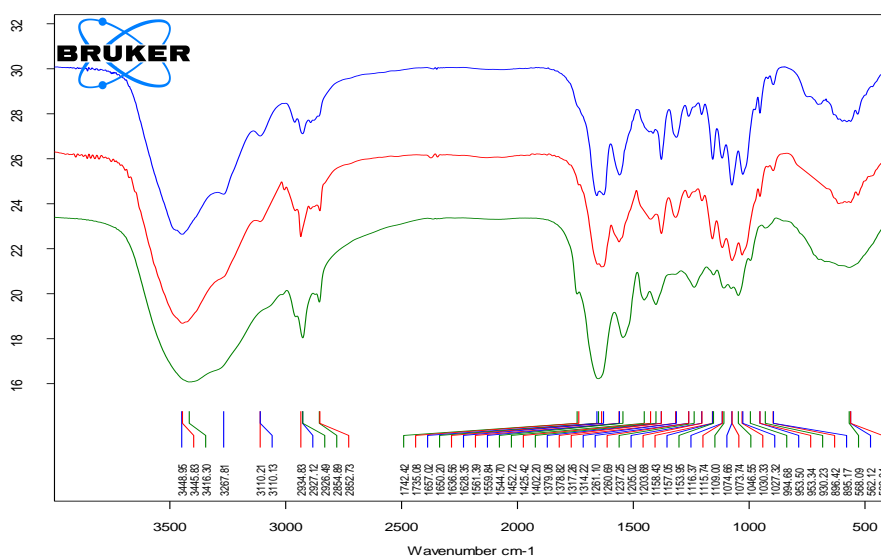
Таблица 3.

Сравнительная характеристика физико-химических свойств исследуемых образцов хитозана

Исходное сырье	Характеристическая вязкость [η], дл/г	Молекулярная масса, кДа	Степень деацетилирования (кондуктометрическим титрованием)
<i>Bombyx mori</i>	1,67	81	76±9,6
Цист Артемии	2,23	89	72±5,6
Подмор пчел	0,24	6,5	67,6±1,0

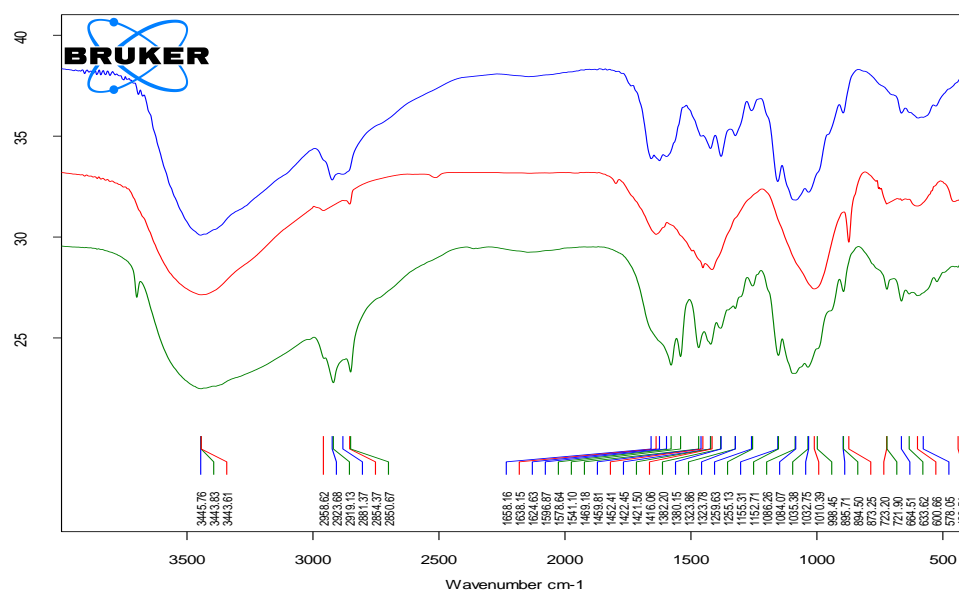
Анализируя полученные данные, можно предположить, что различия в определении степени деацетилирования, возможно связаны с различиями в структуре образцов. Число деацетилирования показывает процентное содержание D-глюкозамина в молекуле хитозана из отходов тутового шелкопряда *Bombyx mori* содержится 76±9,6 %, а в хитозане

циста *Artemia parthenogenetia* содержится 72±5,6 % и в хитозане из подмора пчел содержится 67,6±1,0 %. В случае образца хитозана из подмора пчел различие возможно связано с выделением комплекса хитозана с меланинами (продуктами полимеризации аминокислот).



F:\BAZA DANIBaza dani- 2022\Aximbetova 12.04.2022\Хитин 1.0	Хитин 1	Poroshok	12.04.2022
F:\BAZA DANIBaza dani- 2022\Aximbetova 24.05.2022\Хитин Пчела.0	Хитин Пчела	Poroshok	24.05.2022
F:\BAZA DANIBaza dani- 2022\Aximbetova 21.04.2022\Циста измельченный.0	Циста измельченный	Poroshok	21.04.2022

a



F:\BAZA DAN\Baza dani- 2022\Aximbetova G 21.01.2022\obr №7.1 Xitozan.0	obr №7.1 Xitozan	Poroshok	21.01.2022
F:\BAZA DAN\Baza dani- 2022\Aximbetova 29.06.2022\Xitozan Пчела.0	Хитозан Пчела	Poroshok	28.06.2022
F:\BAZA DAN\Baza dani- 2022\Aximbetova 21.04.2022\Xitozan Циста.0	Хитозан 50% 94,100С	Poroshok	21.04.2022

6

Рисунок 1. ИК спектры: а) хитинов б) хитозанов из различного сыра

Проведены ИК-спектроскопические исследования хитина (рис. 1.а) полученного из цист *Artemia parthenogenetia* Аральского моря дает четкий спектр в области 500 – 3600 cm^{-1} со всеми полосами поглощения характерными для кристаллического хитина. Наблюдается широкая полоса поглощения в области 3109 cm^{-1} -3600 cm^{-1} с максимумом в области 3444 cm^{-1} за счет валентных колебаний межмолекулярных и внутримолекулярных, связанных ОН групп, и симметричных колебаний аминогрупп- N-H. Отметим, что полоса поглощения ОН групп, включающая Н-связи в области 3444 cm^{-1} указывает на интенсивное межмолекулярное взаимодействие. Можно отметить также валентные колебания С=О групп в группировке Амид I в области 1653 cm^{-1} , Амид II в области 1561 cm^{-1} и резкие интенсивные полосы с максимумом в области 2925 cm^{-1} валентные и деформационные колебания метильных групп. Полосы 1000 cm^{-1} 1200 cm^{-1} относятся к различным колебаниям С-О-С групп. Полосы 1075 cm^{-1} и 1029 cm^{-1} соответствует валентным колебаниям групп С-О, все полосы соответствуют хитину, т.е. наблюдаются все пики характерные хитину и соответствуют литературным данным [9].

ИК-спектроскопические исследования хитина из *Bombux mori* выявили в его спектре широкую полосу поглощения 3100-3700 cm^{-1} с максимумом в области 3449 cm^{-1} за счет валентных колебаний межмолекулярных и внутримолекулярных связанных ОН групп и симметричных колебаний соответствующих аминам N-H. Наблюдается полоса поглощения при 1656 cm^{-1} Амид I (валентные колебания С=О групп). Полоса поглощения при 1559 cm^{-1} угловая деформация N-H аминогруппы. Амид II интенсивная полоса с максимумом в области 2927 cm^{-1} валентные и деформационные колебания метильных

групп. Полосы 1000 cm^{-1} и 1200 cm^{-1} относятся к различным колебаниям С-О-С групп. Полосы 1075 cm^{-1} и 1029 cm^{-1} соответствует валентным колебаниям групп С-О все полосы соответствуют хитину.

Спектр хитина пчел в интервале 2852-3110 cm^{-1} (менее интенсивные, чем у других типов хитина) и большое число полос в 1000-1400 cm^{-1} , соответствующих валентным и различным видам деформационных колебаний CH_2 , С-С, ОН, С-ОН, С=C и т. д.

ИК-спектроскопические исследования хитина полученного из куколок тутового шелкопряда *Bombux Mori* и подмора пчел больше приближается к спектру хитина из цист *Artemia parthenogenetia* по своим спектральным характеристикам (число, и интенсивность полос, их частоты).

На ИК-спектре (рис. 1.б) хитозана из циста *Artemia parthenogenetia* Аральского моря наблюдается полоса поглощения ОН и NH, включенная в водородную связь в виде интенсивной широкой полосы в области 3600-3000 cm^{-1} . Валентные колебания СН CH_2 групп наблюдаются в области – 2925 cm^{-1} , 2923 cm^{-1} и 2855 cm^{-1} . Наблюдается полоса поглощения в области 1658 cm^{-1} , объясняется осевым растяжением связей С=О ацетамида (амид-I) и полоса при 1596 cm^{-1} угловая деформация N-H аминогруппы (амид-II) и резкие интенсивные полосы поглощения различных деформационных колебаний (их отнесение имеется в наших работах и в литературе) в области 1382-1200 cm^{-1} . Наблюдаются все полосы поглощения характерные хитозану.

На ИК-спектре хитозана, полученного из хитина *Bombux mori* наблюдаются полосы поглощения ОН и NH, включенные в водородную связь, и проявляются в виде интенсивной широкой полосы в области 3600-3000 cm^{-1} . Валентные колебания СН и CH_2 групп наблюдаются в области-2923 cm^{-1} и 2881 cm^{-1} . Пик при

1663 cm^{-1} объясняется осевым растяжением связей C=O ацетамида (амид I) и полоса при 1596 cm^{-1} – угловая деформация N-H аминокруппы (амид II). Наблюдается полоса при 1380 cm^{-1} симметричная угловая деформация CH_3 . Полосы поглощения в интервале 900 cm^{-1} и 1200 cm^{-1} соответствуют полисахаридному скелету и включают области различных деформационных колебаний: гликозидных связей C-O-C и C-C групп., т.е. наблюдаются все полосы поглощения характерные хитозану.

ИК-спектр хитозана полученного деацетилизацией хитина из подмора пчел, в плане числа и интенсивности полос также вполне соответствует имеющимся в литературе данным хитозану из пчелиного подмора. Это интенсивная широкая полоса (OH, NH) с максимумом 3444 cm^{-1} , полосы валентных колебаний $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ при 2854 и 2959 cm^{-1} полосы Амид I, Амид IV (1637, 1452 и 1415 cm^{-1}). Достаточно разрешены интенсивные полосы поглощения 873-1008 cm^{-1} соответствующие различным типам колебаний C-C, C-O-C, C-O цикла и т.д.

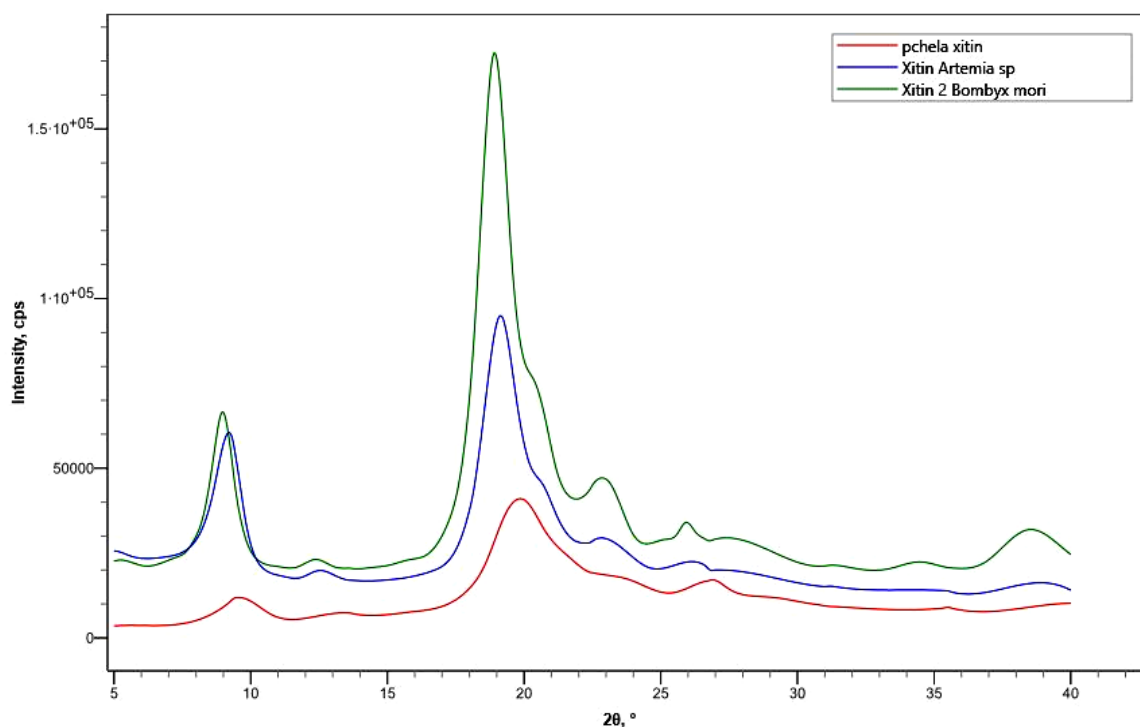
Рентгеноструктурный анализ образцов показал, что на дифрактограммах хитина из цист *Artemia parthenogenetia* Аральского моря наблюдаются кристаллические рефлексы с максимумами при $2\theta=9.5^\circ$, 19.5° в рассмотренном интервале углов рассеяния. Наиболее интенсивный максимум, наблюдаемый при значении угла $2\theta=19.5^\circ$, относится к кристаллографическому рефлексу (110). Рентгенофазовый анализ показал, что образец хитина, выделенный из цист *Artemia sp.* (рис.2.а) Аральского моря существует в двух полиморфных модификациях, которые имеют различные кристаллические сингонии. Первая фаза – α -хитин с орторомбической сингонией имеет параметры решетки: $a=4.85 \text{ \AA}$, $b=19.05 \text{ \AA}$, $c=9.31 \text{ \AA}$, $\alpha=\beta=\gamma=90.00^\circ$. Вторая фаза – β -хитин с параметрами решетки: $a=9.55 \text{ \AA}$, $b=2.98 \text{ \AA}$, $c=10.41 \text{ \AA}$, $\alpha=\gamma=90.00^\circ$,

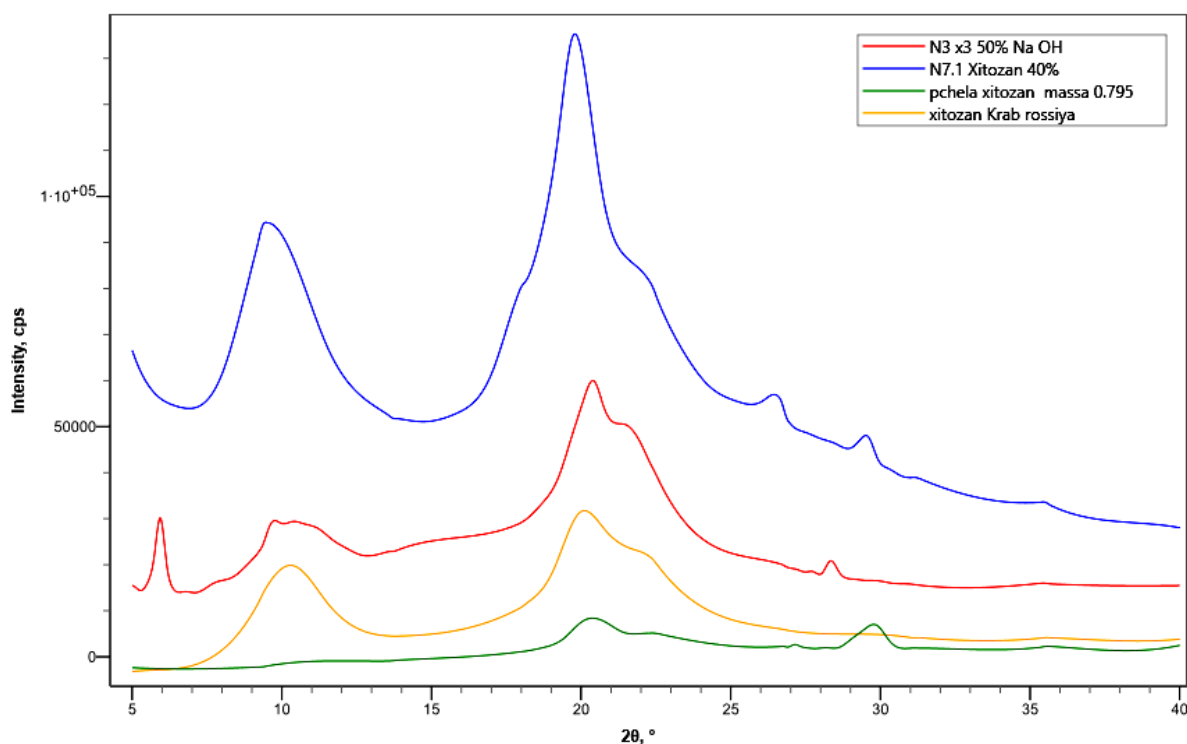
$\beta=97.43^\circ$ обладает моноклинной сингонией. Как видно из экспериментальных данных в образце хитина выделенного из цист *Artemia parthenogenetia* Аральского моря 65 % кристаллической фазы имеет моноклинную сингонию, которая соответствует β -фазе, а 35 % имеет орторомбическую сингонию соответствующей α -фазе.

В дифрактограммах хитина из *Bombux mori* наблюдаются все кристаллические рефлексы характерные хитинам, но при этом рентгенофазовый анализ показал, что в образце хитина из *Bombux mori* существует еще и третья полиморфная модификация, которая имеет триклинную кристаллическую сингонию. Первая фаза – α -хитин с орторомбической сингонией имеет параметры решетки: $a=4.61 \text{ \AA}$, $b=19.85 \text{ \AA}$, $c=10.01 \text{ \AA}$, $\alpha=\beta=\gamma=90.00^\circ$. Вторая фаза – β -хитин с параметрами решетки: $a=4.62 \text{ \AA}$, $b=9.77 \text{ \AA}$, $c=10.33 \text{ \AA}$, $\alpha=\gamma=90.00^\circ$, $\beta=102.4^\circ$ с моноклинной сингонией. Третья фаза – γ -хитин с параметрами решетки: $a=5.63 \text{ \AA}$, $b=7.12 \text{ \AA}$, $c=9.55 \text{ \AA}$, $\alpha=93.18^\circ$, $\beta=98.44^\circ$, $\gamma=109.41^\circ$ с триклинной сингонией.

В дифрактограммах хитина из подмора пчел наблюдаются все кристаллические рефлексы характерные хитинам, но при этом рентгенофазовый анализ показал, что в образце хитина из подмора пчел существует еще и третья полиморфная модификация, которая имеет триклинную кристаллическую сингонию. Первая фаза – α -хитин с орторомбической сингонией имеет параметры решетки: $a=3.5 \text{ \AA}$, $b=33.0 \text{ \AA}$, $c=8.0 \text{ \AA}$, $\alpha=\beta=\gamma=90.00^\circ$. Вторая фаза – β -хитин с параметрами решетки: $a=5.38 \text{ \AA}$, $b=6.0 \text{ \AA}$, $c=8.8 \text{ \AA}$, $\alpha=\beta=90.00^\circ$, $\gamma=122.3^\circ$ с моноклинной сингонией. Третья фаза – γ -хитин с параметрами решетки: $a=5.09 \text{ \AA}$, $b=6.99 \text{ \AA}$, $c=9.38 \text{ \AA}$, $\alpha=69.79^\circ$, $\beta=90.00^\circ$, $\gamma=83.41^\circ$ с триклинной сингонией.

Следует заметить, что структура образцов хитина различного происхождения может несколько различаться.





6

Рисунок 2. Дифрактограмма: а) хитина и б) хитозана из различного сырья

Рентгеноструктурный анализ образцов показал, что на дифрактограммах хитозана, полученного из цист *Artemia parthenogenetia* хитина наблюдаются кристаллические рефлексы с максимумами при $2\theta=5.79^\circ$, 10.52° , 20.3° и 28.9° . При значении угла $2\theta=20.3^\circ$ наблюдается наиболее интенсивный максимум, который относится к кристаллографическому рефлексу (020) (рис.2.6). Рентгенофазовый анализ показал, что в образце хитозана сосуществуют кристаллы с триклинной и моноклинной сингониями, которые связаны с условиями деацетилирования. Хитозан с триклинной сингонией имеет параметры решетки $a=2.63 \text{ \AA}$, $b=9.01 \text{ \AA}$, $c=16.19 \text{ \AA}$, $\alpha=75.80^\circ$, $\beta=105.00^\circ$, $\gamma=98.00^\circ$. Степень кристалличности при переходе хитина в хитозан уменьшается, что хорошо согласуется с литературными данными [6-7].

Частичные отклонения параметров кристаллической решетки рассмотренных нами образцов хитозана полученного хитина из цист *Artemia parthenogenetia* и *Bombyx mori* от параметров, приведенных в работе [13-14] следует отнести к исходным различиям источников сырья и режимами термохимической обработки хитина в процессе его деацетилирования.

При этом на дифрактограммах хитозана, полученного из подмора пчел наблюдаются кристаллические рефлексы с максимумами при $2\theta=5.79^\circ$, 10.52° , 20.3° и 28.9° . При значении угла $2\theta=20.3^\circ$ наблюдается наиболее интенсивный максимум, который относится к кристаллографическому рефлексу (020). Рентгенофазовый анализ показал, что в образце хитозана сосуществуют кристаллы с триклинной и моноклинной сингониями, которые связаны с условиями деацетилирования. Хитозан с моноклинной

сингонией имеет параметры решетки $a=4.88 \text{ \AA}$, $b=6.52 \text{ \AA}$, $c=8.26 \text{ \AA}$, $\alpha=\gamma=90.00^\circ$, $\beta=96.58^\circ$.

Результаты рентгеноструктурного анализа показали, что степень кристалличности образца хитина из циста *Artemia parthenogenetia*, имеет более высокие значения параметра кристалличности по сравнению с образцами хитина из *Bombyx mori* и подмора пчел, что проявляется ярко выраженной рентгеновской дифрактограммой. Такой эффект свидетельствует об более упорядоченной ориентированной укладке молекул хитина циста *Artemia parthenogenetia* в слоистых пластинах, т.е. кристаллической структуре, образованной межмолекулярным взаимодействием выпрямленных цепей.

Таким образом, полученные результаты показали, что в зависимости от источников, выделенные хитины отличаются соотношением фазового состава. Выявлено, что у хитина, выделенного из цист *Artemia parthenogenetia* Аральского моря наблюдается два типа модификации α и β с соответствующими сингониями, но при этом для хитина, выделенного из *Bombyx mori* существуют α , β и γ модификации с орторомбическим, моноклинным и триклинным сингониями.

Вывод

1. На основании проведенных анализов, и сравнения физико-химических свойств образцов хитозана установлено, что наиболее близким к хитозану, можно считать хитозан полученный из *Bombyx mori* и из циста *Artemia parthenogenetia*.

2. Оптимальным источником хитинового сырья в Каракалпакстане для применения в сельском хозяйстве можно считать цисты *Artemia parthenogenetia*.

Список литературы

1. С.Ш. Рашидова, Р.Ю. Милушева, Хитин и хитозан *Vombux mori*: Синтез, свойства и применение, ФАН, Ташкент, 2009, 246 с.
2. Курек Д. (2013) Современное состояние физико-химических методов определения основных характеристик хитозана и его производных, Хитозан / Под ред. Скрыбина К.Г., Михайлова С.Н., Варламова В.П., М.: Центр «Биоинженерия», 561 с.
3. А.С. Гальбрайх. Хитин, хитозан: строение, свойства, применение Том 7, №1, 2001, 51-56с.
4. Muzzarelli, R.A.A. (1987) Chitin, Oxford Pergamon Press, 309 p.
5. Ravi Kumar M.N.V. (2000) A review of chitin and chitosan applications, Reactive and Functional Polymers, 46, 1–27.
6. Rinaudo, M. (2006) Chitin and chitosan: properties and applications, Progress in Polymer Science, 31, 603–632.
7. Kumar M.R., Muzzarelli R.A.A., Muzzarelli C., Sashiva H., Domb A.J. (2004) Chitosan chemistry and pharmaceutical perspectives, Chemical Reviews, 104, 6017–6084.
8. Хитозан (2013) / Под ред. Скрыбина К.Г., Михайлова С.Н., Варламова В.П. М.: Изд. Центр «Биоинженерия РАН», 593 с.
9. Wasko A., Bulak P., Polak-Berecka M., Nowak K., Polakowski C., Bieganowski A. (2016) The first report of the physicochemical structure of chitin isolated from *Hermetia illucens*, International Journal of Biological Macromolecules, 92, 316–320.
10. Khayrova A., Lopatin S., Varlamov V. (2019) Black Soldier Fly *Hermetia illucens* as a novel source of chitin and chitosan, International Journal of Science, 8(04), 81-86.
11. Dornish M., Kaplan D.S., Arepalli S.R. (2012) Regulatory status of chitosan and derivatives, Chitosanbased biopharmaceutical delivery, targeting and polymer therapeutics / Eds. Sarmiento B., das Neves J., John Wiley & Sons, 463–481.
12. Климова В.А. Основные микрометоды анализа органических соединений. М.: Химия, 1980
13. Baklagina et al. Crystallography Reports, 2018, 63, 303. <https://doi.org/10.1134/S1063774518030033>.
14. Ашуров Н.Ш., Югай С.М., Шахобутдинов С.Ш., Кулумбетов А.С., Атаханов А.А. Физико-химические исследования структуры наночастиц хитозана и аскорбат хитозан // Известия Академии наук. Серия химическая, 2022, № 2, С. 227-231; <https://doi.org/10.1007/s11172-022-3401-x>