Филиал «Назарбаев Интеллектуальная школа физико-математического направления» города Костанай автономной организации образования «Назарбаев Интеллектуальные школы»

Синтез биополимеров из вторичных продуктов.

Выполнила: Әмірғали Айгерім Кенжеғалиқызы

Научные руководители: Антаева Гульжихан Темировна, Жаилганова Ботагоз Балтабаевна

Костанай 2024

# **РЕФЕРАТ**

Отчет о научно-исследовательской работе (НИР) на тему «Синтез биополимеров из вторичных продуктов» состоит из 6 разделов, содержит 16 страниц текста, 3 таблицы, 15 использованных источников.

**Объектом** разработки выступают биоразлагаемые полимеры.

**Целью научно-исследовательской работы** является создание биологически разлагаемых полимеров из доступных и недорогих материалов.

**По результатам** проделанной работы были получены образцы биопластика на основе апельсиновой кожуры, банановой кожуры, картофельного крахмала и кофейной гущи. Биополимер на основе картофеля и банановой кожуры были эластичными, образцы из кофейной гущи и апельсиновой кожуры оказались прочными.

**Новизна работы** заключается в получении биоразлагаемых материалов из дешевого и доступного сырья, оказывая положительное влияние на экологическую обстановку.

**Научно-практическая значимость** исследования заключается в разработке экономически выгодного и экологически безопасного биополимера для использования в бытовых целях.

# **СОДЕРЖАНИЕ**

[РЕФЕРАТ 2](#_Toc157274636)

[СОДЕРЖАНИЕ 3](#_Toc157274637)

[ВВЕДЕНИЕ 4](#_Toc157274638)

[**1.** **Теоритическая часть** 5](#_Toc157274639)

[**1.1.** **Биополимер** 5](#_Toc157274640)

[**1.2.** **Факторы, влияющие на разложение биополимеров** 5](#_Toc157274641)

[**1.3.** **Среды разложения биополимеров** 5](#_Toc157274642)

[**1.3.1.** **Почва** 5](#_Toc157274643)

[**1.3.2.** **Компостирование** 6](#_Toc157274644)

[**1.3.3.** **Соленая** **вода** 6](#_Toc157274645)

[**1.3.4.** **Пресная вода** 7](#_Toc157274646)

[**1.4.** **Разложение биополимеров** 7](#_Toc157274647)

[**1.4.1.** **Разложение биополимеров на основе крахмала** 7](#_Toc157274648)

[**1.5.** **Типы биополимеров** 8](#_Toc157274649)

[**1.5.1.** **Биополимеры на основе крахмала** 8](#_Toc157274650)

[**1.5.2.** **Биополимеры на основе целлюлозы** 8](#_Toc157274651)

[**1.6.** **Пластификатор** 8](#_Toc157274652)

[**1.6.1.** **Глицерин** 9](#_Toc157274653)

[**2.** **Практическая часть** 9](#_Toc157274654)

[**2.1.** **Методика эксперимента** 9](#_Toc157274655)

[**2.1.1.** **Биопластик на основе апельсиновой кожуры** 9](#_Toc157274656)

[**2.1.2.** **Биопластик на основе банановой кожуры** 10](#_Toc157274657)

[**2.1.3.** **Биопластик на основе кофейной гущи** 10](#_Toc157274658)

[**2.1.4.** **Биопластик на основе картофеля** 11](#_Toc157274659)

[**2.2.** **Результаты эксперимента** 11](#_Toc157274660)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 14](#_Toc157274661)

# **ВВЕДЕНИЕ**

Сегодня пластмассы играют важную роль как в промышленности, так и в бытовой технике. Пластмассы широко используются в различных отраслях промышленности, таких как игрушки, упаковка для пищевых продуктов, компоненты электронного оборудования, мебель, материалы для одежды и т. д. [1]. Выбросы углерода и многие другие опасные газы вызывают экологические проблемы при производстве пластиковых пакетов [2]. Обычно используются полиэтилен низкой плотности (LDPE) и полиэтилен высокой плотности (HDPE), и недостатком этого пластика является то, что он не разлагается. Когда пластиковые отходы выбрасываются на свалки, они вступают в реакции с образованием опасных химических веществ, которые также могут влиять на качество питьевой воды [1]. Следовательно, предпринимаются усилия по сокращению использования синтетических полимеров и использованию биополимеров. Ожидается, что широкое распространение биополимеров сыграет важную роль в достижении Целей устойчивого развития, таких как отказ от ископаемого топлива, внедрение новых способов разложения или переработки и сокращение количества токсичных химикатов в производственном процессе. Биопластик может быть переработан естественным образом, тем самым ограничивая использование ископаемого топлива и защищая окружающую среду. Биополимеры могут быть получены из природных ресурсов, таких как лигнины, белки, липиды и полисахариды[3]. Новизна работы в том, что в качестве сырья используются пищевые отходы, в которых содержатся данные вещества.

**Целью научно-исследовательской работы** является создание биологически разлагаемых полимеров из доступных и недорогих материалов.

**Задачи исследования**:

1. Изучить свойства продуктов, которые содержат биополимеры.
2. Приготовить пробные экземпляры биопластика;
3. Изучить физические и химические свойств полученных экземпляров.

## **Теоритическая часть**

### **Биополимер**

Биополимер – это полимеры, полученные из растительного сырья. Обычно он используется в качестве альтернативы полимеру, полученному из ископаемых ресурсов.

### **Факторы, влияющие на разложение биополимеров**

Факторы, влияющие на биоразложение, можно разделить на физико-химические факторы, определяемые окружающей средой; факторы, связанные со свойствами материала, из которого извлекается биополимер, и факторы, определяемые типом микроорганизмов, присутствующих в среде.

Таблица 1 – Факторы.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Физические и химические условия | Свойства материалов | Влияние ферментов |
| Влажность  Значение рН  Температура  Распределение кислорода  Распределение питательных веществ | Молярная масса  Состав полимера  Площадь и размер  Температура плавления  Толщина материала | Микробиологическая активность  Микробное разнообразие  Плотность популяции микробов |

### **Среды разложения биополимеров**

#### **Почва**

Параметры биодеградации в почве отличаются от параметров других сред. Структура почвы варьируется от региона к региону. Крупный песок с размером частиц до 2 мм оставляет много места для распространения газа в окружающую среду, а в глинистых почвах с размером частиц < 2 мкм это очень сложно. В зависимости от количества осадков и климата значения температуры и pH меняются: последние могут варьироваться от 2 до 11. Этот фактор влияет на плотность населения и активность микроорганизмов в почве [4].

#### **Компостирование**

Состав, pH и влажность компостируемой среды можно контролировать по сравнению с биодеградацией в почве [4]. В качестве компостного материала используются различные виды сырья, но в основном используются зеленые отходы и сельскохозяйственные отходы. Главное - поддерживать относительную влажность воздуха на уровне 45-60% и значения рН в диапазоне от 6,5 до 8,0 [5]. В настоящее время нет определенного стандарта условий домашнего компостирования. Однако считается, что полимеры подходят для домашнего компостирования, если не менее 90% полимеров (измеренных после высвобождения CO2) разлагаются в течение 12 месяцев при температуре окружающей среды 20-30°C [6]. Компостирование происходит, когда микроорганизмы превращают органическое вещество в CO2 и перегной. Микроорганизмы могут напрямую атаковать молекулы крахмала и целлюлозы, поскольку они могут образовывать ферменты для деполимеризации или разрушения физической структуры полимера.

#### **Соленая** **вода**

Океаны покрывают 71% поверхности земли и составляют 97% мировых запасов воды. Морская вода обычно характеризуется высоким содержанием соли, до 99% солей составляют ионные соединения, содержащие хлор, натрий, серу, магний, кальций и калий. [7]. Температура варьируется от 30°C на поверхности воды летом до -1°C на морском дне зимой, и это зависит не только от времени года, но также от глубины и географического положения. Обычно для стандартной морской воды принимается температура 15°C. Значение pH морской воды составляет 7,5-8,4, что близко к щелочной среде [7]. В морской воде могут жить только некоторые грибы; среди существующих бактерий преобладают анаэробные микроорганизмы. Помимо влияния на температуру воды, присутствие света играет важную роль в активности фотосинтезирующих микроорганизмов и водорослей [8].

#### **Пресная вода**

Пресную воду в основном можно разделить на стоячую и проточную. Условия окружающей среды такие же, как и у морской воды, но главное отличие - низкое содержание соли. Температура зависит от сезона, количества осадков, расположения и глубины воды. Значение pH пресной воды составляет от 6 до 9 [9]. В основном бактерии и грибы отвечают за биологическую деградацию пресной воды, причем грибы в основном находятся на глубине нескольких миллиметров от поверхности воды.

### **Разложение биополимеров**

#### **Разложение биополимеров на основе крахмала**

Доказано, что крахмальные пленки разлагаются через 30-84 дня при температуре 60°С в компосте. Обработав крахмал пластификаторами, такими как глицерин, можно получить термопластичный материал. Этот термопластичный крахмал полностью аморфен [10]. Деградация в почве происходит намного быстрее: потеря массы при 25°С и 30°С в течение 1 месяца составляет 72,6% и 100% соответственно [11][12].

* + 1. **Разложение биополимеров на основе целлюлозы**

Помимо бактерий и грибов, одноклеточные простейшие, активные в воде, также могут расщеплять целлюлозу. Период разложения относительно короткий: через месяц доказана потеря 40% общей массы в анаэробном осадке сточных вод и при температуре ниже 10-17°C [13]. Этерификация целлюлозы позволяет получать ацетаты целлюлозы, которые в основном являются термопластами. Было показано, что в сточных водах при 25°C ацетат целлюлозы разлагается на 10% через 22 дня, а целлюлоза - на 70% [14].

### **Типы биополимеров**

### **Биополимеры на основе крахмала**

Крахмал-это углевод, содержащий большое количество единиц глюкозы в сочетании с гликозидными связями. Чистый крахмал имеет белый цвет. Крахмальный порошок не имеет особого вкуса или запаха. Около 50% биополимеров, используемых в промышленности, получают из крахмала. В качестве пластификатора к крахмалу добавляют глицерин. Характеристики полученного биополимера можно адаптировать к конкретным потребностям, регулируя количество этих примесей. Биополимеры на основе крахмала не сложны в производстве и широко используются для упаковки. Благодаря своей пластичности крахмал подходит для производства упаковочных материалов.

#### **Биополимеры на основе целлюлозы**

Целлюлоза является наиболее распространенным природным органическим соединением в мире, годовое производство которого составляет около 180 миллиардов тонн. Это основной полисахарид клеточной стенки растения. Он синтезируется микроорганизмами и может быть получен из различных источников, таких как древесина, хлопок, растительные материалы и биологические отходы. Целлюлоза и производные целлюлозы (ацетилцеллюлоза, нитроцеллюлоза, метилцеллюлоза) используются для создания биополимера. Целлюлоза представляет собой полимерную форму участков глюкозы, связанных с гликозидами. В настоящее время биополимеры на основе целлюлозы широко используются из-за их прочности, твердости и способности к биологическому разложению.

### **Пластификатор**

Пластификаторы — вещества, добавляемые в состав полимерных материалов для придания (или повышения) эластичности или пластичности при обработке и использовании.

#### **Глицерин**

Глицерин — органическое соединение, простейший представитель трехатомных спиртов. Это вязкая прозрачная жидкость со сладким вкусом. Биополимеры на основе крахмала имеют слишком высокую хрупкость и гидрофильность, и такие ограничения напрямую влияют на механические и барьерные свойства пленок. Такие недостатки можно избежать, добавив определенное количество пластификатора, то есть глицерина. Глицерин разрушает существующие водородные связи между гидроксильными группами в молекулах крахмала, образуя новые водородные связи со свободными гидроксильными группами. Введение глицерина в биополимеры на основе крахмала снижает хрупкость и повышает эластичность. Добавление пластификатора к биополимерам на основе целлюлозы оказывает значительное влияние на его физические (растворимость в воде и прозрачность), механические (прочность и относительное удлинение при разрыве) свойства и биоразложение в почве.

## **Практическая часть**

### **Методика эксперимента**

Апельсиновая, банановая кожура и картофель содержат большое количество крахмала, в то время как в кофейной гуще содержится целлюлоза. По этой причине эти пищевые отходы были использованы в качестве сырья для синтеза биополимеров.

#### **Биопластик на основе апельсиновой кожуры**

Необходимы: апельсиновая кожура, пестик и ступка, 0,1 М HCl 3 мл, 1.8-2 мл глицерин, дист.вода, формочки

1. Измелчить апельсиновую кожуру
2. В духовку 120 градусов на 10 мин
3. Добавить 3 мл HCl в 25 граммов высушенной апельсиновой кожуры
4. Перемешать используя стеклянную палочку, добавить 1,8-2 мл глицерина
5. Тщательно и равномерно смешать с дистилированной водой
6. Измельчить используя пестик и ступку
7. Залить в формы и оставить при комнатной температуре на 48 ч.

#### **Биопластик на основе банановой кожуры**

Необходимы:банановая кожура, дист вода, блендер, 0,5М HCl, 0.5M NaOH. Na2S2O5

1. Разрезать банановую кожуру на мелкие кусочки
2. Положить банановую кожуру в посуду 500 мл и добавить Na2S2O5 водный раствор, подождать 1 мин
3. Процежить банановую кожуру и добавить в нее 375 мл дист воды, прокипятить в течении 30 мин
4. Процежить банановую кожуру и положить в духовку 120 градусов на 30 мин
5. Измельчить высушенную банановую кожуру
6. В 25 граммов банановой кожуры добавить 3 мл 0,5М HCl, перемешать стеклянной палочкой
7. Добавить 2 мл глицерина, перемешать стеклянной палочкой
8. Добавить 3 мл 0,5М NaOH, перемешать стеклянной палочкой
9. Выложить в формочку и выпекать при температур 130 градусов в течении часа минимум

#### **Биопластик на основе кофейной гущи**

Необходимы: кофейная гуща агар-агар, желатин, кукурузный крахмал, уксус, глицерин

1. Перемешать 40 грамм кофейной гущи, 15 грамм агар-агара, 30 грамм кукурузного крахмала, 100 мл воды, 10 мл уксуса и 10 мл глицерина
2. Нагревать и перемешивать пока масса не загустеет
3. Выложить массу в формочки, выпекать 30 мин при температуре 150 градусов

#### **Биопластик на основе картофеля**

Необходимы: картофельный крахмал, дистилированная вода, уксусная кислота, глицерин

1. Получить крахмал из картофеля можно из «отходов производства», из жидкости, которая образуется с измельченной картошки
2. 5 г. картофельного крахмала растворить в 50 мл дистиллированной воды, с добавлением 5 мл уксусной кислоты и 10г. глицерина.
3. Полученная смесь, нагревается на электроплите до получения густой консистенции
4. Образовавшийся пластик снимается с плиты, распределяется тонким слоем по форме (чашка Петри) и оставляется остужаться на сутки

### **Результаты эксперимента**

Таблица 2 – Образцы.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
| Образец из кофейной гущи | Образец из апельсиновой кожуры | Образец из банановой кожуры | Образец из картофеля |

Для проверки химических свойств полученных биополимеров каждый образец помещали в 1М, 2М 3М растворы HNO3 и NaOH. Результат через 48 часов показан в Таблице 3.



Рисунок 1 – Образцы биополимеров.



Рисунок 2 – Образцы в растворах HNO3.



Рисунок 3 – Образцы в растворах NaOH.

Таблица 3 – Растворимость образцов.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Биополимеры | HNO3 1М | HNO3 2М | HNO3 3М | NaOH 1М | NaOH 2М | NaOH 3М |
| Банановая кожура | Нерастворим | Нерастворим | Нерастворим | Нерастворим | Нерастворим | Нерастворим |
| Апельсиновая кожура | Нерастворим | Нерастворим | Нерастворим | Нерастворим | Нерастворим | Нерастворим |
| Картофель | Малорастворим | Растворим | Растворим | Малорастворим | Малорастворим | Малорастворим |
| Кофейная гуща | Малорастворим | Малорастворим | Малорастворим | Малорастворим | Малорастворим | Малорастворим |

Тест на биодеградацию проводился методом закапывания в почву. 3 грамма образцов закапывали в почву на глубину 7 см, образцы очищались и взвешивались ежемесячно.

Экспериментальная часть была завершена через 3 месяца. Следующие 3 месяца, показанные на графике, являются предположениями, основанными на арифметической прогрессии деградации образцов биополимеров.

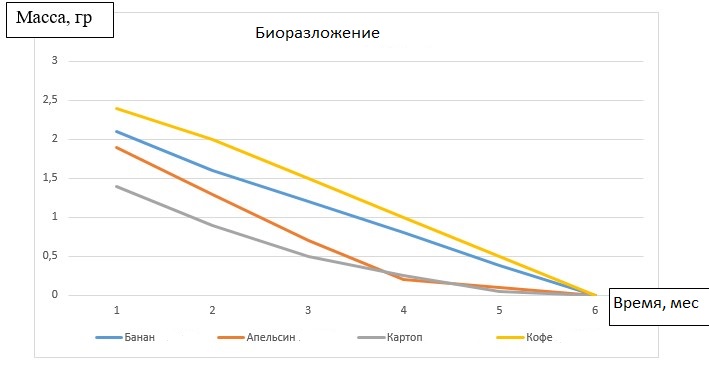


Рисунок 4 – График биоразложения.

****

Рисунок 5 – Тест на биодеградацию.

# **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

На основе теоретических и экспериментальных данных исследования биополимеры можно получить, смешав банановую, апельсиновую кожуру, картофельный крахмал и кофейную гущу с глицерином и другими добавками.

Образцы из банана и картофеля были похожи на полиэтилен по плотности и эластичности. Благодаря этому свойству эти биополимеры можно использовать при изготовлении упаковочных материалов.

Биополимеры, изготовленные из кофейной гущи и апельсиновой кожуры, оказались более плотными и менее эластичными. Следовательно, на основе этих образцов можно получить коробки, используемые в быту.

Выявлена возможность растворения биополимера из картофельного крахмала в 2М, 3М растворах азотной кислоты.

Период полной биодеградации образцов биополимеров составлял 5-6 месячный временной интервал. Биополимер, синтезированный из картофельного крахмала, показал лучшие результаты.

1. **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**
2. Emadian, S.M.; Onay, T.T.; Demirel, B. Biodegradation of bioplastics in natural environments. *Waste Manag.* **2017**, *59*, 526–536
3. Jain, R.; Tiwari, A. Biosynthesis of planet friendly bioplastics using renewable carbon source. *J. Environ. Health Sci. Eng.* **2015**, *13*, 11. [[**Google Scholar**](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Biosynthesis+of+planet+friendly+bioplastics+using+renewable+carbon+source&author=Jain,+R.&author=Tiwari,+A.&publication_year=2015&journal=J.+Environ.+Health+Sci.+Eng.&volume=13&pages=11&doi=10.1186/s40201-015-0165-3&pmid=25717378)] [**[CrossRef](https://dx.doi.org/10.1186/s40201-015-0165-3" \t "_blank)**] [[**PubMed**](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25717378)]
4. Johansson, C.; Bras, J.; Mondragon, I.; Nechita, P.; Plackett, D.; Simon, P.; Svetec, D.G.; Virtanen, S.; Baschetti, M.G.; Breen, C. Renewable fibers and bio-based materials for packaging applications—A review of recent developments. *BioResources* **2012**, *7*, 2506–2552. [[**Google Scholar**](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Renewable+fibers+and+bio-based+materials+for+packaging+applications%E2%80%94A+review+of+recent+developments&author=Johansson,+C.&author=Bras,+J.&author=Mondragon,+I.&author=Nechita,+P.&author=Plackett,+D.&author=Simon,+P.&author=Svetec,+D.G.&author=Virtanen,+S.&author=Baschetti,+M.G.&author=Breen,+C.&publication_year=2012&journal=BioResources&volume=7&pages=2506%E2%80%932552&doi=10.15376/biores.7.2.2506-2552)] [**[CrossRef](https://dx.doi.org/10.15376/biores.7.2.2506-2552" \t "_blank)**]
5. Bastioli C. *Handbook of Biodegradable Polymers.* Rapra Technology; Shrewsbury, UK: 2005. [[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Handbook+of+Biodegradable+Polymers&author=C.+Bastioli&publication_year=2005&)]
6. Rudnik E. *Compostable Polymer Materials.* 1st ed. Elsevier; Amsterdam, The Netherlands: 2008. [[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Compostable+Polymer+Materials&author=E.+Rudnik&publication_year=2008&)]
7. TUEV AUSTRIA HOLDING AG 2019 OK Compost Home. [(accessed on 1 September 2020)]; Available online: <https://www.tuv-at.be/fileadmin/user_upload/docs/download-documents/english/Program_OK_02e_d_OK_compost_HOME.pdf>
8. Munn C.B. *Marine Microbiology: Ecology and Applications.* Garland Science/BIOS Scientific Publishers and Distributed in the USA by Fulfilment Center, Taylor & Francis; London, UK: New York, NY, USA: Independence, KY, USA: 2004. [[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Marine+Microbiology:+Ecology+and+Applications&author=C.B.+Munn&publication_year=2004&" \t "_blank)]
9. Alexopoulos A., Plessas S., Bezirtzoglou E. *Encyclopedia of Life Sciences.* Wiley; Chichester, UK: 2009. Water microbial ecology—An overview; pp. 1–24. [[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Encyclopedia+of+Life+Sciences&author=A.+Alexopoulos&author=S.+Plessas&author=E.+Bezirtzoglou&publication_year=2009&)]
10. Boyd C.E., Tucker C.S. *Pond Aquaculture Water Quality Management.* Springer; Boston, MA, USA: 1998. [[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Pond+Aquaculture+Water+Quality+Management&author=C.E.+Boyd&author=C.S.+Tucker&publication_year=1998&)]
11. Endres H.-J., Siebert-Raths A. *Technische Biopolymere: Rahmenbedingungen, Marktsitutation, Herstellung, Aufbau und Eigenschaften.* Hanser; München, Germany: 2009. [[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Technische+Biopolymere:+Rahmenbedingungen,+Marktsitutation,+Herstellung,+Aufbau+und+Eigenschaften&author=H.-J.+Endres&author=A.+Siebert-Raths&publication_year=2009&)]
12. Bootklad M., Kaewtatip K. Biodegradation of thermoplastic starch/eggshell powder composites. *Carbohydr. Polym.*2013;97:315–320. doi: 10.1016/j.carbpol.2013.05.030. [[PubMed](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23911451)] [[CrossRef](https://doi.org/10.1016%2Fj.carbpol.2013.05.030" \t "_blank)] [[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?journal=Carbohydr.+Polym.&title=Biodegradation+of+thermoplastic+starch/eggshell+powder+composites&author=M.+Bootklad&author=K.+Kaewtatip&volume=97&publication_year=2013&pages=315-320&pmid=23911451&doi=10.1016/j.carbpol.2013.05.030&" \t "_blank)]
13. Zain A.H.M., Ab Wahab M.K., Ismail H. Biodegradation Behaviour of Thermoplastic Starch: The Roles of Carboxylic Acids on Cassava Starch. *J. Environ. Polym. Degrad.*2018;26:691–700. doi: 10.1007/s10924-017-0978-5. [[CrossRef](https://doi.org/10.1007%2Fs10924-017-0978-5" \t "_blank)] [[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?journal=J.+Environ.+Polym.+Degrad.&title=Biodegradation+Behaviour+of+Thermoplastic+Starch:+The+Roles+of+Carboxylic+Acids+on+Cassava+Starch&author=A.H.M.+Zain&author=M.K.+Ab+Wahab&author=H.+Ismail&volume=26&publication_year=2018&pages=691-700&doi=10.1007/s10924-017-0978-5&" \t "_blank)]
14. Hofsten B.V., Edberg N. Estimating the Rate of Degradation of Cellulose Fibers in Water. *Oikos.*1972;23:29. doi: 10.2307/3543924. [[CrossRef](https://doi.org/10.2307%2F3543924" \t "_blank)] [[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?journal=Oikos&title=Estimating+the+Rate+of+Degradation+of+Cellulose+Fibers+in+Water&author=B.V.+Hofsten&author=N.+Edberg&volume=23&publication_year=1972&pages=29&doi=10.2307/3543924&)]
15. Itävaara M., Siika-aho M., Viikari L. Enzymatic Degradation of Cellulose-Based Materials. *J. Environ. Polym. Degrad.*1999;7:67–73. doi: 10.1023/A:1021804216508. [[CrossRef](https://doi.org/10.1023%2FA%3A1021804216508" \t "_blank)] [[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?journal=J.+Environ.+Polym.+Degrad.&title=Enzymatic+Degradation+of+Cellulose-Based+Materials&author=M.+It%C3%A4vaara&author=M.+Siika-aho&author=L.+Viikari&volume=7&publication_year=1999&pages=67-73&doi=10.1023/A:1021804216508&" \t "_blank)]
16. Boyd C.E., Tucker C.S. *Pond Aquaculture Water Quality Management.* Springer; Boston, MA, USA: 1998. [[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Pond+Aquaculture+Water+Quality+Management&author=C.E.+Boyd&author=C.S.+Tucker&publication_year=1998&)]