

# Биохимия

## Углеводы

# Углеводы

По своему строению углеводы являются многоатомными спиртами с альдегидной или кетоновой группой (полигидроксиальдегиды и полигидроксикетоны).

Наиболее известные углеводы (крахмал, глюкоза, гликоген) обладают эмпирической формулой  $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ .

Другие представители класса не соответствуют данному соотношению, и даже могут включать атомы азота, серы, фосфора.

# Классификация углеводов

Согласно современной классификации углеводы подразделяются на три основные группы: моносахариды, олигосахариды и полисахариды.

- Моносахариды подразделяются на альдозы и кетозы в зависимости от наличия альдегидной или кетогруппы. Альдозы и кетозы, в свою очередь, разделяются в соответствии с числом атомов углерода в молекуле: триозы, тетрозы, пентозы, гексозы и т.д.
- Олигосахариды делятся по числу моносахаридов в молекуле: дисахариды, трисахариды и т.д.
- Полисахариды подразделяют на гомополисахариды, т.е. состоящие из одинаковых моносахаров, и гетерополисахариды, состоящие из различных моносахаров.

# Классификация углеводов



# Функции углеводов

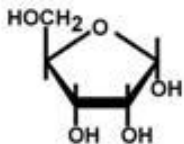
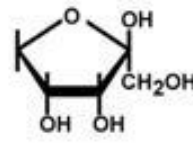
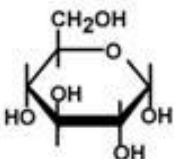
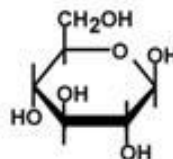
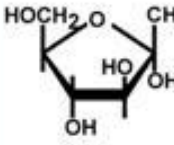
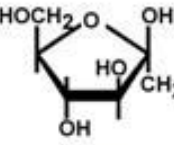
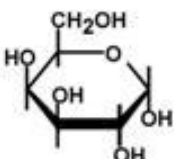
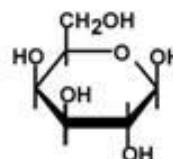
- Энергетическая – преимущество углеводов состоит в их способности окисляться как в аэробных, так и в анаэробных условиях,
- Защитно-механическая – основное вещество трущихся поверхностей суставов, находятся в сосудах и слизистых оболочках,
- Опорно-структурная – целлюлоза в растениях, гликозаминогликаны в составе протеогликанов, например, хондроитинсульфат в соединительной ткани,
- Гидроосмотическая и ионрегулирующая – гетерополисахариды обладают высокой гидрофильностью, отрицательным зарядом и, таким образом, удерживают  $H_2O$ , ионы  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$  в межклеточном веществе, обеспечивают тургор кожи, упругость тканей,
- Кофакторная – часть углеводов является кофакторами.

# Моносахариды

Моносахариды – это углеводы, которые не могут быть гидролизованы до более простых форм углеводов. Т.о. Еще одно определение моносахаридов – это «строительные блоки» для олиго и полисахаров.

В свою очередь моносахариды подразделяются:

- на стереоизомеры по конформации асимметричных атомов углерода – например, L- и D-формы.
- в зависимости от конформации НО-группы первого атома углерода –  $\alpha$ - и  $\beta$ -формы.
- в зависимости от числа содержащихся в их молекуле атомов углерода – триозы, тетрозы, пентозы, гексозы, гептозы, октозы.
- в зависимости от присутствия альдегидной или кетонной группы – кетозы и альдозы.

	<b>Альдозы</b>	<b>Кетозы</b>
<b>Триозы</b>	$  \begin{array}{c}  \text{H} \\  \diagdown \\  \text{C}=\text{O} \\    \\  \text{CH}-\text{OH} \\    \\  \text{CH}_2-\text{OH}  \end{array}  $ <p>Глицеральдегид</p>	$  \begin{array}{c}  \text{CH}_2-\text{OH} \\    \\  \text{C}=\text{O} \\    \\  \text{CH}_2-\text{OH}  \end{array}  $ <p>Диоксиацетон</p>
<b>Тетрозы</b>	$  \begin{array}{c}  \text{H} \\  \diagdown \\  \text{C}=\text{O} \\    \\  \text{CH}-\text{OH} \\    \\  \text{CH}-\text{OH} \\    \\  \text{CH}_2-\text{OH}  \end{array}  $ <p>Эритроза</p>	
<b>Пентозы</b>	$  \begin{array}{c}  \text{H} \\  \diagdown \\  \text{C}=\text{O} \\    \\  \text{CH}-\text{OH} \\    \\  \text{CH}-\text{OH} \\    \\  \text{CH}-\text{OH} \\    \\  \text{CH}_2-\text{OH}  \end{array}  $ <p>Рибоза</p>  <p>Рибоза</p>	$  \begin{array}{c}  \text{CH}_2-\text{OH} \\    \\  \text{C}=\text{O} \\    \\  \text{CH}-\text{OH} \\    \\  \text{CH}-\text{OH} \\    \\  \text{CH}_2-\text{OH}  \end{array}  $ <p>Рибулоза</p>  <p>Рибулоза</p>
<b>Гексозы</b>	 <p><math>\alpha</math>-Глюкоза</p>  <p><math>\beta</math>-Глюкоза</p>	 <p><math>\alpha</math>-Фруктоза</p>  <p><math>\beta</math>-Фруктоза</p>
	 <p><math>\alpha</math>-Галактоза</p>  <p><math>\beta</math>-Галактоза</p>	

# Циклическая форма моносахаров

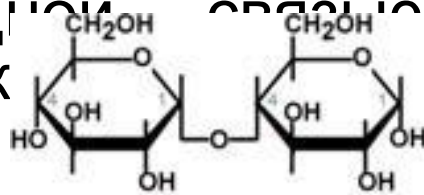
- Начиная с тетроз моносахариды способны образовывать циклические формы: полуацетали или полукетали, которые образуются в результате внутримолекулярной ацетализации гидроксигруппы и карбонильной группы.
- В результате этого взаимодействия образуется либо 5-членный цикл, содержащий фурановое кольцо (такие соединения называют фуранозами), либо 6-членный цикл, содержащий пирановое кольцо (они носят название пиранозы).
- Образование циклического полуацетала сопровождается появлением ещё одного хирального центра C<sub>1</sub>-атома углерода, следовательно, появляется ещё одна пара оптических стереоизомеров, отличающихся расположением гидроксильной группы у C<sub>1</sub>-атома углерода. Их обозначают буквами α- и β.



# Дисахариды

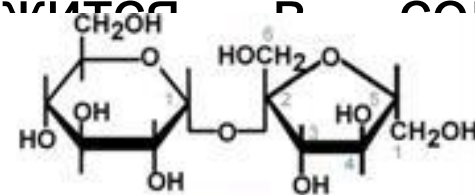
Дисахариды – это углеводы, которые при гидролизе дают две одинаковые или различные молекулы моносахарида и связаны друг с другом гликозидной связью.

- **Сахароза** – пищевой сахар, в которой остатки глюкозы и фруктозы связаны  $\alpha$  1,2-гликозидной связью. В наибольшем количестве содержится в сахарной свекле и тростнике, моркови, ананасах, сорго.
- **Мальтоза** – продукт гидролиза крахмала и гликогена, два остатка глюкозы связаны  $\alpha$  1,4-гликозидной связью. Содержится в солоде, проростках.



Мальтоза

$\alpha$ -D-глюкопиранозил-(1-4)-  
 $\alpha$ -D-глюкопираноза

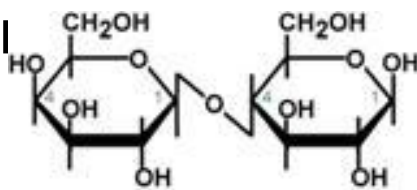


Сахароза

$\alpha$ -D-глюкопиранозил-(1-2)-  
 $\beta$ -D-фруктофуранозид

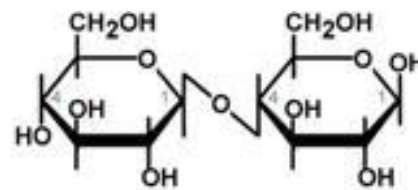
# Дисахариды

- **Лактоза** – молочный сахар, остаток галактозы связан с глюкозой  $\beta$ 1,4-гликозидной связью, содержится в молоке.
- **Целлобиоза** – промежуточный продукт гидролиза целлюлозы в кишечнике, в котором остатки глюкозы связаны  $\beta$ 1,4-гликозидной связью. Здоровая микрофлора кишечника способна гидролизовать до 3/4 поступающей сюда целлюлозы до свободной глюкозы, которая либо потребляется самими микроор



Лактоза

$\beta$ -D-галактопиранозил-(1-4)-  
 $\beta$ -D-глюкопираноза



Целлобиоза

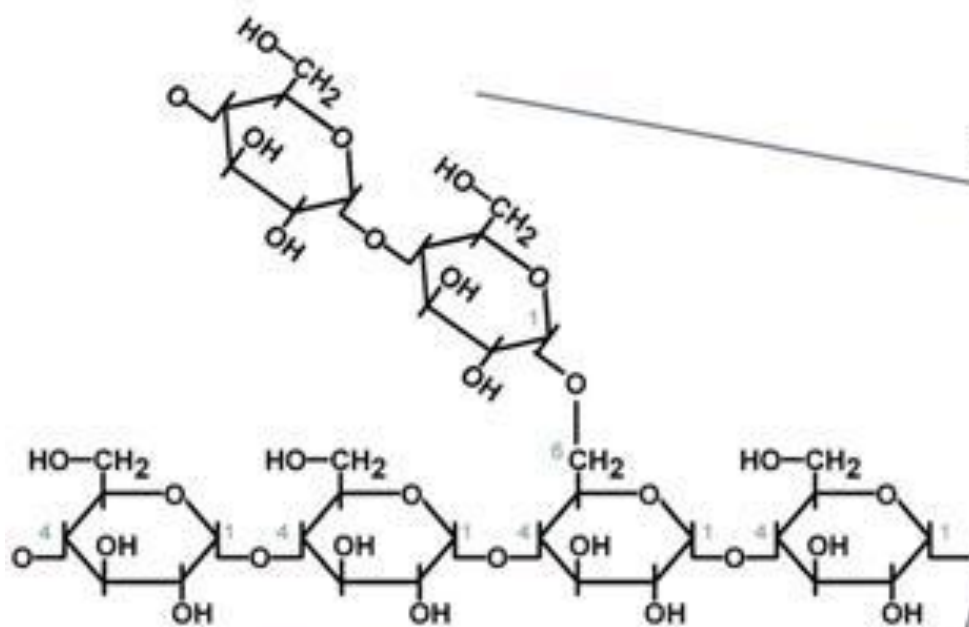
$\beta$ -D-глюкопиранозил-(1-4)-  
 $\beta$ -D-глюкопираноза

# Полисахара

Выделяют гомополисахариды, состоящие из одинаковых остатков моносахаров (крахмал, гликоген, целлюлоза) и гетерополисахариды, включающие разные моносахара.

- Крахмал – гомополимер  $\alpha$ -D-глюкозы. Находится в злаках, бобовых, картофеле и некоторых других овощах. Синтезировать крахмал способны почти все растения.
- Гликоген – резервный полисахарид животных тканей, в наибольшей мере содержится в печени и мышцах. Структурно он схож с крахмалом, но, во-первых, длина веточек меньше – 11-18 остатков глюкозы, во-вторых, более разветвлен – через каждые 8-10 остатков. За счет этих особенностей гликоген более компактно уложен, что немаловажно для животной клетки.

# Полисахара



Структура крахмала и гликогена

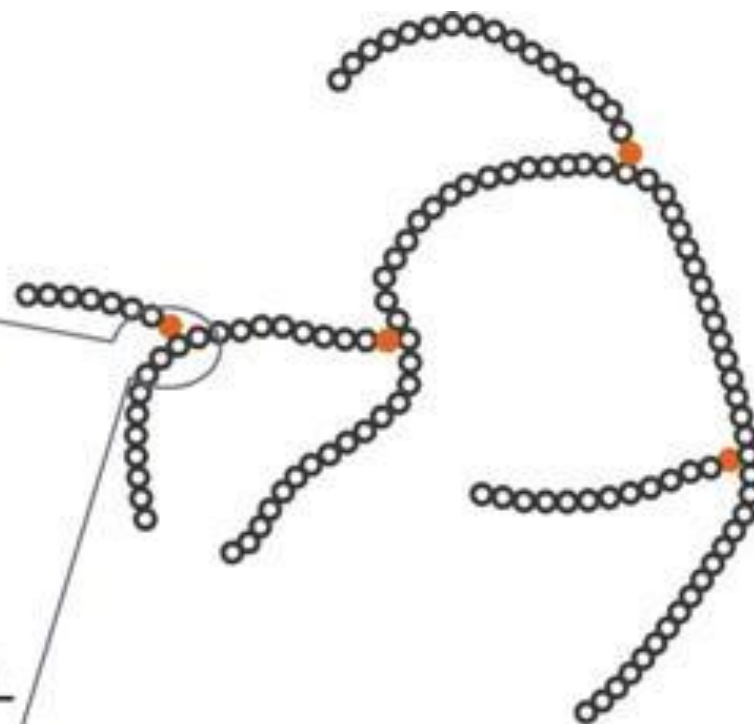
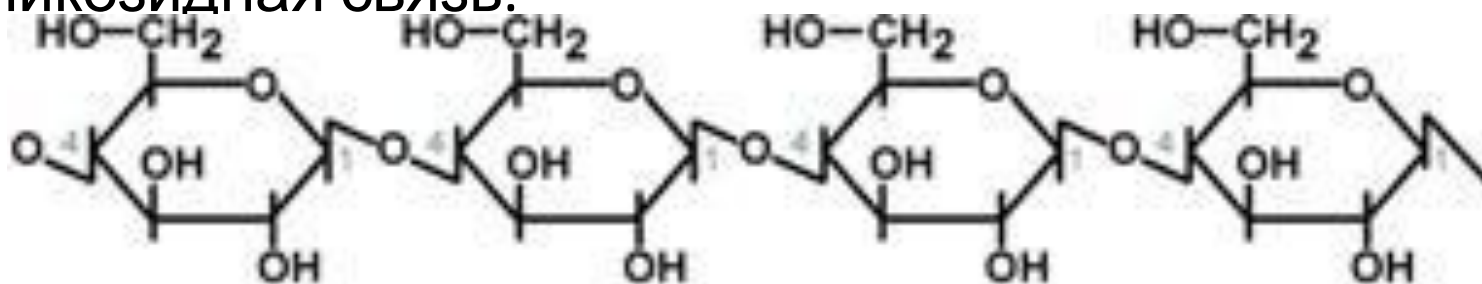


Схема строения гликогена  
(красным цветом показаны точки  
ветвления –  $\alpha$ -1,6-гликозидные связи)

# Полисахара

- Целлюлоза является наиболее распространенным органическим соединением биосферы. Около половины всего углерода Земли находится в ее составе. В отличие от предыдущих полисахаридов она является внеклеточной молекулой, имеет волокнистую структуру и абсолютно нерастворима в воде. Единственной связью в ней является  $\beta$ -1,4-гликозидная связь.

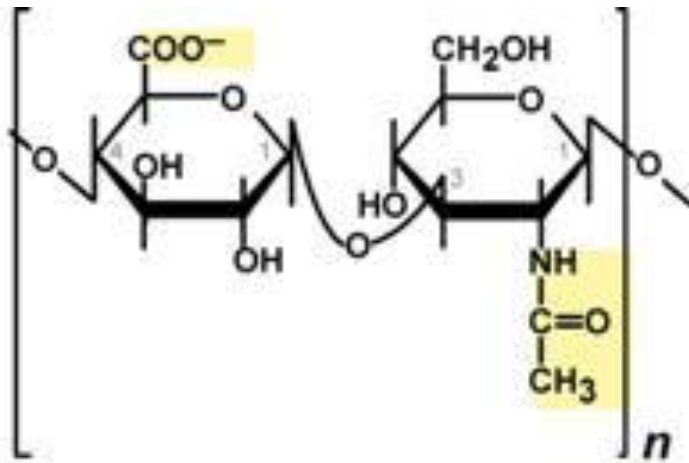


# Гетерополисахариды

- Большинство гетерополисахаридов характеризуется наличием повторяющихся дисахаридных остатков. Эти дисахариды включают в себя уроновую кислоту (производное углевода с карбоксильной группой) и аminosахар (производное углеводов с аминогруппой). Дублируясь, они образуют олиго- и полисахаридные цепи – гликаны. В биохимии используются синонимы – кислые гетерополисахариды (так как имеют много кислотных групп), гликозаминогликаны (производные глюкозы, содержат аминогруппы).
- Гликозаминогликаны входят в состав протеогликанов – сложных белков, функцией которых является заполнение межклеточного пространства и удержание здесь воды, что обеспечивает тургор тканей и эластичность хрящей, также они выступают как смазочный и структурный компонент суставов, хрящей, кожи.

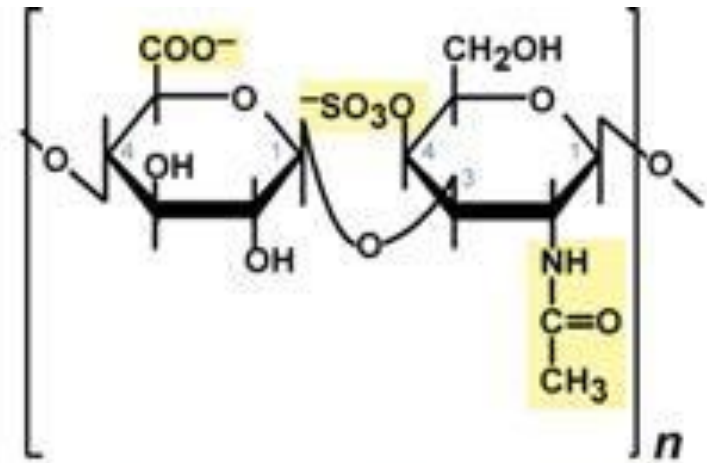
# Гетерополисахариды

Строение гиалуроновой и хондроитинсерной кислот:



Гиалуроновая кислота

$\beta$ -Глюкуронат-(1-3)-N-ацетилглюкозамин



Хондроитин-4-сульфат

$\beta$ -Глюкуронат-(1-3)-N-ацетилгалактозаминсульфат

# Процесс переваривания углеводов

Потребность в углеводах взрослого организма составляет 350-400 г в сутки, при этом целлюлозы и других пищевых волокон должно быть не менее 30-40 г. С пищей в основном поступают крахмал, гликоген, целлюлоза, сахароза, лактоза, мальтоза, глюкоза и фруктоза, рибоза.

- В ротовой полости углеводы расщепляются до декстринов и мальтозы. Дисахариды не гидролизуются. Со слюной сюда поступает кальцийсодержащий фермент  $\alpha$ -амилаза. Оптимум ее рН 7,1-7,2, активируется ионами  $\text{Cl}^-$ . Она беспорядочно расщепляет внутренние гликозидные связи и не влияет на другие типы связей.



# Процесс переваривания углеводов

- В желудке из-за низкой рН амилаза инактивируется, хотя некоторое время расщепление углеводов продолжается внутри пищевого комка.
- В полости тонкого кишечника работают совместно панкреатическая  $\alpha$ -амилаза, разрывающая внутренние  $\alpha$  1,4-связи, изомальтаза, разрывающая  $\alpha$  1,6-связи изомальтозы, олиго- $\alpha$ 1,6-глюкозидаза, действующая на точки ветвления крахмала и гликогена.

# Целлюлоза

Целлюлоза ферментами человека не переваривается. Но в толстом кишечнике под действием микрофлоры до 75% ее количества гидролизуется с образованием целлобиозы и глюкозы. Глюкоза частично используется самой микрофлорой и окисляется до органических кислот (масляной, молочной), которые стимулируют перистальтику кишечника. Частично глюкоза может всасываться в кровь.

Основная роль целлюлозы для человека:

- стимулирование перистальтики кишечника,
- формирование каловых масс,
- стимуляция желчеотделения,
- абсорбция холестерина и других веществ, что препятствует их всасыванию.

# Особенности переваривания углеводов детским организмом

У детей первого года жизни из-за недостаточной кислотности желудка слюнная  $\alpha$ -амилаза способна попадать в тонкую кишку и участвовать в пищеварении. Поэтому, несмотря на то, что активность  $\alpha$ -амилазы поджелудочной железы у новорожденных довольно низкая, младенцы удовлетворительно способны переваривать полисахариды, в том числе и молочных смесей.

Интересной особенностью переваривания углеводов у младенцев является разная скорость гидролиза  $\alpha$ -лактозы и  $\beta$ -лактозы.

- $\beta$ -Лактоза, присутствующая в женском молоке, не полностью гидролизуется в тонкой кишке и достигает нижних отделов тонкого кишечника и толстой кишки. Это определяет, в числе других достоинств грудного вскармливания, появление оптимальной кишечной микрофлоры.
- В коровьем молоке преобладает  $\alpha$ -лактоза, которая быстро расщепляется уже в верхних отделах тонкого кишечника и быстрее всасывается. Поэтому "искусственники" более склонны к ожирению, чем младенцы со здоровым грудным питанием.