

ЛЕКЦИЯ 4

Органические вещества клетки. Углеводы и их роль в клетке

Углеводы – органические вещества, производные многоатомных спиртов, состоящих из С, Н, О. Органическая химия определяет эти соединения как многоатомные оксиальдегиды или многоатомные оксикетоны. Название «углеводы» является устаревшим, хотя и по сей день широко используется. Такое название эти вещества получили потому, что первые изученные соединения этого класса отвечали эмпирической формуле $C_n(H_2O)_n$, и поэтому их принимали за гидраты углерода. Однако этой формуле соответствуют не все соединения, относящиеся к классу углеводов. Углеводы образуются из неорганических веществ (H_2O и CO_2) в процессе фотосинтеза, происходящего в хлоропластах зеленых растений. Различают простые углеводы (моносахариды), молекула которых состоит из одного мономера, и сложные – ди- и полисахариды, молекулы которых включают два и более мономеров соответственно. К моносахаридам относятся глюкоза, фруктоза, галактоза, рибоза, дезоксирибоза, к дисахаридам – сахароза, мальтоза. Крахмал, гликоген, клетчатка, пектин, инулин являются полисахаридами – периодическими полимерами. Значение углеводов разнообразно. Они представляют собой исходное органическое вещество; источник энергии (при расщеплении 1 г углеводов освобождается 17,6 кДж энергии); строительный материал. Рибоза и дезоксирибоза, не встречающиеся в свободном виде, являются составными частями ДНК, РНК и АТФ.

Мукопротеины — соединения белков и полисахаридов

Таблица 9. Сравнение классов углеводов

Признак	Моносахарид (греч. «моно» - один)	Олигосахариды (греч. «олиго» - немного)	Полисахариды (греч. «поли» - много)
Состав	Одна молекула, в состав которой входят углерод, водород, кислород; часто в соотношении $C_n(H_2O)_n$	Определенное количество (небольшое, обычно 2-10) остатков молекул моносахаридов, соединенных ковалентными связями	Неопределенно большое количество (до нескольких сотен или тысяч) остатков молекул моносахаридов, соединенных ковалентными связями
Пути образования в организмах	1. в результате гидролиза олиго- и полисахаридов 2. в ходе метаболизма различных веществ, в т.ч. и других моносахаридов	В результате ферментативной полимеризации моносахаридов или ферментативного гидролиза полисахаридов	В результате ферментативной полимеризации моно- и олигосахаридов
Продукт гидролиза	Не гидролизуется	Моносахариды	Моносахариды (часто через промежуточные олигосахариды)

Молекулярная масса	Определенная		Неопределенная
Растворимость в воде	В основном растворимы		Нерастворимы или образуют коллоидные растворы
Вкус	Многие имеют сладкий вкус		Не имеют сладкого вкуса
Признаки классификации	По числу атомов углерода, входящего в состав молекулы	По числу остатков моносахаридов, входящих в состав молекулы	Различным образом, например: по продуктам гидролиза; По особенностям химических связей между остатками моно- и олигосахаридов, входящих в их состав

Таблица 10. Наиболее распространенные углеводы

Класс, группа	Название	Состав	Распространение, биологическая роль
Класс моносахариды. Группа пентозы	Рибоза	$C_5H_{10}O_5$	1. Входит в состав РНК, АТФ. 2. Входит в состав акцепторов водорода – ФАД, НАД, НАДФ. 3. Входит в состав витаминов группы В, ряда гликозидв, ферментов. 4. Фосфорный эфир рибозы является важнейшим звеном в синтезе нуклеотидов и нуклеиновых кислот
	Дезоксирибоза	$C_5H_{10}O_4$	Входит в состав ДНК
	Рибулоза	$C_5H_{10}O_5$	В свободном состоянии в организмах не встречается Ее фосфорные эфиры являются промежуточными продуктами обмена углеводов
Класс моносахариды. Группа гексозы	Глюкоза	$C_6H_{12}O_6$	1. Наиболее распространенный субстрат клеточного дыхания (источник энергии) 2. Мономер полисахаридов 3. Входит в состав многих гликозидов. В свободном состоянии содержится в тканях растений, животных, человека. Резервные полисахариды перед тем, как быть использованными организмом для получения энергии, гидролизуются до глюкозы

	Фруктоза	$C_6H_{12}O_6$	1. Входит в состав сахарозы. 2. Входит в состав олигосахаридов, полисахаридов и других биологически важных соединений. В свободном виде содержится в растениях.
	Галактоза	$C_6H_{12}O_6$	1. Входит в состав некоторых дисахаридов. 2. Входит в состав многих полисахаридов
Класс олигосахариды Группа дисахариды	Сахароза (тросниковый сахар, свекловичный сахар)	Глюкоза + фруктоза	Играет огромную роль в питании человека.
	Мальтоза (солодовый сахар)	Глюкоза + глюкоза	1. Промежуточный продукт расщепления крахмала в ходе обмена веществ
	Лактоза (молочный сахар)	Глюкоза + галактоза	Источник углеводов для детенышей млекопитающих, в т.ч. человека. Молоко содержит около 5% лактозы.
Класс полисахариды	Крахмал	Полимер α -глюкозы	Наиболее распространенный резервный полисахарид растительных клеток
	Гликоген	То же	Резервный полисахарид. Содержится в тканях животных и человека (в основном в печени и в мышцах)
	Целлюлоза	Полимер β -глюкозы	Главный структурный полисахарид растений. Из него состоят клеточные стенки растительных клеток.
Гетерополисахариды	Гепарин	Линейная полисахаридная цепь, состоящая из остатков аминсахаров и кислот – производных сахаров (близок к мукополисахаридам)	Препятствует свертыванию крови
	Муцины	Слабоветвящаяся полисахаридная	Секретируется различными тканями организма. Образуют вязкие растворы (слюна, секреты)

		<p>я цепь, состоящая из остатков галактозы, ее производных и кислот – производных сахаров</p>	<p>кишечника и бронхов), которые выстилают полости дыхательного и пищеварительного трактов, защищают ткани от повреждений</p>
	Гликокаликс	<p>Ветвящиеся молекулы полисахаридов, связанные с мембранными белками</p>	<p>1. Углеводные компоненты гликокаликса являются маркерами, обеспечивающими «узнавание» клетками друг друга. Благодаря этому клетки одного типа удерживаются вместе, образуя ткани. 2. Эти углеводные компоненты являются рецепторами тканевой совместимости, совместимости яйцеклетки и сперматозоидов. 3. Углеводные компоненты обеспечивают рецепторную функцию поверхности клеток при фагоцитозе. 4. В гликокаликсе микроворсинок клеток кишечного эпителия адсорбируются гидролитические ферменты, что является базой пристеночного пищеварения.</p>
	Групповые вещества крови человека (А, В, 0)	<p>Цепь олигосахаридов (состоящая из остатков глюкозы, галактозы и ее производных), соединенная с белком</p>	<p>Находятся на поверхности эритроцитов и создают на ней отрицательный заряд. Таким образом, групповые вещества препятствуют агглютинации (склеиванию) эритроцитов. Именно олигосахаридная цепь придает специфичность эритроцитам каждой из четырех групп крови</p>
	Мукополисахариды	<p>Линейная полисахаридная цепь, основными компонентами которой являются аминокислоты и производные глюкозы и</p>	<p>1. Некоторые из этих веществ даже в низких концентрациях образуют вязкие растворы, поэтому входят в состав лимфы, а также синовиальной жидкости (где выполняют функции смазки) 2. Другие входят в состав гликопротеидов, способных образовывать сетчатые структуры.</p>

		галактозы, а также кислоты – производные сахаров	Эти гликопротеиды составляют молекулярную основу межклеточного вещества соединительной ткани позвоночных (хрящевой и костной)
--	--	--	---

Таблица 11. Основные функции углеводов

Функция	Уровень организации	Примеры
Составная часть жизненно важных веществ клетки	Молекулярный	<ol style="list-style-type: none"> 1. Входят в состав носителей генетической информации – нуклеиновых кислот: рибоза – в состав РНК, дезоксирибоза – в состав ДНК; 2. Рибоза входит в состав основного носителя энергии клетки – АТФ; 3. Рибоза входит в состав акцепторов водорода – ФАД, НАД и НАДФ
Энергетическая	Клеточный	Глюкоза является одним из наиболее распространенных дыхательных субстратов, т.е. источников получения энергии. (олиго- и полисахариды, перед тем как использоваться на энергетические нужды, гидролизуются до моносахаридов)
Резервная	Организменный	<ol style="list-style-type: none"> 1. У животных резервным полисахаридом является гликоген; 2. Редуценты и симбиотическая микрофлора кишечника использует целлюлозу, т.к. они имеют специальные ферменты, гидролизующие ее до глюкозы
Структурная	Тканевый	<ol style="list-style-type: none"> 1. Углеводные компоненты гликокаликса обеспечивают «узнавание» клетками друг друга. Благодаря этому происходит ряд процессов: сперматозоиды опознают яйцеклетку своего биологического вида; клетки одного типа удерживаются вместе, образуя ткани; отторгаются несовместимые органы при трансплантации. 2. Углеводные компоненты придают специфичность групповым веществам крови (т.е. являются антигенами, по которым определяется группа крови человека в системе АВ0); 3. Гликокаликс микроворсинок кишечного эпителия является носителем ферментов пристеночного пищеварения; 4. Гепарин (производное полисахаридов) препятствует свертыванию крови; 5. Полисахариды, образующие вязкие растворы,

		входят в состав синовиальной жидкости и лимфы; 6. Гликопротеины, молекулы которых способны образовывать сетчатые структуры, составляют межклеточное вещество соединительной ткани, хряща и костей позвоночных.
Защитная	Тканевый	1. Углеводные компоненты гликокаликса являются рецепторами тканевой совместимости, а также выполняют рецепторную функцию при фагоцитозе; 2. Углеводные компоненты иммуноглобулинов запускают всю цепь иммунных реакций; 3. Вязкие растворы полисахаридов выстилают полости дыхательного и пищеварительного трактов и защищают от механических повреждений.

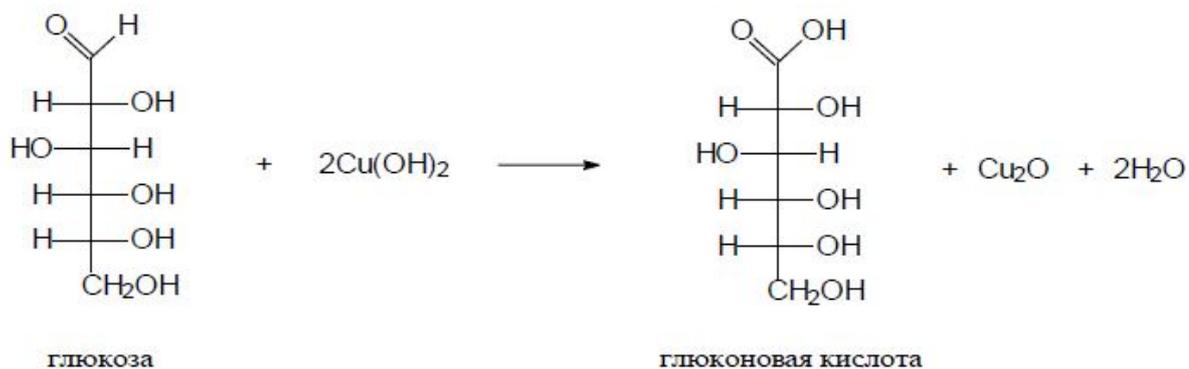
Химические и физико-химические методы обнаружения углеводов

Качественные реакции на углеводы

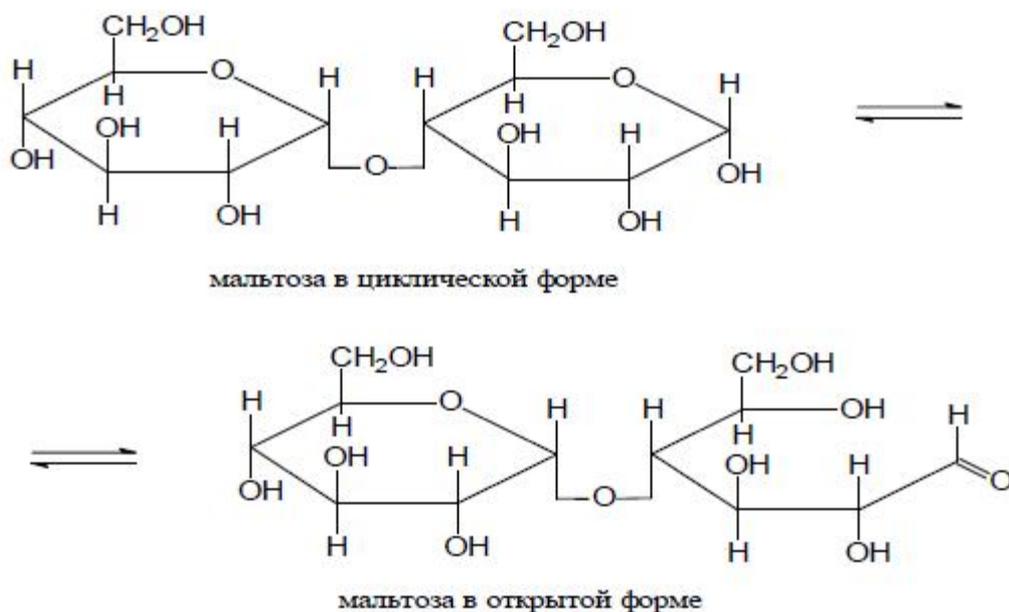
Углеводы дают ряд цветных реакций, с помощью которых осуществляют качественные и количественные определения моно-, ди- и полисахаридов в продуктах растительного и животного происхождения.

1.2.1. Качественная реакция на альдозы

Глюкоза, а также восстанавливающие дисахариды – мальтоза и лактоза – в щелочной среде превращают гидроксид меди (II) в оксид меди (I) за счет восстановительных свойств альдегидной группы:

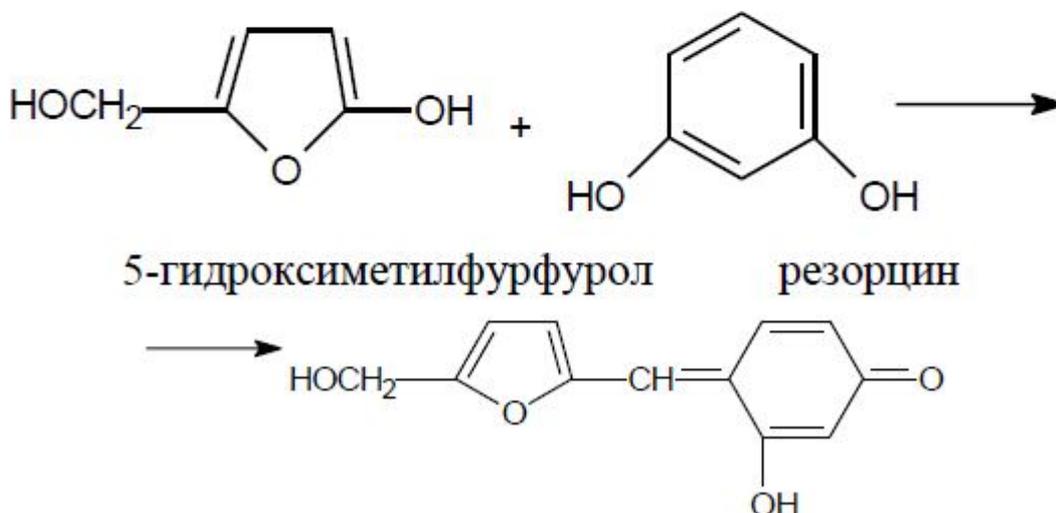
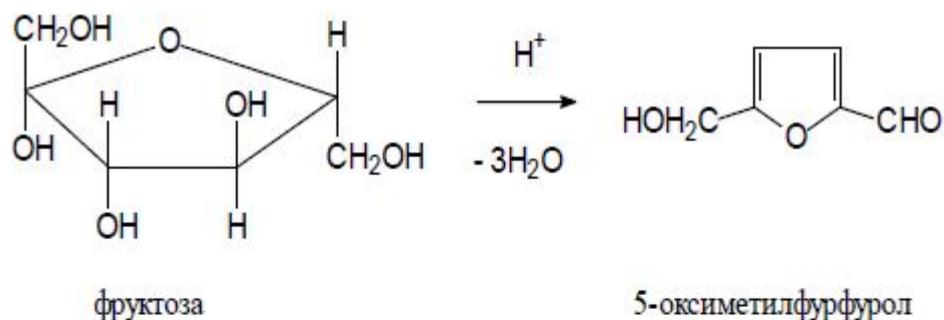


Восстановительные свойства мальтозы и лактозы объясняются обратимым раскрытием циклической формы с образованием свободной альдегидной группы, которая и восстанавливает гидроксид меди:



Качественная реакция на кетозы

Реакция Селиванова – это реакция на фруктозу и другие кетозы, основанная на образовании из них при нагревании с соляной кислотой 5-гидроксиметилфурфура, который затем образует в реакции с резорцином или α -нафтолом окрашенный продукт конденсации:

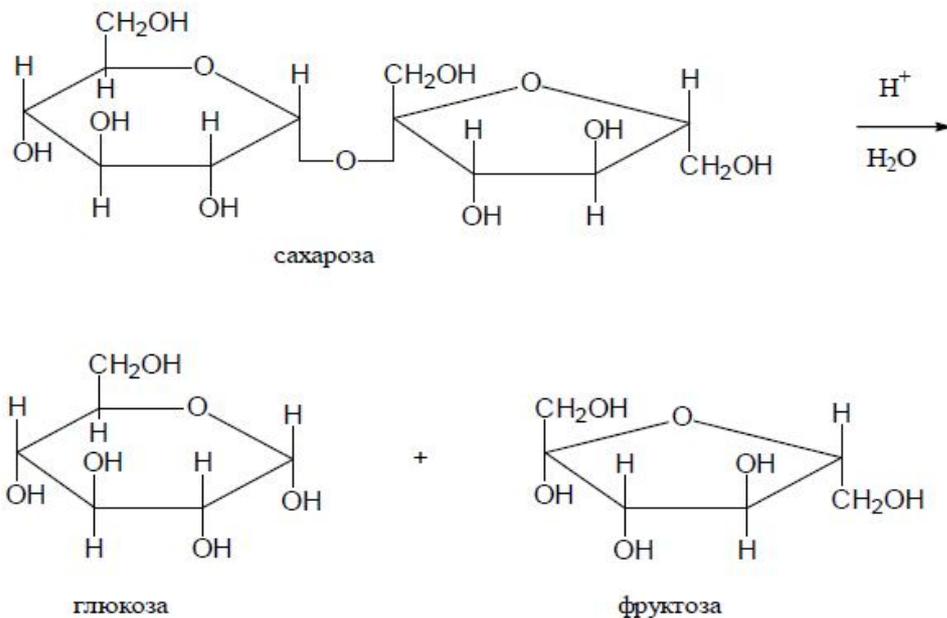


Реакции на дисахариды

Качественная реакция на сахарозу

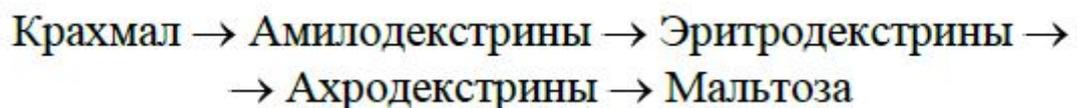
Сахароза в щелочной среде с сульфатом кобальта дает комплекс, окрашенный в фиолетовый цвет.

Гидролиз сахарозы



Качественная реакция на полисахариды

Крахмал и гликоген с раствором Люголя (раствор йода в водном растворе йодида калия) дают окрашенные комплексные соединения: крахмал – синее, гликоген – красно-бурое. Гидролитический фермент слюны α -амилаза катализирует реакцию гидролиза гликозидной связи крахмала. Расщепление крахмала идет через стадии образования полисахаридов с меньшей молекулярной массой, называемых декстринами:



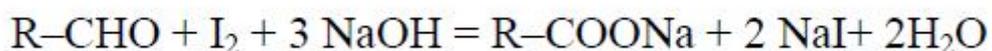
Декстрины дают с раствором йода различное окрашивание: близкие к крахмалу по молекулярной массе амилодекстрины дают сине-фиолетовое окрашивание, эритродекстрины – красно-бурое, ахродекстрины и мальтоза вообще не дают окрашивания.

Количественное определение моно- и дисахаридов

При определении содержания сахаров в продуктах необходимо приготовить водную вытяжку. Она не должна содержать белки и дубильные вещества, которые могут исказить результаты. Все эти вещества удаляют, осаждая ацетоном или нитратом свинца. Избыток свинца осаждают при помощи сульфата или фосфата натрия. После этого жидкость фильтруют. Полученный фильтрат служит для непосредственного определения количества сахаров. Величину навески подбирают с таким расчетом, чтобы в конечном фильтрате концентрация сахара была в пределах 0,4–0,8 %. При необходимости испытуемую вытяжку разбавляют водой, либо берут большую исходную навеску. Определение содержания сахаров в растворах может быть осуществлено физическими и химическими методами.

Определение содержания глюкозы и лактозы полярометрическим методом. Этот физический метод основан на способности сахаров вращать плоскость поляризации плоскополяризованного света (явление оптической активности). Данное свойство характеризуется знаком и величиной угла вращения α , величина которого является функцией концентрации водных растворов сахара, поэтому, измеряя угол вращения плоскости поляризации, можно определять содержание сахаров. Однако следует заметить, что на величину угла вращения могут влиять и другие оптически активные соединения, присутствующие в растворе (например, аминокислоты или пептиды), поэтому при анализе сложных смесей данный метод является лишь ориентировочным. Также, определение содержания глюкозы и лактозы можно проводить рефрактометрическим методом.

Определение содержания глюкозы и лактозы йодометрическим методом. Этот метод относится к химическим методам определения сахаров. Он основан на окислении йодом альдегидной группы сахаров в щелочной среде (этот метод неприменим для определения нередуцирующих сахаров, например, сахарозы). Альдо- сахара при этом окисляются в соответствующие кислоты: глюкоза – в глюконовую кислоту, лактоза – в лактобионовую и т.д.



Кетозы в щелочном растворе не окисляются йодом. Это дает возможность определить количество альдоз в присутствии кетоз, например, глюкозы в присутствии фруктозы.