

**Лекция 16**  
**Углеводная питательность кормов и рационов**  
**Лекция (2 часа)**

**Райхман А.Я**

*План лекции:*

1. Определение понятия «Углеводы»
2. Что входит в углеводы по схеме зооанализа
3. Клетчатка
  - 3.1. Метод определения сырой клетчатки
  - 3.2. Содержание клетчатки в кормах
  - 3.3. Использование сырой клетчатки жвачными животными.
  - 3.4. Новые подходы к оценке кормов по содержанию клетчатки (нейтрально- и кислотно-детергентная клетчатка)
4. Безазотистые экстрактивные вещества
  - 4.1. Крахмал
  - 4.2. Сахар
  - 4.3. Пентозаны
5. Особенности углеводного питания у животных разных видов

**1.Углеводы** – обширная группа органических веществ, весьма распространенных во всех природных кормах, особенно в растительных. К ним относят сахара, крахмал, сырую клетчатку и др. В состав углеводов кроме углерода входят водород и кислород в той же пропорции, что и в воде (H<sub>2</sub>O). Отсюда и произошло название – углеводы (углерод и вода).

Углеводы входят в состав тела животных (около 2 % сухого вещества) и растительных (около 80 %) организмов, выполняя разнообразные функции. В организме являются в основном источником энергии, около 65-75 % потребности в энергии удовлетворяется за счет данных органических веществ. Кроме того, углеводы выполняют функции резервных веществ (в растениях – крахмал, а у животных – гликоген), а также служат пластическим материалом (целлюлоза, хитин). Углеводы в организмах содержатся в свободном состоянии и в виде компонентов белков, нуклеиновых кислот, липидов и других соединений. В клеточном соке углеводы представлены сахарами, в пластидах – крахмалом, в клеточной оболочке – целлюлозой (клетчаткой), гемицеллюлозам и пектиновыми веществами.

**Углеводное питание** – обеспечение специфических потребностей животных в углеводах за счет углеводов кормов; восполнение запаса углеводов, истраченных организмом в процессе обмена веществ. Углеводы вследствие быстрой способности их к распаду и окислению являются основным материалом, из которого в организме образуется энергия. Кроме того, углеводы обеспечивают нормальное превращение основных метаболитов, образующихся при распаде белков и жиров. Углеводы, поступающие в пищеварительный тракт животных, различаются по переваримости. Простые сахара и

крахмал относятся к легкопереваримым веществам. В определенных условиях они быстро расщепляются амилалитическими ферментами пищеварительного тракта, в форме моносахаридов проходят стенку кишечника и поступают в кровь.

Труднопереваримые корма, в состав которых входит большое количество клетчатки, не могут полностью перевариваться за счет пищеварительных ферментов. Расщепляются они в рубце под действием ферментов бактерий.

Из всех углеводов наибольшее значение в питании животных имеет крахмал, а для жвачных клетчатка и сахара. У сельскохозяйственных животных разных видов процесс углеводного питания осуществляется неодинаково, что связано со строением пищеварительного тракта и характером получаемых кормов. У свиней углеводистые корма поступают в желудок, слабые сокращения стенок которого не вызывают интенсивного перемешивания химуса.

Химические превращения кормов сводятся в основном к гидролизу углеводов под влиянием растительных ферментов и ферментов слюны.

У лошадей процесс расщепления и всасывания углеводов в желудке и тонких кишках схож с таковым у свиней. Однако у лошадей, в отличие от свиньи, более объемистый толстый отдел кишечника, где под влиянием ферментов микроорганизмов клетчатка переваривается, образуя органические кислоты, которые после всасывания принимают участие в обмене веществ.

У жвачных переваривание углеводов под влиянием ферментов пищеварительных желез имеет второстепенное значение. Прежде чем поступить в сычуг, углеводы в преджелудках подвергаются интенсивному сбразиванию под влиянием микробной флоры. При этом образуются летучие жирные кислоты и только одна из них – пропионовая – снова превращается в глюкозу. Благодаря микробной ферментации жвачные наиболее эффективно переваривают клетчатку. Последняя имеет значение для них не только как питательный субстрат, но и как объемистая, медленно переваривающаяся часть корма, необходимая для обеспечения нормальной моторики желудочно-кишечного тракта. Считают, что наиболее благоприятный уровень клетчатки в рационе жвачных – 20-22 %. Скармливание жвачным малых количеств грубого корма приводит к нарушениям моторики преджелудков и сортирующей роли сетки. Уровень содержания клетчатки в корме влияет на переваримость других питательных веществ рациона. Как недостаток, так и избыток клетчатки ведет к нарушению пищеварения и снижению переваримости питательных веществ. У коров, получающих рационы с недостаточным количеством грубых кормов, которые содержат много клетчатки, снижаются молочная продуктивность и содержание жира в молоке из-за уменьшения доли уксусной кислоты в рубце.

## **2. Что входит в углеводы по схеме зооанализа**

По схеме зоотехнического анализа кормов выделяется две группы органических питательных веществ в кормах:

### **1. сырая клетчатка**

## 2. БЭВ (безазотистые экстрактивные вещества)

### 3. Клетчатка.

#### 3.1. Метод определения сырой клетчатки.

Сырая клетчатка – та часть корма, которая остается после последовательного кипячения навески корма в разбавленных кислотах и щелочах. В эту группу безазотистых веществ корма входят собственно клетчатка – целлюлоза (франц. cellulose – клетка, от лат. cellula – комнатка, клетушка), а также пентозаны, гексозаны, инкрустирующие вещества – лигнин, кутин, суберин.

#### 3.2. Содержание клетчатки в кормах.

В кормах животного происхождения нет клетчатки. В растительных кормах в процессе роста содержание и химический состав сырой клетчатки изменяется; в клеточной оболочке молодых растений преобладает целлюлоза, а с возрастом, когда клеточная стенка утолщается, накапливаются лигнин и пентозаны, что препятствует воздействию микрофлоры на потенциально переваримую целлюлозу. Клетчатка (целлюлоза) расщепляется в организме до глюкозы под действием фермента микроорганизмов – целлюлазы.

Наиболее быстро и глубоко протекают процессы лигнификации в клетках стеблей, в меньшей степени – в клетках листьев, еще меньше – в столовых и кормовых сортах корнеклубнеплодов (кормовой и столовой свеклы, турнепса, моркови, картофеля). Высокое содержание сырой клетчатки снижает общую питательность кормов.

Много сырой клетчатки находится в соломе озимых зерновых злаковых – 40-45 %. Несколько меньше ее в соломе яровых и сене – 20-35 %, в голозерных злаках (кукурузе, пшенице) – около 1 %, в пленчатых (овсе, ячмене) – 10-12 %, в корнеклубнеплодах – не более 0,4-2 %.

#### 3.3. Использование сырой клетчатки жвачными животными.

Благодаря микробной ферментации жвачные наиболее эффективно переваривают клетчатку. Последняя имеет значение для них не только как питательный субстрат, но и как объемистая, медленно перевариваемая часть корма, необходимая для обеспечения нормальной моторики желудочно-кишечного тракта и сортирующей роли сетки. Уровень клетчатки в корме влияет на переваримость других питательных веществ рациона. Как недостаток, так и избыток этого полисахарида ведет к нарушению пищеварения и снижению переваримости питательных веществ. По мнению некоторых авторов, у коров, получающих рационы с недостаточным количеством грубых кормов, снижается молочная продуктивность и содержание жира в молоке вследствие уменьшения синтеза уксусной кислоты в рубце.

Используемое на протяжении более ста лет (начиная с 1865 г.) классическое определение сырой клетчатки в последнее время не удовлетворяет требованиям зоотехнического анализа в качестве показателя характеристики качества корма. Негативной стороной показателя уровня сырой клетчатки является то, что с его увеличением происходит снижение переваримости, а следо-

вательно, и энергетической ценности корма. Однако жвачные животные в состоянии переваривать большое количество гемицеллюлоз и целлюлозы кормов, а возможность переваривать сырую клетчатку ограничивается объемом желудочно-кишечного тракта и содержанием лигнина в рационе. Таким образом, сырая клетчатка дает только приблизительное представление о различиях в степени переваримости кормов.

Второй серьезной проблемой является то, что в процессе химического анализа корма под действием кислот и щелочей часть гемицеллюлоз, целлюлозы и лигнина растворяется, фильтруется и при подсчете учитывается в БЭВ. Таким образом, истинная картина содержания углеводов искажается. В опытах ВИЖа и БелНИИЖа установлено, что сырая клетчатка различных кормов, кала и дуоденального химуса включает в себя от 82,6 до 96,0 % целлюлозы, от 6,0 до 23,5 % гемицеллюлоз и до 32,5 % лигнина. В ходе определения сырой клетчатки существующим методом в БЭВ (определяемых расчетным путем) переходят от 4,0 до 17,4 % целлюлозы, от 76,5 до 94,0 % гемицеллюлоз и 67,5 % свободного лигнина сухого вещества образца.

Сотрудниками ВНИИФБиП сельскохозяйственных животных установлено, что содержание гемицеллюлоз и целлюлозы в кормах в сумме составляет 46,0-60,0 %, что значительно превышает количество, определяемой сырой клетчатки (28,0-35,0 %).

#### 3.4. Новые подходы к оценке кормов по содержанию клетчатки.

Недостатки в методике определения сырой клетчатки послужили толчком для разработки новых методов. В 1965 г. Питером Ван Советом был предложен метод определения нейтрально-детергентной и кислотно-детергентной клетчатки. Метод основан на разделении корма на две фракции: растворимую в нейтральном детергенте и представляющую наиболее переваримую часть корма, состоящую из белков, жиров, легкогидролизуемых углеводов, и нерастворимую в нейтральном детергенте и представляющую плохо переваримую часть корма клеточных стенок, состоящих из гемицеллюлоз, целлюлозы и лигнина, лигнифицированного азота и нерастворимой золы. Последующее воздействие на образец корма кислым детергентом (основан на растворе ацетилтриметиламмония бромистого) позволяет растворить 82,0-84,0 % гемицеллюлоз, а добавление соляной кислоты удаляет из остатка целлюлозу.

Таким образом, нейтрально-детергентной клетчаткой (НДК) является сумма структурных углеводов клеточной стенки, состоящих из гемицеллюлоз, целлюлозы, а кислотно-детергентной клетчаткой (КДК) – целлюлоза + лигнин.

В зависимости от вида корма количество НДК может варьировать в значительных пределах. Так, исследованиями 22 видов кормов методом *in situ*, установлено, что содержание в них НДК колеблется от 6 % (кукурузный глютен) до 92 % (кукурузные початки), а степень переваривания в течение 24 ч – от 13,5 % (арахисовая шелуха) до 76,6 и 78,0 % (пивная дробина и соевый шрот). Высокое содержание НДК отмечено в грубых кормах: солома – до 84,1 %; более низкое – в сочных: свекла кормовая – 17,4 %; концентратах:

ячмень (зерно) – 19,1 %, бобовых – от 53,0 до 76,5 %. При этом содержание НДК в листовой пластине растения выше, чем в листовом влагалище.

Количество КДК в кормах меньше НДК на показатель значения гемицеллюлоз. Так, в газонной траве уровень КДК составляет 32,0 %, соломе пшеничной – 56,2, свекле кормовой – 10,4, сене луговом – 30,3 %.

Регрессионное уравнение позволяет подсчитать кислотно-детергентную клетчатку исходя из содержания нейтрально-детергентной. Данное уравнение принимает вид:

для силоса кукурузного:

КДК, % =  $1,15 + 0,62 \text{ НДК (г 0,89)}$ ;

для травяного фуража:

КДК, % =  $6,89 + 0,50 \text{ НДК (г 0,62)}$ ;

для бобового фуража:

КДК, % =  $0,73 + 0,82 \text{ НДК (г 0,84)}$ .

Национальные нормы кормления животных США (NRC) рекомендуют формировать рационы жвачных таким образом, чтобы в них на долю НДК фуражных кормов приходилось 75 % от общего количества клетчатки. Остальные 25 % могут быть восполнены нефуражным НДК таких кормов, как соевая шелуха, цельное хлопчатниковое семя, флакированная кукуруза и др.

Исходя из научного обоснования нормирование клетчатки для жвачных животных целесообразно осуществлять по НДК, так как она включает в себя все фракции структурных углеводов (лигнин, целлюлоза, гемицеллюлозы) и позволяет более правильно определять содержание неструктурных углеводов в составе БЭВ. Безусловно, в зоотехническом анализе кормов определение НДК и лигнина, необходимо.

Минимальный уровень содержания НДК в рационах жвачных по обобщенным экспериментальным данным составляет 35 % от сухого вещества рациона и зависит от соотношения НДК объемистых и концентрированных кормов. С повышением НДК в сухом веществе рациона за счет объемистых кормов (выше 25 %) минимальный уровень ее в рационе будет снижаться. Максимальный уровень НДК в рационе ограничивается минимально допустимым уровнем неструктурных углеводов (БЭВ), который должен составлять не менее 35-40 % от сухого вещества рациона.

#### **4. Безазотистые экстрактивные вещества**

В эту группу безазотистых веществ относят крахмал, сахара и пентозаны.

##### **4.1. Крахмал**

Крахмал. В различном количестве содержится во всех природных кормах, особенно в растительных зерновых кормах. Концентрация его в семенах кукурузы доходит до 65-75 %, пшеницы – до 60-70 %. Много крахмала в клубнях картофеля – до 55-60 % в сухом веществе. Мало в стеблях и листьях – около 2 %. Особая форма крахмала – инулин в больших количествах обнаруживается в клубнях топинамбура – земляной груши; инулин хорошо усваивается животными. Животный крахмал – гликоген. Его можно обнаружить в

кормах животного происхождения, так как он содержится во многих тканях, особенно в печени – от 1 до 4 % ее массы. Он содержится в небольшом количестве в различных кормовых дрожжах и в концентрированном корме, включающем зерно сахарной кукурузы.

Крахмал в разном количестве содержится во всех природных кормах, особенно в растительных зерновых. Концентрация его в семенах

$BЭВ = СВ - СП - СЖ - НДК - СЗ,$

кукурузы доходит до 65-75 %, пшеницы – до 60-70 %; много его в клубнях картофеля – до 55-60 % в сухом веществе; мало крахмала в стеблях и листьях – около 2

Особая форма крахмала – инулин – в больших количествах обнаруживается в клубнях топинамбура (земляной груше) и хорошо усваивается животными.

Единственным представителем полисахаридов и аналогом крахмала в организме животных является гликоген. Он содержится в тканях и кормах животного происхождения, особенно много его в печени – 1-4 % от ее массы. В небольшом количестве гликоген обнаружен в кормовых дрожжах и зерне сахарной кукурузы.

#### 4.2. Сахар

Сахара в растительных кормах представлены моносахаридами (глюкоза и фруктоза) и дисахаридами (мальтоза и сахароза).

Сахара накапливаются в больших количествах (до 22 %) в виде резервных веществ в корнях сахарной свеклы моркови и в растениях сорго. Около 14 % Сахаров содержится в сухом веществе молодых злаковых трав. Под влиянием таких окислителей, как нитраты и нитриты (при внесении азотных удобрений с уровнем выше 200 кг/га) происходит интенсификация синтеза протеина у злаков и ведет к снижению содержания Сахаров в сухом веществе до 5-7 %.

Единственный представитель Сахаров животного происхождения – лактоза (молочный сахар) – содержится до 4-5 % в молоке коров и других животных. Несмотря на значительное содержание лактозы в молоке, оно не имеет заметной сладости. Объясняется это тем, что лактоза в 4-5 раз менее сладкая, чем сахароза. Сбраживается лактоза лишь особыми (лактозными) дрожжами, находящимися в кисломолочных продуктах.

#### 4.3. Пентозаны.

Пентозаны - это промежуточные продукты синтеза клетчатки в растениях, поэтому наибольшее их содержание (до 25-30 %) обнаруживается в грубых кормах, соломе и сене. В природе распространены пентозаны двух типов – арабаны и ксиланы. Арабаны входят в состав пектиновых веществ растений, ксиланы – гемицеллюлоз.

К безазотистым органическим соединениям также можно отнести фенольные соединения, гликозиды и эфирные масла. Их количество сильно варьируется от значительного до едва обнаруживаемого. Эти соединения определяют вкусовые достоинства и поедаемость животными кормовых средств. По

этой причине для дальнейшего совершенствования технологии кормления, направленной на увеличение поедаемости кормов животными, необходимо учитывать содержание в них фенольных соединений, гликозидов и эфирных масел, а также возможность их использования в чистом виде в составе рационов.

### **5. Особенности углеводного питания у животных разных видов**

Особенности углеводной питательности кормов для животных разных видов. Углеводное питание – обеспечение специфических потребностей организма животных в углеводах и восполнение их запасов, истраченных в процессе обмена веществ, за счет углеводов кормов. Данные органические вещества вследствие их быстрой способности к распаду и окислению являются основным энергетическим материалом. Кроме того, они обеспечивают нормальное превращение основных метаболитов, образующихся при распаде белков и жиров.

Углеводы, поступающие в пищеварительный тракт животных, различаются по степени переваримости. Простые сахара и крахмал содержатся в основном в сочных и концентрированных кормах и относятся к легкопереваримым веществам. В определенных условиях они быстро расщепляются амилалитическими ферментами пищеварительного тракта, в форме моносахаридов проходят стенку кишечника и поступают в кровь. В грубых кормах содержится достаточно много сырой клетчатки, которая не может полностью перевариваться за счет пищеварительных ферментов. Расщепляется она в основном в рубце жвачных животных под действием целлюлозолитических ферментов микроорганизмов. Из всех углеводов наибольшее значение в питании моногастричных животных имеет крахмал, а жвачных – клетчатка и сахара.

У сельскохозяйственных животных разных видов процесс углеводного питания осуществляется неодинаково, что связано со строением пищеварительного тракта и характером получаемых кормов. У свиней углеводистые корма поступают в желудок, слабые сокращения стенок которого не вызывают интенсивного перемешивания химуса. Химические превращения кормов сводятся в основном к гидролизу углеводов под влиянием растительных ферментов и ферментов слюны. По данным А. В. Квасницкого, в желудке и тонком отделе кишечника свиней расщепляется и всасывается в форме глюкозы до 85 % углеводов, в толстом – 10-15 %.

У лошадей процесс расщепления и всасывания углеводов в желудке и тонком кишечнике схож с таковым у свиней. Однако у лошадей более объемистый толстый отдел кишечника, где под влиянием ферментов микроорганизмов переваривается клетчатка, образуя органические кислоты, которые после всасывания принимают участие в обмене веществ.

У жвачных переваривание углеводов под влиянием ферментов пищеварительных желез имеет второстепенное значение. Прежде чем поступить в сычуг, углеводы в преджелудках подвергаются интенсивному сбраживанию под действием микрофлоры. При этом образуются летучие жирные кислоты и только одна из них – пропио-новая – снова превращается в глюкозу. В сутки в рубце образуется более 3 кг ЛЖК, в том числе уксусной кислоты – от 870

до 1650 г, пропионовой – от 340 до 1160 г и масляной – от 240 до 450 г (Курилов, Кроткова, 1971). По данным С. Я. Зафрена (1977), муравьиная кислота постоянно присутствует в преджелудках жвачных животных, в сутки ее образуется до 600 гг.

В рационах жвачных корма, богатые легкопереваримыми углеводами, служат не только источником питательных веществ и энергии, но и обеспечивают нормальную переваримость кормов с высоким содержанием клетчатки, протеина и небелковых азотистых веществ. Степень использования питательных веществ и оптимальные уровни легкопереваримых углеводов определяются также и соотношением в рационе сахара и протеина.

Благоприятное влияние легкопереваримых углеводов осуществляется лишь тогда, когда животные получают их в оптимальных количествах. Избыточное поступление Сахаров в пищеварительный тракт жвачных может привести к тяжелому расстройству обмена веществ, а часто – и к гибели животных.

Некоторые заболевания, возникающие при нарушениях углеводного обмена. Нарушения углеводного обмена могут быть вызваны расстройством переваривания и всасывания углеводов в желудочно-кишечном тракте, что наблюдается при панкреатитах, энтеритах, отравлении ядами. Углеводный обмен нарушается при расстройствах синтеза и накопления вредных веществ в тканях, в частности при уменьшении синтеза и отложении гликогена в печени и мышцах, что происходит в результате нарушения всасывания моносахаридов из кишечника, а также при образовании гликогена из промежуточных продуктов обмена жиров и белков, при гипоксии. Нарушение обмена гликогена приводит к развитию кетозов, расстройству белкового обмена, уменьшению энергетических ресурсов организма и др.

Нарушение углеводного обмена в основном проявляется гипергликемией и гипогликемией. Алиментарная гипергликемия возникает при поступлениях в организм больших количеств легкоусвояемых углеводов. Гипогликемия приводит прежде всего к нарушению деятельности центральной нервной системы. У жвачных развивается гипо-гликемический синдром. У коров гипогликемия может быть во время обильной лактации. Расстройство углеводного обмена проявляется также хроническим заболеванием – сахарным диабетом.

3. Углеводы. Это обширная группа органических веществ, весьма распространенная во всех природных кормах, особенно в растительных, - различные виды сахаров, крахмал, клетчатка и др. В состав этих веществ, кроме углерода, входят водород и кислород в той же пропорции, что и в воде ( $H_2O$ ). Отсюда и произошло название – углеводы (углерод и вода).

### **Заболевания.**

Некоторые заболевания, возникающие при нарушениях углеводного обмена. Нарушения углеводного обмена могут быть вызваны расстройством переваривания и всасывания углеводов в желудочно-кишечном тракте, что



наблюдается при панкреатитах, закупорке выводного протока поджелудочной железы, энтеритах, отравлении ядами, блокирующими процессы фосфорилирования углеводов в слизистой кишечника. Углеводный обмен нарушается при расстройствах синтеза и накопления углеводов в тканях, в частности при уменьшении синтеза и отложении гликогена в печени и мышцах, что происходит в результате нарушения всасывания моносахаридов из кишечника, а также при образовании гликогена из промежуточных продуктов обмена жиров и белков, при гипоксии. Нарушение обмена гликогена приводит к развитию кетозов, расстройству белкового обмена, уменьшению энергетических ресурсов организма и др. Нарушение углеводного обмена в основном проявляется гипергликемией и гипогликемией. Алиментарная гипергликемия возникает при поступлениях в организм больших количеств легкоусвояемых углеводов. Гипогликемия приводит прежде всего к нарушению деятельности центральной нервной системы. У жвачных развивается гипогликемический синдром. У коров гипогликемия может быть во время обильной лактации. Расстройство углеводного обмена проявляется также хроническим заболеванием – сахарным диабетом.

С