

## **Глава 9. Фундаментальные и прикладные физиолого-этологические исследования в стратегии устойчивого животноводства**

### **9.1. Общебиологические закономерности структурной организации полостного пищеварения у животных разных видов (Ксенофонтов Д.А.; Вертипрахов В.Г.; Войнова О.А.; Ксенофонтова А.А.).**

Современная физиология животных является фундаментальным научным базисом развития животноводства и птицеводства. Изучив закономерности, лежащие в основе функционирования систем организма во взаимодействии с окружающей средой, можно увеличить продуктивность животных, максимально используя биологический потенциал организма, и эффективно осуществлять ветеринарные и зоотехнические мероприятия. Физиологические опыты тесно интегрированы с анатом-гистологическими и биохимическими исследованиями, что является основой для ветеринарной медицины и фармакологии, зоотехнии, кормления и разведения животных. Разнообразные цели и задачи требуют от физиологии развития новых направлений, позволяющих объективно осуществлять мониторинг здоровья, животные и качества продукции. Современные биохимические исследования на разных уровнях межклеточного обмена позволяют определить минимальные изменения, происходящие во внутренней среде организма под влиянием экзогенных факторов (Trukhachev, 2016). А методы этологии в животноводстве не только выявляют нарушения в поведении, но служат объективной оценкой благополучия сельскохозяйственных животных и птицы (Трухачев, 2001).

В последнее десятилетие кафедра физиологии, этологии и биохимии животных сосредоточила научные исследования в части изучения структурно-функциональных характеристик энтеральной среды и процессов пищеварения под влиянием различных кормовых, что является залогом благополучия сельскохозяйственных животных и птицы и получения высококачественной продукции.

Пищеварение, как известно, представляет собой комплекс происходящих в желудочно-кишечном тракте процессов. В последнее время активно проявляется тенденция по рационализации и индивидуализации питания человека, ведутся разработки диетического питания в терапии и нутрициологии. В продуктивном животноводстве для увеличения продуктивности наряду с использованием достижений генетики и селекции решающее значение имеет полноценное, научно обоснованное кормление. В основе составления сбалансированных рационов человека и животных лежит глубокое понимание физиологических процессов пищеварения и обмена веществ.

Из всех типов пищеварения на современном уровне развития гастроэнтерологии полостное пищеварение является наименее изученным. Механизмы формирования гастроэнтеральной среды, свойства химуса, процессы полостного гидролиза изучались в работах Лондона, Синещекова, Гальперина, Алиева. Довольно долгое время в физиологии пищеварения господствовало представление о содержимом пищеварительного тракта, данное Лондоном еще в 1924 г, как смеси пищевых частиц и пищеварительных соков (Макарова, 1947). Химус (от греч. χυμός – сок) – жидкое или полужидкое содержимое желудка или кишечника, состоящее из частично переваренной пищи, желудочного и кишечного соков, секретов желёз, желчи, слущенных эпителиальных клеток и микроорганизмов.

Впервые более детально состав химуса был изучен в лаборатории Гальперина, где методом центрифугирования нативный химус разделили на жидкую фазу и плотную часть, включающую пищевые волокна. Плотная фаза, содержащая пищевые частицы высокой дисперсности с развитой поверхностью, постоянно вызывает интерес ученых в связи с агрегатной подготовкой и динамикой эвакуации в процессе пищеварения в норме и патологии (Никольский, 1977; Baker, 1965). Жидкая фаза химуса представляет собой среду, сходную у животных с разным типом питания и образованную

пищеварительными соками и экзогенной жидкостью. Она также содержит плотную часть, состоящую в основном из отторгшихся энтероцитов и слизи. В ней содержится основная масса ферментов, поступающих в составе кишечного сока в просвет кишки, которые, дополняя комплекс ферментов, осуществляющих деградацию веществ, делают возможным полный (до мономеров) гидролиз части субстратов в полости тонкой кишки (Bremner, 1970; Ito, 1969).

Роль плотной фазы химуса в процессах переваривания и всасывания изучалась в ряде работ, посвященных в основном физиологическому действию пищевых растительных волокон (Rodning, 1983; Roos, 1981). Согласно гипотезе, выдвинутой Эствудом, физиологическая роль пищевых волокон определяется физико-химическими свойствами полисахаридов, из которых они состоят: целлюлозы, лигнина, пектина и кислых полисахаридов (Eastwood, 1977). Главным результатом исследований нативного химуса, проведенных Гальпериным, явилось то, что все пищевые частицы и растительные волокна составляют не более 30% от объема плотной фракции химуса (Гальперин, 1985). Основная часть плотной фазы химуса представлена рыхлыми структурами, которые не идентифицируются с экзогенными компонентами химуса. Гистологические исследования показали, что наряду с пищевыми частицами в состав нативного химуса входят флокулярные структуры геля эндогенного происхождения, которые составляют более 70% объема его плотной фазы (Гальперин, 1985). С середины 80-х годов XX в. структуру кишечного химуса начали исследовать на кафедре физиологии животных МСХА им. К.А. Тимирязева Полякова и Георгиевский. С помощью методики разработанной Е.П. Поляковой была выделена гелеобразная масса, получившая название «плотная эндогенная фракция» – ПЭФ (Георгиевский, 2000, 1990). В исследованиях Руденской было показано, что в состав плотной фракции химуса входит часть кишечного сока с клетками кишечного эпителия (Руденская, 1981, 1982).

В целом, современная модель полостного пищеварения, предложенная Гальпериним, дополняет теорию мембранного пищеварения Уголева и характеризуется интерфазными процессами формирования в двенадцатиперстной кишке плотной фракции энтеральной среды, что в целом создает структуру с развитой поверхностью раздела фаз обратимо сорбирующую ферменты (см. рис. 9.1).

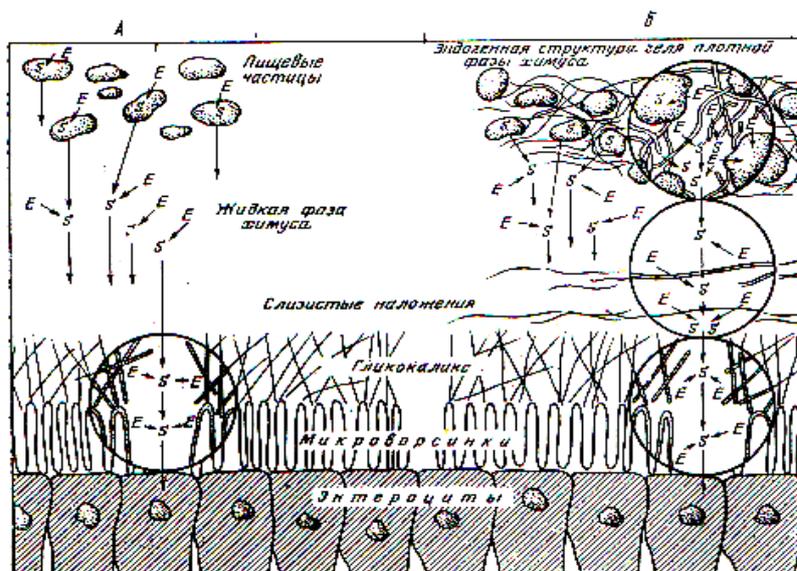


Рисунок 9.1. - Схема кишечного пищеварения:  
А - по А.М. Уголеву, В - по Ю.М. Гальперину.

Цель исследований – теоретическое обоснование концепции формирования структурно-функциональной системы энтеральной среды, а задача исследований – изучение структурной организации содержимого пищеварительного тракта животных с разным типом пищеварения.

Исследования проводились в условиях вивария и кафедры физиологии и биохимии животных РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, вивария ФГБНУ ФНЦ ВИЖ им. К.А. Эрнста и лаборатории фармакомоделирования ФГБУН НЦБМТ ФМБА России в период с 2001 по 2015 год. Основным принципом проведения всех экспериментов явился подбор таких методов исследования процессов пищеварения и всасывания, которые отражали бы их естественное проявление. Все эксперименты проводились с соблюдением биоэтических

норм. Опыты ставили на здоровых животных, которые содержались в условиях, соответствующих зоогигиеническим и зоотехническим требованиям. На протяжении всего опыта за животными осуществлялся ветеринарный контроль.

Объектом исследования стали разные виды моно- и полигастричных животных: куры яичного направления 80-120 дневного возраста (48 голов); быки-кастраты возраст 18-22 месяцев (6 голов); валухи породы ромни-марш возраст 18 месяцев (3 головы); козы молочного направления возраст 12-18 месяцев (6 голов); мини-пиги светлогорской популяции возраст 1,5 года (4 головы); кролики (9 голов). В ходе исследований после контрольного убоя у животных отбирали образцы химуса из разных отделов пищеварительного тракта. С помощью методики фракционирования из всех образцов нативного химуса выделены эндогенные (растворимая фракция – РФ, плотная эндогенная фракция – ПЭФ) и экзогенные структуры (пищевые частицы – ПЧ). Все образцы цельного химуса и его фракций высушивали до постоянной массы, а далее количественно оценивали долю каждой фракции в его составе (Полякова, 2016).

Оценка содержимого ЖКТ показало, что содержание сухого вещества в химусе у кур колеблется в пределах от 10 до 16%. В химусе желудка содержание сухого вещества в среднем составляет 16%, в химусе тонкого кишечника – 11-15%, в химусе толстого кишечника – 10%. Соотношение фракций в составе сухого вещества химуса кур показало, что на долю пищевых частиц в сухом химусе 12-перстной кишки кур приходится менее 1%, в тощей кишке – 17% (см. рис. 9.2). По мере продвижения химуса в нижележащие отделы относительная доля ПЧ в сухом веществе увеличивается в подвздошной кишке до 45% и в прямой кишке до 40%. При этом доля растворимой фракции в сухой массе химуса кур составляет 66% в двенадцатиперстной кишке и 27% в дистальном отделе ЖКТ. На долю плотной эндогенной фракции на протяжении всего кишечника приходится 23-37% от общей сухой массы химуса, причем её доля относительно стабильна и не зависит ни от времени кормления птицы, ни

от состава рациона. Так как, содержание сухих веществ в химусе подвздошной и прямой кишок у кур меняется незначительно от 10 до 16%, то, следовательно, снижение доли растворимой фракции в химусе этих отделов с 60 до 27-23%, очевидно, связано с активной абсорбцией легкорастворимых нутриентов. При этом вода удерживается в химусе плотной эндогенной фракцией и разбухшими пищевыми волокнами, доля которых возрастает до 40-45%.

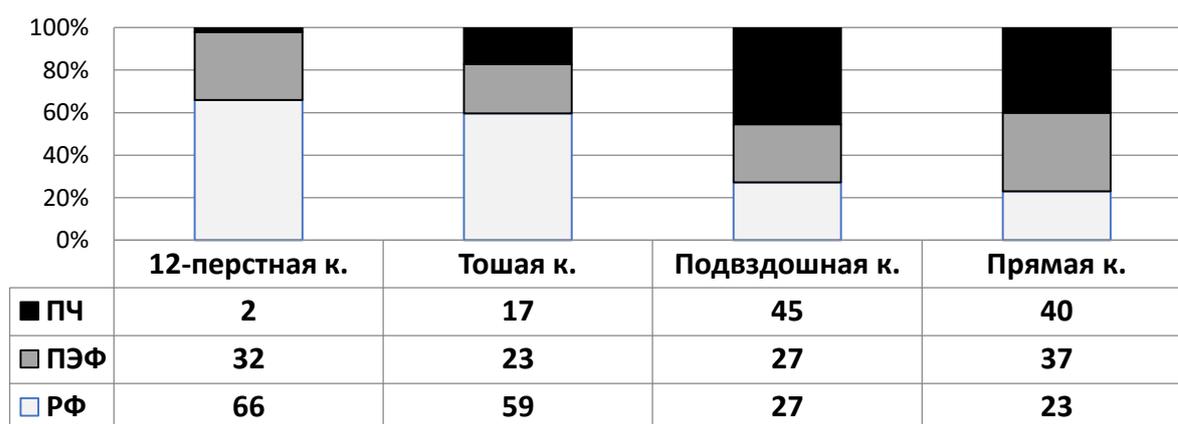


Рисунок 9.2. – Соотношение фракций в сухом веществе химуса у кур (%)

У млекопитающих в структуре химуса идентифицированы те же фракции, как у кур. Свины относятся к моногастричным животным, однако, пищеварение этих животных видоспецифично, на уровне желудка и толстого отдела кишечника велика роль симбиотических микроорганизмов. У мини-пиггов, динамика доли сухой массы ПЧ и РФ в химусе по мере его продвижения взаимообусловлены и в целом сходны с таковой у животных других видов. Доля ПЭФ в сухом веществе химуса относительно постоянна в начале тонкого и в толстом кишечнике и составляет 18-20%. В конце тонкого кишечника её уровень снижается до 8% либо из-за разрушения полостными ферментами, либо из-за активности микрофлоры. В толстом отделе кишечника увеличение доли ПЭФ до 13-19% является также необходимым вероятнее всего также для удержания воды в химусе при его уплотнении за счет увеличения доли ПЧ до 69% и снижения РФ до 12%

У жвачных животных, несмотря на наличие сложного желудка, и активной роли симбиотических микроорганизмов в процессах гидролиза и синтеза, кишечный химус на протяжении всего ЖКТ имеет структуру, сходную с таковой у моногастричных животных. Сухая масса химуса кишечника относительно постоянна (8 – 11% в тонком отделе кишечника, 14 % - в прямой кишке). Рассматривая соотношение сухого вещества фракций химуса пищеварительного тракта крупного и мелкого рогатого скота необходимо обозначить сходство в динамике состава содержимого ЖКТ. Доля непереваренных пищевых частиц, в сухом веществе преджелудков и сычуга характеризуется относительной стабильностью и составляет 62-70 %. Однако в 12-ти перстной и в начале тощей кишок этот показатель резко снижается до 18-23 и 8%, соответственно. Начиная со средней трети тощей кишки, из-за всасывания воды и растворенных в ней питательных веществ, доля непереваренных пищевых частиц постепенно увеличивается, достигая в толстом отделе кишечника 52-62%.

Доля сухого вещества РФ в отличие от ПЧ, имеет самое низкое значение в преджелудках и сычуге (8-15%) быков, баранов и коз, однако уже в двенадцатиперстной и в начале тощей кишки она значительно увеличивается до 46,4-59,8 и 51-60%, соответственно. Начиная со средней трети тощей кишки уровень РФ динамично снижается по мере продвижения химуса в нижележащие отделы и составляет в ободочной и прямой кишках 20-22 и 14-22%, соответственно. Следует отметить, что значительные изменения в соотношении доли сухого вещества пищевых частиц и растворимой фракций химуса взаимообусловлены. Отмечаются они при переходе химуса из многокамерного желудка в тонкий отдел кишечника, из тонкого в толстый отдел кишечника, и связаны с функциональными особенностями этих отделов в переваривании и всасывании питательных веществ.

В начале тонкого кишечника содержание ПЭФ в химусе составляет 35-41%., а, начиная со средней трети тощей кишки и заканчивая прямой, остается

относительно постоянным, в пределах 23-26 %. Так же впервые экспериментально установлено присутствие ПЭФ в многокамерном желудке, где её доля в сухом веществе содержимого рубца и сычуга составила 16% и 12,6%.

Таким образом, идентичная картина по динамике сухого вещества фракций химуса на протяжении кишечника у животных разного вида свидетельствует о единой структурно-функциональной организации полостного пищеварения. Уровень ПЭФ в сухом веществе химуса имеет видовые особенности при сходной динамике и в целом находится на уровне 9-20% в химусе тонкого кишечника, снижаясь до 7% в подвздошной кишке, а после перехода в толстый отдел вновь возрастает в среднем до 15-30% (см. таб. 9.1). Такая динамика, явно неслучайна и обусловлена особенностями пищеварения в разных отделах кишечника, в каждом из которых ПЭФ выполняет свою специфическую функцию. Уровень сухого вещества ПЭФ достаточно высок и в содержимом преджелудков у жвачных животных – 8-20%.

*Таблица 9.1*

**Доля плотной эндогенной фракции в сухом веществе химуса (%)**

Отдел ЖКТ	Птица (куры)	Кролики	Свиньи (мини-пиги)	Козы	Валухи	Быки
Рубец	-	-	-	8,7	20	16
Желудок (Сычуг)	-	11,1	18,0	8,6	15	16
12-перстная кишка	32	12,2	17,7	14,7	14	28
Тощая кишка	23	9,2	10,0	20,9	17	30
Подвздошная кишка	27	7,7	7,9	7,8	18	21
Слепая кишка	-	19,9	11,8	21,5	27	23
Ободочная кишка	-	14,4	15,4	18,8	32	26
Прямая кишка	37	13,4	19,4	27	24	26

В итоге, обобщая данные по соотношению фракций в сухом веществе химуса разных видов животных с разным спектром питания, следует указать, что химус представляет собой универсальную гомеостатичную гетерогенную среду, в которой наблюдается закономерная динамика изменений его

структурных компонентов экзогенной части - пищевых частиц (ПЧ) и плотной эндогенной фракции (ПЭФ). ПЧ являются неоднородной структурой, состоящей в основном из нерастворимых и непереваренных тканей растительного или животного происхождения, которые подверглись механической и химической деструкции, частично впитав себя воду. ПЭФ так же неоднородна и состоит из молекулярно-корпускулярной части и симбиотической части, доля которой может составлять от 5 до 15%. Основной компонент молекулярно-корпускулярной части в нативном химусе представлен внутрисполостной слизью, секретлируемой слизистой оболочкой кишечника. При этом необходимо отметить, что влага, составляющая в химусе 85-80%, удерживается мукополисахаридами ПЭФ и вместе с ней образуют гидратированную слизь. В итоге получается, что основная масса нативного химуса (до 90%) представлена фактически гидратированной плотной эндогенной фракцией в купе с РФ, а, получаемые при фракционировании РФ и ПЭФ, образуют единую функциональную систему энтеральной среды, которую можно назвать «энтероплазмой кишечного химуса».

Масса слизи, присутствующая в таком количестве в полости ЖКТ у всех видов животных независимо от строения ЖКТ и от рациона, не может выполнять только защитную функцию, как это было принято считать ранее. По-видимому, слизь в таком количестве физиологически необходима и выполняет собственную специфическую функцию в процессах пищеварения. Поскольку основу натурального химуса по массе и объему составляет гидратированная слизь, можно считать данное явление универсальным и общебиологическим.

Вероятно, по этой причине ПЭФ гомеостатична по химическому составу (мукополисахариды с аминокислотным стержнем) и пространственно структурирована. На упорядоченность структуры ПЭФ указывает однородный характер ее массы. Подобная картина характерна и для ПЭФ из химуса всех видов животных. В основе ПЭФ – полосная слизь. По литературным данным,

слизь представляет собой мукополисахаридные образования – муцины, взаимодействие которых друг с другом через катионные мостики определяют физико-химическое состояние формируемой ими среды – гель или золь (Азаров Я.Б. 1987).

В нативном химусе у птиц основную часть энтерального химуса благодаря гидратации гликопротеинов составляет сумма растворимой и плотной эндогенной фракций (89-99%), меньшую часть - пищевые частицы (0,5-11%) (см. таб. 9.2). При этом по мере продвижения по кишечнику доля плотной эндогенной фракции остается на относительно постоянном уровне, доля РФ снижается в дистальном направлении, а доля ПЧ, напротив, возрастает.

Таблица 9.2

**Соотношение экзогенных пищевых частиц и гидратированной слизи в 100 г нативного химуса (г)**

Отдел ЖКТ	Птица (куры)		Кролики		Свиньи (мини-пиги)		Быки	
	ПЧ	Гидратированная слизь	ПЧ	Гидратированная слизь	ПЧ	Гидратированная слизь	ПЧ	Гидратированная слизь
Желудок (Рубец)	0,28	99,7	11,8	88,2	0,51	99,5	10,9	89,06
12-перстная кишка	1,87	98,13	0,75	99,25	0,59	99,4	2,07	97,93
Тощая кишка	6,75	93,25	5,03	94,97	0,99	99,01	1,98	98,02
Подвздошная кишка	0,28	99,72	13,8	86,2	1,05	98,95	4,32	95,68
Слепая кишка			10,8	89,2	1,18	98,8	6,48	93,52
Ободочная кишка			14,8	85,2	1,87	98,1	6,24	93,76
Прямая кишка	4,0	96,0	35,7	64,26	3,49	96,5	7,14	92,86

Таким образом, общебиологическая закономерность структурной организации ПЭФ с помощью гликопротеинов является физиологически необходимой для эффективного полостного пищеварения. В итоге полостная слизь, составляющая основную массу ПЭФ, является центральным звеном в

процессах структурирования энтерального химуса и представляет собой канал связи между полостью кишки и ее щеточной каймой энтероцитов. Протеогликановые системы полостной слизи, участвуя в структурировании химуса, как полидентантные лиганды, формируют нанопорядоченный каркас энтероплазмы. В нем происходит сопряжение конформационно детерминированных элементов глобулярных белковых структур слизистого эпителия кишечной стенки и конформационно лабильные протеогликановых структур пристеночного матрикса. В результате около клеток образуется специфическая коллоидная среда с громадной фрактальной поверхностью, очень чувствительной к различным физико-химическим факторам экзогенного и эндогенного характера, сдерживая её активность и сепарируя от эпителиальной оболочки.

## **9.2. Оценка уровня благополучия овец в крестьянском (фермерском) хозяйстве «Территория молока» (Ксенофонтов Д.А.; Вертипрахов В.Г.; Войнова О.А.; Ксенофонтова А.А.)**

Проблема прав животных существует не только в какой-то отдельно взятой стране, это всемирная проблема. Несмотря на развитие современного общества, люди все равно не уделяют достаточного внимания данной проблеме. Отношение к животным прямо показывает степень развитости общества. Даже при условии того, что в современном обществе существуют законы, регулирующие права животных, ими все равно пренебрегают и стараются извлечь максимальную выгоду с минимальными затратами (Ставрова, 2019).

Приоритетная цель животноводства – это прибыль. Довольно часто ее получают за счет применения таких технологий, гуманность которых выглядит сомнительной. Благополучие животных (состояние индивидуума и его способность адаптироваться к среде обитания) приносится в жертву экономике. Технологии животноводства могут быть щадящими, а могут включать и