

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАВИТАЦИОННОГО ГИДРОЛИЗА НЕКРАХМАЛЬНЫХ ПОЛИСАХАРИДОВ

При переработке зерна в муку до 25–30% от общей массы исходного сырья составляют отходы мукомольного производства. В настоящее время известные способы их переработки не находят широкого применения. В статье рассмотрен способ обработки пшеничных отрубей, позволяющий снизить количество клетчатки и улучшить показатели, характеризующие питательную ценность отрубей, что дает возможность использовать их в качестве кормокомпонента.

Ключевые слова: ультразвук, кавитация, некрахмальные полисахариды, гидролиз, клетчатка, кавитационная обработка, углеводный состав, кормление.

Проблема удешевления кормовых рационов может быть решена путем расширения ассортимента вводимых компонентов, в том числе за счет использования вторичных продуктов пищевой промышленности. Применение их в качестве компонентов комбикормов имеет два взаимосвязанных аспекта – экономический и экологический. Первый связан с расширением возможности использования невостребованных отходов путем глубокой комплексной их переработки, второй – с существенным уменьшением или полным исключением вредного воздействия отходов на окружающую среду [1–5].

Одной из перспективных технологий, обеспечивающих значительную интенсификацию производственных процессов и открывающих широкие возможности для расширения ассортимента существующих комбикормов, является кавитационная обработка сырья, которая позволяет получать продукты с определенным набором физико-химических и органолептических свойств.

Под кавитацией понимают образование заполненных паром и газом полостей или пузырьков при локальном понижении давления в жидкости до давления насыщенных паров. Соотношение содержания газа и пара в полости может быть различным (теоретически от нуля до единицы). В зависимости от концентрации пара или газа в полости их называют паровыми или газовыми пузырьками [6].

Необходимо отметить, что понижение давления в жидкости до давления насыщенных паров возможно также при кипении или вакуумировании жидкости. Но эти процессы распространяются по всему объему жидкости в отличие от кавитации, которая имеет ограниченную область. Различают гидродинамическую кавитацию, возникающую за счет местного пониже-

ния давления в потоке жидкости при обтекании твердого тела, и акустическую кавитацию, возникающую при прохождении через жидкость акустических колебаний – ультразвука.

Акустическая кавитация в жидкостях инициирует различные физико-химические явления: сонолюминесценцию (свечение жидкостей); химические эффекты (звукохимические реакции); эрозию твердого тела (разрушение поверхности); диспергирование (измельчение твердых частиц в жидкости) и эмульгирование (смешивание и гомогенизация несмешивающихся жидкостей).

Модель физико-химических процессов, происходящих в кавитационном пузырьке и прилегающем к нему объеме жидкости, представляют в следующем виде [7]. В кавитационную полость могут проникать пары воды, растворенные газы, а также вещества с высокой упругостью пара и не могут проникать ионы или молекулы нелетучих растворенных веществ. Выделяющейся в процессе схлопывания пузырька энергии достаточно для возбуждения, ионизации и диссоциации молекул воды, газов и веществ с высокой упругостью пара внутри кавитационной полости. На этой стадии любой из присутствующих газов является активным компонентом, участвуя в передаче энергии возбуждения, перезарядке и других процессах. Действие звукового поля на вещества, проникающие в полость, является непосредственным, прямым, причем действие активных газов O_2 , H_2 и N_2 в кавитационной полости двойственное:

- во-первых, O_2 и H_2 , N_2 участвуют в реакциях трансформирования радикалов,
- во-вторых, химически активные газы, проникая в кавитационную полость, участвуют, так же как и благородные газы, в передаче энергии электронного возбуждения молекулам

воды и веществ, находящихся в растворе, а также в процессе перезарядки.

При схлопывании кавитационного пузырька в раствор переходят радикалы, ионы и электроны малой энергии, образовавшиеся в газовой фазе при расщеплении молекулы H_2O и веществ с высокой упругостью пара, продукты их взаимодействия и частичных рекомбинаций, а также метастабильные возбужденные молекулы H_2O . Возникающие в системе активные частицы после перехода в раствор сольватируются и реагируют с растворенными веществами. На этой стадии, когда осуществляются косвенные действия акустических колебаний, на ход процесса могут оказывать влияние практически только химически активные газы – O_2 и H_2 . В конечном счете воздействие кавитации на водные растворы сводится к единственному процессу – расщеплению молекул воды и веществ, находящихся в растворе в кавитационных пузырьках. Независимо от природы веществ звук воздействует и приводит к изменению их физико-химических свойств: увеличению рН, электропроводности, увеличению числа свободных ионов и активных радикалов, структуризации и активации молекул.

Исследования сонолюминесценции, звукохимических реакций и выдвигаемые многочисленные гипотезы, объясняющие эти явления, на данный момент позволяют сделать только один вывод: природа первичной активации молекул внутри кавитационного пузырька является либо тепловой, либо электрической [8].

Эрозия твердого тела (разрушение поверхности), диспергирование твердых частиц и эмульгирование осуществляются в основном двумя характерными проявлениями кавитации: ударными волнами и кумулятивными струйками, образующимися при схлопывании кавитационных пузырьков. На поверхностях частиц и твердых тел имеются концентраторы напряжений в виде микротрещин, неровностей поверхности и т.п., на которых образуются зародыши кавитации. Под действием звукокапиллярного эффекта и интенсивных микропотоков жидкость проникает в поры и трещины, где при захлопывании кавитационных пузырьков возникает мощная ударная волна, способствующая разрушению материалов. Кумулятивные струйки разрушают поверхность твердого тела за счет кинетической энергии жидкости. Мелкие частицы

твердого тела, размеры которых соизмеримы с поперечным сечением кумулятивных струй, увлекаются ими и дают дополнительный вклад в процесс разрушения частиц, находящихся в жидкости.

Целью наших исследований являлось исследование воздействия кавитационного гидролиза на некрахмалистые полисахариды.

Материалы и методы

В ходе исследований были использованы пшеничные отруби со значительным содержанием некрахмальных полисахаридов. Технология преобразования данного продукта включала:

- приготовление гидромодуля;
- кавитационную обработку;
- сушку готового продукта;
- измельчение готового продукта.

Приготовление гидромодуля заключалось в смешивании пшеничных отрубей с водой в соотношении 1:70. Для проведения кавитационного гидролиза мы использовали лабораторную установку, которая представляет собой емкость с размещенными в ней пьезокерамическими пластинами (излучателями ультразвука). Параметры ультразвука были выбраны в пределах от 20 до 44 кГц. Время обработки – от 30 до 240 секунд. Температура кавитационного гидролиза целлюлозосодержащей смеси составляла от 30 до 70 °С. Далее обработанные образцы высушивались в термостате при температуре 80 °С и подвергались механическому измельчению на лабораторной мельнице.

В полученных образцах продукта определялся химический состав по общепринятым методикам, а также определялся коэффициент переваримости сухого вещества «in vitro» по методике В.В. Попова, Е.Т. Рыбиной в модификации Г.И. Левахина, А.Г. Мещерякова (2003).

Микробиологический анализ нативных и подвергнутых кавитации продуктов осуществляли по ГОСТ Р 51426-96 (ИСО 6887-83) и ГОСТ 26972 на общее количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ). Определялась общая бактериальная обсемененность, количество бактерий, плесеней и т.д. Идентификацию микроорганизмов проводили по Берджи (1997).

Пилотные опыты на птице проводились в условиях вивария Оренбургского государственного университета. Для эксперимента были ото-

браны 90 недельных цыплят-бройлеров кросса «Смена-7», которых методом аналогов разделили на три группы (n=30). Продолжительность эксперимента составила 2 недели. В течение подготовительного периода (7 дней) вся птица находилась в одинаковых условиях кормления и получала комбикорма, состоящие из традиционного набора компонентов, сбалансированных по питательности. С 15-дневного возраста цыплят-бройлеров перевели на рационы, содержащие изучаемые компоненты. Схема исследований приведена в таблице 1.

Основные данные были подвергнуты статистической обработке с использованием программ Excel, Statistica и нахождением средней арифметической ошибки и стандартного отклонения.

Результаты и их обсуждение

Сущность кавитационного воздействия на растительное сырье заключается в следующем. Клетчатка (целлюлоза), как и крахмал, является природным полимером. Эти вещества имеют одинаковые по составу структурные звенья и, следовательно, одну и ту же молекулярную формулу (C₆H₁₀O₅)_n.

Молекулы целлюлозы и крахмала различаются структурой. Молекулы крахмала имеют линейную, а чаще всего разветвленную структуру, молекулы же целлюлозы – только линейную структуру. Этим объясняется, что целлюлоза, имеющая значительно большее значение n, образует такие волокнистые материалы, как хлопок, лен, пенька и т.д.

При кавитационном воздействии длинные молекулы целлюлозы разрываются, образуются разветвленные изомерические крахмальные структуры, а часть молекул подвергается гидролизу, как и крахмал, с образованием сахаров. Суммарно гидролиз целлюлозы может быть выражен тем же уравнением, что и гидролиз крахмала:



С целью оптимизации процесса кавитационного воздействия на некрахмальные полисахариды нами были проведены исследования по влиянию частоты ультразвука в пределах от 22 до 44 кГц и времени гидролиза от 60 до 240 секунд на содержание целлюлозы (клетчатки) в готовом продукте. Полученные результаты представлены на рисунке 1.

Таблица 1. Схема пилотного опыта на птице

Группа	Период опыта	
	подготовительный	учетный период
	Возраст, суток	
контрольная	7-14	15-29
I опытная	ОР	ОР
II опытная		ОР1
		ОР2

Примечание: ОР – основной рацион, ОР₁ – введение в рацион 10% нативных пшеничных отрубей, ОР₂ – введение в рацион 10% кавитационно обработанных пшеничных отрубей

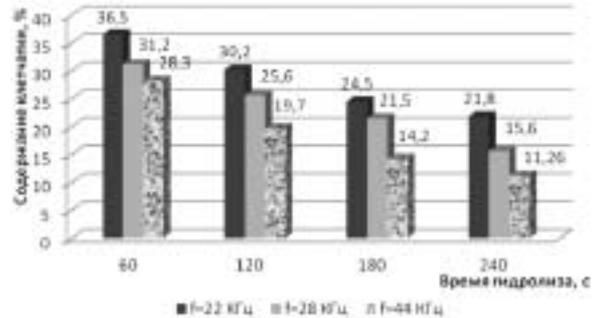


Рисунок 1. Содержание клетчатки (%) в конечном продукте в зависимости от времени обработки и частоты ультразвука

Анализ полученных экспериментальных данных позволил установить оптимальные режимы процесса кавитационной обработки некрахмальных полисахаридов на примере клетчатки. Максимальная глубина гидролиза целлюлозы наблюдалась при частоте ультразвука f = 44 кГц и влажности гидро модуля в пределах от 70 до 80%.

Анализ полученного продукта свидетельствует о том, что в результате процесса кавитационной обработки наиболее существенно изменилось содержание клетчатки в пшеничных отрубях. Начальное содержание клетчатки составляло 43,6%, а после обработки при оптимальных режимах составило 11,26%. Таким образом, нами было выявлено, что процесс кавитационной обработки значительно изменяет количество клетчатки в продуктах, содержащих большое количество труднопереваримых некрахмалистых полисахаридов.

Также все полученные образцы подвергались микробиологическому анализу до и после кавитационной обработки. В качестве питательной среды использовали мясопептонный агар. Время культивирования образцов составило 48 ч. В результате исследований всех образцов на общее количество мезофильных аэробных и факультативных

Таблица 2. Основные результаты пилотного опыта

Показатель	Группа		
	контрольная	I опытная	II опытная
Живая масса, г			
В 14 дней	193,7	192,3	193,4
В 28 дней	602,9	619,4	691,5
Среднесуточный привес, г	38,9	40,2	52,17

тивно-анаэробных микроорганизмов в чашках Петри обнаружены плесневые грибы, характеризующиеся появлением пушистого паутинообразного или ватообразного налета. Для подтверждения роста плесневых грибов делали пересевы на плотные питательные среды и подтверждали рост характерных колоний *Alternaria*, пушистых бело-голубых *Aspergillus*, зеленоватоголубых *Penicillium*, темных – *Rhizopus* и *Mucor*. Общая фоновая микробиальная обсемененность до кавитационной обработки пшеничных отрубей составила $5,5 \times 10^5$ КОЕ/г, где 80% грибов и плесени, 20% бактериальных колоний.

После проведения кавитационной обработки пшеничных отрубей были отобраны образцы на повторный микробиологический анализ, по результатам которого оказалось, что ни в одной из отобранных проб гидролизной смеси не было обнаружено ни одного из представителей микрофлоры, присущих данным видам продуктов.

На следующем этапе проведения эксперимента мы определили коэффициент переваримости сухого вещества «in vitro» в нативном образце и в продукте, подвергнутом кавитационной обработке при оптимальных режимах.

Как следует из полученных данных, коэффициент переваримости отрубей в целом более высокий (78,9%) по сравнению с нативными образцами (65,3%). Таким образом, можно сделать вывод, что процесс кавитационной обработки может положительно влиять на переваримость вводимого в рацион животных корма.

Введение в рацион птицы полученных продуктов кавитационного гидролиза пшеничных

отрубей способствовало повышению интенсификации ее выращивания. Данные результатов опыта приведены в таблице 2.

Как показали результаты исследований, добавление кавитационно обработанных продуктов в количестве 10% от зерновой массы комбикормов способствует увеличению среднесуточного прироста по сравнению с контрольной группой на 7,6%.

Предлагаемый способ приготовления кормовых добавок позволяет получать высокооднородные корма с повышенной питательностью. Получаемые продукты максимально однородны по составу, а питательные вещества, ранее нерастворимые и связанные, переходят в растворимые формы. В связи с тем, что температура обработки составляет 25–50 °С, все компоненты кормовой смеси находятся в биологически активном состоянии, а также максимально сохраняются все термически нестойкие компоненты корма, к которым в первую очередь относятся витамины и полиненасыщенные жирные кислоты. Использование нового способа приготовления корма обеспечивает такие физико-химические процессы, которые дают возможность превратить исходную кормовую смесь в биологически активный высокопитательный корм. Показано, что за счет такой обработки получаемые продукты содержат в 3–4 раза больше растворимых веществ, почти на 30% меньше клетчатки, имеют в 2–4 раза большую переваримость по сравнению с исходным сырьем.

Таким образом, можно сказать, что кавитационная обработка некрахмалистых полисахаридов позволяет разрушать стенки растительных клеток, повышая доступность содержащихся в них крахмала, протеина и жира для воздействия ферментов пищеварительного тракта, повысить переваримость питательных веществ и улучшить их всасывание в тонком отделе кишечника, улучшить микробиологическую среду кишечника за счет снижения вязкости и повышения уровня моносахаридов и т.д., что позволит повысить эффективность использования комбикормов с повышенным содержанием отрубей.

29.11.2010

Список литературы:

1. Афанасьев В.А. Техническая база для комбикормовых предприятий [Текст] / В.А. Афанасьев // Комбикорма – 2000. – № 5. – С. 14-17.
2. Афанасьев В.А., Орлов А.И. Система технологических процессов комбикормовой промышленности [Текст] / В.А. Афанасьев, А.И. Орлов. – Воронеж: ВГУ, 1999. – 125 с.
3. Кожаров Л.С. Основы комбикормового производства [Текст] / Кожаров Л.С. – М.: Агропромиздат, 1990. – 304 с.

4. Шевцов А.А., Остриков А.Н., Лыткина Л.И., Сухарев А.И. Повышение эффективности производства комбикормов [Текст] / А.А. Шевцов, А.Н. Остриков, Л.И. Лыткина, А.И. Сухарев. – М.: ДеЛи, 2005. – 243 с.
5. Цециновский В.М., Птушкина Г.Е. Технологическое оборудование зерноперерабатывающих предприятий [Текст] / В.М. Цециновский, Г.Е. Птушкина. – М.: Колос, 1976. – 438 с.
6. Хилл К., Бэмбер Д. Ультразвук в медицине. Физические основы применения [Текст] : монография / К. Хилл, Д. Бэмбер, – М.: Физматлит, 2008. – 542 с.
7. Хорбенко И.Г. Ультразвук в действии [Текст] / И.Г. Хорбенко. – М.: Знание, 1965. – 48 с.
8. Эльпинер И.Е. Ультразвук [Текст] : физико-химическое и биологическое действие [монография] / И.Е. Эльпинер. – М.: Физматгиз, 1963. – 420 с.

Сведения об авторах:

Быков Артем Владимирович, начальник отдела НИИРС управление научных исследований Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук
460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, ауд. 2338, тел. (3532) 372458

Межуева Лариса Владимировна, начальник патентного отдела Оренбургского государственного университета, доктор технических наук, доцент, тел. (3532) 340659

Мирошников Сергей Александрович, исполняющий директор Института биоэлементологии Оренбургского государственного университета, доктор биологических наук, профессор,
тел. (3532) 340682

Быкова Людмила Анатольевна, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук, доцент, тел. (3532) 340658

Тыщенко Владимир Михайлович, аспирант кафедры пищевой биотехнологии Оренбургского государственного университета, 460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, тел. (3532) 340658

UDC 663.085.552:636.086.1

Bykov A.V., Mezhueva L.V., Miroshnikov S.A., Bykova L.A., Tyshchenko V.M.

PROSPECTS OF USE OF CAVITATION HYDROLYSIS OF NON-STARCH POLYSACCHARIDES

During the processing of grain into flour to 25-30% of the total weight of raw materials is waste flour production. Currently the known methods of recycling are not widely used. This article describes how to handle wheat bran, which allows reducing the amount of fiber and improve the indicators of the nutritional value of bran, which makes it possible to use them as a forage component.

Key words: ultrasound, cavitation, non-starch polysaccharides, hydrolysis, cellulose, cavitation processing, carbohydrate composition, feeding.