

К ПОНИМАНИЮ ДЕЙСТВИЯ КАВИТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВ

В статье рассмотрены результаты применения кавитационной обработки целлюлозосодержащих отходов. Показаны преимущества кавитационного гидролиза целлюлозосодержащих отходов и полученных продуктов в питании сельскохозяйственных животных. Рассмотрено разрушение клеточной структуры растительного сырья при помощи кавитационных эффектов для повышения биодоступности компонентов сырья.

Ключевые слова: целлюлозосодержащие отходы, ультразвук, кавитация, переваримость сухого вещества, микробиологическая обсемененность.

Наукой накоплен обширный багаж знаний о действии различных методов обработки – химических, термохимических, электрохимических, гидробарометрических, биологических и других – на химический состав и свойства целлюлозосодержащего сырья [1, 4, 5]. Проводятся испытания методов обработки данного вида сырья с использованием потока радиоактивного излучения, лазерных установок, облучения гамма-лучами, дезинтеграторов, подбора особых популяций микроорганизмов [2, 3].

Синпериодическая кавитация – процесс одновременного возникновения и схлопывания в жидкости микроскопических пузырьков. Явление возникает под действием принудительно распространяемых в жидкой среде колебаний ультразвуковой частоты и строго заданной амплитуды давления. Процесс напоминает кипение, но при этом не сопровождается ощутимым нагревом жидкости. При этом жидкость, в частности вода, на определенное время приобретает все свойства, присущие жидкости с температурой вблизи точки кипения. Такая жидкость является мощным растворителем солей, охотно вступает в реакцию гидратации биополимеров пищевого сырья – соединение их с молекулами воды, интенсивно экстрагирует [6, 7]. В условиях кавитации в воде генерируются импульсы давления, трансформация энергии которых реализует в ней «надтепловой» механизм физико-химических изменений структуры. Поэтому при разрушении молекулярных кластеров энергией кавитации нагревания воды не происходит. Вода переходит в так называемое термодинамически неравновесное состояние, которое продолжается до тех пор, пока она постепенно не отдаст полученную энергию в виде

тепла в процессе восстановления своей кластерной структуры [8].

Материалы и методы

В ходе исследований были использованы различные отходы производств со значительным содержанием некрахмальных полисахаридов, в т. ч. опилки, пшеничные отруби, солома пшеничная, бумага. Технология преобразования данных продуктов включала:

- предварительное механическое измельчение сырья;
- приготовление гидромодуля, подкисление или подщелачивание смеси;
- кавитационную обработку;
- сушку готового продукта;
- измельчение готового продукта.

Все продукты были измельчены на лабораторной мельнице до эквивалентного диаметра частиц 0,5–0,7 мм. Затем были подготовлены гидромодули продуктов с водой в следующем соотношении – опилки 1:20, солома 1:50, бумага 1:70, отруби 1:70. Подкисление проводили соляной кислотой до pH от 4,5 до 2 ед., а подщелачивание – гидроксидом натрия до pH 8–10,5 ед. Также в рамках данных исследований мы использовали электроактивированную воду, полученную на электролизере. 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 25 кГц. Время обработки составило 20 минут. Температура гидролиза целлюлозосодержащих смесей составляла 65–70 °С.

Далее обработанные образцы высушивались в термостате при температуре 103–110 °С и подвергались механическому измельчению на лабораторной мельнице.

Полученные образцы продуктов исследовались на переваримость 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 26972-86 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).

Основные данные были подвергнуты статистической обработке с использованием программ Excel, Statistica 6.0 и нахождением средней арифметической ошибки и стандартного отклонения.

Результаты и их обсуждение

Сущность кавитационного воздействия на растительное сырье, грубые и сочные корма 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 $(C_6H_{10}O_5)_n$, однако их молекулы различаются структурой. Молекулы крахмала имеют линейную и 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, древесина и т. д.

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



Проведенные нами исследования по оценке полученных кавитационных продуктов на переваримость in vitro позволили определить

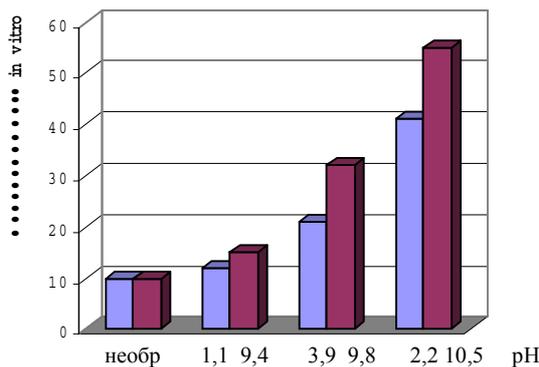


Рисунок 1. Зависимость переваримости сухого вещества от pH гидролизуемой среды для опилок

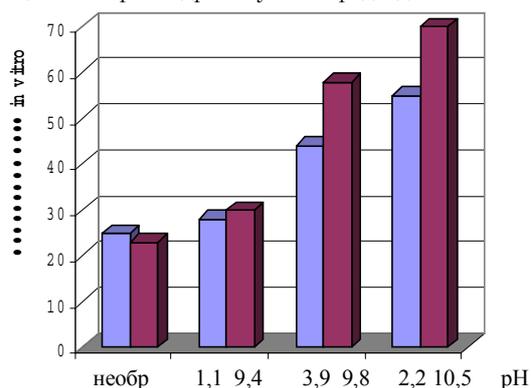


Рисунок 2. Зависимость переваримости сухого вещества от pH гидролизуемой среды для соломы

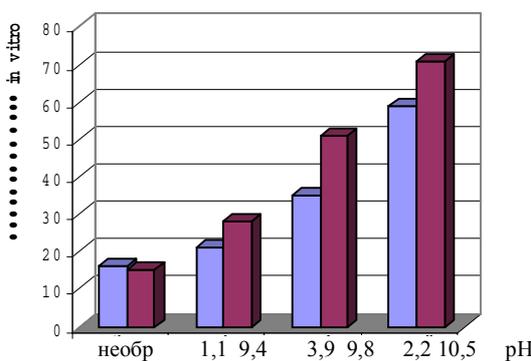


Рисунок 3. Зависимость переваримости сухого вещества от pH гидролизуемой среды для бумаги

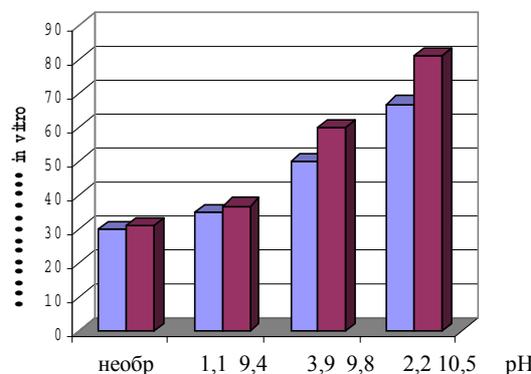


Рисунок 4. Зависимость переваримости сухого вещества от pH гидролизуемой среды для отрубей

коэффициенты переваримости сухого вещества в образцах до и после обработки. Как следует из полученных данных, переваримость сухого вещества для разных отходов составила:

- опилки при рН 4,2–21%, рН 2,3–42%, рН 9,3–32%, рН 10,7–54%, при использовании активированной воды рН 1,1–12%, рН 10,1–16%;
- солома пшеничная при рН 4,2–43%, рН 2,1–55%, рН 9,7–58%, рН 10,2–71%, при использовании активированной воды рН 1,3–28%, рН 9,8–31%;
- фильтровальная бумага при рН 3,2–35%, рН 1,9–59%, рН 9,7–52%, рН 10,1–72%, при использовании активированной воды рН 1,3–22%, рН 9,1–28%;
- пшеничные отруби при рН 3,9–51%, рН 2,2–68%, рН 9,8–61%, рН 10,5–72%, при использовании активированной воды рН 1,1–36%, рН 9,4–38%.

На рисунках 1-4 представлены зависимости переваримости сухого вещества от рН гидролизуемой среды для различных отходов.

Анализ полученных экспериментальных данных позволил установить оптимальные режимы кавитации для данных видов продуктов. Максимальная производительность кавитатора наблюдалась при рН 2,3 и рН 10,7, температуре гидролизуемой смеси 65–70 °С, времени обработки 30–50 минут. Таким образом, нами было выявлено, что процесс кавитационного гидролиза целлюлозосодержащих отходов зависит от рН среды, температуры гидролизуемой смеси и времени обработки. Максимальная степень воздействия кавитации наблюдалась у пшеничных отрубей. Переваримость *in vitro* у пшеничных отрубей после кавитационной обработки составила 81%.

В результате микробиологических исследований всех образцов на общее количество мезофильных аэробных и факультативно 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*, зеленовато-голубых *Penicillium*, темных – *Rhizopus* и *Mucor*.

Общая фоновая микробная обсемененность до кавитационной обработки составила:

- опилки 3,9x10⁴ КОЕ/г (73% грибы и плесени, 27% бактериальных колоний);
- пшеничная солома 6,5x10⁵ КОЕ/г (82% грибы и плесени, 18% бактериальных колоний);
- бумага 1x10² КОЕ/г (99% грибы и плесени, 1% бактериальных колоний);
- отруби пшеничные 5,5x10⁵ КОЕ/г (80% грибы и плесени, 20% бактериальных колоний).

После проведения гидролиза 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 рисунке 5 представлены результаты микробиологического анализа пшеничных отрубей до и после кавитационной обработки. Посев нативного продукта производили на питательную среду МПА с разведением 1x10⁶, а обработанного продукта – без разведения.

В ходе проведения микробиологических исследований было выявлено бактерицидное действие кавитации. Интенсивное воздействие ударных волн ультразвука на микроорганизмы уменьшило их численность в тысячи раз. Воз-



а



б

а) посев исходного сырья (отрубей) на питательную среду МПА с разведением 1x10⁶; б) посев исходного сырья (отрубей) на питательную среду МПА без разведения

Рисунок 5. Микробиологический анализ сырья до и после кавитационной обработки

действие кумулятивных струй жидкости при схлопывании кавитационных микропузырьков вызвало гибель всей микрофлоры, присущей данным видам продуктов.

Таким образом, проведенные исследования показали, что кавитационная обработка растительного сырья и целлюлозосодержащих отхо-

дов позволяет использовать широкий круг сырьевых ресурсов, производить продукты с заданным составом и свойствами, при этом, используя полезные свойства отдельных компонентов, добиваться лучшей переваримости питательных веществ, микробиологической чистоты готового продукта.

Список использованной литературы:

1. Афанасьев В.А. Техническая база для комбикормовых предприятий [Текст] / под ред. В.А. Афанасьев. Комбикорма – 2000. – №5. – С. 14-17.
2. Афанасьев В.А., Орлов А.И. Система технологических процессов комбикормовой промышленности [Текст] / под ред. В.А.Афанасьев, А.И.Орлов. – Воронеж: ВГУ, 1999. – 125 с.
3. Кожаров Л.С. Основы комбикормового производства [Текст] / под ред. 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] / под ред. 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] / под ред. В.М.Цециновский, Г.Е. Птушкина. – М.: Колос, 1976. – 438 с.
6. Хилл К., Бэмбер Д. Ультразвук в медицине. Физические основы применения [Текст] : монография / под ред. К. Хилла, Д. Бэмбера – М.: Физматлит, 2008. – 542 с.
7. Хорбенко, И. Г. Ультразвук в действии [Текст] / под ред. И. Г. Хорбенко . – М.: Знание, 1965. – 48 с.
8. Эльпинер, И. Е. Ультразвук [Текст] : физико-химическое и биологическое действие: [монография] /под ред. И. Е. Эльпинер . – М.: Физматгиз, 1963. – 420 с.

**Bykov A.V., Miroshnikov S.A., Mezhueva L.V.
TO UNDERSTANDING OF THE CAVITATION PROCESSING ACTION ON THE PROPERTIES OF WASTE PRODUCTION**

The article presents the results of cavitation processing of cellulose waste. The advantages of cavitation hydrolysis of cellulose waste and derived products in the food of farm animals are shown here. The destruction of the cell structure of plant material by cavitation effects to increase the bioavailability of components of raw materials is considered in this work.

Key words: cellulose waste, ultrasound, cavitation, digestibility of dry matter, microbiological semination

Сведения об авторах:

Быков Артем Владимирович начальник отдела НИИРС
Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук
460018, г. Оренбург пр-т Победы, 13, тел: (3532) 372458, e-mail: artem19782@yandex.ru

Мирошников Сергей Александрович профессор Оренбургского государственного университета,
доктор биологических наук
460018, г. Оренбург пр-т Победы, 13, тел: (3532) 340682, e-mail: inbio@mail.osu.ru

Межуева Лариса Владимировна начальник патентного отдела, доцент
Оренбургского государственного университета, доктор технических наук
460018, г. Оренбург пр-т Победы, 13, тел: (3532) 340659, e-mail: otdnir@mail.osu.ru