

УДК 636.084
Код ВАК 06.02.08

DOI: 10.52463/22274227_2021_40_29

А.В. Быков, В.А. Рязанов, Б.С. Нуржанов, Е.В. Шейда, Г.И. Левахин, Г.К. Дускаев
ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И ПЕРЕВАРИМОСТИ СУХОГО
ВЕЩЕСТВА ПОДСОЛНЕЧНИКА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ УЛЬТРАЗВУКА

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ И АГРОТЕХНОЛОГИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК», ОРЕНБУРГ, РОССИЯ

A.V. Bykov, V.A. Ryazanov, B.S. Nurzhanov, E.V. Sheida, G.I. Levakhin, G.K. Duskaev
CHANGE IN THE CHEMICAL COMPOSITION AND DIGESTIBILITY OF SUNFLOWER
DRY SUBSTANCE BY EXPOSURE TO ULTRASOUND

FEDERAL STATE BUDGETARY SCIENTIFIC INSTITUTION «FEDERAL RESEARCH CENTRE OF BIOLOGICAL
SYSTEMS AND AGROTECHNOLOGIES OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES», ORENBURG, RUSSIA

Артём Владимирович Быков
Artem Vladimirovich Bykov
кандидат технических наук,
AuthorID: 283714
artem19782@yandex.ru

Виталий Александрович Рязанов
Vitaly Aleksandrovich Ryazanov
кандидат сельскохозяйственных наук,
AuthorID: 746866
ORCID: 0000-0003-0903-9561
vita7456@yandex.ru

Баер Серекпаевич Нуржанов
Baer Serekpaevich Nurzhanov
кандидат сельскохозяйственных наук,
AuthorID: 605587
ORCID: 0000-0003-3240-6112
baer.nurzhanov@mail.ru

Елена Владимировна Шейда
Elena Vladimirovna Sheida
кандидат биологических наук,
AuthorID: 569299
elena-shejjda@mail.ru

Георгий Иванович Левахин
Georgy Ivanovich Levakhin
доктор сельскохозяйственных наук,
AuthorID: 366046
vniims.or@mail.ru

Галимжан Калиханович Дускаев
Galimzhan Kalikhanovich Duskaev
доктор биологических наук,
AuthorID: 316084
ORCID: 0000-0002-9015-8367
gduskaev@mail.ru

Аннотация. Целью проведенных исследований являлось изучение химического состава и переваримости подсолнечника после воздействия на него ультразвука. Актуальными представляются научные работы, направленные на снижение издержек производства животноводческой продукции, что возможно при максимально полном использовании отходов производств – вторичных сырьевых ресурсов. Кавитация представляет собой разновидность акустических методов обработки продуктов, в том числе кормов. **Методы.** Объектом исследований выступали листья и стебли подсолнечника. Химический состав определяли по общепринятым методиками в «Испытательном центре» ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук». В качестве базового оборудования для получения кавитационных продуктов использовали магнетострикционный излучатель УЗД2-0,4/22. Диспергатор генерирует продольные механические колебания с частотой от 19 до 33 кГц. Максимальная выходная мощность 0,4 кВт, регулировка мощности ступенчатая. Перед кавитационной обработкой растительное сырье измельчали до эквивалентного диаметра частиц от 0,1 до 1,0 мм. При создании кислотной и щелочной среды использовали 1 н. растворы соляной кислоты и едкого натра. **Результаты.** В подвявшем стебле подсолнечника уменьшалось содержание сухого вещества на 33%, крахмала – 4%, но увеличилось содержание сырой клетчатки на 1,6% в сравнении со свежим стеблем подсолнечника. Переваримость сухого вещества и сырой клетчатки измельченного стебля подсолнечника *in situ* от полного их переваривания составила 38%, 40%, 30 и 72,1% соответственно. Применение ультразвука улучшало переваримость *in vitro* механически измельченного образца № 2 в сравнении с таким же, но без ультразвука на 26,2%. Применение кислот при ультразвуковой обработке также способствовало улучшению переваримости сухого вещества стебля подсолнечника на 24,5 и 19,6% по сравнению с образцом № 3, где применялась вода. **Научная новизна.** Впервые изучено влияние ультразвука на переваримость сухого вещества и сырой клетчатки подсолнечника методом *in situ* и *in vitro*, а также его химический состав.

Ключевые слова: *in situ*, *in vitro*, ультразвук, переваримость, химический состав, подсолнечник.

Abstract. The purpose of the research was to study the chemical composition and digestibility of sunflower after the exposure to ultrasound. Scientific works aimed at reducing the production costs of live-stock products are considered relevant, which is possible with the fullest possible use of the industrial waste - secondary raw materials. Cavitation is a kind of acoustic methods of processing products, including the feed. **Methods.** The object of the research was sunflower leaves and stems. The chemical composition was determined according to the generally accepted methods in the "Testing Center" of the Federal Research Center for Biological Systems and Agrotechnologies of Russian Academy of Sciences. A magnetostrictive emitter UZD2-0,4/22 was used as the basic equipment to obtain the cavitation products. The dispersant generates longitudinal mechanical vibrations with a frequency from 19 to 33 kHz. The maximum output power is 0.4 kW, the power adjustment is stepwise. Before the cavitation treatment, vegetable raw materials were crushed to an equivalent particle diameter from 0.1 to 1.0 mm. When creating an acidic and alkaline medium, 1 n. solutions of hydrochloric acid and caustic soda were used. **Results.** In the withered sunflower stalk, the dry matter content decreased by 33%, starch - 4%, but the crude fiber content increased by 1.6% compared to the fresh sunflower stalk. The digestibility of the dry matter and raw fiber of the crushed sunflower stalk *in situ* from their complete digestion was 38%, 40%, 30 and 72.1%, respectively. The use of ultrasound improved the *in vitro* digestibility of mechanically crushed sample Number 2 in comparison with the same, but without ultrasound by 26.2%. The use of acids during the ultrasonic treatment also improved the digestibility of the dry matter of the sunflower stem by 24.5 and 19.6% compared to sample Number 3, where water was used. **Scientific novelty.** The effect of ultrasound on the digestibility of dry matter and raw sunflower fiber by *in situ* and *in vitro* methods, as well as its chemical composition, was studied for the first time.

Keywords: *in situ*, *in vitro*, ultrasound, digestibility, chemical composition, sunflower.

Введение. Проблема рационального использования отходов производства для нашей страны является одной из основополагающих. Причем помимо общеевропейского стандарта, к которому стремится наше общество, необходимо учитывать и то, что только на основе безотходного производства может быть создана эффективная экономика. В настоящее время необходимо разрабатывать и применять эффективные безреагентные способы переработки органических отходов АПК с получением высокоэффективных кормовых субстратов. С этой целью необходимо проводить исследования и актуализировать научно-техническую информацию о составе и физико-химических свойствах современных отходов переработки растительного сырья, а также применять высокоэффективные физико-химические способы его переработки [1-6].

В течение длительного времени проводятся исследования, направленные на повышение усвояемости целлюлозной биомассы подсолнечника, стебли которого остаются на полях после сбора семян. Известно, что одним из самых трудно перевариваемых компонентов питательных веществ кормов считается сырая клетчатка. При высоком её содержании в кормах увеличивается скорость продвижения питательных веществ по пищеварительному тракту, ферменты не успевают расщеплять сложные компоненты кормовых средств до более простых веществ, легко усвояемых в организме [7, 8].

Использование различных физических воздействий позволяет значительно ускорить и облегчить технологические процессы, в том числе по достижению результатов, невозможных с помощью применения других технологий [9, 10].

Измельчение (разрезание лигноцеллюлозной биомассы на более мелкие части) представляет собой механическую предварительную обработку лигноцеллюлозной биомассы. Целью предварительной механической обработки является уменьшение размера частиц и кристалличности. Уменьшение размера частиц приводит к увеличению доступной удельной поверхности и снижению степени полимеризации (DP). Во время предварительной термической обработки лигноцеллюлозная биомасса нагревается. Если температура повысится выше 150-180 °С, части лигноцеллюлозной биомассы, в первую очередь гемицеллюлозы, а вскоре после этого – лигнин, начнут растворяться [11, 12].

Кавитация представляет собой разновидность акустических методов обработки продуктов, в том числе кормов. При этом в процессе при определенной интенсивности звука происходит образование в жидкости пульсирующих пузырьков (так называемых каверн или полостей), запол-

ненных паром, газом или их смесью. Положительная особенность отмеченных технологий состоит в том, что обработка корма определённым физическим воздействием (ударные волны, давление, температура) приводит к разрушению оболочки клетки, состоящей из сырой клетчатки и лигнина, освобождая при этом её содержимое [13-16].

В этой связи актуальными представляются научные работы, направленные на снижение издержек производства животноводческой продукции, что возможно при максимально полном использовании отходов производств – вторичных сырьевых ресурсов.

Методика. Объектом исследований выступали листья и стебли подсолнечника. Химический состав определяли по общепринятым методикам биохимических исследований согласно требованиям ГОСТа в «Испытательном центре» ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (аттестат аккредитации испытательного центра № РОСС RU 0001.21 ПФ59 от 19.05.2011). В образцах корма определяли сухое вещество (ГОСТ 31640-2012), сырую клетчатку (ГОСТ 31675-2012), сырой жир (ГОСТ 134996.15-2016), сырой протеин (ГОСТ 134996.4-93), кальций (ГОСТ 26570-95), фосфор (ГОСТ 26657-97), сырую золу (ГОСТ 26226-95), сахар (ГОСТ 26176-91), крахмал (ГОСТ 26176-91).

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями Russian Regulations, 1987 (Order No.755 on 12.08.1977 the USSR Ministry of Health) and «The Guide for Care and Use of Laboratory Animals (National Academy Press Washington, D.C. 1966)». При выполнении исследований были предприняты определенные усилия, для того чтобы свести к минимуму страдания животных и уменьшить количество используемых образцов.

Для проведения эксперимента *in situ* отбирались бычки красной степной породы в годовалом возрасте. Животным были установлены фистулы рубца (по А.А. Алиеву). Кормление подопытных животных осуществлялось на основе детализированных норм кормления, разработанных А.П. Калашниковым, с планируемым уровнем продуктивности животных 800 г среднесуточного прироста.

Отбор рубцовой жидкости проводился через хроническую фистулу рубца. Высушенные до постоянной массы измельченные стебли подсолнечника массой 500 мг помещали в мешочки, изготовленные из полиамидной ткани, которые предварительно были взвешены и пронумерованы. Мешочки зашивались и закреплялись при помощи зажимного приспособления на валике. Переваримость сухого вещества корма изучали методом «*in vitro*» на усовершенствованном искусственном рубце KPL 01 [17] по методике Г.И. Левахина, А.Г.

Мещерякова (2003), который был разделен на индивидуальные емкости, куда и вносились дополнительно к рубцовой жидкости: вода, соляная кислота, молочная кислота и гидроксид натрия. Затем мешочки на валике помещали в прибор «искусственный рубец» и термостат (ТС-1/80 СПУ, ОАО «Смоленское СКТБ СПУ») при температуре равной 39 °С на 24 часов. После этого образцы промывали под проточной водой и помещали в раствор пепсина в «искусственный рубец» и на 12 часа ставили в термостат. По окончании процедуры образцы промывались в проточной воде и высушивались до постоянной массы. Переваримость сухого вещества измельченных стеблей подсолнечника «in vitro» определяли по разности массы образца корма вместе с мешочком и после двухстадийной инкубации и высушивания до постоянной массы при температуре 60 °С по следующей формуле:

$$K=100 (A-B) / C,$$

где К – коэффициент переваримости сухого вещества корма (%); А – исходная масса образца корма вместе с мешочком (г); В – масса образца корма вместе с мешочком после переваривания (г); С – исходная масса образца корма без массы мешочка (г).

Переваримость сухого вещества корма изучали методом нейлоновых мешочков *in situ* по Н.Г. Григорьеву и др. (1989). Использовались при эксперименте три образца измельченного стебля подсолнечника в трехкратной повторности. Мешочек с 5 г навески корма помещали в рубец с концентрированными кормами на 24 часа.

В качестве базового оборудования для получения кавитационных гидролизных продуктов использовали магнитоотрицательный излучатель УЗД2-0,4/22. Диспергатор генерирует продольные механические колебания с частотой от 19 до 33 кГц. Максимальная выходная мощность 0,4 кВт, регулировка мощности ступенчатая. Перед кавитационной обработкой растительное сырье измельчали до эквивалентного диаметра частиц от 0,1 до 1,0 мм. Данная степень измельчения подобрана на основе предварительных пилотных экспериментов. Измельчение частиц до размера менее 0,1 мм приводило к адгезии частиц на дне емкости. К измельченному сырью добавляли специально подготовленную воду до влажности образца от 50 до 80 %. При создании кислотной и щелочной среды использовали 1 н. растворы соляной кислоты и едкого натра.

Анализ полученных данных проводили с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением программы «Excel» («Microsoft», США) с обработкой данных в «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США).

Результаты. На основании предоставлен-

ных «Испытательным центром» ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН протоколов № 18, № 640-643 и № 730 испытаний можно наблюдать неоднозначность в содержании основных питательных веществ в различных частях подсолнечника (таблица 1).

Из приведенных в таблице данных следует, что в стеблях подсолнечника содержалось больше сухого вещества на 18 и 51%, сырой клетчатки – на 33,2 и 34,8%, но меньше сырого жира на 3,0 и 1,9%, сырого протеина – на 6,2 и 6,1%, сахара – 0,66 и 0,4%, кальция – 6,78 и 6,02%, фосфора – 0,09 и 0,1%, золы – 17,7 и 14,7%, чем в его листьях.

Таблица 1 – Химический состав подсолнечника, %

Основные показатели	Подсолнечник		
	листья измель- ченные	стебель свежий измель- ченный	стебель подвявший измель- ченный
Сухое вещество	42	93	60
Сырая клетчатка	10	43,2	44,8
Сырой жир	3,3	0,3	1,4
Сырой протеин	9,1	2,9	3,0
Сахар	2,5	1,84	2,1
Крахмал	2,2	5,8	1,8
Кальций	7,1	0,32	1,08
Фосфор	0,11	0,02	0,01
Зола	21,8	4,1	7,1

При этом в подвявшем стебле подсолнечника уменьшалось содержание сухого вещества на 33%, крахмала – на 4%, но увеличилось содержание сырой клетчатки на 1,6% в сравнении со свежим стеблем подсолнечника.

С целью определения переваримости сухого вещества и сырой клетчатки измельченного стебля подсолнечника был проведен эксперимент на фистулированных бычках (n=3) методом *in situ* (рисунок).

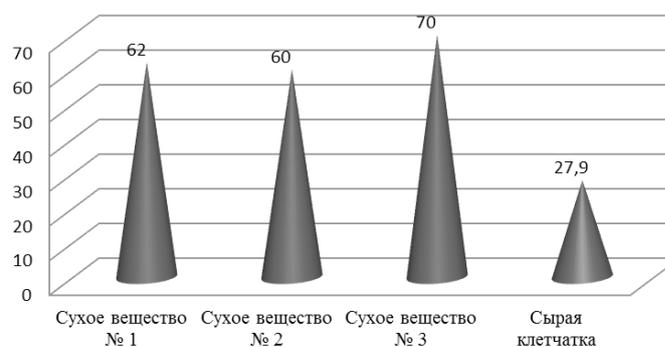


Рисунок – Переваримость сухого вещества и сырой клетчатки измельченного стебля подсолнечника *in situ*, %

Переваримость сухого вещества и сырой клетчатки измельченного стебля подсолнечника

in situ от полного их переваривания составила 38%, 40%, 30 и 72,1% соответственно. При этом переваримость сухого вещества под номером три была наибольшей по сравнению с образцами под номером один и два на 8 и 10% соответственно.

Применяемые в исследованиях различные параметры обработки стебля подсолнечника оказали определенное влияние на переваримость сухого вещества методом *in vitro* (таблица 2).

Таблица 2 – Переваримость сухого вещества стебля подсолнечника *in vitro*, %

Номер образца	Параметры обработки	Переваримость
1	Механическое измельчение	21,0±0,86
2	Механическое измельчение+ вода+ультразвук (УЗ) при t 20°	47,2±2,92**
3	Механическое измельчение+ вода+ультразвук при t 70°	47,6±1,65*
4	Механическое измельчение+соляная кислота до pH 4+ УЗ при t 20°	63,1±2,31**
5	Механическое измельчение+молочная кислота до pH 4+ УЗ при t 20°	64,1±1,22
6	Механическое измельчение+гидроксид натрия до pH 8+ УЗ при t 20°	61,2±0,78
7	Механическое измельчение+соляная кислота до pH 4+УЗ при t 70°	72,1±1,45*
8	Механическое измельчение+молочная кислота до pH 4+ УЗ при t 70°	67,2±0,96
9	Механическое измельчение+гидроксид натрия до pH 8+ УЗ при t 70°	74,9±1,59*

*P≤0,05; **P≤0,01 в сравнении с образцом № 1.

Все образцы, обработанные ультразвуком, имели схожие параметры УЗ: pH, частота и время экспозиции, но отличались температурой. Эти параметры нами были выбраны в ходе проведения пилотных исследований, которые показали, что данный вид обработки позволяет значительно разволокнить исходное сырье, что делает его более химически реакционным. При этом наиболее высокими показателями переваримости характеризовались образцы под номерами 7, 8 и 9, в основном за счёт такого параметра обработки, как температура равная 70°C. Однако наилучшая переваримость сухого вещества при тех же параметрах ультразвуковой обработки измельченного стебля подсолнечника была установлена у образца № 9, что превышало аналогичный показатель у образцов № 7 и 8 на 2,8 и 7,7%.

Так, переваривание сухого вещества образцов № 7-№ 9, где применялись соответственно соляная, молочная кислоты и гидроксид натрия и была установлена температура 70°C, было выше на 9,0%, 3,1 и 13,7% (P≤0,05) в сравнении с образ-

цами № 4-№ 6 с теми же компонентами, но уже при температуре 20°C.

Применение ультразвука улучшало переваримость стандартно механически измельченного образца № 2, в сравнении с таким же, но без ультразвуковой обработки, на 26,2%.

Применение кислот при ультразвуковой обработке (УЗ) также способствовало улучшению переваримости сухого вещества стебля подсолнечника на 24,5 и 19,6%, по сравнению с образцом № 3, где применялась вода.

При одинаковых параметрах ультразвука и температуре 20 °C наилучшая переваримость оказалась в пробе с молочной кислотой на 1 и 2,9%, в сравнении с образцами № 4 и № 6.

Аналогичный эффект наблюдали в своих исследованиях иностранные авторы при обработке ультразвуком кукурузной соломы [18].

Также при изучении влияния ультразвука на кинетику гидратации и время приготовления шести сортов бобовых (бобов) установлено, что ультразвуковая обработка значительно сократила время выдержки и их приготовления [19].

Технология использования акустической энергии с частотами выше 20 кГц продемонстрировала положительные результаты в ускорении гидратации бобовых и других зерен [20-21]. Аналогичный эффект наблюдался в наших исследованиях, где в образцах применялась соответственно соляная, молочная кислоты и гидроксид натрия, при температуре 70 °C, переваримость сухого вещества была лучше на 9,0%, 3,1 и 13,7% (P≤0,05), по сравнению с образцами измельченного стебля подсолнечника и теми же компонентами, но уже при температуре 20 °C.

Механизм действия кавитации на различные виды поверхностей активно обсуждается исследователями. При испытании кормовых рационов сельскохозяйственных животных, с включением кавитированных кормовых средств, установлено улучшение переваримости и усвояемости питательных веществ за счёт увеличения площади взаимодействия корма с микроорганизмами в рубце и пищеварительных энзимов – в нижнем кишечном тракте [22]. В частности ультразвук вызывал структурные изменения на гранулах крахмала, главным образом, в морфологических изменениях гранул и снижении кристалличности. Более длительная обработка значительно снижала изменение энтальпии желатинизации, вязкости при склеивании, способности к гелеобразованию при одновременном повышении перевариваемости крахмала *in vitro* [23], использование гидродинамической кавитации не ухудшает фибриллярную структуру целлюлозы, но вызывает смещение и частичное удаление лигнина при обработке соломы [24]. Кавитация, так же как и экстракция, способствуют освобождению

биологически активных веществ из растений, что положительно отражается на продуктивности животных при скармливании данных кормов.

Выводы. Питательная ценность стебля подсолнечника снижается по мере подвяливания и приводит к накоплению сырой клетчатки. Ультразвуковая обработка измельченного стебля подсолнечника совместно с гидроксидом натрия при pH 8, t 70°C, частоте 27 кГц и экспозицией в 15 мин. имела наилучшие показатели переваримости сухого вещества в искусственном рубце.

Список литературы

- 1 Waste not, want not: enhancing the ability of yeast to utilize its own leftovers from the brewing industry to fuel the transport industry with ethanol / A. Beaton [et al.] // *Access Microbiology*. 2019. Vol. 1. № 1A.
- 2 Akbas M.Y., Stark B. C. Recent trends in bioethanol production from food processing byproducts // *Journal of industrial microbiology & biotechnology*. 2016. Vol. 43. № 11. Pp. 1593-1609.
- 3 Миколайчик И.Н., Морозова Л.А., Максимова Е.С. Метод оптимизации биологической полноценности кормления высокопродуктивных коров // *Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство*. 2014. № 11. С. 43-51.
- 4 Морозова Л.А., Миколайчик И.Н., Морозов В.А., Булыгина Е.Н. Оптимизация энергетического питания у высокопродуктивных коров в транзитный период // *Вестник Курганской ГСХА*. 2019. № 4 (32). С. 30-34.
- 5 Миколайчик И.Н., Морозова Л.А., Савина Я.В. Исследование влияния стабилизированного ферментного комплекса на продуктивные и биологические показатели молодняка свиней // *Вестник Курганской ГСХА*. 2020. № 4 (36). С. 23-29.
- 6 Миколайчик И.Н., Морозова Л.А., Абилева Г.У., Субботина Н.А. Биологические и продуктивные показатели стельных сухостойных коров при скармливании иммунобиологических добавок // *Вестник Курганской ГСХА*. 2016. № 2 (18). С. 44-47.
- 7 Levakhin G., Duskaev G., Dusaeva H. Assessment of chemical composition of grain crops depending on vegetative stage for feeding // *Asian Journal of Crop Science*. 2015. T. 7. № 3. Pp. 207-213.
- 8 Дускаев Г.К. Научно-практическое обоснование новых подходов к регуляции обмена веществ в организме молодняка крупного рогатого скота и повышению эффективности использования кормов при производстве говядины: автореф. на соиск. ученой степ. доктора биолог. наук. Оренбург, 2009. 47 с.
- 9 Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review / T.S. Awad [et al.] // *Food research international*. 2012. Vol. 48. № 2. Pp. 410-427.
- 10 Guermah H., Maertens L. Feeding value of brewer's grain and maize silage for rabbits // 11th World Rabbit Congress. 2016. Pp. 397-400.
- 11 Palmowski L., Muller J. Influence of the size reduction of organic waste on their anaerobic digestion // II International Symposium on Anaerobic Digestion of Solid Waste. Barcelona, 1999. Pp. 137-144.
- 12 Bobleter O. Hydrothermal degradation of polymers derived from plants // *Progress in Polymer Science*. 1994. Vol. 19. № 5, Pp. 797-841.
- 13 Garrote G., Dominguez H., Parajo J.C. Hydrothermal processing of lignocellulosic materials // *European Journal of Wood and Wood Products*. 1999. Vol. 57. № 3. Pp. 191-202.
- 14 Boserup E. The conditions of agricultural growth: The economics of agrarian change under population pressure. New York: Routledge, 2017. 137 p.
- 15 Features of Influence of Cavitation Effects on the Physicochemical Properties of Water and Wastewater / V.A. Kulagin [et al.] // *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*. 2014. Vol. 7. № 5. P. 605.
- 16 Burton E., Masey-O'Neill H., Gatliffe J., Scholey D. Sustainable poultry production in Europe. Wallingford: CABI, 2016.
- 17 Устройство для исследований in vitro: пат. № 106956 / Логачев К.Г., Мирошников С.А., Мещеряков А.Г., Порачев Б.Г., Дроздова Е.А., Хайбуллина Г.И., Щукин В.С., Нуржанов Б.С., Рахимжанова И.А.; заявл. 15.06.2010 г.; опублик. 27.07.2011 г.
- 18 Tian S.-Qi., Wang Z.-Yu, Fan Z.-L. and L.-L. Zuo. Comparison of Ultrasonic and CO₂ Laser Pretreatment Methods on Enzyme Digestibility of Corn Stover // *International Journal Molecular Sciences*. 2012. № 13 (4). Pp. 4141-4152.
- 19 Ulloa J. A. et al. Effect of ultrasound treatment on the hydration kinetics and cooking times of dry beans (*Phaseolus vulgaris*) // *CyTA-Journal of Food*. 2015. Pp. 1-9.
- 20 Miano A.C., Augusto P.E.D. The ultrasound assisted hydration as an opportunity to incorporate nutrients into grains // *Food Research International*. 2018. № 10. Pp. 928-935.
- 21 Patero T., Augusto P.E. Ultrasound (US) enhances the hydration of sorghum (*Sorghum bicolor*) grains // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2015. № 23. Pp. 11-15.
- 22 Lixin B., Jiuchun Y., Zhijie Z., Yuhang M. Cavitation in thin liquid layer: A review // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2020. Vol. 66. P. 105092.
- 23 Rongbin Cui, Fan Zhu. Effect of Ultrasound on Structural and Physicochemical Properties of Sweetpotato and Wheat Flours // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2020. Vol. 66. P. 105118.
- 24 Xia Y., Wang Y., Li W., Ma C., Liu S. Homogenization-assisted cavitation hybrid rotation extraction and macroporous resin enrichment of dihydroquer-

cetin from *Larix gmelinii* // Journal chromatography B Analytical technologies in the biomedical and life sciences. 2017. Vol. 1070. Pp. 62-69.

List of references

- 1 Waste not, want not: enhancing the ability of yeast to utilize its own leftovers from the brewing industry to fuel the transport industry with ethanol / A. Beaton [et al.] // Access Microbiology. 2019. Vol. 1. № 1A.
- 2 Akbas M.Y., Stark B. C. Recent trends in bioethanol production from food processing byproducts // Journal of industrial microbiology & biotechnology. 2016. Vol. 43. № 11. Pp. 1593-1609.
- 3 Mikolaichik I.N., Morozova L.A., Maksimova E.S. A method for optimizing the biological usefulness of feeding highly productive cows // Feeding of agricultural animals and feed production. 2014. № 11. Pp. 43-51.
- 4 Morozova L.A., Mikolaichik I.N., Morozov V.A., Bulygina E.N. Optimization of energy nutrition in highly productive cows during the transit period // Vestnik Kurganskoy GSKhA. 2019. № 4 (32). Pp. 30-34.
- 5 Mikolaichik IN, Morozova LA, Savina Ya.V. Investigation of the effect of the stabilized enzyme complex on the productive and biological indicators of young pigs // Vestnik Kurganskoy GSKhA. 2020. № 4 (36). Pp. 23-29.
- 6 Mikolaichik I.N., Morozova L.A., Abileva G.U., Subbotina N.A. Biological and productive indicators of pregnant dry cows when feeding immunobiological additives // Vestnik Kurganskoy GSKhA. 2016. № 2 (18). Pp. 44-47.
- 7 Levakhin G., Duskaev G., Dusaeva H. Assessment of chemical composition of grain crops depending on vegetative stage for feeding // Asian Journal of Crop Science. 2015. T. 7. № 3. Pp. 207-213.
- 8 Duskaev G.K. Scientific and practical substantiation of new approaches to the regulation of metabolism in the body of young cattle and increasing the efficiency of feed use in the production of beef: abstract for the degree of Doctor of Biological Sciences. Orenburg, 2009. 47 p.
- 9 Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review / T.S. Awad [et al.] // Food research international. 2012. Vol. 48. № 2. Pp. 410-427.
- 10 Guermah H., Maertens L. Feeding value of brewer's grain and maize silage for rabbits // 11th World Rabbit Congress. 2016. Pp. 397-400.
- 11 Palmowski L., Muller J. Influence of the size reduction of organic waste on their anaerobic digestion // II International Symposium on Anaerobic Digestion of Solid Waste. Barcelona, 1999. Pp. 137-144.
- 12 Bobleter O. Hydrothermal degradation of polymers derived from plants // Progress in Polymer Science. 1994. Vol. 19. № 5, Pp. 797-841.
- 13 Garrote G., Dominguez H., Parajo J.C. Hydrothermal processing of lignocellulosic materials // European Journal of Wood and Wood Products. 1999. Vol. 57. № 3. Pp. 191-202.
- 14 Boserup E. The conditions of agricultural growth: The economics of agrarian change under population pressure. New York: Routledge, 2017. 137 p.
- 15 Features of Influence of Cavitation Effects on the Physicochemical Properties of Water and Wastewater / V.A. Kulagin [et al.] // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. 2014. Vol. 7. № 5. P. 605.
- 16 Burton E., Masey-O'Neill H., Gatliffe J., Scholey D. Sustainable poultry production in Europe. Wallingford: CABI, 2016.
- 17 Device for in vitro research: patent No. 106956 / Logachev K.G., Miroshnikov S.A., Meshcheryakov A.G., Rogachev B.G., Drozdova E.A., Khaibullina G.I., Shchukin V .S., Nurzhanov B.S., Rakhimzhanova I.A. ; declared on June 15, 2010; published on July 27, 2011.
- 18 Tian S.-Qi., Wang Z.-Yu, Fan Z.-L. and L.-L. Zuo. Comparison of Ultrasonic and CO2 Laser Pretreatment Methods on Enzyme Digestibility of Corn Stover // International Journal Molecular Sciences. 2012. № 13 (4). Pp. 4141-4152.
- 19 Ulloa J. A. et al. Effect of ultrasound treatment on the hydration kinetics and cooking times of dry beans (*Phaseolus vulgaris*) // CyTA-Journal of Food. 2015. Pp. 1-9.
- 20 Miano A.C., Augusto P.E.D. The ultrasound assisted hydration as an opportunity to incorporate nutrients into grains // Food Research International. 2018. № 10. Pp. 928-935.
- 21 Patero T., Augusto P.E. Ultrasound (US) enhances the hydration of sorghum (*Sorghum bicolor*) grains // Ultrasonics Sonochemistry. 2015. № 23. Pp. 11-15.
- 22 Lixin B., Jiuchun Y., Zhijie Z., Yuhang M. Cavitation in thin liquid layer: A review // Ultrasonics Sonochemistry. 2020. Vol. 66. P. 105092.
- 23 Rongbin Cui, Fan Zhu. Effect of Ultrasound on Structural and Physicochemical Properties of Sweetpotato and Wheat Flours // Ultrasonics Sonochemistry. 2020. Vol. 66. P. 105118.
- 24 Xia Y., Wang Y., Li W., Ma C., Liu S. Homogenization-assisted cavitation hybrid rotation extraction and macroporous resin enrichment of dihydroquercetin from *Larix gmelinii* // Journal chromatography B Analytical technologies in the biomedical and life sciences. 2017. Vol. 1070. Pp. 62-69.